



ระบบการรักษาสถียรภาพของภาพจากบอลูน
(THE PICTURE STABILIZER FOR BALLOON CAMERA)

นาย โกศล เพชรคง

นาย จักรกฤษณ์ ชุตเจื้อจิ้น

นาย จิรวุฒิ สินธุวิชเศษจ์

นาย จิโรภาส เสือแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ กฤตากร กล่อมการ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



ปีการศึกษา 2538

ระบบการรักษาเกียรติภาพของภาพจากบอลลูน

โดย

นาย โทศล	เพชรคง	32.3306
นาย จักรกฤษณ์	ชุต.เจือจิน	32.3308
นาย จีรวุฒิ	สินธุวิช.เศรษฐ์	32.3309
นาย จิโรภาส	เสือนแก้ว	32.3310

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ กฤตากร กล่อมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2533

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการรักษาเสถียรภาพของภาพจากบอลูน


ผู้จัดทำ

1. นาย โทศล เพชรคง 32.3306
2. นาย จักรกฤษณ์ ชุตเจื้อจิ้น 32.3308
3. นาย จิรวุฒิ สันธวณิชไชย 32.3309
4. นาย จิโรภาส เลื่อนแก้ว 32.3310



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์. กฤดากร กล่อมการ)



กรรมการ

(ผศ.ดร. กนก เจริญพงษ์เวช)



กรรมการ

(อาจารย์. อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล)

เลขที่	T 33069 ๓๕
เลขทะเบียน	027902
วัน, เดือน, ปี	12 ก.ค. 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

027902

ระบบการรักษาสถียรภาพของภาพจากบอลลูน

นาย โภคส เพชรคง 32.3306

นาย จักรกฤษณ์ ชุตเจือจิน 32.3308

นาย จิรวุฒิ สิริธวัชเกษม 32.3309

นาย จิโรภาส เลือแก้ว 32.3310

อาจารย์ กฤตากร กลุ่มการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

โครงการทดลองกึ่งวิจัยชิ้นนี้ เป็นการศึกษาและออกแบบส่วนที่ใช้ในการควบคุม กล้องโทรทัศน์ซึ่งถูกติดตั้งบนบอลลูน ที่ใช้ในการส่งภาพมาแสดงให้ภาพที่ปรากฏที่จอมอนิเตอร์แล้วหนึ่งไม่สิ้นไหวที่ว่าดูแล้วหนึ่งมีความหมายว่า เมื่อที่ดูมอนิเตอร์แล้วไม่รู้สึกมีการ สิ้นไหว เพราะว่าเมื่อเรานำกล้องมาติดที่บอลลูนแล้วจะมีเฟคเตอร์ต่างๆ ซึ่งทำให้ตัว บอลลูนมีการสิ้นไหว ทำให้กล้องมีการสิ้นไหวด้วยโดยเฟคเตอร์ที่สำคัญคือลม เพราะฉะนั้น project ชิ้นนี้จะมา sensor ลม แล้วใช้ไมโครโปรเซสเซอร์คำนวณหาทิศทาง แล้วสั่งงานให้กล้องโทรทัศน์มีการตอบสนอง เพื่อควบคุมตัวเองให้สามารถส่งภาพมา ปรากฏที่จอมอนิเตอร์ให้ดูแล้วหนึ่ง

สำหรับตัวที่ขับเคลื่อนกล้องในโครงการจะใช้สเตปเปอร์มอเตอร์ ชนิด 4 เฟส เป็นตัวขับเคลื่อน ส่วนรายละเอียด การออกแบบโครงสร้าง รูปวงจร จะนำเสนออยู่ในปฏิญานิพนธ์นี้

THE PICTURE STABILIZER FOR BALLOON CAMERA

MR. KOSOL PHETKONG

MR. CHAKKRIT CHUDCHUACHIN

MR. JIRAVUT SINTUVANITCHASED

MR. JIROPAST SUAKAEW

MR. KITDAKORN KLOMKARN

ADVISER

ACADEMIC YEAR 2533

ABSTRACT

This research project is concerned about design and construction of camera movement unit which installation on balloon. The major problem of transmission the picture from balloon is ripple picture due to the wind around the balloon.

To solve this problem, this project design the wind sensor which interface with microprocessor that use to find direction and computation for compensate the movement of camera.

The movement control part use four phase stepping motor, circuit and detail structure are already present in this thesis.

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ดีซีมอเตอร์	3
	2.1 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์	3
	2.2 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์	4
บทที่ 3	พอร์ตอินพุท พอร์ตเอาต์พุท	14
	3.1 ลักษณะทั่วไปของ 8255	15
	3.2 ขาต่างๆ ของ 8255	16
บทที่ 4	การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนเป็นความถี่	18
บทที่ 5	ทฤษฎีและการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์	25
	5.1 ทฤษฎีและการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์	25
	5.2 นิยามของสแต็ปเปอร์มอเตอร์	25
	5.3 หลักการคอนโทรลเลอร์ของสแต็ปเปอร์มอเตอร์	25
	5.4 หลักการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์ทั่วไป	26
	5.5 ชนิดของสแต็ปเปอร์มอเตอร์เมื่อแบ่งออกตามลักษณะของการหมุน	27
	5.6 โครงสร้างและหลักการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	27
	5.7 โครงสร้างและหลักการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์แบบบริแอก-คีฟารีเอเบิล	28
	5.8 โครงสร้างและการทำงานของสแต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด	30
	5.9 การกระตุ้นเฟสคลวตสเตเตอร์	34
บทที่ 6	หน่วยความจำ	35
	6.1 โครงสร้างของแรม	36

6.2	โครงสร้างภายในของแรม	37
6.3	โครงสร้างทั่วไปของซีพียู	37
6.4	รายละเอียดและหน้าที่ที่สำคัญของสัญญาณต่างๆ	39
6.5	ระบบทางอาร์คแวร์ของไมโครคอมพิวเตอร์ Z-80	41
บทที่ 7	ออปแอมป์	43
7.1	รายละเอียดเกี่ยวกับขาต่างๆ	44
7.2	การนำไปใช้งาน	47
7.3	วงจรขยายแบบกลับคัคตาสัญญาณ	47
7.4	สัญญาณเข้ามีคัคตาเป็นบวก	48
7.5	สัญญาณเข้ามีคัคตาเป็นลบ	49
บทที่ 8	วงจรไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง	50
8.1	ความรู้เบื้องต้น	50
8.2	ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าอินพุทและเอาต์พุท	52
8.3	การออกแบบหุ้มแปลงความถี่สูง	54
8.4	วงจรจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งที่ใช้ในโครงงานนี้	56
บทที่ 9	การออกแบบและการสร้าง	57
9.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบ	57
9.2	ตัวตรวจจับ	57
9.3	วงจรกลับขั้ว	60
9.4	ชุดขั้วที่คัทวาง	61
9.5	วงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่	62
9.6	วงจรแยกที่คัทวาง	63
9.7	ส่วนเลือกที่คัทวาง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.8 ส่วนวงจรนับ	64
9.9 พอร์ต	65
9.10 หน่วยความจำ	65
9.11 หน่วยประมวลผลกลาง	65
9.12 ชุดขับเคลื่อนแป้นพิมพ์	66
บทที่ 10 บทวิจารณ์และสรุป	71
ภาคผนวก	73
software program	74
data sheet	92
กิตติกรรมประกาศ	103
หนังสืออ้างอิง	104



บทที่ 1

บทนำ

โครงการนี้ ได้มีการนำเอาอุปกรณ์ตรวจจับขนาดและทิศทางลมมาใช้ในการควบคุมระบบให้มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์ทั้งทิศทางและขนาดของลม ซึ่งในการใช้งานนี้จะให้มีการควบคุมสเตรปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งเราจะใช้ในการควบคุมกล้องวิดีโอ ซึ่งติดอยู่กับแกนของสเตรปเปอร์ให้มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการด้วยตัวมันเอง

ขอกล่าวถึงความจำเป็นที่ต้องมีการใช้ส่วนควบคุมส่วนนี้ เพราะในการใช้งานในโครงการนี้เราจะนำไปใช้ร่วมกับบอลลูน โดยเราจะนำกล้องวิดีโอไปใช้งานโดยติดกับบอลลูน แล้วปล่อยให้ลอยอยู่ที่สูงๆ แล้ว มันอาจจะมีการเคลื่อนที่เอียงไปเอามาได้ตามแรงลมภายนอกที่มากกระทบ ดังนั้นถ้าหากว่าไม่มีการควบคุม เมื่อสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องรับจะทำให้ภาพที่ได้รับทางจอมอนิเตอร์มีการเอียงไปเอามาตามแรงลมซึ่งทำให้บอลลูนเคลื่อนที่ไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมในส่วนนี้ ซึ่งจากการคิดในตอนแรกมีการคิดที่จะเอาเข็มทิศมาเป็นตัวเซ็นเซอร์ทิศทาง เพื่อใช้ในการหาทิศทางที่บอลลูนเคลื่อนที่ แล้วมีการป้อนกลับไปควบคุมกล้องเพื่อให้ได้มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้าม แต่มีปัญหว่าบางทิศทางของเข็มทิศเมื่อบอลลูนเคลื่อนที่ไป เช่นเคลื่อนที่ไปยังหลังตัวบอลลูนเอง เข็มทิศจะไม่เคลื่อนที่ตามเพราะฉะนั้น ประเด็นที่จะใช้เข็มทิศมาเซ็นเซอร์จึงตกไป

จากนั้นก็ได้มีการคิดที่จะนำเอาลักษณะ เทคนิคการสแกนเส้นภาพทางเวอร์และฮอร์มาเปรียบเทียบกับจุดที่มาร์คไว้ว่าจะต้องไม่มีการเคลื่อนในจุดที่มีการมาร์คไว้แล้ว จากนั้นก็จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอีกที แต่ที่ว่าหลักการนี้จะยุ่งยากมากและความเป็นไปได้น้อยมากดังนั้นไม่กล้าตัดสินใจที่จะเลือก

จนในที่สุดก็ได้มีการพิจารณาในส่วนของวงจรที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้งานจริงได้โดยได้ทำการออกแบบและทดลอง ซึ่งก่อนอื่น ต้องมาคิดว่าจะใช้รูปแบบอย่างไร และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนี้จะประกอบไปด้วยอะไรบ้าง

เฟดเตอร์สำคัญที่ทำให้ตัวขอลงเกิดการแกว่งเกิดขึ้นคือลม เพราะฉะนั้นเราจะมาเห็นเซอร์ลมในทิศทางต่างๆ และจะใช้ลมในการบอกทิศทางและขนาดความแรงของมัน แล้วนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ก่อนที่จะเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อหาทิศทางพร้อมทั้งขนาดความแรงลมที่ได้จากเซ็นเซอร์เพื่อที่จะได้ขับสเตปป์มอเตอร์ที่ติดอยู่กับตัวกล้องวิดีโอให้หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ

ซึ่งในบทแรกนั้นจะเป็นการกล่าวถึงคุณสมบัติและทฤษฎีการทำงานต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในโครงงานนี้ ส่วนการออกแบบและการสร้างนั้นจะอยู่บทที่ ๑



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ดีซีมอเตอร์ (D.C.MOTER)

2.1 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิด ซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำผ่านฟิลต์ ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กและขดลวดตัวนำเหล่านี้จะอยู่นอกศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K \phi I$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน/เมตร

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

I คือกระแสในตัวนำ มีหน่วยเป็นแอมแปร์

K คือตัวคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้ จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลาของมอเตอร์และต้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลลามอเตอร์คือ

$$E = K \phi W$$

เมื่อ E คือโวลต์เตจย้อนกลับ (back emf) มีหน่วยเป็นโวลต์

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

W คือความเร็วมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีเอ็น จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการ 1 และ 2 เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

2.2 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้าง สนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

2.2.1 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

2.2.2 ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าจะพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์เมเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบคือ

2.1 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก

2.2 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

2.3 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีดีซีมอเตอร์ชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับดีซีมอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่านยกเว้นการคอมมิวเตชัน กระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์ แทนที่จะกระทำโดยวิธีทางเชิงกล

2.2.1 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ยังแบ่งแยกได้เป็น 2 แบบคือ

ก. แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์

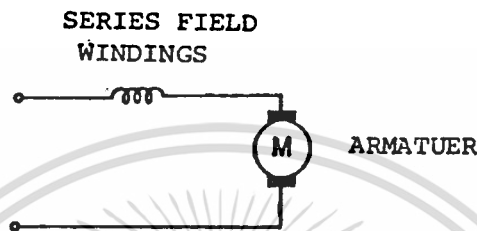
ข. แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ่น

ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.2.1

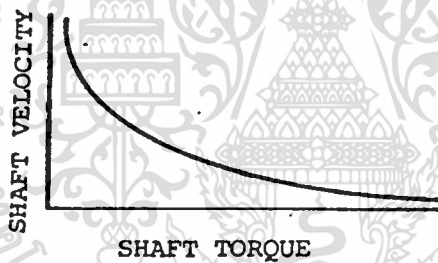
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้น เส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ และเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด เป็นนอนลิเนียร์ (nonlinear) ดังรูป 2.2.2



รูปที่ 2.1.1 ดิซิมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก



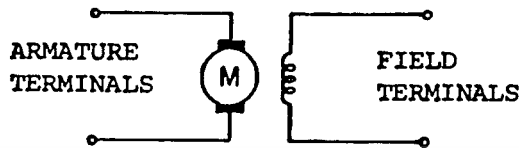
รูปที่ 2.1.2 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดิซิมอเตอร์ อนุกรมภายในตัวมอเตอร์ แสดงคงที่

มอเตอร์ต่อลักษณะดังกล่าวจะใช้งานในเมื่อเฉพาะต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง เช่นระบบการขับเคลื่อนของรถลาก

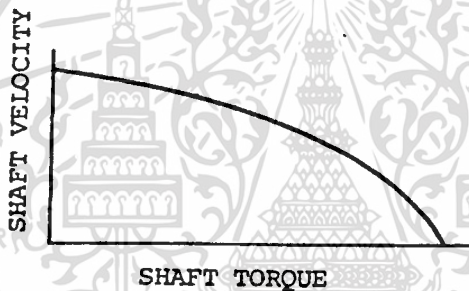
ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 2.2.3 ดิซิมอเตอร์แบบนี้มักนิยมเรียกกันว่ามอเตอร์ชาน (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสอาร์เมเจอร์ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มอเตอร์นี้จะใช้งานในกรณีระบบบังคับการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูงดังในรูปที่ 2.2.4 แสดงคุณสมบัติระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดกับความเร็วยของขั้วมอเตอร์ภายใต้ภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่ และอาร์-
เมเจอร์โวลต์ที่เต็ยคงที่



รูปที่ 2.1.3 ตั้วมอเตอร์แบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้



รูปที่ 2.1.4 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วแรงบิดของขั้วมอเตอร์ภายใต้ภา-
วะอาร์เมเจอร์โวลต์เต็ยคงที่ และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่

2.2.2 ตั้วมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

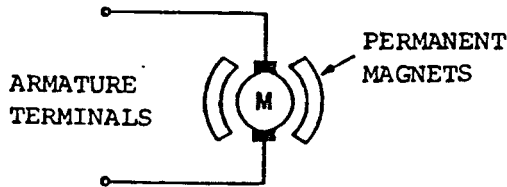
ระบบการกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์ โดยทั่วไปในปัจจุบันมักใช้ยเป็นแบบแม่เหล็กถาวร
ตั้งแสดงในรูปที่ 5 ในระบบนี้ เส้นแรงแม่เหล็กของฟิลด์มีค่าคงที่ดังนั้นอัตราส่วนระหว่าง
กระแสอาร์เมเจอร์ และแรงบิดจะมีค่าคงที่ดังสมการที่ 1 สามารถเขียนให้ขึ้นได้เป็น

$$T = K_f I \quad (3)$$

และสมการ (2) ได้เป็น

$$E = K_w \omega \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ๕๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.2 ดีไซน์มอเตอร์แบบขั้วคเป็นแม่เหล็กถาวร

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิด และความเร็วอยู่
ในลักษณะลิเนียร์สมการทางไฟฟ้าของดีไซน์มอเตอร์นี้สามารถเขียนได้เป็น

$$V = K_w \omega + L \frac{dI}{dt} + R I \quad (5)$$

เมื่อ V คือโวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_w คือค่าคงที่ของโวลต์เตจป้อนกลับ

L คืออินดักแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

R คือความต้านทานที่ขั้วของมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$J \frac{d\omega}{dt} = B\omega + T_e - T_r \quad (6)$$

เมื่อ I คือแรงบิดที่กำเนิดโดยมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด

B คือสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแควม์ปีง

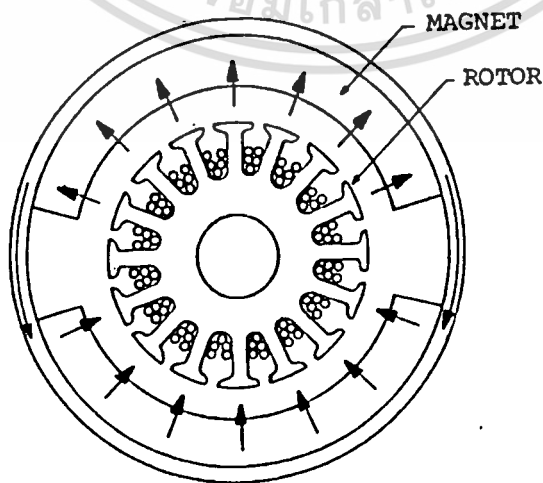
T_r คือแรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือแรงบิดโหลด

สมการต่างๆของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟลักซ์ จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟลักซ์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบฟลักซ์แม่เหล็กถาวรซึ่งดีกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟลักซ์ด้วยการพันของขดลวดคือไม่มีกำลังงานสูญเสียในฟลักซ์มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน นอกจากนั้นความล้ม-
พันธ์เชิงเส้นในสมการ(1) ยังให้ค่าของกระแสอาร์เมเจอร์ที่สูงกว่า ดีซีมอเตอร์แบบฟลักซ์เป็นขดลวด การประยุกต์ใช้งานเหมาะกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

2.2.3 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก

โครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบแกนเหล็กแสดง ดังในรูปที่ 2.2.3 โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยสูงที่สุดและมีค่าอินดักแทนซ์ของโรเตอร์สูงที่สุดด้วยดังนั้นมอเตอร์นี้จึงมีปริมาณการจุกความร้อนได้สูงและสามารถจะทดไอเวอร์โวลต์ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย

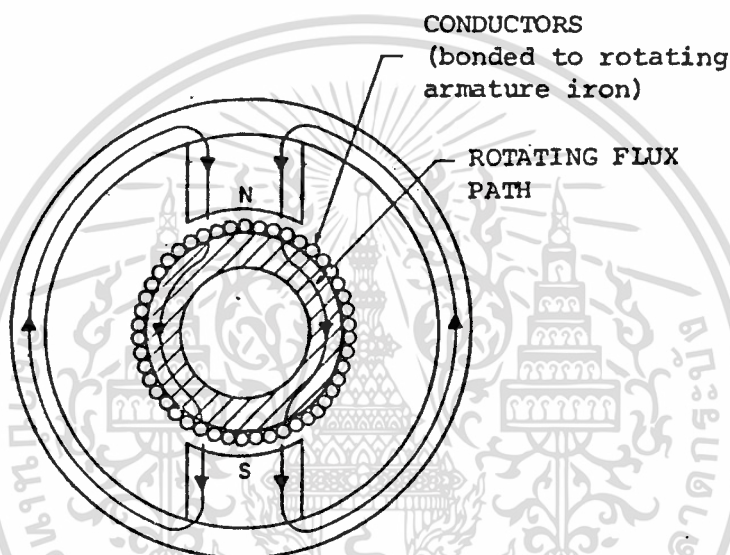


รูปที่ 2.2.3 รูปหน้าตัดดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนหลักส่วนฟลักซ์เป็นแม่เหล็ก
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 8 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2.4 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

ในรูปที่ 2.2.4 แสดงถึงการออกแบบของโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิวโดยไม่มีสล้อตทำให้ได้อินดักแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือ ทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและราคาแพงกว่าแบบแกนเหล็กด้วย



รูปที่ 2.2.4 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดพันบนพื้นผิว และฟิลต์เป็นแกนแม่เหล็กถาวร

2.2.5 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

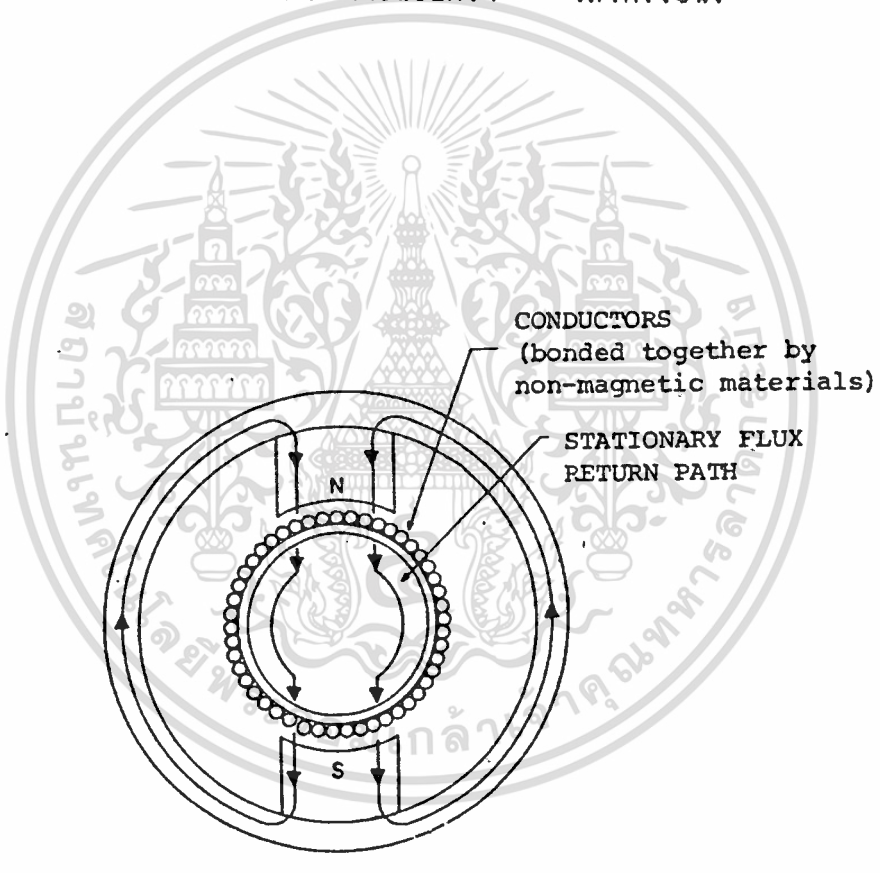
มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 2.2.5 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.2.6

ลักษณะโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างของแม่เหล็กของแม่เหล็กมอเตอร์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้มีช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมา แล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้โครงสร้างของแม่เหล็กที่ใหญ่ขึ้น เพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศ ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันกับของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาแพง นอกจากนี้โครงสร้างของโรเตอร์มีความจุความร้อนต่ำมาก ถ้าหากเกิดโอเวอร์โวลต์ก็ จะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ง่าย และโรเตอร์ลักษณะนี้ จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมากคือน้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี่

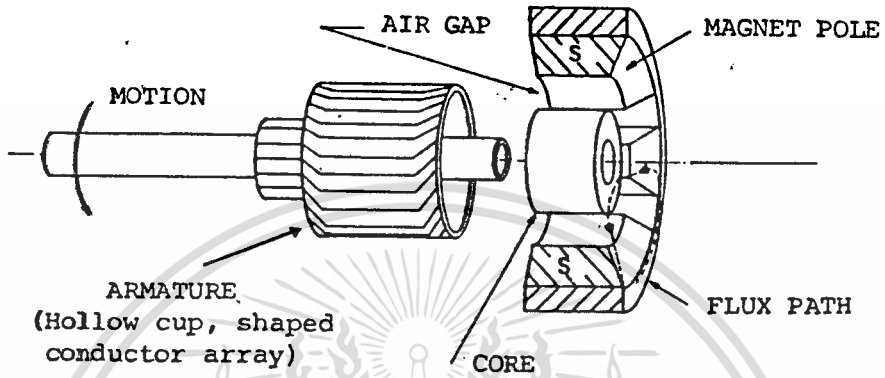


รูปที่ 2.2.5 แสดงหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์มีขดลวดเคลื่อนที่และ

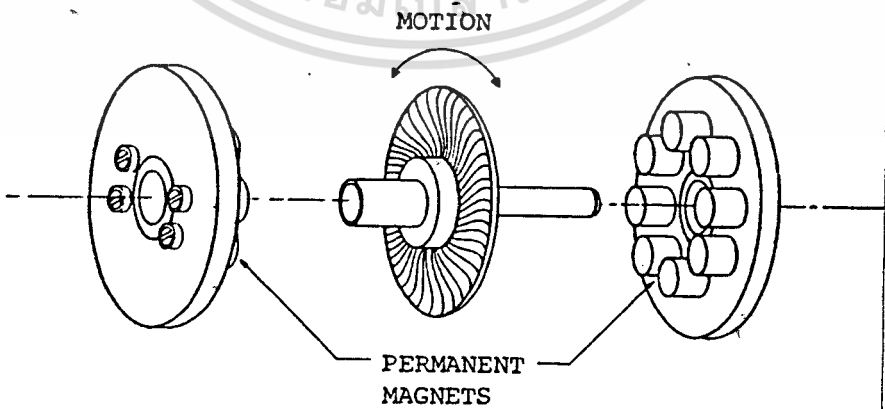
ฟิลต์เป็นแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 10 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วลวดเคลื่อนที่และฟลักต์เป็นแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.2.6 แสดงรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของคิซิมอเตอร์แบบมีโรเตอร์ เป็นขั้วลวดเคลื่อนที่

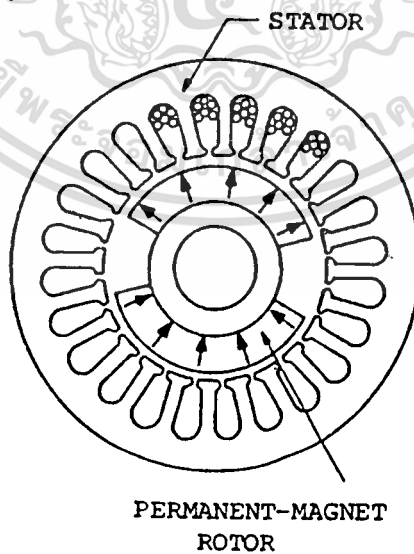


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.2.7 แสดงคิซิมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขั้วลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน ด้านการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 11 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.2.7 แสดงถึงมอเตอร์แบบขลวดเคลื่อนที่อีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งมีโครงสร้างของอาร์เมเจอร์เป็นรูปร่างจานซึ่งทำขึ้นจากขลวดตัวนำซ้อนกันหลายๆ ชั้น ซึ่งเรามักจะเรียกกันว่า "printed motor"

2.2.6 มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านต่างจากมอเตอร์ที่กล่าวมาแล้วคือ การคอมมิวเตชันกระแสอาร์เมเจอร์จะใช้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้จะมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กหยึด "back iron" และขลวดคอมมิวเตเตอร์จะอยู่ภายนอก ส่วนของโรเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.6 (เปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างที่มีส่วนประกอบกลับกัน) การประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านนี้ มักจะใช้ในระบบที่ต้องการโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำ เนื่องด้วยโครงสร้างโรเตอร์ของมอเตอร์แบบนี้สร้างขึ้นด้วยสารแม่เหล็กชนิดพิเศษ เพื่อให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำ



รูปที่ 2.2.8 แสดงรูปหน้าตัดมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบระบบสารสนเทศดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดคอมมิวเตชันในมอเตอร์แบบไม่มีแปลงถ่าน จะกระทำได้ภายนอกตัวมอ-
เตอร์ โดยใช้วงจรถูกซึ่งรวมเข้ากับมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

พอร์ตอินพุทเอาต์พุท

ในการใช้งานของไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปทุกๆ เบอร์จำเป็นที่จะต้องมีการติดต่อรับและส่งข้อมูลกับอุปกรณ์หรือไอซีอื่นๆรอบข้าง ซึ่งหน่วยหรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลนี้เรียกว่า พอร์ตอินพุทเอาต์พุท

ในกรณีโครงการนี้ก็เช่นกันไมโครโปรเซสเซอร์ต้องติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ซึ่งคือให้มันสามารถส่งสัญญาณมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ก็คือสเตปเปอร์มอเตอร์ ส่วนที่ทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถติดต่อกับโลกภายนอกนี้คือพอร์ต ซึ่งก็มีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน เช่น - เป็นไอซีแบบไตรสเตท (tri-state) เบอร์ 74LS244 หรือพวกเลตช์ (latch) เช่น 74LS374 เหล่านี้สามารถนำมาต่อใช้งานกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยง่ายโดยตัวไมโครโปรเซสเซอร์จะเป็นตัวควบคุมการอินพุทเอาต์พุทพอร์ตหากเป็นการอินพุทจากพอร์ตก็มักจะใช้ไอซีแบบไตรสเตทเป็นพอร์ตอินพุท โดยตัวไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณไปเปิดเกตของไตรสเตทนี้ให้ข้อมูลเข้ามาสู่สายข้อมูล (data bus) และเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป แต่สำหรับพอร์ตเอาต์พุทก็จะใช้แลตช์ฟลิป-ฟลอปทำหน้าที่รับสัญญาณจากไมโครโปรเซสเซอร์มาแลกต์ไว้ที่ตัวมันและจากนั้นไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะส่งสัญญาณมาทริก เพื่อให้อุปกรณ์ภายนอกนั้นรับสัญญาณจากตัวแลกต์นี้ไปอีกทีหนึ่ง ที่ทำเช่นนี้เพราะตัวไมโครโปรเซสเซอร์ หรือซีพียูนี้ทำงานเร็วมาก ซึ่งในช่วงของการส่งข้อมูลออกพอร์ท จะใช้เวลาไม่กี่ไมโครเซก (μ) ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ภายนอกรับไม่ทัน

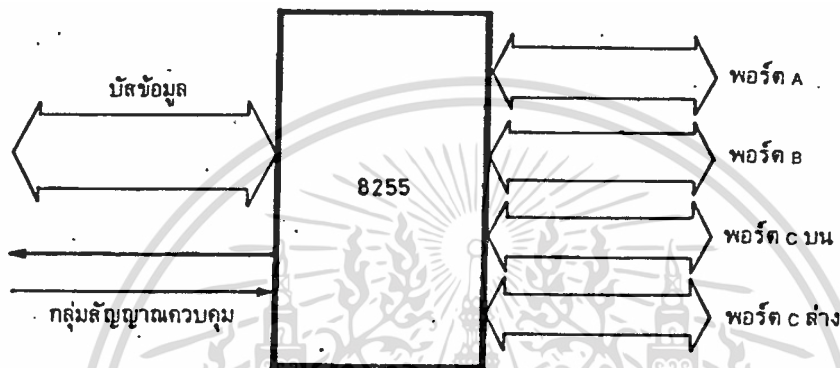
สำหรับโครงการนี้ได้เห็นความสำคัญของการติดต่อรหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับอุปกรณ์ภายนอกนี้จึงได้เลือกเบอร์ 8255 ซึ่งเป็นของบริษัทอินเทล ซึ่งได้ออกแบบมาใช้กับ ซีพียูเบอร์ 8080 เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเบอร์ Z-80 ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

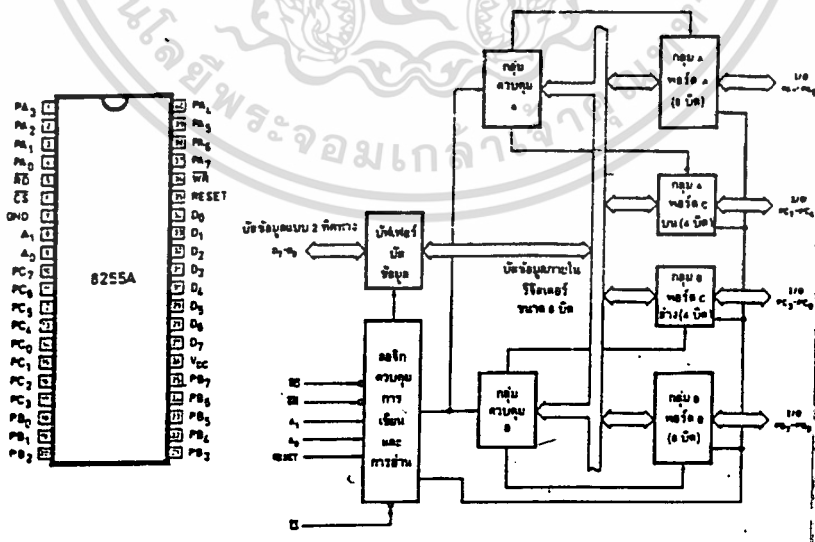
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ลักษณะทั่วไปของ 8255

เป็นไอซีขนาด 40 ขา ตัวแบบ 8255 เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ตให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ต โดยมีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังโครงสร้างของไอซี 8255



รูปที่ 3.2 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 15 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียกพอร์ตของ 8255 จะเรียกพอร์ตต่างๆว่าพอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C โดยพอร์ต C แยกเป็นสองส่วน คือพอร์ต C ล่างหรือตั้งแต่ $P_{C0}-P_{C3}$ มีจำนวน 4 บิต และพอร์ต C บน หรือตั้งแต่ $P_{C4}-P_{C7}$ ที่มีเศษคือพอร์ตทุกพอร์ตเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต

สำหรับในโครงงานนี้เราเซตให้

- พอร์ต A เป็น พอร์ตรับข้อมูล (data in) เพื่อรับข้อมูลมาประมวลผล
- พอร์ต B เป็น พอร์ตส่งข้อมูล (data out) ใช้ในการเลือกทิศทางจากเซ็นเซอร์ (sensor) ก่อนเข้าสู่ส่วนทำการนับ (counter)
- พอร์ต C บนและ พอร์ต C ล่าง เป็นตัวนำข้อมูลไปใช้ในการนับสแตมป์มอเตอร์ โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุม

3.2 ขาต่างๆ ของ 8255

เพื่อให้เข้าใจวิธีการต่อใช้งานระหว่าง Z-80 กับ 8255 จึงจำเป็นต้องเข้าใจความหมายและตำแหน่งของขาต่างๆด้วย

D_0-D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุต เอาต์พุตจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ D_0-D_7 จึงต่อกับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ตผ่านทางบัสนี้

\overline{CS} คือสัญญาณเลือกชิปขานี้เป็นขาอินพุตที่จรับสัญญาณจากภายนอก เพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น "0" จะทำให้ 8255 ต่อกับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์เขียนหรืออ่านจากพอร์ตได้

\overline{RD} คือสัญญาณการอ่าน เป็นสัญญาณอินพุตที่ต้องส่งมาจากชิพ เมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น "0" และสัญญาณ \overline{CS} เป็น "0" ด้วย ไอซี 8255 จะทำตัวให้ชิพอ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ตอินพุต

\overline{WA} คือสัญญาณการเขียนจะแอสติฟเมื่อสัญญาณ \overline{WR} และสัญญาณ \overline{CS} เป็น "0" สัญญาณนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ญาณนี้จะมาจากซีพียูเมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ตที่กำหนด $A_0 - A_1$ คือสัญญาณแอส-
เตอร์ส ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัส เพื่อกำหนดวีจิสเตอร์ภาย
ในที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุทเอาต์พุทของ 8255

RESET คือสัญญาณรีเซ็ต เป็นสัญญาณที่ส่งมาจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซ็ต
8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซ็ต ก็จะกลับเข้าสู่
โหมดอินพุทหรือทุกพอร์ตที่เป็นพอร์ตอินพุท

$P_{A0} - P_{A7}$ คือเป็นสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ที่ชื่อพอร์ต A และ การเลือก
พอร์ตจะเลือกโดยสัญญาณแอสเตอร์ส $A_0 - A_1$

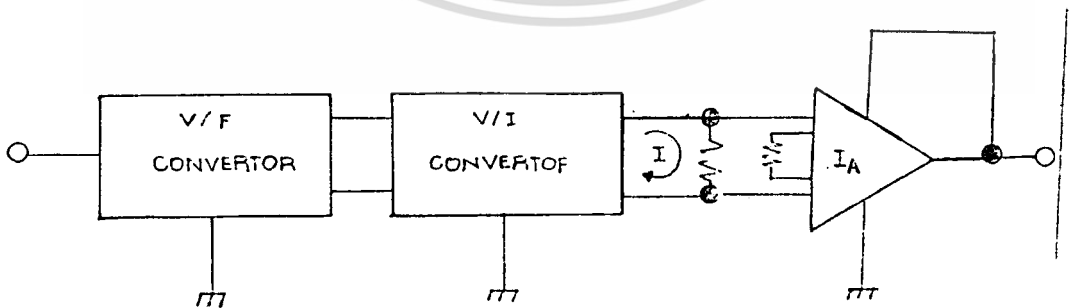
$P_{B0} - P_{B7}$ คือสายสัญญาณที่เป็นพอร์ต B ของ 8255 และจะถูกเลือกโดยสัญญาณ
แอสเตอร์ส $A_0 - A_1$

$P_{C0} - P_{C7}$ คือสายสัญญาณที่เป็นพอร์ต C ของ 8255 การกำหนดพอร์ตนี้จะได้รับ
การกำหนดโดยสัญญาณแอสเตอร์ส $A_0 - A_1$ พอร์ต C นี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม P_{C0}
 $- P_{C3}$ และ กลุ่ม $P_{C4} - P_{C7}$

บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนเป็นความถี่ (voltage-to-frequency)

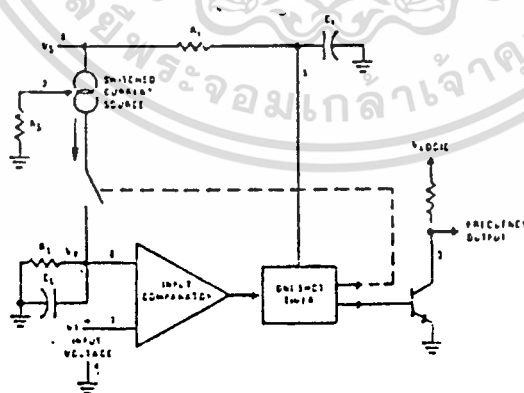
การสื่อสารข้อมูลในรูปของกระแสจะนิยมส่งมากกว่าการส่งในรูปของแรงเคลื่อน ทั้งนี้เนื่องจากสามารถลดค่าผิดพลาดเกี่ยวกับความต้านทาน โดยเฉพาะความแตกต่างของการส่งข้อมูลในรูปแบบของกระแส มักใช้ในงานการขยายของเครื่องมือวัดที่มีค่าคอมมอนโมดรีเจ็คชั่นเรโซสูงๆอย่างไรก็ตามในงานทางอุตสาหกรรมนิยมใช้ เช่นเดียวกันผลของนอยซ์ในบางครั้งก็มีผลมากบางครั้งก็น้อย สำหรับการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลนั้นจะมีความสามารถในการกำจัดนอยซ์สูง ตัวอย่างเช่นแรงเคลื่อนทางอนาล็อกจาก Sensor จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ โดยขนาดของพัลส์จะคงที่แต่ความถี่จะเปลี่ยนไปในลักษณะเชิงเส้นกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งความถี่นี้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกระแส เพื่อใช้ในการส่งนอยซ์ ที่เข้ามาจะทำให้ขนาดของพัลส์ เปลี่ยนแต่ความถี่ของสัญญาณจะไม่เปลี่ยนทางด้านรับก็ต้องมีการแปลง จากรูปของกระแสไปเป็นแรงเคลื่อนโดยตัวต้านทานหรือวงจรวัดซึ่งความถี่จากวงจรวัดนี้จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณอนาล็อก และความต้านทานของลูป จะถูกลดลง ดังแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 4.1 การส่งข้อมูลแบบการเข้ารหัสความถี่

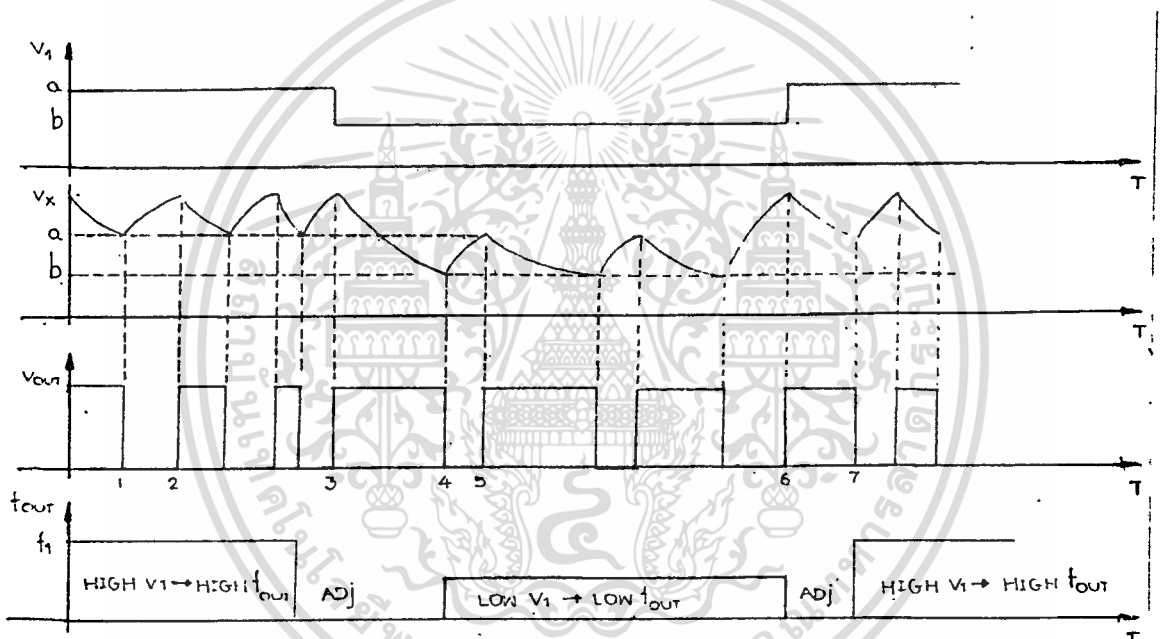
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมของการแปลงแรงเคลื่อนซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2 จะประกอบไปด้วยวงจรเปรียบเทียบวงจรมอนอสเตเบิล และทรานซิลเลเตอร์และสวิตช์ในการใช้งานเราจะต่ออุปกรณ์ภายนอกประกอบเช่น ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดย ตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุเมื่อปิดสวิตช์ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสในเวลาที่กำหนด โดยตัวต้านทานจะคายประจุเมื่อสวิตช์เปิด ตัวเก็บประจุ จะคายประจุผ่านตัวเก็บประจุเมื่อแรงเคลื่อนที่ขั้ว x น้อยกว่าแรงเคลื่อนที่ขั้วที่ 1 วงจรเปรียบเทียบ แรงดันจะไปที่ทรานซิลเลเตอร์นำกระแส (output) มีสถานะเป็นลอจิก Low และต่อแหล่งจ่ายกระแสเพื่อประจุตัวเก็บประจุ สภาวะนี้จะต่อเนื่องไปจนถึงช่วงเวลาที่กำหนดโดยตัวต้านทาน (Rt) และตัวเก็บประจุ (CL) หลังจากที่สวิตช์เปิดเอาท์พุทจะมีสภาวะลอจิกสูงตัวเก็บประจุ (CL) จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน (RL) สภาวะการทำงานจะสลับกันเช่นนี้ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.2 แสดง Block diagram ของการเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะในวงที่ออกนั้นไปจะออกให้คนอื่นไปจะโยนด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเราเข้าใจ ในสภาวะการทำงานแล้ว ความถี่ที่ผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนอินพุต ซึ่งเรามีข้อสังเกตอยู่ 2 ข้อ คือการเก็บประจุด้วยแหล่งจ่ายกระแสซึ่งจะผลิตแรงเคลื่อนที่ขึ้น x (v_x) ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนบนตัวเก็บประจุ อย่างไรก็ตามอัตราการคายประจุผ่านตัวต้านทาน ($R1$) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงเคลื่อนที่ x ซึ่งถ้าค่าแรงเคลื่อนมีค่ามากกว่าแรงเคลื่อนที่ x การคายประจุผ่านตัวต้านทาน $R1$ ก็จะคายได้เร็ว



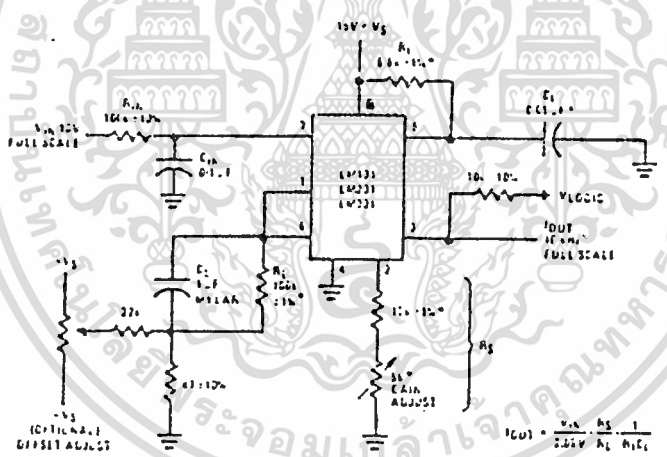
รูปที่ 4.3 การทำงานและรูปคลื่นของการเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่

เมื่อพิจารณารูปที่ 3 ที่ time 0 แรงเคลื่อนทางอนาลอกที่จุด a และ v_x มีค่ามากกว่าเอาท์พุทจะมีสภาวะเป็น high ทำให้ตัวเก็บประจุ C_L คายประจุผ่าน R_L จนถึง time 1 v_x จะเท่ากับแรงเคลื่อนที่จุด a วงจรเปรียบเทียบบนไปทริกวงจร one shot timer ทำให้เอาท์พุทมีสถานะเป็น low และ C_L จะเก็บประจุด้วยอัตราส่วนที่คงที่ซึ่งกำหนดโดยแหล่งจ่ายกระแส ที่จุด time 2 one shot จะเปิด และไซเคิลการทำงานจะซ้ำๆ ไปเรื่อยๆ ซึ่งก็จะทำให้ได้ความถี่ f_1 ที่ time 3 ลักษณะอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 20 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางอินพุทจะตกลงมาที่ระดับ 0 ตัวเก็บประจุ C_L จะคายประจุผ่าน R_1 จนแรงเคลื่อนไปถึง time 4 จะเปรียบเทียบกับจะทริกให้ one shot on และตัวเก็บประจุจะเก็บประจุด้วยแหล่งจ่ายกระแส มันก็เก็บประจุเช่นเดียวกับในช่วง time 1 และ 2 เพราะมันจะเก็บประจุด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่คงที่ที่ time 5 one shot จะ off ตัวเก็บประจุ C_L จะคายประจุ อัตราการตายประจุช้าลงเมื่อ v_x ต่ำกว่าผลที่ได้คือความถี่ก็ต่ำ และเมื่อเพิ่มแรงเคลื่อนทางอินพุท (time 6) วงจรเปรียบเทียบกับ ก็จะทริกให้ one shot ทำงาน



รูปที่ 4.4 วงจรเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่แบบเบื้องต้น

ในรูปที่ 4 นั้นให้ไอซีเบอร์ 1m 131 , 1m231, 1m331 นั้นผู้ผลิตได้กำหนดความถี่ทางเอาท์พุทได้ด้วยสมการ

$$f_0 = \frac{1 \text{ kHz} \times v_{in}}{v_{cc}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 21 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจะหาได้โดยสมการ

$$f_o = \frac{v_{in} R_E}{2v_{R1} R_{tot}}$$

ตัวต้านทาน RT ตัวเก็บประจุจะเป็นตัวกำหนดเวลาที่ out pulse เป็น low จะกำหนดได้ดังนี้

$$t_{low} = 1.1 R_{tot} C$$

ปกติเราจะตั้งค่านี้ไว้ต่ำกว่าคาบเวลาของความถี่สูงสุดที่เอาท์พุทของวงจรสำหรับตัวต้านทาน 10k ที่ต่อขา 3 จะเป็นตัวต้านทานที่ใช้ pull up เพราะไอซีตัวนี้เป็นแบบ open collector สำหรับขนาดของกระแสที่ใช้ลิวท์ แหล่งจ่ายกระแสจะถูกกำหนดตัวต้านทาน RS โดยคำนวณได้ดังนี้

$$I = \frac{2v < 200ms}{R_E}$$

สำหรับตัวต้านทานแบบปรับค่า 5k ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 12k จะใช้ปรับ gain ของ LM 131 ให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดส่วนตัวต้านทาน RL และ CL ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เก็บประจุและคายประจุ นั้นจะมีตัวต้านทานค่า 47 โอห์มคืออนุกรมอยู่กับ CL เพื่อกำหนดฮิสเตอร์วีสสำหรับวงจรเปรียบเทียบเพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงเส้น สำหรับตัวต้านทาน Rin จะถูกกำหนดให้เท่ากับ RL เพื่อลดผลของกระแส bias ของวงจร comparator ให้ น้อยที่สุด ตัวเก็บประจุ cin และ Rin จะต่อเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ [low-pass filter] เพื่อลดผลของ noise โดยปกติ cin มักจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับตัวเก็บประจุ CL เพื่อให้มันตอบสนองช่วงเวลาของการเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่ การเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลซึ่งเอาท์พุทของ IC LM131 จะเป็นระดับ TTL ซึ่งทำให้เหมาะสมที่จะใช้กับอุปกรณ์วงไมโคร-

โปรเซสเซอร์เพราะจะทำให้การอินเตอร์เฟลกับไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้ง่าย
ตัวอย่าง การออกแชนวงจรเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นความถี่ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ
 20Khz เมื่อแรงเคลื่อนอินพุต=5v

จาก $T_{min} = \frac{1}{f_{max}}$

= $\frac{1}{20 \text{ kHz}}$

ในทางปฏิบัติเรามักจะกำหนดความกว้างของพัลส์น้อยกว่า 80 % ของคาบเวลาน้อย
 ที่สุด

จาก $t_{low} = 1.1 R_t C_t$

เลือกค่า $C_t = 0.047 \text{ uF}$ เพราะฉะนั้นค่า R_t

$$R_t = \frac{t_{low}}{1.1 C_t} = \frac{0.8 \times 20 \text{ uS}}{1.1 \times 0.0047 \text{ uF}} = 7.7 \text{ k}$$

เพื่อไม่ให้ค่า t_{low} มากกว่าค่าที่เรากำหนด เราจะเลือกค่า $R_t = 6.8 \text{ k}$ [ให้ค่า

$$t_{low} = 1.1 \times 6.8 \text{ k} \times 0.0047 \text{ uF} = 3.5 \text{ uS}]$$

สำหรับการคำนวณหา R_S จงคำนวณจากสมการที่ 2

$$R_S = \frac{Z_v \times f_o \times R_L \times R_t \times C_t}{v_{in}}$$

$$= 2v \times 20 \text{ khz} \times 100k \times 0.0047\mu\text{f}$$

$$= 25.6 \text{ K}$$

เลือกใช้ค่า RS เท่ากับ 22 K โดยต่อตัวต้านทานแบบ fix ค่า 12K ต่ออนุกรม
กับตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 K



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข 24 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

5.1 ทฤษฎีและการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (stepper moter) เป็นดิซีมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องอาศัยแปลงถ่าน ในการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เราจะใช้วงจรซีควเอนเชียล (sequencial) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณขับผ่าน (power driver) เข้าสู่สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะลูปเปิด (open loop)

ในการหมุนหนึ่งรอบของสเต็ปเปอร์มอเตอร์อาจจะมี 200 สเต็ป 180, 72, 24, หรือ 12 สเต็ป ต่อรอบ เพราะฉะนั้น การเปลี่ยนแปลงต่อสเต็ปจะได้ 1.8, 2, 2.5, 5, 15 และ 30 องศาสำหรับแต่ละสเต็ปตามลำดับ

5.2 นิยามของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- จะมีเพลาหมุนเป็นสเต็ป
- จะหมุนไปหนึ่งสเต็ปในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสเต็ปนี้ขึ้นกับการออกแบบของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

5.3 หลักการคอนโทรลเลอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

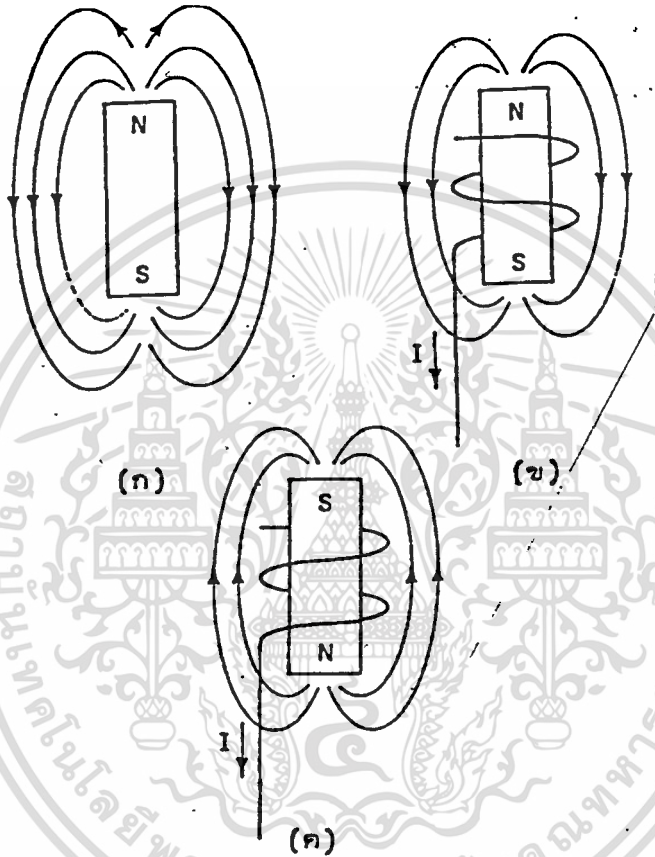


รูปที่ 5.1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

โดยที่คอนโทรลเลอร์ของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะอินเทอร์เฟสได้ตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) ซึ่งสเต็ปของมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมาก เนื่องจากแต่ละอินพุตพัลส์ จะทำให้สเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สเต็ปอย่างเที่ยงตรง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 หลักการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทั่วไป



รูปที่ 5.2.1 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ

จากรูปที่ 5.2.1 สามารถอธิบายได้ว่า

รูป ก. สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

ข. สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส 1

ค. ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทาง โดยแสดงสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อขดลวดนั้นกลับ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ชนิดของสเตปเปอร์มอเตอร์เมื่อแบ่งออกตามลักษณะการหมุน

5.5.1. แอคทีฟ(active) เป็นสเตปป์มอเตอร์ ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นแบบ

-แม่เหล็กถาวร [permanent magnetic หรือ pm]

-dc energize

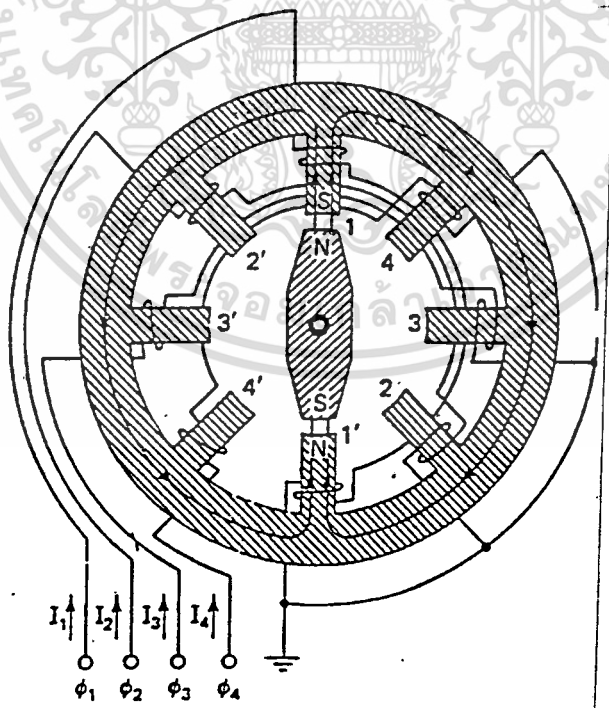
5.5.2. แอคทีฟวารีเอเบิล(reactive variable) หรือ vr

5.5.3. ไฮบริด(hybrid) เป็นแบบรวมทั้ง PM และ VR เข้าด้วยกัน

5.6 โครงสร้างและการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของสเตปเปอร์แบบแม่เหล็กถาวรแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นสเตปเปอร์มอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขั้วลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบสเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' ม้วนหุ้ดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1



รูปที่ 5.6 แสดงโครงสร้างของสเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส

ซึ่งจากรูปแสดงโครงสร้างของสเตปเปอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟส

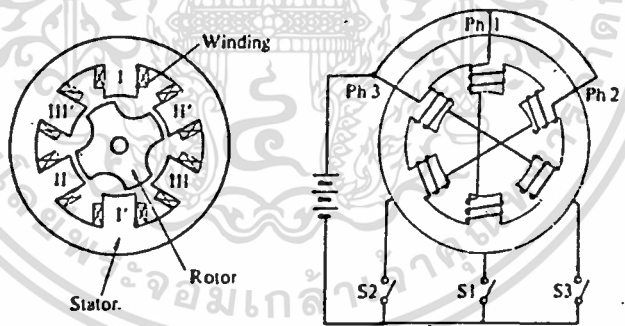
และแต่ละเฟสพันด้วยขลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์หมุนสเตปเท่ากับ 45 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดของเฟส 1, 4, 3 และ 2 [1-4-3-2 ตามลำดับ] จะได้รับพลังงานด้วย กระแสฟลักซ์ที่ล่อคอลลิ่งกันคือ I_1, I_2, I_3, I_4 ซึ่งแต่ละสเตปโรเตอร์ จะหมุนไปตามทิศ ทางตามเข็มนาฬิกา 45 [360/8]

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ [แม่เหล็กถาวร] หมุนไปถึงขั้วสเตเตอร์หมายเลข 2 ตามลำดับ การขยับขดลวดเฟสของสเตปป์มอเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือน เดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180) ยกเว้นหากเราต้องการให้หมุน กลับทิศทาง 180 ก็เปลี่ยนด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทางเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็น ขั้วใต้ที่ขั้วสเตเตอร์ 1, 4, 3, 2 ตามลำดับ (โดยทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 5.6

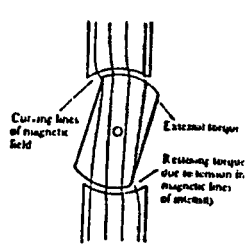
5.7 โครงสร้างและการทำงานของสเตปป์มอเตอร์แบบรีแอกติฟารีเอเบิล

ภายในสเตปป์มอเตอร์แบบนี้ประกอบด้วยสเตเตอร์, ตัวหมุน และวินดิงประกอบ กันดังแสดงในรูปที่ 5.7 (สมมุติเป็นมอเตอร์แบบ 3 เฟส)



รูปที่ 5.7:1 แสดงโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟสและวินดิง

เนื่องจากสเตปป์มอเตอร์แบบ VR นี้ ตัวหมุนเป็นเหล็กอ่อน (soft iron) ซึ่งมีคุณสมบัติคือจะพยายามปรับตัวเองให้อยู่ในแนวที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากที่สุดดังแสดง ในรูปที่ 5.7.2 เมื่อเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์ตัดผ่านตัวหมุนโดยตัวหมุนก็พยายาม ปรับตัวเองให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวหมุนมากที่สุด โดยตัวหมุนจะหมุนตัวเองและทำ ให้เกิดมุมของการหมุนขึ้นทั้งนี้มอเตอร์จะหมุนเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวหมุนมากที่สุด การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 28 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

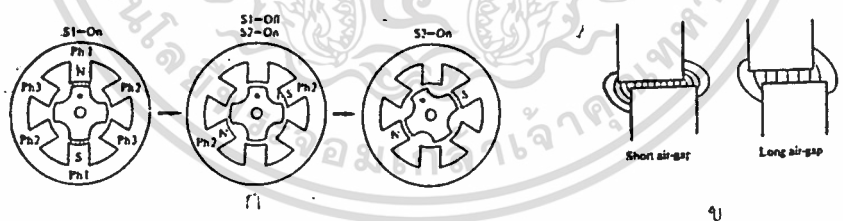


รูปที่ 5.7.2 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด (torque)

การทำให้ลวดเตปิ้งมอเตอร์หมุนได้ โดยอาศัยหลักการนี้แต่ที่ต่างก็ต้องทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นถัดไปเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.7.3ก.

ซึ่งเมื่อดูโครงสร้างพื้นฐานของสเตปเปอร์แบบนี้ จะเห็นว่าช่องอากาศระหว่างขั้วสเตเตอร์จะแปรผกผันกับแรงบิดและความแน่นอนของตำแหน่ง ดังถ้าต้องการให้ลวดเตปิ้งมอเตอร์มีแรงบิดสูงๆ และตำแหน่งแน่นอนก็จะต้องมีช่องอากาศช่องแคบๆ และสามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป} = \text{มุมของสเตป} * \text{จำนวนขั้ว}$$

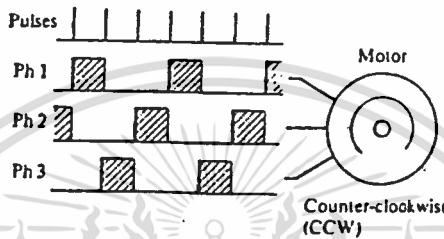
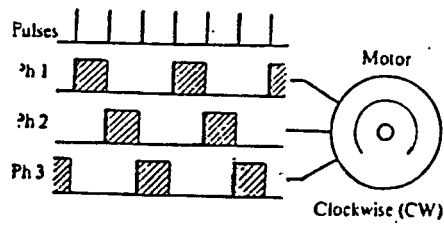


รูปที่ 5.7.3 ก. แสดงการเคลื่อนที่ที่ลวดเตปเมื่อเกิดการกระตุ้นเฟส 1 และ 2

ข. เปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กของช่องอากาศมากกับน้อย

จากรูปที่ 5.7.3ข เป็นการเปรียบเทียบระหว่างลวดเตปิ้งมอเตอร์ที่มีช่องอากาศกว้างกับช่องอากาศแคบ จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ที่มีช่องอากาศแคบจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงกว่า ดังนั้นแรงบิดจึงมากกว่า และความแน่นอนของตำแหน่งจึงสูงกว่ามอเตอร์ที่มีช่องอากาศแคบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



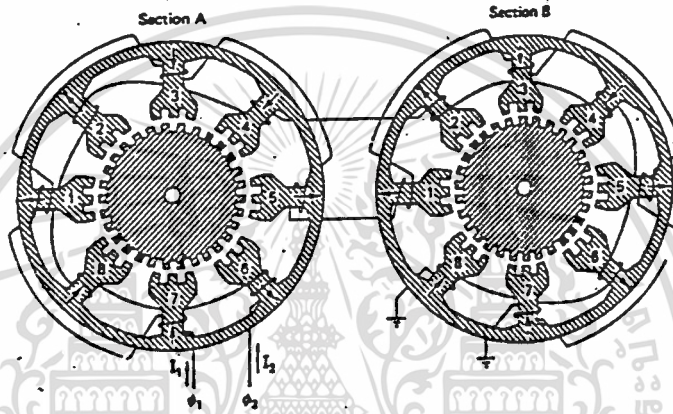
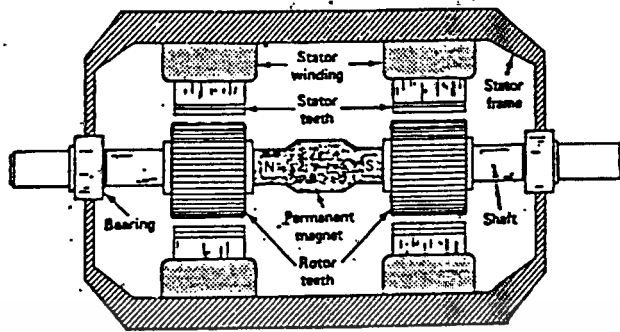
รูปที่ 5.7.4 แสดงการกระตุ้นแบบเดินหน้าและถอยหลัง

จากรูปแสดงถึงการหมุนของมอเตอร์โดยทิศทางขึ้นอยู่กับวงจรนับขดลวดว่าจะให้ไปทางไหน และเมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนก็หยุดการขับตัวหมุนมอเตอร์ก็จะหยุด ณ. ตำแหน่งสุดท้ายที่มีการขับที่สเตเตอร์ ดังนั้นเราจะสามารถรู้ตำแหน่งของมอเตอร์ โดยการนับจำนวนพัลส์ที่ป้อนให้แก่มอเตอร์

5.8 โครงสร้างและการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

ไฮบริดสเตปเปอร์มอเตอร์ (HSM) มีคุณลักษณะผสมกันของ PM และ VR สเตปเปอร์มอเตอร์ในรูปที่ 5.8.1 แสดงถึงโครงสร้างของไฮบริดสเตปเปอร์มอเตอร์ประกอบด้วย 2 ตอน กับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอนแต่ละตอนประกอบด้วยซี่ฟันของโรเตอร์และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟัน เช่นกันและพันด้วยขดลวดรวมและแยก โครงสร้างของสเตเตอร์และโร

เตอร์ของแต่ละตอนแสดงได้ดังรูปที่ 5.8.1



รูปที่ 5.8.1 แสดงโครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์

5.8.1 ลักษณะโครงของไฮบริดสเตปเปอร์มอเตอร์

- จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน
- ตอน A และตอน B มีโครงสร้างที่เหมือนกัน
- ซี่ฟันของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง
- ซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $1/2P_r$ [ในรูปที่ 5.8.1 กำหนดให้ $P_r = 360/30 = 12$ องศา ดังนั้นตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะแตกต่างกัน 6 องศา]
- สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพลแบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์เฟส

-เฟสที่ 1 จะฟันขาคลวคบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 1, 3, 5, 7 ของทั้งในตอน A, B

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 31 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เฟลท์ที่ 2 จะหนีขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 2, 4, 6, 8 ของทั้งในตอม A, B
 แก่นแม่เหล็กถาวรจะเหนี่ยวนำโรเตอร์ ในตอม A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือและ
 โรเตอร์ในตอม B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการแบ่ง
 ส่วนของขดลวดเฟส 2 ตอมทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อนและได้เส้นทางเดินของเส้น-
 แรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลม ทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล
 จะขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสไหลของกระแส

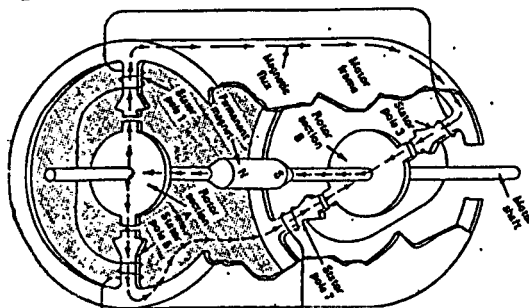
5.8.2 การทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์

ขณะที่เฟลท์ที่ 1 ได้รับพลังงานโดยการป้อนกระแส I_1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศร
 ในรูปที่ 5.8.1 ขั้วบนโรเตอร์ตอม A จะอยู่ในแนวเดียวกับขั้วบนของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และ
 โพลที่ 5 ส่วนตอม B จะในเดียวกับขั้วบนของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 5.8.2

เมื่อให้เวลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส
 แล I_1 และป้อนกระแสให้กับเฟลท์ที่ 2

ในรูปที่ 5.8.2 ขั้วบนมอเตอร์ที่เป็นลิต้าใช้สำหรับอ้างอิงขั้วบนลิต้าจะอยู่ใกล้แนวขั้ว-
 บนของโพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอม A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอม B มากที่สุด
 (ขั้วบน ของโรเตอร์ที่เป็นลิต้า อยู่ห่างจากแนวขั้วบนของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี)

เราจะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8
 ร่วมกับโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจร
 แม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I_2 ในกรณีนี้ I_2 จะต้องเป็นลบ



รูปที่ 5.8.2 แสดงวงจรแม่เหล็กของไฮบริดสเตปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 32 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นรูปวงจรมแม่เหล็กของไฮบริดสเตปมอเตอร์ ซึ่งแสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในตอนที่ A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอนที่ B ผ่านโพลที่ 2 และโพลที่ 7 ไฮบริดสเตปมอเตอร์จะทำงานด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีการไหลสองทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้ เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว (bipolar drive)

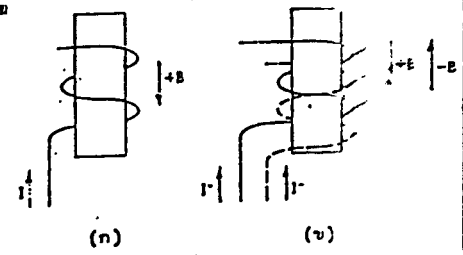
การแก้ปัญหาเพื่อจะขับสเตปมอเตอร์ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียวได้โดยดัดแปลงโครงสร้างการพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์

การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบแวลเดี่ยว (unipolar) จะต้องขับแบบเพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว

การพันขดลวดแบบสองแวลสลับกัน สามารถทำได้ด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียวสำหรับขดลวดแบบแวลเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 5.8.3 เราจะต้องสลับทิศทางของกระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B

ขดลวดแบบสองแวลสลับกันดังแสดงในรูปที่ 5.8.3 ถ้าเราต้องการกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น $-B$ สามารถทำได้โดยเพิ่มกระแสขนาดเดิมจากเพาเวอร์ซัพพลาย ตัวเดิมเข้าที่ขดลวดที่เป็นเส้นประดังแสดงในรูปที่ 5.8.3b ก็จะทำให้ทิศทางการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $-B$ กลับทิศทางได้

ถ้าหากไฮบริดสเตปมอเตอร์ในรูปที่ 5.8.1 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบสองแวลสลับกันขดลวดเฟส 1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส 1^+ และเฟส 1^- ขดลวดเฟส 2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส 2^+ และเฟส 2^-



รูปที่ 5.8.3 แสดงการพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากรูปที่ 5.8.3 ก. จะแสดงแบบแถวเดี่ยว รูปข. แบบสองแถวสลับกันเพราะ ฉะนั้นในตอนนี้จะทำให้เราได้ขลวดเฟสถึง 4 เฟสและแต่ละเฟสสามารถขับได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว ส่วนเครื่องหมาย + และ - ใช้สำหรับแสดงถึงทิศทาง การเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล

5.9 การกระตุ้นเฟสขลวดสเตเตอร์

ดังที่รู้กันแล้วว่าการทำให้สเตปิ้งมอเตอร์หมุนได้นั้นจะต้องทำการกระตุ้นเฟส ของขลวดสเตเตอร์ให้เรียงกันไปเรื่อยๆ ทางใดทางหนึ่งถ้าต้องการให้หมุนกลับก็กระตุ้นเฟสในทิศทางกลับกัน ซึ่งมีการกระตุ้นเฟสอยู่ 3 แบบคือ

- 5.9.1. กระตุ้นเฟสเดี่ยว
- 5.9.2. กระตุ้นสองเฟส
- 5.9.3. กระตุ้นโดยใช้แบบ 1 และแบบ 2 สลับกัน

5.9.1 การกระตุ้นเฟสเดี่ยว เรียกว่าแบบ single phase excitation หรือ one excitation หรือ half drive เป็นการจ่ายกระแสให้กับสเตเตอร์ครึ่งหนึ่ง เฟสหรือเฟส 1. เฟส 2. เฟส 3. เฟส 4 เรียงลำดับหมุนเวียนกันไปแต่แบบนี้แรงบิดจะ น้อย

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									

Pulses



Note: Symbol R indicates 'reset'.

รูปที่ 5.9.1 แสดงการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวเรียงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.2 การกระตุ้นสองเฟส เรียกว่าแบบ two phase excitation หรือ two-excitation หรือ full step เป็นการจ่ายกระแสให้กับสเตเตอร์ครึ่งละ 2 เฟส พร้อมกันได้แก่เฟส 1, เฟส 2, เฟส 3, เฟส 3, เฟส 4, เฟส 4, เฟส 1 หมุนเวียนกันไปแบบนี้ ซึ่งแรงบิดที่ได้จากแบบนี้จะมากกว่าแบบแรก

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

รูปที่ 5.9.2 แสดงการกระตุ้นแบบสองเฟสเรียงตามลำดับ

5.9.3 การกระตุ้นโดยใช้แบบ 1 และ 2 สลับกัน เรียกว่าแบบ one-two phase excitation หรือ half step operation แบบนี้ทำให้จำนวนของสเตปเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของสองแบบแรกแต่แรงบิดจะน้อยกว่าแบบที่สองเล็กน้อย

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

รูปที่ 5.9.3 แสดงการกระตุ้นสองเฟส

จากหลักการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์ จึงจะเห็นข้อได้เปรียบของสเตปปีงมอเตอร์กระแสตรง คือสเตปปีงเราสามารถรู้ตำแหน่งมอเตอร์ได้ตลอดเวลาอย่างแน่นอน แม้แต่ยี่ห้อที่งานที่ต้องการควบคุมตำแหน่งที่แน่นอนจึงใช้สเตปเปอร์มอเตอร์ทำงาน เช่นพวกมอเตอร์ที่ใช้ในปริ้นเตอร์โรบอตในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ทำงานเกี่ยวกับตำแหน่งซึ่งไม่ต้องอาศัยแรงบิดมาก ๆ

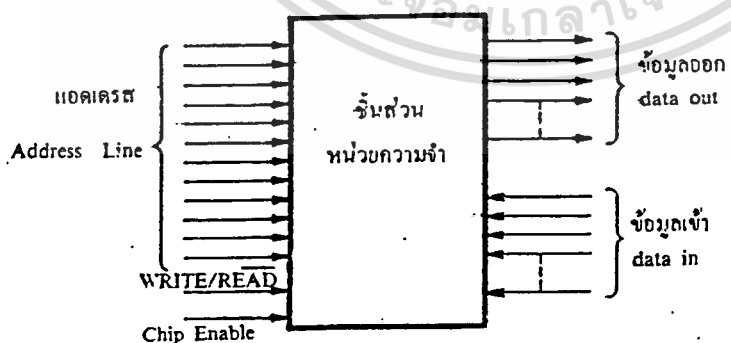
บทที่ 6

หน่วยความจำ (memory)

หน่วยความจำที่ต่อเข้ากับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่สำคัญส่วนหนึ่งคือแรม (RAM) และแรมเป็นเสมือนพื้นที่สำหรับนำข้อมูลที่ต้องการประมวลผลนำมาเก็บไว้ชั่วคราว โดยทั่วไปแรมจึงเป็นระบบที่เก็บข้อมูลและสามารถเขียนข้อมูลใหม่ทับลงไปได้ง่าย แต่ถ้าไฟฟ้าดับข้อมูลก็จะสูญหายไปทันที ในระบบนี้เราใช้แรมเบอร์ 6264 ซึ่งมีขนาดความจุ 8KB*8 สำหรับการเชื่อมโยง Z-80 กับแรม เป็นเรื่องที่ทำได้ง่าย เพราะโครงสร้างของ Z-80 ได้รับการออกแบบให้มีสายสัญญาณและจังหวะการเขียน และการอ่านที่สอดคล้องกับการเชื่อมต่อกับแรมอยู่แล้ว

6.1 โครงสร้างของแรม

โครงสร้างภายในของหน่วยความจำแบบแรมจะประกอบด้วยวงจรหน่วยความจำที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 1 บิต อยู่จำนวนมากโดยเรียงกันภายใน และวงจรเลือกตำแหน่งหรือถอดรหัสตำแหน่งที่ตั้งแสดงในรูป



รูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้างภายในของแรม

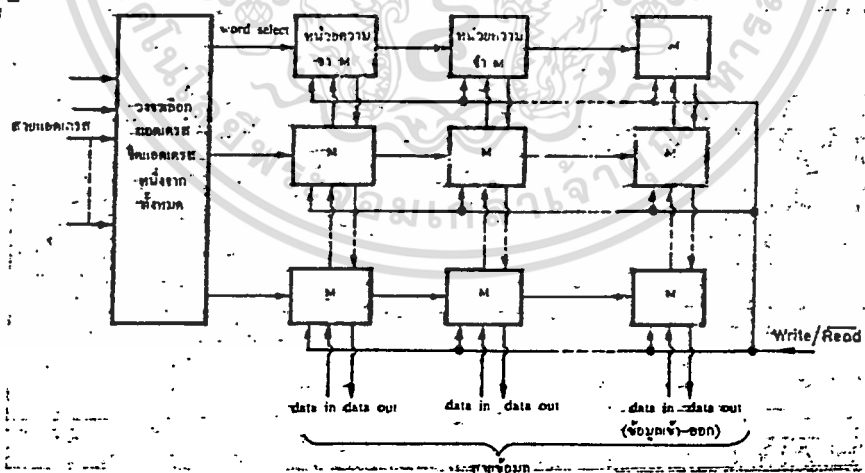
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 36 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของแรม ซึ่งมีส่วนสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหลายเส้น สัญญาณที่สำคัญประกอบด้วย

1. D_{in} เป็นสายสัญญาณที่จะนำข้อมูลเข้าไปเก็บในแรมเมื่อมีการเขียนข้อมูล
2. D_{out} เป็นสายสัญญาณที่จะนำข้อมูลออกจากแรม
3. eddees เป็นสายสัญญาณที่ทำหน้าที่กำหนดแอดเดรสของแรม
4. R/W เป็นสายสัญญาณที่ทำหน้าที่กำหนดการเขียนและการอ่านข้อมูล
5. CE เป็นสายสัญญาณเพื่อเลือกชิปในกรณีต่อหลายๆ ชิป
6. V_{cc}, GND เป็นสายไฟเลี้ยงวงจร

6.2 โครงสร้างภายในของแรม

โครงสร้างภายในของแรมจะประกอบด้วยหน่วยความจำที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 1 บิต อยู่เป็นจำนวนมากโดยเรียงกันอยู่ในแผงวงจร เลือกตำแหน่งหรือถอดรหัสตำแหน่งที่ตั้งรูป

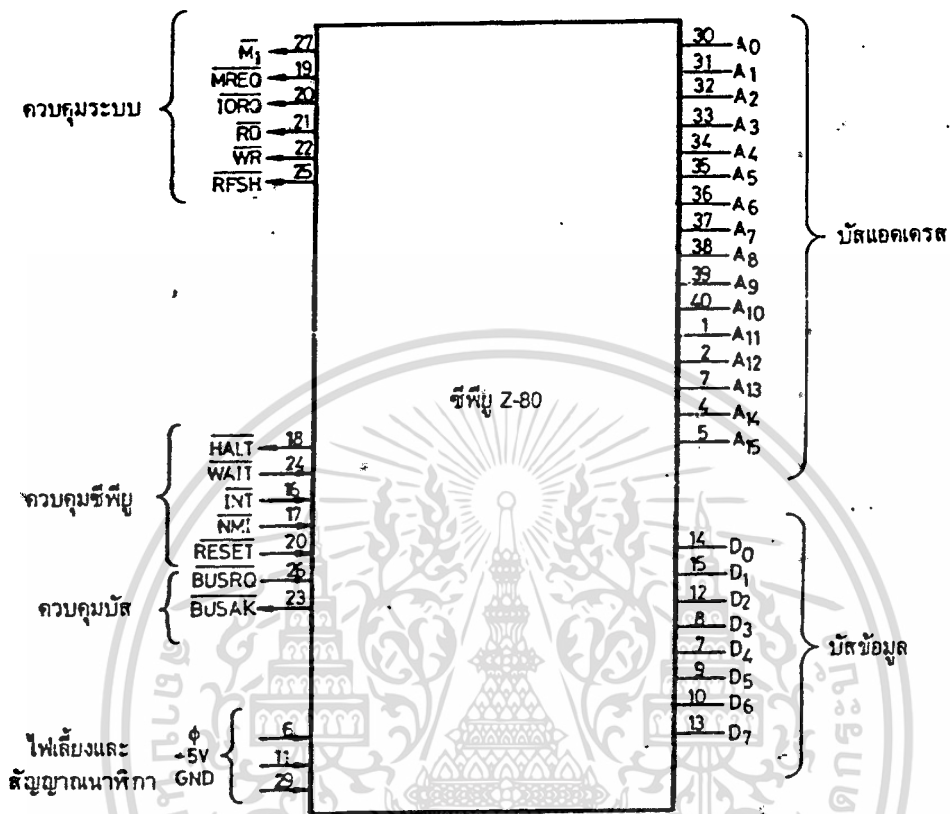


รูปที่ 6.2 แสดงโครงสร้างภายในของแรม

6.3 โครงสร้างทั่วไปของซีพียู

ซีพียูหรือหน่วยประมวลผลกลางที่เราใช้นี้เป็นเบอร์ Z-80 ซึ่งเป็นเบอร์ยอดนิยม

เนื่องมีคนสมบัติแตกต่างกันหลายอย่างเราจะมาดโครงสร้างกันเล็กน้อย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงลักษณะการจักระบบไอซีของ Z-80

6.4 รายละเอียดและหน้าที่ที่สำคัญของสัญญาณต่างๆ มีดังนี้

$A_0 - A_{15}$ เป็นสายของบัสแอดเดรสจำนวน 16 สาย ซึ่งส่วนภายในของเอาต์พุตเป็นลอจิก 3 สถานะ (tristate output) และจะถูกอินาเบิลเร็วกว่าเวลาใดเป็นสัญญาณแอดเดรสของหน่วยความจำ หรือของอุปกรณ์อื่นๆ เอาต์พุตใดก็ตามนี้เพราะสายของบัสแอดเดรสยังทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงแอดเดรสสำหรับอุปกรณ์

อื่นๆ เอาต์พุตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกระทรวงศึกษาธิการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- D₀-D₇ เป็นสายของบัสข้อมูลจำนวน 8 สาย ลักษณะของสายนี้เป็นลอจิก 3 สถานะ สองทิศทาง(tristate input/output) เพื่อเลือกทิศทางการไหลของข้อมูลระหว่างซีพียูกับหน่วยความจำหรืออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต
- M₁ ลักษณะจะเป็นสัญญาณเอาต์พุต โดยส่งสัญญาณออกมาเพื่อจะบอกให้ทราบว่า อยู่ในสถานะเฟตช์(fetch) โดยแอดคิตฟี่ลอจิก"0"
- MREQ เป็นสายสัญญาณเอาต์พุตลอจิก 3 สถานะ ซึ่งจะบอกว่าขณะนี้สัญญาณที่บัสแอดเดรสมีค่าแอดเดรสเพื่อเขียนหรืออ่านในหน่วยความจำ การแอดคิตฟี่จะแอดคิตฟี่ลอจิก"0"
- IORQ เป็นสายสัญญาณเอาต์พุตซึ่งจะบอกว่าขณะนี้สัญญาณในบัสแอดเดรสจาก A₀-A₇ มีค่าของอินพุตเอาต์พุตอยู่ ประโยชน์ของสัญญาณนี้เพื่อดีเทก(detect) รหัสแอดเดรสในการเขียนหรืออ่านจากเฟอเฟอ์รัล
- RD เป็นสายสัญญาณเอาต์พุตที่จะบอกให้ทราบว่า ขณะนี้ซีพียูต้องการจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหรือจากอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต
- WR เป็นสายสัญญาณเอาต์พุต เพื่อจะบอกให้ทราบว่าขณะนี้ซีพียูต้องการจะเขียนข้อมูลในหน่วยความจำหรือในอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต
- RFSH เป็นสายที่ส่งสัญญาณ เพื่อจะบอกว่าขณะนี้สายของแอดเดรสจะบรรจุข้อมูลแอดเดรสสำหรับการรีเฟรชหน่วยความจำชนิดไดนามิก
- HALT เป็นสายสัญญาณที่จะแอดคิตฟี่เพื่อซีพียูกระทำคำสั่ง HALT โดยจะแอดคิตฟี่ให้ลอจิก"0"
- WAIT เป็นสายสัญญาณที่จะบอกให้ทราบว่าขณะนี้หน่วยความจำหรืออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตยังไม่พร้อมที่จะรับหรือส่งผ่านข้อมูล คือเมื่อสัญญาณนี้เข้าไป ซีพียูจะหยุดรอจนกว่าเลิกสัญญาณ WAIT
- INT เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตที่จะอินเตอรัพต์ซีพียู การอินเตอรัพต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จะมีหลายโหมด ซึ่งจะเรียกการอินเทอร์รัพต์แบบนี้ว่ามาสเคเบิลอินเทอร์รัพต์

RFSET เป็นสัญญาณที่ส่งเข้าไปรีเซตซีพียูหรือทำให้โปรแกรมเคาน์เตอร์มีค่าเป็น "0"

NMI เป็นสัญญาณอินเทอร์รัพต์แบบที่เรียกว่า นอนมาสเคเบิลอินเทอร์รัพต์

BUSRQ เป็นการส่งสัญญาณเพื่อบอกซีพียูว่าขณะนี้ต้องการใช้บัส ซึ่งจะทำให้ซีพียูควบคุมบัสโดยใช้หลักการลอคิก 3 สถานะในการทำให้บัสแอดเดรสและบัสข้อมูลแยกออกจากระบบในซีพียู เพื่อให้หน่วยความจำและอุปกรณ์อื่นๆ เอาท์พุทใช้บัสเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างกัน

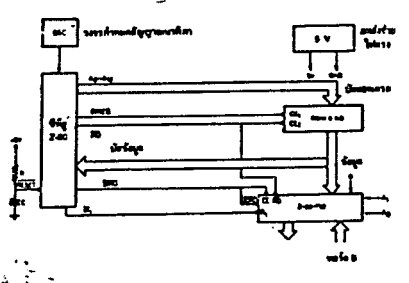
BUSAK เป็นสัญญาณที่ส่งออกไปจากซีพียู เพื่อบอกว่าการที่ซีพียูไม่ได้ใช้บัสแล้ว

6.5 ระบบทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอมพิวเตอร์ Z-80

ระบบฮาร์ดแวร์พื้นฐานของไมโครคอมพิวเตอร์ Z-80 ประกอบด้วย

- 6.5.1. แหล่งจ่ายไฟตรงขนาด 5 โวลต์
- 6.5.2. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- 6.5.3. อุปกรณ์หน่วยความจำแรม (random access memory) หรือรอม (READ ONLY MEMORY)
- 6.5.4. วงจรอินพุทเอาท์พุท
- 6.5.5. ซีพียู Z-80

วงจรที่ประกอบด้วยสิ่งต่างๆเหล่านี้ สามารถเขียนเป็นแผนผังได้ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 6.5 แสดงระบบไมโครคอมพิวเตอร์พื้นฐานของ Z-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การส่งผ่านข้อมูลส่วนมากจะเป็นระหว่างตัวไมโคร-
โปรเซสเซอร์กับหน่วยภายนอกทั้งหมดผ่านบัส ไมโครคอมพิวเตอร์จะมีบัสต่างๆ ดังนี้บัส-
ข้อมูล แอแดปเตอร์บัส บัสควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ จะเป็นตัวควบคุมการส่งข้อมูลจาก
ตัวมันเองไปยังหน่วยภายนอกหรือรับข้อมูลจากหน่วยภายนอกเพื่อเอามาประมวลผลภายใน
ในตัวมันผ่านบัสข้อมูลการเลือกว่าจะส่งหรือรับข้อมูลจากหน่วยไหนไมโครโปรเซสเซอร์
ต้องส่งสัญญาณเลือกออกมาทางแอแดปเตอร์บัส พร้อมทั้งสัญญาณควบคุมทางบัสควบคุม
เพื่อบังคับว่าจะอ่านข้อมูลเข้ามาหรือจะส่งข้อมูลออกไปจากตัวมัน ระบบภายนอกจะตอบ
รับต่อสัญญาณควบคุมนั้น

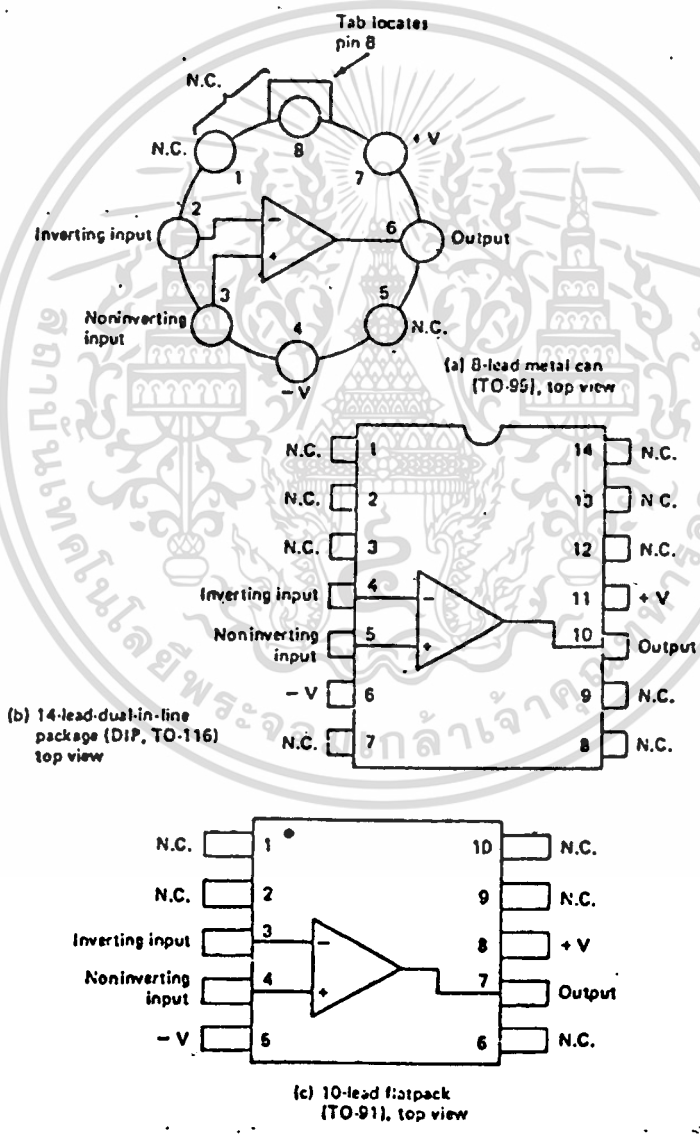


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ออปแอมป์ (OPAMP)

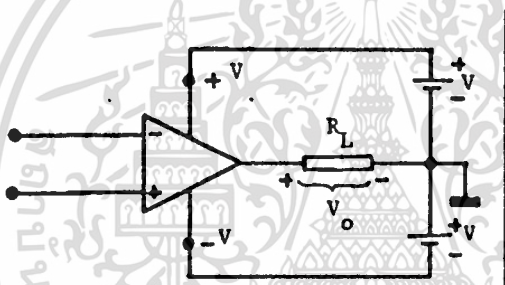
ออปแอมป์ที่เราจะใช้กันอยู่ส่วนใหญ่นี้ปัจจุบันมักจะมีอยู่ในลักษณะวงจรรวมซึ่งภา-
 ษณบรรจวงจรเหล่านี้ ที่นิยมใช้จะมี 2 ประเภท คือภาชนโลหะ และภาชนพลาสติก



รูปที่ 7.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ของภาชนบรรจออปแอมป์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 รายละเอียดเกี่ยวกับขาต่างๆ

7.1.1. ขาไฟของภาชนะบรรจุออปแอมป์ซึ่งเขียนกำกับไว้ด้วยสัญลักษณ์ $+V$ และ $-V$ จะใช้เป็นขาต่อไฟจ่าย นั่นคือขา $+V$ จะใช้สำหรับคัทคาไฟจ่ายบวก ส่วนขา $-V$ จะใช้สำหรับคัทคาไฟจ่ายลบโดยทั่วไปเราจะใช้คัทคาไฟจ่าย -15 โวลต์ 12 โวลต์ เป็นต้น ออปแอมป์โดยทั่วไป จะทนระดับคัทคาไฟจ่ายได้สูงถึง 18 โวลต์ นอกจากนี้เราจะสังเกตเห็นอีกด้วยว่าจุดดินไม่ได้ตั้งอยู่ในวงจรถัดนั้นกระแสไหลกลับคืนดินของออปแอมป์จะต้องไหลผ่านวงจรรายนอก อย่างแสดงในรูป



รูปที่ 7.1.1 แสดงการต่อไฟจ่ายเข้ากับออปแอมป์

ออปแอมป์บางแบบอาจต้องการไฟจ่าย ซึ่งมีระดับไม่เท่ากัน เช่นคัทคาไฟจ่ายบวกต้องการ 12 โวลต์ แต่คัทคาไฟจ่ายลบต้องการ -6 โวลต์ เป็นต้น

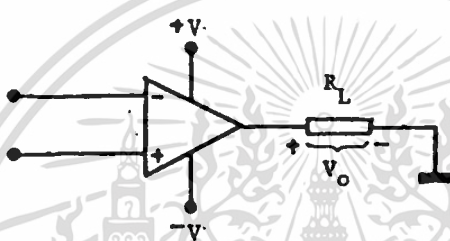
7.1.2. ขาสัญญาณออกรูปที่ 7.1.2 แสดงรูปของออปแอมป์ ซึ่งขาสัญญาณออกต่ออยู่กับความต้านทานโหลด R_L ต่ออยู่กับคัทคาดิน สัญญาณออก V_o จะวัดได้โดยเปรียบเทียบกับคัทคาดิน ออปแอมป์โดยทั่วไปมักจะมีขาสัญญาณออกเพียงหนึ่งขาซึ่งเรามักจะเรียกว่าเป็นแบบ single out put กระแสซึ่งเราจะดึงออกหรือคั้นเข้าสู่ขาสัญญาณออกของออปแอมป์ไม่ควรจะมีค่าสูงกว่า 5 ถึง 10 มิลลิแอมป์และคัทคาสูงสุดและต่ำสุด มักจะมีค่าน้อยกว่าคัทคาไฟจ่ายประมาณ 2 โวลต์ดังนั้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ใช้ศักดาไฟจ่ายเท่ากับ +15 โวลต์ คัดคาอิมตัวสูงสุด(+ V_{SAT}) จะมีค่าประมาณ +13 โวลต์ ส่วนคัตคาอิมตัวต่ำสุดของความต้านทานโหลดของออป-แอมป์ได้ประมาณ 2 กิโลโห์ม

ในทางปฏิบัติเรามักจะเขียนวงจรของรูปที่ 7.1.2.1 ได้ดังแสดงในรูปที่ 7.1.2.23 โดยไม่ต้องแสดงจุดคัตคาอิมของวงจรจ่ายไฟ



รูปที่ 7.1.8 แสดงการต่อไฟจ่ายเข้ากับออปแอมป์โดยไม่ได้แสดงจุดคัตคาอิมของไฟจ่าย

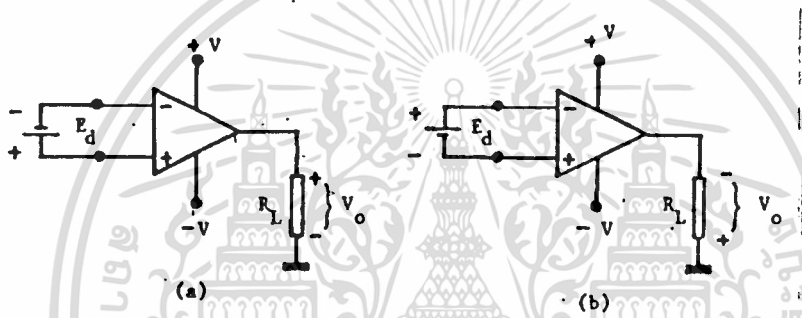
7.1.3 ขาสัญญาณเข้า (ขาสัญญาณเข้าออปแอมป์ จะมีสองขาตั้งแสดงในรูปที่ 7.1.3 โดยมีเครื่องหมาย (+) และ (-) กำกับที่ขาสัญญาณเข้าทั้งสองตามลำดับ ทั้งนี้เพราะภาคสัญญาณเข้าออปแอมป์ มักจะเป็นวงจรขยายผลต่างของคัตคาสัญญาณ (differential amplifier) หรือดิฟแอมป์ (diff amp) เครื่องหมายบวกและลบมีความหมายดังต่อไปนี้ ในกรณีที่ขาเครื่องหมายบวก มีคัตคาสูงกว่าเครื่องขยายลบ สัญญาณออกจะมีคัตคาเป็นบวก นั่นคือสูงกว่าคัตคาอิน ส่วนในกรณีตรงข้ามเมื่อขาเครื่องหมายบวกมีคัตคาต่ำกว่าขาเครื่องหมายลบ สัญญาณออกจะมีคัตคาเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยมี E_u เป็นคัตคาสัญญาณเข้าแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมดหรือ $E_u = \text{คัตคาสัญญาณเข้าที่ขาเครื่องหมาย (+)} - \text{คัตคาสัญญาณเข้า}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้เห็นใบเซอร์นี้ขอสงวนสิทธิ์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เครื่องหมาย(-) ตั้งขาสัญญาณเข้าเครื่องหมาย(+) มักจะเรียกว่าเป็นจุดสัญญาณเข้าแบบ non inverting input ส่วนขาสัญญาณเข้าเครื่องหมาย(-) มักจะเรียกว่าเป็นจุดสัญญาณเข้าแบบ inverting input

คุณสมบัติข้อสำคัญของจุดสัญญาณเข้าทั้งสองคืออิมพีแดนซ์สำหรับสัญญาณเข้า (Z_{in}) ระหว่างขาทั้งสองไม่ว่าจะมีขาใดขาหนึ่งต่ออยู่กับคิกตาดินหรือไม่ก็ตาม จะต้องมียค่าสูง หรืออีกนัยหนึ่งกระแสขาสัญญาณเข้าจะต้องมีค่าต่ำ



รูปที่ 7.1.4 แสดงคุณสมบัติของขาสัญญาณเข้าทั้งสองของออปแอมป์

7.1.4 ค่าขยายสัญญาณแบบลูปเปิด จากรูปที่ 4 ในกรณีที่คิกตาสัญญาณออกยังมีค่าไม่ถึงระดับอิ่มตัวสูงสุดเราจะเขียนระดับสัญญาณออกได้ว่า

$$V_o = E_d * A_{OL}$$

โดยเราจะเรียก A_{OL} ว่าเป็นค่าขยายคิกตาแบบลูปเปิด (open loop voltage gain) นั่นคือเป็นค่าขยายคิกตาของผลต่างของสัญญาณเข้าโดยไม่มีลูปป้อนสัญญาณกลับ จากขาสัญญาณออกมายังขาสัญญาณเข้าค่าของ A_{OL} จะมีค่าสูงมาก 200,000 ถ้ากระแสลสัญญาณออกมีค่าต่ำ ดังนั้นในกรณีที่คิกตาไฟจ่ายมีค่าเป็น 15 โวลต์ค่าคิกตาสัญญาณออกอิ่มตัวจะมีค่าประมาณ 18 โวลต์ ดังนั้นผลต่างของสัญญาณออกสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

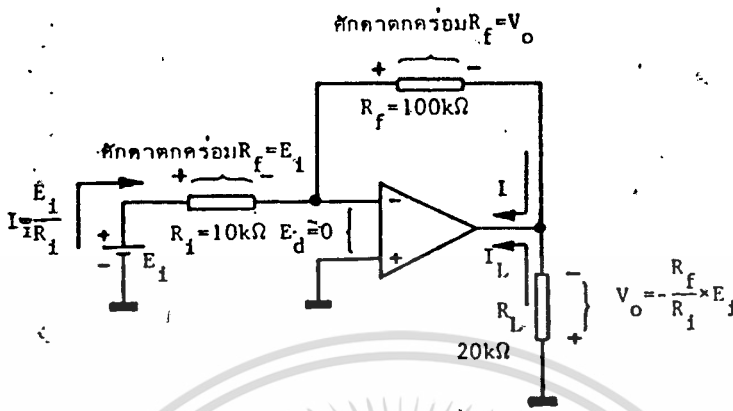
7.2 | การนำไปใช้งาน

คราวนี้เราจะกล่าวถึงประโยชน์ประการสำคัญที่สุดของออปแอมป์ เมื่อเรานำมาใช้เป็นวงจรขยายศักดาสัญญาณ นั่นคือ ศักดาของสัญญาณออกจากวงจรจะมีระดับสูงกว่า ศักดาของสัญญาณเข้าสู่วงจร ในการใช้ออปแอมป์เป็นวงจรขยายศักดาสัญญาณนี้ทั้งวงจรจะมีคุณสมบัติร่วมกัน คือมีวงจรป้อนสัญญาณกลับจากจุดสัญญาณออกมายังจุดสัญญาณเข้า (-) เครื่องหมาย (-) ซึ่งเราจะเรียกลักษณะการป้อนสัญญาณกลับดังกล่าวนี้เป็นการป้อนสัญญาณกลับแบบลครระดับ (negative feedback) จุดประสงค์สำคัญในการใช้การป้อนสัญญาณกลับแบบลครระดับ คือคุณสมบัติของวงจรรวมจะไม่ขึ้นกับค่าขยายสัญญาณแบบลูปเปิด (A_{OL}) ของออปแอมป์ ซึ่งมีราคาสูงมากแต่ค่าขยายศักดาสัญญาณของวงจร จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรป้อนสัญญาณกลับแทน ซึ่งเราจะเรียกค่าขยายศักดาสัญญาณดังกล่าวนี้ว่าเป็นค่าขยายศักดาสัญญาณแบบลูปปิด

7.3 | วงจรขยายแบบกลับศักดาสัญญาณ

รูปที่ 7.5 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ใช้ออปแอมป์แบบแฉ่วหลายมากที่สุด ค่าขยายศักดาสัญญาณของวงจรปิด จะขึ้นอยู่กับความต้านทาน R_f และ R_i และวงจรสามารถจะขยายสัญญาณไฟสลับ (AC) หรือไฟตรง (DC) ก็ได้เพื่อทำความเข้าใจกับลักษณะการปฏิบัติงานของวงจรดังกล่าว เราจะสมมุติว่า

1. ศักดา E_u ระหว่างขาบวกและขาลบของออปแอมป์มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ทั้งนี้เพราะค่าขยายสัญญาณแบบลูปเปิดมีค่าสูงมาก
2. กระแสเข้าหรือออกจากขาบวกและขาลบมีระดับต่ำมากจนถือได้ว่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะว่าอิมพีแดนซ์จุดสัญญาณเข้าทั้งขาบวกและขาลบมีค่าสูงมาก เหตุผลที่เรียกว่าเป็นวงจรขยายแบบกลับศักดาสัญญาณก็เพราะว่า ศักดาสัญญาณออกและเข้าจะมีเครื่องหมายต่างกัน ซึ่งในกรณีสัญญาณไฟสลับ หมายถึงว่าสัญญาณออกและสัญญาณเข้าจะมีเฟสต่างกัน



รูปที่ 7.2 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับคักคาคคคร้อม

7.4 | สัญญาณเข้ามีคักคาคคคร้อมเป็นบวก

รูปที่ 7.5 แสดงกรณีที่สัญญาณเข้ามีคักคาคคคร้อมเป็นบวกจ่ายเข้ากับขาหนึ่งของความต้านทาน R_1 ซึ่งมีอีกขาหนึ่งต่ออยู่กับสัญญาณเข้า (-) ของออปแอมป์สัญญาณป้อนกลับแบบลคคาคคคร้อม ลังจะผ่านความต้านทาน R_f ส่วนขาสัญญาณเข้า (+) ต่ออยู่กับคักคาคคคร้อมดินและเนื่องจากเราถือว่าความแตกต่างของคักคาคคคร้อมระหว่างขาบวกและขาลบเป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะถือได้ว่าคักคาคคคร้อมของขาสัญญาณเข้าลบมีคักคาคคคร้อมดินด้วย ซึ่งเราจะเรียกขาสัญญาณเข้า (-) ว่ามีระดับคักคาคคคร้อมเสมือน (virtual earth) ดังนั้นคักคาคคคร้อมที่คักคาคคคร้อม R_1 จึงเท่ากับ E_1 และจากกฎของโอห์ม เราจะคำนวณหาคกรกระแส I ผ่าน R_1 ได้เป็น

$$I = \frac{E_1}{R_1}$$

ความต้านทาน R_1 ควรจะรวมความต้านทานจุดสัญญาณออกของวงจรจ่ายคักคาคคคร้อมของสัญญาณไว้ด้วย กรกระแส I ทั้งหมดจะไหลผ่าน R_f เนื่องจากว่ากระแสซึ่งถูกดึงเข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 48 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่ขา(-) มีจำนวนน้อยมาก ควรจะสังเกตว่ากระแสผ่าน R_r จะถูกกำหนดโดย R_r และ E_s ไม่ขึ้นกับ R_r, V_o หรือตัวออปแอมป์เอง

คักตาที่ตกคร่อม R_r เท่ากับ

$$V_{R_r} = I_{R_r} = E_s (R_r / R_i)$$

แต่ดังเช่นแสดงในรูปที่ 7.5 ขาด้านหนึ่งของ R_r และ R_L ต่ออยู่เข้าด้วยกันกับขาสัญญาณออกของออปแอมป์ซึ่งมีคักตาต่างจากคักตาดินเท่ากับ V_o และขาอีกด้านหนึ่งของ R_r และ R_L ต่างต่ออยู่กับคักตาดิน ดังนั้นระดับของ V_o จะเท่ากับ V_{R_r} จากรูปที่ 7.5 เราจะเห็นได้อีกว่าทิศทางของกระแส I จะบังคับให้ V_o มีระดับเป็นลบ นั่นคือเมื่อสัญญาณเข้า E_s มีค่าเป็นบวก สัญญาณออก V_o จะมีคักตาลบ ดังนั้นเราจะได้

$$V_o = -R_r / R_i E_s$$

ถ้าเราให้ค่าขยายคักตาสัญญาณแบบลบปิด เป็นอัตราส่วนของคักตาสัญญาณออกต่อคักตาสัญญาณเข้า เราจะเขียน V_o ได้ใหม่เป็น

$$V_{oL} = V_o / E_s = -R_r / R_i$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าคักตาสัญญาณออกได้กลับเครื่องหมายกับคักตาสัญญาณเข้า

7.5 | สัญญาณเข้ามีคักตาเป็นลบ

รูปที่ 7.6 แสดงกรณีที่คักตาสัญญาณเข้า (E_s) ซึ่งจ่ายเข้ากับ R_i ไปสู่ขาสลบมีคักตาเป็นลบ หลักการทั้งหลายซึ่งแสดงไว้ที่ผ่านมายังคงใช้ได้อยู่ ความแตกต่างระหว่างรูปที่ 5 และรูปที่ 7.6 ซึ่งทิศทางของกระแส นั่นคือ เมื่อสัญญาณเข้ากลับคักตาทิศทางของกระแสจะไหลกลับหมด ดังนั้นในกรณีดังกล่าวสัญญาณออกจะมีคักตาวอก ทิศทางของกระแสจะไหลผ่านกลับหมด ดังนั้นในกรณีดังกล่าวสัญญาณอาจจะมีคักตาเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

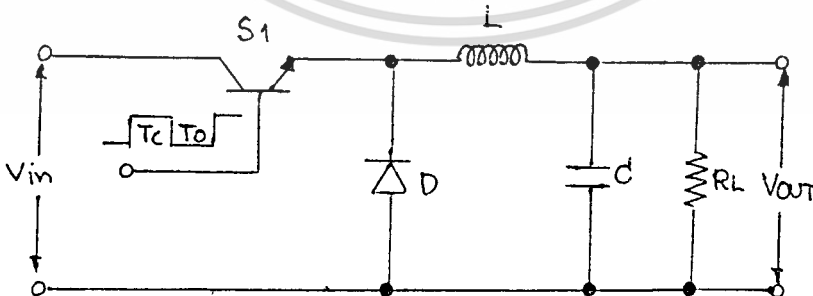
บทที่ 8

วงจรไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง

ในโครงงานนี้วงจรต่าง ๆ จะต้องนำติดขึ้นไปกับขอลลูน ซึ่งจะต้องทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ขึ้นไปกับขอลลูนนั้นต้องการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเราไม่สามารถที่จะส่งไปจากภาคพื้นดินได้โดยตรง เราจึงต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าติดขึ้นไปกับขอลลูนด้วย และเพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้เป็นเวลานาน วงจรแหล่งจ่ายไฟจะต้องมีประสิทธิภาพสูง ฉะนั้นโครงงานนี้จึงเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เพราะมีประสิทธิภาพสูงถึง ๘๐% ขึ้นไป

8.1 ความรู้เบื้องต้น

หลักการการทำงานของวงจรจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งเบื้องต้นนั้น โดยอาศัยการจ่ายแรงดันออกไปทางเอาท์พุทเป็นช่วง ๆ (คลื่นสี่เหลี่ยม) แล้วผ่านทราซีสเตอร์แรงดันไฟตรงที่ได้นั้นเป็นระดับแรงดันเฉลี่ย จากรูปที่ 8.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลา T_c S1 จะ ON ต่อแรงดันทางอินพุทเข้ากับวงจรฟิลเตอร์ และเมื่อเวลา T_c S2 จะ OFF ก็หยุดจ่ายแรงดันทางอินพุท แรงดันที่ได้จะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม



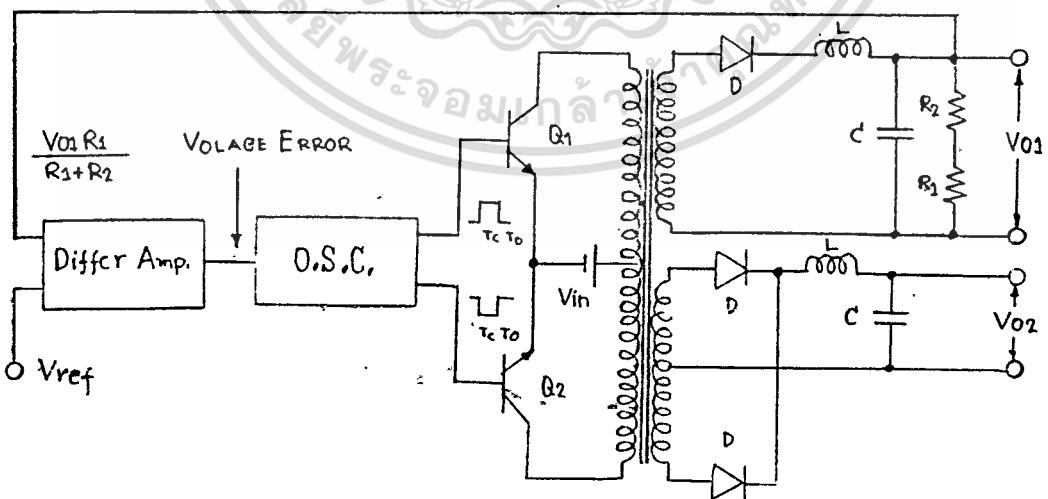
รูปที่ 8.1

แรงดันคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้นี้ผ่านวงจรฟิลเตอร์ซึ่งมี L และ C เป็นอุปกรณ์ฟิลเตอร์ แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเป็นแรงดันโวลติจที่เรียบในช่วงเวลา T_c นั้นไดโอด D จะ OFF เพราะได้รับไบอัสกลับ แต่ในช่วงเวลา T_o ไดโอด D จะ ON เพราะได้รับไบอัสตรง L จะจ่ายกระแสผ่านโหลด R_L และได้ไดโอด D และแรงดันเอาต์พุตจะมีค่า

$$V_o = V_{in} * T_c / (T_c + T_o) \quad (1)$$

เมื่อ $T_c + T_o = T = 1/f$

ในกรณีที่เรต้องการแรงดันเอาต์พุตหลาย ๆ ค่าเราก็สามารถใช้หม้อแปลงแบบที่มีขดลวดทางทุติยภูมิหลายขดช่วยได้ และยังมีข้อดี คือคักคาไฟตรงระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตสามารถแยกออกจากกันได้โดยเด็ดขาด ในรูปที่ 8.2 เป็นวงจรสวิทช์ซึ่งแบบส่งผ่านกำลังด้วยหม้อแปลง เพื่อให้สามารถส่งผ่านกำลังได้มากจึงใช้วงจรแบบพูล



รูปที่ 8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 51 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ Q1 Q2 จะผลัดกันนำกระแสซึ่งขดลวดปฐมภูมิที่ขดบนและขดล่าง จะผลัดกันได้รับแรงดัน Vin ทรานซิสเตอร์ Q1 Q2 จะต้องทนแรงดันได้

$$V_{ce} \geq 2V_{in} \quad (2)$$

แรงดันทางขดลวดปฐมภูมิจะเหนี่ยวนำไปยังขดลวดทุติยภูมิด้วยอัตราส่วนของจำนวนรอบ แรงดันที่ได้จะเป็นไฟ AC รูปคลื่นสี่เหลี่ยม จึงต้องทำการเรกตีไฟส์ด้วยไดโอดแล้วผ่าน วงจรฟิลเตอร์ ค่าของ C และ L หาได้จากสูตร

$$C = I_o * T_{off} / (V_{ripple})$$

$$L = V_o * T_{off} / (0.25 * I_o) \quad (3)$$

ถ้าความถี่การสวิตช์มีค่ามากกว่าของฟิลเตอร์ก็จะมีเล็กลงทางด้านเอาต์พุท จะมี การนำแรงดันจากเอาต์พุทขนาด $V_o * R_1 / (R_1 + R_2)$ พัดแบลคกลับไปเปรียบเทียบกับ V_{ref} ที่อินพุท ได้ Voltage Error ไปควบคุมวงจร OSC ให้ผลิตพัลส์ที่มีความ กว้างเปลี่ยนไปเพื่อให้แรงดันทางเอาต์พุทคงที่ตลอดเวลา

8.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟ้อินพุทและเอาต์พุท

จากรูปที่ ๓ แรงดันเอาต์พุทของวงจรสามารถคำนวณได้ดังนี้ พิจารณาว่า S1 ปิด

เวลา T_c และเปิดเวลา T_o เมื่อ S1 ปิด พัลส์ของหม้อแปลงจะเกิดขึ้น จำนวน

$$\Delta \phi_p = V_{in} * T_c / N_p \quad (4)$$

ทางเอาต์พุทแรงดันที่ตกคร่อม N_s มีค่าเท่ากับ V_o ดังนั้นเมื่อ S1 เปิดจะเกิด

การเหนี่ยวนำแรงดันไปยังขดลวดทุติยภูมิและจะมีจำนวนพัลส์เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ๕2 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

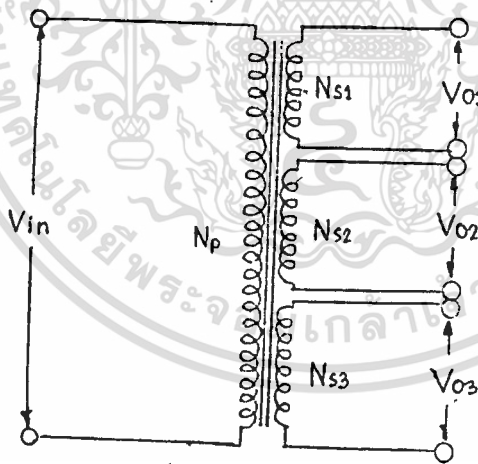
$$\Delta\phi_- = V_o * T_o / N_s \quad (5)$$

ถ้าสัมประสิทธิ์การคัปปลิงมีค่าเท่ากับ 1 (100%) ฉะนั้น

$$\Delta\phi_+ = \Delta\phi_-$$

$$V_{in} * T_o / N_p = V_o * T_o / N_s$$

$$V_o = V_{in} * N_s * T_c / (N_p * T_o) \quad (6)$$



ถ้ามีขดลวดทางทุติยภูมิ ๓ ชุดคือ N_{e1}, N_{e2}, N_{e3} จะหาแรงดันที่ขดต่างๆดังนี้

$$V_{o1} = V_{in} * N_{e1} * T_c / (N_p * T_o)$$

$$V_{o2} = V_{in} * N_{e2} * T_c / (N_p * T_o)$$

$$= N_{e2} * V_{o1} / N_{e1} \quad (7)$$

$$V_{o3} = V_{in} * N_{e3} * T_c / (N_p * T_o)$$

$$= N_{e3} * V_{o1} / N_{e1} \quad (8)$$

8.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้ากล่าวไว้ว่า เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิด จะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกน ถ้ากระแสที่จ่ายให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมา ฟลักซ์จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าเรานำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกนนี้ จะเกิดแรงดัน และกระแสเหนี่ยวนำ เรียกว่าหม้อแปลงซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบทางปฐมภูมิ กับทุติยภูมิ เป็นดังนี้

$$N_p / N_s = V_p / V_s \quad (9)$$

แรงดันเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของฟลักซ์ ถ้าเราให้ B อยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรงเราจะได้

$$B_{max} = V_p * 10^8 / (k * f * N_p * A_e) \quad (10)$$

เมื่อ B_{max} คือความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุดขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ทำแกน

V_p คือแรงดันทางขดลวดปฐมภูมิหน่วยเป็นโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ | 54 | ให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- f คือความถี่หน่วยเป็น เฮิรตซ์
- Np คือจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
- Ae คือพื้นที่หน้าตัดของแกนหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
- k คือค่าคงที่มีค่า 4.44 สำหรับแรงดันรูปไซน์และ 4.0 สำหรับแรงดันรูปสี่เหลี่ยม

ความสามารถในการจ่ายกำลังของแกนเหล็กคำนวณจาก

$$P_{out} = (1.15 * B_{max} * f_d * A_e * A_c) * 10^{-3} \quad (11)$$

- เมื่อ P_{out} คือกำลังที่จ่ายหน่วยเป็นวัตต์
- d คือความหนาแน่นของกระแสในขดลวดตัวนำหน่วยเป็นแอมป์แปร์ต่อตารางเมตร
 - Ae คือพื้นที่หน้าตัดหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร
 - Ac คือพื้นที่สำหรับพันขดลวดบนขีปนบนหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

บางบริษัทพื้นที่ของขีปนบนใช้สัญลักษณ์ W_b หรือหน้าตัดขีปนบนและความหนาแน่นของกระแสในสายใช้หน่วย เซอร์คูลาร์มิลล์ต่อแอมป์ (c.m./A) ใช้สัญลักษณ์ D โดย

$$d = 1.27 * 10^3 / D \quad (12)$$

นำค่า D แทนลงใน 11 จะได้

$$P_{out} = 1.47 * f * B_{max} * A_e * A_c * 10^3 / D \quad (13)$$

ค่า D จะเทียบกับค่า 1,000 เซอร์คูลาร์มิลล์ต่อแอมป์ในทางปฏิบัติจะใช้ค่าเพียง

200 - 400 เพื่อความปลอดภัยของสาย ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 13 นี้ใช้สำหรับคำนวณและเลือกขนาดของแกนที่จะใช้ที่ขนาดลวดวัสดุที่นิยมใช้ทำแกนมากที่สุดคือเฟอร์ไรต์ เพราะความหนาแน่นของฟลักซ์อยู่ในช่วง 3,000 - 4,000 เกาส์ มีการสูญเสียต่ำ ประกอบง่าย มีรูปร่างและขนาดมากมาย เช่น EE, EI, EC

8.4 วงจรจ่ายไฟแบบสวิทชิงที่ใช้ในโครงการนี้

วงจรแหล่งจ่ายไฟในโครงการนี้เราใช้ IC SG3524 ซึ่งเป็นไอซีที่ออกแบบขั้วสำหรับวงจรจ่ายไฟแบบนี้ ภายในประกอบด้วยวงจรภาคต่าง ๆ ดังนี้ VOLTAGE REFERENCE คงที่ 5 V, OSCILLATION ผลิตความถี่ได้สูงถึง 300 KHZ Error Amplifier, Comperator, Current Limiting ถ้าจัดครบแล้วจะทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงดัน ต่อกันที่ขา CL+ กับ CL- เท่ากับ 200 mV ไอซีจะหยุดจ่ายแรงดันทางเอาต์พุต (OUTPUT) ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์สองตัวซึ่งสลับกันทำงาน ทรานซิสเตอร์นี้ทนแรงดันได้ $V_{ce} = 40 \text{ V}$, $V_{ce} (\text{Set}) = 1 \text{ V}$, $I_{Cmax} = 100 \text{ mA}$ รายละเอียดต่าง ๆ แสดงไว้ในคาตาไลต์ของ IC SG3524 ด้านหลังรายงานฉบับนี้

จากวงจรในรูป แสดงวงจร Switching Power Supply ซึ่งทำการสวิทชิง จาก $V_{in} 6\text{v}$ ไปเป็นเอาต์พุต 12v, 9v, -9v, 5v และสามารถจ่ายกระแสได้ 3A ที่ 12V IC SG3524 จะออสซิลเลทที่ความถี่ 100kHz โดยที่ Q1 Q2 ต่อกันเป็นวงจรพุช-พูลสลับกันนำกระแสที่ความถี่ 50kHz ขับหม้อแปลง T2 หนึ่งขั้วไปยังขดลวดทุติยภูมิของ T2 แล้วผ่านวงจรเรกติไฟล์และฟิลเตอร์ได้เอาต์พุต 12v, 9v, -9v, 5v

การออกแบบและการสร้าง

หลักการของระบบเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ต้องนำมายึดถือออกแบบต่างๆ ซึ่งมีหลักการออกแบบอยู่ที่เทคนิคต่างๆ การรู้จักวิธีการประยุกต์หาวิธีการสร้างวงจรที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการออกแบบมาใช้

ก่อนอื่นที่จะกล่าวส่วนต่างๆ ของระบบจะอธิบายการทำงานของแต่ละส่วนของระบบก่อนว่ามีหน้าที่อะไรบ้าง

9.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

จากบล็อกไดอะแกรม จะสังเกตเห็นว่ามีเครื่องกำเนิดสัญญาณอยู่ 3 ชุด โดยแต่ละชุดจะประกอบไปด้วย

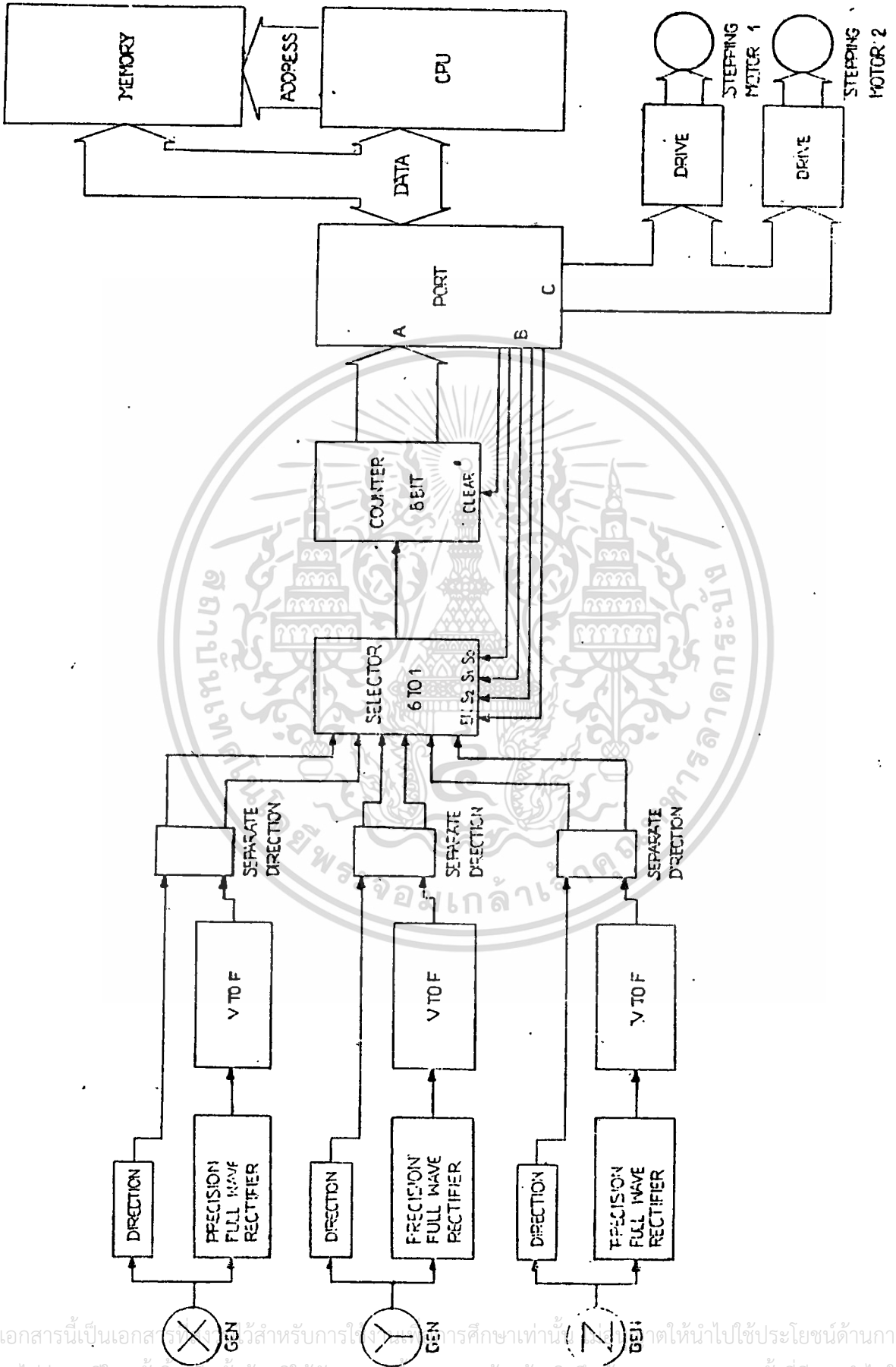
- ส่วนซีคิคทาง
- วงจรกลับสัญญาณ
- วงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่
- วงจรแยกทิศทาง

และจากส่วนชุดกำเนิด 3 ชุด ยังรวมแต่ละชุดไปเข้าวงจรเลือก ซึ่งจะทำหน้าที่เลือก 6 สายออก 1 สาย เพื่อไปเข้ายังวงจรมับ ซึ่งจะใช้เป็นตัวสร้างข้อมูลส่งไปสู่พอร์ต เพื่อเป็นข้อมูลให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำการประมวลผล แล้วทำการส่งข้อมูลออกไปควบคุมสเตปเปอร์มอเตอร์อีกทีหนึ่ง

การทำงานของอุปกรณ์

9.2 ตัวตรวจจับ (sensor)

ในชุดของตัวตรวจจับ จะใช้ดีซีมอเตอร์เป็นตัวกำเนิดโวลต์เตจออกมาโดยมีการสร้างใบพัดเป็นตัวช่วยรับลมในทิศทางที่ต้องการ โดยเราสามารถกำหนดทิศทางที่ต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

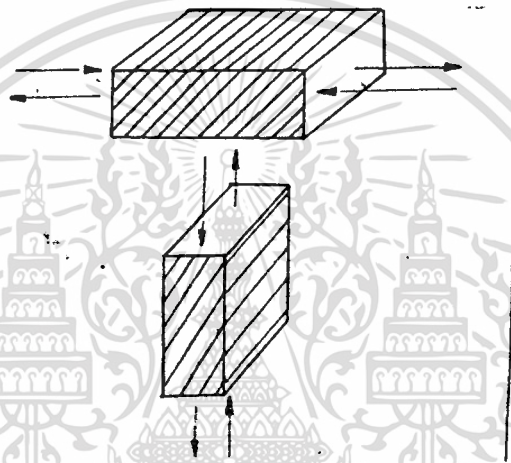


รูปที่ 9.1.1 แสดงบล็อกไดโอดแยกแวงของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

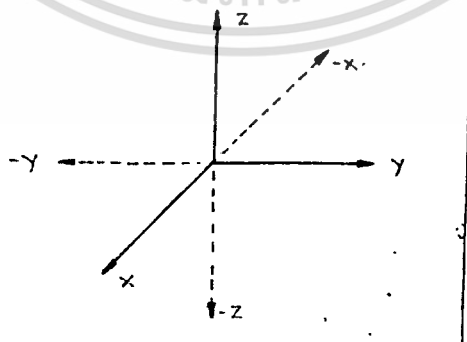
การ โดยเราสามารถกำหนดทิศทางที่ลมเข้ามาได้โดยมีการสร้างกรอบสี่เหลี่ยมมีการ
 เจาะช่องไว้ 2 ช่องต่อ 1 ชุด ดังนั้นเมื่อตีซีมอเตอรืหมุนในทิศทางหนึ่งจะให้โวลต์เตจ
 ออกมาค่าหนึ่ง สมมุติว่ามีค่าเป็นบวก และเมื่อตีซีมอเตอรืหมุนในอีกทิศทางหนึ่งจะได้
 โวลต์เตจออกมาอีกค่าหนึ่งแต่จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเราก็จะรู้ทิศทางของลมในชุดตรวจ
 จับชุดแรกนี้ และทราบขนาดของความแรงของโวลต์เตจอันนี้เช่นเดียวกัน

โดยกล่องตรวจจับแสดงดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 9.2.1 ภาพแสดงกล่องเซ็นเซอร์

ซึ่งจากกล่องตรวจจับนี้จะมีทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งจะใช้ตรวจจับได้ 6 ทิศทางในทิศ
 ทางตรงๆ ซึ่งจะสามารถทำการตรวจจับได้ในหลักความจริงในทุกทิศทางได้ซึ่งแสดงได้
 ด้วยเวกเตอร์ 3 มิติ



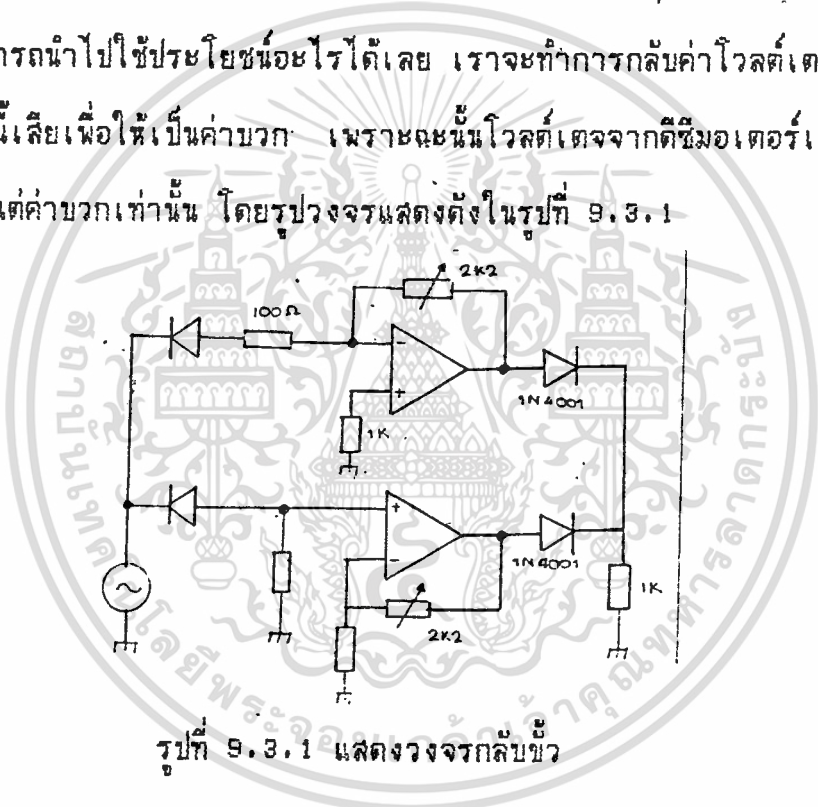
รูปที่ 9.2.2 ภาพแสดงภาพแสดงทิศทางลมในทางเวกเตอร์

จากเวกเตอร์ซึ่งแทนได้เสมือนกล่องตรวจจับ 3 กล่องใน 6 ทิศทาง คือ $x, -x$

$y, -y, z, -z$

9.3 วงจรกลับขั้ว (precision full wave rectifier)

โดยวงจรจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการกลับขั้วโวลต์เตจทางต้านลบที่ได้จากเครื่องกำเนิดโวลต์เตจให้เป็นค่าบวก ก็เนื่องจากว่าในขณะติซิมอเตอร์ ซึ่งถูกใช้เป็นตัวกำเนิดโวลต์เตจซึ่งคอยตรวจจับขนาดและทิศทางลมหมุนในทิศทางหนึ่ง จะได้ค่าบวกแต่ถ้าหากว่าลมเปลี่ยนทิศในทิศทางตรงกันข้ามทิศทางเดิม จะทำให้ค่าโวลต์เตจที่ออกจากติซิมอเตอร์มีค่าเป็นลบ ซึ่งในส่วนที่มีค่าเป็นลบนี้ในวงจรส่วนต่างๆ ไปที่ได้ออกแบบไว้แล้วนั้นไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้เลย เราจะทำการกลับค่าโวลต์เตจส่วนที่เป็นค่าลบส่วนนี้เสียเพื่อให้เป็นค่าบวก เพราะฉะนั้นโวลต์เตจจากติซิมอเตอร์เมื่อผ่านส่วนนี้ไปก็จะมีแต่ค่าบวกเท่านั้น โดยรูปวงจรแสดงดังในรูปที่ 9.3.1



รูปที่ 9.3.1 แสดงวงจรกลับขั้ว

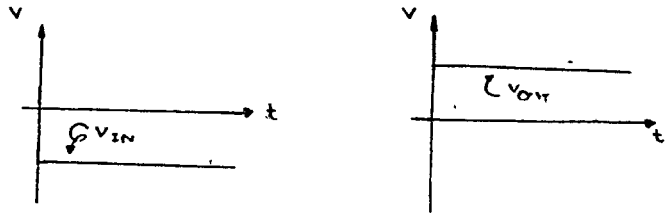
ซึ่งจากรูปก็เป็นเพียงหลักการทำงานของออปแอมป์แบบพื้นฐาน คือในโหมดอินเวอร์ตติ้งและนอนอินเวอร์ตติ้ง ให้มีการทำงานร่วมกัน โดยจะมีไดโอดทางเอาต์พุตอยู่ 2 ตัว จะเป็นตัวคอยกันไม่ให้ไฟลยผ่านไปได้อีกทีหนึ่ง



$$V_{out} = (1 + R_f / R_{in})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = (-R_f/R_{in}) V_{in}$$

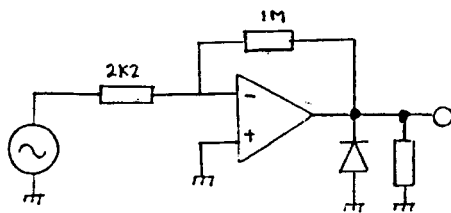


รูปที่ 9.3.3 แสดงศักดาไฟฟ้าทางอินพุตและเอาต์พุต

9.4 ชุดซีคติกทาง

ซึ่งจากการที่ค่าโวลต์เตจจากดีซีมอเตอร์มีการกลับขั้วได้ในทิศทาง 2 ทิศที่ตรงกันข้าม เพราะฉะนั้นต้องมีส่วนของระบบส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงของทิศทางอันนี้ ซึ่งเราจะมาใช้ฮอปแอนม์อีกครั้งแต่จะมีการจัดการขยายแบบกลับขั้วเพื่อใช้เป็นตัวซีคติกทางในทิศทางบวกและลบ โดยในกรณีที่เป็นบวกคือค่าดีซีมอเตอร์หมุนในทิศทางที่ให้โวลต์ด้านบวกออกมา เอาต์พุตของวงจรนี้จะให้ค่าเป็นศูนย์ เพราะว่าค่าเอาต์พุตลบจากฮอปแอนม์จะผ่านจากไดโอดลงกราวด์ไป แต่เมื่อกรณีที่เป็นลบ คือถ้าดีซีมอเตอร์หมุนในทิศทางที่ให้โวลต์ด้านลบออกมา เอาต์พุตของวงจรนี้จะให้ค่าเป็นบวก เพราะว่าค่าเอาต์พุตบวกจากวงจรจะไบอัสกับไดโอด

จากนี้เราก็ได้ทราบทิศทางของมอเตอร์ว่าหมุนไปทางบวก หรือทางลบจากวงจรชุดซีคติกทางนี้



รูปที่ 9.4.1 แสดงวงจรซีคติกทางโดยการใช้ออปแอนม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ให้ประชาชนได้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.4.2 แสดงคิกตาไฟฟ้าทางอินพุทและเอาต์พุท

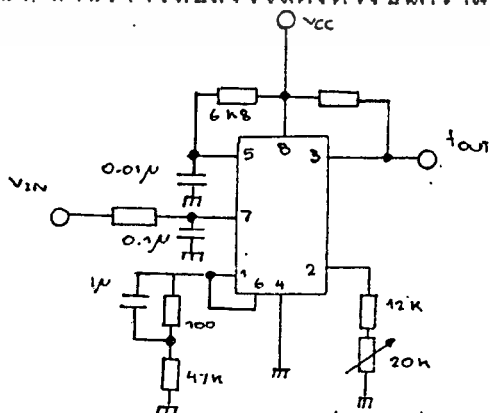


รูปที่ 9.4.3 แสดงคิกตาไฟฟ้าทางอินพุทและเอาต์พุท

ซึ่งค่าเอาต์พุทของวงจรในส่วนนี้จะมีค่าอยู่ 2 ค่าคือ 0 กับ +5 โวลต์

9.5 วงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่

โดยค่าเอาต์พุทของวงจรกลับขั้วที่ออกมาซึ่งขนาดของมันจะขึ้นอยู่กับค่าของความ
แรงลมหลังจากนั้นจะผ่านวงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่ในที่นี้ใช้เบอร์ LM 331N



รูปที่ 9.5.1 แสดงวงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

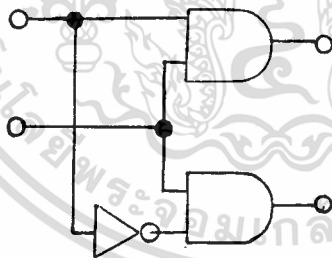
โดยค่าความถี่ที่ออกจากวงจรนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าโวลต์ที่ถูกป้อนเข้าไป โดยมีค่าดังสมการ

$$f_{out} = (V_{in} R_1) / (2.09 R_1 R_2 C_1)$$

ซึ่งลักษณะจำเพาะโดยทั่วๆ ไปของวงจรนี้คือลักษณะคล้ายกับ A-TO-D CONVERSION โดยค่าเอาต์พุตที่ออกจากวงจรนี้ จะเป็นลักษณะพัลส์ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าโวลต์ตรงทางด้านอินพุตที่เข้ามา โดยการตอบสนองของวงจรจะเป็นลักษณะลิเนียร์

9.6. วงจรแยกทิศทาง (seperate direction)

ซึ่งส่วนของวงจรนี้ จะทำหน้าที่ในการแยกทิศทางจากชุดตรวจจับในแต่ละชุดโดยจะนำเอาเอาต์พุตจากวงจรซีทีคทางมาเป็นตัวช่วยซีทีคทาง และจะนำเอาต์พุตจากวงจรแปลงโวลต์เตจเป็นความถี่ผ่านไปยังเอาต์พุตของวงจรแยกทิศทาง



รูปที่ 9.6.1 แสดงวงจรแยกทิศทาง

ซึ่งวงจรจะประกอบด้วยดังรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตจากวงจรนี้จะมีเพียงทางใดทางหนึ่งเท่านั้นที่ให้อาต์พุตเป็นความถี่ออกมา ซึ่งจะเป็นการแยกทิศทาง โดยอิสระต่อกัน

9.7 ส่วนเลือกทิศทาง(selector)

จากวงจรแยกทิศทางนั้นในวงจรชุดตรวจสอบ 1 ชุดจะแยกทิศทางได้ 2 ทิศทาง เพราะฉะนั้นใน 3 ชุดจะมี 6 ทิศทางโดยในส่วนนี้จะต้องนำไปสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งการที่จะให้ไมโครโปรเซสเซอร์รับรู้ที่เดียวยอมเป็นไปได้ เพราะฉะนั้นเราจะใช้การสแกนทีละทิศทางไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำการประมวลผล โดยที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ 74151 ในการทำหน้าที่โดยมีตารางการทำงานดังนี้

C	B	A	Y
0	0	0	D ₀
0	0	1	D ₁
0	1	0	D ₂
0	1	1	D ₃
1	0	0	D ₄
1	0	1	D ₅

จากตารางแสดงให้เห็นการเลือกทิศทางตามสภาวะตัวเลือก ABC โดยที่ส่วนของขา ABC จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นตัวควบคุมในการเลือกทิศทางใดทิศทางหนึ่งออกไปประมวลผล

9.8 ส่วนวงจรนับ (counter)

เมื่อได้ทิศทางที่ต้องการจะมาประมวลผลเสร็จแล้วก่อนที่จะเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์นั้นเพราะว่าเราต้องการที่จะให้ข้อมูลที่ให้นำไปประมวลผลเป็นลักษณะข้อมูลขนาด 8 บิตโดยจากวงจรส่วนเลือกทิศทางจะเลือกทิศทางมาใช้ในการประมวลผลครั้งละ 1 ทิศทางมา ผ่านวงจรนับตัวนี้คือเบอร์ 4040 ซึ่งจะให้เอาท์พุทได้เป็น 8 เส้น โดยค่าเอาท์พุทที่ออกจากวงจรนับจะเปลี่ยนเป็น 8 บิตของข้อมูลแต่ละทิศทางก่อนเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.9 พอร์ต (port)

ในการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว จะเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตเพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณออกไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นและสามารถตรวจจลอบได้ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เอง ซึ่งในระบบนี้เราเลือกใช้พอร์ตเบอร์ 8255 8255 เป็นไอซีที่มีขา 40 ขา ได้รับการออกแบบให้มีสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับ Z-80 ได้โดย 8255 เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ตให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ต โดยการเรียกพอร์ตของ 8255 ว่า พอร์ต A, B, C บนและ C ล่าง

ในระบบนี้เราให้ พอร์ต A เป็น พอร์ตตาต้าอิน เพื่อรับข้อมูลมาประมวลผล พอร์ต B เป็น พอร์ตตาต้าเอาต์ ไว้ในการเลือกซีล็คเตอร์ จากส่วนเลือกทิศทางก่อนเข้าสู่ส่วนเคาน์เตอร์ พอร์ต C บนและพอร์ต C ล่าง เป็นตาต้าเอาต์ไว้ในการขับสเตปเปอร์มอเตอร์ โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุม

9.10 หน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่สำคัญส่วนหนึ่งคือแรมในที่นี้ใช้เบอร์ 6264 เป็นจำนวน 2 ตัว ซึ่งสามารถอ้างแอดเดรสได้ตัวเลข 8K ที่มีความจำเป็นต้องใช้แรมเพราะว่าแรมเป็นเสมือนพื้นที่สำหรับนำข้อมูลที่ต้องการประมวลผลมาเก็บไว้ชั่วคราว

9.11 หน่วยประมวลผลกลาง (cpu)

ซีพียู หรือหน่วยประมวลผลกลาง ที่เราใช้เป็นเบอร์ Z-80 ซึ่งเป็นเบอร์ยอดนิยมน เนื่องจากมีคุณสมบัติดีเด่นหลายอย่างเราจะมาดูโครงสร้างแบบย่อๆ อีกครั้ง

โครงสร้างภายในของซีพียู จะประกอบด้วยบัลข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นบัลชนิดสองทิศทาง ข้อมูลสามารถวิ่งเข้าหรือออกจากซีพียูได้ และบัลแอดเดรสซึ่งเป็นบัลขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 65 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 บิต ที่จะทำให้ขีดความสามารถในการอ้างอิงถึง 2^{16} หรือ 64 กิโลไบต์ นอกจากนี้ สายแอดเดรสยังเป็นสายสำคัญในการอ้างอิงแอดเดรสของหน่วยเฟอเฟอ์วัล ที่เป็น อินพุทหรือเอาต์พุท ด้วยสายบัสควบคุมนี้จะประกอบไปด้วยสายควบคุมต่างๆ ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 13 สาย

9.12 ชุดบัสสเตปเปอร์มอเตอร์

มอเตอร์ที่เราใช้นี้เพื่อสำหรับการขับเคลื่อนกลองวิดีโอให้หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ โดยมอเตอร์ที่เราใช้เป็นมอเตอร์แบบสเตปเปอร์มอเตอร์ซึ่งมีองศาการหมุนที่แม่นยำ ซึ่งมีลักษณะการหมุนของมันจะมีการหมุนเป็นสเตปตามอินพุทที่เข้ามาโดยทั่วไปสามารถแยกได้ 3 แบบ

9.12.1 low power

No	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
1	①	0	0	0
2	0	①	0	0
3	0	0	①	0
4	0	0	0	①

9.12.2 normal power

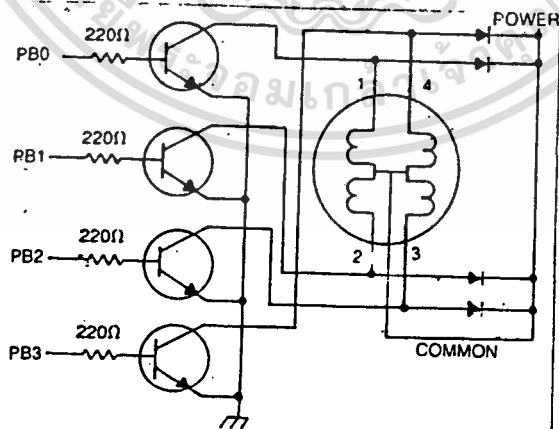
No	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
1	①	①	0	0
2	0	①	①	0
3	0	0	①	①
4	①	0	0	①

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.12.3 half power

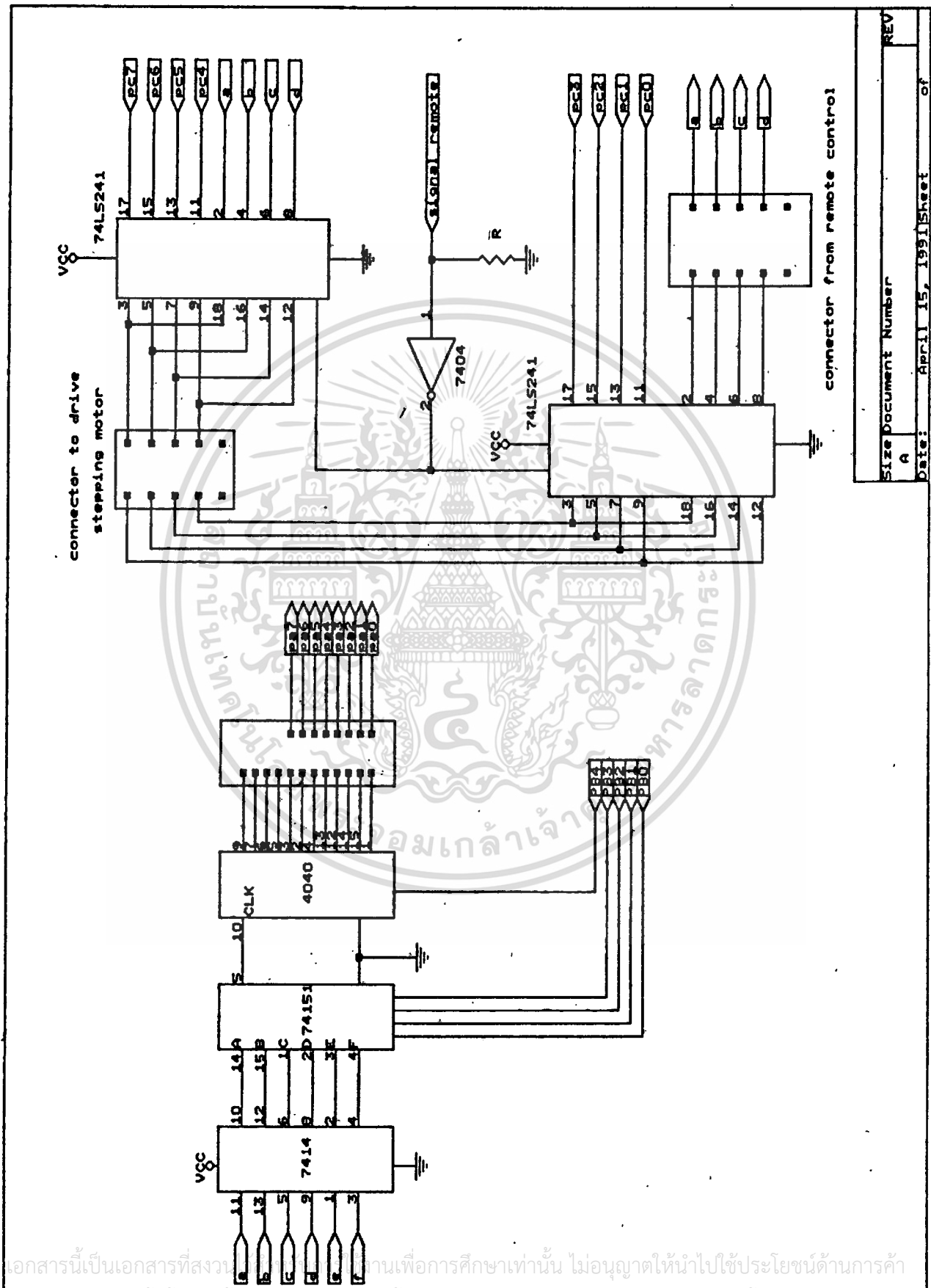
No	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

ซึ่งสำหรับโครงงานนี้ได้ใช้รูปแบบของ low power โดยวงจรขั้วแสดงดังรูป



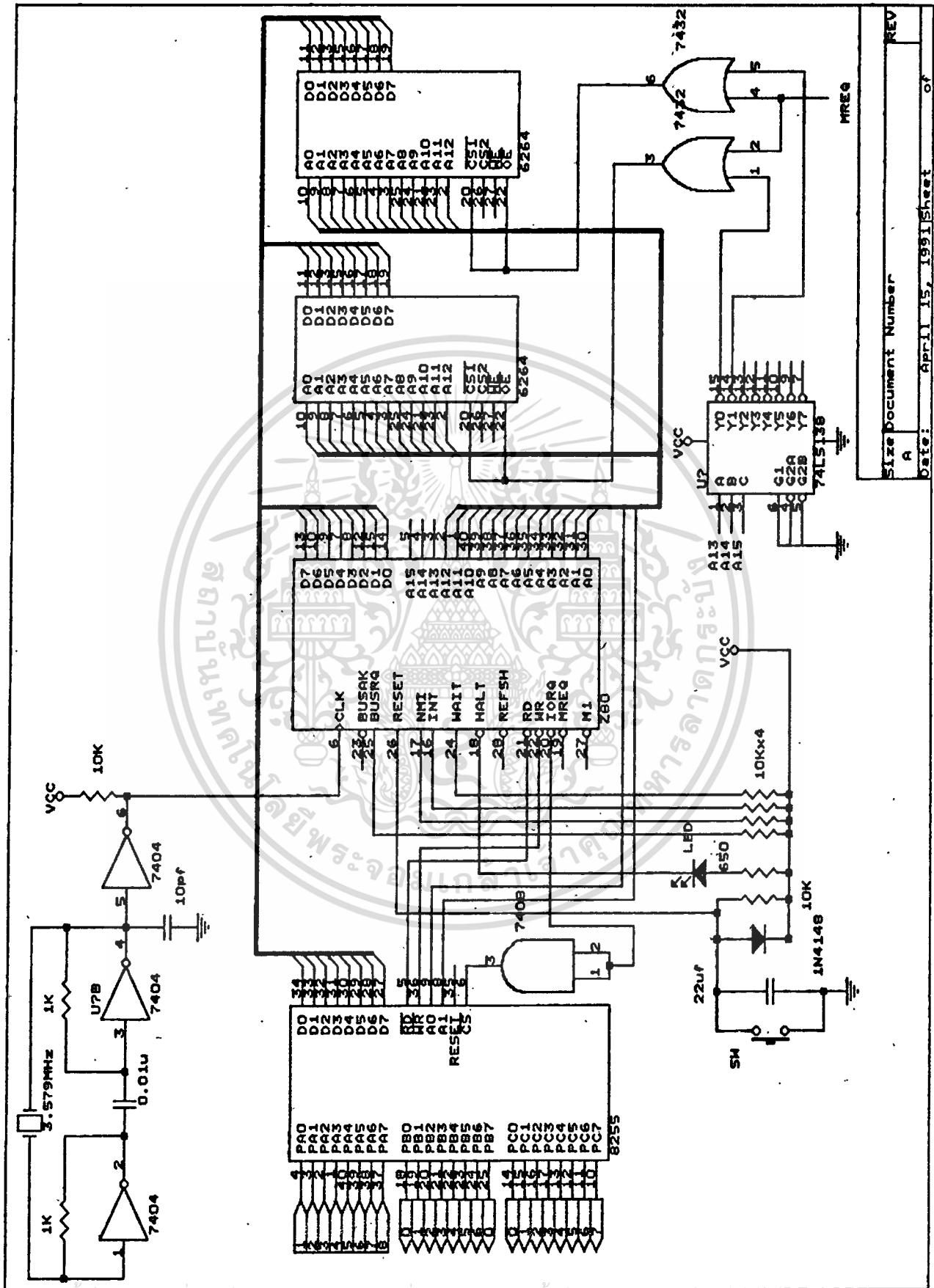
รูปที่ 9.12.4 แสดงวงจรขั้วสเตปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาระบบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Size Document Number
 A
 Date: April 15, 1991 Sheet of
 REV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Size Document Number
A
Date: Apr.15, 1991 Sheet of

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

เนื่องจากว่าโครงการทดลองกึ่งวิจัยนี้ เป็นโครงการที่ทางกลุ่มผู้ทำโครงการนี้ไม่เคยผ่านตัวอย่างมาก่อน เพราะฉะนั้นจึงทำให้การดำเนินงานค่อนข้างจะล้าสนอยู่บ้างเพราะไม่รู้ว่าจะเริ่มต้นเอาอะไรเป็นหลักก่อน จึงทำให้ในช่วงแรกๆ ไม่ค่อยมีการคืบหน้าเท่าที่ควรนัก

จวบจนกระทั่งพิจารณาองค์ประกอบที่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในส่วนที่ต้องการให้เกิดการควบคุมนั้นคือลมซึ่งเราจะมาตรวจสอบทิศทางและขนาดของมัน เพื่อป้อนกลับไปสู่ส่วนที่ต้องการให้เกิดการควบคุมขึ้น

ในขั้นแรกก็มีปัญหาอีกอยู่ว่าจะเอาอะไรเป็นตัวตรวจเช็คลมดีในการที่จะให้สามารถหาขนาดและทิศทางที่ค่อนข้างจะแน่นอนได้ เลยลองพยายามนำดีซีมอเตอร์แบบธรรมดา มาติดใบพัด แล้ววัดระดับโวลต์เตจที่ออกมาซึ่งก็ให้โวลต์เตจ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับการหมุนอย่างพอใช้ได้เพียงแต่มีขนาดเล็กเกินไปก็แก้ปัญหาก็โดยการใส่ฮอปแอมป์มาขยายอีกที ซึ่งจากหลักการนี้ เราก็จะได้ขนาดของแรงลมที่ถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าในอัตราส่วนที่พอเหมาะ จากนั้นก็เกิดปัญหาอีกว่าเราจะตรวจสอบทิศทางได้อย่างไรกันซึ่งในเมื่อในช่วงนี้เรารู้แต่ขนาดของลม ซึ่งในการหาทิศทางนี้เราได้สร้างกล่องลักษณะสี่เหลี่ยมโดยนำมอเตอร์ที่ติดใบพัดไว้ภายในกล่อง โดยกล่องสี่เหลี่ยมนี้และเจาะช่องไว้สองช่องซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบทิศทางลมในลักษณะต่างๆได้สองทิศทาง แต่ทว่าก็ยังไม่พอเพียงสำหรับพื้นฐานของการตรวจสอบทิศทาง เราจึงสร้างกล่องเพิ่มขึ้นอีกสองชุดเป็นสามชุดเพราะฉะนั้นจะตรวจสอบได้อย่างน้อย 6 ทิศทาง ซึ่งมีลักษณะเป็นสามมิติซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบได้ทุกทิศทางเมื่อคิดในทางเวกเตอร์

เมื่อเราได้ทั้งขนาดและทิศทางแล้ว ต่อไปเราจะใช้ระบบการควบคุมเพื่อสั่งการสำหรับเป็นเอาต์พุตเพื่อควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ คราวนี้เราจะมาใช้ระบบการเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการประชาสัมพันธ์ เมื่อผู้ดูแลเห็นใบใช้ประโยชน์ท่านการคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บบควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งในระบบที่ทำงานนี้ประกอบไปด้วยพอร์ต หน่วยความจำ หน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งนำมาประกอบรวมกันในการทำการควบคุม โดยจากวงจรตรวจสอบซึ่งมีทั้งหมด 6 ทิศทาง ซึ่งเอาท์พุทที่ออกจากวงจรตรวจสอบนี้เป็นอนาล็อกซึ่งแปรผันตามการหมุนซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงของลม เราจะมาแปลงอนาล็อกตัวนี้ให้เป็นสัญญาณทางดิจิตอลเสียก่อน โดยใช้ V TO F โดยมีผลผลิตค่าความถี่ออกมาโดยขึ้นอยู่กับค่าของโวลต์ทางอินพุท เมื่อเราทำการแปลงโวลต์เป็นความถี่ในทุกทิศทางแล้วคราวนี้ระบบควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการสแกนในแต่ละทิศทางจนพบว่าในทิศทางใดมีความถี่ออกมาแสดงว่าในทิศทางนั้นสามารถตรวจสอบลมได้ ตัวไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการสั่งการให้สเตปเปอร์มอเตอร์ที่เราจะใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนไปในทิศทางที่ต้องการให้เกิดการควบคุมได้ ซึ่งสเตปเปอร์ในระบบนี้มีสองชุด โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งการในส่วนหนึ่งของสเตปเปอร์ในตัวและทิศทางในการหมุนเท่านั้น ส่วนในตัวและทิศทางที่ไม่ต้องการให้หมุนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อสเตปเปอร์ตัวที่ต้องการให้หมุนได้หมุนในทิศทางที่ต้องการให้หมุนเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการสแกนหาทิศทางจากตัวตรวจจับในทิศทางอื่นต่อไปจนพบแล้วก็จะสั่งการให้สเตปเปอร์มอเตอร์ในตัวที่ต้องการหมุนได้หมุนในทิศทางที่จะหมุนและการทำงานของระบบนี้ก็จะเป็นอย่างนี้เรื่อยไป จนกระทั่งมีการปิดเครื่อง และเราสามารถที่จะควบคุมทิศทางของกล้องจากทางพื้นดินก็ได้ ซึ่งจะมีส่วนที่ทำหน้าที่เลือกที่จะให้ควบคุมด้วยตัวเองหรือควบคุมจากภาคพื้นดิน ซึ่งจะส่งสัญญาณที่จะใช้ควบคุมได้โดยใช้รีโมทเป็นตัวเลือก ซึ่งในส่วนรีโมทนี้เป็นงานที่รับผิดชอบโดยนักศึกษาลำดับโทรมานาคม

สรุปแล้ว การทำงานในระบบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังไม่มีความสำเร็จอย่างแท้จริงทั้งในด้านความเร็วการประมวลผล ความนิ่มนวลในระบบขับเคลื่อน ซึ่งยังต้องการพัฒนาอีกมากเพียงแต่ในรูปแบบที่ได้นำเสนอให้เห็นนี้เป็นเพียงหลักการในหนทางอันหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ในอนาคตถ้าหากได้มีการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 72 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOFTWARE PROGRAM

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0000			
0001	AF		XOR A
0002	3D	*1	DEC A
0003	00		NOP
0004	20 FC		JR NZ,*
0006	C3 10 00		TEST 1
0010	31 00 3F	TEST 11	LD SP,3F00
0013	3E 90		LD A,90
0015	D3 03		OUT (03),A
0017	0E 20		LD C,20
0019	1E 04	A1	LD E,04
001B	3E 88		LD A,88
001D	E6 0F	B1	AND 0F
001F	0D		DEC 6
0020	CA 30 00		JP Z,TEST 2
0023	D3 02		OUT (02),A
0025	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0028	1D		DEC E
0029	CA 19 00		JP Z,A
002C	0F		RRCA

ADDRESS	OBJ, CODE	LABEL	MNE. CODE
002D	C3 1D 00		JP B
0030	3E 00	TEST 2:	LD A,00
0032	D3 02		OUT (02),A
0034	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0037	0E 10		LD C,20
0039	1E 04	C1	LD E,04
003B	3E 11		LD A,11
003D	E6 0F	D1	AND OF
003F	0D		DEC C
0040	CA 50 00		JP Z,TEST 3
0043	D3 02		OUT (02),A
0045	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0048	1D		DEC E
0049	CA 39 00		JP Z,C
004C	07		RLCA
004D	C3 3D 00		JP D
0060	3E 00	TEST 3:	LD A,00
0062	D3 02		OUT (02),A
0064	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0067	0E 30		LD C,30
0069	1E 04	E1	LD E,04
006B	3E 88		LD A,88

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
006D	E6 FO	F:	AND FO
006F	OD		DEC C
0070	CA 90 00		JP Z,TEST 4
0073	D3 02		OUT (02),A
0075	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0078	1D		DEC E
0079	CA 69 00		JP Z,E
007C	OF		RRCA
007D	C3 6D 00		JP Z,F
0090	3E 00	TEST 4:	LD A,00
0092	D3 02		OUT (02),A
0094	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0097	0E 20		LD C,20
0099	1E 04	G:	LD E,04
009B	3E 11		LD A,11
009D	E6 FO	H:	AND FO
009F	OD		DEC C
00A0	CA C0 00		JP Z,TEST 5
00A3	D3 02		OUT (02),A
00A5	CD 00 0C		CALL DELAY 3
00A8	1D		DEC E
00A9	CA 99 00		JP Z,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 76 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
00AC	07		RLCA
00AD	C3 9D 00		JP H
00C0	3E 00	TEST 5:	LD A,00
00C2	D3 02		OUT (02),A
00C4	CD 00 0D		CALL DELAY 4
00C7	0E 20		LD C,20
00C9	1E 04	I1	LD E,04
00CB	3E 88		LD A,88
00CD	E6 F0	J1	AND F0
00CF	0D		DEC C
00D0	CA F0 00		JP Z,TEST 6
00D3	D3 02		OUT (02),A
00D5	CD 00 0C		CALL DELAY 3
00D8	1D		DEC E
00D9	CA C9 00		JP Z,1
00DC	0F		RRCA
00DD	C3 CD 00		JP J
00F0	3E 00	TEST 6:	LD A,00
00F2	D3 02		OUT (02),A
00F4	CD 00 0D		CALL DELAY 4
00F7	0E 20		LD C,20
00F9	1E 04	K1	LD E,0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แะ 77 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
00FB	3E 88		LD A,88
00FD	E6 0F	L1	AND 0F
00FF	0D		DEC C
0100	CA 20 01		JP Z,TEST 7
0103	D3 02		OUT (02),A
0105	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0108	1D		DEC E
0109	CA F9 00		JP Z,K
010C	0F		RRCA
010D	C8 FD 00		JP L
0120	3E 00	TEST 7:	LD A,00
0122	D3 02		OUT (02),A
0124	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0127	0E 30		LD C,30
0129	1E 04	M1	LD E,04
012B	3E 11		LD A,11
012D	E6 F0	N1	AND F0
012F	0D		DEC C
0130	CA 50 01		JP Z,TEST 8
0133	D3 02		OUT (02),A
0135	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0138	1D		DEC E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 78 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ.CODE	LABEL	MNE.CODE
0139	CA 29 01		JP Z,M
013C	07		RLCA
013D	C3 2D 01		JP N
0150	3E 00	TEST 8:	LD A,00
0152	D3 02		OUT (02),A
0154	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0157	0E 10		LD C,10
0159	1E 04	01	LD E,04
015B	3E 88		LD A,88
015D	E6 F0	P1	AND F0
015F	0D		DEC C
0160	CA 80 01		JP Z,TEST 9
0163	D3 02		OUT (02),A
0165	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0168	1D		DEC E
0169	CA 59 01		JP Z,0
016C	0F		RRCA
016D	C3 5D 01		JP P
0180	3E 00	TEST 9:	LD A,00
0182	D3 02		OUT (02),A
0184	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0187	0E 20		LD C,20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0189	1E 04	Q:	LD E,04
018B	3E 11		LD A,11
018D	E6 FF	R:	AND FF
018F	0D		DEC C
0190	CA B0 01		JP Z,TEST 10
0193	D3 02		OUT (02),A
0195	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0198	1D		DEC E
0199	CA 89 01		JP Z,Q
019C	07		RLCA
019D	C3 8D 01		JP R
01B0	3E 00	TEST 10:	LD A,00
01B2	D3 02		OUT (02),A
01B4	CD 05 0D		CALL DELAY 4
01B7	0E 20		LD C,20
01B9	1E 04	S:	LD E,04
01BB	3E 88		LD A,88
01BD	E6 FF	T:	AND FF
01BF	0D		DEC C
01C0	CA E0 01		JP Z,TEST 11
01C3	D3 02		OUT (02),A
01C5	CD 00 0C		CALL DELAY 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 80 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
01C8	1D		DEC E
01C9	CA B9 01		JP Z,S
01CC	OF		RRCA
01CD	C3 BD 01		JP T
01E0	3E 00	TEST 11:	LD A,00
01E2	D3 02		OUT (02),A
01E4	CD 00 0D		CALL DELAY 4
01E7	0E 20		LD C,20
01E9	1E 04	U1	LD E,04
01EB	3E 88		LD A,88
01ED	E6 F0	V1	AND FO
01EF	0D		DEC C
01F0	CA 10 02		JP Z,TEST 12
01F3	D3 02		OUT (02),A
01F5	CD 00 0C		CALL DELAY 3
01FB	1D		DEC E
01F9	CA E9 00		JP Z,U
01FC	OF		RRCA
01FD	C3 ED 00		JP V
0210	3E 00	TEST 12:	LD A,00
0212	D3 02		OUT (02),A
0214	CD 00 0D		CALL DELAY 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 81 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0217	0E 20		LD C,20
0219	1E 04	W:	LD E,04
021B	3E 11		LD A,11
021D	E6 F0	X:	AND F0
021F	0D		DEC C
0220	CA 00 08		JP Z,SELECT 1
0223	D3 02		OUT (02),A
0225	CD 00 0C		CALL DELAY 3
0228	1D		DEC E
0229	CA 19 02		JP Z,W
022C	07		RLCA
022D	C3 1D 02		JP Z,X

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0300	3E 00	SELECT 1:	LD A,00
0302	D3 02		OUT (02),A
0304	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0307	16 FF		LD D,FF
0309	3E 10		LD A,10
030B	D3 01		OUT (01),A
030D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0310	3E 00		LD A,00
0312	D3 01		OUT (01),A
0314	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0317	DB 00		IN A,(00)
0319	92		SUB D
031A	4F		LD C,A
031B	1E 04	AA1	LD E,04
031D	3E 88		LD A,88
031F	E6 0F	BB1	AND 0F
0321	0D		DEC C
0322	CA 00 04		JP Z,SELECT 2
0325	D3 02		OUT (02),A
0327	CD 00 0C		CALL DELAY 3
032A	1D		DEC E
032B	CA 1B 03		JP Z,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
032E	0F		RRCA
032F	C3 1F 03		JP BB
0400	3E 00	SELECT 2:	LD A,00
0402	D3 02		OUT (02),A
0404	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0407	16 FF		LD D,FF
0409	3E 10		LD A,10
040B	D3 01		OUT (01),A
040D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0410	3E 01		LD A,01
0412	D3 01		OUT (01),A
0414	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0417	DB 00		IN A,(00)
0419	92		SUB D
041A	4F		LD C,A
041B	1E 04	CC:	LD E,04
041D	3E 11		LD A,11
041F	E6 0F	DD:	AND 0F
0421	0D		DEC C
0422	CA 00 05		JP Z,SELECT 3
0425	D3 02		OUT (02),A
0427	CD 00 0C		CALL DELAY 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
042A	1D		DEC E
042B	CA 1B 04		JP Z,CC
042E	07		RLGA
042F	C3 1F 04		JP DD
0500	3E 00	SELECT 3:	LD A,00
0502	D3 02		OUT (02),A
0504	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0507	16 FF		LD D,FF
0509	3E 10		LD A,10
050B	D3 01		OUT (01),A
050D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0510	3E 02		LD A,02
0512	D3 01		OUT (01),A
0514	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0517	DB 00		IN A,(00)
0519	92		SUB D
051A	4F		LD C,A
051B	1E 04	EE:	LD E,04
051D	3E 88		LD A,88
051F	E6 F0	FF:	AND F0
0521	0D		DEC C
0522	CA 00 06		JP Z,SELECT 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0525	D3 02		OUT (02),A
0527	CD 00 0C		CALL DELAY 3
052A	1D		DEC E
052B	CA 1B 05		JP Z,EE
052E	0F		RRCA
052F	C3 1F 05		JP FF
0600	3E 00	SELECT 4:	LD A,00
0602	D3 02		OUT (02),A
0604	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0607	15 FF		LD D,FF
0609	3E 10		LD A,10
060B	D3 01		OUT (01),A
060D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0610	3E 03		LD A,03
0612	D3 01		OUT (01),A
0614	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0617	DB 00		IN A,(00)
0619	92		SUB D
061A	4F		LD C,A
061B	1E 04	GG:	LD E,04
061D	3E 11		LD A,11
061F	E6 F0	HH:	AND F0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 86 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0621	0D		DEC C
0622	CA 00 04		JP Z,SELECT 5
0625	D3 02		OUT (02),A
0627	CD 00 0C		CALL DELAY 3
062A	1D		DEC E
062B	CA 1B 06		JP Z,GG
062E	07		RLCA
062F	C3 1F 06		JP HH
0700	3E 00	SELECT 5:	LD A,00
0702	D3 02		OUT (02),A
0704	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0707	16 FF		LD D,FF
0709	3E 10		LD A,10
070B	D3 01		OUT (01),A
070D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0710	3E 04		LD A,04
0712	D3 01		OUT (01),A
0714	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0717	DB 00		IN A,(00)
0719	92		SUB D
071A	4F		LD C,A
071B	1E 04		LD E,04

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
071D	3E 88		LD A,88
071F	E6 OF	JJ1	AND OF
0721	0D		DEC C
0722	CA 00 05		JP Z,SELECT 5
0725	D3 02		OUT (02),A
0727	CD 00 0C		CALL DELAY 3
072A	1D		DEC E
072B	CA 1B 07		JP Z,11
072E	OF		RRCA
072F	C3 1F 07		JP JJ
0800	3E 00	SELECT 5;	LD A,00
0802	D3 02		OUT (02),A
0804	CD 00 0D		CALL DELAY 4
0807	16 FF		LD D,FF
0808	3E 10		LD A,10
080B	D3 01		OUT (01),A
080D	CD 00 0A		CALL DELAY 1
0810	3E 05		LD A,05
0812	D3 01		OUT (01),A
0814	CD 00 0B		CALL DELAY 2
0817	DB 00		IN A,00
0819	92		SUB D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ๘๘ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

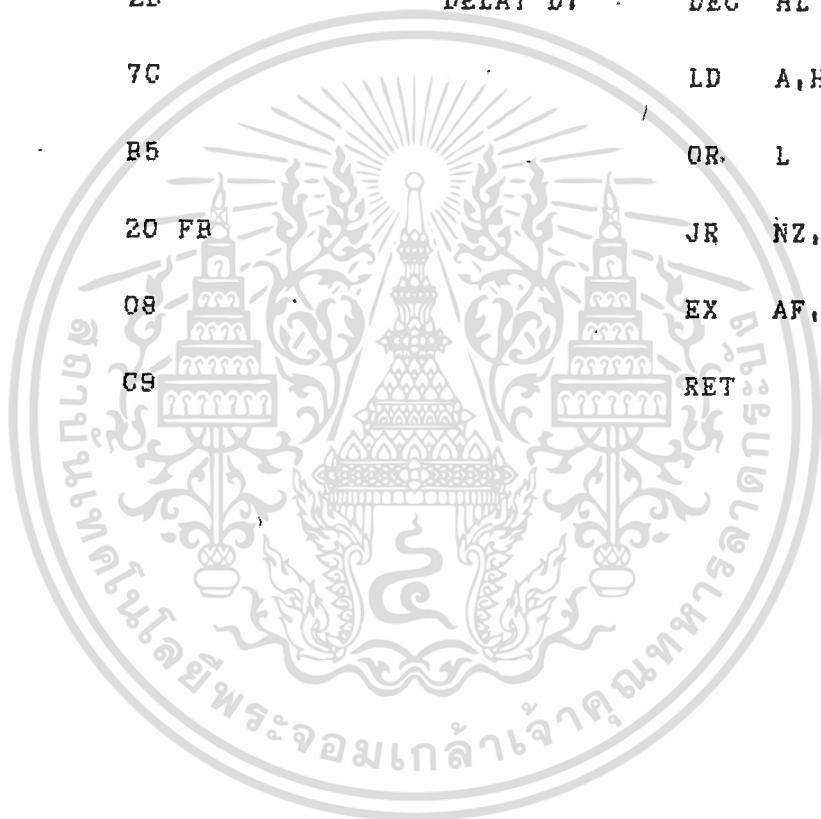
ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
081A	4F		LD C,A
081B	1E 04	KK:	LD E,04
081D	3E 11		LD A,11
081F	E6 0F	LL:	AND OF
0821	0D		DEC C
0822	CA 00 00		JP Z,SELECT 1
0825	D3 02		OUT (02),A
0827	CD 00 0C		CALL DELAY 3
082A	1D		DEC E
082B	CA 1B 08		JP Z,KK
082E	07		RLCA
082F	C3 1F 08		JP LL



ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
0A00	08	DELAY 1:	EX AF,AF'
0A01	21 00 10		LD HL,00 10
0A04	2B	DELAY A:	DEC HL
0A05	7C		LD A,H
0A06	B5		OR L
0A07	20 FB		JR NZ,DELAY A
0A09	08		EX AF,AF'
0A0A	C9		RET
0B00	08	DELAY 2:	EX AF,AF'
0B01	21 99 99		LD HL,99 99
0B04	2B	DELAY B:	DEC HL
0B05	7C		LD A,H
0B06	B5		OR L
0B07	20 FB		JR NZ,DELAY B
0B09	08		EX AF,AF'
0B0A	C9		RET
0C00	08	DELAY 3:	EX AF,AF'
0C01	21 00 20		LD HL,20 00
0C04	2B	DELAY C:	DEC HL
0C05	7C		LD A,H
0C06	B5		OR L
0C07	20 FB		JR NZ,DELAY C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 90 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRESS	OBJ. CODE	LABEL	MNE. CODE
OC09	08		EX AF,AF'
OC0A	C9		RET
OD00.	08	DELAY 4:	EX AF,AF'
OD01	21 10 00		LD HL,00 10
OD04	2B	DELAY D:	DEC HL
OD05	7C		LD A,H
OD06	B5		OR L
OD07	20 FB		JR NZ,DELAY D
OD09	08		EX AF,AF'
OD0A	C9		RET





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะ 91 นี้อา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

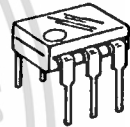
6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

These devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Convenient Plastic Dual-in-Line Package
- Most Economical Optoisolator
- High Input-Output Isolation Guaranteed — 7500 Volts Peak
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- UL Recognized. File Number E54915 
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc. 
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

4N25
4N25A
4N26
4N27
4N28

6-PIN DIP
OPTOISOLATORS
TRANSISTOR OUTPUT



CASE 730A-02
PLASTIC

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

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C

OUTPUT TRANSISTOR

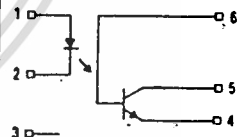
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_{sol}	260	°C

(1) Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

SCHEMATIC



1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

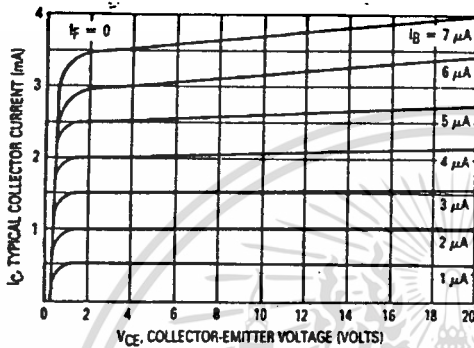


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

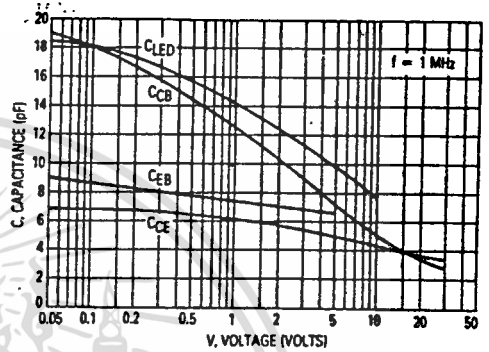


Figure 10. Capacitances versus Voltage

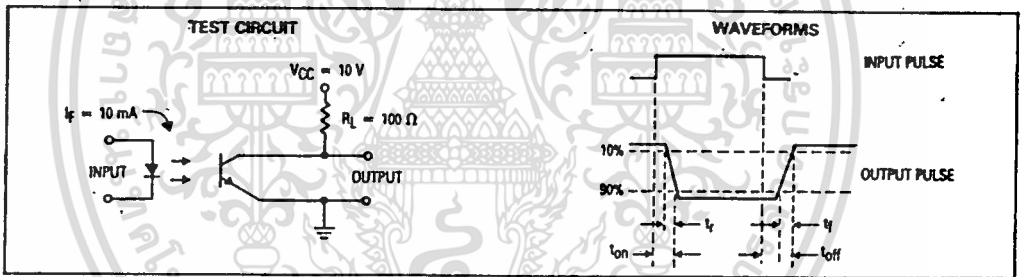
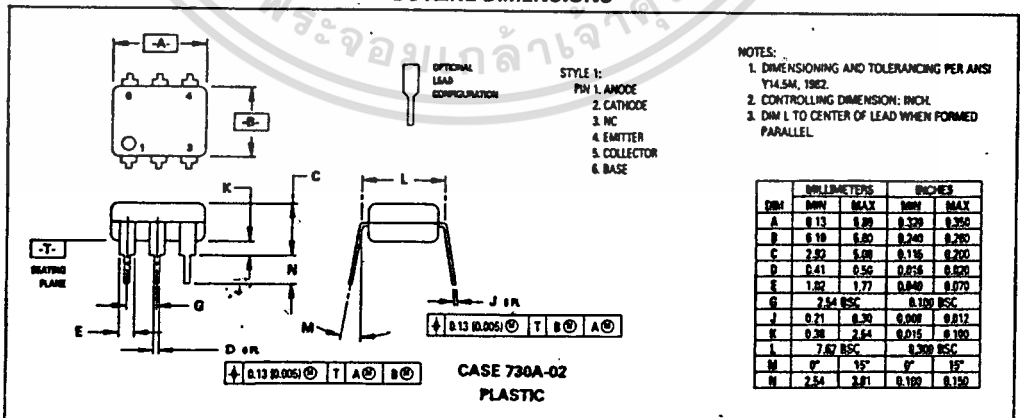


Figure 11. Switching Times

OUTLINE DIMENSIONS



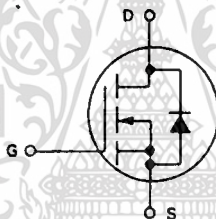
MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

IRF740
IRF741
IRF742
IRF743

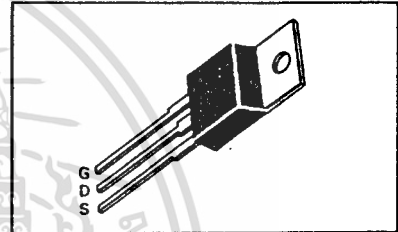
**N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE SILICON GATE
TMOS POWER FIELD EFFECT TRANSISTOR**

These TMOS Power FETs are designed for high voltage, high speed power switching applications such as switching regulators, converters, solenoid and relay drivers.

- Silicon Gate for Fast Switching Speeds
- Low $r_{DS(on)}$ to Minimize On-Losses. Specified at Elevated Temperature
- Rugged — SOA is Power Dissipation Limited
- Source-to-Drain Diode Characterized for Use With Inductive Loads



Part Number	V_{DSS}	$r_{DS(on)}$	I_D
IRF740	400 V	0.55 Ω	10 A
IRF741	350 V	0.55 Ω	10 A
IRF742	400 V	0.80 Ω	8.0 A
IRF743	350 V	0.80 Ω	8.0 A



MAXIMUM RATINGS

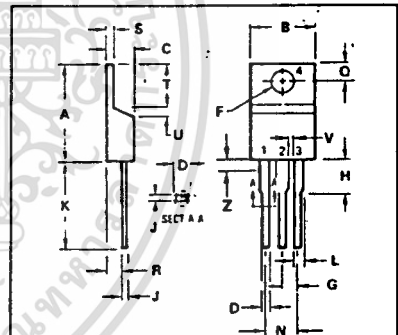
Rating	Symbol	IRF				Unit
		740	741	742	743	
Drain-Source Voltage	V_{DSS}	400	350	400	350	Vdc
Drain-Gate Voltage ($R_{GS} = 1.0 \text{ m}\Omega$)	V_{DGR}	400	350	400	350	Vdc
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20				Vdc
Drain Current Continuous Pulsed	I_D	10		8.0		A dc
	I_{DM}	40		32		
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	125				Watts
		1.0				
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150				$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Thermal Resistance Junction to Case Junction to Ambient	$R_{\theta JC}$	1.0	$^\circ\text{C/W}$
	$R_{\theta JA}$		
Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from Case for 5 Seconds	T_L	275	$^\circ\text{C}$

See the MTP8N45 Designer's Data Sheet for a complete set of design curves for the product on this data sheet. Design curves of the MTP10N35 are applicable for this series of products.

The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.



NOTES

- 1 DIMENSION H APPLIES TO ALL LEADS
- 2 DIMENSION L APPLIES TO LEADS 1 AND 3
- 3 DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED
- 4 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
- 5 CONTROLLING DIMENSION INCH

- STYLE 5.**
1. GATE
 2. DRAIN
 3. SOURCE
 4. DRAIN

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	14.60	15.75	0.575	0.620
B	9.65	10.29	0.380	0.405
C	4.06	4.82	0.160	0.190
D	0.64	0.89	0.025	0.035
F	3.61	3.73	0.142	0.147
G	2.41	2.67	0.095	0.105
H	2.79	3.93	0.110	0.155
J	0.36	0.56	0.014	0.022
K	12.70	14.27	0.500	0.562
L	1.14	1.39	0.045	0.055
N	4.83	5.33	0.190	0.210
Q	2.54	3.04	0.100	0.120
R	2.04	2.79	0.080	0.110
S	1.14	1.39	0.045	0.055
T	5.97	6.48	0.235	0.255
U	0.00	1.27	0.000	0.050
V	1.14	-	0.045	-
Z	-	2.03	-	0.080

CASE 221A-02
TO-220AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REGULATING PULSE WIDTH MODULATOR

SG3524

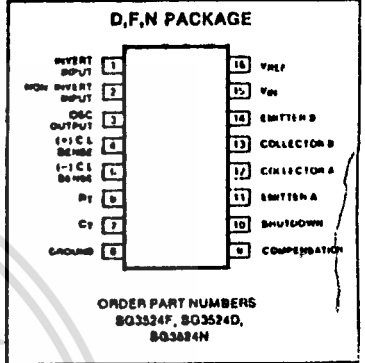
DESCRIPTION

This monolithic integrated circuit contains all the control circuitry for a regulating power supply inverter or switching regulator. Included in a 16-pin dual-in-line package is the voltage reference, error-amplifier, oscillator, pulse width modulator, pulse steering flip-flop, dual alternating output switches and current limiting and shut-down circuitry. This device can be used for switching regulators of either polarity, transformer coupled DC to DC converters, transformerless voltage doublers and polarity converters, as well as other power control applications. The SG3524 is designed for commercial applications of 0°C to +70°C.

FEATURES

- Complete PWM power control circuitry
- Single ended or push-pull outputs
- Line and load regulation of 0.2%
- 1% maximum temperature variation
- Total supply current is less than 10mA
- Operation beyond 100kHz

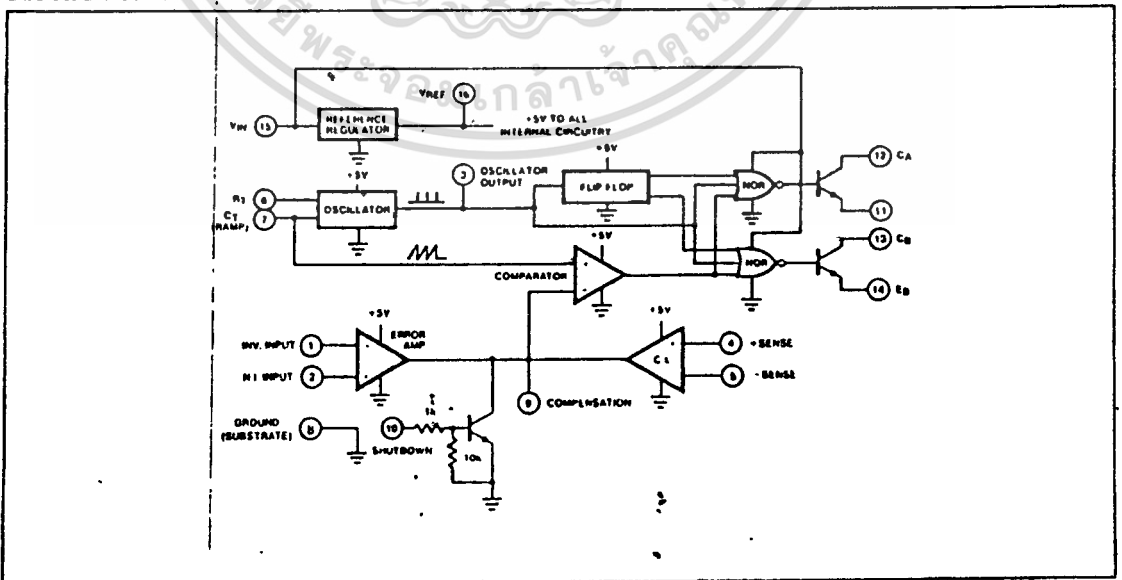
PIN CONFIGURATION



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	RATING	UNIT
Input voltage	40	V
Output current (each output)	100	mA
Reference output current	50	mA
Oscillator charging current	5	mA
Power dissipation		
Package limitation	1000	mW
Derate above 25°C	8	mW/°C
Operating temperature range	0 to +70	°C
Storage temperature range	-65 to +150	°C

BLOCK DIAGRAM



DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{\text{OM}} = 20\text{V}$, and $f = 20\text{kHz}$ unless otherwise specified.)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SG3524			UNIT
		Min	Typ	Max	
Reference Section					
Output voltage		4.6	5.0	5.4	V
Line regulation	$V_{\text{IN}} = 8$ to 40V		10	30	mV
Load regulation	$I_L = 0$ to 20mA		20	50	mV
Ripple rejection	$f = 120\text{Hz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		66		dB
Short circuit current limit	$V_{\text{REF}} = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		100		mA
Temperature stability	Over operating temperature range		0.3	1	%
Long term stability	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20		mV/kHr
Oscillator Section					
Maximum frequency	$C_T = .001$ mfd, $R_T = 2\text{k}\Omega$		300		kHz
Initial accuracy	R_T and C_T constant		5		%
Voltage stability	$V_{\text{IN}} = 8$ to 40V , $T_A = 25^\circ\text{C}$			1	%
Temperature stability	Over operating temperature range			2	%
Output amplitude	Pin 3, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3.5		V_P
Output pulse width	$C_T = .01$ mfd, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5		μs
Error Amplifier Section					
Input offset voltage	$V_{\text{CM}} = 2.5\text{V}$		2	10	mV
Input bias current	$V_{\text{CM}} = 2.5\text{V}$		2	10	μA
Open loop voltage gain		68	80		dB
Common mode voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.8		3.4	V
Common mode rejection ratio	$T_A = 25^\circ\text{C}$		70		dB
- Small signal bandwidth	$A_V = 0\text{dB}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3		MHz
Output voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	V
Comparator Section					
Duty cycle	% each output "ON"	0		45	%
Input threshold	Zero duty cycle		1		V
Input threshold	Maximum duty cycle		3.5		V
Input bias current			1		μA
Current Limiting Section					
Sense voltage	Pin 9 = 2V with error amplifier on for maximum out, $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	200	220	mV
Sense voltage T.C.			0.2		mV/ $^\circ\text{C}$
Common mode voltage		-1		+1	V
Output Section (each output)					
Collector-emitter voltage (breakdown)		40			V
Collector-leakage current	$V_{\text{CE}} = 40\text{V}$		0.1	50	μA
Saturation voltage	$I_C = 50\text{mA}$		1	2	V
Emitter output voltage	$V_{\text{IN}} = 20\text{V}$	17	18		V
Rise time	$R_C = 2\text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2		μs
Fall time	$R_C = 2\text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.1		μs
Total standby current (excluding oscillator charging current, error and current limit dividers, and with outputs open)	$V_{\text{IN}} = 40\text{V}$		8	10	mA

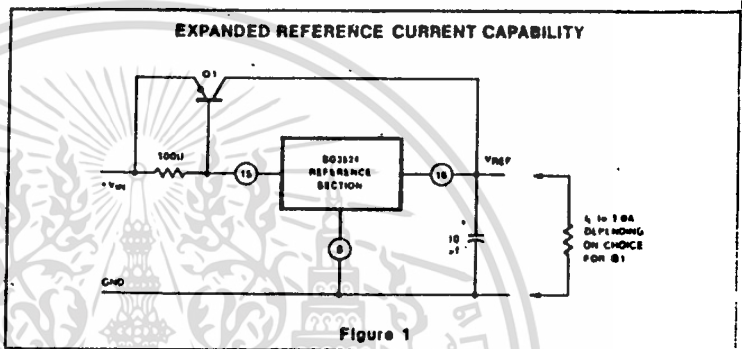
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THEORY OF OPERATION

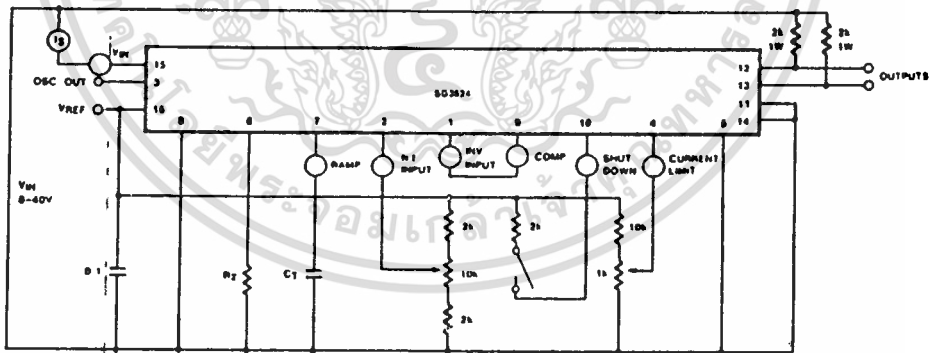
Voltage Reference

An internal series regulator provides a nominal 5 volt output which is used both to generate a reference voltage and is the regulated source for all the internal timing and controlling circuitry. This regulator may be bypassed for operation from a fixed 5 volt supply by connecting pins 16 and 18 together. In this configuration, the maximum input voltage is 6.0 volts.

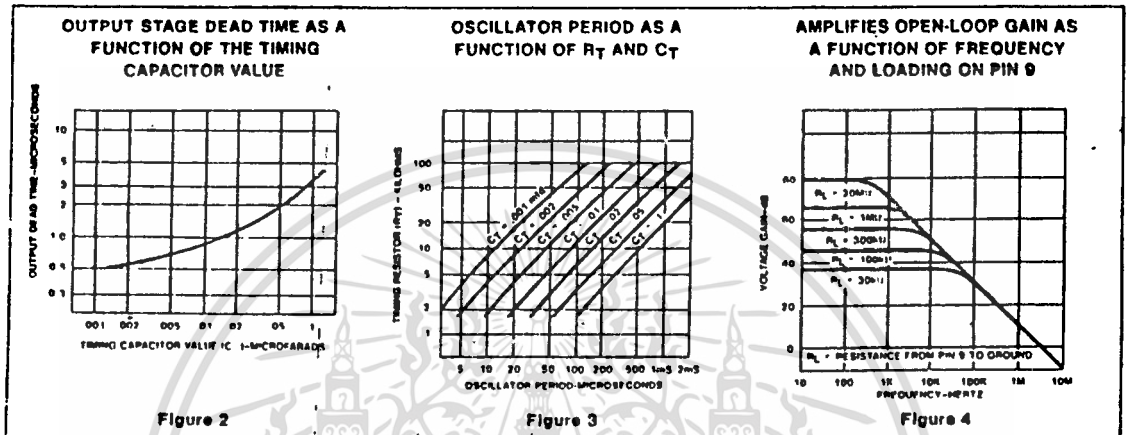
This reference regulator may be used as a 5 volt source for other circuitry. It will provide up to 50mA of current itself and can easily be expanded to higher currents with an external PNP as shown in Figure 1.



TEST CIRCUIT



REGULATING PULSE WIDTH MODULATOR



Oscillator

The oscillator in the SG3524 uses an external resistor (R_T) to establish a constant charging current into an external capacitor (C_T). While this uses more current than a series connected RC, it provides a linear ramp voltage on the capacitor which is also used as a reference for the comparator. The

charging current is equal to $3.6V / R_T$ and should be kept within the range of approximately 300μA to 2mA, i.e., $1.8K < R_T < 100K$.

The range of values for C_T also has limits as the discharge time of C_T determines the pulse width of the oscillator output pulse. This pulse is used (among other things) as a blanking pulse to both outputs to insure that there is no possibility of having both outputs on simultaneously during transitions. This output dead time relationship is shown in Figure 2. A pulse width below approximately 0.5 microseconds may allow false triggering of one output by removing the blanking pulse prior to the flip-flops reaching a stable state. If small values of C_T must be used, the pulse width may still be expanded by adding a shunt capacitance (~100pF) to ground at the oscillator output. (Note: Although the oscillator output is a convenient oscilloscope sync input, the cable and input capacitance may increase the blanking pulse width slightly.) Obviously, the upper limit to the pulse width is determined by the maximum duty cycle acceptable. Practical values of C_T fall between .001 and 0.1 microfarad.

The oscillator period is approximately $t = R_T C_T$ where t is in microseconds when $R_T =$ ohms and $C_T =$ microfarad. The use of Figure 3 will allow selection of R_T and C_T for a wide range of operating frequencies. Note that for series regulator applications, the

two outputs can be connected in parallel for an effective 0-90% duty cycle and the frequency of the oscillator is the frequency of the output. For push-pull applications, the outputs are separated and the flip-flop divides the frequency such that each outputs duty cycle is 0-45% and the overall frequency is one-half that of the oscillator.

External Synchronization

If it is desired to synchronize the SG3524 to an external clock, a pulse of ≈ 3 volts may be applied to the oscillator output terminal with $R_T C_T$ set slightly greater than the clock period. The same considerations of pulse width apply. The impedance to ground at this point is approximately 2K ohms.

If two or more SG3524s must be synchronized together, one must be designated as master with its $R_T C_T$ set for the correct period. The slaves should each have an $R_T C_T$ set for approximately 10% longer period than the master with the added requirement that C_T (slave) = one-half C_T (master). Then, connecting Pin 3 on all units together will insure that the master output pulse—which occurs first and has a wider pulse width—will reset the slave units.

Error Amplifier

This circuit is a simple differential-input, transconductance amplifier. The output is the compensation terminal, pin 9, which is a high impedance node ($R_L \approx 5M\Omega$). The gain is

$$A_v = gmR_L = \frac{8 I_C R_L}{2kT} \approx .002 R_L$$

and can easily be reduced from a nominal of 10,000 by an external shunt resistance from pin 9 to ground, as shown in Figure 4.

In addition to DC gain control, the compensation terminal is also the place for AC phase compensation. The frequency response curves of Figure 4 show the uncompensated amplifier with a single pole at approximately 200Hz and a unity gain cross-over at 5MHz.

Typically, most output filter designs will introduce one or more additional poles at a significantly lower frequency. Therefore, the best stabilizing network is a series R-C combination between pin 9 and ground which introduces a zero to cancel one of the output filter poles. A good starting point is 50kΩ plus .001 microfarad.

One final point on the compensation terminal is that this is also a convenient place to insert any programming signal which is to override the error amplifier. Internal shutdown and current limit circuits are connected here, but any other circuit which can sink 200μA can pull this point to ground thus shutting off both outputs.

While feedback is normally applied around the entire regulator, the error amplifier can be used with conventional operational amplifier feedback and is stable in either the inverting or non-inverting mode. Regardless of the connections, however, input common-mode limits must be observed or output signal inversions may result. For conventional regulator applications, the 5 volt reference voltage must be divided down as shown in Figure 5. The error amplifier may also be used in fixed duty cycle applications by using the unity gain configuration, shown in the open loop test circuit.

Current Limiting

The current limiting circuitry of the SG3524 is shown in Figure 6.

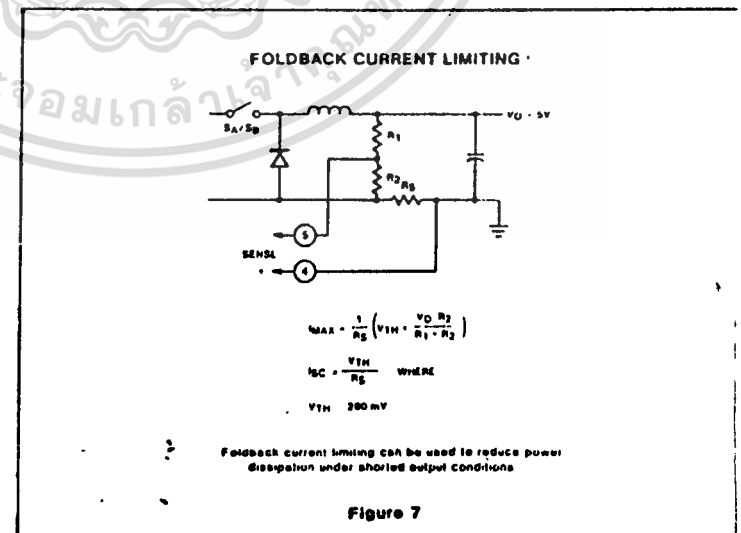
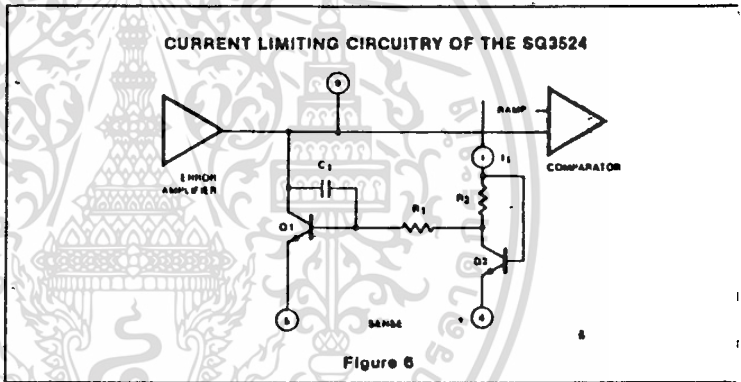
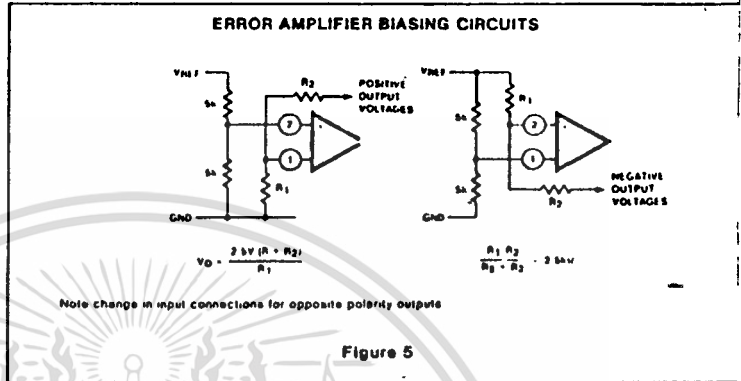
By matching the base-emitter voltages of Q1 and Q2, and assuming negligible voltage drop across R₁:

$$\text{Threshold} = V_{BE}(Q1) + I_1 R_2 - V_{BE}(Q2) = I_1 R_2 = 200\text{mV}$$

Although this circuit provides a relatively small threshold with a negligible temperature coefficient, there are some limitations to its use, the most important of which is the ± 1 volt common mode range which requires sensing in the ground line. Another factor to consider is that the frequency compensation provided by R₁, C₁ and Q1 provides a roll-off pole at approximately 300Hz.

Since the gain of this circuit is relatively low, there is a transition region as the current limit amplifier takes over pulse width control from the error amplifier. For testing purposes, threshold is defined as the input voltage to get 25% duty cycle with the error amplifier signaling maximum duty cycle.

In addition to constant current limiting, pins 4 and 5 may also be used in transformer-coupled circuits to sense primary current and shorten an output pulse, should transformer saturation occur. (Refer to Figure 11.) Another application is to ground pin 5 and use pin 4 as an additional shutdown terminal; i.e., the output will be off with pin 4 open and on when it is grounded. Finally, foldback current limiting can be provided with the network of Figure 7. This circuit can reduce the short-circuit current (I_{SC}) to approximately one-third the maximum available output current (I_{MAX}).



5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL			High-Speed TTL			Low-Power Schottky TTL			Standard TTL			Low-Power TTL		
	Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package	
T.I.	SN54S04	J	W	SN54H04	J	W	SN54LS04	J	W	SN5404	J	W	SN54L04	J	
FAIRCHILD	SN74S04	J	W	SN74H04	J	W	SN74LS04	J	W	SN7404	J	W	SN74L04	J	
MOTOROLA	FM54S04/FM9S04	D		FMS4H04/FM9H04	D		FM54LS04/FM9LS04	D		FM5404/FM904	D				
N.S.C.	FC74S04/FC9S04	D		FC74H04/FC9H04	D		FC74LS04/FC9LS04	D		FM7404/FC904	D				
PHILIPS				MC3108	L	F				MC3404	L	F			
SIGNETICS				MC3008	L	F	SN74LS04	P							
SIEMENS				DM54H04	J	W	DM54LS04	J	W	DM5404	J	W	DM54L04	J	
FUJITSU	DM74S04	J	W	DM74H04	J	W	DM74LS04	J	W	DM7404	J	W	DM74L04	J	
HITACHI															
MITSUBISHI															
NEC															
TOSHIBA															

Electrical Characteristics SN54LS04; SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 160°C

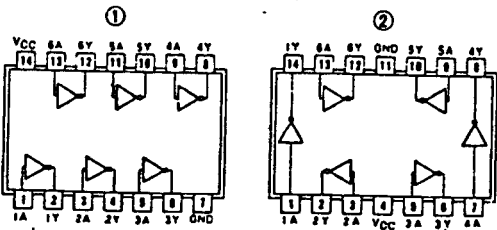
recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I _{OH}			-60			-60	μA
Low-level output current I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

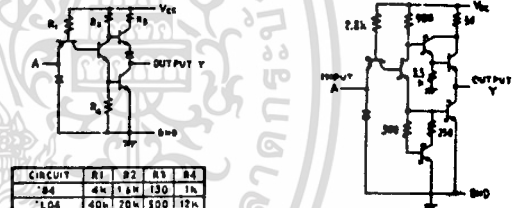
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _I = V _{IH} max, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _I = 2V, I _{OL} = 6mA		0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current *	V _{CC} = MAX	54LS Family	-20	-100	mA
I _{CC1}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I _{CC2}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t _{PLM}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15PF, R _L = 2KΩ		9	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic:
Y = X

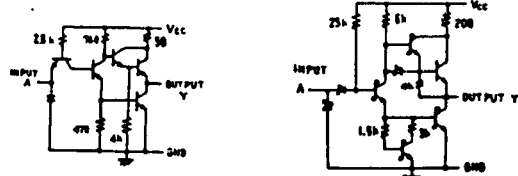
Schematics (each gate)



CIRCUIT	R1	R2	R3	R4
'04	4k	1.1k	150	1k
'S04	40k	20k	500	12k

Input clamp diodes not on SN54LS04/SN74LS04 circuits.

'04, 'LD4 CIRCUITS



'M04 CIRCUIT

'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

5414/7414 Hex Schmitt-Trigger Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL							
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package					
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF				
T.I.									SN54LS14	J	I	W	SN5414	J	I	W								
FAIRCHILD									SN74LS14	J	I	N	SN7414	J	I	N								
MOTOROLA									MM54LS14, MM74LS14	D	P	F	MS5414, MS7414	D	P	F								
N.S.C.									DM54LS14	I			DM7414	J	I	N								
PHILIPS									N74LS14	I			N7414	I										
SIGNETICS									N74LS14	A	F		NS414	F	T	B	NS7414	F	T	B				
SIEMENS																								
FUJITSU									74LS14	M	*													
HITACHI									HD74LS14	P	J		HD7414	T	P									
mitsubishi									M74LS14	P	T		M53214	P	D									
NEC																								
TOSHIBA																								

Electrical Characteristics SN54LS14, SN74LS14

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage VCC	TV	Operating power temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	TV	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

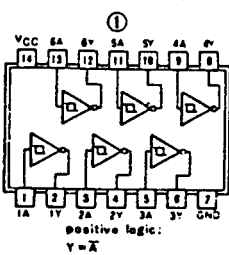
recommended operating conditions

	SN54LS14			SN74LS14			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage VCC	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, IOH			-400			-400	mA
Low-level output current, IOL			0			0	mA
Operating power temperature, TA	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

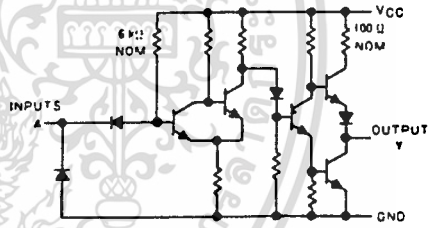
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT	
VT+	Positive-going threshold voltage	VCC=5V	1.4	1.6	1.9	V
VT-	Negative-going threshold voltage	VCC=5V	0.5	0.8	1	V
	Hysteresis (VT+ - VT-)	VCC=5V	0.4	0.8	V	
VI	Input clamp voltage	VCC=MIN, II=-18 mA		-1.5	V	
VOH	High-level output voltage	VCC=MIN, VI=VT-, IOH=MAX	2.7	3.4	V	
VOL	Low-level output voltage	VCC=MIN, VI=VT+, IOL=4 mA	0.25	0.4	V	
IT+	Input current at positive-going threshold	VCC=5V, VI=VT+	-0.14		mA	
IT-	Input current at negative-going threshold	VCC=5V, VI=VT-	-0.18		mA	
II	Input current at maximum input voltage	VCC=MAX, VI=7V		0.1	mA	
IiH	High-level input current	VCC=MAX, VI=2.7V		20	µA	
IiL	Low-level input current	VCC=MAX, VI=0.4V		-0.4	mA	
IOS	Short-circuit output current †	VCC=MAX	-20	-100	mA	
ICC	Supply current	VCC=MAX	8.5		16	mA
	Total output high current		12		21	mA
	Total output low current		1.72			mA
IPLH	Propagation delay time, low-to-high-level output	VCC=5V, TA=25°C	15		22	ns
	Propagation delay time, high-to-low-level output	CL=15PF, RL=2kΩ	15		22	ns

Pin Assignment (Top View)

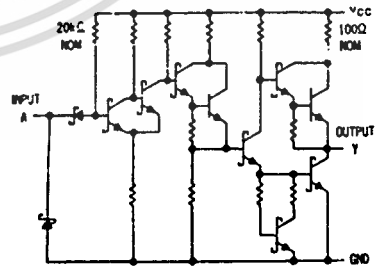


positive logic:
Y = \overline{X}

Schematics (each gate)



14 CIRCUIT



7414 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at VCC=5V, TA=25°C.
† Not more than one output should be shorted at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5408/7408 Quadruple 2-Input Positive-AND Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			
		C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	
T.I.	SN54S08	J3						SN54LS08	J3					SN5408	J3						
	SN74S08	J3	N1					SN74LS08	J3	N1				SN7408	J3	N1					
FAIRCHILD	FMS408 / FMS908	DJ			FMS4H08 / FMS9H08	DJ			FMS4S08 / FMS9S08	DJ				FMS408 / FMS908	DJ						
	FC7408 / FC9708	DJ			FC74H08 / FC97H08	DJ			FC74S08 / FC97S08	DJ				FC7408 / FC9708	DJ						
MOTOROLA					MC3101	LT			SN74LS08	P				MC7408	P						
					MC3001	LT															
N.S.C.					DM54H08	J3	N1		DM54LS08	P				DM5408	J3	N1				DM54L08	
					DM74H08	J3	N1		DM74LS08	P				DM7408	J3	N1					DM74L08
PHILIPS	N745C7				N74H08				N74LS08					N7408							
					SS4H08	F3	A1		SS4LS08	F3	A1			SS408	F3	A1					
	N745C7		A1		N74H08		A3		N74LS08		A3			N7408		A3					
SIEMENS														FLH381							
FUJITSU									74LS08		M1										
HITACHI									HD74LS08		P3			HD7408 / HD2550		G	P				
MITSUBISHI									M74LS08		P3			M53208		P	T				
NEC									74LS07		C3			μPB234		D	J				
TOSHIBA														TD340F		P	L				

Electrical Characteristics SN54LS08/ SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage	5V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input current	10mA	Storage temperature range	SN54LS	-65°C to 175°C
Power dissipation	500mW	Storage temperature range	-65°C to 150°C	

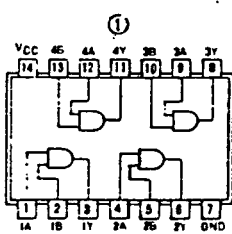
recommended operating conditions

	SN54LS08			SN74LS08			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V _{CC}	2.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
Maximum output current I _{OL}			-800			-800	mA
Low-level output current I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T _A	-55		125	0		75	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

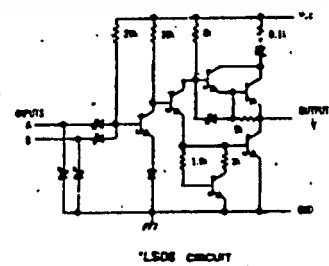
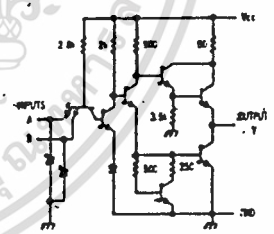
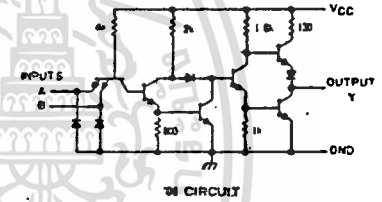
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8		V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18mA		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IH} = 2V	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OL} = 4mA, V _{IH} = 2V	0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.8	mA
I _{OS}	Short circuit output current †	V _{CC} = MAX		-20	mA
I _{CCS}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	2.4	mA
I _{CCL}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs low	4.4	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V, Average per gate (50% duty cycle)		0.85	mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ		8	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			10	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic:
Y=AB

Schematics (each gate)



Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate values specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
§ Not more than one output should be shorted at a time, and for 5408/5474/5475, duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญาพนธ์ฉบับนี้ตลอดจนโครงการ ที่ปรากฏออกมาได้ประจักษ์แก่สายบุคคลผู้พบเห็นถึงแม้ว่าจะไม่ค่อยสมบูรณ์อย่างยอดเยี่ยม แต่ที่ว่ามันเป็นความตั้งใจและพยายามสูงสุดเท่าที่เวลาตลอดจนสมองจะเอื้ออำนวยให้ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าสิ่งได้เห็นจนเป็นรูปเป็นร่างนี้มันไม่ได้เกิดจากความบังเอิญ หรือลอกเลียนในลักษณะที่เจาจงหรือเจตนาทั้งสิ้น มันเกิดจากการเรียนรู้ การผสมผสานแนวความคิดในหลายๆ ทางที่สามารถผสมกลมกลืนกันได้จนกระทั่งผลงานที่ออกแล้วอาจแปลกตาไปสักนิดและที่สำคัญเหนือสิ่งอื่นใดคือความเมตตาของอาจารย์คือ อาจารย์ กฤษดากร กล่อมการ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้โดยตรง ได้ให้ข้อคิดแนวทางรวมทั้งอุปกรณ์ หนังสือ ตลอดจนบทความที่เป็นประโยชน์อย่างมากและที่สำคัญคือกำลังใจซึ่งผู้จัดทำได้รับอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของกำหนดส่ง

สำหรับวิชาความรู้ที่ได้เรียนผ่านมาก็ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในช่วงนี้อย่างเต็มที่เช่นกัน ยิ่งในช่วงเทอมสุดท้ายได้มีโอกาสเรียนวิชา supply micro ซึ่งดำเนินการสอนโดย อาจารย์ อรรถสิทธิ์ ทำให้สามารถมีโอกาสได้ทดลองและนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดผลงานที่เห็นชัดเจนขึ้น ทำให้ผู้จัดทำโครงการนี้จึงขอขอบพระคุณ ณ. ที่นี้ด้วย

การแนะนำบางสิ่งบางอย่างจากเพื่อนๆ จากห้อง ET 2N เพื่อนๆ สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคมซึ่งบางคนได้ร่วมกันทำโครงการอย่างตั้งใจ ซึ่งผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง

อนึ่งในกิตติกรรมประกาศฉบับนี้ผู้จัดทำโครงการนี้ไม่ได้มีเจตนาประจบสอพลอเพื่อแนวทางไปสู่คะแนน ความรู้สึกรักที่อาจจะเพิ่มมากขึ้นเลยแม้แต่น้อยแต่ที่ทุกสิ่งมันออกมาจากใจทั้งสิ้นขออำนาจคุณพระศรีวิฑนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์และบารมีพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ช่วยดลบันดาลให้บุคคลที่ผู้จัดทำได้กล่าวถึง หรือที่ไม่ได้กล่าวถึงที่มีความตั้งใจความพยายามช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อม ให้ประสบความสำเร็จในสิ่งที่ปรารถนา

ทศพรเกษม ทยอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 103 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

-รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัตน์ "สเตปปีงมอเตอร์" วิศวกรรมลาดกระบัง

ปีที่ 5 ฉบับที่ 6 หน้า 46 ถึง 56 พ.ศ.2532

-shafi motiwalle & richard keng "continuous path control
with stepping moter",robotes age,inc,1983

-ege technology and service "motion control application
manual", p.39-52 & p.69-82,1987



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้