

การควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์
COMPUTER CONTROL OF STEPPING MOTOR



โดย

นางสาวปรารถนา ทวีสุวรรณ
นายสมเชษฐ์ ผลสุวรรณชัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42478
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์
(COMPUTER CONTROL OF STEPPING MOTOR)

ผู้จัดทำ

นางสาวปรารถนา ทิวสุวรรณ

นายสมเชษฐ์ ผลสุวรรณชัย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วรพงศ์ ตั้งศิริรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์

นางสาวปรารถนา ทวีสุวรรณ

นายสมเชษฐ์ ผลสุวรรณชัย

อาจารย์วรพงษ์ ตั้งศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ในบ้านเรือน มักจะถูกออกแบบขึ้นมาโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม และทำการประมวลผล โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและจำลองการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ในสายพานการผลิต โดยวิธีการควบคุมด้วยความเร็วคงที่ หรือการควบคุมโดยอัตราเร่งและอัตราหน่วง ซึ่งสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริงได้

ABSTRACT

During the past few years, instruments and also equipments used in manufacture are mostly developed and designed in which a computer is employed as a controller or data processor. The goal of this project is to design a computer control of stepping motor, which is based on two control techniques, i.e., start-stop operation, acceleration-deceleration operation. Furthermore, this project is expected to be useful in many instrumentation and control systems

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน	1
1.3 รายละเอียดโดยย่อของ โครงการงาน	1
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สเตปปี้งมอเตอร์	3
2.2 หลักการทำงานของสเตปปี้งมอเตอร์	4
2.3 ชนิดของสเตปปี้งมอเตอร์	6
2.3.1 สเตปปี้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	6
2.3.2 สเตปปี้งมอเตอร์แบบคาร์ริกเด็นซ์แปรค่าได้ที่มีแสดคเดียว	7
2.3.3 สเตปปี้งมอเตอร์แบบคาร์ริกเด็นซ์แปรค่าได้และมีหลายแสดค	13
2.3.4 สเตปปี้งมอเตอร์แบบไฮบริค	16
2.4 การกระตุ้นสเตปปี้งมอเตอร์	20
2.5 วงจรกำลังของสเตปปี้งมอเตอร์	22
2.5.1 การต่อวงจรเรียงลำดับเฟส กับวงจรกำลัง	22
2.5.2 ปัญหาของวงจรขับกระแส	22
2.5.3 Suppressors	23
2.6 ลักษณะของวงจรกำลัง	27
2.6.1 วงจรขับแบบขั้วเดียว	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 วงจรขบแบบสองขั้ว	27
2.6.3 การจับแบบขั้วเดียวกับสเตปป์มอเตอร์ชนิด Bifilar Windings	28
บทที่3 การทดสอบและการวัดคุณลักษณะของแรงบิด	29
3.1 การวัดคุณลักษณะทางสถิตย์	29
3.1.1 คุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป	29
3.1.2 คุณลักษณะของแรงบิดกับกระแส	30
3.2 การวัดคุณลักษณะทางไดนามิก	31
3.2.1 คุณลักษณะของแรงบิดพลูอิน	31
3.2.2 คุณลักษณะของแรงบิดพลูเอาท	32
3.3 สมการการเคลื่อนที่และการเร่ง	33
3.3.1 อัตราเร่ง	33
3.3.2 การลดอัตราเร่ง	35
3.3.3 การคำนวณจำนวนพัลส์ไปจนถึงอัตราหมุนที่คงที่	37
3.3.4 การลดอัตราเร่งแบบเชิงเส้น	38
3.3.5 การเร่งอัตราเร่งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล	40
บทที่4 การคำนวณและการออกแบบ	43
4.1 การเชื่อมต่อกับ LED ตัวเลข 7 ส่วน	43
4.2 การจับ LED ตัวเลข 7 ส่วน	44
4.3 การเชื่อมต่อกับคีย์แพด หรือสวิทช์เมตริกซ์ 4x3 จุด	47
4.4 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคีย์บอร์ดและเซเวนเซกเมนต์	48
4.5 ขั้นตอนการทำงาน	49
4.5.1 การควบคุมการทำงานแบบStart-Stop Operation	50
4.5.2 การควบคุมการทำงานแบบAcceleration –Deceleration	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	54
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป	57
6.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	
6.1.1 ปัญหาด้านโครงสร้าง	57
6.1.2 ปัญหาด้านวงจร	57
6.1.3 ปัญหาด้านโปรแกรม	57
6.2 แนวทางการพัฒนา	57
6.2.1 ควรปรับปรุงด้านโครงสร้าง	57
6.2.2 แก้ไขและพัฒนาด้านโปรแกรม	57
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการควบคุมสเตปป์มอเตอร์	3
2.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ	4
2.3 แสดงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก	5
2.4 แสดงโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส	6
2.5 แสดง VR สเตปป์มอเตอร์แบบมีสเตคเดียว	7
2.6 แสดงลำดับการสวิทซ์ 3 สเตป ของ VR	10
2.7 แสดงโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส	13
2.8 แสดงลำดับการสเตปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟส	15
2.9 แสดงโครงสร้างของไฮบริดสเตปป์มอเตอร์	16
2.10 แสดงวงจรแม่เหล็กของ HSM	17
2.11 แสดงลำดับ 4 สเตป ของ HSM แบบ 2 เฟส	19
2.12 แสดงตัวอย่างของการเชื่อมต่อระหว่างวงจรเรียงลำดับเฟสกับวงจรกำลัง	22
2.13 แสดงวงจรเทียบเคียงขดลวดของสเตปป์มอเตอร์	23
2.14 แสดง Diode Suppressor	24
2.15 แสดง Diode/Resistor Suppressor	24
2.16 แสดง Ziner Diode Suppressor	25
2.17 แสดงการเปรียบเทียบ Suppressor ด้วยวิธีต่างๆ	26
2.18 แสดงตัวอย่างของวงจรขั้วกระแสที่มีซีเนอร์ไดโอด	26
2.19 แสดงวงจรขั้วแบบของขั้ว	27
2.20 แสดงวงจรขั้วสเตปป์มอเตอร์ แบบ Bifilar Windings	28
3.1 แสดงวิธีทดลองการวัดคุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป	29
3.2 แสดงกราฟคุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป	30
3.3 แสดงคุณลักษณะของแรงบิดกับกระแส	30
3.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ความเฉื่อยกับความถี่ในการสตาร์ท	31
3.5 แสดงย่านความถี่ที่สเตปป์มอเตอร์ไม่สามารถสตาร์ทได้	31
3.6 แสดงวิธีการวัดแรงบิดพลูเอาทั้แบบหนึ่งสเกลและสองสเกล	32
3.7 แสดงอัตราเร่งแบบเชิงเส้นจาก ω_1 ถึง ω_2	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 แสดงพัลส์ไทม์มิ่งของอัตราเร่งแบบเชิงเส้น	36
3.9 แสดงการเร่งอัตราเร่งไปจนถึงอัตราการหมุนที่คงที่	37
3.10 แสดงจำนวนพัลส์ในการลดอัตราเร่ง	39
3.11 แสดงถึงการประมาณแรงบิดพลูเอาท์แบบเชิงเส้น	40
3.12 แสดงถึงอัตราเร่งของพัลส์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล	41
4.1 แสดงรูปร่างและการกำหนดชื่อเซกเมนต์ต่างๆของ LED ตัวเลข7 ส่วน	43
4.2 แสดงวงจรภายในของ LED ตัวเลข7ส่วน แบบคาโทดร่วมและแอนโนดร่วม	43
4.3 แสดงการจัดขาของ LED ตัวเลข7ส่วนทั้งแบบตัวเดี่ยวและตัวคู่	44
4.4 แสดงวงจรสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวนด์	47
4.5 แสดงวงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด	47
4.6 แสดงการเชื่อมคีย์บอร์ดและ LEDเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	48
4.7 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมด	49
4.8 แสดงการควบคุมการทำงานแบบ Start-Stop Operation	50
4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบ Start-Stop Operation	51
4.10 แสดงการควบคุมการทำงานแบบ Acceleration-Deceleration Operation	52
4.11 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบ Acceleration-Deceleration Operation	53
4.12 แสดงภาพสำเร็จของโครงการ	58
4.13 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของโครงการ	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตรปปีงมอเตอร์	12
ตารางที่ 4.1 แสดงเลขฐานสิบหกของLED	45
ตารางที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์	48
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 0กรัม แบบความเร็วคงที่	54
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 40กรัม แบบความเร็วคงที่	54
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 200กรัม แบบความเร็วคงที่	54
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 0กรัม แบบความเร่ง	55
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 40กรัม แบบความเร่ง	55
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองที่น้ำหนัก 200กรัม แบบความเร่ง	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในยุคอดีตการนำเอาระบบควบคุมด้วยไฟฟ้ามาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางกล เพื่อให้ เกิดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง หรือหมุนรอบนั้น สัญญาณทางไฟฟ้าสำหรับใช้ในการควบคุมยังเป็นสัญญาณแบบอนาลอก ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดบางอย่าง

ในปัจจุบันได้ประยุกต์โดยนำเทคโนโลยีมาใช้งาน โครงการนี้จึงเป็นการนำเอา คอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งาน โดยการนำมาควบคุมสเตปป์มอเตอร์ ซึ่งจะทำให้ใช้งานได้คล่อง สะดวกขึ้น และยังสามารพัฒนาโดยการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อย่างอื่นได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการควบคุมสเตปป์มอเตอร์ ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาการทำงานและวิธีการควบคุมในแบบต่างๆ ซึ่งการควบคุมนี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการไปประยุกต์ใช้งานในแบบต่างๆในอนาคต

1.3 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ

โครงการนี้ทำการรับค่าข้อมูลจากทางคีย์บอร์ด แล้วจึงใช้คอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล หลังจากนั้นจึงส่งไปยังวงจร Drive Circuit เพื่อควบคุมสเตปป์มอเตอร์

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

ส่วน Hardware

สเตปป์มอเตอร์

วงจรถูกควบคุม

วงจรถูกควบคุม

ส่วน Software

ส่วน Interface ต่างๆ

ควบคุมการทำงาน ในแบบต่างๆ (Operating pattern)

- For start-stop operation
- For accelerate or decelerate operation

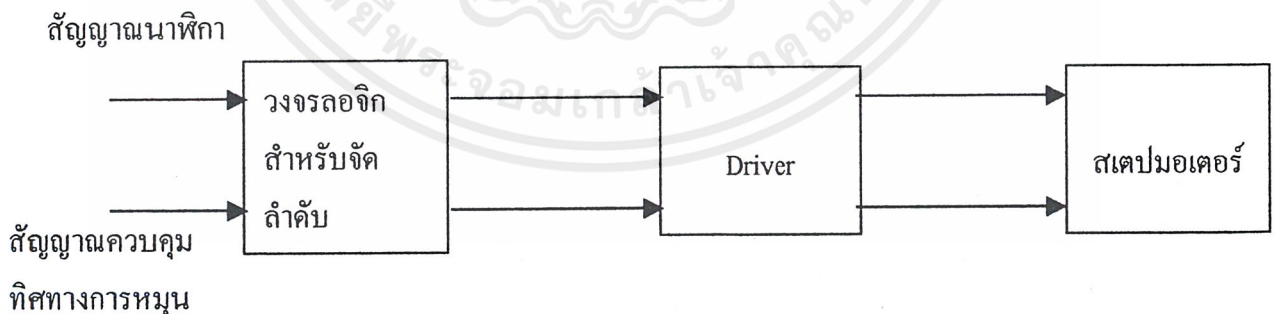
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สเตปปีงมอเตอร์

เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า ที่มีอินพุทเป็นกลุ่มของไบนารีโวลต์เตจ และเอาต์พุทเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือหมุน ไปทีละ step (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเตปปีงมอเตอร์ตามสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่ป้อนให้ขดสเตเตอร์ ซึ่งจะเกิดแรงผลักดันต่อ โรเตอร์ หมุนไป แต่ลักษณะของสเตปปีงมอเตอร์) จะมีขดของสเตเตอร์อยู่หลายขดที่ต่ออนุกรมกัน ซึ่งเรียกว่า “เฟส” กระแสที่จ่ายให้ขดลวดเป็นกระแสที่ได้จากแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งกระทำให้เกิด ฟลักแม่เหล็กใน Air gap และเกิดแรงบิด (Torque) ตามมา จึงทำให้ โรเตอร์หมุนได้ โดยโรเตอร์จะหมุนด้วยมุมที่คงที่ เรียกว่า Step angle ตำแหน่งมุมของโรเตอร์สามารถควบคุมได้โดยใช้วิธีการสวิตซ์ซึ่ง เรียงกันไปเป็นลำดับ ก็จะสามารถหมุนไปทีละสเตปตามลำดับ

ข้อดีของระบบควบคุมที่ใช้สเตปปีงมอเตอร์

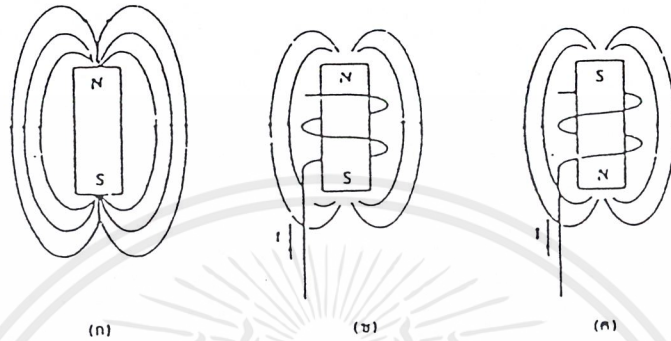
- ไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับของตำแหน่งหรือความเร็ว
- ไม่มี Position Error สะสม
- ควบคุมได้ง่ายโดยอุปกรณ์ดิจิทัล



รูปที่ 2.1 แสดงการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์

2.2 หลักการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

ในรูปแสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ

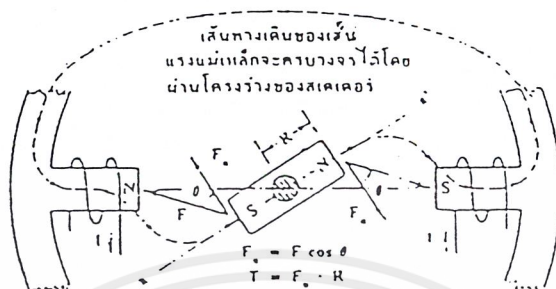
- ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร
- ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส 1
- ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

หลักการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

ในรูป แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่กับเพลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์ มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ ตำแหน่งแกนของอาร์เมเจอร์ แม่เหล็กคือ a-a ซึ่งต่างไปจากแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน ทำให้เกิดส่วนของแรงบิด (Torque) เกิดขึ้น

แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดแรง $F_n = F \cdot \cos\theta$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a)

แรงบิดรวม $T = F_n \cdot R$ (ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา จนกว่าแกนของอาร์เมเจอร์ a-a จะอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนขั้วของสเตเตอร์)



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก

ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆขั้วเหล่านั้น ถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์เมเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

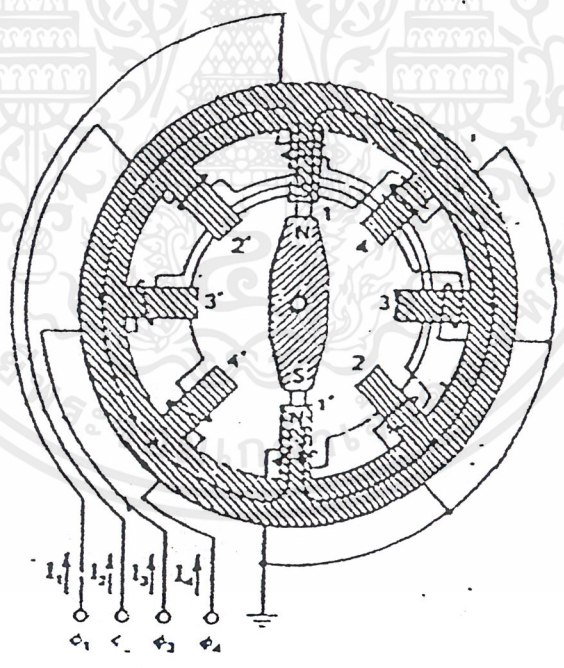
2.3 ชนิดของสเตปป์ิ่งมอเตอร์

ในการแบ่งชนิดของสเตปป์ิ่งมอเตอร์นั้น ถ้าแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง แล้วจะสามารถแบ่งได้ต่าง ๆ กัน ดังนี้

2.3.1 สเตปป์ิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

(PM: Permanent Magnet)

โครงสร้างของสเตปป์ิ่งมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวรแสดงได้ ดังรูป 2.4 เราสามารถสังเกตสเตปป์ิ่งมอเตอร์ชนิดนี้ได้ โดยการทดลองหมุนดูด้วยมือเปล่าจะรู้สึกว่ามีสะดุดเป็นขั้น ๆ เพราะการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กถาวรบางที่เรียกว่าชนิด Synchronous Inductor Motor ในรูปที่ 2.4 เป็นสเตปป์ิ่งมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตปป์ิ่งมอเตอร์ดังนั้น ในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเตปป์ิ่งมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส และแต่ละเฟสพันด้วยขดลวดบน 2 ขั้ว ของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45 องศา

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' มันหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

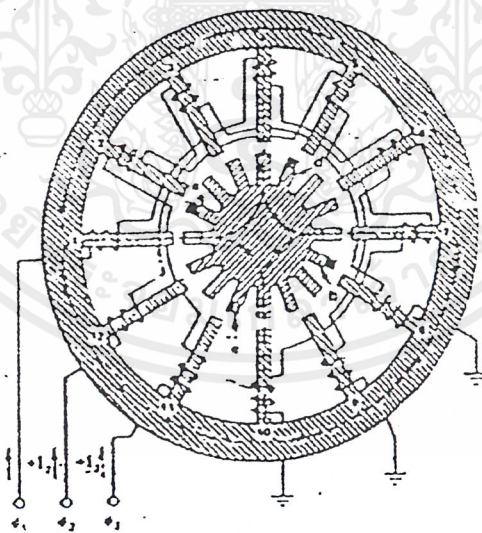
ขดลวดของเฟส $\theta_1, \theta_4, \theta_3$ และ θ_2 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกับ I_1, I_4, I_3 และ I_2 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสพัลส์ที่สอดคล้องกับ I_1, I_4, I_3 และ I_2 (กระแสแต่ละเฟสจะไหลในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเตปโรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45 องศา (360/8)

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์หมายเลข 2 ลำดับการจับขดลวดเฟสของสเตปป์มอเตอร์ คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180 องศา) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทางใน 180 องศา ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทาง เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วได้ ที่ขั้วสเตเตอร์ 1', 4', 3' และ 2' ตามลำดับ (ทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 2.4)

2.3.2 สเตปป์มอเตอร์แบบคาร์ลิกเด็นซ์แปรค่าได้ที่มีสเตคเดียว

(VR : Variable – Reluctance Single – Stack)

ตัวอย่างโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์ แบบคาร์ลิกเด็นซ์แปรค่าได้ที่มีสเตคเดียว หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า VR สเตปป์มอเตอร์ที่มีสเตคเดียวแสดงได้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 VR สเตปป์มอเตอร์แบบมีสเตคเดียวมีรายละเอียด

โครงสร้าง ดังนี้ $N_r=16$, $N_s=12$, $X=4$ Pole/Phase, $\theta_s=7.5$ องศา $R_s=48$ สเตปป์/รอบ

VR สเตปป์มอเตอร์ที่มีสเตคเดียวจะมีโรเตอร์เดียว เมื่อเทียบกับ VR สเตปป์มอเตอร์แบบที่มีหลายสเตค หมายถึง มีหลายโรเตอร์ โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก

สเตปป์มอเตอร์ในรูปแบบที่ 2.5 มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้ว หรือซี่ฟันของสเตเตอร์

ตัวอย่างเฟสที่ 1 พันอยู่บนขั้วที่ 1,4,7, และ 10 ของสเตเตอร์ ดังนั้นสเตเตอร์จะมี 12 ซี่ฟัน และในที่นี้กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน

ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้าม จะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกัน เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้าและออกจากโรเตอร์

สมมุติว่า กระแส I_1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.5 และโรเตอร์ทั้ง 4 ซี่ฟัน จะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1,4,7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ซี่ฟันที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตได้ว่าปลายของซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากซี่ฟันที่ 4) และปลายของซี่ฟันโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก และเหนี่ยวนำให้ปลายของซี่ฟันของโรเตอร์นั้นเป็นขั้วใต้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กนี้ จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (Gap) ระหว่างซี่ฟันทั้งสองที่อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของสเตเตอร์และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน ในสภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนในหนึ่งสเตปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนซี่ฟันที่ 2,5,8, และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I_3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I_1 แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนของที่มีความต้านทานต่ำที่สุด) ในทำนองเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด (ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันจะทำให้เกิดค่ารีลักแตนซ์เส้นแรงแม่เหล็กช่องว่างกว้างมากค่ารีลักแตนซ์ก็จะมีค่ามาก) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็จะกระโดดผ่านช่องว่างไปยังซี่ฟันของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ซี่ฟัน a และ b ของโรเตอร์เป็นโรเตอร์ที่อยู่ใกล้ที่สุดและจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากซี่ฟัน d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ซี่ฟันที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์ โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์ โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงของแม่เหล็ก หรือ แรงคิงคูจะเกิดขึ้นระหว่างซี่ฟันที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้) แรงคิงคูจะเกิดขึ้นระหว่างขั้ว (11,e),(8,6) และ (5,d) ด้วยคิงคูอธิบาย ในรูปที่ 2.3 ผลที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้จะทำให้เกิดทอร์กกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งซี่ฟัน a,d,b และ c ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟัน 2,5,8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าวช่องว่างระหว่างซี่ฟันตามลำดับจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของค่า ริลัคเตนซ์จะมีค่าที่สุด และเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุด ผ่านวงจรแม่เหล็กที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมมูลของการจับเฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5 องศา

ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันของโรเตอร์จะเป็นสีดำ เพื่อให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW* เมื่อเฟสถูกจับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตปคิดเป็นมุมไว้เท่ากับ 22.5 องศา เราจะจับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง CW แต่ถ้าเราต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW* เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

* CCW = counter-clockwise

* CW = clockwise

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น - เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน - ชีพของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชีพที่ 1,4,7,10 ของสเตเตอร์	
สเตปที่ 1: เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน - ชีพของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชีพที่ 2,5,8,11 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° (1/3 ช่วงห่างระหว่างชีพของโรเตอร์)	
สเตปที่ 2 : เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน - ชีพของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชีพที่ 3,6,9,12 ของสเตเตอร์ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 7.5°	
สเตปที่ 3 : เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน - ชีพของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชีพที่ 1,4,7,10 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5° (เคลื่อนที่ได้ 1 ช่วงห่างระหว่างชีพของโรเตอร์)	

รูปที่ 2.6 แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเตป ของ VR สเตปปีงมอเตอร์แบบสเตเตอร์เดี่ยว และแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์ และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตป

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR สเตปปีงมอเตอร์

N_r = จำนวนชีพของโรเตอร์

N_s = จำนวนชีพของสเตเตอร์

N_p = จำนวนเฟส

P_r = ความห่างระหว่างปลายชีพโรเตอร์ (องศา)

P_s = ความห่างระหว่างปลายชีพของสเตเตอร์ (องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\theta_s =$ มุมสเตป (องศา)

$R_s =$ อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป (สเตป/รอบ)

$= N_s/N_p =$ จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเตปปีงมอเตอร์

1. ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (Tooth Pitch)

$$P_r = 360/N_r \text{ และ } P_s = 360/N_s \quad (2.1)$$

2. มุมสเตป (Step Angle)

ในรูปที่ 2.6 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ไร่เท่ากับ N_p สเตป ดังนั้น เราจะหา มุม สเตป ได้

$$\theta_s = P_r/N_p = 360/N_r N_p \text{ องศาสเตป} \quad (2.2)$$

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง P_r และ P_s ดังนั้นเราหา มุมสเตป ได้เป็น

$$\theta_s = (P_r - P_s) \text{ องศาสเตป} \quad (2.3)$$

3. อัตราการสเตป (Stepping Rate)

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360/\theta_s = N_r N_p \text{ สเตป/รอบ} \quad (2.4)$$

4. ความเร็วของสเตปปีงมอเตอร์ (Speed of Step Motor)

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ (f) สเตปต่อพัลส์ ให้กับสเตปปีงมอเตอร์ มอเตอร์จะ สเตปไป ด้วยความเร็ว

(สเตป/พัลส์) * f (พัลส์/วินาที)

$$1/R_s \text{ (รอบ/สเตป)} * f \text{ (พัลส์/วินาที)} * 60 \text{ (วินาที/นาท)} \text{ ความเร็วของ} \\ \text{มอเตอร์ (W)} = 60f/R_s = 60f/N_p N_r = \theta_s f/6 \text{ (rpm)} \quad (2.5)$$

5. จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส

(Number of Stator Poles Per Phase)

$$\text{จำนวน โพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X)} = N_s/N_p \quad (2.6)$$

$$\text{หรือ } X = R_s/N_p(N_p/11) = N_r/(N_p+1)$$

จำนวน โพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตป หรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

สเตปป์มอเตอร์ในรูปที่ 2.5 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวของสเตปป์มอเตอร์ได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปป์มอเตอร์

Np	Rs	Nr	X	Ns
3	48	16	4	12
			8	24
4	48	12	4	16
4	64	16	?	?

ตัวอย่าง การหาพารามิเตอร์ของสเตปป์มอเตอร์

ขั้นแรกเรากำหนดความต้องการของมุมสเตปป์ = 9 องศา

มุมสเตปป์จะเป็นตัวจำกัด อัตราการสเตปป์ = $360/9 = 40$ สเตปป์/รอบ

ในเงื่อนไขเหล่านี้เราอาจจะต้องใช้สเตปป์มอเตอร์ที่มี 4 หรือ 5 เฟส ที่มีสเตเตอร์ 2

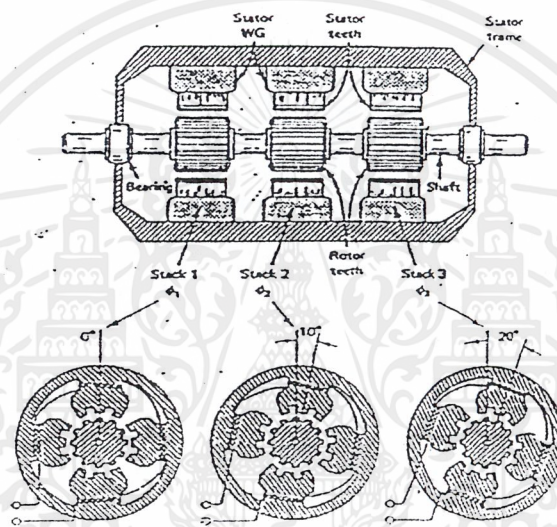
โพลต่อเฟส

$$\begin{array}{l}
 \text{ถ้า } N_p = 4 \\
 N_r = R_s/N_p = 40/4 = 10 \\
 N_s - N_p S = 4 \cdot 2 = 8 \\
 \text{ถ้า } N_p = 5 \\
 N_r = 40/5 = 8 \\
 N_s = 5x_s = 10
 \end{array}$$

2.3.3 สเตปป์มอเตอร์แบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้และมีหลายสแตค

(VR : Variable – Reluctance Multi – Stack)

สเตปป์มอเตอร์แบบรีลัคแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีหลายสแตคหรือมากกว่าหนึ่งสแตคขึ้นไป สแตคในที่นี้ หมายถึง เฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟัน และ โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สแตค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังในรูปที่ 2.7



ในรูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์ แบบ VR ที่มี 3 เฟส

โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส (สแตค) จะมี 12 ซี่ฟันและมุมสเตป (θ_s) = 10 องศา แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับ ต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ 1/3 ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10 องศา)

สเตปป์มอเตอร์ในรูปที่ 2.7 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ ของแต่ละสแตคประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลจะมีซี่ฟัน 3 ซี่ ซึ่งต่างจาก VR สเตปป์มอเตอร์แบบสแตคเดียว (แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว) ข้อสังเกตในแต่ละสแตค จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากันซึ่งต่างกับ VR สเตปป์มอเตอร์แบบสแตคเดียว คือ จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันมันจะไม่ทำงาน

การทำงานของ VR สเตปปีงมอเตอร์ ที่มี 3 สเตค

ไดอะแกรมส่วนล่างของรูปที่ 2.7 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของ VR สเตปปีงมอเตอร์ ที่มี 3 สเตค แต่ละสเตคจะมี $N_r = N_s$

แต่ละสเตคมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างจากตำแหน่งของสเตเตอร์ถัดไป เท่ากับ 10 องศา ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 3 อัน จะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่แนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ตามปกติเราจะหาค่ามุมสเตป (หรือ Index Angle) ได้จากสมการที่ (2) ในที่นี้เราจะหา θ_1 (Index Angle) ได้จากสมการเดียวกัน คือ

$$\theta_1 = P_r/N_p = \theta_s$$

ในกรณีนี้ $N_r = N_s = 12$ ดังนั้นเราหา $P_r = 360/12 = 30$ องศา และค่า $\theta_1 = 30/3 = 10$ องศา

สเตปปีงมอเตอร์แบบ 3 สเตค ถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลตเดียวกันสเตคทั้ง 3 สเตค จะมีวงจรมแม่เหล็กที่แยกกัน ดังนี้

ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์ - สเตเตอร์ อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา และซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแส (กระแสขดลวดสเตเตอร์) ในสเตคที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสเตคที่ 2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะที่ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสเตคที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสเตคที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเตคที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา

ถ้าับการสวิตซ์กระแสให้แต่ละสเตค แสดงได้ในรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลตของสเตปมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30 องศา) ภายใน 3 สเตป

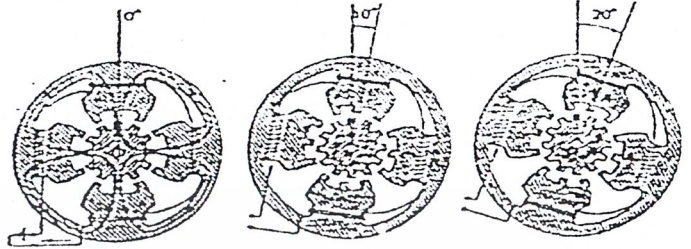
สแต็คที่ 1

สแต็คที่ 2

สแต็คที่ 3

ตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์

- เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน



สเตปที่ 1 :

- เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 10°



สเตปที่ 2 :

- เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 20°



สเตปที่ 3 :

- เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 30°
หรือเท่ากับหนึ่งช่องของ
ระยะห่างระหว่างซี่ฟันของ
โรเตอร์



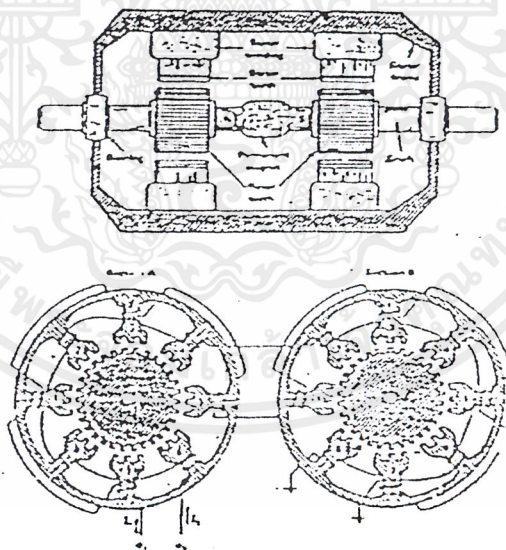
รูปที่ 2.8 แสดงลำดับการสเตปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟส;

$N_r = N_s = 12$ $P_r = 30$ องศา และ $\theta_s = 10$ องศา ชีฟฟันของโรเตอร์สี่ค่าจะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10 องศา ในแต่ละสเตปรวมทั้งหมด 30 องศา เมื่อสเตปไปครบ 3 สเตป สำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับการป้อนเฟส 1-2-3-1 เมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสก็ต้องกลับเป็น 1-3-2-1

ตามปกติเฟลาของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่อง ของระยะห่างระหว่างชีฟฟันของโรเตอร์ (Rotor Tooth Pitch) ด้วยการสเตปไป N_p เมื่อ N_p คือ จำนวนสเตคที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส)

2.3.4 สเตปปี้งมอเตอร์แบบไฮบริด (HSM : Hybrid Stepping Motors)

ไฮบริดสเตปปี้งมอเตอร์ มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR สเตปปี้งมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นโครงสร้างของ HSM ซึ่งประกอบด้วย 2 ตอน กับแกนแม่เหล็ก อยู่ระหว่าง 2 ตอน แต่ละตอนประกอบด้วยชีฟฟันของโรเตอร์ และ โพลของสเตเตอร์ที่มีชีฟฟันเช่นกัน และพันด้วยขดลวดรายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์โรเตอร์ของแต่ละตอน แสดงในตอนล่างของรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไฮบริดสเตปปี้งมอเตอร์ : $N_r = 30$, $N_s = 24$ ชีฟฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะอยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนชีฟฟันของ โรเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีตำแหน่งค่ากัน $1/2 P_r (= 60$ องศา): $\theta_s = 3$ องศา

ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดสเตรปปีงมอเตอร์

- จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน
- ตอน A และ ตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน
- ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะมีตำแหน่งซี่ฟันที่แตกต่างกัน $1/2 Pr$ (ในรูปที่ 2.9 กำหนดให้ $Pr = 360/230 = 12$ องศา ดังนั้นตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะแตกต่างกัน 6 องศา)
- สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพล แบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์ เฟส
- เฟสที่ 1 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์ โพล หมายเลข 1,3,5,7 ของทั้ง ตอน A และ ตอน B เฟสที่ 2 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์ โพล หมายเลข 2,4,6,8 ของทั้งตอน A และ ตอน B แกนแม่เหล็กถาวรจะเหนี่ยวนำโรเตอร์ในตอน A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือ และโรเตอร์ ในตอน B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการแบ่ง ส่วนของขดลวดเฟสใน 2 ตอน ทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อน และได้เส้นทางเดิน ของเส้นแรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็น วงกลม ทิศทางเดินของสนามแม่เหล็ก ของสเตเตอร์โพล จะขึ้นอยู่กับทิศทาง การไหลของกระแส ดังแสดงด้วยลูกศร ในรูปที่ 2.9

การทำงานของไฮบริดสเตรปปีงมอเตอร์

ขณะที่เฟสที่ 1 (ϕ_1) ได้รับพลังงานโดยการป้อนกระแส I1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศรซี่ฟันของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และโพลที่ 5 ส่วนในตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันของโพลที่ 3 และ โพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรแม่เหล็กของ HSM

แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B โพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ (S) ของแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เพลลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I_1 ป้อนกระแส I_2 ให้กับเฟสที่ 2 (ϕ_2)

ในรูปที่ 2.9 ซีพินของโรเตอร์ที่เป็นสรีด้าใช้สำหรับอ้างอิง ซีพินสรีด้าจะอยู่ใกล้แนวซีพินของสเตเตอร์โพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอน A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ซีพินของโรเตอร์ที่เป็นสรีด้าอยู่ห่างจากแนวซีพินของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี)

เราจะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือ จะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์ด้วย I_2 ในกรณีนี้ I_2 จะต้องเป็นลบ)

ในรูปที่ 2.11 แสดงถึงลำดับการสวิทช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง CW 4 สเตป ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์ และทิศทางการเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละตอนด้วย การกำหนดทิศทางกระแสไหลของกระแสเฟส สำหรับการหมุนในทิศทาง CW (คือแสดงในรูป) เราจะต้องกำหนดลำดับของกระแสเฟสดังนี้ $1^+, 2^-, 1^+, 2^+$ และ 1^+ ตามลำดับ ถ้าต้องการหมุนในทิศทาง CCW ลำดับเหล่านั้นก็กลับไปเป็น $1^-, 2^+, 1^-, 2^-$ และ 1^-

เพลลาของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างซีพินภายใน 4 สเตป ดังนั้นมุมสเตปจะต้องเท่ากับ $1/4 Pr$ หรือมีค่าเท่ากับ $(Ps - Pr)$ ดังนั้น











$$\theta_s = Pr/4 = 360/4Nr = 90/Nr$$

$$\theta_s = (Ps - Pr)$$

ในรูปที่ 3.12 $Nr = 30$ และ $Ns = 24$

$$\text{ดังนั้น } \theta_s = 90/30 = 3 \text{ องศา}$$

$$= 360/30 = 3 \text{ องศา}$$

สเตป	$\phi 1$	$\phi 2$	เส้นแรง ออกจาก ตอน A	เส้นแรง ออกจาก ตอน B	ตอน A	ตอน B
1	+	-	1,5	3,7		
2			4,8	2,6		
3			3,7	1,5		
4		+	2,6	4,8		
1	+	-	1,5	3,7		

รูปที่ 2.11 ลำดับ 4 สเตป ของ HSM แบบ 2 เฟส

ในแต่ละสเตปแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $N_r = 30$, $N_s = 24$ $\theta_s = 3$ องศา ซึ่งฟันของโรเตอร์ที่เป็นสี่ค้ำจะหมุนในทิศทาง CW ไป 3 องศาในแต่ละสเตปได้เป็น 12 องศา เมื่อครบตามจำนวนลำดับ (หนึ่งช่วงห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการขับเป็น $1^+, 2^-, 1^+, 2^+$

ไฮบริดสเตปปีงมอเตอร์ (HSM) จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหลได้สองทิศทางนั้น เราจำเป็นต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว (Bipolar Drive)

การแก้ปัญหาเพื่อจะขับไฮบริดสเตปปีงมอเตอร์ ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียว (Unipolar Drive) ได้โดยการตัดแปลงโครงสร้างการพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์

นอกจากชนิดของสเตปปีงมอเตอร์ดังกล่าวมาแล้ว ในปัจจุบันได้มีการออกแบบสเตปปีงมอเตอร์สำหรับการใช้ในงานเฉพาะอีกหลายรูปแบบ เช่น Linear Stepping Motor, Single – Phase สเตปปีงมอเตอร์ เป็นต้น ซึ่งสเตปปีงมอเตอร์แบบนี้มักไม่ค่อยพบเห็นเท่าใดนัก

2.4 การกระตุ้นเสตปป์มอเตอร์

1) กระตุ้นแบบเฟสเดียว (One Phase Excitation)

Clock State	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█				█				█
Phase 2		█				█			
Phase 3			█				█		
Phase 4				█				█	

แบบนี้จะมีแรงบิดน้อยที่สุดทั้งในขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่อยู่ มี Over Shoot สูง เข้าตำแหน่งแต่ละสเตปช้าแต่เมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady State แล้วจะไม่มีอาการสั่น

2) กระตุ้น 2 เฟส (Two Phase Excitation)

Clock State	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█			█	█			█
Phase 2		█	█			█	█		
Phase 3			█	█			█	█	
Phase 4	█			█	█			█	█

การกระตุ้นแบบนี้มีแรงบิดขณะเริ่มคืบสูง มี Over Shoot ต่ำ และมีอาการสั่นเล็กน้อยในสภาวะ Steady State

3) กระตุ้นครึ่งเสตป

Clock State (A)	R	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Clock State (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Phase 1											
Phase 2											
Phase 3											

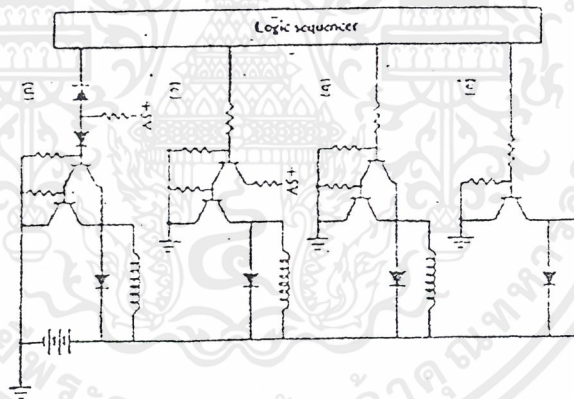
เป็นการรวมข้อดีของ 2 แบบข้างต้นไว้ โดยขณะเริ่มต้นจะกระตุ้นแบบ 2 เฟส ทำให้แรงบิดเริ่มต้นสูงที่สุดและเมื่อเข้าสู่สถานะ Steady State จะกระตุ้นเพียงเฟสเดียว ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการออสซิลเลท

2.5 วงจรกำลังของสเตรปิ้งมอเตอร์

จากที่ได้กล่าวถึงสัญญาณซึ่งอยู่ในส่วนของสัญญาณเรียงลำดับเฟส ซึ่งมีการออกแบบเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุต 2 รูปแบบ เพื่อใช้ในการควบคุมสเตรปิ้งมอเตอร์ สำหรับในส่วนนี้จะกล่าวถึงในส่วนของวงจรกำลัง

2.5.1 การต่อวงจรเรียงลำดับเฟส กับวงจรกำลัง

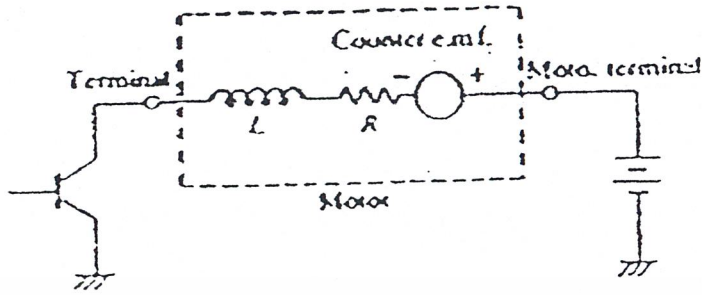
สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจากวงจรเรียงลำดับเฟส จะส่งต่อเข้ามาเป็นอินพุตให้กับวงจรกำลัง โดยจะควบคุมการไหลของกระแสที่ขดลวด ในส่วนของ วงจรกำลังอาจจะเรียกว่า Motor Driver หรือเรียกง่าย ๆ คือ Driver สำหรับวิธีการง่าย ๆ ซึ่งจะต่อวงจร 2 ส่วนเข้าด้วยกันได้แสดงดังรูปที่ 2.12 (a) และ (b) แต่ถ้ากระแสของวงจรเรียงลำดับเฟสมีไม่เพียงพอที่จะขับทรานซิสเตอร์กำลัง จึงจำเป็นต้องเพิ่มบัฟเฟอร์ (Buffer) เพื่อจะขยายกระแสให้เพียงพอซึ่งแสดงในรูปที่ 2.12 (c) และ (d)



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของการเชื่อมต่อระหว่างวงจรเรียงลำดับเฟสกับวงจรกำลัง

2.5.2 ปัญหาของวงจรขับกระแส

เนื่องจากสเตรปิ้งมอเตอร์ มีขดลวดเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก จึงปรากฏค่าของอินดักแตนซ์ (Inductance) และ รีซิสแตนซ์ (Resistance) ต่ออนุกรมกันอยู่ในขณะที่สเตรปิ้งมอเตอร์หมุน จะทำให้เกิดค่าของแรงดัน Counter e.m.f ซึ่งจะเกิดจากขดลวดออกมาสำหรับวงจรเทียบเคียงของขดลวดแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเทียบเคียงขดลวดของสเตปป์มอเตอร์

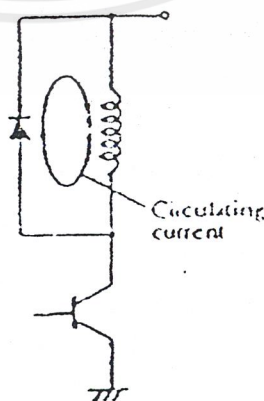
ในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนจะคำนึงถึงค่าแรงดัน V_{ce} ของทรานซิสเตอร์ให้สัมพันธ์กับแรงดันจากขั้วปลาย ตลอดจนค่าของกระแส I_c สูงสุดด้วย

2.5.3 Suppressors

จากรูปที่ 2.13 เมื่อทรานซิสเตอร์ถูกทำให้ Turned Off จะทำให้เกิดค่าแรงดันสูงซึ่งเกิดจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กตามสมการ $L di/dt$ ซึ่งแรงดันนี้จะสามารถทำลายทรานซิสเตอร์ให้เสียหายได้ ซึ่งมีวิธีแก้ไขโดยวิธี Suppressing โดยจะจำกัดค่าแรงดัน Spike นี้ เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์

(1) Diode Suppressor

ถ้านำไปโอดมาต่อขนานเข้ากับขดลวดโดยที่มีขั้วปรากฏตามรูปที่ 2.14 จะทำให้กระแสไหลวนอยู่เป็นวงกลมรอบขดลวดและไดโอด หลังจากที่ทรานซิสเตอร์ Turned Off กระแสนี้จะลดค่าลงตามเวลา แรงดันที่ขา Collector จะมีค่าเท่ากับขั้วปลายวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายซึ่งจะทำให้กระแสไหลวนหมดต้องใช้เวลาสั้น ผลเสียอีกข้อหนึ่งก็คือจะเป็นการสร้าง Breaking Torque ขึ้นด้วย



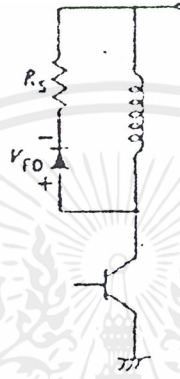
รูปที่ 2.14 Diode Suppressor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Diode/Resistor Suppressor

การต่อความต้านทานอนุกรมกับไดโอดดังในรูปที่ 2.15 ซึ่งจะเป็นการหน่วงเวลาของ กระแสไหลวนและแรงดันที่ปรากฏที่ขา Collector ของทรานซิสเตอร์เมื่อ Turned Off คือ

$$V_{ce} = E - I_{rs} + V_{DF}$$



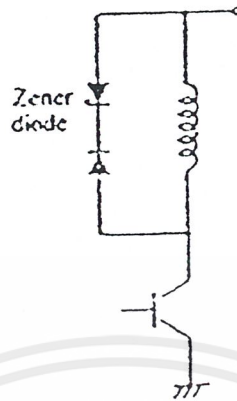
รูปที่ 2.15 Diode/Resistor Suppressor

เมื่อ	E	=	Supply Potential
	I	=	Current Just Before Turning Off
	R _s	=	Resistance Of Suppressor Resistor
	V _{DF}	=	Forward Potential Of Diode

ค่าของความต้านทาน R_s ยิ่งสูงจะทำให้กระแสไหลวนลดค่าลงเร็วขึ้น

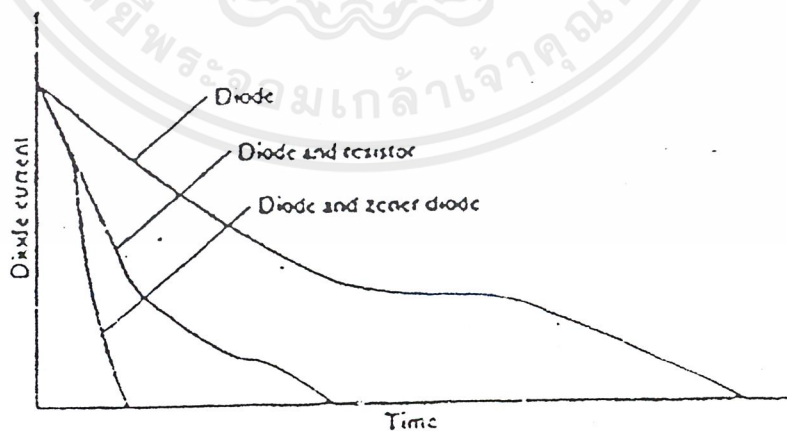
(3) Sener Diode Suppressor

บ่อยครั้งที่จะพบว่ามีการต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกันกับไดโอดในรูปที่ 2.16 ถ้าเปรียบเทียบกับใน 2 กรณีแรก กระแสไหลวนจะลดค่าได้เร็วกว่าหลังจากทรานซิสเตอร์ Turned Off



รูปที่ 2.16 Ziner Diode Suppressor

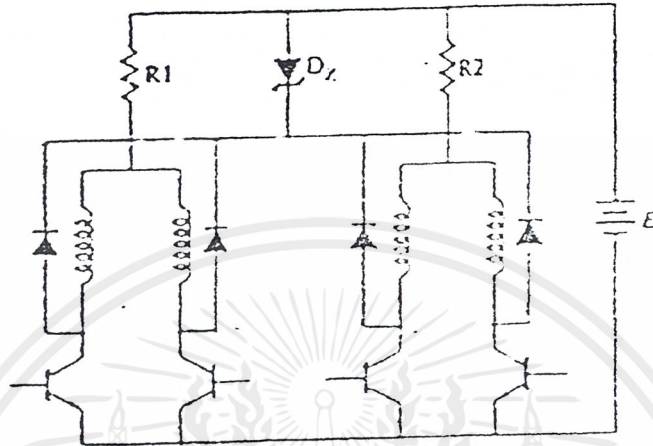
ด้วยวิธีนี้จะพบว่าข้อดีคือ แรงดันที่ขา Collector จะมีค่าเป็นบวกและค่าเท่ากับแรงดัน Zener โดยไม่ขึ้นอยู่กับกระแส จะทำให้หาค่าแรงดัน V_{ce} สูงสุดได้ง่าย



รูปที่ 2.17 เปรียบเทียบการ Suppressor ด้วยวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.18 แสดงวงจรขับเคลื่อนกระแสที่มีซีเนอร์ไดโอดต่ออยู่ ซึ่งจะทำการกับสเตรปปีงมอเตอร์แบบ 4 เฟส ค่าของ R_1 และ R_2 สำหรับสร้างกระแสกระตุ้นให้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของวงจรขับเคลื่อนกระแสที่มีซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ลักษณะของวงจรกำลัง

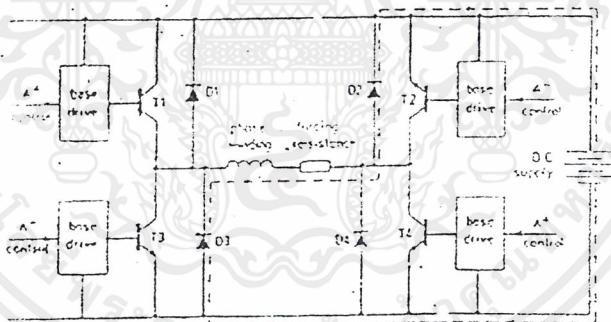
ถึงแม้ว่าสเตปป์มอเตอร์ ที่ใช้งานกันอยู่แพร่หลายในขณะนี้จะสามารถควบคุมตำแหน่งและทิศทางในการหมุนได้ตามต้องการก็ตาม แต่ปัญหาในการขับก็มีเช่นกัน

ในปัจจุบันสิ่งที่จะนำมาใช้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อสะดวกในการใช้งานและลดปัญหาหลงซึ่งจากเดิมใช้ประเภททรานซิสเตอร์กำลัง ได้ถูกพัฒนามาเป็น IC เพียงตัวเดียวเพื่อรองรับสัญญาณนาฬิกาที่ถูกพัฒนามาใช้ I/O พอร์ต ของไมโครโพรเซสเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามในบางครั้งวงจรกำลังต้องจ่ายกระแสสูง IC ไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นในบางครั้งจึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์เช่นเดิม

2.6.1 วงจรขับแบบขั้วเดียว (Unipolar Drive Circuit) เป็นลักษณะแยกวงจรขับในแต่ละเฟส คือ 1 เฟส ต่อวงจรขับ 1 ชุด

2.6.2 วงจรขับแบบสองขั้ว (Bipolar Drive Circuit)

การต่อในลักษณะนี้ทำให้ควบคุมทิศทางการหมุนได้ง่าย กล่าวคือใน 1 เฟส จะใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว ดังนั้นการส่งสัญญาณขับจำเป็นต้องส่งสัญญาณคู่ ให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองดังรูปที่ 2.19

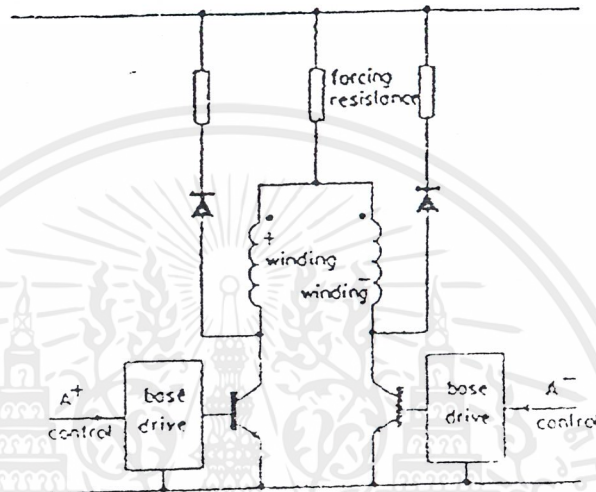


รูปที่ 2.19 วงจรขับแบบสองขั้ว

การหมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 2 ตัวทำให้สามารถใช้กับสเตปป์มอเตอร์ ที่ใช้แรงดันสูงมากกว่าแบบขั้วเดียว เนื่องจากแรงดันขณะหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์แต่ละเฟสนั้นถูกจำกัดด้วยค่า V_{ce} เมื่อใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ก็จะทำให้สามารถใช้แรงดันได้สูงขึ้นเป็น 2 เท่า จึงจะเหมาะกับสเตปป์มอเตอร์ ที่มีแรงดันสูง

2.6.3 การขับแบบขั้วเดียวกับสเตปป์มอเตอร์ชนิด Bifilar Windings

การต่อวงจรมีลักษณะเหมือนกับการขับแบบครึ่งละขั้ว กล่าวคือในแต่ละเฟสใช้ทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว แต่มีมาเพื่อใช้กับสเตปป์มอเตอร์ เฉพาะแบบเนื่องจากโครงสร้างภายในถูกต่อมาในลักษณะ 2 เฟส ต่ออนุกรมกันภายใน ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 วงจรขับสเตปป์มอเตอร์ แบบ Bifilar Windings

จากวงจรทำให้ใช้กับไฮบริดสเตปป์มอเตอร์ ได้โดยใช้วงจรการต่อแบบ Unipolar ซึ่งสามารถกลับทิศทางการหมุนได้โดยเพียงเปลี่ยนสัญญาณควบคุม A^+ กับ A^- สลับที่กันก็ได้เนื่องจาก $W1$ และ $W2$ พันในทิศทางกลับกันนั่นเอง

บทที่ 3

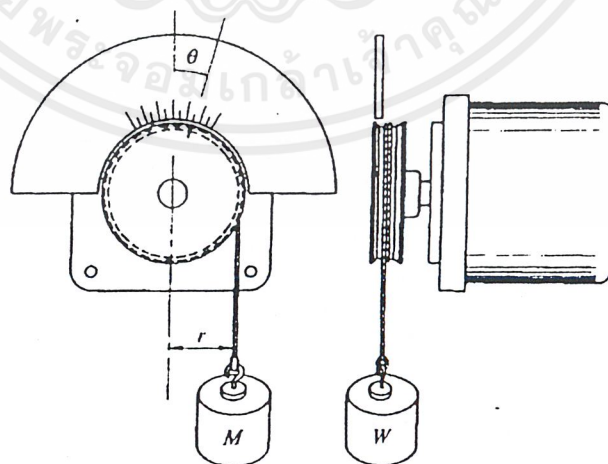
การทดสอบและการวัดคุณลักษณะของแรงบิด

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวัดคุณลักษณะของแรงบิดของสเตปป์มอเตอร์ ลักษณะของกราฟแรงบิดของสเตปป์มอเตอร์ สมการการเคลื่อนที่และอัตราเร่ง ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการทดลองคุณลักษณะของแรงบิดมาคำนวณหาจำนวนพัลส์และความกว้างของจำนวนพัลส์ที่เหมาะสมในการเร่งความเร็วและลดความเร็ว เพื่อให้สเตปป์มอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและไม่เสีย สเตป

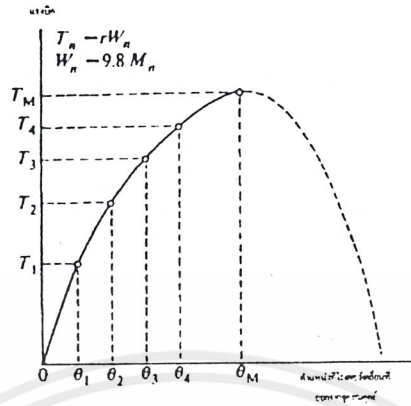
3.1 การวัดคุณลักษณะทางสถิตย์

3.1.1 คุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป

คุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตปจะทำโดยการจ่ายกระแสให้กับสเตปป์มอเตอร์ เพียงเฟสใดเฟสหนึ่งค้างไว้ โดยที่โรเตอร์ต้องไม่มีโหลดและต้องอยู่ในตำแหน่งที่สมดุล ซึ่งการวัดคุณลักษณะชนิดนี้จะเป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่เพลลาและ ตำแหน่งเพลลาของโรเตอร์ที่เคลื่อนที่ไปจากจุดสมดุล จากรูป 3.1 แรงบิดที่เพลลาเกิดจากน้ำหนักของฟู่เล็ก เชือกและลูกน้ำหนักเมื่อไร้โหลด โรเตอร์จะอยู่ที่จุดสมดุล เมื่อต่อโหลดและค่อยๆ เพิ่มน้ำหนักทีละน้อย ตำแหน่งเพลลาของ โรเตอร์จะค่อย ๆ เคลื่อนที่ห่างจากจุดสมดุล จากรูป 3.2 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับตำแหน่งที่เพลลาของโรเตอร์ที่เคลื่อนที่ห่างจากจุดสมดุล ซึ่งเส้นประนั้นไม่สามารถวัดตำแหน่งที่เพลลาของโรเตอร์ที่เคลื่อนที่ห่างจากจุดสมดุลได้ เนื่องจากแรงบิดที่เกิดจากผลของอำนาจแม่เหล็กถาวรใน โรเตอร์ไม่สามารถหาชนิดแรงบิดภายนอกจากผลของลูกน้ำหนักได้



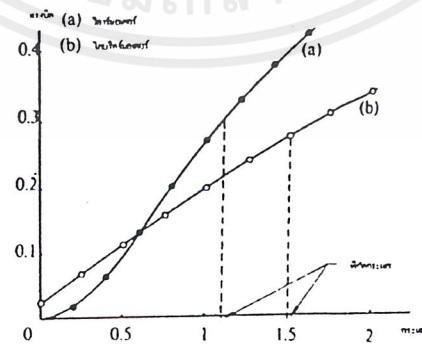
รูปที่ 3.1 แสดงวิธีทดลองการวัดคุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟคุณลักษณะของแรงบิดกับมุมสเตป

3.1.2 คุณลักษณะของแรงบิดกับกระแส

โดยทั่วไปแล้วค่าแรงบิดสถิตย์สูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามกระแส กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดสถิตย์กับกระแส เรียกว่าคุณลักษณะของแรงบิดกับกระแส จากรูป 3.3 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์สเตปและไฮบริคส์สเตปซึ่งสเตปสเตปทั้งสองมีมุมสเตปเป็น 1.8 องศาต่อสเตปพบว่าในไฮบริคส์สเตปสเตปซึ่งมีแรงบิดเกิดขึ้นถึงแม้ว่าจะยังไม่ได้กระแส เนื่องจากผลของแม่เหล็กถาวรในโรเตอร์ และในย่านกระแสสูง ๆ การเพิ่มของแรงบิดจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยเนื่องจากผลของค่าความอิ่มตัวในแกนเหล็ก



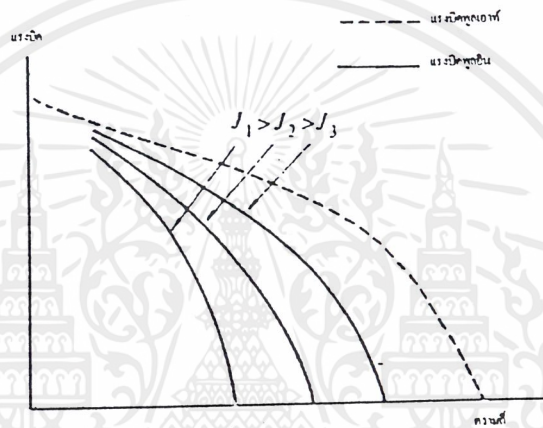
รูปที่ 3.3 แสดงคุณลักษณะของแรงบิดกับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

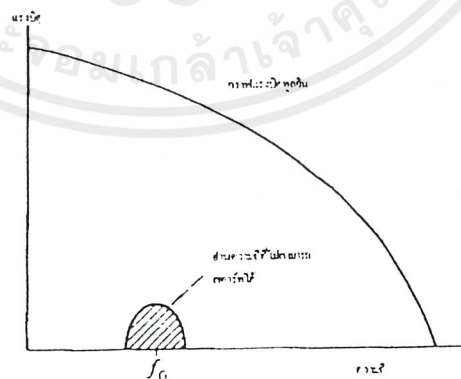
3.2 การวัดคุณลักษณะทางไดนามิก

3.2.1 คุณลักษณะของแรงบิดพลูอิน

คุณลักษณะของแรงบิดพลูอินหรือคุณลักษณะการสสารท์เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเนื่องจากผลของโหลดกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยที่สเตปป์มอเตอร์สามารถสสารท์และสตอปได้โดยไม่เสียสเตป พบว่าเมื่อโมเมนต์ความเฉื่อยเพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่ในการสสารท์สเตปป์มอเตอร์ลดลงดังรูป 3.4 และจากรูป 3.5 พบว่าจะมีความถี่อยู่ช่วงหนึ่งที่ทำให้สเตปป์มอเตอร์ไม่สามารถสสารท์ได้เนื่องจากผลของการออสซิลเลท



รูปที่ 3.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ความเฉื่อยกับความถี่ในการสสารท์



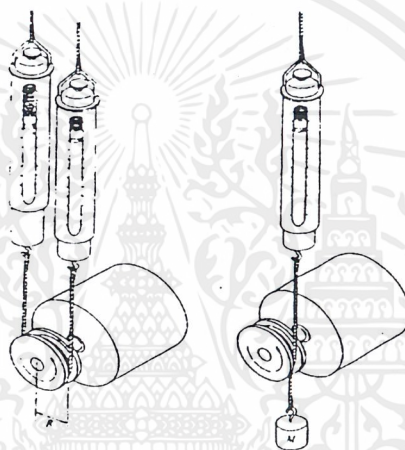
รูปที่ 3.5 แสดงย่านความถี่ที่สเตปป์มอเตอร์ไม่สามารถสสารท์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 คุณลักษณะของแรงบิดพลูเอาท

การวัดแรงบิดพลูเอาททำโดยเริ่มสตาร์ทสเตปป์มอเตอร์ที่ย่านความถี่พลูอินแล้วค่อยๆ เพิ่มความถี่อย่างช้า ๆ จนกระทั่งสเตปป์มอเตอร์เสียสเตป ที่ความถี่สุดท้ายก่อนที่สเตปป์มอเตอร์เสียสเตปคือความถี่ในการหมุน จากนั้นทำการต่อโหลดแล้วเริ่มสตาร์ทที่ความถี่พลูอินแล้วค่อย ๆ เพิ่มความถี่อย่างช้า ๆ จนกระทั่งสเตปป์มอเตอร์เสียสเตป ที่ความถี่สุดท้ายที่สเตปป์มอเตอร์เสียสเตปคือความถี่ในการหมุนและแรงบิดที่เกิดจากผลของโหลดคือแรงบิดพลูเอาท

วิธีการวัดแรงบิดพลูเอาทมีหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เชือกและฟู่เลย์โดยใช้วิธีหนึ่งสเกลและสองสเกลดังรูปที่ 3.6 และแรงบิดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการวัดแรงบิดพลูเอาทแบบหนึ่งสเกลและสองสเกล

วิธีสองสเกล

$$T_L = R(q_1 - q_2) \quad (3.1)$$

R คือรัศมีของฟู่เลย์ (เมตร)

q_1 คือค่าที่อ่านจากสเกลหนึ่ง (นิวตัน)

q_2 คือค่าที่อ่านได้จากสเกลสอง (นิวตัน)

วิธีหนึ่งสเกล

$$T_L = R(9.8M - q) \quad (3.2)$$

M คือมวลของลูกน้ำหนัก (กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สมการการเคลื่อนที่และอัตราเร่ง

เมื่อป้อนพัลส์ให้กับสเตปป์มอเตอร์และสเตปป์มอเตอร์สามารถหมุนได้โดยไม่เสีย สเตปป์ จะได้สมการการเคลื่อนที่เช่นดังนี้

$$T_M = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_f \quad (3.3)$$

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์กับโหลด

ω คือ ความเร็วเชิงมุม

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

T_f คือ แรงบิดเนื่องจากผลของโหลด

T_M คือ แรงบิดของมอเตอร์

แต่เพื่อความสะดวกจะจัดเทอมให้อยู่ในรูปของความถี่จะได้สมการดังนี้

$$T_M = \theta_s J \frac{df}{dt} + \theta_s Df + T_f \quad (3.4)$$

θ_s คือ มุมสเตปป์

f คือ ความถี่

3.3.1 อัตราเร่ง (Acceleration)

ในการทำการเร่งความเร็วให้สเตปป์มอเตอร์โดยก่อนที่จะทำการเร่งอัตราเร่งมอเตอร์จะต้องหมุนโดยไม่สูญเสียสเตปป์ ในการพิจารณาถึงการเร่งอัตราเร่งมี 2 ชนิดคือ

อัตราเร่งแบบเชิงเส้น (Linear Acceleration) อัตราเร่งแบบนี้จะไม่พิจารณาเทอมของค่าคงที่ของแรงเสียดทานจากสมการ (3.3) จะได้ความสัมพันธ์ของสมการแรงบิดเป็น

$$T_M - T_f = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.5)$$

ถ้าแรงบิดของมอเตอร์เป็นค่าคงที่ความเร็วอยู่ในย่านที่พิจารณาทำการอินทิเกรตสมการ (3.3) จะได้

$$\omega = \left\{ (T_M - T_f) / J \right\} t + \omega_s \quad (3.6)$$

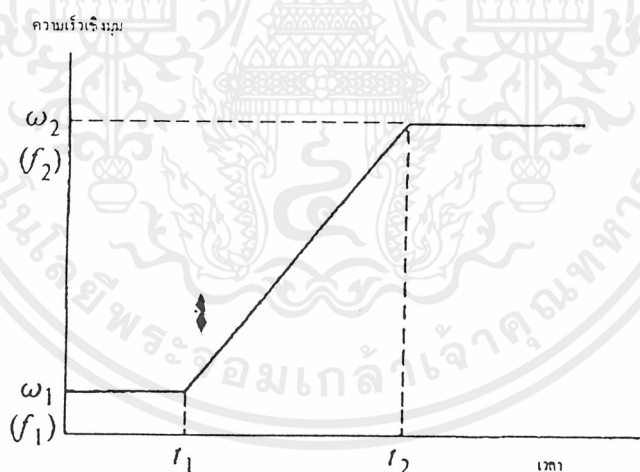
หรือจะได้อัตราเร่งเป็น

$$f = \frac{T_M - T_f}{\theta_s J} t + f_t \quad (3.7)$$

เมื่อ ω_1 คือมุมความเร็วก่อนที่จะทำการเร่งอัตราเร่ง

f_t คือความถี่ก่อนที่จะทำการเร่งอัตราเร่ง

หากสเตปป์มอเตอร์สามารถเร่งอัตราเร่งเป็นอัตราเร่งที่คงที่ จะเรียกอัตราเร่งแบบนี้ว่า อัตราเร่งแบบเชิงเส้น



รูปที่ 3.7 แสดงอัตราเร่งแบบเชิงเส้นจาก ω_1 ถึง ω_2

อัตราเร่งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Acceleration) อัตราเร่งแบบนี้จะพิจารณาผลของค่าคงที่ของแรงเสียดทานซึ่งจะได้สมการของแรงบิดเป็น

$$\theta_s J \frac{df}{dt} + \theta_s Df - (T_M - T_f) = 0 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าแรงบิดของสเตปป์มอเตอร์ไม่ใช้ฟังก์ชันของอัตราการสเตปป์จะได้แรงบิดเป็น

$$f = \frac{T_M - T_f}{\theta_s} - \left(\frac{T_M - T_f}{\theta_s s} - f_i \right) e^{-(D/J)t} \quad (3.9)$$

เมื่อ f_i คือ ความถี่ก่อนเร่งอัตราเร่ง

3.3.1 การลดอัตราเร่ง (Deceleration)

ขณะที่สเตปป์มอเตอร์กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ทันใดนั้นหยุดจ่ายไฟให้กับสเตปป์มอเตอร์ ทำให้สเตปป์มอเตอร์อาจจะหยุดหมุนทันทีหรืออาจจะยังคงหมุนต่อสักหน่อยแล้วจึงหยุดการที่สเตปป์มอเตอร์ยังคงหมุนต่อไปก็เนื่องจากผลของโมเมนต์ความเฉื่อย ดังนั้นหากต้องการให้สเตปป์มอเตอร์สามารถหมุนและหยุดหมุนได้ตามตำแหน่งที่ต้องการจำเป็นที่จะต้องลดอัตราเร่งที่เหมาะสมกับ โมเมนต์ความเฉื่อยและผลของแรงบิดเนื่องจากโหลดจะได้สมการของการเคลื่อนที่เป็นดังนี้

$$\theta_s J \frac{df}{dt} + \theta_s Df + (T_f - T_M) = 0 \quad (3.10)$$

เมื่อไม่คิดผลของค่าคงที่ของแรงเสียดทานจะได้ความถี่ในการลดอัตราเร่งแบบเป็นเชิงเส้น

เป็น

$$f_s = \frac{T_f - T_M}{\theta_s J} t \quad (3.11)$$

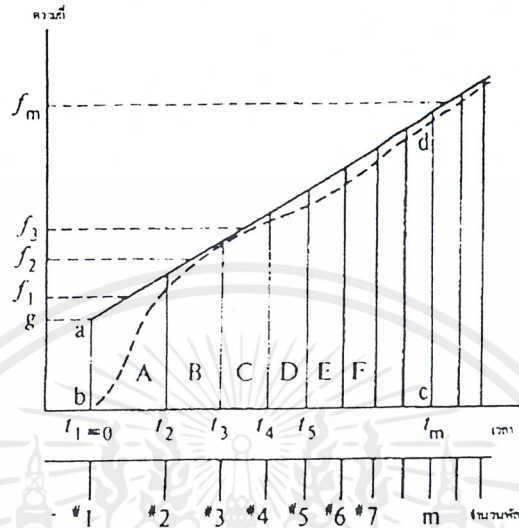
เมื่อ f_s คือความถี่ก่อนที่จะลดอัตราเร่ง

ทฤษฎีในการเร่งอัตราเร่งแบบเชิงเส้น

1. การสตาร์ทสเตปป์มอเตอร์จะต้องสตาร์ทที่ความถี่ย่านแรงบิดพูลอิน
2. สเตปป์มอเตอร์สามารถเร่งอัตราเร่งได้ไม่เกินย่านแรงบิดพูลเอทท์

จากความสัมพันธ์ข้างต้นจะทำให้ได้ความถี่เป็น

$$f = g + Bt \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.8 แสดงพัลส์ไทม์มิงของอัตราเร่งแบบเชิงเส้น

จากรูปที่ 3.8 เส้นทึบแสดงถึงความถี่ที่สั่งให้สเตปป์มอเตอร์หมุนส่วนเส้นประแสดงถึงความเร็วสเตปป์มอเตอร์สามารถหมุนได้จริงและจะได้พัลส์ไทม์มิงเป็นดังนี้

$$t_1 \equiv 0, t_2, t_3, \dots, t_m, \dots \quad (3.13)$$

สำหรับแต่ละคาบเวลาของแต่ละพัลส์คือพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งสี่เหลี่ยมคางหมูแต่ละรูปคือการเคลื่อนที่แต่ละสเตปป์ของสเตปป์มอเตอร์

$$\Delta t_m = t_{m+1} - t_m \quad (3.14)$$

จะได้ความถี่ของพัลส์หรืออัตราการสเตปป์เป็นดังนี้

$$f_m = 1/\Delta t_m \quad (3.15)$$

ค่านี้เหมือนกับค่าจากสมการ (3.12) โดยให้ $t = \Delta t_1/2$ ซึ่ง Δt_1 คือความแตกต่างของพัลส์แรก เป็น $1/f_1$ จากสมการ (3.12) จะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_i = g + B \frac{\Delta t_i}{2} = g + B \frac{1}{2f_i} \quad (3.16)$$

$$g = f_i - \frac{B}{2f_i} \quad (3.17)$$

พื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูคั่งในรูป 3.8 คือพัลส์โทมมิ่งซึ่งจะได้โทมมิ่งเป็นดังนี้

$$t_m = \frac{(\sqrt{g^2 + 2(m-1)B}) - g}{B} \quad (3.18)$$

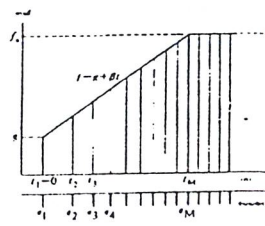
และช่วงเวลาของแต่ละพัลส์เป็นดังนี้

$$\Delta t_m = t_{m+1} + t_m = \frac{2}{\sqrt{g^2 + 2mB} + \sqrt{g^2 + 2(m-1)B}} \quad (3.19)$$

และได้ความถี่ของการเคลื่อนที่แต่ละสเตปเป็นดังนี้

$$f_m = \frac{(\sqrt{g^2 + 2mB}) + \sqrt{g^2 + 2(m-1)B})}{2} \quad (3.20)$$

3.3.3 การคำนวณจำนวนพัลส์ไปจนถึงอัตราการหมุนที่คงที่



รูปที่ 3.9 แสดงการเร่งอัตราเร่งไปจนถึงอัตราการหมุนที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 แสดงถึงความเร็วของคำสั่งและพัลส์ไทม์มิ่ง ซึ่งจะต้องพิจารณาตามเงื่อนไข
 ดังนี้ความถี่ของการเริ่มสตาร์ทเป็น f_i และเพิ่มความถี่ไปจนถึงอัตราการหมุนที่คงที่เป็น f_s
 สำหรับการลดอัตราเร่งแบบเชิงเส้นก็จะพิจารณาเหมือนกับการเร่งอัตราเร่งแบบเชิงเส้น

$$f_s = g + Bt_M = \sqrt{g^2 + 2(M-1)B} \quad (3.21)$$

จะได้อัตราเร่งเป็นดังนี้

$$B = \frac{f_s^2 - g^2}{2(M-1)} = \frac{2(f_s^2 - f_i^2)}{\sqrt{(2M-3)^2 + \left(\frac{f_s}{f_i}\right)^2 - 1} + (2M-3)} \quad (3.22)$$

ดังนั้นจะได้พัลส์ไทม์มิ่ง, ช่วงเวลาที่ห่างกันของแต่ละพัลส์และความถี่เป็นดังนี้

$$t_m = \frac{2(m-1)}{\sqrt{f_s^2 - 2(M-m-1)B} + \sqrt{f_s^2 - 2(M-1)B}} \quad (3.23)$$

$$\Delta t_m = \frac{2}{\sqrt{f_s^2 - 2(M-m-1)B} + \sqrt{f_s^2 - 2(M-m)B}} \quad (3.24)$$

$$f_m = \frac{1}{\Delta t_m} \quad (3.25)$$

3.3.4 การลดอัตราเร่งแบบเชิงเส้น

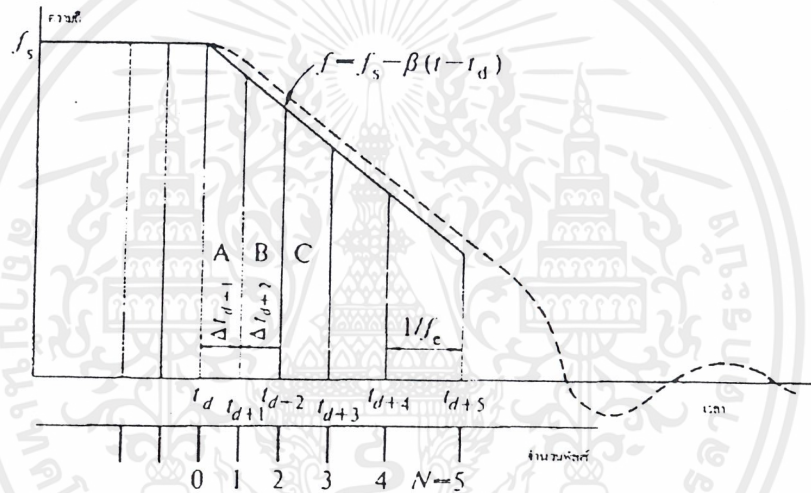
ปกติแล้วจำนวนพัลส์สำหรับการลดอัตราเร่งจะมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนพัลส์ตอนเร่งอัตรา
 เร่ง สำหรับการคำนวณจำนวนพัลส์ที่ใช้สำหรับการลดอัตราเร่งแบบเชิงเส้น โดยใช้ผลของสมการ
 (3.26) ซึ่งรูปของการลดอัตราเร่งแบบเชิงเส้นดังรูป 3.10

สมการที่ใช้ลดอัตราเร่งเป็นดังนี้

$$Y = \frac{2(f_s^2 - f_l^2)}{\sqrt{\left[(2N - 1)^2 + \left(\frac{f_s}{f_l}\right)^2 - 1\right] + (2N - 1)}} \quad (3.26)$$

เมื่อ f_l คืออัตราการสลับสุดท้าย

f_s คืออัตราการหมุน



รูปที่ 3.10 แสดงจำนวนพัลส์ในการลดอัตราเร่ง

ซึ่งจะใช้อัตราการลดอัตราเร่ง คำนวณหาช่วงเวลาระหว่างพัลส์และอัตราของพัลส์เป็นดังนี้

$$\Delta t_{d+n} = \frac{2}{\left\{ \sqrt{f_s^2 - 2ny} + \sqrt{f_s^2 - 2(n-1)y} \right\}} \quad (3.27)$$

$$f_{d+n} = \frac{1}{\Delta t_{d+n}} \left\{ \sqrt{f_s^2 - 2ny} + \sqrt{f_s^2 - 2(n-1)y} \right\} \quad (3.28)$$

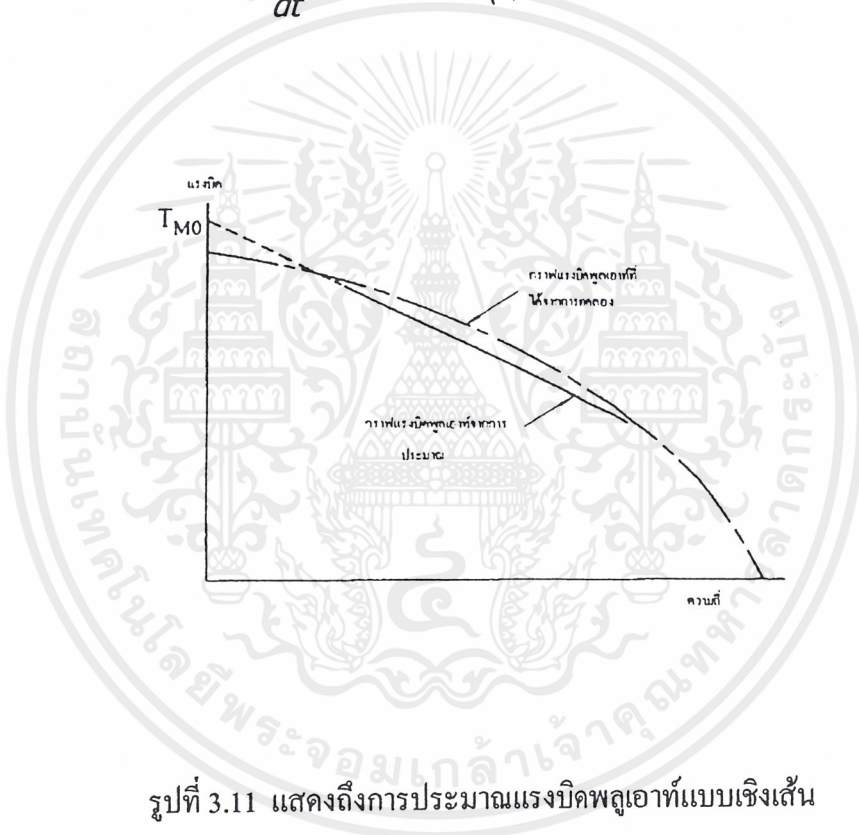
เมื่อ d เป็นจำนวนพัลส์สุดท้ายที่ทำให้สลับไปจนถึงการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเร่งอัตราเร่งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

ปกติแล้วแรงบิดพลูเออาท์จะลดลงเมื่ออัตราเร่งเพิ่มขึ้น ดังนั้นแรงบิดพลูเออาท์จะเป็นตัวจำกัดการเพิ่มอัตราเร่งและอัตราเร่งของโหลดความสัมพันธ์ของสเตปป์มอเตอร์หลังการเริ่มหมุนมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$J\theta_s \frac{df}{dt} + D\theta_s f + T_0 \langle T_{pull-out} \rangle \quad (3.29)$$



รูปที่ 3.11 แสดงถึงการประมาณแรงบิดพลูเออาท์แบบเชิงเส้น

จะได้แรงบิดโดยประมาณเป็นดังนี้

$$T_M = T_{M0} - \alpha f \quad (3.30)$$

และจะได้สมการการเคลื่อนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

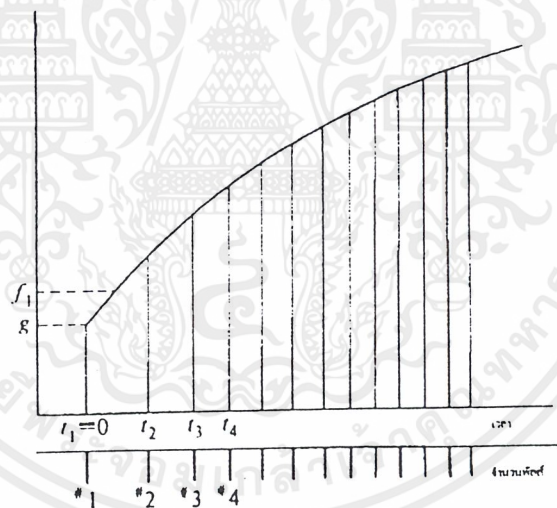
$$J\theta_s \frac{df}{dt} + D\theta_s f + T_0 = T_{M0} - \alpha f \quad (3.31)$$

สามารถเขียนได้ใหม่เป็นดังนี้

$$J\theta_s \frac{df}{dt} + (D\theta_s + \alpha)f - (T_{M0} - T_0) \quad (3.32)$$

ผลคำตอบของสมการนี้จะให้ความถี่เป็นดังนี้

$$f = g + \left(\frac{T_{M0} - T_0}{D\theta_s + \alpha} - g \right) \left\{ 1 - \exp\left(\frac{D\theta_s + \alpha}{J\theta_s} \right) \right\} \quad (3.33)$$



รูปที่ 3.12 แสดงถึงอัตราเร่งของพัลส์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

เวลาของพัลส์คำนวณ โดยใช้สมการดังนี้

$$X(t_m) - m = 0 \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ช่วงเวลาแต่ละพัลส์และความถี่เป็นดังนี้

$$\Delta t_m = t_{m+1} - t_m \quad (3.35)$$

$$f_m = 1/\Delta t_m \quad (3.36)$$

ซึ่งจะได้สมการการเร่งอัตราเร่งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเป็นดังนี้

$$B_{initial} = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{t=0} = \left\{ \left(T_{MO} - T_o / K - g \right) \left(K / J\theta_s \right) \exp \left(K / J\theta_s t \right) \right\} \quad (3.37)$$

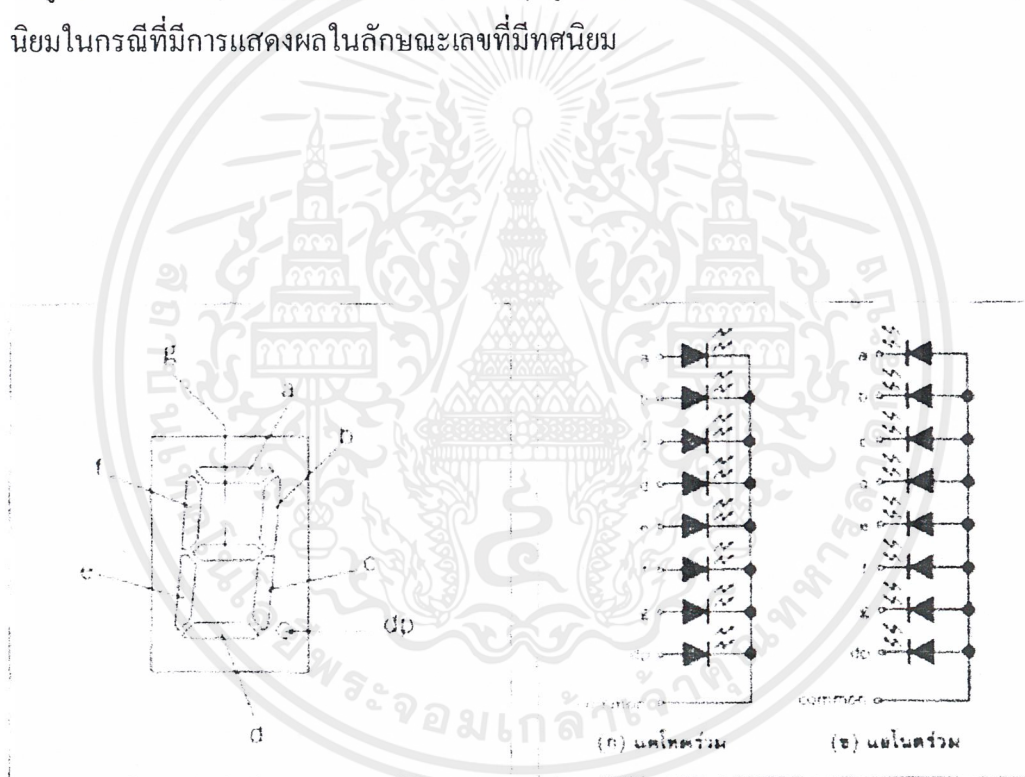


บทที่ 4

การคำนวณและการออกแบบ

4.1 การเชื่อมต่อกับ LED ตัวเลข 7 ส่วน

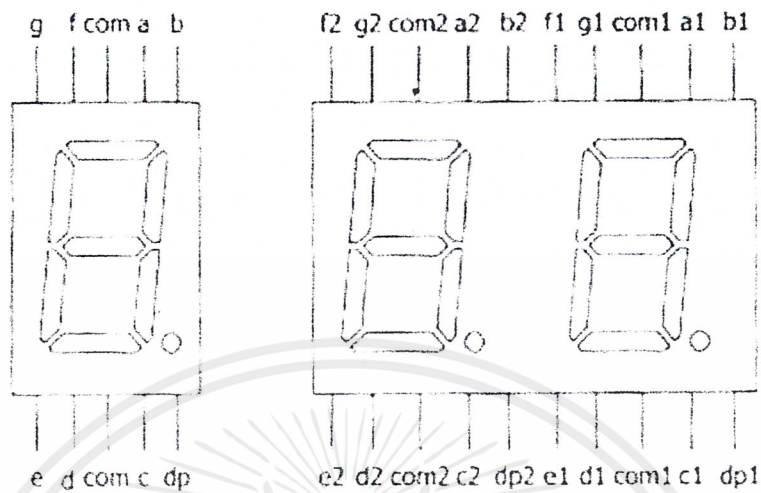
LED ตัวเลข 7 ส่วนประกอบขึ้นจาก LED จำนวน 7 ตัว ที่บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันและได้รับการจัดเรียงเป็นรูปตัวเลข LED แต่ละตัวจะถูกเรียกว่า ส่วน หรือ เซกเมนต์ (segment) แต่ละส่วนหรือเซกเมนต์มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้รับการจัดวางคือ a, b, c, d, e, f และ g ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วน dp เป็น LED อีก 1 ตัวที่บรรจุอยู่ใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้ใช้เป็นตัวแสดงจุด ทศนิยมในกรณีที่มีการแสดงผลในลักษณะเลขที่มีทศนิยม



รูปที่ 4.1 แสดงรูปร่างและการกำหนดชื่อเซกเมนต์ต่างๆ ของ LED ตัวเลข 7 ส่วน

รูปที่ 4.2 วงจรภายในของ LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบแคโทดร่วมและแอนโอดร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดขาของ LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบตัวเดี่ยวและตัวคู่

LED ทุกตัวที่บรรจุอยู่ใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้ไม่มาต่อร่วมกัน ซึ่งก็มีทั้งแบบต่อขาแคโทดร่วมกันเรียกว่า แบบ โทโทดร่วม (common cathode) และแบบต่อขาแอนโนดร่วมกันเรียกว่า แบบแอนโนดร่วม (common anode) การขับให้ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแคโทดร่วมสว่างจะต้องจ่ายไฟลบเข้าที่ขาร่วม แล้วจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาแอนโนด ซึ่งก็คือขาของแต่ละเซกเมนต์นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในขณะที่ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแอนโนดร่วมจะต้องจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาร่วม แล้วจ่ายไฟลบเข้าที่ขาแคโทด ซึ่งเป็นขาของแต่ละเซกเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2 การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไม่ควรนำมาขับ LED 7 ส่วน โดยตรง เนื่องจากความสามารถในการจ่ายกระแสเอาต์พุตรวมไม่สูงมากนัก ซึ่งต้องอาศัยไอซีขับเฟ้อร์มาช่วยในการขับ LED อาทิ ไอซีเบอร์ 74HC541 หรือ 74LS245 และที่เอาต์พุตของไอซีขับเฟ้อร์ที่ต่อกับ LED ตัวเลข 7 ส่วน แสดงข้อมูลเป็นตัวเลขหรือเป็นสัญลักษณ์ใดๆ ก็ตาม ต้องมีการกำหนดรูปแบบการแสดงผลของเซกเมนต์ต่างๆ

ข้อมูลดิจิทัลออกเอาต์พุตสำหรับรับ LED ตัวเลข 7 ส่วน								ค่าเลขฐานสิบหกที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	ค่าตัวเลขที่แสดงบนตัว LED
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
0	0	1	1	1	1	1	1	3FH	0
0	0	0	0	0	1	1	0	06H	1
0	1	0	1	1	0	1	1	5BH	2
0	1	0	0	1	1	1	1	4FH	3
0	1	1	0	0	1	1	0	66H	4
0	1	1	0	1	1	0	1	6DH	5
0	1	1	1	1	1	0	1	7DH	6
0	0	0	0	0	1	1	1	07H	7
0	1	1	1	1	1	1	1	7FH	8
0	1	1	0	1	1	1	1	6FH	9
0	1	1	1	0	1	1	1	77H	A
0	1	1	1	1	1	0	0	7CH	B
0	0	1	1	1	0	0	1	39H	C
0	1	0	1	1	1	1	0	5EH	D
0	1	1	1	1	0	0	1	79H	E
0	1	1	1	0	0	0	1	71H	F
1	1	1	1	1	1	1	1	0FFH	8

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลของการแสดงผลตัวเลขของ 0-F ของ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแคโทดร่วม

ตารางที่ 4.1 แสดงเลขฐานสิบหกของ LED

ด้วยข้อมูลแต่ละบิตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วใช้วิธีการเปิดตารางหรือ Look up table ดังแสดง เอกสารนี้ ตัวอย่างในตารางที่ 4.1 ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ขับ ตัวเลข 7 ส่วนมากกว่า 1 หลัก จะต้องใช้เทคนิคที่เรียกว่า การแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ (multiplex) อันเป็นวิธีขับให้ LED สว่างทีละหลักด้วยอัตราเร็วที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถตรวจจับได้ทัน จึงดูเหมือนว่า LED ตัวเลข 7 ส่วนทุกหลักติดสว่างในเวลาเดียวกัน

การแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์นี้มีประโยชน์หลายประการดังนี้

1. ช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้ขนาดของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเล็กลง ส่งผลให้ขนาดโดยรวมของระบบเล็กลงด้วย
2. ช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน ได้มากกว่า 1 หลัก โดยที่ใช้จำนวนพอร์ตเพิ่มเติมเฉพาะการติดต่อกับขาคอมมอนเท่านั้น

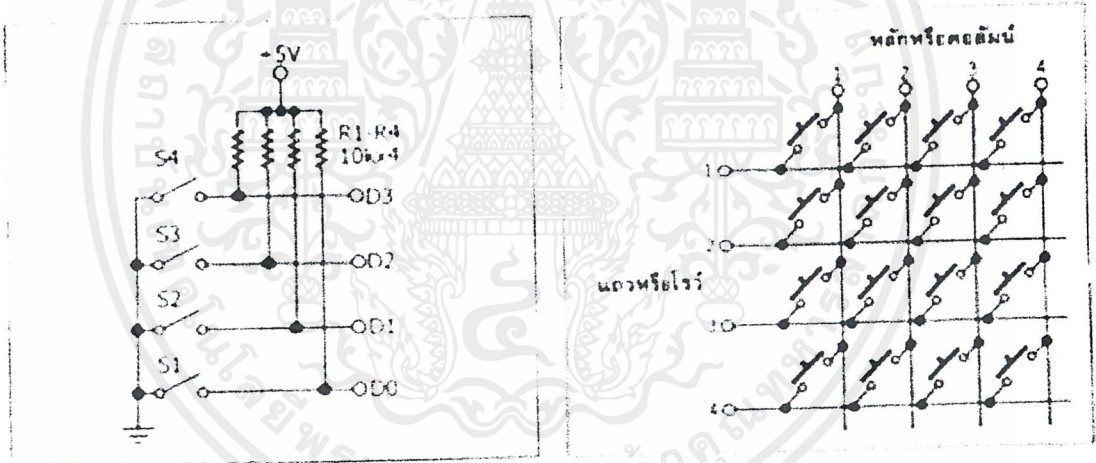
การขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบมัลติเพล็กซ์จะทำการต่อขาของแต่ละเซกเมนต์ร่วมกันคือ เซกเมนต์ a ของทุกหลักจะต่อถึงกัน ไล่เรียงไปจนถึงเซกเมนต์ g ในบางครั้งงานที่ต้องใช้จุด dp ก็ต่อต่อขาของจุด dp รวมกันด้วย การควบคุมให้ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลักใดติดสว่างทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าที่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนหลักนั้นๆ ยกตัวอย่างหาก LED ตัวเลข 7 ส่วนที่ใช้เป็นแบบแคโทดร่วม หากต้องการให้ LED ตัวเลข 7 ส่วน หลักที่ 3 ติดสว่างก็ให้ต่อขาาร่วมของหลักที่ 3 ลงกราวด์หรือจ่ายไฟลบ LED ตัวเลข 7 ส่วน หลักที่ 3 ก็จะติดสว่างตาม LED ตัวเลข 7 ตามข้อมูลส่วนที่ส่งเข้ามายังขาของแต่ละเซกเมนต์

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ามาควบคุมการแสดงผลในลักษณะนี้จึงเป็นการเข้ามาควบคุมการจ่ายไฟเข้าที่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนแต่ละหลักนั่นเอง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะจ่ายไฟให้แก่ขาาร่วมของ LED ตัวเลข 7 ส่วนที่ละหลักไล่ไปตามลำดับด้วยความเร็วสูงโดยผ่านทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้การต่อทรานซิสเตอร์เพื่อขับขาคอมมอนนั้นยังช่วยให้ภาระในการจ่ายกระแสของไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงด้วย ส่วนขาของแต่ละเซกเมนต์จะถูกต่อเข้ากับไอซีขับเฟ้อร์ผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเช่นเดียวกับการขับแบบตัวเดี่ยว

4.3 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริกซ์ 4x3 จุด

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไม่ ไครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานได้ร่วมด้วยได้วงจรของสวิตช์มีด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวนด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ดังในรูปที่ 4.4 วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมากๆ จำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตาม ทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลือง

วงจรของสวิตช์อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ (Matrix switch) ดังในรูปที่ 4.5 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแนวนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (column)



รูปที่ 4.4 วงจรสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวนด์

รูปที่ 4.5 วงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า แถวหรือโรว์ (row) ดังนั้นค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วยตำแหน่งในแนวหลักและแถว กระบวนการที่จะทำได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติมจำนวนสวิตช์และแก้ไขซอฟต์แวร์อีกเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไปจะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด (keypad)

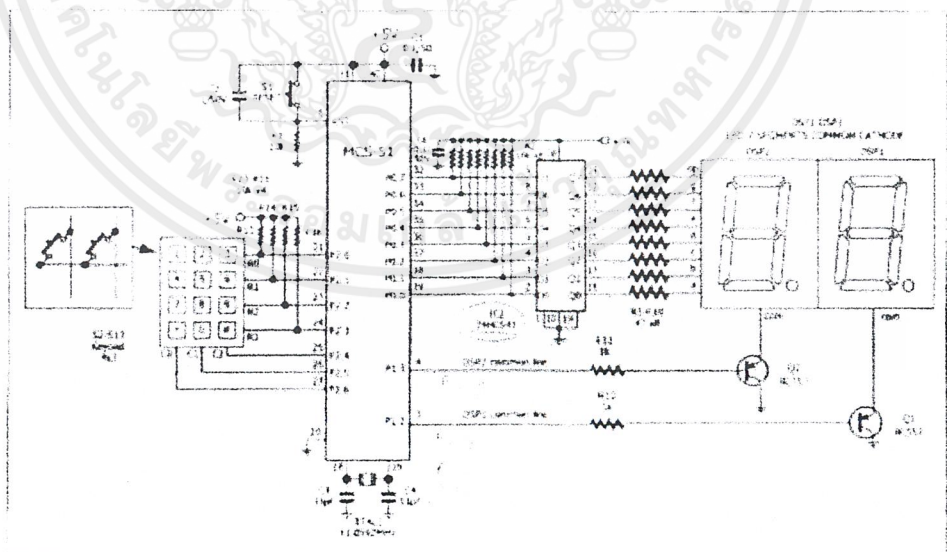
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคีย์บอร์ดและเซเวนเซกเมนต์

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ได้ถูกออกแบบตามตารางต่อไปนี้

P 0.0	A	P 1.0	เฟส 1	P 2.0	Row 1
P 0.1	B	P 1.1	เฟส 2	P 2.1	Row 2
P 0.2	C	P 1.2	เฟส 3	P 2.2	Row 3
P 0.3	D	P 1.3	เฟส 4	P 2.3	Row 4
P 0.4	E	P 3.0	Display 1	P 2.4	Column 3
P 0.5	F	P 3.1	Display 2	P 2.5	Column 2
P 0.6	G	P 3.2	Display 3	P 2.6	Column 1
P 0.7	Dp	P 3.3	Display 4	P 2.7	-----

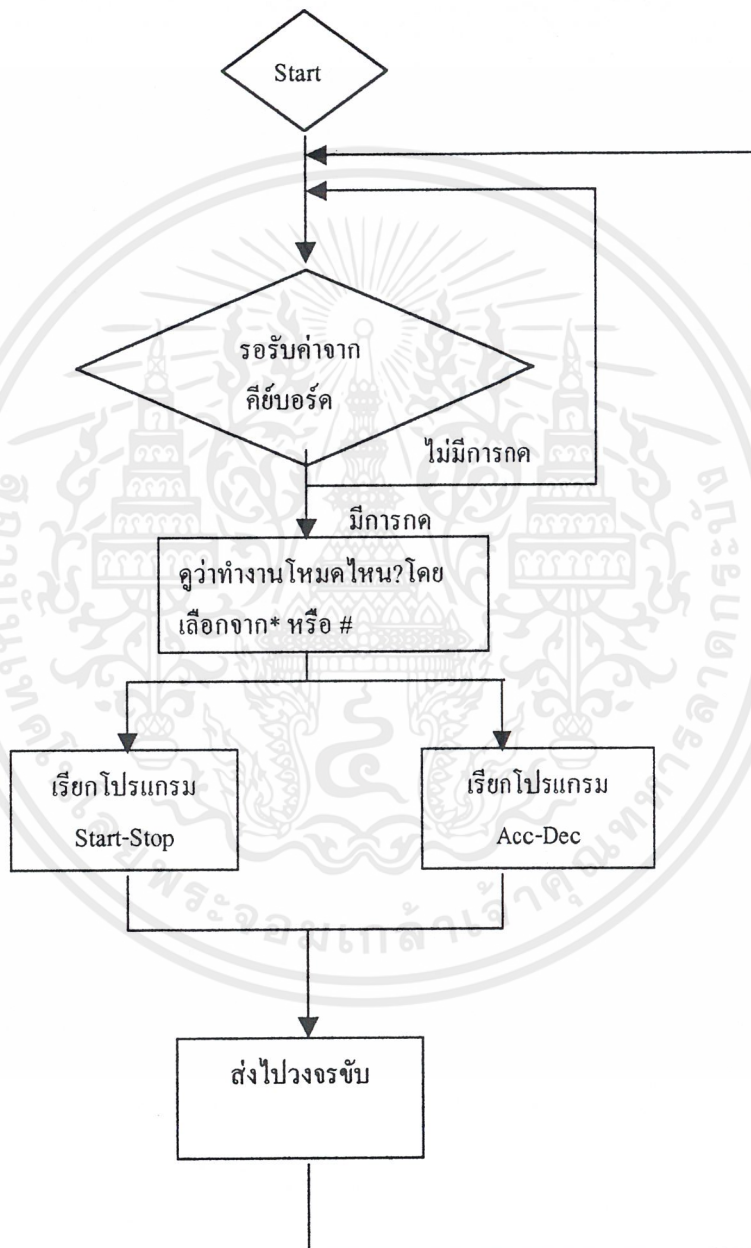
ตารางที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์



รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่อคีย์บอร์ดและ LED เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนการทำงาน

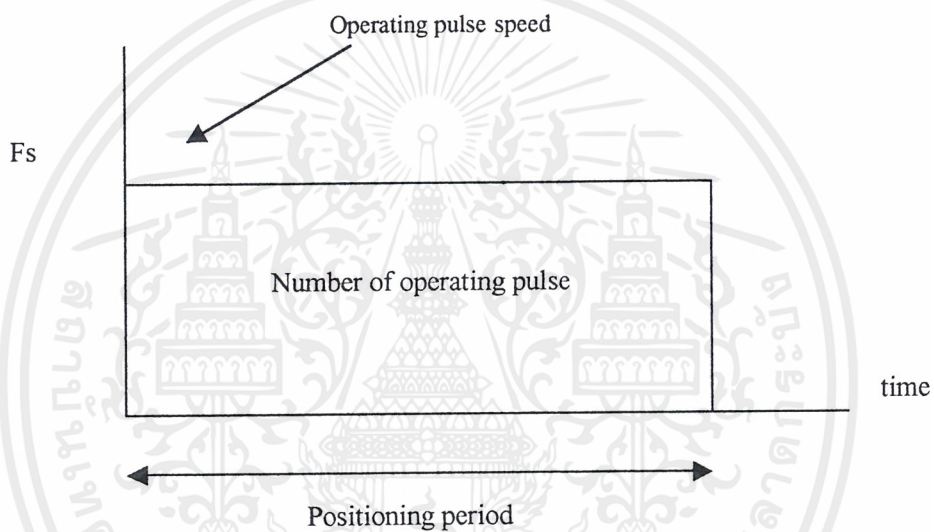


รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

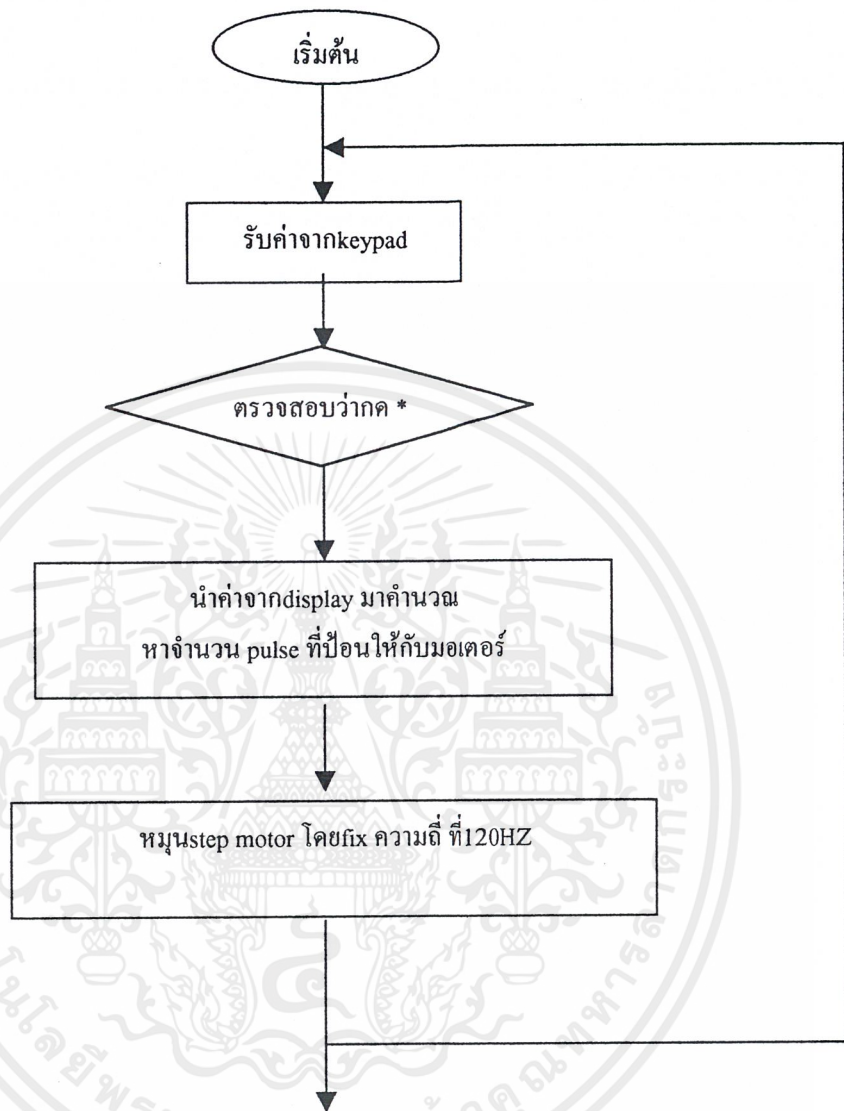
4.5.1 การควบคุมการทำงานแบบ Start-Stop Operation

เป็นวิธีจัดการกับความเร็ว โดยใช้ในย่านความเร็วต่ำ โดยไม่เกิดความเร่ง ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างทันทีจะทำให้เกิดแรงบิดสูง(acceleration torque)



รูปที่ 4.8 การควบคุมการทำงานแบบ Start-Stop Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

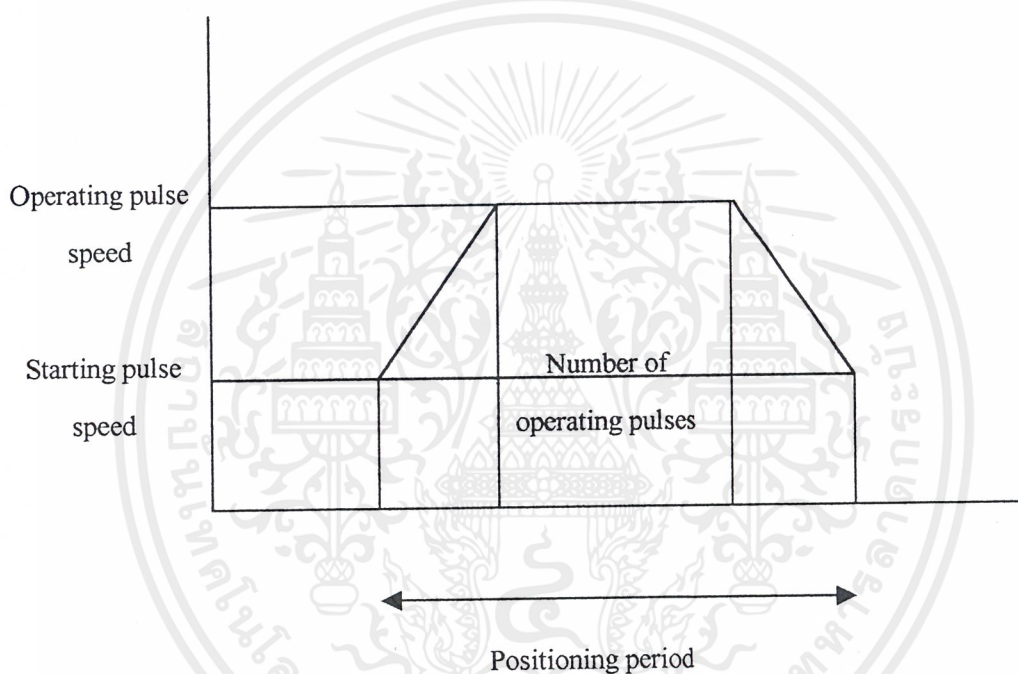


รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการทำงานแบบ Start-Stop Operation

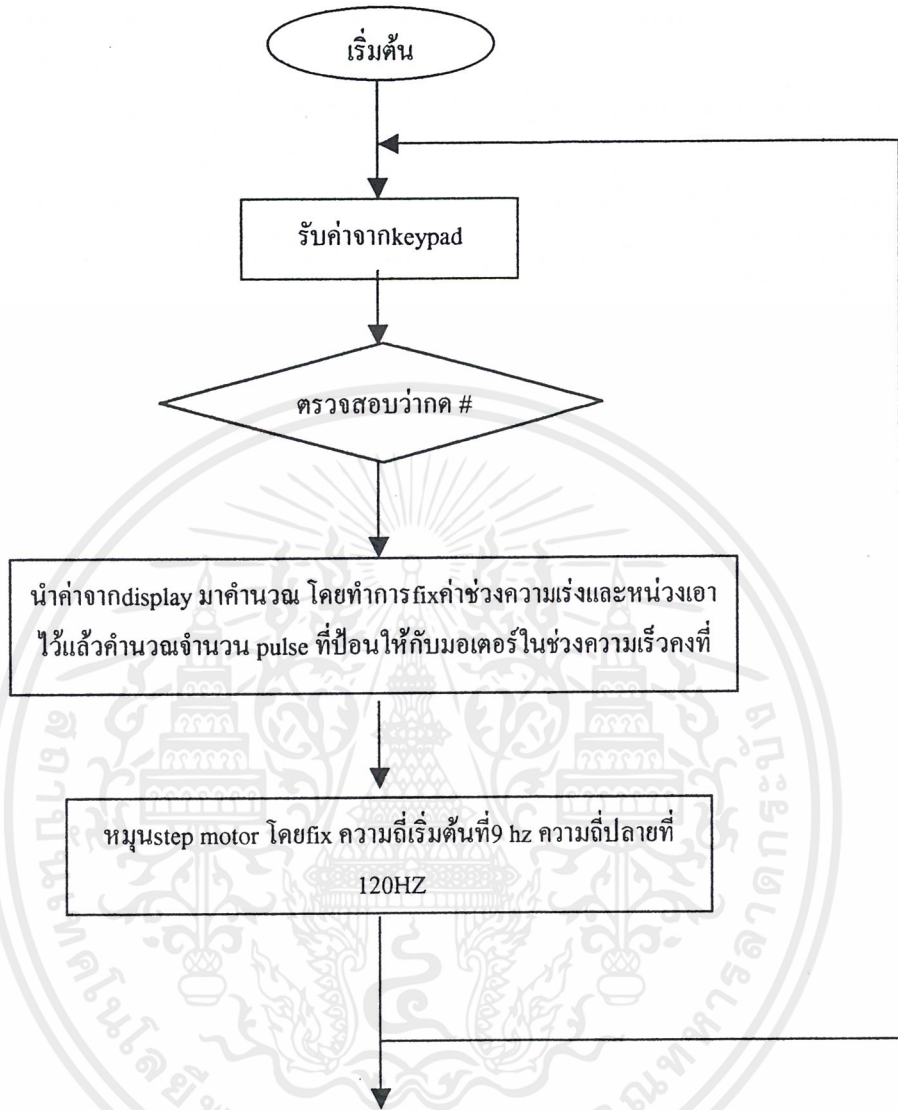
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การควบคุมการทำงานแบบ Acceleration-Deceleration Operation

วิธีการเร่งและการหน่วงเป็นการใช้ operating pulse ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในระดับช่วงความเร็วสูงถึงปานกลาง ช่วงเวลาในการเร่งหรือหน่วงมีค่าเป็น 25% ของคาบเวลาที่ใช้ทั้งหมด แรงบิด (torque) ของการทำงานแบบนี้จะต่ำกว่าแรงบิด ของการทำงานแบบ Start-Stop Operation

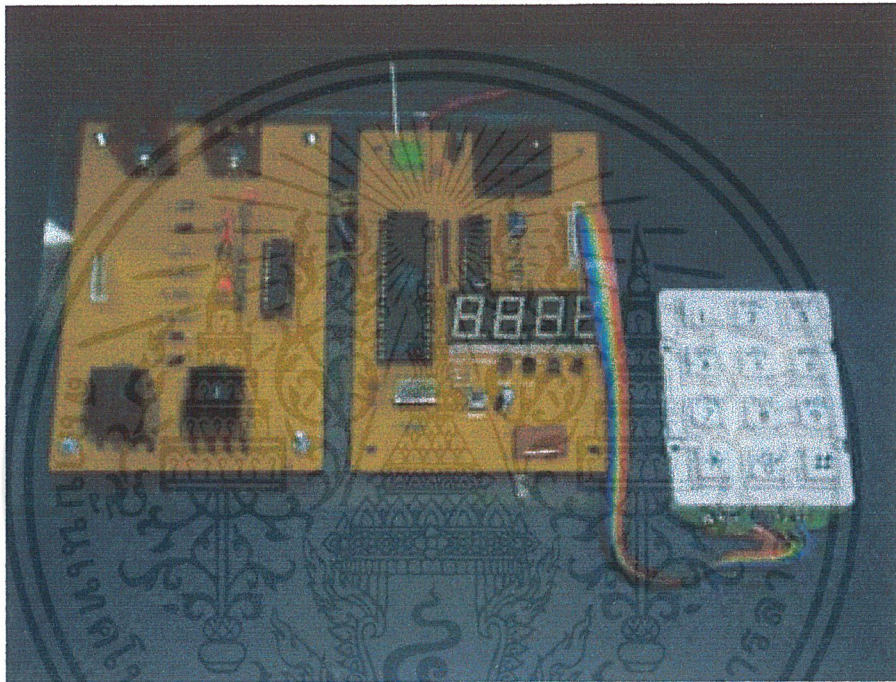


รูปที่ 4.10 การควบคุมการทำงานแบบ Acceleration-Deceleration Operation



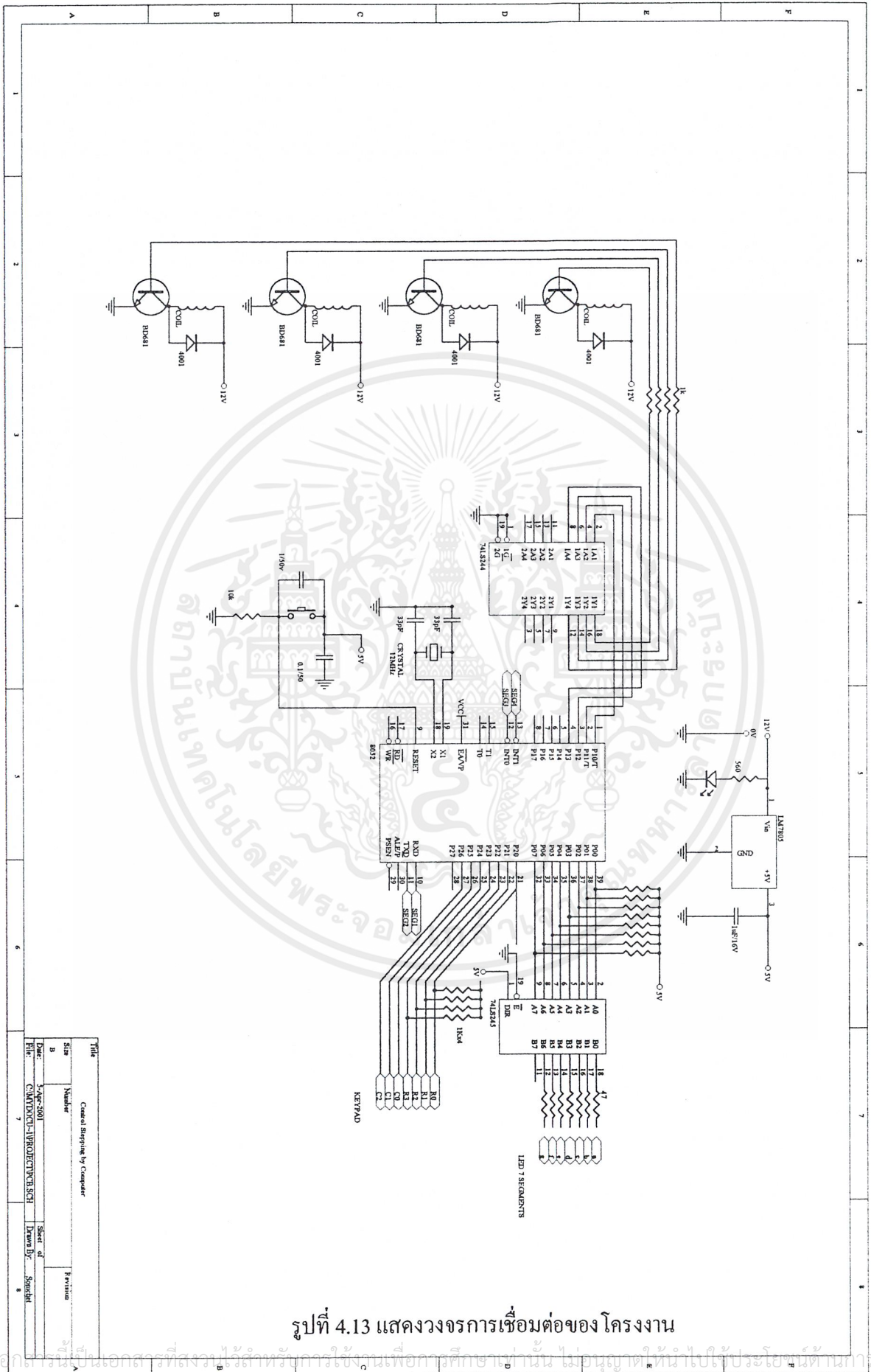
รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการทำงานแบบ Acceleration-Deceleration Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพสำเร็จของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของ โครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองทำโดยใช้น้ำหนักต่างกัน 3ค่า แล้วป้อนค่าระยะทางที่ตำแหน่งต่างๆให้ สายพานเคลื่อนที่แบบ โหมคความเร็วคงที่และแบบมีความเร่ง แล้วบันทึกผล

ระยะทางที่ป้อน	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ระยะทางจริง	4 mm.	10 mm.	12 mm.	15 mm.
ค่าผิดพลาด	1 mm.	0 mm.	3 mm.	5 mm.
ระยะทางที่ป้อน	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ระยะทางจริง	21 mm.	24 mm.	29 mm.	32 mm.
ค่าผิดพลาด	4 mm.	6 mm.	6 mm.	8 mm.

ตารางที่ 5.1แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 0 กรัม แบบความเร็วคงที่

ระยะทางที่ป้อน	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ระยะทางจริง	5 mm.	9 mm.	15 mm.	17 mm.
ค่าผิดพลาด	0 mm.	1 mm.	0 mm.	3 mm.
ระยะทางที่ป้อน	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ระยะทางจริง	22 mm.	25 mm.	29 mm.	32 mm.
ค่าผิดพลาด	3 mm.	5 mm.	6 mm.	8 mm.

ตารางที่ 5.2แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 40 กรัม แบบความเร็วคงที่

ระยะทางที่ป้อน	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ระยะทางจริง	3 mm.	5 mm.	7mm.	9mm.
ค่าผิดพลาด	2 mm.	5 mm.	8 mm.	11mm.
ระยะทางที่ป้อน	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ระยะทางจริง	11mm.	14mm.	18 mm.	20 mm.
ค่าผิดพลาด	14 mm.	16 mm.	17 mm.	20 mm.

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 200 กรัม แบบความเร็วคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางที่ป้อน	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ระยะทางจริง	5 mm.	10 mm.	14 mm.	19 mm.
ค่าผิดพลาด	0 mm.	0 mm.	1 mm.	1 mm.
ระยะทางที่ป้อน	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ระยะทางจริง	22 mm.	28 mm.	32 mm.	40 mm.
ค่าผิดพลาด	3 mm.	2 mm.	3 mm.	0 mm.

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 0 กรัม แบบความเร่ง

ระยะทางที่ป้อน	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ระยะทางจริง	4 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ค่าที่ผิดพลาด	1 mm.	0 mm.	0 mm.	0 mm.
ระยะทางที่ป้อน	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ระยะทางจริง	24 mm.	28 mm.	34 mm.	36 mm.
ค่าผิดพลาด	1 mm.	2 mm.	1 mm.	4 mm.

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 40 กรัม แบบความเร่ง

ระยะทางจริง	5 mm.	10 mm.	15 mm.	20 mm.
ค่าผิดพลาด	3 mm.	8 mm.	13 mm.	16 mm.
ระยะทางที่ป้อน	2 mm.	2 mm.	2 mm.	4 mm.
ระยะทางจริง	25 mm.	30 mm.	35 mm.	40 mm.
ค่าผิดพลาด	22 mm.	26 mm.	28 mm.	31 mm.
ระยะทางจริง	3 mm.	4 mm.	7 mm.	9 mm.

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองเมื่อน้ำหนักมีค่า 200 กรัม แบบความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์สาเหตุ

หลังจากได้ทำการตรวจสอบ โดยละเอียด โดยการนำสายพานขับเฟืองออก แล้วให้มอเตอร์ทำงาน โดยลำพังพบว่าสามารถทำงานได้ตามระยะทางที่ต้องการ ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น อาจสรุปได้ว่า โปรแกรมและมอเตอร์สามารถทำงานถูกต้อง สาเหตุของปัญหาจึงน่าจะเกิดจากชุดสายพาน ถ้าเลียงมากกว่า

เมื่อพิจารณาน้ำหนักพบว่าเมื่อไม่มีน้ำหนักอยู่เลยจะเกิดค่าผิดพลาด และเกิดมากกว่าเมื่อมีน้ำหนักปานกลางเสียอีก และค่าผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักมีค่าค่อนข้างมาก

แนวทางการแก้ไข

- ควรจะแก้ไขปรับปรุงชุดจำลองสายพานให้ดีกว่านี้ โดยเฉพาะช่วงเพลาคควรแก้ปัญหาเรื่องการลื่นไถล จะลดค่าผิดพลาดได้มาก
- พัฒนาปรับปรุงส่วนวงจรขับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- พัฒนาโปรแกรมให้สมบูรณ์ขึ้นและเพิ่มรูปแบบการทำงาน

บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวกับการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Computer Control Of Stepping Motor) โดยประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของ Keyboard ทำหน้าที่เป็นตัวรับอินพุตแล้วส่งไปประมวลผล ส่วนที่สองเป็นส่วนประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าอินพุตเข้ามาประมวลผลและสร้างสัญญาณเฟสแบบต่างๆ ส่วนที่สามเป็นส่วนแสดงผลโดย 7 SEGMENT จะแสดงผลค่าที่เราป้อนเข้าไปละค่าอื่น ส่วนที่สี่เป็นส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เพิ่มกระแสไฟให้ขดลวดมอเตอร์ตามสัญญาณเฟสที่ได้รับ ส่วนที่ห้าเป็นส่วนของโปรแกรมจะทำหน้าที่กำหนดรูปแบบการทำงานต่างๆ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

6.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

6.1.1 ปัญหาด้านโครงสร้าง

ปัญหาส่วนนี้มักเกิดจากการหาซื้ออุปกรณ์ที่เหมาะสมมาใช้งานซึ่งมักจะหาไม่ได้ จึงต้องดัดแปลงแก้ไข ด้านความชำนาญในการใช้อุปกรณ์ก็เป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งมีผลต่อความเที่ยงตรงของโครงสร้าง

เมื่อพิจารณาถึงผลการทดลองจะพบว่าโครงสร้างที่ทำขึ้นยังมีปัญหาที่ต้องแก้ไขอีกมาก เช่น ปัญหาเรื่องการเดินไถลของสายพาน รัศมีที่เล็กเกินไปของเพลาเหล็ก

6.1.2 ปัญหาด้านวงจร

โดยรวมจะเป็นเพราะหาซื้ออุปกรณ์ไม่ได้ ไม่เคยใช้งานกับอุปกรณ์นั้นจึงต้องเริ่มศึกษาใหม่

6.1.3 ปัญหาด้านโปรแกรม

เกิดขึ้นจากขาดความชำนาญการเขียน โปรแกรมจึงต้องศึกษาและทดลอง

6.2 แนวทางการพัฒนา

6.2.1 ควรปรับปรุงโครงสร้าง

โดยให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น เพิ่มขนาดของเพลาเหล็กให้ใหญ่ขึ้น อาจจะลดการเดินไถล โดยท่อหัด หรือใช้อุปกรณ์อื่นหุ้มเพลาเหล็กตามความเหมาะสม

6.2.2 แก้ไขและพัฒนาโปรแกรม

ให้สามารถปรับความแรงและความหน่วง และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์ ที่ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนในด้านต่างๆด้วยดีตลอดมา และขอบคุณพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกท่าน ที่ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชา ตลอดจนห่วงใยเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ และอาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ สำหรับคำปรึกษาเรื่องชุดจำลองสายพาน

ขอขอบคุณ เต๋ย หยก และเจ สำหรับคำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านโปรแกรม ทำให้โปรเจกต์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

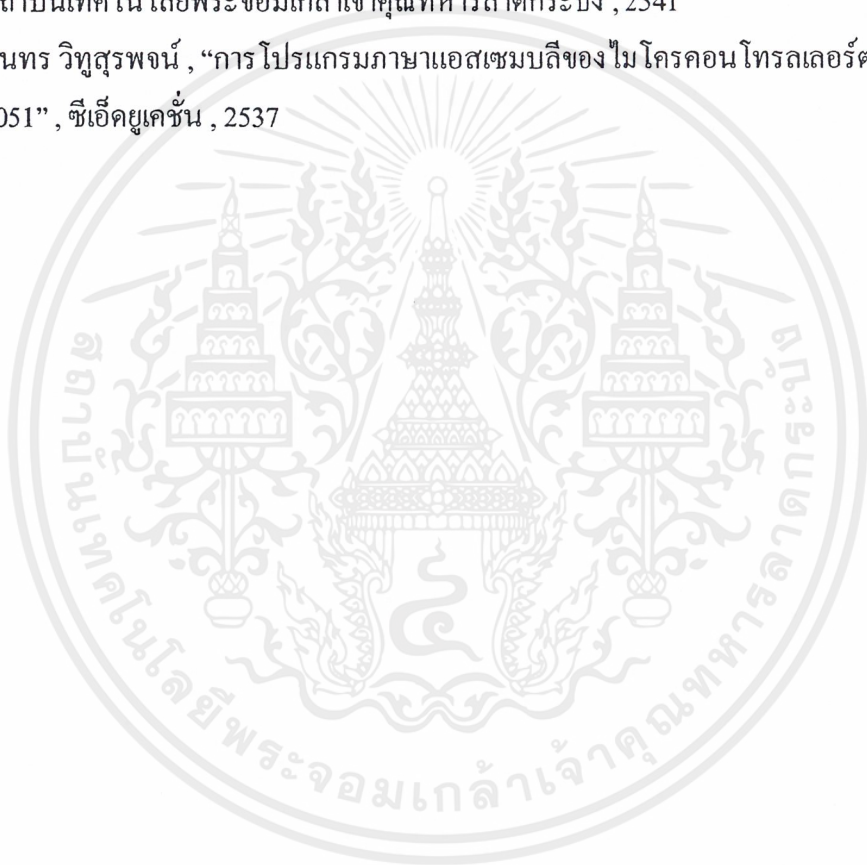
ขอขอบคุณ รอง กอล์ฟ ฐิ นิค หนุ่ม ยู เต่า น้องเมย์ พี่เปา ป๊อปป เคน ต้าและก๊วก ที่ให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกคน สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจต่างๆ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของเราทั้งสองคน ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนจนทำให้เรามีวันนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล , “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์” , บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2543
2. ชีรวัฒน์ ประกอบผล , “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์” , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น) , 2541
3. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ , “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลMCS-51” , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2541
4. สุนทร วิหุสุรพจน์ , “การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051” , ซีอีคยูเคชั่น , 2537



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#####
```

```
;Program      : Run Motor
```

```
#####
```

```
;DEFINE
```

```
DSP1      BIT    P3.0
```

```
DSP2      BIT    P3.1
```

```
DSP3      BIT    P3.2
```

```
DSP4      BIT    P3.3
```

```
KPAD_ROW0 BIT    P2.0
```

```
KPAD_ROW1 BIT    P2.1
```

```
KPAD_ROW2 BIT    P2.2
```

```
KPAD_ROW3 BIT    P2.3
```

```
KPAD_COL2 BIT    P2.4
```

```
KPAD_COL1 BIT    P2.5
```

```
KPAD_COLO BIT    P2.6
```

```
;LEFT_SHF BIT    P3.2
```

```
;RIGHT_SHF BIT   P3.3
```

```
FLAG      EQU    02FH
```

```
KEYPRESSED BIT   FLAG.0
```

```
;R_SHF    BIT    FLAG.1
```

```
DSP1_BUFFER EQU  030H
```

```
DSP2_BUFFER EQU  031H
```

```
DSP3_BUFFER EQU  032H
```

```
DSP4_BUFFER EQU  033H
```

```
KPAD_DATA  EQU   034H
```

```
SPEED      EQU   020H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#####
;MAIN PROGRAM
#####

                ORG    0000H
                AJMP  INITIAL

INITIAL:        MOV    P0,#00000000B

                MOV    P3,#11101111B
                MOV    P2,#11111111B
                MOV    P1,#00000000B

MAIN:           MOV    DSP1_BUFFER,#0
                MOV    DSP2_BUFFER,#0
                MOV    DSP3_BUFFER,#0
                MOV    DSP4_BUFFER,#0
                MOV    FLAG,#0
                LCALL  SHOW_DSP

LOOP:           ACALL  GET_KPAD
                MOV    A,KPAD_DATA
                JZ     NEXT
                JB     KEYPRESSED,SHOW_1
                SETB  KEYPRESSED
                AJMP  CHK_RUN1

NEXT:           CLR    KEYPRESSED

SHOW_1:        ACALL  SHOW_DSP
                JMP    LOOP

```

```

CHK_RUN1:  CJNE  A,#10,CHK_RUN2
           LCALL RUN1
           AJMP  LOOP

CHK_RUN2:  CJNE  A,#12,KEY_OK
           LCALL ACCA
           AJMP  LOOP

KEY_OK:    CJNE  A,#11,LEFT_SHIFT      ;MEAN ZERO
           MOV   KPAD_DATA,#00H

LEFT_SHIFT: MOV   DSP4_BUFFER,DSP3_BUFFER
            MOV   DSP3_BUFFER,DSP2_BUFFER
            MOV   DSP2_BUFFER,DSP1_BUFFER
            MOV   DSP1_BUFFER,KPAD_DATA
            AJMP  SHOW

SHOW:      LCALL SHOW_DSP
            LJMP  LOOP

;#####
;KEYPAD SCAN KEY
;#####

GET_KPAD:  MOV   P2,#0FFH
            MOV   KPAD_DATA,#0

CHK_COLO: CLR   KPAD_COLO
            MOV   A,P2
            ANL   A,#00FH
            CJNE  A,#00FH,COLO_DETECT
            AJMP  CHK_COLO1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

COL0_DETECT:    MOV  KPAD_DATA,#01
                AJMP GET_ROW

CHK_COL1:      SETB  KPAD_COL0
                CLR   KPAD_COL1
                MOV   A,P2
                ANL   A,#00FH
                CJNE  A,#00FH,COL1_DETECT
                AJMP  CHK_COL2

COL1_DETECT:    MOV  KPAD_DATA,#02
                AJMP GET_ROW

CHK_COL2:      SETB  KPAD_COL1
                CLR   KPAD_COL2
                MOV   A,P2
                ANL   A,#00FH
                CJNE  A,#00FH,COL2_DETECT
                SETB  KPAD_COL2
                RET

COL2_DETECT:    MOV  KPAD_DATA,#03

GET_ROW:       CLR   KPAD_COL0
                CLR   KPAD_COL1
                CLR   KPAD_COL2
                JB    KPAD_ROW0,CHK_ROW1
                RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHK_ROW1: JB    KPAD_ROW1,CHK_ROW2
           MOV  A,KPAD_DATA
           ADD  A,#3
           MOV  KPAD_DATA,A
           RET

```

```

CHK_ROW2: JB    KPAD_ROW2,CHK_ROW3
           MOV  A,KPAD_DATA
           ADD  A,#6
           MOV  KPAD_DATA,A
           RET

```

```

CHK_ROW3: MOV  A,KPAD_DATA
           ADD  A,#9
           MOV  KPAD_DATA,A
           RET

```

```

;#####
;SHOW DSP
;#####

```

```

SHOW_DSP: MOV  R4,#5
SCAN_DSP_LOOP: MOV  A,DSP1_BUFFER
               MOV  DPTR,#DSP_NUM0
               MOVC A,@A+DPTR
               MOV  P0,A
               CLR  DSP1
               ACALLDELAY_1MS
               SETB DSP1

               MOV  A,DSP2_BUFFER
               MOV  DPTR,#DSP_NUM0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVC A,@A+DPTR
MOV P0,A
CLR DSP2
ACALLDELAY_1MS
SETB DSP2
```

```
MOV A,DSP3_BUFFER
MOV DPTR,#DSP_NUM0
MOVC A,@A+DPTR
MOV P0,A
CLR DSP3
ACALLDELAY_1MS
SETB DSP3
```

```
MOV A,DSP4_BUFFER
MOV DPTR,#DSP_NUM0
MOVC A,@A+DPTR
MOV P0,A
CLR DSP4
ACALLDELAY_1MS
SETB DSP4
DJNZ R4,SCAN_DSP_LOOP
RET
```

```
;#####
```

```
;RUN CONSTANT
```

```
;#####
```

```
RUN1: MOV A,DSP3_BUFFER
MOV B,#100 ;DSP3_BUFFER x 100
MUL AB
MOV R2,A ;R2 = LOW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV R3,B ;R3 = HI
```

```
MOV A,DSP2_BUFFER
```

```
MOV B,#10 ;DSP2_BUFFER x 10
```

```
MUL AB
```

```
ADD A,R2
```

```
MOV R2,A
```

```
MOV A,B
```

```
ADDC A,R3
```

```
MOV R3,A
```

```
MOV A,DSP1_BUFFER ;DSP1_BUFFER x 1
```

```
ADD A,R2
```

```
MOV R2,A
```

```
MOV A,B
```

```
ADDC A,R3
```

```
MOV R3,A
```

```
MOV A,#11001100B
```

```
INC R3
```

```
INC R2
```

```
L1: DEC R3
```

```
L2: DEC R2
```

```
RR A
```

```
MOV P1,A
```

```
ACALLDELAY
```

```
CJNE R2,#0,L2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE R3,#0,L1
MOV DSP1_BUFFER,#0
MOV DSP2_BUFFER,#0
MOV DSP3_BUFFER,#0
MOV DSP4_BUFFER,#0
RET ;END RUN1

```

```

;#####

```

```

#####

```

```

;#####ACC#####

```

```

ACCA: MOV SPEED,#6EH
MOV A,#11001100B

```

```

;INCSPD

```

```

MOV R0,#50
INC1: RR A
MOV P1,A
CALL DELAY_SPD
DEC SPEED
DEC SPEED
DJNZ R0,INC1

```

```

MOV 21H,A

```

```

;CONSPD

```

```

MOV A,DSP3_BUFFER
SUBB A,#1
MOV B,#100 ;DSP3_BUFFER x 100
MUL AB
MOV R2,A ;R2 = LOW

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV R3,B ;R3 = HI
```

```
MOV A,DSP2_BUFFER
```

```
MOV B,#10 ;DSP2_BUFFER x 10
```

```
MUL AB
```

```
ADD A,R2
```

```
MOV R2,A
```

```
MOV A,B
```

```
ADDC A,R3
```

```
MOV R3,A
```

```
MOV A,DSP1_BUFFER ;DSP1_BUFFER x 1
```

```
ADD A,R2
```

```
MOV R2,A
```

```
MOV A,B
```

```
ADDC A,R3
```

```
MOV R3,A
```

```
MOV A,21H
```

```
INC R3
```

```
INC R2
```

```
L3: DEC R3
```

```
L4: DEC R2
```

```
RR A
```

```
MOV P1,A
```

```
ACALLDELAY_SPD
```

```
CJNE R2,#0,L4
```

```
CJNE R3,#0,L3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;DECSPD

```
MOV R0,#50
DEC1: RR A
MOV P1,A
CALL DELAY_SPD
INC SPEED
INC SPEED
DJNZ R0,DEC1
MOV DSP1_BUFFER,#0
MOV DSP2_BUFFER,#0
MOV DSP3_BUFFER,#0
MOV DSP4_BUFFER,#0
RET ;END ACC
```

DELAY_SPD: MOV R6,SPEED

```
D2: MOV R1,#0FFH
DJNZ R1,$
DJNZ R6,D2
RET
```

DELAY: MOV R6,#019H

```
D1: MOV R1,#064H
DJNZ R1,$
DJNZ R6,D1
RET
```

#####

#####

#####

;DELAY

#####

DELAY_1MS: MOV R6,#0E6H

DELAY_1MS_1: NOP

NOP

DJNZ R6,DELAY_1MS_1

RET

DELAY_10MS: MOV R7,#010H

DELAY_10MS_1: MOV R6,#0E6H

DELAY_10MS_2: NOP

NOP

DJNZ R6,DELAY_10MS_2

DJNZ R7,DELAY_10MS_1

RET

DELAY_1S: MOV R5,#100

DELAY_1S_1: ACALLDELAY_10MS

DJNZ R5,DELAY_1S_1

RET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;#####

;DEFINE CONSTANT

;#####

DSP_NUM0: DB 00111111B

DSP_NUM1: DB 00000110B

DSP_NUM2: DB 01011011B

DSP_NUM3: DB 01001111B

DSP_NUM4: DB 01100110B

DSP_NUM5: DB 01101101B

DSP_NUM6: DB 01111101B

DSP_NUM7: DB 00000111B

DSP_NUM8: DB 01111111B

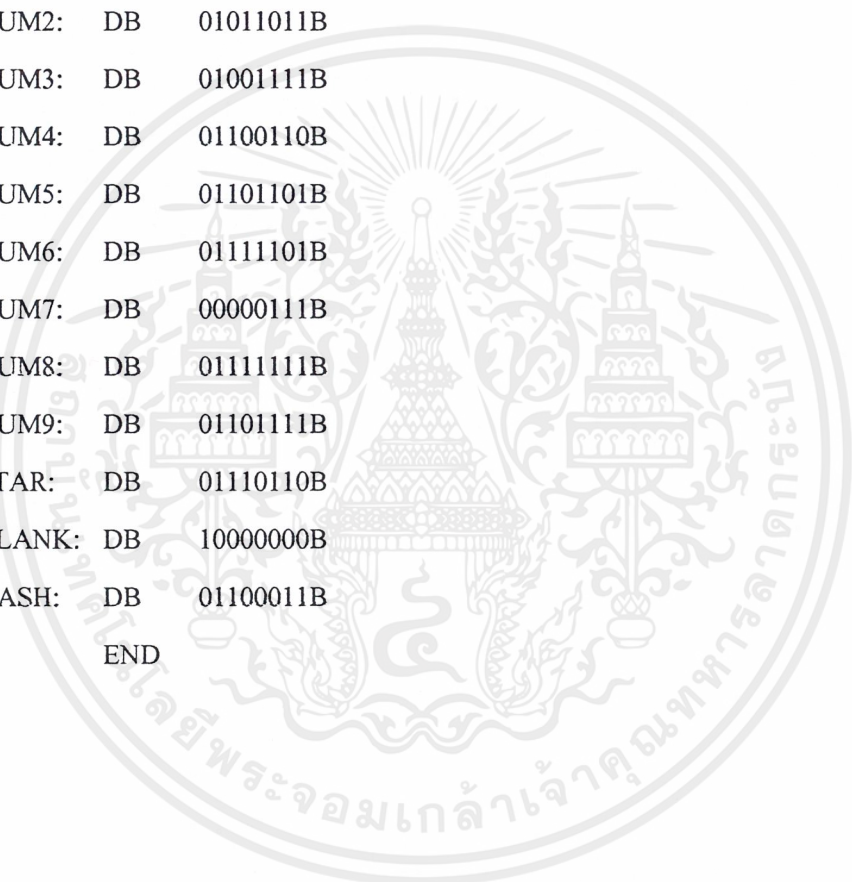
DSP_NUM9: DB 01101111B

DSP_STAR: DB 01110110B

DSP_BLANK: DB 10000000B

DSP_HASH: DB 01100011B

END



DM74LS245 3-STATE Octal Bus Transceiver

General Description

These octal bus transceivers are designed for asynchronous two-way communication between data buses. The control function implementation minimizes external timing requirements.

The device allows data transmission from the A Bus to the B Bus or from the B Bus to the A Bus depending upon the logic level at the direction control (DIR) input. The enable input (G) can be used to disable the device so that the buses are effectively isolated.

Features

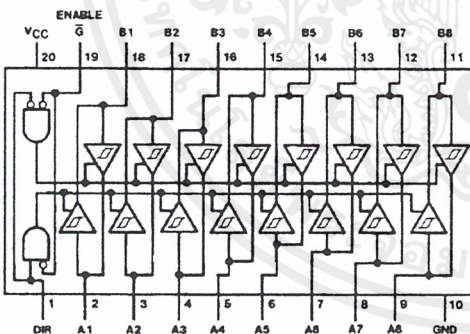
- Bi-Directional bus transceiver in a high-density 20-pin package
- 3-STATE outputs drive bus lines directly
- PNP inputs reduce DC loading on bus lines
- Hysteresis at bus inputs improve noise margins
- Typical propagation delay times, port-to-port 8 ns
- Typical enable/disable times 17 ns
- I_{OL} (sink current)
24 mA
- I_{OH} (source current)
-15 mA

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS245WM	M20B	20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300 Wide
DM74LS245SJ	M20D	20-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS245N	N20A	20-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Enable G	Direction Control DIR	Operation
L	L	B Data to A Bus
L	H	A Data to B Bus
H	X	Isolation

H = HIGH Level
L = LOW Level
X = Irrelevant

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	
DIR or \bar{G}	7V
A or B	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-15	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			24	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
HYS	Hysteresis (V _{T+} - V _{T-})	V _{CC} = Min	0.2	0.4		V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, V _{IH} = Min	2.7			V
		V _{IL} = Max, I _{OH} = -1 mA				
		V _{CC} = Min, V _{IL} = Min	2.4	3.4		
		V _{IL} = Max, I _{OH} = -3 mA				
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min			0.4	V
		V _{IL} = Max V _{IH} = Min	I _{OL} = 12 mA I _{OL} = Max		0.5	
I _{OZH}	Off-State Output Current, HIGH Level Voltage Applied	V _{CC} = Max V _{IL} = Max			20	μA
I _{OZL}	Off-State Output Current, LOW Level Voltage Applied	V _{IH} = Min			-200	μA
I _I	Input Current at Maximum Input Voltage	V _{CC} = Max	A or B		0.1	mA
			DIR or G	V _I = 5.5V V _I = 7V	0.1	
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.2	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)			-40	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max	Outputs HIGH	48	70	mA
			Outputs LOW	62	90	
			Outputs at HI-Z	64	95	

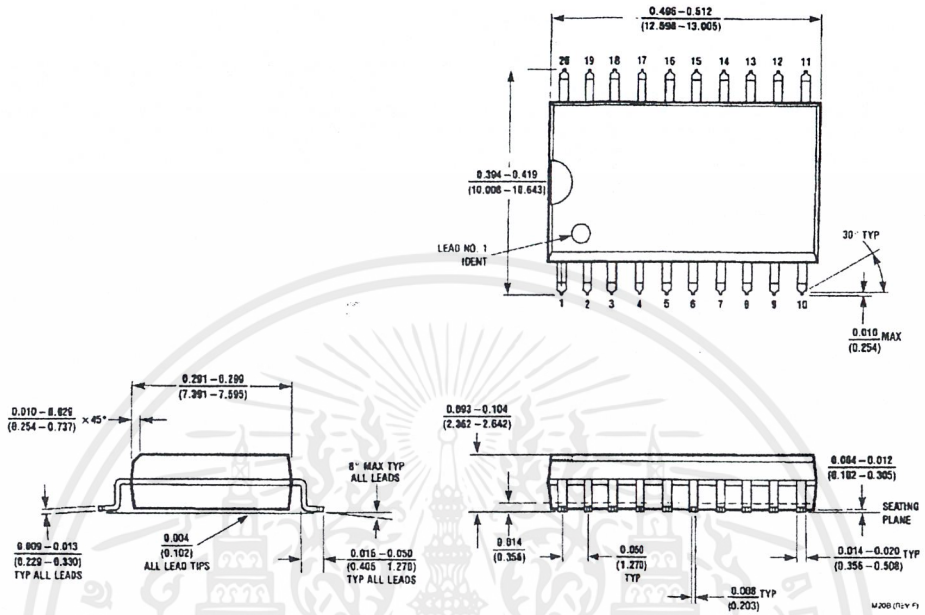
Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, not to exceed one second duration

Switching Characteristics					
$V_{CC} = 5V, T_A = 25^\circ C$					
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Units
t_{PLH}	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level Output	$C_L = 45 \text{ pF}$ $R_L = 667 \Omega$		12	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level Output			12	ns
t_{PZL}	Output Enable Time to LOW Level			40	ns
t_{PZH}	Output Enable Time to HIGH Level			40	ns
t_{PLZ}	Output Disable Time from LOW Level	$C_L = 5 \text{ pF}$ $R_L = 667 \Omega$		25	ns
t_{PHZ}	Output Disable Time from HIGH Level			25	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level Output	$C_L = 150 \text{ pF}$ $R_L = 667 \Omega$		16	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level Output			17	ns
t_{PZL}	Output Enable Time to LOW Level			45	ns
t_{PZH}	Output Enable Time to HIGH Level			45	ns

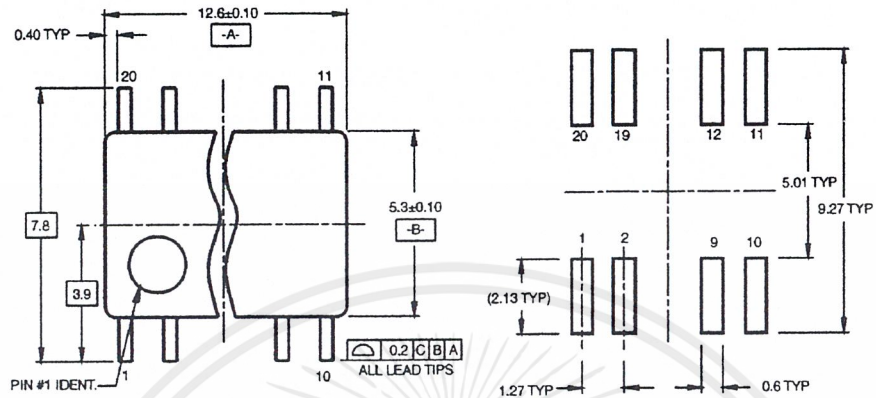
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

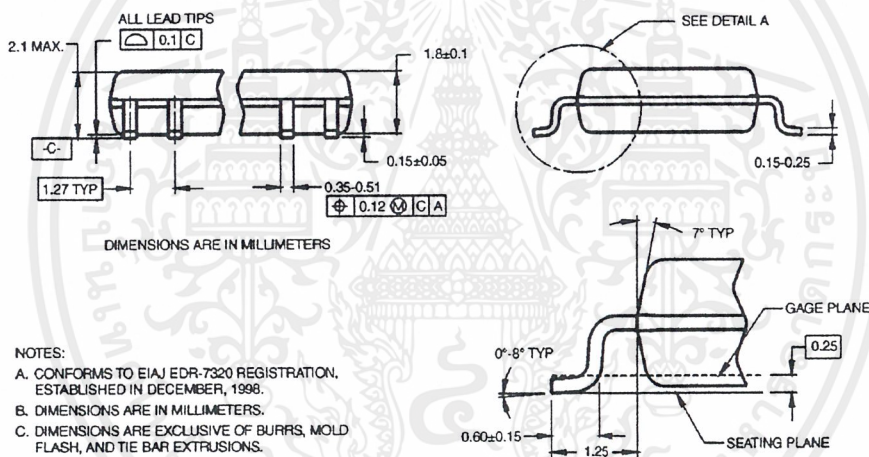


20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300 Wide
Package Number M20B

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



LAND PATTERN RECOMMENDATION



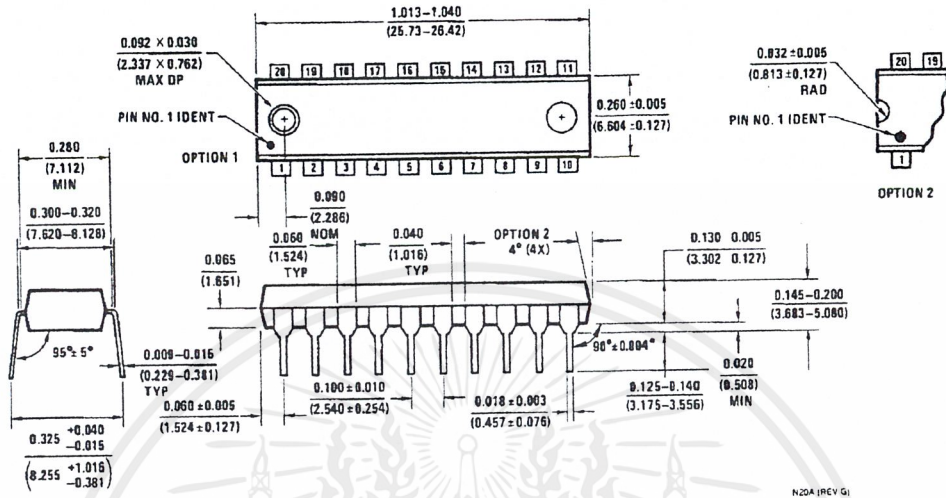
- NOTES:
- A. CONFORMS TO EIAJ EDR-7320 REGISTRATION, ESTABLISHED IN DECEMBER, 1998.
 - B. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 - C. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF BURRS, MOLD FLASH, AND TIE BAR EXTRUSIONS.

M20DRevB1

20-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide Package Number M20D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



20-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide
Package Number N20A

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

www.fairchildsemi.com

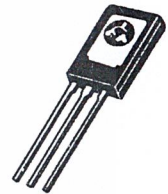
Plastic Medium Power Silicon NPN Transistor

BD135
BD137
BD139

... designed for use as audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 40$ (Min) @ $I_C = 0.15$ Adc
- BD 135, 137, 139 are complementary with BD 136, 138, 140

1.5 AMPERE
POWER TRANSISTORS
NPN SILICON
45, 60, 80 VOLTS
10 WATTS



CASE 77-08
TO-225AA TYPE

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Type	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}		5	Vdc
Collector Current	I_C		1.5	Adc
Base Current	I_B		0.5	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		1.25 10	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		12.5 100	Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}		-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	10	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	θ_{JA}	100	$^\circ\text{C/W}$

REV 7

© Motorola, Inc. 1995



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BD135 BD137 BD139

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Type	Min	Max	Unit
Collector–Emitter Sustaining Voltage* ($I_C = 0.03 \text{ A dc}$, $I_B = 0$)	V_{CE0}^*	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 80	— — —	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 30 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	I_{CBO}		— —	0.1 10	$\mu\text{A dc}$
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}		—	10	$\mu\text{A dc}$
DC Current Gain ($I_C = 0.005 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$) ($I_C = 0.15 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$) ($I_C = 0.5 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$)	h_{FE}^*		25 40 25	— 250 —	—
Collector–Emitter Saturation Voltage* ($I_C = 0.5 \text{ A dc}$, $I_B = 0.05 \text{ A dc}$)	$V_{CE(sat)}^*$		—	0.5	Vdc
Base–Emitter On Voltage* ($I_C = 0.5 \text{ A dc}$, $V_{CE} = 2.0 \text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}^*$		—	1	Vdc

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

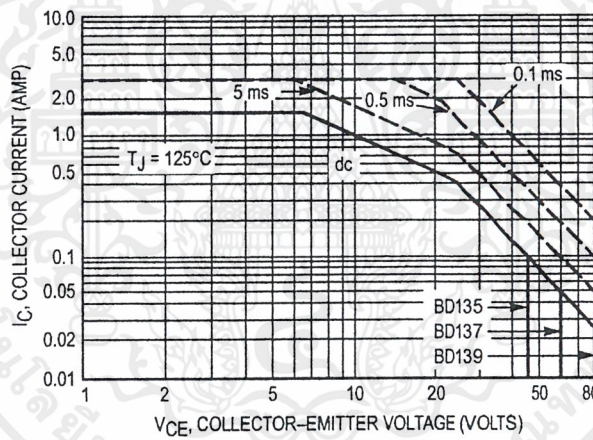
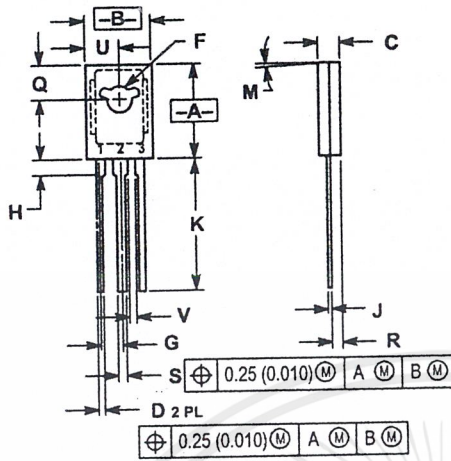


Figure 1. Active–Region Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.425	0.435	10.80	11.04
B	0.295	0.305	7.50	7.74
C	0.095	0.105	2.42	2.66
D	0.020	0.026	0.51	0.66
F	0.115	0.130	2.93	3.30
G	0.094 BSC		2.39 BSC	
H	0.050	0.095	1.27	2.41
J	0.015	0.025	0.39	0.63
K	0.575	0.655	14.61	16.63
M	5° TYP		5° TYP	
Q	0.148	0.158	3.76	4.01
R	0.045	0.055	1.15	1.39
S	0.025	0.035	0.64	0.88
U	0.145	0.155	3.69	3.93
V	0.040	—	1.02	—

- STYLE 1:
 PIN 1. EMITTER
 2. COLLECTOR
 3. BASE

CASE 77-08
 TO-225AA TYPE
 ISSUE V