ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส
โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก
Motor Speed Controller Demonstrator by Digital and Analog

ชื่อนักศึกษา

1. นายนิรุต	แก้วเจริญ	รหัสประจำตัว	43035419
2. นายมวลเทพ	แสงไทยารักษ์	รหัสประจำตัว	43035425
3. นายสมนึก	ช้างหัวหน้า	รหัสประจำตัว	43035433
4. นายธวัชชัย	บ้านแสน	รหัสประจำตัว	43035621

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วรวิทย์ สมหา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์โกศล ตราชู

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วรวิทย์	สมหา	.....
2. อาจารย์โกศล	ตราชู	.....
3. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....
4. อาจารย์กิติพงค์	มะโน	.....
5. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544 เวลา 21.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

<BT4403081>

ชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส
โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

MOTOR SPEED CONTROLLER DEMONSTRATOR BY DIGITAL AND ANALOG

T044210

นายนิรุต แก้วเจริญ
นายมวลเทพ แสงไทยารักษ์
นายสมนึก ช้างหัวหน้า
นายธวัชชัย บ้านแสน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 44210
วัน, เดือน, ปี 4 พ.ย. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

Motor Speed Controller Demonstrator by Digital and Analog

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวงจรและการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก รวมทั้งในการเขียนโปรแกรมควบคุมแบบดิจิตอล
2. เพื่อออกแบบวงจรของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก วงจร F to V Convertor และวงจรEncoder
3. เพื่อสร้างเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก วงจร F to V Convertor และวงจร Encoder
4. เพื่อทดลองเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส
5. เพื่อนำชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก ใช้ในการศึกษาถึงการควบคุมแบบ PID

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับวงจรและการทำงานของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก รวมทั้งการเขียนโปรแกรมควบคุมแบบดิจิตอล
2. ได้วงจรเครื่องควบคุมแบบแอนะลอกและดิจิตอล วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก วงจร F to V Convertor และ วงจร Encoder
3. ได้ต้นแบบของชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก
4. ได้ปรับปรุงเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส
5. ได้นำชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก ไปใช้ในการศึกษาถึงการควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก
นักศึกษา	นายนิรุต แก้วเจริญ
	นายมวลเทพ แสงไทยารักษ์
	นายสมนึก ช้างหัวหน้า
	นายธวัชชัย บ้านแสน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วรวิทย์ สมหา
	อาจารย์โกศล ตราชู
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอกและแบบดิจิตอล ซึ่งชุดควบคุมแบบแอนะลอกจะเป็นวงจรควบคุมแบบ PID และในส่วนของชุดควบคุมแบบดิจิตอลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 ซึ่งจะเปรียบเทียบผลการควบคุมในแบบแอนะลอกและแบบดิจิตอล ซึ่งสามารถจะใช้เป็นสื่อทางการศึกษาได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Motor Speed Controller Demonstrator by Digital and Analog
Students	Mr.Nirut Kaewchareon
	Mr.Mualthep Saengthaiyaruk
	Mr.Somnuek Changhuanha
	Mr.Thawatchai Bhansaen
Advisor	Mr.Worawit Somha
Co - Advisor	Mr.Khoson Trachu
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2001

ABSTRACT

This thesis presents a project of motor speed controller demonstrator by analog and digital. Which the analog is use PID circuit and digital controller is use microcontroller AT89C52 and all two parts are compare each other. The principle of this project can be applied for other education and industries.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านคือ อาจารย์วรวิทย์ สมหา อาจารย์โกศล ตราชู และอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี ที่ได้ให้คำปรึกษาอย่างดีมาตลอดระยะเวลาการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในกลุ่มทุกคนที่ร่วมแรงร่วมใจในการทำงานจนบรรลุเป้าหมาย และจากความสำเร็จในครั้งนี้ขอมอบให้กับบุคคลที่ได้ให้การศึกษาตั้งแต่อดีตเรื่อยมา จนถึงปัจจุบัน ซึ่งก็คือ คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 แอนะลอกคอนโทรลเลอร์	3
2.1.1 ชุดขยายความคลาดเคลื่อน	3
2.1.2 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน	6
2.1.3 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	8
2.1.4 ตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ	12
2.1.5 ตัวควบคุมแบบขนาน	16
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	17
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	18
2.3.1 เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง	18
2.3.2 เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก	20
2.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	21
2.4.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสไควเรลเคจโรเตอร์	21
2.4.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	25
2.5 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำ	28
2.5.1 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสไควเรลเคจ	28
2.5.2 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 หลักการและโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C52	32
2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT879C52	33
2.6.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52	34
2.7 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	36
2.7.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์	36
2.7.2 หลักการทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์	37
2.7.3 หลักการทำงานของภาคคอนเวอร์เตอร์	44
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	47
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	47
3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	48
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์	48
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	48
3.2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์	49
3.3 ชุดควบคุมแบบแอนะลอก	50
3.4 ชุดควบคุมแบบดิจิตอล	51
3.4.1 แผนผังการทำงานของส่วนควบคุมแบบดิจิตอล	51
3.4.2 วงจรชุดควบคุมแบบดิจิตอล	52
3.4.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	53
3.5 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน	54
3.6 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า	55
3.6.1 ชุด IC แปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า	55
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	56
4.1 การทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	56
4.2 การทดลองชุดควบคุมแบบแอนะลอก	56
4.3 การทดลองชุดควบคุมแบบดิจิตอล	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ปัญหา และการพัฒนา	59
5.1 บทสรุป	59
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	60
5.3 แนวทางการพัฒนา	61
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์	62
ภาคผนวก ข การรวบรวมลายวงจรพิมพ์ที่ใช้ในโครงงาน	66
ภาคผนวก ค การรวบรวมโปรแกรมการทำงาน	69
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	76
ภาคผนวก จ ใบงานการทดลอง	80
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	101
บรรณานุกรม	113
ประวัติผู้แต่ง	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต P3 ในเบอร์ AT89C52	36
ตารางที่ 2.2 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์	41
ตารางที่ 2.3 วิธีการควบคุมแคเรียร์	42
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของชุดควบคุมแบบดิจิตอล	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 close loop control	3
รูปที่ 2.2 Differential amplifier	4
รูปที่ 2.3 Inverting summing	4
รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบสัดส่วน	6
รูปที่ 2.5 วงจรตัวควบคุมแบบสัดส่วน	7
รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	9
รูปที่ 2.7 วงจรออปแอมป์อินทิเกรเตอร์	10
รูปที่ 2.8 วงจรตัวควบคุมแบบอินทิกรัล	11
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณความคลาดเคลื่อนกับสัญญาณตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ	13
รูปที่ 2.10 วงจรออปแอมปดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์แบลบพื้นฐาน	14
รูปที่ 2.11 วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์	15
รูปที่ 2.12 วงจรตัวควงคุมแบบ PID แบบขนาน	16
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับ	18
รูปที่ 2.14 แท่งแม่เหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าตัวนำ	19
รูปที่ 2.15 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายให้ขั้วแม่เหล็ก N	20
รูปที่ 2.16 ตัวนำรูปทรงกระบอกที่ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	20
รูปที่ 2.17 การต่อขดลวดเฟส A	23
รูปที่ 2.18 การต่อขดลวดเฟส A และเฟส B	23
รูปที่ 2.19 การต่อขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C	23
รูปที่ 2.20 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสตาร์	24
รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดสามเฟสแบบเดลต้า	24
รูปที่ 2.22 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในทิศทางหนึ่ง	25
รูปที่ 2.23 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่ง	25
รูปที่ 2.24 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	27
รูปที่ 2.25 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง	27
รูปที่ 2.26 วงจรสตาร์ตโดยตรง	28
รูปที่ 2.27 วงจรสตาร์ตลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.28 วงจรสตาร์ตมอเตอร์แบบต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับกับมอเตอร์	30
รูปที่ 2.29 วงจรสตาร์ตแบบสตาร์ – เดลต้า	31
รูปที่ 2.30 วงจรสตาร์ตสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง	32
รูปที่ 2.31 ตำแหน่งและหน้าที่ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52	33
รูปที่ 2.32 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์	37
รูปที่ 2.33 วิธีการสร้างไฟสลับ	37
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นกระแส	38
รูปที่ 2.35 รูปไฟสลับความถี่ 1 Hz	38
รูปที่ 2.36 ความถี่	38
รูปที่ 2.37 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสพื้นฐาน	39
รูปที่ 2.38 การสร้างไฟสลับสามเฟส	39
รูปที่ 2.39 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	40
รูปที่ 2.40 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์	43
รูปที่ 2.41 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์ (ขยาย 5 เท่าจากรูปที่ 2.49)	43
รูปที่ 2.42 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์	44
รูปที่ 2.43 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์	44
รูปที่ 2.44 วงจรจำกัดกระแสอินรัช	45
รูปที่ 2.45 กระแสอินรัช	46
รูปที่ 2.46 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้	46
รูปที่ 3.1แผนผังการทำงานของโครงงาน	47
รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์	48
รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	48
รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์บวกลบ	49
รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์บวกลบ	49
รูปที่ 3.6 วงจรชุดควบคุมแบบแอนะลอก	50
รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของส่วนดิจิตอล	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.8 วงจรของชุดควบคุมแบบดิจิตอล	52
รูปที่ 3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	53
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของโครงงาน	54
รูปที่ 3.11 ชุด IC แปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากต้องการศึกษาและเปรียบเทียบ เสถียรภาพ ความเที่ยงตรงและการตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก จึงได้สร้างชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส โดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ชัดเจนตามต้องการ

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1) สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงเกิลเฟส ด้วยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

2) สามารถทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ได้

3) สามารถแสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ได้

4) สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ รวมทั้งวิธีการควบคุมความเร็ว การกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำและในส่วนของการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 การใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์และการใช้งานชุดควบคุมแบบแอนะลอก

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน จะกล่าวถึงแผนผังการทำงานของโครงงาน การออกแบบวงจร หน้าที่ของวงจรต่างๆและการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในการทำโครงงาน ชุดทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง จะกล่าวถึงผลการทดลองในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ทั้งแบบดิจิตอลและแอนะลอก ตลอดจนรูปคลื่นสัญญาณของวงจรแบบแอนะลอกที่ใช้ในการควบคุม

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขปัญหา และการพัฒนา จะกล่าวถึงข้อบกพร่องต่างๆ ของระบบที่ทำในโครงงาน อธิบายสาเหตุของข้อบกพร่อง แนวทางการแก้ไขให้เป็นระบบที่ดีขึ้น และแนวทางในการที่จะสามารถพัฒนาโครงงานนี้ให้มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเดิมที่สร้างขึ้นมา

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค ผังการทำงานและโปรแกรม

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก จ ใบงานการทดลอง

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

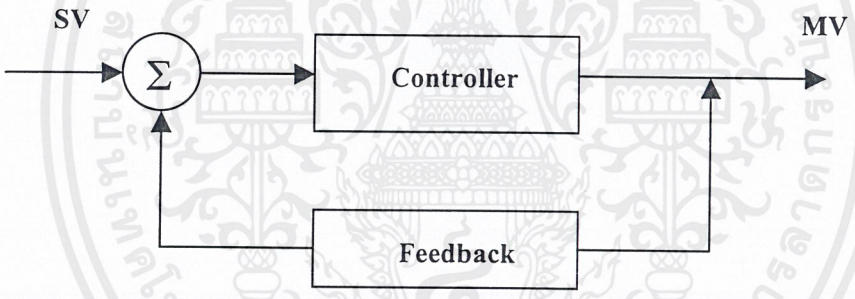
บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 แอนะลอกคอนโทรลเลอร์ (Analog Controller)

Analog Controller คือ เครื่องมือควบคุมที่มีการส่งสัญญาณที่สามารถเปลี่ยนค่าไปได้ตามเวลาและสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยการใช้ตัวความต้านทาน และตัวเก็บประจุต่อใช้งานร่วมกับออปแอมป์

2.1.1 ชุดขยายความคลาดเคลื่อน (Error Amplifier)

ในตัวควบคุมทุก ๆ ตัวในตอนเริ่มต้นนั้น จะให้สัญญาณความคลาดเคลื่อนออกมาค่าหนึ่ง (Error Signal) และจึงทำการปรับเข้าสู่จุดควบคุม ดังรูป



รูปที่ 2.1 Close Loop Control

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ จะมีค่ากับ

$$\Sigma = SP - PV \qquad (2.1)$$

ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนจะเป็นผลต่างของค่าที่เราต้องการ SV (Setpoint) และค่าจริงที่ได้จาก Controller หรือ PV (Actual Value) เมื่อ PV มีค่าน้อยกว่า SV จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นบวก แต่เมื่อ PV มีค่ามากกว่า SV แรงดันที่ได้จะมีค่าเป็นลบเราจะมีวิธีการในการหาค่าความคลาดเคลื่อนในทางปฏิบัติด้วยกัน 2 วิธี คือ

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2}\left(V - V_1\right) \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

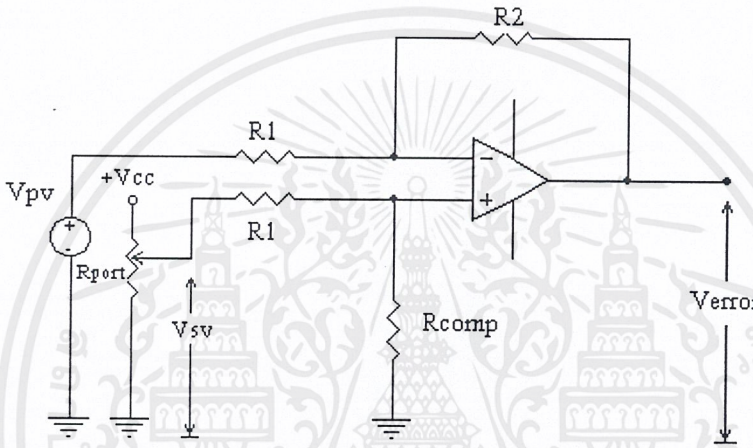
แต่ถ้าเราให้ $R = R_1 = R_2$

$V_2 = V_{sv}$

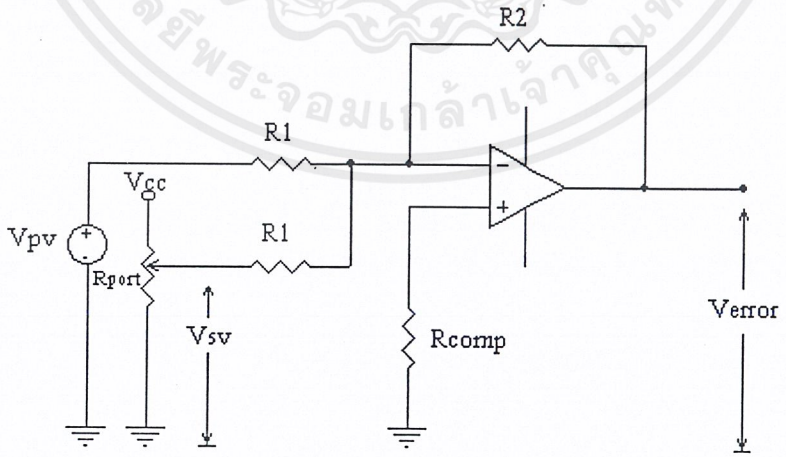
$V_1 = V_{pv}$

เราจะได้สมการของ โวลต์เอาต์พุต คือ

$$V_{out} = V_{error} = V_{sv} - V_{pv} \quad \textbf{(2.3)}$$



รูปที่ 2.2 differential amplifier



รูปที่ 2.3 inverting summing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 เป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อนโดยใช้ออปแอมป์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในตัว controller แบบแอนะลอกได้ และเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องในการทำงานมากๆ เราควรจะกำหนดค่าของความ ต้านทาน R1 ให้มากกว่า R_{port} มากๆ เพื่อป้องกันการโหลดกระแสจาก potentiometer เราจะต้องเลือกความต้านทานทั้งหมดให้เหมาะสมกัน เพื่อลดสัญญาณ offset ของ Op-Ampเมื่อค่าของV_{sv} เท่ากับ V_{pv} จะต้องได้ค่า error = 0 ซึ่ง R1 จะต้องมีค่าเท่ากับ R_2 เพื่อความเหมาะสม ซึ่งในวงจรรูป b จะเป็นวงจรบวกสัญญาณแบบกลับขั้วสัญญาณเอาต์พุต (Inverting Summing) ซึ่งจะมีสมการความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$V_{out} = V_{error} = -\left[-\frac{R_3}{R_1}V_{sv} + \frac{R_3}{R_2}V_{pv}\right] \tag{2.4}$$

ซึ่งจากการทำงานในความเป็นจริงนั้น เราจะให้แรงดันที่จุดปรับตัว Setpoint มีค่าเป็นลบเพื่อจะได้ขยายสัญญาณความแตกต่างได้ดีจะต้องให้ค่าความต้านทาน R1 มากกว่า R_{port} มากๆ เช่นดังวงจร รูป a นอกจากนั้น R_{comp} ต้องมีค่าเท่ากับการขนานความต้านทานที่ขา inverting (-) ของตัวออปแอมป์ ซึ่งเราสามารถหาค่าความต้านทานของ R_{comp} ได้ดังนี้

$$R_{comp} = \frac{R_2 \times R_1}{R_2 \times R_1} \tag{2.5}$$

ถ้าต้องการอัตราการขยายเท่ากับ 1 นั้น เราจะต้องให้ความต้านทานมีค่าเป็น

$$R_1 = R_2 = R_3$$

แต่ถ้าต้องการอัตราในการขยาย เราสามารถกำหนดค่าความต้านทานให้มีสัดส่วนดังนี้

$$R_1 = R_2 \neq R_3$$

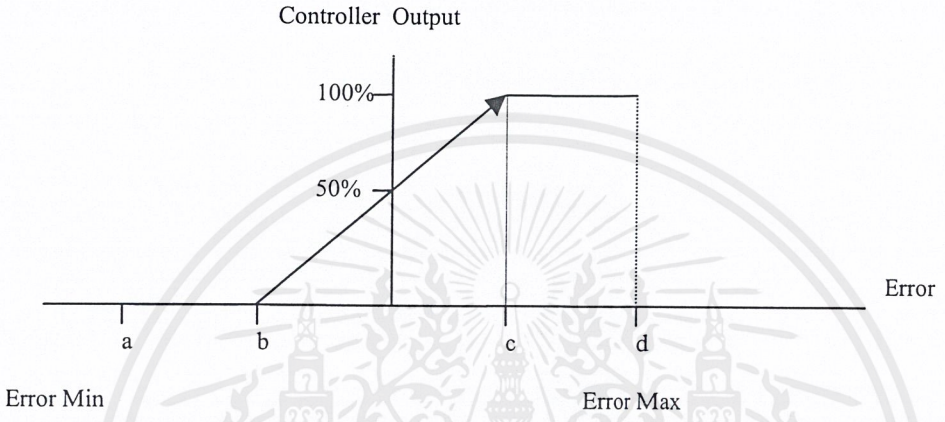
เราจะได้สัญญาณที่ output ดังนี้

$$V_{out} = V_{error} = -\frac{R_3}{R_1}\left[-V_{sv} - V_{pv}\right] \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller)

เป็นตัวควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นแบบเชิงเส้น กล่าวคือ สามารถควบคุมได้ตลอดช่วงเวลา ซึ่งตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้นจะมีลักษณะคุณสมบัติ ดังรูป



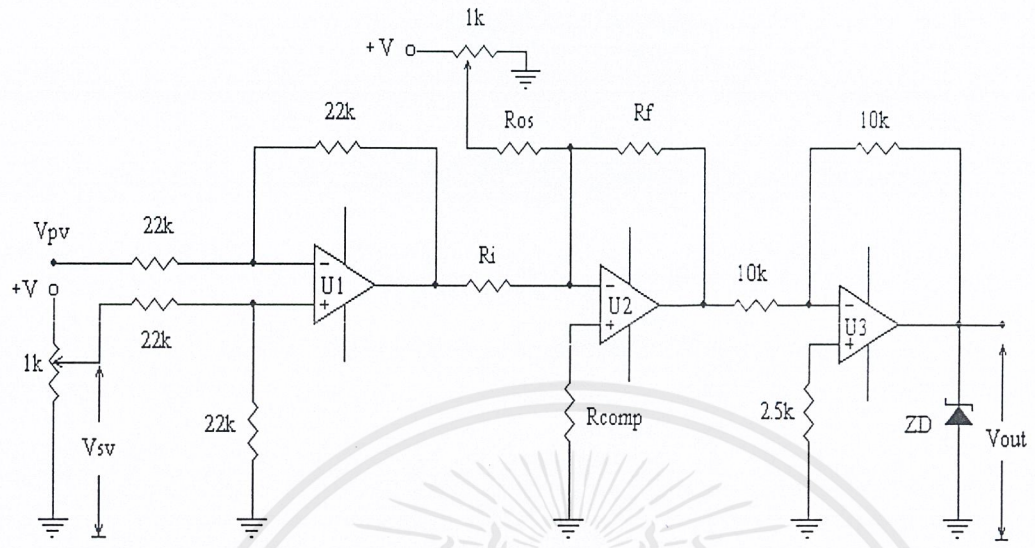
รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

กราฟคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น จะมีลักษณะของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ในจุด a และจุด d ส่วนในช่วงระยะ b, c นั้นเป็น Deadband ของระบบเปิด-ปิด(on-off control) แต่ในระบบสัดส่วนนั้นจะมีการตอบสนองแบบเชิงเส้น ค่าความคลาดเคลื่อนนั้นจะเกิดในลักษณะต่ำๆ รอบๆ จุดศูนย์ของตัวควบคุม ซึ่งจะเป็นค่าที่จะบอกให้ตัวควบคุมส่งสัญญาณให้เอาต์พุต ในการทำงานของตัวควบคุมแบบนี้จะพิจารณาสัดส่วนที่แคบ ๆ (proportional band) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าความคลาดเคลื่อนให้เป็นค่าของเปอร์เซนต์ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด โดยใช้วิธีการหาค่าความชันเข้ามาช่วย คือ

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\Delta_{\%_P}}{\Delta_{error}} \qquad (2.7)$$

ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการหาค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด (max) และค่าต่ำสุด (min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

จากรูปวงจรตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น Op-Amp U_2 นั้น จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างแถบสัดส่วนเพื่อส่งไปควบคุม ส่วน U_3 นั้น เป็นตัวกลับสัญญาณจาก U_2 ซึ่งตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้นสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุต ได้ดังนี้

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i} V_{Error} + \frac{R_f}{R_{os}} V_{os} \qquad (2.8)$$

โดยทั่วๆ ไป การออกแบบนั้นเราจะกำหนดให้ $R_f = R_{os}$

เมื่อไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน แรงดันทางเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = V_{os}$$

จากรูปของตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น เราสามารถปรับเปลี่ยนค่าของ V_{os} เพื่อกำหนดให้ได้เอาต์พุตตามต้องการเมื่อไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนได้ โดยปกติเราจะกำหนดไว้ที่เอาต์พุตสูงสุด ซึ่งค่าความชันของกราฟเราสามารถจะกำหนดได้จากอัตราการขยายของ U_2 ดังนี้

$$M = \frac{R_f}{R_i} \qquad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราจะสามารถคำนวณได้จากค่าของพารามิเตอร์ที่ต้องการ

$$M = \frac{V_{out}\ (FS)}{\%band \times V_{error}\ (FS)} \quad \textbf{(2.10)}$$

ดังนั้น เราจะสามารถสรุปได้ว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น สามารถหาค่าของแรงเคลื่อนเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_O = \frac{R_f}{R_{in}} \times V_{error} + \frac{R_f}{R_{os}} \times V_{os} \quad \textbf{(2.11)}$$

2.1.3 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Controller)

ตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลง (rate of charge) ของเอาต์พุต จากตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นสัดส่วนกับค่าความคลาดเคลื่อน เราสามารถเขียนสมการของตัวควบคุมแบบนี้ ได้ดังนี้

$$\frac{dV_{out}}{dt} = kiV_{error} \quad \textbf{(2.12)}$$

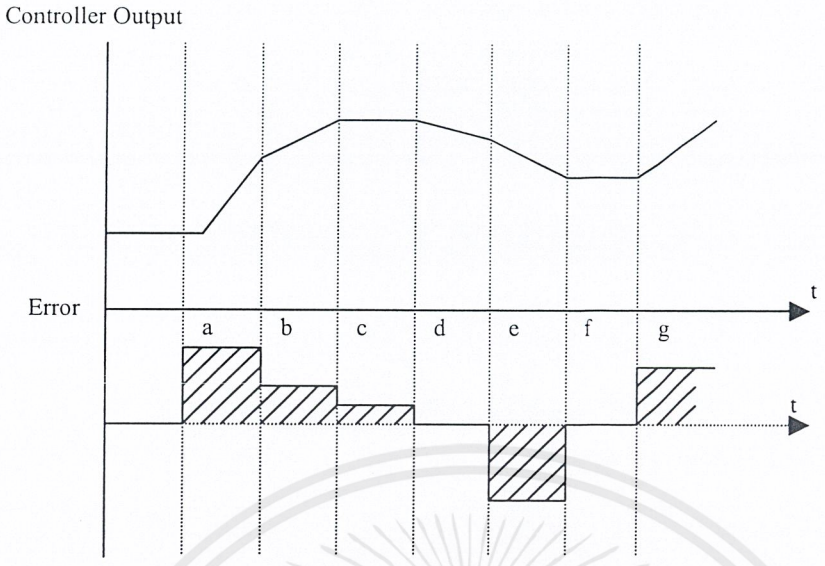
เมื่อ V_{out} = เอาต์พุตของตัวควบคุม

ki = ค่าคงที่ของการอินทิกรัล

V_{error} = ค่าความคลาดเคลื่อน

เมื่อมีค่าความคลาดเคลื่อนจำนวนมากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีน้อย เอาต์พุตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ตลอดเวลาที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจะให้เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในขณะเดียวกันค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะถูกแก้ให้เป็นศูนย์ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ เอาต์พุตของตัวควบคุมจะค้างค่าที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์เอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

จากรูปจะแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา a และ b จะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ทำให้เอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจึงจะส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงในช่วงเวลา c , d เอาต์พุตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าลง แต่ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งที่เวลา d จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงมาที่ศูนย์ ที่จุดนี้เอาต์พุตจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเวลา e ถึง f ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นลบ และจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการที่ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะลดน้อยลง เราสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ Differential ได้ดังนี้

$$\frac{dV_{out}}{dt} = kiV_{error} \tag{2.13}$$

$$dV_{out} = kiV_{error}\, dt \tag{2.14}$$

$$V_{out} = ki \int V_{error}\, dt + V_{os} \tag{2.15}$$

$$\int dV_{out} = ki \int V_{error}\, dt \tag{2.16}$$

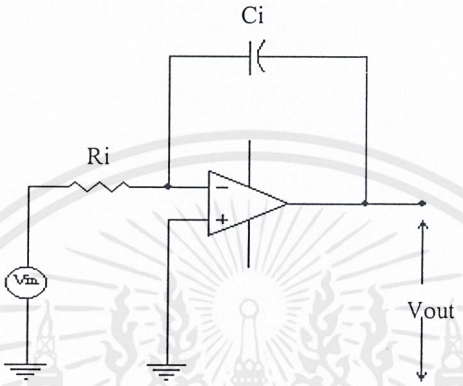
เมื่อค่าของ Vos เป็นค่า off set ของตัวควบคุม และสามารถเขียนในรูปสมการลาปลาส ได้ คือ

$$V_{out} = \frac{kiV_{error}}{S} \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราจะได้ Transfer Function ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล คือ

$$\frac{SV_{out}}{V_{error}} = ki \qquad (2.18)$$



รูปที่ 2.7 วงจร Op-Amp Integrator

จากรูปวงจร Op-Amp ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) โดยตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่ในการป้อนกลับแบบลบ ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันควบคุมของตัวเก็บประจุทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_i} \qquad (2.19)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{-1}{C_i} \qquad (2.20)$$

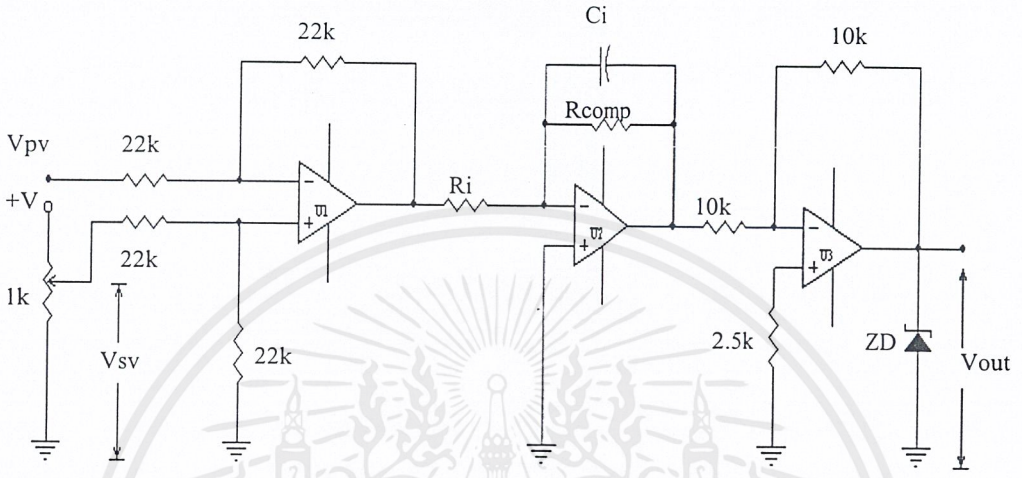
เมื่อ Vos คือ ค่าเริ่มต้นในการ charge ของตัวเก็บประจุ ดังนั้นเราจะได้

$$V_c = \frac{-1}{C_i} dt + V_{os} \qquad (2.21)$$

$$V_c = \frac{1}{R_i C_i} \int V_{in}\, dt + V_{os} \qquad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าให้ ki = $-1/(R_i C_i)$ โดยที่ ki เป็นค่าคงที่ของการอินทิกรัลและมีหน่วยเป็น หน่วย/วินาที และR_iC_i เป็นเวลาที่ใช้ในการอินทิกรัล



รูปที่ 2.8 วงจรตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

จากรูปที่ 2.8 วงจรตัวควบคุมแบบอินทิกรัล โดย Op-Amp ซึ่ง U_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวทำการอินทิเกรเตอร์ ตัวต้านทาน R_{comp} ทำหน้าที่เป็นตัวผ่านของกระแสบางส่วนที่ผ่าน C_i เพื่อให้เอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ โดยเราจะต้องให้ค่าความต้านทาน $R_{comp} > 10R_i$ หรือ $20R_i$ ขึ้นไป

ซึ่งเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ จะทำให้แต่ละค่าของ R_i เท่ากับศูนย์ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหลผ่าน R_i ซึ่งจะทำให้ C_i ไม่สามารถ Charge หรือ Discharge ได้

ดังนั้นจึงทำให้สามารถรักษาระดับแรงดันของเอาต์พุตไว้ได้ การที่เราใส่ค่าความต้านทานของ R_{comp} ไว้ก็เพื่อ เก็บกระแสของการ Discharge ของ C_i ไว้ ถ้าไม่มี R_{comp} หรือ R_{comp} ที่มีค่ามากๆ จะทำให้กระแสจาก C_i มีค่าน้อย แต่อย่างไรก็ตามก็ยังจะมีกระแสไหลผ่าน R_{comp} อย่างช้าๆ จนกระทั่งเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์

ซึ่งโดยปกติ สามารถที่จะใส่ R_{comp} ที่ขา Non Inverting โดยให้มีค่ามาก เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแส

จากรูปที่ 2.8 U2 จะใช้ออปแอมป์ที่มี Input Impedance สูง โดยส่วนมากจะใช้ออปแอมป์ที่มีสถาปัตยกรรมภายในเป็น FET เช่นตระกูล LFxx เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเข้ามามีผลต่อการอินทิกรัล ทำให้สัญญาณที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เราพอจะสรุปได้ว่าตัวควบคุมแบบอินทิกรัล จะมีการ charge และ discharge ของ C_i ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ เอาต์พุตจึงจะคงที่

2.1.4 ตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ (Derivative Controller)

ในระบบควบคุมที่มีความเฉื่อยสูง จำเป็นต้องกระตุ้นให้มีการตอบสนองความคลาดเคลื่อนของระบบอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ดังสมการ

$$V_{out} = kd \frac{dV_{error}}{dt} \tag{2.23}$$

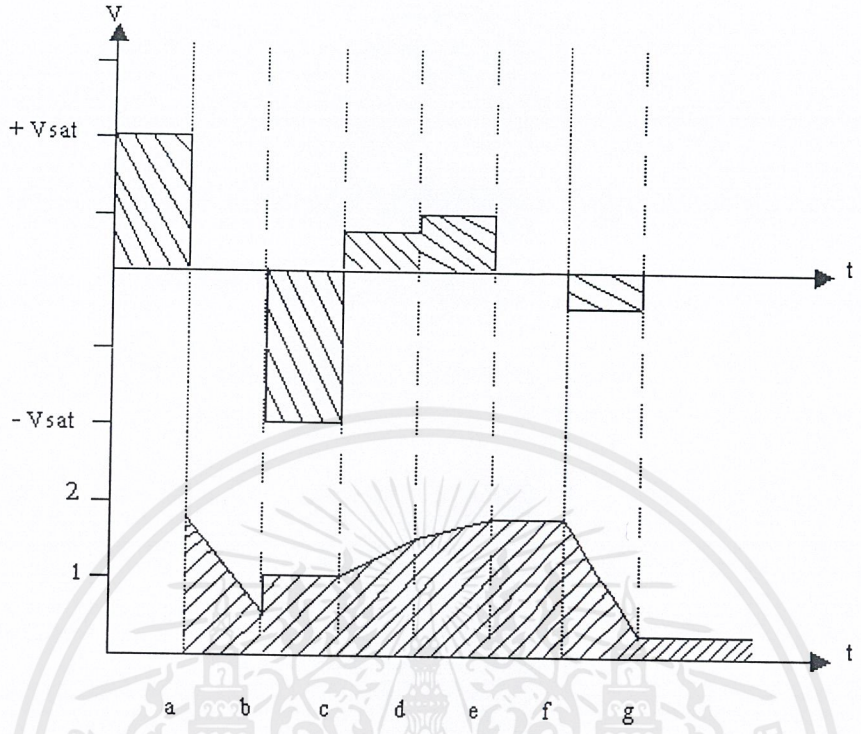
เมื่อแปลงเป็นสมการลาปลาส จะได้

$$V_{out} = kdSV_{error} \tag{2.24}$$

ดังนั้น จะได้ Transfer function เป็น

$$\frac{V_{out}}{V_{error}} = kdS \tag{2.25}$$

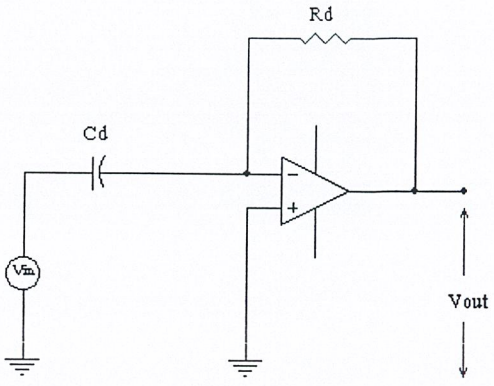
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความคลาดเคลื่อนแบบขั้น (Step error) ที่เวลา a จะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความคลาดเคลื่อน จะส่งผลให้ตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาสูงสุด ระหว่างเวลา a,b และ b,c กับ c และ f ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมจะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมา ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อสัญญาณความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นลบก็จะทำให้เอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นลบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรออปแอมป์ดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์แบบพื้นฐาน

จากรูป จะเป็นแบบเดียวกับวงจรอินทิเกรเตอร์ แต่จะสลับตัวเก็บประจุกับตัวต้านทาน ซึ่งจะทำให้ได้อัตราการขยาย ดังสมการ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Rd}{Z_o} \qquad (2.26)$$

หรือ

$$V_{out} = Rd \frac{V_{in}}{Zo} \qquad (2.27)$$

ซึ่งเมื่อ

$$V_{out} = Rd \frac{V_{in}}{Z_o} \qquad (2.28)$$

ทำให้ได้

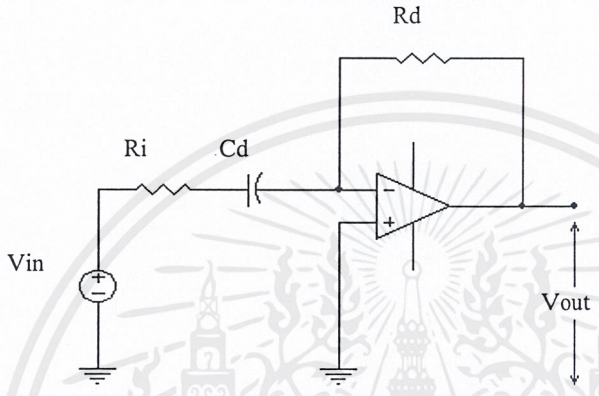
$$V_{out} = RdCd \frac{dV_{in}}{dt} \qquad (2.29)$$

แปลงเป็นสมการลาปลาสจะได้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -RdCdS \qquad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราให้ kd = RdCd ซึ่งเป็นค่าคงที่ของการดิฟเฟอร์เรนเชียล ในการใช้งานนั้น เมื่อ V_{in} เป็นสัญญาณ sine ที่ความถี่ต่ำๆ เอาต์พุตจะมีค่าต่ำมาก ซึ่งเอาต์พุตจะเพิ่มค่าขึ้นตามค่าความถี่ที่ป้อน แต่เมื่อความถี่ของสัญญาณสูง สัญญาณรบกวนจะได้รับการขยายที่สูงไปด้วย และจะป้อนกลับผ่าน cd ทางด้านอินพุตของมันทำให้เกิดการออสซิลเลทขึ้น จากเหตุการณ์นี้เราสามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มตัวต้านทาน R_i ดังรูป



รูปที่ 2.11 วงจรออปแอมป์ ดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์

จากรูป เมื่อ R_i อนุกรมกับ Cd จะเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ(Low Pass Filter) ซึ่งมีการวิเคราะห์ ดังนี้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{kd\,S}{IS + 1} \qquad \textbf{(2.31)}$$

เมื่อ $$Z_f = Rd \qquad \textbf{(2.32)}$$

$$Z_i = R_i + \frac{1}{CdS} \qquad \textbf{(2.33)}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{RdCdS}{R_iCdS + 1} \qquad \textbf{(2.34)}$$

เมื่อ RCdS = kd และ R_iCd

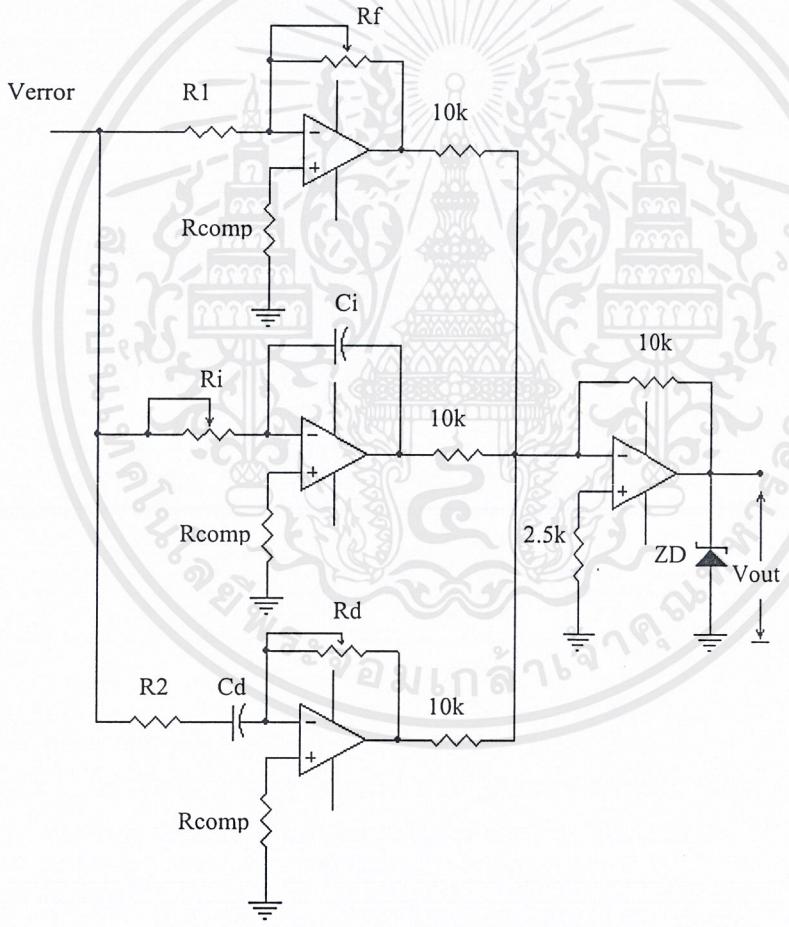
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-Z_f}{Z_i} \qquad \textbf{(2.35)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เอาต์พุตตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ จะมีค่าเอาต์พุต เมื่อมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาความคลาดเคลื่อนเท่านั้น เมื่อสัญญาณความคลาดเคลื่อนคงที่ เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นศูนย์ซึ่งตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟจะใช้งานร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่นเท่านั้น

2.1.5 ตัวควบคุมแบบขนาน

ตัวควบคุมแบบ PID นี้ มีคุณสมบัติในการตอบสนองความคลาดเคลื่อนอย่างรวดเร็ว จากตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Band) ในขณะที่ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral) ทำหน้าที่ควบคุมอัตโนมัติ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่แฝงอยู่ ส่วนตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ จะรักษาเสถียรภาพและตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2.12 วงจรตัวควบคุมแบบ PID แบบขนาน

จากรูปเป็นวงจรตัวควบคุมแบบ PID แบบขนาน โดยอาจนำตัวต้านทานขนาดใหญ่มาต่อกับตัวเก็บประจุ C_i เพื่อชดเชยกระแสไบอัสของออปแอมป์ให้มีค่าน้อย ในส่วนของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟจะต้องจำกัดค่าความต้านทาน R2 ให้น้อย โดยที่ระบบยังคงเสถียรภาพการทำงานอยู่ จะได้ V_{out} เป็นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$V_{out} = k_p V_{error} + ki \int V_{error}\, dt + kd \frac{dV_{error}}{dt} + V_{os} \qquad (2.36)$$

เมื่อ

$k_p = \frac{R_2}{R_1}$; อัตราขยายแถบสัดส่วน

$ki = \frac{1}{R_i C_i}$; ค่าคงที่ในการอินทีเกรท

$kd = RdCd$; ค่าคงที่ในการเดริเวทีฟ

V_{os} = ค่าขอบเขตของการเริ่มต้นการชาร์จของตัวเก็บประจุ

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีทั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์แบบซิงโครนัสซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กไปจนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือแม้แต่บ้านพักอาศัย ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของเครื่องอำนวยความสะดวกทั้งที่เป็นสิ่งจำเป็นและฟุ่มเฟือยในรูปแบบต่างๆ กันมากมาย ตั้งแต่ขนาดเล็กๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่ๆ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นมอเตอร์ที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เป็นส่วนใหญ่ยกเว้นบางชนิดที่อาจจะออกแบบให้สามารถปรับความเร็วได้แต่ก็เป็นส่วนน้อย

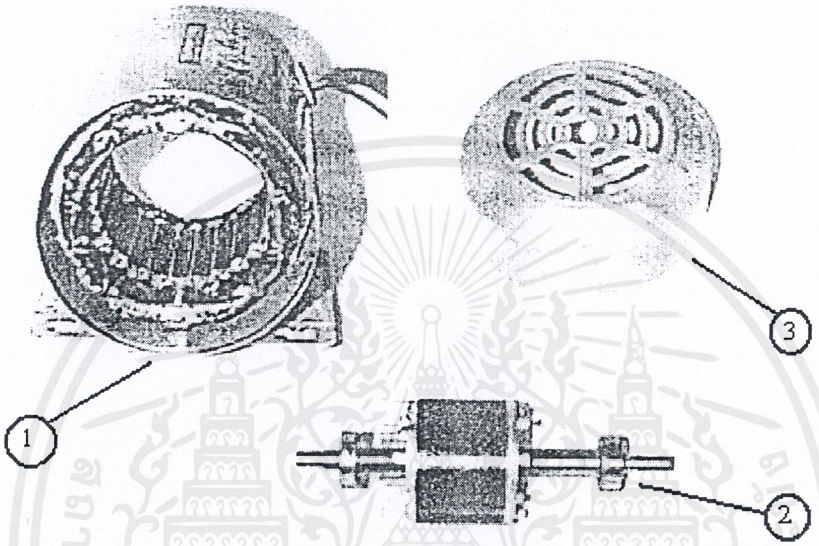
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือเครื่องกลไฟฟ้าที่สามารถทำการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลพลังงานไฟฟ้าไม่ได้เข้าสู่ส่วนโรเตอร์โดยตรง แต่จะได้จากการเหนี่ยวนำหรือที่เรียกว่าอินดั๊กชั่น (Induction) ดังนั้นจึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนี้บางทีเรียกชื่อสั้นๆว่า มอเตอร์ไฟสลับ หรือ มอเตอร์กระแสสลับ แบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกัน คือ แบบที่มีโรเตอร์เป็นแบบสไควเรลเคจ (Squirrel Cage) หรือทรงกระบอกเรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า สไควเรลเคจมอเตอร์ (Squirrel Cage Motor) และแบบที่โรเตอร์พันด้วยเส้นลวดเล็กๆที่เรียกว่า วาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่าวาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (Wound Rotor Motor) หรือเรียกว่า สลิปริงมอเตอร์ (Slip Ring Motor)

มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้จะมีส่วนประกอบคล้ายๆกันดังนี้คือ ส่วนอยู่กับที่ (Stator) เหมือนกัน ฝาครอบ (End Place) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงเฉพาะส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) เท่านั้น และมอเตอร์ไฟสลับหรืออินดั๊กชั่นมอเตอร์นี้ ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดหนึ่งเฟส

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44210

(Single – Phase) และชนิด 3 เฟส (Three – Phase) แต่โดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะเลือกใช้มอเตอร์ 3 เฟส กันเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นที่นิยมใช้โดยเฉพาะงานด้านควบคุมส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับทั้งชนิดหนึ่งเฟสและสามเฟสจะเหมือนกัน โดยประกอบไปด้วยสามส่วนต่อไปนี้ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับ

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Induction)เบื้องต้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีหลักการดังนี้

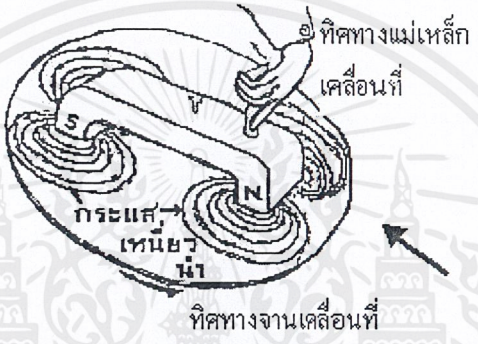
2.3.1 เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง

ทำได้โดยเอาแท่งแม่เหล็กรูปตัวยู (U) วางคว่ำให้ขั้วแม่เหล็ก N และ S หันเข้าหาจานตัวนำที่ทำด้วยแผ่นเหล็ก ทองแดงหรืออลูมิเนียม ดังรูปที่ 2.14 โดยที่ให้จานตัวนำและแท่งแม่เหล็กมีศูนย์กลางร่วมกัน เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งเข้าหาจานตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่นิ่งกับที่จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่วนจานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตามเพราะเส้นแรงแม่เหล็ก และจานตัวนำไม่มีการเคลื่อนที่

ถ้าให้จานตัวนำอยู่กับที่แล้วให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ในกรณีนี้ก็เหมือกับว่าให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วให้จานตัวนำเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ซึ่งก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

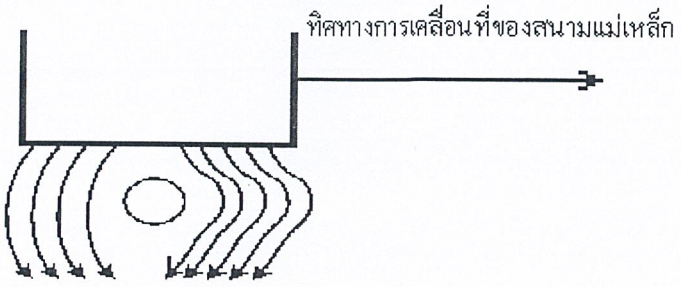
แม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาได้โดยการใช้กฎมือขวา (Right Hand Rule)ของเฟลมมิ่ง จะได้ว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลออกจากใต้ขั้วแม่เหล็ก N ไปสู่ขอบจานตัวนำเมื่อมองจากจุด A เข้าหาจานตัวนำ และก็จะพบว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลจากขอบจานตัวนำเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S หาทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำได้จากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง



รูปที่ 2.14 แท่งแม่เหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าหาจานตัวนำ

จากทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะพิจารณาต่อไปได้อีกว่าที่ขั้วแม่เหล็ก N เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะมีการเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วแม่เหล็ก N และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสของการเหนี่ยวนำด้านขวามือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก N ที่ขั้วแม่เหล็ก S ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำทางด้านขวานั้นมือจะเสริมแรงกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากสภาวะกระแสเหนี่ยวนำนี้ หาได้จากการใช้กฎมือขวา (Right Hand Rule) ดังนั้นลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15

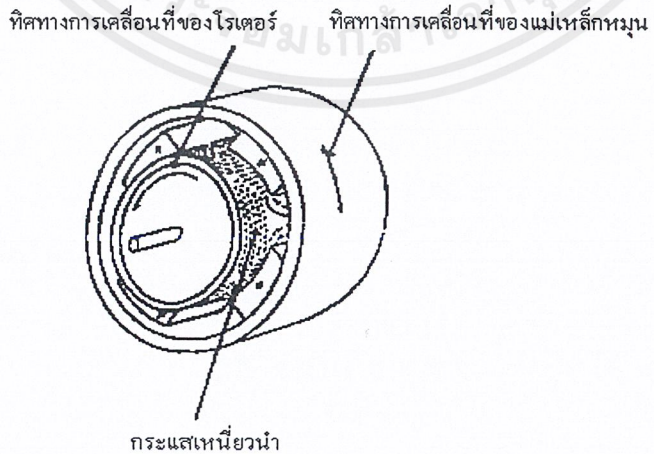
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N

2.3.2 เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก

จากรูปที่ 2.16 ส่วนเคลื่อนที่ ที่แกนตัวนำรูปทรงกระบอกจะอยู่ภายในโครงเหล็กทรงกระบอกที่ขั้วแม่เหล็ก N และ S ยึดติดอยู่ 2 คู่ หรือ 4ขั้วแม่เหล็ก สมมติว่าถ้ากำหนดให้ตัวนำทรงกระบอกอยู่กับที่แล้วให้ขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับโครงเหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาก็เหมือนกับว่า ถ้าให้ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วให้ตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำทรงกระบอกโดยจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่หรือการไหลของกระแสเหนี่ยวนำสามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง จะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบแกนทรงกระบอกเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลออกจากแกนทรงกระบอกผ่านภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ไปยังขอบแกนซ้ายมือด้านนอก



รูปที่ 2.16 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N ทั้งสองขั้วนี้จะมีทิศทางการไหลเหมือนกัน คือ ไหลจากขอบด้านนอกของแกนตัวนำซ้ายมือผ่านภายใต้ขั้ว N ไปสู่ขอบแกนตัวนำขวามือและทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทั้งสองขั้วนี้จะมีลักษณะทิศทางเหมือนกัน คือ ไหลจากขอบแกนตัวนำด้านในขวามือผ่านภายใต้ขั้ว S ออกมาสู่ขอบแกนตัวนำด้านซ้ายมือ เมื่อเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กแล้วจะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่หมุนไปซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่หมุนไปของแกนตัวนำทรงกระบอกนี้สามารถหาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของฟาราเดย์ คือ กางนิ้วหัวแม่มือนิ้วชี้และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อให้นิ้วชี้แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก N หรือ S นิ้วกลางแทนทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N หรือ S แล้วนิ้วหัวแม่มือจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนตัวนำทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ไปดังนั้นจะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกตามรูปที่ 2.16 หมุนทวนเข็มนาฬิกาตามทิศทางของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดให้เคลื่อนที่ไว้ครั้งแรก แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถที่จะทำให้ขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับโครงมอเตอร์เคลื่อนที่ได้ แต่เป็นข้อที่น่าสังเกตก็คือถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางใดขอให้เข้าใจว่าสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงจะต้องเคลื่อนที่ในทิศทางนั้นเสมอ

2.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเพราะมอเตอร์ชนิดนี้ราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อยและมีความเร็วเกือบคงที่คือความเร็วจะลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขับโหลดเต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซนต์ แต่มีข้อเสียคือ

1) ควบคุมความเร็วได้ยาก

2) ขณะที่โหลดน้อยจะทำงานที่ Power Factor ต่ำและล้าหลัง

3) กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน มักจะเป็น 5 เท่า หรือ 7 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ (หรือกระแสไฟฟ้าเต็มพิกัด)

โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ส่วนอยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่หมุน (Rotor) ส่วนอยู่กับที่จะมีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล็อต ส่วนที่หมุนจะมีหน้าที่ในการหมุนแกนซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมี 2 แบบคือ แบบสไควเรลเคจโรเตอร์และแบบวาวด์โรเตอร์

2.4.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสไควเรลเคจโรเตอร์

มอเตอร์แบบนี้มีใช้งานกันแพร่หลายที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานอุตสาหกรรม โดยปกติแล้วมอเตอร์สามเฟสแบบนี้จะทำงานด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตเตอร์ โรเตอร์ และฝาครอบหัวท้าย ซึ่งฝาครอบนี้อาจจัดเข้าเป็นสเตเตอร์ก็ได้ แกนโรเตอร์ (Rotorcore) จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางลามิเนทลักษณะกลมเจาะรูด้านนอกโดยรอบเป็นสล็อตนำมายึดติดกันให้เป็นแกนรูปทรงกระบอกรูสล็อตโดยรอบฝังด้วยตัวนำไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นทองแดงหรือโลหะผสมอลูมิเนียม ในกรณีที่สล็อตฝังด้วยแท่งตัวนำปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำที่โผล่ออกไปที่ด้านทั้งสองของแกนโรเตอร์จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยแหวนตัวนำโดยการเชื่อมให้หลอมละลายติดกันแต่ก่อนใช้วิธีนี้ซึ่งมีปัญหาอย่างมาก คือรอยต่ออาจหลอมละลาย หรือแยกจากกันด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน

ในปัจจุบันนี้ตัวนำที่บรรจุในสล็อตของโรเตอร์จะใช้วิธีหล่อตัวนำไฟฟ้า ซึ่งปกติจะเป็นโลหะผสมหรืออลูมิเนียมเข้าไปด้วยรวมทั้งหล่อแหวนตัวนำเพื่อเชื่อมตัวนำในสล็อตแต่ละด้านของโรเตอร์ด้วย

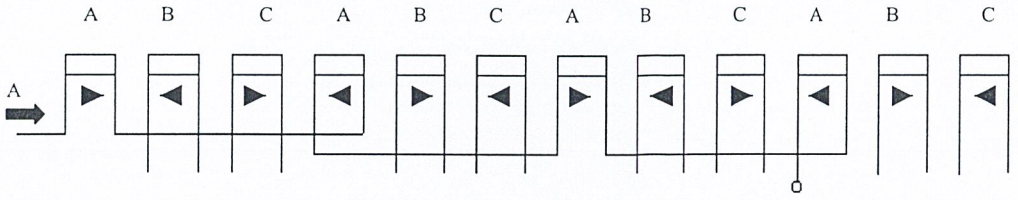
สำหรับสเตเตอร์จะประกอบด้วยโครงเหล็กแกนขดลวด และขดลวด โครงเหล็กนี้จะทำด้วยเหล็กหล่อแต่ถ้าแบบที่ผิวนอกเรียบอาจทำด้วยแผ่นเหล็กเหนียวม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอกแล้วเชื่อมให้ติดกันก็ได้ ส่วนด้านนอกจะมีกล่องต่อสายและขาตั้งซึ่งลักษณะของสเตเตอร์มอเตอร์สามเฟส แกนเหล็กสเตเตอร์หรือแกนขดลวดจะทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทเช่นเดียวกับแกนโรเตอร์ โดยตัดตรงกลางแผ่นลามิเนทออกแล้วเซาะด้านในให้เป็นร่องเกิดโดยรอบที่เรียกว่า “สล็อต” แล้วนำเอาแผ่นลามิเนทเหล่านี้มาอัดยึดติดกัน แล้วทำการพันขดลวดสเตเตอร์

ฝาครอบหัวท้ายของมอเตอร์จะทำด้วยเหล็กหล่อมีรูตรงกลางสำหรับอัดแบริ่งรองรับเพลาให้ติดแน่นทั้งสองข้างที่ฝาครอบนี้จะเจาะให้มีช่องสำหรับการถ่ายเทอากาศด้วย คือเป็นช่องสำหรับให้ลมร้อนออกมาเป็นการช่วยระบายความร้อนของมอเตอร์ด้วย แบริ่งที่อัดติดกับรูตรงกลางของฝาครอบอาจจะเป็นแบบปลอก หรือสลีฟ (Sleeve Bearing) และแบบบอลล์ (Ball Bearing) แต่ส่วนมากจะใช้แบริ่งแบบบอลล์ ลักษณะของฝาครอบดังรูปที่ 2.13

การต่อมอเตอร์สไควเรลเคจสามเฟสใช้งานโดยมอเตอร์สามเฟสนั้นโพลแต่ละโพลจะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด หรือ 3 เฟส คือ เฟส 1 เฟส 2 และเฟส 3 หรือ เฟส A เฟส B และเฟส C การต่อขดลวดมี 2 แบบด้วยกันคือแบบสตาร์หรือวาย (Y) และแบบเดลต้า (Δ) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป โดยจะเริ่มต้นภายหลังจากการพันขดลวดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขดลวดแต่ละเฟสที่ขั้วแม่เหล็กแต่ละโพลนั้นจะมีปลายสาย 2 เส้น คือ ต้นกับปลาย

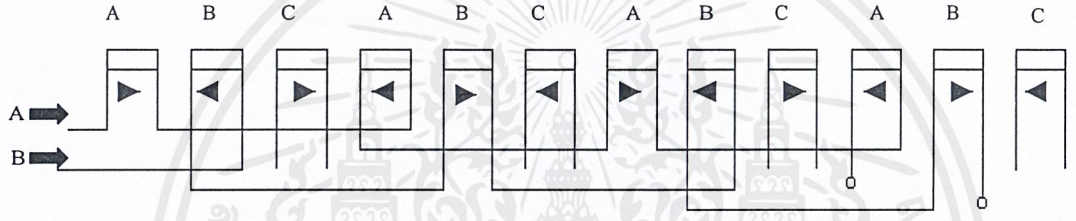
การต่อขดลวดแต่ละเฟสทำได้ดังนี้ คือ เริ่มต้นจากขดลวดเฟส A โดยต่อสายไฟเข้าที่ต้นของเฟส A ที่โพลที่ 1 แล้วต่อปลายสายของเฟส A เข้ากับโพลที่ 1 เข้ากับปลายสายของเฟส A ที่โพลที่ 2 (ทิศทางของกระแสจะไหลสวนทางกัน) ต่อต้นของเฟส A ที่โพลที่ 2 เข้ากับต้นของเฟส A ที่โพลที่ 3 และต่อปลายสายของเฟส A ที่โพลที่ 3 เข้ากับปลายสายของเฟส A ที่โพลที่ 4 ในที่สุดก็จะเหลือต้นกับปลายสายของเฟส A เพียง 2 เส้น ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



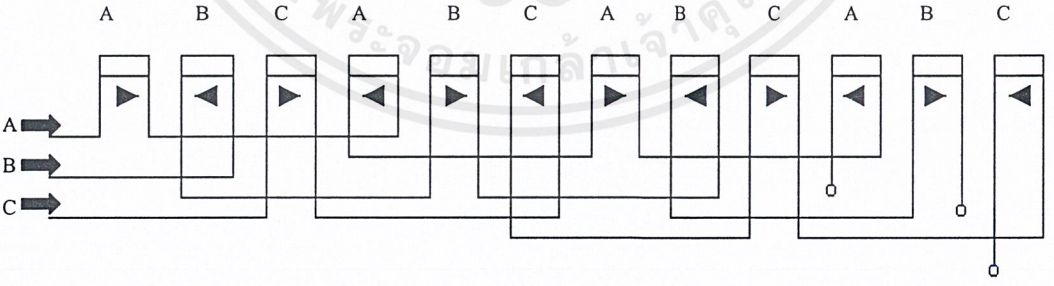
รูปที่ 2.17 การต่อขดลวดเฟส A

การต่อขดลวดเฟส B และเฟส C ก็กระทำในลักษณะเดียวกัน คือ เริ่มต้นที่เฟส B ของโพลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสาย 2 เส้นเช่นเดียวกับเฟส A ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การต่อขดลวดเฟส A และเฟส B

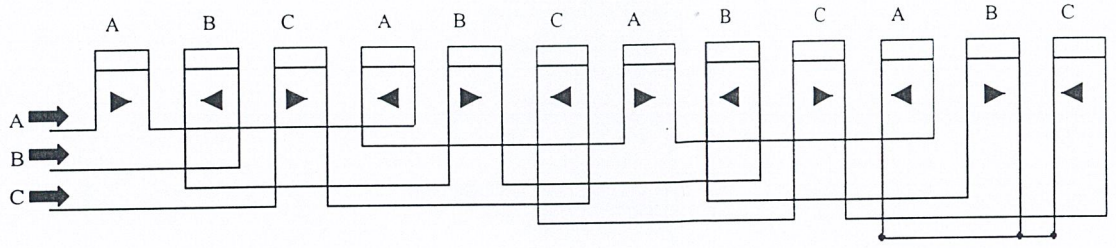
การต่อขดลวดเฟส C ก็เริ่มจากขดลวดเฟส C ที่โฟลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสายเพียง 2 เส้น ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การต่อขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C

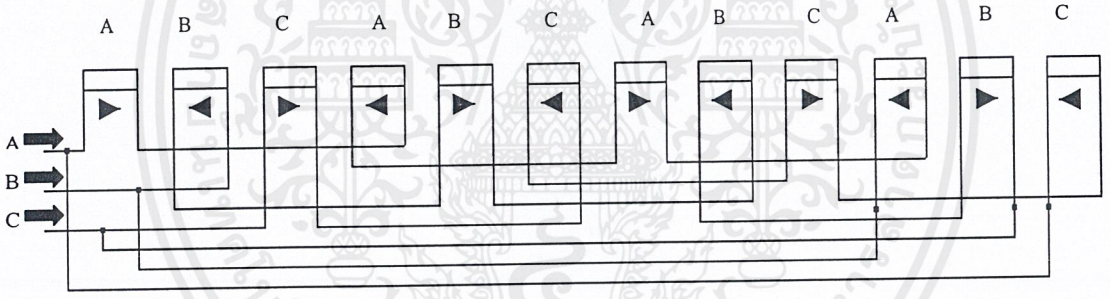
การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเคจใช้งานมี 2 แบบด้วยกัน คือการต่อแบบสตาร์และแบบเดลต้า สำหรับการต่อขดลวดให้เป็นแบบสตาร์นั้นให้นำเอาปลายของขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C ด้านใดด้านหนึ่งมาต่อเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.20 จุดต่อนี้เรียกว่า Star Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสตาร์

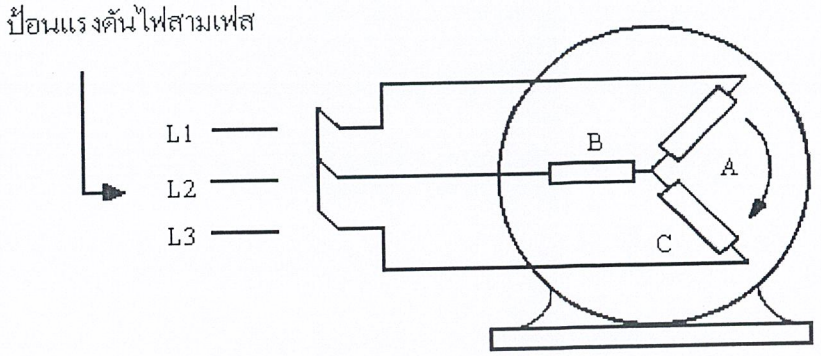
ส่วนการต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้านั้นกระทำได้ดังนี้คือ ให้เอาปลายสายของเฟส A ที่โพลที่4 ต่อเข้ากับต้นของเฟส B ที่โพลที่ 1 และเอาปลายสายที่โพลที่ 4 ของเฟส B ต่อเข้ากับต้นของเฟส C ที่โพลที่ 1 จะได้ขดลวกแบบเดลต้า ดังรูปที่ 2.21 การต่อขดลวดแบบสตาร์ก็เพื่อใช้กับไฟฟ้าแรงดันสูง เช่น แรงดัน 380 โวลต์ และการต่อขดลวดมอเตอร์แบบเดลต้าก็เพื่อใช้กับไฟฟ้าแรงดันต่ำ เช่น 220 โวลต์



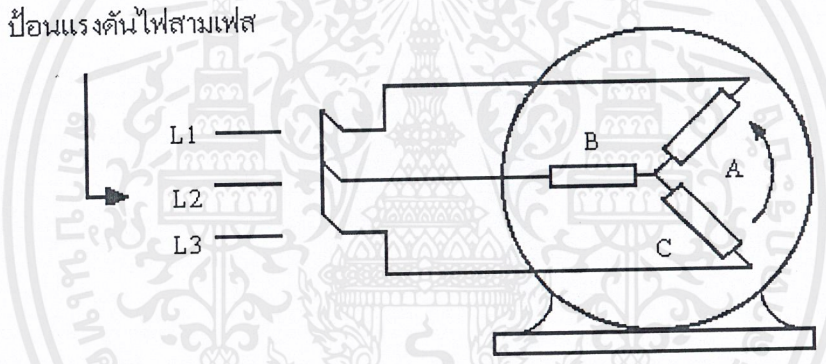
รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดสามเฟสแบบเดลต้า

ในการต่อสายมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทางนั้น กระทำได้ง่ายๆ ดังนี้คือ ถ้าแต่เดิมต่อปลายสายของขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C เข้ากับแรงดันไฟฟ้า เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ มอเตอร์ตัวนั้นจะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง การที่จะกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส B หรือจะสลับปลายสายของขดลวดเฟส B กับเฟส C หรือสลับปลายสายของขดลวดเฟส C กับเฟส A เพียงคู่ใดคู่หนึ่ง มอเตอร์ก็จะหมุนกลับทาง ไม่ควรต่อสลับปลายสายพร้อมกันทั้งสามปลายในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางเดิมอีก การต่อปลายสายมอเตอร์สามเฟสสมมติว่าให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ต่อตามรูปที่ 2.22 และเมื่อต้องการต่อมอเตอร์สามเฟสให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็ต่อตามรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในทิศทางหนึ่ง



รูปที่ 2.23 วิธีต่อปลายสายมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงข้ามกับรูปที่ 2.22

2.4.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

มอเตอร์แบบนี้จะมีใช้เฉพาะบางงานเท่านั้น โดยสามารถปรับความเร็วได้ง่ายและสะดวก ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์แบบสไควเรลเคจที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เสมอ มอเตอร์แบบนี้มีส่วนประกอบเหมือนมอเตอร์แบบสไควเรลเคจ คือประกอบด้วยสเตเตอร์ โรเตอร์และฝาครอบ โดยส่วนสเตเตอร์และฝาครอบจะเหมือนมอเตอร์แบบสไควเรลเคจทุกประการ ไม่ว่าจะเป็นการพันขดลวดหรือ การต่อขดลวด ดังนั้นจะไม่กล่าวรายละเอียดเพิ่มเติมอีก ส่วนที่แตกต่างกันคือ โรเตอร์ โรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์นี้จะทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทเจาะรู เป็นสล็อตและมีรูสำหรับการระบายความร้อนแล้วนำแผ่นลามิเนทแต่ละแผ่นมาอัดเข้าด้วยกันเป็นแกนโรเตอร์เช่นเดียวกับแกนโรเตอร์ของมอเตอร์แบบสไควเรลเคจทุกประการ ที่แตกต่างกันจริงๆ ก็เฉพาะตรงขดลวดที่พันลงในสล็อตของโรเตอร์ จะพันด้วยเส้นลวดทองแดงกลมหรือแบนซึ่งแล้วแต่การออกแบบโดยพันให้แต่ละเฟสห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าและพันให้มีจำนวนโพลเท่ากับจำนวนโพลที่สเตเตอร์ทุกประการด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพันขดลวดลงในสล็อตโรเตอร์เสร็จแล้วจะต่อขดลวดเป็นแบบสตาร์ให้เหลือปลายสายต่อเข้ากับสลิป ริงเพียง 3 ปลายเท่านั้น สลิปริงที่ยึดติดอยู่กับเพลาโรเตอร์นี้แต่ละตัวจะมีฉนวนรองรับเพื่อไม่ให้ติดต่อกันทางไฟฟ้า ที่สลิปริงจะมีแปรงถ่าน (Carbon Brushes) วางสัมผัสอยู่ในซองของแปรงถ่านและมีสปริงกดให้สัมผัสแน่นตลอดเวลาด้วย จากแปรงถ่านนี้จะต่อสายออกไปภายนอกเพื่อต่อเข้ากับความต้านทานเพื่อควบคุมความเร็วต่อไป

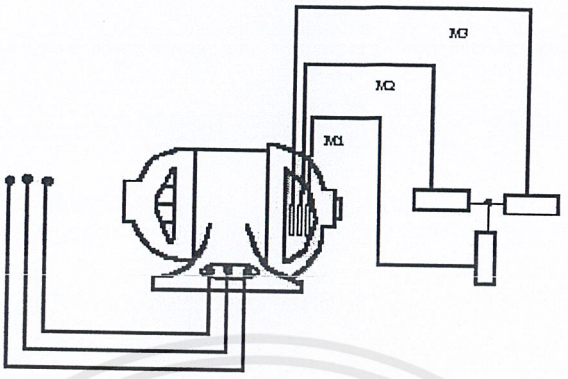
มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์มีหลักการทำงาน คือ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นมา และมีความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส ความเร็วซิงโครนัสนี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนโพลของมอเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจะยุบตัวและขยายตัวตัดกับขดลวดที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำด้วย กระแสเหนี่ยวนำนี้จะไหลผ่านสลิปริงผ่านความต้านทานภายนอกที่ต่อร่วมกับขดลวดโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มสตาร์ตและปรับความเร็ว

ขณะเริ่มเดินความต้านทานภายนอกจะต่อแบบสตาร์ ความต้านทานที่นำต่อเข้าไปร่วมกับขดลวดโรเตอร์จะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มต้นดีขึ้นและเป็นผลทำให้อิมพีแดนซ์ของโรเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย กระแสโรเตอร์ก็จะลดลง แต่กระแสเกือบที่จะมีเฟสเดียวกันกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ และเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์จึงเป็นผลทำให้แรงบิดตอนสตาร์ตสูงขึ้น

เมื่อความเร็วมอเตอร์สูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆ ทำการลดความต้านทานภายนอกอออกจากวงจรของขดลวดโรเตอร์ เมื่อลดความต้านทานภายนอกออกหมด สลิปริงจะต่อตัวลัดวงจรที่จุดต่อสตาร์ของความต้านทานภายนอก ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัดถ้าต้องการปรับความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ก็ให้เพิ่มความต้านทาน หรือลดความต้านทานภายนอกเข้ากับวงจรของขดลวดโรเตอร์ ปกติแล้วจะปรับความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วพิกัด

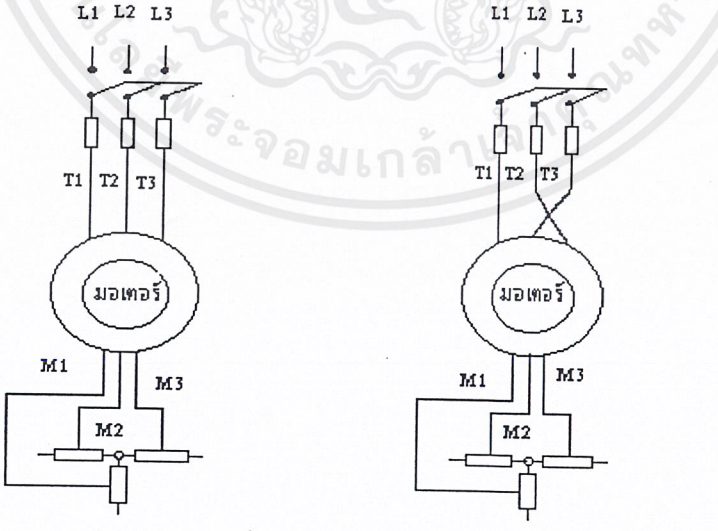
การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์เพื่อใช้งาน ใช้วิธีการต่อขดลวดสเตเตอร์เริ่มต้นตั้งแต่การต่อกลุ่มคอยล์ (Coil Group) หรือต่อขดลวดแต่ละชุดหรือแต่ละเฟสภายในแต่ละโพล การต่อขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์การต่อขดลวดเป็นแบบสตาร์หรือเดลต้าทำได้เช่นเดียวกับมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเคจ ในการต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ต่อได้ตามรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

สำหรับการต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทางก็ทำได้เช่นเดียวกับมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเคจ กล่าวคือ ให้สลับปลายสายที่ต่อเข้ากับส่วนขดลวดสเตเตอร์เพียงคู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น ดังรูปที่ 2.25 ในรูปที่ 2.25 (ก) เป็นการต่อมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางหนึ่ง และรูปที่ 2.25 (ข) เป็นการต่อมอเตอร์ให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงกันข้าม แต่ถ้าต่อปลายสายที่โรเตอร์ให้สลับกัน มอเตอร์จะไม่หมุนกลับทางแต่อย่างใด



(ก) มอเตอร์หมุนทิศทางหนึ่ง (ข) มอเตอร์หมุนอีกทิศทางหนึ่ง

รูปที่ 2.25 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำ

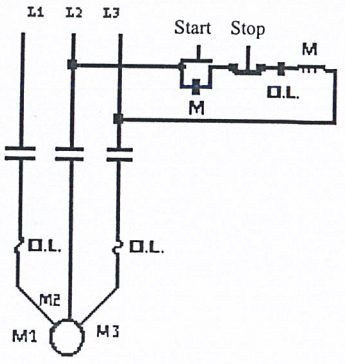
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เรียกว่าอินดั๊กชั่นมอเตอร์ก็เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า นั่นก็คือโรเตอร์ทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ จะต่างกันเพียงนิดเดียวคือโรเตอร์ของมอเตอร์จะเชื่อมครบวงจรแบบลัดวงจรตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อป้อนไฟสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์แล้วกระแสอินพุตของขดลวดสเตเตอร์(ขดลวดปฐมภูมิ) จะสูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงมอเตอร์สตาร์ต เนื่องจากในช่วงสตาร์ตนี้ยังไม่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับเกิดต้านกลับแรงดันป้อน กระแสในช่วงสตาร์ตของอินดั๊กชั่นมอเตอร์จะมีค่าประมาณ 5 - 7 เท่าของกระแสเมื่อมอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด แต่แรงบิดในช่วงนี้จะมีค่าประมาณ 1.5 – 2.5 เท่าของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงในชั่วขณะนี้ จะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟลด (Drop) ในสาย อันจะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่ต่อร่วมในวงจรเดียวกัน ดังนั้นมอเตอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 30 แรงม้าขึ้นไปจึงไม่ควรที่จะต่อสตาร์ตโดยตรง

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถที่จะแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มความต้านทานให้กับวงจรโรเตอร์ ซึ่งกรณีนี้สามารถใช้กับมอเตอร์สามเฟสแบบสลิปริงได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์แบบสไควเรลเคจได้ อย่างไรก็ตามวิธีการลดกระแสสตาร์ตก็สามารถทำได้โดยการลดแรงดันป้อนของสเตเตอร์ในช่วงสมาร์ต เมื่อมอเตอร์ทำงานแล้วจึงเพิ่มแรงดันให้มีค่าตามพิกัดกำหนด

2.5.1 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสไควเรลเคจ

1) วิธีสตาร์ตโดยตรง (Direct Start หรือ On Line Start)

วิธีนี้มักจะใช้กับมอเตอร์แรงม้าต่ำ ๆ คือขนาดไม่เกิน 30 แรงม้า ดังได้กล่าวไว้แล้วว่ากระแสสตาร์ตจะมีค่าสูงมาก ประมาณ 5 - 7 เท่า ของกระแสเต็มพิกัด แต่แรงบิดต่ำมากคือเพียง 1.5 - 2.5 เท่าของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น วงจรสตาร์ตโดยตรงเป็นดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรสตาร์ตโดยตรง

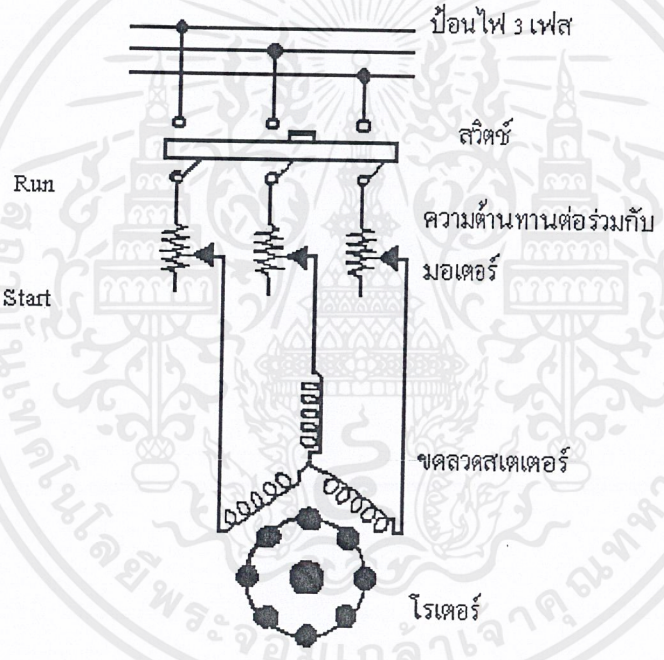
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีสตาร์ตโดยลดแรงดันป้อน (Reduce Voltage Start)

วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบลดแรงดันป้อนมีหลายวิธีด้วยกันดังนี้

ก) ต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์ (Primary Resistor or Rheostat)

การต่อวิธีนี้เพื่อที่จะลดแรงดันป้อนในช่วงสตาร์ตให้ต่ำลง โดยที่กระแสไฟฟ้าในช่วงสตาร์ตก็จะลดลงด้วยเนื่องจากกระแสจะแปรผันโดยตรงกับแรงดัน และแรงบิดแปรผันกับแรงดันกำลังสองมมติว่าถ้าลดแรงดันป้อนลดลง 50% กระแสก็จะลดลงด้วย 50% แต่แรงบิดสตาร์ตจะลดลงเพียง 25% ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด เมื่อมอเตอร์ทำงาน และมีความเร็วสูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆ ลดความต้านทานออกจากวงจรขดลวดสเตเตอร์ วงจร สตาร์ตแบบนี้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรสตาร์ตลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์

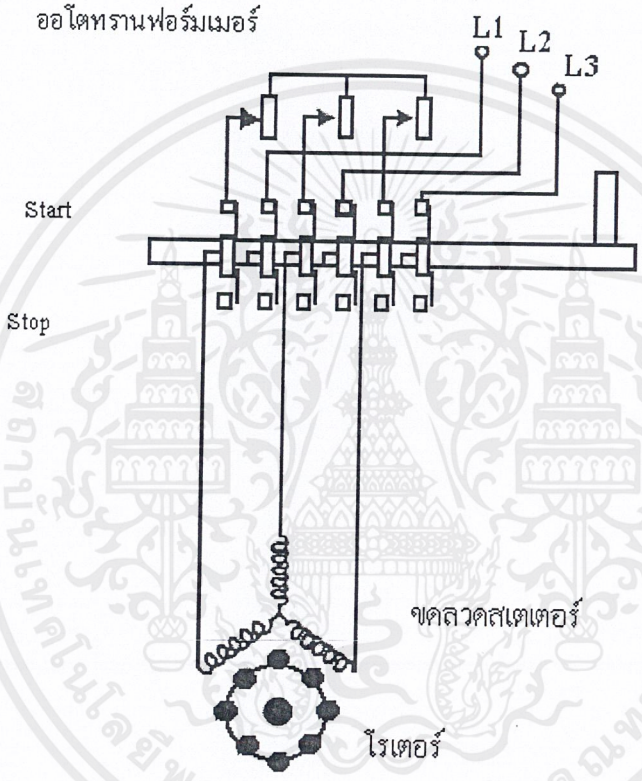
ข) วิธีต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ (Auto – Transformer)

วิธีสตาร์ตมอเตอร์แบบนี้บางทีเรียกว่า ออโต – สตาร์ตเตอร์ (Auto – Starter) หรือเรียกว่าคอมเพนเซเตอร์ (Compensator) ซึ่งจะประกอบด้วย ออโต – ทรานส์ฟอร์เมอร์ และสวิตช์อัตโนมัติ ตามรูปใช้ออโต – ทรานส์ฟอร์เมอร์ หนึ่งเฟส 3 ตัว หรือออโต – ทรานส์ฟอร์เมอร์ สามเฟส 1 ตัว เมื่อเริ่มสตาร์ตจะสับสวิตช์ไปยังตำแหน่งสตาร์ต (Start) จะสังเกตเห็นว่าแรงดันป้อนมอเตอร์จะมีค่าลดลงเพียง XV เท่านั้น เมื่อมอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้นประมาณ 80% ของความเร็วเต็มพิกัดแล้วจึงสับสวิตช์ไปยังตำแหน่งรัน (Run) ขณะนี้แรงดันป้อนมอเตอร์จะค่าเต็มพิกัดคือ V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ที่ใช้ ถ้าใช้กับมอเตอร์แรงม้าต่ำจะใช้ชนิด Air Break แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดแรงม้าสูงจะใช้สวิตช์ชนิด Oil – Immersed ทั้งนี้เพื่อลดการสปาร์ค (Spark) ที่หน้าสัมผัส

วิธีสตาร์ตแบบนี้จะออกแบบให้มีรอยต่อ (Tap) ที่หม้อแปลงเป็น 3 ขนาดด้วยกันคือ 80, 65 และ 50 เปอร์เซนต์ของแรงดันป้อนเต็มพิกัด เพื่อให้สามารถทำการเลือกแรงดันสตาร์ตได้อย่างเหมาะสม วงจรสตาร์ตเป็นดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 วงจรสตาร์ตมอเตอร์แบบต่อออโต – ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับกับมอเตอร์

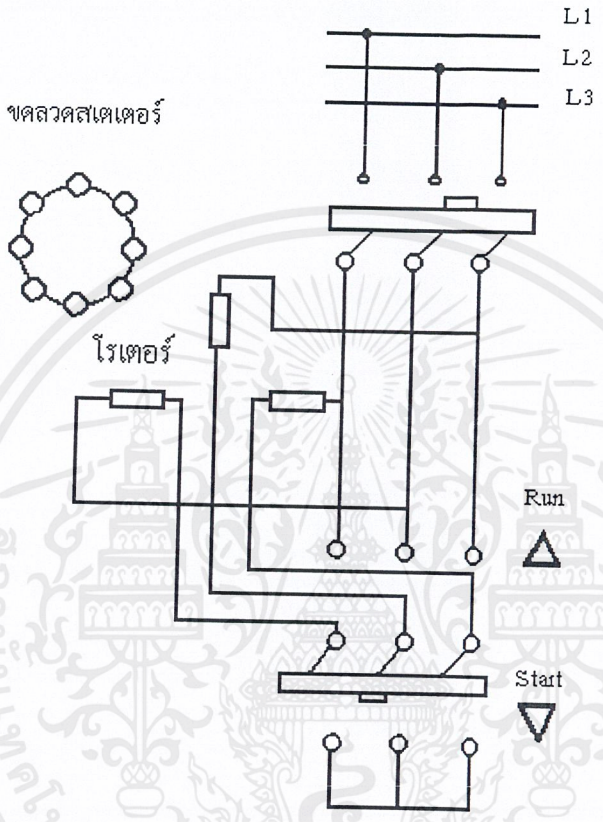
ค) วิธีสตาร์ตแบบสตาร์เดลต้า (Star – Delta Starter)

วิธีแบบนี้จะใช้กับมอเตอร์สามเฟสที่มีขดลวดสเตเตอร์ที่ต่อให้ทำงานได้แบบเดลต้าเท่านั้น วงจรสตาร์ตจะประกอบด้วยสวิตช์ชนิด 2 ทาง แบบ TPDT โดยที่สวิตช์นี้จะต่ออยู่กับตัวขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ในตอนสตาร์ต และต่อขดลวดแบบเดลต้าเมื่อมอเตอร์ทำงานปกติ

ขณะที่สตาร์ต ขดลวดจะต่อแบบสตาร์นั้น แรงดันป้อนขดลวดแต่ละชุดจะมีค่า 1/3 ของแรงดันปกติ แต่แรงบิดสตาร์ตจะมีค่าเพียง 1/3 ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด คือเมื่อมอเตอร์ต่อแบบเดลต้า และทำงานที่แรงดันเต็มพิกัด กระแสสตาร์ตจะลดลงในสัดส่วนเดียวกับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนขณะสตาร์ต คือลดลง 1/3 ของกระแสโหลดเต็มพิกัด วิธีสตาร์ตมอเตอร์แบบนี้มีราคาถูก และการควบคุมทำได้ง่ายและสะดวก วงจรสตาร์ตดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 วงจรสตาร์ตแบบสตาร์ – เดลต้า

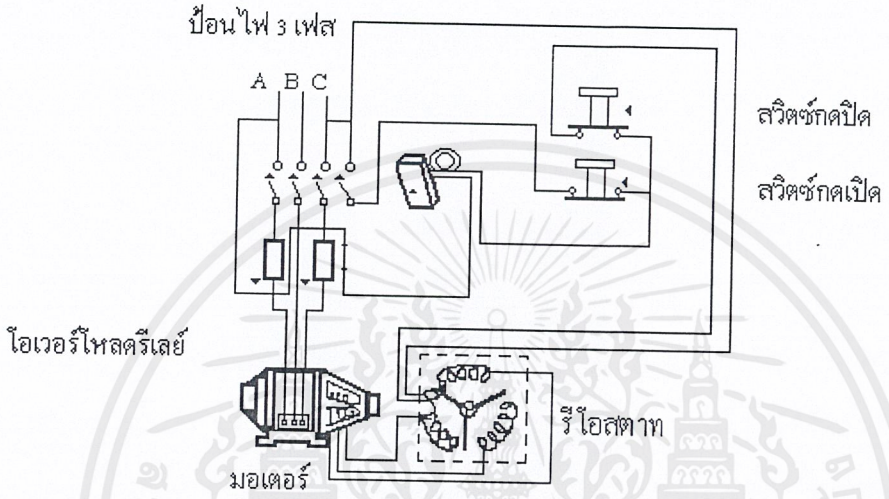
2.5.2 วิธีสตาร์ตมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์

มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์หรือสลิปริงมอเตอร์นี้ มักจะสตาร์ตด้วยแรงดันเต็มพิกัดคือป้อนแรงดันตามพิกัดให้กับขดลวดสเตเตอร์เลย กระแสไฟฟ้าในตอนสตาร์ตจะถูกปรับให้ลดลงโดยการต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้เข้ากับวงจรโรเตอร์ ความต้านทานที่ปรับค่าได้ หรือที่เรียกว่า "รีโอสตาท" จะต่อร่วมกับโรเตอร์ด้วยการต่อแบบสตาร์ ขณะสตาร์ตจะปรับความต้านทานให้มีค่าสูงๆ ร่วมในวงจรโรเตอร์ แต่พอความเร็วสูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆ ลดความต้านทานลง จนกระทั่งตัดออกหมด และต่อลัดวงจรโรเตอร์เหมือนกับรูปที่ 2.24 และ 2.25

การเพิ่มความต้านทานเข้าไปในโรเตอร์นั้นไม่เพียงแต่ทำให้กระแสสตาร์ตลดลงเท่านั้น ยังทำให้แรงบิดสตาร์ตสูงขึ้นด้วยเนื่องจากพาวเวอร์แฟคเตอร์ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีโอสตาทที่ต่อร่วมกับโรเตอร์อาจจะชนิดปรับความต้านทานได้เป็นขั้นๆ หรือเป็นแบบปรับค่าได้อย่างต่อเนื่องก็ได้ และอาจจะเป็นแบบบังคับด้วยมือหรือแบบทำงานอัตโนมัติก็ได้ซึ่งการสตาร์ต มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์มีวงจรแสดงดังรูปที่ 2.30

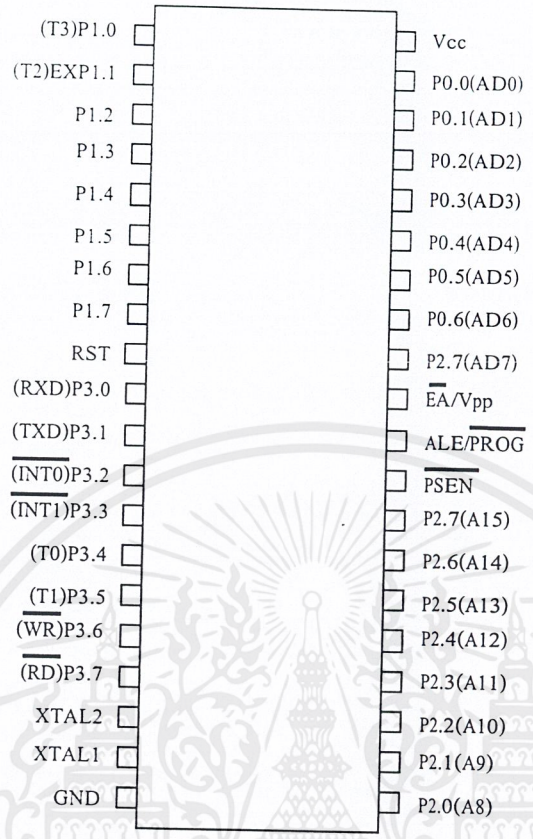


รูปที่ 2.30 วงจรสตาร์ตสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง

2.6 หลักการและโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C52

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบภายในหลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ตัวตั้ง/ตัวนับเวลา อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมการมีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายใน ทำให้การใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยไม่ต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกมากมายเหมือนกันกับอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้หากต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น IC เบอร์ 8255 หรือหน่วยความจำภายนอก สามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย และในรูปที่2.31 แสดงตำแหน่งและหน้าที่ต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ตำแหน่งและหน้าที่ขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C52

2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52

เป็นชิปขนาด 40 ขามีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่าง ดังนี้

1) มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิดแฟลชเมโมรี (Flash Memory) หรือชนิดที่เขียนและลบได้ เร็ว ขนาด 8 กิโลไบต์ ทนต่อการเขียนและลบได้ 1,000 ครั้งและคงค่าข้อมูลไว้ได้ 10 ปี

2) ทำงานที่สัญญาณนาฬิกา 0 - 24 เมกะเฮิร์ทซ์

3) ป้องกันการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory Lock) ได้ ระดับ

4) มีหน่วยความจำแรม (RAM) ภายในตัวชิป 256 ไบต์

5) มีขาอินพุต/เอาต์พุต ที่สามารถโปรแกรมได้จำนวน 32 ขา

6) มีตัวตั้ง/ตัวนับเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 3 ตัว

7) สามารถรับการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) ได้ 8 แหล่ง

8) มีช่องรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่สามารถโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C52

โครงสร้างภายในพื้นฐานจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ซึ่งขาสัญญาณต่างๆ จะมีหน้าที่และการใช้งานดังนี้

Vcc สำหรับต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์

GND สำหรับต่อกราวน์

XTAL1 เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณ แบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

XTAL2 เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

RST สัญญาณรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซตเมื่อสัญญาณนี้ลอจิกเป็น "1"

$\overline{\text{ALE/PROG}}$ เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกไปเป็นพัลส์เพื่อทำการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำที่พอร์ต P0 ขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่ คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้สัญญาณนี้จะถูกข้ามไป 1 พัลส์ เมื่อมีกาติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก และสัญญาณนี้จะใช้เป็นอินพุตควบคุมการโปรแกรมอีพรอมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

$\overline{\text{PSEN}}$ เป็นเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณสโตรป (พัลส์ต่ำ) เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก เมื่อ CPU อ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก จะส่งสัญญาณสโตรปออกมา 2 ครั้ง ใน 1 พัลส์ สัญญาณนาฬิกา แต่สัญญาณสโตรปทั้ง 2 ครั้ง จะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงที่ CPU ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

$\overline{\text{EA}}$ / Vpp เป็นสัญญาณอินพุตใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมหรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากใช้ลอจิก "1" ที่ขานี้ จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำที่มีอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการใช้CPUติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ต้องทำการต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก "0" หรือต่อเข้าที่ GND ในกรณีของการที่จะโปรแกรมของอีพรอม ที่ภายในของชุดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อขานี้เข้ากับแรงดันไฟ 12.75 โวลต์

P0.0 - P0.7 เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทางแบบ Open Drain ขนาด 8 บิต เมื่อจะใช้เป็นเอาต์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก "1" ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้มีความต้านทานสูง (High Impedance Input) นอกจากนี้พอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นมัลติเพล็กส์ของสัญญาณแอดเดรสด้านต่ำและสัญญาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีตัวต้านทานพูลอัพ (Pull Up) คร่อมที่ไฟบวกกับขาของพอร์ตอยู่ภายใน ที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจากสองหน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรมอีพรอม ซึ่งต้องใช้การพูลอัพจากภายนอกขณะทำการตรวจสอบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P1.0 - P1.7 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเป็นเอาต์พุตสามารถต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งลอจิก "1" ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น "0" เข้ามา จะทำให้พอร์ตจ่ายกระแสออก เนื่องจากมีการพูลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังสามารถทำหน้าที่รับแอดเดรสด้านต่ำ ในช่วงการเขียนโปรแกรมอีพรอม และช่วงในการทดสอบการเขียนโปรแกรมอีพรอม อีกด้วย

P2.0 - P2.7 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเป็นเอาต์พุตจะติดต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก "1" ออกไปที่พอร์ตก่อน เพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน หากสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น "0" จะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออก เนื่องจากการพูลอัพภายในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำ ข้อมูลภายนอกที่การอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งแอดเดรสไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายใน ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้การอ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต สัญญาณที่ขาพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับ P2 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะ (SFR) นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูง ในช่วงของการโปรแกรมอีพรอม และการตรวจสอบโปรแกรมในอีพรอม อีกด้วย

P3.0 - P3.7 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเป็นเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุตต้องส่งค่าของลอจิก "1" ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน หากสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น "0" จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออก เนื่องจากการพูลอัพภายใน นอกจากนี้พอร์ต P3 ยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอื่นๆ อีก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อต้องการให้พอร์ต P3 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณต่างๆ จะต้องเริ่มด้วยการสั่งค่าลอจิก "1" ออกไปที่แลตช์ที่พอร์ต P3 ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 หน้าที่อื่นๆของพอร์ต P3 ในเบอร์ AT89C52

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
P3.0	RXD	อินพุตของพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	เอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 0
P3.3	INT1	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 1
P3.4	T0	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 0
P3.5	T1	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 1
P3.6	WR	สัญญาณการเขียนข้อมูลออกไปภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณการอ่านข้อมูลจากภายนอกเข้ามา

2.7 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

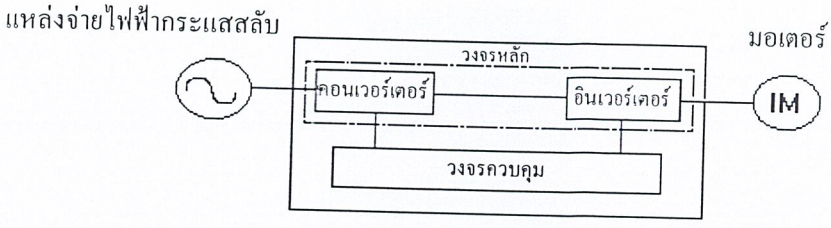
จะกล่าวถึงการทำงานของวงจรภายในอินเวอร์เตอร์ ที่สามารถสร้างความถี่ และแรงดันขนาดต่างๆ มาขับมอเตอร์เพื่อให้หมุนด้วยความเร็วต่างๆ

อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์แปลงไฟชนิดหนึ่งที่แปลงไฟสลับที่มีความถี่และแรงดันคงที่ไปเป็นไฟสลับที่มีความถี่และแรงดันขนาดต่างๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งจ่ายไฟสลับทั่วไปที่มีรูปคลื่นซายน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปซายน์

2.7.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.32 แสดงโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ (50 Hz หรือ 60 Hz) ไฟสลับนี้จะถูกแปลงเป็นไฟตรง โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นจะถูกแปลงเป็นไฟสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นส่วนวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นและผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนั้นยังมีวงจรควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้งสองส่วนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (Generral Purpose Inverter) จะประกอบไปด้วยส่วนของคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกันเสมอ

คอนเวอร์เตอร์นั้นมีหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงเป็นอุปกรณ์แปลงไฟชนิดหนึ่ง ส่วนอินเวอร์เตอร์ก็ใช้องค์ประกอบวงจรที่ต่างกัน และมีการทำงานที่ต่างกันซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป

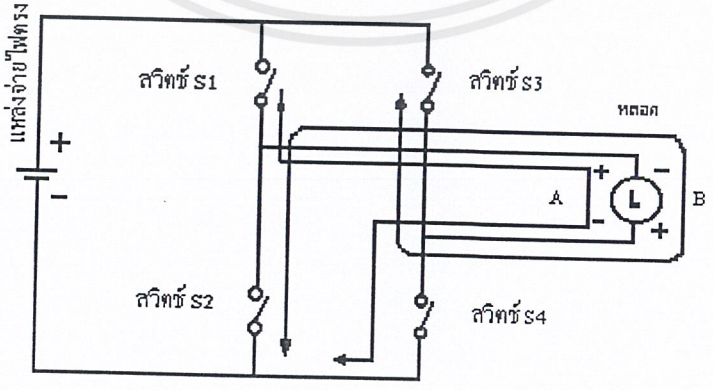
2.8.2 หลักการทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์

1) วิธีการสร้างไฟสลับจากไฟตรง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตไฟสลับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง การทำความเข้าใจกับหลักการของอินเวอร์เตอร์ก็ควรเริ่มจากวงจรสร้างไฟสลับเฟสเดียวก่อน

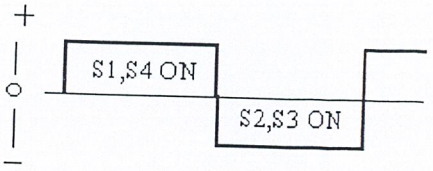
รูปที่ 2.33 อธิบายหลักการเปลี่ยนไฟตรงเป็นไฟสลับ โดยเปลี่ยนโหลดจากมอเตอร์เป็นหลอดไฟเพื่อให้เข้าใจง่าย

สวิตช์ 4 ตัว S_1 S_2 S_3 และ S_4 ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรงและโหลด จะเปิด – ปิดสลับกันเป็นจังหวะเพื่อสร้างไฟสลับจ่ายให้หลอดไฟ ตามรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.33 วิธีการสร้างไฟสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



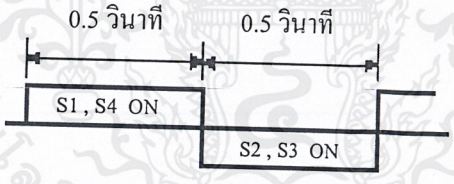
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นกระแส

- เมื่อสวิตช์ S_1 และ S_4 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามทิศทาง A
- เมื่อสวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามทิศทาง B

ดังนั้นถ้าให้สวิตช์ S_1 และ S_4 เปิดปิดสลับกับสวิตช์ S_2 และ S_3 ก็จะทำให้กระแสที่ไหลไปที่หลอดกลับทิศทางกันสลับไปมาเป็นไฟสลับนั่นเอง

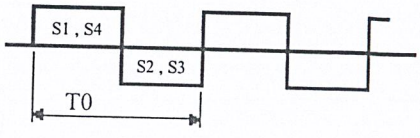
2) วิธีการแปรความถี่

ถ้าควบคุมเวลาที่เปิดปิดสวิตช์ S_1- S_4 ได้ ก็สามารถแปรความถี่ของไฟสลับได้ ตัวอย่างเช่น ให้สวิตช์ S_1 และ S_4 ปิด 0.5 วินาที ต่อมาสวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด 0.5 วินาที และทำการปิดเปิดสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นใน 1 วินาที ไฟสลับจะวิ่งไปกลับครบ 1 รอบ หรือ ไซเคิล ไฟสลับนี้จึงมีความถี่ 1Hz นั่นเอง



รูปที่ 2.35 รูปไฟสลับความถี่ 1 Hz

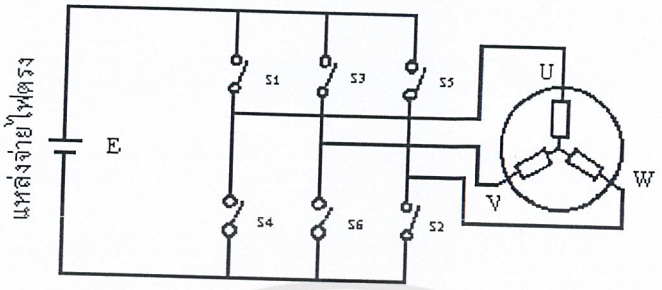
โดยทั่วไปช่วงเวลาที่ S_1 S_4 และ S_2 S_3 ปิดจะเท่ากัน เมื่อรวมเวลาที่สวิตช์ทั้งชุดปิด เท่ากับ T_0 วินาที เป็นหนึ่งไซเคิลความถี่จะเท่ากับ



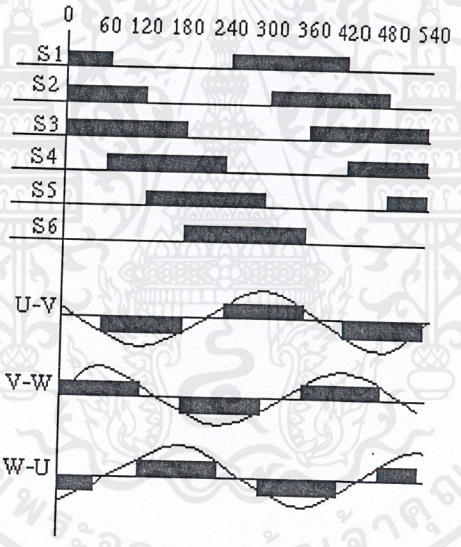
รูปที่ 2.36 ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรณีของไฟสามเฟส



รูปที่ 2.37 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน



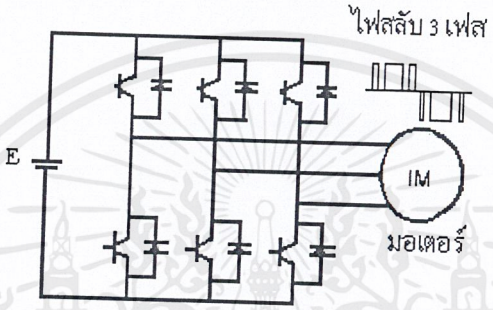
รูปที่ 2.38 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส

ถ้าให้สวิตช์ S_1 ถึง S_6 ในวงจรเปิดปิด ตามจังหวะที่แสดงในรูปที่ 2.38 แล้วก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้ว U-V, V-W และ W-U ของมอเตอร์ ตามรูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.38 รูปคลื่นของกระแสนี้จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีช่วงกว้างและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเปลี่ยนช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตช์เหล่านี้ก็จะทำให้ความถี่ของไฟสลับเปลี่ยนไปได้ และถ้าเปลี่ยนแรงดันของแหล่งจ่ายไฟตรงก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โครงสร้างส่วนที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ทั้ง 6 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.39 เมื่อทำการต่อเอาต์พุตเข้ากับมอเตอร์ 3 เฟส และควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ ON-OFF ตามจังหวะในรูปที่ 2.38 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้และถ้าเปลี่ยนวงจรลำดับการ ON-OFF ของทรานซิสเตอร์ก็จะสามารถบังคับให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้



รูปที่ 2.39 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

5) การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์มี 3 ขา คือคอลเลคเตอร์ (C) อิมิตเตอร์ (E) และเบส (B) ทรานซิสเตอร์ที่เป็น IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) จะมีขาเกต (G) แทนขาเบส เมื่อไม่จ่ายกระแสให้ขาเบส ระหว่างขั้ว C และขั้ว E จะไม่นำกระแส มีสถานะเหมือนกับสวิตช์เปิด (OFF) แต่ถ้าจ่ายกระแสให้ขาเบส กระแสจะไหลระหว่างขั้ว C และ E ซึ่งเหมือนกับสวิตช์ปิด (ON) นั่นเอง การ ON-OFF ของทรานซิสเตอร์สามารถทำได้เร็วกว่าสวิตช์มาก

6) วิธีการเปลี่ยนขนาดแรงดัน

เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นอกจากการแปรความถี่เพื่อปรับความเร็วมอเตอร์แล้วยังต้องแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไปเพื่อรักษาอัตราส่วน V/f ให้คงที่ การแปรขนาดแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันมากในอินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไปคือ วิธีการแปรรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์ การแปรรูปคลื่นแรงดันนี้ก็ยังมีหลายวิธี ดังนี้

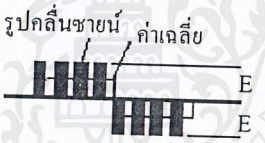
- รูปคลื่นแรงดัน แปรรูปคลื่นแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามอเตอร์
- วิธี PAM แปรขนาดของแรงดันไฟตรง
- วิธี PWM แปรความกว้างของพัลส์ที่เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธี PWM ที่ทำให้แรงดันเป็นรูปซายน์ ควบคุมความกว้างของพัลส์ให้แรงดันเฉลี่ยมีรูปคลื่นเป็นรูปซายน์

การแปรด้วยวิธีการต่างๆ นี้ จะมีผลต่อลักษณะสมบัติการควบคุมมอเตอร์ เช่น การสั่นสะเทือน สัญญาณรบกวน การกระเพื่อมหรือริปเปิล(Ripple) ของแรงบิดและกระแส

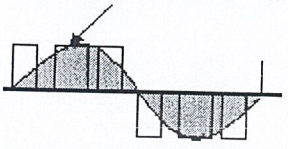
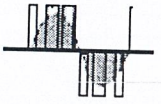
ตารางที่ 2.2 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์

วิธีควบคุม	ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ)	ความถี่สูง (แรงดันสูง)	
วิธี PAM PULSE AMPLITUDE MODULATION			เสียงมอเตอร์เบา ประสิทธิภาพดี ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ได้ ผลตอบสนองช้า
วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION			ส่วนของอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์
วิธี PWM ทำให้แรงดันเป็นรูปซายน์			เดินมอเตอร์ได้เรียบที่ความเร็วต่ำ ฮาร์โมนิคความถี่ต่ำ มีขนาดเล็ก

วิธี PWM นั้นจะต้องกำเนิดพัลส์ที่ ON-OFF หลายครั้งในหนึ่งไซเคิล ความกว้างของแต่ละพัลส์จะไม่เท่ากัน เพื่อให้แรงดันเฉลี่ยมีรูปคลื่นซายน์ จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นใน 1 วินาที เรียกว่า "ความถี่แคเรียร์ (Carrier Frequency)" การควบคุมแรงดันด้วยวิธี PWM นี้ จะทำให้เกิดการสั่นที่มอเตอร์และเสียงรบกวนซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับความถี่แคเรียร์นี้

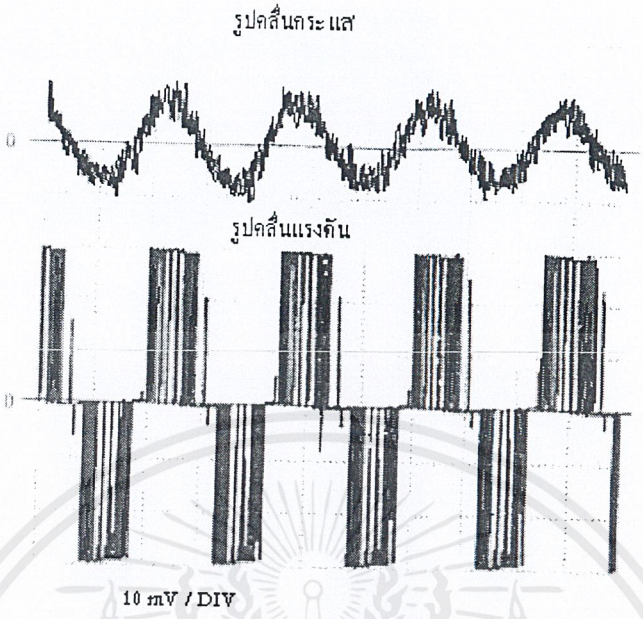
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 วิธีการควบคุมแคเรียร์

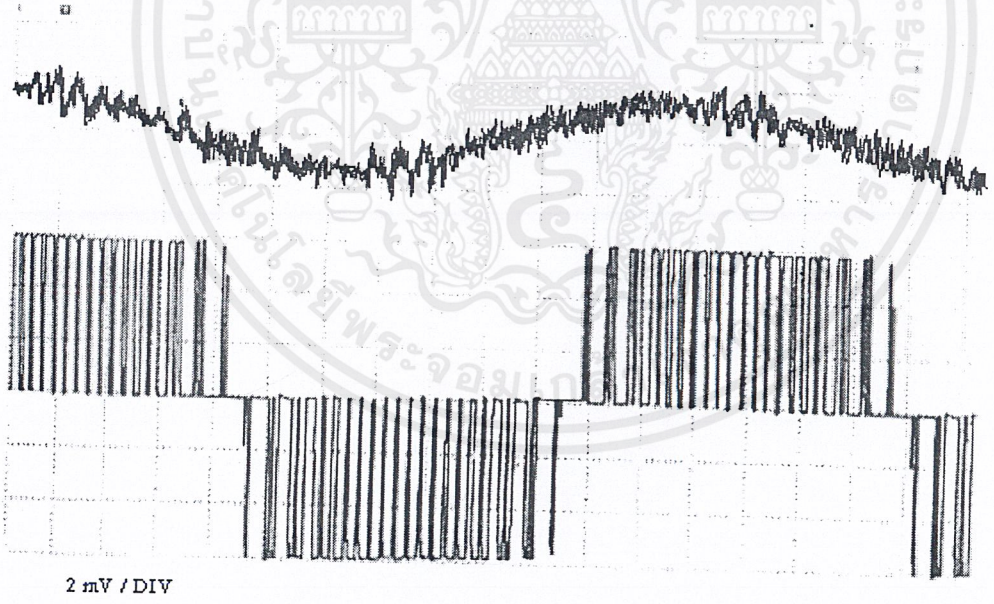
รูปแบบการควบคุม		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง	จุดเด่น
แบบ ซิงโครนัส	ความถี่แคเรียร์ แปรผันตาม ความถี่ขาออก	N = จำนวนเท่าของความถี่ขาออก 		สามารถควบคุม ฮาร์โมนิคได้ แรงดันขาออกสูงสุด เกือบเท่าแรงดัน ของแหล่งจ่ายไฟ
แบบ อะซิงโครนัส	ความถี่แคเรียร์คงที่ ไม่สัมพันธ์กับ ความถี่ขาออก	 คาบเวลาของคลื่นแคเรียร์คงที่		เสียงรบกวนจาก มอเตอร์เป็นเสียง เดียว ไม่น่ารำคาญ
แบบ ผสม	ความถี่ต่ำเป็น ซิงโครนัส และ ความถี่สูงเป็น อะซิงโครนัส	 เหมือนแบบอะซิงโครนัส		สามารถควบคุม ได้ดีทั้งย่าน ความถี่สูง ถึงย่าน ความถี่ต่ำ

อินเวอร์เตอร์ที่มีเสียงรบกวนน้อย (Low Noise Inverter) จะใช้ความถี่แคเรียร์สูงมาก ประมาณ 15 – 20 kHz ซึ่งความถี่ย่านนี้มนุษย์ไม่ค่อยได้ยินเสียง เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดที่มีเสียงรบกวนต่ำนี้ไปขับมอเตอร์ก็เกือบจะไม่ได้ยินเสียงรบกวนเลย การเลือกความถี่แคเรียร์สูงนี้จะต้องใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็น MOSFET หรือ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้งานทั่วไป มีขีดจำกัดของความเร็วในการสวิตชิ่งได้ไม่เกิน 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์



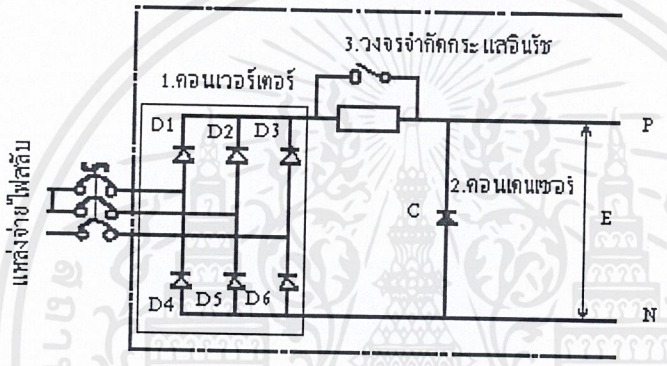
รูปที่ 2.41 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์ (ขยาย5เท่าจากรูปที่2.40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 การทำงานของภาคคอนเวอร์เตอร์

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้วว่าแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์นั้นผลิตมาจากส่วนที่เรียกว่า คอนเวอร์เตอร์ วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรง วงจรประกอบด้วยส่วนประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

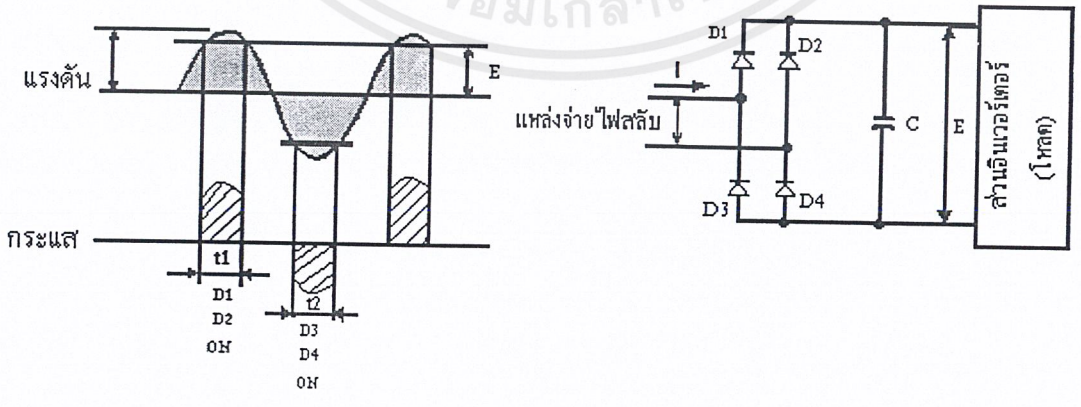
- ส่วนคอนเวอร์เตอร์
- คอนเดนเซอร์
- วงจรจำกัดกระแสอินรัช (In Rush Current Suppression)



รูปที่ 2.42 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์

1) หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.43 แสดงหลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟสลับเฟสเดียวเป็นไฟตรง



รูปที่ 2.43 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะอธิบายถึงรูปคลื่นของกระแสไฟสลับขาเข้า

- อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับรูปซายน์ ซึ่งมีค่า RMS = V; ค่ายอด = $\sqrt{2} \times V$ ถ้าให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ E จากรูปที่ 2.43 จะเห็นว่ามีส่วนของแรงดันไฟสลับที่มีแรงดันสูงกว่าระดับ E ส่วนนี้มีช่วงเวลาเท่ากับ t_1 เป็นช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านไดโอด D_1 และไหลกลับทาง D_4

- แรงดันไฟสลับส่วนที่เป็นลบ ช่วงเวลาที่แรงดันต่ำกว่าระดับ –E คือช่วงเวลา t_2 ช่วงเวลานี้ กระแสจะไหลเข้าทางไดโอด D_2 และไหลกลับทาง D3 ตามในรูป

จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสขาเข้าของคอนเวอร์เตอร์จะไม่เป็นรูปซายน์ แต่จะเพี้ยนจากรูปคลื่นซายน์และมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิค

2) กระแสขาเข้าในขณะมอเตอร์หมุนต่อเนื่อง

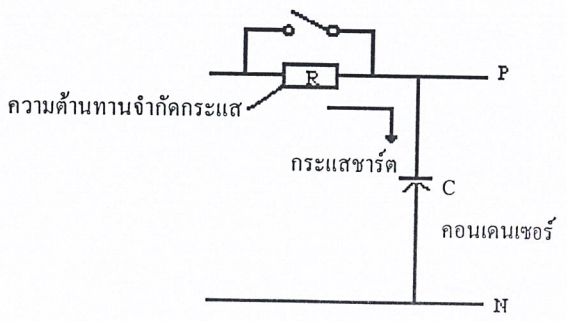
รูปที่ 2.43 แสดงรูปคลื่นของกระแสขาเข้าของคอนเวอร์เตอร์ กรณีที่เป็นไฟสลับสามเฟสจะต้องใช้ไดโอดในการเร็คติไฟย์ทั้งหมด 6 ตัว คือ ไดโอด $D_1 - D_6$ รูปที่ 2.52 แสดงจังหวะเวลาที่กระแสไหลผ่านไดโอดแต่ละตัว จะเห็นว่ารูปคลื่นของกระแสขาเข้าจะเพี้ยนจากรูปคลื่นซายน์เหมือนกับกรณีของคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวคอนเดนเซอร์ C จะมีหน้าที่กรองกระแสเพื่อให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ มีริปเปิลน้อยและเรียบ

ขนาดของแรงดันไฟตรงขาออกในสภาพไม่มีโหลด จะมีค่าเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟสลับขาเข้า คือ $\sqrt{2} \times V$ (ไฟ AC 200 V จะเท่ากับ DC 280 V) เมื่อมีโหลดคืออินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟนี้จะเปลี่ยนค่าลดลงตามขนาดเอาต์พุต คือแรงบิดและความเร็วรอบ

3) กระแสขาเข้าเมื่อเปิดสวิตช์

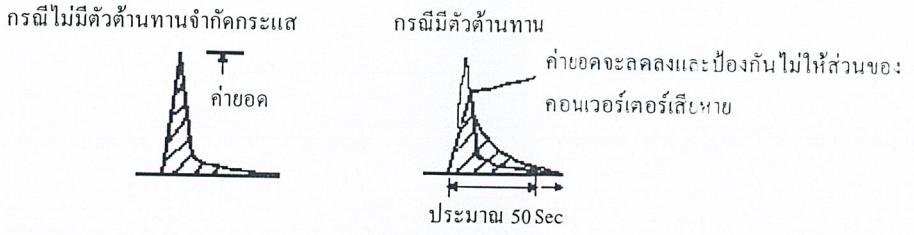
เมื่อเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ครั้งแรก จะต้องมีการชาร์จประจุให้คอนเดนเซอร์จึงมีกระแสขนาดใหญ่ไหลเข้ามาในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดขนาดของกระแสอินรัชนี้โดยใช้วงจรตามที่แสดงในรูปที่ 2.44

เมื่อประจุกระแสคอนเดนเซอร์จนเต็มที่แล้วจึงจะใช้หน้าสัมผัสของรีเลย์ตัดมาวงจรของตัวต้านทานจำกัดกระแส



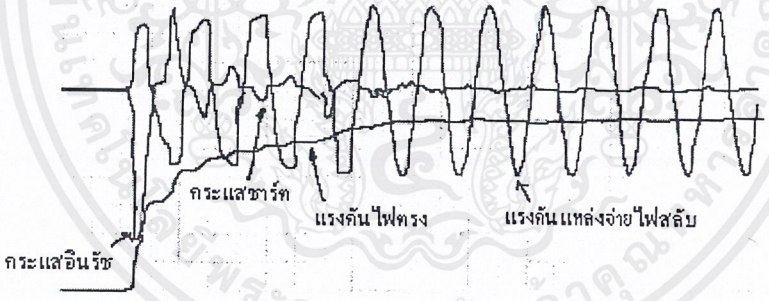
รูปที่ 2.44 วงจรจำกัดขนาดกระแสอินรัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 กระแสอินรัช

ถ้าคอนแทคเตอร์เปิดปิดไฟเข้าคอนเวอร์เตอร์ ทุกครั้งที่ปิดจะมีกระแสอินรัชไหลเข้าสู่คอนเวอร์เตอร์ ถ้าเปิดปิดบ่อยจะทำให้อายุการใช้งานของไดโอดสั้นลง และทำให้อายุการใช้งานกับประสิทธิภาพการใช้งานของวงจรจำกัดกระแสจะต่ำลงด้วย ดังนั้นไม่ควรเปิดปิดบ่อยๆ วันหนึ่งไม่ควรเกิน 10 ครั้ง คอนเวอร์เตอร์จะมีหน้าที่สร้างแรงดันไฟตรงเท่านั้น การสตาร์ตเป็นหน้าที่ของส่วนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะต้องป้อนกระแสเข้าที่เบสของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เริ่ม ON (นอกจากนั้นจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วควบคุม STF และ STR ของอินเวอร์เตอร์ด้วย)



รูปที่ 2.46 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้

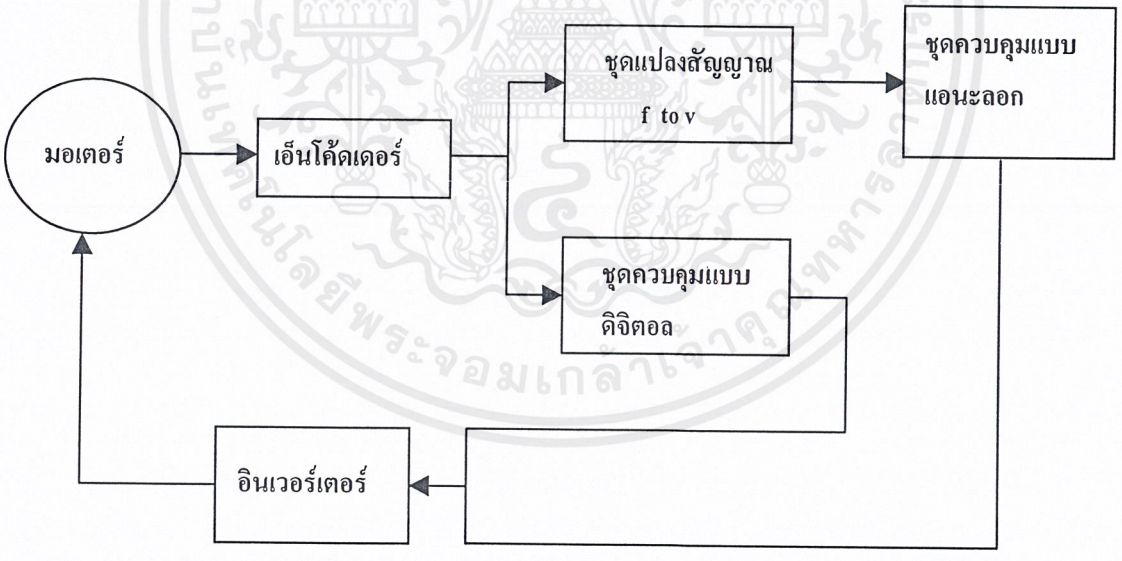
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างส่วนต่างๆ ของโครงงานเครื่องควบคุมเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยนำหลักการและทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาประกอบการออกแบบและสร้างวงจรส่วนต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในโครงงาน

การออกแบบ การสร้างและการทำงาน จะประกอบไปด้วยแผนผังที่ใช้การทำงานของโครงงาน วงจรภาคการควบคุมแบบแอนะลอก วงจรภาคการควบคุมแบบดิจิตอล วงจรของชุดแหล่งจ่ายไฟ วิธีการเขียนโปรแกรม โครงสร้างการทำงานและการออกแบบ

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานทั้งหมด โดย Encoder จะแปลงสัญญาณจากความเร็วรอบมาเป็นพัลส์ โดยชุดแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันและจะส่งให้ชุดควบคุมแบบแอนะลอก ซึ่งชุดควบคุมแบบแอนะลอกจะทำการควบคุมแบบ PID แล้วส่งค่าแรงดัน 0 – 10 Vdc มาให้กับชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ 3 เฟส ในส่วนของชุดควบคุมแบบดิจิตอลนั้นจะใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C52 เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยจะรับพัลส์จาก Encoder มาประมวลผลแสดงความเร็วรอบและทำการควบคุมความเร็วรอบ โดยจะส่งสัญญาณการควบคุมผ่าน DAC เบอร์0800 มีค่าตั้งแต่ 0 – 10 Vdc มายัง Inverter ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟจะแบ่งออกเป็น 3 ชุดหลักๆ ดังนี้

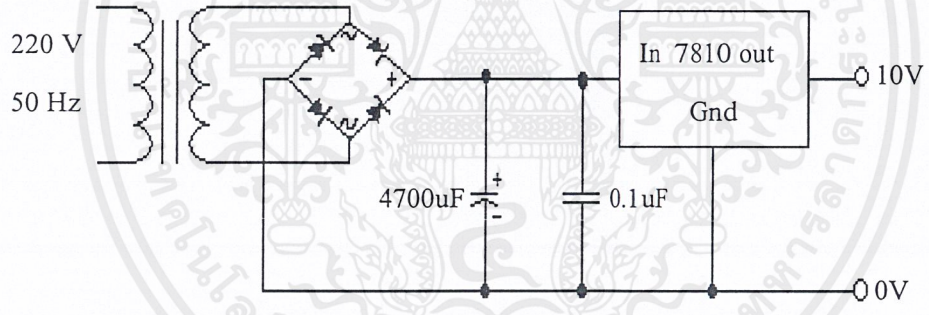
1) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์

2) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ และ 12 โวลต์ บวกลบ

3) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์บวกลบ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดควบคุมแบบแอนะลอก

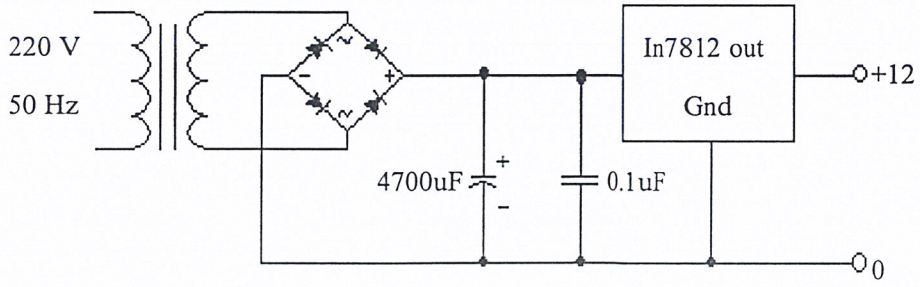
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์ จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดควบคุมแบบแอนะลอก

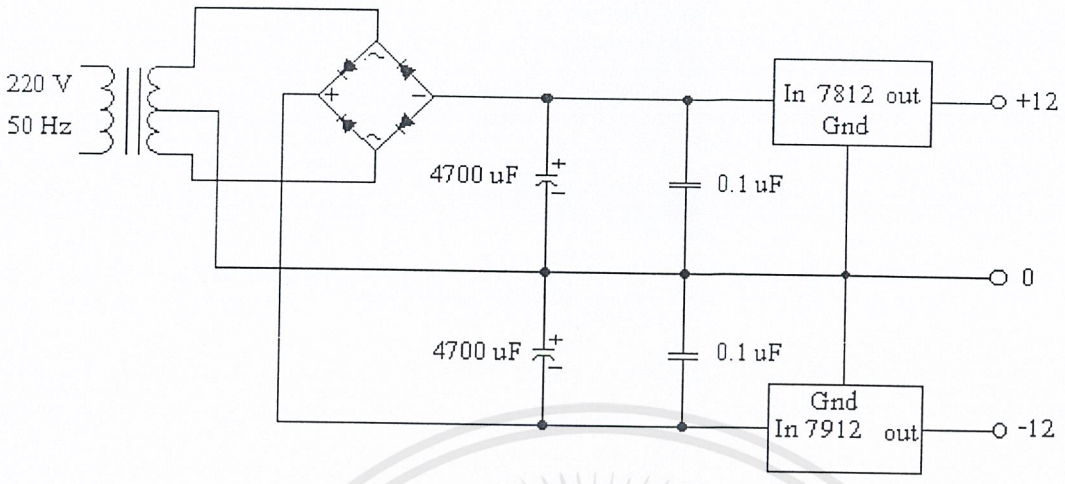


รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

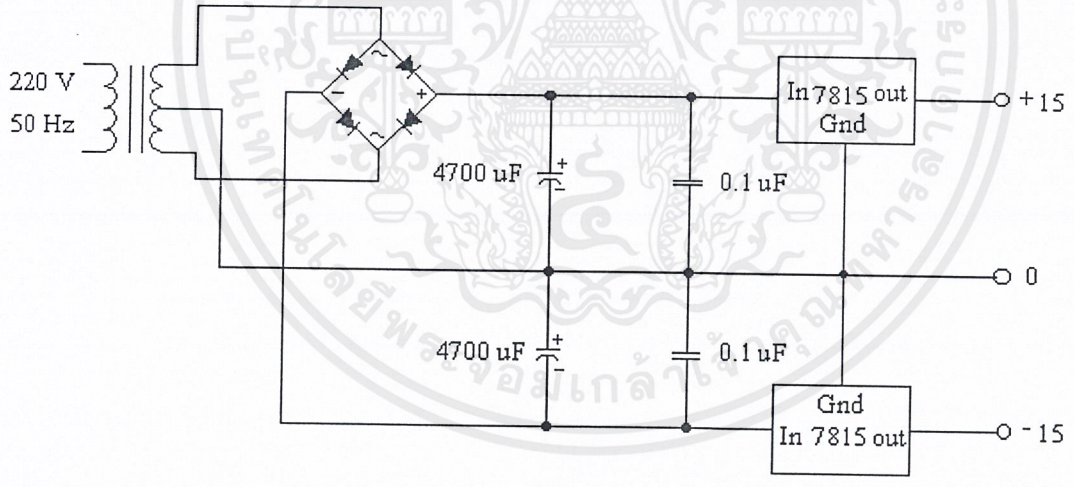


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์บวกลบ

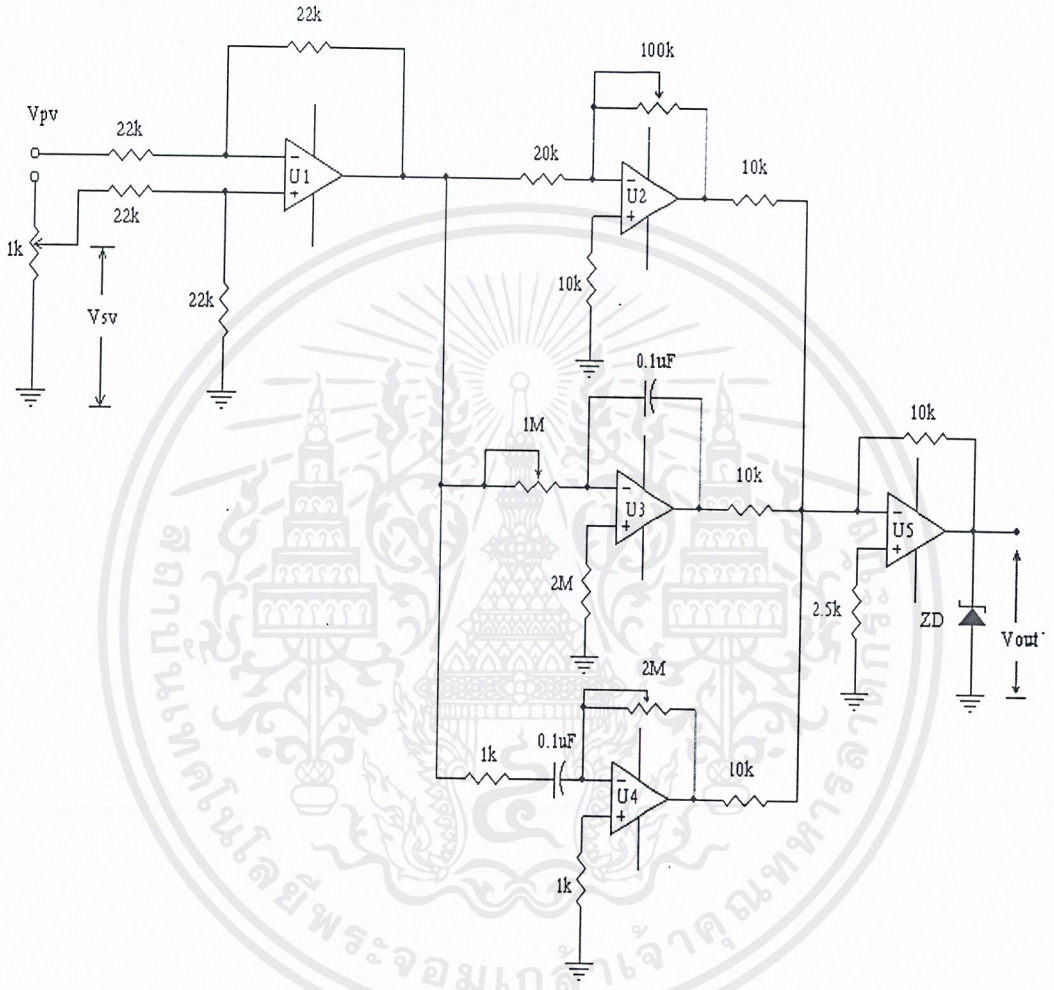
3.2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์



รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์บวกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดควบคุมแบบแอนะลอก



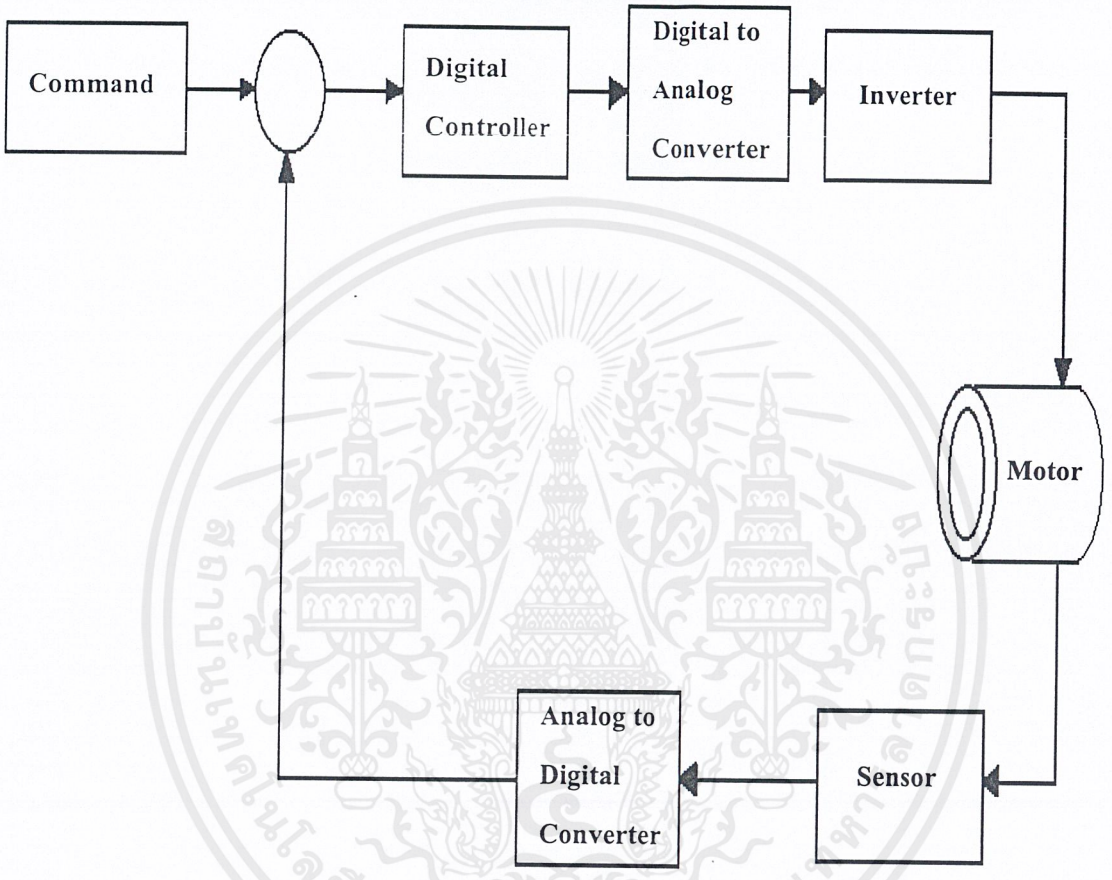
รูปที่ 3.6 วงจรชุดควบคุมแบบแอนะลอก

จากวงจรชุดควบคุมแบบแอนะลอก จะสามารถปรับ Kp ได้ตั้งแต่ 1 – 4.5 และ Ki จะสามารถปรับได้ตั้งแต่ 1 - 0.1 ซึ่งจะเป็นเวลาตั้งแต่ 1 - 10 Sec ในส่วนของ Kd จะสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.001 - 0.005 และ 0.01 – 0.05 ซึ่งจะสามารถครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 3 – 160 เฮิร์ตซ ทำให้สัญญาณที่เกิดการแกว่งในย่านนี้จะถูกทำเดริเวทีฟส่วนสัญญาณส่วนที่นอกเหนือจาก 3 – 160 เฮิร์ตซ จะถูกตัดทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ชุดควบคุมแบบดิจิตอล

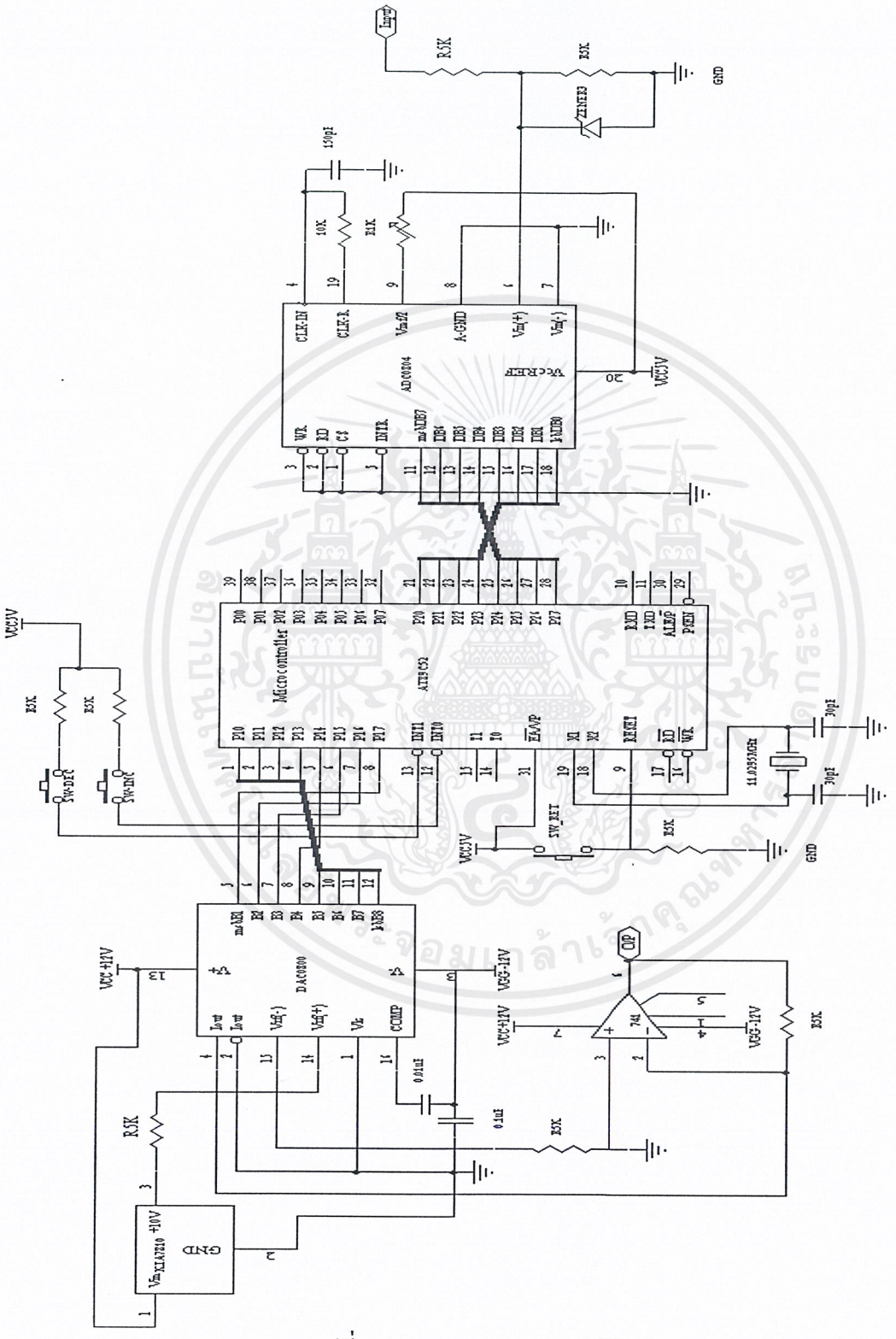
3.4.1 แผนผังการทำงานของส่วนควบคุมแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของส่วนดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

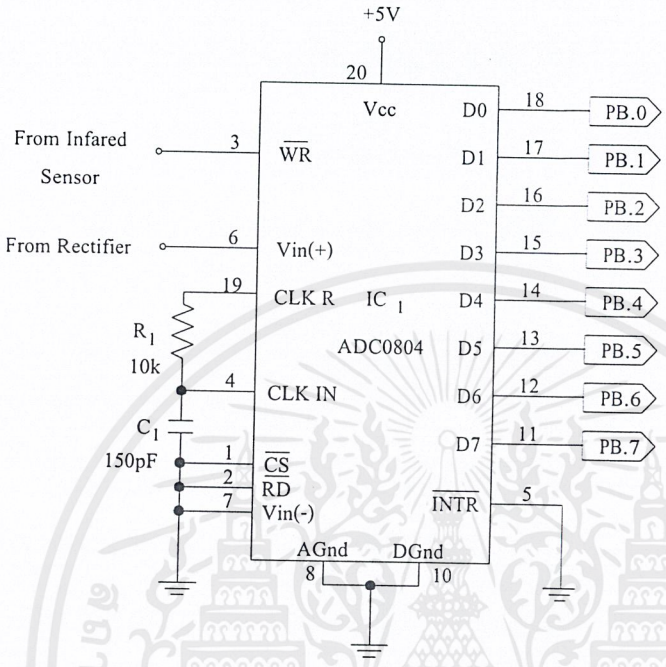
3.4.2 วงจรชุดควบคุมแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.8 วงจรชุดควบคุมแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล



รูปที่ 3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

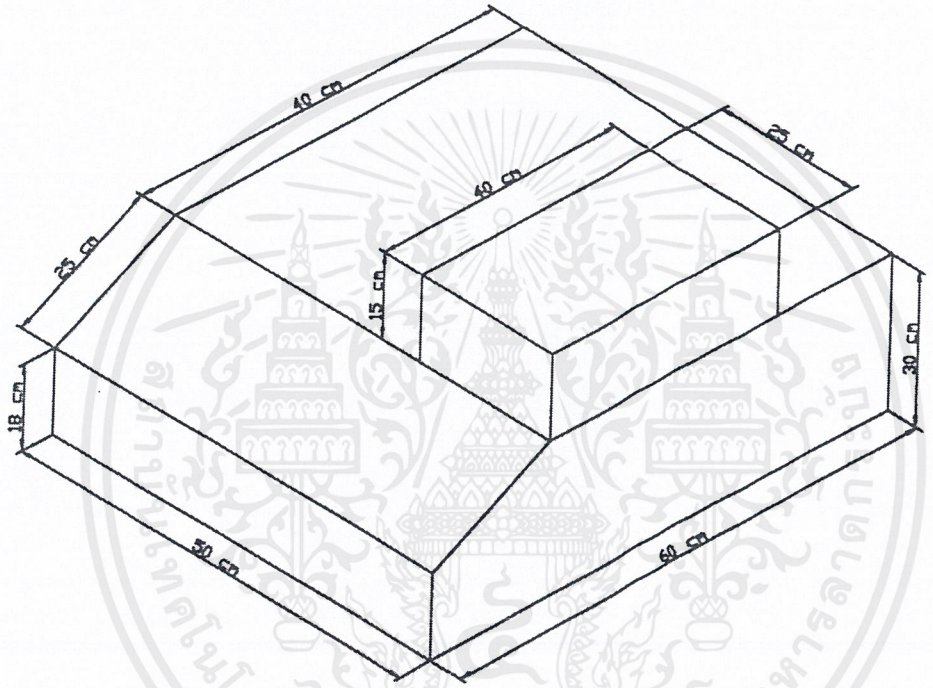
วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

อุปกรณ์หลักของวงจรนี้ คือ ไอซี ADC 0804 ซึ่งเป็นไอซีแบบ ADC ขนาด 8 บิต โดยมีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ R_{10} และ C_7 เป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุมจังหวะการทำงาน ซึ่งมีการกำเนิดสัญญาณจากภายในตัวไอซี แต่ก็มีความจำเป็นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกบางตัว เอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล จะทีขนาด 8 บิต เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน

ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ โครงเครื่องซึ่งมีลักษณะเป็นกล่องทำจากโครงเหล็กปิดรอบด้านด้วยแผ่นพลาสติกใสพ่นสีดำ ส่วนด้านบนใช้ไม้หนา ½ นิ้ว รองรับมอเตอร์เนื่องจากมอเตอร์มีน้ำหนักมากจึ้งต้องใช้วัสดุที่มีความหนาและมั่นคงแข็งแรง โดยตัวโครงงานจะมีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 50 × 60 × 30 เซนติเมตร

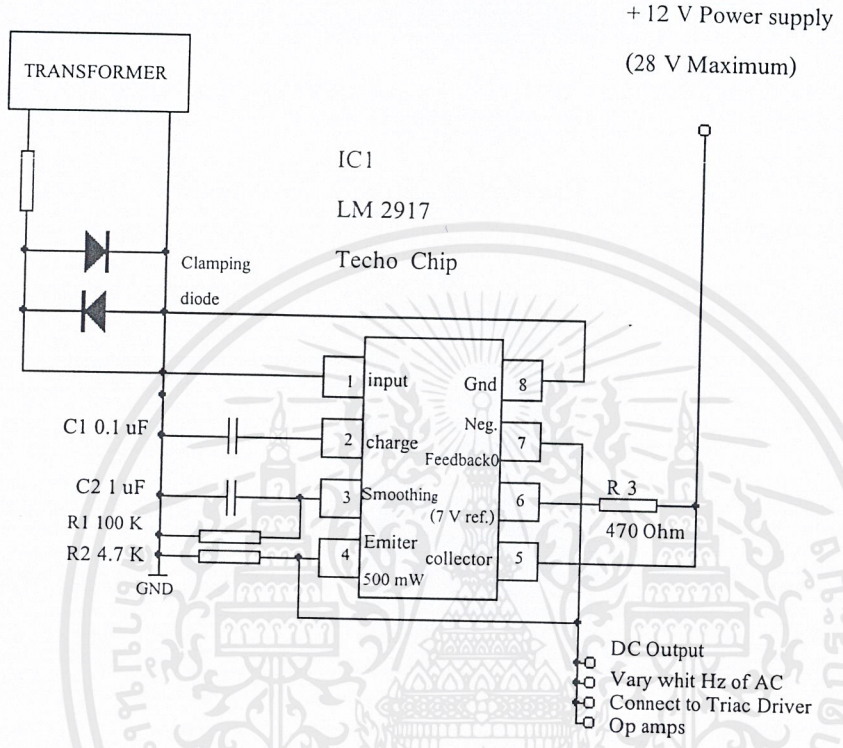


รูปที่ 3.10 โครงสร้างของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า

3.6.1 ชุด IC แปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 3.11 ชุด IC แปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของส่วนประกอบในวงจรที่สำคัญและการทดลองทดสอบเครื่อง ซึ่งกล่าวเป็นส่วนๆดังนี้

4.1 การทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ผลการทดลองแหล่งจ่ายทั้ง 4 แหล่งจ่าย สามารถให้เอาต์พุต ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้คือ 10 โวลต์ , 12 โวลต์ , $\pm$ 12 โวลต์ และ $\pm$ 15 โวลต์

4.2 ผลการทดลองชุดควบคุมแบบแอนะลอก

ผลการทดลองโดยการทดลองป้อนสัญญาณปรับตั้งที่ 5 Vdc และป้อนสัญญาณ Feedback โดยป้อนค่าที่ 5 Vdc จะทำให้เอาต์พุตของชุดควบคุมส่งสัญญาณ 0 Vdc ซึ่งตรงตามทฤษฎี และเมื่อทดลองปรับสัญญาณ Feedback ให้มีค่าลดลงที่ 4 Vdc ชุดควบคุมจะส่งสัญญาณ 1 Vdc ซึ่งเมื่อทดลองปรับ Kp ให้มากขึ้นจะทำให้เอาต์พุตสูงขึ้น และเมื่อทดลองปรับ Ki ให้มากขึ้น จะทำให้เอาต์พุตมีสัญญาณเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น

และเมื่อทำการทดลองปรับ Kd จะเกิดการแกว่งของสัญญาณเมื่อทดลองปรับ Feedback ขึ้นลงรอบๆ สัญญาณปรับตั้งหรือ Sv

4.3 ผลการทดลองชุดควบคุมแบบดิจิตอล

การทดลอง ได้ทำการต่อชุดควบคุมแบบดิจิตอลเข้ากับ Inverter เพื่อควบคุม การควบคุมนี้ได้เลือกการควบคุมแบบการใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุม Inverterโดยใช้การปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 – 10 V ได้ปรับค่าเรื่อยๆ จาก 0 โวลต์ ไปจนถึง 10 โวลต์ เมื่อปรับถึงประมาณ 10 โวลต์ ความถี่ที่ Inverter จะอยู่ที่ 50 Hz

ผลการทดลองที่ได้คือ สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้โดยใช้ระดับแรงดันแบ่งเป็น 255 สภาวะ เมื่อกดเพิ่มความเร็ว ความเร็วจะค่อยๆ เพิ่มค่าขึ้นไปเรื่อยๆ สัมพันธ์กับความถี่ที่ Inverter จะขึ้นไปพร้อมๆ กัน จนถึง 10 โวลต์ ที่ความถี่ 50 Hz แต่เมื่อทำการกดปุ่ม Reset จะกลับมาที่ 0 โวลต์อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดลองส่วนของดิจิตอล

การทดลองในส่วนของดิจิตอล ทำการทำลองโดยได้ปรับรอบของมอเตอร์ เพื่อทำการหาค่าทางอินพุตและเอาต์พุตที่วัดได้จาก Digital to Analog และในส่วนของ Analog to Digitalซึ่งได้แสดงผลไว้ในตารางดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของชุดควบคุมแบบดิจิตอล

จำนวนรอบ	Digital to Analog	Analog to Digital	BCD Code
23	01H	04H	00000100
54	02H	0CH	00001100
83	03H	10H	00100000
115	04H	18H	00011000
144	05H	1CH	00011100
176	06H	24H	00100100
206	07H	28H	00101000
240	08H	30H	00110000
277	09H	38H	00111000
309	0AH	40H	01000000
342	0BH	48H	01001000
373	0CH	4CH	01001100
405	0DH	54H	01010100
437	0EH	5CH	01011100
467	0FH	60H	01100000
504	10H	68H	01101000
533	11H	70H	01110000
565	12H	74H	01110100
594	13H	7CH	01111100
627	14H	80H	10000000
658	15H	88H	10001000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองของชุดควบคุมแบบดิจิตอล

689	16H	90H	10010000
718	17H	94H	10010100
752	18H	9CH	10011100
786	19H	A4H	10100100
813	1AH	A8H	10101000
844	1BH	B0H	10110000
877	1CH	B8H	10111000
908	1DH	BCH	10111100
940	1EH	C4H	11000100
968	1FH	C8H	11001000
1000	20H	D0H	11010000
1030	21H	D4H	11010100
1060	22H	E0H	11011100

การทดลองจะเริ่มทำการกดสวิตช์เพิ่มค่าขึ้นไปเรื่อยๆ และทำการบันทึกค่าที่อินพุตและเอาต์พุตของชุด Digital to Analog และ Analog to Digital ผลการทดลองที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากอินพุตและเอาต์พุต

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในแต่ละวงจร ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อนำวงจรแต่ละวงจรมาประกอบรวมเข้าด้วยกัน ก็จะพบปัญหาบ้าง เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ เกิดจากการลัดวงจร แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาได้ และสามารถทำงานได้ ในส่วนของการควบคุมวงจรด้วยไมโครคอลโทลเลอร์สมารถที่จะควบคุมความเร็วได้เป็นอย่างดี โดยไม่มีปัญหามากนัก ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วได้ตามต้องการ แต่ส่วนของการควบคุมแบบแอนะลอกยังมีปัญหาอยู่บ้างเล็กน้อยคือ ยังไม่สามารถควบคุมที่ความเร็วรอบสูงๆ ได้ ซึ่งจะได้มีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหาและการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ในการศึกษา และทดลองสร้างชุดทดลองควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอกและดิจิตอล เป็นแนวคิดที่จะศึกษาระบบที่มีส่วนในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อเป็นชุดทดลองการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ซึ่งการจัดสร้างโครงงานนี้ต้องมีการศึกษาในรายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างมาก ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงงาน และการศึกษาจากการสอบถามผู้ที่มีความชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงงานที่ทางกลุ่มจัดทำ เพื่อศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ที่ต้องการนำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

การสร้างโครงงานนี้ใช้แนวคิดและการออกแบบวงจรแต่ละส่วนจากการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ในระบบอุตสาหกรรม เป็นการดัดแปลงและออกแบบเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการศึกษาทดลองและสามารถจะนำโครงงานนี้มาใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน อีกทั้งยังสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไปได้

ส่วนของการศึกษาชุดควบคุมแบบแอนะลอก จะศึกษาในเรื่องของ Op-Amp ซึ่งสามารถจะนำวงจรการต่อใช้งานของ Op-Amp มาต่อร่วมกันเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ส่วนสำคัญของการควบคุมแบบแอนะลอกนี้ จะต้องแปลงความเร็วรอบมอเตอร์มาเป็นแรงดัน 0 – 10 Vdc จึงต้องมีทรานสมิตเตอร์เพื่อแปลงความถี่มาเป็นแรงดันเพื่อป้อนให้กับชุดควบคุมแบบแอนะลอก เพื่อที่จะทำการควบคุมความเร็วรอบ

ส่วนของการศึกษาชุดควบคุมแบบดิจิตอล จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของ Inverter เพื่อใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ทำให้สามารถควบคุม Inverter โดยปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ในระยะใกล้และมีความถูกต้องในการใช้งาน เพราะมีส่วนควบคุมแบบ PID เป็นตัวควบคุมความถูกต้องในการใช้งาน สามารถนำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ 3 เฟส และได้ศึกษาการทำงานของการควบคุมแบบ PID ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประกอบอาชีพต่อไป

จากการศึกษาและจัดสร้างโครงงานนี้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบ 3 เฟส และเข้าใจการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานตามที่ต้องการและการควบคุมแบบแอนะลอกโดยใช้ Op-Amp การจัดสร้างโครงงานได้ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้หมุนช้าหรือหมุนเร็วได้ตามที่ต้องการ และสามารถทดสอบโหลดได้ตามที่ต้องการ สามารถควบคุมได้ทั้งแบบแอนะลอกและดิจิตอลโดยจะสามารถนำโครงงานที่ศึกษานี้ไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนและสามารถพัฒนาไปใช้งานในระบบอุตสาหกรรมได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) ด้านฮาร์ดแวร์

1.1) ปัญหา ไม่สามารถจัดหาโหลดเทียมทางด้านไฟฟ้า มาเพื่อใช้ทดสอบโหลดได้ เหตุเพราะขนาดของโหลดที่ใช้คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น มีขนาดใหญ่ และราคาสูงมาก หาซื้อได้ยาก จึงไม่มีความเหมาะกับการนำมาใช้เป็นชุดทดลอง

แนวทางการแก้ไข ได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญซึ่งสามารถใช้โหลดทางกลคือ เบรคแบบผ้า ซึ่งสามารถที่ตะหยุดความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ แต่ระดับของการเบรคนั้นจะไม่สามารถทำการกำหนดความละเอียดมากนัก

1.2) ปัญหา อุปกรณ์บางตัวหาซื้อได้ยาก เพราะเป็นงานเฉพาะด้าน เช่น F to V Converter ซึ่ง IC ที่มขายทั่วไปในท้องตลาดจะไม่สามารถแปลงความถี่จากการจับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ เพราะความละเอียดของการแปลงนั้นน้อยมากและใช้งานในย่านความถี่สูงกว่าความถี่จากการจับความเร็วรอบของมอเตอร์

แนวทางการแก้ไข ใช้ทรานสมิตเตอร์ Tachometer ในการแปลงความถี่เป็นแรงดันเพื่อป้อนให้กับชุดควบคุมแบบแอนะลอกแทน

2) ด้านซอฟต์แวร์

2.1) ปัญหา ด้านการศึกษาโปรแกรมเกิดความติดขัดในด้านข้อมูล ก็เพราะว่าข้อมูลในทางด้าน Solfware ส่วนมากจะเป็นภาษาต่างประเทศทำให้เกิดความผิดพลาดในการแปลภาษา ทำให้การตีความผิดพลาดไปจากข้อมูลที่ได้ จึงทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ดีเท่าที่ควร

แนวทางการแก้ไข ศึกษาไวยกรณ์ต่างประเทศให้มากๆ

2.2) ปัญหา ในการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับฮาร์ดแวร์ทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เป็นเพราะว่าอุปกรณ์บางตัวมีการ Interface หลายรูปแบบ จึงต้องมีการเลือกใช้แบบที่ดีที่สุด จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการเขียนโปรแกรม

แนวทางการแก้ไข ศึกษาจากผู้รู้ที่มีประสบการณ์ทางด้านนี้โดยตรงแต่ก็ไม่ควรยึดถือจากผู้มีประสบการณ์ทางด้านนั้นเพียงคนเดียว ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญท่านอื่นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) ปัญหา ความชำนาญในการเขียนโปรแกรมน้อย ทำให้ใช้เวลามากในการศึกษารูปแบบของโปรแกรม โดยเฉพาะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

แนวทางการแก้ไข ศึกษาข้อมูลให้มากและหัดเขียนโปรแกรมให้หลากหลาย ศึกษาจากผู้รู้ให้มากและควรมีการสื่อสารระหว่างกลุ่มที่ทำงานในลักษณะเช่นเดียวกันกันนี้

5.3 แนวทางการพัฒนา

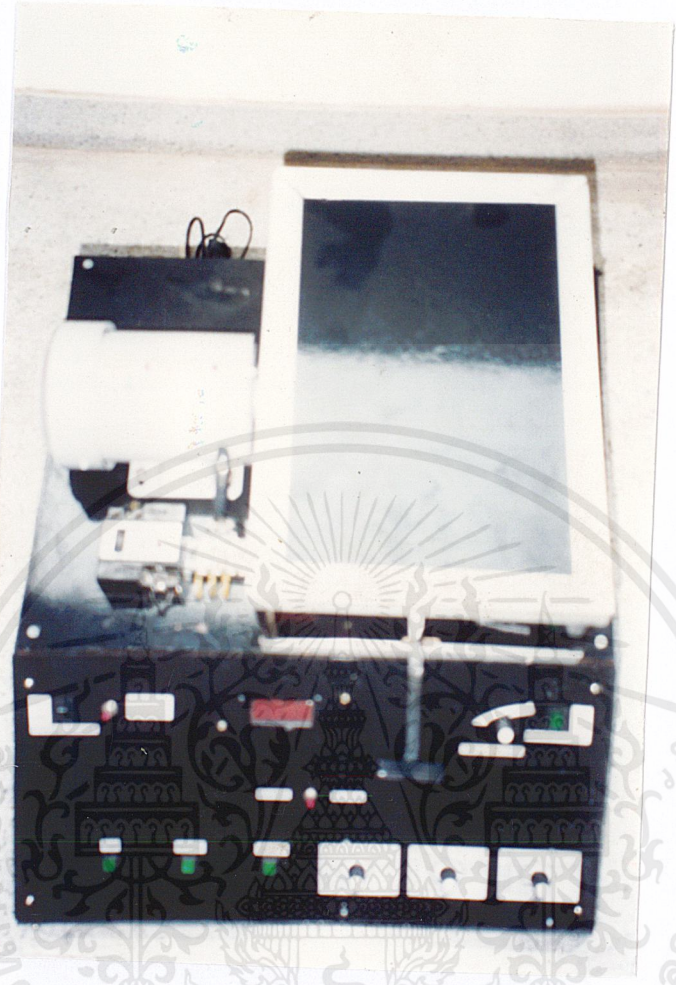
1) พัฒนาให้ชุดโหลดที่ใช้สามารถปรับระดับได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

2) พัฒนาให้ชุดทดลองสามารถใช้กับมอเตอร์ได้หลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

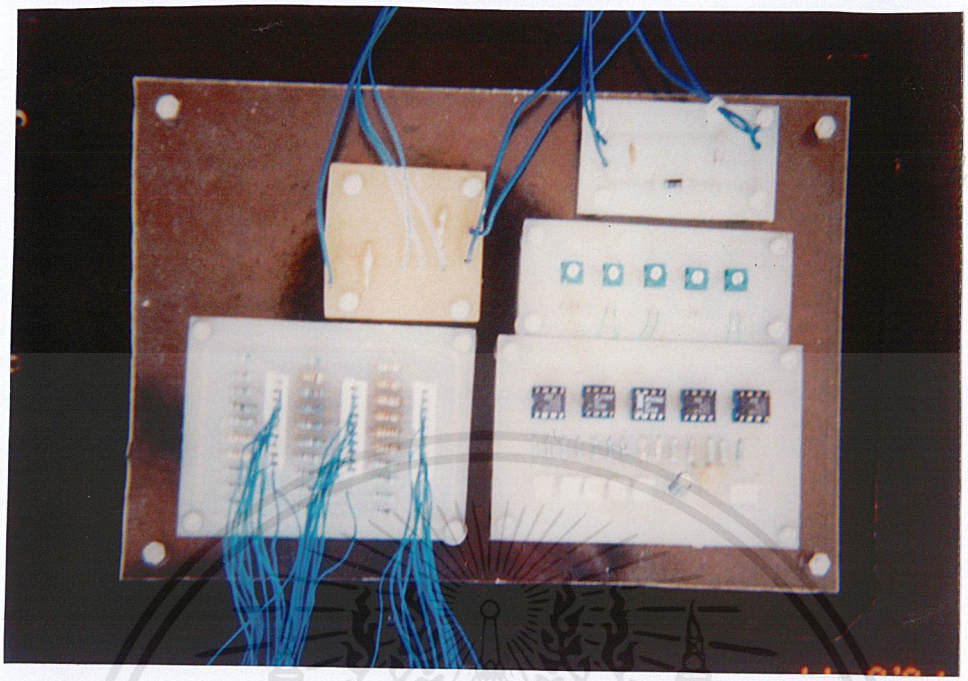
ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

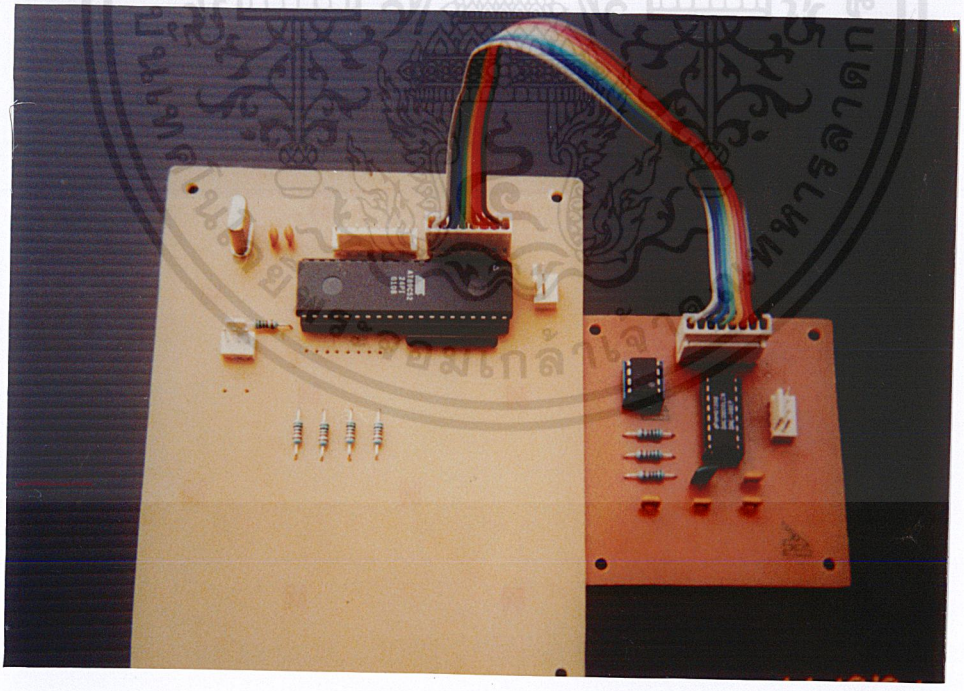


รูปที่ ก.1 เครื่องต้นแบบประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

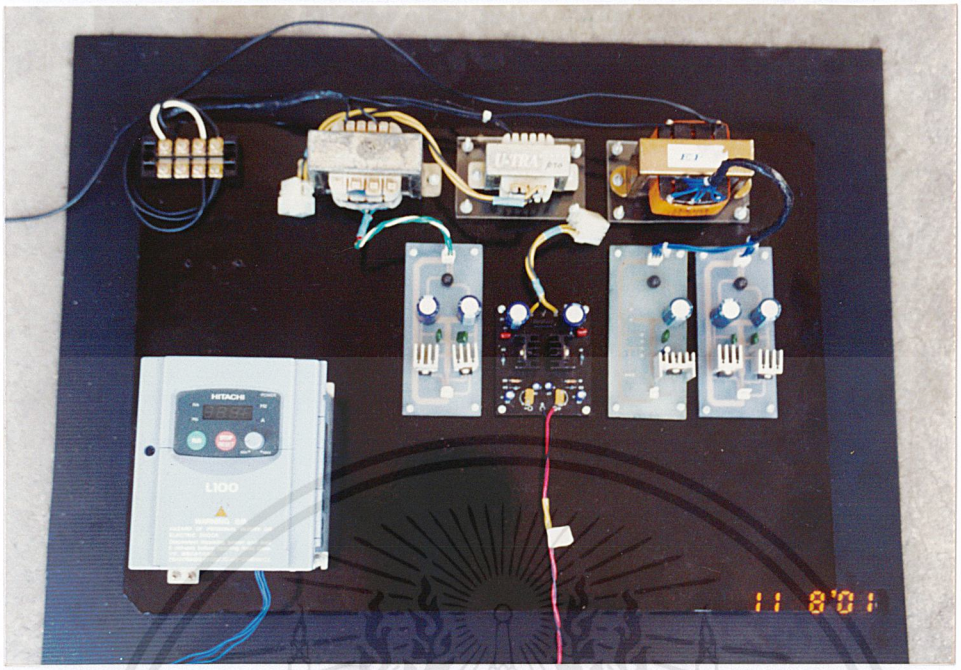


รูปที่ ก.2 ชุดควบคุมแบบแอนะลอก



รูปที่ ก.3 ชุดควบคุมแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



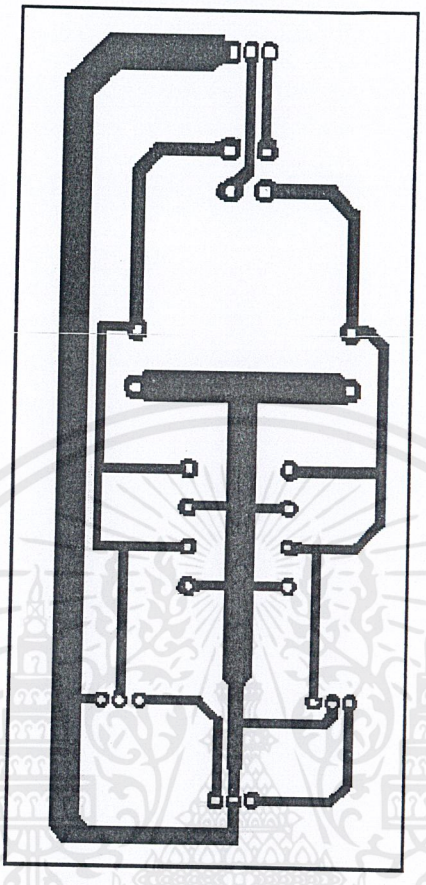
รูปที่ ก.4 ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

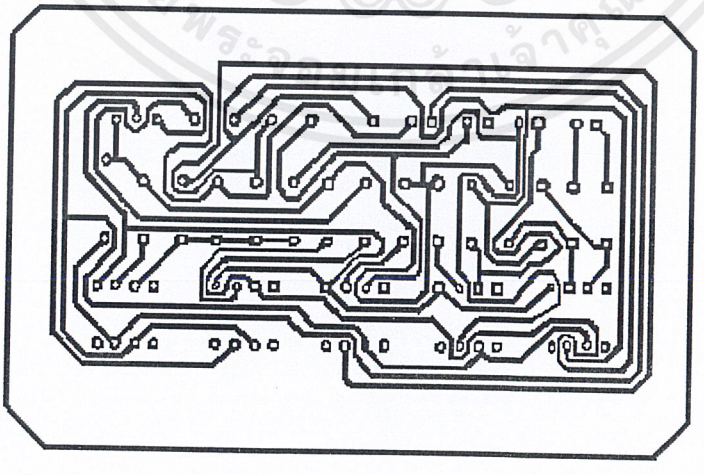
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

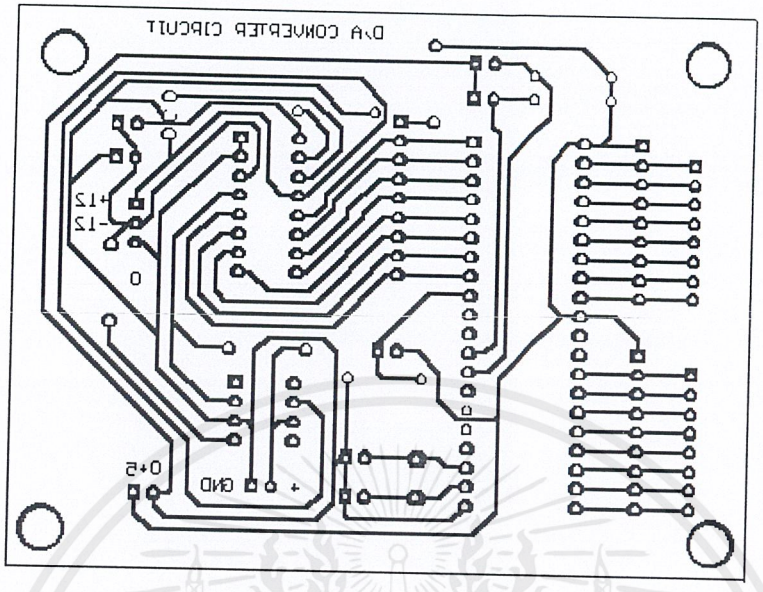


รูปที่ ข.1 ลายวงจรพิมพ์ชุดภาคจ่ายไฟ



รูปที่ ข.2 ลายวงจรพิมพ์ชุดควบคุมแบบแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

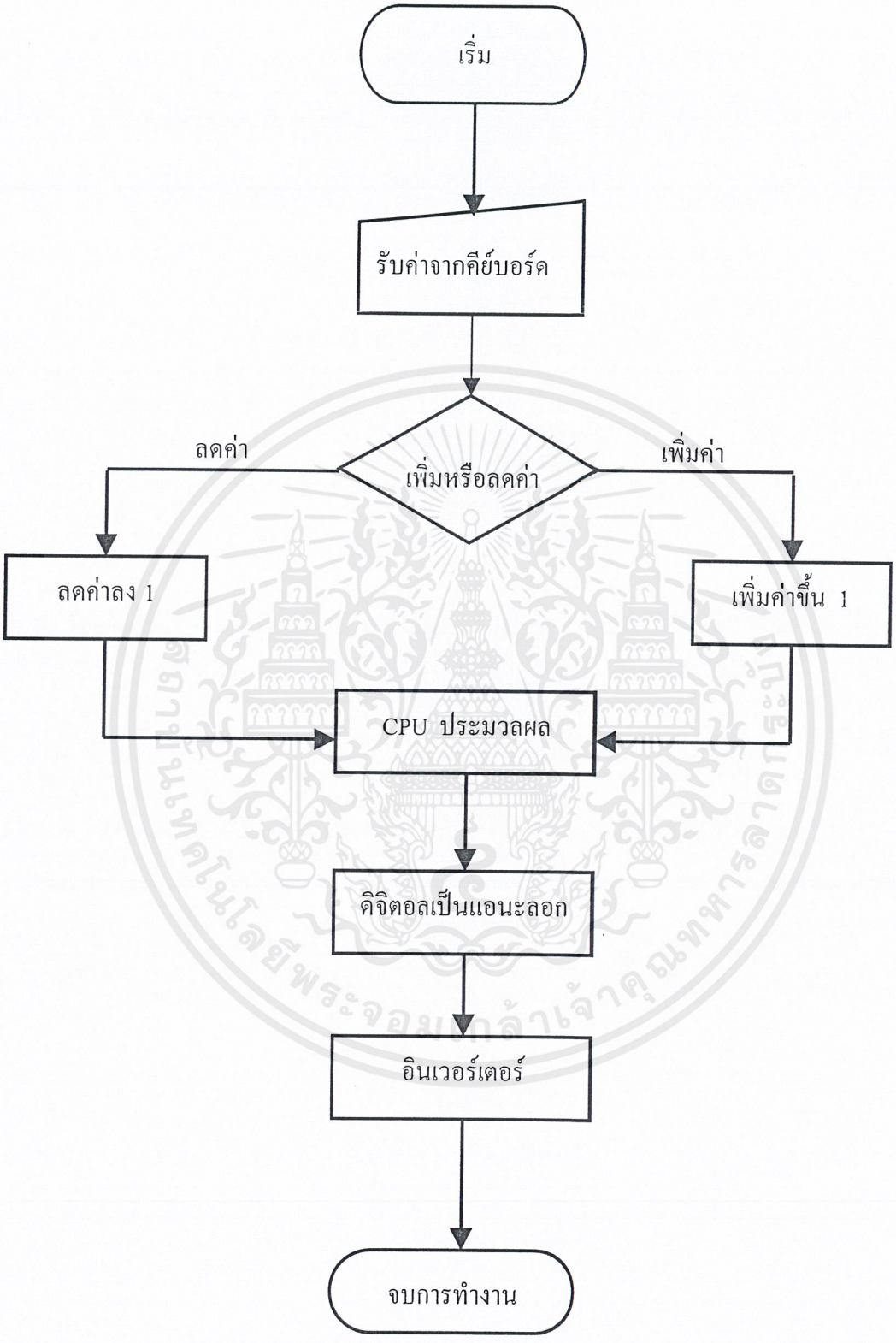


รูปที่ ข.3 ลายวงจรพิมพ์วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DATA  EQU   20H
DATA1 EQU   21H
      ;
      ORG   0000H
      ;
      MOV   SP,#60H
      MOV   P1,#00H
      MOV   R0,#00H
      MOV   R1,#00H
MAIN: CALL  DELAY
      CALL  DETEC
      SJMP  MAIN
      ;
INC11: SETB  P3.2
      JNB   P3.2,INC11
      MOV   R6,#00H
      DJNZ  R6,$
      SETB  P3.2
      JNB   P3.2,INC11
      MOV   A,R0
      CJNE  A,#023H,INC12
      SJMP  MAIN
INC12: INC   R0
      INC   R1
      MOV   P1,R1
      CALL  DELAY_15S
      CALL  DETEC
      SJMP  MAIN
      ;
DEC11: SETB  P3.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JNB    P3.3,DEC11
        MOV    R6,#00H
        DJNZ   R6,$
        SETB   P3.3
        JNB    P3.3,DEC11
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#00H,DEC12
        SJMP   MAIN
DEC12:  DEC    R0
        DEC    R1
        MOV    P1,R1
        CALL   DELAY_15S
        CALL   DETEC
        SJMP   MAIN
        ;
DELAY:  MOV    R7,#00H
DELAY1: SETB   P3.2
        SETB   P3.3
        JNB    P3.2,INC11
        JNB    P3.3,DEC11
        MOV    P1,R1
        DJNZ   R7,DELAY1
        RET
        ;
DETEC:  MOV    A,R0
        CJNE   A,#00H,DETEC1
        RET
DETEC1: MOV    DPTR,#TABLE
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    DATA,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV    A.P2
        CLR    ACC.0
        CLR    ACC.1
        MOV    DATA1,A
        MOV    A.DATA
        MOV    B.DATA1
        CJNE   A,B,RE1
        RET
RE1:    MOV    B.DATA1
        MOV    A.DATA
        CLR    CY
        SUBB   A,B
        JC     II
RE2:    INC    R1
        MOV    P1,R1
        CALL   DELAY_15S
        RET
II:     DEC    R1
        MOV    P1,R1
        CALL   DELAY_15S
        RET
        ;
        ;
DELAY_15S:    MOV    R6,#06H
DELAY_15S1:   MOV    R5,#010H
DELAY_15S2:   MOV    R4,#064H
DELAY_15S3:   MOV    R3,#0E6H
DELAY_15S4:   MOV    P1,R1
              SETB   P3.3
      SETB   P3.2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JNB    P3.3,DECTT
        JNB    P3.2,INCTT
        DJNZ   R3,DELAY_15S4
        DJNZ   R4,DELAY_15S3
        DJNZ   R5,DELAY_15S2
        DJNZ   R6,DELAY_15S1
        RET
        ;
DECTT: SETB   P3.3
        JNB    P3.3,DECTT
        MOV    R6,#00H
        DJNZ   R6,$
        SETB   P3.3
        JNB    P3.3,DECTT
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#00H,DECTT1
        SJMP   DECTT2
DECTT1: DEC    R0
        DEC    R1
DECTT2: MOV    R6,#06H
        SJMP   DELAY_15S1
        ;
INCTT:  SETB   P3.2
        JNB    P3.2,INCTT
        MOV    R6,#00H
        DJNZ   R6,$
        SETB   P3.2
        JNB    P3.2,INCTT
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#23H,INCTT1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CJNE    A,#23H,INCTT1
        SJMP    INCTT2
INCTT1: INC     R0
        INC     R1
INCTT2: MOV     R6,#06H
        SJMP    DELAY_15S1
        ;
TABLE:  DB      000H,004H,00CH,010H,018H,01CH,024H
        DB      028H,030H,038H,040H,048H,04CH
        DB      054H,05CH,060H,068H,070H,074H
        DB      07CH,080H,088H,090H,094H,09CH
        DB      0A4H,0A8H,0B0H,0B8H,0BCH,0C4H
        DB      0C8H,0D0H,0D4H,0DCH,0E0H,0E4H
        ;
END
```

รูปที่ ค.2 โปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ชุดควบคุมแบบแอนะลอก

ตัวความต้านทาน	1 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	2 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	10 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	20 กิโลโอห์ม	3	ตัว
ตัวความต้านทาน	22 กิโลโอห์ม	5	ตัว
ตัวความตานทาน	25.5 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	30 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	35 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	40 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	50 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	60 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	70 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	80 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	90 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	100 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	200 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	300 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	400 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	500 กิโลโอห์ม	2	ตัว
ตัวความต้านทาน	600 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	700 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	800 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	900 กิโลโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	1 เมกกะโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทาน	2 เมกกะโอห์ม	1	ตัว
ตัวความต้านทานปรับค่า	10 กิโลโห์ม	1	ตัว
ซีเล็คเตอร์สวิตช์		3	ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	3	ตัว
ออปแอมป์	uA741	4	ตัว
ออปแอมป์	LF351	1	ตัว
ไดโอด	1N4148	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเนอร์ไดโอด	1N5240	2	ตัว

ชุดควบคุมแบบดิจิตอล

ตัวความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม	6 ตัว		
ตัวความต้านทาน	1 กิโลโอห์ม	4	ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	6	ตัว
ตัวเก็บประจุ	30 พิโกฟารัด	2	ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.01 ไมโครฟารัด	1	ตัว
ตัวความต้านทานชุด	10 กิโลโอห์ม	1	ตัว
คริสตอล	11.0529 เมกกะเฮิร์ช	1	ตัว
AT89C52		1	ตัว
DAC0800CLN		1	ตัว
ADC0804		1	ตัว
ออปแอมป์	uA741	1	ตัว
ไอซี	7810	1	ตัว
แท็ปสวิทช์		1	ตัว
Seven Segment		4	ตัว

ชุดแหล่งจ่ายไฟ

ไอซี	7805	1	ตัว
ไอซี	7810	1	ตัว
ไอซี	7812	1	ตัว
ไอซี	7815	1	ตัว
ไอซี	7905	1	ตัว
ไอซี	7912	1	ตัว
ไอซี	7915	1	ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	5	ตัว
ตัวเก็บประจุ	10 ไมโครฟารัด	1	ตัว
ตัวเก็บประจุ	2200 ไมโครฟารัด	2	ตัว
ตัวเก็บประจุ	4700 ไมโครฟารัด	3	ตัว
บริดจ์เร็กติไฟร์	1 แอมป์	3	ตัว
หม้อแปลง	18 โวลต์	2	ตัว
หม้อแปลง	9 โวลต์	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดแสดงผลแบบดิจิตอล

เป็นมิเตอร์ดิจิตอลที่แสดงผลเป็นตัวเลข LED 4 หลัก โดยรับสัญญาณ 0 – 10 VDC หรือ 4 – 20 mA สามารถปรับค่า Min , Max และ Slope สามารถแสดงผลได้ตั้งแต่ -199 ถึง 1999 โดยตั้งจุดทศนิยมได้ 1 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่ง มีแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ สำหรับจ่ายให้ Transducers

ข้อมูลทางเทคนิค

- สามารถเลือกรับอินพุตได้ทั้ง 0 – 10 VDC หรือ 4 – 20 mA
- ความเที่ยงตรงในการวัด $\pm$0.25 %
- ย่านการแสดงผล –199 ถึง 1999
- แสดงผลเป็นตัวเลข LED ขนาด 1/2 นิ้ว 4 หลัก
- Input Impedance สำหรับ 0 – 10 VDC = 500 kOhm

  4 - 20 mA = 250 Ohm
- แรงดันไฟเลี้ยง 220 VAC $\pm$ 20 %
- กินไฟ 1 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

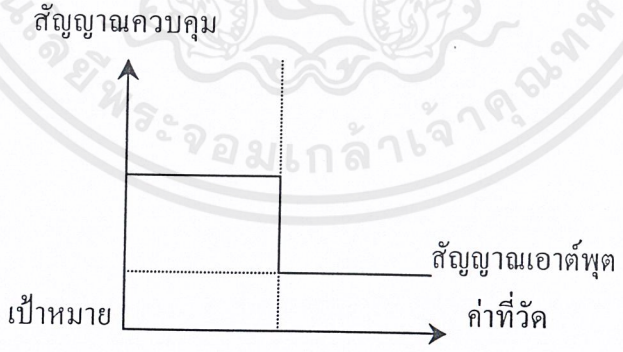
เรื่อง การทดลองปรับความเร็วรอบ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอก
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมโดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอก

ทฤษฎีและหลักการ

ON - OFF action คือ action ที่จะทำให้ความสัมพันธ์ของผลต่างของสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตมีความแตกต่างกันโดยจะทำการควบคุมในรูปของการเปิดปิดซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการแกว่งของกระบวนการเป็นอย่างมากซึ่งจะมีความเหมาะสมกับการควบคุมที่ต้องการเอาต์พุตเป็นช่วงๆ โดยที่เราสามารถยอมรับได้ในการควบคุมแบบนี้จะมีการปรับค่าคงที่ของการควบคุมโดยให้ KP = 1.00,KI = 0.1,KD = 0.001 ซึ่งจะมีผลของการควบคุมที่เป็น ON - OFF คือ เมื่อค่าของเอาต์พุตมีค่าน้อยกว่าค่าของเป้าหมายชุดควบคุมจะสั่งให้มีสัญญาณการควบคุมออกไปจนถึงระดับของสัญญาณเป้าหมายตัวควบคุมก็จะหยุดการส่งสัญญาณการควบคุม



รูปที่ 1 การควบคุมแบบ ON - OFF

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ SPEED CONTROL ตามตารางที่ 1
2. ปรับค่าคงที่ KP = 1.00,KI = 0.1,KD = 0.001
3. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ

ตารางผลการทดลองที่ 1

ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)	การเปลี่ยนแปลง(รอบ/นาที)
300	
400	
500	
600	
700	
800	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

เรื่อง การทดลองควบคุมความเร็วรอบโดยใช้การควบคุมแบบ PID

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอก
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมโดยเครื่องควบคุมแบบแอนะลอก
3. เพื่อศึกษาถึงกระบวนการควบคุมแบบPID

ทฤษฎีและหลักการ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวควบคุมจะพยายามรักษาให้ค่าตัวแปรในโปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอ ในกรณีที่เกิดสัญญาณการรบกวนจากภายนอกหรือภายในระบบทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายจะทำให้ค่าโปรเซสมีค่าต่างจากค่าเป้าหหมายไปชั่วขณะหนึ่ง โดยที่ตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ค่าโปรเซสมี่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายนี้ในที่สุด ลักษณะการนำค่าตัวโปรเซสให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้ จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติการควบคุมในระบบนั้นๆ บางครั้งการควบคุมจะสามารถควบคุมให้เข้าใกล้ค่าโปรเซสได้เร็วแต่บางระบบอาจทำได้ดีกว่า เราสามารถทดสอบความสามารถของระบบควบคุมนี้ได้โดยการดูที่ผลการตอบสนอง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ SPEED CONTROL ตามตารางที่ 2
2. ปรับค่าคงที่ KP, KI และKD ให้ความเร็วรอบคงที่มากที่สุด
3. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ
4. บันทึกค่า KP, KI และKD ลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 2

ความเร็วรอบ	KP	KI	KD	การเปลี่ยนแปลง(รอบ/นาที)
300	1.25	1.00	0.004	
400	1.25	1.00	0.005	
500	1.25	1.00	0.005	
600	1.25	1.00	0.005	
700	1.25	1.00	0.005	
800	1.00	1.00	0.005	
900	1.50	1.00	0.005	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

เรื่อง การทดลองปรับความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบPID

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบPID
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบPID

ทฤษฎีและหลักการ

การควบคุมที่มีการแกว่งของสัญญาณการควบคุมขึ้นนั้นมีหลายรูปแบบถ้าทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสวิ่งเข้าหาค่าเป้าหมายนั้นผลตอบสนองของตัวแปรโปรเซสนั้นมีหลายรูปแบบซึ่งได้แก่

1) การเกิด Overshoot และการแกว่ง
2) การตอบสนองที่เร็วเกินไป
3) การเกิด offset
4) การตอบสนองที่ช้า
5) การเกิดการแกว่งเล็กน้อยก่อนกลับเข้าสู่เป้าหมายเดิม
6) เกิดการแกว่งและขาดเสถียรภาพ

เมื่อพิจารณาผลการตอบสนองของการควบคุมแบบต่างๆแล้วซึ่งระบบควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) มีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแกว่งเมื่อถูกกระตุ้น
2) ตอบรับการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายได้รวดเร็ว
3) ไม่เกิด offset

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ SPEED CONTROL ตามตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับค่าคงที่ KP, KI และKD ตามการทดลองใบงานที่ 2

3. ทดลองปรับลดค่าตามตาราง

4. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ

ตางรางผลการทดลองที่ 3

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าคงที่			ความเร็วเปลี่ยนแปลง					
	KP	KI	KD	400	500	600	700	800	900
300	1.25	0.33	0.002						
400	1.25	0.33	0.001						
500	1.25	0.5	0.04						
600	1.25	1	0.04						
700	1.25	1	0.05						
800	1.25	1	0.05						
900	1.25	1	0.05						

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

เรื่อง การทดลองควบคุมความเร็วรอบเมื่อมีโหลดโดยการควบคุมแบบPID

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการควบคุมความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบPID เมื่อมีโหลด
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบ PID เมื่อมีโหลด

ทฤษฎีและหลักการ

ในการควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบPID นั้น ถ้าเราลองแปรค่าคงที่ของการควบคุมจะมีผลต่อผลตอบสนองของการควบคุมดังนี้

ผลของ P action

เมื่อค่าของ KP เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของอัตราการขยายสูงขึ้นจะมีผลทำให้

1) offset ลดลง

2) period ของการแกว่งเล็กลง

3) อัตราส่วนของช่วงการแกว่งเพิ่มขึ้นระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

ผลของ I action

เมื่อให้ค่า KP และKD คงที่แล้วลด KI จะมีผลทำให้

1) offset จะหายไป

2) ผลตอบสนองจะเร็วขึ้น

3) อัตราส่วนของช่วงการแกว่งเพิ่มขึ้นระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

ผลของ D action

เมื่อให้ KP และ KI คงที่แล้วลองเพิ่ม KD ให้มากขึ้นจะมีผล

1) อัตราส่วนความกว้างการแกว่งลดลงระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

2) period ของการแกว่งสั้นลง

โดยปกติถ้าเราให้เวลาในการเข้าสู่ระบบนานระบบจะมีเสถียรภาพมากขึ้นก็จริงแต่จะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนได้ง่ายเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ SPEED CONTROL ตามตารางที่ 4
2. ปรับค่าคงที่ KP, KI และ KD ให้ความเร็วรอบคงที่
3. ปรับโหลดให้กับมอเตอร์
4. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4

ตารางผลการทดลองที่ 4

ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ค่าคงที่			ความเร็วเปลี่ยนแปลง(รอบ/นาที)
	KP	KI	KD	
300	1.25	1.00	0.03	
400	1.25	1.00	0.04	
500	1.25	1.00	0.05	
600	1.25	1.00	0.004	
700	1.25	1.00	0.005	
800	1.00	1.00	0.005	
900	1.50	1.00	0.005	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

เรื่อง การทดลองปรับความเร็วรอบเมื่อมีโหลดโดยการควบคุมแบบPID

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบPID เมื่อมีโหลด
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบ PID เมื่อมีโหลด

ทฤษฎีและหลักการ

ลักษณะสมบัติของโปรเซสโดยทั่วๆไปจะมี Time lag และ dead time ซึ่งจะทำให้มีผลต่อเสถียรภาพของระบบ โดยที่สาเหตุของการขาดเสถียรภาพของระบบเกิดได้จาก

1) ผลของตัวควบคุมข้างเคียวหรืออื่นๆ
2) Disturbance เป็น period
3) มี Nonlinear element ในระบบเอง
4) Process gain หรือ Loop gain มีค่าสูงเกินไป
5) คุณสมบัติของตัวแปรในระบบ ไม่คงที่เปลี่ยนตาม Disturbance, ค่าเป้าหมาย, เวลา เป็นต้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ SPEED CONTROL ตามตารางที่ 5
2. ปรับค่าคงที่ KP, KI และKD ให้ความเร็วรอบคงที่
3. ปรับโหลดให้กับมอเตอร์
4. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 5 โดยปรับลดความเร็วรอบตามตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 5

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าคงที่			ความเร็วเปลี่ยนแปลง					
	KP	KI	KD	400	500	600	700	800	900
300	1.25	0.33	0.03						
400	1.25	0.33	0.04						
500	1.25	0.5	0.05						
600	1.25	1.00	0.004						
700	1.25	1.00	0.005						
800	1.00	1.00	0.005						
900	1.00	1.00	0.005						

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

เรื่อง การทดลองปรับความเร็วรอบต่ำ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วแบบดิจิตอล คือจะใช้การปรับความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุดเพราะในบางงานที่ใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงานก็ไม่ต้องการใช้ความเร็วรอบตามที่มอเตอร์จะสามารถทำได้การทดลองในใบงานนี้เราก็จะมาทดลอง เกี่ยวกับเสถียรภาพของมอเตอร์และเครื่องควบคุมว่าถ้าทำการปรับความเร็วขึ้นไปในระดับต่างๆ ที่กำหนดให้ในใบงานนั้นมอเตอร์จะมีเสถียรภาพหรือไม่การทดลองในครั้งนี้เราจะทดลองในระดับรอบที่ต่ำก่อนคือ 115 รอบต่อนาทีถึง 504 รอบต่อนาที โดยที่ยังไม่ได้ทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ สังเกตผลการทดลองและบันทึกผลการทดลองลงในตารางผลการทดลองที่ 6

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ Speed Control ตามตารางที่ 6
2. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 6

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การเปลี่ยนแปลง (รอบ/นาที)
115	
176	
240	
309	
405	
504	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่7

เรื่อง การทดลองควบคุมความเร็วโดยใช้การควบคุมป้อนกลับ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอล
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลล
3. เพื่อศึกษาถึงกระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับ

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วแบบดิจิตอล คือจะใช้การปรับความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุดเพราะในบางงานที่ใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงานก็ไม่ต้องการใช้ความเร็วรอบตามที่มอเตอร์จะสามารถทำได้การทดลองในใบงานนี้เราก็จะมาทดลอง เกี่ยวกับเสถียรภาพของมอเตอร์และเครื่องควบคุมว่าถ้าทำการปรับความเร็วขึ้นไปในระดับต่างๆ ที่กำหนดให้ในใบงานนั้นมอเตอร์จะมีเสถียรภาพหรือไม่ การทดลองในครั้งนี้เราจะทดลองในระดับรอบที่ต่ำก่อนคือ 115 รอบต่อนาทีถึง 504 รอบต่อนาที โดยที่ทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์และเมื่อทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ให้สังเกตว่ารอบมอเตอร์จะตกลงและจะสามารถสังเกตได้จากมอนิเตอร์วัดความเร็วรอบ ในส่วนของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะจับอยู่ที่แกนเพลาของมอเตอร์ เมื่อรับข้อมูลเข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์ก็นำข้อมูลนั้นไปเปรียบเทียบกับรอบที่ทำการตั้งไว้ในตอนก่อนที่จะทำการป้อนโหลดให้กับตัวมอเตอร์ เมื่อข้อมูลที่มาจากตัวเซ็นเซอร์ไม่เท่ากับอินพุตที่ป้อนในตอนแรก ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเพิ่มค่าให้กับอินพุตตามที่ทำการตั้งไว้ก่อนที่ยังไม่ได้ทำการป้อนโหลดสังเกตผลการทดลองและบันทึกผลการทดลองลงในตารางผลการทดลองที่ 7

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ Speed Control ตามตารางที่ 7
2. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ
3. บันทึกค่าลงในตารางที่ 7

ตารางผลการทดลองที่ 7

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การเปลี่ยนแปลง (รอบ/นาที)
115	135
176	215
240	270
309	345
405	453
504	537

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 8

เรื่อง การทดลองปรับความเร็วรอบสูง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบสูง
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบดิจิตอล

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วแบบดิจิตอล คือจะใช้การปรับความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุดเพราะในบางงานที่ใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงานก็ไม่ต้องการใช้ความเร็วรอบตามที่มอเตอร์จะสามารถทำได้การทดลองในใบงานนี้เราก็จะมาทดลอง เกี่ยวกับเสถียรภาพของมอเตอร์และเครื่องควบคุมว่าถ้าทำการปรับความเร็วขึ้นไปในระดับต่างๆ ที่กำหนดให้ในใบงานนั้นมอเตอร์จะมีเสถียรภาพหรือไม่การทดลองในครั้งนี้เราจะทดลองในระดับรอบสูงคือตั้งแต่ 504 รอบต่อนาทีถึง 1000 รอบต่อนาที โดยที่ยังไม่ได้ทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ สังเกตผลการทดลองและบันทึกผลการทดลองลงในตารางผลการทดลองที่ 8

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ Speed Control ตามตารางที่ 8
2. ทดลองปรับค่าตามตารางที่ 8
3. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบลงในตารางที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 8

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การเปลี่ยนแปลง (รอบ/นาที)
504	
594	
718	
813	
908	
1000	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 9

เรื่อง การทดลองควบคุมความเร็วรอบสูงเมื่อมีการควบคุมแบบป้อนกลับ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการควบคุมความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อมีโหลด
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อมีโหลด

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วแบบดิจิตอล คือจะใช้การปรับความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุดเพราะในบางงานที่ใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงานก็ไม่ต้องการใช้ความเร็วรอบตามที่มอเตอร์จะสามารถทำได้การทดลองในใบงานนี้เราก็จะมาทดลอง เกี่ยวกับเสถียรภาพของมอเตอร์และเครื่องควบคุมว่าถ้าทำการปรับความเร็วรอบขึ้นไปในระดับต่างๆ ที่กำหนดให้ในใบงานนั้นมอเตอร์จะมีเสถียรภาพหรือไม่ การทดลองในครั้งนี้เราจะทดลองในระดับรอบสูงคือตั้งแต่ 504 รอบต่อนาทีถึง 1000รอบต่อนาที โดยที่ทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์และเมื่อทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ให้สังเกตว่ารอบมอเตอร์จะตกลงและจะสามารถสังเกตได้จากมอนิเตอร์วัดความเร็วรอบ ในส่วนของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะจับอยู่ที่แกนเพลาของมอเตอร์ เมื่อรับข้อมูลเข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์ก็นำข้อมูลนั้นไปเปรียบเทียบกับรอบที่ทำการตั้งไว้ในตอนก่อนที่จะทำการป้อนโหลดให้กับตัวมอเตอร์ เมื่อข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์ไม่เท่ากับอินพุตที่ป้อนในตอนแรกไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเพิ่มค่าให้กับอินพุตตามที่ทำการตั้งไว้ก่อนที่ยังไม่ได้ทำการป้อนโหลดสังเกตผลการทดลองและบันทึกผลการทดลองลงในตารางผลการทดลองที่ 9

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ Speed Control ตามตารางที่ 9
2. ปรับโหลดให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 9

ตารางผลการทดลองที่ 9

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	การเปลี่ยนแปลง (รอบ/นาที)
504	
594	
718	
813	
908	
1000	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 10

เรื่อง การควบคุมปรับความเร็วรอบเมื่อมี โหลด โดยการควบคุมป้อนกลับ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับความเร็วรอบโดยการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อมีโหลด
2. เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพของการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อมีโหลด
3. เพื่อศึกษาถึงการควบคุมป้อนกลับที่ระดับรอบต่างๆ

ทฤษฎีและหลักการ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วแบบดิจิตอล คือจะใช้การปรับความเร็วรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุดเพราะในบางงานที่ใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงานก็ไม่ต้องการใช้ความเร็วรอบตามที่มอเตอร์จะสามารถทำได้การทดลองในใบงานนี้เราก็จะมาทดลอง เกี่ยวกับเสถียรภาพของมอเตอร์และเครื่องควบคุมว่าถ้าทำการปรับความเร็วในระดับต่างๆ ที่กำหนดให้ในใบงานนั้นมอเตอร์จะมีเสถียรภาพหรือไม่ การทดลองในครั้งนี้เราจะทดลองในระดับรอบต่างๆ จากความเร็วรอบต่ำจนถึงความเร็วรอบสูงสุดที่มอเตอร์ยอมรับได้ คือ 115 รอบต่อนาทีถึง 1090 รอบต่อนาที โดยที่ทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์และเมื่อทำการป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ให้สังเกตว่ารอบมอเตอร์จะตกลงและจะสามารถสังเกตได้จากมอนิเตอร์วัดความเร็วรอบ ในส่วนของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะจับอยู่ที่แกนเพลาของมอเตอร์ เมื่อรับข้อมูลเข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์ก็นำข้อมูลนั้นไปเปรียบเทียบกับรอบที่ทำการตั้งไว้ในตอนก่อนที่จะทำการป้อนโหลดให้กับตัวมอเตอร์ เมื่อข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์ไม่เท่ากับอินพุตที่ป้อนในตอนแรกไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเพิ่มค่าให้กับอินพุตตามที่ทำการตั้งไว้ก่อนที่ยังไม่ได้ทำการป้อนโหลดสังเกตผลการทดลองและบันทึกผลการทดลองลงในตารางผลการทดลองที่ 10

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับแบบซิงเกิลเฟสโดยเครื่องควบคุมแบบดิจิตอลและแอนะลอก

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับ Speed Control ตามตารางที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับโหลดให้กับมอเตอร์

3. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 10 โดยปรับลดความเร็วรอบตามตาราง

ตารางผลการทดลองที่ 10

ความเร็วรอบ (รอบ / นาที)	การเปลี่ยนแปลง (รอบ / นาที)
115	
405	
504	
718	
908	
1000	
1090	

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

April 1999

DAC0800/DAC0802
8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 Vp-p with simple resistor loads as shown in *Figure 1*. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current drift: ±10 ppm/°C
- High output compliance: −10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ±4.5V to ±18V
- Low power consumption: 33 mW at ±5V
- Low cost

Typical Applications

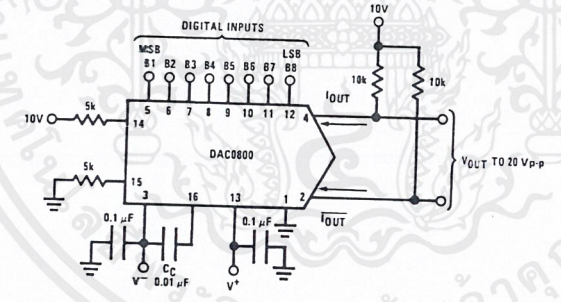


FIGURE 1. ±20 V_{P-P} Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)		N Package (N16A) (Note 1)		SO Package (M16A)
±0.1% FS	0°C ≤ T_A ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	−55°C ≤ T_A ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T_A ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

© 1999 National Semiconductor Corporation DS005686

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	±18V or 36V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^- plus 36V
Analog Current Outputs (V_S − = −15V)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V
Storage Temperature	−65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0800L	−55	+125	°C
DAC0800LC	0	+70	°C
DAC0802LC	0	+70	°C

Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_S = ±15V, I_{REF} = 2 mA and $T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and $\overline{I_{OUT}}$.

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				±0.1			±0.19	%FS
t_s	Settling Time	To ±½ LSB, All Bits Switched		100	135				ns
		"ON" or "OFF", T_A=25°C							
		DAC0800L					100	135	ns
		DAC0800LC					100	150	ns
tPLH, tPHL	Propagation Delay	T_A=25°C							
	Each Bit			35	60		35	60	ns
	All Bits Switched			35	60		35	60	ns
TCI_{FS}	Full Scale Tempco			±10	±50		±10	±50	ppm/°C
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change	−10		18	−10		18	V
		<½ LSB, R_{OUT}>20 MΩ Typ							
I_{FS4}	Full Scale Current	V_{REF}=10.000V, R14=5.000 kΩ	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
		R15=5.000 kΩ, T_A=25°C							
I_{FSS}	Full Scale Symmetry	$I_{FS4}-I_{FS2}$		±0.5	±4.0		±1	±8.0	μA
I_{ZS}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	μA
I_{FSR}	Output Current Range	V^-=−5V	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
		V^-=−8V to −18V	0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
	Logic Input Levels								
V_{IL}	Logic "0"	V_{LC}=0V			0.8			0.8	V
V_{IH}	Logic "1"		2.0			2.0			V
	Logic Input Current	V_{LC}=0V							
I_{IL}	Logic "0"	−10V≤V_{IN}≤+0.8V		−2.0	−10		−2.0	−10	μA
I_{IH}	Logic "1"	2V≤V_{IN}≤+18V		0.002	10		0.002	10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	V^-=−15V	−10		18	−10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	V_S=±15V	−10		13.5	−10		13.5	V
I_{15}	Reference Bias Current			−1.0	−3.0		−1.0	−3.0	μA
dI/dt	Reference Input Slew Rate	(*Figure 11*)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/μs
$PSSI_{FS+}$	Power Supply Sensitivity	4.5V≤V^+≤18V		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
$PSSI_{FS-}$		−4.5V≤V^-≤18V		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
		I_{REF}=1mA							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for V_S = ±15V, I_{REF} = 2 mA and $T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and $\overline{I_{OUT}}$.

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Power Supply Current	V_S=±5V, I_{REF}=1 mA							
I+				2.3	3.8		2.3	3.8	mA
I−				−4.3	−5.8		−4.3	−5.8	mA
		V_S=5V, −15V, I_{REF}=2 mA							
I+				2.4	3.8		2.4	3.8	mA
I−				−6.4	−7.8		−6.4	−7.8	mA
		V_S=±15V, I_{REF}=2 mA							
I+				2.5	3.8		2.5	3.8	mA
I−				−6.5	−7.8		−6.5	−7.8	mA
P_D	Power Dissipation	±5V, I_{REF}=1 mA		33	48		33	48	mW
		5V,−15V, I_{REF}=2 mA		108	136		108	136	mW
		±15V, I_{REF}=2 mA		135	174		135	174	mW

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

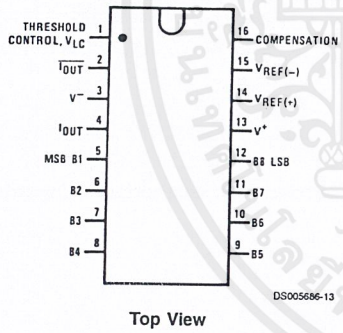
Note 3: The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125˚C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100˚C/W, junction-to-ambient, 175˚C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100˚C/W for the Small Outline M package.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 5: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

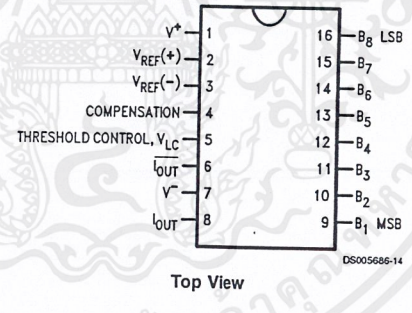
Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



Top View

Small Outline Package

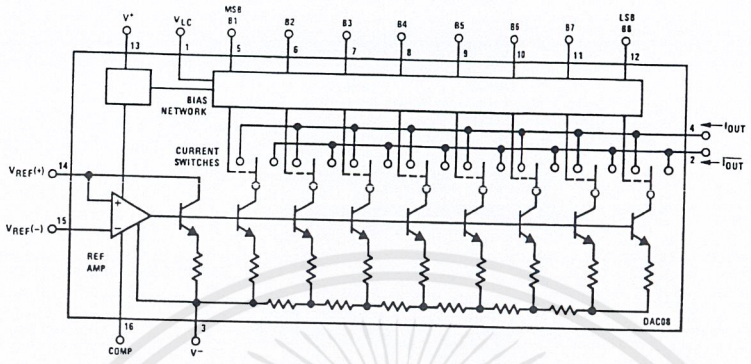


Top View

See Ordering Information

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

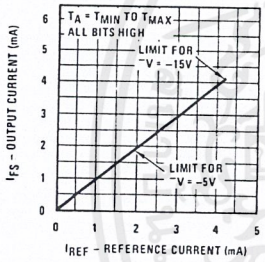
Block Diagram (Note 5)



DS005686-2

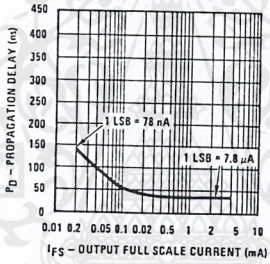
Typical Performance Characteristics

Full Scale Current vs Reference Current



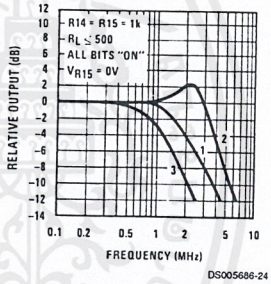
DS005686-22

LSB Propagation Delay vs I_{FS}



DS005686-23

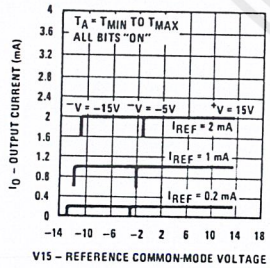
Reference Input Frequency Response



DS005686-24

Curve 1: C_C=15 pF, V_{IN}=2 Vp-p centered at 1V.
Curve 2: C_C=15 pF, V_{IN}=50 mVp-p centered at 200 mV.
Curve 3: C_C=0 pF, V_{IN}=100 mVp-p centered at 0V and applied through 50Ω connected to pin 14.2V applied to R14.

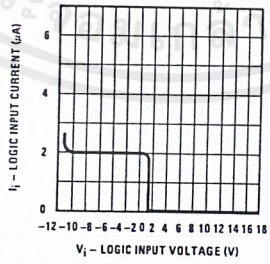
Reference Amp Common-Mode Range



DS005686-25

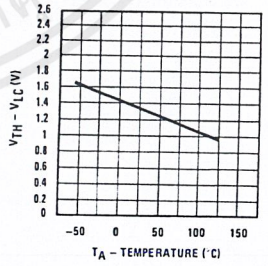
Note. Positive common-mode range is always (V+) − 1.5V.

Logic Input Current vs Input Voltage



DS005686-26

V_{TH} — V_{LC} vs Temperature

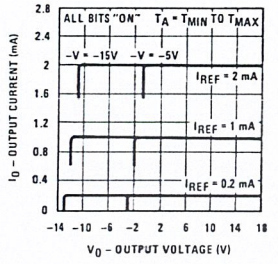


DS005686-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

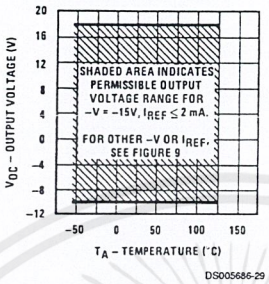
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



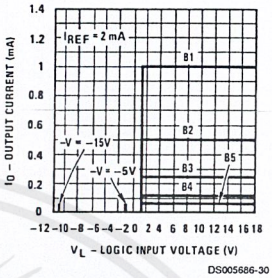
DS005686-28

Output Voltage Compliance vs Temperature



DS005686-29

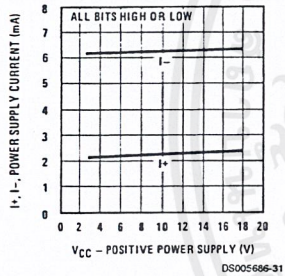
Bit Transfer Characteristics



DS005686-30

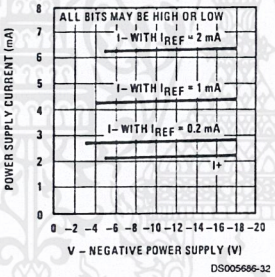
Note. B1–B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than ½ LSB error, at less than ±100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range (V_{LC} = 0V).

Power Supply Current vs +V



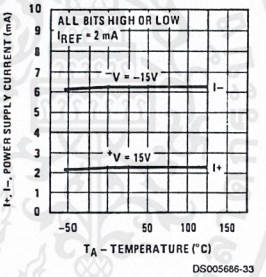
DS005686-31

Power Supply Current vs −V



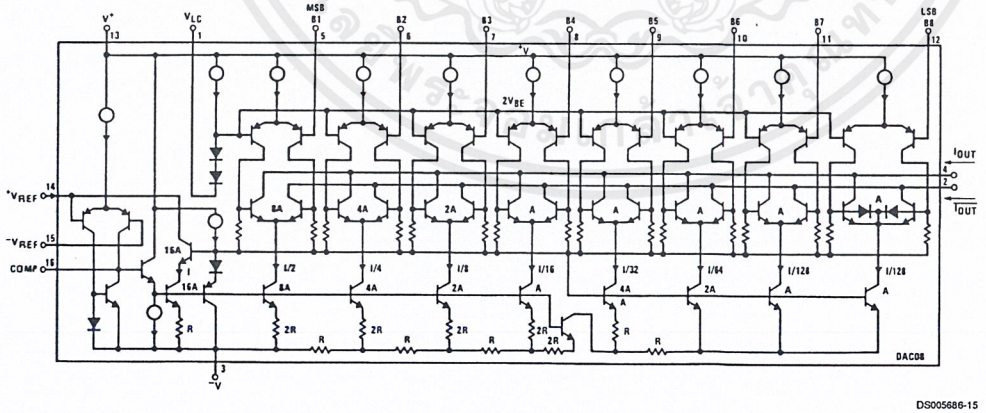
DS005686-32

Power Supply Current vs Temperature



DS005686-33

Equivalent Circuit

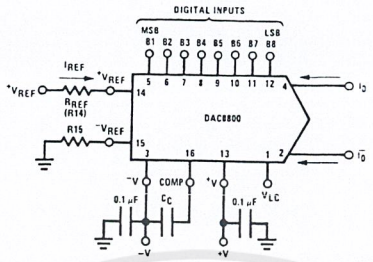


DS005686-15

FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications



$$I_{FS} \approx \frac{+V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

$I_O + \bar{I}_O = I_{FS}$ for all logic states
For fixed reference, TTL operation, typical values are:
V_{REF} = 10.000V
R_{REF} = 5.000k
R15 = R_{REF}
C_C = 0.01 μF
V_{LC} = 0V (Ground)

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 5)

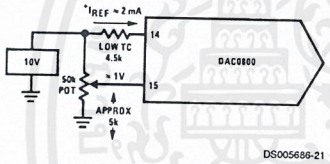
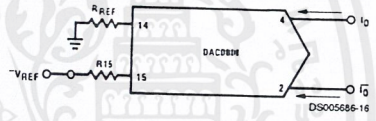


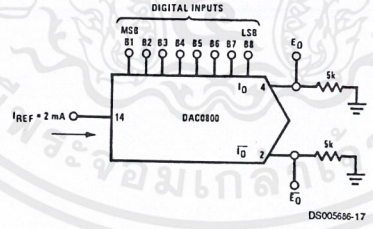
FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 5)



$$I_{FS} \approx \frac{-V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

Note. R_{REF} sets I_{FS}; R15 is for bias current cancellation

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 5)

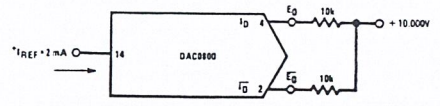


	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I_O mA	$\bar{I}_O$mA	E_O	$\bar{E}_O$
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-9.960

FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

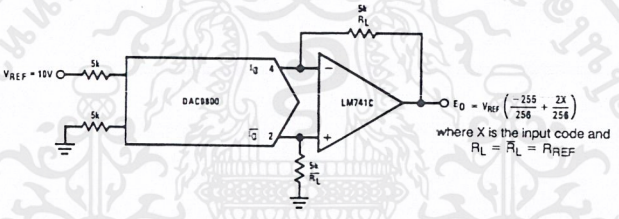
Typical Applications (Continued)



DS005686-6

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_o	$\overline{E}_o$
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	−9.920	+10.000
Pos. Full Scale−LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	−9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	−0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale−LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	−9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	−9.920

FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 5)

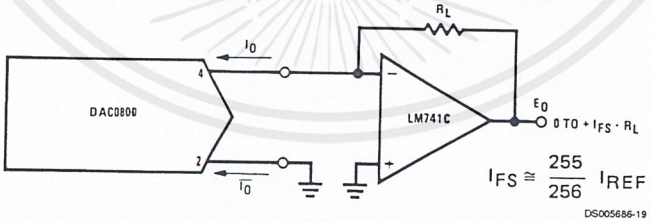


DS005686-18

If $R_L = \overline{R}_L$ within ±0.05%, output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_o
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.960
Pos. Full Scale−LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.880
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(−)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	−0.040
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	−9.880
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	−9.960

FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 5)

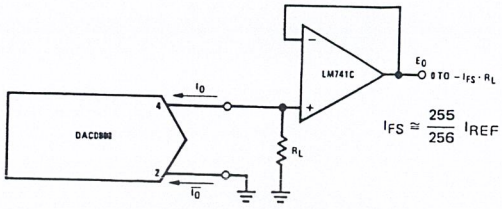


DS005686-19

For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to $\overline{I}_O$ (pin 2), connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 5)

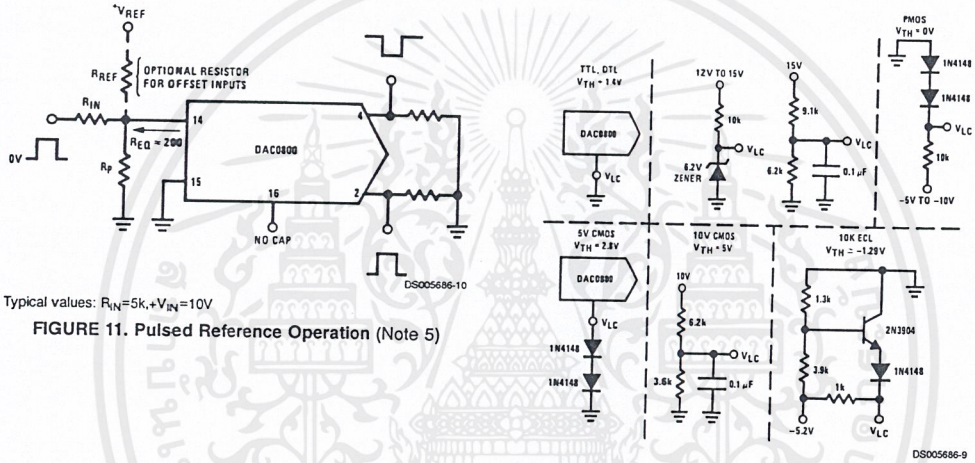
Typical Applications (Continued)



DS005686-20

For complementary output (operation as a negative logic DAC) connect non-inverting input of op am to $\overline{I_O}$ (pin 2); connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 10. Negative Low Impedance Output Operation (Note 5)

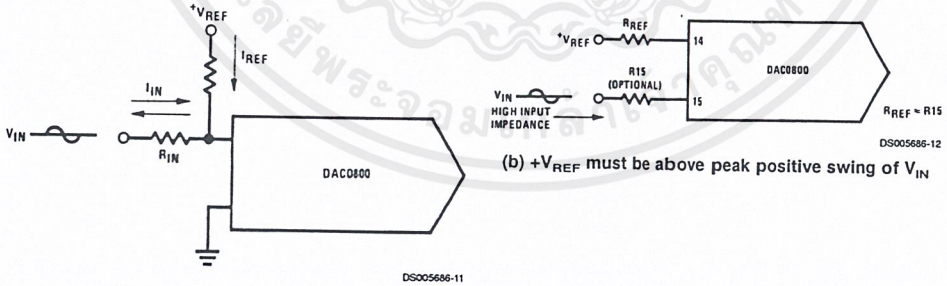


Typical values: R_{IN}=5k,+V_{IN}=10V

FIGURE 11. Pulsed Reference Operation (Note 5)

$V_{TH} = V_{LC} + 1.4V$
15V CMOS, HTL, HNIL
$V_{TH} = 7.6V$
Note. Do not exceed negative logic input range of DAC.

FIGURE 12. Interfacing with Various Logic Families



(a) $I_{REF} \geq$ peak negative swing of I_{IN}

(b) $+V_{REF}$ must be above peak positive swing of V_{IN}

FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

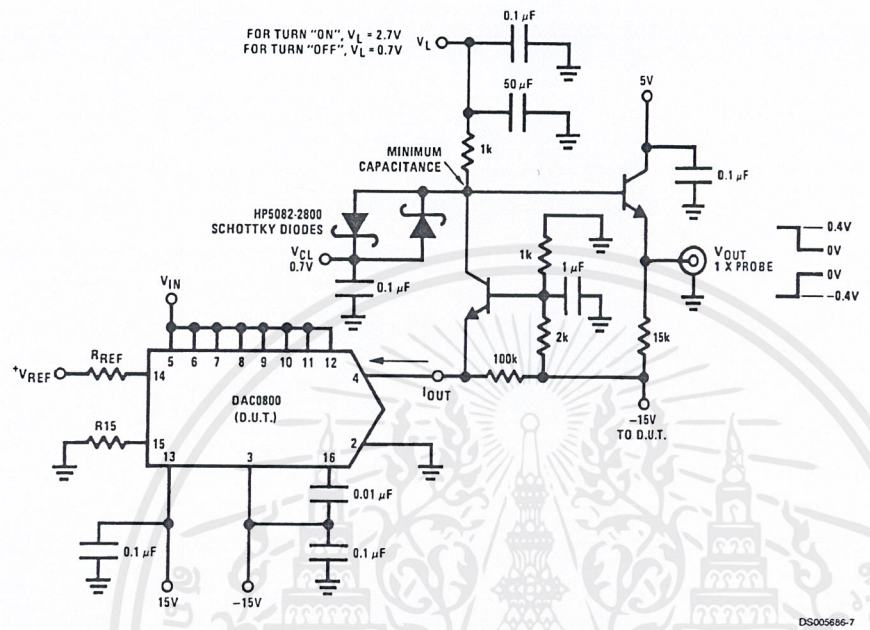
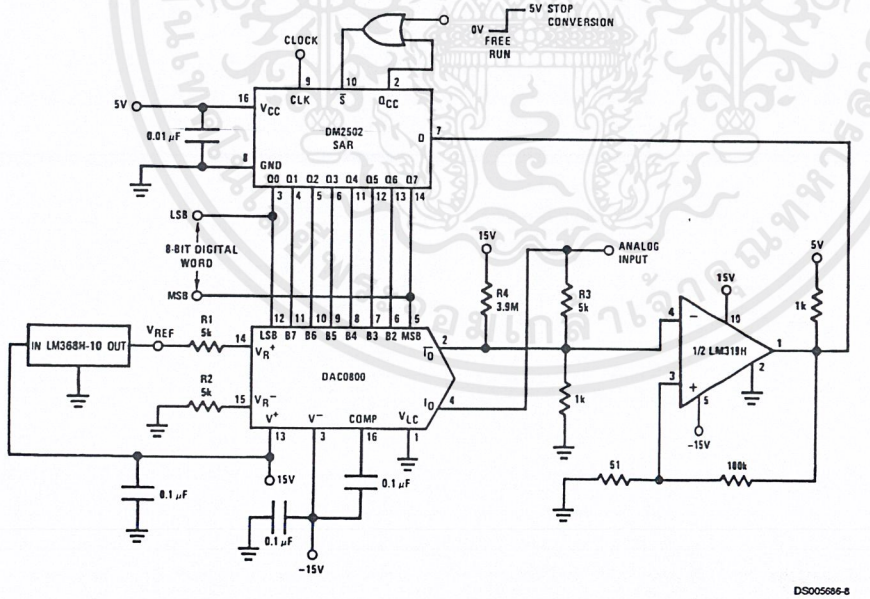


FIGURE 14. Settling Time Measurement (Note 5)

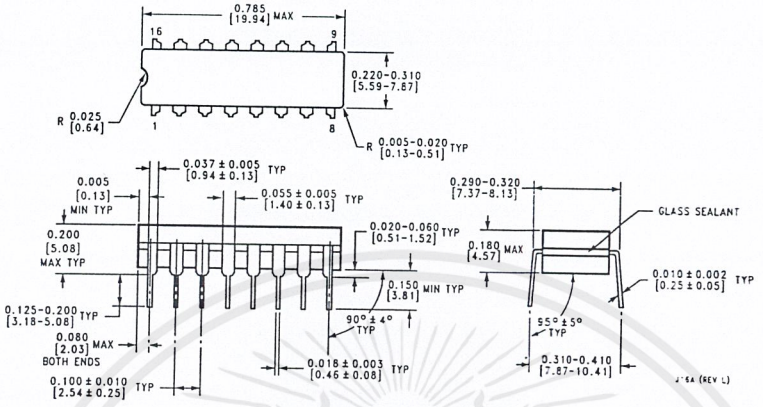


Note. For 1 μs conversion time with 8-bit resolution and 7-bit accuracy, an LM361 comparator replaces the LM319 and the reference current is doubled by reducing R1, R2 and R3 to 2.5 kΩ and R4 to 2 MΩ.

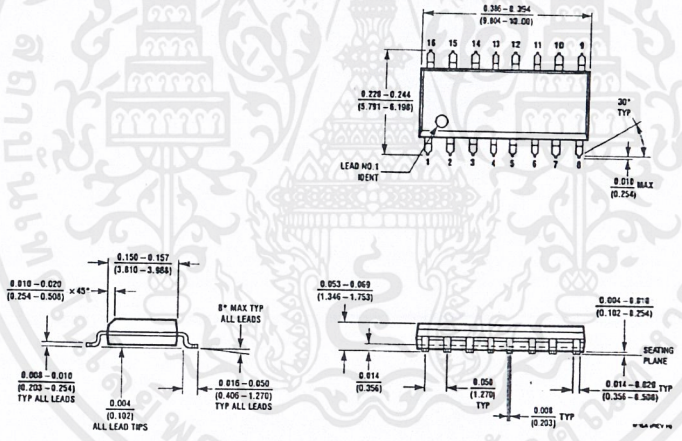
FIGURE 15. A Complete 2 μs Conversion Time, 8-Bit A/D Converter (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



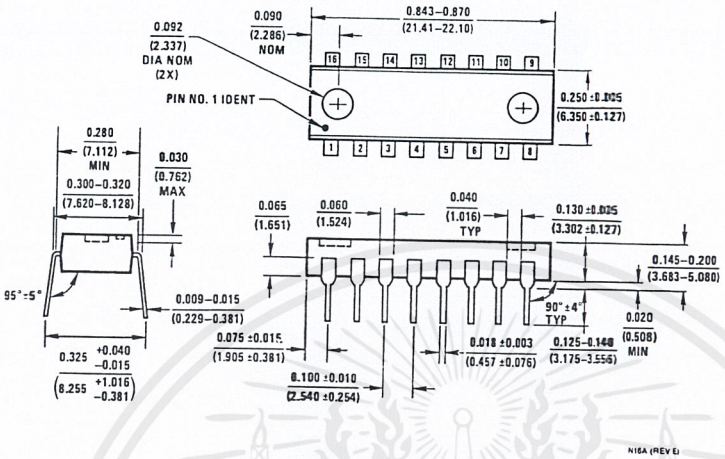
Molded Small Outline Package (SO)
Order Numbers DAC0800LCM,
DAC0801LCM or DAC0802LCM
NS Package Number M16A



Molded Small Outline Package (SO)
Order Numbers DAC0800LCM,
DAC0801LCM or DAC0802LCM
NS Package Number M16A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package
Order Numbers DAC0800, DAC0801, DAC0802
NS Package Number N16A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ณรงค์ ชอนตะวัน, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, เอราวัณการพิมพ์, กรุงเทพฯ

ปฏิภาณ ชนะชัย, ภัทรฤทธิ์ ผาตินาวิน, ภูศิต เพชรพุทธางกูร, เอกปริญญ์ หางแก้ว, ปริญญานิพนธ์เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพ, 2542

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ฉบับ AT89C5X ของ Atmel, อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ

David M. Auslander, Paul Sagues, MICROPROCESSORS FOR MEASUREMENT AND CONTROL, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนิรุต แก้วเจริญ
วันเดือนปีเกิด	8 เมษายน พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดนครนายก
ที่อยู่ปัจจุบัน	65 ม. 13 ตำบลดงละคร อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก 26000
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนไทยรัฐวิทยา 91
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนลาดตะเคียนราษฎร์บำรุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายมวลเทพ แสงไทยารักษ์
วันเดือนปีเกิด	3 ธันวาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดตาก
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดตาก
ที่อยู่ปัจจุบัน	115/5 ม. 3 ถนนซอย 10 อำเภอสามเงา จังหวัดตาก 63130
โทรศัพท์	055 – 549215 , 01 - 7799323
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนมัธโนทัย
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดราชบพิธ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตตาก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสมนึก ช้างหัวหน้า
วันเดือนปีเกิด	25 กันยายน พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยนาท
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดชัยนาท
ที่อยู่ปัจจุบัน	29/1 ม. 9 ตำบลมะขามเฒ่า อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท 17120
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนถาวรวิทยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมัธยมวัดสิงห์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ค่าของคนอยู่ที่ผลของงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายธวัชชัย บ้านแสน
วันเดือนปีเกิด	3 กันยายน พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดปราจีนบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดสระแก้ว
ที่อยู่ปัจจุบัน	49 ม. 8 ตำบลคลองหาด อำเภอคลองหาด จังหวัดสระแก้ว 27260
โทรศัพท์	-
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเขาดิน
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปราจีนราษฎรอำรุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	คนเราเกิดมาจากดิน ตายไปก็เป็นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้