



การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4-ควอดแรนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
4-QUADRANT DC MOTOR CONTROL USING MICROCONTROLLER.

โดย

นายพิชัย จินตโกศลวิทย์

นายยงยุทธ สกุดหรั่ง

นายรัฐเวทย์ แว่วสง่า

นายสุทธิพล พรหมอักษร

วัน เดือน ปี... 31 ก.ค. 2540

เลขทะเบียน... 037033

เลขเรียกหนังสือ... T 38156 พ.บ. ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037033

ปีการศึกษา 2538

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4-ควอดแรนต์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
4-QUADRANT DC MOTOR CONTROL USING MICROCONTROLLER



โดย  
นายพิชัย จินตโกศลวิทย์  
นายขงยุทธ สกุดหรั่ง  
นายรัฐเวทย์ แว่วสง่า  
นายสุธิพล พรหมอักษร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิวิยะ พิเศษสุจำเริญ

อ.อนุวัฒน์ อางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

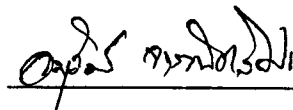
เรื่อง การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4-ควอดแรนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

1. นายพิชัย จินตโกศลวิทย์ รหัส 35104294
2. นายขงยุทธ สกฤตหรั่ง รหัส 35104332
3. นายรัฐเวทย์ แวตสง่า รหัส 35104346
4. นายสุธิพล พรหมอักษร รหัส 35104479



อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำเริญ)



อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.อนูวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4-ควอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

นายพิชัย จินตโกศลวิทย์

นายขงยุทธ สฤทธหรั่ง

นายรัฐเวทย์ แวงสง่า

นายสุริพล พรหมอักษร

รศ.ดร.วิริยะ พิเศษฐง่าเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นการควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งจะใช้วงจรควบคุมสร้างสัญญาณให้วงจรทริก เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรถูกกำลัง สำหรับวงจรถูกกำลังจะประกอบด้วยไทรสเตอร์ที่ต่อกันแบบคู่ออกคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรควบคุม จะเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เป็นตัวควบคุมการทำงานของทั้งระบบ โดยมีการตรวจจับความเร็ว กระแส เพื่อนำค่ากลับมาใช้ในการประมวลผลการควบคุมความเร็ว การเบรก และการเปลี่ยนทิศทางการหมุน โดยใช้การเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ

**4-QUADRANT DC MOTOR CONTROL USING MICROCONTROLLER**

Pichai jintakosonwit

Yongyut sakurung

Ruttawate Veawsahar

Sutipon Promukson

Assoc. Prof. Viriya Pichetjanroen Advisor

Anuwat Jangwanichlert Advisor

1995

**ABSTRACT**

This project concerns speed and direction control of DC Motor by phase control method. Power circuit is dual converter which is controlled by firing circuit using the closed-loop system. The controlling uses MCS-51 microcontroller to control the system by detect the value of speed, current and process these values to control speed, braking and change the direction of rotate by regenerative braking.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์	3
2.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบกลับทิศทางการหมุน	3
2.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล	5
2.3 เรคตีไฟร์แบบฟูลคอนโทรล 1 เฟส ใช้งานกับมอเตอร์กระตุ้นแยก	9
2.4 การทำงานของวงจรกำลัง	14
2.5 การเบรคความเร็วรอบมอเตอร์แบบกระแสกลับทิศ	16
2.6 การสับเปลี่ยนการทำงานระหว่างคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 กับคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2	18
บทที่ 3 หลักการและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง	21
3.1 หลักการและขั้นตอนการทำงาน	21
บทที่ 4 วงจรสร้างสัญญาณทริกเพื่อควบคุม ไทริสเตอร์	24
4.1 วงจรสร้างสัญญาณทริก ไทริสเตอร์	24
4.2 การออกแบบหม้อแปลงพัลส์	26
บทที่ 5 การตรวจจับสัญญาณ	30
5.1 วงจรตรวจจับความเร็ว	30
5.2 วงจรวัดกระแสมอเตอร์กระแสตรง	36
บทที่ 6 การแปลงค่า	42
6.1 การแปลงค่าสัญญาณ อนาลอก ไปเป็นสัญญาณ ดิจิตอล(A/D)	42
6.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอล ไปเป็นสัญญาณอนาลอก(D/A)	44
6.2.1 การทำงานของวงจรดิจิตอลทูอนาลอกขนาด 8 บิต	44
6.2.2 การทำงานของวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบ 12 บิต	48
บทที่ 7 การรับคำสั่งและการแสดงผล	50
7.1 การรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การแปลงเลขฐาน 2 เป็นเลข BCD	58
7.3 อุปกรณ์แสดงผลโดยใช้จอ LCD	62
<b>บทที่ 8 โปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง</b>	<b>64</b>
8.1 การเริ่มทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว	64
8.2 การทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว	64
8.3 การเปลี่ยนแปลงคำสั่งการทำงาน	65
8.4 การปรับค่ามุมทริกโดยใช้ตารางคอส	67
<b>บทที่ 9 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>77</b>
9.1 สัญญาณของแรงดันที่ความเร็วค่าต่างๆ ขณะไม่มีโหลด	78
9.2 สัญญาณแรงดันและกระแสที่โหลดต่างๆ	80
9.3 สัญญาณแรงดันและกระแสทั้ง 4 ควอดแรนต์	81
9.4 การทดลองเปรียบเทียบเวลาในการหยุดมอเตอร์	84
9.5 การทดลองเปรียบเทียบค่าความเร็วและแรงดันที่ค่าโหลดต่างๆ	88
<b>บทที่ 10 สรุปผลและวิจารณ์</b>	<b>93</b>
10.1 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	93
10.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	94
10.3 สรุป	94
10.4 สิ่งที่จะควรพัฒนาต่อไป	95
<b>ภาคผนวก</b>	<b>-</b>
<b>กิตติกรรมประกาศ</b>	
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแสดงโหมคการทำงานใน 4 ควอดแรนท์ของมอเตอร์กระแสตรง	3
รูปที่ 2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล	5
รูปที่ 2.3 a. รูปแสดงค่าแรงดันที่ป้อน	7
รูปที่ 2.3 b รูปแสดงค่าของกระแสเมเจอร์	7
รูปที่ 2.3 c. รูปแสดงค่าแรงดันเอาต์พุต พร้อมทั้งค่าแรงดันเฉลี่ย	7
รูปที่ 2.3 d รูปแสดงค่ากระแสอินพุต	7
รูปที่ 2.4 รูปแสดงการทำงานของวงจรเมื่อทำงานในโหมคอินเวอร์ตดิ้ง	8
รูปที่ 2.5 รูปแสดงเรกติไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟส ป้อนให้มอเตอร์กระแสตรง แบบกระตุ้นแยก	11
รูปที่ 2.6 โหมคการทำงานแบบมอเตอร์รีงของเรกติไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟสป้อนให้ มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	12
รูปที่ 2.7 โหมคการทำงานแบบรีเจนเนอเรทีฟของเรกติไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟสป้อนให้ มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	13
รูปที่ 2.8 วงจรกำลัง(คู่ออลคอนเวอร์เตอร์)	15
รูปที่ 2.9 แรงดันเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล ต่อมุมนำกระแส $\alpha$	16
รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยนควอดแรนท์ในการเบรคความเร็วรอบมอเตอร์แบบกระแสกลับทิศ	18
รูปที่ 2.11 มอเตอร์ทำงานแต่ละควอดแรนท์ ข่ายกระแส โดยคอนเวอร์เตอร์(ควบคุมแบบ ฟูลคอนโทรล)	20
รูปที่ 3.1 บล็อกโคอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง	23
รูปที่ 4.1 แสดงรูปสัญญาณที่ขาต่างๆ ของ TCA 785	24
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ขาขาที่ 4 และสัญญาณที่ออกจากขาที่ 3 ของ ไอซีเบอร์ 555	25
รูปที่ 4.3 แสดงการต่อวงจรของ ไอซีเบอร์ 555	25
รูปที่ 4.4 ซิงเกิลพัลส์	27
รูปที่ 4.5 พัลส์เทรน	28
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรสร้างสัญญาณเทริกควบคุม ไทริสเตอร์ที่ต่อแบบคู่ออลคอนเวอร์เตอร์	29
รูปที่ 5.1 การกรองสัญญาณความถี่สูง	30
รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณเข้า(V <sub>i</sub> ) ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์กับสัญญาณออก(V <sub>o</sub> ) ซึ่งเป็นสัญญาณ พัลส์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 แสดงรูปวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	31
รูปที่ 5.4 แสดงขาของ ไอซี เบอร์ 74LS393	32
รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณนาฬิกา 1 วินาที	32
รูปที่ 5.6 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรตรวจจับความเร็ว	33
รูปที่ 5.7 แสดงไดอะแกรมเวลาของวงจรมับ	34
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรตรวจจับความเร็ว	35
รูปที่ 5.9 การใช้งานหม้อแปลงวัดกระแส	36
รูปที่ 5.10 รูปแสดงสัญญาณลักษณะหม้อแปลง	37
รูปที่ 5.11 วงจรบริดจ์เรคตีไฟร์	38
รูปที่ 5.12 แสดงคุณสมบัติของ ไดโอด	38
รูปที่ 5.13 แสดงการใช้ออปแอมป์แทนไดโอด	39
รูปที่ 5.14 วงจรพรีซิชั่นฟูลเวฟเรคตีไฟร์	39
รูปที่ 5.15 วงจรพรีซิชั่นเมื่อป้อนไฟบวก	40
รูปที่ 5.16 วงจรพรีซิชั่นเมื่อป้อนไฟลบ	41
รูปที่ 6.1 แสดงรูปวงจรถอนาล็อกทุกดิจิตอล	43
รูปที่ 6.2 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	44
รูปที่ 6.3 แสดงรูปวงจรถอนาล็อกขนาด 8 บิต	46
รูปที่ 6.4 วงจรดิจิตอลทอนาล็อก 12 บิต	49
รูปที่ 7.1 แสดงวงจรของสวิตช์	50
รูปที่ 7.2 แสดงการเกิดบาวนซ์ขณะกดสวิตช์	50
รูปที่ 7.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการแก้สัญญาณบาวนซ์	51
รูปที่ 7.4 วงจรของคีย์บอร์ดและจอ LCD	52
รูปที่ 7.5 โฟลว์ชาร์ทแสดงการตรวจสอบคีย์บอร์ด	53
รูปที่ 7.6 โฟลว์ชาร์ทแสดงการเริ่มเข้าสู่การรับคำสั่ง	54
รูปที่ 7.7 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของารรับคำสั่งฟอร์เวิร์ด	55
รูปที่ 7.8 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของารรับคำสั่งรีเวอร์ส	56
รูปที่ 7.9 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของารรับคำสั่งคู่ค่ากระแสและแรงบิด	57
รูปที่ 7.10 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรม BCD SPEED	60
รูปที่ 8.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงการเริ่มทำงานของ โปรแกรมควบคุมความเร็ว	68
รูปที่ 8.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของ โปรแกรมควบคุมความเร็ว	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.3	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบการเปลี่ยนค่าตั้ง	70
รูปที่ 8.4	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมหยุดการทำงานของมอเตอร์	71
รูปที่ 8.4	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมหยุดการทำงานของมอเตอร์(ต่อ)	72
รูปที่ 8.6	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์	73
รูปที่ 8.7	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์	74
	(ต่อ)	
รูปที่ 8.8	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมการลดความเร็วของมอเตอร์	75
รูปที่ 8.9	โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมการลดความเร็วของมอเตอร์(ต่อ)	76
รูปที่ 9.1	ชุดควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์	77
รูปที่ 9.2	วงจรกำลังซึ่งต่ออยู่กับมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และตำแหน่งในการวัดสัญญาณ	78
รูปที่ 9.3	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่มีโหลด	79
รูปที่ 9.4	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่มีโหลด	79
รูปที่ 9.5	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ขณะกระแสเป็น 1 A	80
รูปที่ 9.6	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ขณะกระแสเป็น 4 A	81
รูปที่ 9.7	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแสขณะหมุนใน ทิศฟอร์เวิร์ด	82
รูปที่ 9.8	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแสขณะเบรกโดย คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2	82
รูปที่ 9.9	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแสขณะหมุนใน ทิศรีเวิร์ส	83
รูปที่ 9.10	รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแสขณะกำลัง เบรกโดยคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1	84
รูปที่ 9.11	กราฟเปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์โดยใช้วารีแอก และใช้ชุดควบคุมเมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลด	86
รูปที่ 9.12	กราฟเปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์โดยใช้วารีแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 1 A	86
รูปที่ 9.13	กราฟเปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์โดยใช้วารีแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 2 A	87
รูปที่ 9.14	กราฟเปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์โดยใช้วารีแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 3 A	87

รูปที่ 9.15 กราฟเปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 4 A	89
รูปที่ 9.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 600 rpm.	90
รูปที่ 9.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 660 rpm.	90
รูปที่ 9.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 720 rpm.	91
รูปที่ 9.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 780 rpm.	91
รูปที่ 9.20 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 840 rpm.	92
รูปที่ 9.21 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอก และชุดควบคุม ที่ความเร็ว ไม่มี โหลดมีค่า 900 rpm.	92

### สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล	42
ตารางที่ 6.2 แสดงผลดิจิทัลของอนาล็อก	45
ตารางที่ 9.1 แสดงเวลาในการหาค่าความถี่และค่าโพลต์ต่างๆโดยใช้วาริแอก	85
ตารางที่ 9.2 แสดงเวลาในการหาค่าความถี่และค่าโพลต์ต่างๆโดยใช้ชุดควบคุม	85
ตารางที่ 9.3 แสดงค่าความถี่และแรงดันที่เทอร์มินอลของมอเตอร์ที่ค่าโพลต์ต่างๆเมื่อใช้วาริแอกขับมอเตอร์ให้วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการขณะ ไม่มีโพลต์	88
ตารางที่ 9.4 แสดงค่าความถี่และแรงดันที่เทอร์มินอลที่ค่าโพลต์ต่างๆเมื่อสั่งค่าความถี่จากชุดควบคุมให้วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการขณะ ไม่มีโพลต์	89



## บทที่ 1

### บทนำ

การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกแบบ 4 ควอเตอร์ มีลักษณะการทำงานดังนี้คือ

ควอเตอร์ที่ 1	มอเตอร์จะมีทิศทางการหมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด
ควอเตอร์ที่ 2	เป็นการเบรกของมอเตอร์ที่หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด
ควอเตอร์ที่ 3	มอเตอร์จะมีทิศทางการหมุนในทิศทางรีเวิร์ส
ควอเตอร์ที่ 4	เป็นการเบรกของมอเตอร์ที่หมุนในทิศทางรีเวิร์ส

เพื่อให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วที่ต้องการจะใช้วิธีการควบคุมมุมทริกของบริดจ์ไทรสเตอร์ที่ต่อกันแบบคูลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งที่ค่ามุมทริกต่างๆจะทำให้แรงดันที่คร่อมเมเจอร์มีค่าแตกต่างกันไป ส่งผลให้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ให้เป็นไปตามต้องการได้ ขณะที่ขดลวดจะป้อนแรงดันคงที่ที่พิกัด เพื่อควบคุมให้ปริมาณฟลักซ์คงที่ ในการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วเดิม , หยุคการหมุนของมอเตอร์หรือเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะใช้การเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ คือมอเตอร์จะทำตัวเป็นเจนเนอเรเตอร์นำพลังงานทางกลมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าป้อนกลับสู่ระบบ ทำให้เกิดแรงบิดในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนในทิศทางเดิมทำให้เบรกได้เร็วขึ้น ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดความสูญเสียเมื่อเปรียบเทียบกับ การเบรกแบบวิธีอื่น เช่น การเบรกทางกล , การเบรกทางไฟฟ้าด้วยวิธีไดนามิก ฯลฯ ทำให้ประหยัดพลังงาน ส่วนทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะควบคุมโดยการเลือกขดคอนเวอร์เตอร์ชุดใดชุดหนึ่งให้ทำงานเพียงชุดเดียว โดยเมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดที่หนึ่งทำงานในโหมดการทำงานแบบมอเตอร์รีจ มอเตอร์จะหมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด และเมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดที่สองทำงานในโหมดการทำงานแบบมอเตอร์รีจ มอเตอร์จะหมุนในทิศทางรีเวิร์ส

ในการควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ทำงานเป็นไปตามต้องการนั้นจะอาศัยการควบคุมหลักจากโปรแกรมที่ทำงานอยู่ภายใน CPU ( MCS-51 ) ที่จะคอยจัดการทุกระบบ คือ ควบคุมมุมทริกที่จะไปทริกขาของไทรสเตอร์ , การรับค่าความเร็วและกระแสจากวงจรตรวจจับ , ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ ที่ค่าโหลดต่างๆ , การรับคำสั่งทางคีย์บอร์ด , การแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบการทำงานและรวมถึงการคำนวณต่างๆของโปรแกรม

ในการทำงานของ CPU นั้น เมื่อจำเป็นจะต้องมีการสั่งงานไปควบคุมส่วนต่างๆของวงจร เช่น วงจรทริกขาไทรสเตอร์ จำเป็นจะต้องมีการแปลงสัญญาณเสียก่อนเพราะสัญญาณที่ออกจาก CPU เป็นสัญญาณดิจิทัล ต้องเปลี่ยนเป็นอนาลอกเสียก่อนเพื่อที่จะไปควบคุมวงจรสร้างสัญญาณทริกต่อไป ดังนั้นจึงต้องมีการใช้วงจรแปลงสัญญาณคือเอ นอกจากนั้นการรับข้อมูลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกเพื่อที่จะนำเข้าไปประมวลผลภายใน CPU ก็ต้องรับข้อมูลมาแบบดิจิทัล ดังนั้น สัญญาณที่รับมาแบบอนาลอกต้องมีการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเช่นเดียวกัน จึงต้องมีการใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อก

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นการติดต่อกันระหว่าง CPU กับระบบฮาร์ดแวร์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้การควบคุมการทำงานเป็นไปได้อย่างดีจึงต้องมีตัวรับคำสั่งจากผู้ใช้และแสดงผลออกทางหน้าจอเพื่อให้รู้ถึงสถานะการทำงานได้

จากการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์แบบ 4 ควอเตอร์ ดังที่กล่าวมานั้น สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมได้มากมาย เช่น

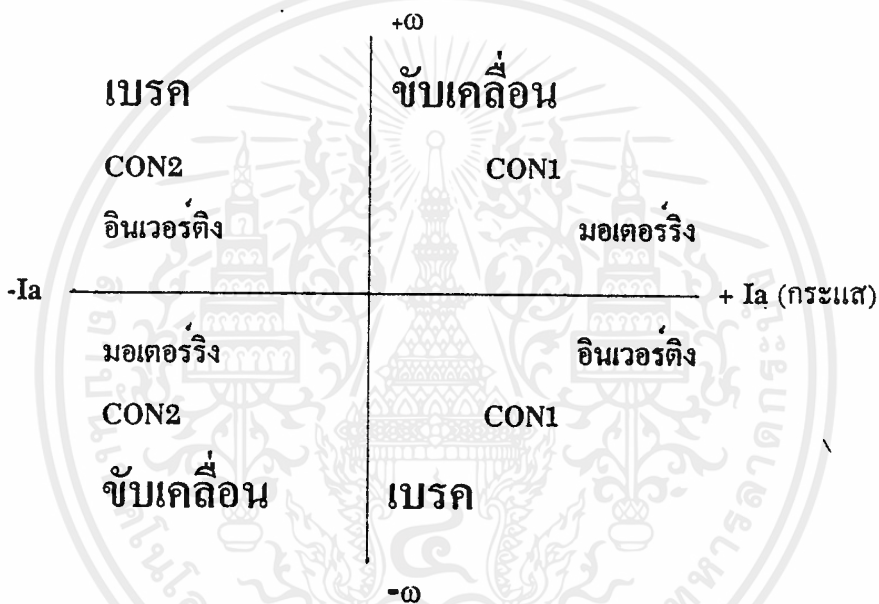
- งานที่ต้องการความเร็วรอบคงที่ ที่ความเร็วค่าต่างๆ เช่น งานที่มีระบบการลำเลียง
- งานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในช่วงกว้าง เช่น มอเตอร์ควบคุมการไหล , โบลเวอร์
- งานที่จำเป็นต้องมีการกลับทิศทางการหมุนและต้องการความเที่ยงตรงในการหยุด เช่น ลิฟท์
- งานที่มีการทำงานเป็นจังหวะ มีช่วงการทำงานและหยุดการทำงานบ่อยๆ เช่น ปั่นจักรยานของ
- งานที่ต้องการหยุดการทำงานอย่างรวดเร็วและนุ่มนวล เช่น ระบบการหยุดมอเตอร์แบบฉุกเฉิน

## บทที่ 2

## ทฤษฎีการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4-ควอดแรนต์

## 2.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบกลับทิศทางการหมุน

การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง ที่สามารถกลับทิศทางการหมุนได้นั้น มอเตอร์ควร์ที่จะสามารถขับเคลื่อนและเบรคได้ทั้งสองทิศทาง คือในทิศทางฟอร์เวิร์ด (forward) และทิศทางรีเวิร์ส (reverse) สำหรับทิศทางแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง จะถูกควบคุมโดยทิศทางกระแสของกระแสแอมเจอร์ (amature) ในทิศทางบวกหรือลบที่ต้องการ ซึ่งวงจรกำลังที่จ่ายพลังงานให้มอเตอร์จะประกอบด้วยวงจรของไทรสเตอร์ ที่ต่อกันอยู่แบบคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.1 รูปแสดงโหมดการทำงานใน 4 ควอดแรนต์ของมอเตอร์กระแสตรง

ความเร็วรอบมอเตอร์เป็นบวกที่หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด โดยการกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ทำงาน ซึ่งเราสามารถที่จะเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ได้ตามต้องการ ในสภาวะนี้ กระแสแอมเจอร์จะไหลในทิศบวก แรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นบวกด้วย ในสภาวะนี้มอเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์ริง (motoring)

ขณะที่มีการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ดนั้น ในการที่จะเบรคความเร็วรอบของมอเตอร์ จะต้องมีการสร้างแรงบิดเป็นลบขึ้น ซึ่งทำได้ถ้าให้กระแสแอมเจอร์ไหลกลับทิศทาง โดยอาศัยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ซึ่งจะนำกระแสในโหมดอินเวอร์ตติ้ง (inverting) เพื่อสร้างแรงดันที่ขั้วของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ให้มีขั้วเหมือนกับแรงดัน

ไฟฟ้าย้อนกลับ (back emf) ที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดิม ก่อนที่จะสร้างแรงบิดเป็นลบ โดยที่ชั่วขณะไฟฟ้าย้อนกลับของมอเตอร์จะยังคงชั่วครู่ และ ความแตกต่างระหว่างแรงดันที่เกิดที่ขั้วของมอเตอร์ กับแรงดันที่คอนเวอเตอร์นั้น จะมีลักษณะ คือ แรงดันย้อนกลับจากมอเตอร์มีค่ามากกว่าแรงดันของคอนเวอเตอร์ พลังงานที่ผลิตขึ้นที่ มอเตอร์จะถูกป้อนกลับไปสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

การจะทำให้พลังงานถูกป้อนกลับสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ในช่วงที่มีการเบรค นั้น จะมีการตัดการทำงานของคอนเวอเตอร์ชุดที่ 1 ออก ก่อนที่จะให้คอนเวอเตอร์ชุดที่ 2 ทำงานในโหมดอินเวอร์ตติ้ง และเมื่อเบรคจนถึงความเร็วที่ต้องการแล้ว ก็จะเลื่อนโหมดการทำงานจากคอนเวอเตอร์ชุดที่ 2 ที่เป็นอินเวอร์ตติ้ง กลับมาเป็นการทำงานของคอนเวอเตอร์ชุดที่ 1 ในโหมดมอเตอร์รีก มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วค่าใหม่ที่มีค่าลดลงจากเดิม

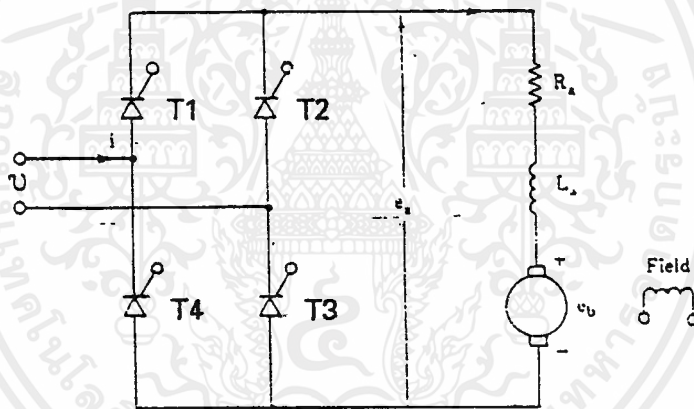
ส่วนการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางรีเวอร์สนั้น คอนเวอเตอร์ชุดที่ 2 จะเป็นตัวทำงาน จ่ายกระแสที่มีทิศทางเป็นลบ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางรีเวอร์ส สำหรับการเบรคความเร็ว รอบของมอเตอร์ในทิศทางรีเวอร์ส จะเหมือนกับการเบรคในทิศทางฟอร์เวิร์ด คอนเวอเตอร์จะ ย้ายการทำงานจากโหมดมอเตอร์รีกของคอนเวอเตอร์ชุดที่ 2 ไปสู่โหมดอินเวอร์ตติ้งของ คอนเวอเตอร์ชุดที่ 1 เพื่อทำให้ทิศทางกระแสของกระแสแอมเพอร์เป็นบวก แรงบิดเบรคที่ มอเตอร์สร้างขึ้นจะเป็นบวก และอัตราเร่งความเร็วรอบมอเตอร์เป็นบวกในทิศทางฟอร์เวิร์ด ตามทิศทางของแรงบิด

และขณะที่มอเตอร์หมุนอยู่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง สามารถที่จะกลับทิศทางการหมุน ของมอเตอร์ได้ โดยจะเบรคความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยหยุดการทำงานของคอนเวอเตอร์ที่ ทำอยู่เดิม แล้วให้คอนเวอเตอร์อีกตัวทำงานในโหมดอินเวอร์ตติ้ง มอเตอร์จะคืนพลังงานกลับสู่ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขณะที่เกิดการเบรค จนกระทั่งกระแสเป็นศูนย์ หลังจากนั้น คอนเวอเตอร์ตัวที่ทำหน้าที่ในการช่วยเบรค ก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงาน ไปเป็นการทำงานใน โหมดมอเตอร์รีก เพื่อจ่ายพลังงานให้มอเตอร์หมุนในทิศทางใหม่จนมอเตอร์มีความเร็วรอบเข้าสู่ ค่าที่ต้องการ ซึ่งในส่วนชุดควบคุมที่จะจัดลำดับการทำงาน จัดเวลาทำงาน และการสับเปลี่ยน การทำงานระหว่างคอนเวอเตอร์สองชุด เพื่อให้การหมุนของมอเตอร์มีทิศทาง และความเร็ว รอบในค่าที่ต้องการ รวมถึงการควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง จะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน

การเปลี่ยนความเร็วที่เร็วเกินไปมัก มอเตอร์จะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ไม่ทัน นำไปสู่การเกิดออสซิลเลชัน (oscillation) ในช่วงทรานส์เซียนท์ (transient) ดังนั้นการจะเพิ่มความเร็วจะต้องค่อยค่อยเพิ่มให้เป็นไปในลักษณะของแร็มพ์ฟังก์ชัน เป็นการจำกัดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ที่ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้

## 2.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล (full control) ดังแสดงในรูป 2.2 วงจรประกอบด้วยไทรสเตอร์ 4 ตัวต่อแบบบริดจ์ และแสดงค่าของความต้านทานและค่าอินดักแตนซ์ในขดเมเจอร์ วงจรนี้สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดมอเตอร์รีกและ ในโหมดอินเวอร์ต



รูปที่ 2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล

ค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ป้อนให้แก่เมเจอร์ คือ

$$E_a = \frac{\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \theta \, d\theta}{\pi}$$

โดย  $\alpha$  คือ มุมทริก(trig)อยู่ในช่วง  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

ได้ 
$$Ea = 0.9Vm \cos \alpha$$

สมการความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงคือ

$$N = \frac{Ea - IaRa}{Kb\phi}$$

และค่ากระแสเมเจอร์(แอมแปร์)

$$Ia = \frac{T}{Kb\phi}$$

โดย T คือแรงบิด(Nm)

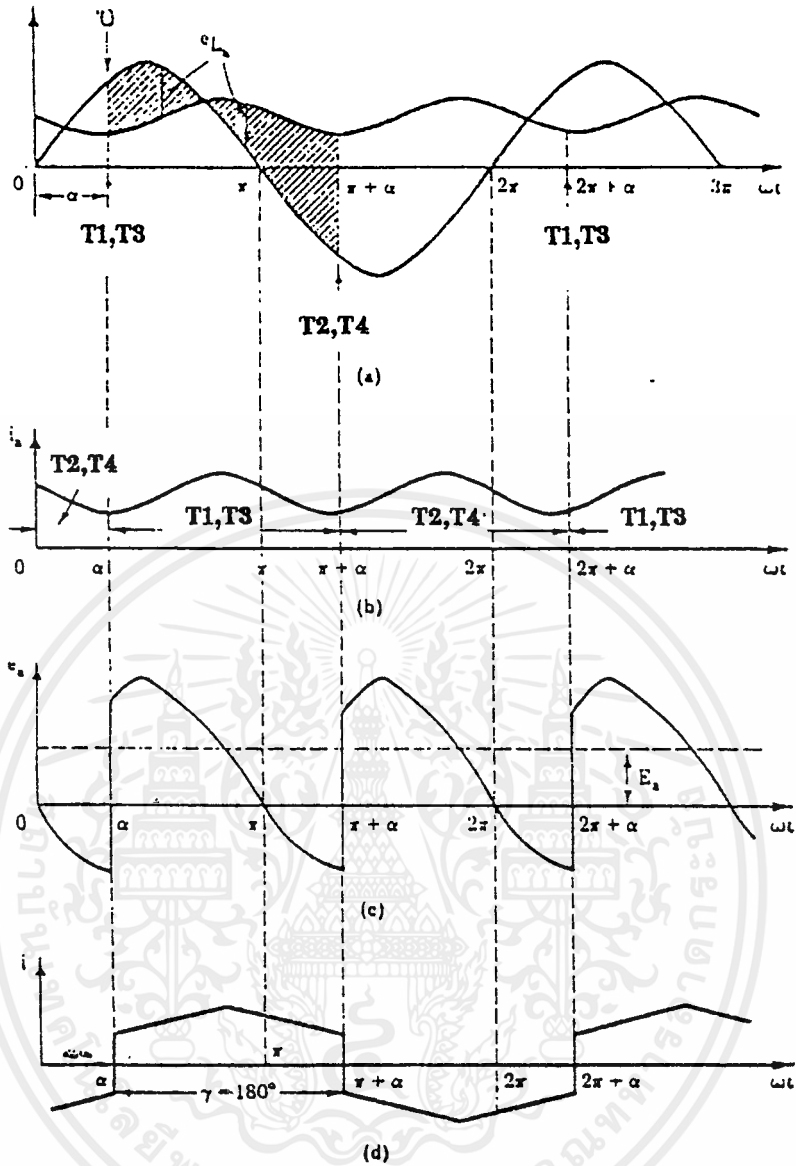
Kb คือค่าคงที่

จะได้ความเร็ว

$$N = \frac{2Vm \cos \alpha}{\pi Kb\phi} - \frac{RaT}{(Kb\phi)^2}$$

ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงขณะไม่มีโหลดมีค่า

$$Nnl = \frac{2Vm \cos \alpha}{\pi Kb\phi}$$



รูปที่ 2.3

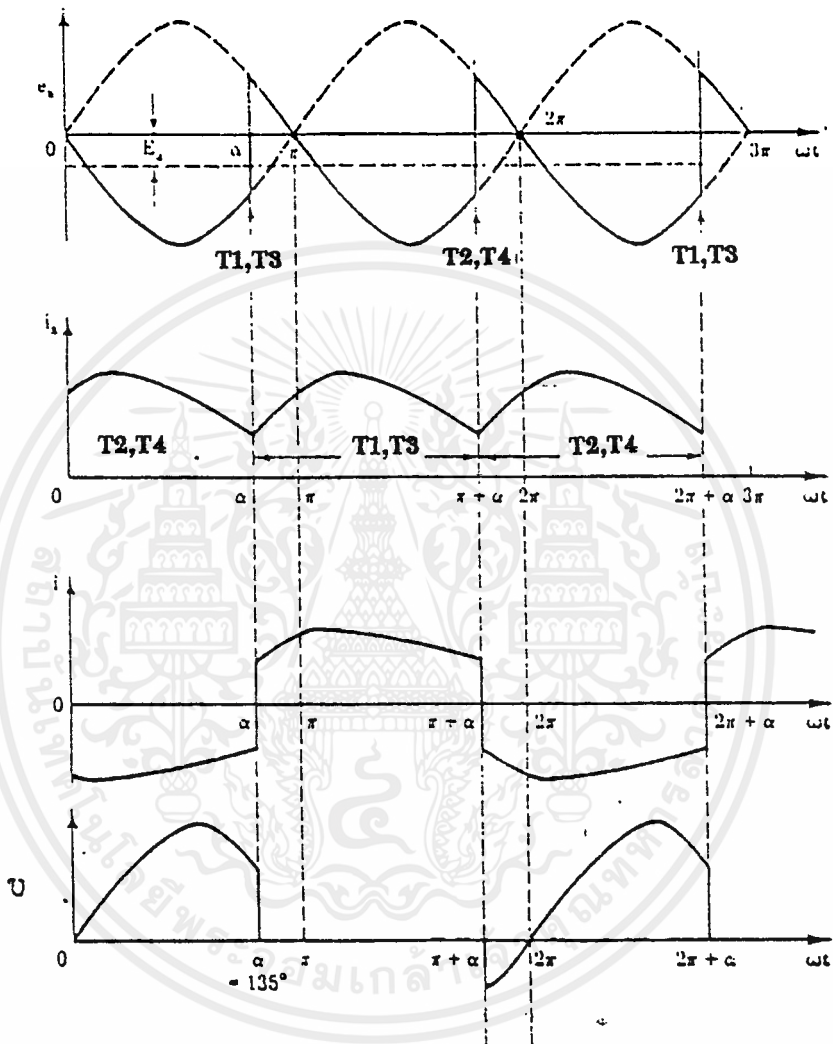
รูป a แสดงค่าแรงดันที่ป้อน และในส่วนของพื้นที่แรงไฟแสดงค่าแรงดันที่คร่อมอินดักแตนท์

จุดที่แสดงการทริกจะอยู่ในรูป ค้างนั้น T1 T3 จะทำงานที่มุมทริก มีค่า  $\alpha$

ไทรสเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะทำงานไปจนถึงมุม  $\pi + \alpha$  ซึ่งเป็นจังหวะที่ T2 T4 ได้รับการทริก ค่าของกระแสแอมเพอร์จะมีลักษณะรูปคลื่นดังรูป b

รูป c แสดงค่าแรงดันเอาต์พุท พร้อมทั้งค่าแรงดันเฉลี่ย

รูป d แสดงค่ากระแสอินพุท



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของวงจรรีเฟกเทอเรเตอร์เมื่อทำงานในโหมดอินเวอร์ต ซึ่งในโหมดนี้ค่าของมุม  $\alpha$  จะมีค่ามากกว่า  $90^\circ$  จากรูป ค่าของแรงดันเฉลี่ย  $E_a$  จะเป็นลบ ในโหมดการทำงานนี้ เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์ (generator) และสามารถป้อนพลังงานกลับคือสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ ดังนั้นโหมดการทำงานนี้จะใช้ในกรณีที่มีการรีเจนเนอเรทีฟเบรก (regenerative braking)

### 2.3 เรคตีไฟร์แบบฟูลคอนโทรล 1 เฟส ใช้งานกับมอเตอร์กระตุ้นแยก

จากรูปที่ 2.5a แสดงเรคตีไฟร์แบบฟูลคอนโทรลขนาด 1 เฟส ป้อนกระแสให้กับมอเตอร์กระตุ้นแยก ดังวงจรมูลยคือ  $R_a$  และ  $L_a$  คือค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ ในขณะที่  $E$  คือแรงดันย้อนกลับ ถ้ามีการเพิ่มฟิลเตอร์อินดักแตนซ์(FILTER INDUC TANCE) เข้าไป จะนำค่าเหล่านี้ไปรวมกันกับ  $R_a$  และ  $L_a$  ไปด้วยกัน

แรงดันของแหล่งจ่ายและมุมทริกของไทรสเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.5b ซึ่งคู่ไทรสเตอร์  $T_1, T_3$  จะได้รับมุมทริกในช่วง  $\alpha$  ถึง  $\pi$  ขณะที่  $T_2, T_4$  ได้รับมุมทริกที่  $(\pi + \alpha)$  ถึง  $2\pi$

#### โหมดการทำงาน

การทำงานของมอเตอร์ ในโหมดมอเตอร์ริงและรีเจนเนอเรทีฟ แสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7.ตามลำดับ โดยรูปแบบของเวฟฟอร์มต่างๆที่สภาวะคงที่(STEADY STATE) เช่นแรงดันที่ขั้วเทอร์มินอล(TERMINAL VOLTAGE)  $V_a$  ,กระแสเมเจอร์  $I_a$  และอื่นๆ ภายได้แรงดันของไฟสลับ วงจรขับ(ซูด DRIVE) จะทำงานที่ไม่ต่อเนื่องเมื่อกระแส  $I_a$  เป็นศูนย์ ในช่วงของเวลาแต่ละลูกคลื่น(CYCLE)

$V_m$  = ค่าสูงสุดของแรงดัน

$\omega$  = ความถี่ของแหล่งจ่าย rad/sec

$\beta$  = ตำแหน่งมุมที่กระแสเมเจอร์เป็นศูนย์

$\beta = \beta - \pi$

$\gamma = \sin^{-1}(E/V_m)$  มุมที่แรงดันของแหล่งจ่าย เท่ากับแรงดันย้อนกลับ

$\gamma = \pi - \sin^{-1}(E/V_m)$

1. กระแสเมเจอร์จะไหลจากแหล่งจ่ายผ่านคู่ไทรสเตอร์  $T_1, T_3$  หรือผ่านคู่ไทรสเตอร์  $T_2, T_4$  เมื่อคู่ไทรสเตอร์  $T_1, T_3$  นำกระแส จะได้ว่า  $V_a = V$  และเมื่อคู่ไทรสเตอร์  $T_2, T_4$  นำกระแส จะได้ว่า  $V_a = -V$ , เมื่อไม่มีไทรสเตอร์คู่ใดทำงาน กระแสเมเจอร์  $i_a = 0$  และ  $V_a = E$

2. เมื่อ  $i_a > 0$  ขณะที่ทริกคู่ไทรสเตอร์ คู่ไทรสเตอร์จะทำงานหรือไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันจากแหล่งจ่ายขณะนั้น ถ้าหากแรงดันจากแหล่งจ่ายกำลังป้อนไบอัสแบบบวก ( positive bias ) ให้แก่ไทรสเตอร์ ไทรสเตอร์ก็จะทำงานโดยไม่สนใจว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายจะมากกว่าหรือน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับ เช่น ที่  $\omega t = \alpha$  ,  $i_a > 0$  โดยก่อนหน้านี้  $i_a$  ไหลผ่าน  $T_2$  และ  $T_4$  เนื่องจาก  $T_2$  และ  $T_4$  ทำงาน ทำให้แรงดันคร่อม  $T_1$  และ  $T_3$  เป็น  $V$  และที่  $\omega t = \alpha$  ,  $V_a$  มีค่าเป็นบวก ดังนั้น  $T_1$  และ  $T_3$  จึงทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าหาก  $i_s = 0$  ขณะทำการทริกไทรสเตอร์ ไทรสเตอร์จะทำงานหรือไม่ขึ้นกับผลต่างของแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันย้อนกลับ ถ้าหากแรงดันจากแหล่งจ่ายมากกว่าแรงดันย้อนกลับ คู่อิเล็กตรอนจะทำงาน เช่น ที่  $\omega t = \alpha$ ,  $i_s = 0$  แรงดันคร่อม  $T_1$  และ  $T_3$  คือ  $V_s - E$ ,  $T_1$  และ  $T_3$  จะทำงานเมื่อ  $V_s > E$  นั่นคือที่ตำแหน่ง  $\alpha > \gamma$  ในทำนองเดียวกัน ถ้า  $i_s = 0$  ที่  $\omega t = \pi + \alpha$ ,  $T_2$  และ  $T_4$  จะทำงานเมื่อ  $(-V_s) > E$  หรือที่ตำแหน่ง  $\pi + \alpha > \pi + \gamma$

4. อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมเจอร์ สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L_a} [V_a - (E + i_a R_a)]$$

ถ้าหากไม่คิดแรงดันที่ตกคร่อมในความต้านทาน อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะเป็นบวก เมื่อ  $V_s > E$  และถ้า  $V_s < E$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะเป็นลบ ในช่วงการทำงานแบบมอดูเลต  $i_s$  จะมีค่าสูงสุดที่  $\omega t = \pi - \gamma$  ในช่วงการทำงานแบบรีเจนเนอเรทีฟ  $i_s$  จะมีค่าสูงสุดที่  $\omega t = \gamma$  ถ้าหากคิดค่าความต้านทาน ค่า  $i_s$  จะมีค่าสูงสุดก่อนเวลาที่กล่าวมาแล้ว

### โหมดการทำงานแบบมอดูเลต

โหมด 1 เป็นโหมดการทำงานแบบต่อเนื่อง เนื่องจากกระแสเมเจอร์ไหลอย่างต่อเนื่อง มุม  $\alpha$  อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า  $\gamma$  รูปสัญญาณในกรณีที่  $\alpha < \gamma$  แสดงในรูปที่ 2.6a เนื่องจาก  $i_s > 0$  ที่ตำแหน่ง  $\alpha$  ดังนั้น  $T_1$  และ  $T_3$  จึงสามารถทำงานได้ แม้ว่า  $V_s < E$

ในช่วง  $\alpha \leq \omega t \leq \pi + \alpha$  เมื่อ  $T_1$  และ  $T_3$  ทำงาน

$$V_s = E + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

คูณทั้ง 2 ข้างด้วย  $i_a \Delta t$  เมื่อ  $\Delta t$  คือ ช่วงเวลาน้อย ๆ จะได้ว่า

$$V_s i_a \Delta t = E i_a \Delta t + i_a^2 R_a \Delta t + L_a i_a \frac{di_a}{dt} \Delta t$$

สมการนี้จะใช้อธิบายการจ่ายหรือรับพลังงานของแหล่งจ่าย เมื่อ  $V_s > E + i_a R_a$  แหล่งจ่ายจะจ่ายพลังงานเข้าสู่มอเตอร์ โดยจะแบ่งเป็นส่วนที่สร้างแรงดันย้อนกลับ ( $E$ ) แล้วแปลงเป็นพลังงานทางกล ส่วนของความร้อนที่สูญเสียในความต้านทานและส่วนที่เหลือจะเก็บสะสมในตัวเหนี่ยวนำ ในทางกลับกัน เมื่อ  $V_s < E + i_a R_a$  พลังงานที่ใช้ใน  $E$  และ  $R_a$  มากกว่าพลังงานจากแหล่งจ่าย มอเตอร์จะนำพลังงานส่วนที่เก็บในตัวเหนี่ยวนำมาใช้และถ้า  $V_s$  มีค่าเป็นลบ แหล่งจ่ายก็จะรับพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำด้วย ถ้าหากว่า  $L_a$  มีขนาดเล็กหรือกระแสมีค่าต่ำหรือมุม  $\alpha$  มีค่ามาก กระแสเมเจอร์จะตกลงเป็นศูนย์ จนกระทั่งไทรสเตอร์พร้อมที่จะทำงานในครั้งต่อไป ขณะนี้จะเป็นการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง

โหมด 2 รูปที่ 2.6b ขณะนี้  $\alpha > \gamma$  กระแสจะไหลในช่วง  $\alpha$  ถึง  $\beta$  และมีค่าเป็นศูนย์ในช่วง  $\beta$  ถึง  $\pi + \alpha$  ในช่วง  $\alpha$  ถึง  $\beta$ ,  $V_a = V$ , และในช่วง  $\beta$  ถึง  $\pi + \alpha$ ,  $V_a = E$

โหมด 3 รูปที่ 2.6c ขณะนี้  $\alpha < \gamma$  เนื่องจาก  $i_a > 0$  ที่  $\omega t = \alpha$  ไทริสเตอร์  $T_1$  และ  $T_3$  จะทำงานแม้  $V_a < E$  เนื่องจากในตอนนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเป็นลบ  $i_a$  จะมีค่าเป็นศูนย์ที่  $\omega t = \beta$  เมื่อ  $\beta < \gamma$ ,  $T_1$  และ  $T_3$  ก็จะหยุดทำงานเนื่องจากไม่มีกระแสไหล ที่  $\omega t = \gamma$  ถ้าหากยังมีสัญญาณทริกอยู่  $T_1$  และ  $T_3$  จะทำงานอีกครั้ง

โหมด 4 รูปที่ 2.6d ขณะนี้  $\alpha < \gamma$  เนื่องจาก ที่  $\omega t = \alpha$ ,  $i_a = 0$  และ  $V_a < E$  ดังนั้น  $T_1$  และ  $T_3$  จะไม่ทำงาน แต่จะเริ่มทำงาน เมื่อ  $\omega t = \gamma$

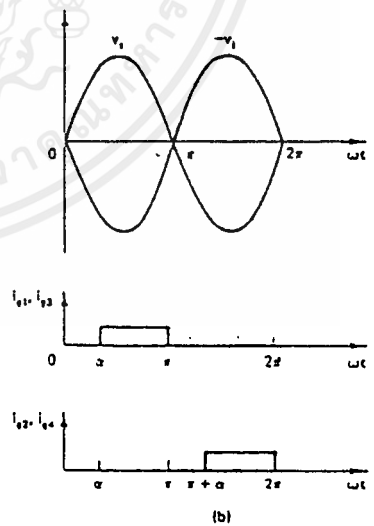
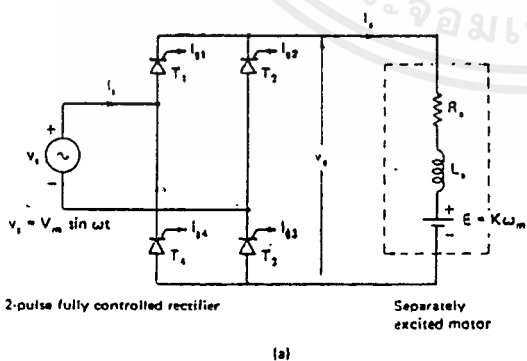
### โหมดการทำงานแบบรีเจนเนอเรทีฟ

โหมด 5 รูปที่ 2.7a เป็นการงานแบบต่อเนื่อง จะเกิดในกรณีที่โหลดมีค่าแรงบิดสูง ๆ

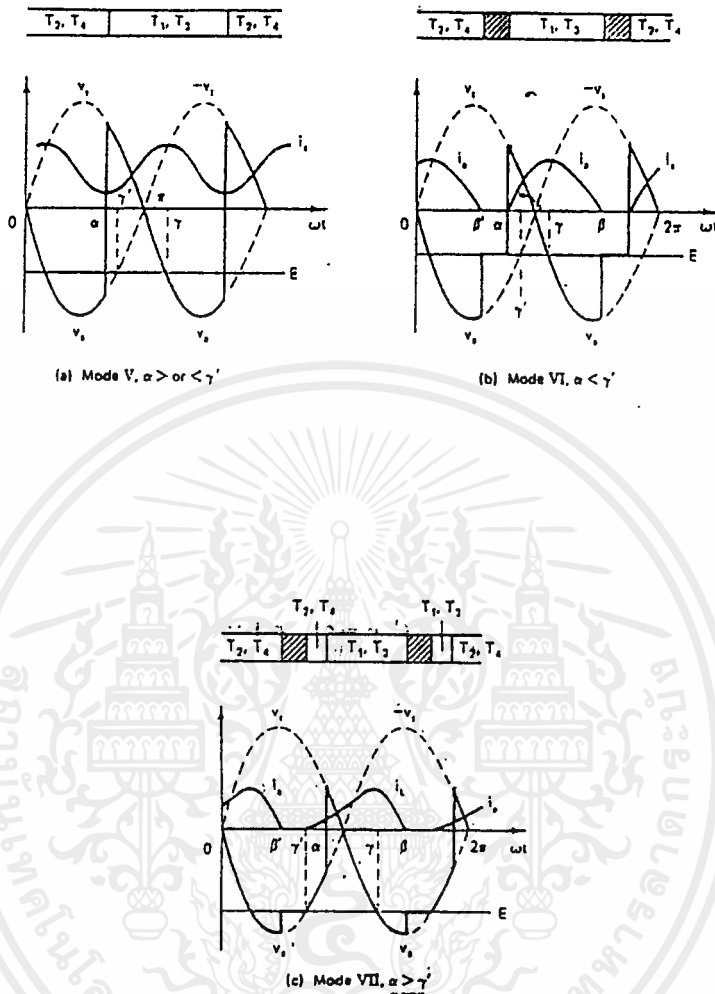
โหมด 6 รูปที่ 2.7b เป็นการงานแบบไม่ต่อเนื่อง เกิดเมื่อ  $\alpha < \gamma$

โหมด 7 รูปที่ 2.7c เป็นการงานแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อ  $\alpha > \gamma$  จะเกิดในกรณีที่สัญญาณทริกมีช่วงกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ  $\pi$  หลังจาก  $T_1$  และ  $T_3$  ทำงานในช่วง  $\alpha$  ถึง  $\beta$  และกระแส  $i_a$  มีค่าเป็นศูนย์ จนถึง  $\pi + \gamma$   $T_1$  และ  $T_3$  จะสามารถทำงานได้อีกครั้ง

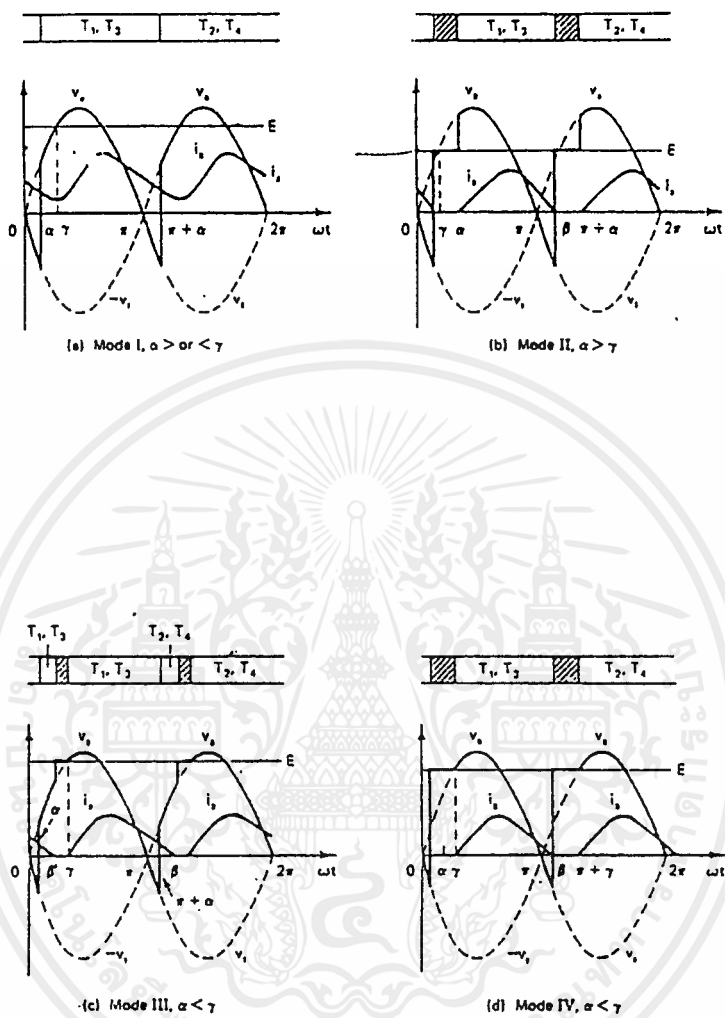
การใช้สัญญาณทริกที่มีความกว้างเกินช่วง  $\omega t = \pi$  จะเพิ่มช่วงการทำงานของไทรสเตอร์ และจะเพิ่มค่าพลังงานที่ป้อนกลับจากมอเตอร์สู่แหล่งจ่าย



รูปที่ 2.5 รูปแสดงเรคตีไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟส ป้อนให้มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก



รูปที่ 2.6 โหมดการทำงานแบบมอเตอร์ริงของเรกติไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟสป้อนให้  
มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก



รูปที่ 2.7 โหมดการทำงานแบบรีเจนเนอเรทีฟของเรกติไฟร์ฟูลคอนโทรล 1 เฟสป้อน  
ให้มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การทำงานของวงจรกำลัง

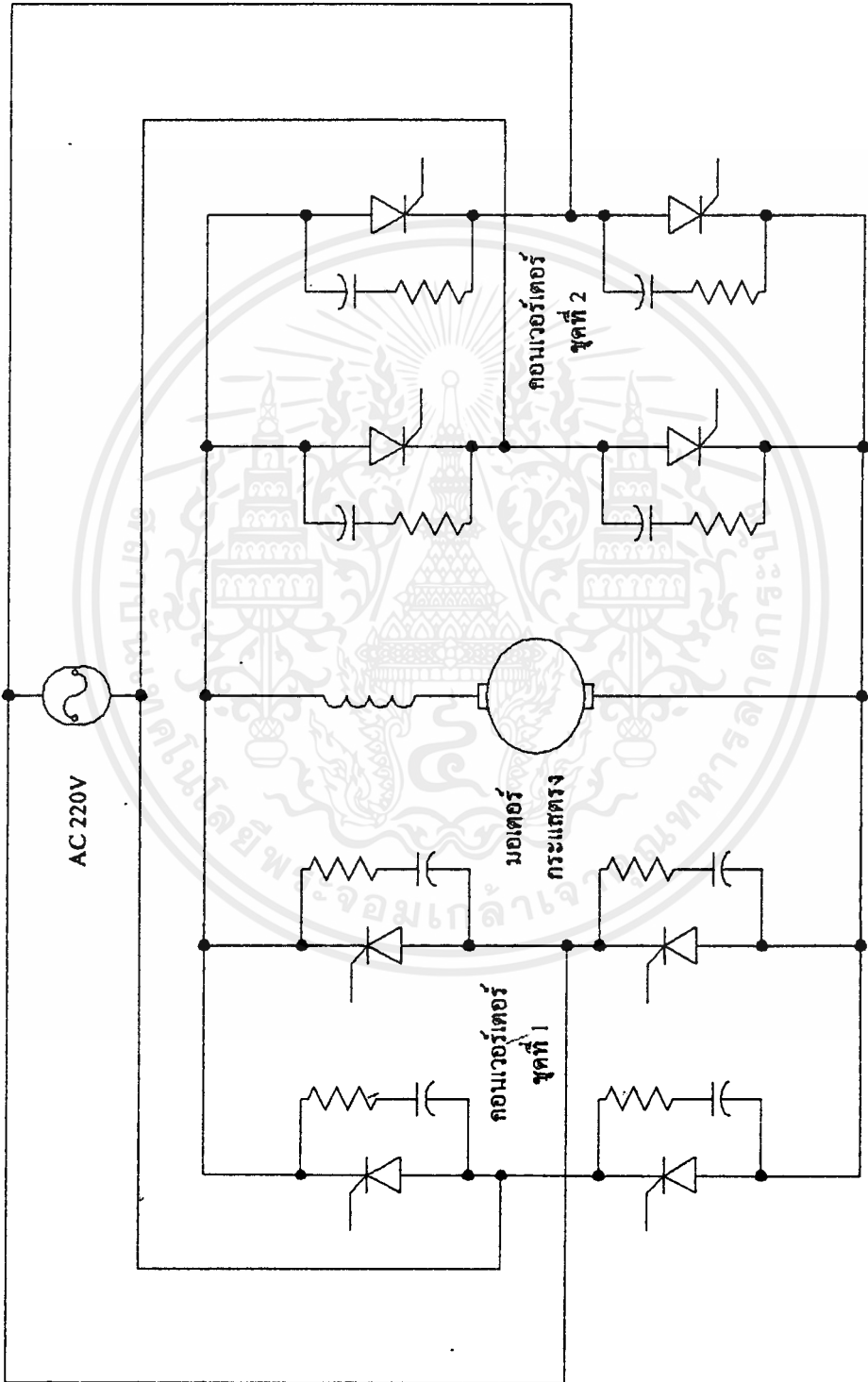
วงจรกำลังประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ 2 ชุด คือ คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 และคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ต่อขนานแบบกลับขั้ว จ่ายแรงดันให้มอเตอร์ คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะประกอบด้วยไทรสเตอร์ 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์ และที่ไทรสเตอร์แต่ละตัวจะมีวงจรถับเบรคต่อคร่อมอยู่ ซึ่งวงจรถับเบรคจะประกอบด้วยตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ

ในการทำงานขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงนั้น คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองชุดจะทำงานโดยการป้อนสัญญาณทริกที่ขาเกต (gate) ของไทรสเตอร์ ซึ่งจะสามารถควบคุมแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์กระแสตรง โดยการควบคุมมุมของสัญญาณทริก และการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองชุดนั้น จะต้องไม่มีการทำงานพร้อมกัน กล่าวคือ ถ้าชุดหนึ่งทำงานอยู่ อีกชุดจะทำงานได้นั้นจะต้องให้ชุดที่ทำอยู่เดิมหยุดทำงานก่อน โดยทางปฏิบัติจะมีการเซ็ทให้ค่ากระแสที่ไหลเนื่องจากการทำงานของชุดแรกมีค่าเป็นศูนย์แอมแปร์ และจะหน่วงเวลาต่อไปอีก 20 ms เพื่อให้ไทรสเตอร์หยุดทำงานสนิท จากนั้นจึงจะป้อนสัญญาณทริกให้แก่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 เพื่อให้ทำงานจ่ายแรงดันให้มอเตอร์

การขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางฟอร์เวิร์ด จะควบคุมโดยให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ทำงาน โดยจะเริ่มที่มุมทริก  $180^\circ$  แล้วลดมุมทริกลงมาที่  $90^\circ$  จากนั้นก็จะลดมุมทริกต่อไป ไปยังมุมที่ต่ำกว่า  $90^\circ$  ณ ตำแหน่งมุมทริกที่ได้ให้ความเร็วตามต้องการ ซึ่งการควบคุมจะประมวลผลและสั่งงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การที่จะให้มอเตอร์หยุดหมุนเราจะอาศัยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 โดยขณะที่มอเตอร์หมุนอยู่ในทิศทางฟอร์เวิร์ด หากมีคำสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน ก็จะมีการตัดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 จนเมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 หยุดสนิท คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ก็จะทำงาน โดยจะเริ่มต้นมุมทริกที่  $180^\circ$  แล้วลดมุมทริกลงจนเป็น  $90^\circ$  ในช่วงที่มีการลดมุมทริกนี้เอง มอเตอร์จะมีการคืนพลังงานกลับสู่ระบบไฟสลับ ซึ่งในช่วงที่มีการคืนพลังงานนี้ แรงดันของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 จะมีแรงดันเฉลี่ยทิศทางเดียวกับแรงดันย้อนกลับ ของมอเตอร์ แต่กระแสจะไหลกลับทิศไปจากเดิม คือมีทิศทางไหลออกจากมอเตอร์ผ่านชุดคอนเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบไฟสลับ

ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงในทิศทางรีเวิร์ส ก็ให้หลักการเช่นเดียวกับที่กล่าวมา เพียงแต่สลับชุดการทำงาน โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางรีเวิร์ส และจะใช้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ในการเบรค



รูปที่ 2.8 วงจรกำลัง (ชุดคอนเวอเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

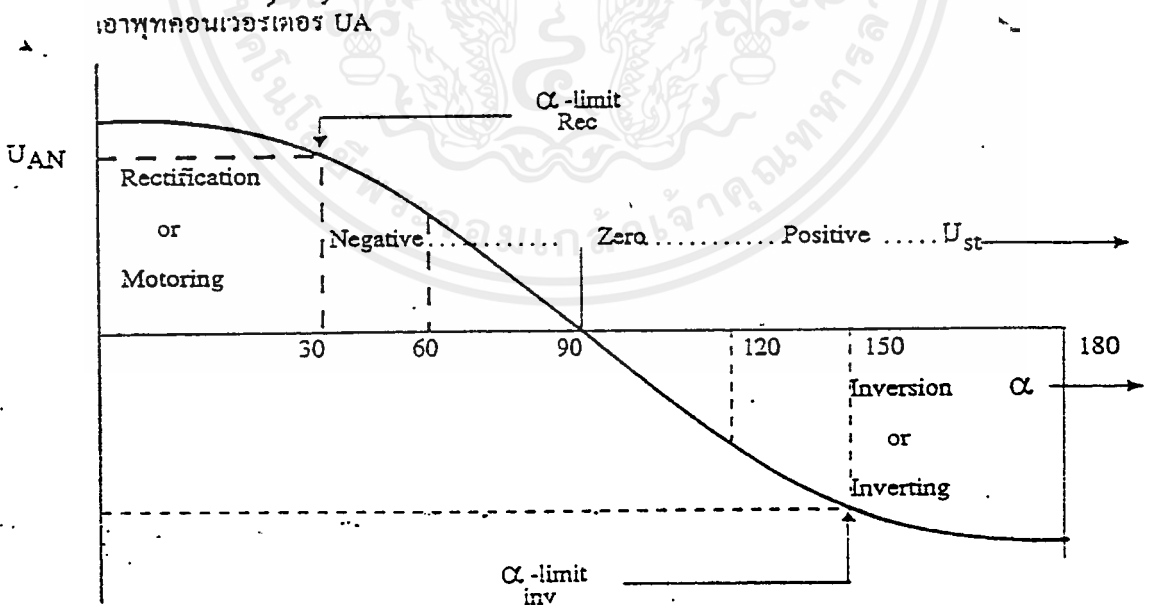
2.5 การเบรคความเร็วรอบมอเตอร์แบบกระแสสลับทิต

การลดความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ พลังงานที่เกิดขึ้นบนมอเตอร์จะจ่ายกลับไปสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบกระแสสลับทิต จะต้องใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรลสองชุดต่อขนานแบบกลับขั้วหรือคู่ออลคอนเวอร์เตอร์ สำหรับการดำเนินงานของคอนเวอร์เตอร์ จะสลับกันทำงานในแต่ละควอเตอร์ โดยการควบคุมมุมนำกระแสคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล ให้กระทำในโหมดมอเตอร์รีง หรือ อินเวอร์ตติง ซึ่งเป็นการป้อนพลังงานให้มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก(seperate excited)

สามารถแบ่งการทำงานได้เป็นสองโหมด

1. โหมดมอเตอร์รีง

คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ทำงาน (ควอเตอร์ที่ 1) ขั้วแรงดันเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์, แรงดันย้อนกลับ จะเป็นบวก และกระแสเมเจอร์ มีทิศทางไหลเป็นบวก สำหรับการดำเนินงานในโหมดมอเตอร์รีง ในทิศทางความเร็วรอบฟอร์เวิร์ด แรงดันเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์มีค่าเป็นบวก ซึ่งเกิดจากมีมุมนำกระแสไทรสเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ อยู่ในช่วงระหว่าง  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  ทิศทางกระแสเมเจอร์ไหลเข้ามอเตอร์จะเป็นบวก ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ขั้วของคอนเวอร์เตอร์มากกว่าแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ แสดงว่าคอนเวอร์เตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าไปให้แก่มอเตอร์ซึ่งมอเตอร์จะเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังงานทางกล



รูปที่ 2.9 แรงดันเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์แบบฟูลคอนโทรล คอุมมุมนำกระแส  $\alpha$

## 2. โหมดอินเวอร์ตติ้ง

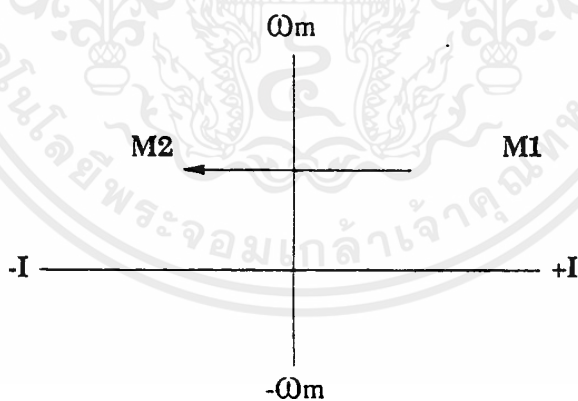
คอนเวอร์เตอร์ชุดที่สองทำงาน (ควอดแรนต์ที่ 2 ) ขั้วแรงดันเอาต์พุทของคอนเวอร์เตอร์เป็นบวก แรงดันย้อนกลับไม่เปลี่ยนตามแรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ ทำให้แรงดันนี้มีค่าเป็นบวก และกระแสเมเจอร์มีทิศทางไหลเป็นลบ สำหรับการทำงานในโหมดอินเวอร์ตติ้งในควอดแรนต์ที่ 2 ทิศทางความเร็วรอบฟอร์เวอร์ค ถ้าต้องการจะให้เกิดการเบรคในทิศทางฟอร์เวอร์ค จะทำได้โดยควบคุมให้มุมมูทริกของคอนเวอร์เตอร์ อยู่ในช่วงระหว่าง  $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$  ดังแสดงในรูป 2.9

ทิศทางกระแสเมเจอร์ไหลออกจากมอเตอร์เป็นลบ ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ที่ขั้วของคอนเวอร์เตอร์น้อยกว่าแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ แสดงว่าคอนเวอร์เตอร์รับกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากมอเตอร์โดยการป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ ซึ่งสภาวะนี้มอเตอร์กำลังทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้ความเร็วรอบมอเตอร์ลดลง และเป็นการเบรคความเร็วรอบมอเตอร์ในทิศทางความเร็วรอบฟอร์เวอร์คแบบกระแสกลับทิศ

## 2.6 การสับเปลี่ยนการทำงานระหว่างคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 กับคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2

ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง เมื่อต้องการที่จะกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ระบบขับเคลื่อนจะต้องมีจังหวะเวลา ที่จะโอนย้ายการทำงาน จากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 (โหมคมอเตอร์รีจ) ไปสู่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 (โหมคอินเวอร์ตัง) ซึ่งจะต้องมีการป้อนกลับของพลังงานรีเจนเนอเรทีฟที่เกิดบนตัวมอเตอร์กลับไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับได้อย่างรวดเร็ว และให้มีการใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ระบบควบคุมมีความซับซ้อนมากขึ้น เพื่อให้มีการทำงานที่แน่นอนในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของชุดไทรสเตอร์ ตัวควบคุมจะมีการรับคำสั่งสัญญาณป้อนกลับเพื่อใช้กำหนดการเปลี่ยนหน้าที่ระหว่างคอนเวอร์เตอร์ จากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ไปสู่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 และจะต้องคำนึงถึงเวลาที่ไทรสเตอร์ ของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 จะได้รับสัญญาณทริกหลังจากที่มีการปลดสัญญาณทริกออกจากไทรสเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1

กระแสที่จ่ายจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 จะหยุดจ่ายกระแสและคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ทำหน้าที่รับพลังงานรีเจนเนอเรทีฟ ทำให้กระแสแอมเจอร์เป็นลบ มีทิศทางกระแสสวนทางกับทิศทางเดิม แต่ขั้วแรงดันมอเตอร์ไม่เปลี่ยน นั่นคือมีการเคลื่อนที่จากจุด M1 (ควอแดรนท์ที่ 1) ไปสู่ M2 (ควอแดรนท์ที่ 2) โหมคอินเวอร์ตังแรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ถูกเปลี่ยนให้มีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับและจะต้องทำการเบรคความเร็วรอบมอเตอร์ในควอแดรนท์ที่ 2 ทำให้กระแสไหลสวนทางกับทิศเดิม การเบรคแบบนี้เรียกว่ารีเจนเนอเรทีฟเบรค



รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยนควอแดรนท์ในการเบรคความเร็วรอบมอเตอร์แบบกระแสกลับทิศ

การรีเจนเนอเรทีฟพลังงานที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์แบบกระแสกลับทิศจะต้องใช้คอนเวอร์เตอร์สองชุดต่อขนานแบบกลับทิศ หรือคู่ออลคอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่รับพลังงานรีเจนเนอเรทีฟ

สำหรับเงื่อนไขการโอนย้ายการทำงานจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ไปสู่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 โดยการจ่ายกระแส แบบกลับทิศทางการไหลกระแสแอมเจอร์จะมีสถานะดังเงื่อนไขดังนี้



### 1. การบล็อกคอนเวอร์เตอร์ให้หยุดนำกระแส

การบล็อกคอนเวอร์เตอร์โดยการปลดสัญญาณทริกออกจากขาเกตของไทรสเตอร์นั้น จะเป็นไปได้ที่ทำให้ไทรสเตอร์หยุดนำกระแสอย่างทันทีทันใดในขณะที่กำลังทำงานอยู่ ดังนั้นการโอนย้ายการทำงานจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ไปสู่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ตัวควบคุมจะต้องสั่งปลดสัญญาณทริกออกจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 และจะต้องมีเวลาหน่วงประมาณ 10 ms เพื่อต้องการให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่หนึ่งหยุดนำกระแสอย่างแท้จริง ก่อนที่จะจ่ายสัญญาณทริกไทรสเตอร์ ให้แก่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 นำกระแสในโหมดอินเวอร์ต

### 2. มุมนำกระแสคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2

เมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ได้รับการโอนย้ายการทำงานจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 มุมที่จะป้อนสัญญาณทริกของคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 จะเพิ่มขึ้นจากค่าสถานะเริ่มต้นไปยังมุมสูงสุดเพื่อเข้าสู่สถานะของโหมดฟูลอินเวอร์เตอร์ มุมทริกนี้จะปรับเปลี่ยนไปตามการควบคุม เพื่อให้แรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์มีขั้วเหมือนกับแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์แต่มีขนาดน้อยกว่า จนเมื่อกระแสเป็นศูนย์ คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ปรับมุมนำกระแสให้อยู่ในโหมดมอเตอร์รีจ และเร่งความเร็วให้ไปสู่ค่าที่ต้องการ แต่มีทิศทางสวนกับทิศทางเดิม ซึ่งหมายถึงมอเตอร์หมุนในทิศทางรีเวอร์ส

#### ลำดับการทำงาน

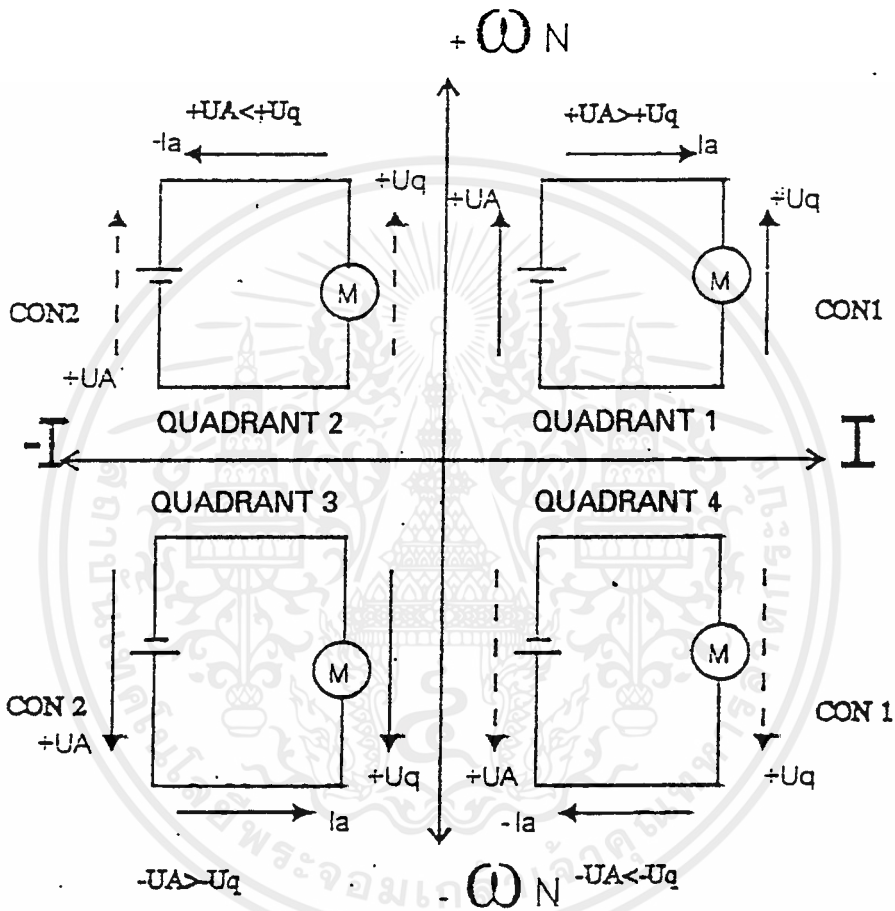
1. การทำงานที่สถานะคงตัวและความเร็วรอบมอเตอร์หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด และกระแสเมเจอร์เป็นบวก ผลที่ได้นี้เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 นำกระแสและมีมุมของ  $\alpha$  อยู่ในช่วง  $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$  ซึ่งอยู่ในควอดแรนต์ที่หนึ่ง (โหมดมอเตอร์รีจ) แรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 เป็นบวก ในสถานะนี้เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นมอเตอร์

2. การโอนย้ายคอนเวอร์เตอร์จากชุดที่ 1 ไปสู่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ในช่วงระหว่างความเร็วรอบเป็นบวกจนมีค่าลดลงเป็นศูนย์ ในสถานะนี้จะต้องบล็อกให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 หยุดนำกระแสก่อน โดยปลดสัญญาณทริกออกจากคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 และไทรสเตอร์จะหยุดนำกระแสอย่างแน่นอนเมื่อถึงช่วงที่แรงดันไฟสลับกลับทิศ

เมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 นำกระแส มุมของ  $\alpha_2$  ถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อให้เข้าสู่โหมดฟูลอินเวอร์ต เพื่อรีเจนเนอเรทีฟพลังงานที่เกิดบนมอเตอร์ กลับสู่แหล่งจ่ายไฟสลับและกระทำอยู่ในควอดแรนต์ที่ 2 ซึ่งทิศทางกระแสเมเจอร์ไหลสวนทางกับทิศทางเดิมแต่ขั้วแรงดันคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ถูกทำให้กลับขั้ว เพราะต้องการให้มีขั้วเหมือนกับแรงดันย้อนกลับ

ทำให้ชั่วแรงดันย้อนกลับมอเตอร์ไม่เปลี่ยน และต้องควบคุมให้ค่าแรงดันที่ชั่วของคอนเวอร์เตอร์ มีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับ จนเมื่อกระแสไหลผ่านอเมเจอร์เป็นศูนย์มอเตอร์ก็จะหยุดนิ่ง

3. ในช่วงความเร็วจากศูนย์จนมีความเร็วในทิสริเวอร์ส ก็จะไปเข้าสู่การทำงานในโหมด มอเตอร์รีง กระแสอเมเจอร์ไหลเป็นลบ และเร่งความเร็วขึ้นไปสู่ค่าที่ต้องการ ในตอนนี้มอเตอร์ จะทำงานอยู่ในควอดแรนท์ที่ 3 (โหมดมอเตอร์รีง)



รูปที่ 2.11 มอเตอร์ทำงานแต่ละควอดแรนท์ จ่ายกระแสโดยคอนเวอร์เตอร์ (ควบคุมแบบฟูลคอนโทรล)

### บทที่ 3

#### หลักการและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

##### 3.1 หลักการและขั้นตอนการทำงาน

บล็อกไดอะแกรมแสดงแผนผังการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง แสดงในรูปที่ 3.1 โดยหลักและขั้นตอนการทำงานของแต่ละบล็อกไดอะแกรมมีดังนี้

- ส่วนรับคำสั่งจากภายนอก( COMMAND I/P )

เป็นส่วนที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ โดยคำสั่งจะประกอบด้วย

- ความเร็วในการหมุน
- ทิศทางในการหมุน
- หยุดการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง
- ค่ากระแสและแรงบิด

- CPU

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รับคำสั่ง(อินพุท)ผ่านทางคีย์บอร์ดแล้วนำคำสั่งที่ได้มาประมวลผลและส่งสัญญาณในรูปสัญญาณดิจิทัลเพื่อควบคุมวงจรสร้างสัญญาณทริกเพื่อควบคุมมุมทริกให้ได้ความเร็วและทิศทางในการหมุนตามที่ต้องการ และเพื่อความแม่นยำในการควบคุม CPU จะมีการรับค่าความเร็วในการหมุนที่แท้จริงและค่ากระแสเพื่อใช้ในการควบคุมด้วย โดยค่าความเร็วในการหมุนที่แท้จริงจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วที่ต้องการเพื่อปรับค่าความเร็วใหม่มีความเร็วตามต้องการ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมการควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง ได้กล่าวในบทที่ 8 นอกจากนี้ CPU ยังนำค่าความเร็วในการหมุนและค่ากระแส ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 มาแปลงเป็นเลข BCD และส่งค่าออกเพื่อแสดงผลทางจอ LCD ในรูปของรหัส ASCII โดยรายละเอียดของโปรแกรมและวงจรที่ใช้ในการแสดงผลได้กล่าวในบทที่ 7

- A/D และ D/A

ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยรายละเอียดของวงจรและหลักการการทำงานได้กล่าวในบทที่ 6

- วงจรทริก ( TRIGGERING CIRCUIT )

เป็นวงจรสร้างสัญญาณทริก เพื่อควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์กระแสตรงให้มีปริมาณและขนาดเป็นบวกเป็นลบตามต้องการ โดยประกอบด้วย

- วงจรทริกไทรซิสเตอร์ ( thyristor trigger circuit )
- หม้อแปลงแบบพัลส์ ( pulse transformer )

#### รายละเอียดของวงจรทริก ไดคัลวในบทที่ 4

- คู่ออลคอนเวอร์เตอร์

เป็นฟูลเวฟคอนเวอร์เตอร์แบบหนึ่งเฟส 2 ตัว ต่อในลักษณะกลับหัวกัน ซึ่งใช้ในการควบคุมความเร็วในการหมุน การเบรกและการเปลี่ยนทิศทางการหมุน โดยรายละเอียดของหลักการทำงานไดคัลวในทฤษฎีการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงในบทที่ 2

- วงจรวัดกระแส ( CURRENT SENSOR )

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสที่จ่ายให้มอเตอร์กระแสตรง โดยจะนำค่าที่วัดได้ส่งไปให้ CPU เพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผลต่อไป รายละเอียดของวงจรวัดกระแสไดคัลวในบทที่ 5

- มอเตอร์กระแสตรง

เป็นแบบกระตุ้นแยก ( separate excited ) โดยการควบคุมความเร็วจะใช้การควบคุมแรงดันที่อิมเจอร์ ( armature voltage control ) ขณะที่ขดฟิลด์ ( field ) ป้อนแรงดันที่ฟิก็ด

- ทาโคเจนเนอเรเตอร์ ( TACHO GENERATOR )

เป็นเอซีเจนเนอเรเตอร์ที่ต่อพ่วงกับเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงเพื่อสร้างสัญญาณไฟสลับที่สัมพันธ์กับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

- วงจรกรองสัญญาณ

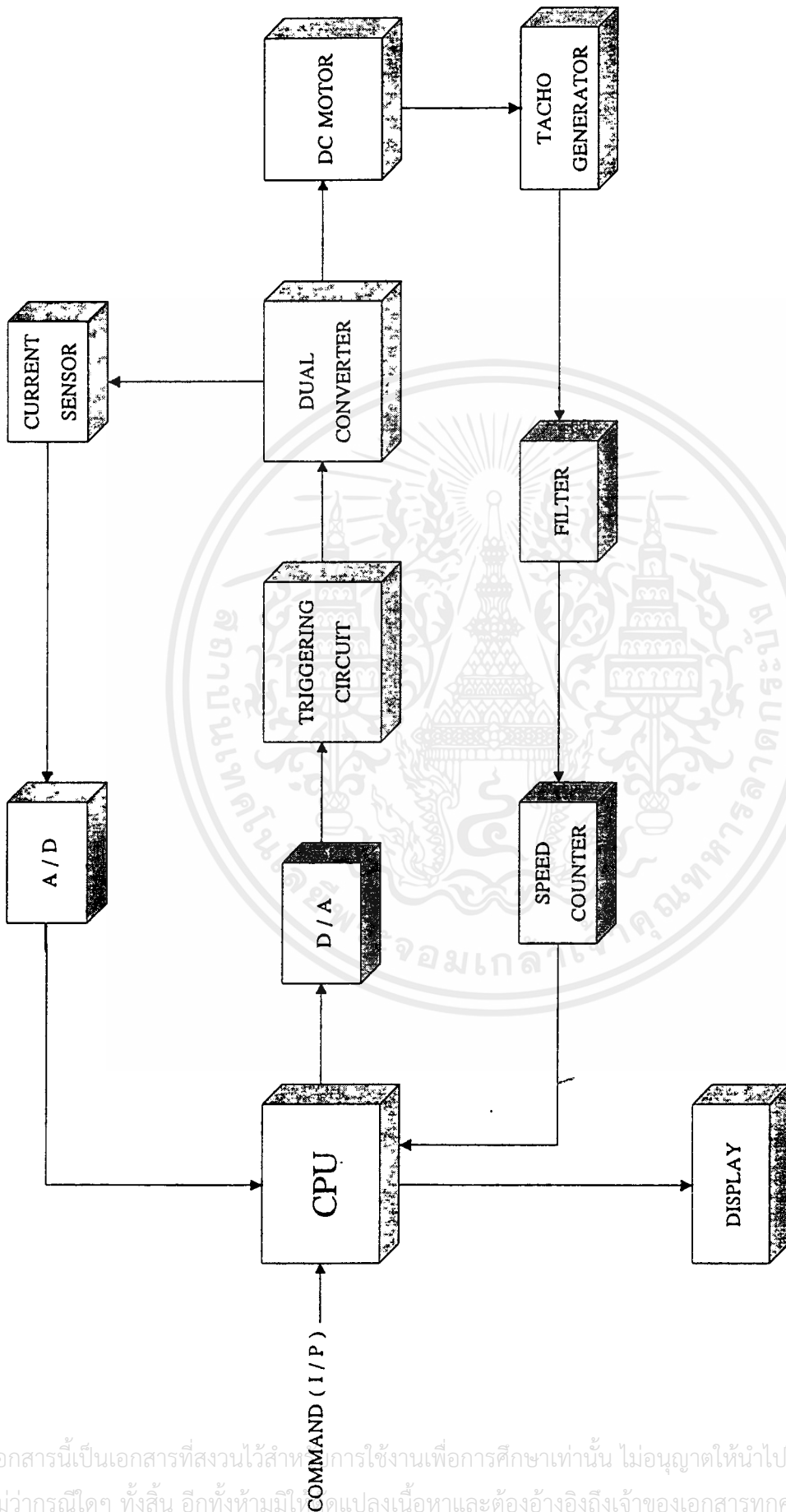
เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ ( low pass filter ) ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนที่ออกจากทาโคเจนเนอเรเตอร์ ก่อนที่จะเข้าวงจรนับความเร็ว ( speed counter )

- วงจรนับความเร็ว

ทำหน้าที่ในการแปลงค่าความเร็วที่วัดได้จากทาโคเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งค่าไปให้ CPU เพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยรายละเอียดของวงจรนับความเร็วไดคัลวในบทที่ 5

- ส่วนแสดงผล ( DISPLAY )

ใช้จอ LCD แสดงค่าความเร็ว , ค่ากระแสที่อิมเจอร์ และค่าแรงบิด โดยรับค่าต่างๆเหล่านี้มาจาก CPU ในรูปของรหัส ASCII



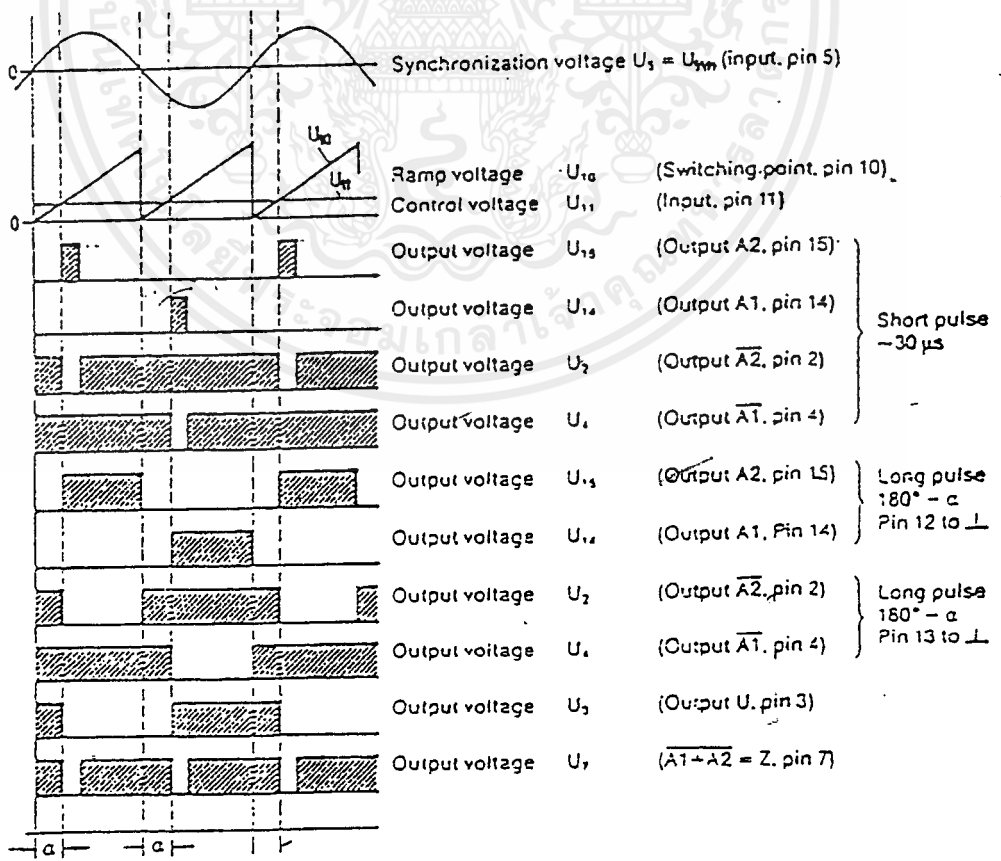
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรมอเตอร์ความเร็วเทอร์กร์กระแตรง

บทที่ 4

วงจรสร้างสัญญาณทริกเพื่อควบคุมไทรสเตอร์

4.1 วงจรสร้างสัญญาณทริกไทรสเตอร์

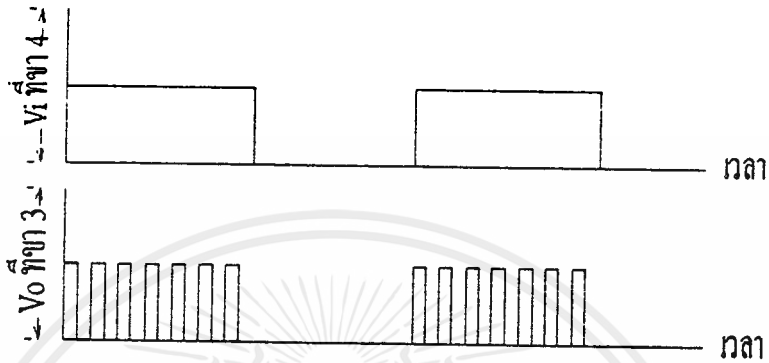
มีการทำงานดังนี้คือ นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้าขา 5 ซึ่งเป็นแรงดันซิงโครไนซ์ (synchronization voltage) และ ขา 1 (กราวด์) ของ TCA 785 เพื่อนำไปสร้างสัญญาณแรมพ์สามเหลี่ยม ซึ่งทุกครึ่งลูกคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิด 1 สัญญาณแรมพ์โดยใช้วิธีตรวจจับตัดค่าเป็น 0 โวลต์ (zero crossing) ซึ่งมีไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  เป็นตัวตัดยอดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เหลือบวกและลบ 0.6 โวลต์ สัญญาณแรมพ์จะปรากฏที่ขา 10 โดยความชันของสัญญาณแรมพ์พ้อาศัย  $R_f$ ,  $C_f$  ซึ่งต่ออยู่ภายนอก สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งป้อนเข้าขา 11 โดยขา 1 ต่อลงกราวด์ ศักดาไฟฟ้ากระแสตรงนี้เรียกว่าศักดาไฟฟ้าควบคุม ( $V_{adj}$ ) ซึ่งส่งมาจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลสู่อานาล็อกซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ การเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าควบคุม และสัญญาณแรมพ์ใช้วงจรเปรียบเทียบ (comparator) ภายใน TCA 785 ซึ่งจะให้สัญญาณพัลซ์ออกมาที่ขา 15 (ช่วงครึ่งลูกคลื่นบวก) และที่ขา 14 (ช่วงครึ่งลูกคลื่นลบ) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงรูปสัญญาณที่ขาต่างๆของ TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ถูกกำหนดโดย  $C_1$  ซึ่งในวงจรใช้  $1000 \text{ pf}$  ให้ความกว้างพัลส์ประมาณ  $550 \text{ }\mu\text{s}$  สัญญาณพัลส์ที่ได้จะส่งเข้าสู่ขา 4 ของไอซีเบอร์ 555 เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูง ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า การมอดูเลชัน ดังรูป

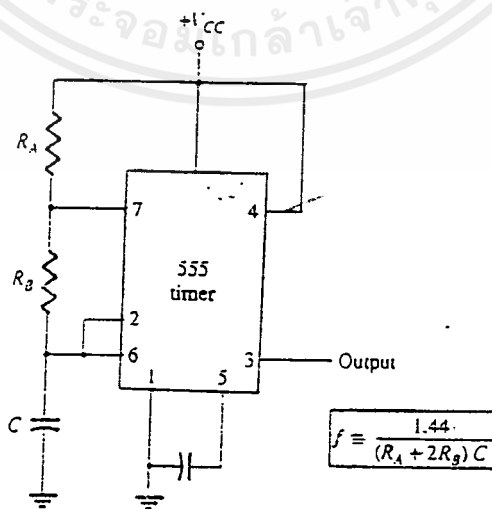


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่เข้าสู่ขาที่ 4 และสัญญาณที่ออกจากขาที่ 3 ของไอซีเบอร์ 555

สัญญาณพัลส์ความถี่สูงจากขา 3 ของไอซีเบอร์ 555 จะส่งไปขับขาเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อให้หม้อแปลงสัญญาณพัลส์ทำงานในลักษณะเปิดปิดตามสัญญาณพัลส์ความถี่สูงที่ส่งมา เหตุผลที่ใช้สัญญาณพัลส์ความถี่สูงเนื่องจากหม้อแปลงสัญญาณพัลส์ทำงานที่ความถี่สูง 30-50 kHz ความถี่ของสัญญาณพัลส์ความถี่สูงถูกกำหนดด้วยสมการ

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

ซึ่งต่อตามวงจรดังรูป



รูปที่ 4.3 แสดงการต่อวงจรของไอซีเบอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้หม้อแปลงสัญญาณพัลส์เพื่อต้องการแยกกราวด์ของวงจรควบคุมที่สร้างสัญญาณพัลส์ กับ วงจรกำลังที่ใช้ขับมอเตอร์ ไม่ให้เกิดการลัดวงจร

#### 4.2 การออกแบบหม้อแปลงพัลส์

ออกแบบหม้อแปลงพัลส์เพื่อทริกไทรสเตอร์ 2 ตัว  
กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ค่าความต้านทานของแหล่งจ่าย ( $R_s$ ) = 15  $\Omega$

ค่าความต้านทานระหว่างขาเกต และขาคาโทด ของไทรสเตอร์ ( $R_L$ ) = 20  $\Omega$

ค่ากระแสเกตสูงสุด ( $I_g$ ) = 500 mA

ค่าอัตราส่วนรอบ ( $N_p : N_{s,1} : N_{s,2}$ ) = 1 : 1 : 1

ค่าความเหนี่ยวนำทางค้ำปฐมภูมิ ( $L_p$ ) = 25 mH

#### ออกแบบ

##### STEP 1

ค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทริกไทรสเตอร์ คือ

$$\begin{aligned} V_g &= I_g * R_L \\ &= (500 \text{ mA}) \times (20 \Omega) \\ &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

เราสามารถหาจำนวนรอบของขดลวดได้จาก

$$\text{ค่าความเหนี่ยวนำของขดทางปฐมภูมิ } L_p = \frac{\mu_0 \mu_e A_e N_p^2}{l_e}$$

เมื่อ

$\mu_0$  = ค่า permeability ของอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m

$\mu_e$  = ค่า effective permeability ของแกน

$A_e$  = ค่า effective cross-section area ของแกน

$l_e$  = ค่า effective length ของวงจรแม่เหล็ก

$N_p$  = จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ

$$\text{กำหนดให้ ค่า } \frac{\mu_0 \mu_e A_e}{l_e} = A_i \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } L_p = N_p^2 A_i$$

$$\text{และจะได้ว่า } N_p = \sqrt{\frac{L_p}{A_i}}$$

เลือกแกน EI - 35 2E6 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$A_e = 1.038 \text{ cm}^2, A_L = 4700 \text{ nH / turn}^2, A_w = 1.36 \text{ cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาจำนวนขดลวดทางด้านปฐมภูมิ โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} N_p &= \sqrt{\frac{L_p}{A_L}} \\ &= \sqrt{\frac{25 \times 10^{-3}}{4700 \times 10^{-9}}} \\ &= 72.93 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ให้  $N_p = N_{s,1} = N_{s,2} = 73$  รอบ

## STEP 2

$$V_g = 10 \text{ V}$$

$$\text{ค่า attenuation factor } a = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= R_1 + R_p = 15 + (5\% \text{ ของ } R_1) \\ &= 15.75 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{R_L + R_s}{2n^2} = \frac{20 + (5\% R_L)}{2(1/1)^2} \\ &= 10.5 \Omega \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ค่า attenuation factor } a = \frac{10.5}{10.5 + 15.75} = 0.4$$

ในการคำนวณหาค่า  $B_{\max}$  ของหม้อแปลงเราจะใช้

$$B_{\max} = \frac{a V t_d}{N_p A_e} \quad \text{ในกรณีที่ใช้ซิงเกิลพัลส์}$$

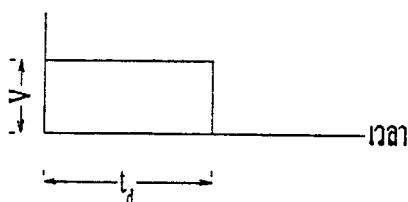
และ

$$B_{\max} = \frac{V t_d}{N_p A_e} \left[ \frac{L_p}{R_1 T_p} + a \left( 1 - \frac{t_d}{T_p} \right) \right] \quad \text{ในกรณีที่ใช้พัลส์เทรน}$$

เมื่อ

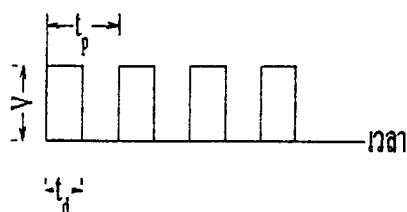
$t_d$  = ความกว้างของช่วงพัลส์

$T_p$  = คาบของสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.4 ซิงเกิลพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 พัลส์เทรน

เนื่องจากใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ซึ่งเป็นแกนความถี่สูง สัญญาณพัลส์ที่เข้าตัวหม้อแปลงพัลส์ จึงเป็นลักษณะของพัลส์เทรน ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 30- 50 kHz และสัญญาณพัลส์ ที่ออกจาก TCA 785 มีความกว้างพัลส์ เท่ากับ 550  $\mu$ s และมีคาบของสัญญาณเท่ากับ 20 ms จึงคำนวณหาค่า  $B_{max}$  โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} B_{max} &= \frac{Vt_d}{N_p A_e} \left[ \frac{L_p}{R_l T_p} + a \left( 1 - \frac{t_d}{T_p} \right) \right] \\ &= \frac{10 \times 550 \times 10^{-6}}{73 \times 1.038 \times 10^{-4}} \left[ \frac{25 \times 10^{-3}}{15.75 \times 20 \times 10^{-3}} + 0.4 \left( 1 - \frac{550 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-3}} \right) \right] \\ &= 340 \text{ mT} \end{aligned}$$

เมื่อหาค่า  $B_{sat}$  ของหม้อแปลง ferrite แกน EI - 35 2E6 พบว่าค่า  $B_{sat}$  ที่อุณหภูมิ 100 °C มีค่าเท่ากับ 35 mT และค่า  $B_{sat}$  ที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่าเท่ากับ 480 mT จะเห็นว่าค่า  $B_{max}$  ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่าค่า  $B_{sat}$  ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงใช้ได้

### STEP 3

ค่า primary winding turn / cm<sup>2</sup> =  $\frac{N_p}{kA_w}$  , เมื่อค่า k คือขีดจำกัดของหน้าตัด

กำหนดให้ค่า k มีค่าเท่ากับ 0.3 และเนื่องจากมีขดลวดรวมทั้งหมด 3 ขด ดังนั้น จึงใช้ค่า

$$A_w = \frac{136}{3} = 0.453 \text{ cm}^2$$

ดังนั้นค่า primary winding turn / cm<sup>2</sup> =  $73 / (0.3 \times 0.453) = 537.16 \text{ turn / cm}^2$

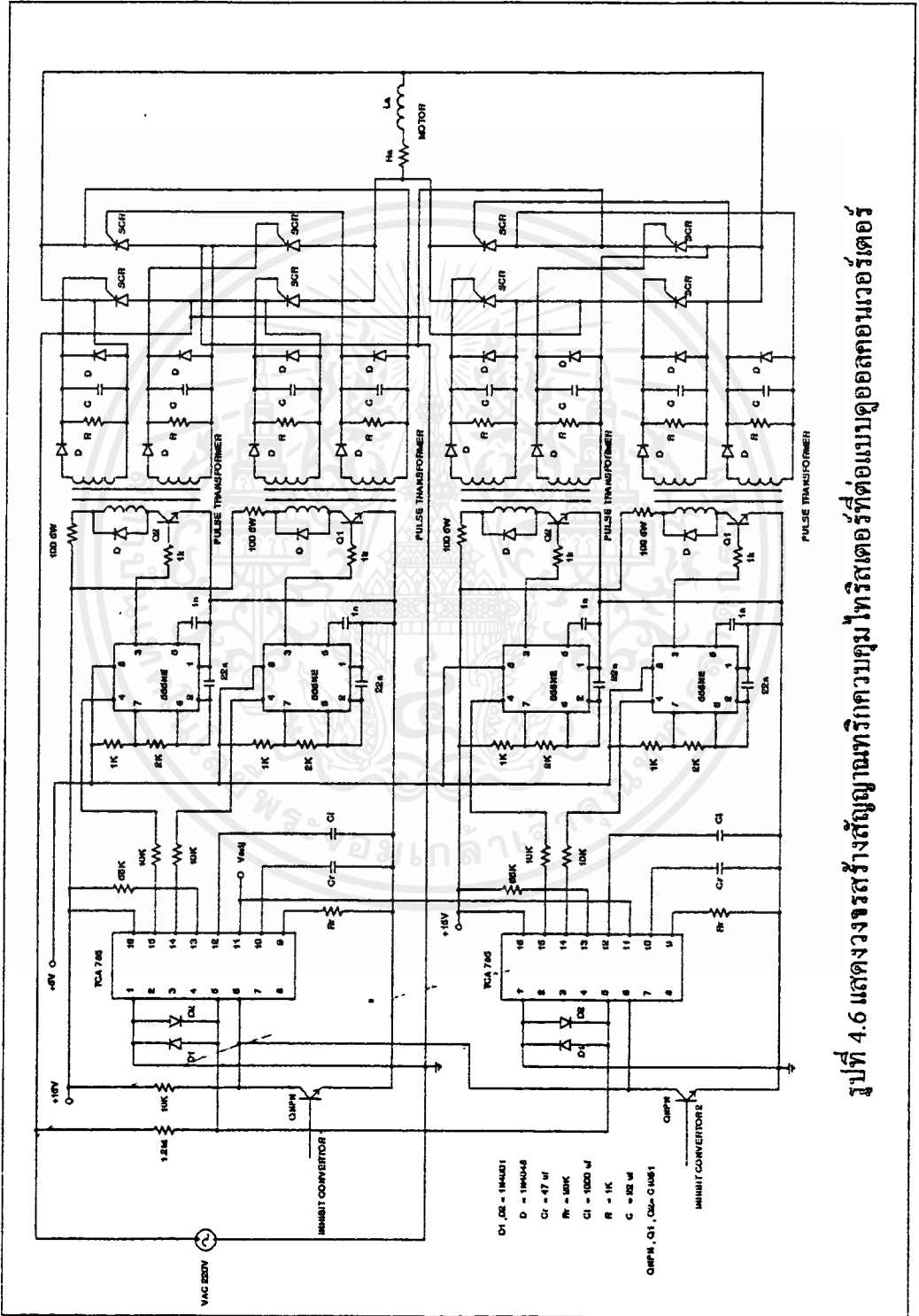
จากภาคผนวก ก. รูป C.1 ได้ขนาดขดลวด = 0.417 mm ( เส้นผ่านศูนย์กลาง )

จากภาคผนวก ก. ตาราง B.12 ได้เบอร์ขดลวด SWG 27

ขนาดขดลวดทางฝั่งทุติยภูมิ ก็ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 27 เช่นกัน

**สรุป** ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 27 พันจำนวน 73 รอบ จำนวน 3 ขด

จากส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณทริกเพื่อควบคุมไทรสเตอร์จะได้วงจรรวมดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรสร้างสัญญาณความถี่ Thyristor ที่ต่อแบบไดโอดคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

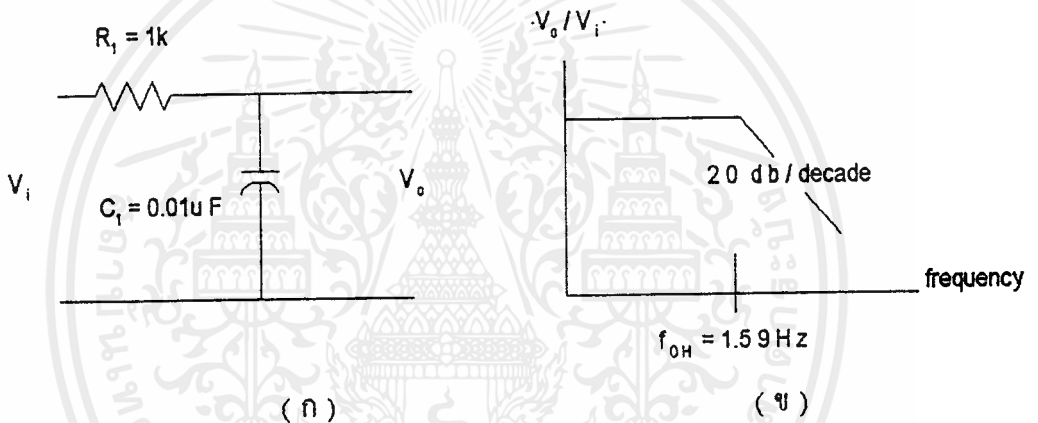
การตรวจจับสัญญาณ

5.1 วงจรตรวจจับความเร็ว

วงจรประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญคือ

1 ) ทาโค เจนเนอเรเตอร์(tacho generator)เป็นเซ็นเซอร์แปลงความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง เป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งจะให้ 2 ลูกคลื่นต่อรอบ และมีฮาร์มอนิกซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนความถี่สูงแทรกอยู่ทำให้การทำงานผิดพลาด

2 ) วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง เนื่องจากฮาร์มอนิกที่แทรกอยู่ในสัญญาณจากทาโคเจนเนอเรเตอร์ ทำให้การนับรอบความเร็วผิดพลาดจึงใช้ RC พาสซีฟฟิลเตอร์ดังรูปที่ 5.2 ( ก ) ต่อเป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่สูง กรองฮาร์มอนิกที่มีความถี่สูงกว่า  $f_{OH} = 1/2\pi R_1 C_1$  Hz ออกดังรูปที่ 5.2 ( ข )



รูปที่ 5.1 การกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง ( ก ) แสดงรูปวงจร ( ข ) แสดงการตอบสนองความถี่

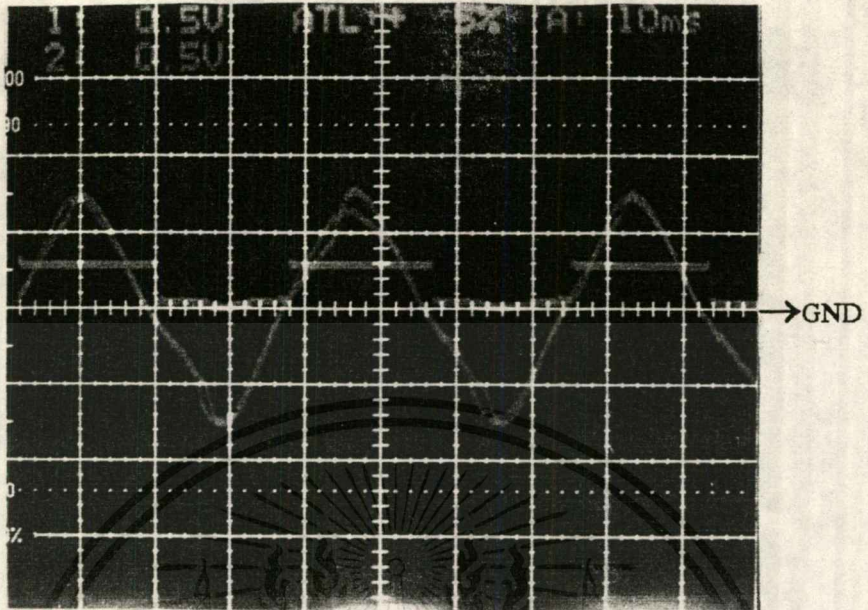
3 ) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ เป็นวงจรแปลงสัญญาณคลื่นไซน์จากวงจรกรองความถี่สูงให้เป็นสัญญาณพัลซ์ โดยใช้ LM311 เป็นตัวทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง  $v_i$  (ขา+) ซึ่งรับสัญญาณไซน์ กับ  $v_{ref}$  (ขา-) = 0 v

โดยวงจรมีเงื่อนไขการทำงานคือ

$$v_i > v_{ref} \text{ จะได้ } v_o = R_2 V_{cc} / (R_1 + R_2)$$

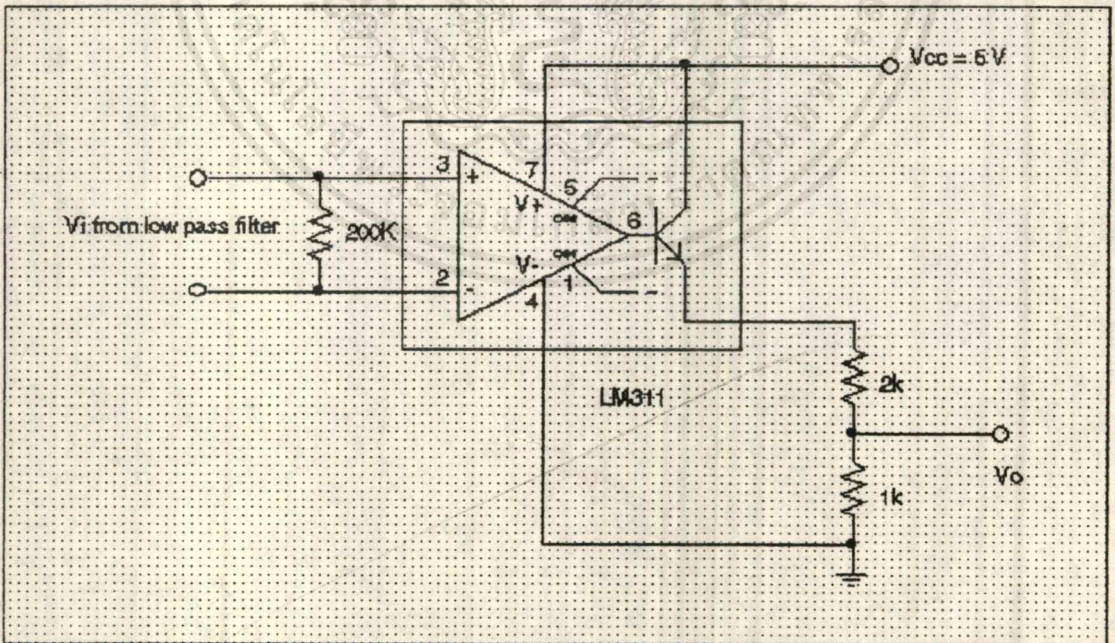
$$v_i < v_{ref} \text{ จะได้ } v_o = 0 \text{ v}$$

ซึ่งจะได้สัญญาณดังรูปที่ 5.2



volt/div = 0.5 ,Time/div = 10 ms

รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณเข้า ( $v_i$ ) ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์กับสัญญาณออก ( $v_o$ ) ซึ่งเป็นสัญญาณพัลซ์ โดยใช้โพรมคูน 10 และมีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 5.3

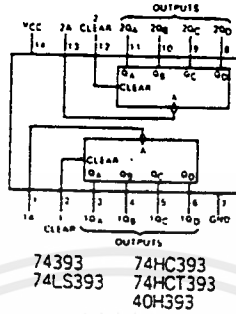


รูปที่ 5.3 แสดงรูปวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ) วงจรนับโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS393 เป็นตัวนับรอบความเร็วโดยนำสัญญาณพัลส์จากวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณมา เข้าขา 1A ( ขา1 ) ดังรูปที่ 5.4

393  
Dual 4 Bit Binary Counter

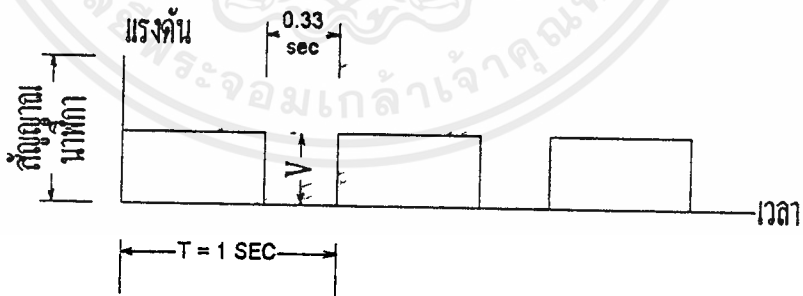


รูปที่ 5.4 แสดงขาของไอซีเบอร์ 74LS393

เนื่องจาก 74LS393 มีเคาน์เตอร์ไบนารีขนาด 4 บิตอยู่ 2 ชุดซึ่งแต่ละชุดนับได้ไม่เกิน 4 บิต แต่เนื่องจากวงจรตรวจจับความเร็วใช้ 8 บิต ดังนั้นจึงนำขา 1QD ( ขา6 ) ไปต่อกับขา 2A ( ขา 13 ) เพื่อให้ได้เป็นเคาน์เตอร์ไบนารีขนาด 8 บิต

5 ) บัฟเฟอร์ เป็นตัวพักเก็บข้อมูลเพื่อไม่ให้ข้อมูลสูญหาย โดยนำข้อมูล 8 บิตจากวงจรมานำเก็บไว้เพื่อเตรียมส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ทขนาน ซึ่งใช้ไอซี เบอร์ 74LS273

6 ) ฐานเวลา โดยใช้ไอซีไทเมอร์เบอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา 1 วินาที ซึ่งได้สัญญาณดังรูปที่ 5.5



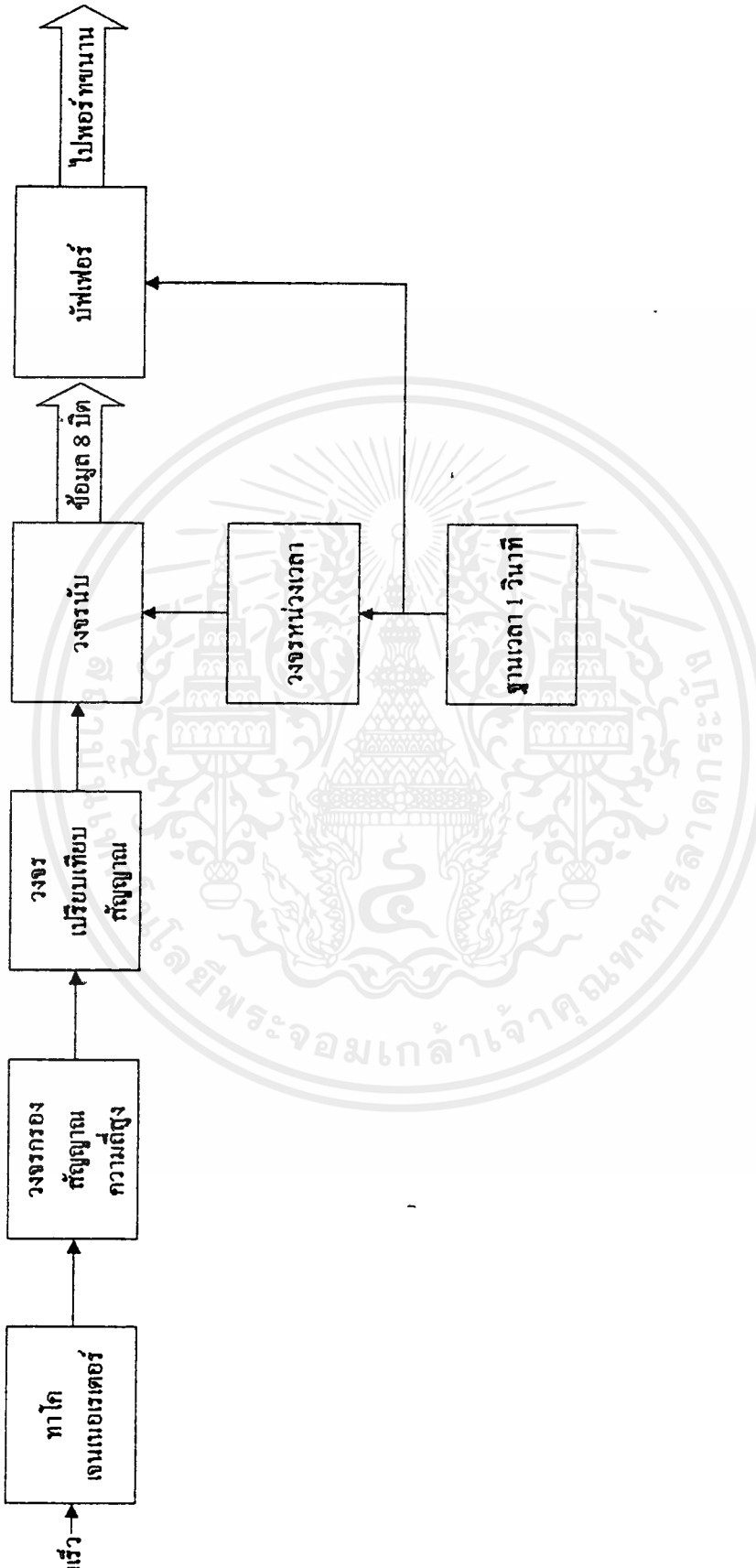
รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณนาฬิกา 1 วินาที

7 ) วงจรหน่วงเวลา ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74LS04

**ขั้นตอนการทำงาน**

มีขั้นตอนการทำงานดังแสดงด้วยแผนผังการทำงานรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรจذبความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควรรักษาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

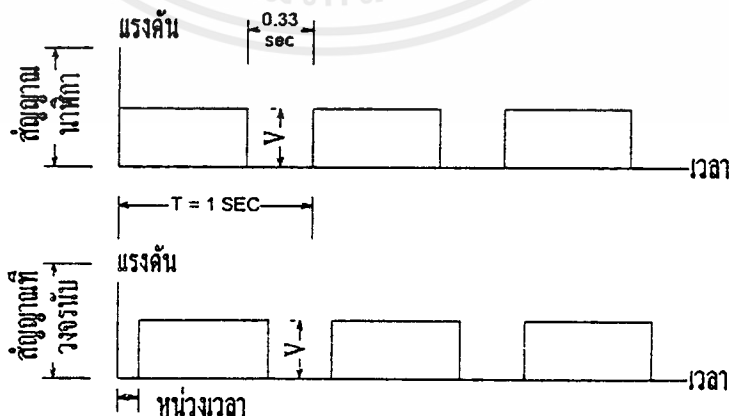
- 1 ) ทาโค เจนเนอเรเตอร์ แปลงความเร็วรอบเป็นสัญญาณไซน์ ผ่านวงจรกรองความถี่สูง เพื่อกรองฮาร์มอนิก ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนออก
- 2 ) สัญญาณคลื่นไซน์ที่ผ่านออกจากวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงจะถูกแปลงเป็นสัญญาณพัลซ์ โดยผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ
- 3 ) สัญญาณพัลซ์ที่ได้จะถูกนับโดยวงจรมับโดยจะเก็บข้อมูล 8 บิตไว้ในบัฟเฟอร์ซึ่งจะเก็บทุกๆ 1 วินาที โดยใช้สัญญาณนาฬิกา 1 วินาทีจากวงจรฐานเวลา เป็นสัญญาณควบคุม ซึ่งนอกจากจะใช้ควบคุมวงจรบัฟเฟอร์แล้วยังใช้ในการล้างข้อมูลในวงจรมับเพื่อให้เริ่มนับใหม่ทุกๆ 1 วินาที ดังนั้นข้อมูลความเร็วรอบที่ได้จะเป็นค่าความเร็วรอบซึ่งเป็น 2 เท่าของความเร็วรอบจริงต่อ 1 วินาทีเนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ เป็นสัญญาณพัลซ์ที่มีขนาด 2 พัลซ์ต่อความเร็วรอบจริง 1 รอบ ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วรอบจริง 1500 rpm (25 รอบต่อวินาที ) วงจรจะนับได้เป็น 0011 0010 ( ฐานสอง ) ซึ่งแปลงเป็นฐานสิบจะได้ 50 รอบต่อวินาที
- 4 ) ข้อมูลที่เก็บในบัฟเฟอร์จะไปยังพอร์ทขนานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรมตรวจจับความเร็ว ซึ่งเป็นคำสั่งให้อ่านและเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นจะทำการล้างข้อมูลความเร็วเก่าในวงจรมับ

เนื่องจากสัญญาณนาฬิกา 1 วินาทีของวงจรฐานเวลาจะนำมาใช้ควบคุม

-- การเก็บข้อมูลจากวงจรมับลงในบัฟเฟอร์

-- การเริ่มนับความเร็วรอบใหม่ต้องทำการล้างข้อมูลความเร็วเก่าในวงจรมับ

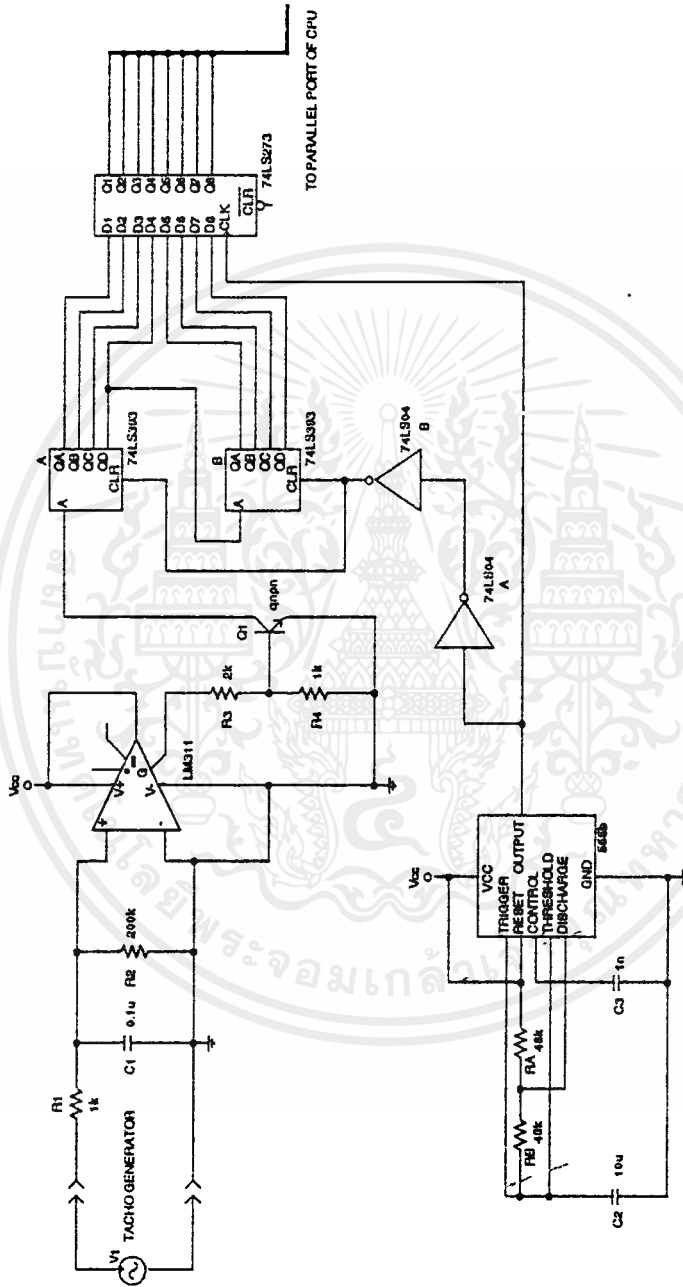
ซึ่งการทำงานทั้ง 2 ส่วนต้องทำงานสลับคั่นกันโดยทำการเก็บข้อมูลของวงจรมับ ลงใน บัฟเฟอร์ก่อนเพื่อป้องกันข้อมูลผิดพลาดหรือสูญหาย แล้วจึงล้างข้อมูลความเร็วเก่าในวงจรมับโดยสัญญาณล้างข้อมูลจะนำสัญญาณนาฬิกา 1 วินาทีผ่านวงจรหน่วงเวลาซึ่งจะได้ไคอะแกรมเวลาดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แสดง ไคอะแกรมเวลาของวงจรมับ

จากส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของวงจรตรวจจับความเร็วจะได้วงจรรวมดังรูปที่ 5.8

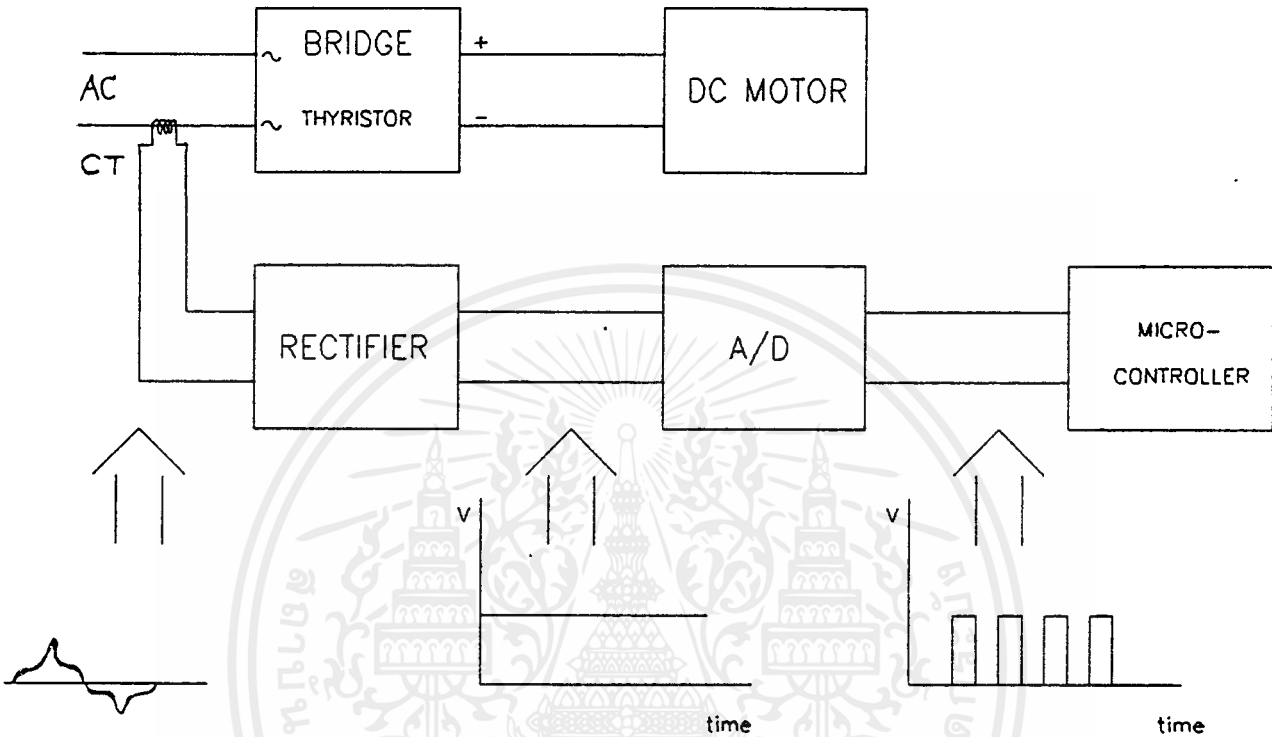
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงวงจรตรวจวัดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วงจรวัดกระแส มอเตอร์กระแสตรง

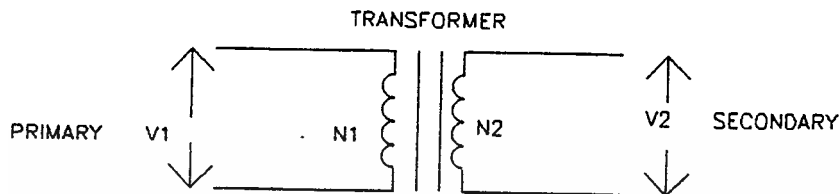


รูปที่ .5.9| การใช้งานหม้อแปลงวัดกระแส

หม้อแปลงกระแส ใช้วัดกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์กระแสตรง โดยใช้วิธีวัดกระแสทางคานไฟสลับ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ากระแสทางคานไฟตรง ที่ไหลเข้ามอเตอร์ สัญญาณที่ได้จะเป็นแบบไซน์ ซึ่งเมื่อผ่านวงจร เรคตีไฟเคอร์ แล้วจะได้สัญญาณเป็น เต็มคลื่น(full wave) หลังจากนั้นก็จะใช้ C กรอง ก็จะได้สัญญาณออกมาเป็นไฟตรง ซึ่งสัญญาณไฟตรง ที่ได้นี้เมื่อผ่านวงจร อนุบาล็อกทูดิจิตอล แล้วสามารถนำไปใช้ในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้

### หลักการทํางานของCT

การทำงานของหม้อแปลงกระแส อาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวด เหมือนในหม้อแปลงทั่วไป ที่มีขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (N1 & N2) แต่ขดของ หม้อแปลงกระแส จะแตกต่างกัน นั่นคือ N1 จะมีค่าเพียง 1/2 ขด ขณะที่ขดทางคาน ทุติยภูมิ N2 มีขนาดมากกว่า N1 มาก ซึ่งทางกลุ่มออกแบบใช้งานนี้ ใช้ N2 = 1000 รอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ฟลักซ์ ที่เกิดขึ้น เพียงเล็กน้อย สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นสัญญาณ โวลท์ ที่ปลายขด N2 ได้จาก ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



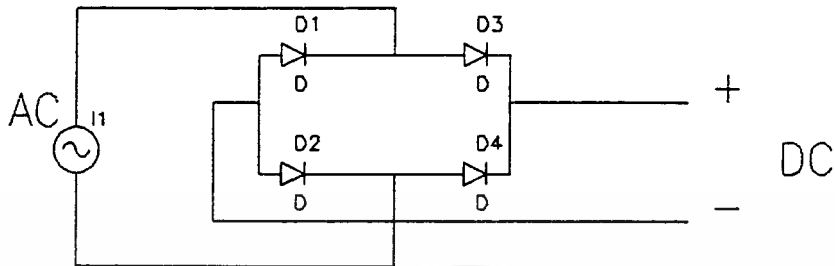
รูปที่ 5.10 รูปแสดงสัญลักษณ์หม้อแปลง

$$\frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2} \rightarrow V2 = \left(\frac{V1}{N1}\right) * N2$$

เหตุที่ใช้หม้อแปลงกระแส วัดกระแสทางคานไฟสลับ ก็เนื่องมาจากว่าลักษณะของสัญญาณของกระแสจะเป็นแบบสัญญาณไซน์ เหมือนแรงดันทำให้สามารถเหนี่ยวนำขดลวดได้คือสัญญาณที่ออกทางทุติยภูมิ ก็สมควรเป็นสัญญาณไซน์ ด้วยทำให้เมื่อผ่านวงจรเรกติไฟร์ สัญญาณกระแสที่ได้จะถูกดัดองมากขึ้น ซึ่งถ้าวัดทางไฟตรง ลักษณะของกระแสจะไม่เป็นไซน์ แต่ขึ้นกับลักษณะมุมทริกของไทรสเตอร์ ทำให้สัญญาณที่ได้ทางทุติยภูมิ ไม่สมควร ดังนั้นเมื่อผ่านเรกติไฟร์ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้

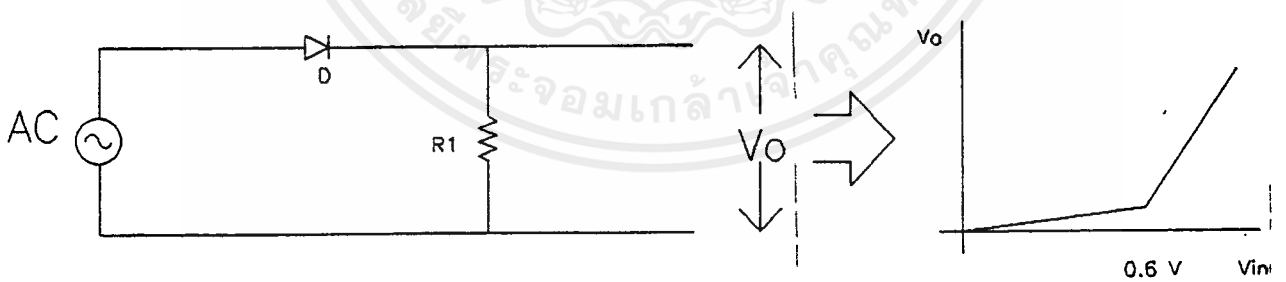
**แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นไฟตรง โดยใช้วงจร บริจันฟูลเวฟเรกติไฟร์ (Precision full wave rectifier )**

โดยทั่วๆ ไปการแปลงสัญญาณไฟสลับ ไปเป็นไฟตรง จะใช้วงจร บริจเรกติไฟร์(Bridge rectifier) ซึ่งลักษณะการต่อวงจร จะมีส่วนประกอบของไดโอดประกอบอยู่ในวงจรดังรูป



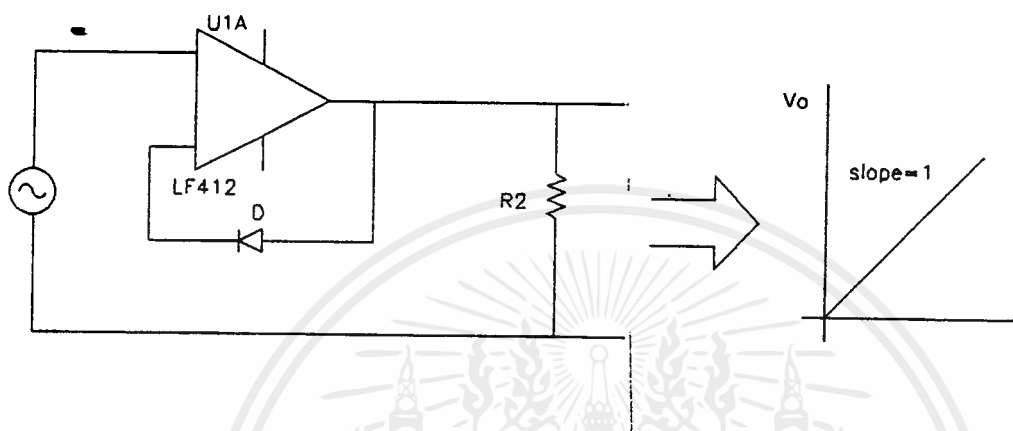
รูปที่ 5.11 วงจรบริดจ์เรกติไฟร์

ซึ่งคุณสมบัติของไดโอด แต่ละตัวจะมีค่า แรงดันเบรคดาว(Voltage break down) ประมาณ 0.6 โวลต์ ทำให้ไม่สามารถใช้เรกติไฟร์ ในวงจรที่มีขนาดเล็ก  $V < 1$  โวลต์ ได้ ลักษณะการทำงานของไดโอด โดยทั่วไปเป็นดังนี้ ในรูปกราฟ



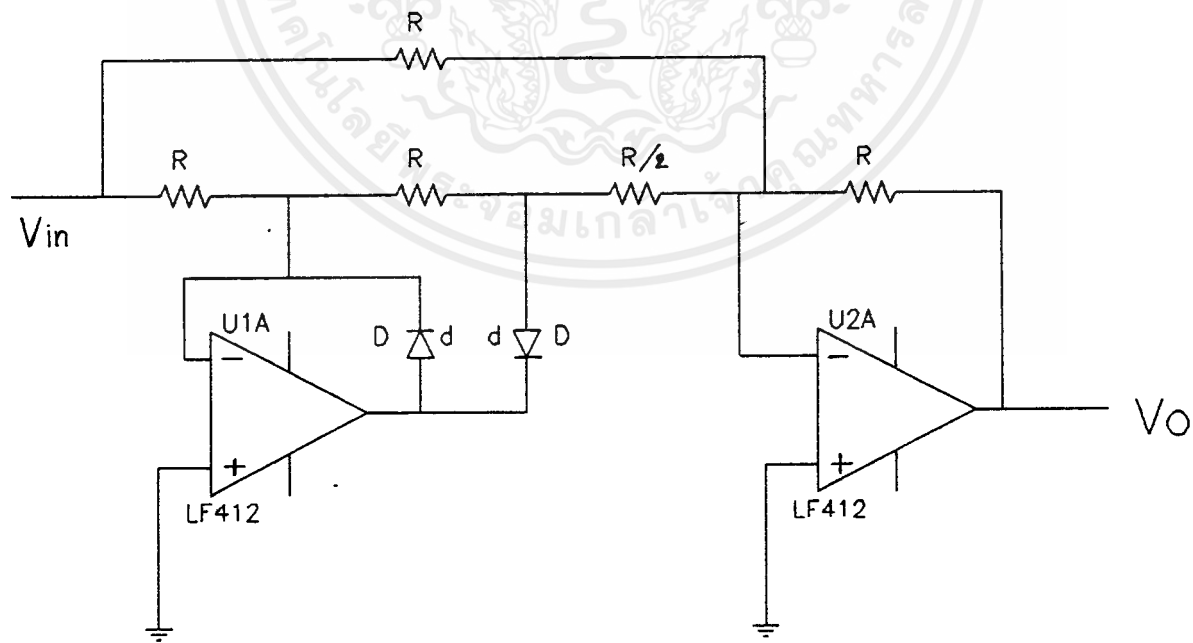
รูปที่ 5.12 แสดงคุณสมบัติของ ไดโอด

ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้มีการคิดแปลงเพื่อสร้างวงจรเรกติไฟร์ ขนาดเล็กขึ้นดังรูปที่ 5.2.5



รูปที่ 5.13 แสดงการใช้ ออปแอมป์ แทนไดโอด

โดยให้ไดโอด มาต่อเป็นคัตว้อนกลับให้กับ ออปแอมป์(Op amp) ซึ่งเมื่อนำมาค้ดแปลงให้เป็น สัญญาณแแต่้มกลัน จะได้วงจรค้ดรูปที่5.2.4



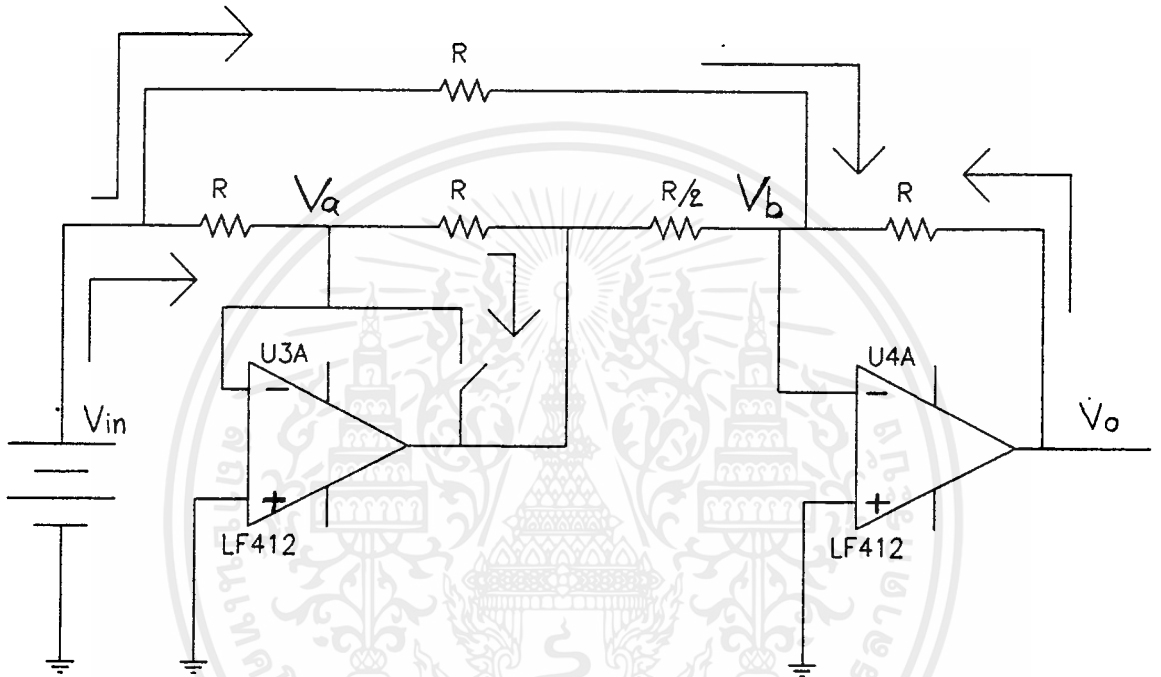
รูปที่ 5.14 วงจรพีซีซีพี ฟูลเวฟเรกติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การทำงานของวงจรเป็นดังนี้**

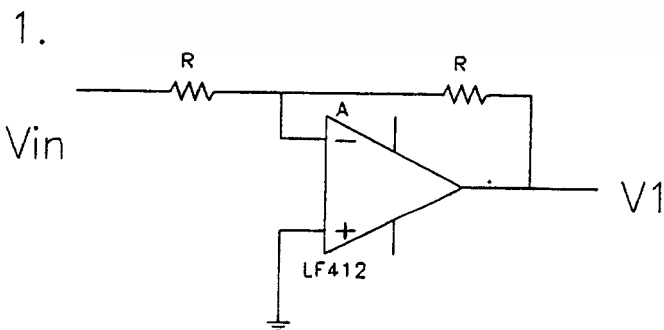
ลักษณะของวงจรจะเป็นแบบ อินเวอร์เตอร์(Inverter) 2 ตัว มาต่อกันด้วยกัน

เมื่อ  $V_{in} > 0$



รูปที่ 5.15 วงจร พรีซีชันเมื่อป้อนไฟบวก

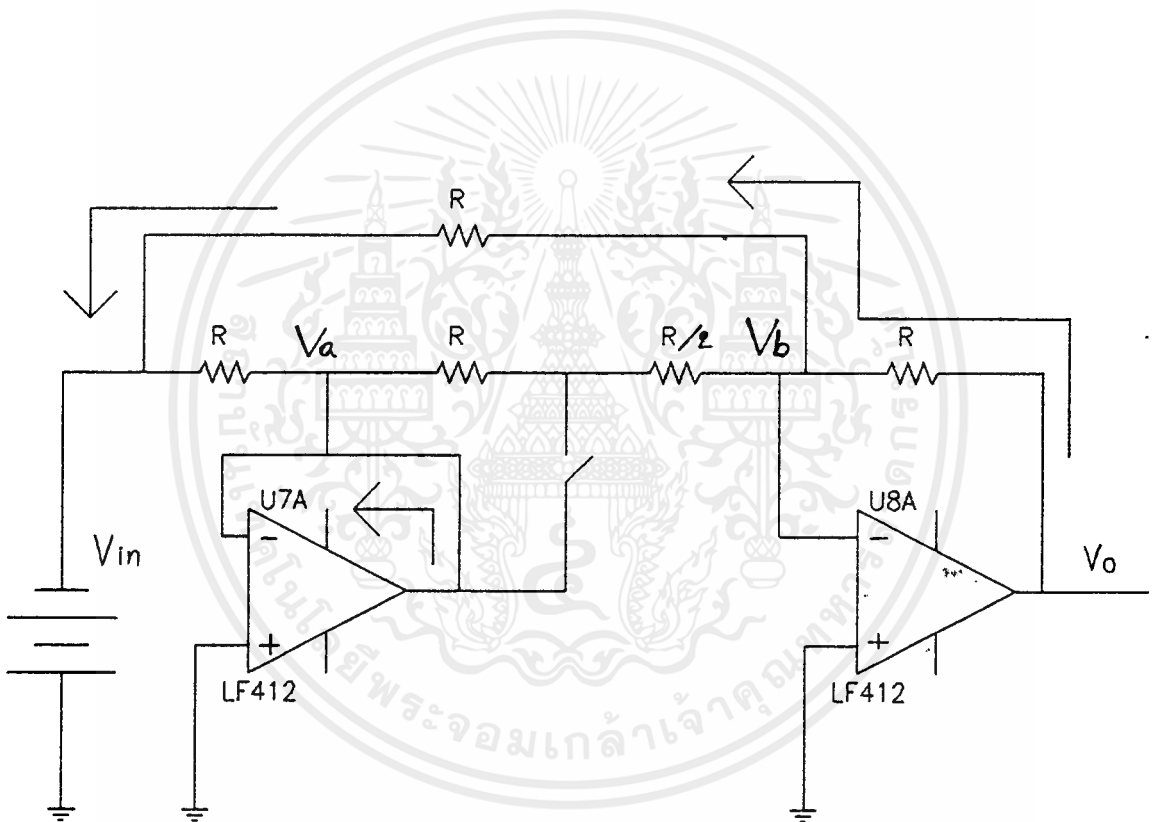
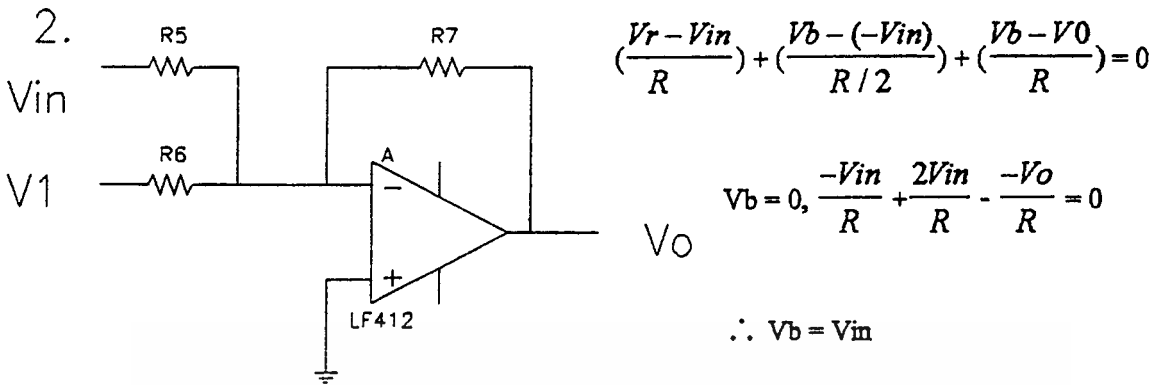
แยกเป็น 2 วงจรดังนี้



$$\left(\frac{V_a - V_{in}}{R}\right) + \left(\frac{V_a - V_1}{R}\right) = 0$$

$$V_a = 0, \left(\frac{-V_{in}}{R} - \frac{V_1}{R}\right) = 0$$

$$\therefore V_1 = -V_{in}$$



รูปที่ 5.16: วงจร ปริซิชันเมื่อป้อนไฟลบ

เมื่อ  $V_{in} < 0$

ช่วงคลื่นซีกลบ

$$\frac{V_b - V_{in}}{R} + \frac{V_b - V_a}{R + R/2} + \frac{V_b - V_0}{R} = 0$$

$$\frac{-V_{in}}{R} - \frac{V_0}{R} = 0$$

$$\therefore V_0 = -V_{in}$$

## บทที่ 6

### การแปลงค่า

#### 6.1 การแปลงค่าสัญญาณ อนุลอก ไปเป็นสัญญาณ ดิจิตอล (A/D)

สัญญาณ อนุลอก ได้จากตัว เซ็นเซอร์ ที่รับสัญญาณต่างๆจากวงจร 4-ควอดเรนท์ ซึ่งจะแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ ดิจิตอล เพื่อจะนำไปใช้ในการส่งเข้าคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยในการแปลงสัญญาณจะใช้ ไอซี เบอร์ ADC 0809 เป็นตัวแปลงสัญญาณ โดยสามารถรับสัญญาณ อินพุต เป็น อนุลอก ได้จำนวน 8 ช่องสัญญาณ ที่ขา 1,2,...,5,26,27,28 ซึ่งแต่ละขาสามารถที่จะเลือกได้จากการกำหนดขาสัญญาณควบคุมที่ขา 23,24,25 จำนวน 3 ขา จะเลือกได้  $2^3 = 8$  ช่องสัญญาณ ส่วนสัญญาณ เอาท์พุต จะเป็นสัญญาณเลขฐานสองขนาด 8 bit ออกทางขา ไอซี D0-D7 โดยจะแสดงสัญญาณออกมาเป็นแสงสว่างที่ตัว LED โดยแสงสว่างจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอนุลอกที่ป้อนเข้าไป นอกจากนี้จะต้องใช้วงจร ไทมเมอร์ NE 555 ป้อนสัญญาณความถี่ 90 Hz เข้าที่ขา 10 เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซี ADC 0809 และจะต้องจ่ายไฟ +5 v เข้าที่ขา CE(9) เพื่อให้ ไอซี สามารถจ่ายสัญญาณ เอาท์พุต ออกไปได้

จากการทดลองจะให้การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันจาก 0-5 โวลต์ ทางขา 26 จึงจำเป็นต้องต่อขาอื่นให้เป็น กราวด์ ให้หมด (ขา 1..5,27,28) เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณ รบกวน ก่อกวน เข้าช่องสัญญาณ 26 นั้นจะมีการต่อ ไดโอด D1 เอาไว้เพื่อกันไฟบวกที่มากเกินไป และ D2 ป้องกันไฟลบ ( ซึ่งอาจทำอันตรายแก่ตัว IC ได้ )

#### ผลการทดลอง

V <sub>in</sub>	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	V <sub>in(cal)</sub>
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
0.1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.156
1.3	0	1	0	0	0	1	0	0	1.328
3.7	1	1	0	0	0	1	0	0	3.830
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1	5.000

#### ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองแปลงสัญญาณอนุลอกไปเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{สูตรคำนวณ } V_{in} = V_{in} = \frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256}$$

### ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้ไฟป้อน  $V_{cc} = 5$  โวลต์ เมื่อสัญญาณที่ออกคือแฉวที่ 3 แทนค่าในสูตร

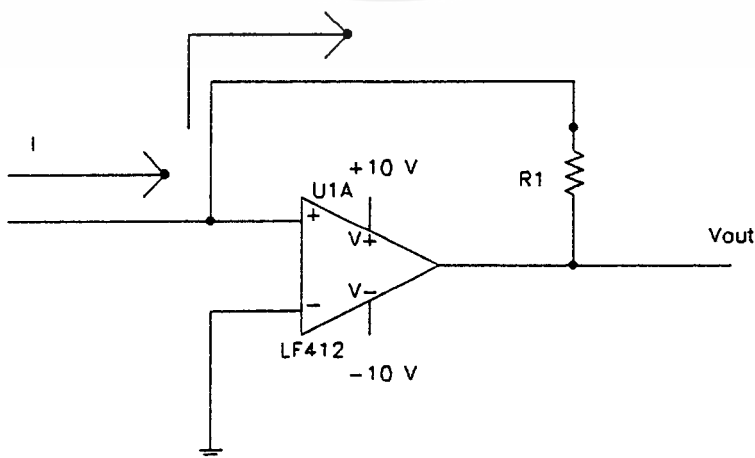
$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } V_{in} &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{64}\right) * 5.00 \\ &= 3.83 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับผลจากการคำนวณมากแสดงว่าสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้

## 6.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก(D/A) |

### 6.2.1 การทำงานของวงจร ดิจิตอลทูอนาลอกขนาด 8 บิต

สัญญาณที่ป้อนเข้าทาง อินพุท จะเป็นสัญญาณดิจิตอล หลังจากนั้นจะส่งเข้าสู่วงจรเพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก โดยที่สัญญาณ อินพุท จะเข้าที่ขา 5,6,..12 สัญญาณ เอาพุท จะออกที่ขา 4 จะเป็นสัญญาณที่เป็นกระแสออกมา ค้างนั้นจำเป็นจะต้องแปลงให้เป็น แรงดัน โดยวงจรดังในรูปที่ 6.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ โหนด(node.A) กระแสไหลเข้า โหนด A จะเป็น ศูนย์

$$I + I_s = 0$$

$$I + \left(\frac{V_0 - 0}{R_1}\right) = 0$$

$$\text{ดังนั้น } V_0 = -I \cdot R_s$$

ส่วนวงจรที่จะเป็นตัวคอปรับ  $V_0$  ให้ค่าออกมาเป็นเท่าใดนั้นจะขึ้นกับค่า  $V_{ref}, R_{ref}$  และ  $R_s$  ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นไปตามสมการ

$$V_0 = \frac{V_{ref} \cdot R_9}{R_{ref}} \left( \frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right)$$

ซึ่งจากการทดลองต้องการจะให้  $V_0$  ออกมาในช่วง 0-7 โวลต์ เพื่อที่จะนำไปเป็นตัวอ้างอิง ในการปรับมุมทริก ของ IC เบอร์ TCA 785

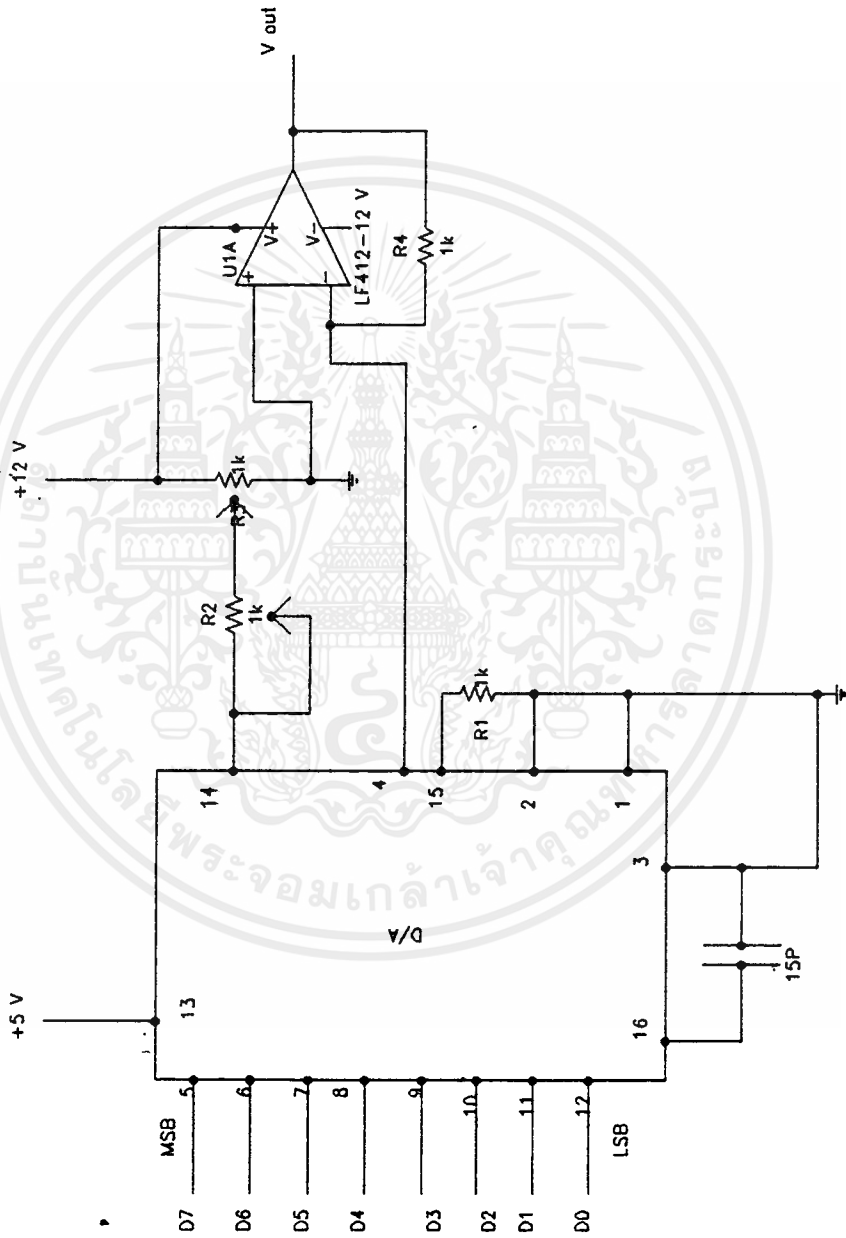
ผลการทดลอง

ไบนารี อินพุต

V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	V0	Va	Vcal
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
0	0	0	1	0	0	1	0	0.5	0.49
0	1	0	1	0	0	0	0	2.2	2.18
1	0	0	1	0	0	0	0	4.0	3.93
1	1	1	1	1	1	1	1	7.0	7.0

ตารางที่ 6.2 แสดงผล คิวคิตอลทอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรดิจิทัลต่ออนุภาค ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

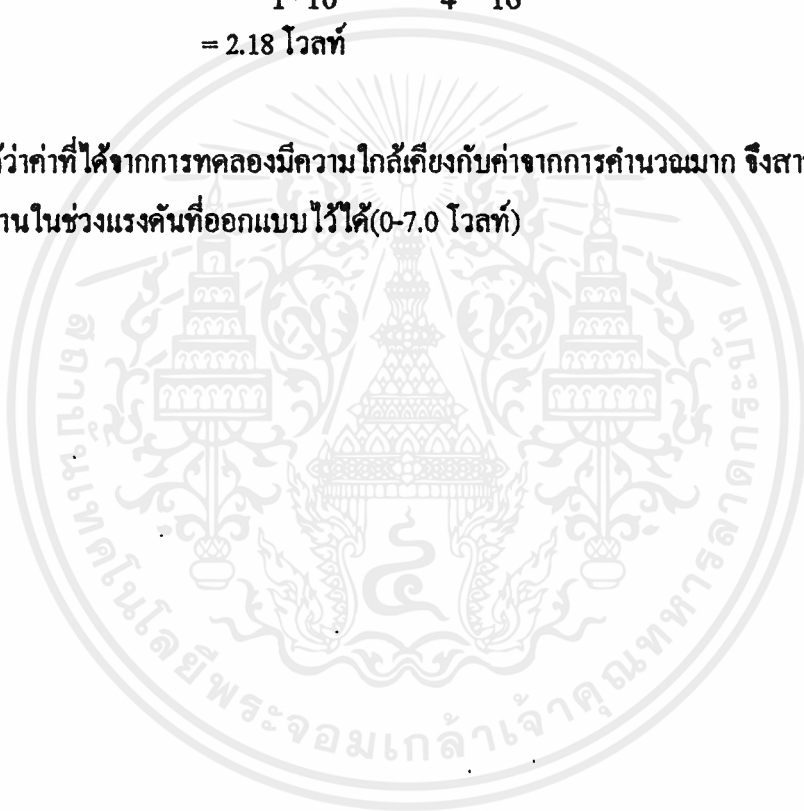
### ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้  $V_{ref} = 1.4$  โวลต์,  $R_s = 5 \text{ Kohm}$  และสัญญาณป้อนเข้าเป็นคั้งแฉวที่ 3

จากการคำนวณ ตามสูตร D/A

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } V_{out} &= \left( \frac{1.4 * 5 * 10^3}{1 * 10^3} \right) * \left( \frac{1}{4} + \frac{1}{16} \right) \\ &= 2.18 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณมาก จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในช่วงแรงดันที่ออกแบบไว้ได้ (0-7.0 โวลต์)



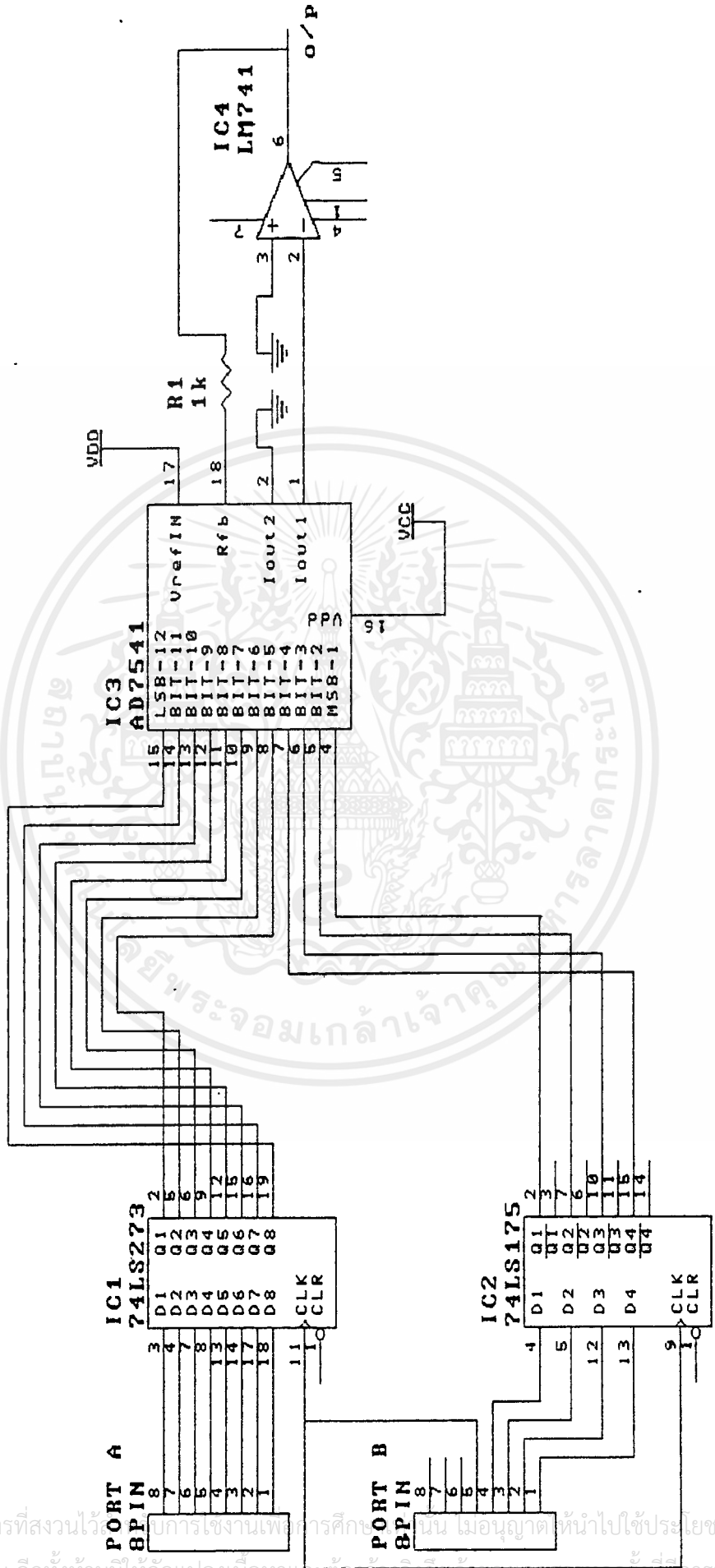
### 6.2.2 การทำงานของวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบ 12 บิต

ในส่วนของวงจรดิจิตอลทูอนาลอกถ้าหากใช้ค่าดิจิตอล 8 บิต ในการแทนค่าแรงดันเอาต์พุต 0-5 โวลต์ เพื่อนำค่าแรงดันนี้มาควบคุมมอเตอร์ในช่วง 0-180 องศา นั้น การใช้ดิจิตอล 8 บิต จะแบ่งช่วงมอเตอร์ได้เพียง 256 ค่า ซึ่งยังไม่ละเอียดเพียงพอ ดังนั้นในส่วนของดิจิตอลทูอนาลอก จึงทำการปรับปรุงส่วนนี้โดยใช้ดิจิตอลทูอนาลอก 12 บิต ไอซีเบอร์ AD7541

ในการควบคุมมอเตอร์ของทรินสเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าดิจิตอล 12 บิต เพื่อกำหนดมุมทริกค่าต่างๆ โดยจะส่งไปยังวงจรดิจิตอลทูอนาลอก 12 บิต ค่าที่ส่งออกมาจะอยู่ในช่วง 000H ถึง BB8H ดังนั้นค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรดิจิตอลทูอนาลอกก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ ค่าแรงดันนี้เองที่จะใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่ามุมทริกที่องศาต่างๆ ได้ตามต้องการ

ในการทำงานนั้นจะส่งค่า 8 บิต ล่างออกมาก่อนโดยผ่านพอร์ต A ส่งเข้ามาที่ขาอินพุตของแลตช์ (Latch) 8 บิต (ไอซีเบอร์ 74LS273) จากนั้นก็จะส่งค่าอีก 4 บิตบนที่เหลือมาที่ขาอินพุตของแลตช์ 4 บิต (ไอซีเบอร์ 74LS175) เมื่อส่งข้อมูลออกมาทั้ง 12 บิต แล้ว ก็จะส่งสัญญาณคล็อก(clock) เพื่อให้ไอซีเบอร์ 74LS273 และ 74LS175 รับค่าทั้ง 12 บิต ค่าใหม่มาเก็บไว้ และค่านี้ก็จะเป็ค่าอินพุตค่าใหม่ให้วงจรดิจิตอลทูอนาลอก ซึ่งจะทำให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรดิจิตอลทูอนาลอกค่าใหม่ ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงดังแสดงในตารางที่ จากตารางถ้าส่งค่าอินพุตที่เป็นดิจิตอลให้กับวงจรนี้ เช่น ส่งค่าอินพุต 000000000000B จะได้ค่าเอาต์พุตเป็น 0 โวลต์, ส่งค่าอินพุต 010111011100B ได้ค่าเอาต์พุต 2.5 โวลต์ สำหรับค่าอนาลอกสูงสุดที่ต้องการคือ 5 โวลต์ซึ่งจะใช้ค่าอินพุตที่มีค่าเป็น 101110111000B เนื่องจากในโปรแกรมควบคุมความเร็วได้แบ่งค่ามุมทริกโดยมีความละเอียด 3000 ค่า ในช่วงมุมระหว่าง 0-180 องศา

อินพุตที่เป็นดิจิตอล	เอาต์พุตที่เป็นอนาลอก(โวลต์)
111111111111	6.8
101110111000	5
010111011100	2.5
* 000000000000	0



รูปที่ 6.4 วงจรดิจิทัลของหม้ออก 12 บิต

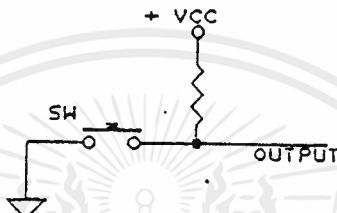
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและที่ยังคงสงวนลิขสิทธิ์ไว้ทุกแห่งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

## การรับคำสั่งและการแสดงผล

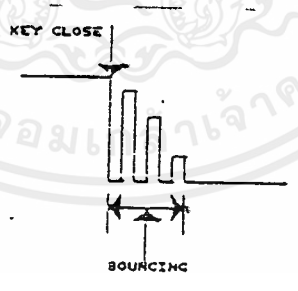
## 7.1 การรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด

อุปกรณ์ในการรับข้อมูลที่ใช่ คือ คีย์บอร์ด โดยคีย์บอร์ดจะทำหน้าที่ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้ โดยคำสั่งประกอบด้วย FORWARD , REVERSE , STOP , SPEED ENTER , VIEW CURRENT , VIEW TORQUE โดยพื้นฐานของคีย์บอร์ด คือ สวิตช์ โดยมีวงจรดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงวงจรของสวิตช์

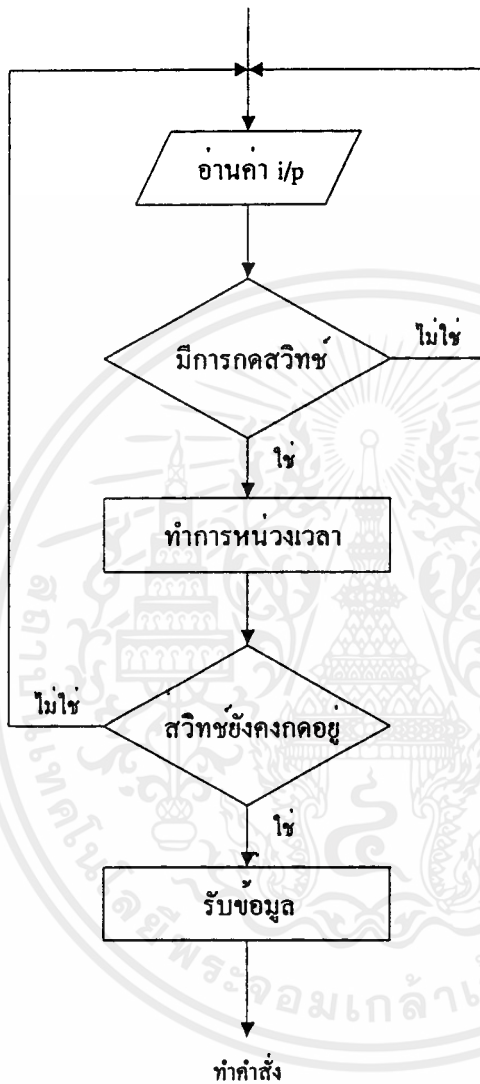
ขณะยังไม่กดสวิตช์ เอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับ + Vcc และเมื่อกดสวิตช์ เอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ เนื่องจากในการกดสวิตช์ โดยทั่วไปจะปรากฏพัลส์ที่ไม่ต้องการขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการกระเด็นของหน้าสัมผัส ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการบาวนซ์ ( Bounce ) ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงการเกิดบาวนซ์ขณะกดสวิตช์

การเกิดบาวนซ์จะทำให้การรับข้อมูลผิดพลาดได้ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญญามบาวนซ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ โปรแกรมจะทำงานโดยการตรวจสอบการกดสวิตช์ครั้งแรกแล้วรอสักระยะเวลาช่วงหนึ่ง เพื่อที่จะให้ผ่านช่วงเวลาที่เกิดการบาวนซ์ผ่านไปแล้วทำการอ่านข้อมูลจากสวิตช์อีกครั้ง

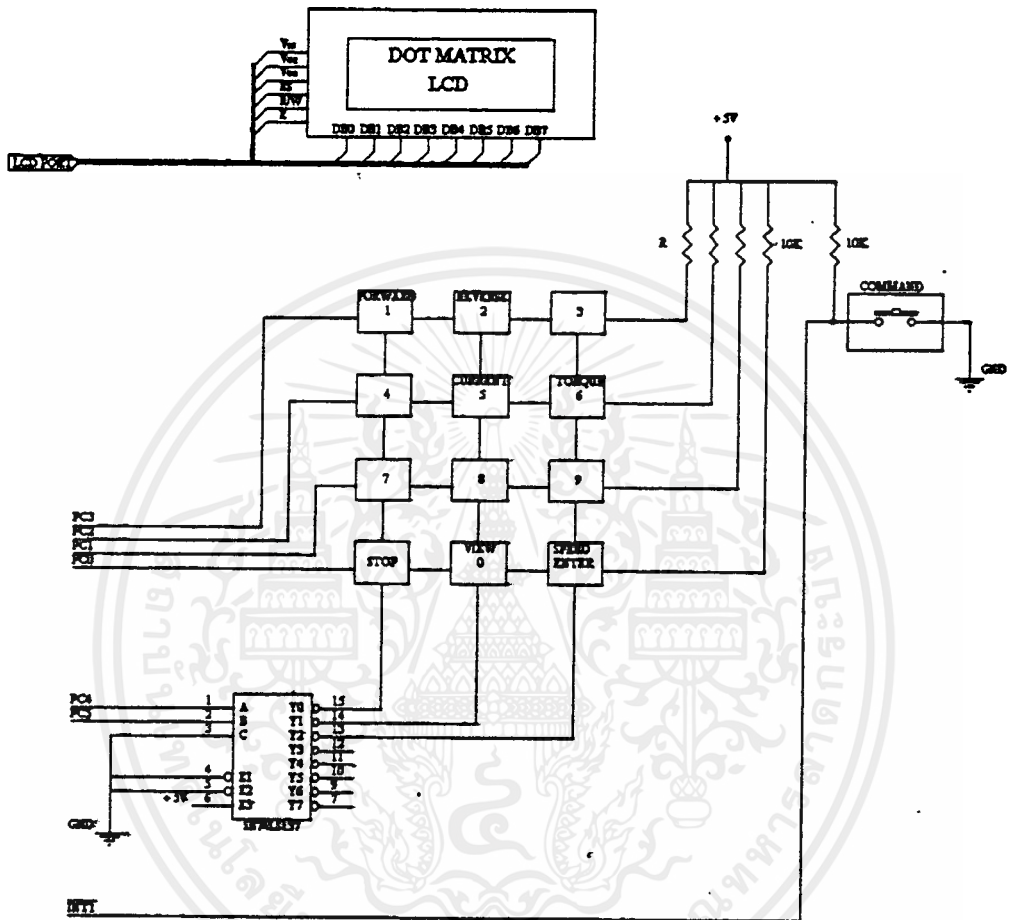
หนึ่งเพื่อจะนำไปเป็นข้อมูล การแกัสัญญาณบววนซนั้นสามารถนำมาเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ท ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการแกัสัญญาณบววนซ

จะเห็นว่าถ้าให้สวิทช์หนึ่งตัวแทนคำสั่ง 1 คำสั่ง จะทำให้เกิดการเปลืองสวิทช์จำนวนมาก รวมทั้งเปลืองสายที่จะใช้ติดต่อกับอิทีบอร์ค ดังนั้นจึงใช้คีย์บอร์ดโทรศัพท์ ซึ่งเป็นคีย์บอร์ดแบบเมทริกซ์ชนิด 4x3 ซึ่งมีปุ่มทั้งหมดเพียง 12 ปุ่ม จึงมีบางปุ่มที่ทำหน้าที่รับคำสั่งได้ 2 คำ

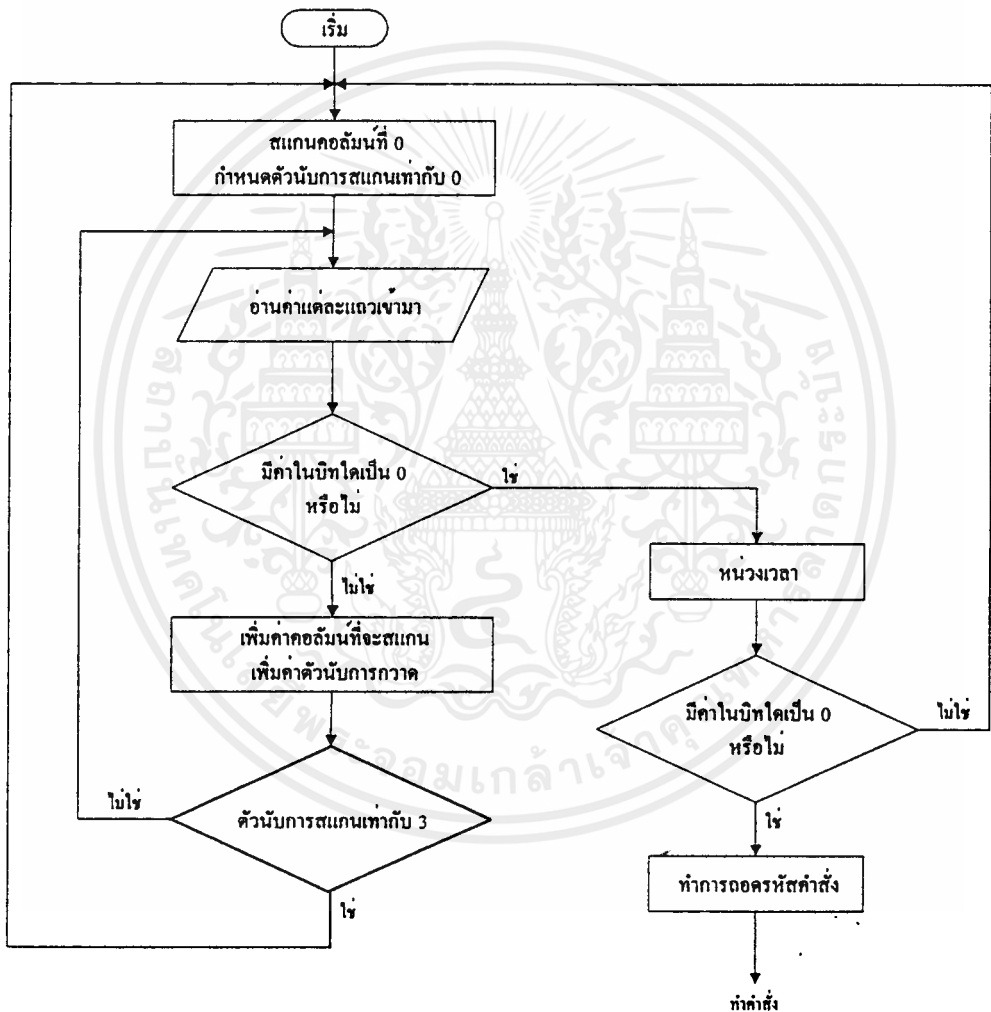
สั่งและใช้สายติดต่อกับอิทีบอร์ดทั้งหมดเพียง 6 เส้น แต่ยังคงมีสวิทช์เพิ่มเข้ามาอีก หนึ่งตัวเพื่อใช้ในการอินเตอร์รัพท์ เพื่อเข้าสู่การสแกน (scan) คีย์บอร์ด ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 วงจรของคีย์บอร์ดและจอ LCD

การตรวจสอบสวิทช์ที่กดจะใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด โดยโปรแกรมจะให้หลักการในการสแกน เพื่อหาว่าสวิทช์ใดที่ถูกกด โดยจากรูปที่ 7.4 จะเห็นว่าใช้ PC0 - PC3 เป็นตัวอ่านค่าจากคีย์บอร์ดเข้ามาส่วน PC4 - PC5 ใช้ในการส่งรหัสเพื่อเลือกแอดเดรส ของคอลัมน์ที่จะ scan ผ่านไอซี 74LS137 ซึ่งเป็น 3 to 8 ดีโคเดเจอร์(decoder) โดยการ

สแกน จะเริ่มต้นที่คอลัมน์ที่ 0 โดยกำหนดให้คอลัมน์ที่ 0 มีระดับเป็น 0 ส่วนคอลัมน์อื่นมีระดับเป็น 1 จากนั้นให้อ่านค่าของแต่ละแถวเข้ามาทาง PC0 - PC3 ถ้าพบว่ามีบิตใดเป็น 0 แสดงว่ามีการกด ก็จะทำการหน่วงเวลาแล้วกลับมาดูค่าอีกครั้งถ้ายังมีค่าเป็น 0 ก็จะทำการตรวจสอบว่ากำลังสแกน คอลัมน์ไหนอยู่และบิตใดที่เป็น 0 ก็จะทำให้ทราบได้ว่าที่คีย์บอร์ดมีการกดค่าใด ถ้าหากอ่านค่าแต่ละแถวแล้วไม่พบค่า 0 แสดงว่าไม่มีการกด ก็จะทำการสแกนคอลัมน์ต่อไป ดังแสดงในโฟลว์ชาร์ท รูปที่ 7.5

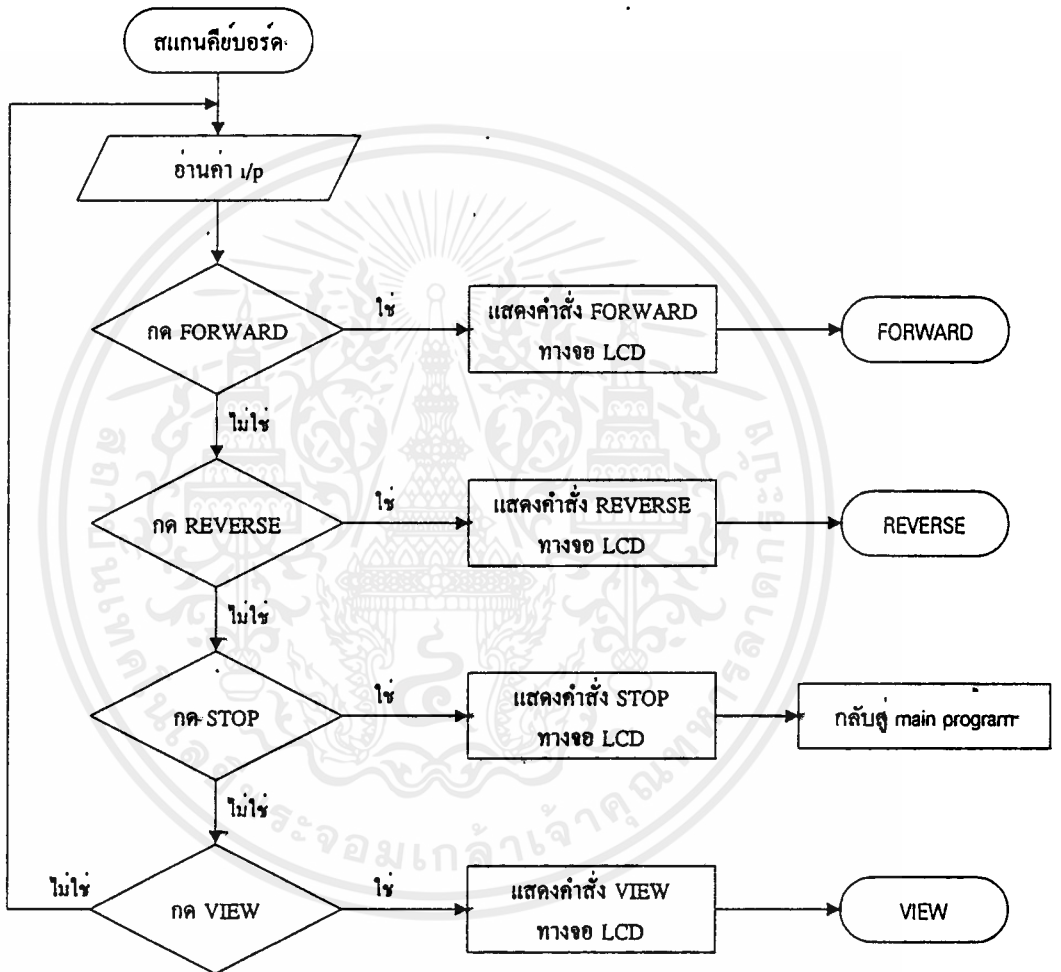


รูปที่ 7.5 โฟลว์ชาร์ทแสดงการตรวจสอบคีย์บอร์ด

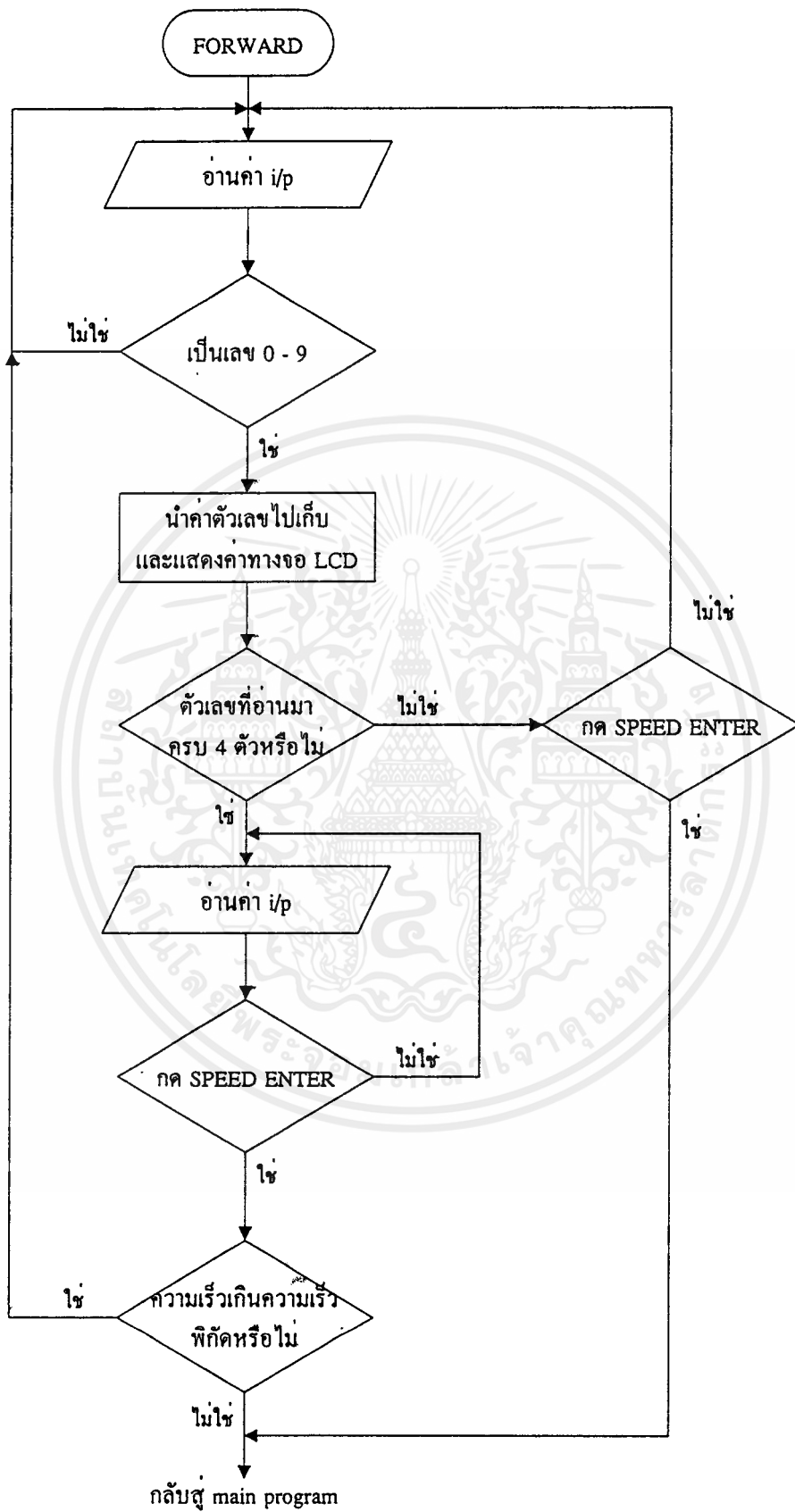
ในการสแกนคีย์บอร์ดนั้น เมื่อตรวจสอบพบว่ามีมีการกดและทำการถอดรหัสคำสั่งเรียบร้อยแล้วก็จะนำคำสั่งนั้นไปเก็บในแอดเดรสที่ทำหน้าที่เก็บคำสั่ง พร้อมทั้งแสดงคำสั่งที่กดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางจอ LCD เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบว่าได้กดคำสั่งอะไร โดย LCD ที่ใช้เป็น LCD แบบ character มีทั้งหมด 2 แถว แต่แถวสามารถแสดงตัวอักษรได้ทั้งหมด 20 ตัวอักษร ในการติดต่อระหว่างอิทีบอร์ด กับ LCD จะใช้พอร์ตของ LCD โดยเฉพาะ คือแอดเดรส EO80H - E083H รายละเอียดของการสแกนคีย์บอร์ด เพื่ออ่านคำสั่งและแสดงคำสั่งแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ทในรูปที่ 7.6 - 7.9

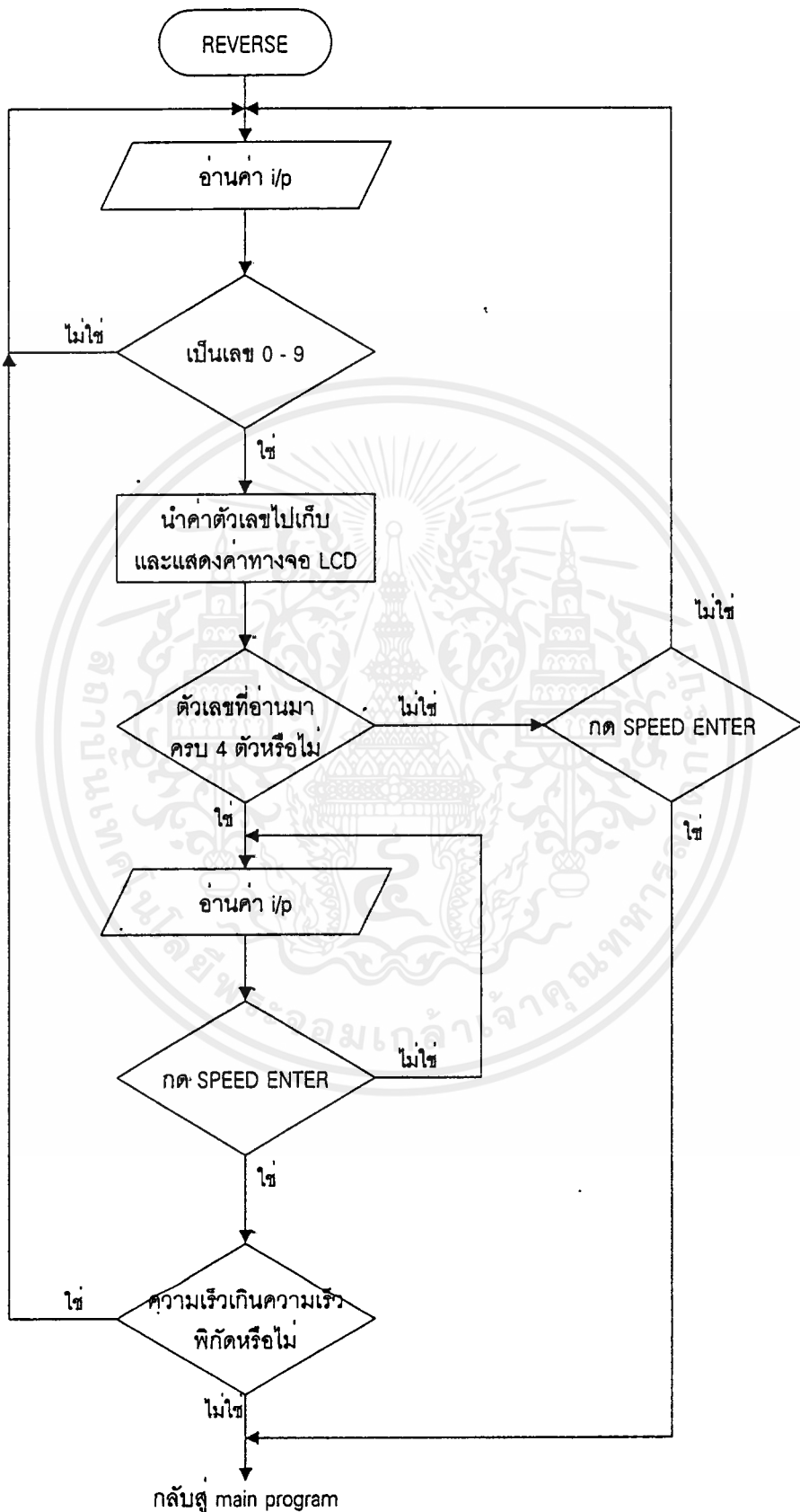


รูปที่ 7.6 โฟลว์ชาร์ทแสดงการเริ่มเข้าสู่การรับคำสั่ง

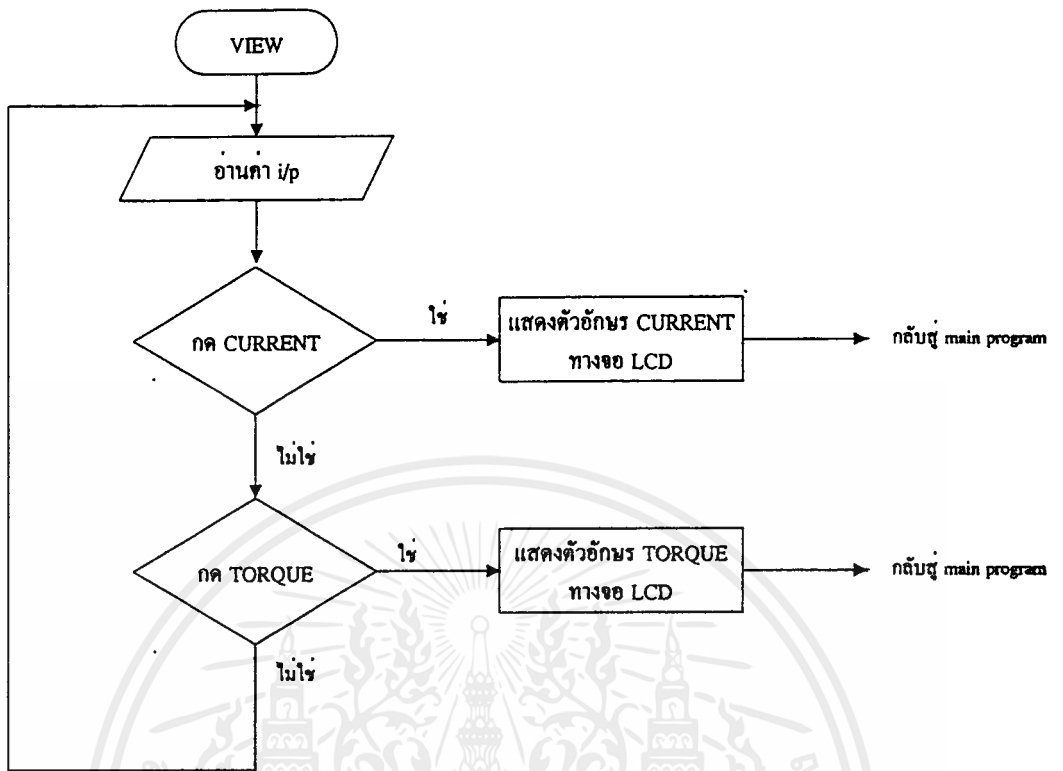


รูปที่ 7.7 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของกรับคำสั่งฟอร์เวิร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 7.8 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของถังรับคำสั่งรีเวอร์สไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของารรับคำสั่งค่ากระแสและแรงบิด

## 7.2 การแปลงเลขฐาน 2 เป็นเลข BCD

จะใช้โปรแกรมทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 ให้เป็นเลข BCD เพื่อที่จะส่งออกพอร์ทไปให้ LCD เพื่อแสดงค่า โดยค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการจะแสดงคือ ความเร็วรอบ ค่าแรงบิดและค่ากระแสของมอเตอร์ โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมหาดังนี้

- โปรแกรมแปลงความถี่เป็นความเร็วรอบ ( FIND\_SPEED )

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่ในการหมุนของมอเตอร์ คือ

$$f = \frac{N}{60}$$

แต่เนื่องจากความถี่ที่สามารถตรวจจับได้มีค่าเป็นสองเท่าของความถี่ในการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$N = 30 f_{detect}$$

ดังนั้นโปรแกรมนี้นำค่าความถี่จากวงจรตรวจจับความเร็วคูณด้วย 30 ก็จะได้ค่าความเร็วรอบที่เป็นเลขฐาน 2 ออกมา และเนื่องจากความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์ คือ 1500 rpm ซึ่งก็คือ 5DCH ดังนั้นจึงต้องเก็บค่าความเร็วรอบที่ได้ไว้ 2 แอดเดรส โดยจะเก็บในแอดเดรส 2BH และ 2CH

- โปรแกรมแปลงความเร็วรอบซึ่งเป็นเลขฐาน 2 เป็นเลข BCD ( BCD\_SPEED )

โปรแกรมนี้นำค่าความเร็วรอบจากแอดเดรส 2BH และ 2CH มาแปลงเป็นเลข BCD 4 ค่า โดยแต่ละค่าจะแทนค่าในหลักต่างๆของความเร็วจำนวน 4 หลักคือ

หลักหน่วย เก็บใน แอดเดรส 23H

หลักสิบ เก็บใน แอดเดรส 24H

หลักร้อย เก็บใน แอดเดรส 25H

หลักพัน เก็บใน แอดเดรส 26H

โดยหลักการของโปรแกรมนี้นี้ คือ จะนำค่าความเร็วรอบซึ่งเป็นเลขฐาน 2 มาหารด้วย 10 และจะเก็บเศษที่ได้จากการหาร ครั้งที่ 1 , 2 และ 3 เป็นคำตอบใน หลักหน่วย , หลักสิบ และ หลักร้อยตามลำดับ ส่วนค่าที่ได้จากการหารในครั้งที่ 3 จะเป็นคำตอบในหลักพัน

ตัวอย่าง

$$5DCH (1500) \div 0AH (10)$$

หารครั้งที่ 1

$$\begin{array}{r}
 10010110 \\
 00001010 \overline{)0000010111011100} \\
 \underline{0000010111011100} \\
 \underline{0000000000000000}
 \end{array}$$

เศษ 0

หารครั้งที่ 2

$$\begin{array}{r}
 00001111 \\
 00001010 \overline{)10010110} \\
 \underline{10010110} \\
 \underline{00000000}
 \end{array}$$

เศษ 0

หารครั้งที่ 3

$$\begin{array}{r}
 00000001 \\
 00001010 \overline{)00001111} \\
 \underline{00001010} \\
 \underline{00000101}
 \end{array}$$

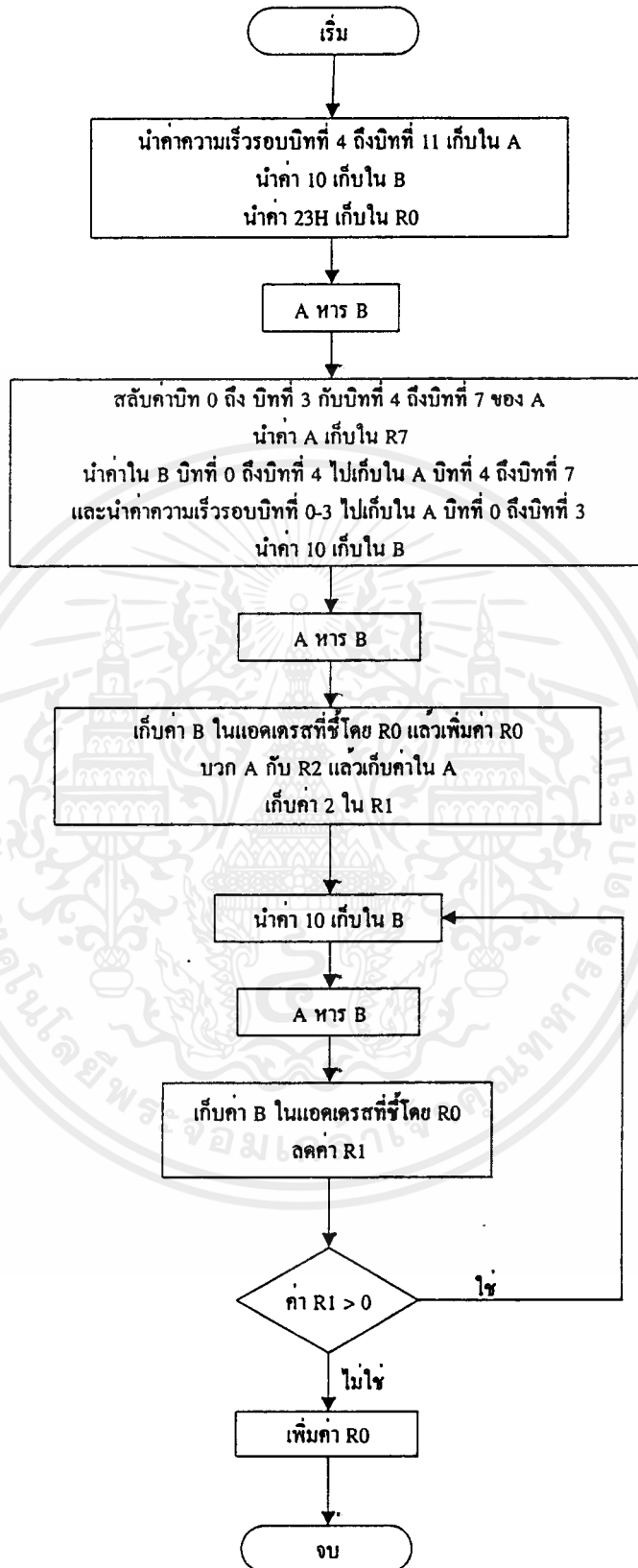
เศษ 5

ดังนั้นจะได้เลข BCD ใน แอดเดรส 23H - 26H ดังนี้

23H	00000000
24H	00000000
25H	00000101
26H	00000001

ซึ่งก็คือตัวเลข 1500

โดยโปรแกรม BCD\_SPEED จะใช้ในการแปลงเลขฐาน 2 จำนวน 16 บิต ( 2 ไบท์ ) ซึ่งมีค่าไม่เกิน 4095 เป็นเลข BCD ได้ 4 หลัก นอกจากนั้นในโปรแกรม BCD\_SPEED ยังประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมที่สามารถแปลงเลขฐาน 2 ขนาด 8 บิต เป็นเลข BCD 3 หลัก คือ ส่วนของ BCD\_VT และส่วนของโปรแกรมที่ใส่แปลงเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต เป็นเลข BCD 2 หลัก คือส่วนของ LOOP ซึ่งส่วนของ BCD\_VT และ LOOP นี้จะทำให้ช่วยลดเวลาในการแปลงเลขฐาน 2 ของค่า แรงบิดและกระแส เพราะค่าพวกนี้มีจำนวนหลักน้อยกว่าค่าความเร็วรอบ โดยไฟลัซท์ทของโปรแกรม BCD\_SPEED แสดงในรูปแบบที่ 7.10



รูปที่ 7.10 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม BCD SPEED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรมหาค่าแรงบิด ( FIND\_TORQUE )

ค่าแรงบิดหาได้จากสมการ

$$T = k\phi I_a$$

ในการทดลองหาค่า  $k\phi$  ของมอเตอร์ ปรากฏว่าได้ค่า  $k\phi$  เท่ากับ 1.46 ซึ่งประมาณได้ว่าเท่ากับ 1.5 ดังนั้นจึงได้สมการใหม่ว่า

$$T = 1.5I_a$$

โปรแกรม FIND\_TORQUE จะนำค่าที่ผ่านมอเตอร์จากวงจรตรวจจับกระแสมาคูณกับค่า 1.5 แล้วนำผลคูณที่ได้ไปแปลงเป็นเลข BCD โดยโปรแกรม BCD\_VT แล้วเก็บในแอดเดรส 29H ถึง 2BH

- โปรแกรมแปลงค่ากระแส ( CONVERT\_CURRENT )

เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์มีลักษณะไม่เรียบคือเป็นริปเปิล ( ripple ) ทำให้ค่าที่อ่านได้มีค่าไม่แน่นอน ดังนั้นจะต้องนำค่ากระแสที่อ่านได้มาผ่านการหาค่าก่อนและค่าที่ได้จากการหาค่าก็คือค่ากระแสที่มีค่าแน่นอน และจะนำค่ากระแสที่วัดได้ไปแปลงเป็นเลข BCD จำนวน 2 หลัก โดยโปรแกรม LOOP แล้วเก็บค่าที่ได้ในแอดเดรส 2CH และ 2DH

### 7.3 อุปกรณ์แสดงผลโดยใช้จอ LCD

ในปัจจุบัน การแสดงผลจะนิยมใช้ โมดูล(Module) ของจอ LCD (ภาคผนวก) เนื่องจาก คุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายอย่างคือ ใช้กระแสที่ต่ำ สามารถแสดงได้หลายแบบคือ ตัวอักษร,ตัวเลข และ กราฟฟิก สะดวกในการใช้งานกับระบบคอมพิวเตอร์ได้ง่าย เพราะอาศัยหลักการเขียน โปรแกรม เพื่อสั่งงานให้แสดงผล นอกจากนี้ยังมีความสวยงามด้วย

โมดูล LCD ที่ทางกลุ่มเลือกใช้จะเป็นแบบ คอทแมตริก(Dot matrix) ขนาด 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด ดังแสดงใน คาต่าบุ๊ก(data book) DMC 202

ทำงานโดยการส่งโปรแกรม มาควบคุมให้ LCD ทำตามหน้าที่ ที่ต้องการดังนี้ เคลียร์คิสเพลย์(CLEAR DISPLAY) , โฮมเคอร์เซอร์(HOME CURSOR) , ออน ออฟ เคอร์เซอร์(ON OFF CURRSOR) และอื่นๆ แล้วแต่ความต้องการ ในการใช้งานโปรแกรม ควบคุม เมื่อมีคำสั่งส่งไปยัง LCD ในแต่ละครั้งจะต้องรอให้ ระบบการทำงานภายในของตัว Module ทำงานเรียบร้อยก่อน จึงจะส่งคำสั่งต่อไปได้ ซึ่งจะใช้วิธีตรวจสอบบิตซีฟล็ก (Busy Flag) ในการใช้งานซึ่งส่วนใหญ่จะใช้กับโปรแกรมจะมีการ กำหนดค่าเริ่มต้นไว้ส่วนต้นของโปรแกรมซึ่งหลังจากนั้นจะเป็นการแสดงผล อ่านและเขียน ลงใน DDRAM ต่อไป

การเขียน หรือ อ่าน ข้อมูลกับ โมดูล ของ LCD(LCD Module) คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของการใช้งาน ดังรายละเอียดคำสั่งดังนี้

instruction	r/s	r/w	7	6	5	4	3	2	1	0
clear display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
cursor at home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	i/d	*
display on/off	0	0	0	0	0	0	1	d	c	b
display shift	0	0	0	0	0	1	s/c	r/l	*	*
function set	0	0	0	0	1	dl	n	f	*	*
set cgram add	0	0	0	1						
set ddram add	0	0	1							
busy,add. read	0	1	bf							
cgram,ddram wr	1	0								
cgram,ddram rd	1	1								

## ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับโมดูล LCD จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ คำสั่ง(instruction) และ ข้อมูล(Data) โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า  $RS=0$  จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (Instruction) หรืออ่านค่าแฟล็ก (Flag) สภาพการทำงานของ โมดูล LCD และถ้า  $RS=1$  จะหมายถึง การเขียนหรืออ่านข้อมูล กับ โมดูล LCD

2. หลักการในการเขียนข้อมูลให้ โมดูล LCD นี้ คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัวมันเอง จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ( ตามเวลาทำงาน (Execute Time) ในตาราง) ซึ่งระบบ ไมโคร สามารถตรวจสอบได้จาก บิตซีฟล็ก(Busy Flag ( BF )) และถ้าเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถเขียนข้อมูลอันต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบพอร์ต I/O(I/O Port) ก็ไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบ ไมโครก็จะต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน

3. การเขียนข้อมูลให้กับ โมดูล LCD นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 bit และ 4 bit โดยกรณี 4 bit จะใช้สายสัญญาณข้อมูล เพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 ( ใช้สำหรับระบบ ไมโครแบบ 4 bit หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 8 bit เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อน แล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติ

4. DDRAM ( Display Data Ram ) คือหน่วยความจำภายในตัว โมดูล LCD ที่เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII .ใดๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แสดงผลทันที

## บทที่ 8

## โปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

## 8.1 การเริ่มทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว

เมื่อเริ่มต้นทำงาน โปรแกรมจะเข้าสู่การสแกนคีย์บอร์ดเพื่อรอรับคำสั่ง ในการใช้งาน จะต้องกดอินเทอร์รัพก่อนแล้วเลือกคำสั่ง ซึ่งคำสั่งมีให้เลือก 3 กรณีคือ หยุดหมุน หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด หรือหมุนในทิศทางรีเวิร์ส โดยถ้าสั่งให้มอเตอร์หมุนก็จะมีกรับค่าความเร็วที่ต้องการในทิศทางนั้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 8.1

กรณีเลือกคำสั่งหยุดหมุน

เนื่องจากมอเตอร์ยังคงหยุดหมุนอยู่ เมื่อเลือกคำสั่งนี้ก็เสมือนว่าได้ทำคำสั่งนี้สำเร็จแล้ว โปรแกรมจะรอการกดคีย์บอร์ดเพื่อรับคำสั่งต่อไป

กรณีสั่งให้มอเตอร์หมุน

เมื่อมีคำสั่งให้มอเตอร์หมุน โดยระบุค่าความเร็วและทิศทางที่ต้องการ ซึ่งค่าความเร็วต้องไม่เกินค่าความเร็วสูงสุดที่ทำงานได้ โปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบว่าต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางใด ถ้าหมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ดก็จะให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ทำงาน แต่ถ้าหมุนในทิศทางรีเวิร์สก็จะให้คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 ทำงาน

ในการให้คอนเวอร์เตอร์เริ่มทำงานนั้น โปรแกรมจะตั้งค่าเริ่มต้นของมุมทริกเป็น  $180^\circ$  แล้วลดมุมทริกจาก  $180^\circ$  จนมีค่าเป็น  $90^\circ$  การเริ่มต้นมุมทริกที่มุม  $180^\circ$  ก็เพื่อไม่ให้ค่ากระแสตอนสตาร์ทมีค่าสูง เมื่อค่ามุมทริกมีค่า  $90^\circ$  แล้วก็จะเข้าสู่โปรแกรมส่วนควบคุมความเร็ว

## 8.2 การทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว

การทำงานของโปรแกรมในส่วนควบคุมความเร็วดังแสดงในรูปที่ 8.2 การทำงานจะรับค่าความเร็วปัจจุบันซึ่งได้จากวงจรส่วนตรวจสอบความเร็ว และแสดงค่าความเร็วนี้ออกทางส่วนแสดงผล และมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคำสั่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งก็จะสแกนคีย์บอร์ดเพื่อรับคำสั่งใหม่และทำงานตามคำสั่งใหม่ที่ต้องการ แต่ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งก็จะทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วปัจจุบันกับค่าความเร็วที่ต้องการ โดยการเปรียบเทียบมีกรณีดังนี้

กรณีความเร็วปัจจุบันเท่ากับความเร็วที่ต้องการ

ถ้าค่าความเร็วมีค่าเท่ากับค่าที่ต้องการอยู่แล้ว โปรแกรมก็จะหน่วงเวลาแล้วกลับเข้าสู่ลูปควบคุมความเร็วเพื่อเริ่มทำงานวนซ้ำกับที่กล่าวมาข้างต้น

กรณีที่ความเร็วปัจจุบันน้อยกว่าความเร็วที่ต้องการ

จะมีการตรวจสอบว่าสามารถเพิ่มความเร็วขึ้นอีกได้หรือไม่ เนื่องจากการเพิ่มความเร็วทำได้โดยการลดมุมทริกซึ่งมุมทริกที่ลดต้องไม่ต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่สามารถทำงานได้ ถ้าตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วสามารถลดมุมทริกได้อีก ก็จะลดมุมทริกลงมา 1 ระดับ แล้วก็จะหนด่วงเวลาแแล้ววนทำงานซ้ำในส่วนควบคุมความเร็วอีก

กรณีความเร็วปัจจุบันมากกว่าความเร็วที่ต้องการ

จะมีการตรวจสอบว่าสามารถลดความเร็วได้อีกหรือไม่ เนื่องจากได้กำหนดมุมทริกสำหรับความเร็วที่ต่ำสุดเป็น  $90^\circ$  ถ้าหากสามารถลดความเร็วลงได้ก็จะเพิ่มมุมทริกขึ้น 1 ระดับ จากนั้นก็จะหนด่วงเวลาแแล้ววนทำงานซ้ำในส่วนควบคุมความเร็วอีก

### 8.3 การเปลี่ยนแปลงคำสั่งการทำงาน

ขณะที่โปรแกรมทำงานอยู่ในคำสั่งเดิม สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงคำสั่งการทำงานเป็นคำสั่งใหม่ตามที่ต้องการได้ ซึ่งคำสั่งนั้นอาจจะเป็นกรณีต่างๆ ดังรูปที่ 8.3 คือ

- หยุดหมุน
- เปลี่ยนทิศทาง
- ความเร็วเท่าเดิม
- เพิ่มความเร็ว
- ลดความเร็ว

#### โปรแกรมหยุดหมุนมอเตอร์

มีรูปแสดงผังการทำงานในรูปที่ 8.4 และ 8.5 ซึ่งในการหยุดหมุน มีขั้นตอนคือ

- ทำให้คอนเวอร์เตอร์ชดเชยหยุดทำงาน และมีการเช็คค่ากระแสแแล้วรอนกระแสมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นจะหนด่วงเวลาไว้เพื่อให้คอนเวอร์เตอร์หยุดทำงานโดยสนิท

- ให้คอนเวอร์เตอร์อีกชุดทำงานในโหมดอินเวอร์ตติง ถ้าเป็นการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องจะสามารถเริ่มต้นมุมทริกได้ที่  $180-\alpha$  เพื่อให้แรงดันที่เทอร์มินอลเท่ากับแรงดันย้อนกลับ แแล้วค่อยๆลดมุมทริกจนมอเตอร์หยุดหมุน โดยควบคุมการลดมุมทริกเพื่อให้แรงดันที่เทอร์มินอลมีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับตลอดเวลา แต่เนื่องจากการทำงานเป็นแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง จึงไม่สามารถทราบตำแหน่งมุมทริกที่จะทำให้แรงดันที่เทอร์มินอลมีค่าเท่ากับแรงดันย้อนกลับ จึงต้องเริ่มมุมทริกที่มุม  $180^\circ$  ซึ่งที่ตำแหน่งนี้ค่าแรงดันที่เทอร์มินอลจะมีค่าไม่ต่ำกว่าแรงดันย้อนกลับ แแล้วค่อยๆลดมุมทริกลงมาจนแรงดันที่เทอร์มินอลมีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับ กระแสก็จะสามารถไหลกลับทิศได้ จากนั้นการลดมุมทริกลงมาจะต้องให้แรงดันที่เทอร์มินอลมีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับตลอดเวลา จนความเร็วเป็นศูนย์หรือมุมทริกเป็น  $90^\circ$  ในช่วงนี้มอเตอร์จะจ่ายพลังงานกลับคืนสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นการเบรคแบบกระแสกลับทิศ และการลดมุมทริกต้องควบคุมให้แรงดันของคอนเวอร์เตอร์มีค่าน้อยกว่าแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ตลอดเวลา กระแสจะไหลออกจากมอเตอร์ ความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ ลดลง จนหยุดในที่

- หยุดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ แล้วรอรับคำสั่งใหม่ต่อไป

### โปรแกรมเปลี่ยนทิศทางการหมุน

การเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดังมีผังแสดงการทำงานในรูปที่ 8.6 และ 8.7 ซึ่งมีขั้นตอนคือ

- ทำให้คอนเวอร์เตอร์ชุดเดิมหยุดทำงาน และมีการเช็คค่ากระแสแล้วรอจนกระแสมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นจะหน่วงเวลาไว้เพื่อให้คอนเวอร์เตอร์หยุดทำงานโดยสนิท
- ให้คอนเวอร์เตอร์อีกชุดทำงานในโหมดอินเวอร์ตติง และลดมุมตริกลอง โดยเริ่มจากมุม  $180^\circ$  และค่อยๆลดมุมตริกลองมาจนความเร็วเป็นศูนย์หรือมุมตริกเป็น  $90^\circ$  มอเตอร์ก็จะมีความเร็วลดลงและหยุดหมุนในที่สุด
- เมื่อมุมตริกได้ลดลงเป็น  $90^\circ$  แล้ว โปรแกรมก็จะกระโดดไปทำงานในส่วนควบคุมความเร็วเพื่อเพิ่มความเร็วให้มอเตอร์ จนมอเตอร์มีค่าความเร็วเข้าสู่ค่าความเร็วที่ต้องการในทิศทางใหม่

### โปรแกรมเพิ่มความเร็ว

เมื่อมีคำสั่งให้เพิ่มความเร็วมอเตอร์ โปรแกรมจะเข้าสู่การทำงานในส่วนควบคุมความเร็ว แล้วทำการเพิ่มความเร็วโดยการลดมุมตริกลองที่ระดับ และวนทำงานซ้ำจนกว่ามอเตอร์จะมีความเร็วเข้าสู่ค่าที่ต้องการ

### โปรแกรมลดความเร็ว

การลดความเร็ว มีผังแสดงการทำงานในรูปที่ 8.8 และ 8.9 โดยมีขั้นตอนดังนี้

- หยุดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชุดเดิม
- เมื่อคอนเวอร์เตอร์ชุดเดิมหยุดทำงานสนิทแล้ว ก็จะเปลี่ยนให้คอนเวอร์เตอร์อีกชุดทำงานในโหมดอินเวอร์ตติง โดยเริ่มทำงานที่มุมตริก  $180^\circ$  จากนั้นจะลดมุมตริกเพื่อให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงจนมีค่าเท่ากับความเร็วที่ต้องการ
- หยุดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และรอจนคอนเวอร์เตอร์หยุดทำงานสนิท
- คอนเวอร์เตอร์ชุดเดิมทำงานอีกครั้งที่ความเร็วค่าใหม่ที่ต้องการ
- เข้าสู่โปรแกรมส่วนควบคุมความเร็วเพื่อควบคุมความเร็วให้คงที่

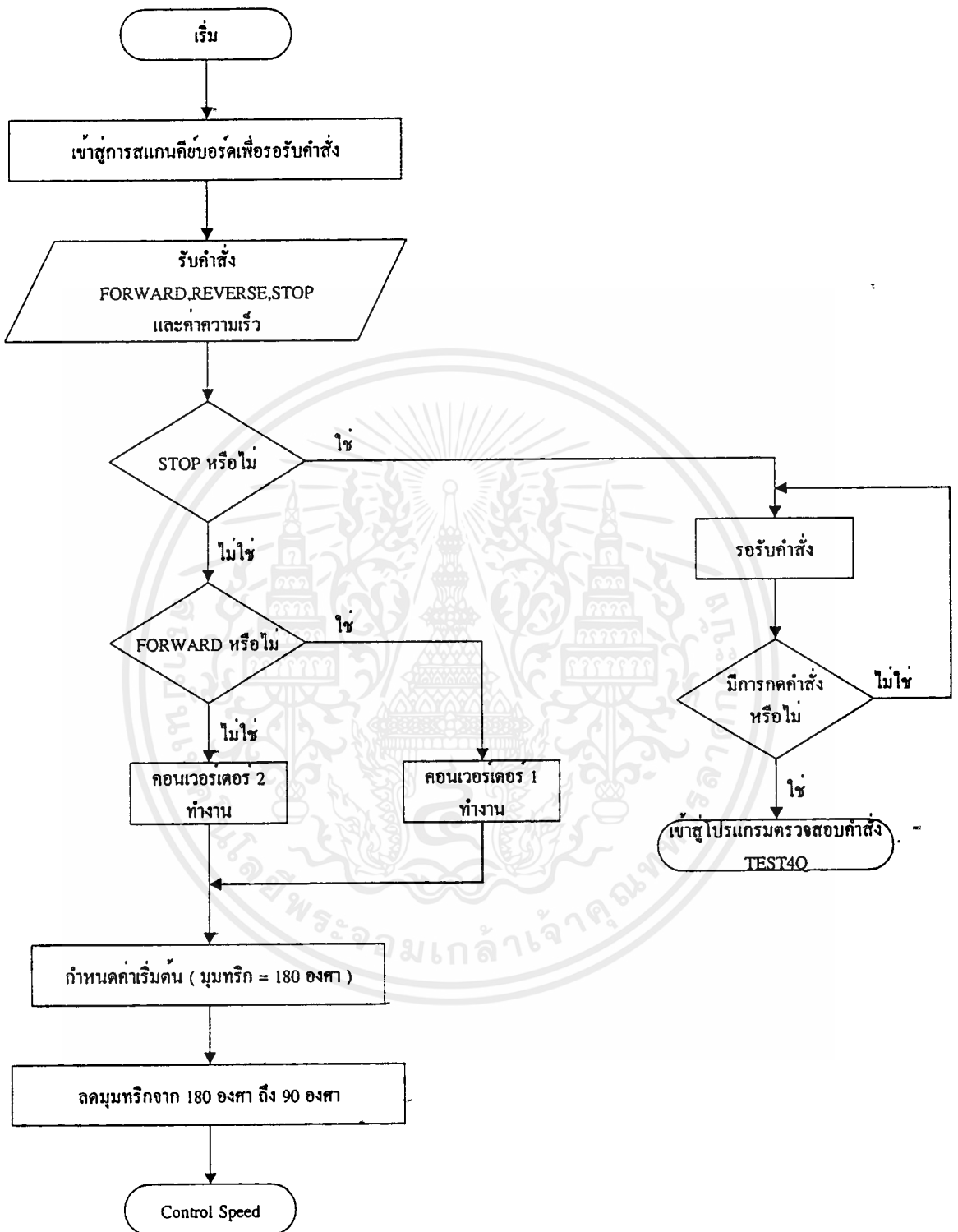
#### 8.4 การปรับค่ามุมทริกโดยใช้ตารางโคไซน์

ค่าแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์สามารถกำหนดได้โดยการควบคุมที่มุมทริกของไทรสเตอร์ โดยในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณทริก สามารถที่จะปรับค่าแรงดันไฟตรงที่ขาควบคุมการปรับมุมของสัญญาณทริกจาก 0-5 โวลต์ เพื่อให้สัญญาณทริกที่สร้างมีการเปลี่ยนแปลงมุมทริกได้จาก 0-180°

ค่าแรงดันไฟตรงที่ใช้ในการปรับมุมทริกได้จากเอาต์พุทของวงจรดิจิตอลทูลนาลอก 12 บิต ซึ่งส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าดิจิตอล 12 บิตป้อนเป็นอินพุทให้กับวงจรดังกล่าว ค่าดิจิตอล 12 บิตนี้ได้จากการคำนวณค่าจากตารางโคไซน์ (cosine table) ที่อยู่ในส่วนท้ายของโปรแกรม ซึ่งสร้างจากการกำหนดให้ความเร็วของมอเตอร์มี 1500 ช่วง คือจาก 0-1500 rpm ค่าความเร็วที่เป็น rpm จาก 0-1500 แต่ละค่าจะถูกหารด้วย 1500 เพื่อเทียบให้ค่าสูงสุดเป็น 1 แล้วหาค่าอาร์คคอสของค่าความเร็วที่ถูกหารด้วย 1500 ได้เป็นมุมทริกในหน่วยองศา เนื่องจากค่ามุมทริกในช่วง 0-90° แบ่งย่อยออกเป็น 1500 ช่วง ดังนั้นค่ามุมในหน่วยองศาที่ได้จะถูกหารด้วย 90 แล้วคูณด้วย 1500 แปลงเป็นเลขฐาน 16 เพื่อเก็บค่าไว้ในตารางโคไซน์

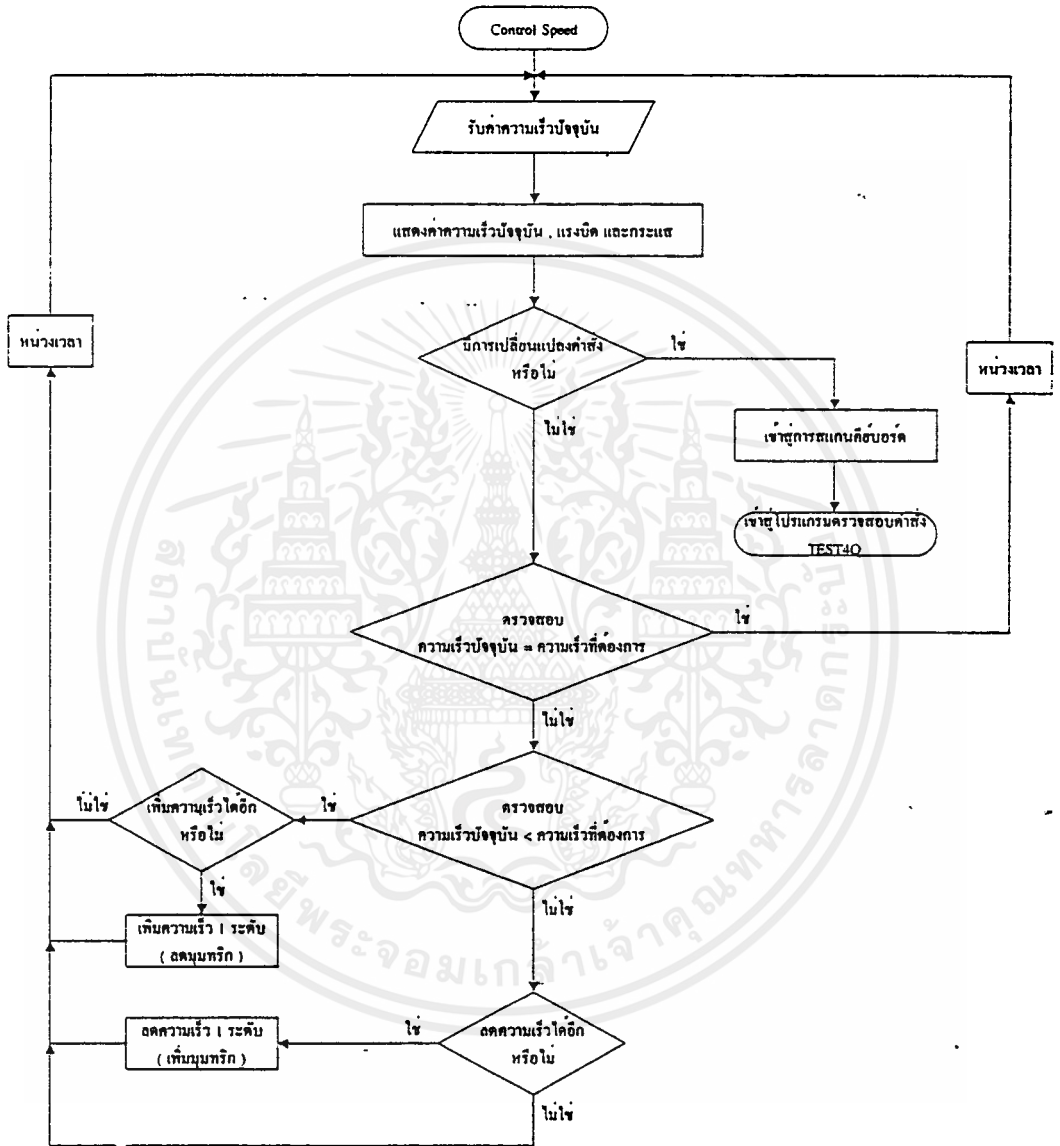
เช่น  
 1500 rpm  $\rightarrow [1500]/1500 = 1 \rightarrow \cos^{-1}[1] = 0^\circ \rightarrow [0^\circ]*1500/90 = 000H$   
 หรือ 0 rpm  $\rightarrow [0]/1500 = 0 \rightarrow \cos^{-1}[0] = 90^\circ \rightarrow [90^\circ]*1500/90 = 5DCH$

ในการแบ่งช่วงของมุมทริกจาก 0°-180° ได้แบ่งออกเป็น 3000 ช่วง แต่เนื่องจากในช่วง 0°-90° และช่วง 90°-180° มีความสมมาตรกันดังนั้นจึงสร้างตารางโคไซน์เพียง 1500 ค่า แล้วค่อยนำค่าจากตารางโคไซน์มาคำนวณก่อนจะส่งออกไปปรับค่ามุมทริกในช่วงต่างๆ



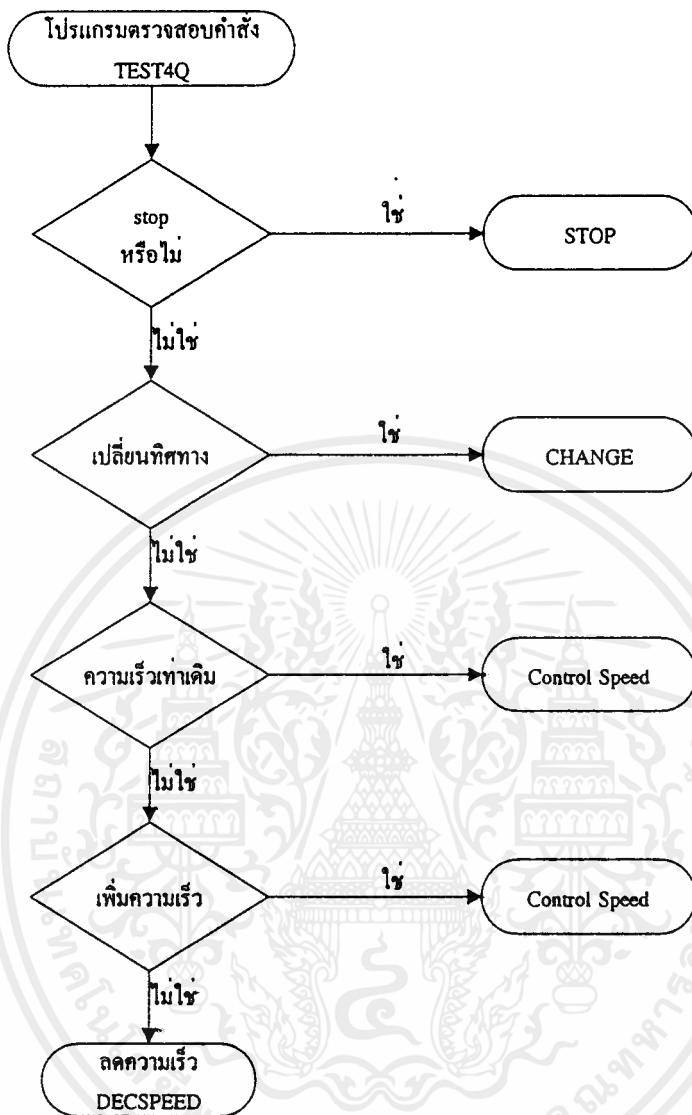
รูปที่ 8.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการเริ่มทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

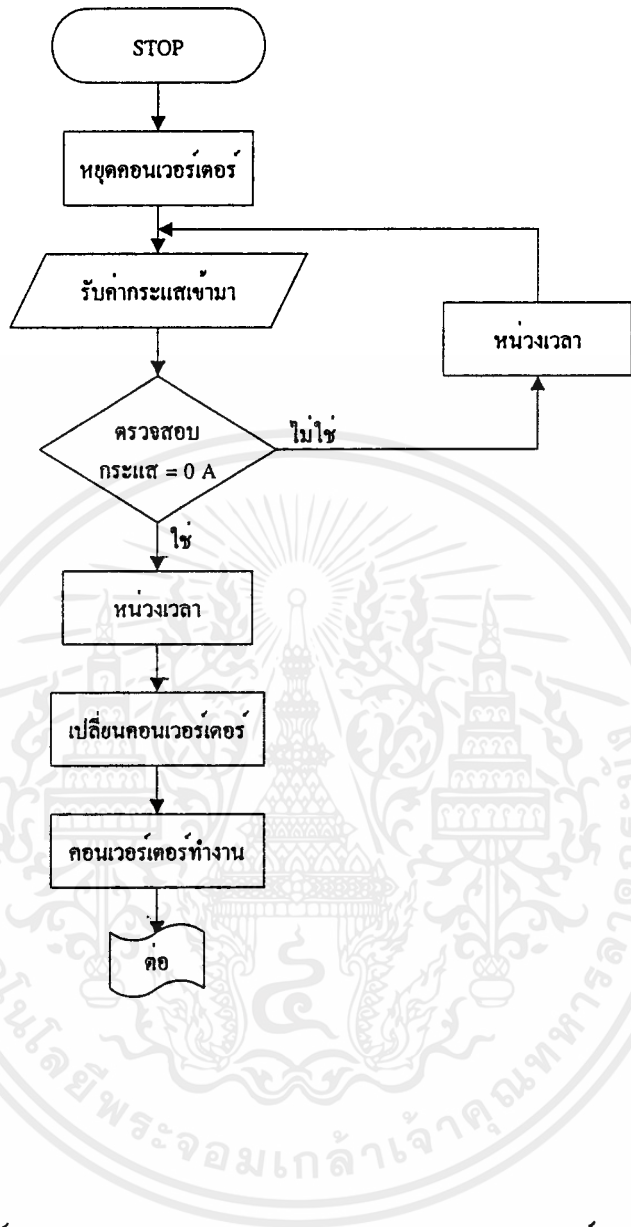


รูปที่ 8.2 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมความเร็ว

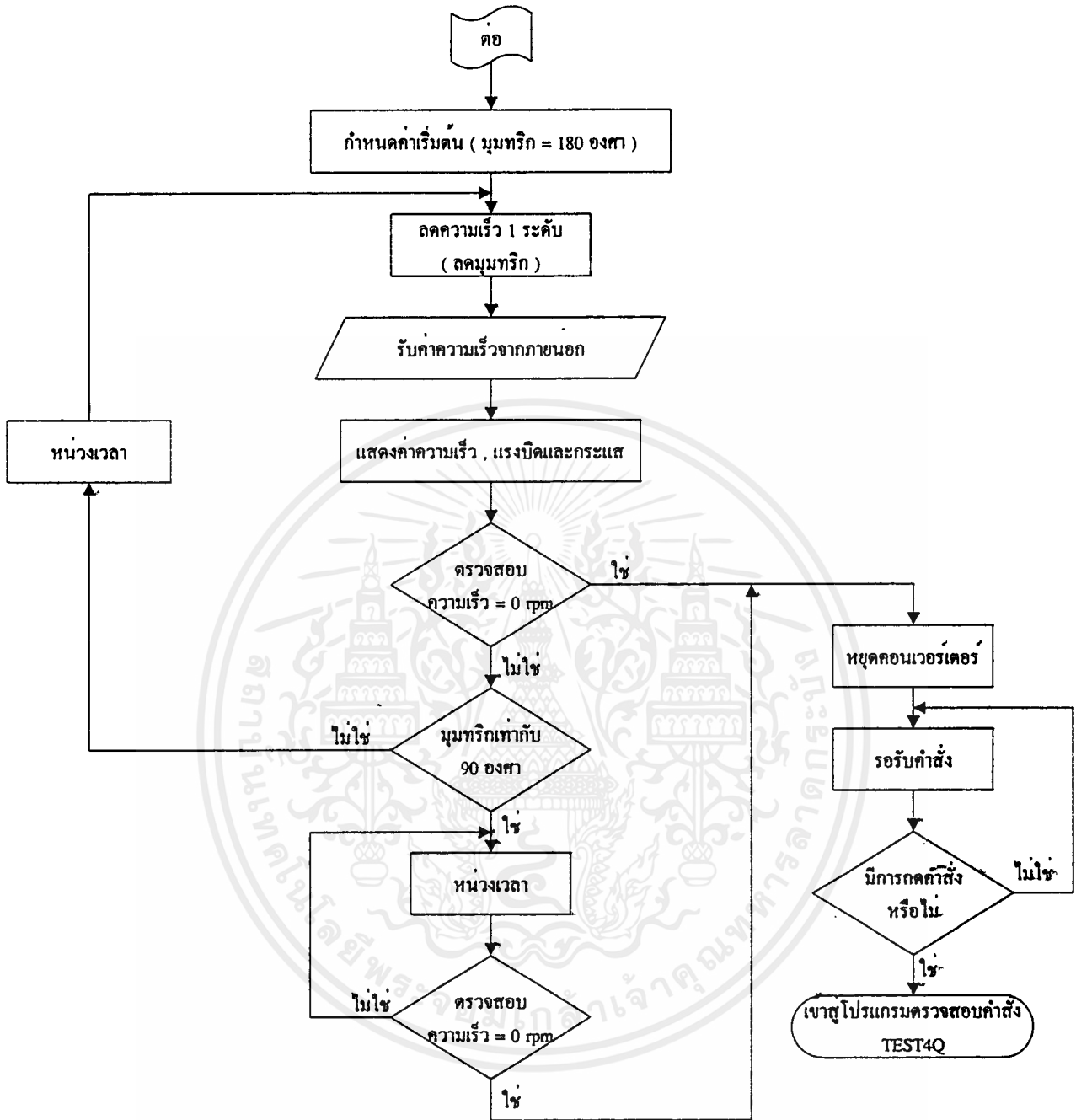
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคำสั่ง

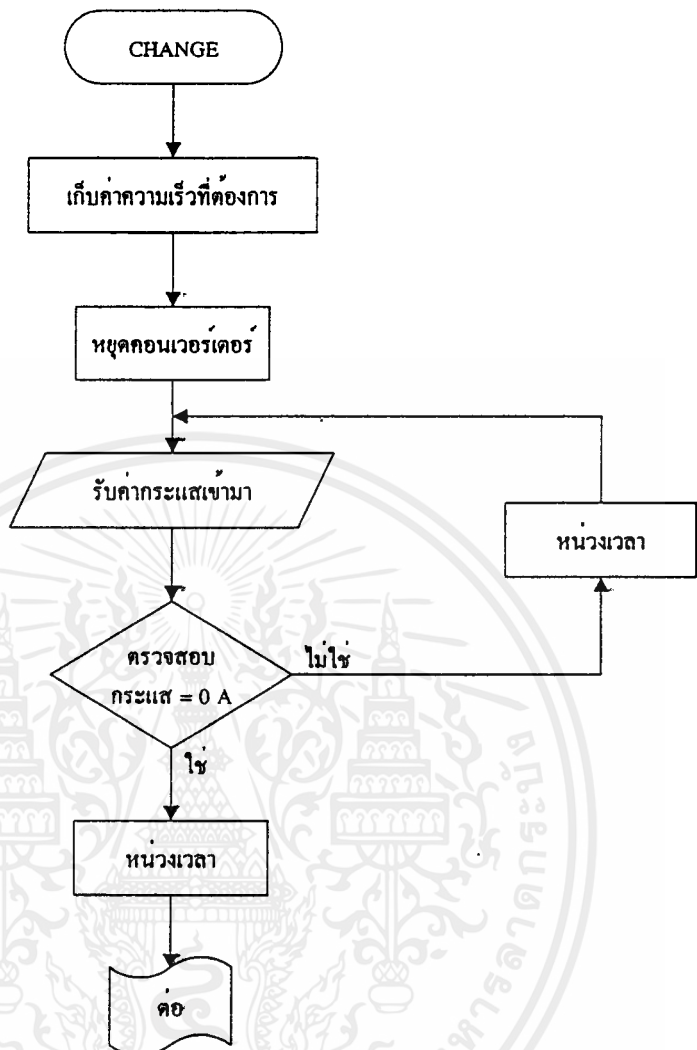


รูปที่ 8.4 โพลัวซาร์ที่แสดงการทำงานของโปรแกรมหยุดการทำงานของมอเตอร์

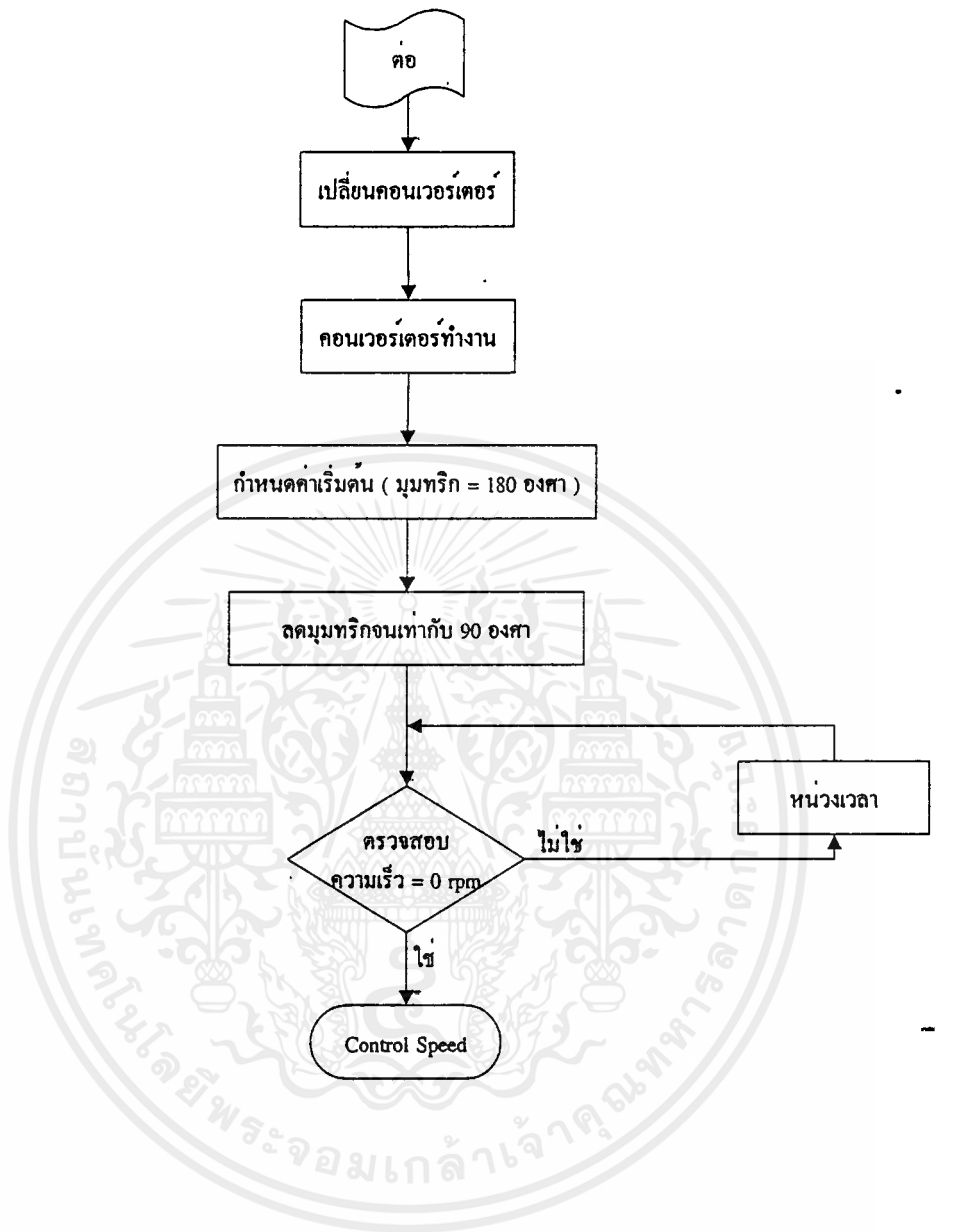


รูปที่ 8.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมหยุดการทำงานของมอเตอร์( ต่อ )

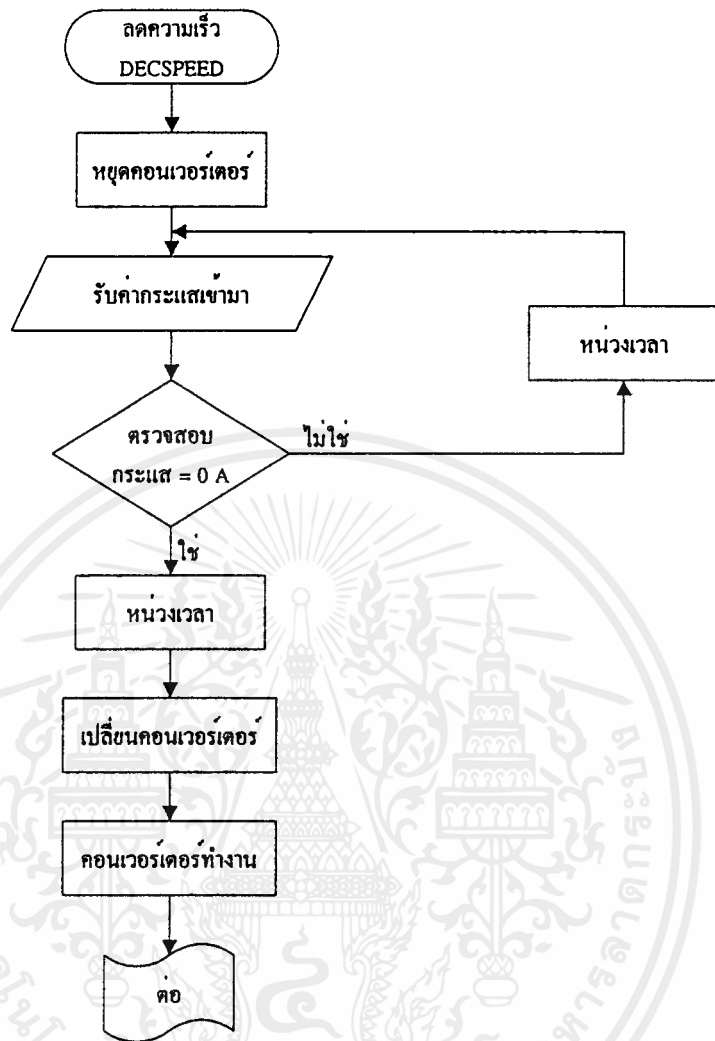
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



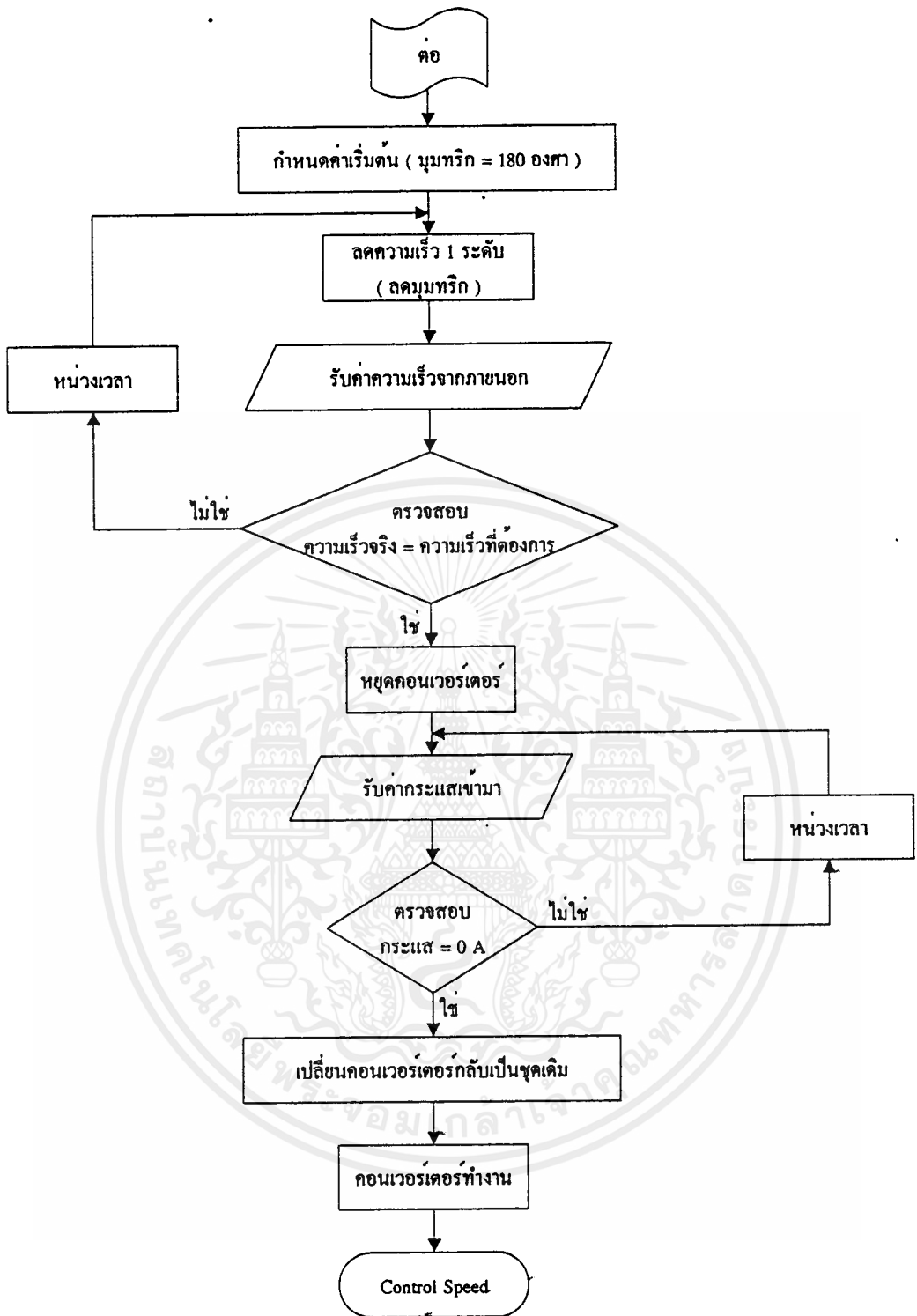
รูปที่ 8.6 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 8.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ( ต่อ )



รูปที่ 8.8 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมการลดความเร็วของมอเตอร์



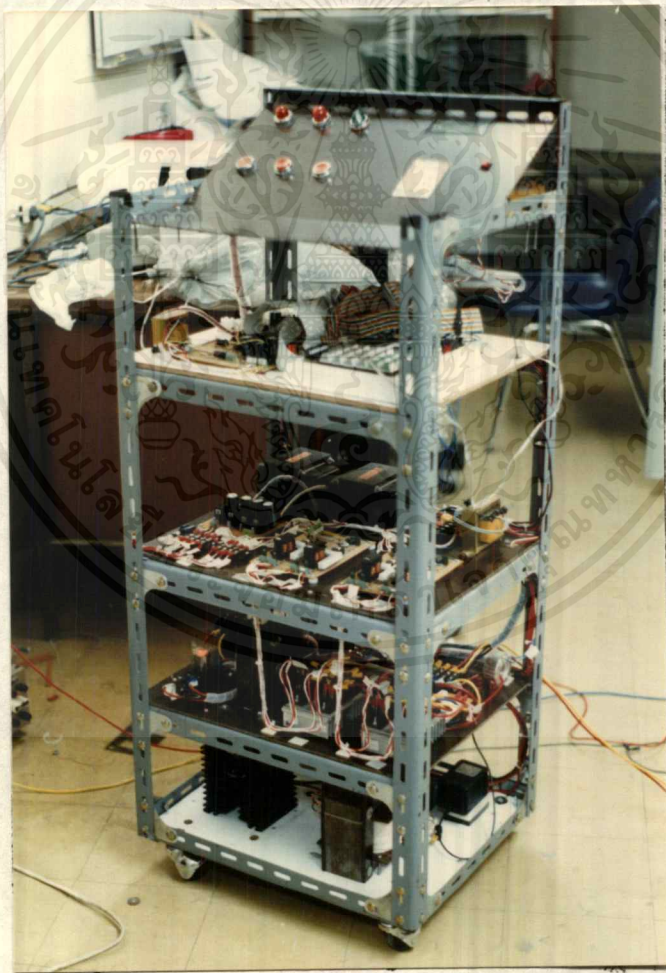
รูปที่ 8.9 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมการลดความเร็วของมอเตอร์ ( ต่อ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

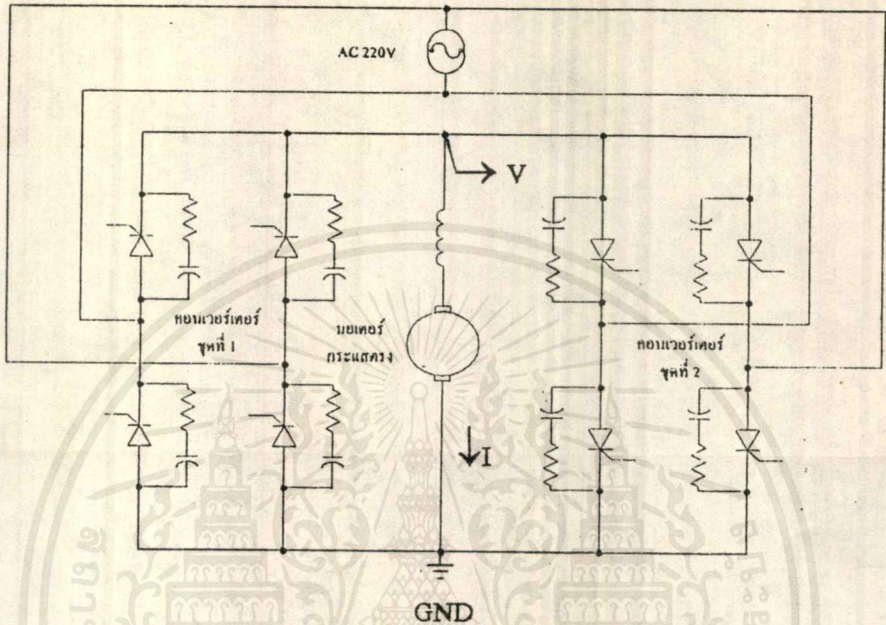
## การทดลองและผลการทดลอง

จากวงจรและโปรแกรมที่ได้กล่าวมาในบทข้างต้น ได้นำมารวมกันเพื่อประกอบเป็นชุดควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอเตอร์ ที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 9.1 และได้ทดลองนำชุดควบคุมนี้มาขับมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ซึ่งมอเตอร์ได้ต่อพ่วงอยู่กับทาโคเจนเนอร์และโหลดแบบกระแสเอ็ดดี โดยมีวงจรกำลังซึ่งจะแสดงตำแหน่งที่วัดสัญญาณแรงดันและกระแส รวมทั้งตำแหน่งกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 9.2



รูปที่ 9.1 ชุดควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.2 วงจรกำลังซึ่งต่ออยู่กับมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และตำแหน่งในการวัดสัญญาณ

ในการทดลองจะป้อนแรงดันให้แก่ขดฟิลด์ โดยรับแรงดันจากไฟสลับ 220 โวลต์ ผ่าน ไดโอดบริดจ์เรกติไฟร์และต่อ L ขนาด 120 mH อนุกรมกับขดเมเจอร์ของมอเตอร์ เพื่อช่วยให้กระแสมีค่าเรียบขึ้น ส่วนขดคอนโทรลเรกติไฟร์ก็จะรับแรงดันจากแหล่งจ่าย 220 โวลต์ 1 เฟส

หมายเหตุ การวัดแรงดันจะใช้ฮอสซิลโลสโคป ช่อง 1 (ใช้โพรบคูณ 100)  
กระแสจะใช้ช่อง 2 (ใช้โพรบคูณ 10)

### 9.1 สัญญาณของแรงดันที่ความเร็วค่าต่างๆขณะไม่มีโหลด

ป้อนคำสั่งให้หมุนทรีเวอร์ส และค่าความเร็วที่ 800 rpm แล้ววัดสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอเตอร์ ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด พร้อมวัดค่าความเร็วจริง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.3



volt/div = 2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.3 รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ ขณะ  
ไม่มี โหลด,  $V_{dc} = 150$  V, ความเร็ว = 811 rpm.



รูปที่ 9.4 รูปสัญญาณแสดงแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ ขณะ  
ไม่มี โหลด,  $V_{dc} = 190$  V. , ความเร็ว = 1227 rpm.

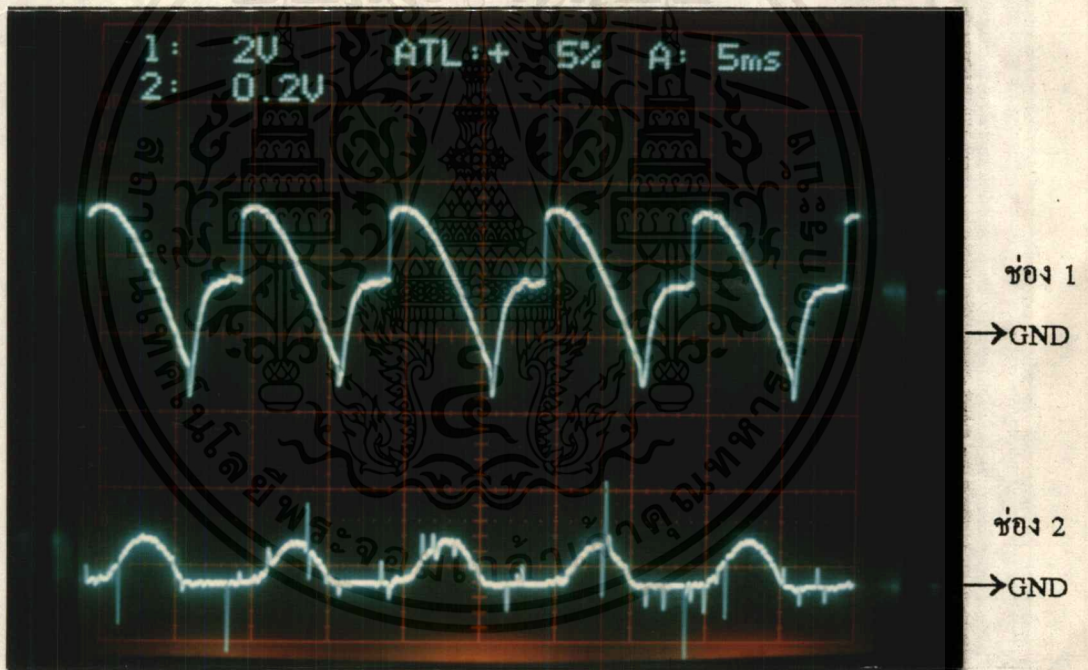
volt/div = 2 V , Time/div = 5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9.2 สัญญาณแรงดันและกระแสที่โหลดต่างๆ

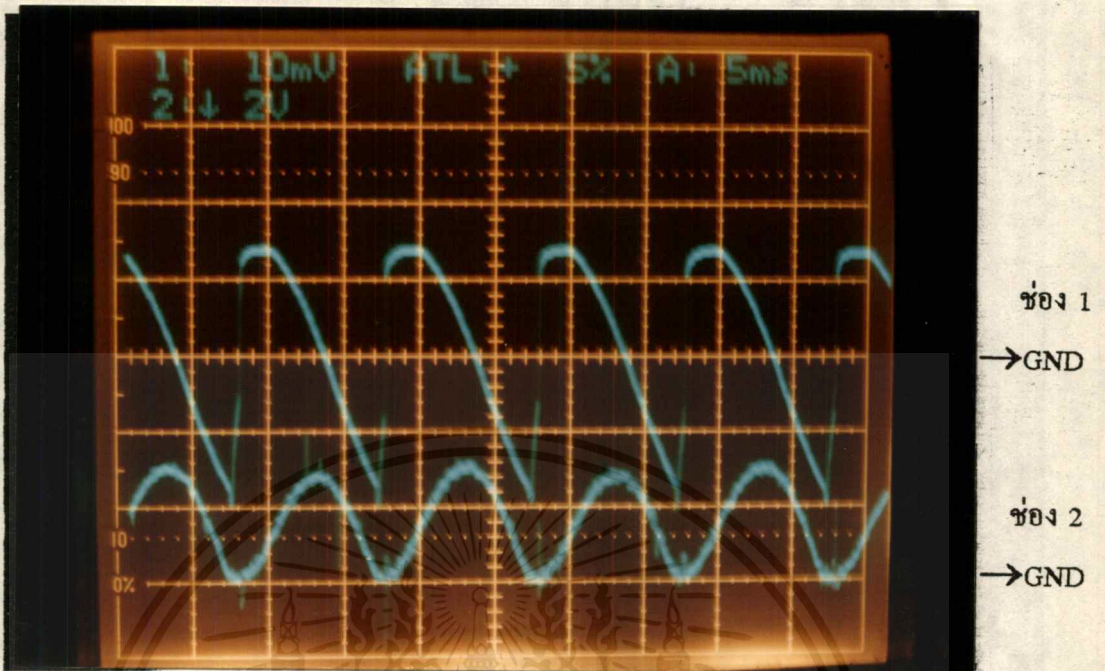
ป้อนคำสั่งให้หมุนทิสฟอว์เวอร์ค ที่ค่าความเร็ว 900 rpm. แล้ววัดสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และค่ากระแส ขณะที่มอเตอร์มีโหลด 1 A ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.5

ทดลองที่คำสั่งความเร็ว 900 rpm. ที่โหลด 4 A ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.6



ช่อง 1 volt/div = 2 V , ช่อง 2 volt/div = 0.2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.5 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแส ขณะกระแสเป็น 1 A

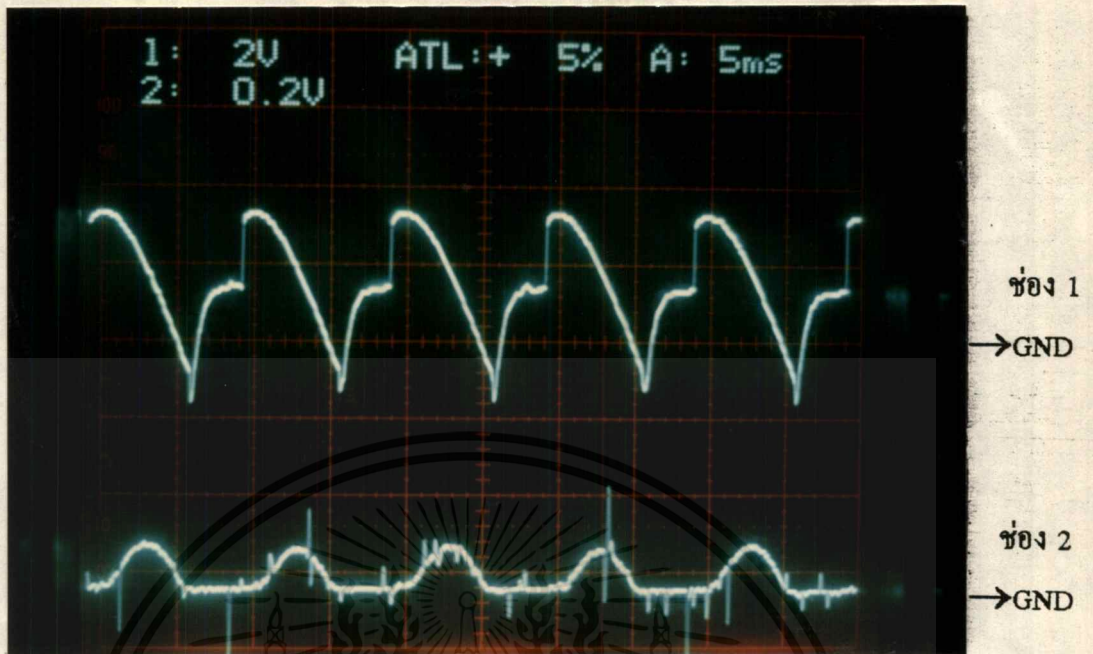


ช่อง 1 volt/div = 2 V ,ช่อง 2 volt/div = 0.01 V ,Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.6 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และกระแส  
ขณะกระแสเป็น 4 A

### 9.3 สัญญาณแรงดันและกระแสทั้ง 4 ควอดแรนต์

ป้อนคำสั่งให้มอเตอร์หมุนในทิศฟอว์เวิร์ด ความเร็ว 900 rpm. วัดสัญญาณที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และค่ากระแส ขณะที่มอเตอร์มีโหลด 1 A ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.7

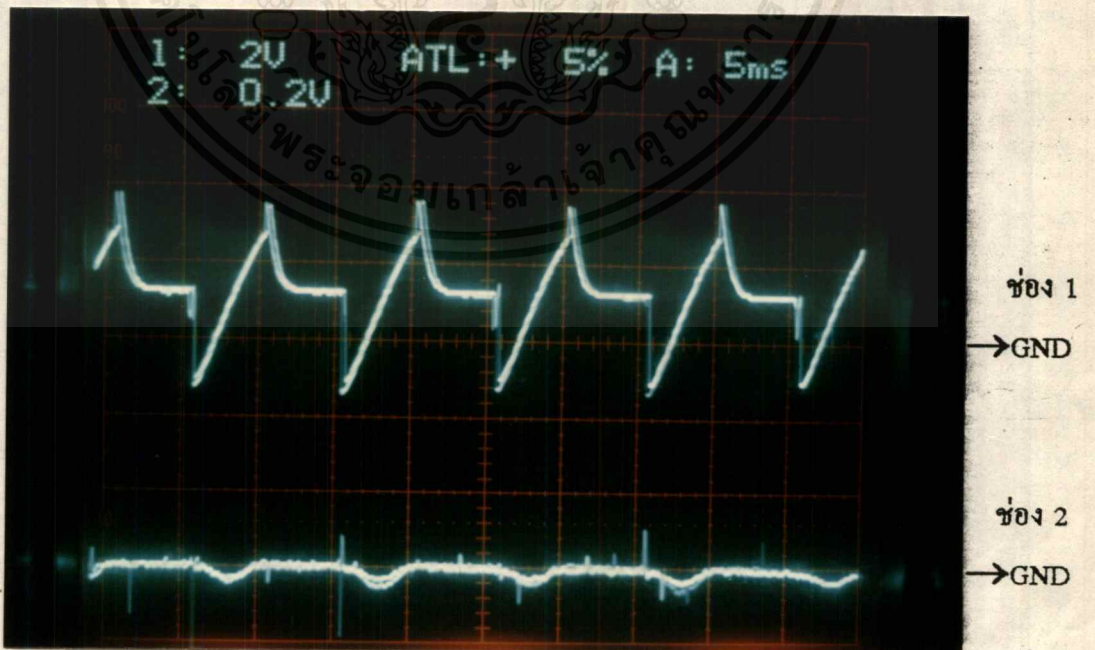


ช่อง 1 volt/div = 2 V , ช่อง 2 volt/div = 0.2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.7 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอเตอร์และกระแส

ขณะหมุนในทิศฟอร์เวิร์ด ความเร็ว 900 rpm.(ควอแดนต์ที่ 1)

ขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศฟอร์เวิร์ด ป้อนคำสั่งให้หยุดหมุน วัดสัญญาณแรงดันและกระแสในช่วงขณะเบรก ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.8



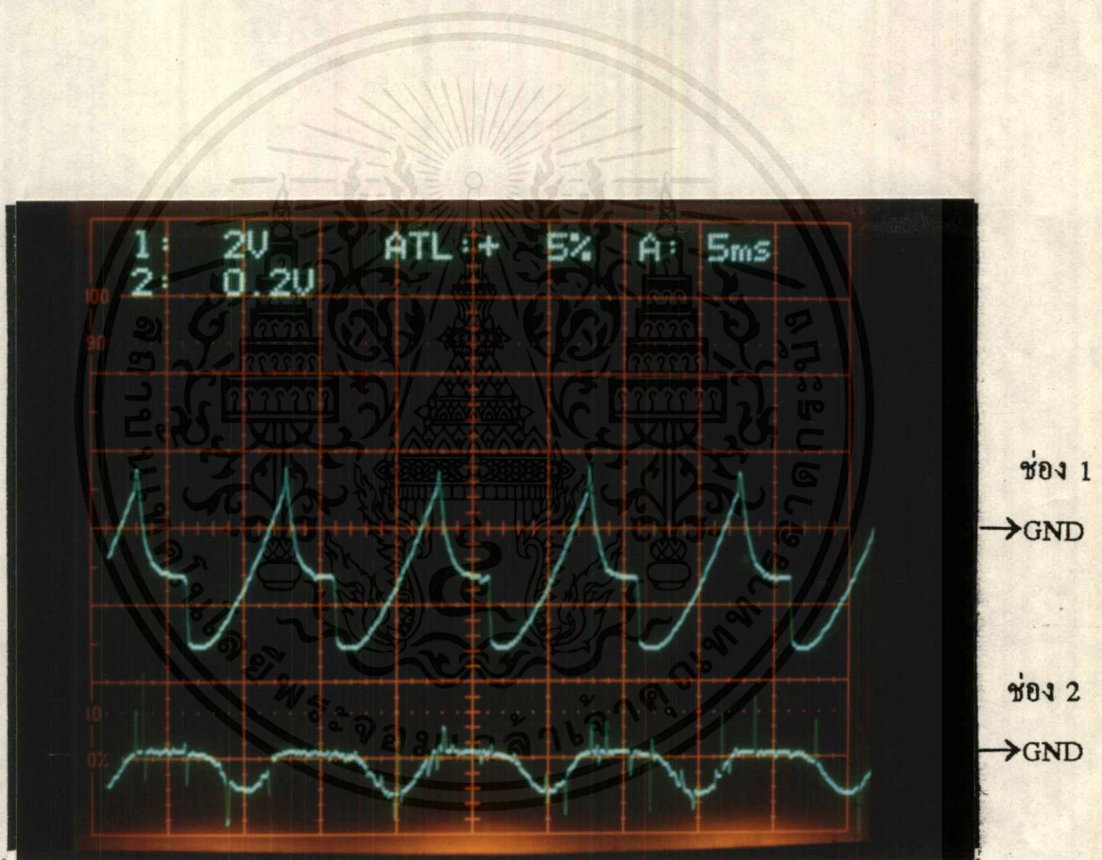
ช่อง 1 volt/div = 2 V , ช่อง 2 volt/div = 0.2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.8 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอเตอร์และกระแส

ขณะเบรกโดยคอนเวอเตอร์ชุดที่ 2 (ในควอแดนต์ที่ 2) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

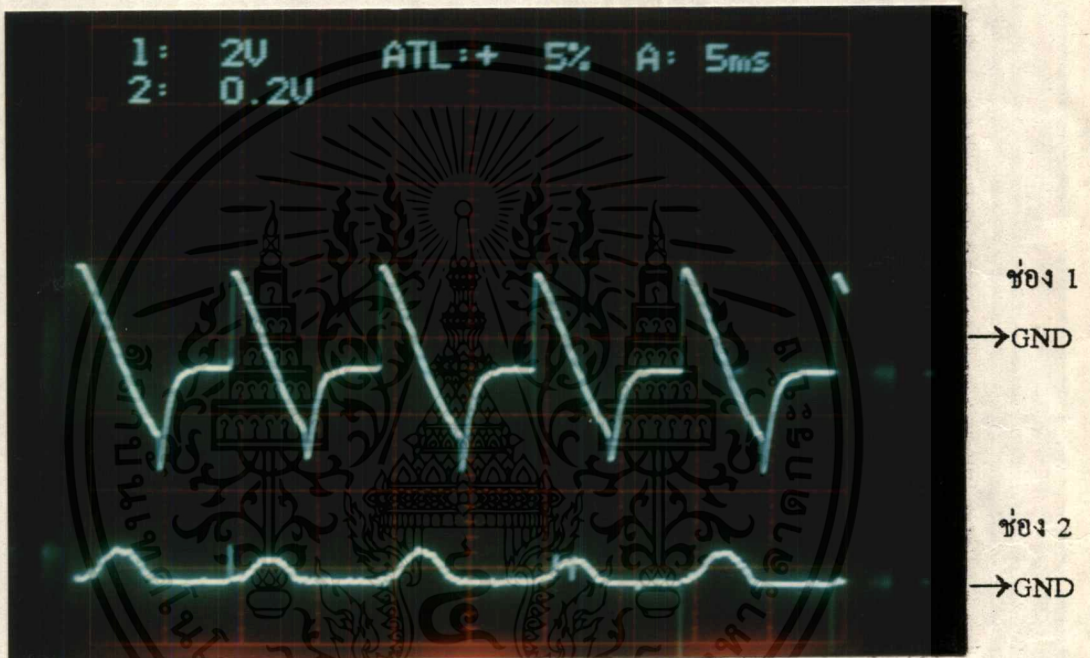
ป้อนคำสั่งให้มอเตอร์หมุนในทิศรีเวอร์ส ความเร็ว = 900 rpm. วัดสัญญาณที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ และค่ากระแส ขณะที่มอเตอร์มีโหลด 1 A ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.9



ช่อง 1 volt/div = 2 V , ช่อง 2 volt/div = 0.2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.9 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์ และกระแสขณะหมุนในทิศรีเวอร์ส ความเร็ว = 900 rpm. ในควอดแรนต์ที่ 3

ขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศรีเวอร์ส ป้อนคำสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน วัดสัญญาณแรงดันและกระแสในขณะที่เบรก ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.10



ช่อง 1 volt/div = 2 V , ช่อง 2 volt/div = 0.2 V , Time/div = 5 ms

รูปที่ 9.10 รูปสัญญาณแรงดันที่เทอร์มินอลของคอนเวอร์เตอร์และ  
กระแสกำลังเบรคโดยคอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 1 ในควอแดรนต์  
ที่ 4

#### 9.4 การทดลองเปรียบเทียบเวลาในการหยุดมอเตอร์

ทดลองขั้มอเตอร์ ที่ค่าความเร็ว และค่าโหลดต่างๆ โดยใช้วาริแอค(VARIAC) ขั้ผ่านไดโอดบริดจ์เรกติไฟร์ จากนั้นหยุดการหมุนของมอเตอร์ โดยการตัดแรงดันที่จ่าย จากวาริแอค แล้ววัดเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง ที่ 9.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็ว (rpm.)	เวลา(วินาที)				
	no-load	1 A	2 A	3 A	4 A
600	37.69	16.52	9.89	6.74	5.74
660	40.38	17.89	11.52	7.66	6.45
720	43.23	20.13	12.12	8.54	6.82
780	46.69	21.94	12.79	9.07	7.23
840	49.59	22.98	13.51	9.68	8.16
900	51.13	28.66	14.96	9.98	8.48

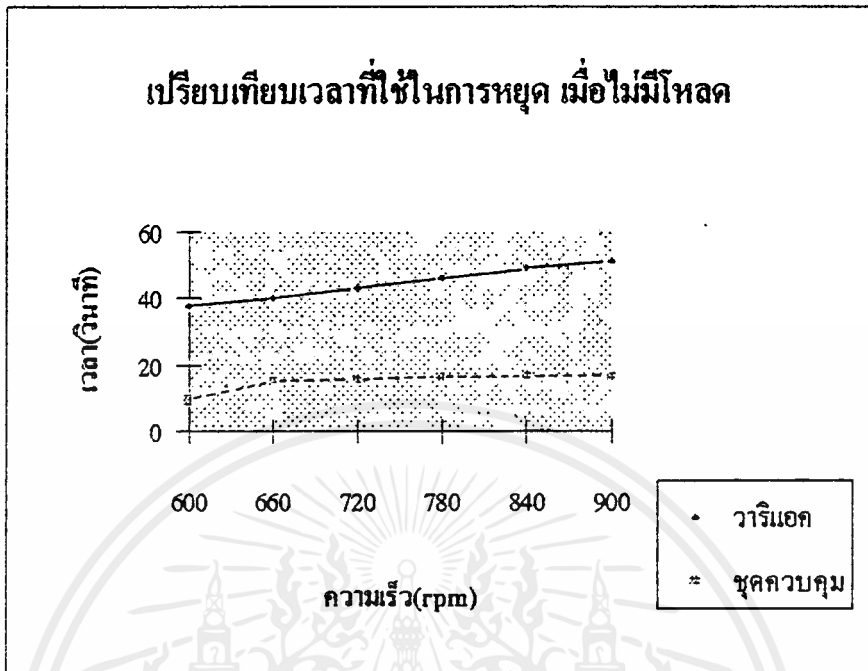
ตารางที่ 9.1 แสดงเวลาในการหยุดหมุนที่ค่าความเร็วและค่าโหลดต่างๆ โดยใช้วาริแอก

ทดลองขับมอเตอร์ที่ความเร็ว และค่าโหลดต่างๆ โดยใช้ชุดควบคุม จากนั้นหยุดการหมุนของมอเตอร์ แล้ววัดเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9.2

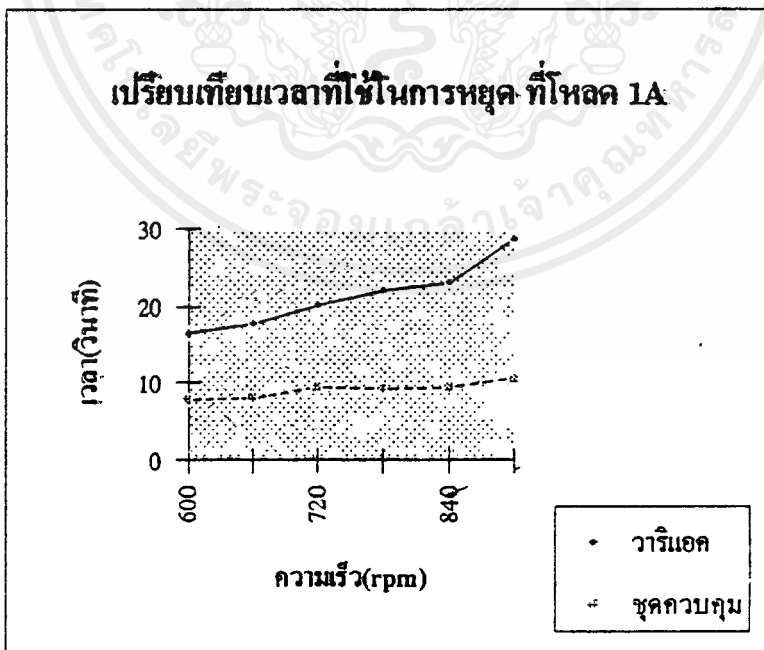
ความเร็ว (rpm.)	เวลา(วินาที)				
	no-load	1 A	2 A	3 A	4 A
600	9.33	7.64	5.32	5.27	5.07
660	14.85	7.94	6.39	5.28	5.00
720	15.61	9.35	6.17	5.64	4.85
780	16.01	8.98	6.54	6.18	4.76
840	16.42	9.16	7.07	6.02	5.42
900	16.36	10.51	7.54	5.90	5.33

ตารางที่ 9.2 แสดงเวลาในการหยุดหมุนที่ค่าความเร็วและค่าโหลดต่างๆ โดยใช้ชุดควบคุม นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟ เปรียบเทียบเวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 9.11 ถึง 9.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

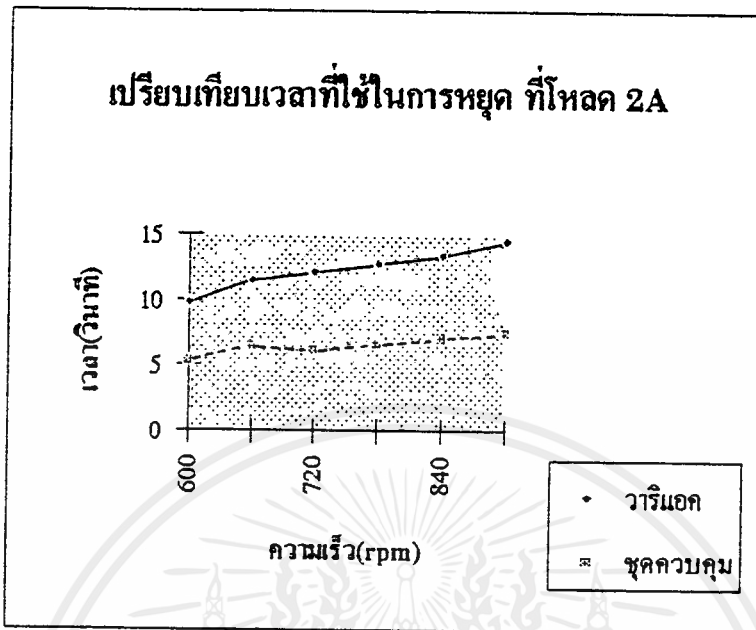


รูปที่ 9.11 กราฟเปรียบเทียบ เวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม เมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลด

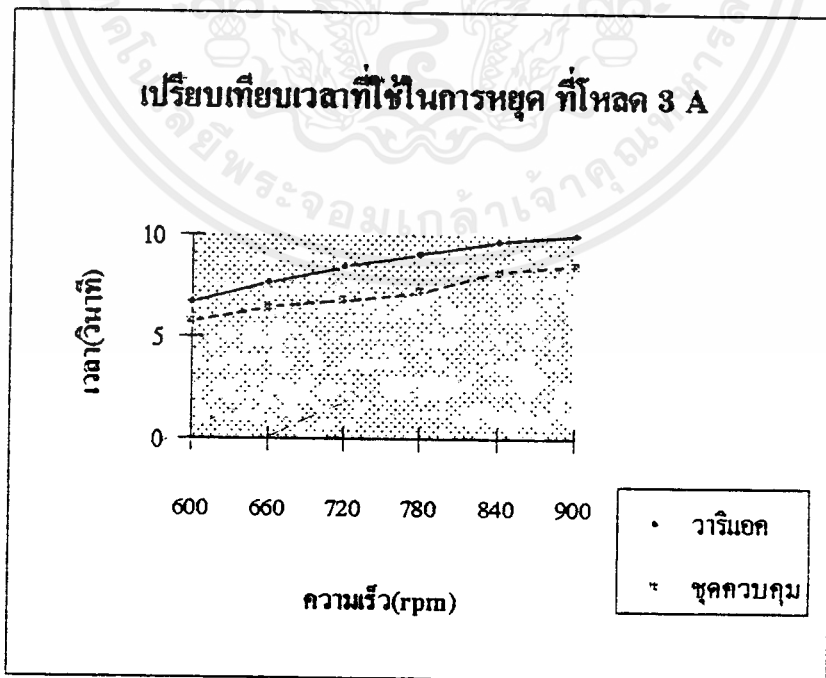


รูปที่ 9.12 กราฟเปรียบเทียบ เวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 1 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

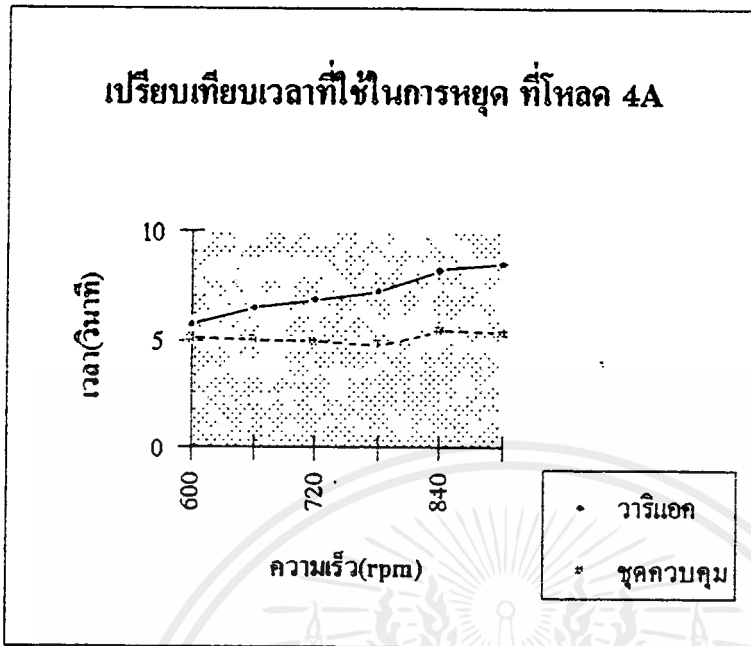


รูปที่ 9.13 กราฟเปรียบเทียบ เวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 2 A



รูปที่ 9.14 กราฟเปรียบเทียบ เวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนและใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 3 A เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.15 กราฟเปรียบเทียบ เวลาในการหยุดหมุนของมอเตอร์ โดยใช้วาริแอก และใช้ชุดควบคุม ที่โหลด 4 A

### 9.5 การทดลองเปรียบเทียบค่าความเร็วและแรงดันที่ค่าโหลดต่างๆ

ทดลองขับมอเตอร์ ไปที่ความเร็วค่าต่างๆ ขณะไม่มีโหลดโดยใช้วาริแอก วัดแรงดันที่เทอร์มินอลที่ค่าความเร็วต่างๆ จากนั้นเปลี่ยนค่าโหลดเป็นค่าต่างๆ แล้ววัดค่าความเร็วที่ค่าโหลดต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9.3

ความเร็ว (rpm.)	ค่าความเร็ว ที่โหลดต่างๆ (rpm)				
	no-load	1 A	2 A	3 A	4 A
600	600	578	547	515	495
660	660	641	614	577	553
720	720	700	664	627	601
780	780	756	730	692	660
840	840	820	783	748	729
900	900	879	848	813	783

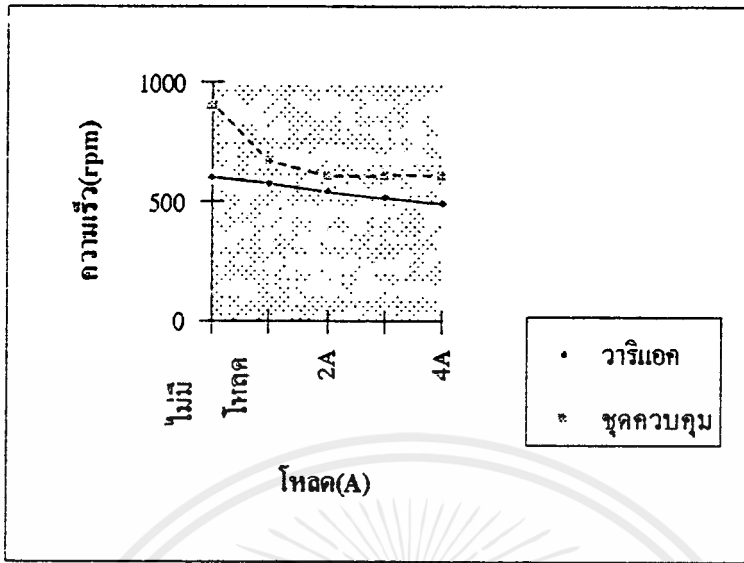
ตารางที่ 9.3 แสดงค่าความเร็วและแรงดันที่เทอร์มินอลของมอเตอร์ ที่ค่าโหลดต่างๆ เมื่อใช้วาริแอกขับมอเตอร์ ให้วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการ ขณะไม่มีโหลด

ทดลองขับมอเตอร์ไปที่ความเร็วค่าต่างๆ ขณะไม่มีโหลด โดยการสั่งค่าความเร็วจากชุดควบคุม วัดแรงดันที่เทอร์มินอลที่ค่าความเร็วต่างๆ จากนั้นเปลี่ยนค่าโหลดเป็นค่าต่างๆ แล้ววัดค่าความเร็วและแรงดันที่เทอร์มินอลที่ค่าโหลดนั้น ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9.4

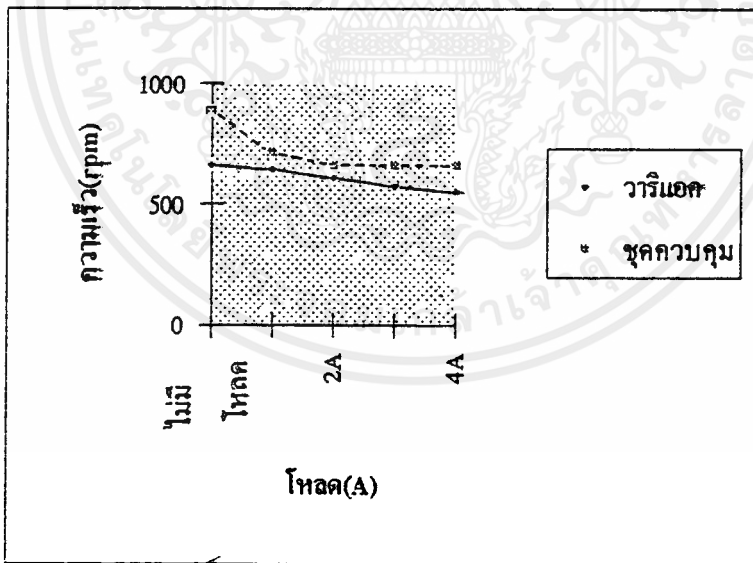
ความเร็ว (rpm.)	ค่าความเร็ว ที่โหลดต่างๆ (rpm)				
	no-load	1 A	2 A	3 A	4 A
600	893	670	600	600	600
660	882	715	660	660	660
720	883	720	720	720	720
780	873	780	780	780	780
840	880	846	840	840	840
900	893	900	900	900	900

ตารางที่ 9.4 แสดงค่าความเร็วและแรงดันที่เทอร์มินอล ที่ค่าโหลดต่างๆ เมื่อสั่งค่าความเร็วจากชุดควบคุม ให้วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการขณะไม่มีโหลด

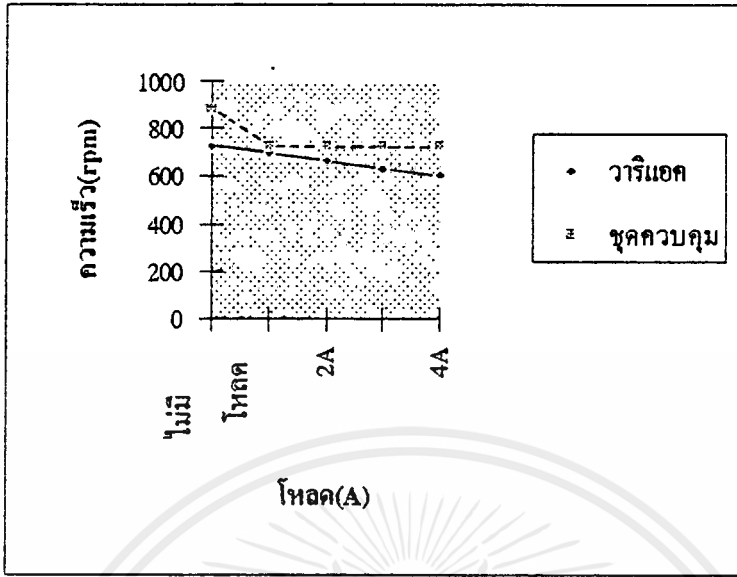
นำค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปที่ค่าโหลดต่างๆ โดยใช้วาริแอกและชุดควบคุม มาเขียนกราฟเปรียบเทียบ แสดงในรูปที่ 9.16 ถึง 9.21



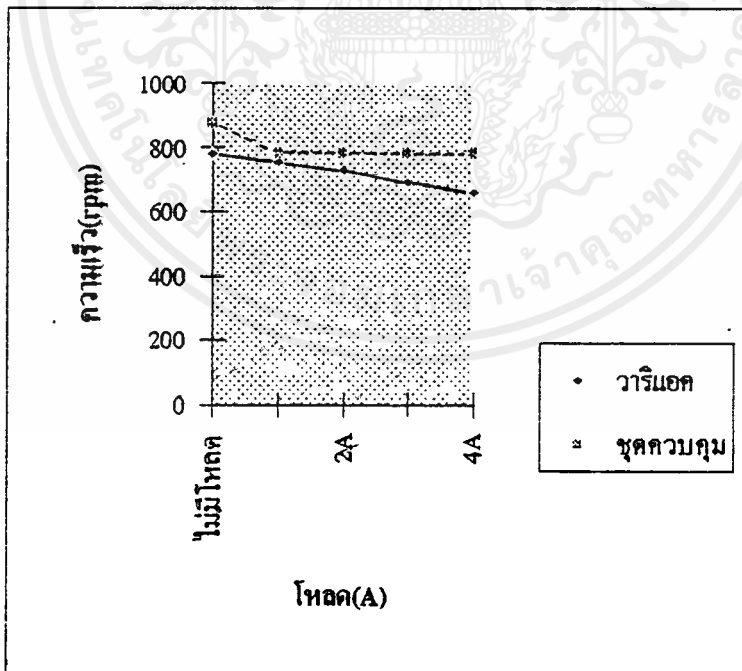
รูปที่ 9.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้ วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 600 rpm



รูปที่ 9.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้ วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 660 rpm

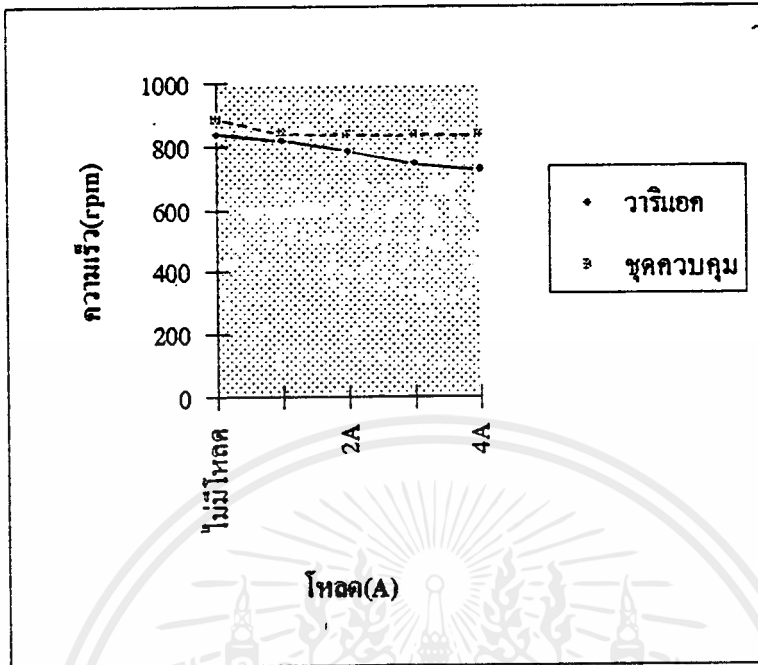


รูปที่ 9.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับมอเตอร์โดยใช้ วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 720 rpm

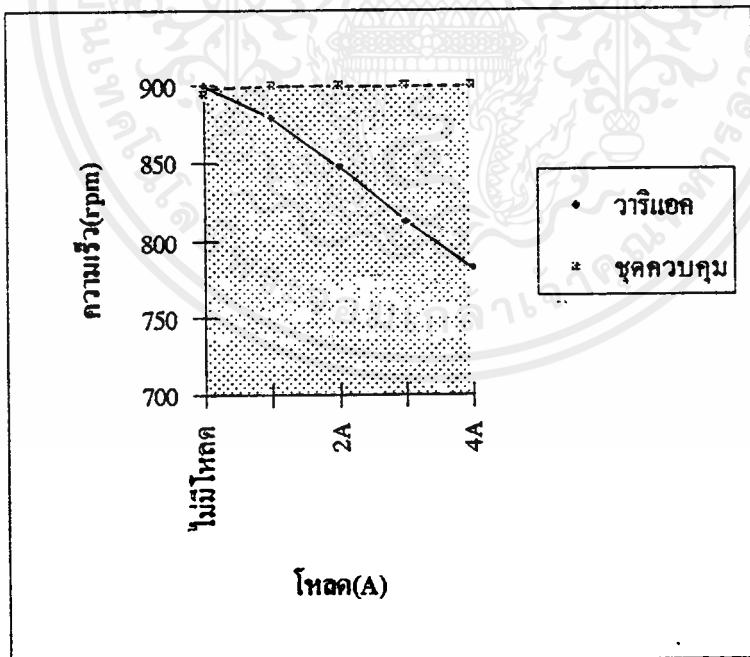


รูปที่ 9.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับมอเตอร์โดยใช้ วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 780 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.20 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 840 rpm



รูปที่ 9.21 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วที่เปลี่ยนไป เมื่อขับมอเตอร์โดยใช้วาริแอกและชุดควบคุม ที่ความเร็วไม่มีโหลดมีค่า 900 rpm

## บทที่ 10

## สรุปผลและวิจารณ์

## 10.1 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในบทที่ 9 ปรากฏว่าเมื่อขั้วมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด และค่าโหลด 1 A รูปสัญญาณของกระแสและแรงดันที่ได้จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้เป็นไปตามทฤษฎีได้ เนื่องจากค่า  $L$  ในตัวมอเตอร์ต่ำเกินไปทำให้การสะสมพลังงานต่ำ ดังนั้นเมื่อขั้วมอเตอร์ที่ค่าโหลดน้อยๆ กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จะไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถขั้วมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆได้ เนื่องจากการขั้วมอเตอร์โดยใช้ชุดควบคุมจะทริกไทรสเตอร์ที่มุม 0-90 องศา ซึ่งเป็นช่วงที่จะให้มอเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์จริง แต่ที่มุม 90 องศา ถ้าขั้วมอเตอร์แบบไม่มีโหลดจะได้  $V_{dc} = 135 \text{ V}$  ทำให้ได้ความเร็วประมาณ 900 rpm. ซึ่งถ้าเป็นกรณีกระแสต่อเนื่องจะต้องได้  $V_{dc} = 0 \text{ V}$  และความเร็วมอเตอร์เท่ากับ 0 rpm.

ในช่วงมุมเข้าใกล้ 0 องศา ชุดทริกไม่สามารถทำงานได้ ทำให้มีปัญหาในการควบคุมความเร็ว โดยเฉพาะถ้าโหลดสูงขึ้น ถ้าต้องการรักษาความเร็วให้คงที่ที่จะต้องเพิ่มแรงดัน โดยการลดมุมทริก ซึ่งถ้าลดมุมทริกจนชุดทริกไม่สามารถทำงานได้ ก็จะทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วได้ ทำให้มอเตอร์ไม่สามารถหมุนเข้าสู่ความเร็วที่กักได้ แต่สามารถใช้งานในช่วงความเร็วที่กว้างขึ้นได้ เนื่องจากสามารถขั้วมอเตอร์ ที่ความเร็วต่างๆได้

จากผลการทดลอง เมื่อตั้งค่าความเร็วมอเตอร์จากชุดควบคุมขณะไม่มีโหลด แล้วปรับค่า โหลดไปที่ค่าต่างๆปรากฏว่าที่ค่าความเร็วต่ำกว่า 900 rpm. ขณะไม่มีโหลด จะไม่สามารถขั้วมอเตอร์ไปที่ความเร็วที่ต้องการได้แต่เมื่อเพิ่มโหลดขึ้น ก็จะสามารถขั้วให้มอเตอร์วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการ และสามารถขั้วให้มอเตอร์รักษาความเร็วให้คงที่ได้โดยอัตโนมัติ ขณะที่ชุดวาริแอก ไม่สามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ได้

จากผลการทดลองการเบรกเพื่อหยุดการหมุนของมอเตอร์โดยชุดควบคุม ซึ่งเป็นการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ จะใช้เวลาในหยุดหมุนน้อยกว่าวิธีการหยุดหมุน โดยการตัดแหล่งจ่ายไฟออกไป นอกจากนี้ค่ากระแสที่มอเตอร์ป้อนกลับเพื่อใช้ในการเบรกก็น่าไม่สูงมาก ทำให้การเบรกไม่รุนแรงจนเกินไป แต่ที่ค่าโหลดบางค่าการหยุดหมุนยังมีปัญหาอยู่ เนื่องจากชุดตรวจจับความเร็วตอบสนองต่อความเร็วที่เปลี่ยนไปได้ช้า ทำให้ในการหยุดหมุนของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์หยุดหมุนแล้ว วงจรยังไม่สามารถตรวจได้ว่ามอเตอร์หยุดหมุนจริงๆ ทำให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ยังทำงาน เป็นผลให้เกิดการหมุนกลับทีละเล็กน้อย ก่อนที่วงจรตรวจจับความเร็วจะตรวจจับได้ และชุดคอนเวอร์เตอร์จะหยุดการทำงาน

## 10.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

1. เกิดปัญหาเมื่อนำไอซีต่างรุ่น ต่างยี่ห้อมาต่อใช้งานในวงจรทริก ทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะไอซีเบอร์ 555 นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้แม้จะรุ่นเดียวกัน ก็ยังมีความแตกต่างกันทำให้วงจรทริกที่ทริกคู่ไทรสเตอร์ให้ทำงาน ทำงานที่มุมต่างกันเล็กน้อย อาจแก้ไขโดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี

2. หม้อแปลงพัลส์ ซึ่งใช้ในการแยกวงจรควบคุมและวงจรกำลังออกจากกันนั้น ปรากฏว่าเมื่อทางวงจรกำลังเกิดการสปาร์ค ยังส่งผลให้อุปกรณ์ทางด้านควบคุมทำงานผิดพลาด โดยเฉพาะตัวไอซี สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ไดโอดต่อป้องกันเอาไว้ทางด้านวงจรควบคุม เพื่อกันการย้อนกลับของกระแส

3. เมื่อมีการนำส่วนของวงจรต่างๆมารวมกัน เช่น วงจรวัดกระแส , วงจรตรวจจับความเร็วรอบ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ปรากฏว่าเกิดสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้ C ชนิดที่เป็นแบบมัลติเลเยอร์(multilayer) ต่อระหว่างไฟเลี้ยงกับกราวด์ ในตำแหน่งที่ใกล้กับไอซีมากที่สุด และแยกวงจรกำลังกับควบคุมออกจากกัน

4. ทาโคเจนเนอเรเตอร์ ที่ใช้วัดค่าความเร็ว มีความดีเป็นสองเท่าของความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นจะได้ค่าความเร็วที่ไม่ละเอียด ถ้าต้องการค่าความเร็วที่ละเอียดจะต้องสร้างฐานเวลาในการนับความถี่นานขึ้น แต่การจะสร้างฐานเวลาให้นานขึ้นนั้น จะทำให้ได้ค่าความเร็วที่ป้อนกลับช้าลง ซึ่งทำให้ระบบควบคุมมีการตอบสนองช้าลง มีผลให้การปรับความเร็วเข้าสู่ค่าความเร็วที่ต้องการช้าลง นอกจากวิธีการเปลี่ยนฐานเวลาในการนับความถี่แล้ว อาจใช้วิธีการเปลี่ยนทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเอนโคเดอร์(encoder) ซึ่งมีความดีเป็นหลายร้อยเท่าของความเร็วของการหมุนของมอเตอร์

## 10.3 สรุป

การขับมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก แบบ 4 ควอดแรนต์ โดยใช้ชุดควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถสั่งให้มอเตอร์วิ่งไปที่ความเร็วที่ต้องการได้ในกรณีที่มีโหลดมากพอที่จะทำให้กระแสไหลอย่างค้ำเนื่อง แต่ในกรณีที่โหลดน้อยๆ จะไม่สามารถขับมอเตอร์ที่ความเร็วต่ำๆ ได้

ในการควบคุมความเร็วให้คงที่ เมื่อโหลดเปลี่ยนไปนั้น ชุดควบคุมสามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ได้ ถ้าโหลดเพิ่มไม่มากจนเกินไป ถ้าโหลดเพิ่มมากเกินไปจะไม่สามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ได้ เนื่องจากวงจรทริกไม่สามารถทริกให้ไทรสเตอร์ทำงานที่มุมต่ำๆ ได้

ในการหยุดการหมุนของมอเตอร์นั้น ชุดควบคุมสามารถควบคุมการหยุดหมุนให้สามารถหยุดหมุนได้อย่างรวดเร็ว , นุ่มนวล และป้อนพลังงานกลับคืนสู่ระบบได้ แต่ยังมีปัญหา คือในบางครั้งมอเตอร์จะเกิดการกลับทิศทางการหมุนเล็กน้อยก่อนที่จะหยุด เนื่องจากชุดตรวจจับความเร็วสามารถตอบสนองได้ช้า ส่วนในการสั่งให้กลับทิศทางการหมุน สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย

การปรับค่าความเร็วเข้าสู่ค่าที่ต้องการสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว มีการแกว่งของค่าความเร็วก่อนเข้าสู่ค่าที่ต้องการไม่มากและค่าความเร็วที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วจริง แต่ยังมีค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากอุปกรณ์และวงจรตรวจจับความเร็ว

การควบคุมความเร็วโดยใช้ชุดควบคุมทำได้โดยอัตโนมัติ , รวดเร็ว และสามารถคืนพลังงานกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ เมื่อมีการเบรก

#### 10.4 สิ่งที่จะพัฒนาต่อไป

1. ปรับปรุงชุดควบคุมให้สามารถจับมอเตอร์ให้วิ่งจากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วพิกัดได้ และสามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ได้ จากขณะไม่มีโหลดจนถึงโหลดเต็มพิกัด
2. ปรับปรุงชุดควบคุมให้สามารถควบคุมตำแหน่งการทำงานของตัวมอเตอร์ได้
3. ปรับปรุงชุดตรวจจับความเร็วให้มีความละเอียดสูงขึ้นและสามารถตอบสนองต่อความเร็วที่เปลี่ยนไปได้อย่างรวดเร็ว
4. ปรับปรุงชุดวงจรทริกให้สามารถทริกที่มุมต่ำๆ ได้
5. ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถแสดงค่าของกระแสได้ละเอียดขึ้น
6. ทำส่วนตรวจจับแรงดันเพื่อใช้ขณะเบรก ทำให้สามารถเบรกได้ดีขึ้น
7. พัฒนาชุดควบคุมให้สามารถทำงานเชื่อมโยงกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อสามารถควบคุมมอเตอร์ได้หลายตัวในเวลาเดียวกัน โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวในการควบคุม , การรับค่ามาแสดงผลหน้าจอดีคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวก , รวดเร็ว ในการควบคุมมอเตอร์หลายๆ ตัว

8. จากการทำงานของระบบควบคุมความเร็วแบบ 4 ควอดแรนต์ สามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในด้านต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม เช่น ลิฟท์ ซึ่งเป็นงานที่ต้องมีการกลับทิศทางการหมุนและต้องการความเที่ยงตรงสูง, ปั่นจั่นยกของ ซึ่งมีการทำงานเป็นจังหวะ มีช่วงการทำงานและหยุดการทำงานบ่อยๆ หรือในงานที่ต้องการหยุดอย่างรวดเร็วและนุ่มนวล ในระบบการหยุดมอเตอร์แบบฉุกเฉิน

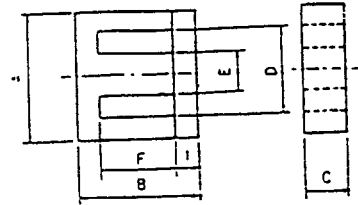
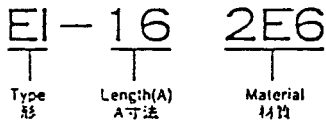


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

# EI Type Cores ข้อมูลการออกแบบหม้อแปลงพัลส์

Ordering Code 品名の構成



Materials 主な材質 2E1, 2E4, 2E6, 2E7, 2F1, 2F6, 2F8

Dimensions and Effective Parameter 寸法及び磁心の実効定数

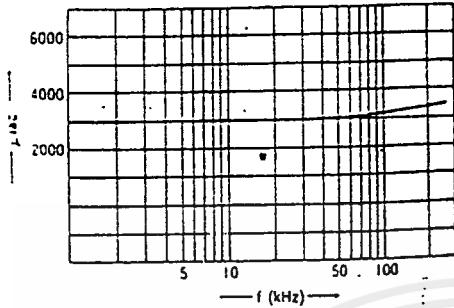
Cores 形名	Dimensions(mm)寸法							Effective Parameter 磁心の実効定数				
	A	B	C	D	E	F	l	C <sub>l</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )	l <sub>e</sub> (mm)	Ve(mm <sup>3</sup> )	Aw(mm <sup>2</sup> )
EI-10	10.2±0.2	6.6±0.2	5.0 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.2</sub>	7.7 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	2.4±0.2	4.2±0.1	1.0 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.2</sub>	1.59	11.0	17.5	192.4	11.4
EI-10.2×5C	10.2±0.2	8.875 <sup>+0.4</sup> <sub>-0.4</sub>	5.0 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.2</sub>	7.8±0.2	2.4±0.15	6.45±0.2	1.0 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.2</sub>	1.94	11.3	21.9	247.1	17.4
EI-12.5	12.5±0.2	9.1±0.35	5.0±0.2	9.2 <sup>+0.25</sup> <sub>-0.15</sub>	2.5 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	5.0±0.15	1.6±0.15	1.36	15.7	21.4	336.9	17.0
EI-13	13.0±0.3	12.0±0.35	6.3 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	10.2±0.2	2.8 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	9.2±0.2	1.4±0.15	1.77	17.1	30.2	517.3	34.3
EI-13/6.7/6.5	13.0±0.3	6.7±0.25	6.5±0.2	9.8±0.3	3.8±0.15	4.0 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.2</sub>	1.1±0.15	0.96	19.4	18.6	362.0	12.3
EI-14C	13.8±0.2	11.7±0.4	2.7 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	9.4±0.2	4.8 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	7.0 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	2.3±0.2	2.16	12.1	26.1	315.3	16.6
EI-16	16.0±0.3	14.3±0.4	5.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	12.0±0.3	4.7 <sup>+0.4</sup> <sub>-0.4</sub>	10.2 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	2.05±0.2	1.78	19.6	34.8	679.6	40.8
EI-16B	16.0±0.3	14.4±0.4	5.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	12.0±0.3	4.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	10.2 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	2.0±0.2	1.90	18.6	35.3	657.8	43.4
EI-18	18.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	14.9±0.2	3.3±0.1	12.5 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.1</sub>	6.2 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	9.4 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	2.7±0.1	1.85	18.4	34.1	628.4	30.6
EI-19	19.0±0.3	15.9±0.4	5.1 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	14.0±0.3	5.1 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	11.3±0.3	2.35±0.2	1.68	23.3	39.2	914.2	51.7
EI-19ZT	19.0±0.3	15.8 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	5.2 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	14.5±0.3	4.7 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	11.0 <sup>+0.3</sup> <sub>-0.3</sub>	2.4±0.2	1.72	22.9	39.4	902.2	55.5
EI-22	22.0±0.4	18.6±0.4	6.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	14.0±0.3	6.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	10.6±0.3	4.0±0.2	1.02	39.6	40.2	1592	44.0
EI-22AT	22.0±0.3	18.8±0.4	5.7±0.2	15.75 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	5.7±0.2	10.8±0.2	4.0±0.2	1.15	36.6	42.1	1541	55.6
EI-25	25.0±0.4	20.0±0.4	6.55±0.3	18.6±0.3	6.55±0.3	13.6±0.25	3.2±0.15	1.17	42.2	49.4	2084	81.9
EI-25.3	25.3±0.4	18.3±0.4	7.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	19.3±0.3	6.5±0.25	12.2 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	2.9 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	1.14	41.3	47.0	1943	79.0
EI-25.4	25.4±0.4	19.05±0.5	6.35±0.25	19.0±0.3	6.35±0.3	12.7±0.3	3.2±0.2	1.19	40.4	48.0	1942	80.3
EI-28	28.0±0.4	20.5±0.5	11.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	18.6 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	7.5 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	12.5±0.3	3.5±0.2	0.57	86.1	49.0	4215	72.5
EI-30A	30.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	26.5 <sup>+0.4</sup> <sub>-0.4</sub>	11.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	20.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	11.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	16.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	5.5±0.2	0.53	111.0	58.6	6440	79.1
EI-33	33.0±0.5	28.6±0.5	13.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	24.0±0.5	10.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	19.2±0.3	5.2±0.2	0.56	119.4	67.3	8039	136.8
EI-35	35.0±0.5	29.2±0.5	10.3 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	25.0±0.5	10.3 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	18.2±0.3	5.0±0.2	0.65	103.8	67.8	7035	136.0
EI-35B	35.0±0.7	28.5±0.5	9.5±0.3	25.6±0.5	9.5±0.3	19.0±0.3	4.75±0.15	0.77	89.9	69.0	6204	153.0
EI-36T	36.0±0.5	29.7±0.6	12.0 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	26.0±0.5	10.3 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.1</sub>	18.2±0.3	5.5±0.2	0.56	123.1	69.0	8501	145.1

Electrical Characteristics 電気的特性

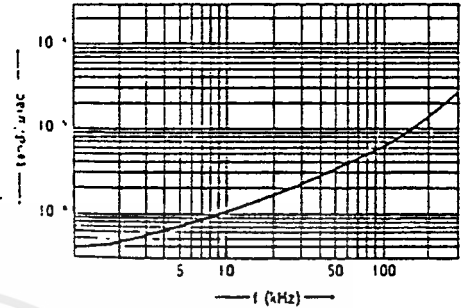
Cores 形名	AL-Value(nH/N <sup>2</sup> ) ±25%			Without air gap キャップなし	
	2E1	2E6	2F8	2E6C	2F6
EI-10	1500	1020	980		
EI-10.2×5C	1650	1350	1050		
EI-12.5	1950	1550	1400	1100	
EI-13	1950	1550	1400		
EI-13/6.7/6.5	2200	2000	1900		
EI-14C	1550	1150	1100		
EI-16	2000	1500	1150		
EI-16B	1400				
EI-18	1700				
EI-19	2300	1700	1500		
EI-19ZT	2200	1600	1250		
EI-22	3800	2600			
EI-22AT	3300	2500	1900	1700	2600
EI-25	3900	2700	2400	2000	
EI-25.3	2800	2600	2000		
EI-25.4	3400	2500	2050		
EI-28	6900	5200	4000		
EI-30A	5600	4300	4200		
EI-33	5600	4400			
EI-35	4700	3600			
EI-35B	5400				
EI-36T	5500				

2E6

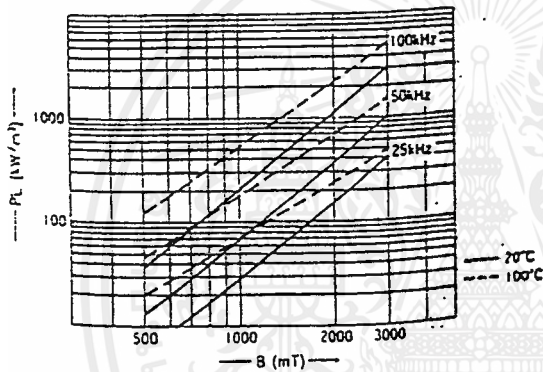
$\mu_{ac}$  vs. Frequency  $\mu_{ac}$ 周波数特性



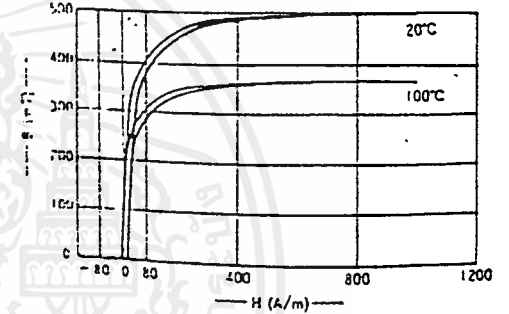
$\tan \delta / \mu_{ac}$  vs. Frequency  $\tan \delta / \mu_{ac}$ 周波数特性



Power loss vs. Flux density パワーロス vs. 磁束密度



Static Magnetization Curves 直流ヒステリシス特性



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PULSE TRANSFORMERS

Table B.12 Contd.

Nominal diameter of bare conductor (mm)	Gauge number (SWG)	Maximum over-all diameter normal covering (mm)	Standard resistance at 20°C $R_w$ (ohm/km)	Approximate weight (kg/km)	Area of bare conductor (mm <sup>2</sup> )
0.315	30	0.351	221.3	0.7121	0.07791
0.345	29	0.384	183.97	0.8559	0.09372
0.376	28	0.417	155.34	1.014	0.1110
0.417	27	0.462	126.51	1.245	0.1363
0.457	26	0.505	105.02	1.499	0.1642
0.508	25	0.561	85.07	1.851	0.2027
0.559	24	0.612	70.30	2.233	0.2452
0.610	23	0.665	59.07	2.655	0.2919
0.711	22	0.770	43.40	3.607	0.3973
0.813	21	0.874	33.23	4.702	0.5189
0.914	20	0.978	26.26	5.939	0.6567
1.016	19	1.082	21.27	7.324	0.8107
1.219	18	1.293	14.768	10.537	1.167
1.422	17	1.501	10.850	14.313	1.589
1.626	16	1.709	8.307	18.678	.075
1.829	15	1.920	6.564	23.64	2.627
2.032	14	2.129	5.317	29.15	3.243
2.337	13	2.441	4.020	38	4.289
2.642	12	2.756	3.146	49	5.480
2.946	11	3.068	2.529	61	6.818
3.251	10	3.383	2.077	74	8.302
3.658	9	3.800	1.640	94	10.51
4.064	8	4.219	1.329	116	12.97

Table B.13 Data for Litz wires

Litz wire  $A \times B^1 \times C$	Nominal diameter of the copper enamel wire C mm	Outer diameter of the insulated litz wire (max. dimensions)			dc resistance at 20°C (68°F) $R_w$ Ω/m
		Non covered mm	Covered		
			Single natural silk (S) mm	Double natural silk (2S) mm	
$1 \times 12 \times 0.04$		0.208	0.243	0.278	1.190
$1 \times 15 \times 0.04$		0.228	0.268	0.298	0.950
$1 \times 20 \times 0.04$	0.04	0.260	0.300	0.330	0.710
$1 \times 30 \times 0.04$		0.321	0.361	0.391	0.475
$1 \times 45 \times 0.04$		0.400	0.440	0.470	0.316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# USEFUL NOMOGRAMS IN PULSE TRANSFORMER DESIGN

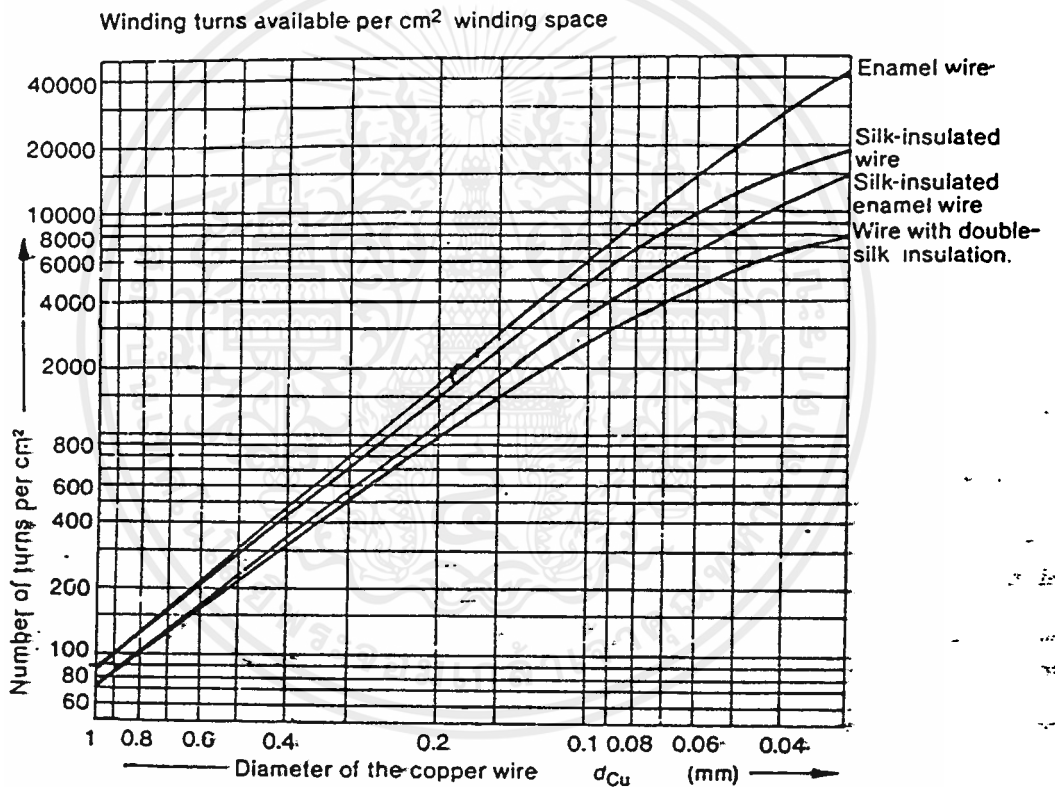


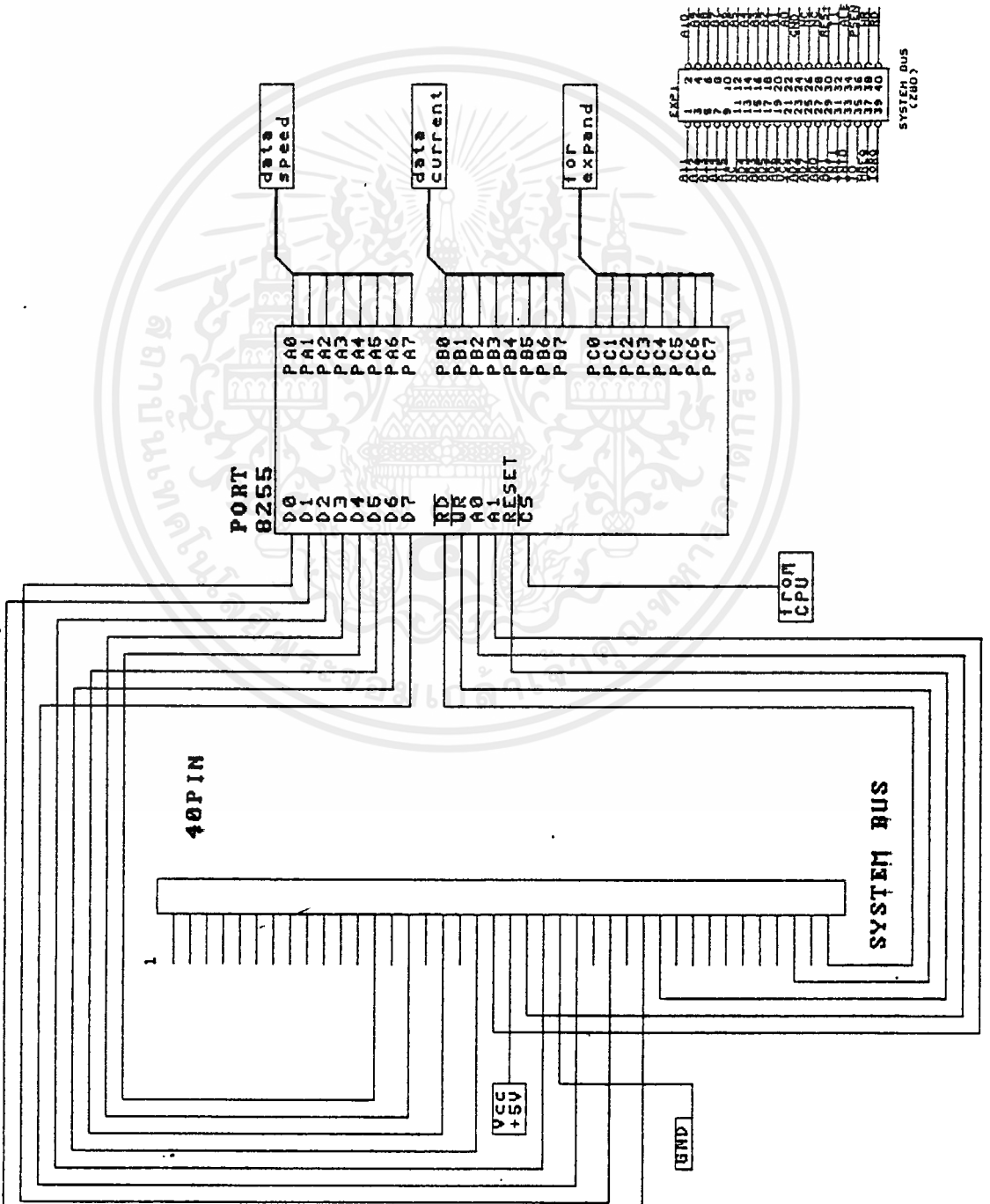
Fig. C.1 Conductor diameter (mm) versus number of turns per cm<sup>2</sup> of winding space of a coil-former

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

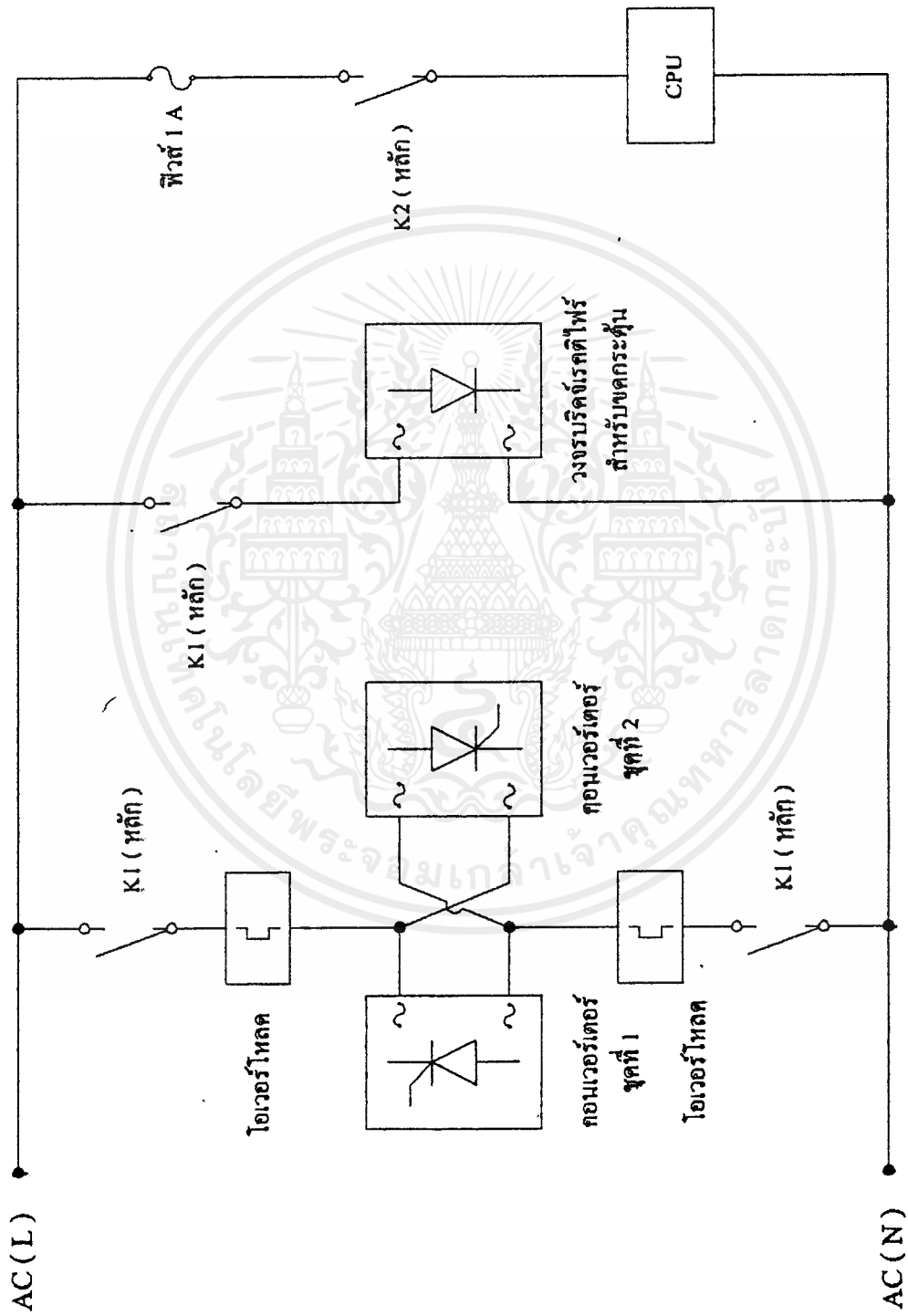
ภาคผนวก ข.

วงจรการขยายพอร์ตทขนานของไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ ข. 1 แสดงวงจรการขยายพอร์ตทขนานเพื่อรับข้อมูลจากภายนอกเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์







รูปที่ ๓. ๒ แสดงวงจรป้องกันระบบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

โปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์

```
ORG 0000H
LJMP starting

- ORG 0013H ;EXTERNAL INTERRUPT 1
LJMP INIT_SCAN

COMMAND EQU 0E080H ;READ-WRITE REGISTER
READBUSY EQU 0E081H ;READ BR(BUSY FLAG) AND
;ADDRESS
WRITEDATA EQU 0E082H ;WRITE CHARACTER
PORTA EQU 0E020H
PORTB EQU 0E021H
PORTC EQU 0E022H
SETPORT EQU 0E023H ;SET PORT OF $255

ORG 0100H

starting:mov IE,#85H
mov TCON,#00001010b

;*****
;*****START SHOW DISPLAY*****
;*****

STARTED:LCALL INITED
MOV R0,#20
MOV DPTR,#DCMOT
LCALL WRITE
MOV R2,#18 ;SET TIME FOR WAIT

WAITED: LCALL SCDELAY
DJNZ R2,WAITED
MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R0,#20
MOV DPTR,#BLANK
LCALL WRITE
MOV R0,#0AH
MOV R1,#0BH
MOV R6,#10

STAR: MOV A,R0
DEC R0
LCALL GOTOXY
MOV A,#""
LCALL WRITE_CHR
MOV A,R1
INC R1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL GOTOXY
MOV A,#"
LCALL WRITE_CHR
LCALL SCDELAY
DINZ R6,STAR
LCALL SCDELAY
LCALL SCDELAY
PRSCOM: MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R0,#20
MOV DPTR,#PRSKEY
LCALL WRITE
MOV 17H,#00H
MOV 02H,#00H
MOV 15H,#00H
MOV 29H,#00H
MOV 2AH,#00H
STAND: MOV A,17H      ;ADDRESS 17H CHECK RECEIVED
                ;COMMAND FOR,REV,STOP
INZ JMP_INIT
;LCALL TESTBI*****
SIMP STAND
JMP_INIT:
MOV 17H,#00H
LJMP INITS
;*****
;*****BEGIN SCAN KEYBOARD*****
;*****
INIT_SCAN:
PUSH DPL
PUSH DPH
LCALL SCANKEY
POP DPH
POP DPL
MOV PSW,#00H      ;USE REGISTER BANK 0 BEFORE RETURN
RETI

SCANKEY:MOV PSW,#00001000B ;USE REGISTER BANK 1 FOR
                ;SCAN KEYBOARD
MOV DPTR,#COMMAND
MOV A,#0FH
MOVX @DPTR,A
LCALL WAITBF
MOV A,#00H      ;SET ADDRESS
LCALL GOTOXY
MOV DPTR,#INSTRUCT
MOV R0,#20
LCALL WRITE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#SETPORT
MOV A,#1000001B      ;PORT A O/P,PORT B O/P
                     ;PC0-PC3 I/P,PC4-PC5 O/P
MOVX @DPTR,A

MOV DPTR,#PORTB     ;SET CON1,CON2 TO UNCHANGE
MOV A,02H
MOVX @DPTR,A

MOV DPTR,#PORTA     ;SEND SPEED OUT BEFORE INTERRUPT
MOV A,29H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,2AH
ORL A,02H
MOVX @DPTR,A
ORL A,#00010000B
MOV DPTR,#PORTB
MOVX @DPTR,A
ANL A,#11101111B
MOVX @DPTR,A

MOV R0,#22H         ;KEEP COMMAND AND VALUE OF SPEED
MOV R1,#2DH         ;BEFORE SCAN KEYBOARD
MOV R2,#05H
KEEP: MOV A,@R0
MOV @R1,A
INC R0
INC R1
DINZ R2,KEEP
MOV R5,#00H
MOV R7,#00H
MOV R6,#00H
TEST: LCALL KEY
CINE A,#0FFH,CHEX   ;A=0FFH (NO KEY)
SIMP TEST
;*****
;*****CHECK KEYBOARD STILL CLOSE*****
;*****
STILL: MOV DPTR,#PORTC
TESTZ: MOVX A,@DPTR
ANL A,#0FH
CINE A,#0FH,TESTZ   ;IF KEY STILL CLOSE
LCALL SCDELAY      ;DELAY TIME
SIMP TEST
;*****
;*****"MAIN OF SCAN KEYBOARD"*****
;*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KEY0: MOV R2,#0           ;BEGIN SCAN AT COLUMN 1
KEY1: MOV DPTR,#PORTC
      MOV A,R2
      SWAP A              ;USB 4 BIT UPPER
      MOVX @DPTRA        ;SCAN
      MOV DPTR,#PORTC   ;USB 4 BIT LOWER
      MOVX A,@DPTR
      ANL A,#0FH
      CJNE A,#0FH,KEY3   ;CHECK PRESS KEY
KEY2: INC R2
      CJNE R2,#3,KEY1    ;SCAN 3 COLUMN
      MOV A,#0FFH
      RET
KEY3: LCALL SCDELAY
      MOV DPTR,#PORTC
      MOVX A,@DPTR      ;INPUT KEY
      ANL A,#0FH
      CJNE A,#0FH,KEYPRES
      SJMP KEY2
KEYPRES:CPL A
      SWAP A
      MOV B,#0
KEY4: INC B
      RLC A
      INC KEY4
      MOV A,B
      DEC A
      SWAP A
      ORL A,R2
      RET

```

```

;*****
;*****DELAY*****
;*****
SCDELAY:MOV R3,#80       ;DELAY 10 mS
SCDELAY1:MOV R4,#250
SCDE: NOP
      NOP
      DJNZ R4,SCDE
      DJNZ R3,SCDELAY1
      RET
;*****
;*****CHECK WHAT KEY IS CLOSED*****
;*****

```

```

CHEX: MOV R3,A          ;R3 KEEP CODE
      MOV A,R5
      JZ RECEIVE        ;START RECEIVE COMMAND
      CJNE A,#01H,VIEWKE
CHEX1: MOV A,R3
      CJNE A,#30H,CHEX2
      SJMP CANCEL1

```

```

CHEX2: CINE A,#32H,LCCOMO
      MOV A,R6
      INZ SPENB      ;HAS SPED VALUE
      SJMP STILL
;*****
VIEWKE: LIMP VIEWKEY
SPENB: LIMP SPENTER
STIL. LIMP STILL
;*****
LOCOMO: MOV A,R7
      INZ STLL      ;SPEED VALUB HAS 4 DIGIT
      MOV A,R3
LOCOM: MOV DPTR,#TABLE
      ADD A,DPL
      MOV DPLA
WRITENUM:MOVX A,@DPTR
      LCALL WRITE_CHR
      CLR C
      SUBB A,#30H
      MOV @R0,A
      INC R0
      INC R6      ;HAS PRSSED SPEED VALUE
      CINE R6,#04H,STIL
      MOV R7,#01H      ;SPEED VALUB HAS 4 DIGIT
      LIMP STILL
;*****
;*****CHECK KEY COMMAND CLOSE*****
;*****
RECEIVE:MOV A,#00H
      LCALL GOTOXY
      MOV A,R3
FORWARD:CINE A,#00H,REVERSE
      MOV R0,#20
      MOV DPTR,#FOR
      LCALL WRITE
      LCALL DEL
      MOV R0,#23H      ;SET ADDRESS FOR KEEP SPEED VALUE
      MOV R5,#01H
      MOV 22H,#00100000B :ADDRESS 22H KEEP CODE FORWARD
      MOV A,#10H
      LCALL GOTOXY
      LIMP STILL
REVERSE:CINE A,#01H,STOPS
      MOV R0,#20
      MOV DPTR,#REV
      LCALL WRITE
      LCALL DEL
      MOV R0,#23H
      MOV R5,#01H
      MOV 22H,#01000000B :ADDRESS 22H KEEP CODE REVERSE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,#10H
LCALL GOTOXY
LIMP STILL
STOPS: CINE A,#02H,VIEW
MOV 22H,#00000000B ;ADDRESS 22H KEEP CODE STOP
MOV R0,#20
MOV DPTR,#STOPPED
LCALL WRITE
LCALL DEL
MOV 17H,#66H
RET
VIEW: CINE A,#31H,CANCEL
MOV R0,#20
MOV DPTR,#VIEWED
LCALL WRITE
MOV R5,#02H ;CODE FOR VIEW
MOV A,#09H
LCALL GOTOXY
LIMP STILL
CANCEL: CINE A,#30H,STILS
CANCEL1:MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R0,#20
MOV DPTR,#CANCELS
LCALL WRITE
MOV R7,#04H
CANC: LCALL SCDELAY ;DELAY TO SHOW CANCEL
DINZ R7,CANC ;FOR A MOMENT
MOV R0,#22H ;RETURN COMMAND AND VALUE OF SPEED
MOV R1,#8DH ;BEFORE SCAN KEYBOARD
MOV R2,#05H
RETURN: MOV A,@R1
MOV @R0,A
INC R0
INC R1
DINZ R2,RETURN
MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R1,#22H
MOV A,@R1
INC R1
LIMP SHOF
;*****
STILS: LIMP STILL
;*****
WRITE: MOVX A,@DPTR
LCALL WRITE_CHR
INC DPTR
DINZ R0,WRITE
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

:*****
:*****CHECK WHAT TO VIEW*****
:*****
VIEWKEY:MOV A,R3
      MOV 15H,#5FH
VIEWT:  C1NB A,#12H,VIEWC   ;VIEW TORQUE
      MOV R0,#06H
      MOV DPTR,#VIEWTO
      LCALL WRITE
      MOV 16H,#02H
      LCALL FIND_TORQUE
      SIMP SPEN
VIEWC:  C1NB A,#11H,STILLED ;VIEW CURRENT
      MOV R0,#07H
      MOV DPTR,#VIEWCUR
      LCALL WRITE
      MOV 16H,#03H
      LCALL CONVERT_CURRENT
      SIMP SPEN
:*****
STILLED:LIMP STILL
:*****
:*****CLEAR SPEED VALUE COMMAND*****
:*****
DEL:   MOV R0,#23H   ;CLEAR SPEED VALUE
      MOV R4,#04H
DEL1:  MOV @R0,#00H
      INC R0
      DJNZ R4,DEL1
      RET
:*****
:*****SHOW COMMAND BEFORE VIEW*****
:*****
SPEN:  MOV R7,#20
SPEN1: LCALL SCDELAY
      DJNZ R7,SPEN1
      MOV A,#00H
      LCALL GOTOXY
      MOV R1,#22H
      MOV A,@R1
      INC R1
SHOP:  C1NB A,#20H,SHOR   ;FOR BEFORE VIEW
      MOV R0,#20
      MOV DPTR,#FOR
      LCALL WRITE
      SIMP TEX
SHOR:  C1NB A,#40H,TOP    ;REV BEFORE VIEW
      MOV R0,#20

```

```

MOV DPTR,#REV
LCALL WRITE
SIMP TEX
TOP:  MOV R0,#20          ;STOP BEFORE VIEW
MOV DPTR,#STOPPED
LCALL WRITE
RET
TEX:  MOV A,#10H         ;SHOW SPEED BEFORE VIEW
LCALL GOTOXY
MOV R2,#04H
TEX1: MOV A,@R1
IZ TEX3
TEX2: MOV A,@R1
INC R1
ADD A,#30H
LCALL WRITE_CHR
DJNZ R2,TEX2
RET
TEX3: INC R1
DJNZ R2,TEX1
MOV A,#0
LCALL WRITE_CHR
RET
:*****
:*****SPEED ENTER*****
:*****
SPENTER:CLNE R6,#04H,PAIR ;HAS PRESSED SPEED ENTER
SIMP TO_HEX
PAIR:  MOV A,#04H        ;SPEED LESS THAN 4 DIGIT
CLR C
SUBB A,R6
MOV R6,A
PAIR1: MOV R0,#26H
MOV R1,#25H
MOV R2,#03H
PAIR2: MOV A,@R1
MOV @R0,A
MOV @R1,#00H
DEC R0
DEC R1
DJNZ R2,PAIR2
DJNZ R6,PAIR1
SIMP TO_HEX
:*****
:*****CONVERT BCD TO HEXADECIMAL*****
:*****
TO_HEX: MOV A,23H        ;BCD SPEED TO HEX
MOV B,#0AH
MUL AB
MOV B,#0AH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADD A,24H
MUL AB
MOV B,#0AH
ADD A,25H
MUL AB
ADD A,26H
MOV 13H,A      ;13H KEEP 8 BIT LOWER
MOV A,B
ADDC A,#00H
MOV 14H,A      ;14H KEEP 4 BIT UPPER

```

```

;*****
;*****CHECK SPEED VALUB OVER SPEED*****
;*****

```

```

OVERSP: MOV B,#05H
DIV AB
JZ NOT_OVER
CINE A,#01H,SP_OVER
MOV A,B
JNZ SP_OVER
MOV A,13H
MOV B,#DCH
DIV AB
JZ NOT_OVER
CINE A,#01H,SP_OVER
MOV A,B
JNZ SP_OVER

```

NOT\_OVER:

```

MOV 17H,#55H
MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R0,#20
MOV DPTR,#OK
LCALL WRITE
MOV R7,#04H

```

```

OKAY: LCALL SCDELAY      ;DELAY TO SHOW OK
DJNZ R7,OKAY           ;FOR A MOMENT
MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R1,#22H
MOV A,@R1
INC R1
LJMP SHOF

```

```

SP_OVER:MOV A,#00H
LCALL GOTOXY
MOV R0,#20
MOV DPTR,#OVERSPEED
LCALL WRITE
MOV R7,#04H

```

LO: LCALL SCDELAY ;DELAY TO SHOW OVER SPEED FOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DINZ R7,LO      :A MOMENT
LMP SCANKEY
```

```
*****
:*** SBT INITIAL CONDITION OF LCD ****
*****
```

```
INITED: MOV DPTR,#COMMAND
MOV A,#38H      :8 BIT,2 LINE, 5*7 DOT
MOVX @DPTR,A   :WRITE INSTRUCTION
LCALL WAITBF   :WAIT LCD LCD BUSY
MOV A,#0FH     :DISPLAY-ON,CURSOR-ON,BLINK
MOVX @DPTR,A
LCALL WAITBF
MOV A,#6       :CURSOR INCREMENT
MOVX @DPTR,A
LCALL WAITBF
MOV A,#1       :CLEAR DISPLAY & HOME
MOVX @DPTR,A
LCALL WAITBF
RET
```

```
*****
:***** WRITE CHARACTER TO LCD*****
*****
WRITE_CHR:PUSH DPL
PUSH DPH
MOV DPTR,#WRITEDATA
MOVX @DPTR,A
LCALL WAITBF   :WAIT LCD MODULE READY
POP DPH
POP DPL
RET
```

```
*****
:*** WAIT FOR READY,CHECK BUSY FLAG****
*****
```

```
WAITBF: PUSH DPL
PUSH DPH
PUSH ACC
MOV DPTR,#READBUSY
RDY1: MOVX A,@DPTR
JB ACC.7,RDY1 :BUSY FLAG
POP ACC
POP DPH
POP DPL
RET
```

```
*****
:***** GO TO ADDRESS OF LCD *****
*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SBTB ACC.7
MOVX @DPTRA
LCALL WAITBF
RET

```

```

;*****
;***** SHOW COMMAND *****
;*****

```

```

INSTRUCT:  DB ' ENTER COMMAND '
DCMOT:     DB '4-QUADRANT DC MOTOR '
BLANK:     DB '
PRKEY:     DB ' READY FOR RUN '
FOR:       DB 'FORWARD SPEED = '
VIEWTO:    DB 'TORQUE'
VIEWCUR:   DB 'CURRENT'
OVERSPEED: DB ' OVER SPBED '
REV:       DB 'REVERSE SPEED = '
STOPPED:   DB ' STOP '
VIEWED:    DB ' VIEW: '
CANCELS:   DB ' CANCEL '
OK:        DB ' O.K. '

```

```

;*****
;*****SELECT THE THING YOU WANT TO SEE *****
;*****

```

```

TESTBL: MOV PSW,#00001000B ;USE REGISTER BANK 1
;TO SHOW

```

```

LCALL OFF_CURSOR
MOV A,15H
CINE A,#00H,SHOWPARA
LCALL FIND_SPEED
MOV PSW,#00H
RET

```

```

SHOWPARA:
MOV A,16H

```

```

SHOWT:
CINE A,#02H,SHOWC
LCALL FIND_TORQUE
MOV PSW,#00H
RET

```

```

SHOWC:
LCALL CONVERT_CURRENT
MOV PSW,#00H
RET

```

```

;*****
;***** CHANGE BINARY TO BCD *****
;*****

```

```

FIND_SPEED:
MOV DPTR,#E0A0H
MOVX A,@DPTR ;MOV B DETECT FREQUENCY TO A

```

```

MOV B,#1BH      ;MOVE 30 TO B
MUL AB          ;CONVERT FREQUENCY TO SPEED
MOV 2BH,A       ;LOW BYTE TO ADDRESS 2BH
MOV 2CH,B       ;HIGH BYTE TO ADDRESS 2CH
LCALL BCD_SPEED
LCALL SPEED
RET
FIND_TORQUE:
MOV DPTR,#E0A1H
MOVX A,@DPTR
MOV B,#12
DIV AB
MOV 12H,A
MOV A,B
CLR C
SUBB A,#6
JC FREX
INC 12H
FREX: MOV A,12H      ;MOVE REAL CURRENT TO A
MOV B,#05H
MUL AB
MOV B,#10
DIV AB
MOV R4,A
MOV A,B
JZ STATUS
INC R4
STATUS: MOV A,12H
ADD A,R4
MOV R0,#87H
LCALL BCD_VT
LCALL TORQUE
DBC 15H
RET
CONVERT_CURRENT:
MOV DPTR,#E0A1H
MOV A,#FFH
MOVX @DPTR,A
MOVX A,@DPTR
MOV B,#12
DIV AB
MOV 12H,A
MOV A,B
CLR C
SUBB A,#6
JC FRESH
INC 12H
FRESH: MOV A,12H
MOV R0,#8AH
LCALL BCD_VT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL CURRENT
        DBC 15H
        RET
BCD_SPEED:
        MOV R0,#80H    ;SET ADDRESS
        MOV B,#0AH    ;MOV 10 TO B
        MOV A,2BH
        ANL A,#F0H
        ADD A,2CH
        SWAP A
        DIV AB
        SWAP A
        MOV R2,A
        MOV A,B
        SWAP A
        MOV R3,A
        MOV A,2BH
        ANL A,#0FH
        ADD A,R3
        MOV B,#0AH    ;MOV 10 TO B
        DIV AB
        MOV @R0,B
        INC R0
        ADD A,R2
BCD_VT: MOV R1,#02H
LOOP:  MOV B,#0AH    ;MOV 10 TO B
        DIV AB
        MOV @R0,B
        INC R0
        DJNZ R1,LOOP
        MOV @R0,A
        INC R0
        RET
;*****
;*****STARTLCD*****
;*****
SPEED: LCALL OFF_CURSOR
        MOV A,#40H
        LCALL GOTOXY
        MOV DPTR,#SPBB    ;MOV ADDR OF SPBB TO DPTR
        MOV R0,#20        ;No OF #SPBB
        LCALL WRITE
        LCALL STARTS      ;SHOW SPEED TO LCD
        RET                ;RETURN TO BCD

CURRENT: LCALL OFF_CURSOR    ;THE SAME AS SPEED
        MOV A,#40H
        LCALL GOTOXY
        MOV DPTR,#CURRENT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL WRITE
LCALL STARTC
RET          ;RETURN TO BCD
TORQUE: LCALL OFF_CURSOR    ;THE SAME AS SPEED
MOV A,#40H
LCALL GOTOXY
MOV DPTR,#TORQ
MOV R0,#20
LCALL WRITE
LCALL STARTT
RET          ;RETURN TO BCD
;*****
;***** START SHOW No*****
;*****
STARTC:
MOV R2,#02H
MOV R0,#8BH      ;#8BH IS ADDRESS CURRENT
MOV A,#4CH      ;SET LOCATION ON LCD
LCALL GOTOXY
LCALL LOOPA
RET
STARTS:
MOV R2,#4
MOV R0,#83H     ;#83H IS ADDRESS SPEED
MOV A,#49H     ;SET LOCATION ON LCD
LCALL GOTOXY
LCALL LOOPA
RET
STARTT:
MOV R2,#3
MOV R0,#89H     ;#89H IS ADDRESS TORQUE
MOV A,#4BH     ;SET LOCATION ON LCD
LCALL GOTOXY
LCALL LOOPA
RET
LOOPA:
MOV A,@R0
LCALL No_
LCALL WRITE_CHR
DEC R0
DJNZ R2,LOOPA
RET
OFF_CURSOR:MOV DPTR,#COMMAND
MOV A,#0CH
MOVX @DPTR
LCALL WAITBF
RET
;*****

```

\*\*\*\*\*CHANGE BCD TO ASCII\*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. INC A

MOVC A,@A+PC

RET

DB '0'

DB '1'

DB '2'

DB '3'

DB '4'

DB '5'

DB '6'

DB '7'

DB '8'

DB '9'

SPEED: DB 'SPEED = RPM. '

CURRENT: DB 'CURRENT = A. '

TORQUE: DB 'TORQUE = NM. '

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* TABLE OF KEY BOARD \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

ORG 0800H

TABLE: DB '1', '2', '3'

ORG 0810H

DB '4', '5', '6'

ORG 0820H

DB '7', '8', '9'

ORG 0830H

DB '0', '1', '2'

ORG 0840H

\*\*\*\*\*INHIBIT CON.\*\*\*\*\*

INTS: MOV PSW,#00H ;USE REGISTER BANK 0

MOV DPTR,#PORTB

MOV A,#00000000B

MOVX @DPTRA

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* DESCRIPTION OF ADDRESS AND REGISTER \*\*\*\*\*

:22H KEEP CODE FORWARD,REVERSE,STOP COMMAND

:R2 KEEP CODE FORWARD,REVERSE,STOP THAT USE NOW

:13H KEEP 8 BIT LOWER OF SPEED VALUE COMMAND

:14H KEEP 4 BIT UPPER OF SPEED VALUE COMMAND

:R4 = 8 BIT LOWER RUNSPEED BEGIN = 0 RPM

:R5 = 4 BIT UPPER RUNSPEED BEGIN = 0 RPM

:R6 = 8 BIT LOWER OF ANGLE OUT TO D/A

:R7 = 4 BIT UPPER OF ANGLE OUT TO D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\*

INIT: MOV R2,22H

START: CINE R2,#00100000b,START\_REV

START\_FOR:

MOV DPTR,#PORTE

MOV A,R2

MOVX @DPTR,A

LJMP PRE

START\_REV:

CINE R2,#01000000b,START\_STOP

MOV DPTR,#PORTE

MOV A,R2

MOVX @DPTR,A

LJMP PRE

START\_STOP:

MOV DPTR,#PORTE

MOV A,R2

MOVX @DPTR,A

LJMP REST\_LOOP

\*\*\*\*\*SET D/A = 5 VOLT ,START AT 180\*\*\*\*\*

X180: MOV DPTR,#END\_TABLE

A: MOVX A,@DPTR

MOV R6,A

INC DPTR

MOVX A,@DPTR

MOV R7,A

SJMP B

A1: LCALL X180\_DELAY

LCALL C

LCALL D

CLR C

MOV A,DPL

SUBB A,#03H

MOV DPL,A

MOV A,DPH

SUBB A,#00H

MOV DPH,A

SJMP A

B: MOV A,#DCH

XRL A,R6

JZ B1

SJMP A1

B1: MOV A,#05H

XRL A,R7

JZ B

SJMP A1

C: PUSH DPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLR C
MOV A,#B8H
SUBB A,R6
MOV R6,A
MOV 29H,A
MOV A,#0BH
SUBB A,R7
MOV R7,A
MOV 2AH,A
POP DPL
POP DPH
RET
```

```
D:  PUSH DPH
    PUSH DPL
    MOV DPTR,#PORTA
    MOV A,R6
    MOVX @DPTR,A
    INC DPTR
    MOV A,R7
    ORL A,R2
    MOVX @DPTR,A
    ORL A,#00010000B
    MOVX @DPTR,A
    ANL A,#11101111B
    MOVX @DPTR,A
    POP DPL
    POP DPH
    RET
B:  MOV R7,#DCH
    MOV R6,#05H
    LCALL D
    RET
X180_DELAY:
    MOV R3,#07H
X180_DELAY1:
    MOV R0,#7FH
X180_DELAY2:
    NOP
    DJNZ R0,X180_DELAY2
    DJNZ R3,X180_DELAY1
    RET
PRE: LCALL X180
PRE1: CLR C
      MOV R4,#00H
      MOV R5,#00H
      LMP ControlSpeed
DELAY: MOV R3,#0FH
DELAY1: MOV R0,#7FH
DELAY2: MOV R0,#0FH
```

\*\*\*NEW\*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DJNZ R0,DELAY2

DJNZ R3,DELAY1

RET

.....

DTOA1:

MOV DPTR,#INT\_TABLE

MOV DPL,R4

MOV A,R5

ADD A,DPH

MOV DPH,A

MOVX A.@DPTR

MOV R6,A

INC DPTR

MOVX A.@DPTR

MOV R7,A

LCALL CX

RET

CX: CLR C

MOV A,#B8H

SUBB A,R6

MOV R6,A

MOV 29H,A

MOV A,#0BH

SUBB A,R7

MOV R7,A

MOV 2AH,A

RET

DX: MOV DPTR,#PORTA

MOV A,R6

MOVX @DPTR,A

INC DPTR

MOV A,R7

ORL A,R2

MOVX @DPTR,A

ORL A,#00010000B

MOVX @DPTR,A

ANL A,#11101111B

MOVX @DPTR,A

RET

DTOA2:

CLR C

MOV A,R4

MOV DPTR,#INT\_TABLE

ADDC A,DPL

MOV DPL,A

MOV A,R5

ADDC A,DPH

MOV DPH,A

MOVX A.@DPTR

MOV R6,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 29H,A
LCALL X
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV R7,A
MOV 2AH,A
ORL A,R2
LCALL Y
ORL A,#00010000B
MOV DPTR,#PORTB
MOVX @DPTR,A
ANL A,#11101111B
MOVX @DPTR,A
RET
X:  PUSH DPH
    PUSH DPL
    MOV DPTR,#PORTA
    MOVX @DPTR,A
    POP DPL
    POP DPH
    RET
Y:  PUSH DPH
    PUSH DPL
    MOV DPTR,#PORTB
    MOVX @DPTR,A
    POP DPL
    POP DPH
    RET
ControlSpeed:
    MOV DPTR,#B0A3H
    MOV A,#92H
    MOVX @DPTR,A
LoopControl:
    MOV DPTR,#B0A0H
    MOVX A,@DPTR
    MOV B,#90
    MUL AB
    MOV ZBH,A
    MOV 2CH,B
ERROR: CLR C
    MOV A,13H
    SUBB A,2BH
    MOV A,14H
    SUBB A,2CH
    JC LOWER_LIMIT
    MOV A,13H
    XRL A,2BH
    JZ ZERO
    SJMP UPPER_LIMIT
ZERO: MOV A,14H

```

```

XRL A,2CH
JZ LoopCon
SJMP UPPER_LIMIT
LoopCon:MOV A,17H
INZ INT_CHANGE1
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL XDELAY
LCALL TESTBI
MOV PSW,#00H
SJMP LoopControl
INT_CHANGE1:
MOV 17H,#00H
LJMP TEST4Q
LOWER_LIMIT:
MOV A,R4
XRL A,#00H
JZ LOW
SJMP DECSPEED1
LOW: MOV A,R5
XRL A,#00H
JZ LoopCon
SJMP DECSPEED1
UPPER_LIMIT:
MOV A,R4
XRL A,#90H
JZ UP
SJMP INCSPEED1
UP: MOV A,R5
XRL A,#0BH
JZ LoopCon
SJMP INCSPEED1
DECSPEED1:
MOV A,17H
JNZ INT_CHANGE2
CLR C
MOV A,R4
SUBB A,#02H
MOV R4,A
MOV A,R5
SUBB A,#00H
MOV R5,A
LCALL DTOA2
LCALL XDELAY

```



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LCALL TESTBI
        MOV PSW,#00H
        LIMP LoopControl
INT_CHANGE2:
        MOV 17H,#00H
        LIMP TEST4Q
INCSPEED1:
        MOV A,17H
        JNZ INT_CHANGE3
        CLR C
        MOV A,R4
        ADDC A,#02H
        MOV R4,A
        MOV A,R5
        ADDC A,#00H
        MOV R5,A
        LCALL DTOA2
        LCALL XDELAY
        LCALL TESTBI
        MOV PSW,#00H
        LIMP LoopControl
INT_CHANGE3:
        MOV 17H,#00H
        LIMP TEST4Q
XDELAY: MOV R3,#5FH
XDELAY1:MOV R0,#7FH
XDELAY2:NOP
        DINZ R0,XDELAY2
        DINZ R3,XDELAY1
        RBT
TEST4Q:
        ;*****CHECK STOP COMMAND*****
        MOV PSW,#00H          ;USE REGISTER BANK 0
        MOV A,R2
        JZ GOTO_INIT1        ;INITIAL MOTOR STOP
        MOV A,22H
        CINE A,#00H,CHECK_CHG
        LIMP STOP
GOTO_INIT1:
        LIMP INIT
        ;*****CHECK COMMAND CHANGE*****
CHECK_CHG:
        MOV A,13H
        JZ JAY
        SJMP CHECK_CHG1
JAY: MOV A,14H
        JZ JMP_STOP1
        SJMP CHECK_CHG1
JMP_STOP1:
        LIMP STOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

SIMP REAL_DEC
GOTO_CTRLSPD2.
    LIMP ControlSpeed
REAL_DEC:
    LCALL STOP1
    LCALL LOOPSTOP2
    ;***INHIBIT CON***
    MOV DPTR,#PORTB
    MOV A,#0000000B
    MOVX @DPTR,A
CHECK_CURRENT1:
    MOV DPTR,#E0A1H           :MOVE CURRENT TO A
    MOVX A,@DPTR
    JZ CALL_CHGCON1
    LCALL DELAY
    SIMP CHECK_CURRENT1
CALL_CHGCON1:
    LCALL CURRENT_DELAY
    LCALL CHGCON
    LCALL DTOA2
    LIMP ControlSpeed
LOOPSTOP2:
CHEX_LWRLMT.
    MOV A,R4
    XRL A,#00H
    JZ DUCK
    SIMP LOOP_DEC
DUCK: MOV A,R5
    XRL A,#00H
    JZ THROW
    SIMP LOOPDEC
THROW: RET
LOOP_DEC:
    CLR C
    MOV A,R4
    SUBB A,#02H
    MOV R4,A
    MOV A,R5
    SUBB A,#00H
    MOV R5,A
    LCALL RODELAY
    LCALL DTOA1
    LCALL DX
    LCALL TESTBI
    MOV PSW,#00H
REALSP_IN:
    MOV DPTR,#E0A0H
    MOVX A,@DPTR
    MOV B,#30
    MUL AB

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV ZH,A
MOV ZCH,B
CHECK_VBLO:
CLR C
MOV A,13H
SUBB A,ZBH
MOV A,14H
SUBB A,ZCH
JC AGAIN_CHECK
SIMP LOOPSTOP2
AGAIN_CHECK:
LCALL DELAY
MOV DPTR,#E0A0H
MOVX A,@DPTR
MOV B,#30
MUL AB
MOV ZH,A
MOV ZCH,B
CHECK_VBLO1:
CLR C
MOV A,13H
SUBB A,ZBH
MOV A,14H
SUBB A,ZCH
JC CONTROLZY
SIMP LOOPSTOP2
CONTROLZY:
RET
PRESTOP:
LCALL STOP1
LCALL LOOPSTOP1
GONE_OUT:
RET
LOOPSTOP1:
CLR C
MOV A,R4
SUBB A,#02H
MOV R4,A
MOV A,R5
SUBB A,#00H
MOV R5,A
LCALL DTOA1
LCALL DX
LCALL TESTBI
MOV PSW,#00H
CHECK_90X:
MOV A,#00H

```

XRL A,R4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.Z CHECK_901X
SIMP LOOPSTOP1
CHECK_901X:
    MOV A,#00H
    XRL A,R5
    JZ CONTROL2F
    SIMP LOOPSTOP1
CONTROL2F:
    RET
;*****
STOP1:
;*****INHIBIT CON.*****
    MOV DPTR,#PORTB
    MOV A,#00000000B
    MOVX @DPTR,A
CHECK_CURRENT:
    MOV DPTR,#B0A1H
    MOVX A,@DPTR
    JZ CALL_CHGCON
    LCALL DELAY
    SIMP CHECK_CURRENT
CALL_CHGCON:
    LCALL CURRENT_DELAY
    LCALL CHGCON
    MOV R4,#B3H
    MOV R5,#0BH
    LCALL DTOA1
    MOV DPTR,#PORTA
    MOV A,R6
    MOVX @DPTR,A
    INC DPTR
    MOV A,R7
    MOVX @DPTR,A
    ORL A,#00010000B
    MOVX @DPTR,A
    ORL A,R2
    MOVX @DPTR,A
    ANL A,#11101111B
    MOVX @DPTR,A
    RET

```

```

CURRENT_DELAY:      :DELAY 20 MS

```

```

    MOV R3,#50H

```

```

CCDELAY1:

```

```

    MOV R0,#FFH

```

```

CCDELAY2:

```

```

    D.INZ R0,CCDELAY2

```

```

    D.INZ R3,CCDELAY1

```

```

    RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOOPSTOP:
    CLR C
    MOV A,R4
    SUBB A,#02H
    MOV R4,A
    MOV A,R5
    SUBB A,#00H
    MOV R5,A
    LCALL TESTEI
    MOV PSW,#00H
CHECK_REALSP:
    MOV DPTR,#E0A0H
    MOVX A,@DPTR
    CLR C
    SUBB A,#04H
    JC FEW_DELAY
    SJMP CHECK_90
FEW_DELAY:
    LCALL RODELAY
AGAIN_REAL:
    MOV DPTR,#E0A0H
    MOVX A,@DPTR
    CLR C
    SUBB A,#04H
    JC CONTROL2
CHECK_90:
    MOV A,#BAH
    XRL A,R4
    JZ CHECK_901
    LIMP SEND_OUT
CHECK_901:
    MOV A,#03H
    XRL A,R5
    JZ CONTROL2G
    SJMP SEND_OUT
SEND_OUT:
    LCALL RODELAY           :REGEN
    LCALL DTOA1
    LCALL DX
    LIMP LOOPSTOP
CONTROL2:
    LCALL DTOA1
    LCALL DX
    RET
CONTROL2G:
WAIT_OUT:
    MOV DPTR,#E0A0H
    MOVX A,@DPTR
    CLR C
    SUBB A,#0FH

```

```

JC CONTROLZX
LCALL TESTBI
MOV PSW,#00H
LCALL WETDELAY
LCALL WETDELAY
LCALL WETDELAY
LCALL WETDELAY
LCALL WETDELAY
LCALL WETDELAY
SIMP CONTROLZG
CONTROLZX:
MOV R6,#B8H
MOV R7,#0BH
LCALL D
RET
RDELAY: MOV R3,#07H
RDELAY1: MOV R0,#7FH
RDELAY2: NOP
DJNZ R0,RDELAY2
DJNZ R3,RDELAY1
RET
WETDELAY: MOV R3,#FFH
WETDELAY1: MOV R0,#FFH
WETDELAY2: DJNZ R0,WETDELAY2
DJNZ R3,WETDELAY1
RET
CHGCON:
MOV A,R2
CPL A
ANL A,#01100000B
MOV R2,A
RET
RST_LOOP:
MOV A,17H
INZ CHG_COMMAND
LCALL TESTBI
MOV PSW,#00H
LCALL REST_DELAY
SIMP REST_LOOP
CHG_COMMAND
MOV 17H,#00H
LIMP TEST4Q
REST_DELAY:
MOV R3,#FFH
REST_DELAY1:
MOV R0,#FFH
REST_DELAY2:
NOP
DJNZ R0,REST_DELAY2
DJNZ R3,REST_DELAY1
RET

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางโคไซน์

มีทั้งหมด 1500 ค่า โดยแต่ละค่าจะแสดงในรูปของเลขฐาน 16 และเก็บใน 2 แอคเตส โดยแต่ละค่าจะคำนวณจากสมการ

$$\text{ค่าในเลขฐาน 10} = \frac{1500}{90} \cos^{-1} (\text{ค่าความเร็วรอบในหน่วย RPM/1500})$$

เมื่อได้ค่าในเลขฐาน 10 แล้วจะนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นเลขฐาน 16 อีกครั้งหนึ่ง

\*\*\*\*\*COS TABLE\*\*\*\*\*

ORG 1000H

INIT\_TABLE:

DB DCH ;00..10

DB 05H

DB DBH

DB 05H

DB DAH

DB 05H

DB DAH

DB 05H

DB D9H

DB 05H

DB D8H

DB 05H

DB D8H

DB 05H

DB D7H

DB 05H

DB D6H

DB 05H

DB D6H

DB 05H

DB D5H

DB 05H

DB D4H ;11..20

DB 05H

DB D4H

DB 05H

DB D3H

DB 05H

DB D3H

DB 05H

DB D2H

DB 05H

DB D1H

DB 05H

DB D1H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 05H  
DB D0H  
DB 05H  
DB CFH  
DB 05H  
DB CFH  
DB 05H

.. :21..1490

..

..

..

DB 68H :1491...1500

DB 00H

DB 62H

DB 00H

DB 5CH

DB 00H

DB 55H

DB 00H

DB 4DH

DB 00H

DB 45H

DB 00H

DB 3CH

DB 00H

DB 31H

DB 00H

DB 22H

DB 00H

END\_TABLE:

DB 00H

DB 00H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

รายละเอียดของ ไอซีและอุปกรณ์ที่ใช้

# DMC202

• Display Format(20character ×2line) • Display Fonts(5×8dots) • Driving Method(1/4D)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

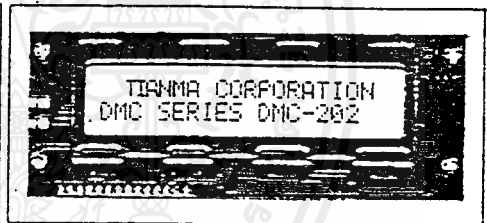
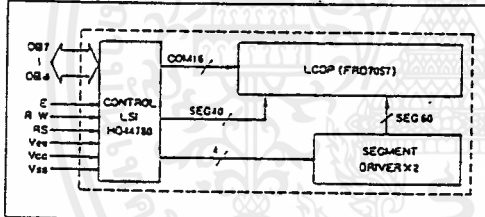
Item	Symbol	Test Condition	Standard Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Power Supply Voltage for Logic	V <sub>cc</sub> -V <sub>ss</sub>	—	0	—	7	V
Power Supply Voltage for LCD Drive	V <sub>cc</sub> -V <sub>ee</sub>	—	0	—	13.5	V
Input Voltage	V <sub>i</sub>	—	V <sub>ss</sub>	—	V <sub>cc</sub>	V
Operating Temperature	T <sub>a</sub>	—	0	—	+50	°C
Storage Temperature	T <sub>sig</sub>	—	-20	—	+70	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

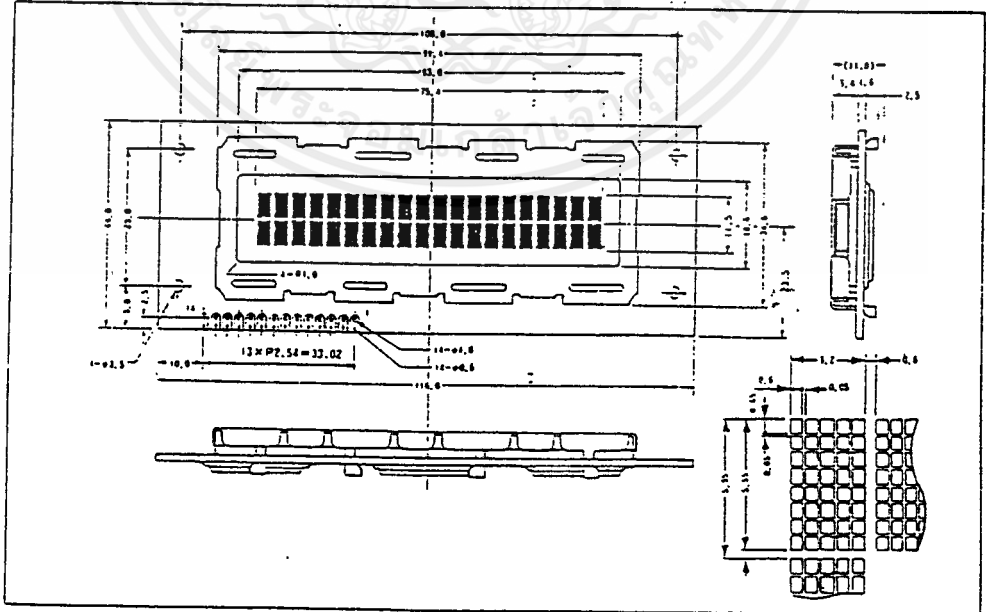
Item	Symbol	Test Condition	Standard Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Input "High" Voltage	V <sub>ih</sub>	—	2.2	—	V <sub>cc</sub>	V
Input "Low" Voltage	V <sub>il</sub>	—	-0.3	—	0.6	V
Output "High" Voltage	V <sub>oh</sub>	I <sub>o1</sub> =0.205mA	2.4	—	—	V
Output "Low" Voltage	V <sub>ol</sub>	I <sub>o1</sub> =1.2mA	—	—	0.4	V
Power Supply Current	I <sub>cc</sub>	V <sub>cc</sub> =5.0V	—	1.5	3.0	mA

■ V<sub>cc</sub>=5.0V ± 5%, T<sub>a</sub>=25°C

**Block diagram**



**External dimensions / Display pattern**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 54175/74175 Quadruple D-Type Flip-Flop with Clear

	Schottky TTL			High-Speed TTL			Low-Power Schottky TTL			Standard TTL			Low-Power TTL		
	Device Type	Package	Pin Count	Device Type	Package	Pin Count	Device Type	Package	Pin Count	Device Type	Package	Pin Count	Device Type	Package	Pin Count
T. L.	SN54S175	J1	W1	SN74S175	J1	W1	SN54LS175	J1	W1	SN74LS175	J1	W1	SN54175	J1	W1
FAIRCHILD	F054175	XD	FD	F074S175	XD	FD	F054LS175	XD	FD	F074LS175	XD	FD	F054175	XD	FD
MOTOROLA	MC74S175	XD	FD	MC74LS175	XD	FD	MC74LS175	XD	FD	MC74175	XD	FD	MC74175	XD	FD
N. S. C.	DM74S175			DM74LS175			DM74LS175			DM74175			DM74175		
PHILIPS	N74S175			N74LS175			N74LS175			N74175			N74175		
SIGNETICS	SS4S175			SS4LS175			SS4LS175			SS4175			SS4175		
SIEMENS	N74S175			N74LS175			N74LS175			N74175			N74175		
FUJITSU				74LS175			74LS175								
HITACHI	HO74S175			HO74LS175			HO74LS175			HO74175			HO74175		
MITSUBISHI	M55175			M74LS175			M74LS175			M53175			M53175		
NEC															
AMD	Am54S175			Am74S175			Am54LS175			Am74LS175			Am54175		

## Electrical Characteristics SN54174/SN74175

absolute maximum ratings over operating free-air temperature* range			
Supply voltage, $V_{CC}$	7V	Operating free-air temperature range	SN54 <sup>†</sup> -55°C to 125°C
Output voltage	7V	temperature range	SN74 <sup>†</sup> 0°C to 70°C
		Storage temperature range	-65°C to 150°C

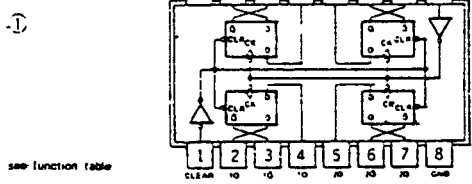
### recommended operating conditions

	SN54175		SN74175		UNIT		
	MIN	NOM	MAX	MIN		NOM	MAX
Supply voltage, $V_{CC}$	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, $I_{OH}$			-400			-400	$\mu$ A
Low-level output current, $I_{OL}$			4			8	mA
Clock frequency, $f_{clock}$	0		30	0		30	MHz
Width of clock or clear pulse, $t_w$	20		20			20	ns
Setup time, $t_{setup}$			20			20	ns
Data hold time, $t_{hold}$			25			25	ns
Clear hold time, $t_{hold}$			5			5	ns
Operating free-air temperature, $T_A$			-55			125	°C

### electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
$V_{IH}$	High-level input voltage		2		V
$V_{IL}$	Low-level input voltage		0.8		V
$V_I$	Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{IH} = -1 \text{ mA}$		-1.5	V
$V_{OH}$	High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V}$ , $I_{OH} = 0.1 \text{ V}$ , $I_{OL} = -400 \mu\text{A}$	2.7	3.5	V
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $V_{IH} = 2 \text{ V}$ , $I_{OH} = 0.1 \text{ V}$ , $I_{OL} = 8 \text{ mA}$	0.35	0.5	V
$I_I$	Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 7 \text{ V}$		0.1	mA
$I_{IH}$	High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 2.7 \text{ V}$		20	$\mu$ A
$I_{IL}$	Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_I = 0.4 \text{ V}$		-0.4	mA
$I_{OS}$	Short-circuit output current @ $V_{CC} = \text{MAX}$	SN54LS	-20	-100	mA
		SN74LS	-20	-100	mA
$I_{CC}$	Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$ , See Note	11	18	mA
$f_{max}$	Maximum clock frequency	$V_{CC} = 5 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	30	MHz
$t_{PLH}$	from clear	$C_L = 15 \text{ pF}$ , $R_L = 2 \text{ k}\Omega$	16	25	ns
$t_{PHL}$	from clear		23	35	ns
$t_{MHL}$	from clock		20	30	ns
$t_{MHL}$	from clock		21	30	ns

### Pin Assignment (Top View)



Relative logic: see function table

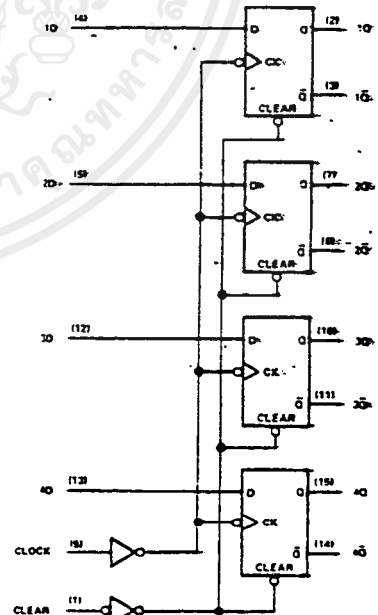
## Function Table

175, 175, 175, 175 (EACH FLIP-FLOP)

INPUTS		OUTPUTS	
CLEAR	CLOCK	D	Q
L	X	X	L
H	.	H	L
H	.	L	L
H	L	X	Q <sub>0</sub>

H = high level (steady state)  
L = low level (steady state)  
X = irrelevant  
. = transition from low to high level  
Q<sub>0</sub> = the level of Q before the indicated steady-state input conditions were established.

## Functional Block Diagram



175, 175, 175, 175 QUADRUPLE D-TYPE FLIP-FLOP  
NOTE: With all outputs open and 4.5 V applied to all data and clear inputs,  $V_{CC}$  is increased after a momentary ground, then 4.5 V is applied to clock.

\* For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.  
† All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .  
‡ Not more than one output should be shorted at a time.  
§  $t_{PLH}$  = propagation delay time, low-to-high level output.  
¶  $t_{PHL}$  = propagation delay time, high-to-low level output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/74273 Octal D-Type Flip-Flop with Clear

	Schottky TTL		High-Speed TTL		Low-Power Schottky TTL		Standard TTL		Low-Power TTL	
	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package
		CIP'M'CF		CIP'M'CF		CIP'M'CF		CIP'M'CF		CIP'M'CF
AL	SN74LS273	N:D1			SN74LS273	J L'N71	SN74273	J D N:01		
BRCHILD										
OTOROLA										
S. C.										
ILIPS					N74LS273	P				
ENETICS										
EMENS										
QITSU										
TACHI										
TSUBISHI					M74LS273	P F				
EC										
OSHIBA										

Electrical Characteristics / SN74LS273

Absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, $V_{CC}$	7V	Operating free-air temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
Output voltage	TV	Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

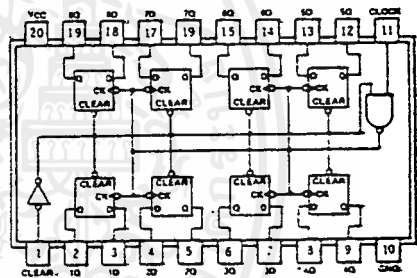
PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$	4.75	5	5.25	V
High-level output current, $I_{OH}$			-400	$\mu$ A
Low-level output current, $I_{OL}$			8	mA
Clock frequency, $f_{clock}$	0		30	kHz
Width of clock or clear pulse, $t_w$		20		ns
Setup time, $t_{setup}$		25		ns
Hold time, $t_{hold}$		5		ns
Operating free-air temperature, $T_A$	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
$V_{IH}$	High-level input voltage	2			V
$V_{IL}$	Low-level input voltage			0.8	V
$V_{ICL}$	Input clamp voltage	$V_{CC} + MIN.$ , $I_I = 18mA$		-1.5	V
$V_{OH}$	High-level output voltage	$V_{CC} + MIN.$ , $V_{IH} = 2V$ , $V_O = 0.5V$ , $I_{OH} = -400\mu A$	2.7	3.4	V
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$V_{CC} + MIN.$ , $V_{IH} = 2V$ , $V_O = 0.5V$ , $I_{OL} = 8mA$	0.35	0.5	V
$I_{OH}$	Output current at maximum output voltage	$V_{CC} + MAX.$ , $V_I = 7V$		0.1	mA
$I_{OL}$	Output current at minimum output voltage	$V_{CC} + MAX.$ , $V_I = 2.7V$		20	$\mu$ A
$I_{OH}$	Low-level output current	$V_{CC} + MAX.$ , $V_I = 0.4V$		-0.4	mA
$I_{SC}$	Short-circuit output current	$V_{CC} + MAX.$	-20	-100	mA
$I_{CC}$	Supply current	$V_{CC} + MAX.$ , See Note	17	27	mA
$f_{max}$	Maximum clock frequency	$V_{CC} = 5V$ , $T_A = 25°C$	30	30	MHz
$t_{PLH}$	Output delay from clear	$C_L = 150pF$	18	27	ns
$t_{PLH}$	Output delay from clock	$R_L = 2k\Omega$	17	27	ns
$t_{PLH}$	Output delay from clock		18	27	ns

NOTE: With all outputs open and 4.5V applied to all data and clear inputs,  $I_{CC}$  is measured after a momentary ground, then 4.5V is applied to clock.

Pin Assignment (Top view)



positive logic; see function table

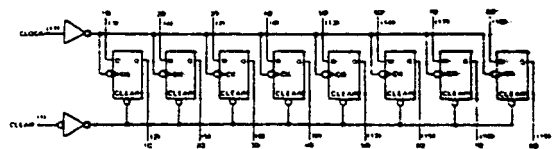
Function Table

\*273 (EACH FILP-FLOP)

INPUTS		OUTPUT	
CLEAR	CLOCK	D	Q
L	X	X	L
H	↑	H	H
H	↑	L	L
H	L	X	$Q_0$

H = high level (steady state)  
 L = low level (steady state)  
 X = irrelevant  
 ↑ = transition from low to high level  
 $Q_0$  = the level of Q before the indicated steady-state input conditions were established

Functional Block Diagram



273 OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH CLEAR

- \* The arrow indicates that the rising edge of the clock pulse is used for reference.
- † For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
- ‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5V$ ,  $T_A = 25°C$ .
- § Not more than one output should be shorted at a time.
- ¶  $t_{PLH}$  = propagation delay time, low-to-high-level output
- ‡  $t_{PLH}$  = propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# CMOS 12-Bit Monolithic Multiplying DAC

## AD7541

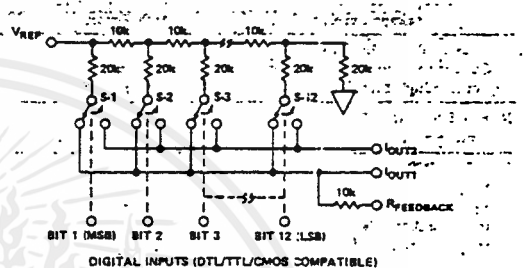
### FEATURES

- Full Four Quadrant Multiplication
- 12-Bit Linearity ( $\pm 1/2$ LSB)
- Pretrimmed Gain
- TTL/CMOS Compatible
- Low Power Consumption
- Low Feedthrough Error
- Low Cost

### APPLICATIONS

- Digital/Synchro Conversion
- Programmable Amplifiers
- Ratiometric A/D Conversion
- Function Generation
- AD7541A Recommended for New Designs

### AD7541 FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

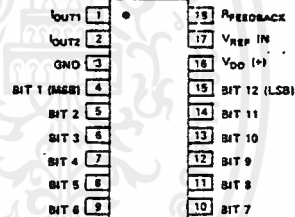


DIGITAL INPUTS (DTL/TTL/CMOS COMPATIBLE)

Logic: A switch is closed to  $V_{REF}$  for its digital input in a "HIGH" state.

### PIN CONFIGURATION

TOP VIEW  
(NOT TO SCALE)



### GENERAL DESCRIPTION

The Analog Devices AD7541 is a low cost, high performance 12-bit monolithic multiplying digital-to-analog converter fabricated using advanced double-layer-metal CMOS technology and packaged in a standard 18-pin DIP.

Pin compatible with the AD7521, this new device uses laser wafer trimming to provide full 12-bit linearity and excellent absolute accuracy.

The inherently low power dissipation, coupled with the current switching R-2R ladder, ensures that the performance is maintained over the full temperature range.

### ORDERING INFORMATION

Nonlinearity	Temperature Range and Package		
	Plastic 0 to +70°C	Ceramic -25°C to +85°C	Ceramic -55°C to +125°C
0.02%	AD7541JN	AD7541AD	AD7541SD
0.01%	AD7541KN	AD7541BD	AD7541TD

### PACKAGE IDENTIFICATION<sup>1</sup>

Suffix "D": Ceramic DIP (D18B)

Suffix "N": Plastic DIP (N18B)

<sup>1</sup> See Section 19 for package outline information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPECIFICATIONS (V<sub>DD</sub> = 15V, V<sub>REF</sub> = +10V unless otherwise noted)

PARAMETER	TA = +25°C	TA = min-max	TEST CONDITION
<b>STATIC ACCURACY</b>			
Resolution	12 Bits min	12 Bits min	
Nonlinearity	±1LSB max	±1LSB max	V <sub>OUT1</sub> = V <sub>OUT2</sub> = 0V
AD7541JN, AD7541AD, AD7541SD <sup>1</sup>	±1/2LSB max	±1/2LSB max	
AD7541KN, AD7541BD, AD7541TD <sup>2</sup>	±16.7LSB max	±16.7LSB max	
Gain Error	±0.01% per % max	±0.02% per % max	
Power Supply Rejection	±50nA max	±200nA max	V <sub>DD</sub> = 14.5V - 15.5V
Output Leakage Current			V <sub>REF</sub> = ±10V
<b>DYNAMIC PERFORMANCE</b>			
Output Current Settling Time <sup>3</sup>	1μs max	1μs max	To ±1/2LSB of Full Scale Range
Feedthrough Error <sup>4</sup>	1mV p-p max	1mV p-p max	V <sub>REF</sub> = 20V p-p @ 10kHz
<b>REFERENCE INPUT</b>			
Input Resistance	5kΩ min, 20kΩ max	5kΩ min, 20kΩ max	
<b>DIGITAL INPUTS</b>			
V <sub>DH</sub>	2.4V min	2.4V min	
V <sub>NL</sub>	0.8V max	0.8V max	
Input Leakage Current	±1μA max	±1μA max	V <sub>IN</sub> = 0 or 15V
Input Capacitance <sup>5</sup>	8pF max	8pF max	
Input Coding	Binary or Offset Binary (see Page 5)		
<b>ANALOG OUTPUTS</b>			
Output Capacitance <sup>6</sup>			
C <sub>OUT1</sub>	200pF max	200pF max	Digital Inputs = V <sub>DH</sub>
C <sub>OUT2</sub>	60pF max	60pF max	Digital Inputs = V <sub>NL</sub>
C <sub>OUT1</sub>	60pF max	60pF max	Digital Inputs = V <sub>NL</sub>
C <sub>OUT2</sub>	200pF max	200pF max	
<b>POWER REQUIREMENTS</b>			
V <sub>DD</sub> Range	+5V min, +16V max	+5V min, +16V max	Accuracy is not guaranteed over this range.
I <sub>DD</sub>	2mA max	2mA max	Digital Inputs = V <sub>DH</sub> or V <sub>NL</sub>

## NOTES

- J, A and S versions are monotonic to 11 bits.
- K, B and T versions are monotonic to 12 bits.
- Using internal feedback resistor.
- Max gain change from +25°C to T<sub>min</sub> or T<sub>max</sub> is ±4.2LSB max.
- Guaranteed by design, not subject to test.
- Specifications subject to change without notice.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(T<sub>A</sub> = +25°C unless otherwise noted)

V <sub>DD</sub> (to GND)	+17V
V <sub>REF</sub> (to GND)	±25V
Digital Input Voltage Range	V <sub>DD</sub> to GND
Output Voltage (Pin 1, Pin 2)	-0.3V to V <sub>DD</sub>
Power Dissipation (Package)	
Up to +75°C	450mW
Derate above +75°C by	6mW/°C
Operating Temperature	
JN, KN Versions	0 to +70°C
AD, BD Versions	-25°C to +85°C
SD, TD Versions	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C

## CAUTION

- Do not apply voltages higher than V<sub>DD</sub> or less than GND potential on any terminal except V<sub>REF</sub>.
- The digital control inputs are zener protected; however permanent damage may occur on unconnected units under high energy electrostatic fields. Keep unused inputs in conductive foam at all times.

## SPECIFICATION DEFINITIONS

- RESOLUTION:** Value of the LSB. For example, a unipolar converter with n bits has a resolution of (2<sup>-n</sup>)(V<sub>REF</sub>). A bipolar converter of n bits has a resolution of [2<sup>-(n-1)</sup>][V<sub>REF</sub>]. Resolution in no way implies linearity.
- SETTLING TIME:** Time required for the output function of the DAC to settle to within 1/2 LSB for a given digital input stimulus, i.e., 0 to Full Scale.
- GAIN:** Ratio of the DAC's operational amplifier output voltage to the input voltage.
- FEEDTHROUGH ERROR:** Error caused by capacitive coupling from V<sub>REF</sub> to output with all switches OFF.
- OUTPUT CAPACITANCE:** Capacity from I<sub>OUT1</sub> and I<sub>OUT2</sub> terminals to ground.
- OUTPUT LEAKAGE CURRENT:** Current which appears on I<sub>OUT1</sub> terminal with all digital inputs LOW or on I<sub>OUT2</sub> terminal when all inputs are HIGH.

**TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

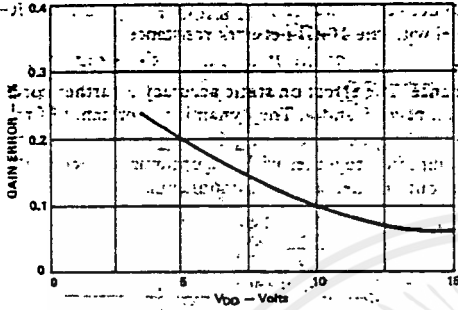


Figure 1. Gain Error vs. Supply Voltage

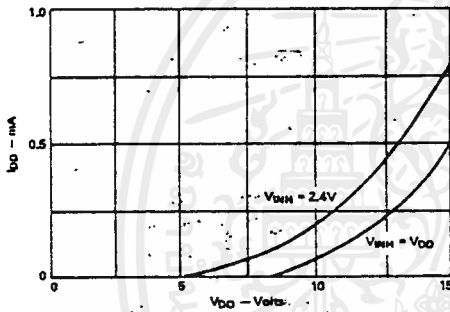


Figure 2. Supply Current vs. Supply Voltage

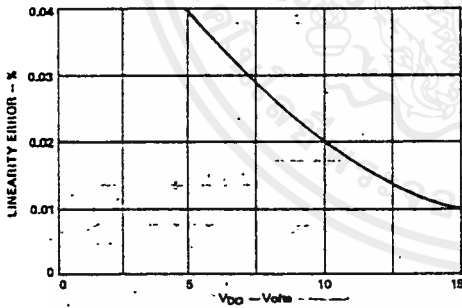


Figure 3. Linearity Error vs. Supply Voltage

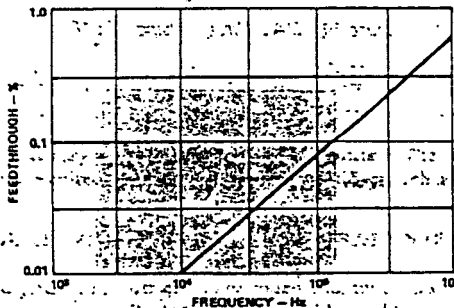


Figure 4. Feedthrough Error vs. Frequency

**APPLICATION HINTS**

Linearity depends upon the potential of  $I_{OUT1}$  and  $I_{OUT2}$  (pin 1 and pin 2) being exactly equal to GND (pin 3) and the output amplifiers non-inverting (+) input. Careful PC board layout and adjustment and selection of the amplifiers offset voltage and bias current is necessary.

The input structures of some high speed operational amplifiers can attempt to draw substantial current during switch-on. Schottky diodes should be used in these circumstances to prevent the absolute maximum rating for  $V_{OUT1}$  and  $V_{OUT2}$  being exceeded.

The power supply should be carefully checked for noise, which would affect performance, and overshoot which could damage the device.

Unused digital inputs must always be grounded or taken to  $V_{DD}$  to ensure correct operation. Particular care should be taken when digital inputs are routed to another PC card. It is recommended that inputs open-circuited when PC cards are disconnected be taken to  $V_{DD}$  or GND via high value ( $1M\Omega$ ) resistors to prevent the accumulation of static charges.

**CIRCUIT DESCRIPTION**

**GENERAL CIRCUIT INFORMATION**

The AD7541, a 12-bit multiplying D/A converter, consists of a highly stable thin film R-2R ladder and twelve CMOS current switches on a monolithic chip. Most applications require the addition of only an output operational amplifier and a voltage or current reference.

The simplified D/A circuit is shown in Figure 5. An inverted R-2R ladder structure is used — that is, the binary weighted currents are switched between the  $I_{OUT1}$  and  $I_{OUT2}$  bus lines, thus maintaining a constant current in each ladder leg independent of the switch state.

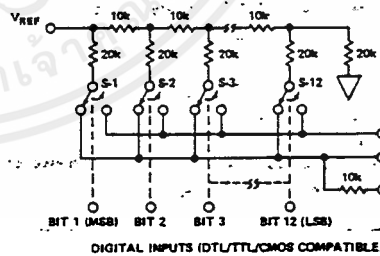


Figure 5. AD7541 Functional Diagram (Inputs "HIGH")

One of the CMOS current switches is shown in Figure 6. The geometries of devices 1, 2 and 3 are optimized to make the digital control inputs DTL/TTL/CMOS compatible over the full military temperature range. The input stage drives two inverters (devices 4, 5, 6 and 7) which in turn drive the two output N-channels. The "ON" resistances of the switches are binary scaled so the voltage drop across each switch is the same. For example, switch 1 of Figure 6 was designed for an "ON" resistance of 10 ohms, switch 2 of 20 ohms and so on. For a 10V reference input, the current through switch 1 is 0.5mA, the current through switch 2 is 0.25mA, and so on.

thus maintaining a constant 5mV drop across each switch. It is essential that each switch voltage drop be equal if the binary weighted current division property of the ladder is to be maintained.

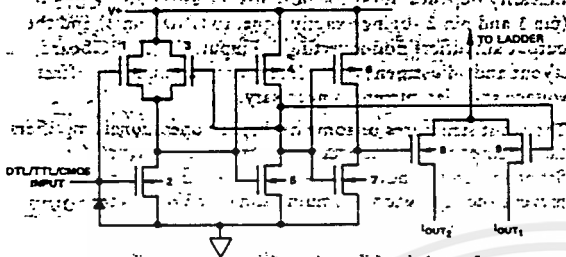


Figure 6. CMOS Switch

**EQUIVALENT CIRCUIT ANALYSIS**

The equivalent circuits for all digital inputs high and all digital inputs low are shown in Figures 7 and 8. In Figure 7 with all digital inputs low, the reference current is switched to  $I_{OUT2}$ . The current source  $I_{LEAKAGE}$  is composed of surface and junction leakages to the substrate while the  $1/4096$  current source represents a constant 1-bit current drain through the

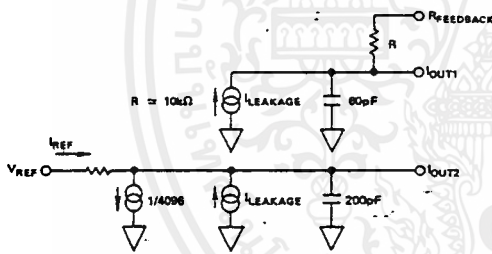


Figure 7. AD7541 Equivalent Circuit - All Digital Inputs Low

termination resistor on the R-2R ladder. The "ON" capacitance of the output N-channel switch is 200pF, as shown on the  $I_{OUT2}$  terminal. Analysis of the circuit for all digital inputs high, as shown in Figure 8, is similar to Figure 7; however, the "ON" switches are now on terminal  $I_{OUT1}$ , hence the 200pF at that terminal.

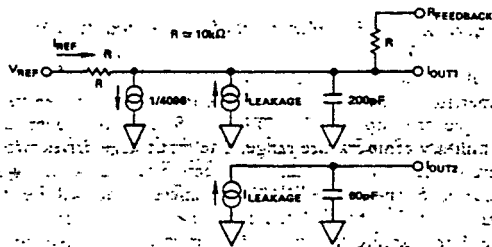


Figure 8. AD7541 Equivalent Circuit - All Digital Inputs High

**DYNAMIC PERFORMANCE**

**OUTPUT IMPEDANCE**

The preceding circuit analysis shows that the output capacitance is dependent upon the digital code, as is the output resistance. Looking back into  $I_{OUT1}$  the resistance seen is anything between  $10k\Omega$  ( $R_{FEEDBACK}$  alone) and  $5k\Omega$  ( $R_{FB}$  in parallel with the  $10k\Omega$  network resistance).

This variation affects both static accuracy and dynamic performance. The effect on static accuracy is further considered on pages 5 and 6. The dynamic performance of the AD7541 will depend upon the gain and phase stability of the output amplifier, together with the optimum choice of PC board layout and decoupling components.

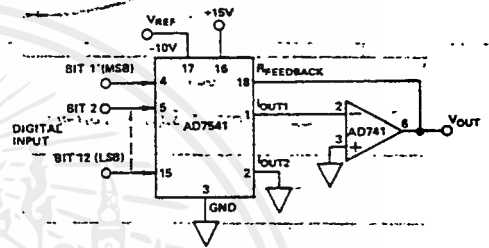


Figure 9. DAC Circuit Using AD741K

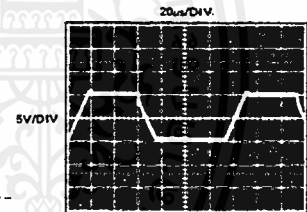


Figure 10. Output Waveform

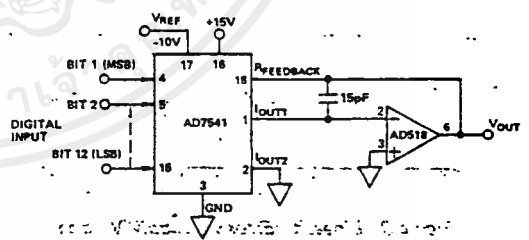


Figure 11. DAC Circuit Using AD518K

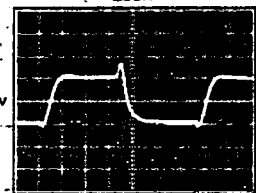


Figure 12. Output Waveform

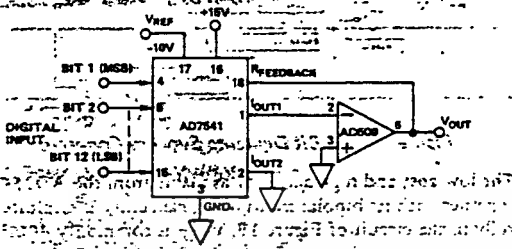


Figure 13. DAC Circuit Using AD509K

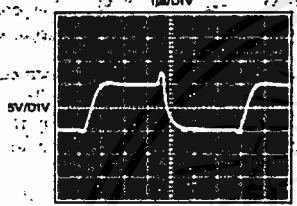


Figure 14. Output Waveform

The circuits and waveforms shown in Figures 9 to 14 are representative of the three principal types of output amplifiers. A general purpose low drift (AD741K), a high speed low cost (AD518), and a fast settling unit (AD509).

Points to remember when applying high speed amplifiers include:

1. Protection diodes as shown in Figures 15 and 16.
2. Phase compensation for the DAC's output capacitance.
3. Power supply decoupling and correct load earthing.

**APPLICATIONS**

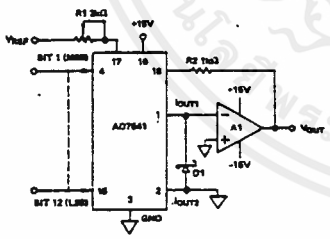


Figure 15. Unipolar Binary Operation

**UNIPOLAR BINARY OPERATION (Figure 15)**

The connections required for unipolar digital binary operation are shown above.  $V_{REF}$  may be positive or negative so 2-quadrant multiplication may be performed. Schottky diode D1 (HP 5082-2811 or equivalent) prevents  $I_{OUT1}$  from negative excursions which could damage the device. This precaution is only necessary with certain high speed amplifiers. The diodes are not required when using TRI-FET amplifiers such as the AD542 or AD544.

**BIPOLAR (4-QUADRANT) BINARY OPERATION (Figure 16)**

The digital input is offset binary coded and multiplies  $V_{REF}$  according to Table II. Resistors R3 and R4 should be equal within 0.1% at all temperatures, but need not track the re-

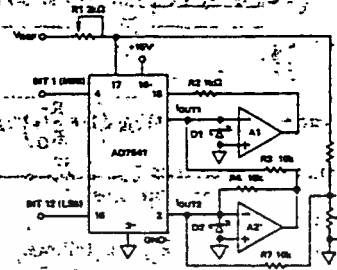


Figure 16. Bipolar (4-Quadrant) Binary Operation

sistors within the AD7541. D1 and D2 perform the same function as in Figure 15. Network R5, R6, R7 sum  $1/2LSB$  of current into  $I_{OUT2}$  to ensure correct coding at zero.

R1 can be adjusted to produce the outputs shown in Table I. However, it is recommended that when the application permits it, R1 and R2 be omitted. The maximum gain error in this condition is 0.3% of full scale. The offset voltage of amplifier A1 should be adjusted to less than 0.5mV over the temperature range.

DIGITAL INPUT	NOMINAL ANALOG OUTPUT
111111111111	-0.99975 $V_{REF}$
100000000000	-0.50000 $V_{REF}$
011111111111	-0.49975 $V_{REF}$
000000000000	0

Table I. Code Table for Circuit of Figure 15

DIGITAL INPUT	NOMINAL ANALOG OUTPUT
111111111111	-0.99951 $V_{REF}$
100000000001	-0.00049 $V_{REF}$
100000000000	0
010000000000	+0.50000 $V_{REF}$
000000000000	+1.00000 $V_{REF}$

Table II. Code Table for Circuit of Figure 16

Amplifiers A1 and A2 should be adjusted to an input offset of less than 0.1mV and should be better than 0.5mV over the temperature range. With  $V_{REF}$  set to approximately 10V, R5 should be adjusted so that with code 10000000000  $V_{OUT} = 0V \pm 0.2mV$ . R1 should be adjusted so that with code 00000000000  $V_{OUT} = V_{REF}$ . As with the unipolar circuit R1 and R2 can be omitted, with a resulting maximum gain error of 0.3% of full scale. R5 may be replaced by a 100Ω fixed resistor. The maximum zero error if this is done is 0.015% of F.S.R.

## กิตติกรรมประกาศ

### ขอขอบคุณ

รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ และ อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์

อ.สมภพ ผลไม้

อ.ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน

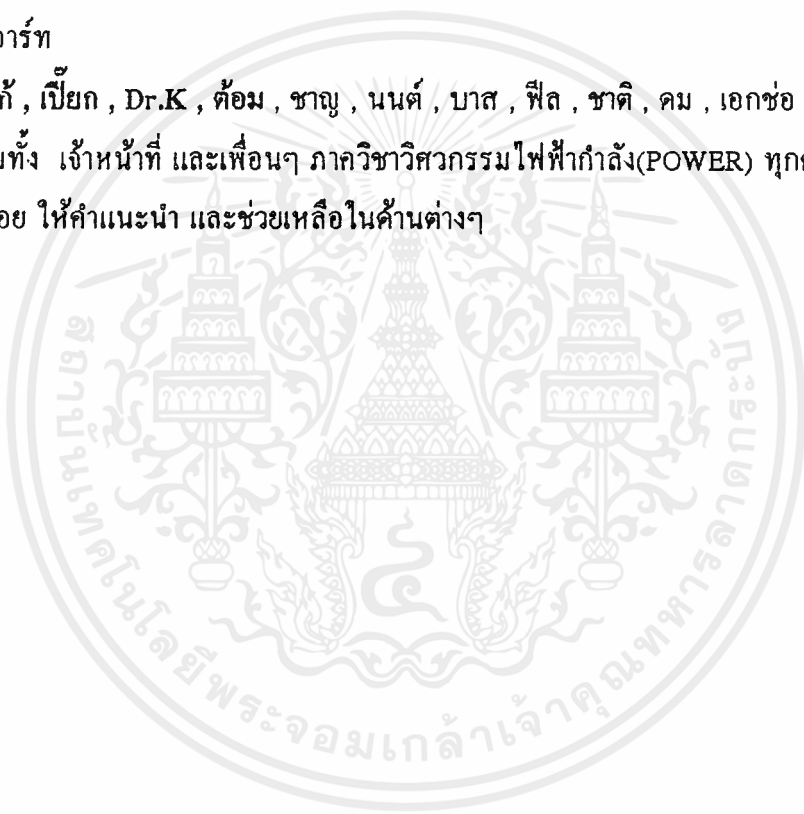
คุณ สุรวีร์ บัณชุกุล

พี่ อาร์ท

โกโก้ , เปี้ยก , Dr.K , ต้อม , ชาญ , นนต์ , บาส , ฟิล , ซาติ , คม , เอกช่อ , เต๋า , อุ๋น

รวมทั้ง เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง(POWER) ทุกคน

ที่คอย ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ



## เอกสารอ้างอิง

- [1] M. A. Nadkarni and S. Ramesh Bhat, "Pulse Transformer Design and Fabrication", Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1985.
- [2] Robert Boylestad, "Electronic Device and Circuit Theory", 5th ed., Prentice-Hall, Singapore, 1992.
- [3] Stephen R. Fleeman, "Electronic Device Discrete and Integrated", Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
- [4] Gopal K. Dubey, "Power Semiconductor Controlled Drives", Prentice-Hall, Singapore, 1990.
- [5] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, "Power Electronics : Converters, Applications, and Design", Jonh Wiley & Sons, Singapore, 1989.
- [6] "คู่มือ Mcs-51 Microcontroller", บริษัท อีทีที จำกัด.
- [7] ทีมงานอีทีที, "คู่มือ ET-8032 V2.0 Mcs-51 Single Board Microcontroller", บริษัท อีทีที จำกัด.
- [8] "คู่มือ/เทียบเบอร์ ไอซี TTL", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.