

การปรับปรุงผลตอบสนองที่เกิดการออสซิลเลท
ในแต่ละสเตปของสเตปมอเตอร์

โดย

นาย กาญจน์รัฐ กาญจนลักษณ์
นาย นพดล แซ่หินตั้ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
033197

ใบรับรอง

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2536
ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
 การปรับปรุงผลตอบสนองที่เกิดการออสซิลเลท
 ในแต่ละสเตปของสเตปมอเตอร์
 Improving single-step oscillation response of stepping
 motor

โดย

นาย กาญจน์รัฐ กาญจนลักษณ์ 33100017

นาย นพดล แหะหิ้นตั้ง 33100155



๒๐๔ ๑๒

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

การปรับปรุงผลตอบสนองที่เกิดการออสซิลเลทในแต่ละสเตปของสเตปมอเตอร์

Improving single-step oscillation response of stepping motor

โดย นาย กาญจณัฐ กาญจนลักษณะ 33100017
 นาย นพดล แชนตินตั้ง 33100155
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลตอบสนองชั่วขณะของสเตปมอเตอร์มักจะเกิดการออสซิลเลท ลักษณะเช่นนี้จะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนเมื่อมอเตอร์ได้ถูกขับแบบ 1 สเตปหรือเมื่อมันจะหยุดหลังจากทำการหมุน ซึ่งมีผลต่อเวลาที่ใช้โดยรวมของระบบ ดังนั้นถ้าหากว่าเราสามารถที่จะลดการออสซิลเลทลงได้มากเท่าใด การทำงานโดยรวมของระบบก็จะสามารถลดลงได้มากเท่านั้น นับเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเนื่องจากปัจจุบันสเตปมอเตอร์มีการนำมาใช้กันโดยแพร่หลาย การพัฒนาวิธีการที่สามารถลดการออสซิลเลทลงได้นับเป็นเรื่องจำเป็น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการขับสเตปมอเตอร์ โดยเริ่มจากการจ่ายพัลส์ศักดาต่ำที่มีขนาดเหมาะสมเป็นระยะเวลาเท่ากับการเกิดโอเวอร์ชูทสูงสุดของการจ่ายแบบ 1 เฟสต่อมาปรับระดับพัลส์เป็นขนาดศักดาสูงและจ่ายออกไปในเฟสเดียวกัน ควบคุมการจ่ายพัลส์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8032

ABSTRACT

It is well know that the transient response of step motors is generally oscillatory. This characteristic in the step motor is performing a single-step type of operation, or when it attempts to stop after a slewing operation. And this operation can effect the whole time speed of the system, thus we can define that the removing the oscillation abated, the less the whole system worked. this is very usefully because nowadays the stepping applied generally. The development on the method of the stepping motor driving, which can abate the oscillation is essential.

This Thesis present the method of the stepping motor driving. In the beginning, the low volt pulse is rightly contribute. The contributions should be equal to the highest overshoot generation of the one-phase-excitation in the time speeding Then the pulse is adjusted to the high volt pulse. And it's contributed to the same phase. The pulse contribution controlled by the 8032 Micro controller

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดีก็ด้วยความเมตตาจาก อาจารย์ โยธิน เปรมปราณีรัชต์อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำเอื้อเฟื้อทั้งเรื่องคำปรึกษา และอุปกรณ์ คุณเทพจิตร เซยโพคา , คุณมณฑา (เจ้าหน้าที่ภาคเครื่องกล) ในการใช้เครื่องมือ , คุณคุณวุฒิ อรรถสิทธิ์ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในอุปกรณ์การพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ชนิดของสเตปป์มอเตอร์	2
2.1 สเตปและการเพิ่ม	2
2.2 ชนิดของสเตปมอเตอร์	3
2.2.1 สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตน	3
2.2.2 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	10
2.2.3 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์	11
2.2.4 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์มีแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์	14
2.2.5 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรชนิดคลอว์โพล	14
2.2.6 สเตปมอเตอร์แบบโรเตอร์อยู่ภายนอก	17
2.2.7 สเตปมอเตอร์เชิงเส้น	17
2.3 การพันขดลวดแบบโมโนฟีลาและไบฟีลา	19
บทที่ 3 ระบบการขับและวงจรสำหรับการควบคุมสเตปป์มอเตอร์แบบวงจรเปิด	21
3.1 ระบบการขับ	21
3.2 ตัวจัดลำดับบล็อก	21
3.2.1 ตัวจัดลำดับการกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟส	21
3.2.2 ตัวจัดลำดับการกระตุ้น 1 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟส	24
3.2.3 ตัวจัดลำดับการกระตุ้น 1 เฟสสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส	24
3.2.4 ตัวจัดลำดับการกระตุ้น 3 เฟสสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส	26
3.2.5 ตัวจัดลำดับการกระตุ้นแบบ MSI	26
3.3 ตัวขับมอเตอร์	27
3.3.1 การเชื่อมต่อระหว่างตัวจัดลำดับและตัวขับ	27
3.3.2 ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตัวขับ	27
3.3.3 ชัฟเฟิลสเซอร์	28
3.3.4 การปรับปรุงการสร้างกระแส	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การควบคุมสเตปป์มอเตอร์แบบวงปิด	33
4.1 ข้อจำกัดของการควบคุมแบบวงปิด	33
4.2 ลีตแองเกิล	33
4.2.1 ลีตแองเกิลขนาดหนึ่งสเตปป์และขนาดใหญ่กว่า 1 สเตปป์	33
4.2.2 ลีตแองเกิลและสเตตติกทอร์ค	34
4.2.3 ลีตแองเกิลขนาดใหญ่สำหรับความเร็วสูง	35
4.2.4 การรวมกันระหว่างการกระตุ้น 1 เฟสและ 2 เฟส	36
4.3 การควบคุมระบบปิดโดยใช้ไมโครโปรเซสส์	39
บทที่ 5 ทฤษฎีพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของสเตปป์มอเตอร์	42
5.1 สมการพื้นฐาน	42
5.1.1 มอเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กถาวรและไฮบริดจ์มอเตอร์	42
5.2 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของสเตปป์มอเตอร์	46
5.2.1 การทำงานแบบเฟสเดียว	46
5.2.2 ขับโดยแหล่งจ่ายกระแส	48
5.2.3 การกระตุ้น 2 เฟสโดยแหล่งจ่ายศักดา	49
บทที่ 6 การลดการออสซิลเลตสเตปป์มอเตอร์	51
6.1 ประเภทของการหน่วง	51
6.2 วิธีการหน่วงของ BANG-BANG	53
6.3 วิธีการหน่วงแบบดีเลย์ลาสเตปป์	54
6.4 วิธีการหน่วงโดยปรับค่าโวลเตจใน TWO-PHASE-ON	55
6.5 วิธีการหน่วงโดยดีเลย์ช่วงเวลาเทินออฟ	57
บทที่ 7 การทดลอง	59
7.1 ส่วนประกอบของวงจรควบคุมมอเตอร์	59
7.2 การวัดผลตอบสนองของแต่ละสเตปป์	60
7.3 ส่วนของหน่วยควบคุม	63
7.4 การแปลงจากดิจิตอลเป็นอนาลอก	63
7.5 วิธีการขับสเตปป์มอเตอร์เพื่อลดโอเวอร์ชูท	66
7.6 ผลการทดลอง	68
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์	70
8.1 สรุป	70
8.2 วิจารณ์	70
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก โปรแกรมที่ใช้งาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งผู้พิมพ์ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		
2.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการขับมอเตอร์	2
2.2	ลำดับของอินพุตพัลส์และลำดับการกระตุ้น	2
2.3	มุมโรเตอร์และลำดับพัลส์สำหรับกรณีความถี่ต่ำ	3
2.4	การออสซิลเลท-การเคลื่อนที่อิสระมากกว่า 1 พัลส์	3
2.5	ภาพตัดด้านข้างของซิงเกิล-สแตค วีอาร์มอเตอร์	4
2.6	ภาพตัดด้านบนของวีอาร์สเตปปีงมอเตอร์ 3 เฟสและการพันขดลวด	4
2.7	ตำแหน่งสมดุลย์เมื่อกระตุ้นเฟส 1	4
2.8	เส้นของสนามแม่เหล็กที่สร้างทอร์ค	4
2.9	การเคลื่อนที่เป็นสเตปจากเฟส 1 มาเฟส 2	5
2.10	การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตช์เป็นลำดับในวีอาร์มอเตอร์	5
2.11	เปรียบเทียบฟลักซ์ในช่องแคบและกว้าง	5
2.12	ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 15 องศา	6
2.13	สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์มอเตอร์ 4 เฟสมุมสเตป 7.5 องศา	6
2.14	ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟสซีฟัน 2 ซี่ต่อหนึ่งโพล;จำนวนของซีฟันเท่ากับ 14 มุมสเตป	8.25 6
2.15	ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส	7
2.16	ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟสจำนวนซีฟัน 44 จำนวนสเตป 132	7
2.17	ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 4 เฟสจำนวนซีฟัน 50 จำนวนสเตป 200 มุมสเตป 1.8 องศา	8
2.18	วีอาร์มอเตอร์ 6 เฟส, 1.2 องศา	8
2.19	โครงสร้างของมัลติ-สแตค วีอาร์มอเตอร์	8
2.20	สเตเตอร์และโรเตอร์ของ 5 สแตคแบบแซนวิช	9
2.21	ภาพตัดตามแนวแกนของวีอาร์มอเตอร์ 5 สแตคแบบแซนวิช	9
2.22	สนามแม่เหล็กเฮเทอโรโรโพล่าและยูนิโพล่า	9
2.23	มัลติสแตควีอาร์มอเตอร์แบบเฮเทอโรโรโพล่า	9
2.24	ภาพตัดของพีเอ็มมอเตอร์ 4 เฟส	10
2.25	วงจรรับพื้นฐานของมอเตอร์ 4 เฟส	10
2.26	การสเตปของพีเอ็มมอเตอร์ 4 เฟส	10
2.27	พีเอ็มมอเตอร์มุมสเตป 45 องศา	11
2.28	แสดงภายในของไฮบริดจ์มอเตอร์	11
2.29	โครงสร้างของไฮบริดจ์มอเตอร์	12
2.30	โครงสร้างโรเตอร์ของไฮบริดจ์มอเตอร์	12
2.31	แนวของเส้นแรงแม่เหล็กในไฮบริดจ์มอเตอร์	12
2.32	ซีฟันสเตเตอร์ที่อยู่เยื้องกัน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.33 ภาพคลื่นของไฮบริดจัมมอเตอร์ 4 เฟส	13
2.34 ไฮบริดจัมมอเตอร์ 3 สเตจ	14
2.35 สเตเตอร์และโรเตอร์ของไฮบริดจัมมอเตอร์	15
2.36 ภาพตัดตามแนวแกนของไฮบริดจัมมอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์	15
2.37 คลาวโพลฟีเอ็มมอเตอร์	15
2.38 แสดงการทำให้โรเตอร์เป็นแม่เหล็ก	16
2.39 แสดงการจ่ายกระแสให้คลาวโพลฟีเอ็มมอเตอร์	16
2.40 การเกิดสเตปในคลาวโพลฟีเอ็มมอเตอร์	16
2.41 วีอาร์มอเตอร์แบบโรเตอร์อยู่ภายนอก	17
2.42 ภาพตัดตามแนวแกนของมอเตอร์แบบโรเตอร์อยู่ภายนอก	17
2.43 ลิเนียร์วีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส	18
2.44 ความสัมพันธ์ระหว่างซีพินของสเตเตอร์, ซีพินตัวสไลด์และการพันลวด	18
2.45 แสดงหลักการของลิเนียร์มอเตอร์	19
2.46 ภาพตัดตามแนวแกนของลิเนียร์ฟีเอ็มมอเตอร์	19
2.47 โครงสร้างของลิเนียร์ฟีเอ็มมอเตอร์	20
2.48 การพันแบบไบฟีลา	20
2.49 วงจรกระตุ้นพื้นฐาน 3 แบบ	20
3.1 บล็อกไดอะแกรมของการขับสเตปมอเตอร์	21
3.2 ตัวจัดลำดับลอจิกแบบทิศทางเดียวสำหรับการกระตุ้น 2 เฟส	23
3.3 ตัวเลือกลอจิกสำหรับคำสั่งเลือกทิศทางหมุน	23
3.4 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางแบบกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟส	23
3.5 ตัวจัดลำดับลอจิกสำหรับการกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟสอีกแบบ	24
3.6 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางสำหรับการกระตุ้น 1 เฟสมอเตอร์ 4 เฟส	24
3.7 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางสำหรับการกระตุ้น 1 เฟสมอเตอร์ 4 เฟส	25
3.8 ตัวจัดการจ่ายพัลส์ทิศทางเดียวสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส	25
3.9 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส	26
3.10 ตัวจัดลำดับลอจิก Sanyo' Cmos monolithic	26
3.11 ตัวอย่างของการต่อระหว่างตัวจัดลำดับและตัวขับ	27
3.12 วงจรสมมุทธ์ของขดลวดในสเตปมอเตอร์	27
3.13 ไดโอดซัพเพรสเซอร์	28
3.14 ไดโอด-ความต้านทานซัพเพรสเซอร์	28
3.15 ซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์	29
3.16 กราฟเปรียบเทียบผลของซัพเพรสเซอร์แบบต่างๆ	29
3.17 ตัวอย่างตัวขับ 4 เฟสและซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์	29
3.18 ตัวขับ 4 เฟสและคอนเดนเซอร์ซัพเพรสเซอร์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.19 กราฟพูล-เอาท์ทอร์คซึ่งมีคอนเดนเซอร์เชื่อมระหว่างเฟสวัดจากวงจรในรูป 3.18	30
3.20 ศักย์ไฟฟ้าของการเกินอพทรานซิสเตอร์ แปรตามค่าตัวเก็บประจุที่พูลเอาท์ทอร์คสูงสุด	30
3.21 ปรับปรุงการสร้างกระแสโดยต่อความต้านทานอนุกรมกับขดลวด	31
3.22 ปรับปรุงการสร้างกระแสโดยใช้โวลเตจจ์คู่	32
3.23 กราฟระหว่างศักดาไฟฟ้าและกระแสในตัวขับแบบโวลเตจจ์คู่	32
3.24 ตัวขับแบบโวลเตจจ์คู่สำหรับ 2 เฟสของมอเตอร์ 4 เฟส	32
4.1 ตัวอย่างการทำงานแบบวงปิด	33
4.2 กราฟระยะทางและเวลาในการทำงานแบบวงปิด	34
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลิตแองเกิลและสแตติกทอร์คในมอเตอร์ 3 เฟส	34
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างลิตแองเกิลและสแตติกทอร์คในมอเตอร์ 4 เฟส	35
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสในลิตแองเกิลขนาดหนึ่งสเตป	36
4.6 ค่าเฉลี่ยทอร์คเพิ่มโดยเพิ่มลิตแองเกิลในช่วงความเร็วสูง	36
4.7 การป้อนกลับทางตำแหน่งโดยออปติคัลเอนโคดเดอร์	37
4.8 หลักการของออปติคัลเอนโคดเดอร์	37
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาท์พุทของเอนโคดเดอร์และตำแหน่งสมดุลย์ของการกระตุ้น 1 เฟส	37
4.10 กราฟของความเร็วและระยะทาง	39
4.11 แสดงระบบปิด	39
4.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบปิด	40
4.13 เซ็ท-รีเซ็ทฟิลิปพลอป	40
4.14 การเคลื่อนย้อนกลับและสัญญาณนาฬิกา	40
4.15 แสดงการออสซิลเลทซึ่งไม่เปลี่ยนสภาวะของตัวบอกทิศทาง	40
5.1 แบบของสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การหน่วงด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	42
5.2 สเตปปีงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์	43
5.3 การควบคุมตำแหน่งของโรเตอร์	43
5.4 ทอร์คและระยะการเคลื่อนที่ และการประมาณค่าโดยเส้นตรง	48
6.1 ผลตอบสนองซิงเกิลสเตป 1 เฟสเอ็ทไซท์	51
6.2 ผลตอบสนอง ซิงเกิลสเตป 2 เฟสเอ็ทไซท์	51
6.3 ผลตอบสนองซิงเกิลสเตป 1 เฟสเอ็ทไซท์ inertial load	52
6.4 ผลตอบสนองซิงเกิลสเตป 2 เฟสเอ็ทไซท์ inertial load	53
6.5 สแตติกทอร์คเคิฟ โดยการหน่วงของแบง-แบง	53
6.6 ผลตอบสนองซิงเกิลสเตปโดยวิธีการของแบง-แบง	54
6.7 สแตติกทอร์คเคิฟแสดงหลักการของดีเลย์ลาสเตป	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.11	ผลตอบสนองซิงเกิลสเตป twphase LV 14 v inertial load	56
6.12	จังหวะการป้อนพัลซในการขับสเตปมอเตอร์แบบ 1 เฟส	57
6.13	ผลตอบสนองแต่ละสเตป	57
6.14	จังหวะป้อนพัลซในสเตปมอเตอร์แบบมีติเลย์โทม	58
7.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนวงจรที่ใช้ในการทดลอง	59
7.2	บล็อกไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดผลตอบสนอง	60
7.3	แสดงการนับขึ้นของวงจรนับขึ้นลง	60
7.4	แสดงการนับลงของวงจรนับขึ้นลง	60
7.5	การนำสัญญาณจากเอนโคเดอร์มาเป็นสัญญาณนับขึ้น	61
7.6	การนำสัญญาณจากเอนโคเดอร์มาเป็นสัญญาณนับลง	61
7.7	นำสัญญาณจากสัญญาณนับขึ้นลงมาใช้กับวงจรนับขึ้นลง	62
7.8	แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุม	63
7.9	แสดงการใช้งาน 8255 เพื่อให้ซีพียู ควบคุมอุปกรณ์ได้ดีขึ้น	63
7.10	แสดงการทำงานของ r to 2r DAC	64
7.11	แสดงวงจรสมมูลย์ของ DAC อีกรูปแบบหนึ่ง	65
7.12	แสดงการใช้งาน MC 1408	65
7.13	แสดงการขับแบบวิธีที่ 1	66
7.14	แสดงการขับแบบวิธีที่ 2	67
7.15	แสดงการขับแบบวิธีที่ 3	67
7.16-7.20	แสดงผลการทดลอง	68-69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง

3.1	ลोजิกเกตและหน้าที่	22
4.1	ความสัมพันธ์ของลิตแอนจิล, ตำแหน่งสมดุลย์และเฟสที่จะถูกกระตุ้นในมอเตอร์ 4 เฟส	38
4.2	ความสัมพันธ์ของลิตแอนจิล, ตำแหน่งสมดุลย์และเฟสที่จะถูกกระตุ้นในมอเตอร์ 4 เฟส	38



คำอธิบายสัญลักษณ์

τ	:	ทอร์ค
Φ_M	:	ค่าฟลักซ์สูงสุด
θ	:	มุมเชิงกล
L	:	ค่าความเหนียวนำ
M	:	ค่าความเหนียวนำรวม
a	:	ขนาดของฟลักซ์
t_p, T_p	:	พีคไทม์
p	:	คู่ของขั้วแม่เหล็ก
ω_n	:	ความถี่ธรรมชาติ
ζ	:	มุมทางไฟฟ้า
s	:	รูปของลาปลาซทรานสฟอร์ม



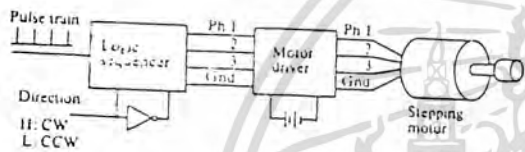
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

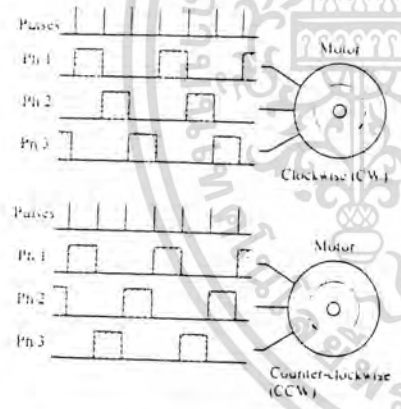
ชนิดของสเตปปีงมอเตอร์

2.1) สเตปและการเพิ่ม (step and increment)

ในปัจจุบันการใช้เครื่องจักรที่ใช้การควบคุมเชิงตัวเลขและคอมพิวเตอร์มีอยู่ทั่วไป ข้อมูลจะถูกบันทึกด้วยช่อง 8 ช่องต่อบรรทัด ระหว่างช่องที่ 3 และ 4 จะมีช่องที่เรียกว่าโกดโฮลสำหรับช่วยเลื่อนกระดาษ ช่องระหว่างบรรทัดจะห่างกัน 1/10 นิ้ว (=2.54 มม.) ซึ่งเทปที่ทำจากมือหรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วยจะถูกสั่งให้เคลื่อนครั้งละ 2.54 มม. วิธีที่ง่ายคือส่งสัญญาณพัลสมาให้ลอจิกซีควเอนเซอร์ (logic sequencer) ให้ขับเคลื่อนไปที่ละสเตปหมุนแกนที่เลื่อนเทปแต่ละครั้ง เป็นระยะ 2.54 มม. แต่วิธีการอื่นคือขับเคลื่อนแบบหลายสเตปเพื่อที่จะเคลื่อนเทปไป 1 บรรทัด ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ 4 เฟสหมุนต่อสเตปเท่ากับ 1.8 องศา สามารถที่จะเคลื่อนเทปไป 1 บรรทัด ด้วยการสเตป 4 ครั้งเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนที่ใช้เลื่อนเทปจะลดไปเหลือ 1 ใน 4 อินเนอเทีย (inertia) ลดเหลือ $(1/4)^2$ ของการเคลื่อนแบบ 1 ครั้ง



รูป 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์



รูป 2.2 ลำดับของอินพุตพัลส์และลำดับการกระตุ้น

ลักษณะของสเตปมอเตอร์จากการทำงาน

ลักษณะของการควบคุมแบบเปิด จะถูกนำมากล่าวถึงและทอเมททางเทคนิคบางส่วนจะอธิบาย ณ ที่นี้

1) มุมของการสเตป (step angle) สเตปมอเตอร์หมุนตลอดมุมที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละพัลส์ ค่าของมุมนั้นเรียกว่ามุมสเตป มีหน่วยเป็นองศา (degree) ยิ่งมุมสเตปขนาดเล็กมากเท่าไรจะมีผลต่อการเคลื่อนตำแหน่งต่อรอบมากขึ้นเท่านั้น จำนวนของการสเตปต่อรอบหรือเพื่อความสะดวกเรียกว่าจำนวนสเตป (step number) แทนด้วย s สัมพันธ์กับมุมสเตป θ_s ดังนี้

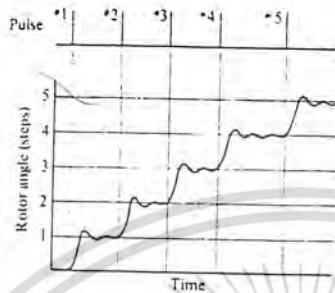
$$s = 360 / \theta_s$$

มอเตอร์แบบ 4 เฟสมาตรฐาน จะมีจำนวนสเตปเท่ากับ 200 มอเตอร์บางตัวถูกออกแบบมาให้มีจำนวนสเตปเท่ากับ 500 หรือ 2000 แต่บางทีมีมุมสเตปกว้างถึง 15 , 45 หรือ 90 องศา

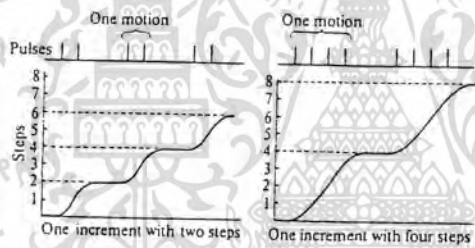
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ 1 ครั้ง ที่ทำให้เทปกระดาษเคลื่อนที่ 2.54 มม ในกรณีข้างบนมักจะเรียกว่าการเพิ่ม 1 ครั้ง ซึ่งแสดงได้จากการสเตป 1 ครั้งในกรณีแรกหรือการสเตป 4 ครั้งในกรณีต่อมา ระบบดังในรูป 1.1 มอเตอร์จะหยุดใน คาบเวลาแน่นอนหลัก จากการเคลื่อนที่ 1 ครั้ง ลักษณะการเริ่มและที่หยุดการเคลื่อนที่ซ้ำๆกันนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบเพิ่ม (incremental motion) และการควบคุมที่สัมพันธ์กันนี้เรียกว่า incremental motion control รูป 2.3 และ รูป 2.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสเตป และการเพิ่ม รูป 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์ และพัลส์ที่เข้ามายังลอจิกซีควเอนเซอร์ สมมติว่าความถี่ของพัลส์มีค่าต่ำ รูปที่ 2.4 แสดงถึงการเพิ่ม 1 ครั้ง แบบ 2 หรือ 4 สเตป ตามปกติผลตอบสนองแบบ 1 สเตป จะมีการสั่งตั้งแสดงในรูป 2.3

2)ความเที่ยงตรงของตำแหน่ง(high positioning accuracy) ความเที่ยงตรงของตำแหน่งนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการตัดสินใจคุณภาพของสเตปมอเตอร์



รูป 2.3 มุมโรเตอร์และลำดับพัลส์สำหรับกรณีความถี่ต่ำ



รูป 2.4 การออสซิลเลท-การเคลื่อนที่อิสระมากกว่า 1 พัลส์

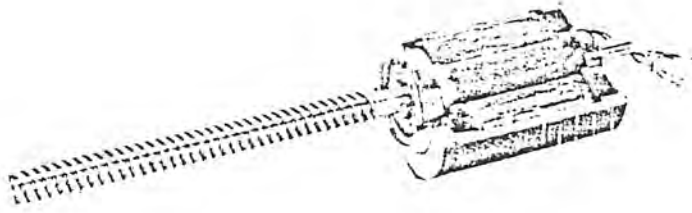
2.2 ชนิดของสเตปมอเตอร์

สเตปมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดด้วยกันตามโครงสร้างและหลักการทำงาน

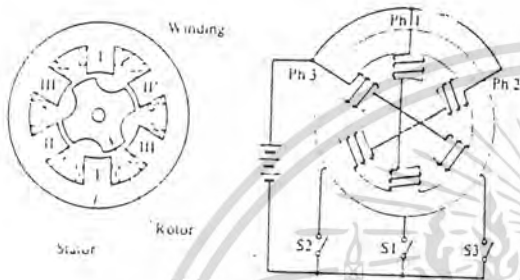
2.2.1 สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตน(variable stepping motor, vr motor)

สเตปมอเตอร์แบบนี้ถือว่าเป็นแบบพื้นฐานที่สุด โครงสร้างภายในแสดงดังรูป 2.5 ส่วนฝั่งของตัวมอเตอร์แสดงในรูป 2.6 เพื่อจะใช้อธิบายหลักการพื้นฐาน ตามรูปเป็นมอเตอร์แบบ 3 เฟส จำนวนฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 6 ในแต่ละเฟสจะมีขดลวดที่พันอยู่บนซี่ฟันของสเตเตอร์จำนวน 2 ซึ่งอยู่ห่างกันทำมุม 180 องศา ซึ่งขดลวดในเฟสเดียวกันจะต่อแบบอนุกรมหรือขนานกัน(ตามรูปต่อแบบอนุกรม) ส่วนโรเตอร์มีจำนวนซี่ฟันเท่ากับ 4 โดยปกติสเตเตอร์ และโรเตอร์ทำมาจากซิลิกอนสตีล ทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ต้องมีการชุบเคลือบสีสูงและยอมให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านได้ถึงแม้จะมีแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่ำ เราจะเห็นว่าฟัน 2 ซี่ในเฟสเดียวกันของสเตเตอร์จะมีขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกันตามรูป 2.6 ฟันซี่ที่ I , II , III จะเป็นขั้วเหนือและฟันที่ I' , II' , III' เป็นขั้วใต้เมื่อถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.5 ภาพตัดด้านข้างของซิงเกิลสแตทรี-อาร์มอเตอร์

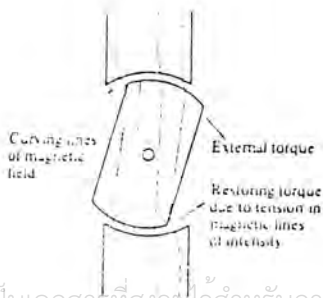


รูป 2.6 ภาพตัดด้านบนของวีอาร์สเดปป์มอเตอร์ 3 เฟสและการพันขดลวด

กระแสในแต่ละเฟสถูกควบคุมใน ออน-ออฟ โหมด (on/off mode) โดยการสวิตช์ที่เหมาะสม ถ้าหาก Ph 1 ถูกกระตุ้นฟลักซ์แม่เหล็กจะเกิดดังรูปที่ 2.7 ฟลักซ์ของโรเตอร์จะมาอยู่ในแนวเดียวกันกับฟลักซ์ของสเตเตอร์ 1 และ 1' ซึ่งทำให้มีค่าความต้านทานแม่เหล็ก (magnetic reluctance) ต่ำที่สุดและในสภาวะนี้โรเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่สมดุลย์ ถ้าหากว่าโรเตอร์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปจากจุดสมดุลย์โดยแรงบิดจากภายนอกที่มากระทำ (external torque) กับแกนของโรเตอร์ จะเกิดแรงบิด (restoring torque) ขึ้นมาต้านดังแสดงในรูป 2.8 ซึ่งแรงจากภายนอกพยายามจะทำให้โรเตอร์หมุนไปทิศตามเข็มนาฬิกา (cw) และโรเตอร์จะเปลี่ยนตำแหน่งไปในทิศเดียวกัน เป็นผลให้เกิดการโค้งงอของเส้นแรงแม่เหล็กที่บริเวณมุมซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ ซึ่งรู้จักกันดีในเรื่องของ Maxwell stress เส้นแรงแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นจะมีแรงบิดที่สูง หรือในอีกแง่หนึ่งเส้นแรงแม่เหล็กมีแนวโน้มที่จะวางตัวในแนวตรงและสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในรูป 2.8 ผลจากที่กล่าวมาทำให้มีแรงบิดในทิศทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้ซี่ฟันโรเตอร์วางตัวในแนวเดียวกับซี่ฟันของสเตเตอร์



รูป 2.7 ตำแหน่งสมดุลย์เมื่อกระตุ้นเฟส 1

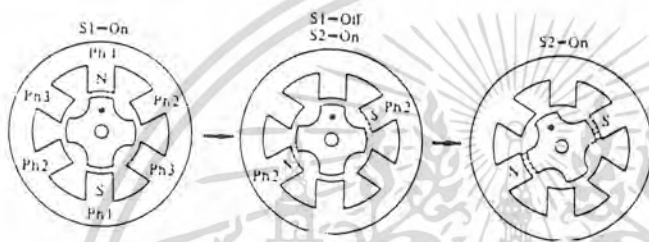


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูป 2.8 เส้นของสนามแม่เหล็กที่สร้างทอร์ค
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

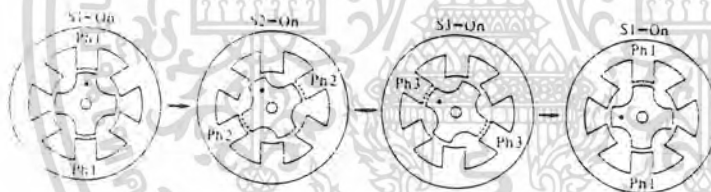
ดูจากรูปเดียวกัน เมื่อซี่ฟันโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันในเฟสที่ถูกกระตุ้นค่าความแม่เหล็กมีค่าสูง VR มอเตอร์จะทำงานในลักษณะที่จะลดให้ค่าของความต้านทานแม่เหล็กมีค่าต่ำลง ต่อจากนี้จะมาดูว่าอะไรเกิดขึ้นเมื่อ Ph1 หยุดการกระตุ้นแต่กระตุ้น Ph2 ทำให้ค่ารีลักแตนสูงขึ้นหลังเกิดการสวิตช์ ตามรูป 2.9 โรเตอร์ จะทำการหมุนเป็นมุม 30 องศาในทิศทางเข็มนาฬิกาเพื่อที่จะลดค่ารีลักแตนให้น้อยลง หลังจากที่มีการสวิตช์ครบ 3 เฟสแล้วโรเตอร์ก็จะกลับมายู่ตำแหน่งเดิมดังรูป 2.10

ต่อไปจะเป็นการบ่งชี้ถึงโครงสร้างของ VR มอเตอร์

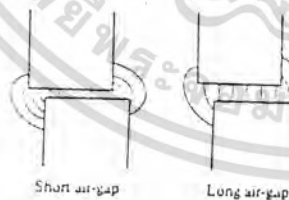
(ก) ช่องอากาศ (air-gap) ควรจะเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องอากาศระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ควรจะเล็กเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้เกิดแรงบิดที่มีค่าสูงและเพื่อให้ได้ความเที่ยงตรงของตำแหน่งสูง เปรียบเทียบระหว่างช่องอากาศที่กว้างและแคบในรูป 2.11



รูป 2.9 การเคลื่อนเป็นสเตปจาก Ph1 มายัง Ph2



รูป 2.10 การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตช์เป็นลำดับในวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส



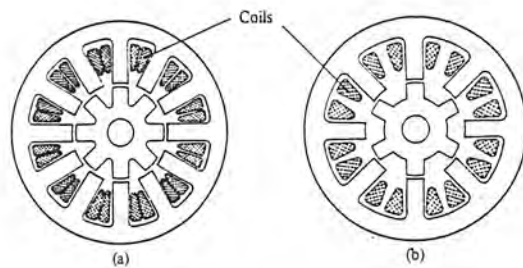
รูป 2.11 เปรียบเทียบเส้นฟลักซ์ในช่องแคบและกว้าง

ในแรงเคลื่อนแม่เหล็กขนาดเดียวกันช่องอากาศขนาดเล็กจะมีเส้นแรงแม่เหล็กที่ให้แรงบิดสูงกว่าดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมการเคลื่อนจากจุดสมดุลในช่องอากาศขนาดเล็กจึงน้อยกว่า เมื่อมีแรงบิดจากภายนอกมากกระทำขนาดของช่องอากาศในมอเตอร์รุ่นใหม่มีตั้งแต่ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร

(ข) มุมสเตปขนาดเล็ก ลักษณะอย่างหนึ่งของสเตปมอเตอร์ที่เป็นไปได้คือมุมสเตปขนาดเล็ก

มุมสเตปขนาด 30 องศาในรูปที่ 2.7 ไม่ใช่มุมสเตปขนาดเล็ก รูป 2.12(a) แสดงมอเตอร์ 3 เฟส มีจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 12 ของโรเตอร์เท่ากับ 8 และรูป 2.12(b) แสดงมอเตอร์ 4 เฟส มีซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 8 โรเตอร์เท่ากับ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.12 ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์มมสเตรปเท่ากับ 15 องศา

a) มอเตอร์ 3 เฟสจำนวนซี่ฟันสเตเตอร์=12 จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ =8

b) มอเตอร์ 4 เฟสจำนวนซี่ฟันสเตเตอร์ =8 ซี่ฟันโรเตอร์=6

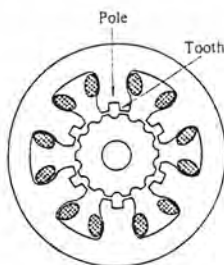


รูป 2.13 สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์มอเตอร์ 4 เฟสมมสเตรป 7.5 องศา

รูป 2.13 มอเตอร์ 4 เฟสมมสเตรป 7.5 องศาจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์เท่ากับ 16 ส่วนของโรเตอร์เท่ากับ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างมมสเตรป θ_s จำนวนเฟส m ซี่ฟันของโรเตอร์ N_r และจำนวนสเตป S

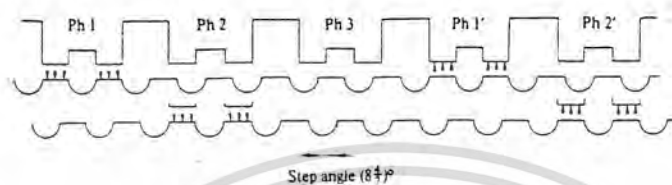
$$S = 360/\theta_s = mN_r$$

เพื่อที่จะลดมมสเตรปจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ต้องเพิ่มมากขึ้นและจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์จะเพิ่มขึ้น แต่จะไม่เกี่ยวกับสมการข้างบน



รูป 2.14 ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส ซี่ฟัน 2 ซี่ ต่อหนึ่งโพล จำนวนซี่ฟันเท่ากับ 14 มมสเตรป 8.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.15 ภาพคลื่นของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส

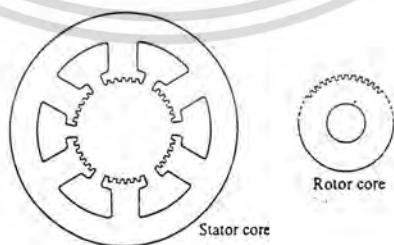
รูปหน้าตัดของ VR สเตปมอเตอร์ซึ่งมีมุมสเตปขนาดเล็กตั้งรูป 2.14 ส่วนที่ยื่นออกมา และมีการพันขดลวดไว้เรียกว่าขั้ว ขั้วจะมีจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ 2 หรือมากกว่ามีขั้วแม่เหล็กเดียวกันตลอดเวลา ถ้าหากซี่ฟันโรเตอร์มีจำนวนเท่ากับ 14 มีเฟส 3 เฟส

จำนวนสเตปจะเท่ากับ $3 \times 14 = 42$ สเตป มุมสเตปเท่ากับ $(360/42)=8.57$ องศา

ตัวอย่างต่อมาจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์เพิ่มเท่ากับ 44 ในมอเตอร์ 3 เฟสตามรูป 2.16 จำนวนของสเตปต่อรอบเท่ากับ 132 ตัวอย่างของมอเตอร์ 4 เฟสซี่ฟันของโรเตอร์เท่ากับ 50 ตามรูป 2.17 มุมของสเตปเท่ากับ 1.8 องศา และจำนวนสเตปต่อรอบ เท่ากับ 200 รูป 2.18 แสดง VR มอเตอร์ 6 เฟสมุมสเตป 1.2 องศา

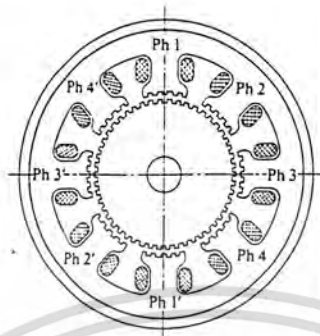
(ค) แบบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น (Multi-stack type and single-stack type)

VR สเตปมอเตอร์ที่อธิบายข้างต้นทั้งหมดเป็นแบบชั้นเดียวหรือซิงเกิลสแตค VR สเตปมอเตอร์ชนิดอื่นเป็นแบบหลายชั้นหรือมัลติสแตคหรือคาสเคด (cascade type) รูปตัดด้านข้างของมอเตอร์ 3 ชั้นแสดงในรูป 2.19 ในแบบนี้แต่ละชั้นหรือแต่ละสแตคจะถูกตุน 1 เฟส และระยะห่างของซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์เท่ากัน ตอนนี้อธิบาย-มูตติเฟสที่ 3 ถูกกระตุ้นซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์อยู่ในแนวเดียวกันในจังหวะนี้



รูป 2.16 ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 3 เฟสจำนวนซี่ฟัน 44 จำนวนสเตป 132

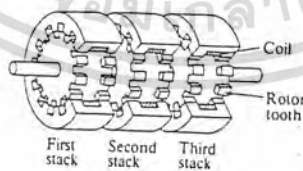
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.17 ภาพตัดของวีอาร์มอเตอร์ 4 เฟสจำนวนซี่ฟัน 50 จำนวนสเตป 200 มุมสเตป 1.8 องศา เฟสอื่นหรือชั้นอื่นซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันห่างกันประมาณ 1/3 เท่าของระยะซี่ฟัน ถ้าหากว่าการกระตุ้นเริ่มจากเฟส 3 สู่เฟส 1 โรเตอร์จะหมุน ไปในทิศตามเข็มนาฬิกาถ้าหากว่าการกระตุ้นเริ่มที่เฟส 2 โรเตอร์จะหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา



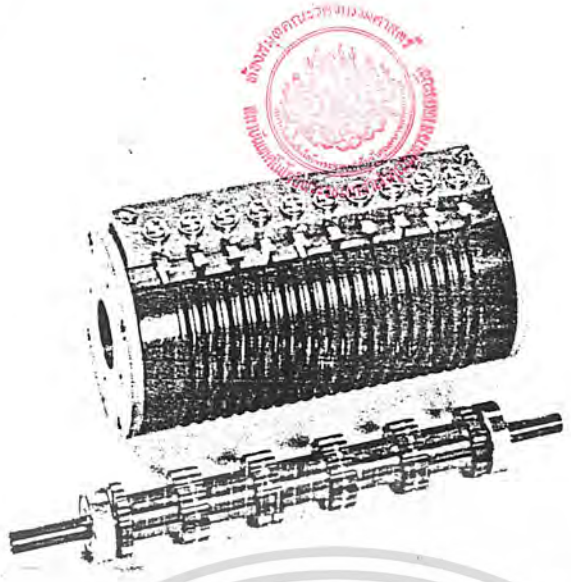
รูป 2.18 วีอาร์มอเตอร์ 6 เฟส 1.2 องศา



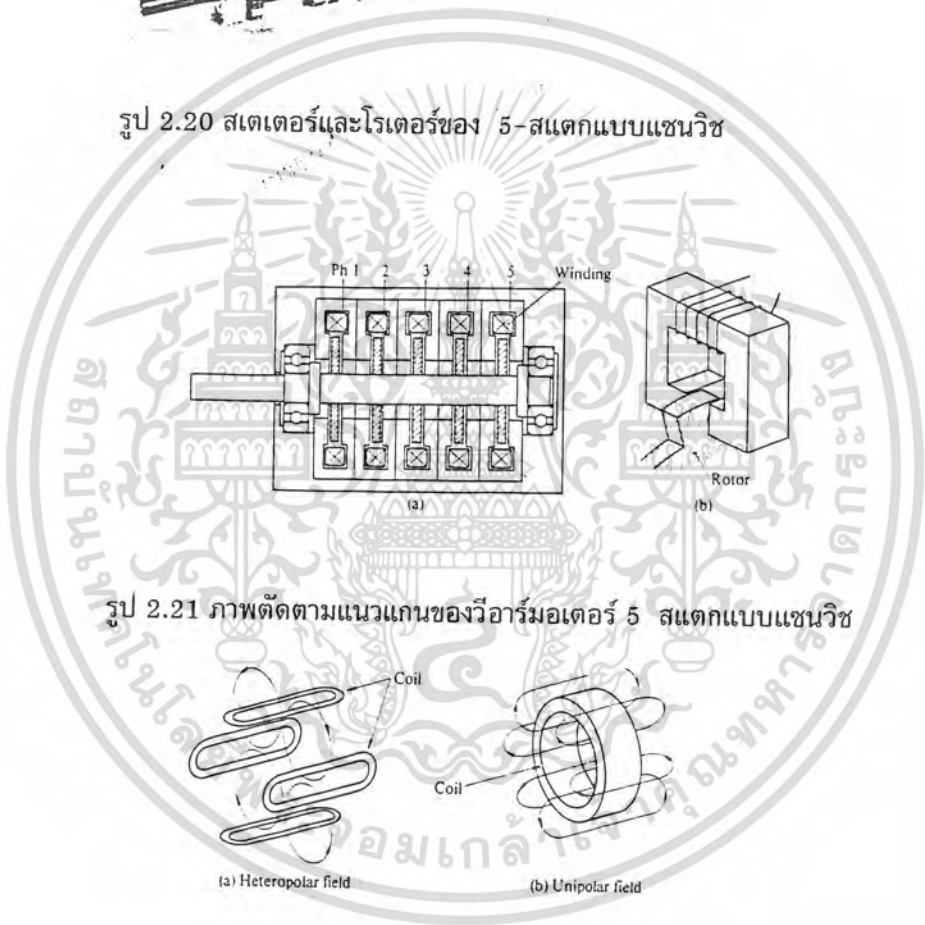
รูป 2.19 โครงสร้างของมัลติ-สแตค วีอาร์มอเตอร์

รูป 2.20 แสดงสเตเตอร์และโรเตอร์แบบ 5 สแตค รูป 2.21(a) แสดงโครงสร้างของ VR มอเตอร์ 5 เฟสแบบมัลติสแตครูป 2.21(b) แสดงหลักการพื้นฐานของตัวมอเตอร์ซึ่งซี่ฟันของโรเตอร์จะถูกประกบด้วยซี่ฟันของสเตเตอร์ โครงสร้างแบบนี้ให้แรงบิดสูงจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ดี สนามแม่เหล็กที่กระจายอยู่ในมอเตอร์จะมีแบบขั้วเดียวและหลายขั้ว (heteropolar and unipolar magnetic field) แสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

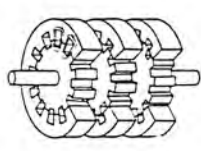


รูป 2.20 สเตเตอร์และโรเตอร์ของ 5-สแตกแบบเซนวิช



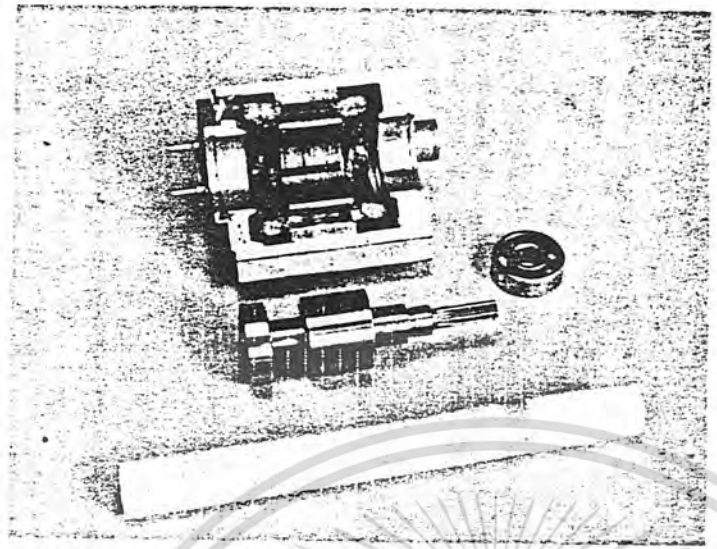
รูป 2.21 ภาพตัดตามแนวแกนของวีอาร์มอเตอร์ 5 สแตกแบบเซนวิช

รูป 2.22 สนามแม่เหล็กเฮเทอโรโรโปลาและยูนิโปลา



รูป 2.23 มัลติสแตกวีอาร์มอเตอร์แบบเฮเทอโรโรโปลา

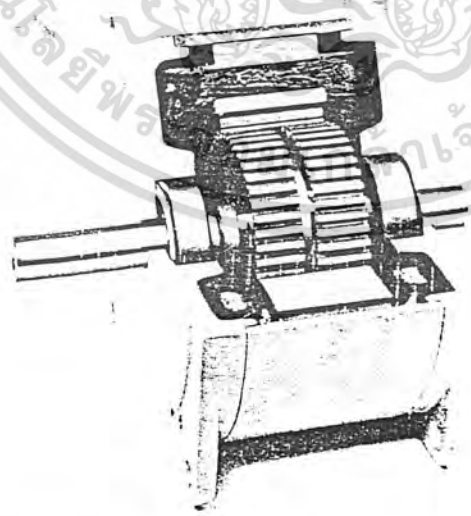
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.27 พีเอ็มมอเตอร์มุมสเตป 45 องศา

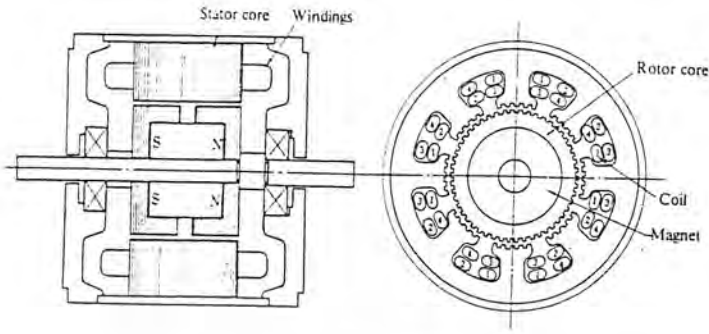
2.2.3 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์

สเตปมอเตอร์แบบมีขั้วแม่เหล็กถาวรอีกแบบได้แก่สเตปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์คำว่าไฮบริดจ์ได้มาจากการที่มอเตอร์ทำงานภายใต้สภาวะพื้นฐาน 2 ประการคือขั้วแม่เหล็กถาวรและการแปรค่ารีลัคแตนรูปตัดด้านบนและด้านข้างของสเตปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ที่ใช้ในปัจจุบันแสดงดังรูป 2.28 และ 2.29 โครงสร้างของสเตเตอร์ใกล้เคียงกับของ VR มอเตอร์ที่แสดงในรูป 2.17 แต่การพันขดลวดและการเชื่อมต่อขดลวดแตกต่างกันออกไป ใน VR มอเตอร์มีเพียงการพันขดลวดเดียวของแต่ละเฟสบนแต่ละขั้ว ในขณะที่ไฮบริดจ์มอเตอร์แบบ 4 เฟสขดลวด 2 ขดซึ่งต่างเฟสกันพันบนขั้วเดียวกัน ดังรูป 2.28 ดังนั้น 1 ขั้วไม่ได้มีเพียง 1 เฟส โครงสร้างที่สำคัญส่วนอื่นของมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ได้แก่โรเตอร์ซึ่งมีแม่เหล็กรูปทรงกระบอกวางตัวตามแกนของโรเตอร์ แสดงดังรูป 2.3 และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กแบบขั้วเดียวดังรูป 2.31



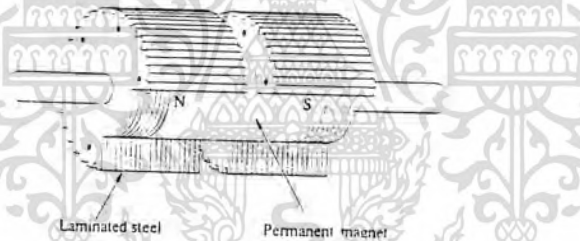
รูป 2.28 แสดงภายในของไฮบริดจ์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

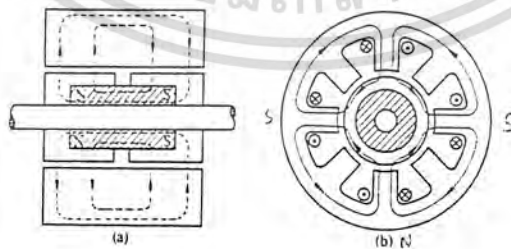


รูป 2.29 โครงสร้างของไฮบริดจัมเตอร์

สนามแม่เหล็กกำเนิดโดยขดลวดสเตเตอร์เป็นแบบสนามแม่เหล็กหลายขั้ว (heteropolar field) ดังรูป 2.31(b)มอเตอร์ชนิดนี้แรงบิดสร้างจากปฏิกิริยาของสนามแม่เหล็ก 2 ชนิดบริเวณซี่ฟันตรงช่องอากาศ เพื่อที่จะใช้ในการอธิบายดูรูป 2.33ซึ่งระยะห่างของซี่ฟันสเตเตอร์และโรเตอร์เท่ากัน ในมอเตอร์บางตัวระยะห่างซี่ฟันสเตตอร์น้อยกว่าของโรเตอร์เล็กน้อย เพื่อที่จะลดแรงหน่วงและเพิ่มความแม่นยำทางตำแหน่ง รูปด้านบนแสดงถึงหน้าตัดด้านขั้วใต้ของแม่เหล็ก ส่วนรูปล่างแสดงด้านขั้วเหนือ ตามรูปเราจะพิจารณาสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณขั้ว I และ III ขั้ว I จะถูกกระตุ้นให้เกิดขั้วเหนือ ขั้ว III เป็นขั้วใต้



รูป 2.30 โครงสร้างโรเตอร์ของไฮบริดจัมเตอร์

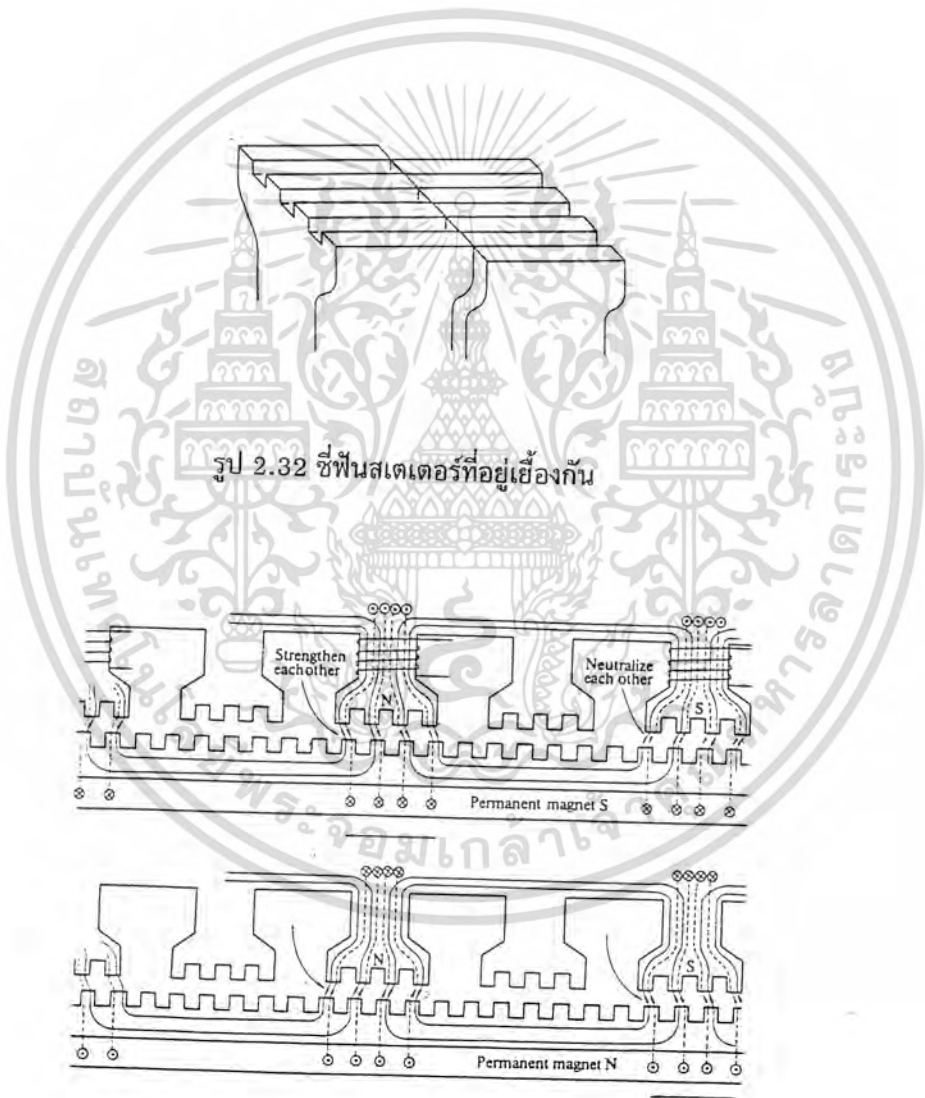


รูป 2.31 แนวของเส้นแรงแม่เหล็กในไฮบริดจัมเตอร์

- a) ฟลักซ์ของโรเตอร์ที่เป็นเส้นแรงแม่เหล็กสร้างสนามแบบยูนิโพลลา
- b) แสดงฟลักซ์ที่กระจายแบบเซทเทอร์โรโพลลาจากกระแสที่สเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการแรกต้องคิดว่าเสมอว่าแรงบิดไม่ได้มาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเพียงอย่างเดียวเหมือนกับ VRมอเตอร์เพราะซี่ฟันของโรเตอร์ด้านซ้ายเหนือและซ้ายใต้ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน แต่ห่างกันประมาณครึ่งหนึ่งของระยะห่างซี่ฟัน แม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้างแรงบิดในทิศตรงข้าม ตอนนี้มาพิจารณาว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กจากขดลวดกับแม่เหล็กถาวรทับกัน แรงที่ทำให้เคลื่อนไปทางซ้าย (\leftarrow) จะปรากฏที่ซี่ด้านบนเนื่องจากสนามแม่เหล็กที่บริเวณซี่ I เสริมกัน ขณะที่สนามแม่เหล็กบริเวณซี่ III มีทิศตรงข้ามกันทำให้แรงบิดไปทางขวามีน้อย ซึ่งบริเวณครึ่งล่างของมอเตอร์ก็เกิดแรงในลักษณะเดียวกันแต่สนามแม่เหล็กที่เสริมกันอยู่บริเวณซี่ III และสนามที่มีทิศตรงข้ามอยู่บริเวณซี่ I ทำให้เกิดแรงไปทางซ้ายเช่นเดียวกับด้านบน หลังจากที่โรเตอร์เคลื่อนไปเป็นระยะเศษหนึ่งส่วนสี่ของระยะซี่ฟันแรงบิดจะลดลงเป็นศูนย์และอยู่ในสภาวะสมดุล



รูป 2.33 ภาพคลื่นของไฮบริดจ์มอเตอร์ 4 เฟส

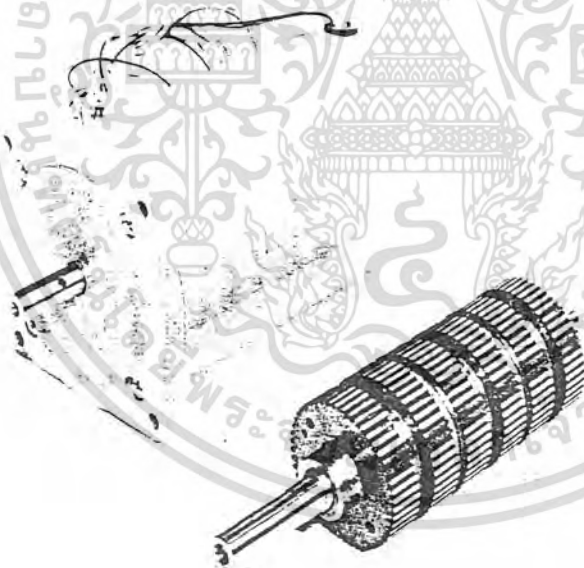
ถ้าหากหยุดการกระตุ้นครั้งที่ผ่านมา และชั่วใหม่ถูกกระตุ้นเพื่อให้เกิดชั่วเหนือและชั่วใต้โรเตอร์จะเคลื่อนเป็นสเตปต่อไป มอเตอร์ชนิดนี้ถูกประดิษฐ์โดย Feientag และ Donahoo และถูกออกแบบให้ใช้เป็นซิงโครนัสมอเตอร์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ความเร็วต่ำเรียกได้ว่าเป็น ซิงโครนัส อินดักเตอร์มอเตอร์ (synchronous inductor motor) ไฮบริดจ์มอเตอร์ ที่นิยมใช้กันเป็นแบบ 4 เฟสจำนวนสเตปเท่ากับ 200 สเตปมุมสเตปเท่ากับ 1.8 องศาเพื่อที่จะเพิ่มแรงบิดมัลติสแตคไฮบริดจ์มอเตอร์ (multi-stack hybrid motors) ดังรูปที่ 2.34 จึงถูกสร้างขึ้นมา

2.2.4 ไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์แบบมีแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์ (Hybrid stepping motors having a permanent magnet in the stator)

สเตปมอเตอร์แบบนี้แสดงดังรูป 2.35 และแสดงเป็นโตแอกแกรมตามแนวแกนดังรูป 2.36 วงแหวนแม่เหล็กถาวรวางตัวอยู่ในสเตเตอร์และมีการพันขดลวดอยู่ 2 ส่วนทั้งแม่เหล็กถาวรและกระแสในสเตเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กแบบยูนิโพลาร์ (unipolar magnetic field) ซึ่งขั้วของสเตเตอร์ใน 2 ส่วนของแต่ละเฟสจะไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ห่างกันประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของระยะห่างขั้วขึ้น ขณะที่ขั้วใน 4 ส่วนของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกันหลักการในการขับเป็นเช่นเดียวกับไฮบริดจ์ลิเนียร์มอเตอร์ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.2.7

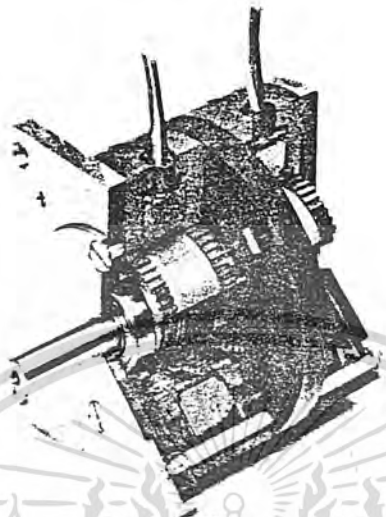


รูป 2.34 ไฮบริดจ์มอเตอร์ 3 สเตก

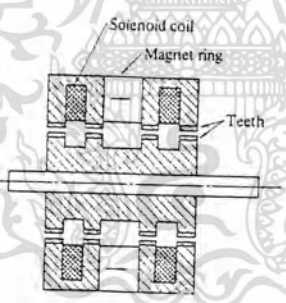
2.2.5 claw-pole PM มอเตอร์

สเตปมอเตอร์แบบนี้เป็นอีกแบบหนึ่งของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร รูปตัดด้านข้างของสเตปมอเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

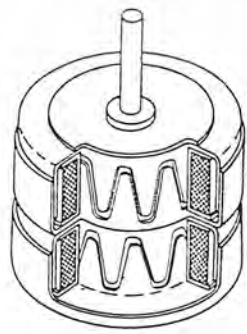
แสดงดังรูป 2.37มอเตอร์นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แคนสแตก สเต็ปมอเตอร์



รูป 2.35 สเตเตอร์และโรเตอร์ของไฮบริดจ์มอเตอร์



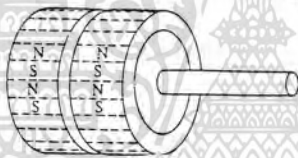
รูป 2.36 ภาพตัดตามแนวแกนของไฮบริดจ์มอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์



รูป 2.37 คลาว-โพล ทีเอ็มมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

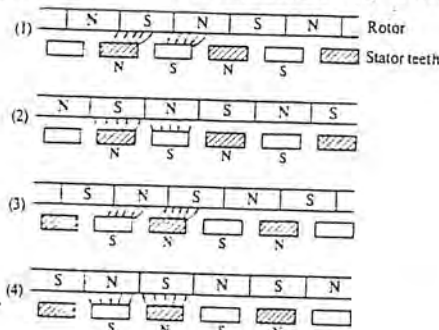
โครงสร้างของแคน-สแตก สเตปมอเตอร์ คือซีฟันของสเตเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กแบบหลายขั้ว (heteropolar magnetic field) จากกระแสที่ผ่านขดลวดภายในสเตเตอร์ตามรูป 2.38 โรเตอร์รูปทรงกระบอกเป็นพวกเพอร์โรที่ที่ถูกทำให้มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กเพื่อสร้างเป็นสนามแม่เหล็กหลายขั้วจำนวนของขั้วเท่ากับ 24 ขั้วมุมสเตเท่ากับ 7.5 องศาปกติมอเตอร์ประเภทนี้จะมี 2 ชั้นด้วยกัน เมื่อขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์จะไม่อยู่ในแนวเดียวกันแต่จะเอียงกันประมาณเศษหนึ่งในสี่ของระยะพิทการพันขดลวด จะมีทั้งแบบ 2 เฟสและ 4 เฟส ในส่วนของ 4 เฟสการพันขดลวดของเฟส 1 และเฟส 3 จะพันในลักษณะไบฟีลา (bifilar) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 2.2.8 และอยู่ในชั้น A ส่วนเฟส 2 และ 4 จะอยู่ในชั้น B การกระตุ้นแบบ 2 เฟสและ 4 เฟส แสดงในรูป 2.39 ในรูป 2.40 เราจะดูความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์และซีฟันของสเตเตอร์ในชั้น A ตอนแรกโรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง(1) เมื่อ PhA ถูกกระตุ้นด้วยกระแสในทางบวก เพื่อที่จะสร้างขั้วแม่เหล็กตามรูปเดียวกันกับที่แสดง โรเตอร์จะเคลื่อนไปทางซ้ายตามเส้นแรงแม่เหล็ก สภาวะที่ 2 ตำแหน่งสมดุลของการกระตุ้น PhA ต่อมา PhA หยุดการกระตุ้นและ PhB ถูกกระตุ้นด้วยกระแสในทิศบวก โรเตอร์จะเคลื่อนที่ต่อไปอีกในทิศทางเดียวกัน เพราะซีฟันของสเตเตอร์ชั้น B ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกับชั้น A แต่เอียงกันเป็นระยะเศษหนึ่งส่วนสี่ของระยะซีฟัน สภาวะที่ 3 แสดงถึงผลการกระตุ้นซึ่งจะทำให้โรเตอร์เคลื่อนไปทางซ้ายและมาสู่สภาวะที่ 4 PhB จะหยุดการกระตุ้นและ PhA จะถูกกระตุ้นด้วยกระแสในทิศทางลบ



รูป 2.38 การทำให้โรเตอร์เป็นแม่เหล็ก



รูป 2.39 กระแสที่จ่ายให้คลาว-โพลีเอ็มมอเตอร์ (a) 4 เฟส (b) 2 เฟส

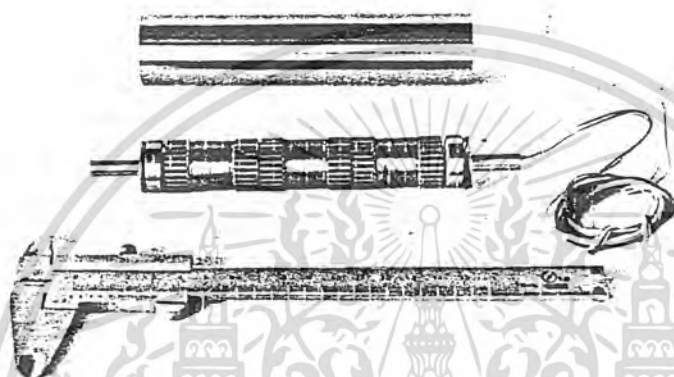


รูป 2.40 การเกิดสเตปในคลาวโพลีเอ็มมอเตอร์

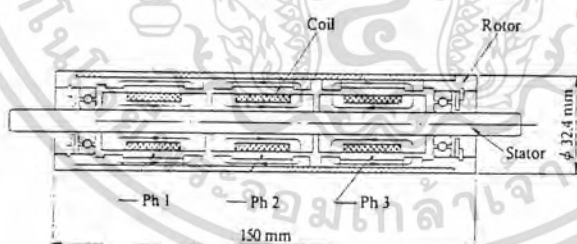
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 สเตปมอเตอร์แบบโรเตอร์อยู่ภายนอก(outer-rotor stepping motor)

การแบ่งประเภทของมอเตอร์นั้นอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่แบบมีโรเตอร์อยู่ภายในและแบบมีโรเตอร์อยู่ภายนอก สเตปมอเตอร์ที่กล่าวมาในตอนแรกเป็นแบบมีโรเตอร์อยู่ภายในซึ่งมีสเตเตอร์ครอบโรเตอร์ไว้ มอเตอร์แบบมีโรเตอร์อยู่ภายนอกค่อนข้างจะหายากมอเตอร์ที่แสดงในรูป 2.41 เป็นแบบโรเตอร์อยู่ภายนอก มีจำนวนสเต็ปเท่ากับ 81 สเต็ป(VR มอเตอร์) รูปตัดด้านข้างแสดงในรูป 2.42 สเตเตอร์เป็นแบบ 3 ชั้นแกนของสเตเตอร์จะยึดติดอยู่กับที่ โรเตอร์ที่อยู่ภายนอกจะหมุนอย่างอิสระ



รูป 2.41 วีอาร์มอเตอร์แบบโรเตอร์อยู่ภายนอก



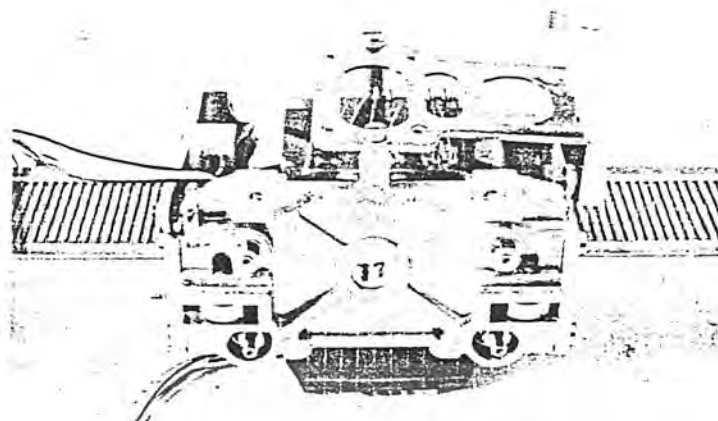
รูป 2.42 ภาพตัดตามแนวแกนของมอเตอร์แบบโรเตอร์ภายนอก

2.2.7 สเตปมอเตอร์เชิงเส้น(linear stepping motor)

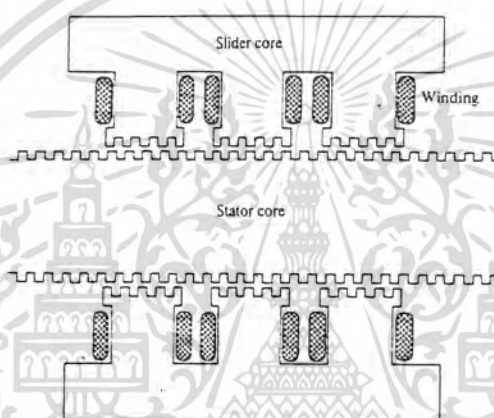
มอเตอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเป็นแบบเครื่องจักรหมุน ซึ่งถูกออกแบบให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาตามตัวสเตเตอร์ อย่างไรก็ตามยังมีสเตปมอเตอร์บางชนิดถูกออกแบบให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ซึ่งเรียกว่าลิเนียร์มอเตอร์มีหลายชนิดเช่นเดียวกับมอเตอร์แบบหมุน นอกจากนี้ยังรวมถึง ดีซีมอเตอร์ ซิงโครนสมอเตอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำ ลิเนียร์สเตปมอเตอร์แยกออกเป็นแบบ VR มอเตอร์ หรือ PM มอเตอร์

1)VR ลิเนียร์มอเตอร์ ตัวอย่างของ VR มอเตอร์แบบ 3 เฟสแสดงดังรูป 2.43 ซึ่งพัฒนาโดยบริษัทไอบีเอ็ม รูป 2.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีฟันของสเตเตอร์ ซีฟันของรางเลื่อน และการพันขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

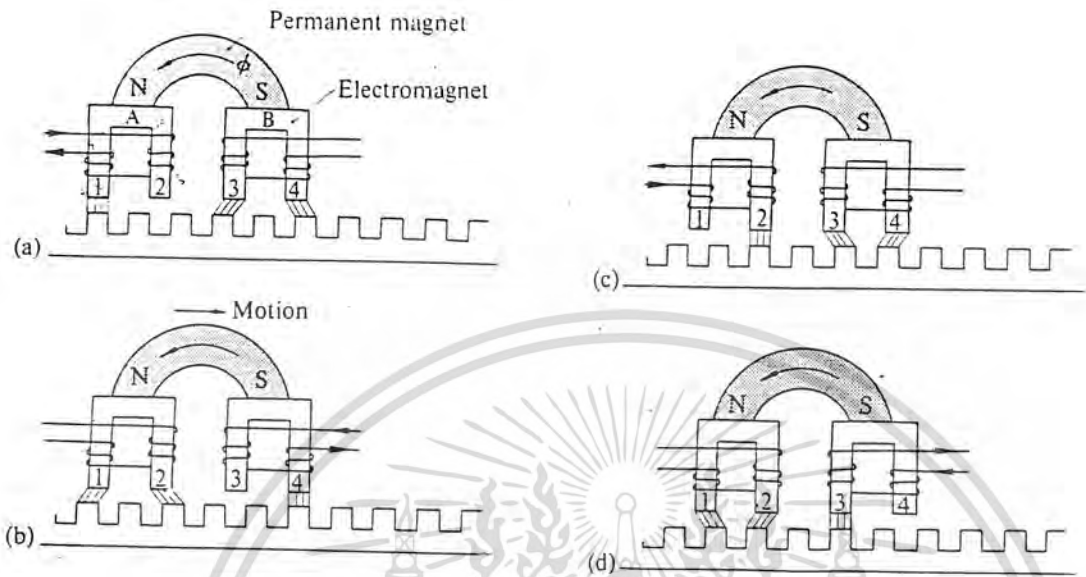


รูป 2.43 ลิเนียร์วีอาร์มอเตอร์ 3 เฟส

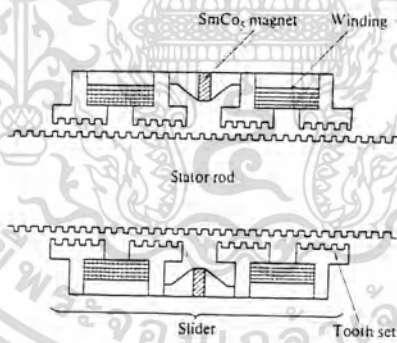


รูป 2.44 ความสัมพันธ์ระหว่างซี่ฟันของสเตเตอร์ ซี่ฟันตัวสไลด์ และการพันขดลวด

2) PM ลิเนียร์มอเตอร์ แสดงดังรูป 2.48 มอเตอร์ชนิดนี้ส่วนที่ทำงานเป็นตัวเลื่อนประกอบไปด้วยแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า A และ B เส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนเป็นวงปิดจากแม่เหล็กถาวรผ่านแกนแม่เหล็กไฟฟ้า ช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์และแกนเหล็ก เมื่อขดลวดถูกกระตุ้นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดจะอยู่บริเวณซี่ฟันหนึ่งของแกนเหล็ก แต่อีกซี่หนึ่งจะถูกประมาณว่าค่าน้อยมาก ส่วนซี่ฟันของแกนเหล็กที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นจะมีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านในปริมาณที่เท่ากันทั้ง 2 ซี่ การจ่ายไฟในทิศทางที่ต่างกันให้แก่ขดลวดจะมีผลต่อความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างซี่ฟัน 2 ซี่ของแกนเหล็กกว่าจะเป็นซี่ใดซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นมา



รูป 2.45 หลักการของลิเนียร์มอเตอร์

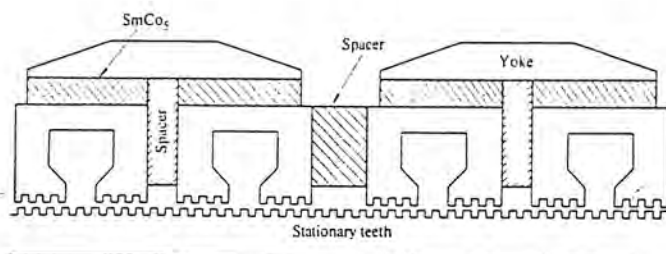


รูป 2.46 ระบบตามแนวแกนของลิเนียร์มอเตอร์

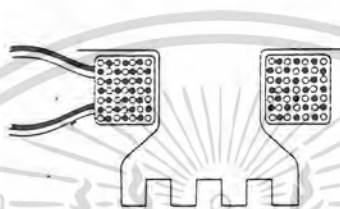
2.2.8 การพันขดลวดแบบโมนิฟิลาและไบฟิลา (monofilar and bifilar winding)

ตอนนี้จะกล่าวถึงชนิดการพันขดลวดในสเตปป์ิงมอเตอร์ ใน VR มอเตอร์แบบหลายชั้น จะใช้ขดลวดโซลีนอยพัน ส่วนในไฮบริดจัมอเตอร์จะใช้การพันแบบโมนิฟิลาและไบฟิลา ตามรูป 2.48 การพันขดลวด 2 ขดซ้อนทับกันเหมือนการพันขดลวดขดเดียวและขดลวด 2 ขดจะต่อกับขั้วที่แยกออกจากกัน ถ้าหากขดลวดขดหนึ่งเป็นของ Ph1 อีกขดจะเป็นของ Ph3 เช่นเดียวกันถ้าหากขดหนึ่งเป็นของ Ph2 อีกขดจะเป็นของ Ph4 จุดประสงค์อย่างหนึ่งของการของการพันขดลวดแบบไบฟิลาคือเพื่อจะกระตุ้นให้ขดลวดของสเตเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การกระตุ้นของแต่ละเฟสสามารถแสดงได้ดังรูป 2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.47 โครงสร้างของลิเนียร์พีเอ็มมอเตอร์

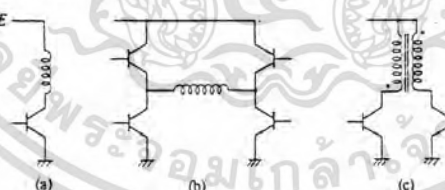


รูป 2.48 การพันแบบไบโพลาร์

(a) การพันแบบโมนิโพลาร์ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นอาจจะเป็นเหนือหรือใต้ อย่างไรก็ตามอย่างหนึ่งไม่สามารถมีการสลับไปมาได้ เรียกว่าการกระตุ้นแบบขั้วเดียว (unipolar excitation)

(b) ทิศทางของกระแสสามารถที่จะเปลี่ยนได้เพราะวงจรบริดจ์ แต่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัวต่อเฟสหนึ่งเฟส วิธีนี้เรียกว่าการกระตุ้นแบบ 2 ขั้ว

(c) ขั้วของสเตเตอร์สามารถที่จะกระตุ้นเป็นแบบเหนือหรือใต้ก็ได้เพราะขดลวด 2 ขด มีการพันกลับทิศทางกันและอาศัยทรานซิสเตอร์ 1 ตัวต่อลวด 1 ขด



รูป 2.49 วงจรกระตุ้นพื้นฐาน 3 แบบ a) แบบโมนิโพลาร์ กระตุ้นแบบยูนิโพลาร์
b) พันแบบโมนิโพลาร์ กระตุ้นแบบไบโพลาร์ c) พันแบบไบโพลาร์ กระตุ้นแบบไบโพลาร์

บทที่ 3

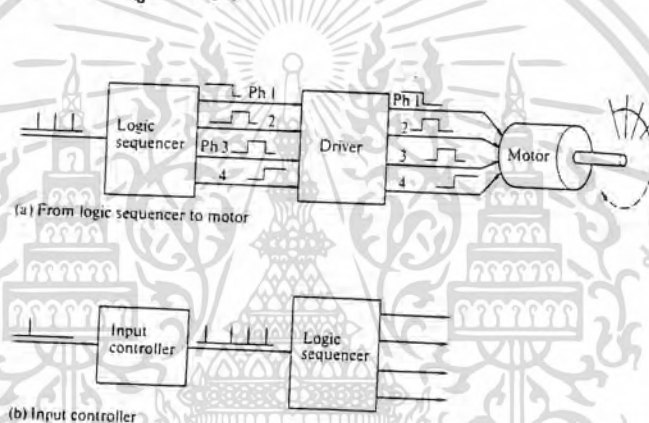
ระบบการขับและวงจรถ้าสำหรับการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบวงเปิด

ปัญหาอย่างหนึ่งที่สำคัญในการประยุกต์ใช้สเตปปีงมอเตอร์ คือระบบของการขับมอเตอร์ ระบบของการขับมอเตอร์แบ่งเป็นแบบวงเปิดและวงปิด

3.1) ระบบการขับ (DRIVE SYSTEM)

ระบบการขับสเตปปีงมอเตอร์แบบพื้นฐานๆ แสดงในบล็อกไดอะแกรม รูป 3.1 ในตัวอย่างมีจำนวนเฟสเท่ากับ 4 รูป 3.1(a) แสดงตั้งแต่ส่วนของตัวจัดลำดับลอจิก(logic sequencer)จนถึงมอเตอร์ เมื่อพัลส์คำสั่งเข้ามายังลอจิกซีควเอนเซอร์ สถานะทางด้านเอาต์พุทจะเปลี่ยนไปควบคุมการขับมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปยังทิศที่ต้องการเป็นสเตปทิศทางการหมุนถูกป้อนเข้ามายังอินพุทส่วนที่กำหนดทิศทาง เช่น สัญญาณ H สำหรับหมุนตามเข็ม สัญญาณ L สำหรับหมุนทวนเข็ม แต่ลอจิกซีควเอนเซอร์บางอย่างจะมีทิศทางเดียว ไม่มีขั้วสำหรับสัญญาณที่กำหนดทิศทาง รูป 3.1(a)

แสดงระบบทั้งหมด แต่เมื่อการเพิ่มจำนวนตั้งแต่ 2 สเตปขึ้นไปส่วนอื่นจะกำเนิดขบวนของพัลส์ใส่ก่อนส่วนของตัวจัดลำดับลอจิกและส่วนนี้ก็แสดงในรูป3.1(b)



รูป 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการขับสเตปปีงมอเตอร์

วงจรถ้านี้เป็นวงจรถ้าส่วนของตัวควบคุมอินพุท(input controller) ตัวควบคุมอินพุทเป็นอุปกรณ์ทางอิ-เลคทรอนิกส์ที่ซับซ้อน เช่น พวกไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งกำเนิดขบวนพัลส์เพื่อเพิ่มความเร็ว,ลดความเร็วของมอเตอร์

3.2) ตัวจัดลำดับลอจิก (LOGIC SEQUENCER)

ตัวจัดลำดับลอจิกเป็นวงจรถ้าลอจิกซึ่งเป็นตัวควบคุมลำดับการกระตุ้นของขดลวด ตัวจัดลำดับลอจิกปกติจะประกอบด้วยรีจิสเตอร์และลอจิกเกต เช่นพวก nand , nor ไอซีที่ใช้ร่วมกับลอจิกเกตเพื่อเป็นตัวจัดลำดับลอจิกได้แก่ ไอซีเจ-เค ฟลิปฟลอป(j-k flip-flop (jk ff ic)) หลักการทำงานพื้นฐานของเจ-เค ฟลิปฟลอปแสดงทางตาราง 3.1



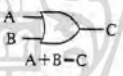
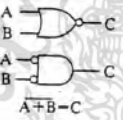
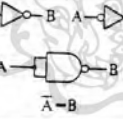
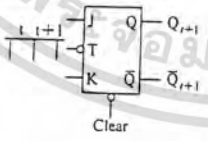
3.2.1 การกระตุ้นแบบ 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟส (TWO-PHASE-ON EXCITATION FOR A FOUR PHASE MOTOR)

ชนิดของตัวจัดลำดับอย่างธรรมดา สามารถสร้างได้โดย เจ-เค ฟลิปฟลอป 2 ตัวแสดงในรูป 3.2 กรณีของทิศทางเดียว ความเกี่ยวข้องกันระหว่างขั้วเอาต์พุทและขดลวดแต่ละเฟสเพื่อการควบคุมเป็นดังนี้

- Q1-Ph1
- $\overline{Q}2$ -Ph2
- Q3-Ph3
- $\overline{Q}4$ -Ph4

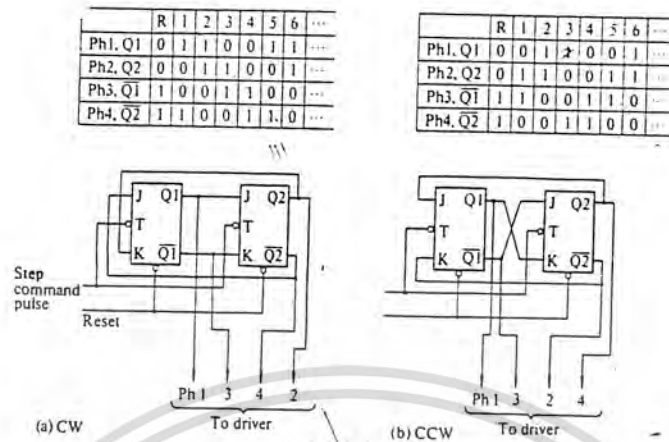
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างเช่น Q1 อยู่ในสภาวะ H ขดลวด Ph1 ถูกกระตุ้นและถ้าหาก Q1 อยู่ในสภาวะ L ขดลวด Ph1 จะไม่ถูกกระตุ้น เมื่อเปรียบเทียบในทั้ง 2 ตาราง วงจร a และ b ตรงข้ามกันในลำดับการกระตุ้น ทิศทางของวงจร a เป็นทิศทางตามเข็มนาฬิกา และ b ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อที่จะกลับทิศทางหมุน การเชื่อมต่อของตัวจัดลำดับจะเปลี่ยนไประหว่าง a และ b วงจรสวิตช์ที่ใช้เลือกทิศทางแสดงในรูป 3.3 ซึ่งต้องใช้การรวมกันระหว่างแอนเกต 3 ตัวหรือแอนเกต 2 ตัวและนอเกต 1 ตัว ในวงจร a ถ้าหากคำสั่งของทิศทางอยู่ในระดับ H สัญญาณระดับเดียวกันนี้จะป็นระดับเดียวกับอินพุตของ A และปรากฏที่เอาต์พุตของขั้ว B ในวงจร b $C = \bar{A}$ สำหรับสัญญาณทิศทางระดับ H และ $C = \bar{B}$ สำหรับสัญญาณคำสั่งระดับ L รูป 3.4 แสดงถึงตัวจัดลำดับแบบ 2 ทิศทางสำหรับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสของสเตปปีงมอเตอร์แบบ 4 เฟส ตัวอย่างอื่นแสดงในรูป 3.5

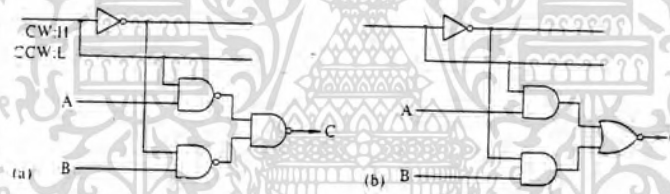
AND		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Input		Output	A	B	C	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	1																								
1	0	0																								
0	1	0																								
0	0	0																								
NAND		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Input		Output	A	B	C	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	0																								
1	0	1																								
0	1	1																								
0	0	1																								
OR		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Input		Output	A	B	C	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	1																								
1	0	1																								
0	1	1																								
0	0	0																								
NOR		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Input		Output	A	B	C	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	0																								
1	0	0																								
0	1	0																								
0	0	1																								
NOT		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Input		Output	A	B		1		0	0		1												
Input		Output																								
A	B																									
1		0																								
0		1																								
JK-FF		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Input</th> <th colspan="2">Output</th> </tr> <tr> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q_n</th> <th>Q_{n+1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>Q_n</td><td>Q_n</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>Q_n</td><td>Q_n</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; font-size: small;">set reset</p> <p style="font-size: x-small;">The function of the table is effected when the clear terminal is on level H. If the clear terminal is on level L, output Q will be on L and Q on H.</p>	Input		Output		J	K	Q _n	Q _{n+1}	1	1	Q _n	Q _n	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	Q _n	Q _n
Input		Output																								
J	K	Q _n	Q _{n+1}																							
1	1	Q _n	Q _n																							
1	0	1	0																							
0	1	0	1																							
0	0	Q _n	Q _n																							

ตาราง 3.1 ลอจิกเกตและหน้าที่

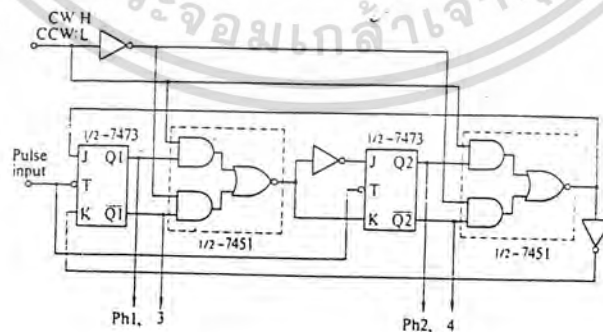
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 ตัวจัดลำดับลอจิกแบบทิศทางเดียวสำหรับการกระตุ้น 2 เฟสของมอเตอร์ 4 เฟส

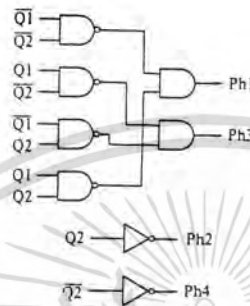
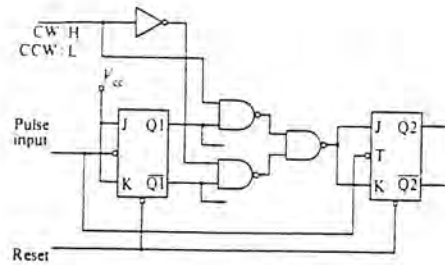


รูป 3.3 ตัวเลือกลอจิกสำหรับคำสั่งเลือกทิศทางการหมุน วง(a) $C = A$ สำหรับคำสั่งระดับ H และ $C = B$ สำหรับคำสั่งระดับ L, ขณะที่ (b) $\bar{C} = A$ สำหรับคำสั่งระดับ H $\bar{C} = \bar{A}$ สำหรับคำสั่งระดับ L



รูป 3.4 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางแบบกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



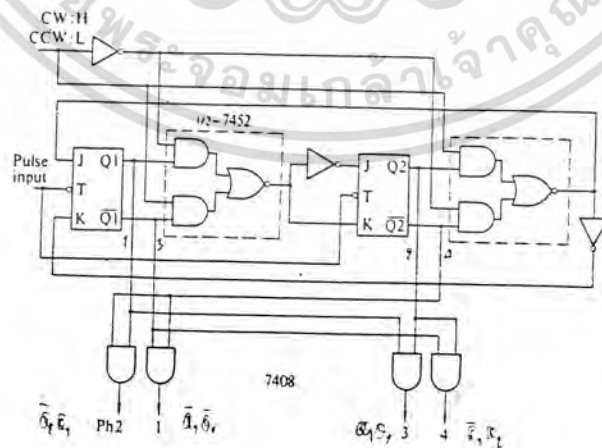
รูป 3.5 ตัวจัดลำดับลอจิกสำหรับการกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟสอีกแบบ

3.2.2 ตัวจัดลำดับการกระตุ้นแบบ 1 เฟสสำหรับมอเตอร์ 4 เฟส (SINGLE-PHASE-ON SEQUENCER FOR FOUR PHASE MOTOR)

ตัวจัดลำดับสำหรับการกระตุ้นทีละเฟส ขยายออกมาโดยการใช้แอนเกต 4 ตัวรวมสัญญาณเอาต์พุทของตัวจัดลำดับแบบกระตุ้น 2 เฟสแสดงดังรูป 3.6 และ 3.7

3.2.3 ตัวจัดลำดับการกระตุ้นแบบ 1 เฟสสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส (ONE-PHASE-ON SEQUENCER FOR THREE PHASE MOTOR)

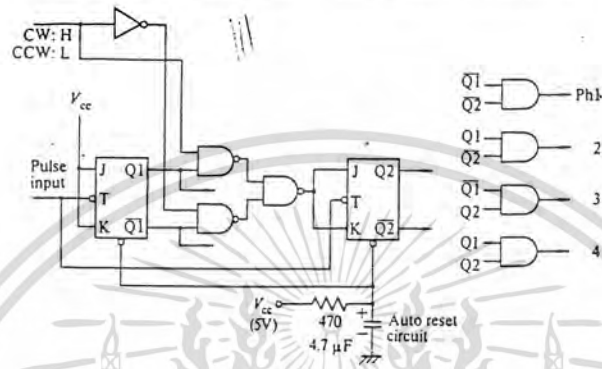
ตัวจัดลำดับทิศทางเดียวสำหรับการขับแบบ 1 เฟสโดยใช้มอเตอร์ 3 เฟสประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ 1 ตัวและแอนเกต 3 ตัวแสดงในรูป 3.8 วงจร a สำหรับทิศทางเข็มและ b สำหรับทิศทางทวนเข็ม ตารางค่าความจริงของตัวจัดลำดับลอจิกแสดงในรูปเดียวกัน ตัวจัดลำดับแบบ 2 ทิศทางแสดงในรูป 3.9 ด้วยวงจรสวิตช์เลือก 2 ทิศทาง



รูป 3.6 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางสำหรับการกระตุ้น 1 เฟสมอเตอร์ 4 เฟส

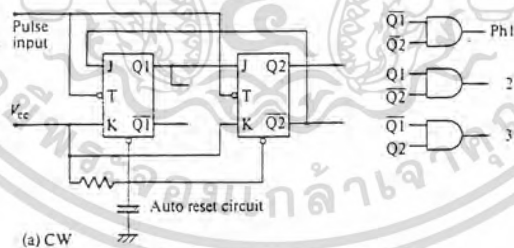
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		CW						CCW										
	R	1	2	3	4	5	6	...		R	1	2	3	4	5	6	...	
Q ₁	0	1	0	1	0	1	0	...	Q ₁	0	1	0	1	0	1	0	...	
Q ₁	1	0	1	0	1	0	1	...	Q ₁	1	0	1	0	1	0	1	...	
Q ₂	0	0	1	1	0	0	1	...	Q ₂	0	1	1	0	0	1	1	...	
Q ₂	1	1	0	0	1	1	0	...	Q ₂	1	0	0	1	1	0	0	...	
Ph1	Q ₁ , Q ₂	1	0	0	0	1	0	...	Ph1	Q ₁ , Q ₂	1	0	0	0	1	0	0	...
Ph2	Q ₁ , Q ₂	0	1	0	0	0	1	...	Ph2	Q ₁ , Q ₂	0	0	0	1	0	0	0	...
Ph3	Q ₁ , Q ₂	0	0	1	0	0	0	...	Ph3	Q ₁ , Q ₂	0	0	1	0	0	0	0	...
Ph4	Q ₁ , Q ₂	0	0	0	1	0	0	...	Ph4	Q ₁ , Q ₂	0	1	0	0	0	1	0	...

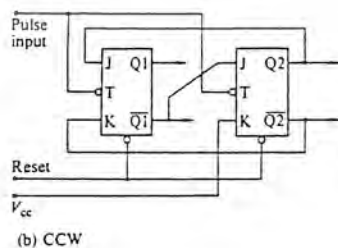


รูป 3.7 ตัวจัดลำดับลอจิก 2 ทิศทางสำหรับการกระตุ้น 1 เฟสมอเตอร์ 4 เฟส

		CW					CCW										
	R	1	2	3	4	5	...		R	1	2	3	4	5	...		
Q ₁	0	1	0	0	1	0	...	Q ₁	0	0	1	0	0	1	...		
Q ₁	1	0	1	1	0	1	...	Q ₁	1	1	0	1	1	0	...		
Q ₂	0	0	1	0	0	1	...	Q ₂	0	1	0	0	1	0	...		
Q ₂	1	1	0	1	1	0	...	Q ₂	1	0	1	1	0	1	...		
Ph1	Q ₁ , Q ₂	1	0	0	1	0	0	...	Ph1	Q ₁ , Q ₂	1	0	0	1	0	0	...
Ph2	Q ₁ , Q ₂	0	1	0	0	1	0	...	Ph2	Q ₁ , Q ₂	0	0	1	0	0	1	...
Ph3	Q ₁ , Q ₂	0	0	1	0	0	1	...	Ph3	Q ₁ , Q ₂	0	1	0	0	1	0	...



(a) CW



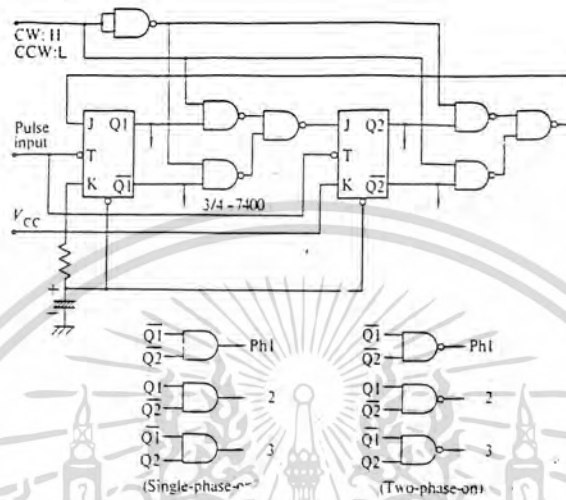
(b) CCW

รูป 3.8 ตัวจัดการจ่ายพัลส์ทิศทางเดียวสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ตัวจัดลำดับการกระตุ้น 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส (TWO-PHASE-ON SEQUENCER FOR THREE PHASE MOTORS)

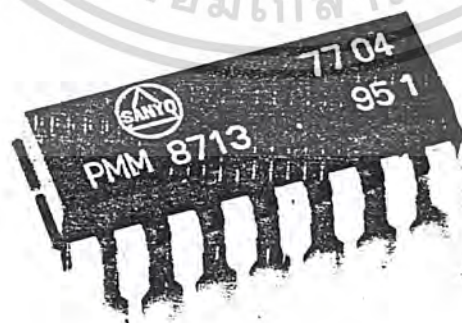
ตัวจัดลำดับลอจิกสร้างโดยใช้แชนเกต 3 ตัวแทนแชนเกตแสดงดังรูป 3.9



รูป 3.9 ตัวจัดการจ่ายพัลส์ 2 ทิศทางสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

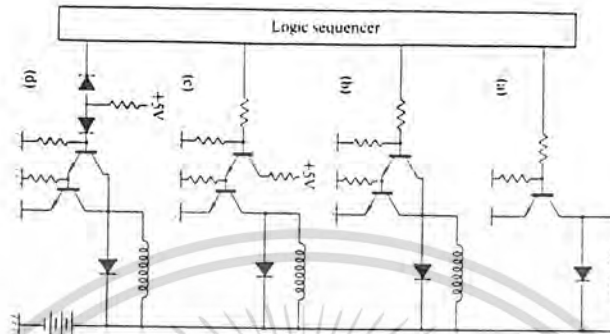
3.2.5 ตัวจัดอันดับแชนเกตประสงค์ (UNIVERSAL SEQUENCER MSI)

เราสามารถจะสร้างตัวจัดลำดับลอจิกจากไอซีต่างๆแล้ว เรายังมีตัวจัดลำดับลอจิกที่เป็นแบบ MSI ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้หลายลักษณะ ตัวอย่างเช่นของซันโย PMM8718 แสดงดังรูป 3.10 เป็น cmos monolithic MSI ที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมสเตปมอเตอร์ไม่ว่า 3 เฟสก็ 4 เฟส ให้ทำงานแบบถูกกระตุ้นเพียง 1 เฟส 2 เฟส หรือถูกกระตุ้นแบบครึ่งสเตป สัญญาณเอาต์พุตจากตัวจัดลำดับลอจิกประเภทนี้สามารถที่จะควบคุมขาเบสของการต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แบบดาไล่งตันได้โดยตรงดังวงจรในรูป 3.11



รูป 3.10 ตัวจัดลำดับลอจิก Sanyo Cmos monolithic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.11 ตัวอย่างของการต่อระหว่างตัวจัดลำดับและตัวขับ

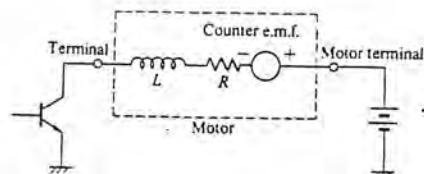
3.3) ตัวขับมอเตอร์ (MOTOR DRIVER)

3.3.1 การเชื่อมต่อระหว่างตัวจัดลำดับและตัวขับ

สัญญาณเอาต์พุตของตัวจัดลำดับลอจิกส่งผ่านมายังขาเข้าของส่วนขับมอเตอร์ ส่วนขับกำลังนั้นเรียกอีกอย่างว่าส่วนขับมอเตอร์หรือเรียกง่าย ๆ ว่าตัวขับ วิธีที่ธรรมดาที่สุดของการเชื่อมต่อคือการเชื่อมต่อตรงๆ ดังแสดงในรูป 3.11(a) และ (b) แต่ถ้าหากว่ากระแสของเอาต์พุตจากตัวจัดลำดับไม่เพียงพอที่จะขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ดังนั้นก็จำเป็นต้องมีส่วนขยายกระแสระหว่าง 2 ภาค แสดงดังรูป 3.11 (c) และ (d)

3.3.2 ปัญหาที่เกี่ยวกับตัวขับ

การพันขดลวดบนสเตปปีงมอเตอร์จะปรากฏเป็นลักษณะของการต่อต้านกันของตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน เมื่อมอเตอร์หมุนแรงเคลื่อน(e.m.f.)จะเกิดในขดลวดที่พันวงจรมูลย์ของขดลวด แสดงได้ในรูป 3.12 เมื่อทำการออกแบบส่วนขับสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ ตัวสเตปปีงมอเตอร์, เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และแม้กระทั่งซัพพลายพารามิเตอร์ของสเตปปีงมอเตอร์แปรตามสิ่งรบกวนและลักษณะการทำงาน สมมุติว่าสเตปปีงมอเตอร์นั้นถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กแต่ใช้ส่งผ่านกำลังสูง อุณหภูมิของตัวถังอาจสูงได้ถึง 100 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานของขดลวดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 ถึง 25 %



รูป 3.12 วงจรมูลย์ของขดลวดในสเตปปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ชัฟเฟิลเซอร์ (SUPPRESSORS)

เมื่อทรานซิสเตอร์ในรูป 3.12 ปิดวงจร โวลเตจจะถูกสร้างขึ้นโดยหลักการที่ว่า

$$V = L \left(\frac{di}{dt} \right)$$

และโวลเตจนี้จะมีผลเสียหายต่อทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงมีวิธีการหลายวิธีด้วยกันที่จะลดผลจากโวลเตจที่เกิดขึ้น และป้องกันทรานซิสเตอร์ตั้งวิธีการต่าง ๆ ต่อไปนี้

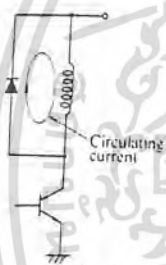
1) ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์

ถ้าหากว่านำไดโอดมาต่อขนานกับขดลวดในลักษณะดังรูป 3.13 กระแสจะไหลวนภายหลังจากทรานซิสเตอร์ปิดวงจร และค่ากระแสจะค่อย ๆ ลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าบริเวณขาคอลเลคเตอร์จะเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าของชัฟเฟิล E รวมกับศักย์ไฟฟ้าที่ ตกคร่อมไดโอดในทิศที่ไดโอดเปิดวงจร วิธีการเช่นนี้เป็นวิธีที่ธรรมดาตามากแต่ระยะเวลาที่มีกระแสไหลวนค่อนข้างนานจะต้องนำมาพิจารณาว่ามันยังทำให้เกิดแรงบิดในทิศทางตรงข้าม

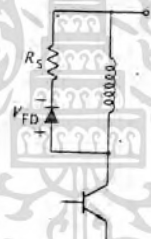
2) ไดโอด/ตัวต้านทาน ชัฟเฟิลเซอร์

ตัวต้านทานถูกนำมาต่ออนุกรมกับไดโอดดังรูป 3.14 เพื่อที่จะลดกระแสไหลวนให้เร็วขึ้นความต่างศักย์ V_{CE} ที่ปรากฏตรงขาคอลเลคเตอร์เมื่อเกิดการเทินออฟจะเท่ากับ

$$V_{CE} = E + I R_S + V_{DF}$$



รูป 3.13 ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์



รูป 3.14 ไดโอด-ขามต้านทานชัฟเฟิลเซอร์

เมื่อ E : ศักย์ไฟฟ้าของชัฟเฟิล

I : กระแสก่อนจะมีการเทินออฟ

R_S : ความต้านทานของตัวต้านทานชัฟเฟิลเซอร์

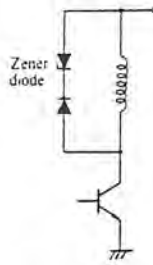
V_{DF} : ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดในทิศทางที่ไดโอดเปิดวงจร

ยิ่งค่าความต้านทาน R_S มากเท่าไร กระแสที่จะลดลงก็จะมากขึ้นเท่านั้น หลังจาก การเทินออฟ แต่ยิ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าของขาคอลเลคเตอร์มากขึ้น

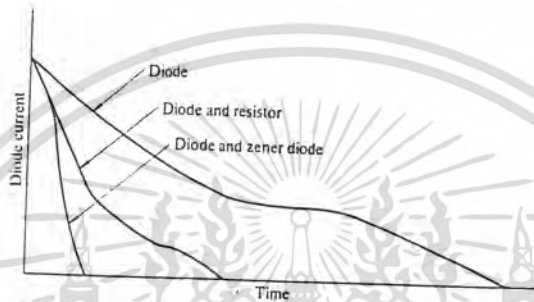
3) ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์

ซีเนอร์ไดโอดถูกใช้บ่อยในการต่ออนุกรมกับไดโอดธรรมดา ดังแสดงในรูป 3.15 เมื่อ เปรียบเทียบกับ 2 กรณีที่กล่าวมา วิธีการนี้จะลดกระแสได้รวดเร็วกว่าหลังจากการเทินออฟ(ดูรูป 3.16) ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือศักย์ไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์จะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของชัฟเฟิลรวมกับศักย์ไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดโดยไม่ขึ้นกับกระแส ซึ่งทำให้การเลือกค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่คอลเลคเตอร์ง่ายมากขึ้น รูป 3.17 แสดงวงจรขับซึ่งใช้ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์สำหรับมอเตอร์ 4 เฟส ความต้านทาน R_1 และ R_2 สำหรับการสร้างกระแสกระตุ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 3.3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลสเซอร์

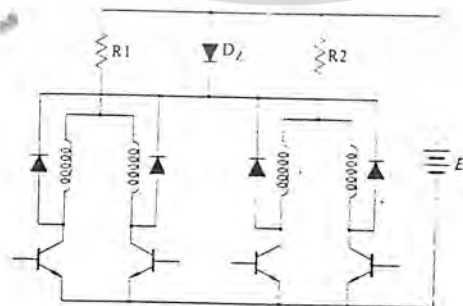


รูป 3.16 กราฟเปรียบเทียบผลของชัฟเฟิลสเซอร์แบบต่างๆ

4) คอนเดนเซอร์ชัฟเฟิลสเซอร์

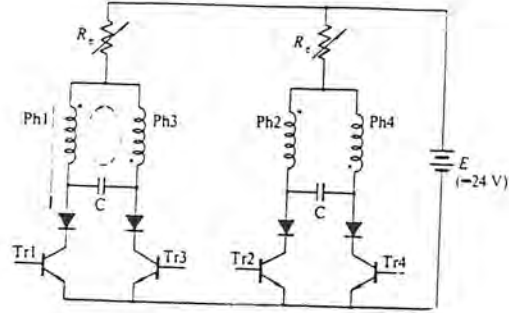
วิธีนี้มักใช้กับมอเตอร์ที่มีการพันแบบไบโพลาร์ คำอธิบายสำหรับวงจรนี้แสดงดังรูป 3.18 สำหรับมอเตอร์ 4 เฟส คอนเดนเซอร์นั้นถูกใส่อยู่ระหว่าง Ph1 และ Ph3 และระหว่าง Ph2 และ Ph4 ซึ่งคอนเดนเซอร์นี้มีจุดประสงค์ในการติดอยู่ 2 ประการคือ

ประการแรกเมื่อทรานซิสเตอร์เท็นออฟ คอนเดนเซอร์ที่ต่อไว้จะคอยดูดกระแสที่ลดลงเรื่อยๆ จากขดลวดที่พันเพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ ตอนนี้อยู่มาดูสถานะหลังจากที่ทรานซิสเตอร์ Tr1 เท็นออฟ ในการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟส Tr2 หรือ Tr4 ตัวใดตัวหนึ่งเท็นออนแต่ Tr3 ยังคงอยู่ในสถานะเท็นออฟ ซึ่งการพันขดลวดของ Ph1 และ Ph3 เป็นแบบไบโพลาร์ และกระแสที่เกิดขึ้นในสถานะเริ่มต้นจะไหลวนซึ่งแสดงโดยจุดไข่วัสดุเป็นวงภายในรูป ถ้าหาก Tr3 เท็นออนเมื่อการไหลวนในตอนต้นเท่ากับศูนย์และการประจุในคอนเดนเซอร์มีค่าสูงสุด กระแสสามารถไหลผ่านขดลวด Ph1 ได้ กระแสที่เกิดขึ้นนี้ใช้ได้กับการเรโซแนนซ์ทางกล ซึ่งลักษณะเช่นนี้ก็เกิดในการกระตุ้นแบบ 2 เฟสเช่นกัน คอนเดนเซอร์ชัฟเฟิลสเซอร์นั้นเหมาะกับการขับมอเตอร์ที่อัตราการสลับอยู่ในช่วงแคบ



รูป 3.17 ตัวอย่างของตัวขับ 4 เฟสและซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลสเซอร์

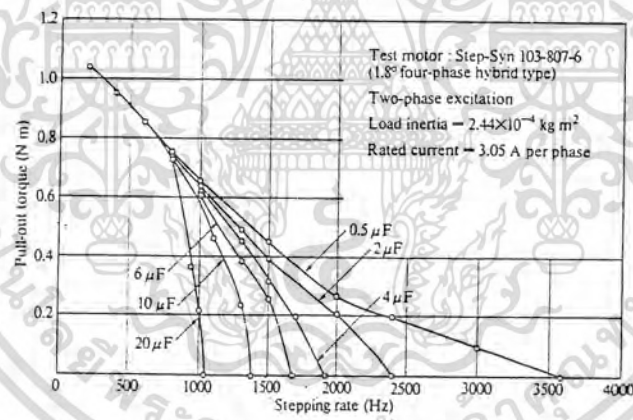
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



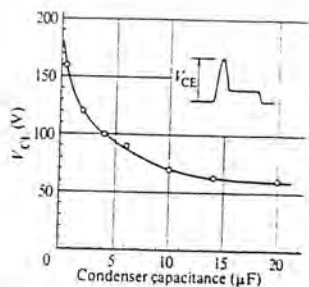
รูป 3.18 ตัวอย่างของตัวขับ 4 เฟสและคอนเดนเซอร์ซีฟเฟสเซอร์

ประโยชน์อีกด้านหนึ่งของคอนเดนเซอร์นั้นสามารถใช้เป็นตัวหน่วงทางไฟฟ้า วิธีการหน่วงการออสซิลเลทของโรเตอร์คือการใช้ลักษณะทางกลเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อน ถ้าหากว่าโรเตอร์มีการออสซิลเลทแบบแม่เหล็กถาวร การเปลี่ยนแปลงของ e.m.f. ชดเชย อย่างไรก็ดีถ้าหากว่ามีความต้านทานค่าสูงต่ออยู่ด้วย จะไม่มีกระแสที่เกิดจาก e.m.f.

เมื่อมีคอนเดนเซอร์เชื่อมต่อระหว่างเฟสต่อเฟส กระแสที่เกิดจากการออสซิลเลทจะไหล ภายในวงปิดตั้งรูป 3.18 และพลังงานความร้อนจะเกิดในขดลวด ซึ่งเหมือนกับว่าคอนเดนเซอร์ทำงานเป็นตัวหน่วงทางไฟฟ้า ค่าต่างๆของพูลเอ้าท์เคิฟที่ใช้ตัวเก็บประจุต่างๆแสดงในรูป 3.19



รูป 3.19 กราฟพูลเอ้าท์ทอร์คซึ่งมีคอนเดนเซอร์เชื่อมระหว่างเฟส



รูป 3.20 ศักย์ไฟฟ้ของการเทินออฟทรานซิสเตอร์แปรตามค่าตัวเก็บประจุที่พูลเอ้าท์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งตัวเก็บประจุมีขนาดเล็กมากเท่าไร พูลเอาทอร์คก็ยิ่งสูงขึ้นที่อัตราการสเตรปสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการลดของกระแสหลังเท็นออฟอย่างรวดเร็ว ความต่างศักย์ V_{CE} หลัง การเท็นออฟจะสูงขึ้นถ้ามีการลดขนาดตัวเก็บประจุ แสดงดังรูป 3.20

3.3.4 การปรับปรุงการสร้างกระแส (IMPROVEMENT OF CURRENT BUILD-UP)

เมื่อทรานซิสเตอร์เท็นออนเพื่อที่จะกระตุ้นเฟส เพาเวอร์ซัพพลายจะต้องมีผลมากกว่าผลจากค่าความเหนียวนำที่เกิดจากการพันลวดก่อนที่จะขับกระแสตามอัตราที่ต้องการ ค่ากระแส จากตัวเหนียวนำมีทิศตรงข้ามกับกระแสที่เราใช้ขับมอเตอร์ เมื่อความถี่ในการสวิตช์เพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาซึ่งค่อนข้างมากในการสร้างกระแสที่ต้องการจะมีผลในการลดทอร์ครวมทั้งผลตอบสนองที่ช้า มีวิธีการหลายวิธีที่จะทำให้ระยะเวลาในการสร้างสั่นลงและปรับปรุงทอร์คที่ความเร็วสูงดังนี้

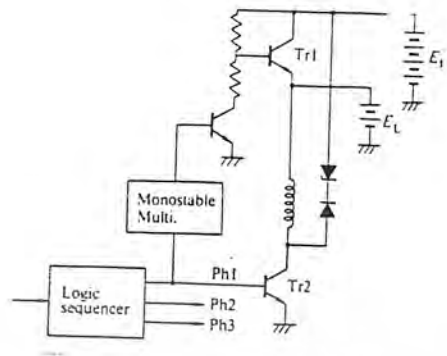
- 1) ความต้านทานต่ออนุกรม วิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือการรวมความต้านทานอนุกรมกับขดลวดที่พันแสดงดังรูป 3.21



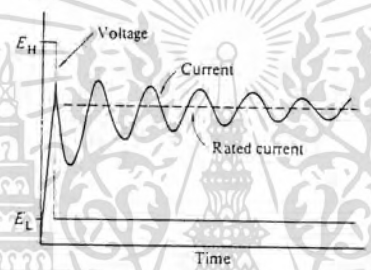
รูป 3.21 ปรับปรุงการสร้างกระแสโดยต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขดลวด คักย์ไฟฟ้าของเพาเวอร์ซัพพลาย E ใช้เป็นส่วนที่ขับให้เกิดกระแสตามที่ต้องการ ผ่านลวดที่พันภายใต้

เงื่อนไขคือสภาวะคงที่ ค่าเวลาคงที่ของวงจรลดจาก L/R_w จนถึง $L/(R_e + R_w)$ ถึงแม้ว่าการต่อตัวต้านทานอนุกรมเป็นวิธีที่ธรรมดาและง่ายมาก แต่มันก็ทำให้สูญเสียพลัง งานจำนวนมากไปยังตัวต้านทานที่อนุกรมกันอยู่ ถ้าหากว่าความต้านทานของขดลวดที่พันเท่ากับ 1.5 โอห์ม และอัตราของกระแสที่ผ่านเท่ากับ 4 แอมป์ และต้องการขับจากคักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 20 โวลต์ ความต้านทานที่นำมาต่อรวมเท่ากับ 4.5 โอห์ม ต่อเฟส ดังนั้นกำลังที่สูญเสียไป โดยประมาณเท่ากับ $4.5 \times 4^2 = 72$ วัตต์ ในการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟสและจะเพิ่มเป็น 2 เท่าในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

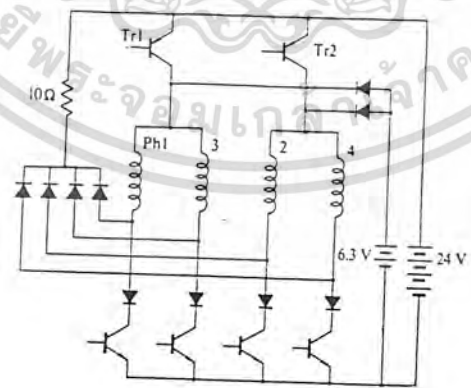
2) การใช้โวลเตจคู่ เพื่อที่จะลดพลังงานที่กระจายไปในตัวขับและเพิ่มประสิทธิภาพของสเตปมอเตอร์ ตัวขับแบบโวลเตจคู่ (dual voltage) จึงนำมาใช้ กรณีของหนึ่งเฟสแสดงดังรูป 3.22 เมื่อพัลส์คำสั่งของการสเตปมายังตัวจัดลำดับลอจิก สัญญาณระดับสูงจะออกจากขา เอท์พุทขาใดขาหนึ่งเพื่อกระตุ้นลวดที่พันของเฟสใดเฟสหนึ่ง ตามรูปสัญญาณนี้จะทำให้ $Tr1$ และ $Tr2$ ออน และคักย์ไฟฟ้า E_H จะจ่ายมาสู่ขดลวด ไดโอด $D1$ ตอนนี้จะถูกไบอัสแบบรีเวอร์ส เพื่อแยกซัพพลายที่มีคักย์ไฟฟ้าต่ำออกจากซัพพลายที่มีคักย์ไฟฟ้าสูง กระแสจะถูกสร้างอย่างรวดเร็วโดยโวลเตจที่มีค่าสูง E_H ทรานซิสเตอร์ $Tr1$ จะเท็นออฟเมื่อกระแสของขดลวดเกินอัตราของกระแสที่ตั้งไว้เพียงเล็กน้อย เมื่อแหล่งจ่ายโวลสูงตัดวงจรออกไป ไดโอดจะได้รับการไบอัสตรง และขดลวดจะได้รับการกระแสจากแหล่งจ่ายโวลเตจต่ำ



รูป 3.22 ปรับปรุงการสร้างกระแสโดยใช้โวลเตจคู่



รูป 3.23 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสในตัวขับแบบโวลเตจคู่



รูป 3.24 ตัวขับแบบโวลเตจคู่สำหรับ 2 เฟสของมอเตอร์ 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบวงปิด

4.1) ข้อจำกัดของการควบคุมแบบวงเปิด

ในระบบการขับที่อธิบายในบทที่ 3 พัลส์คำสั่งของการสเตปปีงนั้นได้มาจากแหล่งจ่ายภายนอก ซึ่งคาดว่าสเตปปีงมอเตอร์จะเคลื่อนตามคำสั่งทุกพัลส์ การทำงานลักษณะนี้เรียกว่าการขับแบบวงเปิด การขับแบบวงเปิดได้รับการยอมรับในเรื่องของความเร็วและการควบคุมตำแหน่ง อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดสำหรับการขับแบบวงเปิด ตัวอย่างเช่นการขับแบบวงเปิดจะไม่สามารถติดตามพัลส์ของคำสั่งเมื่อความถี่ของขบวนพัลส์สูงเกินไปหรือโหลดหนักเกินไป ยิ่งไปกว่านั้นลักษณะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์มีแนวโน้มที่จะเกิดการออสซิลเลท

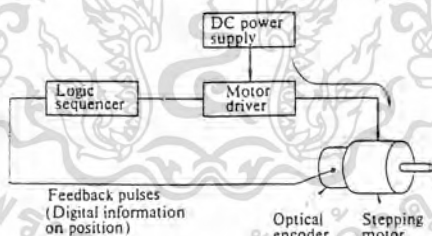
การเคลื่อนที่ของมอเตอร์สามารถที่จะปรับปรุงได้ด้วยการป้อนกลับทางตำแหน่ง หรือการป้อนกลับทางความเร็ว ลักษณะการควบคุมแบบนี้เป็นการขับแบบวงปิด ในการควบคุมแบบวงปิดตัวตรวจจับตำแหน่งจำเป็นสำหรับจับตำแหน่งของโรเตอร์ซึ่งชนิดของตัวตรวจจับปัจจุบันใช้ฮอปติคอลลอนโคดเดอร์คัปปลิงกับแกนของมอเตอร์ ตามรูป 4.10 และ 4.11 การควบคุมแบบวงปิดนี้มีข้อได้เปรียบการควบคุมแบบวงเปิดคือนอกจากจะไม่เกิดการผิดพลาดในการเคลื่อนที่แต่ละสเตปแล้ว การเคลื่อนที่ก็จะเร็วและเรียบกว่า

4.2) ลีดแองเกิล (LEAD ANGLE)

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบปิดเราจะกล่าวถึงมุมลีดหรือลีดแองเกิลเสียก่อน

4.2.1 ลีดแองเกิลขนาดหนึ่งสเตปและขนาดใหญ่กว่าหนึ่งสเตป

สมมุติว่าระบบปิดในรูป 4.1 สเตปปีงมอเตอร์อยู่ในช่วงที่หมุนหรือกำลังเริ่มเคลื่อนที่ ฮอปติคอลลอนโคดเดอร์คัปปลิงอยู่กับโรเตอร์จะตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์และส่งข้อมูลไปยังตัว จัดลำดับลอจิก ตัวจัดลำดับลอจิกจะตัดสินใจจะกระตุ้นเฟสใดต่อไปโดยใช้ข้อมูลทางตำแหน่งความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งปัจจุบันของโรเตอร์ และเฟสที่จะถูกกระตุ้นอยู่ในรูปของลีดแองเกิล



รูป 4.1 ตัวอย่างการทำงานแบบวงปิด

ตามตัวอย่างนี้มอเตอร์เป็นแบบ 3 เฟส และลำดับการกระตุ้นคือ Ph1→Ph2→Ph3 ในการกระตุ้นแบบ 1 เฟส ขณะนี้ Ph1 ถูกกระตุ้นและโรเตอร์หยุดอยู่ในตำแหน่งที่สมดุลย์ต่อมา Ph2 ถูกกระตุ้นและ Ph1 จะหยุดการกระตุ้นเป็นการให้มอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ลีดแองเกิลในกรณีนี้เท่ากับหนึ่งสเตป เมื่อตัวตรวจจับตำแหน่งจับสัญญาณได้ว่าโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่สมดุลย์แล้วของการกระตุ้นจาก Ph(n) ตัวจัดลำดับลอจิกจะส่งสัญญาณเพื่อกระตุ้นPh(n+1) เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อไป

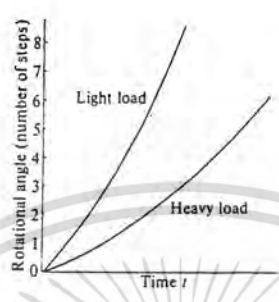
ความเร็วของสเตปปีงมอเตอร์ที่ทำงานในโหมดของวงปิดจะแปรตามโหลด ตามรูป 4.2 ยังมีโหลดมากขึ้นเท่าใดความเร็วจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามลีดแองเกิลของหนึ่งสเตปไม่เป็นที่นิยมใช้ เช่น สมมุติว่ามอเตอร์เคลื่อนที่เกินตำแหน่งที่สมดุลย์ของเฟสที่กระตุ้นอยู่ เมื่อสแตติกทอร์คลดลงจนโรเตอร์เคลื่อนเข้ามาใกล้ตำแหน่งสมดุลย์ ก่อนที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

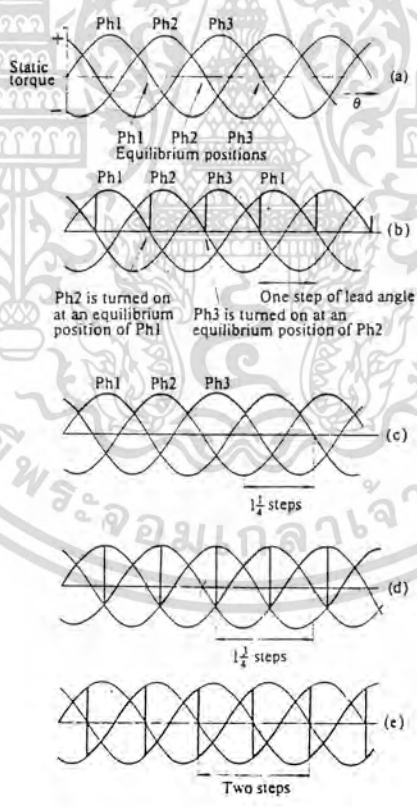
ถึงตำแหน่งสมดุลนั้นกลับหยุดตรงที่สแตติกทอร์กและทอร์กจากแรงเสียดทานมีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้น ลีดแองเกิลเท่ากับหนึ่งสเตป แต่เฟสต่อไปไม่ถูกกระตุ้นมอเตอร์จะไม่เคลื่อนต่อไป ถ้าหากว่าการกระตุ้นเกิดในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนตำแหน่งสมดุล มอเตอร์จะสามารถเคลื่อนไปได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งกรณีนี้ลีดแองเกิลมากกว่าหนึ่งสเตป

4.2.2 ลีดแองเกิลและสแตติกทอร์ก

กราฟของทอร์กและระยะการเคลื่อนที่สำหรับมอเตอร์ 3 เฟสประมาณได้จากรูปไซน์ แสดงดังรูป 4.3(a) เมื่อ มอเตอร์เคลื่อนในโหมดการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและลีดแองเกิลเท่ากับ หนึ่งสเตป สแตติกทอร์กจะแปรตามเวลา



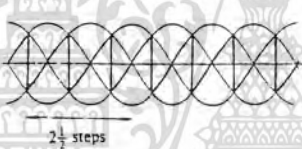
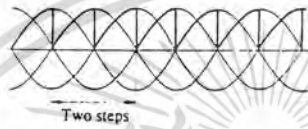
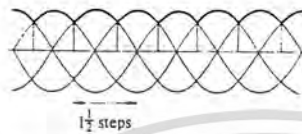
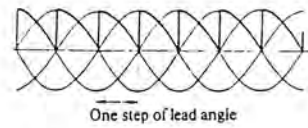
รูป 4.2 กราฟระยะทางและเวลาในการทำงานแบบวงปิด



รูป 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลีดแองเกิลและสแตติกทอร์กในมอเตอร์ 3 เฟส

a) แต่ละเฟส b-c) แปรค่าลีดแองเกิลจาก 1 จนถึง 3 สเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

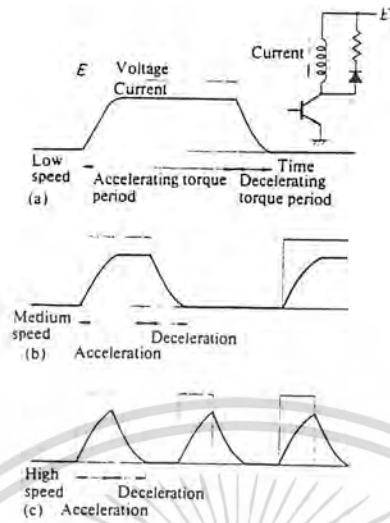


รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างลิตแองเกิลแลสแตติกทอร์คในมอเตอร์ 4 เฟส

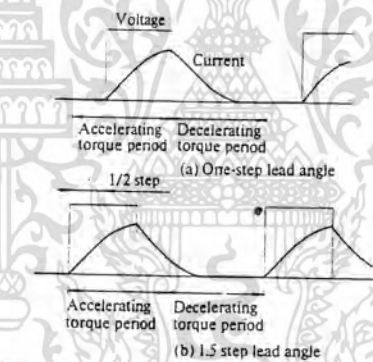
4.2.3 ลิตแองเกิลขนาดใหญ่สำหรับความเร็วสูง

ตามรูป 4.3(e) ค่าเฉลี่ยของสแตติกทอร์คเท่ากับศูนย์ในมอเตอร์ 3 เฟส ถ้าหากลิตแองเกิลถูกเซ็ทให้เท่ากับ 2 สเตป เช่นเดียวกับมอเตอร์ 4 เฟสที่ลิตแองเกิลถูกเซ็ทให้เท่ากับ 2.5 สเตป ค่าเฉลี่ยของสแตติกทอร์คเท่ากับศูนย์ ซึ่งกรณีนี้ที่กล่าวมาจะเป็นจริงเมื่อความเร็วระบบอยู่ในช่วงต่ำ เมื่อมอเตอร์เคลื่อนด้วยลิตแองเกิลซึ่งทำให้เกิดทอร์คที่เพียงพอจะเร่งความเร็วหรือรักษาความเร็วเอาไว้เหล่านี้ขึ้นกับค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้าของการพันขดลวด รูป 4.3 และ 4.4 เขียนภายใต้ข้อกำหนดที่ว่ากระแสสร้างถึงค่าสูงสุดเร็วเท่าที่ทรานซิสเตอร์เทินออนแต่ในความเป็นจริง จะมีช่วงเวลาหน่วงก่อนที่กระแสถึงค่าสูงสุดเนื่องจากค่าตัวเหนี่ยวนำที่เกิดจากการพันขดลวด

ตามรูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสที่อัตราการสเตปต่างๆกัน (a) ความเร็วต่ำ (b) ความเร็วปานกลาง (c) ความเร็วสูง กระแสที่ไหลผ่านขดลวดในช่วงที่ทรานซิสเตอร์เทินออน จะทำให้เกิดทอร์คในด้านบวกสำหรับมอเตอร์ ในทางตรงกัน ข้ามกระแสที่ไหลสวนในขดลวดและไดโอดซัพเพลสเซอร์หลังทรานซิสเตอร์เทินออฟ จะทำให้เกิดทอร์คต้าน เมื่อความเร็วต่ำผลของทอร์คต้านไม่ต้องสนใจ จนกระทั่งความเร็วเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยของทอร์คและความเร็วสูงขึ้นโดยการเพิ่มลิตแองเกิล ค่าเวลาที่เกิดกระแสเข้าไปแทนด้วยการเทินออนที่เร็วขึ้น



รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสในลิตแองเกิลขนาด 1 สเตป



รูป 4.6 ค่าเฉลี่ยทอร์กเพิ่มโดยเพิ่มลิตแองเกิลในช่วงความเร็วสูง

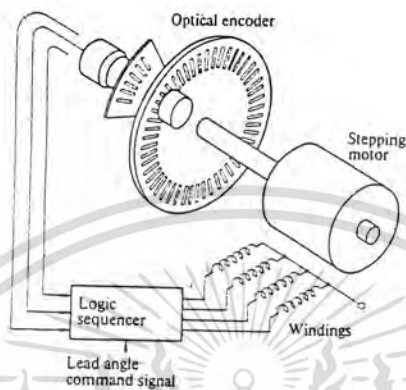
4.2.4 การรวมกันระหว่างการกระตุ้น 1 เฟสและ 2 เฟส

ในกรณีทั่วไปของการควบคุมแบบวงปิด ออพติคอลเอนโคดเดอร์หรือตัวตรวจจับตำแหน่งประเภทอื่นจะดับปลิงกับโรเตอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ พัลส์เอาท์พุทของเอนโคดเดอร์ต่อรอบต้องมากกว่าจำนวนสเตปต่อรอบ ไมเช่นนั้นจะยากในการปรับลิตแองเกิลให้ต่อเนื่องกัน ตัวอย่างเช่น เอนโคดเดอร์มีจำนวนพัลส์ต่อรอบเท่ากับ 200 และจำนวนสเตปของสเตปปีงมอเตอร์เท่ากับ 200 ลิตแองเกิลที่เป็นไปได้เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 สเตป หรือลิตแองเกิลที่น่าจะเป็นไปได้ก็เท่ากับ 0.5, 1.5, 2.5 และ 3.5 สเตป ซึ่งจะเป็นแบบแรกหรือแบบหลังขึ้นกับการดับปลิงของโรเตอร์และเอนโคดเดอร์และการกระตุ้นแบบ 1 เฟสหรือ 2 เฟส ถ้าหากว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟสและ 2 เฟสใช้ได้ร่วมกันระบบสามารถใช้ลิตแองเกิลได้ทั้งหมด 8 มุมด้วยกัน

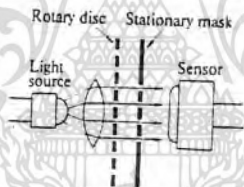
หลักการของอพติคอลเอนโคดเดอร์ แสดงดังรูป 4.8 ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง, ตัวตรวจจับ, จานหมุน และแผ่นหน้าฉากที่อยู่กับที่ แผ่นจานจะมีส่วนที่โปร่งแสงและทึบแสงซึ่งจานจะหมุนไปกับโรเตอร์ หน้าฉากเป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

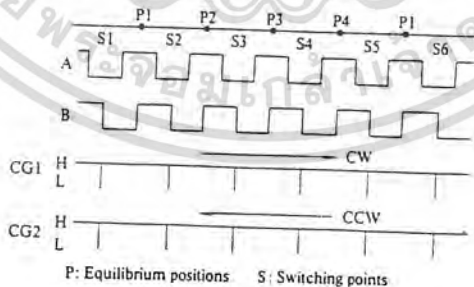
ผ่านของแสงซึ่งกำหนดเป็นคาบเวลา สัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับจะถูกปรับให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล ความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตของเอนโคเดอร์และตำแหน่งสมดุลย์ของการกระตุ้นแบบ 1 เฟส แสดงดังรูป 4.9 เอนโคเดอร์ที่คัปปลิงกับโรเตอร์นั้นตำแหน่งสมดุลย์จะเกิดที่จุดกลางของสัญญาณเอาต์พุตระดับ H ของเซน แนล A เซนแนล A นั้นใช้บอกทิศทางของการหมุนซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป สัญญาณเซนแนล B จะชีจาก A ไปประมาณ 90 องศา ในที่นี้ยังมีสัญญาณนาฬิกา CG1 และ CG2 CG1 ผลิตพัลส์นาฬิกาเมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ขณะที่ CG2 ทำงานเมื่อการเคลื่อนที่เป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา



รูป 4.7 การป้อนกลับทางตำแหน่งโดยออปติคัลเอนโคเดอร์



รูป 4.8 หลักการของออปติคัลเอนโคเดอร์



รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตของเอนโคเดอร์และตำแหน่งสมดุลย์ของการกระตุ้น 1 เฟส

ความสัมพันธ์ระหว่างสวิตช์แองเกิลที่เป็นไปได้ , ตำแหน่งที่สมดุลย์ของการกระตุ้นแบบ 2 เฟส และเฟสที่ถูกกระตุ้นแสดงตามตาราง 4.1 สำหรับ 2 มิศพวง ยกตัวอย่างเช่นแถวของมุมสวิตช์แองเกิลเท่ากับ 1.5 สเตป เมื่อโรเตอร์ข้ามจุดที่เกิดการสวิตช์ S2 Ph2 จะเทินออฟและ Ph3 จะเทินออน ระยะทางจาก S2 ไปยังตำแหน่งสมดุลย์ต่อไปสำหรับที่ Ph3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกกระตุ้นเท่ากับ 1.5 สเตป ถ้าหาก Ph4 เหนืออนที่ S2 ลีดแองเกิลจะเท่ากับ 2.5 สเตปซึ่งเกิดตามแถวที่ 6 ถ้าหากว่า Ph2 และ Ph3 เหนืออนที่ S2 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาซึ่งเกิดตามแถวที่ 3 ลีดแองเกิลเท่ากับ 1 สเตป

ตาราง 4.1 ความสัมพันธ์ของลีดแองเกิล, ตำแหน่งสมดุลและเฟสที่จะถูกกระตุ้นในมอเตอร์ 4 เฟส

CW Lead angle	S1 S2 S3 S4 S5 S6						CW
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	
0	4, 1	1, 2	2, 3	3, 4	4, 1	#1	
0.5	1	2	3	4	1	#2	Stop, CW
1.0	1, 2	2, 3	3, 4	4, 1	1, 2	#3	
1.5	2	3	4	1	2	#4	Revs, CW
2.0	2, 3	3, 4	4, 1	1, 2	2, 3	#5	Accel, CW
2.5	3	4	1	2	3	#6	
3.0	3, 4	4, 1	1, 2	2, 3	3, 4	#7	
3.5 (= -0.5)	4	1	2	3	4	#8	Decel, CW

CCW lead angle	S1 S2 S3 S4 S5 S6						CCW
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	
0	1, 2	2, 3	3, 4	4, 1	1, 2	#1	
0.5	1	2	3	4	1	#2	Stop, CCW
1.0	4, 1	1, 2	2, 3	3, 4	4, 1	#3	
1.5	4	1	2	3	4	#4	Revs, CCW
2.0	3, 4	4, 1	1, 2	2, 3	3, 4	#5	Accel, CCW
2.5	3	4	1	2	3	#6	
3.0	2, 3	3, 4	4, 1	1, 2	2, 3	#7	
3.5 (= -0.5)	2	3	4	1	2	#8	Decel, CCW

Notes (1) P1, P2, P3, and P4 are one-phase-on equilibrium positions.

(2) S1, S2... are switching points in this arrangement.

#1: Effective braking; does not ensure reversing

#2: Poor braking; used for final positioning

#3: Not good for running

#4: Good starting, slow slewing

#5: Good starting/acceleration

#6: Does not start motor, but provides high slow speed

#7: Starts motor in opposite direction, provides highest slewing in normal direction

#8: Good braking

ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ของลีดแองเกิล, ตำแหน่งสมดุลและเฟสที่จะถูกกระตุ้นในมอเตอร์ 4 เฟส

CW lead angle	S200 S1 S2 S3 S4										CW
	P4	P ₄₁	P1	P ₁₂	P2	P ₂₃	P3	P ₃₄	P4		
0	4		1		2		3		4		
0.5	4, 1		1, 2		2, 3		3, 4		4, 1		
1.0	1		2		3		4		1, 2		
1.5	1, 2		2, 3		3, 4		4, 1		1, 2		
2.0	2		3		4		1		2, 3		
2.5	2, 3		3, 4		4, 1		1, 2		2, 3		
3.0	3		4		1		2		3, 4		
3.5 (= -0.5)	3, 4		4, 1		1, 2		2, 3		3, 4		

CCW lead angle	S200 S1 S2 S3 S4										CCW
	P4	P ₄₁	P1	P ₁₂	P2	P ₂₃	P3	P ₃₄	P4		
0		1		2		3		4			
0.5		4, 1		1, 2		2, 3		3, 4			
1.0		4		1		2		3			
1.5		3, 4		4, 1		1, 2		2, 3			
2.0		3		4		1		2			
2.5		2, 3		3, 4		4, 1		1, 2			
3.0		2		3		4		1			
3.5 (= -0.5)		1, 2		2, 3		3, 4		4, 1			

Notes (1) P1, P2, P3, and P4 are the single-phase-on equilibrium positions.

(2) P₁₂, P₂₃, P₃₄, and P₄₁ are the two-phase-on equilibrium positions.

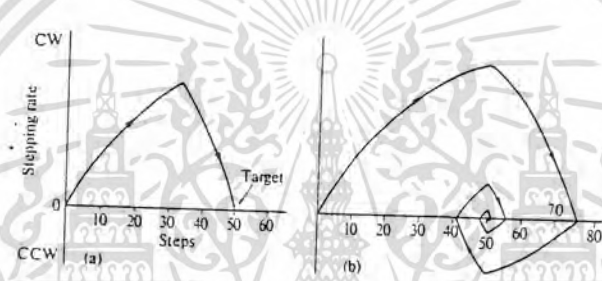
(3) S1, S2... are switching points in this arrangement, being different from S1, S2... in Table 7.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

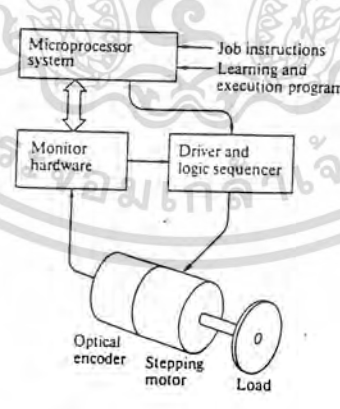
4.3 การควบคุมวงปิดโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

ปัจจุบันนี้ไมโครโปรเซสเซอร์มีราคาถูก การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับวิศวกรจึงเป็นเรื่องน่าสนใจ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงระบบที่ออกแบบโดยเคนโจ (KENJO) ขับไฮบริดจัมเตอร์ 4 เฟส 1.8 องศาต่อสเตปไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้แบบ 8080 ลิตแอนเกิลและจุดที่จะเกิดการสวิตช์ใช้ตามตาราง 4.1 ตัวตรวจจับตำแหน่งใช้ออปติคอลลอนโคดเดอร์ 3 แชนแนล แชนแนล A และ B ใช้ในการจับทิศทาง แชนแนล R ใช้กำเนิดพัลส์เมื่อหมุนครบรอบ รูป 4.10 แสดงกราฟที่เกี่ยวกับความเร็วและระยะทางภายใต้การควบคุมแบบวงปิดรูป(a) เป็นรูปแบบที่ลิตแอนเกิลสตาร์ทด้วยลิตแอนเกิลที่เหมาะสม เร่งด้วยมุมลิตแอนเกิลขนาดอื่น และเริ่มหมุนตรงจุดเวลาที่ดีที่สุดซึ่งความเร็วจะลดลงอย่างรวดเร็วและเท่ากับศูนย์ที่จุดหมายเพื่อที่จะเร่งมอเตอร์ลิตแอนเกิลจะมีขนาดใหญ่กว่า 1 สเตป ขณะที่ลิตแอนเกิลที่เป็นศูนย์หรือเป็นลบใช้สำหรับหน่วง รูป(b) มอเตอร์ไม่สามารถที่จะหยุดได้ทันที และยังมีช่วงที่เคลื่อนเกิน ตำแหน่งที่ต้องการซึ่งการทำให้หยุด ณ ตำแหน่งที่ต้องการดีกว่านั้นต้องเซ็ทลิตแอนเกิลที่เหมาะสมไม่เช่นนั้นจะเกิดการออส-ซิลเลตดังรูป

ระบบที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์นั้นเพื่อที่จะหาเวลาที่ดีที่สุดที่จะเปลี่ยนลิตแอนเกิล รูป 4.11 แสดงตัวจัดลำดับ-ดับลอลจิกซึ่งอยู่แยกจากไมโครโปรเซสเซอร์ สัญญาณของตำแหน่งจะถูกส่งกลับไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ โปรแกรมที่ป้อนให้ไมโครโปรเซสเซอร์จะหาเวลาที่ดีสำหรับเปลี่ยนลิตแอนเกิลขึ้นอยู่กับตำแหน่งของข้อมูลและความเร็ว



รูป 4.10 กราฟของความเร็วและระยะทาง a) กราฟที่สมบูรณ์ b) กราฟที่ไม่สมบูรณ์



รูป 4.11 แสดงระบบปิด

4.3.2 รายละเอียดของระบบและฮาร์ดแวร์

ระบบการควบคุมวงปิดแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูป 4.12 เมื่อมีชุดคำสั่งเช่น พิมพ์อักษรหรือเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยระบบอื่น ไมโครโปรเซสเซอร์จะคำนวณระยะทาง จนถึงเป้าหมายและทิศทางการหมุน ไมโครโปรเซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเซอร์ยังใช้เป็นตัวตัดสินใจในการเซ็ทลีดแองเกิล ตัดสินจากข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- (i) ตำแหน่งปัจจุบัน
- (ii) จำนวนสเตปที่ผิดพลาดจากเป้าหมาย
- (iii) สัญญาณบ่งชี้ว่าโรเตอร์ได้ผ่านจุดที่เป็นระยะครึ่งทางก่อนถึงเป้าหมาย
- (iv) สัญญาณที่บอกว่าการเคลื่อนที่ย้อนกลับ
- (v) ความเร็ว

1) ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา/ตัวจับทิศทาง (CLOCK GENERATOR/DIRECTION DISCRIMINATOR)

ส่วนนี้จะรับสัญญาณจาก 3 แชนแนลของออปติคัลเอนโคดเดอร์ และสร้างพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งใช้ในการทำงานของฮาร์ดแวร์ภายนอกไมโครโปรเซสเซอร์ ตัวแยกทิศทางเป็นเซ็ท-รีเซ็ทฟลิปฟลอป แสดงในรูป 4.13 สัญญาณนาฬิกา CG1 ปลอ่ยออกมาเมื่อมีการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาและถูกส่งไปยังขั้ว S และสัญญาณนาฬิกาจาก CG2 ปลอ่ยออกมาเมื่อมีการหมุนทวนเข็มนาฬิกาและส่งไปยังขั้ว R ถ้ามีสัญญาณนาฬิกาจาก CG1 มีผลต่อสถานะของ Q1 ให้เป็น H จำนวนพัลส์จาก CG1 จะไม่เปลี่ยนสถานะของ Q1 และ Q2 ตามที่แสดงในรูป 4.14 มอเตอร์เคลื่อนเข้าไปใกล้ตำแหน่งสมดุลย์จนกระทั่งมีการผ่านจุด S3 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมอเตอร์เคลื่อนผ่านจุด S3 สัญญาณนาฬิกาจะสร้างโดย CG2 เพื่อเปลี่ยนเอาท์พุทของ Q1=L และ Q2=H มันเป็นไปได้ที่โรเตอร์จะเกิดการออสซิลเลทรอบ ๆ จุดสมดุลย์ แสดงดังรูป 4.15 แต่ตัวบอกทิศทางจะไม่เปลี่ยนจนกระทั่งจุดที่จะเกิดการสวิตช์ถูกข้ามผ่านไปก่อน

2) ตัวนับเฟส (PHASE COUNTER)

จะบอกว่าเฟสใดที่มอเตอร์ผ่านหรือหยุด

3) ตัวจัดลำดับลอจิก (LOGIC SEQUENCER)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ตัดสินใจว่าจะให้เฟสใดถูกกระตุ้น โดยรับคำสั่งสำหรับลีดแองเกิลและทิศทางจากไมโครโปรเซสเซอร์และอ้างอิงข้อมูลจากตัวนับเฟส

4) โหมดการหยุดของลีดแองเกิล (STOP MODE OF LEAD ANGLE AND FINAL POSITION)

ลีดแองเกิลเซ็ทให้เท่ากับ 0.5 สเตป หรืออยู่ในโหมดการหยุดโดยฮาร์ดแวร์เมื่อมอเตอร์อยู่ในช่วงของตำแหน่งเป้าหมาย ถ้าหากว่าความเร็วของมอเตอร์ช้าพอเมื่อโรเตอร์เข้ามาสู่ช่วงเป้าหมายมันจะลดความเร็วลงและหยุดที่จุดสมดุลย์ตามระบบนี้ใช้การกระตุ้นแบบ 1 เฟส ถ้าหากว่าโรเตอร์ผ่านช่วงของจุดหมายและไม่สามารถที่จะหยุดได้ ลีดแองเกิลจะเซ็ทโดยฮาร์ดแวร์ก่อนที่จะใส่ช่วงเป้าหมาย

5) ตัวขับมอเตอร์ (MOTOR DRIVER)

วงจรกำลังที่จะขับมอเตอร์ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา

6) ตัวนับตำแหน่งปัจจุบัน (PRESENT POSITION COUNTER)

เป็นตัวที่บันทึกตำแหน่งปัจจุบัน ขณะที่หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตัวนับจะถูกรีเซ็ทเท่ากับศูนย์และนับขึ้นเมื่อไรก็ตามที่มันได้รับพัลส์จาก CG1 ถ้าตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับได้ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาตัวนับจะเซ็ทเท่ากับ 200 เพื่อที่จะนับลำดับที่ 199 ต่อไปซึ่งเป็นการนับลง

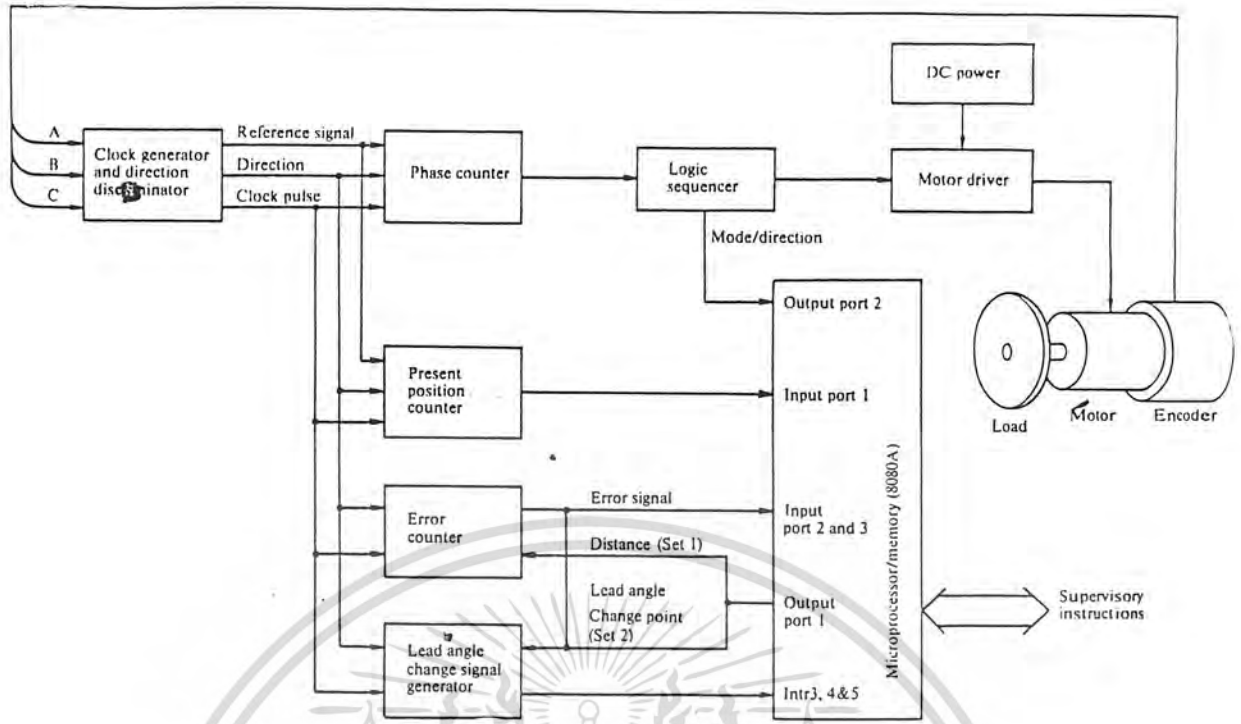
7) ตัวนับความคลาดเคลื่อน (ERROR COUNTER)

ส่วนนี้จะนับระยะทางระหว่างตำแหน่งปัจจุบันและเป้าหมายที่ต้องการ และส่งข้อมูลนี้ไปยังพอร์ทอินพุท 2 และ 3 ในไมโครโปรเซสเซอร์

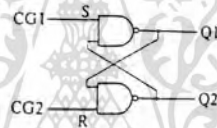
8) ตัวสร้างสัญญาณเพื่อเปลี่ยนลีดแองเกิล (LEAD ANGLE CHANGE SIGNAL GENERATOR)

ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งตำแหน่งที่ต้องการเปลี่ยนค่าลีดแองเกิลมายังส่วนนี้ และเมื่อถึงตำแหน่งนั้นแล้วส่วนนี้จะส่งสัญญาณกลับไปอินเทอร์พไมโครโปรเซสเซอร์

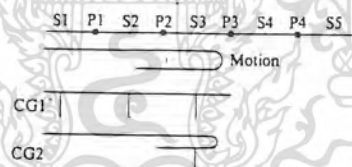
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



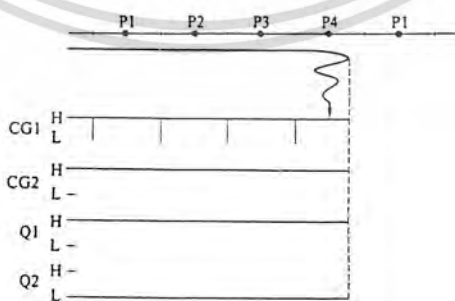
รูป 4.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบปิด



รูป 4.13 เซ็ท รีเซ็ทฟลิปฟลอป



รูป 4.14 การเคลื่อนย้อนกลับและสัญญาณนาฬิกา



รูป 4.15 แสดงการออกสวิตช์เลขซึ่งไม่เปลี่ยนสภาวะของตัวบอกทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของสเตปปีงมอเตอร์

ลักษณะทางไดนามิกส์มีความสำคัญเช่นเดียวกันกับลักษณะทางสถติก ทฤษฎีต่างๆทางไดนามิกส์มีการนำเสนอมากมายด้วยกัน ท่ามกลางการนำเสนอเหล่านี้ ทฤษฎีของ"ลอเรนสัน"และ"ฮิวจ์" เนื่องจากน่าสนใจและครอบคลุมส่วนที่สำคัญของสเตปปีงมอเตอร์รุ่นใหม่

5.1) สมการพื้นฐาน

รูป 5.1 ใช้วิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดการออสซิลเลท และการหน่วงทางแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตปปีงมอเตอร์ รูป 5.1(a) เป็นแบบ pm มอเตอร์ รูป (b) เป็น vr มอเตอร์แบบซันเดียวเฟสทั้ง 2 กำหนดโดย A และ B

5.1.1 มอเตอร์แบบซันแม่เหล็กถาวรและไฮบริดจ์มอเตอร์

ถ้าหากว่าค่าสูงสุดของฟลักซ์ลิงค์เกจที่สร้างโดยแม่เหล็กถาวรเท่ากับ $n\Phi_M$ ทอร์คที่สร้างโดย กระแส i_A ในการพันขดลวด A มีค่าเท่ากับ

$$\tau_A = -pn\Phi_M i_A \sin p\theta \quad (5.1)$$

ในทำนองเดียวกันทอร์คที่เกิดจากกระแส i_B มีค่าเท่ากับ

$$\tau_B = -pn\Phi_M i_B \sin p\theta \quad (5.2)$$

p เท่ากับจำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก แต่สามารถจะแทนได้ด้วย N_r (จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์) ในกรณีของไฮบริดจ์มอเตอร์ตามรูป 5.2 ตามแบบจุดกลางของขั้ว A เป็นจุดเริ่มต้นของ θ ฟลักซ์ลิงค์เกจ $n\theta$ ประมาณจากการกระจายแบบไซน์

$$n\phi = n\Phi_M \cos p\theta \quad (5.3)$$



รูป 5.1 แบบของสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การหน่วงด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า e.m.f ที่เหนี่ยวนำในเฟส A เท่ากับ

$$e_{eA} = -n \frac{d\phi}{dt} = -n \frac{d\phi d\theta}{d\theta dt} = (np\Phi_M \sin p\theta) \dot{\theta} \quad (5.4)$$

จากการเปรียบเทียบสมการ (5.10) และสมการ (5.4) เราจะได้ว่า

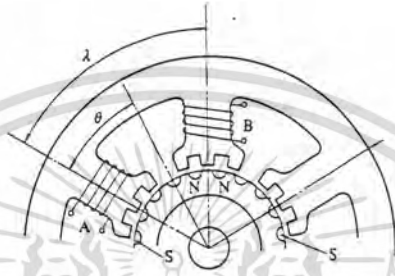
$$\tau_A = -e_{eA} i_A / \dot{\theta},$$

สมการการเคลื่อนที่ของโรเตอร์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J \frac{d^2\theta}{dt} + D \frac{d\theta}{dt} + pn\Phi_M i_A \sin p\theta + pn\Phi_M i_B \sin p(\theta - \lambda) = 0 \tag{5.5}$$

D เป็นสัมประสิทธิ์ของการหน่วงจากอากาศและแรงเสียดทาน และผลของสมการลำดับ 2 ขึ้นกับฮีสเทอรี-รีซิสและกระแสไหลวน สมการโวลเตจสำหรับการพันลวดที่สเตเตอร์คือ



รูป 5.2 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด; $p = N_r$

$$V - ri_A - L \frac{di_A}{dt} - M \frac{di_B}{dt} + \frac{d(n\Phi_M \cos p\theta)}{dt} = 0, \tag{5.6}$$

$$V - ri_B - L \frac{di_B}{dt} - M \frac{di_A}{dt} + \frac{d(n\Phi_M \cos p(\theta - \lambda))}{dt} = 0, \tag{5.7}$$

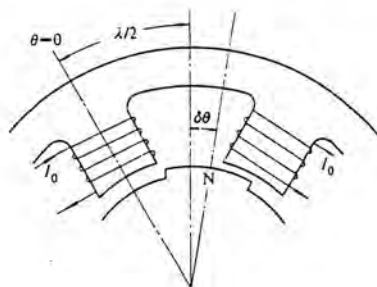
เมื่อ V : ความต่างศักย์ระหว่างขั้วกระแสตรง

L : ค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละเฟส

M : ค่าความเหนี่ยวนำร่วม

r : ความต้านทานของวงจรสเตเตอร์

ตามสมการสมมุติว่า L และ M ขึ้นอยู่กับ θ สมการ (5.5) - (5.7) เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลแบบนอน-ลิเนียร์ การวิเคราะห์สมการเริ่มจากทำให้เป็นสมการเส้นตรง ถ้าหากว่าการพันลวดของทั้ง 2 เฟส ทำให้มีกระแส I_0 ในทิศทางที่จะทำให้เกิดขั้วใต้ตำแหน่งของมุมคือ $\theta = \lambda/2$ ตามรูป 5.3 การเบี่ยงเบนจากตำแหน่งสมดุลย์แทนด้วย $\delta\theta$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อมอเตอร์หมุนหรือออสซิลเลทกระแสในขดลวดที่พันจะเปลี่ยนแปลงไปจากจุดสมดุลย์ โดย $i_A(t)$ และ $i_B(t)$ สมการ (5.5) และ (5.6) สามารถทำให้เป็นเส้นตรงดังนี้



รูป 5.3 การควบคุมตำแหน่งของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจาก

$$\theta = \frac{\lambda}{2} + \delta\theta \quad (5.8)$$

$$i_A = I_o + \delta i_A \quad (5.9)$$

$$i_B = I_o + \delta i_B \quad (5.10)$$

จากนั้นเราจะได้

$$\sin p\theta = \sin p\left(\frac{p\lambda}{2} + p\delta\theta\right) = \sin \frac{p\lambda}{2} \cos p\delta\theta + \cos \frac{p\lambda}{2} \sin p\delta\theta \quad (5.11)$$

เมื่อ $p\delta\theta$ เป็นมุมขนาดเล็ก

$$\cos p\delta\theta = 1 \quad (5.12)$$

$$\sin p\delta\theta = p\delta\theta \quad (5.13)$$

สมการที่(4.11) จะกลายมาเป็น

$$\sin p\theta = \sin \frac{p\lambda}{2} + p \cos \frac{p\lambda}{2} (\delta\theta) \quad (5.14)$$

ทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned} \sin p(\theta - \lambda) &= \sin p\left(\frac{\lambda}{2} + \delta\theta - \lambda\right) = -\sin p(\lambda - \delta\theta) \\ &= -\sin \frac{p\lambda}{2} + p \left(\cos \frac{p\lambda}{2}\right) (\delta\theta) \end{aligned} \quad (5.15)$$

โดยการแทนสมการ (5.8), (5.9), (5.10), (5.14) และ (5.15) มายังสมการ (5.5) จะได้

$$\begin{aligned} J \frac{d^2(\delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\theta)}{dt} + pn \phi_M (I_o + \delta i_A) \left\{ \sin \frac{p\lambda}{2} + p \left(\cos \frac{p\lambda}{2}\right) (\delta\theta) \right\} + \\ pn \phi_M (I_o + \delta i_B) \left\{ \sin \frac{p\lambda}{2} + p \left(\cos \frac{p\lambda}{2}\right) (\delta\theta) \right\} = 0 \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$J \frac{d^2(\delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\theta)}{dt} + p^2 n \phi_M I_o \left(\cos \frac{p\lambda}{2}\right) (\delta\theta) + pn \phi_M \left(\sin \frac{p\lambda}{2}\right) (\delta i_A - \delta i_B) = 0 \quad (5.17)$$

$$r(\delta i_A) + L \frac{d(\delta i_A)}{dt} + M \frac{d(\delta i_B)}{dt} + pn \phi_M \sin \left(\frac{p\lambda}{2}\right) \frac{d(\delta\theta)}{dt} = 0 \quad (5.18)$$

$$r(\delta i_B) + L \frac{d(\delta i_B)}{dt} + M \frac{d(\delta i_A)}{dt} + pn \phi_M \sin \left(\frac{p\lambda}{2}\right) \frac{d(\delta\theta)}{dt} = 0 \quad (5.19)$$

เราแก้สมการโดยวิธีการแปลงลาปลาซโดยให้ $d/dt = s$ และ $d^2/dt^2 = s^2$ ลาปลาซทรานสฟอร์มแทนโดยอักษรตัวใหญ่

$$\delta\theta(t) \rightarrow \Theta(s)$$

$$\delta i_A(t) \rightarrow I_A(s)$$

$$\delta i_B(t) \rightarrow I_B(s)$$

ผลที่ได้คือ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_A = -I_B = \frac{p\Phi_M n \sin\left(\frac{p\lambda}{2}\right)(s\Theta - \theta_i)}{(r + L_p s)} \quad (5.20)$$

$$\Theta = \frac{\left\{s^2 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J}\right)s + \left(\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + k_p \omega_{np}^2\right)\right\} \theta_i}{s^3 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J}\right)s^2 + \left\{\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_{np}^2(1 + k_p)\right\}s + \left(\frac{r}{L_p}\right)\omega_{np}^2} \quad (5.21)$$

เมื่อ

$$L_p = L - M \quad (5.22)$$

$$k_p = \frac{n\phi_M \sin^2\left(\frac{p\lambda}{2}\right)}{L_p I_o \cos\left(\frac{p\lambda}{2}\right)} \quad (5.23)$$

$$\omega_{np}^2 = \frac{2p^2 \phi_M n I_o \cos\left(\frac{p\lambda}{2}\right)}{J} \quad (5.24)$$

เราคำนวณโดยใช้ สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ขั้นเดียวแต่สามารถที่จะนำไปประยุกต์กับสเตปมอเตอร์หลายขั้นได้โดยการหาค่าของความเหนี่ยวนำร่วมเท่ากับศูนย์ ค่าความเหนี่ยวนำเฉพาะตัวและค่าความเหนี่ยวนำร่วมตามรูป 5.1(b) มีรูปแบบแสดงตามสมการดังนี้

$$L_A = L_o + L \cos 2p\theta \quad (5.25)$$

$$L_B = L_o + L \cos 2p(\theta - \lambda) \quad (5.26)$$

$$M_{AB} = -M_o + M \cos 2p\left(\theta - \frac{\lambda}{2}\right) \quad (5.27)$$

เครื่องหมายลบสำหรับ M_o ตามสมการ (5.27) แสดงให้เห็นว่ากระแสในทิศทางบวกจะสร้างฟลักซ์ลิ่งค์เกจที่เป็นลบแก่ขดลวดอื่น ทอร์คที่ถูกสร้างโดยกระแส i_A และ i_B แสดงโดย

$$\tau = \frac{1}{2} i_A^2 \frac{dL_A}{d\theta} + \frac{1}{2} i_B^2 \frac{dL_B}{d\theta} + i_A i_B \frac{dM_{AB}}{d\theta} \quad (5.28)$$

$$= -\left\{i_A^2 pL \sin 2p\theta + i_B^2 pL \sin 2p(\theta - \lambda) + 2i_A i_B pM \sin 2p\left(\theta - \frac{\lambda}{2}\right)\right\} \quad (5.29)$$

สมการการเคลื่อนที่คือ

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + i_A^2 pL \sin 2p\theta + i_B^2 pL \sin 2p(\theta - \lambda) + 2i_A i_B pM \sin 2p\left(\theta - \frac{\lambda}{2}\right) = 0 \quad (5.30)$$

สมการตกตาไฟฟ้าสำหรับขดลวดสองขด

$$V - r i_A - L \frac{d}{dt}(L_A i_A) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_B) = 0 \quad (5.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V - ri_B - L \frac{d}{dt}(L_B i_B) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_A) = 0 \quad (5.32)$$

สมการที่ถูกทำให้เป็นสมการเส้นตรง

$$J \frac{d^2(\delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\theta)}{dt} + 4p^2 I_o^2 (M + L \cos p\lambda)(\delta\theta) + 2pI_o L \sin p\lambda (\delta_A + \delta_B) = 0, \quad (5.33)$$

$$r(\delta_A) + (L_o + L \cos p\lambda) \frac{d}{dt}(\delta_A) + (M - M_o) \frac{d}{dt}(\delta_B) - 2pI_o L \sin p\lambda \frac{d}{dt}(\delta\theta) = 0, \quad (5.34)$$

$$r(\delta_B) + (L_o + L \cos p\lambda) \frac{d}{dt}(\delta_B) + (M - M_o) \frac{d}{dt}(\delta_A) - 2pI_o L \sin p\lambda \frac{d}{dt}(\delta\theta) = 0, \quad (5.35)$$

สมการ (5.33) ถึง (5.34) มีตัวแปรแบบเดียวกับสมการ (5.17) ถึง (5.19)

$$I_A = -I_B = \frac{2pI_o L \sin(p\lambda)(s\Theta - \theta_i)}{(r + L_v s)} \quad (5.36)$$

$$\Theta = \frac{\left\{ s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s + \left(\frac{r}{L_v} \frac{D}{J} + k_p \omega_{nv}^2 \right) \right\} \theta_i}{s^3 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s^2 + \left\{ \frac{r}{L_v} \frac{D}{J} + \omega_{nv}^2 (1 + k_v) \right\} s + \left(\frac{r}{L_v} \right) \omega_{nv}^2} \quad (5.37)$$

$$L_v = L_o - L \cos p\lambda - M + M_o \quad (5.38)$$

$$k_v = \frac{2L^2 \sin^2 p\lambda}{L_v (M + L \cos p\lambda)} \quad (5.39)$$

$$\omega_{nv}^2 = \frac{4p^2 I_o^2 (M + L \cos p\lambda)}{J} \quad (5.40)$$

5.2) ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของสเตปิงมอเตอร์

สมการ (5.21) และ (5.37) เสนอในรูปของ S โดเมนสำหรับจุดเริ่มต้น $\delta\theta = \theta_i$ ดังนั้นตอนนี้เราจะมาดูถึงเรื่องทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดยปกติสเตปิงมอเตอร์มักจะถูควบคุมทางตำแหน่งตามรูป 5.3 จุดศูนย์กลางของโรเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง $\theta = \lambda/2$ โดยการกระตุ้น 2 เฟสให้เท่ากัน; ค่าที่ต้องการในกรณีนี้เท่ากับ $\theta = \lambda/2$ ลาลาสทรานสเฟอร์ของค่าที่ต้องการแทนด้วย Θ , และลาลาสทรานสเฟอร์ของตำแหน่งที่เกิดจริง ,

$\delta\theta(t)$ เป็น Θ_o ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันจะได้เป็น

$$G(s) = \frac{\Theta_o}{\Theta_i} \quad (5.41)$$

5.2.1 การทำงานแบบเฟสเดียว

ตามสภาวะก่อนหน้านี้นี้เมื่อ $\lambda = 0$ ขดลวดทำงานอยู่หนึ่งเฟส การแก้สมการหนึ่งเฟสสามารถที่จะใส่ค่า $\lambda = 0$ ลงในสมการสองเฟสได้ เทอมสุดท้ายของแต่ละสมการตั้งแต่สมการที่ (5.17) ถึง (5.19) และ (5.30) ถึง (5.32) เท่ากับศูนย์ และสมการทางกลรวมทั้งสมการทางไฟฟ้าไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง สมการที่แปลงสำหรับ PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ได้มาจากสมการ (5.17) ส่วนของ VR มอเตอร์ได้มาจากสมการ (5.32) เพื่อที่จะได้ในกรณีของ PM มอเตอร์ ใส่ค่า $\lambda = 0$ ลงในสมการ (5.17) เราจะได้

$$J \frac{d^2(\delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\theta)}{dt} + 2p^2\Phi_M n I_o \delta\theta = 0 \quad (5.42)$$

$$\delta\theta = \theta_o - \theta_i \quad (5.43)$$

สมการ (5.42) เขียนใหม่ได้เป็น

$$J \frac{d^2\theta_o(t)}{dt^2} + D \frac{d\theta_o(t)}{dt} + 2p^2\Phi_M n I_o \theta_o(t) = 2p^2\Phi_M n I_o \theta_i \quad (5.44)$$

ลาปลาซทรานสฟอร์มของสมการเมื่อเงื่อนไขเริ่มต้น $\theta_o = 0, \frac{d\theta_o}{dt} = 0$ at $t=0$

$$(s^2J + sD + 2p^2\Phi_M n I_o)\Theta_o(s) = 2p^2\Phi_M n I_o\Theta_i \quad (5.45)$$

จากที่ผ่านมาจะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

$$G(s) = \frac{\Theta_o}{\Theta_i} = \frac{2p^2\Phi_M n I_o}{Js^2 + Ds + 2p^2\Phi_M n I_o} = \frac{\omega_{np}^2}{s^2 + Ds/J + \omega_{np}^2} \quad (5.46)$$

ได้ความถี่เชิงมุมธรรมชาติ

$$\omega_{np} = \sqrt{\left(2p^2\Phi_M n I_o / J\right)} \quad (5.47)$$

หรือ

$$\omega_{np} = \sqrt{\left(N_r K_T I_o / J\right)} \quad (5.48)$$

สมการ (5.48) เป็นรูปแบบที่ทราบกันดีของไฮบริดจัสเตปมอเตอร์, K_T เป็นค่าคงที่ของทอร์คโดยที่

$$K_T = 2nN_r\Phi_M \quad (5.49)$$

ทอร์ครวม τ ได้จากการรวมกันระหว่าง τ_A และ τ_B แต่ $\lambda = 0$ สำหรับการกระตุ้นหนึ่งเฟสและสำหรับไฮบริดจัสเตปมอเตอร์

$$\tau = -2N_r n \Phi_M I_o \sin(N_r \delta\theta) \quad (5.50)$$

ถ้าหากตำแหน่งของโรเตอร์ $\delta\theta$ เข้าใกล้ศูนย์ $\sin(N_r \delta\theta) = N_r \delta\theta$ ดังนั้นเราจะจะได้

$$\tau = -2N_r^2 n \Phi_M I_o \delta\theta \quad (5.51)$$

ถ้าหากทอร์คที่เกิดในสเตปปิงมอเตอร์เป็นสมการเส้นตรงของ $\delta\theta$ ดังนั้นจะอยู่ในรูป

$$\tau = -K_T N_r I_o \delta\theta \quad (5.52)$$

เปรียบเทียบสมการ (5.50) และ (5.52) เราจะพบว่าค่าคงที่ของทอร์คตามสมการ (5.52) จะอยู่ในรูปสมการ (5.49) แทน P ด้วย N_r ในสมการ (5.47) และประมาณค่า n โดยใช้สมการ (5.49) ถ้าหากว่าแทน เป็นจำนวนรอบของขดลวดในเฟส จะเสนอ K_T ในรูป

$$K_T = n_1 N_r \Phi_M \quad (5.53)$$

ค่าคงที่ของทอร์คที่เห็นเป็นรูปแบบทางทฤษฎีแต่ค่าที่ได้มาจากการประมาณจาก T/θ CHARACTERISTIC CURVE โดยวิธีเส้นตรงดังรูป 4.4 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันในรูปของสมการ (5.46) สามารถเขียนมาจากสมการ (5.21) เมื่อ $\lambda = 0$ ในกรณีนี้ mutual inductance M เป็นเช่นเดียวกับ self-inductance L และ L_p ของสมการ (5.22)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นศูนย์ หลังจากทำการคูณด้วย(numerator)คือ L_p/r , เราใส่ $L_p = 0$ จะได้

$$\Theta = \frac{(s + D_J)\theta_i}{s^2 + (D_J)s + \omega_{np}^2} \tag{5.54}$$

ถ้าหากเราเปลี่ยนจาก (numerator) มาเป็นค่าคงที่ซึ่งทำให้ค่าของฟังก์ชันเป็นหนึ่งหน่วยเมื่อ $s = 0$ มันจะเป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของ VR มอเตอร์หาในลักษณะเดียวกัน



รูป 5.4 ทอร์กและระยะการเคลื่อนที่และการประมาณค่าโดยเส้นตรง

5.2.2 ขับโดยแหล่งจ่ายกระแส

มีหลายทางที่จะใช้การกระตุ้นจากโวลเตจหรือกระแส ในสมการ (5.6) และ (5.7) หรือ (5.31) และ(5.32)ค่าโวลเตจคงที่ถูกนำมาใช้ซึ่งหมายความว่าแหล่งจ่ายโวลเตจถูกนำมาใช้ถ้าหากว่ามอเตอร์ถูกขับโดยแหล่งจ่ายกระแส)

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันสำหรับการขับด้วยกระแสจะนำมากล่าวในที่นี้

$$\tau = CN_r I_M \sin p \tag{5.55}$$

เมื่อ C = ค่าคงที่ที่ได้จาก dimensions ของมอเตอร์และจำนวนการพัน

I_M = กระแสไฟค

มุมทอร์ค p มาจาก

$$p = \xi_i - \xi_0 \tag{5.56}$$

เมื่อ ξ_i = มุมทางไฟฟ้าของตำแหน่งโรเตอร์ที่ต้องการ

ξ_0 = มุมทางไฟฟ้าของตำแหน่งโรเตอร์จริง

จากหนังสือ STEPPING MOTORS AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROLS (TAKASHI KENJO) สมการที่ (3.71) และ (3.72)จะได้

$$\xi_i = \omega t \tag{5.57}$$

หมายความว่าตำแหน่งที่ต้องการจะเปลี่ยนไปตาม ω ถ้าหาก ξ_i ถูกกำหนดที่ ωt_1 ที่ $t = t_1$, โรเตอร์คาดว่าจะอยู่ที่ตำแหน่ง $P = 0$, ω ในสมการที่ (5.57) เท่ากับความถี่เชิงมุมของ INDUCE VOLTAGE โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ(3.68)และ(3.69)(จากKENJO)และสัมพันธ์กับจำนวนของซี่ฟัน N_r มุมทางไฟฟ้าสัมพันธ์กับมุมทางกลดังนี้

$$\theta_i = \xi_i / N_r \quad (5.58)$$

$$\theta_o = \xi_o / N_r \quad (5.59)$$

ทอร์คของสมการ (5.55) เขียนเป็น

$$\begin{aligned} \tau &= CN_r I_M \sin N_r (\theta_i - \theta_o) \\ &= K_T I_M N_r \sin N_r (\theta_i - \theta_o) \end{aligned} \quad (5.60)$$

ค่าคงที่ของทอร์ค K_T คือ

$$K_T = CN_r \quad (5.61)$$

ถ้า $\theta_i \approx \theta_o$

$$\tau \approx K_T I_M N_r (\theta_i - \theta_o) \quad (5.62)$$

สมการของการเคลื่อนที่

$$J \frac{d^2 \theta_o}{dt^2} + D \frac{d\theta_o}{dt} = K_T I_M N_r (\theta_i - \theta_o) \quad (5.63)$$

ลาปลาซทรานสฟอร์มเมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นเท่ากับศูนย์

$$(Js^2 + Ds + K_T I_M N_r) \Theta(s) = K_T I_M N_r \Theta_i \quad (5.64)$$

จากสมการ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันได้

$$G(s) = \frac{\Theta_o}{\Theta_i} = \frac{\omega_{np}^2}{s^2 + Ds/J + \omega_{np}^2} \quad (5.65)$$

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของสเตปปีงมอเตอร์ที่ขับโดยแหล่งจ่ายกระแสกระตุ้น 2 เฟส เป็นเช่นเดียวกับแหล่งจ่ายคิกดากระตุ้น 1 เฟสทรานสเฟอร์ฟังก์ชันสามารถที่จะได้มาจากสมการ (5.21) แหล่งจ่ายกระแสมีอิมพีแดนซ์ภายในเท่ากับอินฟินิตี้หลัง จากคุณด้วย NUMERATOR และDENOMINATOR ในสมการ (5.21) โดย r/L , เราจะตั้งค่า $r = \infty$

$$\Theta = \frac{(s + D/J) \Theta_i}{s^2 + (D/J)s + \omega_{np}^2} \quad (5.66)$$

เปลี่ยน NUMERATOR โดยการเปลี่ยนเป็นค่าหนึ่งหน่วยเมื่อ $s=0$ เราจะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันสมการ (5.65) VR มอเตอร์ก็จะมีการทำงานในแนวเดียวกัน

5.2.3 การกระตุ้น 2 เฟสจากการขับโดยแหล่งจ่ายคิกดา

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันได้มาจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(s) = \frac{\left(\frac{r}{L_p}\right)\omega_{nv}^2}{s^3 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J}\right)s^2 + \left\{\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_{np}^2(1+k_p)\right\}s + \left(\frac{r}{L_p}\right)\omega_{np}^2} \quad (5.67)$$

VR มอเตอร์จะมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการหน่วงสเตปปีง

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าผลตอบสนอง (transient response) ของสเตปมอเตอร์โดยทั่วไปจะมีการสั่น (oscillatory) ลักษณะเช่นนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อสเตปมอเตอร์มีการทำงานแบบ single step หรือสเตปมอเตอร์หยุดการเคลื่อน ซึ่งการสั่นของสเตปมอเตอร์จำเป็นต้องมีการควบคุม วิธีการควบคุมแต่ละแบบเหมาะกับแต่ละสถานการณ์ วิธีการหน่วง (damping) แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

- 1 inertia damper
- 2 damping by electronic switching
- 3 damping by modification of motor parameters

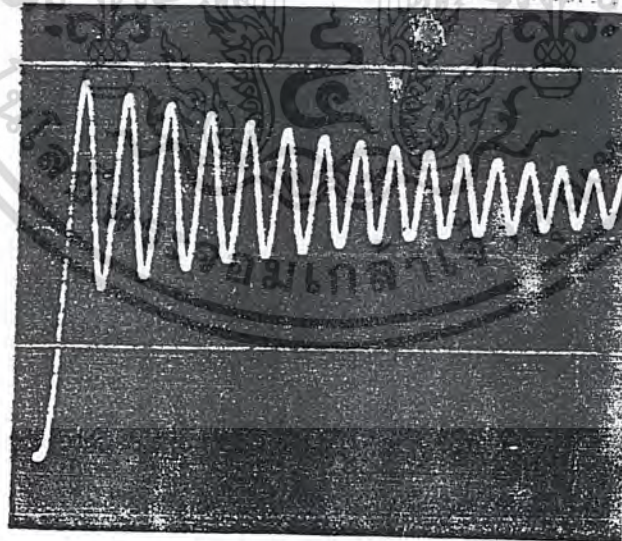
แต่ในที่นี้จะกล่าวแต่เพียงหัวข้อที่ 2 เท่านั้น

วิธีการหน่วงโดยอิเล็กทรอนิกส์สวิทซ์ซิง (DAMPING BY ELECTRONIC SWITCHING)

electronic damping เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการที่จะปรับปรุงผลตอบสนองของสเตปมอเตอร์ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นใหม่ ๆ ทำให้ง่ายต่อการทำเป็น switching หลาย ๆ แบบซึ่งเป็นผลให้มีวิธีการหลายแบบเกิดขึ้นมา

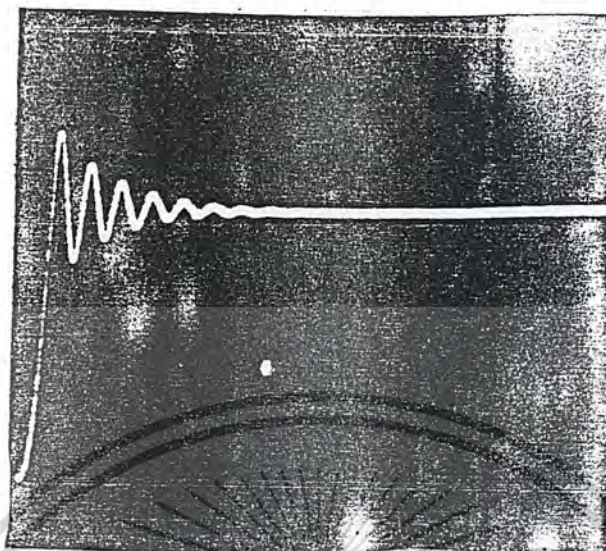
6.1) การหน่วงโดยการเอ็กไซต์หลายเฟส (damping by multiple-phase excitation)

มีการพบว่า single-stack variable-reluctance step motor จะมีการหน่วงเกิดขึ้นเมื่อมีเฟสมากกว่าหนึ่งเฟสทำงาน โดยปกติการหน่วงแบบธรรมดาจะใช้ 2 เฟสทำงานพร้อมกันเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ แต่ผลจาก mutual inductance , saturation และ eddy current ล้วนมีผลต่อการปรับปรุงวิธีการนี้ รูป 6.1 ถึงรูป 6.4 แสดงถึงวิธีการที่ได้ปรับปรุงแล้ว เทียบกับ one-phase-on excitation

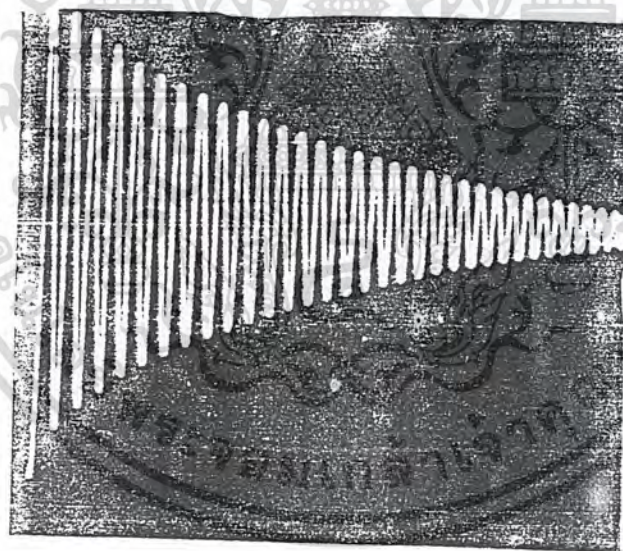


รูป 6.1 ผลตอบสนอง single-step one phase excitation no load (10 msec/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

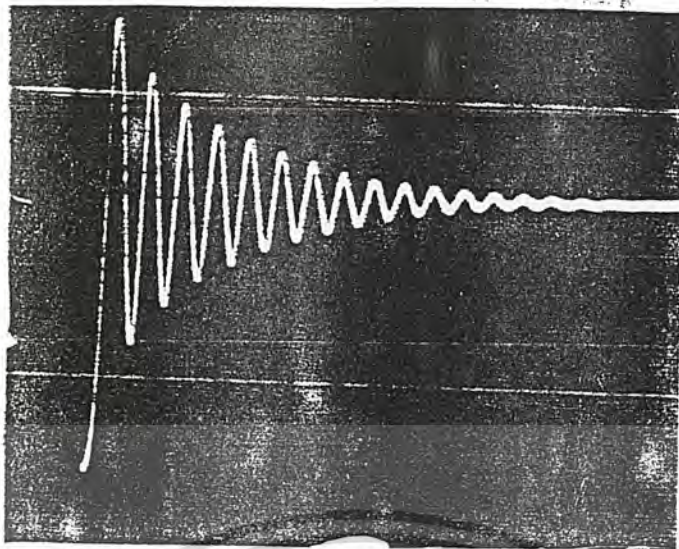


รูป 6.2 ผลตอบสนอง single-step two-phase-on excitation no load (10 msec/div)



รูป 6.3 ผลตอบสนอง single-step one-phase-on excitation inertial load (100 msec/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

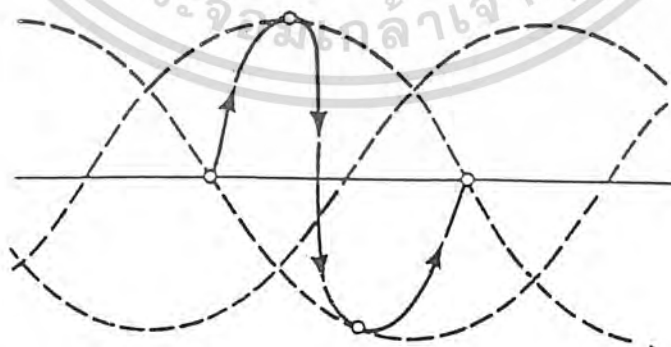


รูป 6.4 ผลตอบสนอง single step response two phase on excitation; inertial load (50 msec/div)

ในรูปที่ได้แสดงให้เห็น มอเตอร์ถูกกระตุ้นด้วยศักย์ดา 28 โวลต์ รูปที่ 1 แสดงถึงผลตอบสนองของ one-phase-on excitation และรูปที่ 2 แสดงถึง two-phase-on excitation ซึ่งไม่มีโหลดทางกล รูปที่ 3,4 แสดงผลตอบสนองภายใต้สภาวะเดียวกันเพียงแต่มี inertial load 0.0017 oz-in-sec.sec ต่อเข้ามาด้วย ส่วนของโรเตอร์ inertia ประมาณ 0.00018 oz-in-sec.sec ในการปรับปรุงวิธีการนี้ขึ้นไปอีกก็จะใช้รูปของการกระตุ้นเฟสที่แตกต่างออกไป ยกตัวอย่างเช่นมอเตอร์ 3 เฟส ขับโดยกระตุ้น 1 เฟส แต่ก่อนที่การเคลื่อนไป 1 สเตปจะสมบูรณ์ 2 เฟสที่เหลือก็จะถูกขับด้วยค่าโวลเตจอีกค่าหนึ่ง(ปกติจะประมาณครึ่งหนึ่ง) ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือ จะมีการสูญเสียจากความร้อนมาก

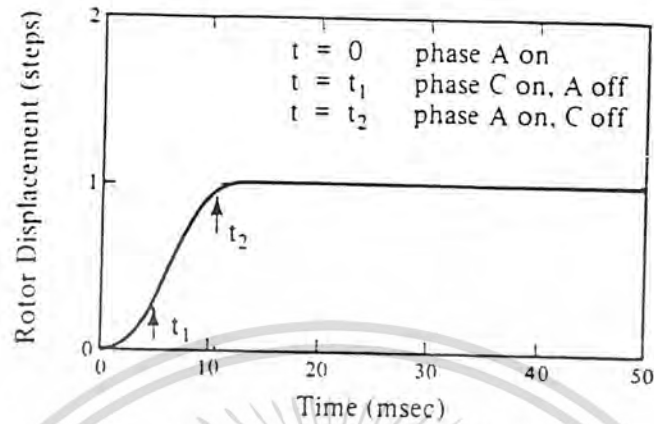
6.2) วิธีการของ แบน-แบน (BANG-BANG DAMPING SCHEME)

วิธีการนี้เป็นที่รู้จักกันดี เป็นการนำเอาวิธีการกระตุ้นแบบ one-phase-on หรือ two-phase-on มาประยุกต์ วิธีการนี้แสดงให้เห็นแบบ one-phase-on excitation โดยใช้ static torque curve ในรูปที่ 5 สมมุติว่าจะให้มีการเคลื่อนจากเฟส c ไปยัง a ในตอนแรกเฟส c on จากนั้นเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่เฟส a on เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่มี initial torque สูง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสั่นที่จุด a ดังนั้นถ้าในขณะที่โรเตอร์ยังเคลื่อนไม่ถึงจุด a ให้เฟส a off และเฟส c on เพื่อสร้าง braking torque จะมีผลในการลดการสั่นที่จุด a เมื่อโรเตอร์เคลื่อนถึงจุด a แล้วให้เฟส a กลับมา on อีก แต่เฟส c off ลำดับในการสวิตช์คือ c-a-c-a ถ้าเฟส c เป็นเฟสที่ใช้กระตุ้นตอนแรก รูปที่ 6 แสดงสภาวะ ideal ของการใช้วิธีการนี้



รูป 6.5 static torque curve โดยหลักการหนึ่งของ bang-bang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

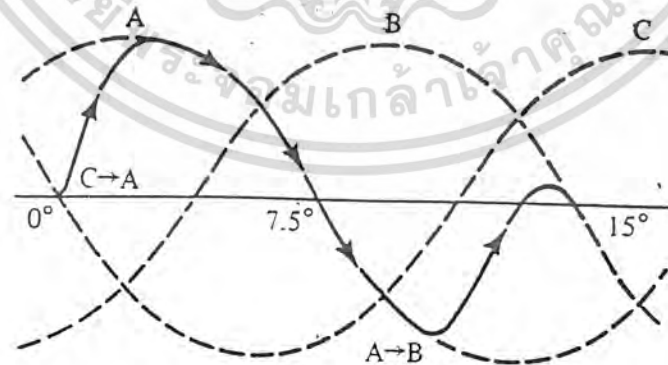


รูป 6.6 แสดงผลตอบสนอง singlestep โดยวิธีการของ bang-bang

6.3) ดีเลย์ลาสเตป (DELAY-LAST-STEP DAMPING)

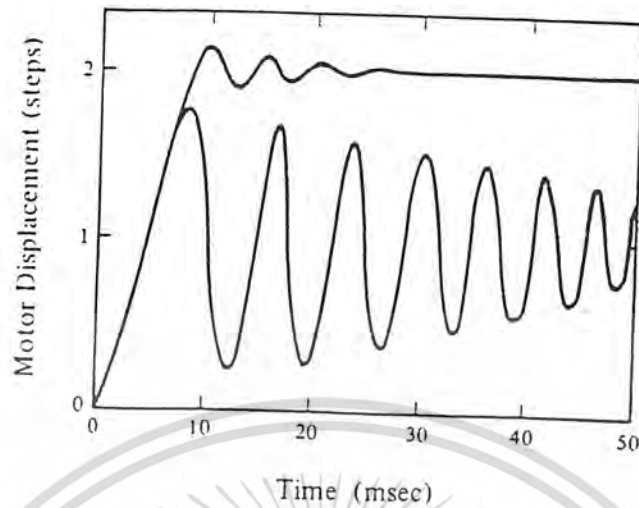
วิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า overshoot ของ single step สามารถมีค่าได้ถึง 100% ดังนั้นจะเป็นไปได้ที่ผลตอบสนองของ multiple-step ไม่มี overshoot วิธีนี้บรรยายโดย static torque curve ในการเคลื่อน 2 สเตป ดังรูปที่ 7 ถ้าหากเฟส c เป็นเฟสแรกที่ถูกกระตุ้น และมีการออกแบบให้เคลื่อน 2 สเตปจะใช้ลำดับของการกระตุ้นเป็น c-a-b torque ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง overshoot จาก c มายัง a จะมีค่าน้อย และเมื่อโรเตอร์เคลื่อนมาใกล้ b ก็ให้เฟส b on โรเตอร์จะหยุดในตำแหน่ง b มี overshoot เล็กน้อยหรือไม่มีเลย

ข้อแตกต่างระหว่าง delayed-last-step และ bang-bang ในกรณีที่กำลังมาคือใน delayed-last-step ไม่มีการกระตุ้นเฟสที่ผ่านมาแล้วที่อยู่ในลำดับอนุกรม



รูป 6.7 static torque curve แสดงถึงหลักการของ delayed-last-step electronic damping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.8 ผลตอบสนองของสเตปมอเตอร์เมื่อใช้วิธี delayed last-step damping

6.4) การหน่วงโดยการปรับค่าโวลเตจใน TWO-PHASE-ON

วิธีนี้เป็นการกระตุ้นโวลเตจพร้อมกัน 2 เฟส โดยใช้โวลเตจค่าสูงตั้งให้โรเตอร์เคลื่อนโวลเตจค่าต่ำใช้ในการหน่วงเพื่อไม่ให้เกิด overshoot

6.4.1 กรณีที่ 1

ค่าโวลเตจมีการ discharge เป็นโวลเตจต่ำในขณะที่มีการกระตุ้นโวลเตจค่าสูงในเฟสถัดมาแสดงได้ดังนี้

	TIME INSTANTS				
	t0	t1	t2	t3	t4
STEPPING PHASE (HV)	A	B	C	A	B
DAMPING PHASE (LV)	C	A	B	C	A

และถ้าหากหมุนกลับทิศทางก็จะได้ลำดับการกระตุ้นเฟสดังนี้

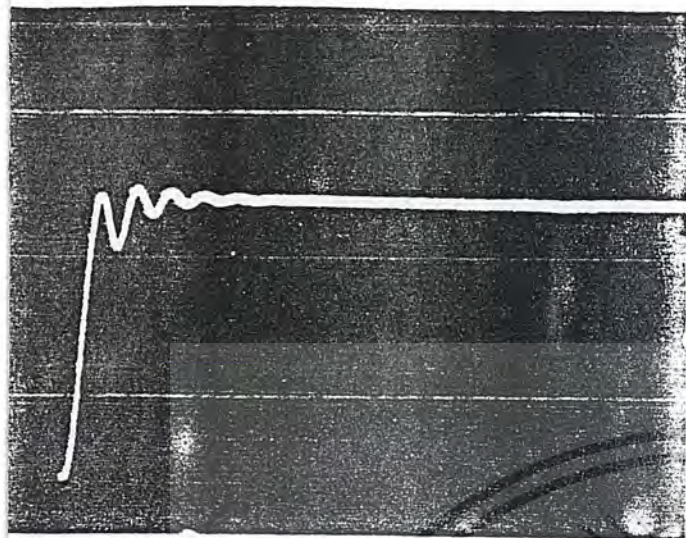
	TIME INSTANTS				
	t0	t1	t2	t3	t4
STEPPING PHASE (HV)	A	C	B	A	C
DAMPING PHASE (LV)	B	A	C	B	A

6.4.2 กรณีที่ 2

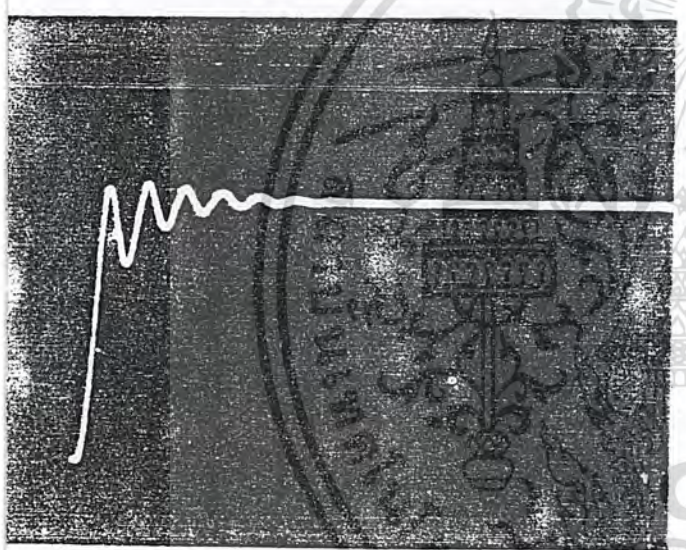
เฟสที่อยู่ติดกันไม่ได้ถูกกระตุ้น แต่เฟสถัดไปอีกเฟสถูกกระตุ้นแทน แสดงได้ดังนี้

	TIME INSTANTS				
	t0	t1	t2	t3	t4
STEPPING PHASE (HV)	A	B	C	A	B
DAMPING PHASE (LV)	B	C	A	B	C

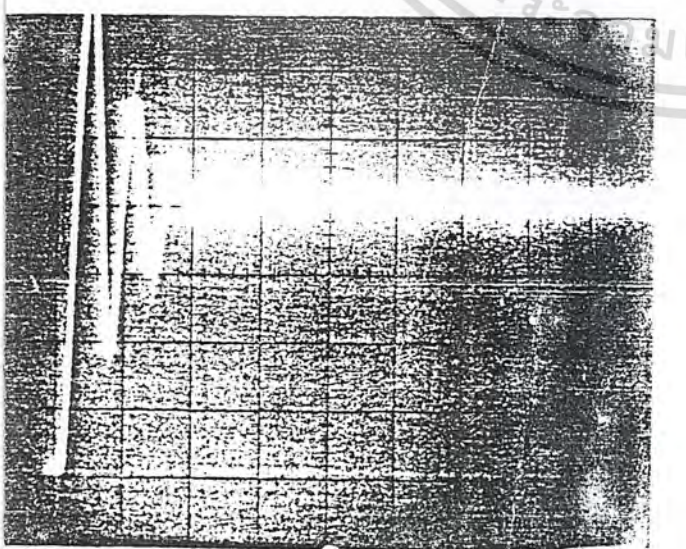
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.9 ผลตอบสนอง single step
two-phase-on variable voltage damping
HV = 28 v, LV = 14 v no load (10 msec/div)



รูป 6.10 ผลตอบสนอง single step
two-phase-on variable voltage damping
HV = 28 v, LV = 16.5 v no load (10 msec/div)

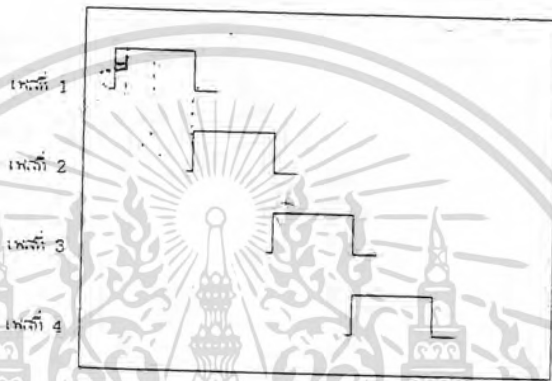


รูป 6.11 ผลตอบสนอง single step
two-phase-on variable voltage damping
HV = 28 v, LV = 14 v inertial load (50 msec/div)

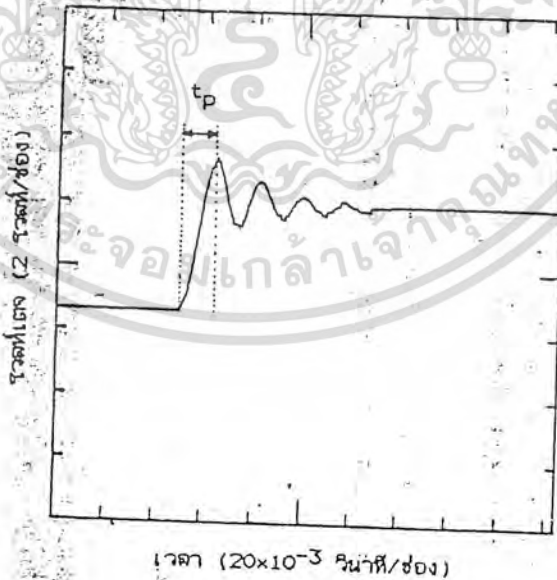
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5) วิธีการลดการออสซิลเลทของผลตอบสนองแต่ละสเตปด้วยวิธีดีเลย์ช่วงเวลา turn off ของพัลส์ที่ใช้กระตุ้นแต่ละเฟส

การดีเลย์ช่วงเวลา turn-off ของพัลส์ที่ใช้กระตุ้นแต่ละเฟสจะให้ความยาวของช่วงดีเลย์เท่ากับเวลาที่เกิดพีคโอเวอร์ชูทของแต่ละสเตปและขนาดของพัลส์ในช่วงเวลาดีเลย์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดทอร์คต้าน (retarding torque) ให้มอเตอร์หยุดได้พอดีกับตำแหน่งใหม่โดยไม่มีการออสซิลเลท วิธีการนี้สามารถลดโอเวอร์ชูทได้เกือบ 100% วิธีขับสเตปมอเตอร์ที่สามารถเห็นผลตอบสนองแต่ละสเตปของสเตปมอเตอร์ได้ดีที่สุดคือการขับแบบ 1 เฟสซึ่งแสดงรูปแบบของการขับไว้ในรูปที่ 6.12



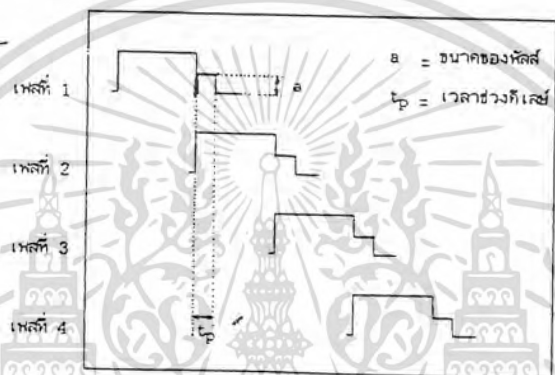
รูป 6.12 จังหวะการป้อนพัลส์ในการขับสเตปมอเตอร์แบบ 1 เฟส



รูป 6.13 ผลตอบสนองแต่ละสเตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองที่ได้จากการขับแบบ 1 เฟสแสดงไว้ในรูป 6.13 ซึ่งจะเห็นว่าสเตรปมอเตอร์ต้องใช้ช่วงเวลาช่วงหนึ่ง ก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล การออสซิลเลชันเป็นที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบ เพราะจะทำให้ระบบมีเวลาเข้าสู่ค่าคงที่มากขึ้นและเกิดโอเวอร์ชูท การที่จะทำให้ระบบมีเวลาเข้าสู่ค่าคงที่น้อยลงและลดโอเวอร์ชูทลงได้นั้นทำได้โดยการใช้ดีเลย์ช่วงเวลา turn-off ของพัลส์ที่ใช้ในการขับสเตรปมอเตอร์แบบ 1 เฟสและให้มีความยาวของช่วงเวลาดีเลย์เท่ากับเวลาที่เกิดพีคโอเวอร์ชูทของแต่ละสเตปซึ่งเท่ากับ t_p และขนาดของพัลส์ในช่วงเวลาดีเลย์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสม โดยการปรับขนาดของพัลส์ในช่วงดีเลย์จนทำให้โอเวอร์ชูทลดลงมากที่สุด ซึ่งเปรียบเสมือนการสร้างทอร์กต้าน (retarding torque) เพื่อที่จะให้โรเตอร์หยุดได้พอดีกับตำแหน่งสมดุลโดยไม่มีการออสซิลเลท แบบการขับสเตรปมอเตอร์เพื่อลดโอเวอร์ชูท ได้แสดงในรูป 6.14

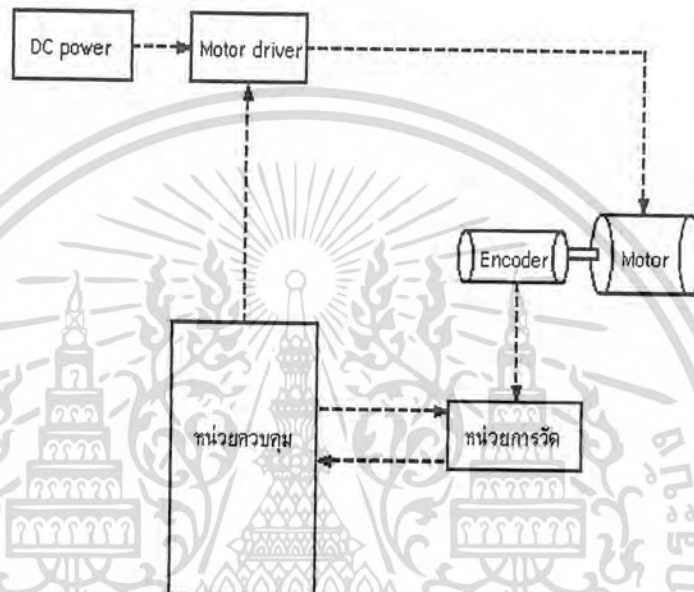


รูป 6..14 จังหวะการป้อนพัลส์ให้กับสเตรปมอเตอร์แบบมีดีเลย์โหม้ เพื่อลดโอเวอร์ชูทของผลตอบสนองแต่ละสเตป

บทที่ 7

การทดลอง

7.1) ส่วนประกอบของวงจรควบคุมมอเตอร์



รูป 7.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนวงจรที่ใช้การทดลอง

การทำงานของแต่ละส่วน

7.1.1) หน่วยควบคุม

หน่วยควบคุมมีหน้าที่

1. กำหนด Phase sequence จะเป็นลักษณะของ สัญญาณควบคุมไปยัง Motor driver

2. ควบคุมการทำงานของหน่วยการวัด เพื่อที่จะกำหนดลักษณะและรูปแบบการวัดให้มีการแสดงผลได้หลาย

รูปแบบ

3. ประมวลผลจาก Output ของ Motor โดยที่จะรับสัญญาณมาจากหน่วยการวัดและหน่วยการวัดจะให้ Out put ที่ได้รับสัญญาณจาก Optical encoder

7.1.2) หน่วยการวัด

เป็นวงจรนับขึ้น-ลง(up-down binary counter) อาศัยการทำงานที่จะถูกควบคุมด้วยหน่วยควบคุม และนำสัญญาณ จาก Optical encoder มานับ-ขึ้นลง และผลการ นับขึ้น-ลงนี้จะส่งผลไปยังหน่วยควบคุม ให้ทำการประมวลผล และส่งไปยัง Digital To Analog Converter (DAC) ที่จะทำการแสดงสนองในแต่ละสเตปของตัวสเตป มอเตอร์ได้

7.2.3) วงจรขับมอเตอร์ (Motor driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำหน้าที่ขับ Motor โดยรับรูปแบบ Phase sequence ขับมาจากหน่วยควบคุม โดยจะประกอบไปด้วยวงจร Digital To Analog Converter และ Current Amp ที่ขับ Motor

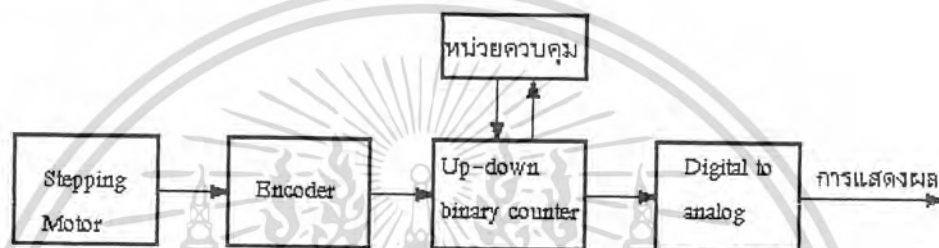
7.2.4) Optical encoder

Optical encoder หรือ Position sensor ที่ต่อกับ Rotor ของ Motor จะ Detect ตำแหน่งของ Rotor จำนวนของ Output จาก Encoder จะเป็น Pluse ต่อ Revolution และต้องมากกว่า จำนวน Step ต่อ Revolution

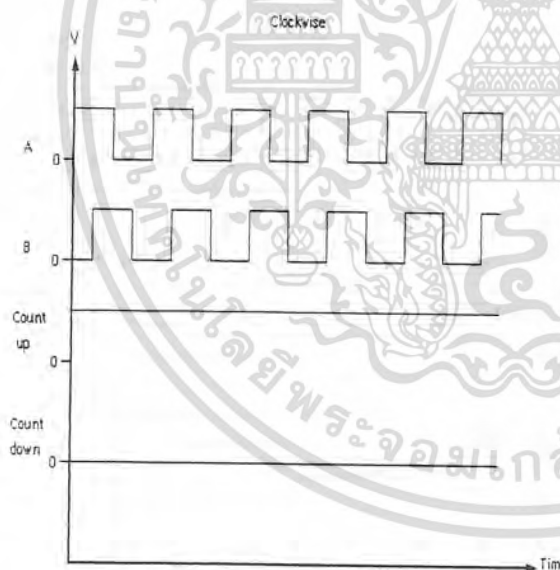
7.2.5) DC power

จะจ่ายกำลังไฟให้แก่ Motor และหน่วยต่าง ๆ

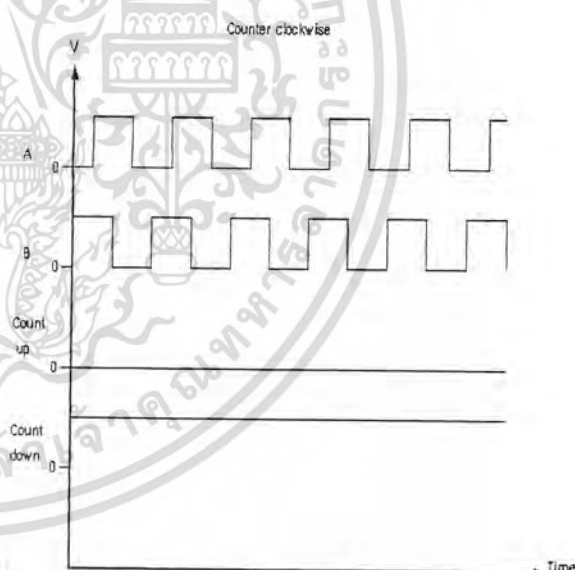
7.2) การวัดผลตอบสนองของแต่ละสเตป



รูป 7.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดผลตอบสนอง



รูป 7.3 แสดงการนับขึ้นของวงจรถับขึ้น-ลง

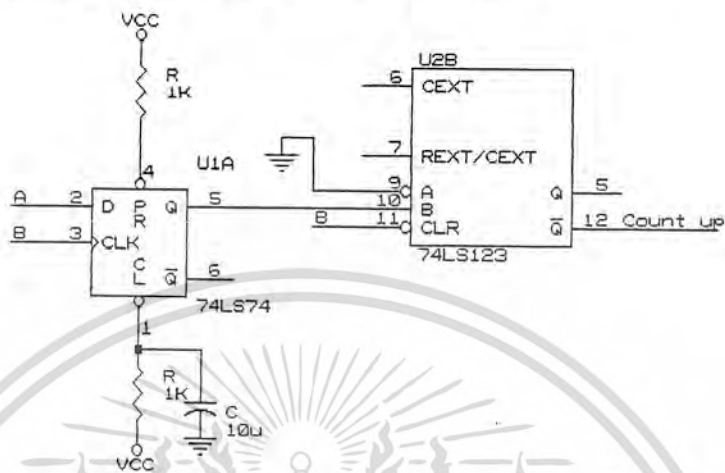


รูป 7.4 แสดงการนับลงของวงจรถับขึ้น-ลง

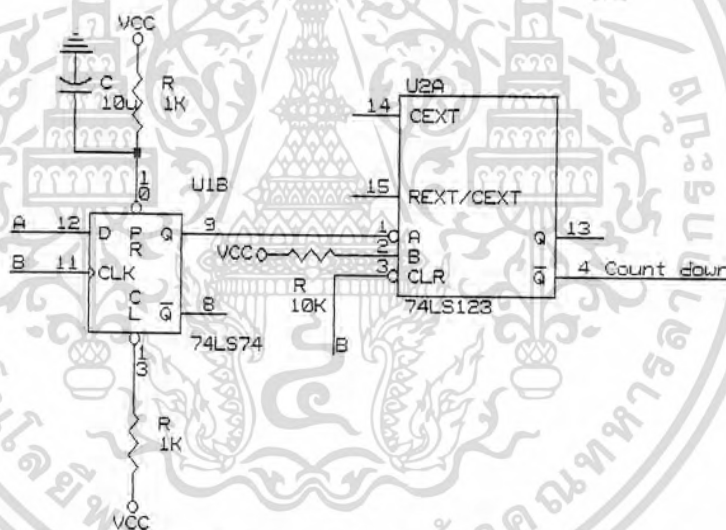
ในการทำงานของมอเตอร์ เมื่อสเตปมอเตอร์เคลื่อนที่หมุนไปที่ละสเตป ในช่วงเวลานี้เอนโคดเดอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุต 2 แบบ คือเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา เอาต์พุต A จะมีเฟสนำ เอาต์พุต B อยู่ 90 องศาและ A จะนำ B ไปจนถึงจุดของการเคลื่อนที่ ๆ เป็นจุดโอเวอร์ชูของการเคลื่อนที่ และเมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่ย้อนกลับมาเอาต์พุตของเอนโคดเดอร์จะมีการเปลี่ยนเป็นเอาต์พุต A ตาม B ด้วยเฟส 90 องศา จะเป็นอย่างไรเรื่อย ๆ จนกว่ามอเตอร์จะหยุดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขของเอาต์พุตจากเอนโคตเตอร์จะสามารถนำไปสร้างวงจรทาง Digital ในการทำการใช้เอาต์พุตของเอนโคตเตอร์ทำการหาระยะการเคลื่อนที่ในการหมุนของมอเตอร์ใน 1 สเตป



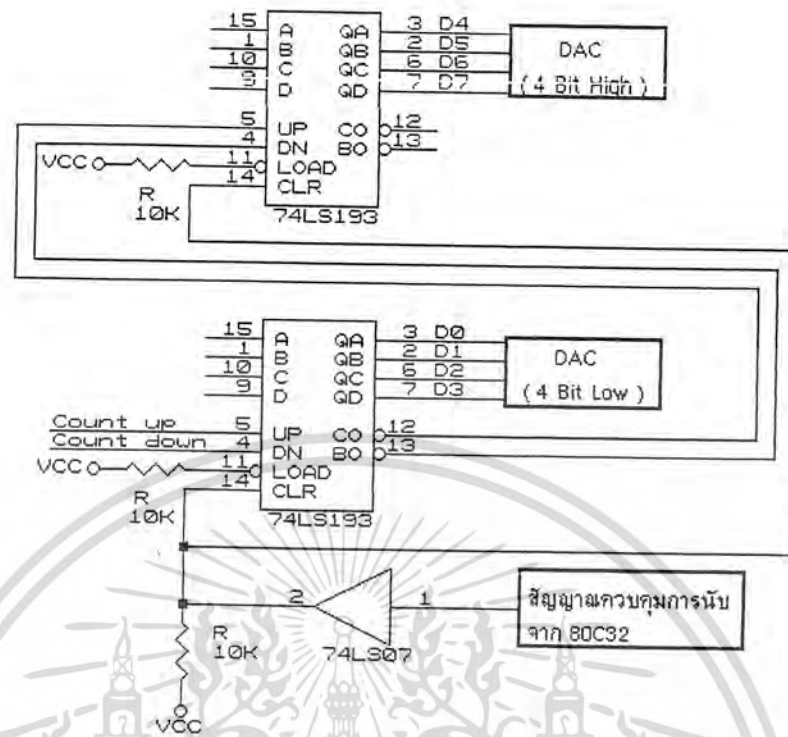
รูป 7.5 แสดง การนำสัญญาณจาก Encoder มาเป็นสัญญาณนับขึ้น



รูป 7.6 แสดงการนำสัญญาณจาก Encoder มาเป็นสัญญาณนับลง

จากวงจรทั้ง 2 วงจรข้างบนนั้นเมื่อนำสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นการนำขึ้น (Count up) และนับลง (Count down) มาให้จังหวะในการทำงานของส่วนที่เป็นวงจร นับขึ้น-ลง (up-down binary count) แล้วและนำเอาต์พุตของวงจรนับขึ้น-ลงไปต่อกับวงจรการแปลงจาก Digital เป็น Analog ก็จะได้ผลตอบสนองต่อแต่ละสเตปของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.7 แสดงการนำสัญญาณนับ ขึ้น-ลงมาใช้กับวงจรมับขึ้น-ลง

ในการทดลองนี้จะนำเอาที่พุดจาก Encoder มาสร้างสัญญาณ นับขึ้น-ลง และนำสัญญาณนี้ไปให้จ้งหะกับ วงจรมับขึ้นลง(up-down binary counter) และวงจรมับขึ้นลงจะถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมในลักษณะที่ให้วงจรมับ ขึ้น-ลง ทำการนับขึ้น-ลง ตลอดการทำงานของมอเตอร์ หรือนับขึ้น-ลงต่อการทำงาน 1 สเตปของมอเตอร์

7.3) ส่วนของหน่วยควบคุม

โดยที่หน่วยควบคุมจะประกอบไปด้วย

1. CPU (8032)
2. 8255 ขยาย Input/Output port ของตัว CPU เพื่อขยายการทำงานให้ CPU ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้

มากขึ้น

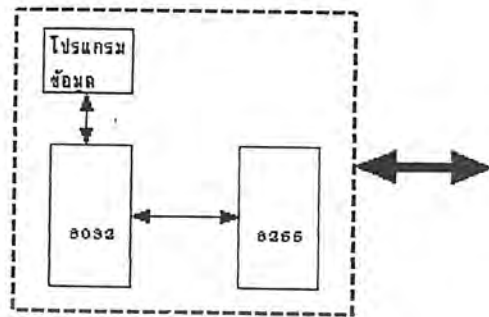
3. ส่วนเก็บ โปรแกรมและข้อมูล

ในที่นี้เลือกใช้ Microcontroller 8032 เป็นตัว CPU ที่ใช้ในการทำงานเพราะ

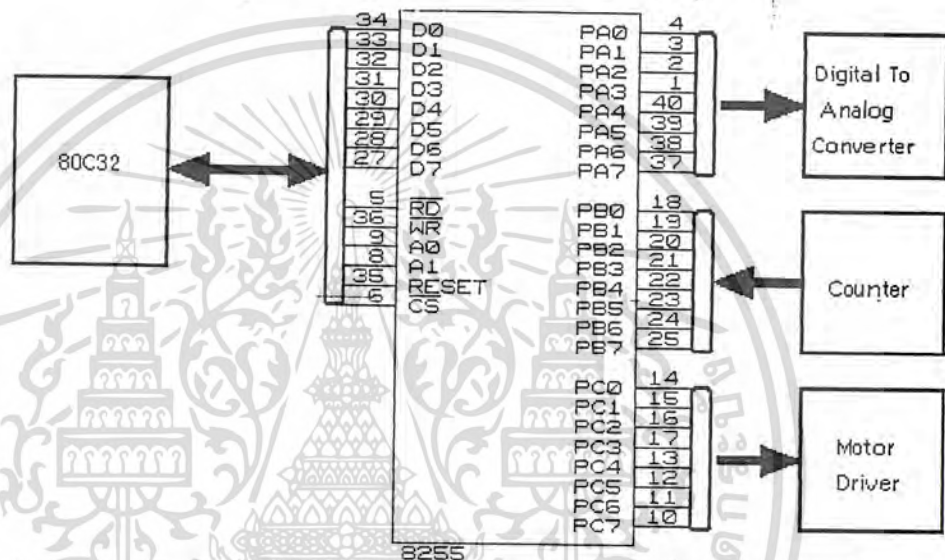
1. เป็น CPU ที่หาได้ง่าย
2. มีระบบเวลา (Timer/Counter) อยู่ในตัว CPU จึงเหมาะกับงานที่ต้องการควบคุมโดยมีคาบเวลามาเกี่ยวข้องด้วย

3. มี Timer/Counter ภายในตัวอยู่ถึง 3 ตัว เมื่อเทียบกับ 8031 ซึ่งเป็น CPU ในตระกูลเดียวกันโดยเทียบราคาทีกับจำนวน Timer/Counter จะคุ้มค่าง่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.8 แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุม



รูป 7.9 แสดงการใช้ 8255 เพื่อให้หน่วยประมวลผลควบคุมอุปกรณ์ได้ดีขึ้น

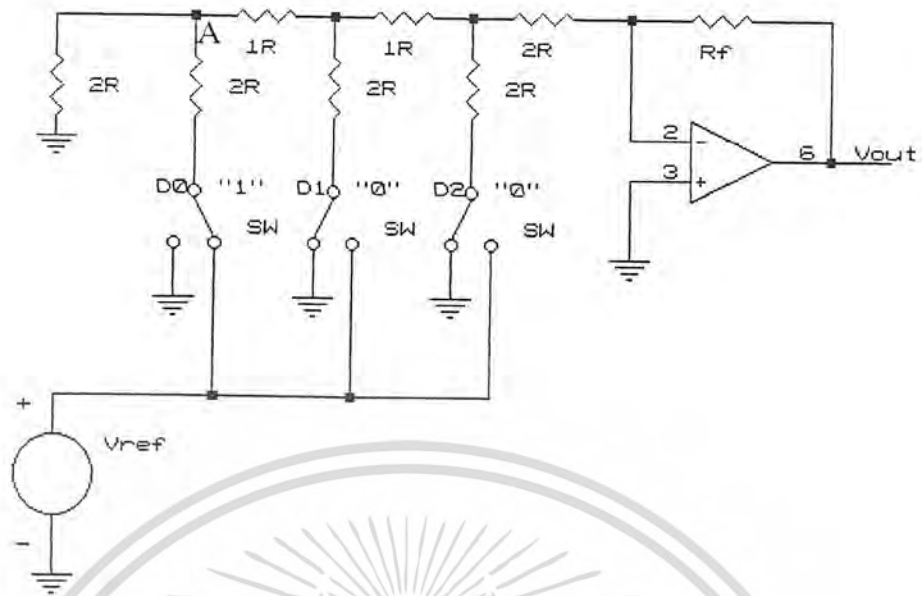
7.4) การแปลงจาก Digital To Analog

ส่วนนี้เป็นส่วนที่รับเอาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 8 บิต มาทำการแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต ของวงจร D to A จะเข้าไปสู่ส่วนของไดรเวอร์ (driver) เพื่อมีการปรับแต่งโวลเตจและกระแสให้เหมาะสมกับการขับมอเตอร์

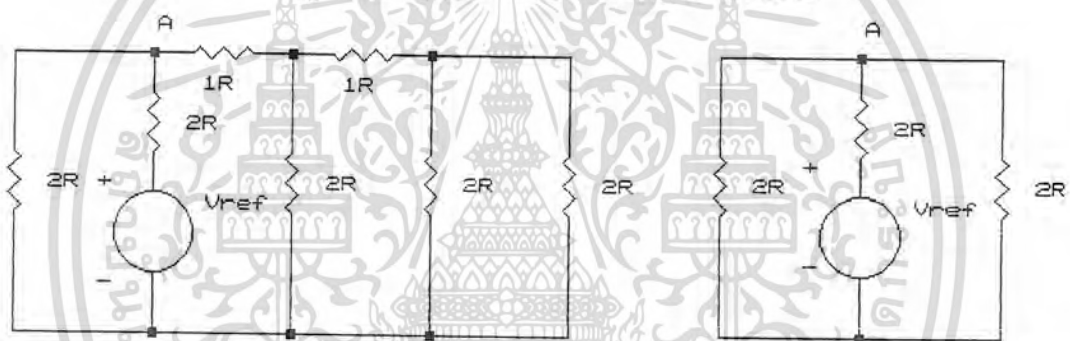
DAC โดยวงจรพื้นฐานส่วนใหญ่จะสร้างมาจาก ladder r-2r ร่วมกับ analog switch ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ระหว่าง ground กับ Vref. โดยที่ข้อมูลในรูปแบบของบิตจะควบคุมการสวิตช์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ 001 (ดังรูป) การทำงานของวงจรแสดงได้ดังรูป การทำงานของสวิตช์ที่บิต D0 จะสวิตช์ไปยัง Vref ส่วนบิตที่เหลืออีก 2 บิต จะสวิตช์ไปยัง ground

Operation Amplifier(op-amp)จะใช้เพื่อจะรวมกระแส(เป็น Virtual ground) เช่นจากรูป เราจะคำนวณค่า Vout ได้โดย

$$V_{out} = -\left[\left(D_0 \times \frac{I}{8}\right) + \left(D_1 \times \frac{I}{4}\right) + \left(D_2 \times \frac{I}{2}\right)\right] \times R_F$$



รูป 7.10 (a) แสดงการทำงานของ R-2R DAC



รูป 7.10 (b) แสดงรูปวงจรสมมูลของรูป 7.10(a)

รูป 7.10 (c) แสดงวงจรสมมูลแบบที่ลดรูปจากรูป 7.10 (b)

จากรูป 7.10 (a) เมื่อสวิตช์ได้รับบิตที่ควบคุมสวิตช์โดยที่บิต 1 จะหมายถึงให้สวิตช์ต่อกับ V_{ref} และบิต 0 จะหมายถึงให้สวิตช์ต่อเข้ากับ ground (ดังตัวอย่างจากรูป 7.10 (a) ที่มีบิต 001 ส่งมายังสวิตช์) เราจะได้

$$V_{out} = - \left[\left(1 \times \frac{I}{8} \right) + \left(0 \times \frac{I}{4} \right) + \left(0 \times \frac{I}{2} \right) \right] \times R_F$$

$$V_{out} = - \left(\frac{IR_F}{8} \right)$$

และ V_{out} สูงสุดจะได้

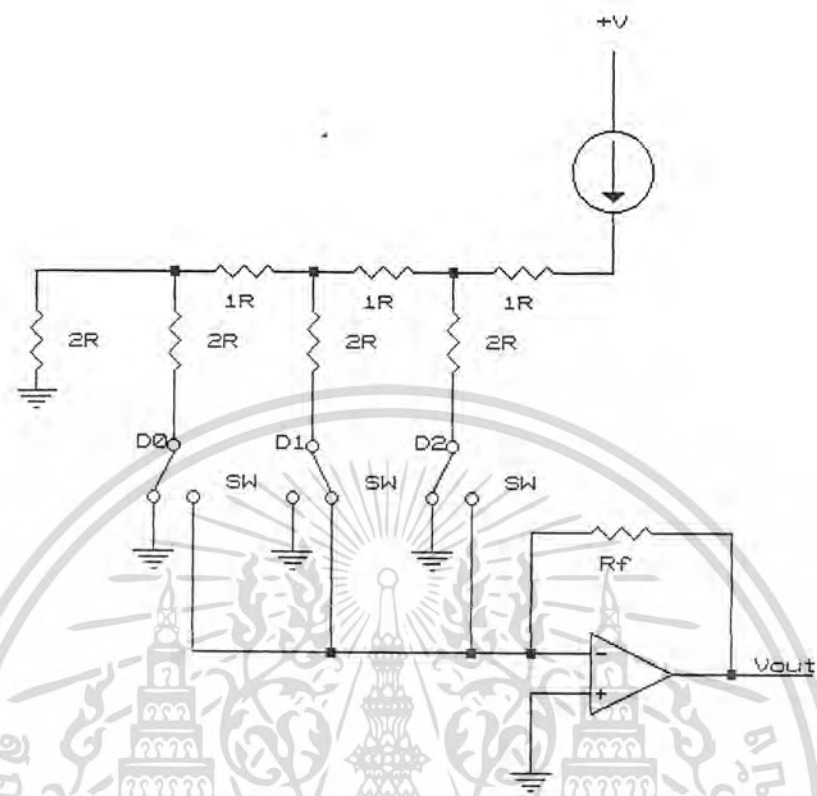
$$V_{out} = - \left[\frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right] \times IR_F$$

หรือในรูปสมการทั่วไป

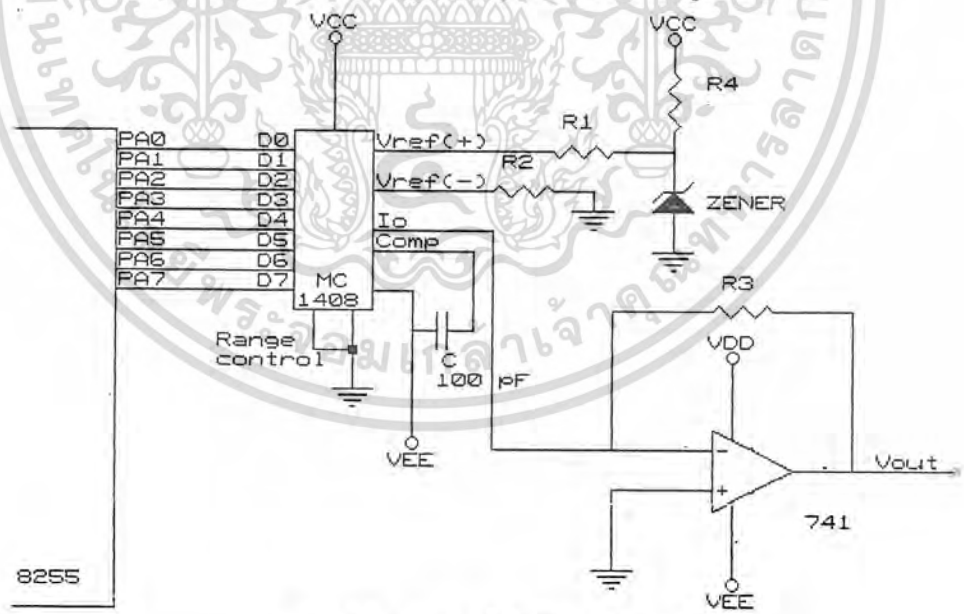
$$V_{out} = - \left[\left(D_0 \times \frac{I}{2^n} \right) + \left(D_1 \times \frac{I}{2^{n-1}} \right) + \dots + \left(D_{n-1} \times \frac{I}{2} \right) \right] \times R_F$$

$n =$ จำนวนบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.11 แสดงวงจรสมมูลย์ของรูปแบบ DAC อีกรูปแบบหนึ่ง



รูป 7.12 แสดงการใช้งาน MC 1408

จากรูป 7.11 เป็นวงจรสมมูลย์ของ DAC อีกรูปแบบหนึ่ง(วงจรสมมูลย์ของ MC 1408) และการใช้ MC 1408 รูป 7.12 โดยที่ Zener จะทำหน้าที่สร้าง Vref ที่คงที่ให้แก่ MC 1408 R1 และ R2 จะใช้เป็นตัวกำหนด I0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แก่ Output ของ MC 1408 โดยที่

$$I_o = V \text{ คร่อม Zener} / R_1$$

Op-amp จะทำหน้าที่เป็นส่วน I to V ให้ค่า V_{out}

$$V_{out} = I_o \times \frac{\text{binary input}}{255} \times R_3$$

ในที่นี้จะเขียนได้โดย

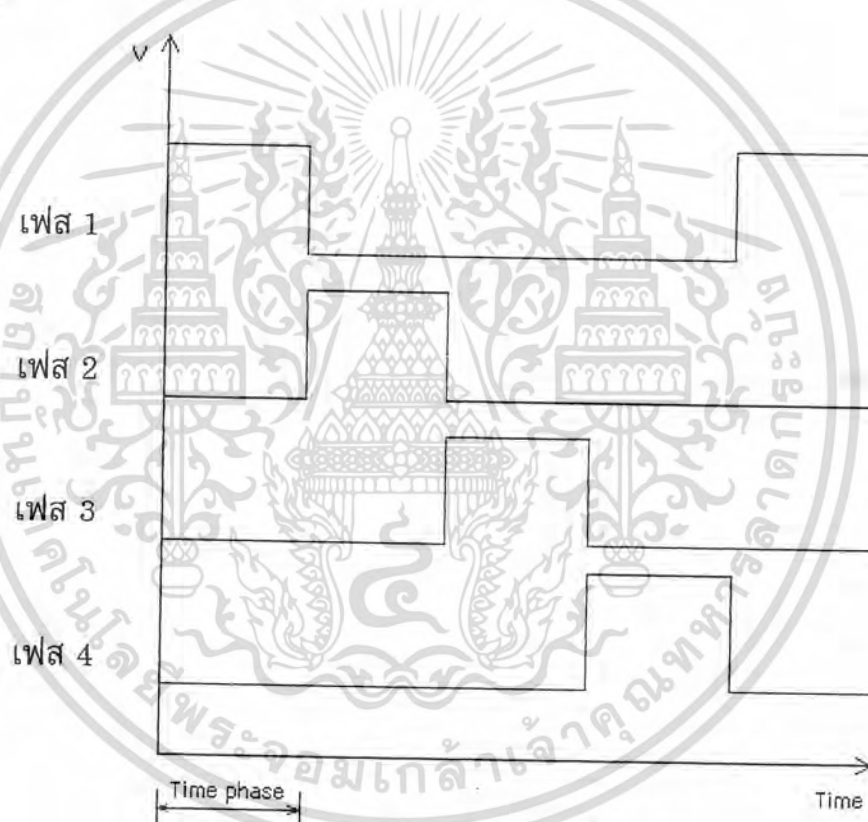
$$V_{out} = I_o \times \left[\frac{(D_0 \times 2^0) + (D_1 \times 2^1) + \dots + (D_7 \times 2^7)}{255} \right] \times R_3$$

เมื่อ

$D_0, D_1, \dots, D_7 =$ บิตของ Input เลขฐาน 2 (8 บิต)

7.5) วิธีการขับสเตปมอเตอร์เพื่อลดโอเวอร์ชูท

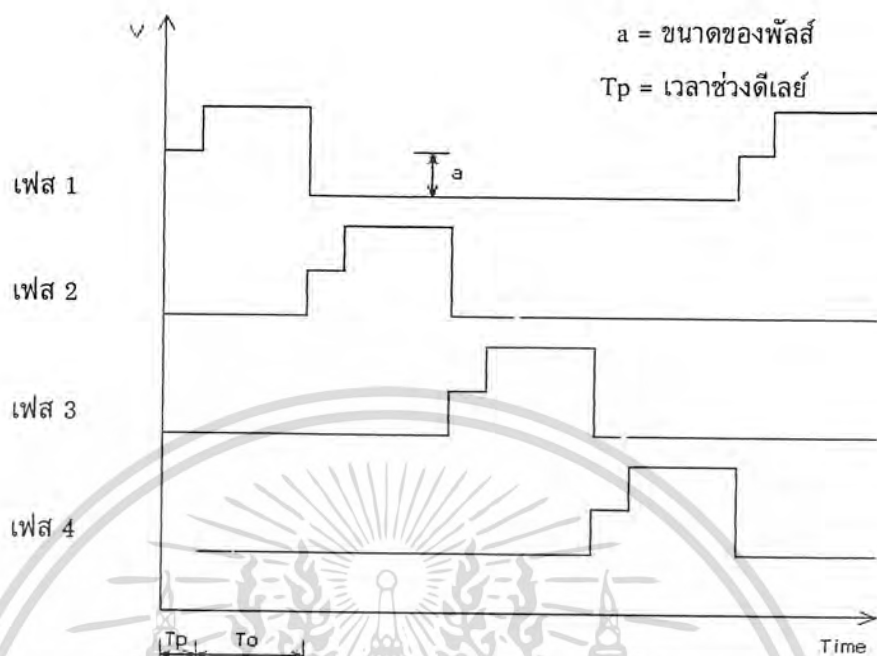
วิธีที่ 1



รูป 7.13 แสดงการขับแบบวิธีที่ 1

วิธีการขับสเตปมอเตอร์แบบนี้ทำการทดลองขึ้นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสองที่ได้กับอีก 2 วิธี และยังใช้ดูค่าเวลาที่ได้อิเวอร์ชูทสูงสุด (t_p) เนื่องจากการขับที่ไม่มีผลในการหน่วงใดๆ มาเกี่ยวข้อง นับเป็นวิธีการขับที่สามารถใช้ดูลักษณะของมอเตอร์ได้ดีที่สุด โดยขนาดของพัลส์ที่จ่ายจากไดเรกเตอร์เท่ากับ 2.5 โวลต์ (มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ แปรค่ารีล็กแต้น หรือ VR มอเตอร์ 2.5 โวลต์ 1.25 แอมป์ 4 เฟสใช้ไดเรกเตอร์แบบ v to v) จ่ายทีละเฟสเรียงตามลำดับกันไป เรียกว่าการขับแบบ 1 เฟส

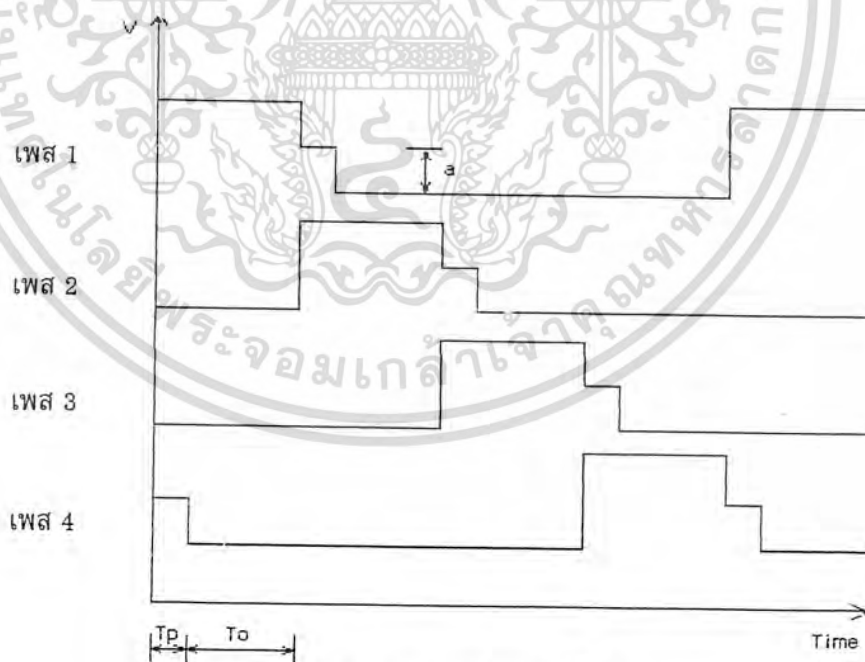
วิธีที่ 2



รูป 7.14 แสดงการซับบนวิธีที่ 2

วิธีการนี้เรียกว่า การซับบน ดีเลย์ เทินออฟ โดยมีหลักการว่าการเคลื่อนที่ในเฟสต่อไปจะถูกหน่วงด้วยพัลช low volt ขนาดที่เหมาะสม เป็นระยะเวลา t_p ของเฟสที่ผ่านมา

วิธีที่ 3

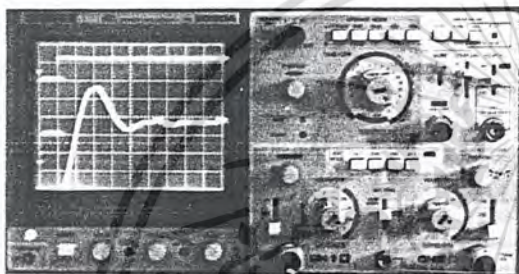


รูป 7.15 แสดงการซับบนวิธีที่ 3

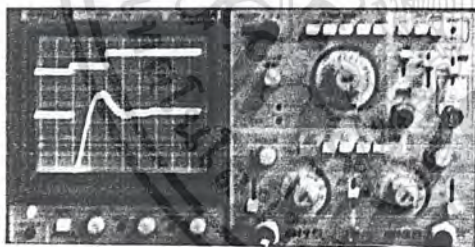
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้มีวิธีการขับโดยจ่ายพัลส์ low volt ขนาดที่เหมาะสม(มีค่าประมาณที่ทำให้สเตปมอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่) ออกไปก่อนเป็นระยะเวลา t_p ตามด้วยพัลส์ขนาดปกติในเฟสเดียวกัน จ่ายพัลส์ในลักษณะเช่นนี้ทีละเฟส เรียงตามลำดับกันไปเช่นเดียวกับการขับแบบ 1 เฟส โดยในทางทฤษฎีเราจะให้พัลส์ low volt เป็นตัวดึงโรเตอร์มาถึงจุด steady state โดยคิดว่าเท่ากับค่าโอเวอร์ชูทสูงสุดของการขับด้วยพัลส์ low volt นั้นเอง แล้วล็อกให้อยู่ที่จุด steady state ด้วยพัลส์ขนาดปกติหรือเรียกว่าพัลส์ high volt ก็ได้

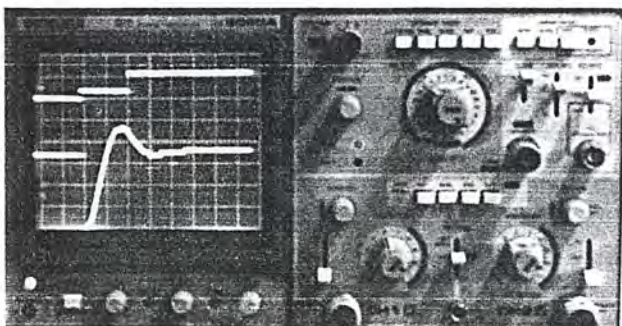
7.6) ผลการทดลอง



รูป 7.16 แสดงการเกิดออสซิลเลทในการขับแบบที่ 1

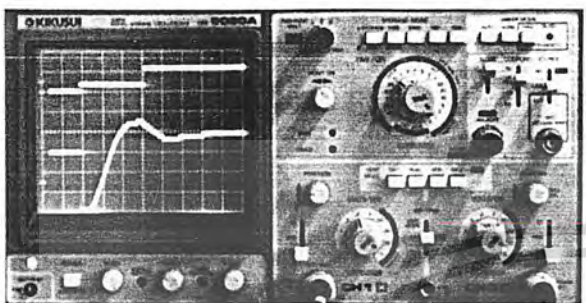


รูป 7.17 แสดงการเกิดออสซิลเลทในการขับแบบที่ 2 ในการขับพัลส์ low volt เท่ากับ t_p

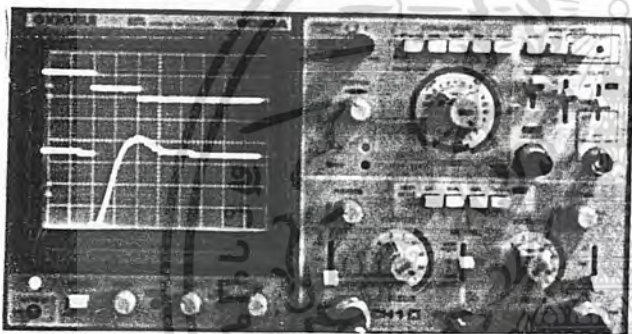


รูป 7.18 แสดงการเกิดออสซิลเลทในการขับแบบที่ 2 ระยะเวลาในการขับพัลส์ low volt มากกว่า t_p เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.19 แสดงการเกิดออสซิลเลทในการขับแบบที่ 2 ระยะ
เวลาในการขับพัลซ low volt มากกว่า t_p



รูป 7.20 แสดงการเกิดออสซิลเลทในการขับแบบที่ 3

หมายเหตุ

- แชนเนล 1 จับค่าสัญญาณที่ไปกระตุ้น วงจรมอเตอร์ไครเวอร์(10 msec /DIV,5V/DIV)
- แชนเนล 2 จับค่าผลตอบสนองของมอเตอร์จากส่วนวงจรนับขึ้น-ลง(10 msec /DIV,0.2V/DIV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปและวิจารณ์

8.1) สรุป

โดยลักษณะของสเตปมอเตอร์ผลตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ 1 สเตปจะเกิดการออสซิลเลทในรูปแบบของสมการอันดับสองหรืออันดับสามขึ้นกับชนิดของมอเตอร์และระบบการขับ ดังนั้นเรา จึงพยายามหาวิธีการควบคุมมอเตอร์ในช่วงทรานส์เซียนเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น

จากแนวคิดเบื้องต้นเราสามารถที่จะนำค่าศักดาไฟฟ้าหรือกระแสมาปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ในการควบคุมดังกล่าวจากการทดลองโดยการควบคุมศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่มอเตอร์และดูผลตอบสนองของตัวมอเตอร์จะได้ว่าวิธีการที่ทดลองนี้สามารถควบคุมผลตอบสนองการเกิดออสซิลเลทของการเคลื่อนที่หนึ่งสเตปได้

8.2) วิจารณ์

ปัญหาที่ทำให้ผลการทดลองไม่สมบูรณ์และเสร็จล่าช้าเท่าที่ผ่านมาประสบปัญหาเกี่ยวกับการคัปปลิง ระหว่างสเตปมอเตอร์และออปติคัลเลนโคดเดอร์มากที่สุด ถ้าหากว่าคัปปลิงแกนไม่ตรงกันจริง หรือหลวมแกนสเตปมอเตอร์และออปติคัลเลนโคดเดอร์ไปไม่พร้อมกัน ผลการทดลองที่ได้จะผิดเพี้ยนไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าจะพยายามทำตัวคัปปลิงเองก็ยังไม่ได้ผลที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงสมควรมีตัวคัปปลิงที่มีราคาและคุณภาพพอสมควรไว้ให้นักศึกษาได้ใช้อย่างพอเพียงเนื่องจากตัวคัปปลิงที่มีขายในท้องตลาดมีราคาสูงเกินไป

ปัญหาที่ประสบอีกอย่างคือ คุณภาพของตัวออปติคัลเลนโคดเดอร์เพราะมีโอกาสใช้ออปติคัลเลนโคดเดอร์ 2 ตัว ตัวแรกไม่สามารถให้ผลการทดลองออกมาได้เลยเพราะมีความไวต่อการสั่นสะเทือนสูง ส่วนออปติคัลเลนโคดเดอร์อีกตัวที่มีโอกาสใช้เมื่อใช้ในสภาวะเดียวกันสามารถให้ผลการทดลองออกมาได้แต่ยังไม่น่าพอใจเนื่องจากผลของการคัปปลิง

ในการทดลองนี้เราสามารถที่จะใช้สเตปปีงมอเตอร์สเตปหยาบคู่กับออปติคัลเลนโคดเดอร์ที่มีจำนวนพัลซต่อรอบไม่มากนัก (1024 พัลซต่อรอบ) ซึ่งสเตปมอเตอร์ที่ต้องการนี้หาได้ยากในท้องตลาดถ้าเป็นของที่ใช้แล้วก็มีสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ของใหม่ก็มีราคาแพงจนเกินไป โดยมากพบแต่มอเตอร์สเตปประมาณ 1.8 องศาซึ่งได้นำมาใช้ในการทดลองภายหลังแต่ต้องใช้ออปติคัลเลนโคดเดอร์ที่มีจำนวนพัลซต่อรอบมาก ๆ (ที่ใช้อยู่ขนาด 10,000 พัลซต่อรอบ)

เอกสารอ้างอิง

- 1) Takashi Kenjo , Stepping motors and their microprocessor controls , CLARENDON PRESS.OXFORD,1986
- 2) John Uffenbeck , MICROCOMPUTERS AND MICROPROCESSORS The 8080,8085 and Z-80 Programing Interfacing and Troubleshooting , Prentice Hall, Inc ,1985
- 3) ETT Co., LTD , MCS-51 MICROCONTROLLERS
- 4) คู่มือ/เทียบเบอร์ ไอซี TTL , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ตัวอย่างโปรแกรม

CPU "8051.TBL"

PORTA: EQU 0E0F0H

PORTB: EQU 0E0F1H

PORTC: EQU 0E0F2H

~~CONTR: EQU 0E0F3H~~

DATA: EQU ~~0E0F3H~~

P0: EQU 080H

P0_0: EQU 080H

P0_1: EQU 081H

P0_2: EQU 082H

P0_3: EQU 083H

P0_4: EQU 084H

P0_5: EQU 085H

P0_6: EQU 086H

P0_7: EQU 087H

SP: EQU 081H

DPL: EQU 082H ;DATA POINTER LOW

DPH: EQU 083H ;DATA POINTER HIGH

TCON: EQU 088H

TCON_0: EQU 088H

TCON_1: EQU 089H

TCON_2: EQU 08AH

TCON_3: EQU 08BH

TCON_4: EQU 08CH

TCON_5: EQU 08DH

TCON_6: EQU 08EH

TCON_7: EQU 08FH

TMOD: EQU 089H

TL0: EQU 08AH

TL1: EQU 08BH

TH0: EQU 08CH

TH1: EQU 08DH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P1: EQU 090H
P1_0: EQU 090H
P1_1: EQU 091H
P1_2: EQU 092H
P1_3: EQU 093H
P1_4: EQU 094H
P1_5: EQU 095H
P1_6: EQU 096H
P1_7: EQU 097H
SCON: EQU 098H
SCON_0: EQU 098H
SCON_1: EQU 099H
SCON_2: EQU 09AH
SCON_3: EQU 09BH
SCON_4: EQU 09CH
SCON_5: EQU 09DH
SCON_6: EQU 09EH
SCON_7: EQU 09FH
SUFF: EQU 099H
P2: EQU 0A0H
P2_0: EQU 0A0H
P2_1: EQU 0A1H
P2_2: EQU 0A2H
P2_3: EQU 0A3H
P2_4: EQU 0A4H
P2_5: EQU 0A5H
P2_6: EQU 0A6H
P2_7: EQU 0A7H
IE: EQU 0A8H
P3: EQU 0B0H
P3_0: EQU 0B0H
P3_1: EQU 0B1H
P3_2: EQU 0B2H
P3_3: EQU 0B3H
P3_4: EQU 0B4H
P3_5: EQU 0B5H
P3_6: EQU 0B6H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
P3_7: EQU 0B7H
TCON2: EQU 0C8H
RCAP2L: EQU 0CAH
RCAP2H: EQU 0CBH
TL2: EQU 0CCH
TH2: EQU 0CDH
ACC: EQU 0E0H
PSW: EQU 0D0H
```

```
;-----
MARKB: EQU 00H
;-----
```

```
ORG 0000H ;START PROGRAME
```

```
LJMP START
```

```
ORG 0003H ;INT 0 VECTOR ADDRESS
```

```
LJMP INT0
```

```
ORG 000BH
```

```
LJMP T0
```

```
ORG 0013H
```

```
LJMP INT1
```

```
ORG 001BH
```

```
LJMP T1
```

```
ORG 0023H
```

```
LJMP RI_TI
```

```
ORG 002BH ;TIMER 2 VECTOR ADDRESS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

START: CLR  P1_1
        ACALL INI8255
        ACALL INTC
        ACALL INIINT ;
        ACALL INITM2
        ACALL INIT0
        ACALL PLTRAN ;
        ACALL INIMTR

                ;START PLUSE

        MOV  IE,#10100010B ;ENABLE TIMER 2,T0
        SETB OCAH          ;START TIMER
        SETB TCON_4        ;START CONTER(TIMER COUNTER 0)
        CLR  MARKB

```

```

        ACALL PLUSE

```

```

HERE:  SJMP HERE

```

```

;Initial 8255 Port

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้หน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หรือในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV  DPTR,#CONTR ;INITIAL 8255

```

```
MOV A,#82H ;  
MOVX @DPTR,A ;
```

```
MOV DPTR,#PORTC ;INITIAL PHASE CONTROL
```

```
MOV A,#00H ;
```

```
RET
```

```
;  
;INITIAL INTO  
;
```

```
INIINT:
```

```
CLR TCON_0 ;ENABL L LEVEL SIGNAL(INT0)
```

```
RET
```

```
;  
;Initial Serial interupt rutine  
;
```

```
INISER:
```

```
MOV SCON,#40H ;Baud = 4800
```

```
MOV TL1,#0FAH ;Mode 1 8 bit UART
```

```
MOV TH1,#0FAH
```

```
MOV A,#00100000B ;Mask bit TMOD.5
```

```
ORL A,TMOD ;Set timer 1 to
```

```
MOV TMOD,A ;Mode 2
```

```
MOV A,#11101111B ;8 Bit auto reload
```

```
ANL A,TMOD ;TMOD.4=0
```

```
MOV TMOD,A ;TMOD=XX10XXXXB
```

```
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;INITIAL COUNTER

INTC:

```
SETB P1_0
ACALL RELT0
CLR P1_0

RET
```

;INITIAL TIMER 0

INIT0:

```
ACALL RELT0

MOV A,TMOD
ANL A,11110000B
MOV TMOD,A
MOV A,#00000101B ;SET C/T = 1 TIMER 0
ORL A,TMOD ;MODE 1 (16 BIT COUNTER)
MOV TMOD,A

RET
```

~~INITIAL TIMER 2 TO GENERATE TIME OUT OF PHASE~~

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
INITM2:มีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV RCAP2L,#00H ;USE TIME2 IN MODE 16 BIT AUTO
MOV RCAP2H,#00H ;
MOV TL2,RCAP2L
MOV TH2,RCAP2H

MOV TCON2,#00H ;SET TIMER 2 CONTROL REGISTER TO
;16 BIT AUTO RELOAD

RET

```

```

;-----
;RELOAD TIMER COUNTER 0
;-----

```

```

RELTO: CLR TCON_4

```

```

MOV DPTR,#TH0BUF
MOVX A,@DPTR
MOV TH0,A
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV TL0,A

```

```

SETB TCON_4

```

```

RET

```

```

;-----
;INT0
;-----

```

```

INT0: PUSH ACC ;INT0 = A SIGNAL

```

```

PUSH DPH ;INT1(P3_3) = B SIGNAL

```

```

PUSH DPL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POP DPL

POP DPH

POP ACC

RETI

;

;Timer 0

;

TO: PUSH DPH ;SAVE ATIVE REGISTER

PUSH DPL

PUSH ACC

PUSH OFOH ;B REGISTER

ACALL PLUSE

POP OFOH

POP ACC

POP DPL

POP DPH

RETI

;

;INT1

;

INT1: NOP

NOP

RETI

;

;Timer 1

;

;



T1: NOP
NOP
RETI

;RI&TI

RI_TI: NOP

NOP
RETI

;T2 (CALTIME)

T2:

PUSH DPH ;SAVE ATIVE REGISTER
PUSH DPL

PUSH ACC
PUSH OF0H ;B REGISTER

JB MARKB,NEXTT2
SETB MARKB
SETB P1_1
SJMP RETT2

NEXTT2: CLR MARKB
CLR P1_1

RETT2: POP OF0H
POP ACC
POP DPL
POP DPH

RETI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: TIMER 2 SEVICF ROUTINE

PLUSE:

ACALL INTC

PL: MOV DPTR,#NUMPH ;GET NUMBER OF PHASE

MOVX A,@DPTR

MOV 0F0H,A

INC 0F0H

MOV DPTR,#TEMPPH ;GET CURRENT PHASE

MOVX A,@DPTR

DEC A

MOV DPTR,#DATAPL ;DPTR POINTER TO DATA OF OUT PHASE

MOVC A,@A+DPTR

MOV DPTR,#PORTC ;OUT PHASE

MOVX @DPTR,A

MOV DPTR,#TEMPPH ;GET CURRENT PHASE

MOVX A,@DPTR

INC A ;A = NEXT PHASE

CJNE A,0F0H,NEXTPL ;TMEP PHASE EQUAL FIRST PHAE

MOV A,#01H ;IF CURRENT PHASE EQUAL LAST PHASE

NEXTPL: MOV DPTR,#TEMPPH

MOVX @DPTR,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;INITIAL MOTOR

;

INIMTR: MOV A,#0000001B

MOV 02H,#04H

MOV DPTR,#PORTC

MTR1: MOVX @DPTR,A

MOV 01H,#20H

MTR2: MOV 00H,#00H

MTR3: DJNZ R0,MTR3

DJNZ R1,MTR2

RLA

DJNZ R2,MTR1

RET

;

;PLUSE TRAN DATA FORM ROM TO RAM

;

PLTRAN: MOV DPTR,#DATAROM

MOV 00H,#80H

MOV 01H,#00H

MOV 02H,DPH

MOV 03H,DPL

MOV 04H,#04H

ACALL TRAN

RET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

;ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
;TRAN DATA

TRAND:

CLR A

TRAN: MOVC A,@A+DPTR

MOV DPH,00H

MOV DPL,01H

MOVX @DPTR,A

INC R1

INC R3

MOV DPH,02H

MOV DPL,03H

CLR A

DJNZ R4,TRAN

RET

;DATA AREA OF PLUSE PHASE

DATAPL: DFB 0000001B

DFB 00000010B

DFB 00000100B

DFB 00001000B

DATAROM:DFB 01H

~~DFB 04H~~

DFB 0F0H

DFB 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;DATA AREA

ORG DATA

TEMPPH: DFB 01H
NUMPH: DFB 04H
THOBUF: DFB 0F0H
TLOBUF: DFB 00H

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้