



ปีการศึกษา 2535

การควบคุมตำแหน่ง ของ ดี ซี เซอร์โวมอเตอร์
ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

(DC SERVO MOTOR CONTROLLER BY MICROPROCESSOR)



อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032639

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

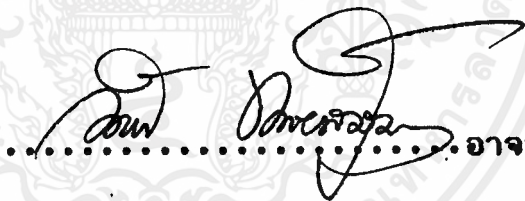
ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมตำแหน่ง ของ ดี ซี เซอร์โวมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

ผู้จัดทำ

1. นาย เศรษฐี นาวาผล 34161206
2. นาย ประพนธ์ ภู่น้อย 34161215

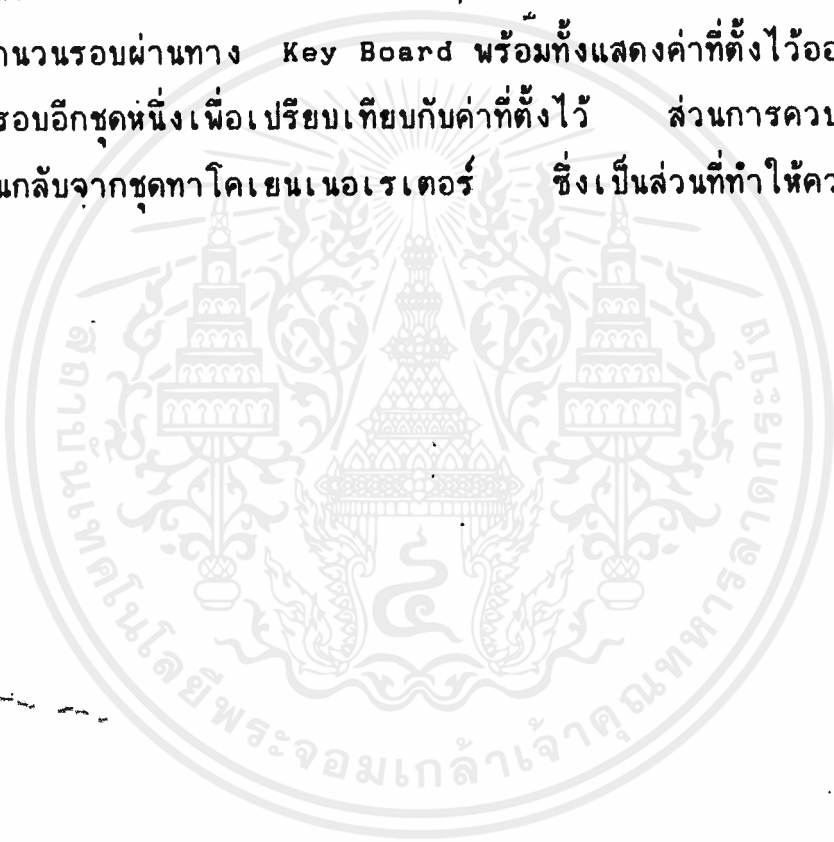


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วิชา ทิพย์สุวรรณพร)

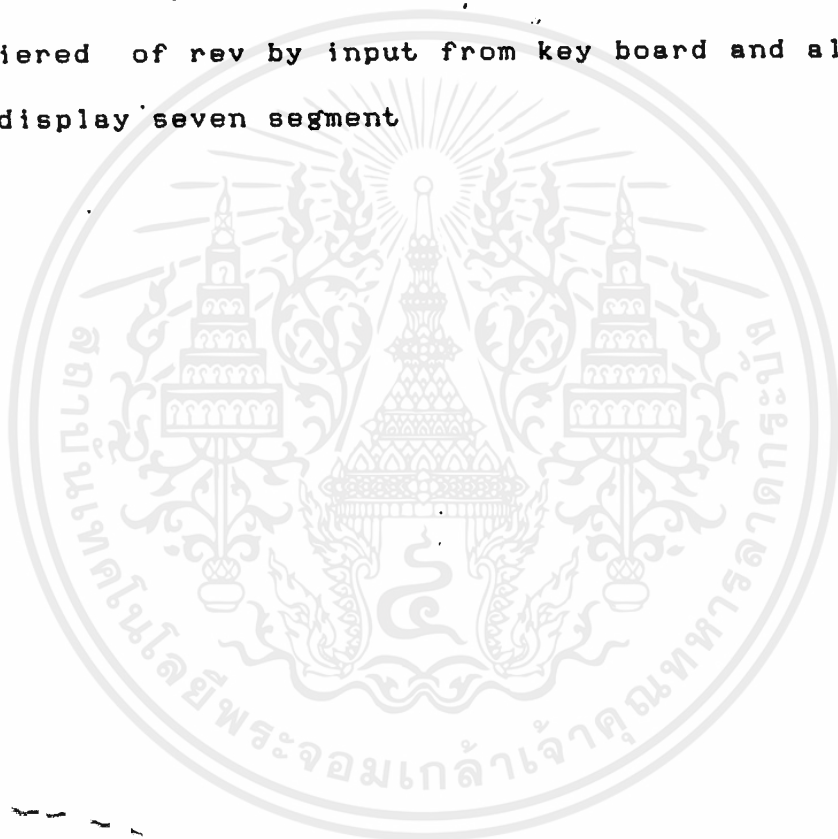
บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึงการควบคุมเซอร์ไวโมเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ในโครงการนี้เป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็วรอบของเซอร์ไวโมเตอร์ โดยสามารถควบคุมตำแหน่งของเพลลาของมอเตอร์ได้ โดยอาศัยสัญญาณที่ป้อนกลับมาจากชุดเอนโคเดอร์ ส่งเข้าไปประมวลผลในไมโครโปรเซสเซอร์ โดยใช้ CPU เบอร์ Z-80 โดยสามารถกำหนดตำแหน่งหรือจำนวนรอบผ่านทาง Key Board พร้อมทั้งแสดงค่าที่ตั้งไว้ผ่านทาง 7 Segment และมีตัวนับจำนวนรอบอีกชุดหนึ่งเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ส่วนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นใช้การป้อนกลับจากชุดทาคูเอนเนอเรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ความเร็วของมอเตอร์มีเสถียรภาพ



ABSTRACT

This thesis describes a designing of dc . motor controller circuit by microprocessor. It consists of position control and speed control by using the signal condition from encoder and tacho generator devices which to be processed and calculate by CPU # Z-80 . It can be set the desired of rev by input from key board and also monitor the set value at display seven segment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ

บทที่	หน้าที่
1. บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ลำดับขั้นการดำเนินงาน	2
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	4
2.1 คำนำ	4
2.2 เซอร์โวมอเตอร์	4
2.3 ทาโคเซนเนอเรเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์	5
2.4 ลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ	10
3. ขั้นตอนการออกแบบ	24
3.1 คำนำ	24
3.2 ลำดับการทำงานของวงจรรวม	24
3.3 ภาคลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟร์	28
3.4 ภาควงจรมอเตอร์	36
3.5 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	
4. ภาคไมโครโปรเซสเซอร์	39
1. ฮาร์ดแวร์	39
2. หน่วยความจำ	40
3. PORT	41
4. MS1, MS2	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	หน้าที่
5. TX, RX, INT	43
6. KEY BORAD	44
7. MEMMORY MAP ADDRESS	44
การพัฒนาโปรแกรม	45
การสร้างโปรแกรม	46
การทำงานของโปรแกรม	47
5. ผลการทดลอง	48
5.1 คำนำ	48
5.2 การทดสอบชุดขับเซอร์โวมอเตอร์	48
6. สรุปผล	63
6.1 คำนำ	63
6.2 สรุปผลที่ได้จากโครงงาน	63
6.3 อุปสรรคที่พบในโครงงาน	64
6.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงงาน	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	67

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ทางกลต่าง ๆ นั้นโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง ซึ่งแต่ละงานก็จะมีารควบคุมค่าต่าง ๆ ให้มอเตอร์ผลิตงานให้เราได้ทำตามที่ต้องการ ค่าต่าง ๆ ที่ถูกควบคุมได้แก่ ความเร็วรอบ แรงบิด และตำแหน่งในการหมุน หรือจำนวนรอบของการหมุน มอเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์กระแสตรง เพราะเนื่องจากควบคุมความเร็วรอบได้ง่าย และให้แรงบิดที่ดีกว่า

ในการควบคุมมอเตอร์ทำงานได้ตามค่าที่ต้องการนั้น ที่ตัวมอเตอร์จะมีตัวตรวจจับ (SENSORS) ซึ่งจะเป็นตัวตรวจจับค่าที่เราควบคุมออกมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ตัวตรวจจับดังกล่าวได้แก่ ทาโคเจนเนอร์เรเตอร์ , อินคริमेंท์ เอนโคเดอร์ , โปรเพนซิโอมิเตอร์ มอเตอร์ที่มีอุปกรณ์ตรวจจับดังกล่าว แล้วนำสัญญาณนั้นป้อนกลับเข้ามาเพื่อการควบคุมเรียกว่าเซอร์โวมอเตอร์

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในลักษณะสัญญาณดิจิทัล และประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ โดยจะควบคุมตำแหน่งการหมุนของเพลลาที่โรเตอร์และใช้ตัวตรวจจับชนิด อินคริเมนต์ เหตุที่เลือกใช้ตัวตรวจจับชนิดนี้ก็เพราะว่า มันจะให้สัญญาณพัลส์ออกมาแปรผันตรงกับตำแหน่งมุมเป็นองศา หรือรอบในการหมุน ซึ่งเราสามารถนำสัญญาณนี้เข้าไปประมวลผลในไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยตรง

ในปัจจุบันอุปกรณ์ทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์มีราคาถูกลงกล่าวเดิมมากและมีข้อดีคือมีความเร็วสูงในการตรวจจับ และสามารถประมวลผลที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เราจึงเลือกเอาไมโครโปรเซสเซอร์เป็นภาคควบคุมการทำงาน และประมวลผล

สรุปได้ว่าโครงงานนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อไปสำหรับผู้ที่กำลังศึกษาเซอร์โวมอเตอร์และลักษณะของการควบคุมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในลักษณะที่ต้องการการเคลื่อนที่เป็นขั้นๆ ตามตำแหน่งที่แน่นอนและมีแรงบิดในการขับโหลดได้ดี หรืออาจจะพัฒนาให้สามารถควบคุมแรงบิดให้คงที่ที่ค่าโหลดต่าง ๆ ได้ต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 พัฒนาการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงในเรื่องของตำแหน่งการเคลื่อนที่เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปสำหรับการพัฒนา และประยุกต์ใช้
- 1.1.2 ศึกษาและพัฒนากำหนดอาร์คแวร์ของไมโครโปรเซสเซอร์ มาใช้ในงานจริง โดยผ่านอุปกรณ์อินเตอร์เฟส
- 1.1.3 สร้างโปรแกรม ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ได้ตามที่ต้องการ การแสดงผล และการป้องกันข้อมูล
- 1.1.4 แก้ปัญหาในส่วนของการหยุดหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ ณ.ตำแหน่งที่ต้องการ

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- 1.2.1 เซอร์โวมอเตอร์หมุนซ้าย - ขวา ได้ ตามรอบที่ต้องการ โดยค่าที่ตั้งได้สูงสุดคือ 9999 รอบ โดยสั่งให้หมุนซ้าย หรือหมุนขวาก็ได้
- 1.2.2 การโปรแกรมทำได้โดยการกดคีย์บอร์ด และแสดงผลค่าที่ตั้งไว้เป็นตัวเลข - จิตอล
- 1.2.3 มีชุดแสดงผลอีกชุดหนึ่งแสดงการนับรอบ และแสดงทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ขณะที่กำลังทำงาน
- 1.2.4 สามารถยกเลิกการทำงานให้เซอร์โวมอเตอร์หยุดได้ทันที

1.3 ลำดับขั้นการดำเนินงาน

1.3.1 ขั้นตอนที่ 1

ศึกษารายละเอียด ส่วนประกอบ โครงสร้าง และการทำงานของ DC SERVOMOTOR ชุด ENCODER และ TACHO GENERATOR โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ออกมาเป็นกราฟ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบวงจรควบคุมต่อไป

1.3.2 ขั้นตอนที่ 2

ออกแบบชุดขับเพาเวอร์แอมป์ไฟ ซึ่งได้เลือกใช้ชนิดที่สามารถควบคุมมอเตอร์ได้ 4

ควอดแครนท์

1.3.3 ขั้นตอนที่ 3

ออกแบบชุดวงจรนับ วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก และวงจรขยายสัญญาณชนิดต่าง ๆ

1.3.4 ขั้นตอนที่ 4

ทดสอบการทำงาน โดยประกอบชุดขับเพาเวอร์แอมป์ไฟ ชุดรวมสัญญาณ ชุดเปลี่ยนสัญญาณและเซอร์โวมอเตอร์เข้าด้วยกัน โดยทดลองส่งเป็น DATA

1.3.5 ขั้นตอนที่ 5

ออกแบบชุดคีย์บอร์ดอินพุท และตัวแสดงผล 7 เซกเมนต์ และทดสอบโปรแกรม SCAN KEYBOARD และ DISPLAY

1.3.6 ขั้นตอนที่ 6

ออกแบบโปรแกรมควบคุม โดยสั่งงานผ่านทางคีย์บอร์ดที่ทำขึ้นเอง

1.3.7 ขั้นตอนที่ 7

ประกอบทุกส่วนรวมกัน และทดลองโปรแกรม

1.3.8 ขั้นตอนที่ 8

โปรแกรมอัปเดตบน EPROM และทดสอบขั้นสุดท้าย

1.3.9 ขั้นตอนที่ 9

การสรุปผลการทำโครงการงาน ข้อเสนอแนะ ปัญหาในการทำงาน รวมทั้งงานการเขียนการพิมพ์ การตรวจ การแก้ไข และการเสนองาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 คำนำ

ในระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยทั่วไปมีการควบคุมหลายแบบ หลายลักษณะ เช่น ควบคุมความเร็วรอบ ควบคุมแรงบิดและควบคุมตำแหน่งที่เพลาของมอเตอร์ ซึ่งโครงงานนี้เป็น การควบคุมตำแหน่งที่เพลาของเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งต้องประกอบไปด้วยส่วนสำคัญหลายส่วน เช่น ตัว ดีซีมอเตอร์ ชุดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ, ชุดลิเนียร์เพราเวอร์แอมพลิไฟ เป็นต้น ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ และรวมถึงแนวทางการออกแบบ

2.2 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์จะพบได้มากในงานเกี่ยวกับ เครื่องจักรกลที่ทำงานอัตโนมัติ เช่น หุ่นยนต์ คอมพิวเตอร์ เครื่องมือวัดคุมต่าง ๆ เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์มีทรานสดิวเซอร์ป้อนกลับ ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งได้แม่นยำ

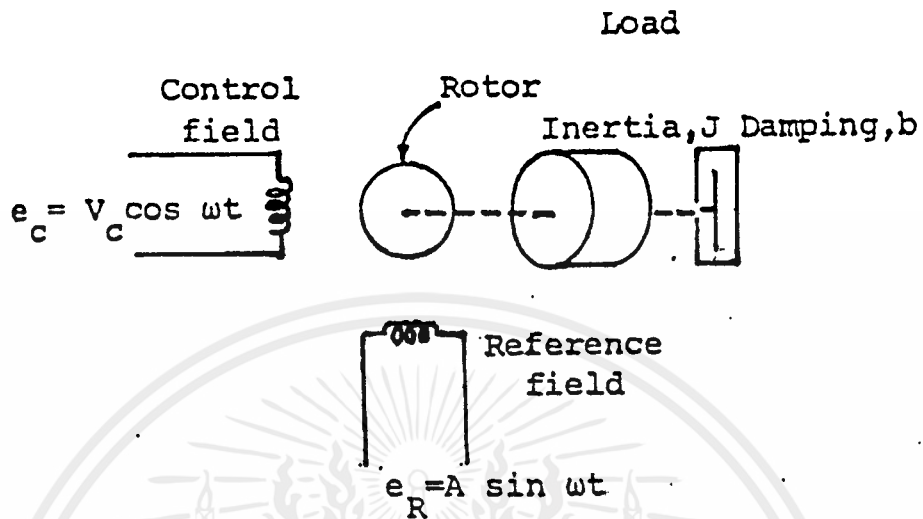
เซอร์โวมอเตอร์แบ่งตามโครงสร้างได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Servomotor) และ เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servomotor)

2.2.1 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Servomotor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส มักจะใช้กันทั่วไปในระบบคอลโทรลที่ต้องการเพียงกำลังต่ำ ๆ และสามารถจะปรับความเร็วได้ ข้อได้เปรียบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เหนือกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือสามารถใช้ร่วมกับซิงโครส (Synchros) ได้ดีโดยไม่ต้องมีการคีย์โมดูลเซ็นสัญญาณเออร์เรอร์

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส ประกอบด้วยอินดักชันโรเตอร์ และ ขดลวดฟิลด์จำนวน 2 ขดวางอยู่ในตำแหน่งทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้า ฟิลด์ขดหนึ่งทำหน้าที่เป็น ฟิลด์อ้างอิงที่มีค่าคงที่ ส่วนอีกฟอลด์หนึ่งเป็นฟิลด์คอนโทรล สัญญาณเออร์เรอร์ AC ที่ได้รับการขยาย แล้วจะป้อนให้กับฟิลด์คอนโทรล สัญญาณนี้จะมีขนาดของแมกนิจูดที่แปรค่าได้และเฟสก็จะแปรค่าอยู่ที่ ศูนย์หรือ 180 องศา ฟอลด์อ้างอิงจะได้รับการป้อนกลับด้วยโวลต์เตจที่มีค่าคงที่ผ่านวงจรเลื่อนเฟส

ไป 90 องศา สัญญาณนี้จะมีขนาดของแมกนิจูดคงที่และมุมของเฟสเป็น -90 องศา



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบสองเฟส

2.2.2 เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servomotor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธี

การสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์มาเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

และยังแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์มาเจอร์สามารถแยกได้เป็น 3 แบบคือ

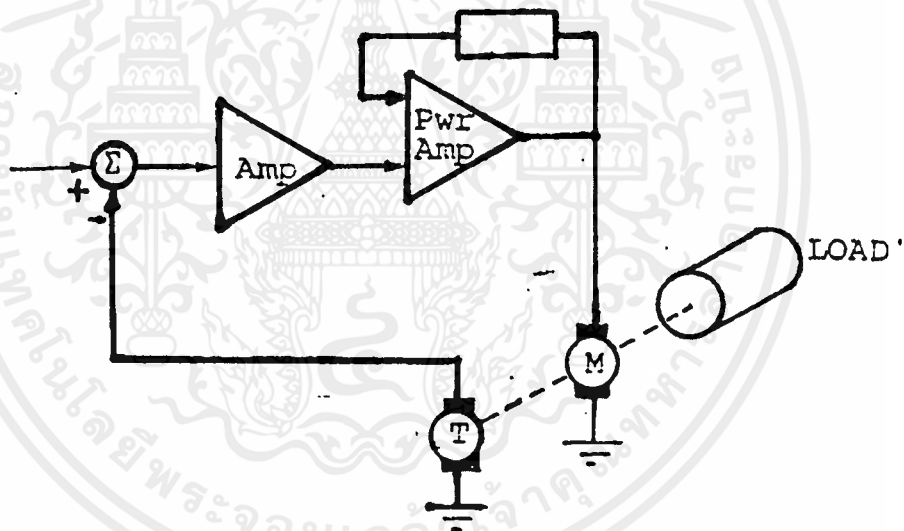
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มาเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาร์มาเจอร์เป็นขดลวดหมุน

2.3 ทาคิเซนเซอร์และเอนโคเดอร์

เซ็นเซอร์และเอนโคดเดอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับในระบบควบคุมแบบเปิดลูป เอนโคดเดอร์ มักจะใช้สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานในระบบ ส่วนในระบบควบคุมแบบปิดลูป เซ็นเซอร์ และเอนโคดเดอร์ ใช้เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อควบคุม เซ็นเซอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แบบอนาลอกเซ็นเซอร์ และแบบดิจิตอลเซ็นเซอร์ แบบอนาลอก ได้แก่ โปเทนชิโอมิเตอร์ ทาโคเจนเนอเรเตอร์ และชิงโคร ส่วนเซ็นเซอร์แบบดิจิตอลได้แก่ เอนโคดเดอร์

2.3.1 ทาโคเจนเนอเรเตอร์ (Tacho Generator)

ทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และให้กำเนิดเอาต์พุตโวลต์ที่เต็ม เป็นสัดส่วนกับแมกนิจูดของความเร็วเชิงมุม ซึ่งลักษณะการทำงานของดีซีทาโคเจนเนอเรเตอร์ คล้ายดีซีเอนเนอเรเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการบังคับความเร็ว

2.3.2 เอนโคดเดอร์ (Encoder)

ในระบบการบังคับตำแหน่งของมอเตอร์ ต้องใช้เอนโคดเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่ง และสร้างสัญญาณป้อนกลับโดยที่ตัวเอนโคดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของมอเตอร์และตำแหน่งของเพลลาของมอเตอร์ใน

รูปพัลส์ได้ เอนโคเดอ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีด้วยกัน 2 ชนิด แบบสมบูรณ์ในตัวเอง (Absolute Encoders) และแบบไม่สมบูรณ์ในตัวเอง (Increment Encoder)

เอนโคเดอ์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง จะใช้แสงเป็นตัวกระทบกับแผ่นจานหมุน ซึ่งยังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ถอนรหัสเป็นแบบไบนารี (binary) และแบบรหัสเกรย์ (gray code) โดยรูปร่างภายนอกประกอบด้วย แผ่นจานกลมใส ติดแถบทึบแสงเป็นรหัสไบนารีรอบ ๆ ดังรูปที่เป็นเลขไบนารีจำนวน 4 บิตหรือ 4 ช่อง ดังนั้นจำนวนคู่ของ LED และโฟโตไดโอดที่ใช้จะเป็น 4 คู่ด้วย โดยติดตั้งแต่ละคู่ในแต่ละช่อง ซึ่งแต่ละช่อง ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณจะแทนตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์ซึ่งความละเอียดของตำแหน่งมุม (angular resolution) นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิต หรือช่องของตัวเอนโคเดอ์ด้วย ดังสมการ

$$\text{ความละเอียดของตำแหน่งมุม} = \frac{360}{2^c}$$

เมื่อ c คือ จำนวนบิตหรือจำนวนช่อง

ยกตัวอย่างเช่นถ้าต้องการออกแบบให้ความละเอียดของตำแหน่งมุมมีค่าน้อยกว่า 5 องศา จะต้องใช้จานเอนโคเดอ์ที่มีจำนวนช่องทั้งหมดอย่างน้อย 7 ช่อง ($360/2^7 = 2.81$)

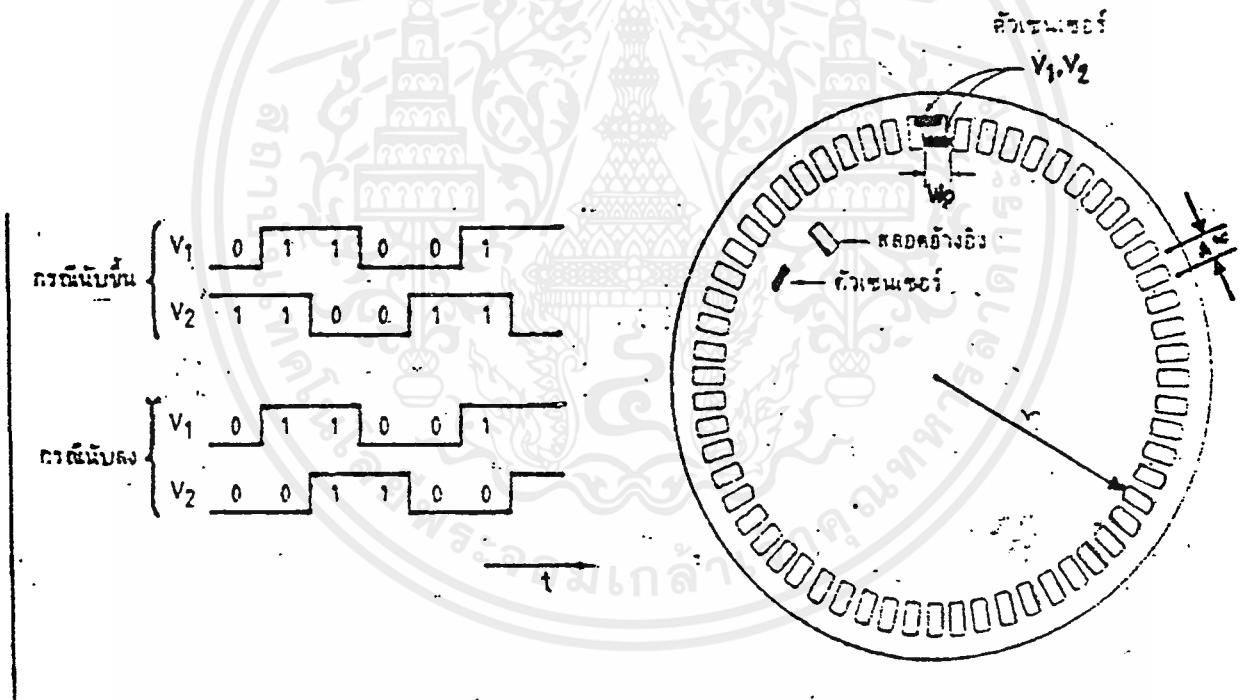
ในกรณีที่ใช้รหัสไบนารีจะมีอยู่บางช่วงระหว่างการเปลี่ยนของเลข 2 จำนวน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของบิตมากกว่าหนึ่งบิต เช่น กากเปลี่ยนจาก 7 (0111₂) จะเห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงเลขทุกบิต นั่นคือในช่วงนี้ระบบจะเกิดสภาวะไม่เสถียรสามารถทำให้คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลผิดพลาดได้ เรียกเหตุการณ์นี้ว่า race condition แต่ก็สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยออกแบบวงจรให้สัญญาณนาฬิกาและการอ่านข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทำงานพร้อม ๆ กันในช่วงสภาวะเสถียรเท่านั้น แต่การเพิ่มขึ้นของวงจรจะทำให้สิ้นเปลือง เอนโคเดอ์แบบไบนารีจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมเท่าไร

ลักษณะพิเศษของการใช้รหัสเกรย์ก็คือ ในระหว่างเลข 2 จำนวนที่ติดกันจะมีเพียงบิตเดียวเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้รหัสเกรย์นี้สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านของคอมพิวเตอร์จากเอนโคเดอ์ได้



ยกตัวอย่างเช่น จานเอนโคดเดอร์ขนาด 120 ช่อง และมี $\phi = 3$ องศา ดังนั้น ความกว้างของไฟโตไดโอดที่ใช้จะต้องไม่เป็น 0.26 มิลลิเมตร $r = 10$ มิลลิเมตร

จำนวน LED และไฟโตไดโอดที่ใช้จะมีทั้งหมด 3 คู่เสมอ ไม่ว่าจะจำนวนช่องจะมีมากหรือน้อยก็ตาม โดย 2 คู่แรกจะวางที่ตำแหน่งของช่องและวางห่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องดังรูปที่ 2.3 เมื่อแผ่นจานหมุนสัญญาณจาก V_1 และ V_2 จะต่างเฟสกัน 90 องศา เสมอถ้าเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาสัญญาณจาก V_1 จะนำหน้าสัญญาณ V_2 อยู่ 90 องศา เมื่อมอเตอร์หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาสัญญาณจาก V_1 ก็จะเปลี่ยนกลับมาเป็นล่าหลังสัญญาณ V_2 อยู่ 90 องศา ความแตกต่างนี้จะเป็นตัวชี้ถึงทิศทางการหมุนได้สำหรับ LED ไฟโตไดโอดคู่ที่เหลือก็จะถูกจัดวางให้ตรงตำแหน่งของสล๊อตอ้างอิง (Reference slot) เพื่อกำหนดตำแหน่งมุมโดยการนับพัลส์ที่เกิดขึ้นเริ่มจากสล๊อตอ้างอิง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของออปติคัลเอนโคดเดอร์-แบบไม่สมมาตรในตัวเอง

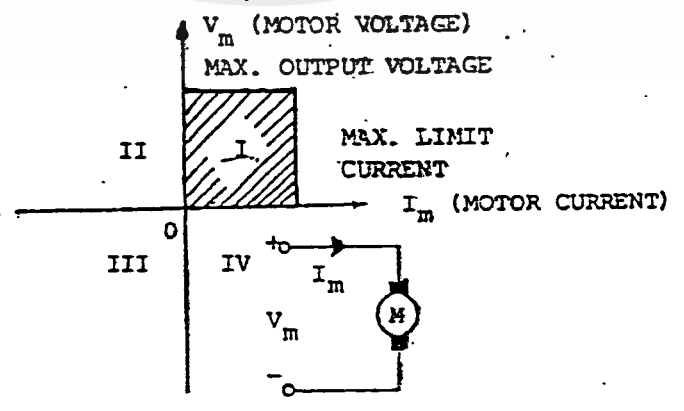
2.4 ลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ (Linear servo amplify)

ในวงจรเพาเวอร์แอมพลิไฟ ซึ่งเป็นแบบเชิงเส้นหรือที่เรียกกันว่าลิเนียร์เซอร์โวแอมพลิไฟ (Linear Sero Amplify) โดยปกติสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขยายแบบปฏิกิริยา เช่นเดียวกับ ออป-แอมป์ หรือ คัพเฟอร์เคเนเซียลแอมพลิไฟที่ใช้ไปกระตุ้นภาคเพาเวอร์ให้ไปขับมอเตอร์ ภาคเพาเวอร์ที่มีการป้อนกลับแบบปิดลูป (close loop) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ต้องการ เช่น มอเตอร์โวลต์เต็จ กระแสของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองมีความเป็นลิเนียร์ ซึ่งถ้าเกิดความไม่ลิเนียร์เกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในภาคเพาเวอร์ลดลง โดยอัตราขยายรูปของระบบ ซึ่งเราจะใช้ออป-แอมป์ ซึ่งจะใช้เป็นวงจรซั่มมิง (Summing Amplifier) ทำหน้าที่เป็นการชดเชยหรือสัญญาณป้อนกลับของระบบ เช่น ทาโคเยนเนอร์เรเตอร์และสร้างสัญญาณเออเรอร์ ซึ่งจะถูขยายโดยภาคเพาเวอร์เพื่อแก้พารามิเตอร์ให้มีค่าถูกต้อง

ลิเนียร์แอมพลิไฟตามปกตินิยมใช้ในระบบที่มีแบนด์วิธกว้างและกำลังต่ำ (น้อยกว่า 2-3 ร้อยวัตต์) และมักจะใช้สำหรับขับเคลื่อนขดลวดหมุนของมอเตอร์ที่มีความเฉื่อยต่ำให้เพิ่มกระแสด้วยอัตราเร่งสูงเวลาอันสั้น (2-3 มิลลิวินาที) ซึ่งกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ของเอาต์พุททรานซิสเตอร์อาจจะยังใช้งานได้ดีในทางตรงกันข้ามสวิตซ์ซึ่งแอมพลิไฟโดยทั่ว ๆ ไปลิเนียร์แอมพลิไฟอาจแบ่งได้ดังนี้

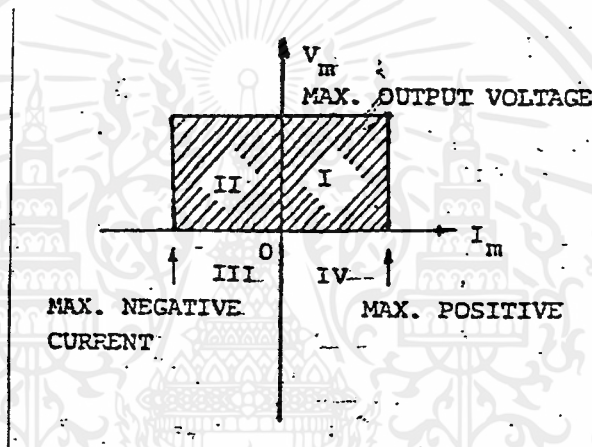
2.4.1 ยูนิโคเร็คชั่นแนลเซอร์โวแอมพลิไฟ

ยูนิโคเร็คชั่นแนลแอมพลิไฟเป็นเครื่องขยายแบบง่ายที่สุด ของลิเนียร์แอมพลิไฟและใช้ในระบบมอเตอร์ถูกขับให้หมุนได้ในทิศทาง นั่นคือ ลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของแอมพลิไฟแบบนี้จะทำงานอยู่ในควอดแรนต์แรกเท่านั้น และไม่สามารถให้โวลต์เต็จหรือกระแสไหลกลับทิศทางได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5

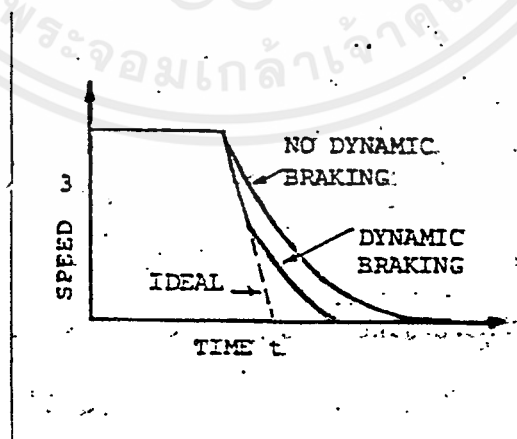


เอกสารนี้รูปที่ 2.5 แสดง ยูนิโคเร็คชั่นแนลแอมพลิไฟ ยังคับได้เพียงควอดแรนต์เดียว งานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราเพิ่มไดนามิกเบรคเข้าไปในระบบ สามารถทำให้ยูนิโคเร็คชั่นแนลแอมพลิไฟท์ทำ
ได้สองควอแดรนต์ และการหมุนของมอเตอร์ยังคงเป็นทิศทางเดียวกันแต่สามารถกลับทิศทางการ
ไหลของกระแสของมอเตอร์ โดยตัดกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ออก และให้ทางเดินของกระแสซึ่งเกิด
จากแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ (Motor back EMF) ในทิศทางตรงกันข้ามกระแสที่ใช้สำหรับ
ลดความเร็วลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงดันย้อนกลับ ดังนั้นจึงแปรผันตรงกับความเร็วของมอ
เตอร์ และให้คุณสมบัติสามารถลดความเร็วลงได้อย่างมาก เมื่อมอเตอร์หมุนอยู่ด้วยความเร็วสูง
และความสามารถในการหน่วงความเร็วลงนี้จะลดลงเป็นศูนย์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเข้าใกล้ศูนย์ดัง
แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงยูนิโคเร็คชั่นแนลแอมพลิไฟท์ที่มีไดนามิกเบรค-บังคับได้สองควอแดรนต์

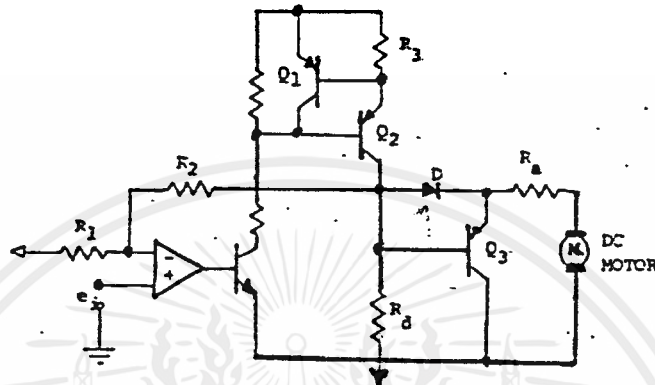


รูปที่ 2.7 แสดงถึงรูปลักษณะการลดความเร็วลงของระบบยูนิโคเร็คชั่นแนลที่มีและไม่มีไดนามิกเบรค

๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 จะเห็นถึงรูปลักษณะของระบบการลดความเร็วของระบบยูนิโคเร็กซ์แนลที่มีและไม่มีไดนามิคเบรก ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของไดนามิคเบรกที่ความเร็วต่ำ ๆ จะมีประสิทธิภาพสูงสุด



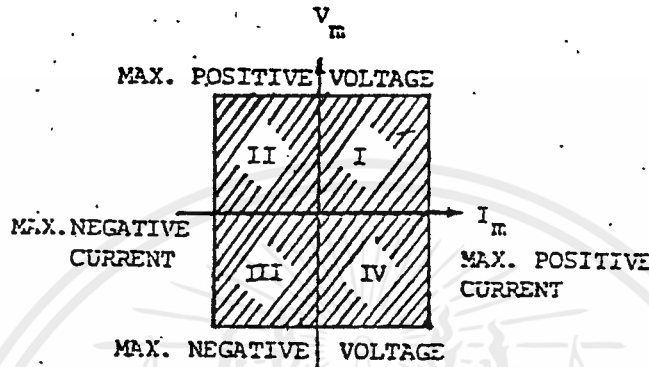
รูปที่ 2.8 แสดงยูนิโคเร็กซ์แนลแอมพลิไฟที่มีไดนามิคเบรก

การออกแบบวงจรอย่างง่าย ๆ ของยูนิโคเร็กซ์แนลแอมพลิไฟที่มีไดนามิคเบรก เมื่อมอเตอร์ได้รับการขับเคลื่อน Q_2 จะนำกระแสไหลผ่านไดโอดเข้าไปยังมอเตอร์ Q_3 จะไม่นำกระแสเนื่องจากขาของทรานซิสเตอร์ตัวนี้เป็นบวกมากกว่าอิมิตเตอร์ เมื่อ Q_2 หยุดนำกระแสความต้านทาน R_d จะสร้างกระแสเปลี่ให้กลับ Q_3 ทำให้มันเริ่มนำกระแสในทิศทางกลับกันกับกระแสของมอเตอร์ Q_3 ในกรณีนี้กระแสเบรกจะถูกจำกัดโดยโวลต์เต้จย้อนกลับและความต้านทานอาเมเจอร์ R_a เพื่อที่จะจำกัดกระแสของการเบรกให้มีค่าต่ำลงไปอีกก็อาจทำได้โดยใส่ตัวต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์ของ Q_3 และกราวด์ Q_2 เป็นเสมือนตัวจำกัดกระแสที่จะต้องเพิ่มอัตราความเร็วโดยแยกกระแสเบรกจาก Q_2 เมื่อโวลต์เต้จตกคร่อม R_a มีค่าเข้าใกล้ $0.7/R_a$ แอมป์ และจะสังเกตได้ว่าโครงสร้างของระบบ ประกอบด้วยนอนอินเวอร์ทออปแอมป์ที่มีอัตราขยายโวลต์เต้จเท่ากับ $(R_2/R_1)+1$ นอนอินเวอร์ทออปแอมป์ทำงานด้วยขั้วหลายขั้วเดียวจึงมีขนาดเล็ก

C

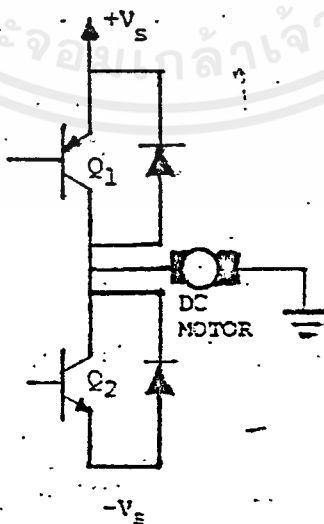
2.4.2 ไบโคเร็กซ์ันแนลเซอร์โวแอมป์ลิไฟ

ไบโคเร็กซ์ันแนลเซอร์โวแอมป์ลิไฟ สามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้ทั้งสองทิศทางและมีลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ตลอดถึงช่วงความเร็วเป็นศูนย์ แอมป์ลิไฟแบบนี้สามารถบังคับได้เต็มทั้ง 4 ควอดแรนต์และสามารถป้อนโวลต์เต็มและกระแสทั้งชั่ววอกหรือลบให้กับมอเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



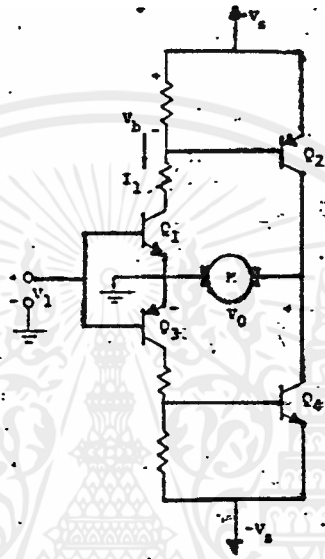
รูปที่ 2.9 แสดงไบโคเร็กซ์ันแนลเซอร์โวแอมป์ลิไฟแสดงการบังคับได้เต็มทั้ง 4 ควอดแรนต์

ไบโพลาร์แอมป์ลิไฟจะใช้เพาเวอร์ซัพพลายถึงสองลักษณะ สำหรับการงานแบบฟอร์เวอร์และรีเวอร์ส โวลต์เต็มที่ป้อนมอเตอร์เท่ากับผลต่างระหว่างซัพพลายโวลต์เต็มตกคร่อมคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ Q_1 หรือ Q_2 ในขณะที่ตัวโคตัวหนึ่งนำกระแส เนื่องจากลิเนียร์แอมป์ลิไฟโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาวะความเร็วต่ำแรงบิดสูงซึ่งในภาวะนี้กระแสจะไหลสูงและโวลต์เต็มตกคร่อมเอาท์พุททรานซิสเตอร์จะสูงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงภาคเอาท์พุทของลิเนียร์ไบโพลาร์

เมื่อมีการพิจารณาถึงการออกแบบไบโพลาร์ก็สามารถนำไปพิจารณาในลิเนียร์ไบโพลาร์ได้เหมือนกัน ในการผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์เกิดขึ้นที่เพราเวอร์ชันพลาวยลดลงเหลือครึ่งเดียวเมื่อโวลต์เต้จของมอเตอร์ลดลงเป็นศูนย์ ปกติในวงจรไดโอดเวอร์ จะเปลี่ยนการรับสัญญาณเพื่อสอดคล้องกับสัญญาณอินพุทโวลต์เต้จเป็นศูนย์



รูปที่ 2.11 แสดงการผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์

ถ้าเราไม่ทำให้ความผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์มีค่าต่ำสุด จะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ หลายอย่าง ระบบควรจะได้รับ การชดเชยอย่างถูกต้อง (Critically damper) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยใกล้ศูนย์ซึ่งจะทำให้ระบบมีแนวโน้มจะเกิดโอเวอร์ชุต หรือ ออสซิลเลตได้ในช่วงที่ความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราขยายของระบบไปจากศูนย์การผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์เป็นปัญหาวิกฤติในระบบการบังคับตำแหน่งซึ่งระบบจะต้องให้แรงบิดที่ยืดคงที่ เพื่อให้มอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ นั่นคือมอเตอร์หยุดหมุนดังนั้นอัตราขยายของแอมพลิไฟจะมีค่าต่ำนี้เนื่องจากผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์ ส่วนอัตราขยายที่ตำแหน่งอื่นในระบบต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้อัตราขยายของลู่ที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าที่เหมาะสม ผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบคือทันทีที่สัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งมีค่าสูงอย่างเพียงพอ เพื่อชนะการผิฉะนั้นแบบครอสโอเวอร์อัตราขยายของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดภาวะของโอเวอร์ชุตนั่นเอง

๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 หลักการออกแบบเพาเวอร์แอมพลิไฟ

การเลือกเอาท์พุททรานซิสเตอร์และโครงสร้าง ที่จะต้องใช้ในการออกแบบเพาเวอร์แอมพลิไฟควรจะได้พิจารณาจุดที่สำคัญดังต่อไปนี้

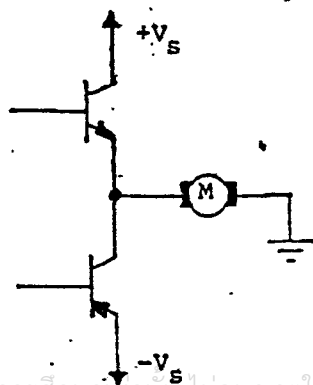
1) การเลือกอุปกรณ์เอาท์พุท ก่อนที่จะเลือกอุปกรณ์เอาท์พุททรานซิสเตอร์ควรจะได้พิจารณาจุดต่อไปนี้

ก) มอเตอร์ต้องการกระแสและโวลต์เต็มสูงสุดเท่าไร โวลต์เต็มของเพาเวอร์ซัพพลายที่ยังไม่ได้เร่คูลูเลท ควรจะทนสภาพของการแปรไปของโวลต์เต็มในสายส่งได้มากกว่า ± 10 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า V_{CC} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เลือกใช้ควรมีค่าสูง

ข) กระแสยอดสูงสุดของการเพิ่มอัตราความเร็ว หรือการลดอัตราความเร็วลง ต้องการช่วงเวลานานเท่าไร เราต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ในพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย หรือระบบจะต้องอยู่ในช่วงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยย่านดิซิงการเบรคดาวน์ครั้งที่สองจะกลายเป็นโวลต์เต็ม ผลักดันในช่วงเวลาการลดอัตราความเร็วลง มักจะเป็นการบังคับให้ต้องใช้เอาท์พุททรานซิสเตอร์ที่มีเพาเวอร์สูงขึ้นมากกว่ากระแสยอดสูงสุดของธรรมดาที่ต้องการ

ค) แบนด์วิดของเพาเวอร์แอมพลิไฟต้องการขนาดเท่าไรแบนด์วิดนี้อาจจะกำหนดได้โดยตัวลิมิตกระแสในช่วงความเร็วที่ต้องการ ตามปกติเรามักจะชอบใช้ทรานซิสเตอร์ที่ต่ำสุดซึ่งให้แบนด์วิดตามต้องการมากกว่า ส่วนที่จะให้ได้ตามคุณสมบัติของการเบรคดาวน์ครั้งที่สองด้วยแล้วเป็นการยากลำบาก

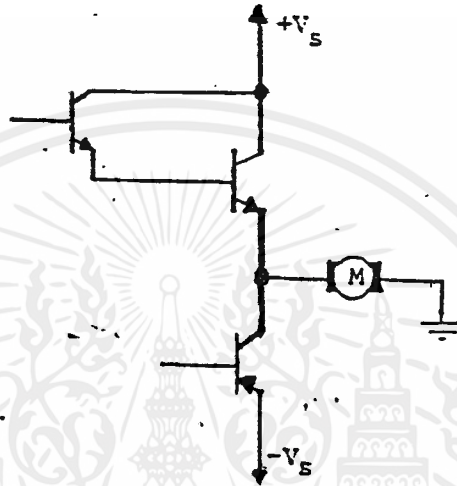
ง) การออกแบบจะเป็นแบบไบโพลาร์หรือแบบบริดจ์ซัพพลาย ที่จะใช้เป็นแบบลักษณะสองขั้วหรือเปล่า การพิจารณาถึงฟอร์เวอร์เบรคดาวน์ครั้งที่สองในช่วงเวลาลดอัตราความเร็วทำให้บริดจ์แอมพลิไฟมีจุดที่น่าสนใจกว่าหรือไม่ บริดจ์ต้องการ $V_{CC}/2$ สำหรับเอาท์พุททรานซิสเตอร์ต่ำกว่าแบบไบโพลาร์ครึ่งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.12 แสดงการออกแบบภาคเอาท์พุทแบบมีล้นประกอบเต็มส่วนบริดจ์

2) การออกแบบภาคเอาต์พุต โดยทั่วไปผู้ออกแบบมีโอกาสเลือกการออกแบบภาคเอาต์พุตแอมพลิไฟไ่ได้เป็น 2 ลักษณะ คือแบบโครงสร้างมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์ดังในรูป 1.12 ใช้ NPN และ PNP เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ในการจัดวงจรที่สมมาตรกัน



รูปที่ 2.13 แสดงการออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนเพียงกึ่งเดียว

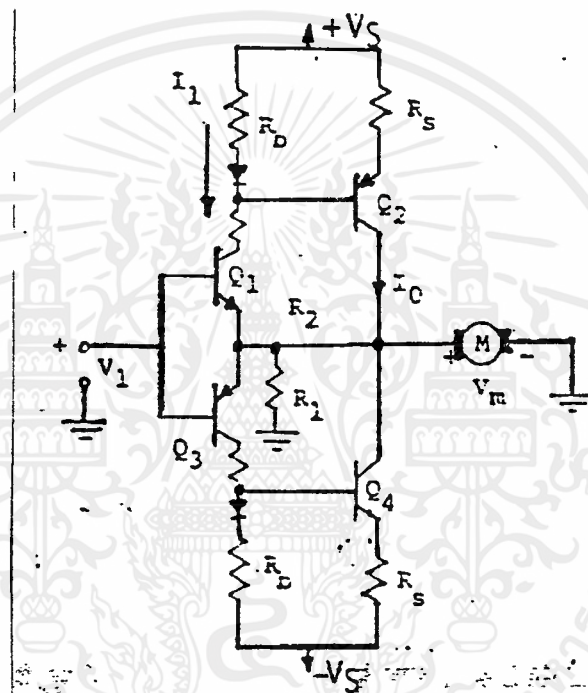
ภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกึ่งเดียว ดังในรูปที่ 1.13 มีลักษณะเป็น "อินเวอร์ คาร์ลิงคัล" ประกอบด้วยเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ NPN และ ไดร์เวอร์ PNP เลียนแบบการทำงานของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์

ภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์มีความสะดวกในการออกแบบและมีคุณสมบัติที่สมมาตรกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราขยายและแบนด์วิดธ์ส่วนภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกึ่งเดียวจะสามารถให้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดเป็น NPN ได้ในภาคเอาต์พุตซึ่งตามปกติมีราคาถูกลงกว่า PNP และอาจทำงานได้ไม่ค้อยดึ้นัก

การต่อเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ขนานกันกระทำได้ง่าย ในการออกแบบภาคเอาต์พุตแบบมีส่วนประกอบที่เต็มบริบูรณ์ซึ่งต้องการเพียงตัวความต้านทานที่อิมิตเตอร์ซึ่งมีค่าของ ค.ต.ท. ให้โวลต์เต้จตกคร่อมประมาณ 0.7 โวลท์ ที่กระแสคอลเล็คเตอร์ไหลสูงสุด เอาต์พุตทรานซิสเตอร์

ที่มีลักษณะเป็นคู่ (Complementary pair) สามารถเพิ่มการประกอบที่เต็มบริบูรณ์

3) การพิจารณาถึงอัตราขยายแบนด์วิดส์ ในเพาเวอร์แอมพลิไฟที่มีโพล (pole) เพียงตัวเดียวอัตราขยายจะลดลงตามความถี่ด้วยสโลป 6db/octave ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดส์จะมีค่าคงที่ถ้าหากแบนด์วิดส์มีการบังคับได้ทำให้มีผลตามมาคือ อัตราขยายก็จะสามารถบังคับได้ด้วยเนื่องด้วยเพาเวอร์แอมพลิไฟโดยทั่วไปจะออกแบบให้มีรูปการป้อนกลับภายในรูปหนึ่งเพื่อรักษาสภาพของแอมพลิไฟโวลท์ที่เต็ม หรืออัตราขยายกระแสให้คงที่



รูปที่ 2.14 โครงสร้างภาคเอาต์พุตที่มีการบังคับอัตราขยาย

เทคนิคต่อไปนี้ดังรูป 2.14 มีการบังคับอัตราขยายโวลท์ที่เต็มแบบบิตลูปและมีการบังคับอัตราขยายกระแสโครงสร้างแบบ current mirror ของภาคไดร์เวอร์และภาคเอาต์พุตช่วยกำจัดระลอก (ripple) ในเพาเวอร์ซัพพลาย

ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ประกอบกันเป็น current mirror (เช่นเดียวกับ Q_3 และ Q_4) ถ้าได้กระแสขั้วจาก Q_1 ที่เหมาะสมกระแส I_o จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_1

$$I_o = I_1 \frac{R_b}{R_1} \dots (2.1)$$

อัตราขยายโวลต์เต็มของระบบ V_o/V_i บังคับได้โดย R_1 และ R_2 (ไม่มีค่า $V_{o_{max}}$ ตกร่วม Q_1 และ Q_2) ตัวความต้านทาน R_1 และ R_2 จะมีค่าเท่ากับตัวความต้านทานป้อนกลับในวงจรนอนอินเวอร์ของ ออป-แอมป์ ดังนั้น

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1+R_2}{R_1} \dots (2.2)$$

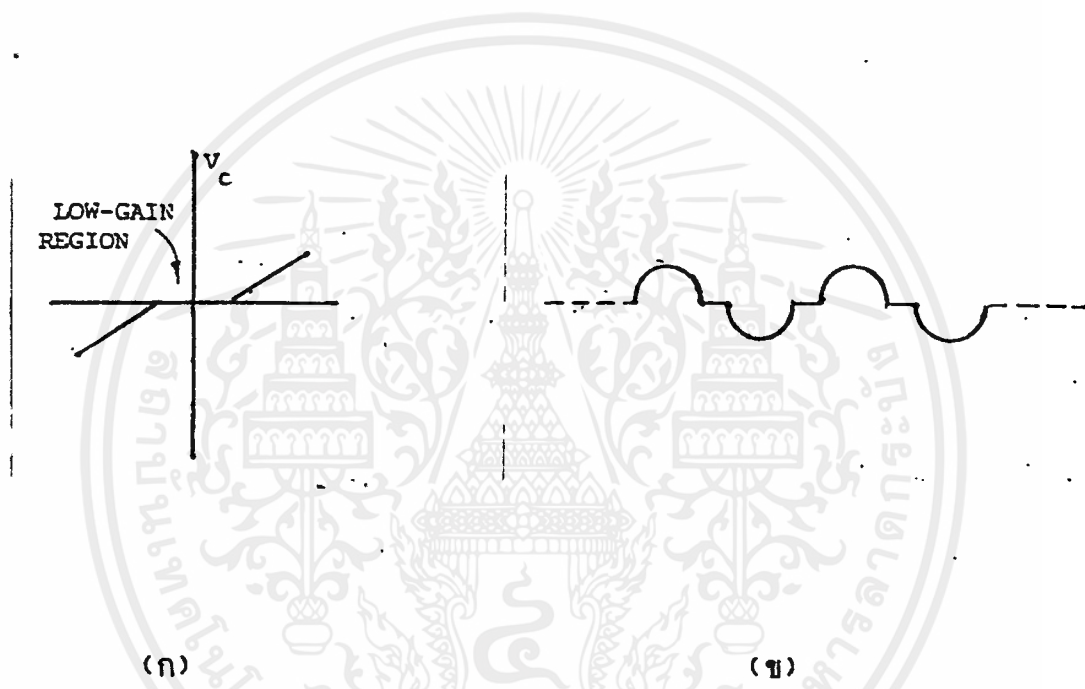
ดังนั้นโวลต์เต็มเปิดลู่อัตราขยายของภาคเอาต์พุตถูกบังคับได้อย่างดีด้วยตัวเองทำให้ระบบไม่อยู่ในอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของทรานซิสเตอร์ พารามิเตอร์ และชีพหลายโวลต์เต็ม เนื่องจาก Current mirror ทำให้แน่ใจได้ว่ากระแสเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันกับกระแสของภาคขับเท่านั้น ระบบจึงไม่ขึ้นอยู่กับการแปรชีพหลายและ B ดังนั้น แอมพลิไฟแบบนี้จะสามารถทำงานในย่านที่มีการแปรค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ในช่วงกว้างโดยการทำงานของเพาเวอร์และไดร์เวอร์ทรานซิสเตอร์

2.4.4 การผิดเพี้ยนในเพาเวอร์แอมพลิไฟ

การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ หรือเรดแบนด์มักจะเรียกกันทั่วไปว่าเป็นบริเวณที่มีอัตราขยายต่ำ (อัตราขยายเป็นศูนย์) ซึ่งอยู่ที่จุดเอาต์พุตโวลต์เต็มเป็นศูนย์สาเหตุจากเอาต์พุตทรานซิสเตอร์นำกระแสได้ต่ำหรือสูญเสียการนำกระแส ปกติปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องจากโวลต์เต็มซึ่งถูกขับโดยสัญญาณขับอินพุตให้โวลต์เต็มตกร่วมอิมิตเตอร์-เบส ดังกล่าวมีค่ามากเสียก่อนจึงจะสามารถเริ่มการนำกระแสได้

ขณะที่ V_i มีการเปลี่ยนแปลง Q_1 และ Q_2 จะไม่นำกระแสจนเท่าที่ $-V_{o_{max}} < V_i < V_{o_{max}}$ ดังนั้นเอาต์เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ก็จะไม่นำกระแสขณะที่ V_i จะมากกว่าค่าโวลต์เต็มตกร่วม $V_{o_{max}}$ ของ Q_1 หรือ Q_2 ทรานซิสเตอร์เอาต์พุตดังกล่าวยังไม่นำกระแสจนกว่ากระแสของไดร์เวอร์มีเพียงพอที่จะทำให้ $I_1 R_1$ มีค่ามากกว่า $V_{o_{max}}$ (0.7 V) ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์

แม้ว่าการพิจารณาที่กล่าวมาจะมุ่งไปที่การออกแบบไบโพลาร์เป็นสัญญาณก็ตามแต่ก็สามารถนำไปพิจารณาในลิเนียร์บริดจ์ได้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ในบริดจ์จะเกิดขึ้นที่เพาเวอร์ซัพพลายลดค่าลงเหลือครึ่งเดียวเมื่อเอาท์พุทโวลต์เตจของบริดจ์เท่ากับและโวลต์เตจของมอเตอร์เป็นศูนย์ ปกติวงจรไดโอดจะเปลี่ยนการขับสัญญาณเพื่อให้สอดคล้องกับสัญญาณอินพุทโวลต์เตจเป็นศูนย์



รูปที่ 2.15 (ก) แสดงทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันแสดงถึงการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์
 (ข) แสดงการผิดเพี้ยนของเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นลูกคลื่นซายน์

รูปที่ 2.15 (ก) และ 2.15 (ข) แสดงถึงผลของการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ที่มีการผิดเพี้ยนของเอาท์พุทเมื่ออินพุทเป็นคลื่นซายน์ สังเกตได้ว่าอัตราขยายของระบบลดลงเกือบจุดศูนย์

ถ้าเราไม่ได้ทำผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ค่าต่ำสุดจะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ หลายอย่าง ระบบควรจะได้รับ การชดเชยอย่างถูกต้อง (CRITICALLY DAMPED) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยใกล้ศูนย์ซึ่งจะทำให้ระบบมีแนวโน้มจะเกิดโอเวอร์ชูท กหรือออสซิลเลทได้ในช่วงที่ความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราขยายของระบบไปจากศูนย์

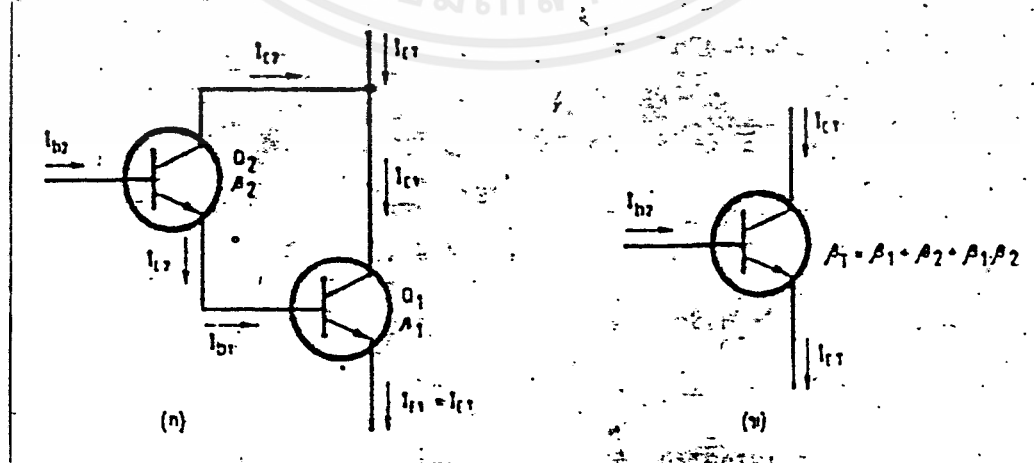
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์เป็นปัญหาวิกฤต ในระบบบังคับตำแหน่งซึ่งระบบจะต้องให้แรงบิดที่ยืดคงที่เพื่อให้อัตราอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ (ความเร็วเป็นศูนย์) ดังนั้นอัตราขยายของแอมพลิไฟจะมีค่าต่ำที่จุดนี้เนื่องจากการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ส่วนอัตราขยายที่ตำแหน่งอื่นในระบบต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้อัตราขยายที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าที่เหมาะสมผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบคือทันทีที่สัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งมีค่าสูงอย่างเพียงพอเพื่อชณะการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ อัตราขยายของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดภาวะของโอเวอร์ชูทหรือออสซิลเลชั่นขึ้นได้

2.4.5 วงจรทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

วงจรคาร์ลิงตันเป็นการต่อทรานซิสเตอร์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปในลักษณะต่อตรงถึงกัน ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ของวงจรมีดังนี้

- 1) เพิ่มอัตราขยายกระแสเพราะว่าทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะมีค่าอัตราขยายกระแส หรือ β ไม่มาก ประมาณ 20-300 เท่าเป็นอย่างสูงหากใช้วงจรคาร์ลิงตันแล้วจะได้อัตราขยายกระแสประมาณ 400-100000 เท่าได้อย่างไม่ยาก
- 2) เพิ่มอินพุทอิมพีแดนซ์ เพราะว่าทรานซิสเตอร์ มีข้อเสียอยู่ประการหนึ่ง คืออินพุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำถึงปานกลาง และเอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าปานกลาง หากใช้การต่อแบบคาร์ลิงตันแล้วจะเพิ่ม อินพุทอิมพีแดนซ์ได้
- 3) การต่อแบบคาร์ลิงตันจะช่วยลดอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงได้ เมื่อเทียบกับการต่อทรานซิสเตอร์หลาย ๆ ภาคเพื่อให้ได้อัตราขยายเท่ากัน



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรคาร์ลิงตันและวงจรเทียบเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 สมมติให้ Q_1 มีค่า $h_{r_m} = \beta_1$ และ Q_2 มีค่า $h_{r_m} = \beta_2$

$$\begin{aligned} \text{จาก } Ie_2 &= Ic_2 + Ib_2 \\ &= \beta_2 Ib_2 + Ib_2 \\ &= Ib_2(1 + \beta_2) \quad \dots(2.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แต่ } Ie_2 &= Ib_1 \\ \text{จะได้ } Ib_1 &= Ib_2(1 + \beta_2) \quad \dots(2.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ie_1 &= Ic_1 + I\beta b_1 \\ &= I\beta_1(1 + \beta_2) \quad \dots(2.5) \end{aligned}$$

แทน (2.4) ใน (2.5)

$$Ic_1 = [I\beta_2(1 + \beta_2)](1 + \beta_1) \quad \dots(2.6)$$

นำ (2.6) - (2.4)

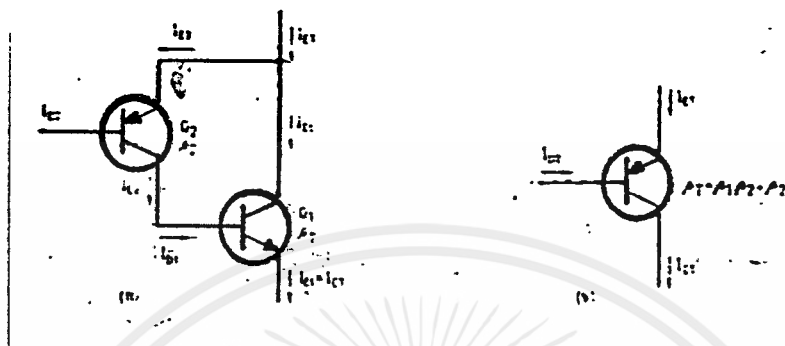
$$\begin{aligned} Ie_1 - Ib_1 &= [I\beta_2(1 + \beta_2)](1 + \beta_1) - I\beta_2(1 + \beta_2) \\ Ic_1 &= I\beta_2(1 + \beta_2)(1 + \beta_1 - 1) \\ Ic_1 &= I\beta_2(1 + \beta_2)\beta_1 \quad \dots(2.7) \end{aligned}$$

จาก $Ic_2 = \beta_2 I\beta_2$

นำ (2.5)+(2.6)

$$\begin{aligned} Ic_1 + Ic_2 &= I\beta_2(\beta_1 + \beta_1\beta_2) + \beta_2 I\beta_2 \\ Ic_c &= I\beta_2(\beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2) \\ Ic_c / I\beta_2 &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2 \\ \dots &= \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าอัตราขยายกระแสของวงจรลิ่งตัน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย



รูปที่ 2. 17 แสดงวงจรคาร์ลิตัน ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์คนละชนิดกัน

- (ก) วงจรคาร์ลิตัน
- (ข) วงจรเทียบเคียง

การต่อวงจรแบบนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN ต่อกัน ซึ่งผิดกับรูปที่ 2.16 ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทั้งคู่

สมมติ Q_1 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี $h_{fe} = \beta_1$ และ Q_2 เป็นทรานซิสเตอร์ PNP มี $h_{fe} = \beta_2$ ทว่า β_c คือ I_{c2}/I_{b2} มีค่าเท่าไร

จาก

$$\beta_c = I_{c2} / I_{b2}$$

แต่

$$I_{c2} = I_{E1}$$

$$\beta_c = \frac{I_{E1}}{I_{b2}}$$

$$= \frac{I_{b1} + I_{c1}}{I_{b2}}$$

$$= \frac{I_{b1} + \beta_1 I_{b1}}{I_{b2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{แต่ } I_{b1} &= I_{c2} \\
 \beta_1 &= \frac{I_{c2} (1 + \beta_1)}{I_{b2}} \\
 &= \frac{\beta_2 I_{b2} (1 + \beta_2)}{I_{b2}} \\
 &= \beta_2 (1 + \beta_1) \\
 &= \beta_2 + \beta_1 \beta_2
 \end{aligned}$$

เราจะเป็นได้ว่าอัตราขยายกระแสจะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับการต่อที่ใช้ทรานซิสเตอร์แบบเดียวกัน

ข้อเสียของวงจรคาร์ลิงตัน กระแส I_{CEO} อันเป็นกระแสไมเนอร์ตี (minority) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า กระแสรั่วไหล จะถูกขยายด้วยค่า β_1 อันจะเป็นสาเหตุให้ Q_1 นำกระแสอยู่ตลอดเวลา ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดเซอรัมเนียมค่า I_{CEO} จะมีค่ามาก จึงต้องใช้ตัวต้านทานหรือไดโอดมาต่อเพื่อช่วยแก้ I_{CEO} ซึ่งจะมีผลต่อ Q_1 สรุปได้ว่า วงจรคาร์ลิงตันเป็นวิธีการต่อทรานซิสเตอร์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ทำให้ได้อินพุทอิมพีแดนซ์และอัตรการขยายกระแสสูงขึ้น

บทที่ 3

หลักการคำนวณและออกแบบ

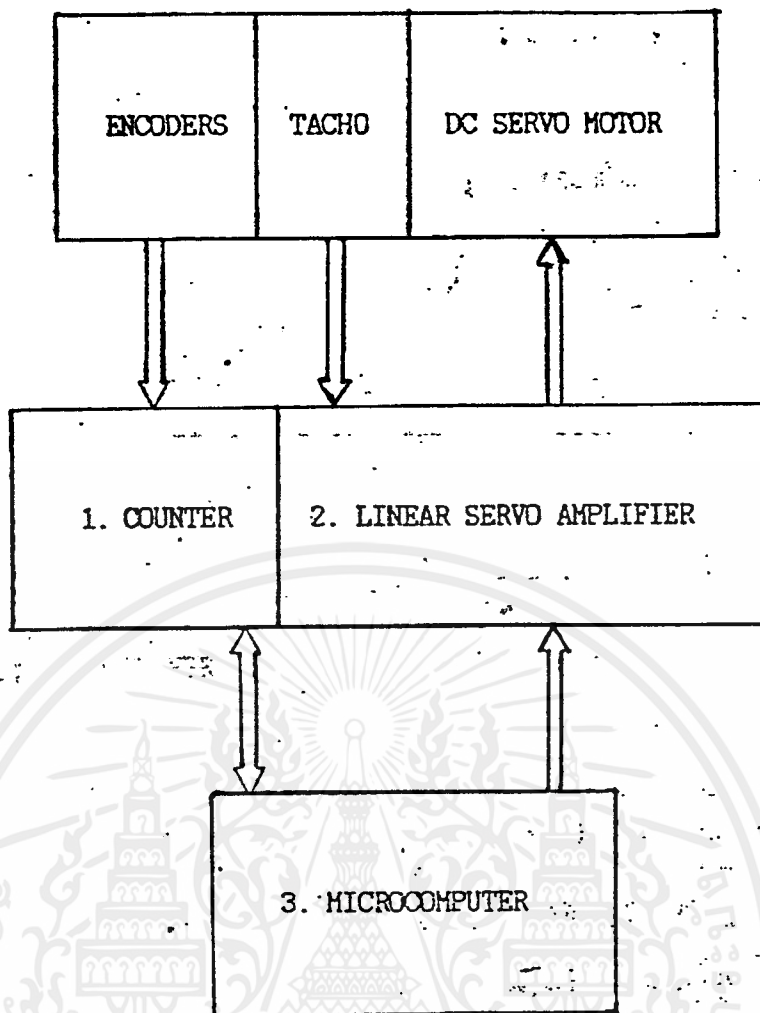
3.1 คำนำ

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎี และหลักในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยได้แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่ศึกษาตัวมอเตอร์, ตัวเซนเซอร์ และวิธีควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ในบทนี้ก็จะกล่าวถึงวิธีคำนวณ และออกแบบส่วนต่าง ๆ ของโครงงาน และแสดงวงจรจริงของแต่ละส่วนที่ใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

3.2 ลำดับการทำงานของวงจรรวม

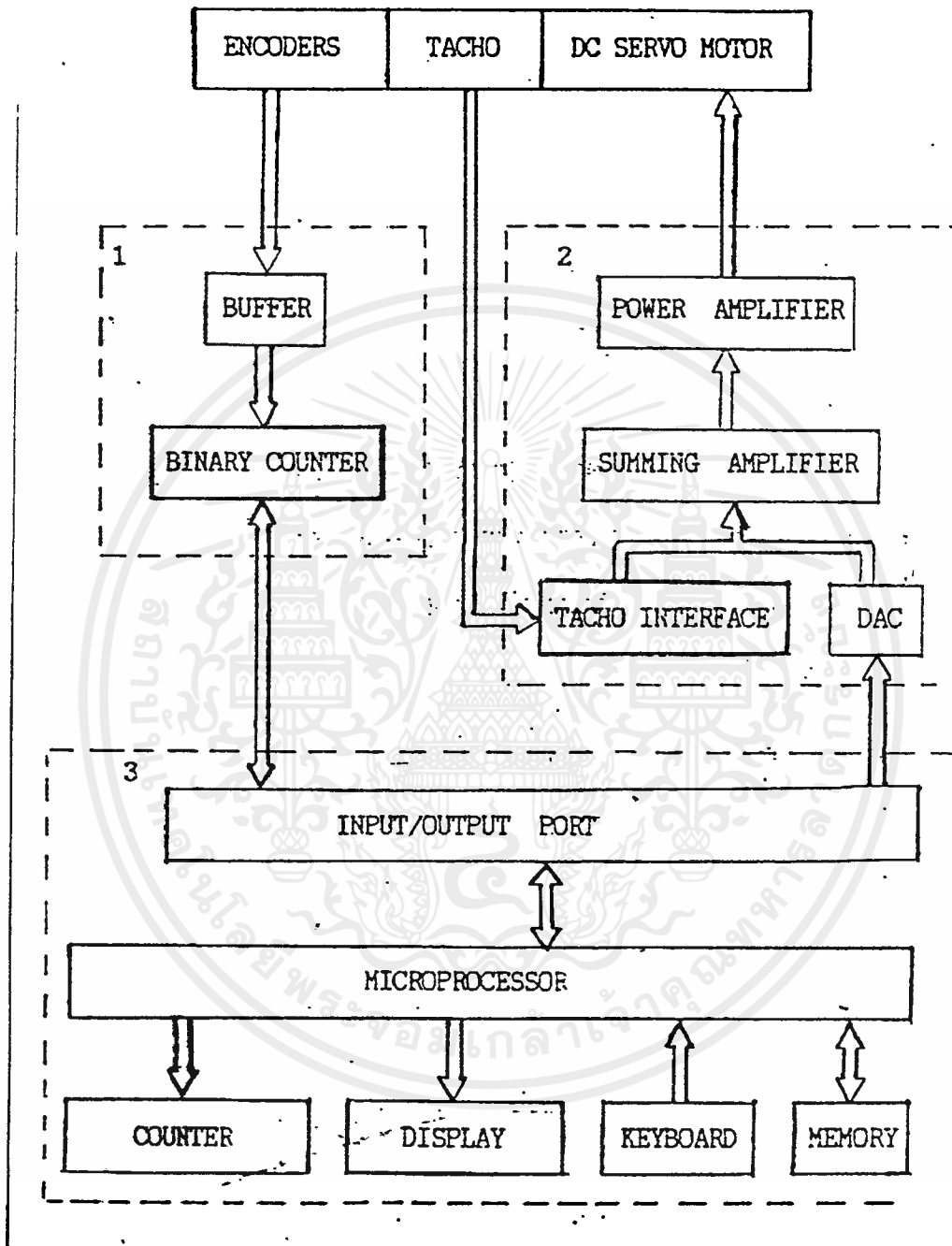
ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถนำไปควบคุมกระบวนการได้มากมาย เช่น ควบคุมหุ่นยนต์, ควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิ, ควบคุมแรงดันไฟฟ้า, ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า เป็นต้น

ไมโครโปรเซสเซอร์ ประกอบด้วย ส่วนควบคุมกลาง (Control processing unit) โดยประดิษฐ์ขึ้นในรูปวงจรรวมในชิปเดี่ยว (IC) ซึ่งมีอยู่หลายเบอร์ในส่วนี้จะใช้เบอร์ Z-80 เราสามารถจัดให้ไมโครโปรเซสเซอร์ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Peripheral) ได้โดยวิธีการอินเตอร์เฟส (Interface) การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ชุดอินเตอร์เฟสจะทำหน้าที่ติดต่อบับสัญญาณจากชุดเอนโคเดอร์ จากแผงคีย์ (Key Board) จากหน่วยความจำ แล้วนำมาประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้เขียนสั่งไว้ แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ พร้อมทั้งแสดงผล ซึ่งลำดับการทำงานรวมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของวงจร

จากรูปที่ 3.1 จะแบ่งบล็อกไดอะแกรมออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ภาค Counter, ภาค Linear Servo Amplifier, ภาค Micro processor โดยแต่ละภาคมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ ภาคไมโครโปรเซสเซอร์จะรับคำสั่งทางแปงคีย์ติดต่อกับหน่วยความจำ และประมวลคำสั่งที่ถูกเขียนไว้ แจ้งสัญญาณผ่าน Output Port ไปยังภาค Linear Servo Amplifier เพื่อควบคุมทิศทางการหมุนและความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ ขณะที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนชุดสัญญาณของเอนโคเดเตอร์จะสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมส่งเข้าภาค Counter ซึ่งภาค Counter จะนับจำนวนสัญญาณของเอนโคเดเตอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลใหม่ในหน่วยความจำ แล้วส่งสัญญาณไปยังชุดแสดงผล และภาค Linear Servo Amplifier เพื่อควบคุมการหมุนมอเตอร์สัญญาณจากชุดเอนโคเดเตอร์จะส่งไปยังชุด Counter และย้อนกลับเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ CPU ก็จะนำการประมวลผลอีก ลำดับการทำงานจะซ้ำ ๆ กัน จนกว่าจะเสร็จสิ้นการทำงาน และรอรับคำสั่งใหม่ จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 สามารถขยายแต่ละบล็อกให้ละเอียดขึ้นได้ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแต่ละภาคของวงจร

การทำงานของบล็อกโคอะแกรม ตามรูปที่ 9.2 ไมโครโปรเซสเซอร์ จะรับคำสั่งทางคีย์บอร์ด โดยส่งตัวเลขจำนวนรอบได้สูงสุด 4 หลัก แล้วตามด้วยทิศทางการหมุน ค่าตัวเลขและทิศทางการหมุนที่กดผ่านคีย์บอร์ดจะแสดงที่ "Setting value" โดยโปรแกรม Scan Key Board เมื่อกดคีย์บอร์ด "Excc" ไมโครโปรเซสเซอร์จะเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นจะส่งข้อมูลไปที่ Output port ผ่านไปยัง DAC ชุด DAC จะเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกหรือระดับแรงดันที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั่นเอง แรงดันที่ออกจากชุด DAC จะรวมกับแรงดันของชุด Tache Interface ในลักษณะหักล้างกัน แล้วเข้าสู่ Summing Amplifier ชุด Amplifier ชุด Power Amplifier เป็นส่วนที่ขยายกระแสเพื่อจ่ายให้เซอร์โวมอเตอร์อย่างเพียงพอ เมื่อเซอร์หมุน ชุดเอ็นโค้ดเดอร์ จะสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมไปยังภาควงจรถับ ผ่านชุด Buffer เพื่อแยกชุด เอนโค้ดเดอร์และวงจรถับให้แยกจากกันเชิงไฟฟ้า และตัดสัญญาณรบกวนจากวงจรถับเลขฐานสอง จะส่งกลับไป Input Port ของภาคไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครโปรเซสเซอร์จะตรวจสอบสัญญาณเอาท์พุทของภาควงจรถับเมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนครบ 1 รอบ ชุดวงจรถับเลขฐานสองจะปรากฏข้อมูล (11 0010 0000) ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะทราบว่าขณะนี้เซอร์โวมอเตอร์หมุนครบ 1 รอบ โปรแกรมในส่วนนี้จะสั่งให้ ไมโครโปรเซสเซอร์ทำการ Reset ชุดวงจรถับเลขฐานสองให้เริ่มนับใหม่ พร้อมกันนี้ก็สั่งให้ Display Counter เริ่มนับ 1 ลดค่าตัวเลขที่เก็บไว้ในหน่วยความจำลงหนึ่งแล้วส่งสัญญาณไปที่ DAC ใหม่ สัญญาณที่ DAC จะมีค่าลดลง ถ้าไมโครโปรเซสเซอร์ ตรวจสอบแล้วพบว่าค่าในหน่วยความจำที่เก็บลดลงเหลือแค่ 2 รอบ ดังนั้นการควบคุมความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ในที่นี้คือ เมื่อสั่งให้มอเตอร์หมุน 100 รอบ มอเตอร์จะเริ่มหมุนด้วยความเร็วสูงสุด จนกระทั่งถึง 98 รอบจึงลดความเร็วลง และเมื่อถึงรอบที่ 99 จะเข้าสู่การหยุดของเซอร์โวมอเตอร์ ในรอบการหยุดของเซอร์โวมอเตอร์จะมีการทำงานดังนี้

เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนครบรอบที่ 99 วงจรถับเลขฐานสองจะถูก Reset ให้เป็นศูนย์แล้วเริ่มนับใหม่ในรอบสุดท้าย ไมโครโปรเซสเซอร์จะเริ่มตรวจสอบสัญญาณของวงจรถับโดยแบ่งช่วงการตรวจสอบออกเป็น 5 ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนมาถึง 180 องศา เอาท์พุทของวงจรถับจะเท่ากับ (1 1001 0000) ไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งให้ DAC ลดระดับแรงดันที่จ่ายให้กับเซอร์โวมอเตอร์ลงเหลือ 1.5 โวลต์

ช่วงที่ 2 เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนมาถึง 225 องศา เอาท์พุทของวงจรถับจะเท่ากับ (1 1111 0100) ไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งให้ DAC ลดระดับแรงดันที่จ่ายให้เซอร์โวมอเตอร์ลง

จากรูปที่ 3.3 ต้องการแรงดันเอาต์พุตที่ DAC = 10 V

$$V_1 = V_{ref} (R_8) [D_0/2 + D_1/4 + D_2/8 + D_3/16 + D_4/32 + D_5/64 + D_6/128 + D_7/256]$$

$$= V_{ref}/R_8 (R_8) (255/256)$$

จากตารางคุณสมบัติของ MC 1408 ในภาคผนวก

$$V_{ref} = 2 \text{ V}, R_8 = 1 \text{ K}$$

ดังนั้น

$$R_8 = V_{DAC} R_8 / V_{ref} = 256/255$$

$$= (10 \text{ V}) (1\text{K}/2\text{v}) (256/255)$$

$$R_8 = 5019 \text{ โอห์ม}$$

เลือก $R_8 = 5 \text{ โอห์ม}$

เนื่องจาก V_1 จะเปลี่ยนแปลงจาก 0-10 V แต่เราต้องการแรงดันที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งบวกและลบ เพื่อส่งให้มอเตอร์หมุนได้ทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นจึงต้องสร้างวงจรรวมแรงดัน โดยบวกด้วยแรงดันลบ 5 V

$$V_{dac} = -A_v (V_{dac} - 5V)$$

เมื่อ $V_1 = 0 \text{ V}$ แรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวก

$$V_{dac} = -A_v (0 - 5V) = -5V$$

ฉะนั้นเมื่อต้องการ $V_{out} = 10 \text{ V}$

$$A_v = 10/5 = 2 \text{ เท่า}$$

เลือก $R_6, R_7 = 10 \text{ K}$

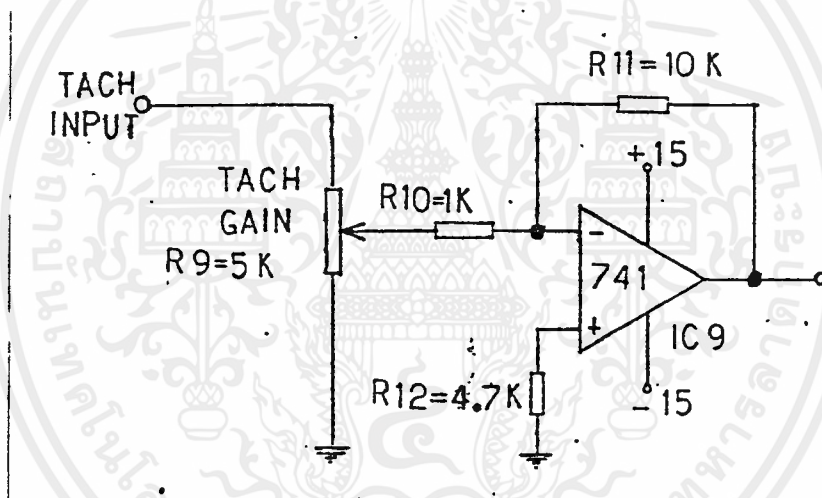
$$A_v = R_6/R_8$$

$$R_6 = A_v R_8 = 2 * 10 \text{ K} = 20 \text{ K}$$

เลือก $R_8 = 50 \text{ K}$

3.3.2 ทาโค อินเตอร์เฟส (Tacho Interface)

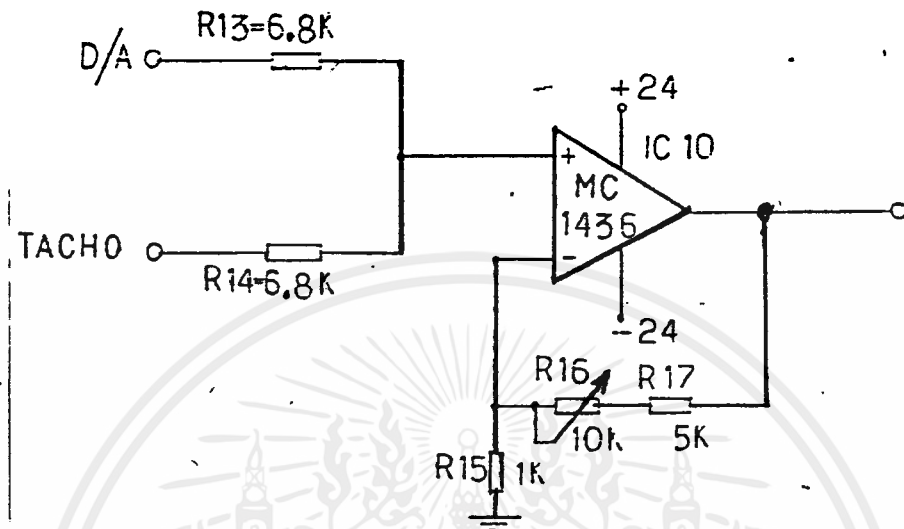
ในการควบคุมความเร็วแบบลูปปิด ต้องมีการตรวจอ้างอิงความเร็วของมอเตอร์จริงในขณะนั้น มาเปรียบเทียบกับความเร็วที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับความเร็วมีหลายแบบ เช่น แบบที่ให้เอาท์พุท เป็นความถี่ แต่ในที่นี้เป็นแบบให้เอาท์พุทเป็นแรงดัน มีลักษณะเหมือนกับ Generator แบบ Permanent magnet โดยต่อเพลาร่วมกันกับมอเตอร์ แรงดันทาโคที่วัดเท่ากับ 5 โวลต์ ดังนั้นในส่วนนี้ควรมีการขยายแรงดันให้มากขึ้น โดยใช้ Op-Amp และสามารถปรับอัตราขยายได้เพื่อให้คล่องข้อในการปรับแต่งค่าที่เหมาะสม จากรูปที่ 3.4 ใช้วงจรขยายแบบกลับเฟส และปรับอัตราขยายได้ที่ Tach Gain



รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Tacho Interface

3.3.3 วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

ชุด Summing Amplifier เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันของชุด DAC และ สัญญาณแรงดันของ Tacho เข้าด้วยกัน แล้วขยายสัญญาณเพื่อนำไปขับทรานซิสเตอร์ต่อไป ดังนั้น ต้องเลือกใช้อัตราขยายของ Op-Amp สูง และใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันสูง ในที่นี้ใช้ Op-Amp MC 1436 +- 40 Volt



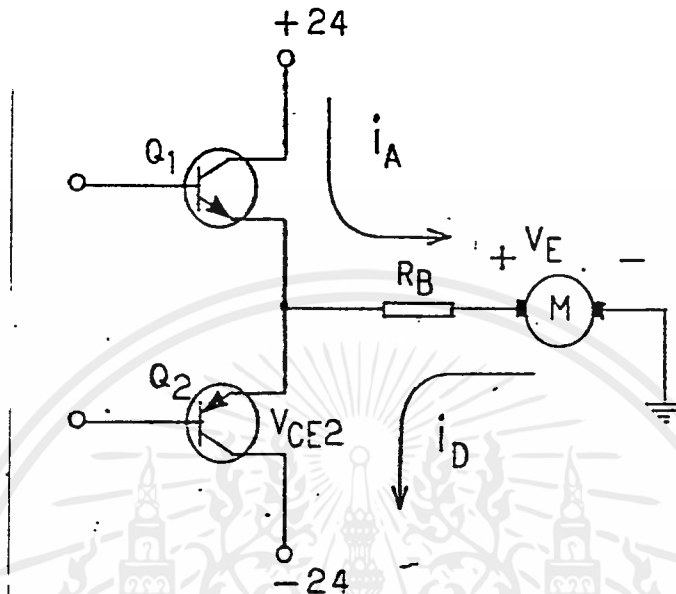
รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Summing Amplifier

จากรูปที่ 3.5 Op-Amp สามารถขยายแรงดันได้ถึง +24 V เพื่อนำไปไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ได้เพียงพอ ขนาดของแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์ให้หมุนที่ความเร็วต่าง ๆ สามารถเลือกได้โดยใช้ตารางในบทที่ 4 มาพิจารณา

3.3.4 เพาเวอร์แอมพลิไฟ

ในการออกแบบวงจรเพาเวอร์แอมพลิไฟ เพื่อเป็นชั้นพลาซจ่ายให้กับเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง เรามีลำดับขั้นการออกแบบดังนี้

เซอร์โวมอเตอร์ต้องการใช้ไฟ +-24 โวลต์ให้แก่มอเตอร์ที่มีกระแสสูงสุด 3 แอมป์ มีความต้านทานอาเมเจอร์ 2 โอห์ม และมีโวลต์เต้จย้อนกลับ 6 โวลต์



รูปที่ 3.6 แสดงฟอร์เวอร์คไบอัสเบรคดาว์ครั้งที่สองซึ่งมีผลต่อลิเนียร์ไบโพลาร์แอมพลิไฟ

ในขณะที่ Q_1 กำลังนำกระแส Q_2 จะอยู่ในสภาวะออฟ ซึ่งมอเตอร์อยู่ในสภาวะหมุนตามเข็มนาฬิกา ต่อจากนั้นกระแสของมอเตอร์ถูกทำให้ไหลกลับทิศทางไปยังค่าที่จำกัด $I_d = 3$ แอมป์ ในขณะที่นั้น Q_2 กำลังนำกระแส จึงจำกัดให้ Q_1 นำกระแสได้ไม่เกิน V_{ce2}/R_a

เมื่อ $R_a = 2$ โอห์ม, $V_e = 18$ โวลต์

ดังนั้น
$$-24 + V_{ce2} + I_d R_a - V_e = 0$$

$$V_{ce2} = V_e + 24 - I_d R_a$$

แทนค่า จะได้

$$V_{ce2} = 24 + 18 - 6 = 36 \text{ โวลต์}$$

ในการเลือกทรานซิสเตอร์ต้องสามารถทนโวลต์เต็มได้ 36 โวลต์ ที่ 3 แอมป์ หรือค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

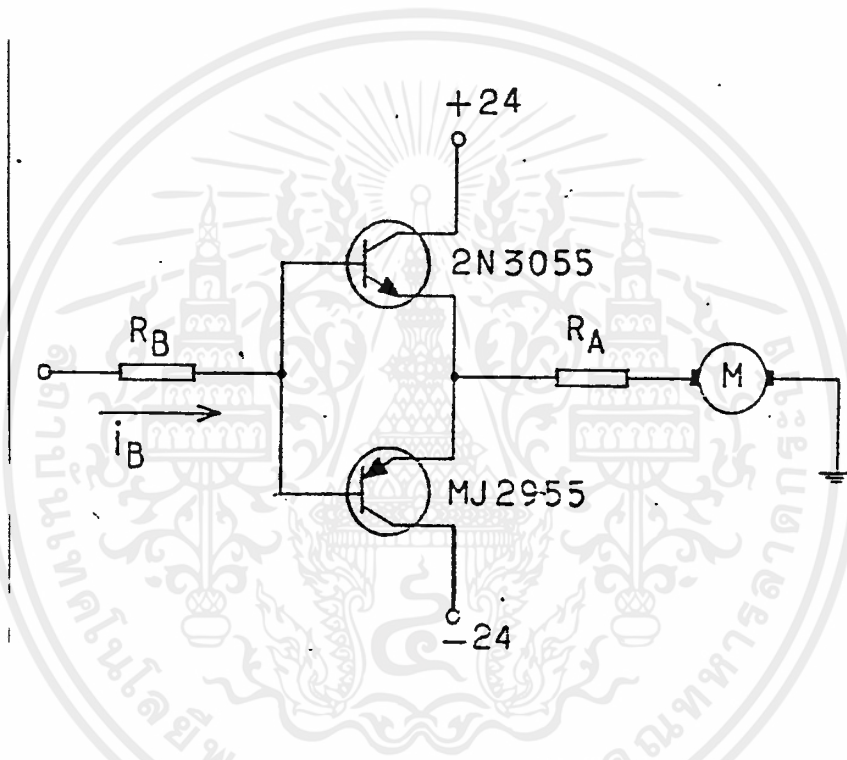
พิกเพาเวอร์เท่ากับ 108 วัตต์

เลือกเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนี้

NPN No. 2N3055

PNP No. MJ2955

จาก Data book เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายกระแส 20 ที่ 60 โวลท์ และ 115 วัตต์



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรลิเนียร์ไบโพลาร์แอมพลิไฟ

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$= \frac{3}{20}$$

$$= 150 \text{ มิลลิแอมป์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ Q_1 ทำงานและ Q_2 ไม่ทำงาน จะได้

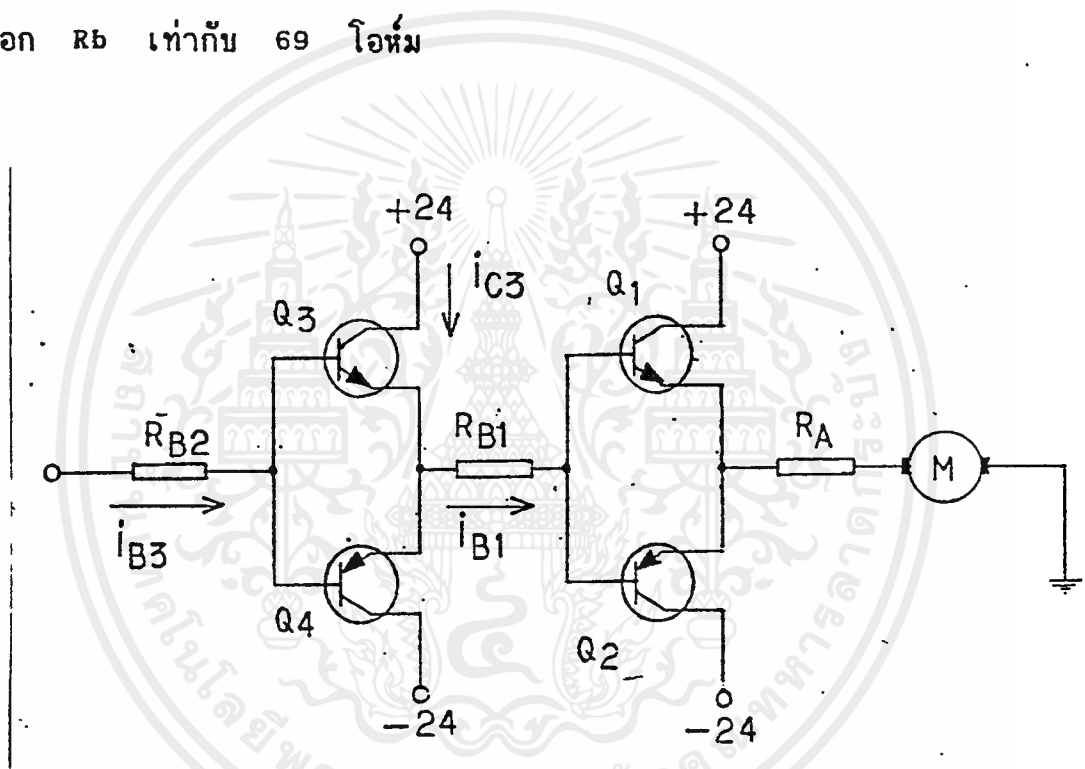
$$I_b R_b + I_a R_a + V_e = 0$$

$$R_b = (V_{be} + I_a R_a + V_e) / I_b$$

$$= (0.7 + 6 - 18) / 150$$

$$R_b = 69 \text{ โอห์ม}$$

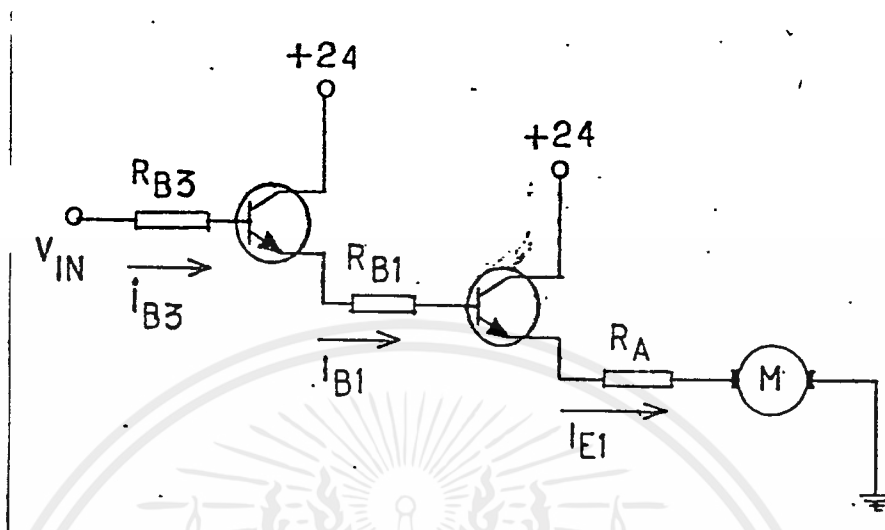
เลือก R_b เท่ากับ 69 โอห์ม



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเพาเวอร์แอมพลิไฟฟี่ที่มีการขยายกระแส

เมื่อเราได้สัญญาณที่ได้จาก D/A และทาโคเซนเนอเรเตอร์ และนำสัญญาณทั้งสองมารวมสัญญาณกัน แล้วเป็นอินพุตให้กับวงจรรวมสัญญาณ โดยใช้ IC No. MC1436G ซึ่งเมื่อได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาแล้ว ต่อเป็นอินพุตให้กับวงจร ลิเนียร์ไบโพลาร์แอมพลิไฟจะทำการขยายเอาต์พุตของออปแอมป์ MC1436G ซึ่งมีกระแสต่ำกว่ากระแสไบแอสของวงจรลิเนียร์ไบโพลาร์ จึงมีการต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้น เป็นการต่อแบบคาร์ลิงตันทั้งฟอร์เวิร์ดไบแอสและรีเวิร์ดไบแอส ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการต่อวงจรทรานซิสเตอร์ไคร์เวอร์แบบคาร์ลิ่งตัน

กำหนดให้ β_2 มีค่า $\beta_2 = 70$

$$\begin{aligned} \text{จาก } I_{E2} &= I_{C2} + I_{B2} \\ &= 2I_{B2} + I_{B2} \\ &= I_{B2} (1 + 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แต่ } I_{E2} &= I_{B1} \\ \text{จะได้ } I_{B1} &= I_{B2} (1 + 2) \end{aligned}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} I_{B2} &= \frac{150}{1+70} \\ &= 2 \text{ มิลลิแอมป์} \end{aligned}$$

เลือกไคร์เวอร์ทรานซิสเตอร์จาก Data book ได้ดังนี้

NPN No. 2N5191

PNP No. 2N5194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.. กำหนดให้ $V_{in} = 20 \text{ V}$

$$V_{in} = I_{b2} + V_{b2s} + V_{b1} + V_{b21} + V_{ra} + V_{\dots}$$

แทนค่า

$$20 = I_{b2} R_{b2} + 0.7 + 11.6 + 0.7 + 6 - 18$$

จะได้

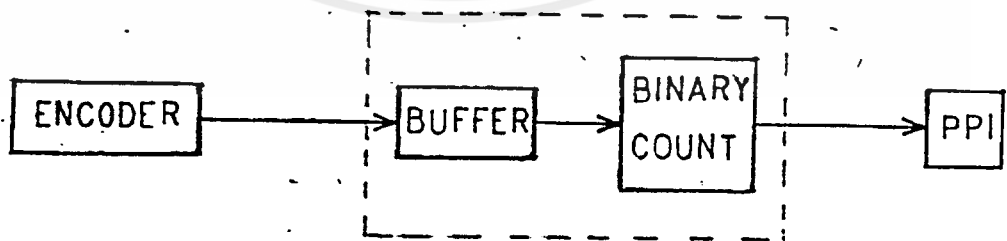
$$R_{b2} = 1/2 \text{ มิลลิแอมป์}$$

$$= 500 \text{ โอห์ม}$$

เลือก $R_{b2} = 1 \text{ กิโลโอห์ม}$

3.4 ภาควงจรนับ (Counter)

การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมตำแหน่งของ DC Servo motor ต้องใช้สัญญาณป้อนกลับจากเอนโคเดอร์ เอนโคเดอร์ของ DC Servo Motor ที่ใช้ในส่วนนี้เป็นแบบอินคริเมนท์ จึงต้องต่อร่วมกับวงจรถับสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรถับนับจะป้อนให้พอร์ทของ PIO สัญญาณจากเอนโคเดอร์ก่อนเข้าวงจรถับนับจะมีวงจรถับเฟอ์เพื่อแยกวงจรถับทำงาน และเป็นการป้องกันชุดเอนโคเดอร์ ดังนั้นในส่วนของวงจรถับนับจึงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ วงจรถับเฟอ์ (Buffer) และวงจรถับเลขฐานสอง (Binary Counter)



รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรถับ

จากรูปที่ 2 IC 1 กระแสอินพุท 10 ma ดังนั้น

$$R1 = 5/10 \text{ V/MA} = 500 \text{ โอห์ม}$$

$$\text{เลือกใช้ } R1 = 560 \text{ โอห์ม}$$

การทำงาน เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ถูกสั่งให้หมุน ชุดเอนโคเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ผ่าน R1 เข้าขา 3 ของ IC1 เมื่อสัญญาณจากเอนโคเดอร์เป็นลอจิก "1" จะทำให้เอาต์พุทที่ขา 6 เป็นลอจิก "1" ด้วยดังนั้นสัญญาณที่เอาต์พุทของ IC1 จะมีเฟสเหมือนกับสัญญาณของเอนโคเดอร์ สัญญาณจากขา 6 ของ IC1 จะเข้ามา 1 ของ IC2 เมื่อ IC2 นับถึง (1111)₂ ก็จะหดไปยัง IC4 ต่อไป วงจรนับเลขฐานสองจะนับจำนวนพัลส์ และส่งสัญญาณเข้าพอร์ตอินพุทของ 8255 เพื่อให้ CPU รับรู้ เมื่อมอเตอร์หมุนครบ 1 รอบเอาต์พุทของวงจรถับจะมีค่าเท่ากับ 11 0110 0000 เห็นได้ว่าเอาต์พุทของ IC₃ เป็นลอจิก "0" ทั้งหมด จึงไม่จำเป็นต้องต่อเอาต์พุทของ IC2 เข้ากับ Port, 8255 ส่วนเอาต์พุท IC₃ และ IC₄ จะต่อเข้ากับ Port A เพื่อใช้ในการหยุดหมุนมอเตอร์ให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งจะอธิบาย Program พร้อมวงจรรวมในส่วนถัดไป.

บทที่ 4

ภาค MICROPROCESSOR

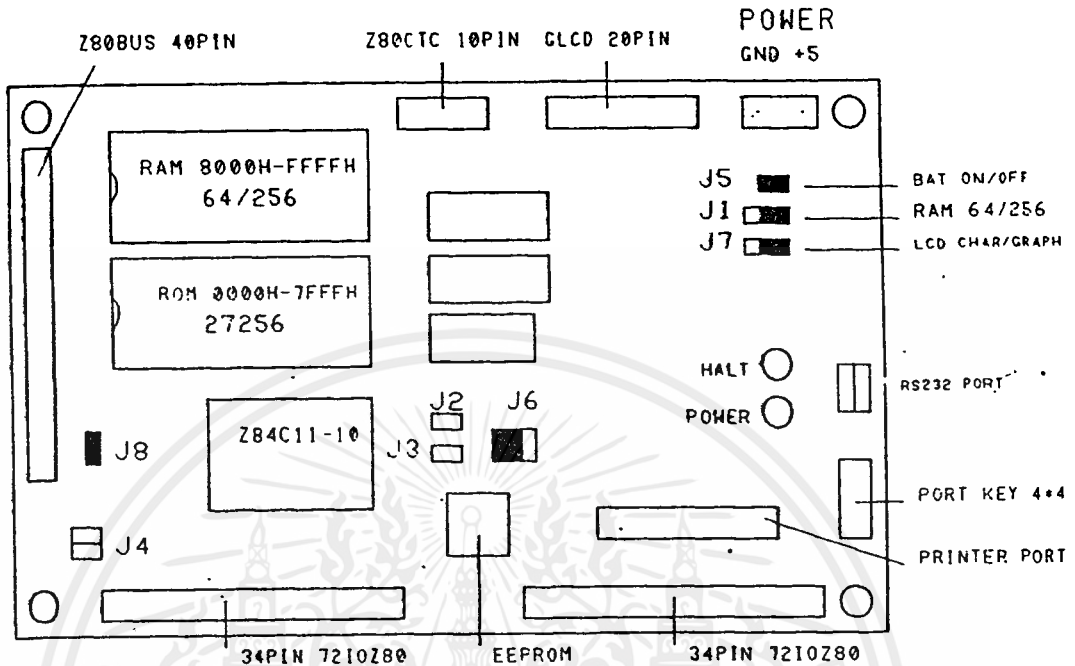
ทางด้านตัวประมวลผลและเก็บข้อมูล เลือกใช้ Microprocessor แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่มี Microprocessor เบอร์ Z84C11 parallel I/O controller เป็นตัวประมวลผลขนาด 8 bit โดยในส่วนของภาคนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของ HARD WARE และ ส่วนของ SOFTWARE

HARDWARE

ใช้ Single Board CP-Z84C11 ของบริษัท ETT ซึ่งที่บอร์ดนี้มีหน่วยประมวลผลหน่วยความจำ หน่วยอินพุต-เอาต์พุต สำหรับติดต่ออุปกรณ์ภายนอกต่อรวมกันอยู่แล้ว ในบอร์ดนี้มีส่วนสำคัญคือ

1. CPU เบอร์ Z84C11 ซึ่งภายในประกอบด้วย

- Z84C00 เป็น CPU Z80 แบบ CMOS run ที่ 10 MHz
- Z84C30 เป็น Z80 CTC แบบ CMOS run ที่ 10 MHz
- CGC เป็น Clock Generator Control Circuit
- WDT เป็น วงจร Watch Dog Timer
- Power on Reset เป็นวงจร Reset CPU เมื่อ Volt Vcc ต่ำกว่า 2.2V
- 40 bit Parallel Port เป็น Port 8 bit จำนวน 5 Port



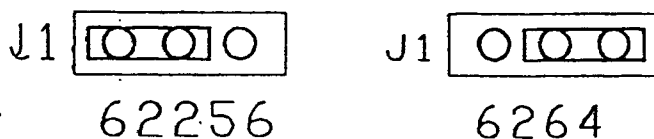
รูปที่ 4.1 CP-Z80C11 I/O CONTROLLER

2. หน่วยความจำ

สามารถใส่หน่วยความจำได้สูงสุด 64 K byte โดยแบ่งเป็น

Socket 1 EPROM สามารถใส่ EPROM ขนาด 32 K byte ได้โดยเป็นเบอร์ 27256 มีหน่วยความจำเริ่มจาก Address 0000H ถึง Address 7FFFH

Socket 2 RAM สามารถใส่ RAM ขนาด 8-32 K byte ได้โดยเป็นเบอร์ 6264 หรือ 62256 มีหน่วยความจำเริ่มจาก Address 8000H ถึง Address FFFFH โดย SetJumperในการกำหนด เบอร์ IC ดังรูป

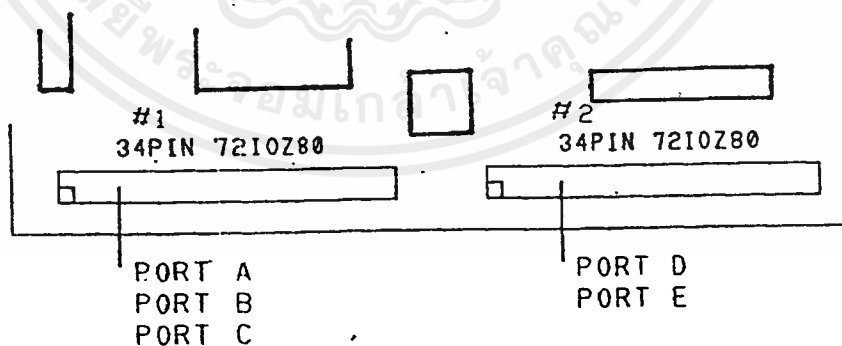


รูปที่ 4.2

หน่วยความจำชนิด RAM ส่วนนี้เราสามารถต่อ BATTERY 3.6V ใช้ BACKUP ข้อมูล หน่วยความจำนี้ได้ด้วย

3. PORT

CP-Z84C11 มี Port ใช้งาน 40 bit I/O หรือ 5 Port ด้วยกัน โดย 5 Port นี้จะเป็น Port ในตัว CPU โดยมีตำแหน่งต่อออกมาดังรูป



รูปที่ 4.3

PORT ที่ต่อออกมานี้จะอยู่เป็น CONNECTOR 34 PIN (7210Z80) สามารถ่อร่วมใช้กับ อุปกรณ์สนับสนุนต่างๆของทาง อิทธิติ ได้มากมาย เช่น ชุด ET-SSRAC , ชุด ET-AD เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>CHANNEL</u>	<u>PORT</u>	<u>ADDRESS</u>	<u>PORT</u>
PORT A	DATA PORT	50H	
PORT B	DATA PORT	51H	
PORT C	DATA PORT	52H	
PORT D	DATA PORT	30H	
PORT E	DATA PORT	40H	

<u>CHANNEL</u>	<u>CONTROL PORT</u>	<u>ADDRESS</u>	<u>PORT</u>
PORT A	DATA DIRECTION REGISTER	54H	
PORT B	DATA DIRECTION REGISTER	55H	
PORT C	DATA DIRECTION REGISTER	56H	
PORT D	DATA DIRECTION REGISTER	34H	
PORT E	DATA DIRECTION REGISTER	44H	

เราสามารถสั่งให้ Port ของ Z84C11 เป็น INPUT หรือ OUTPUT ได้โดยอิสระ bit ต่อ bit โดยถ้าเอาค่าออกที่ Port Direction Register ถ้าให้ bit ใดเป็น "1" ก็คือให้ Port Data ของ bit นั้นเป็น OUTPUT PORT และถ้าเราต้องการให้เป็น INPUT PORT ก็ set ค่าออกที่ Port Direction Register เป็น "0"

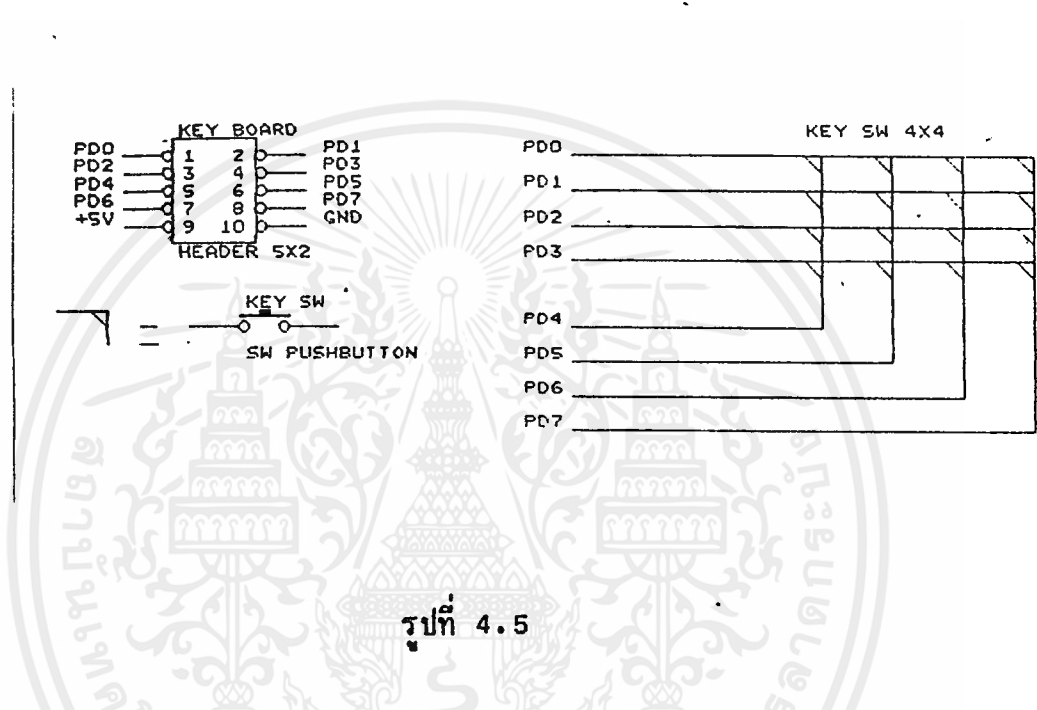
4. MS1 , MS2

MS1, MS2 จะเป็นขา INPUT ของ CPU Z84C11 โดยเป็นการ set ให้ CPU ถ้าอยู่ในคำสั่ง HALT แล้วจะให้อยู่ในสภาวะใด

๕

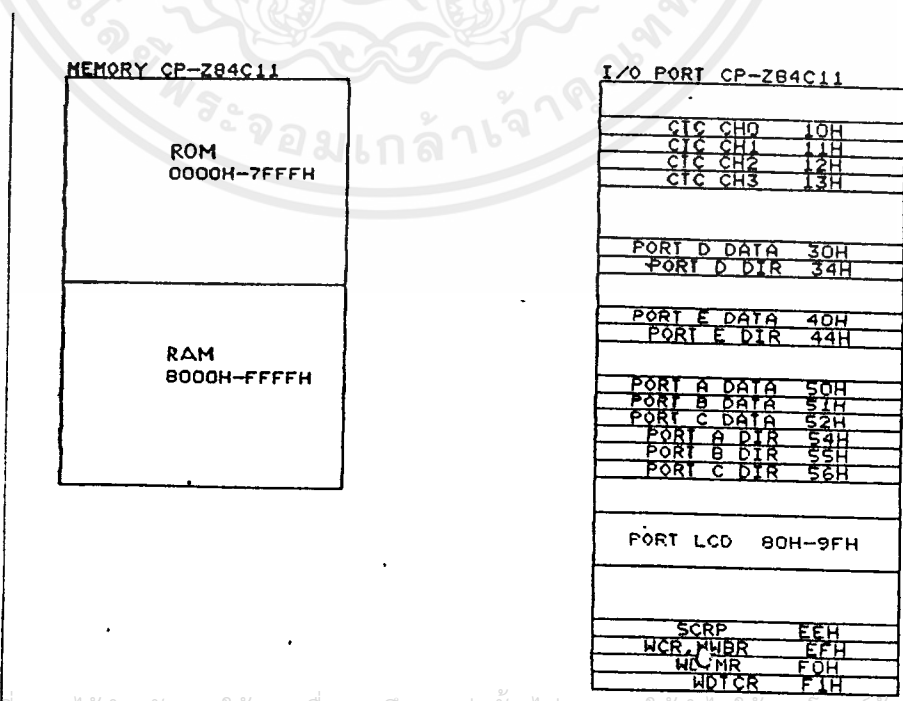
6. KEY BOARD

เป็น Connector ขนาด 10pin ต่อจาก Port PD โดยมี R-PULL-UP 10K ต่ออยู่ด้วย โดย Connector 10pin โดยได้ต่อเป็นรูปแบบ KEY ขนาด 4x4



รูปที่ 4.5

7. MEMMORY MAP ADDRESS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโปรแกรม

1. การพัฒนาโปรแกรมมีขั้นตอนการทำงาน 2 ลักษณะ คือการพัฒนา และการนำไปใช้งาน

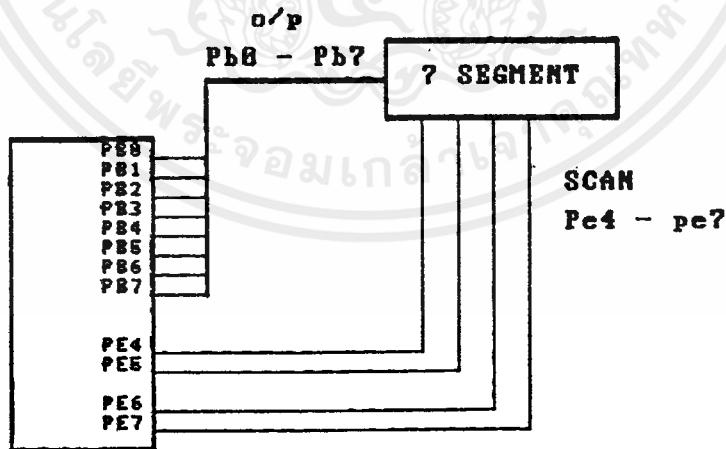
1.1 การพัฒนา ทำโดยการใช้ โปรแกรม DEBUGGER ซึ่งอยู่บน EPROM เสียบลงไปที่ Socket ของ EPROM และต่อ RS-232 ซึ่งมี Socket อยู่ที่ต่อเข้ากับ PC และทำการพัฒนาโปรแกรม บน PC และสามารถทำการ load ลง Board ลอง run ดูได้ทันที

1.2 การนำไปใช้งาน เมื่อเราได้โปรแกรมที่สมบูรณ์แล้ว จึงทำการอัดโปรแกรมลงบน EPROM เริ่มที่ ADDRESS 0000H เมื่อ เสียบลงบนบอร์ด เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง หรือ reset ก็จะสามารถทำงานทันที

ชุดแสดงผล ชุดอินพุท

ชุดแสดงผล

การแสดงผลเป็นแบบ SCAN DISPLAY ใช้ตัวเลขเลขดิจิ 7 เซ็กเมนต์ จำนวน 4 digit เป็นตัวแสดงผล โดย เลือกใช้ที่ port c



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรชุด Display และ ชุด Keyboard input

ชุดคีย์บอร์ดอินพุท

ชุดคีย์บอร์ดอินพุทประกอบด้วย Function Key ทั้งหมด 16 Key คือ 0-9, STP, RUN, RES, DEMO, CW, CCW ซึ่งเป็นแบบ DIRECT I/P

การทำงานของชุดคีย์บอร์ดอินพุทจากรูปที่ 4.7 Function Key ทั้งหมดจะเป็น Input เข้าไปทาง Port C

ส่วนคีย์ RES จะถูกต่อกับ Port I/P PE ต่างหากเพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม ตรวจสอบคีย์นี้ในการออกจากโปรแกรมย่อยที่กำลังทำไปเริ่มรับค่าที่ใหม่ Output Port ที่นำมา Scan Keyboard 4 bit นั้นใช้ร่วมกับการ Scan ตัวแสดงผล

การสร้างโปรแกรม

ในการเริ่มสร้างโปรแกรมจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องมีผังการทำงาน (Flow Chart) ที่ดี เพราะ Flow Chart ที่ดีนั้นหมายถึงว่าจะได้โปรแกรมที่ดีด้วย โดยเราจะต้องคำนึงถึง การทำงานเป็นระบบใหญ่ๆ ทั้งหมดก่อน แล้วมาแยกเป็นระบบย่อยๆ ซึ่งจะประกอบขึ้นเป็นระบบใหญ่นั้นคือเราจะมี Main Program และใน Main Program นั้นจะประกอบไปด้วย Sub Program หลายๆ ส่วน โปรแกรมของเครื่องนี้จะ เป็นแบบวนรอบซ้ำไปเรื่อยๆ โดยในแต่ละรอบซึ่งถือเป็น Main Program และประกอบไปด้วย Sub Program เช่น โปรแกรมรับข้อมูลเข้ามาทางคีย์บอร์ดและ โปรแกรมส่งข้อมูลไปยัง D/A เป็นต้น

การเริ่มเขียน Flow Chart ไม่จำเป็นที่ Flow Chart ครั้งแรกของเราจะสมบูรณ์แบบที่สุด เพราะบางสิ่งย่อมเกิดการผิดพลาดบ้าง เมื่อเราได้ Flow Chart แล้วจึงนำไปเขียนโปรแกรม หลังจากนั้นนำโปรแกรมไปพัฒนาโดยทำเป็นส่วนย่อยๆ เมื่องานสมบูรณ์แล้วจึงนำมารวมกันเป็นโปรแกรมใหญ่ เพื่อเตรียมการอัดโปรแกรมลงบน EPROM ต่อไป

หลังจากที่เราได้ Flow Chart ที่สมบูรณ์แบบแล้ว เราจะนำ Flow Chart นั้นมาเขียนโปรแกรมโดยการเขียนโปรแกรมจะเริ่มเขียนเป็นภาษา Assembly ก่อนแล้วจึงแปลเป็นภาษาเครื่อง หรือการเปิด OP-CODE ของคำสั่งในภาษา Assembly นั้นเองซึ่งวิธีนี้จะก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย เราจึงใช้ Soft Ware ของเครื่อง PC Pomputor ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Cross-16 Soft Ware ในการแปลภาษา Assembly เป็นภาษาของเครื่อง CPU # Z80 โดยการใส่ Soft Ware นี้เพียงแต่ ป้อนโปรแกรมเป็นภาษา Assembly แล้ว run โดยใช้คำสั่ง ASM ก็จะได้ภาษาเครื่อง โดยเราสามารถเก็บข้อมูลที่แปลเป็นภาษาเครื่องแล้ว เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการอัดโปรแกรมลงบน EPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรม

หลักการการทำงานของโปรแกรม อธิบายได้ตามผังการทำงานดังต่อไปนี้คือ โปรแกรมทั้งหมดจะประกอบไปด้วยส่วนของโปรแกรมหลักและโปรแกรมน้อย ในโปรแกรมหลักนั้นจะมีการ Set ค่าต่างๆ จากนั้น โดยจะมีการรอรับคำสั่งจาก Key Board Input ด้วยการ Scan Key ทั้ง 16 โดยจะได้ว่า เมื่อกดคีย์บอร์ดใด ๆ จะให้ผลตามนี้คือ

Key 0-9 จะนำค่า Display Format ของตัวเลขนั้นๆ ไปแสดงออกที่ Display ค่าที่ตั้งไว้

Key EXE, DEM, STP จะกระโดดไปทำโปรแกรมย่อยตามหน้าที่นั้นๆ

Key CW, CCW จะโชว์ LED บอกสถานะว่าให้หมุนซ้ายหรือขวา

Key RES เป็นการยกเลิกการทำงาน หยุดมอเตอร์และกลับมายังส่วนที่รอรับค่าที่ตั้งใหม่

ในส่วนของโปรแกรมน้อยที่สำคัญได้แก่ โปรแกรมย่อย Key EXE, โปรแกรมย่อย CW, CCW Process และโปรแกรมย่อย CW, CCW Break ซึ่งจะทำหน้าที่ดังนี้

โปรแกรมย่อย Key EXE ทันทีที่กด EXE จะมีการตรวจสอบว่าขณะนี้ค่าที่ Set เป็น 0000 หรือ ไม่ ถ้าใช่ก็จะกลับไปสู่การรับค่าใหม่ แต่ถ้าไม่ก็จะตรวจสอบต่อไปว่า ค่าที่ตั้งไว้เท่ากับ 1 หรือ 2 หรือ ไม่ ถ้าใช่ให้ไปทำโปรแกรมย่อย ๆ นั้น แต่ไม่ใช่ให้เปลี่ยนค่านี้เป็น Display Format เป็นค่า Decimal ในทางเป็นจริง จากนั้นก็ควรตรวจสอบว่ามีการกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์หรือยัง แล้วก็ไปทำโปรแกรมย่อยของทิศทางนั้นต่อไป

เหตุผลที่ต้องมีการตรวจสอบว่าเป็นการสั่ง 1 หรือ 2 รอบ หรือไม่ก็เพราะว่า จากากรทดลองพบว่า ใน 2 รอบสุดท้ายนั้นจะมีตำแหน่งการหยุดที่แตกต่างไปจากค่าอื่นๆ ทั้งนี้เพราะ เนื่องจากผลของการผิดเพี้ยนแบบ ครอสโอเวอร์ และเนื่องจากผลของความผิดที่ตัวมอเตอร์ ดังนั้นในการแก้ไขทาง Soft Ware จึงแยกแยะค่านี้มาทำต่างหาก โดยหลักการจะพูดถึงในโปรแกรมน้อยการ Brake ต่อไป

โปรแกรมย่อย CW และ CCW นั้นมีหลักการทำงานเหมือนกัน แต่เหตุที่ไม่ทำเป็นโปรแกรมน้อยเดียว เพราะเนื่องจากความผิดของมอเตอร์ที่หมุนตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกาไม่เท่ากัน การทำงานของโปรแกรมน้อยนี้ จะสั่งให้มอเตอร์หมุนทันทีที่ Speed สูงสุดจากนี้ จะตรวจสอบว่าเป็นศูนย์หรือยัง ถ้าเป็นศูนย์ ก็ให้กระโดดไปทำโปรแกรมย่อยการ Brake ซึ่งทำไว้สำหรับ 2 รอบสุดท้ายด้วยเหตุผลเดียวกัน

C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 คำนำ

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองของเครื่องควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้า กระจายตรงโดยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยจะแสดงลักษณะ รูปคลื่น ตารางและกราฟ

5.2 การทดสอบชุดขับเซอร์โวมอเตอร์

5.2.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบผลของแรงดันกับความเร็วของมอเตอร์
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของแรงดันที่จ่ายให้กับขั้วมอเตอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งต่อแบบลิเนียร์ไบโพลาร์
2. เพื่อศึกษาความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ ขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา
3. เพื่อศึกษาความเป็นลิเนียร์ของความเร็วรอบของมอเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อแรงดันไฟฟ้ากระจายตรง ± 24 โวลต์ ให้กับขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ทั้ง 4 ตัว
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระจายตรง ± 24 โวลต์แบบปรับค่าได้ ที่ขาเบสของ Q1 และ Q2
3. เพิ่มแรงดันจาก -24 โวลต์ จนถึง $+24$ โวลต์
4. ใช้ ดิจิตอลทาคอไมเตอร์โมเดล DT-230 T วัดความเร็วรอบที่แกนเพลลาที่โรเตอร์ของเซอร์โวมอเตอร์

๘

ผลการทดลอง ที่ 1

ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์กับความเร็วรอบของมอเตอร์

ลำดับขั้น	แรงดัน (โวลต์เต็ม)	ความเร็วรอบ (RPM)
1	-24	2440
2	-22	2120
3	-20	1995
4	-18	1700
5	-16	1520
6	-14	1260
7	-12	1030
8	-10	1000
9	- 8	680
10	- 6	410
11	- 4	270
12	- 2	120
13	0	0
14	2	115
15	4	267
16	6	400
17	8	672
18	10	990
19	12	1010

๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับชั้น	แรงดัน (โวลต์เต็ม)	ความเร็วรอบ (RPM)
20	14	1230
21	16	1510
22	18	1695
23	20	1900
24	22	2110
25	24	2440

๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบผลสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก D/A

วัตถุประสงค์

1. เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์เพื่อจ่ายสัญญาณอินพุตเป็นดิจิตอล 8 บิต ส่งผ่านวงจร D/A แล้ว สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นอนาล็อกจะมีการเปลี่ยนแปลงและค่าผิดพลาดเมื่อเทียบกับการคำนวณ

วิธีการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองดิจิตอลเข้ากับอินพุตของ D/A เป็นเลขฐาน 2 จำนวน 8 บิต
2. ต่อวงจรซั่มมิ่งที่เอาต์พุตของ D/A โดยใช้ IC. NO. LM 741 เพื่อขยายสัญญาณที่ได้จาก D/A ให้เป็นบวกและลบ
3. ป้อนสัญญาณให้กับ D/A จำนวน 19 ชั้น ซึ่งต่างกันชั้นละ 16 ในเลขฐานสิบ
4. วัดสัญญาณที่ได้จาก D/A และเอาต์พุตของวงจรซั่มมิ่งบันทึกผลในตารางที่ 4.1
5. คำนวณค่าที่ได้จาก D/A แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1

ผลการทดลอง ที่ 2

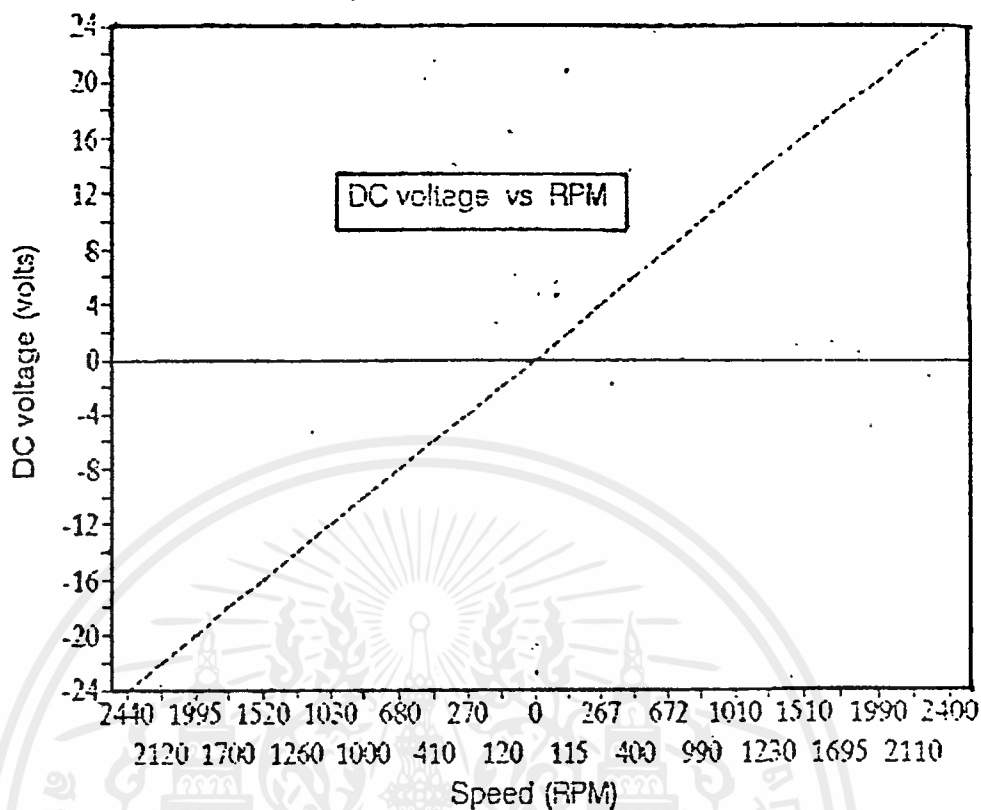
ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิจิตอลกับอนาล็อกและวงจรมั่มมิ่งของอนาล็อก

ลำดับชั้น	เลขฐานสิบ	เลขฐานสิบหก	D/A (Volts)		SUMMING VOLT
			คำนวณ	วัด	D/A (Volts)
1	0	0	0.00	0.00	10.47
2	15	0F	0.588	0.595	9.237
3	30	1E	1.176	1.190	8.024

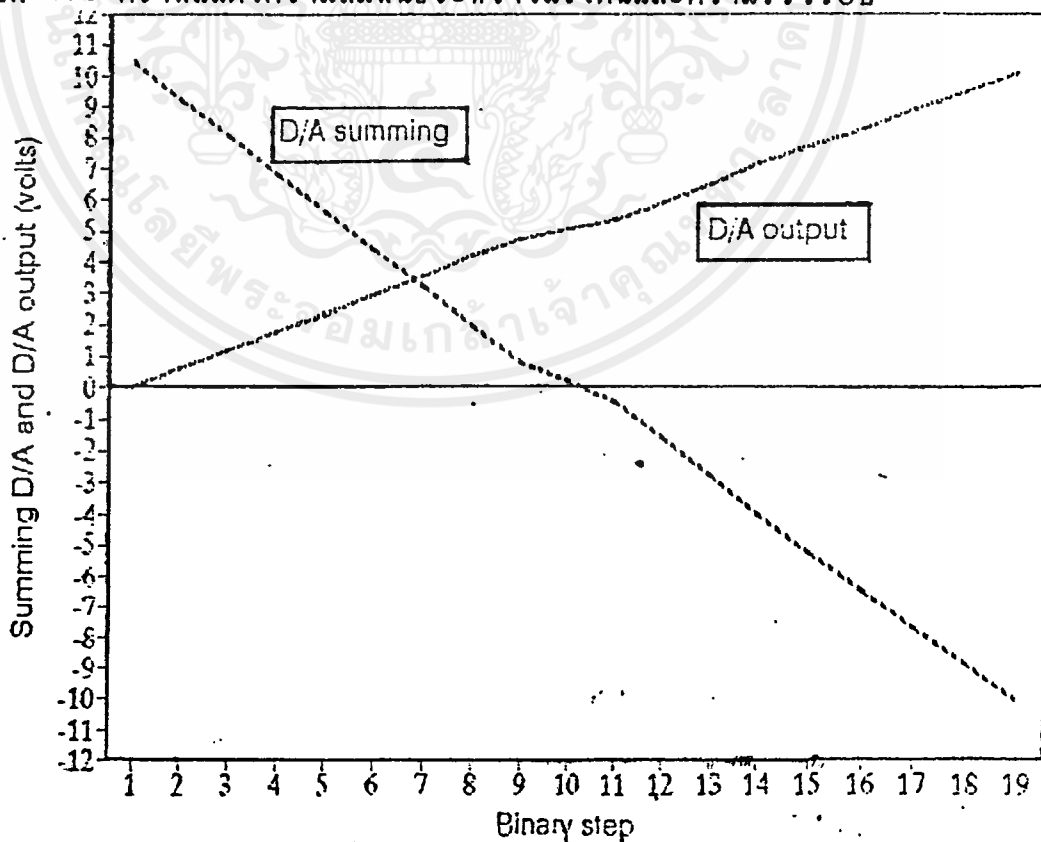
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับชั้น	เลขฐานสิบ	เลขฐานสิบหก	D/A (Volts)		SUMMING VOLT
			ค่านวม	วัด	D/A(Volts)
4	45	2D	1.765	1.78	6.81
5	60	3C	2.353	2.37	5.61
6	79	4B	2.941	2.966	4.399
7	90	5A	3.529	3.558	3.189
8	105	69	4.118	4.157	1.98
9	120	78	4.706	4.737	0.78
10	128	80	5.020	5.049	0.19
11	135	87	5.294	5.325	-0.42
12	150	96	5.88	5.909	-1.61
13	165	45	6.471	6.501	-2.82
14	180	B4	7.101	7.101	-4.04
15	195	C3	7.059	7.687	-5.24
16	210	D2	8.235	8.28	-6.45
17	225	E1	8.824	8.86	-7.65
18	240	F0	9.46	9.46	-8.86
19	255	FF	10.05	10.05	-10.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบ



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน D/A และ D/A Summing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบแรงดันสัมพันธ์กับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยไม่มีสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอร์เรเตอร์
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากชุดSUMMING ของ D/A และความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยไม่มีสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอร์เรเตอร์

วิธีทดลอง

1. ต่อชุดขั้วมิ่งระหว่าง D/A และทาโคมิเตอร์เข้ากับชุดฟาวเวอร์แอมป์ไฟเออร์เข้ากับชุด SUMMING
2. ต่อชุด D/A เข้ากับชุด SUMMING
3. ไม่ต้องต่อทาโคมิเตอร์ที่ชุด SUMMING
4. จ่ายสัญญาณดิจิตอลเข้าที่ชุด D/A แล้วจ่ายเป็นขั้นตอน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
5. ใช้OSCILLOSCOPEวัดโวลท์ที่ตกคร่อมมอเตอร์และเอาท์พุทของชุดSUMMING
6. ใช้ดิจิตอล ทาโคมิเตอร์จับความเร็วรอบของ เซอร์โวมอเตอร์
7. บันทึกผลลงในตารางที่ 4.3

ผลการทดลองที่ 3

ตารางที่ 5.3 วัดแรงดันที่ได้จาก D/A เปรียบเทียบกับความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ โดยไม่มีสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอร์เรเตอร์

ลำดับขั้น	D/A (Volts)	แรงดันตกคร่อม มอเตอร์ (Volt)	ความเร็วรอบ (RPM)
1	10.47	24	2675

ลำดับชั้น	D/A (Volts)	แรงดันตกคร่อม มอเตอร์ (Volt)	ความเร็วรอบ (RPM)
2	9.237	23.6	2600
3	8.024	23.4	2475
4	6.81	23	2380
5	5.61	20	2100
6	4.399	19.2	1950
7	3.185	19	1870
8	1.98	13	1400
9	0.78	4	245
10	0.19	0	0
11	-0.42	-3	158
12	-1.61	-14	1315
13	-2.82	-19	2010
14	-4.04	-22	2370
15	-5.24	-23.1	2400
16	-6.45	-23.13	2410
17	-7.65	-23.5	2432
18	-8.86	-23.8	2450
19	-10.07	-24	2460

๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 การทดลองที่ 4 ทดสอบแรงดันสัมพันธ์กับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยต่อสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากชุดซั้มมิ่งของ D/A และความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยต่อสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อชุดทาโคมิเตอร์และชุด D/A ผ่านวงจรSUMMING
2. จ่ายสัญญาณดิจิตอลเข้าที่ชุด D/A แล้วจ่ายเป็นขั้นตอนดังตาราง
3. ใช้OSCILLOSCOPEวัดโวลท์เตจตกคร่อมมอเตอร์ และชุดSUMMING แอมพลิไฟเออร์
4. ใช้คิตจิสตอลทาโคมิเตอร์จับความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์
5. บันทึกผลลงในตารางที่ 4.4

ผลการทดลองที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 วัดแรงดันที่ได้จาก D/A เปรียบเทียบกับความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ โดยต่อสัญญาณป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์

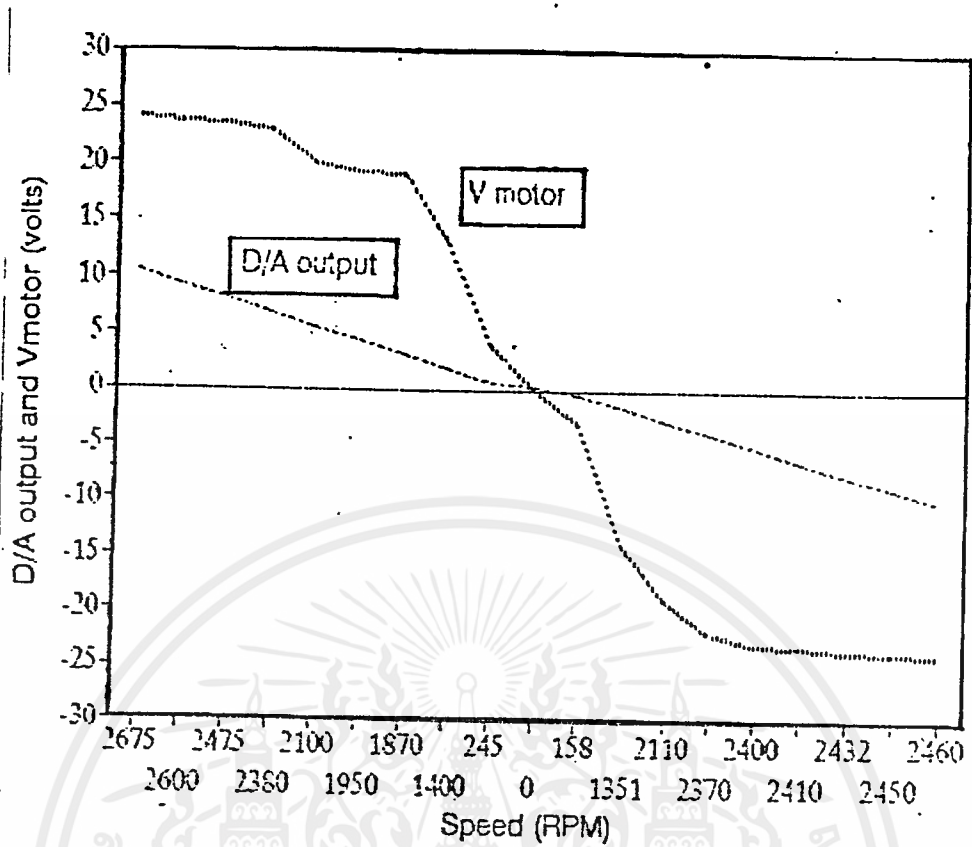
ลำดับขั้น	แรงดันรวมของ D/A และทาโคเซนเนอเรเตอร์	แรงดันเอาท์พุทของซั้มมิ่ง	แรงดันตกคร่อมมอเตอร์	ความเร็วรอบ
1	1.1	21	20	1990
2	1.0	20	19	1870
3	0.9	17	16	1730
4	0.8	15	14	1255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

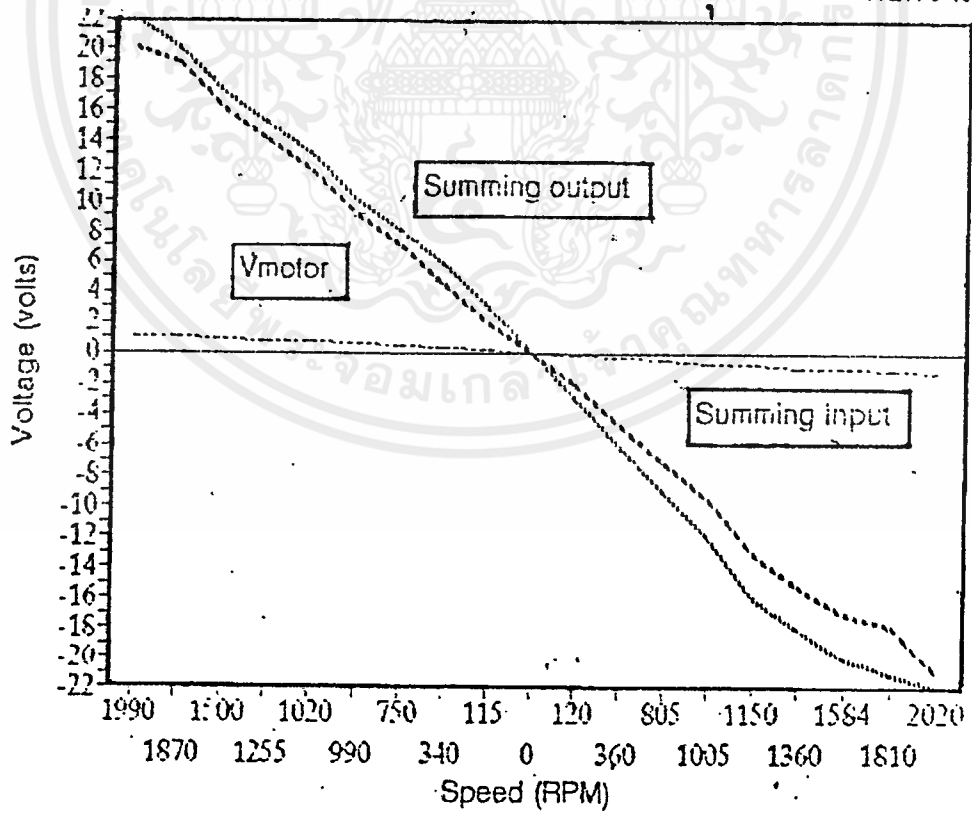
ลำดับชั้น	แรงดันรวมของ D/A และ ทาโคเซนเนอเรเตอร์	แรงดันเอาท์พุท ของขั้วมิ่ง	แรงดันตกคร่อม มอเตอร์	ความเร็วรอบ
5	0.7	13	12	1020
6	0.6	10	9	990
7	0.5	8	7	750
8	0.3	5.8	4.5	340
9	0.2	3	2	115
10	0.0	0	0	0
11	-0.2	-3	-2.1	120
12	-0.4	-6	-4.7	360
13	-0.5	-9	-7.2	805
14	-0.7	-12	-9.4	1005
15	-0.8	-16	-13	1150
16	-0.9	-18	-15.2	1360
17	-1.0	-20	-17	1584
18	-1.1	-21	-17.9	1810
19	-1.2	-22	-21	2020

๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันที่ได้จากซอร์ซUMMINGกับความเร็วรอบ



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ได้จาก D/A กับความเร็วรอบ

๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 การทดลองที่ 5 ทดสอบหาค่าแรงดันในส่วนต่างๆ ที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาแรงดันในส่วนต่างๆ ที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน
2. หาค่าที่ส่งจาก D/A แล้วได้ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับ การตั้งค่าก่อนหยดให้กับมอเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อภาคต่างๆของวงจร คือ ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ชุด D/A , ชุดขั้วมิ่ง ชุดพาวเวอร์แอมป์ไฟเออร์ และส่วนป้อนกลับจากทาโคเซนเนอร์เตอร์
2. ส่ง DATA ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์โดยเริ่มจากทำ step ที่มอเตอร์ เกือบหมุนทางด้านเกือบหมุนตามเข็มนาฬิกา
3. วัดสัญญาณแรงดันที่จุดต่างๆด้วย OSCILLOSCOPEบันทึกผลในตารางที่ 4.5ก
4. เพิ่มค่า DATA 1 step แล้วทำตามข้อ 3 ไปอีก 4 step
5. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 2,3,4 แต่เปลี่ยนเป็น DATA ที่ทำให้มอเตอร์ หมุนทวนเข็มนาฬิกา แล้วบันทึกในตารางที่ 4.5ข

๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 5

ตารางที่ 5.5ก ทดสอบค่าแรงดันที่ทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

ลำดับขั้น	แรงดัน D/A	แรงดันทาโค- เจนเนอเรเตอร์	แรงดันรวม D/A และทาโคเจนฯ	แรงดัน ขั้วมิ่ง	แรงดัน ไบอัส	แรงดัน มอเตอร์
1	0.3	0.05	0.20	2.5	2.0	1.0
2	0.4	-0.05	0.20	3.0	2.4	1.2
3	0.5	-0.09	0.20	3.0	2.5	1.2
4	0.5	-0.1	0.20	3.0	2.5	1.5
5	0.6	-0.2	0.20	3.1	2.7	1.6

ตารางที่ 5.5ข ทดสอบค่าแรงดันที่ทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับขั้น	แรงดัน D/A	แรงดันทาโค- เจนเนอเรเตอร์	แรงดันรวม D/A และทาโคเจนฯ	แรงดัน ขั้วมิ่ง	แรงดัน ไบอัส	แรงดัน มอเตอร์
1	-0.2	0.05	-0.1	-2.5	-2.0	-1.0
2	-0.3	0.05	-1.4	-3.0	-2.4	-1.4
3	-0.4	0.1	-0.1	-3.0	-2.5	-1.5
4	-0.5	0.2	-0.14	-3.5	-3.0	-1.5
5	-0.5	0.25	-0.18	-3.0	-2.5	-2.0

๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 การทดลองที่ 6 ทดสอบตำแหน่งผิดพลาดของการหยุดของมอเตอร์
วัตถุประสงค์

เพื่อแสดงเปรียบเทียบตำแหน่งผิดพลาดจากการหยุดหมุนที่เกิดเนื่องจากแรงเฉื่อย
ของโรเตอร์ และความผิดที่ไม่เท่ากันตลอดรอบการหมุนทั้งซ้ายและขวา

วิธีทดลอง

1. ต่อภาคต่างๆของวงจร คือส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ชุด DIA ชุด SUMMING
เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ โดยไม่มีส่วนป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์
2. สั่งจำนวนรอบด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ให้มอเตอร์หมุนตามเข็มด้วยค่า
1 รอบ, 10 รอบ, 100 รอบ, และ 1,000 รอบ สังเกตตำแหน่งที่หยุดครั้งสุดท้าย บันทึกผลใน
ตารางที่ 4.6ก
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 โดยเปลี่ยนให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา บันทึกผลใน
ตารางที่ 4.6ข
4. ต่อภาคป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์ ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 2
และ ข้อ 3 บันทึกผลลงในตารางที่ 4.7ก และ 4.7ข

ตารางที่ 5.6ก

ตามเข็มนาฬิกาไม่มีการป้อนกลับจากทาโคเซนเนอเรเตอร์				
รอบที่ตั้ง	1	10	100	1000
ระบบที่ผิดพลาด	5.5	8.3	7.4	9.8

ตารางที่ 5.6ข

ทวนเข้มนาฬิกาไม่มีการป้อนกลับจากทาโคเยนเนอเรเตอร์				
รอบที่ตั้ง	1	10	100	1000
ระบบที่ผิดพลาด	4.2	6.6	7.2	7.5

ตารางที่ 5.7ก

ตามเข้มนาฬิกามีการป้อนกลับจากทาโคเยนเนอเรเตอร์				
รอบที่ตั้ง	1	10	100	1000
ระบบที่ผิดพลาด	2.3	1.9	2.1	1.7

ตารางที่ 5.7ข

ทวนเข้มนาฬิกามีการป้อนกลับจากทาโคเยนเนอเรเตอร์				
รอบที่ตั้ง	1	10	100	1000
ระบบที่ผิดพลาด	2.1	1.7	1.8	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผล

6.1 คำนำ

ในการทำโครงการการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยไมโครคอมพิวเตอร์ นี้เป็นการศึกษาในเรื่องของการออกแบบภาคขับลิเนียร์แอมพลิไฟ ชนิดไบโพลาร์ซึ่งมีการควบคุม 4 ควอดแดนท์ , ภาคควบคุมความเร็วที่อาศัยตัวป้อนกลับ คือ ทาโคเซนเซอร์ และภาคควบคุมตำแหน่งซึ่งใช้ตัวป้อนกลับคือ อินกรีเมนต์เอนโค้ดเดอร์โดยมีตัวไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม ประมวลผล สั่งให้มอเตอร์หมุนและหยุดตามตำแหน่งที่ตั้งไว้ในภาคขับลิเนียร์แอมพลิไฟนี้เป็นการศึกษาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่สามารถนำอุปกรณ์พวกสารกึ่งตัวนำคือทรานซิสเตอร์ มา ออกแบบใช้งานได้ ซึ่งในภาคควบคุมความเร็วเป็นการศึกษาการควบคุมตำแหน่งซึ่งเป็นการศึกษาการควบคุมที่มีการป้อนกลับ ในเชิงสัญญาณดิจิทัล ก็จะสามารถนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมได้ ทั้งในเรื่องของการอินเตอร์เฟส และในเรื่องของการเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี

5.2 สรุปผลที่ได้จากโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ในลักษณะ 4 ควอดแดนท์โดยในควอดแดนท์ที่ 1 และ 3 เป็นการควบคุมมอเตอร์ 2 ลูปคือ มีการป้อนกลับของความเร็ว และตำแหน่งการหมุนของเพลามอเตอร์ ที่ค่าแรงดันคงที่

ส่วนในควอดแดนท์ที่ 2 จะเป็นการควบคุมให้มอเตอร์หยุดหมุน ซึ่งอาศัยการป้อนกลับจากลูปของความเร็วและใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการหยุด โดยการตรวจสอบจำนวนรอบที่ใกล้หยุดโดยคิดเป็นช่วงจำนวนพัลส์ใน 2 รอบสุดท้าย แล้วลดแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ลงเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นศูนย์ จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้เป็นส่วนๆ ดังนี้คือ

5.2.1 ในส่วนของภาคขับแอมพลิไฟ พบว่าความเร็วรอบในทิศทางตามเข็มนาฬิกา และ ทวนเข็มนาฬิกาที่แรงดันค่าเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันที่ได้จากคู่ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า .

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ส่วนภาคชุดแปลงสัญญาณ D/A นั้นจะให้ผลของแรงดันที่ได้จากการรวมสัญญาณระหว่างแรงดันจาก D/A และ แรงดันคงที่ค่าหนึ่ง จะไม่เท่ากับที่ค่า DATA เดียวกัน

5.2.3 ในส่วนการสั่งให้มอเตอร์หมุนในลักษณะลูปเปิดนั้น จะเห็นว่า การลด-เพิ่มของความเร็วมอเตอร์ไม่เป็นเชิงเส้น

5.2.4 เมื่อมีการป้อนกลับจากทาโคเอนเนอเรเตอร์แล้วจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับลำดับของข้อมูลจาก D/A ค่อนข้างจะเป็นสมการเส้นตรง ซึ่งจะทำให้ง่ายแก่การควบคุม

5.2.5 ในการทดลองที่ 5 พบว่าค่าแรงดันต่ำสุดที่ทำให้มอเตอร์มีแรงบิดจนแรงเสียดทานของแปลงถ่านและลูกปืนได้คือ เมื่อส่งแรงดันออกจาก D/A มีค่าเท่ากับ ± 0.05 โวลท์

5.2.6 จากผลการทดลองที่ 6 จะเห็นว่า กรณีมอเตอร์ไม่มีทาโคเอนเนอเรเตอร์ป้อนกลับมอเตอร์จะไม่สามารถหยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้ แต่เมื่อนำสัญญาณตรวจสอบค่า ERROR จากทาโคเอนเนอเรเตอร์ป้อนกลับ ไปขยายแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์แล้วพบว่า สามารถสั่งให้มอเตอร์หยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้ดี

5.2.7 และเนื่องจากผลของทาโคเอนเนอเรเตอร์ที่ช่วยในการหน่วงการหยุดแล้ว ยังเป็นตัวรักษาระดับแรงดันให้เกือบคงที่ด้วย ในขณะที่มีโหลด

5.3 อุปสรรคที่พบในโครงการ

5.3.1 ผลเนื่องจากคู้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในภาคเพาเวอร์แอมพลิไฟมีอัตราขยายไม่เท่ากันแต่ก็ได้แก้ไข โดยการหาค่า DATA จาก D/A ที่ให้แรงดันทั้งบวกและลบเท่ากัน

5.3.2 ผลของหม้อแปลงจ่ายไฟแก่ชุดอินเตอร์เฟสมีขนาดเล็ก และใช้ระดับแรงดัน AC ต่ำเกินไป ทำให้แรงดันนี้เมื่อนำไปเป็นแรงดันอ้างอิงในชุดรวมสัญญาณ ทำให้เกิดการกระเพื่อมของสัญญาณเมื่อถูกนำไปขยายจึงส่งผลให้มอเตอร์หมุนได้ทั้งที่สั่ง DATA จาก D/A ให้หยุดไปแล้ว

5.3.3 แรงเสียดทานของแปลงถ่าน และลูกปืนของมอเตอร์มีค่าไม่เท่ากันและไม่เป็นเชิงเส้น และผลของสนามแม่เหล็กถาวรที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กคล้อง (Flux linkage) ทำให้มอเตอร์จะมีตำแหน่งที่หยุดได้ไม่ตลอดทั้งรอบการหมุน

5.3.4 การตรวจสอบตำแหน่งผิดพลาด เมื่อสิ้นสุดการหมุนแต่ละรอบ และการทดสอบที่สภาพโหลดต่าง ๆ กันนั้นยังทำไม่ได้ ดังนั้นผลจากการทดลองในเรื่องของการควบคุมความเร็ว จึงยังไม่ชัดเจน เพียงแต่ได้ค่าที่ประมาณอย่างหยาบ ๆ เท่านั้น

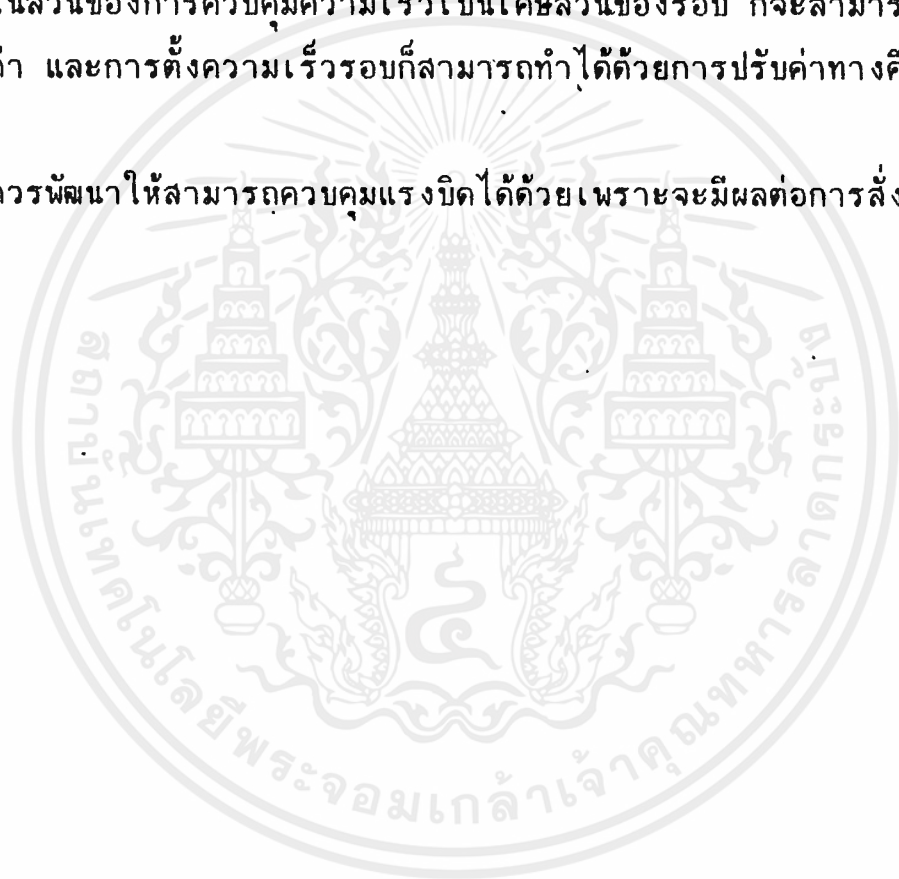
5.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

5.4.1 ในส่วนของอุปสรรคในหัวข้อ 5.3.3 นั้น เป็นส่วนที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดมากที่สุดการแก้ไข จึงอาจจะต้องเพิ่มเติมรูปการควบคุมตำแหน่งอีก 1 รูป โดยการใช้สัญญาณจากเอนโคเดอร์อีก 1 ชุด คอยนับจำนวน พลัซ ที่เกิดขึ้นขณะหมุนไป

5.4.2 ในส่วนของการตรวจสอบค่าผิดพลาดของตำแหน่งเป็นจำนวนพลัซซึ่งต้องใช้เคาทเตอร์ชนิดนับขึ้น - ลงได้ ซึ่งส่วนนี้จะนำไปประมวลผลในการสั่งมอเตอร์หยุดต่อไป

5.4.3 ในส่วนของการควบคุมความเร็วเป็นเศษส่วนของรอบ ก็จะสามารถทำได้ โดยการแก้ไขโปรแกรมรับค่า และการตั้งความเร็วรอบก็สามารถทำได้ด้วยการปรับค่าทางคิบอร์ดเช่นกัน

5.4.4 ควรพัฒนาให้สามารถควบคุมแรงบิดได้ด้วยเพราะจะมีผลต่อการสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน



เอกสารอ้างอิง

ยีน กุ่วรารณ. วัฒนา เชียงกุล. ไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 4
กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2527

โยธิน เปรมปราณีรัชต์. วิเคราะห์และออกแบบ ระบบการควบคุมมอเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1
กรุงเทพมหานคร : 2526

Kuo, Benjamin C. DC Motor and Control System. edition. champaign :
United States of America

Miller, Richard W. Servomechanisms Devices and Fundamentals. 1st
edition : Prentice-hall, 1977

Ed, Bukstein. Basic Servomechanisms. 1st : New York , 1963

MC1408, MC1508

TEST CIRCUITS (continued)

FIGURE 6 - REFERENCE CURRENT SLEW RATE MEASUREMENT

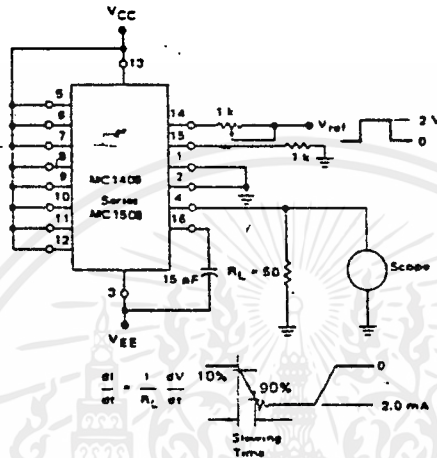


FIGURE 7 - POSITIVE V_{ref}

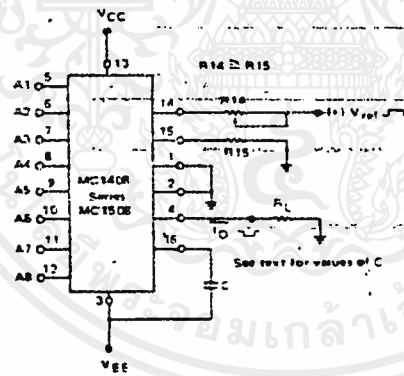
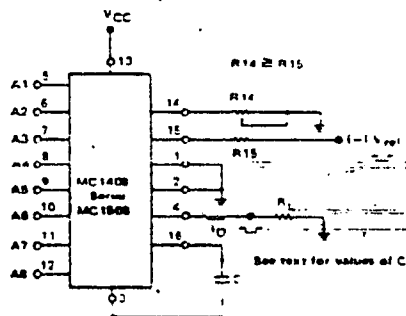


FIGURE 8 - NEGATIVE V_{ref}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1408, MC1508

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)
 $V_{CC} = +5.0\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

FIGURE 14 – REFERENCE INPUT FREQUENCY RESPONSE

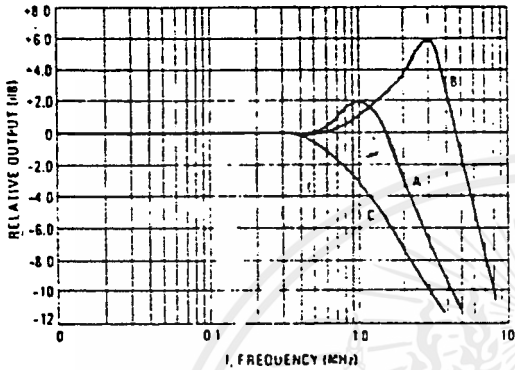


FIGURE 15 – TYPICAL POWER SUPPLY CURRENT versus TEMPERATURE (all bits low)

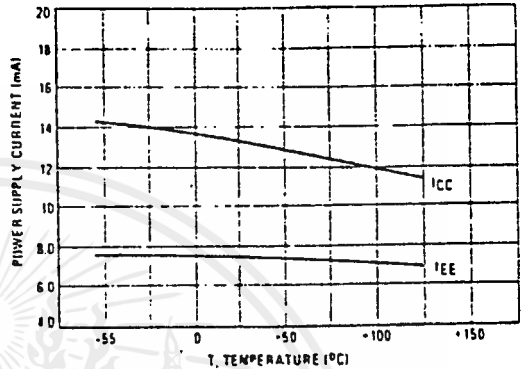
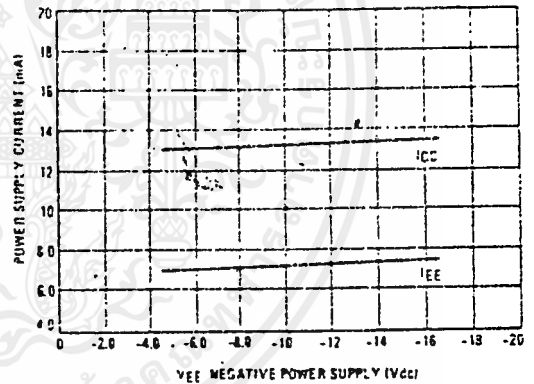


FIGURE 16 – TYPICAL POWER SUPPLY CURRENT versus V_{EE} (all bits low)



Unless otherwise specified

$R_{14} = R_{15} = 1.0\text{ k}\Omega$
 $C = 15\text{ pf}$, pin 16 to V_{EE}
 $R_0 = 5.0\text{ k}\Omega$, pin 4 to GND

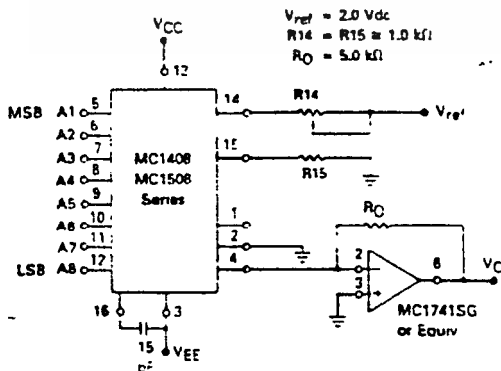
Curve A: Large Signal Bandwidth
 Method of Figure 7
 $V_{ref} = 2.0\text{ V}$ (at offset 1.0 V above GND)

Curve B: Small Signal Bandwidth
 Method of Figure 7 $R_0 = 250\text{ k}\Omega$
 $V_{ref} = 50\text{ mV}$ (at offset 200 mV above GND)

Curve C: Large and Small Signal Bandwidth
 Method of Figure 25 (no capacitor) $R_0 = 50\text{ k}\Omega$
 $R_0 = 50\text{ k}\Omega$
 $V_{ref} = 2.0\text{ V}$
 $V_S = 100\text{ mV}$ (at constant 0.5 V)

APPLICATIONS INFORMATION

FIGURE 17 – OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE CONVERSION



Theoretical V_0

$$V_0 = \frac{V_{ref}}{R_{14}} (R_0) \left[\frac{A_1}{2} - \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} - \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} - \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} - \frac{A_8}{256} \right]$$

Adjust V_{ref} , R_{14} or R_0 so that V_0 with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts

$$V_0 = \frac{2\text{ V}}{1\text{ k}} (5\text{ k}) \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{8} - \frac{1}{16} + \frac{1}{32} - \frac{1}{64} + \frac{1}{128} - \frac{1}{256} \right]$$

$$= 10\text{ V} \left[\frac{255}{256} \right] = 9.961\text{ V}$$

MC1408, MC1508

TEST CIRCUITS

FIGURE 3 - NOTATION DEFINITIONS TEST CIRCUIT

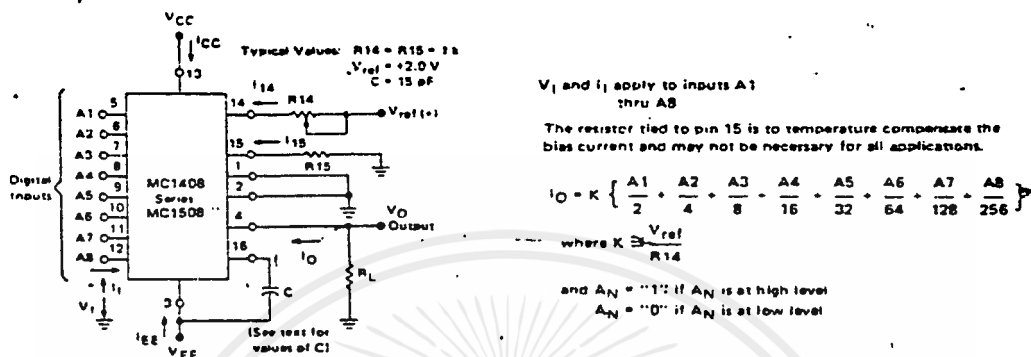


FIGURE 4 - RELATIVE ACCURACY TEST CIRCUIT

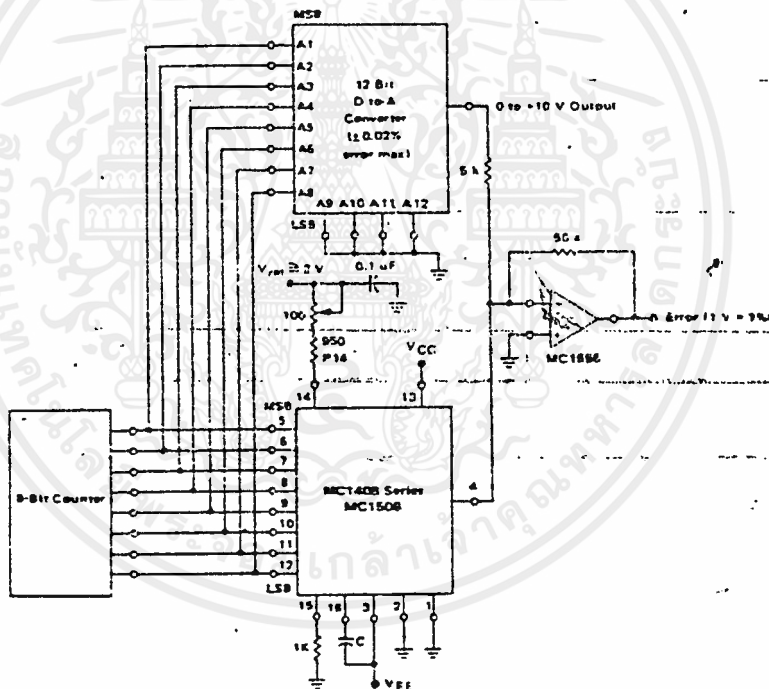
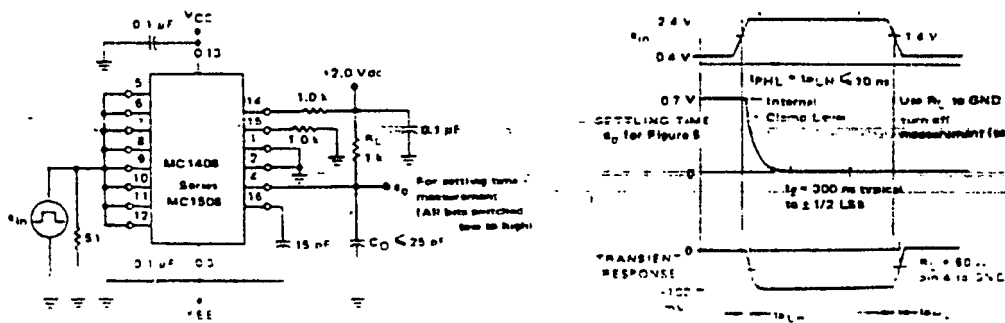


FIGURE 5 - TRANSIENT RESPONSE and SETTLING TIME



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

**MC1408
MC1508**

EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

... designed for use where the output current is a linear product of an eight-bit digital word and an analog input voltage.

- Eight-Bit Accuracy Available in Both Temperature Ranges
Relative Accuracy: $\pm 0.19\%$ Error maximum
(MC1408L8, MC1408P8, MC1508L8)
- Seven and Six-Bit Accuracy Available with MC1408 Designated by 7 or 6 Suffix after Package Suffix
- Fast Settling Time - 300 ns typical
- Noninverting Digital Inputs are M TTL and CMOS Compatible
- Output Voltage Swing - +0.4 V to -5.0 V
- High-Speed Multiplying Input Slew Rate 4.0 mA/ μ s
- Standard Supply Voltages: +5.0 V and -5.0 V to -15 V

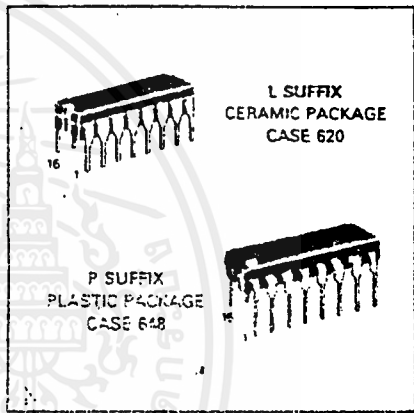


FIGURE 1 - D-to-A TRANSFER CHARACTERISTICS

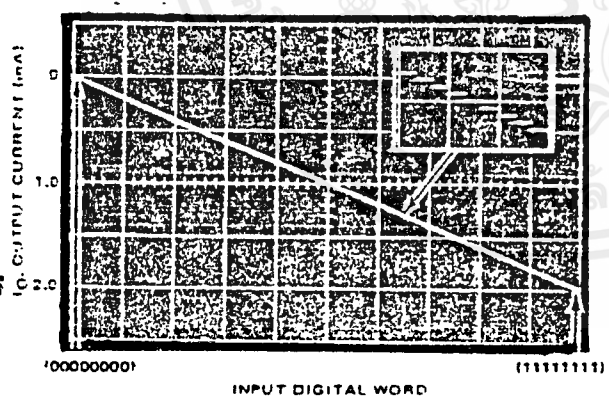
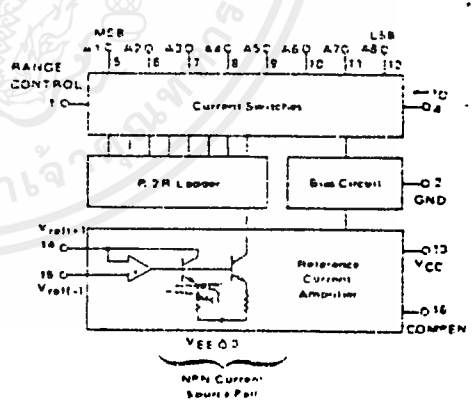


FIGURE 2 - BLOCK DIAGRAM



TYPICAL APPLICATIONS

- Tracking A-to-D Converters
- Successive Approximation A-to-D Converters
- 2 1/2 Digit Panel Meters and DVM's
- Waveform Synthesis
- Sample and Hold
- Peak Detector
- Programmable Gain and Attenuation
- CRT Character Generation
- Audio Digitizing and Decoding
- Programmable Power Supplies
- Analog-Digital Multiplication
- Digital-Digital Multiplication
- Analog-Digital Division
- Digital Addition and Subtraction
- Speech Compression and Expansion
- Stepping Motor Drive

MOTOROLA LINEAR INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1408, MC1508

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	+5.5	Vdc
	V_{EE}	-16.5	
Digital Input Voltage	V_5 thru V_{12}	0 to +5.5	Vdc
Applied Output Voltage	V_O	+0.5, -5.2	Vdc
Reference Current	I_{14}	5.0	mA
Reference Amplifier Inputs	V_{14}, V_{15}	V_{CC}, V_{EE}	Vdc
Operating Temperature Range	T_A	MC1508	-55 to $+125$
		MC1408 Series	0 to $+75$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +5.0$ Vdc, $V_{EE} = -15$ Vdc, $\frac{V_{ref}}{R_{14}} = 2.0$ mA, MC1508L: $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, MC1408L Series: $T_A = 0$ to $+75^\circ\text{C}$ unless otherwise noted. All digital inputs at high logic level.)

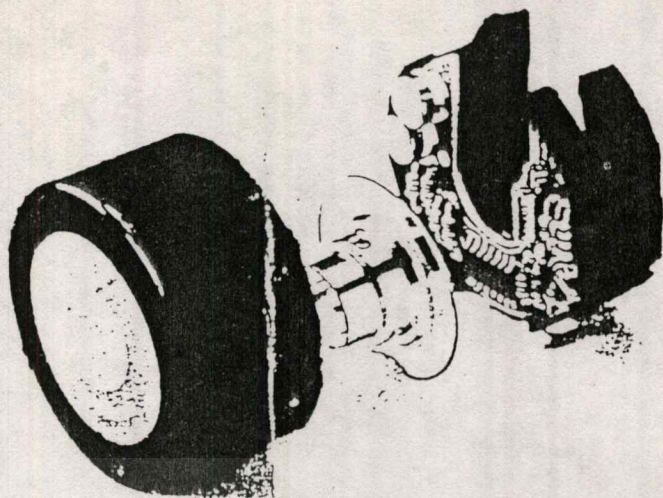
Characteristic	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Relative Accuracy (Error relative to full scale I_O) MC1508CB, MC1408LB, MC1408PB MC1408P7, MC1408L7, See Note 1 MC1408P6, MC1408L6, See Note 1	4	E_r	-	-	± 0.19	%
			-	-	± 0.39	
			-	-	± 0.78	
			-	-	-	
Settling Time to within $\pm 1/2$ LSB (includes t_{PLH}) ($T_A = +25^\circ\text{C}$) (See Note 2)	5	t_s	-	300	-	ns
Propagation Delay Time $T_A = +25^\circ\text{C}$	5	t_{PLH}, t_{PHL}	-	30	100	ns
Output Full Scale Current Drift		TC_{IO}	-	-20	-	PPM/ $^\circ\text{C}$
Digital Input Logic Levels (MSB) High Level, Logic "1" Low Level, Logic "0"	3	V_{IH} V_{IL}	2.0	-	0.8	Vdc
Digital Input Current (MSB) High Level, $V_{IH} = 5.0$ V Low Level, $V_{IL} = 0.8$ V	3	I_{IH} I_{IL}	-	0 -0.4	0.04 -0.8	mA
Reference Input Bias Current (Pin 15)	3	I_{15}	-	-1.0	-5.0	μA
Output Current Range $V_{EE} = -5.0$ V $V_{EE} = -15$ V, $T_A = +25^\circ\text{C}$	3	I_{OR}	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	mA
Output Current $V_{ref} = 2.000$ V, $R_{14} = 1000 \Omega$	3	I_O	1.9	1.99	2.1	mA
Output Current (All bits low)	3	$I_{O(min)}$	-	0	4.0	μA
Output Voltage Compliance ($E_r \leq 0.19\%$ at $T_A = +25^\circ\text{C}$) Pin 1 grounded Pin 1 open, V_{EE} below -10 V	3	V_O	-	-	-0.55, +0.4 -5.0, +0.4	Vdc
Reference Current Slew Rate	6	$SR I_{ref}$	-	4.0	-	mA/ μs
Output Current Power Supply Sensitivity		$PSRR(-)$	-	0.5	2.7	$\mu\text{A}/\text{V}$
Power Supply Current (All bits low)	3	I_{CC} I_{EE}	-	+13.5 -7.5	+22 -13	mA
Power Supply Voltage Range ($T_A = +25^\circ\text{C}$)	3	V_{CCR} V_{VEER}	+4.5 -4.5	+5.0 -15	+5.5 -16.5	Vdc
Power Dissipation All bits low $V_{EE} = -5.0$ Vdc $V_{EE} = -15$ Vdc All bits high $V_{EE} = -5.0$ Vdc $V_{EE} = -15$ Vdc	3	P_D	-	105 190	170 305	mW

Note 1. All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated output current.
Note 2. All bits switched.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R1500 SERIES PERFORMANCE ENCODER

is a patented 1.5 inch
ar optical encoder featuring
ronics, Radial-Line Sensor
tal base assembly to provide
ce and long life. The sensor
minates inter-channel jitter,
plitude modulation and
n installation time and shaft
ly requirements.
Modular Encoder comes
install kit consisting of a
sembly, hub/disk assembly
This kit requires minimal
nment with a typical mask to
010 inches.
ure encoder was designed
ations requiring line counts
n tight quadrature tolerance
able) and low inertia. Typical
e computer peripheral
s, mass storage devices, also
rocessing equipment and
onics, where accurate
peatability are essential.



Specifications

MECHANICAL DATA		R1500
Mechanical Outline		See Figure 1
Moment of Inertia		3.0×10^{-5} oz-in-sec ²
Angular Acceleration		100,000 rad/sec ²
Slew Speed		9,000 RPM
Hub Sizes		See Table 1
Gap Setting		See Table 2
Cable Wiring		See Table 3
ELECTRICAL DATA		R1500
Input Power Requirements		
Type 1 Sine Wave Models		5 VDC \pm 5% @ 100 ma
Type 2 Square Wave Models TL		5 VDC \pm 5% @ 125 ma max.
Type 9 Sensor Zero Crossing		5 VDC \pm 5% @ 75 ma
Phasing		A leads B by $90^\circ \pm 22\frac{1}{2}^\circ$ electrically for CCW rotation ($90^\circ \pm 9^\circ$ available Type 3 only) viewed from cover end.
Code		Incremental
Illumination Source		LED
Sensors		Phototransistor radial array; Except type 9 photocells.
Accuracy		2 Min. of arc std.
Operating Frequency		
Data		to 100 KHz
Flutter		1% max.
ENVIRONMENTAL DATA		R1500
Operating Temperature		0° to + 60°C
Storage Temperature		-30° to + 90°C
Humidity		90% relative, no condensation

**ROBBINS
MYERS**

Robbins & Myers / Renco
Coromar Dr.
Folsom, CA 93117-3094
(916) 968-1525
(800) 888-5007
FAX (805) 685-7965
FAX (916) 334-1180

5-88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

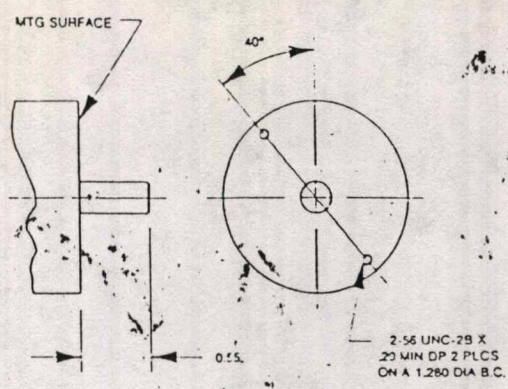
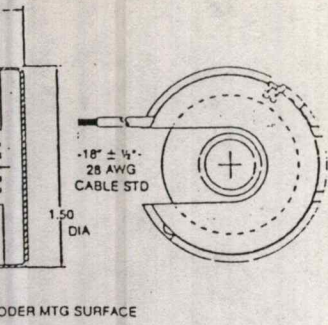


TABLE 1

HUB SIZE	SPECIFY
0000	1/4
0002	5/16
	7/16
	6MM
	8MM
	10MM

TABLE 2

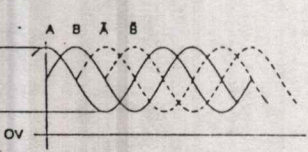
GAP SETTING	
RESOLUTION	GAP $\pm .000$ $-.002$
UP TO 300	.006
301 TO 600	.003
601 TO 1250	.003

TABLE 3

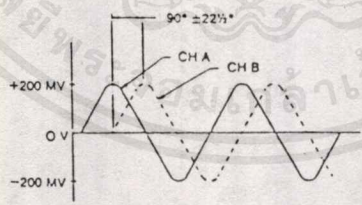
OUTPUTS			LEAD COLOR
TYPE 1	TYPE 3	TYPE 9	
A A B B +5V GND	A B +5V GND	A B +5V GND	YEL YEL/WHT BLU BLU/WHT RED BLK

OUTPUT CONFIGURATION

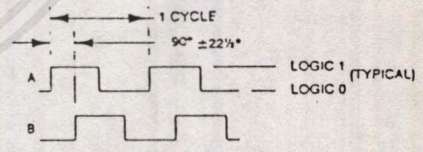
OUTPUT: Differential Sine Wave



TYPE 9 OUTPUT: Sensor Zero Crossing



TYPE 3 OUTPUT: TTL Compatible



NOTE: COMPLEMENTARY OUTPUTS ARE NOT SHOWN, BUT ARE AVAILABLE

Output load impedance 470Ω
10KHz

Output load impedance 10KΩ
*Typical at 1KHz
DC offset 10% of P-P

TTL Logic 1 = Vcc @ 2K
Logic 0 = .6V max. @ 8 ma sink

ORDERING INFORMATION To order, supply the appropriate designation: see codes shown below.

Type Output
1. Sensor, Differential
3. TTL Compatible
8. Sensor "0" Cross (Custom Design) Circuits

Outputs
A. Single
B. Dual 90° Quadrature

Resolution
Defines Number of Cycles in One Revolution of Code Disk

Shaft Size
See Table 1

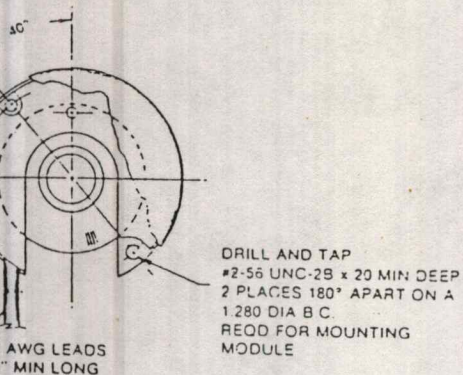
H = Hole in cover with shaft seal
Blank = no hole

S = Special Orders
Consult Factory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODEL R-1500 POSITIVE MODULAR ENCODER INSTALLATION INSTRUCTIONS

MOUNTING PATTERN



The R-1500 Modular Encoder is supplied as an easy to install kit containing:

1. Hub/Disk Assembly
2. Photohead
3. Dust Cover
4. Mounting Hardware:
 - a) 2 pcs. 2-56-UNC-2B x $\frac{1}{4}$
 - b) Gap paper

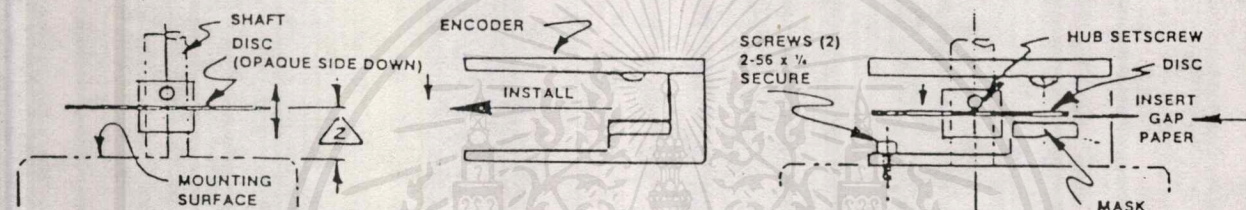


FIGURE 2

Mask and mask if necessary, using acetone or alcohol and cotton swab. Never use water on the mask.

Mount the hub/disk assembly on shaft at a height that allows for the installation of photohead assembly without interference with glass disk.

Mount photohead assembly in place, secure to mounting surface with screws provided.

Insert gap paper between mask and disk. Press photohead assembly toward mask. Secure hub set screw. Remove gap paper. (.006 for counts up to 750, .004 for counts 751 and higher).

Power and display outputs on scope. Adjust potentiometers for 50/50 symmetry from A & B outputs.

6. To minimize jitter or water fall, slightly loosen mounting screws; adjust encoder assembly back and forth on the axis in line with the two mounting holes for minimum jitter. Do not attempt to hold 50/50 symmetry or 90° phase on A & B.
7. Snug down screw 'A', leaving screw B loose (See Figure 3) If necessary, readjust potentiometers for 50/50 symmetry of A & B. Pivot encoder assembly about screw 'A' for 90° phase between A & B outputs. Repeat steps 6 and 7 if necessary to optimize performance.
8. Secure mounting screws.
Hub may be secured to shaft with Loctite 75, Eastman 910, Aron Alpha 'Vigor' or other suitable low viscosity adhesive.
9. Install cover over photohead and secure snapping dimpled points into slots in photohead.

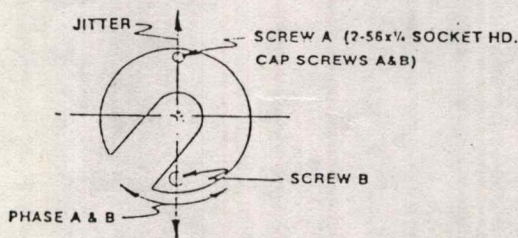


FIGURE 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑๐๓๑

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

HIGH VOLTAGE, INTERNALLY COMPENSATED OPERATIONAL AMPLIFIER

designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- Maximum Supply Voltage - ± 40 Vdc (MC1536)
- Output Voltage Swing - ± 30 Vpk(min) ($V_{CC} = -36$ V, $V_{EE} = -36$ V) (MC1536) ± 22 Vpk(min) ($V_{CC} = +28$ V, $V_{EE} = -28$ V)
- Input Bias Current - 20 nA max (MC1536)
- Input Offset Current - 3.0 nA max (MC1536)
- Fast Slew Rate - 2.0 V/ μ s typ
- Internally Compensated
- Offset Voltage Null Capability
- Input Over-Voltage Protection
- $A_{VOL} = 500,000$ typ
- Characteristics Independent of Power Supply Voltages - (± 5.0 Vdc to ± 36 Vdc)

FIGURE 1 — DIFFERENTIAL AMPLIFIER WITH ± 20 V COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE

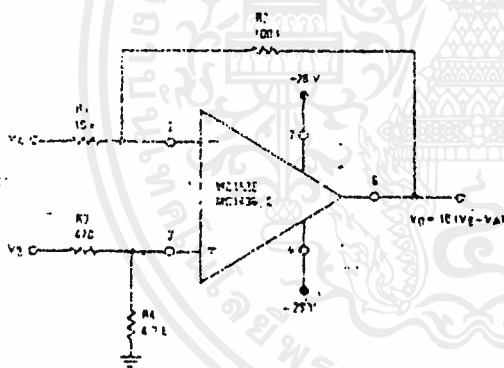
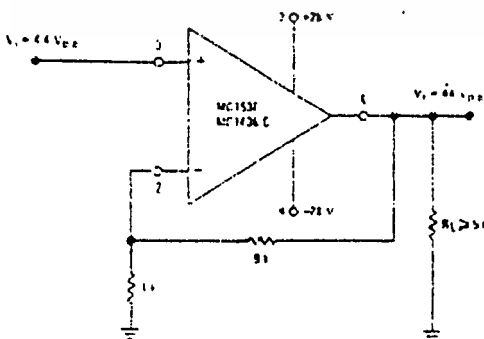


FIGURE 2 — TYPICAL NONINVERTING X10 VOLTAGE AMPLIFIER

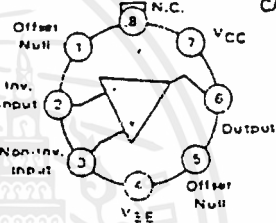


**MC1436
MC1436C
MC1536**

OPERATIONAL AMPLIFIER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

G SUFFIX METAL PACKAGE CASE 601



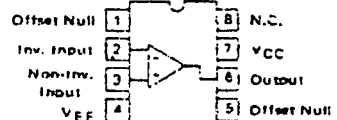
P1 SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 626



U SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 693



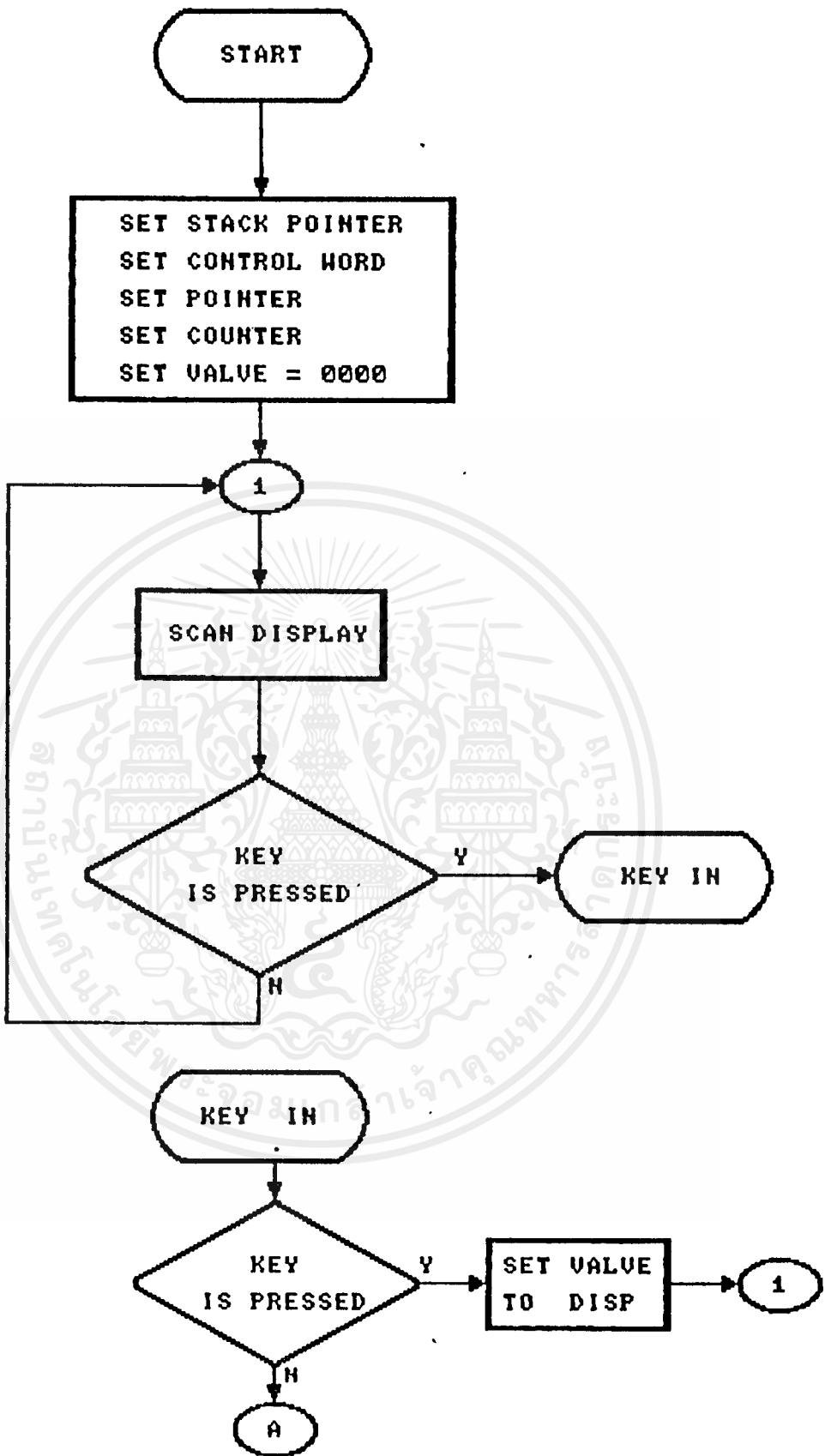
D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751 (ISO-8)



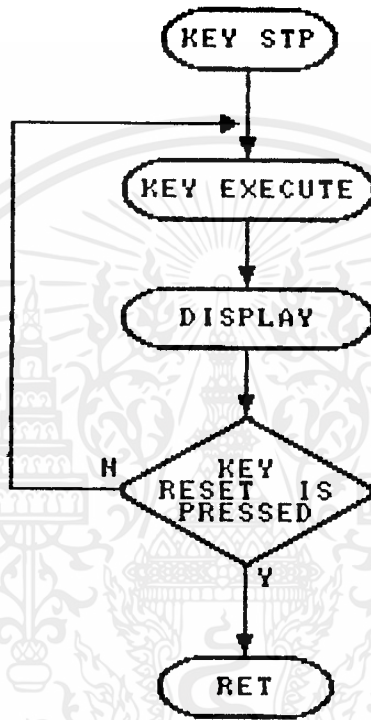
ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1436C0,0	0°C to +70°C	SO-8
MC1436P1,DP1		Plastic DIP
MC1436CG,G		Metal Can
MC1436CU,U		Ceramic DIP
MC1536C	55°C to -125°C	Metal Can
MC1536L		Ceramic DIP

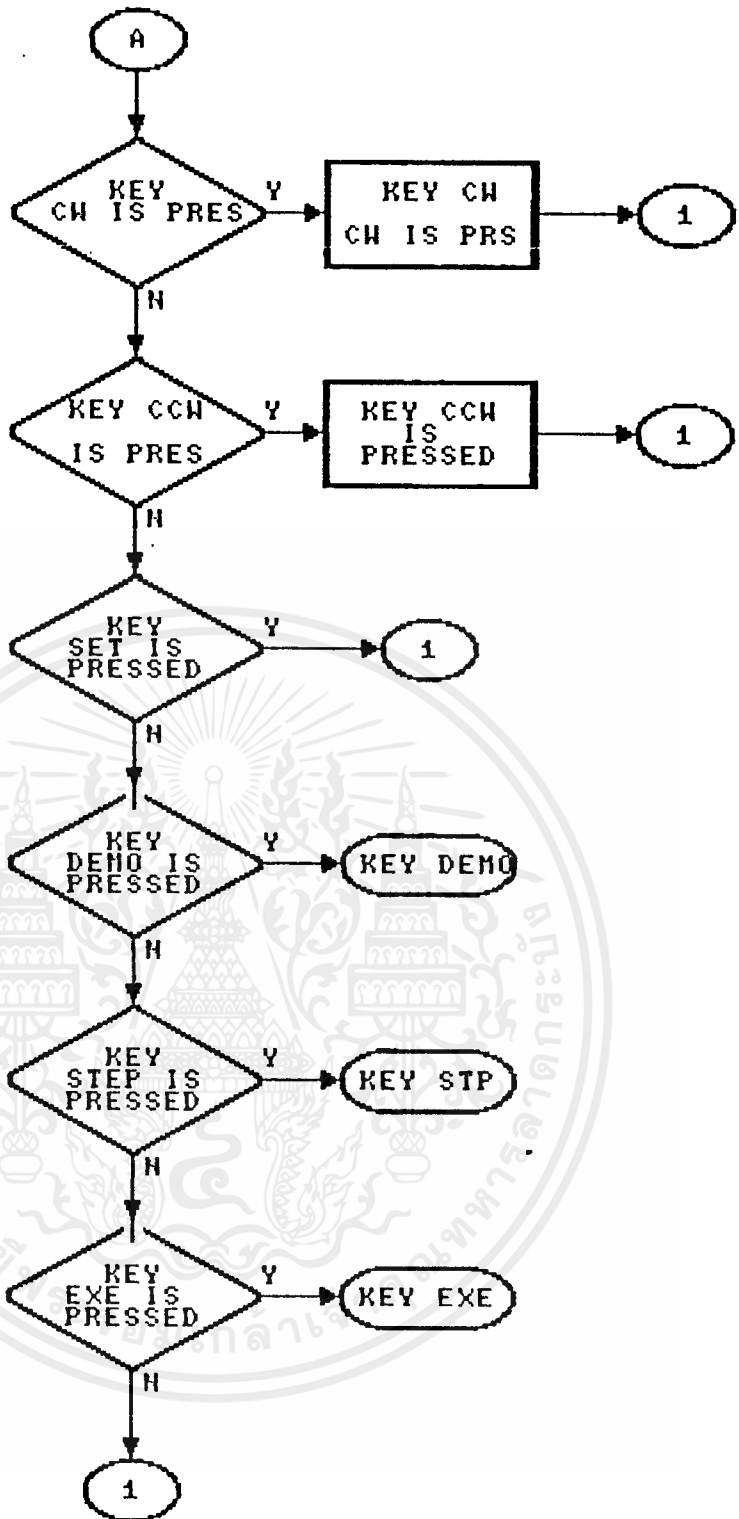
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



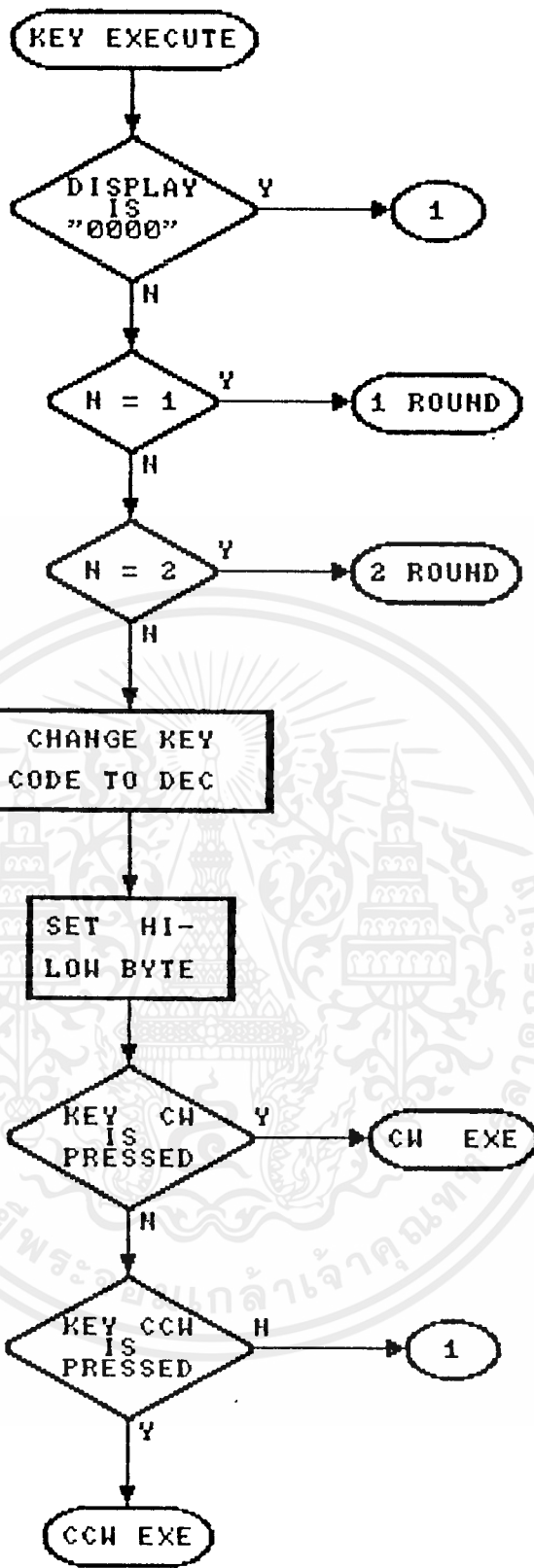
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



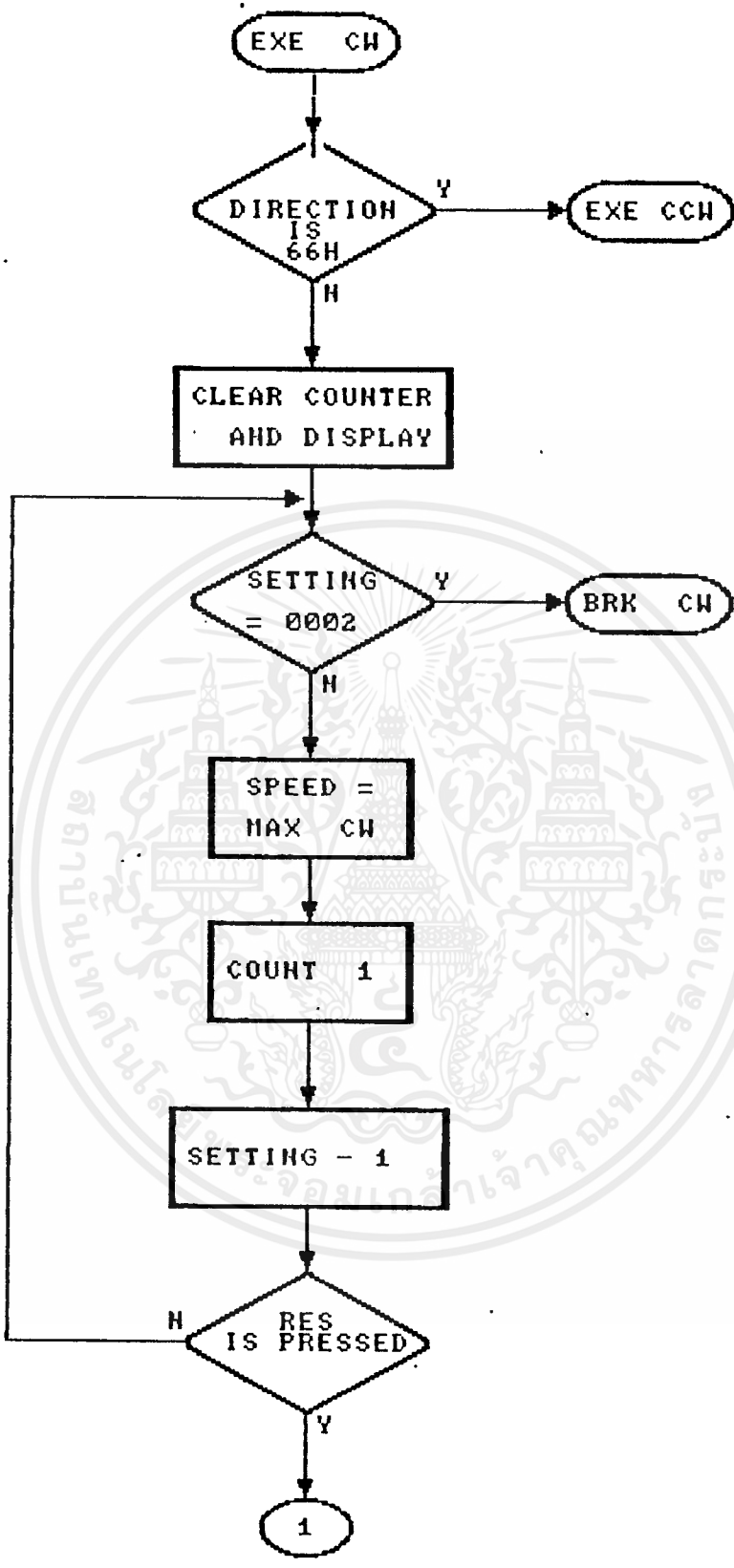
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



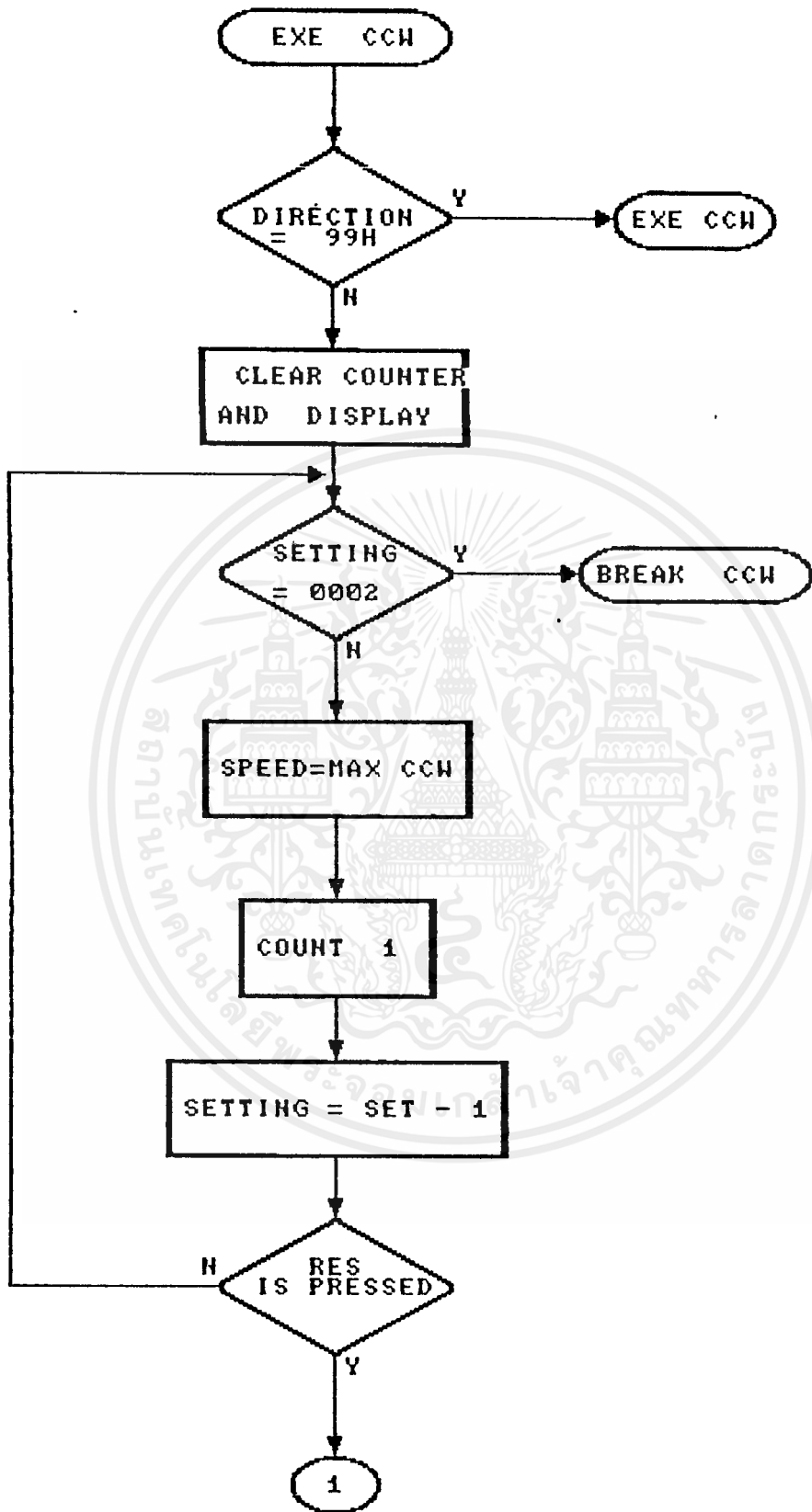
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



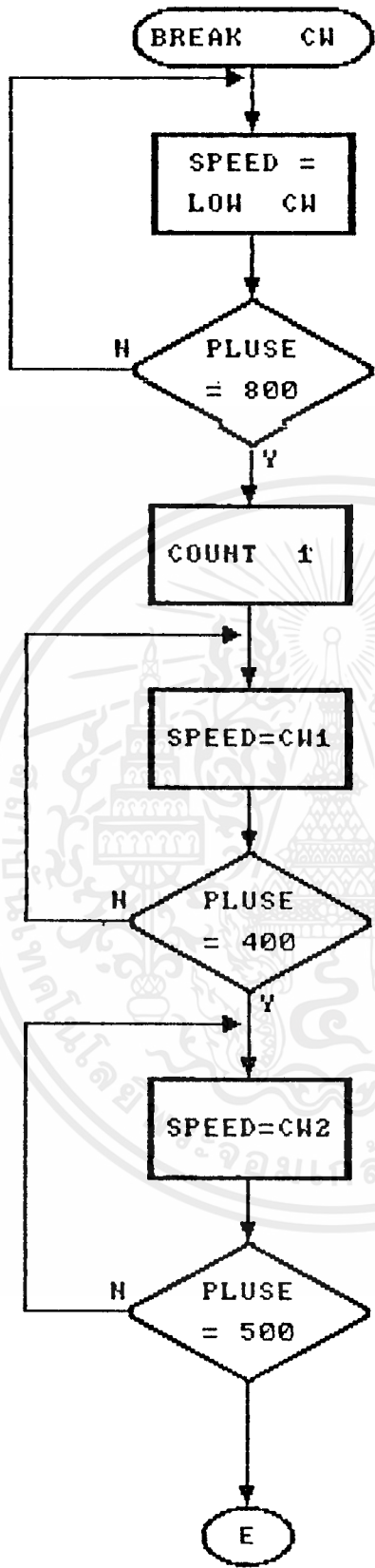
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



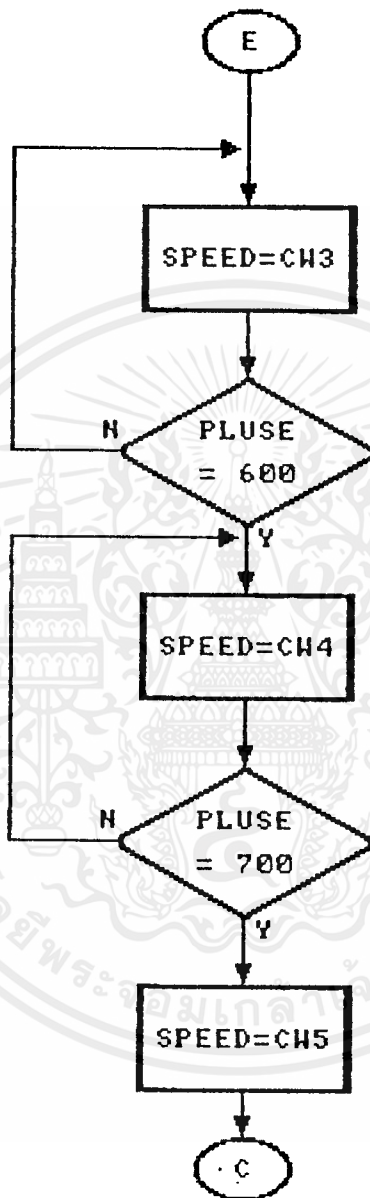
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



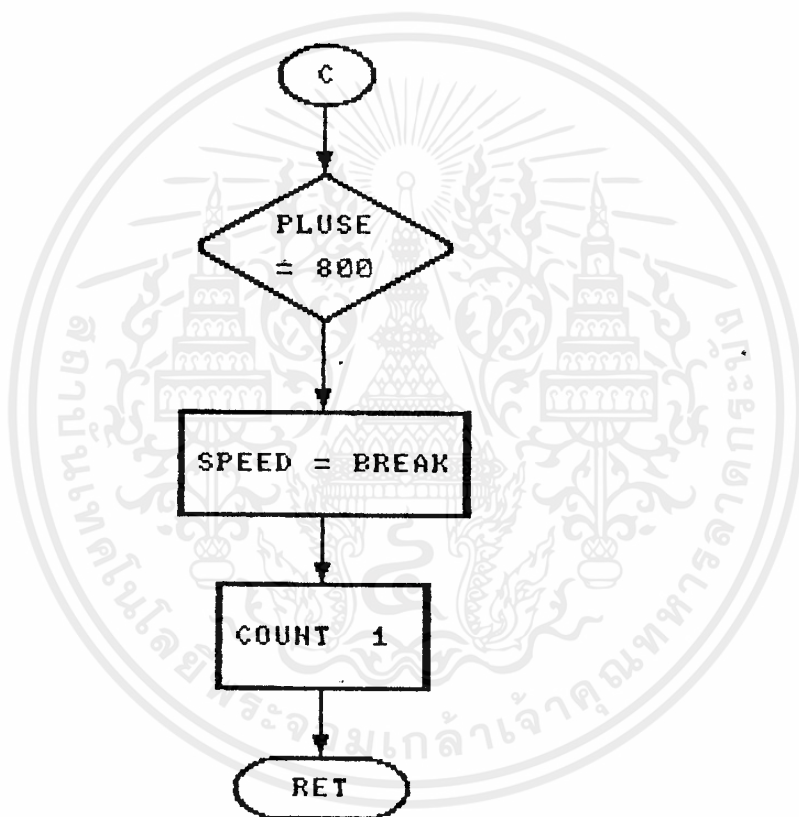
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



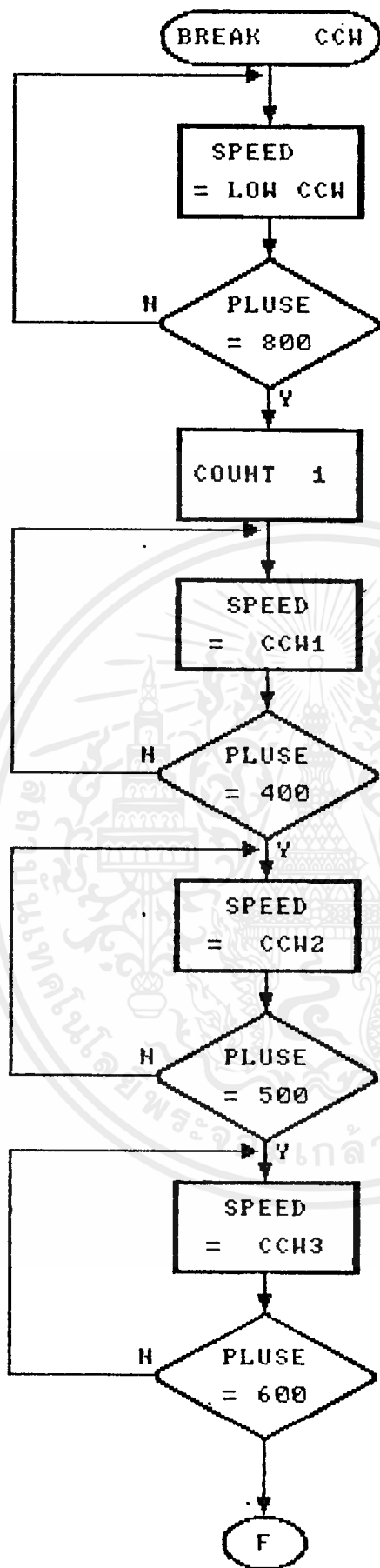
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



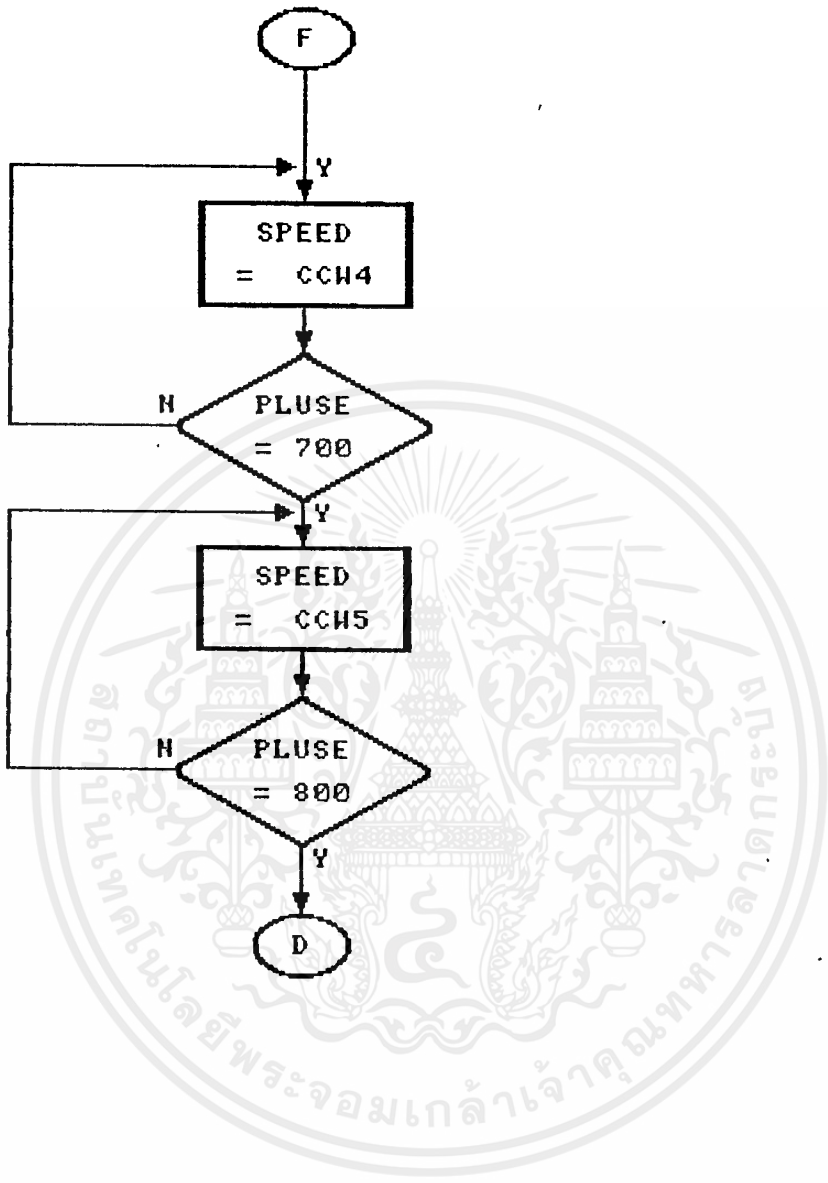
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



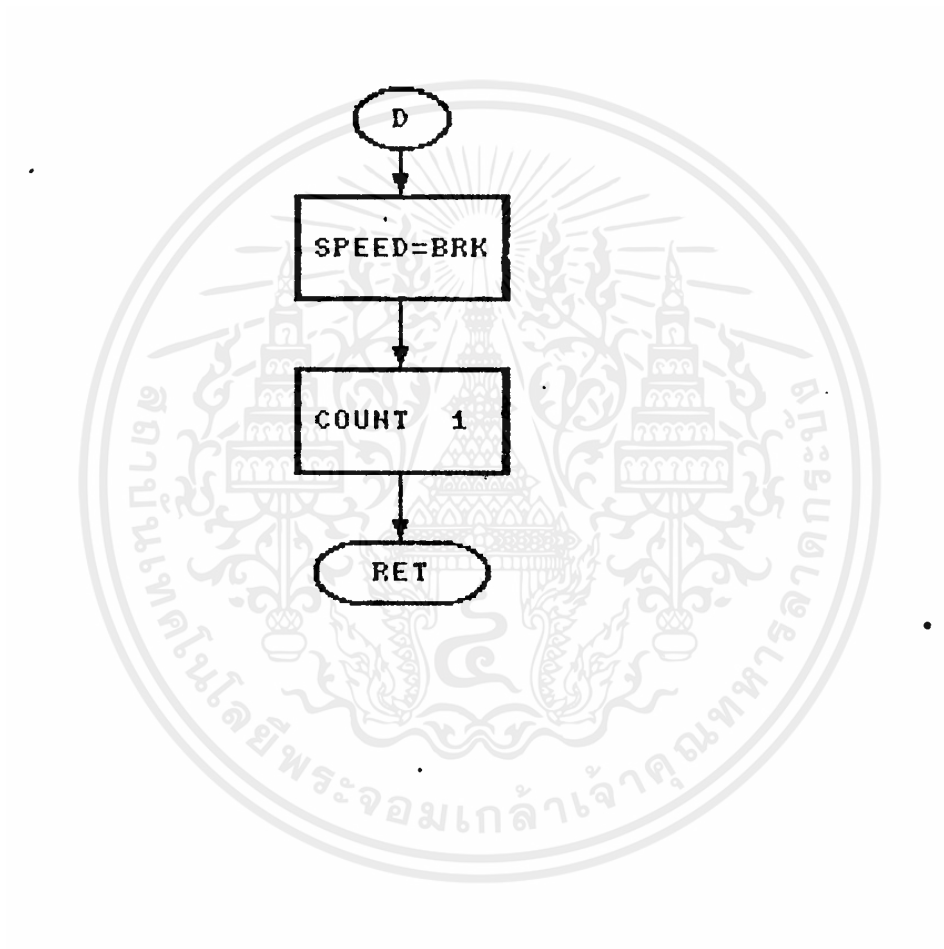
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



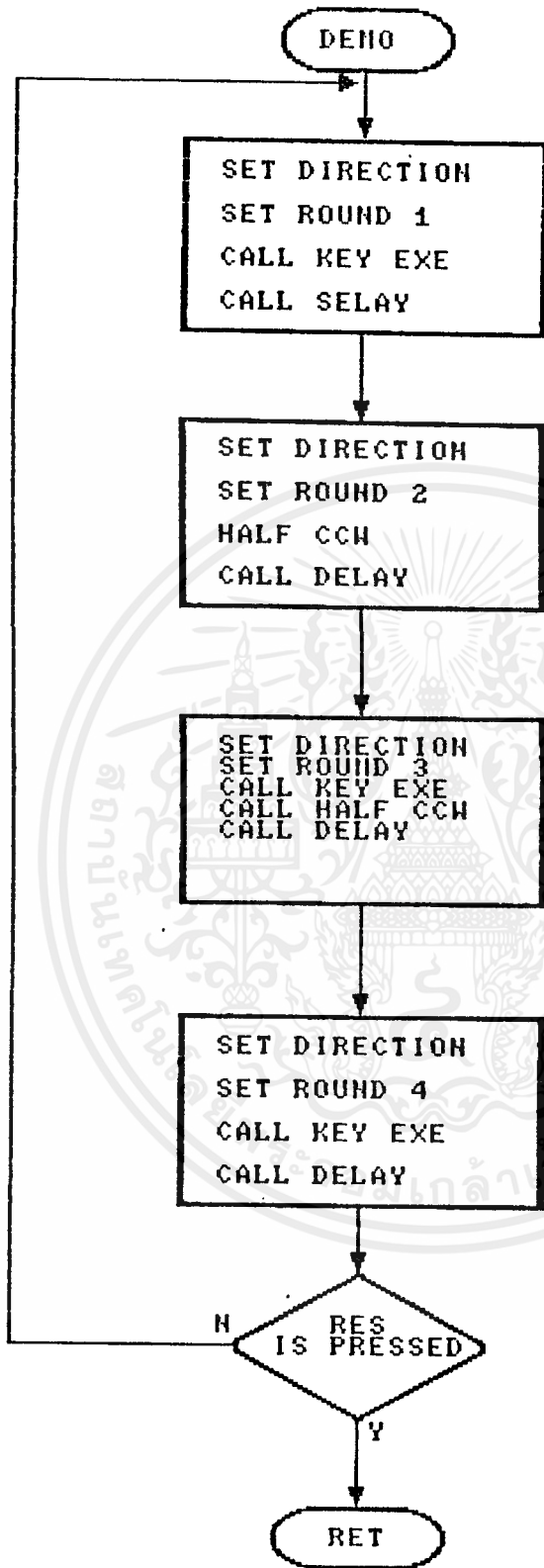
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



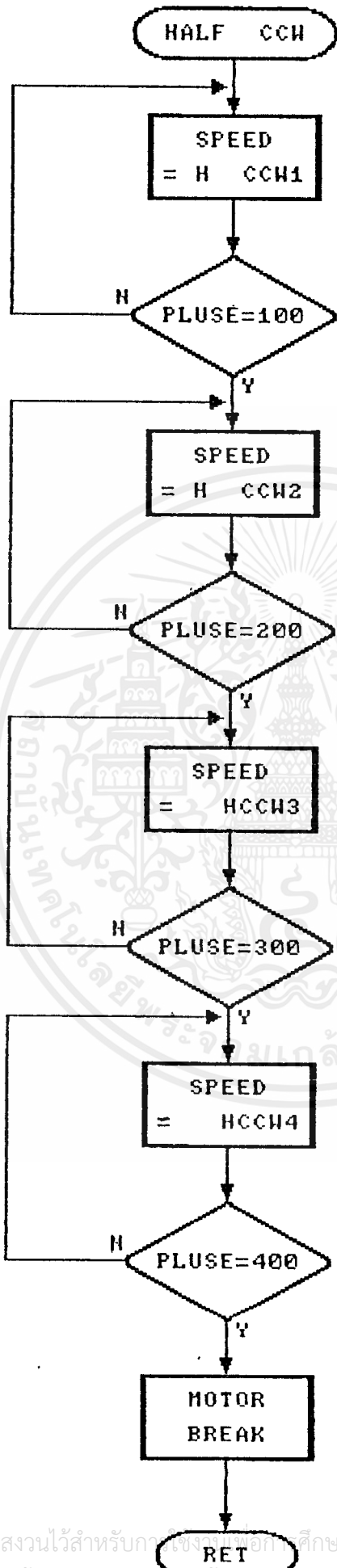
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

;
;
0000          CPU    "Z80.TBL"
0000          HOF    "INT8"

;
0000          ORG    0000H
9FFF =       STACKPT: EQU 9FFFH
9B00 =       POINTER: EQU 9B00H
00A0 =       CW1:    EQU 0A0H
00A0 =       CW2:    EQU 0A0H
0099 =       CW3:    EQU 99H
0099 =       CW4:    EQU 99H
0099 =       CW5:    EQU 99H
0099 =       CW6:    EQU 99H
0080 =       CW7:    EQU 80H
0060 =       CCW1:   EQU 60H
0060 =       CCW2:   EQU 60H
0065 =       CCW3:   EQU 65H
0065 =       CCW4:   EQU 65H
0065 =       CCW5:   EQU 65H
0065 =       CCW6:   EQU 65H
0080 =       CCW7:   EQU 80H
00A0 =       CWR11:  EQU 0A0H
0099 =       CWR12:  EQU 99H
0099 =       CWR13:  EQU 99H
0099 =       CWR14:  EQU 99H
0099 =       CWR15:  EQU 99H
0080 =       CWR16:  EQU 80H
0060 =       CCWR11: EQU 60H
0065 =       CCWR12: EQU 65H
0065 =       CCWR13: EQU 65H
0065 =       CCWR14: EQU 65H
0065 =       CCWR15: EQU 65H
0080 =       CCWR16: EQU 80H
00A0 =       CWR21:  EQU 0A0H
0099 =       CWR22:  EQU 99H
0099 =       CWR23:  EQU 99H
0099 =       CWR24:  EQU 99H
0099 =       CWR25:  EQU 99H
0099 =       CWR26:  EQU 99H
0080 =       CWR27:  EQU 80H
0060 =       CCWR21: EQU 60H
0065 =       CCWR22: EQU 65H
0065 =       CCWR23: EQU 65H
0065 =       CCWR24: EQU 65H
0065 =       CCWR25: EQU 65H
0065 =       CCWR26: EQU 65H
0080 =       CCWR27: EQU 80H
0000 06FF   LD      B,0FFH
0002 10FE   DJNZ   $
0004 DD21009B LD     IX,POINTER
0008 DD7750  LD     (IX+50H),A
000B 3EF0   LD     A,0F0H
000D D334   OUT   (34H),A          ; SET PORT D
000F 3EFF   LD     A,0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0011 D355      OUT   (55H),A      ;SET PORT A
0013 D354      OUT   (54H),A      ;SET PORT B
0015 3E00      LD    A,00H
0017 D356      OUT   (56H),A      ;SET PORT C
0019 3EFE      LD    A,0FEH
001B D344      OUT   (44H),A      ;SET PORT E
001D DD21009B  START1: LD    IX,POINTER
0021 31FF9F      LD    SP,STACKPT
0024 3E3F      LD    A,3FH
0026 DD7700      LD    (IX+0),A
0029 DD7701      LD    (IX+1),A
002C DD7702      LD    (IX+2),A
002F DD7703      LD    (IX+3),A
0032 3E80      LD    A,80H
0034 D350      OUT   (50H),A

```

```

;
; *****
; ***          SCAN KEYBOARD          ***
; *****
;

```

```

0036 DD21009B  START:  LD    IX,POINTER
003A DD7E00      LD    A,(IX+0)
003D D351      OUT   (51H),A
003F 3EE0      LD    A,0E0H
0041 D330      OUT   (30H),A
0043 D340      OUT   (40H),A
0045 CD7500      CALL KIN
0048 DD7E01      LD    A,(IX+1)
004B D351      OUT   (51H),A
004D 3ED0      LD    A,0D0H
004F D330      OUT   (30H),A
0051 D340      OUT   (40H),A
0053 CD7500      CALL KIN
0056 DD7E02      LD    A,(IX+2)
0059 D351      OUT   (51H),A
005B 3EB0      LD    A,0B0H
005D D330      OUT   (30H),A
005F D340      OUT   (40H),A
0061 CD7500      CALL KIN
0064 DD7E03      LD    A,(IX+3)
0067 D351      OUT   (51H),A
0069 3E70      LD    A,070H
006B D330      OUT   (30H),A
006D D340      OUT   (40H),A
006F CD7500      CALL KIN
0072 C33600      JP   START
0075 DB40      KIN:  IN   A,(40H)
0077 CB47      BIT  0,A
0079 CA1D00      JP   Z,START1
007C 4F        LD   C,A
007D 0650      LD   B,50H
007F DB30      IN   A,(30H)
0081 CB47      BIT  0,A
0083 CA9800      JP   Z,LINE1
0086 CB4F      BIT  1,A
0088 CAAA00      JP   Z,LINE2
008B CB57      BIT  2,A
008D CABD00      JP   Z,LINE3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0090 CB5F          BIT    3, A
0092 CACF00       JP     Z, LINE4
0095 10FE        DJNZ  $
0097 C9          RET
0098 FEEE        LINE1: CP     0EEH
009A CA0A01       JP     Z, KEY7
009D FEDE        CP     0DEH
009F CA0F01       JP     Z, KEY8
00A2 FEBE        CP     0BEH
00A4 CA1401       JP     Z, KEY9
00A7 C3E200       JP     POINT
00AA FEED        LINE2: CP     0EDH
00AC CAFB00       JP     Z, KEY4
00AF FEDD        CP     0DDH
00B1 CA0001       JP     Z, KEY5
00B4 FEBD        CP     0BDH
00B6 CA0501       JP     Z, KEY6
00B9 CD9405       CALL  KEYDEM
00BC C9          RET
00BD FEED        LINE3: CP     0EBH
00BF CAEC00       JP     Z, KEY1
00C2 FEDB        CP     0DBH
00C4 CAF100       JP     Z, KEY2
00C7 FEBB        CP     0BBH
00C9 CAF600       JP     Z, KEY3
00CC C34001       JP     KEYSTP
00CF FEE7        LINE4: CP     0E7H
00D1 CAE700       JP     Z, KEY0
00D4 FED7        CP     0D7H
00D8 CA7201       JP     Z, KEYCW
00D9 FEB7        CP     0B7H
00DB CA8801       JP     Z, KEYCCW
00DE CD9E01       CALL  KEYEXE
00E1 C9          RET
00E2 0E80        POINT: LD    C, 80H
00E4 C31601       JP     SCAN
00E7 0E3F        KEY0:  LD    C, 3FH
00E9 C31601       JP     SCAN
00EC 0E06        KEY1:  LD    C, 06H
00EE C31601       JP     SCAN
00F1 0E5B        KEY2:  LD    C, 5BH
00F3 C31601       JP     SCAN
00F6 0E4F        KEY3:  LD    C, 4FH
00F8 C31601       JP     SCAN
00FB 0E66        KEY4:  LD    C, 66H
00FD C31601       JP     SCAN
0100 0E6D        KEY5:  LD    C, 6DH
0102 C31601       JP     SCAN
0105 0E7D        KEY6:  LD    C, 7DH
0107 C31601       JP     SCAN
010A 0E07        KEY7:  LD    C, 07H
010C C31601       JP     SCAN
010F 0E7F        KEY8:  LD    C, 7FH
0111 C31601       JP     SCAN
0114 0E6F        KEY9:  LD    C, 6FH

```

```

;
;*****
;***          SCAN KEY TO DISPLAY1      ***

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0116 DB40      SCAN:  IN    A, (40H)
0118 CB47      BIT    0,A
011A CA1D00    JP    Z,START1
011D DD7E02    LD    A, (IX+2)
0120 DD7703    LD    (IX+3), A
0123 DD7E01    LD    A, (IX+1)
0126 DD7702    LD    (IX+2), A
0129 DD7E00    LD    A, (IX+0)
012C DD7701    LD    (IX+1), A
012F DD7100    LD    (IX+0), C
0132 06FF      CHEKEYP: LD    B, 0FFH          ;CHECK KEY  PRESSED
0134 10FE      DJNZ  $
0136 DB30      LPMSKB:  IN    A, (30H)
0138 F6F0      OR    0F0H
013A FEFF      CP    0FFH
013C C23601    JP    NZ, LPMSKB
013F C9         RET
0140 DD21009B  KEYSTP:  LD    IX, POINTER      ;CHECK KEY = "0000"?
0144 DD7E03    LD    A, (IX+3)
0147 FE3F      CP    3FH
0149 C26401    JP    NZ, LOOPX
014C DD7E02    LD    A, (IX+2)
014F FE3F      CP    3FH
0151 C26401    JP    NZ, LOOPX
0154 DD7E01    LD    A, (IX+1)
0157 FE3F      CP    3FH
0159 C26401    JP    NZ, LOOPX
015C DD7E00    LD    A, (IX+0)
015F FE3F      CP    3FH
0161 CA7F05    JP    Z, START2
0164 CD9E01    LOOPX:  CALL  KEYEXE
0167 CD8005    CALL  DELAY
016A DB40      IN    A, (40H)
016C CB47      BIT    0,A
016E C21D00    JP    NZ,START1
0171 C9         RET
0172 3E04      KEYCW:  LD    A,04H
0174 D340      OUT   (40H),A          ;CW SHOW
0176 DD365099  LD    (IX+50H), 99H
017A 06FF      LD    B, 0FFH
017C 10FE      DJNZ  $
017E DB30      LI1:   IN    A, (30H)
0180 F6F0      OR    0F0H
0182 FEFF      CP    0FFH
0184 C27E01    JP    NZ, LI1
0187 C9         RET
0188 3E02      KEYCCW: LD    A,02H
018A D340      OUT   (40H),A
018C DD365066  LD    (IX+50H), 66H
0190 06FF      LD    B, 0FFH
0192 10FE      DJNZ  $
0194 DB30      L12:   IN    A, (30H)
0196 F6F0      OR    0F0H
0198 FEFF      CP    0FFH
019A C29401    JP    NZ, L12
019D C9         RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;
; *****
; *** KEY CHECK ***
; *****
;

```

```

019E CD8005 KEYEXE: CALL DELAY
01A1 DD21009B LD IX, POINTER
01A5 DD7E03 LD A, (IX+3)
01A8 FE3F CP 3FH
01AA C2D601 JP NZ, LOOP1
01AD DD7E02 LD A, (IX+2)
01B0 FE3F CP 3FH
01B2 C2D601 JP NZ, LOOP1
01B5 DD7E01 LD A, (IX+1)
01B8 FE3F CP 3FH
01BA C2D601 JP NZ, LOOP1
01BD DD7E00 LD A, (IX+0)
01C0 FE3F CP 3FH
01C2 CA7F05 JP Z, START2
01C5 3ED0 LD A, 0D0H
01C7 D351 OUT (51H), A
01C9 DD7E00 LD A, (IX+0)
01CC FE06 CP 06H ;CHECK 1 ROUND
01CE CA5C03 JP Z, R1
01D1 FE5B CP 5BH ;CHECK 2 ROUND
01D3 CAB503 JP Z, R2

```

```

; *****
; *** KEY CODE TO DECIMAL DATA ***
; *****
;

```

```

01D6 0E04 LOOP1: LD C, 04H
01D8 3ED0 LD A, 0D0H
01DA D351 OUT (51H), A
01DC DD7E00 LOOP2: LD A, (IX+0)
01DF FE3F CP 3FH
01E1 CA1102 JP Z, C0
01E4 FE06 CP 06H
01E6 CA1802 JP Z, C1
01E9 FE5B CP 5BH
01EB CA1F02 JP Z, C2
01EE FE4F CP 4FH
01F0 CA2602 JP Z, C3
01F3 FE66 CP 66H
01F5 CA2D02 JP Z, C4
01F8 FE6D CP 6DH
01FA CA3402 JP Z, C5
01FD FE7D CP 7DH
01FF CA3B02 JP Z, C6
0202 FE07 CP 07H
0204 CA4202 JP Z, C7
0207 FE7F CP 7FH
0209 CA4902 JP Z, C8
020C FE6F CP 6FH
020E CA5002 JP Z, C9
0211 DD360400 C0: LD (IX+4), 00H
0215 C35402 JP DATCHK
0218 DD360401 C1: LD (IX+4), 01H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

021C C35402      JP    DATCHK
021F DD360402   C2:   LD    (IX+4), 02H
0223 C35402      JP    DATCHK
0226 DD360403   C3:   LD    (IX+4), 03H
022A C35402      JP    DATCHK
022D DD360404   C4:   LD    (IX+4), 04H
0231 C35402      JP    DATCHK
0234 DD360405   C5:   LD    (IX+4), 05H
0238 C35402      JP    DATCHK
023B DD360406   C6:   LD    (IX+4), 06H
023F C35402      JP    DATCHK
0242 DD360407   C7:   LD    (IX+4), 07H
0246 C35402      JP    DATCHK
0249 DD360408   C8:   LD    (IX+4), 08H
024D C35402      JP    DATCHK
0250 DD360409   C9:   LD    (IX+4), 09H
0254 DD23       DATCHK: INC  IX
0256 0D         DEC  C
0257 C2DC01     JF   NZ, LOOP2
025A DD21009B   LD   IX, POINTER
025E DD7E05     LD   A, (IX+5) ;LBYTE
0261 CB27       SLA  A
0263 CB27       SLA  A
0265 CB27       SLA  A
0267 CB27       SLA  A
0269 DD4604     LD   B, (IX+4)
026C 80         ADD  A, B
026D D602       SUB  02H ;REDUCE BEFORE
026F 27         DAA
0270 DD7708     LD   (IX+8), A
0273 FE98       CP   98H
0275 CA9202     JP   Z, HBYTE1
0278 FE99       CP   99H
027A CA9202     JP   Z, HBYTE1
027D DD4606     LD   B, (IX+6)
0280 DD7E07     HBYTE2: LD  A, (IX+7)
0283 CB27       SLA  A
0285 CB27       SLA  A
0287 CB27       SLA  A
0289 CB27       SLA  A
028B 80         ADD  A, B
028C DD7709     LD   (IX+9), A
028F C39902     JP   EXECW
0292 DD4606     HBYTE1: LD  B, (IX+6)
0295 05         DEC  B
0296 C38002     JP   HBYTE2

```

```

;
; *****
; *****      CLOCK WISE PROCESS      *****
; *****
;

```

```

0299 DD7E03     EXECW: LD  A, (IX+3)
029C FE80       CP   80H
029E CA6E06     JP   Z, EXECWP
02A1 DD7E50     LD   A, (IX+50H)
02A4 FE66       CP   66H
02A6 CA2104     JP   Z, EXECW
02A9 3E0C       LD   A, 0CH

```

เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการทำงานที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

02AB D340          OUT   (40H), A
02AD 3E04          LD    A, 04H
02AF D340          OUT   (40H), A
02B1 DD21009B      LFDLOW: LD    IX, POINTER
02B5 DD7E08        LD    A, (IX+8)
02B8 FE00          CP    00
02BA C2CF02        JP    NZ, LP1
02BD DD7E09        LD    A, (IX+9)
02C0 FE00          CP    00
02C2 CAF402        JP    Z, BRK
02C5 3D            DEC   A
02C6 27            DAA
02C7 DD7709        LD    (IX+9), A
02CA 3E00          LD    A, 00
02CC DD7708        LD    (IX+8), A
02CF DB40          LP1:  IN   A, (40H)
02D1 CB47          BIT   0, A
02D3 CA1D00        JP    Z, START1
02D6 3EA0          LD    A, 0A0H           ;SPEEDMAX CW
02D8 D350          OUT   (50H), A
02DA DB52          LP2:  IN   A, (52H)
02DC FE41          CP    41H
02DE FADA02        JP    M, LP2
02E1 3E0C          LD    A, 0CH
02E3 D340          OUT   (40H), A
02E5 3E04          LD    A, 04H
02E7 D340          OUT   (40H), A
02E9 DD7E08        LD    A, (IX+8)
02EC 3D            DEC   A
02ED 27            DAA
02EE DD7708        LD    (IX+8), A
02F1 C3B102        JP    LPDLOW
;
; *****
; ***** CW BREAK IN LAST ROUND *****
; *****
;
02F4 CDF802        BRK:  CALL BREAK
02F7 C9            RET
02F8 3EA0          BREAK: LD   A, CW1
02FA D350          OUT   (50H), A
02FC DB52          ROUND2: IN  A, (52H)
02FE FE41          CP    41H
0300 FAFC02        JP    M, ROUND2
0303 3E0C          LD    A, 0CH
0305 D340          OUT   (40H), A
0307 3E04          LD    A, 04H
0309 D340          OUT   (40H), A
030B 3EA0          LD    A, CW2
030D D350          OUT   (50H), A
030F DB52          LIN:  IN   A, (52H)
0311 FE19          CP    19H
0313 FA0F03        JP    M, LIN
0316 3E99          LD    A, CW3
0318 D350          OUT   (50H), A
031A DB52          LIN1: IN  A, (52H)
031C FE1F          CP    1FH
031E FA1A03        JP    M, LIN1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0321 3E99          LD    A, CW4
0323 D350          OUT   (50H), A
0325 DB52          LIN2:  IN    A, (52H)
0327 FE25          CP    25H
0329 FA2503        JP    M, LIN2
032C 3E99          LD    A, CW5
032E D350          OUT   (50H), A
0330 DB52          LIN3:  IN    A, (52H)
0332 FE2B          CP    2BH
0334 FA3003        JP    M, LIN3
0337 3E99          LD    A, CW6
0339 D350          OUT   (50H), A
033B 0602          LD    B, 02H
033D 11F000        LD    DE, 0F0H
0340 DB52          LIN4:  IN    A, (52H)
0342 FE41          CP    41H
0344 CA4F03        JP    Z, ERRORCW
0347 1B            DEC   DE
0348 7A            LD    A, D
0349 B3            OR    E
034A C24003        JP    NZ, LIN4
034D 10F1          DJNZ  LIN4
034F 3E80          ERRORCW: LD   A, CW7
0351 D350          OUT   (50H), A
0353 3E0C          LD    A, 0CH
0355 D340          OUT   (40H), A
0357 3E04          LD    A, 04H
0359 D340          OUT   (40H), A
035B C9            RET

```

```

; *****
; ***** LAST ROUND CW *****
; *****
;

```

```

035C DD7E50        R1:   LD    A, (IX+50H)
035F FE00          CP    00
0361 CA7F05        JP    Z, START2
0364 FE66          CP    66H
0366 CAD404        JP    Z, R1CCW
0369 3E0C          LD    A, 0CH
036B D340          OUT   (40H), A
036D 3E04          LD    A, 04H
036F D340          OUT   (40H), A
0371 3EA0          LD    A, CWR11
0373 D350          OUT   (50H), A
0375 DB52          LIN5:  IN    A, (52H)
0377 FE19          CP    19H
0379 FA7503        JP    M, LIN5
037C 3E99          LD    A, CWR12
037E D350          OUT   (50H), A
0380 DB52          LIN6:  IN    A, (52H)
0382 FE1F          CP    1FH
0384 FA8003        JP    M, LIN6
0387 3E99          LD    A, CWR13
0389 D350          OUT   (50H), A
038B DB52          LIN7:  IN    A, (52H)
038D FE25          CP    25H
038F FA8B03        JP    M, LIN7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0392 3E99          LD      A, CWR14
0394 D350          OUT     (50H), A
0396 DB52          LIN8:   IN      A, (52H)
0398 FE2B          CP      2BH
039A FA9603        JP      M, LIN8
039D 3E99          LD      A, CWR15
039F D350          OUT     (50H), A
03A1 DB52          LIN9:   IN      A, (52H)
03A3 FE41          CP      41H
03A5 C2A103        JP      NZ, LIN9
03A8 3E80          LD      A, CWR16
03AA D350          OUT     (50H), A
03AC 3E0C          LD      A, 0CH
03AE D340          OUT     (40H), A
03B0 3E04          LD      A, 04H
03B2 D340          OUT     (40H), A
03B4 C9            RET

```

```

;
; *****
; ***** TWO LAST ROUND CW *****
; *****
;

```

```

03B5 DD7E50        R2:    LD      A, (IX+50H)
03B8 FE00          CP      00
03BA CA7F05        JP      Z, START2
03BD FE66          CP      66H
03BF CA2005        JP      Z, R2CCW
03C2 3E0C          LD      A, 0CH
03C4 D340          OUT     (40H), A
03C6 3E04          LD      A, 04H
03C8 D340          OUT     (40H), A
03CA 3EA0          LD      A, CWR21
03CC D350          OUT     (50H), A
03CE DB52          R02:   IN      A, (52H)
03D0 FE41          CP      41H
03D2 FACE03        JP      M, R02
03D5 3E0C          LD      A, 0CH
03D7 D340          OUT     (40H), A
03D9 3E04          LD      A, 04H
03DB D340          OUT     (40H), A
03DD 3E99          LD      A, CWR22
03DF D350          OUT     (50H), A
03E1 DB52          LIN10: IN      A, (52H)
03E3 FE19          CP      19H
03E5 FAE103        JP      M, LIN10
03E8 3E99          LD      A, CWR23
03EA D350          OUT     (50H), A
03EC DB52          LIN11: IN      A, (52H)
03EE FE1F          CP      1FH
03F0 FAEC03        JP      M, LIN11
03F3 3E99          LD      A, CWR24
03F5 D350          OUT     (50H), A
03F7 DB52          LIN12: IN      A, (52H)
03F9 FE25          CP      25H
03FB FAF703        JP      M, LIN12
03FE 3E99          LD      A, CWR25
0400 D350          OUT     (50H), A
0402 DB52          LIN13: IN      A, (52H)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0404 FE2B CP 2BH
0406 FA0204 JF M, LIN13
0409 3E99 LD A, CWR26
040B D350 OUT (50H), A
040D DB52 LIN14: IN A, (52H)
040F FE41 CP 41H
0411 C20D04 JF NZ, LIN14
0414 3E80 LD A, CWR27
0416 D350 OUT (50H), A
0418 3E0C LD A, 0CH
041A D340 OUT (40H), A
041C 3E04 LD A, 04H
041E D340 OUT (40H), A
0420 C9 RET
;
; *****
; ***** COUNTER CLOCK WISE PROCESS ****
; *****
;
0421 3E0A EXECCW: LD A, 0AH
0423 D340 OUT (40H), A
0425 3E02 LD A, 02H
0427 D340 OUT (40H), A
0429 DD21009B LPDLOW1: LD IX, POINTER
042D DD7E08 LD A, (IX+8)
0430 FE00 CP 00
0432 C24704 JF NZ, LP01
0435 DD7E09 LD A, (IX+9)
0438 FE00 CP 00
043A CA6C04 JF Z, BRK1
043D 3D DEC A
043E 27 DAA
043F DD7709 LD (IX+9), A
0442 3E00 LD A, 00
0444 DD7708 LD (IX+8), A
0447 DB40 LP01: IN A, (40H)
0449 CB47 BIT 0, A
044B CA1D00 JF Z, START1
044E 3E60 LD A, 60H
0450 D350 OUT (50H), A
0452 DB52 LP02: IN A, (52H)
0454 FE41 CP 41H
0456 FA5204 JF M, LP02
0459 3E0A LD A, 0AH
045B D340 OUT (40H), A
045D 3E02 LD A, 02H
045F D340 OUT (40H), A
0461 DD7E08 LD A, (IX+8)
0464 3D DEC A
0465 27 DAA
0466 DD7708 LD (IX+8), A
0469 C32904 JF LPDLOW1
;
; *****
; ***** COW BREAK IN LAST ROUND ****
; *****
;
046C CD7004 BRK1: CALL BREAK1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

046F C9          RET
0470 3E60      BREAK1: LD      A, CCW1
0472 D350      OUT      (50H), A
0474 DB52      ROUND02: IN     A, (52H)
0476 FE41      CP       41H
0478 FA7404    JP       M, ROUND02
047B 3E0A      LD      A, 0AH
047D D340      OUT      (40H), A
047F 3E02      LD      A, 02H
0481 D340      OUT      (40H), A
0483 3E60      LD      A, CCW2
0485 D350      OUT      (50H), A
0487 DB52      LN:      IN     A, (52H)
0489 FE19      CP       19H
048B FA8704    JP       M, LN
048E 3E65      LD      A, CCW3
0490 D350      OUT      (50H), A
0492 DB52      LN1:    IN     A, (52H)
0494 FE1F      CP       1FH
0496 FA9204    JP       M, LN1
0499 3E65      LD      A, CCW4
049B D350      OUT      (50H), A
049D DB52      LN2:    IN     A, (52H)
049F FE25      CP       25H
04A1 FA9D04    JP       M, LN2
04A4 3E65      LD      A, CCW5
04A6 D350      OUT      (50H), A
04A8 DB52      LN3:    IN     A, (52H)
04AA FE2B      CP       2BH
04AC FAA804    JP       M, LN3
04AF 3E65      LD      A, CCW6
04B1 D350      OUT      (50H), A
04B3 0602      LD      B, 02H
04B5 11F000    LD      DE, 0F0H
04B8 DB52      LN4:    IN     A, (52H)
04BA FE41      CP       41H
04BC CAC704    JP       Z, ERRORCCW
04BF 1B        DEC     DE
04C0 7A        LD      A, D
04C1 B3        OR      E
04C2 C2B804    JP       NZ, LN4
04C5 10F1      DJNZ   LN4
04C7 3E80      ERRORCCW: LD     A, CCW7
04C9 D350      OUT     (50H), A
04CB 3E0A      LD     A, 0AH
04CD D340      OUT     (40H), A
04CF 3E02      LD     A, 02H
04D1 D340      OUT     (40H), A
04D3 C9        RET

```

```

;
; *****
; ***** LAST ROUND CCW *****
; *****
;

```

```

04D4 3E0A      R1CCW: LD     A, 0AH
04D6 D340      OUT     (40H), A
04D8 3E02      LD     A, 02H
04DA D340      OUT     (40H), A

```

```

04DC 3E60          LD      A, CCWR11
04DE D350          OUT     (50H), A
04E0 DB52          LIN05: IN      A, (52H)
04E2 FE19          CP      19H
04E4 FAE004        JP      M, LIN05
04E7 3E65          LD      A, CCWR12
04E9 D350          OUT     (50H), A
04EB DB52          LIN06: IN      A, (52H)
04ED FE1F          CP      1FH
04EF FAEB04        JP      M, LIN06
04F2 3E65          LD      A, CCWR13
04F4 D350          OUT     (50H), A
04F6 DB52          LIN07: IN      A, (52H)
04F8 FE25          CP      25H
04FA FAF604        JP      M, LIN07
04FD 3E65          LD      A, CCWR14
04FF D350          OUT     (50H), A
0501 DB52          LIN08: IN      A, (52H)
0503 FE2B          CP      2BH
0505 FA0105        JP      M, LIN08
0508 3E65          LD      A, CCWR15
050A D350          OUT     (50H), A
050C DB52          LIN09: IN      A, (52H)
050E FE41          CP      41H
0510 C20C05        JP      NZ, LIN09
0513 3E80          LD      A, CCWR16
0515 D350          OUT     (50H), A
0517 3E0A          LD      A, 0AH
0519 D340          OUT     (40H), A
051B 3E02          LD      A, 02H
051D D340          OUT     (40H), A
051F C9            RET
;
; *****
; ***** TWO LAST ROUND CCW *****
; *****
;
0520 3E0A          R2CCW: LD      A, 0AH
0522 D340          OUT     (40H), A
0524 3E02          LD      A, 02H
0526 D340          OUT     (40H), A
0528 3E60          LD      A, CCWR21
052A D350          OUT     (50H), A
052C DB52          R002: IN      A, (52H)
052E FE41          CP      41H
0530 FA2C05        JP      M, R002
0533 3E0A          LD      A, 0AH
0535 D340          OUT     (40H), A
0537 3E02          LD      A, 02H
0539 D340          OUT     (40H), A
053B 3E65          LD      A, CCWR22
053D D350          OUT     (50H), A
053F DB52          LIN010: IN     A, (52H)
0541 FE19          CP      19H
0543 FA3F05        JP      M, LIN010
0546 3E65          LD      A, CCWR23
0548 D350          OUT     (50H), A
054A DB52          LIN011: IN     A, (52H)
054C FE1F          CP      1FH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

054E FA4A05      JF      M, LIN011
0551 3E65        LD      A, CCWR24
0553 D350        OUT     (50H), A
0555 DB52        LIN012: IN      A, (52H)
0557 FE25        CP      25H
0559 FA5505      JF      M, LIN012
055C 3E65        LD      A, CCWR25
055E D350        OUT     (50H), A
0560 DB52        LIN013: IN      A, (52H)
0562 FE2B        CP      2BH
0564 C26005      JF      NZ, LIN013
0567 3E65        LD      A, CCWR26
0569 D350        OUT     (50H), A
056B DB52        LIN014: IN      A, (52H)
056D FE41        CP      41H
056F C26B05      JF      NZ, LIN014
0572 3E80        LD      A, CCWR27
0574 D350        OUT     (50H), A
0576 3E0A        LD      A, 0AH
0578 D340        OUT     (40H), A
057A 3E02        LD      A, 02H
057C D340        OUT     (40H), A
057E C9          RET
057F C9          START2: RET
0580 F5          DELAY: FUSH    AF
0581 C5          FUSH    BC
0582 D5          FUSH    DE
0583 0602        LD      B, 02H
0585 11FFFF      LLP:     LD      DE, 0FFFFH
0588 1B          LLP1:   DEC     DE
0589 7A          LD      A, D
058A B3          OR      E
058B C28805      JF      NZ, LLP1
058E 10F5        DJNZ   LLP
0590 D1          STAR2:  POP    DE
0591 C1          POP    BC
0592 F1          POP    AF
0593 C9          RET
;
;*****
;*          DEMO          *
;*****
;
0594 DD365099    KEYDEM: LD      (IX+50H), 99H
0598 DD36006D    LD      (IX+0), 6DH
059C DD36013F    LD      (IX+1), 3FH
05A0 DD36023F    LD      (IX+2), 3FH
05A4 DD36033F    LD      (IX+3), 3FH
05A8 CD9E01      CALL   KEYEXE
05AB CD8005      CALL   DELAY
05AE DD365066    LD      (IX+50H), 66H
05B2 CDE705      CALL   HALFCCW
05B5 CD8005      CALL   DELAY
05B8 CDE705      CALL   HALFCCW
05BB CD8005      CALL   DELAY
05BE DD365099    LD      (IX+50H), 99H
05C2 DD36004F    LD      (IX+0), 4FH
05C6 CD9E01      CALL   KEYEXE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

05C9	CD3206	CALL	HALFCW	
05CC	CD8005	CALL	DELAY	
05CF	DD365066	LD	(IX+50H), 66H	
05D3	DD36003F	LD	(IX+0), 3FH	
05D7	DD36014F	LD	(IX+1), 4FH	
05DB	CD9E01	CALL	KEYEXE	
05DE	CDE705	CALL	HALFCCW	
05E1	CD8005	CALL	DELAY	
05E4	C39405	JP	KEYDEM	
05E7	DB40	HALFCCW:	IN	A, (40H)
05E9	CB47	BIT	0, A	
05EB	CA1D00	JP	Z, START1	
05EE	3E70	LD	A, 70H	
05F0	D350	OUT	(50H), A	
05F2	DB52	L1N:	IN	A, (52H)
05F4	FE07	CF	07H	;100
05F6	FAF205	JP	M, L1N	
05F9	3E70	LD	A, 70H	
05FB	D350	OUT	(50H), A	
05FD	DB52	L1N1:	IN	A, (52H)
05FF	FE0D	CF	0DH	;200
0601	FAFD05	JP	M, L1N1	
0604	3E70	LD	A, 70H	
0606	D350	OUT	(50H), A	
0608	DB52	L1N2:	IN	A, (52H)
060A	FE13	CF	13H	
060C	FA0806	JP	M, L1N2	;300
060F	3E70	LD	A, 70H	
0611	D350	OUT	(50H), A	
0613	DB52	L1N3:	IN	A, (52H)
0615	FE16	CF	16H	;350
0617	FA1306	JP	M, L1N3	
061A	3E70	LD	A, 70H	
061C	D350	OUT	(50H), A	
061E	DB52	L1N4:	IN	A, (52H)
0620	FE20	CF	20H	;400
0622	C21E06	JP	NZ, L1N4	
0625	3E80	LD	A, 80H	
0627	D350	OUT	(50H), A	
0629	3E0A	LD	A, 0AH	
062B	D340	OUT	(40H), A	
062D	3E02	LD	A, 02H	
062F	D340	OUT	(40H), A	
0631	C9	RET		
0632	3E90	HALFCW:	LD	A, 90H
0634	D350	OUT	(50H), A	
0636	DB52	L2N:	IN	A, (52H)
0638	FE07	CF	07H	;100
063A	FA3606	JP	M, L2N	
063D	3E90	LD	A, 90H	
063F	D350	OUT	(50H), A	
0641	DB52	L2N1:	IN	A, (52H)
0643	FE0D	CF	0DH	;200
0645	FA4106	JP	M, L2N1	
0648	3E90	LD	A, 90H	
064A	D350	OUT	(50H), A	
064C	DB52	L2N2:	IN	A, (52H)
064E	FE13	CF	13H	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0650 FA4C06      JP      M, L2N2      ;300
0653 3E90        LD      A, 90H
0655 D350        OUT     (50H), A
0657 DB52        L2N3:  IN      A, (52H)
0659 FE16        CP      16H          ;350
065B FA5706      JP      M, L2N3
065E 3E90        LD      A, 90H
0660 D350        OUT     (50H), A
0662 DB52        L2N4:  IN      A, (52H)
0664 FE20        CP      20H          ;400
0666 C26206      JP      NZ, L2N4
0669 3E80        LD      A, 80H
066B D350        OUT     (50H), A
066D C9          RET

```

```

;
; *****
; *****      CLOCK WISE PROCESS      *****
; *****
;

```

```

066E DD7E50      EXECWP: LD      A, (IX+50H)
0671 FE66        CP      66H
0673 CAD206      JP      Z, EXECWP
0676 3E0C        LD      A, 0CH
0678 D340        OUT     (40H), A
067A 3E04        LD      A, 04H
067C D340        OUT     (40H), A
067E DD21009B    LPDLOWP: LD     IX, POINTER
0682 DD7E08      LD      A, -(IX+8)
0685 FE00        CP      00H
0687 C29C06      JP      NZ, LP1P
068A DD7E09      LD      A, (IX+9)
068D FE00        CP      00
068F CAC106      JP      Z, BRKP
0692 3D          DEC     A
0693 27          DAA
0694 DD7709      LD      (IX+9), A
0697 3E00        LD      A, 00H
0699 DD7708      LD      (IX+8), A
069C DB40        LP1P:  IN      A, (40H)
069E CB47        BIT     0, A
06A0 CA1D00      JP      Z, START1
06A3 3E90        LD      A, 90H          ;SPEEDMAX CW
06A5 D350        OUT     (50H), A
06A7 DB52        LP2P:  IN      A, (52H)
06A9 FE03        CP      03H
06AB FAA706      JP      M, LP2P
06AE 3E0C        LD      A, 0CH
06B0 D340        OUT     (40H), A
06B2 3E03        LD      A, 03H
06B4 D340        OUT     (40H), A
06B6 DD7E08      LD      A, (IX+8)
06B9 3D          DEC     A
06BA 27          DAA
06BB DD7708      LD      (IX+8), A
06BE C37E06      JP      LPDLOWP

```

```

;
; *****
; *****      CW BREAK IN LAST ROUND      *****
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

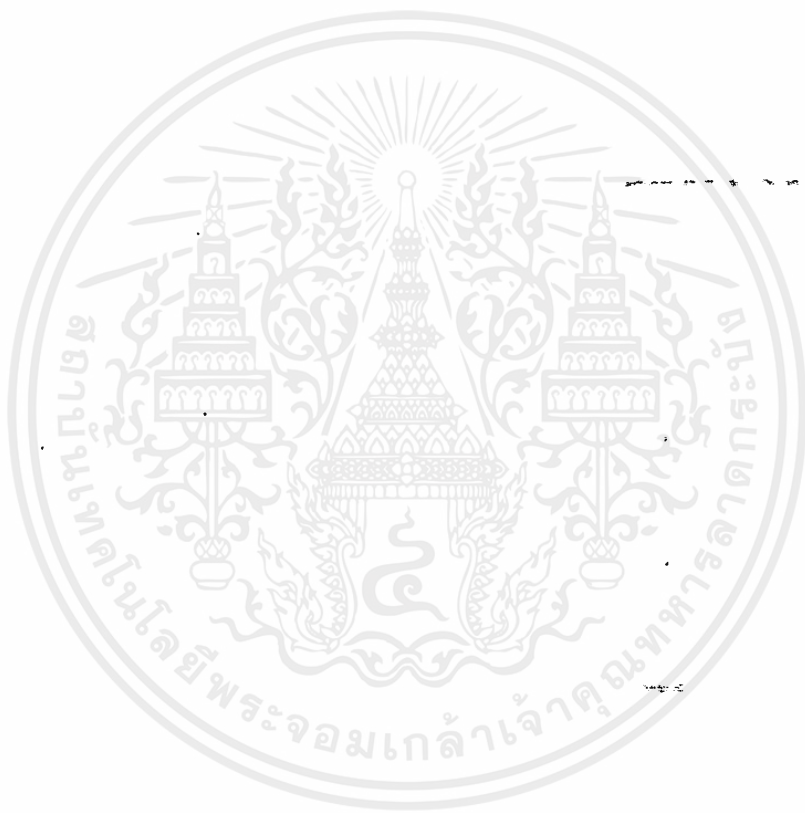
; *****
06C1 CDC506   BRKP:   CALL   BREAKP
06C4 C9       RET
06C5 3E80     BREAKP: LD    A, 80H
06C7 D350     OUT   (50H), A
06C9 3E0C     LD    A, 0CH
06CB D340     OUT   (40H), A
06CD 3E04     LD    A, 04H
06CF D340     OUT   (40H), A
06D1 C9       RET
;
; *****
; ***** COUNTER CLOCK WISE PROCESS ****
; *****
06D2 3E0A     EXECCWP: LD    A, 0AH
06D4 D340     OUT   (40H), A
06D6 3E02     LD    A, 02H
06D8 D340     OUT   (40H), A
06DA DD21009B LPDLOW1P: LD   IX, POINTER
06DE DD7E08     LD    A, (IX+8)
06E1 FE00     CF    00
06E3 C2F806     JF    NZ, LP01P
06E6 DD7E09     LD    A, (IX+9)
06E9 FE00     CF    00
06EB CA1D07     JF    Z, BRK1P
06EE 3D       DEC    A
06EF 27       DAA
06F0 DD7709     LD    (IX+9), A
06F3 3E00     LD    A, 00H
06F5 DD7708     LD    (IX+8), A
06F8 DB40     LP01P: IN   A, (40H)
06FA CB47     BIT   0, A
06FC CA1D00     JF    Z, START1
06FF 3E70     LD    A, 70H
0701 D350     OUT   (50H), A
0703 DB52     LP02P: IN   A, (52H)
0705 FE03     CF    03H
0707 FA0307     JF    M, LP02P
070A 3E0A     LD    A, 0AH
070C D340     OUT   (40H), A
070E 3E02     LD    A, 02H
0710 D340     OUT   (40H), A
0712 DD7E08     LD    A, (IX+8)
0715 3D       DEC    A
0716 27       DAA
0717 DD7708     LD    (IX+8), A
071A C3DA06     JF    LPDLOW1P
;
; *****
; ***** COW BREAK IN LAST ROUND ****
; *****
071D CD2107     BRK1P: CALL  BREAK1P
0720 C9       RET
0721 3E80     BREAK1P: LD   A, 80H
0723 D350     OUT   (50H), A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0725 3E0A
0727 D340
0729 3E02
072B D340
072D C9
072E

LD A, 0AH
OUT (40H), A
LD A, 02H
OUT (40H), A
RET
END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้