

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

ระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

**SECURITY CAMERAS SYSTEM**



วพ.  
๘๖๗๗  
๒๕๕๐

เลขทพ.....  
เลขทะเบียน..... 83283  
วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ค. 2551

b.....11ค.๒.๕๑๘๕  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

SECURITY CAMERAS SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

**SECURITY CAMERAS SYSTEM**

ผู้จัดทำ

1. นายธีระศักดิ์ อัครปฐม 48015013

2. นายบัณฑิตย์ ฉิมรัมย์ 48015016

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ. สุรพล นุญจันทร )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

### SECURITY CAMERAS SYSTEM

โดย นายธีระศักดิ์ อัครปฐม 48015013

นายบัณฑิตย์ ฉิมรัมย์ 48015016

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สุรพล บุญจันทร์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด เพื่อทำการถ่ายภาพตามจุดต่างๆของห้อง บริเวณที่จอดรถยนต์หรือจุดที่ไม่ปลอดภัย และนำสัญญาณภาพจากกล้องมาต่อเข้ากับเครื่องสวิตซ์สัญญาณภาพแล้วส่งสัญญาณไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ โดยสามารถเลือกให้แสดงที่ละกล้องได้จากชุดควบคุมและทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากกล้องลงในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

ในส่วนของระบบควบคุมการหมุนของกล้องนี้ สามารถปรับทิศทางการหมุนของกล้องได้ด้วยสแต็ปปีงมอเตอร์และสามารถควบคุมระบบรักษาความปลอดภัยนี้ได้จากห้องควบคุม

#### ABSTRACT

This project presents Security Cameras System for take pictures in the room ,car park or dangerous area and use Video Switcher for select video signal from cameras and sending signal to display on monitor and recording in hard disk of computer.

This camera movement control system can adjust direction of camera movement with stepping motor and this Security Cameras System can control from Control room.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้จะไม่สำเร็จลงได้หากมิได้รับความช่วยเหลือและการแนะนำจาก ท่าน ผศ. สุรพล นุญจันทร์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนและอบรมมา ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ทุกท่าน ตลอดจนผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ทุกท่านล้วนมีส่วนในความสำเร็จของปริญญาบัตร ฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 โครงสร้างโดยรวมของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด	3
2.1.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีของ CMOS และ CCD	4
2.2 ลักษณะของสัญญาณภาพ	5
2.3 องค์ประกอบของภาพ	8
2.4 การสแกนภาพและเรื่องที่เกี่ยวข้อง	9
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	13
2.5.1 ทำไมต้องใช้สเต็ปปีงมอเตอร์	13
2.5.2 วิธีการตรวจสอบหาเฟสของขดลวดสเต็ปปีงมอเตอร์	14
2.5.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของสเต็ปปีงมอเตอร์	16
2.5.4 ประเภทของสเต็ปปีงมอเตอร์	17
2.5.5 ลักษณะการพันขดลวดในสเต็ปปีงมอเตอร์	26
2.5.6 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์	28
2.5.7 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	31
2.5.8 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์	31
2.6 สายนำสัญญาณ	33
2.6.1 สายแบบเฟล็กซิเบิล (Flexible lines)	34
2.7 การใช้ไอซี 555 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	36
2.7.1 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์	37
2.7.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์	38
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	41
3.1 ขั้นตอนในการออกแบบและการสร้าง	43
3.2 การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2.1 หลักการทำงานวงจรควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ ภายใต้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 46 ราคา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การคำนวณหาค่าความถี่ที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	47
3.3 การออกแบบและสร้างฐานกลิ้ง	48
3.4 การออกแบบและสร้างวงจรสวิตซ์สัญญาณภาพ	49
3.4.1 หลักการทำงานของวงจรสวิตซ์สัญญาณภาพ	50
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	51
4.1 ทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	51
4.2 ทดสอบวงจรควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์	52
4.3 ทดสอบวงจรสวิตซ์สัญญาณภาพ	58
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	65
5.1 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	65
หนังสืออ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.10 โครงสร้างโดยรวมของระบบ	2
รูปที่ 2.10 กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CCD	3
รูปที่ 2.11 กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CMOS	4
รูปที่ 2.12 ลักษณะของสัญญาณทางด้านแนวนอน	5
รูปที่ 2.13 ลักษณะของสัญญาณทางด้านแนวตั้ง	6
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง	6
รูปที่ 2.15 เวลาในการสุ่มสำหรับเส้นสแกนทางแนวนอนของสัญญาณคอมโพสิทีวีดีโอ	7
รูปที่ 2.16 การสแกนจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง	10
รูปที่ 2.17 การสแกนสองครั้งสำหรับภาพนิ่งแต่ละภาพ โดยแบ่งหนึ่งเฟรมออกเป็นสองฟิลด์	11
รูปที่ 2.18 รูปที่เกิดจากการสแกนฟิลด์คู่ (Even line trace)	12
รูปที่ 2.19 รูปที่เกิดจากการสแกนฟิลด์คี่ (Odd line trace)	12
รูปที่ 2.20 การรวมฟิลด์ 1 และฟิลด์ 2	12
รูปที่ 2.21 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น	14
รูปที่ 2.22 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น	14
รูปที่ 2.23 การใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทาน	15
รูปที่ 2.24 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบโดยการสวิตช์เพื่อหาลำดับ	15
รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบแบบง่ายๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์มูมโรเตอร์เคลื่อนที่ 60 องศา	16
รูปที่ 2.26 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์	17
รูปที่ 2.27 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส	18
รูปที่ 2.28 ตำแหน่งสมมูลเมื่อเฟสที่ 1 ถูกกระตุ้น	18
รูปที่ 2.29 แรงบิดรีสตอร์ริงที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกา	19
รูปที่ 2.30 การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ขณะเฟสที่ 1 ถูกเปิดออกและเฟสที่ 2 ถูกจ่ายกระแสทันที	19
รูปที่ 2.31 การเคลื่อนที่สเต็ปครบรอบของสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้	20
รูปที่ 2.32 เปรียบเทียบลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีช่องอากาศแคบและกว้าง	20
รูปที่ 2.33 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟัน 2 ซี่ บน	21

แต่ละสเตเตอร์โพล จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 20 ซี่ และมีมุมสเต็ป 6 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.34 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 44 ซี่ และมีจำนวนสเต็ปต่อรอบ 132 สเต็ป	22
รูปที่ 2.35 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเต็ป 1.8 องศา และจำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 สเต็ป	22
รูปที่ 2.36 โครงสร้างของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ชนิดหลายสเตค	23
รูปที่ 2.37 โรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 5 สเตค	23
รูปที่ 2.38 โครงสร้างของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ชนิด 5 สเตคแบบเซนวิส	23
รูปที่ 2.39 โครงสร้างเบื้องต้นของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	24
รูปที่ 2.40 การต่อวงจรจับอย่างง่ายสำหรับมอเตอร์ 2 เฟส	25
รูปที่ 2.41 การเคลื่อนที่ของโรเตอร์เมื่อถูกกระตุ้นในทิศตามเข็มนาฬิกา	25
รูปที่ 2.42 โครงสร้างโรเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ประเภทไฮบริด	26
รูปที่ 2.43 ทิศทางการสร้างสนามแม่เหล็กของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ประเภทไฮบริด	26
รูปที่ 2.44 ลักษณะการพันขดลวดแบบโมโนฟิลาร์และไบฟิลาร์	27
รูปที่ 2.45 หลักการของวงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีการพันขดลวดแบบต่างๆ	27
รูปที่ 2.46 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1 เฟส	28
รูปที่ 2.47 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	29
รูปที่ 2.48 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป	31
รูปที่ 2.49 แสดงวงจรจับสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN2003	32
รูปที่ 2.50 แสดงวงจรจับสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139	32
รูปที่ 2.51 แสดงโครงสร้างของสายนำสัญญาณ	33
รูปที่ 2.52 โครงสร้างของสายคู่	34
รูปที่ 2.53 โครงสร้างของสายโคแอกเชียล	35
รูปที่ 2.54 โครงสร้างภายในของไอซี เบอร์ 555	36
รูปที่ 2.55 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	37
รูปที่ 2.56 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุทของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	38
รูปที่ 2.57 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.58 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุทของวงจรรจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	39
รูปที่ 2.59 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทริกและสัญญาณเอาต์พุทของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ทริกเข้าได้	39
รูปที่ 2.60 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทริกและสัญญาณเอาต์พุทของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ทริกเข้าไม่ได้	40
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด	41
รูปที่ 3.11 แผนผังขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง	43
รูปที่ 3.12 แผนผังขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง (ต่อ)	44
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์	45
รูปที่ 3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบเบสิคอะสเตเบิล	47
รูปที่ 3.15 โครงสร้างแบบจำลองของฐานกล้อง	49
รูปที่ 3.16 วงจรสวิทช์สัญญาณภาพ	49
รูปที่ 4.10 เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาที่ขา 3 ของไอซี NE555	51
รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุทควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 1 เทียบกับสัญญาณอินพุท	52
รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุทควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 2 เทียบกับสัญญาณอินพุท	53
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุทควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 3 เทียบกับสัญญาณอินพุท	54
รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุทควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 4 เทียบกับสัญญาณอินพุท	55
รูปที่ 4.15(ก) สัญญาณเอาต์พุทเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 ตามลำดับ ของการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา	56
รูปที่ 4.15(ข) สัญญาณเอาต์พุทเฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับ ของการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา	56
รูปที่ 4.16(ก) สัญญาณเอาต์พุทเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 ตามลำดับ ของการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา	57
รูปที่ 4.16(ข) สัญญาณเอาต์พุทเฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับ ของการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา	57
รูปที่ 4.17 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 1 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาต์พุท	58
รูปที่ 4.18 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 2 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาต์พุท	59
รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 3 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 4 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต	61
รูปที่ 4.21 สัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพเมื่อทำการเลือกใช้งานกล้องแต่ละตัว	62
รูปที่ 4.22 สัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพเมื่อไม่ได้ทำการเลือกใช้งานกล้องแต่ละตัว	63
รูปที่ 4.23 สัญญาณนาฬิกาเมื่อเลือกการสวิตซ์สัญญาณภาพแบบอัตโนมัติ	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.10 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1 เฟส	28
ตารางที่ 2.11 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	29
ตารางที่ 2.12 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

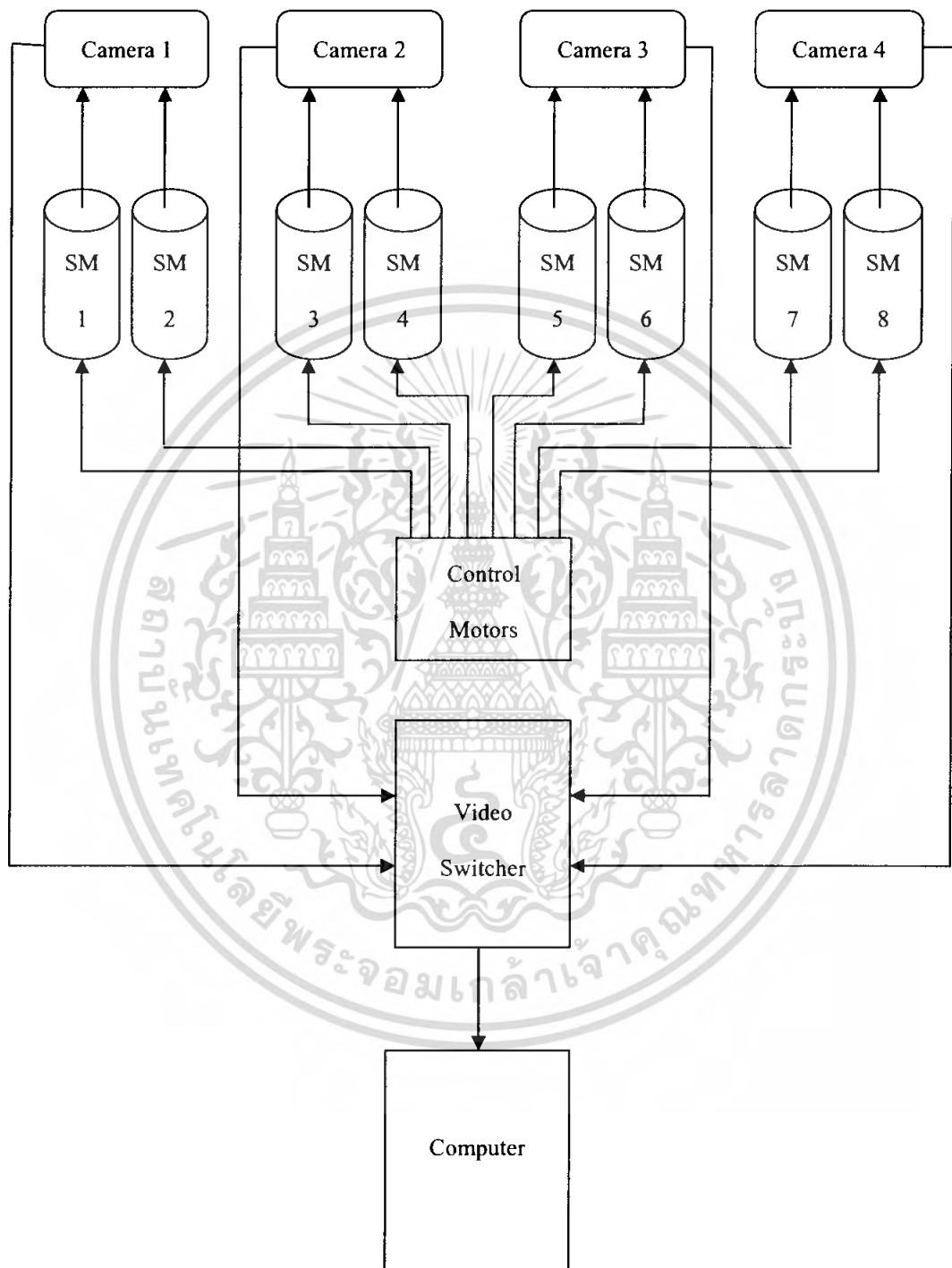
ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้มีการพัฒนาให้มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและความสามารถมากขึ้น เพื่อให้รองรับกับความต้องการในการใช้งานในด้านต่างๆ ที่มากขึ้น เช่นเดียวกับเทคโนโลยีในด้านการรักษาความปลอดภัยที่ได้มีการนำกล้องวงจรปิดมาใช้ เพื่อทำการถ่ายภาพตามจุดต่างๆ ของห้อง อาคาร ห้างสรรพสินค้า อาคารที่จอดรถหรือตามจุดที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งอาจจะเป็นการถ่ายภาพเพียงจุดเดียวหรือถ่ายภาพหลายๆ จุดพร้อมกัน โดยในการถ่ายภาพหลายๆ จุดพร้อมกันจะต้องใช้จอมอนิเตอร์จำนวนมากเพื่อทำการแสดงผลจากกล้องวงจรปิด ย่อมทำให้เกิดความสิ้นเปลืองอุปกรณ์และมีค่าใช้จ่ายสูง หรือข้อจำกัดในเรื่องการที่กล้องวงจรปิดถูกติดตั้งไว้ในจุดใดจุดหนึ่งแบบคงที่ ซึ่งทำให้มุมมองในการมองเห็นภาพได้ไม่ทั่วถึง

ด้วยเหตุนี้โครงการนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด โดยจะทำการนำสัญญาณภาพจากกล้องวงจรปิด 4 ตัว แสดงผลบนจอมอนิเตอร์หนึ่งจอซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้ พร้อมทั้งทำการบันทึกภาพเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบในภายหลัง รวมทั้งได้มีการออกแบบให้ตัวกล้องสามารถแพนได้เพื่อให้ได้มุมมองการมองเห็นภาพที่ทั่วถึง

#### 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างฐานกล้อง
2. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์ เพื่อทำหน้าที่บังคับทิศทางการหมุนของกล้องวงจรปิด
3. ออกแบบและสร้างวงจรสวิทช์สัญญาณภาพ
4. เพื่อศึกษาหลักการติดตั้งและการใช้งานระบบรักษาความปลอดภัยโดยการใช้กล้องวงจรปิด
5. เพื่อใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยตามจุดต่างๆ ที่ไม่ปลอดภัย

## 1.2 โครงสร้างโดยรวมของโครงการ



รูปที่ 1.10 โครงสร้างโดยรวมของระบบ

หมายเหตุ

SM = Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด

กล้องโทรทัศน์วงจรปิดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับงานระบบโทรทัศน์วงจรปิด เพราะจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เราสามารถจะมองเห็นภาพที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ต้องการได้ ซึ่งการมองเห็นของภาพนี้จะชัดเจนมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่จะนำมาใช้งานในระบบ ดังนั้นการเลือกใช้งานกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมตามรูปแบบของการใช้งานจะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของระบบที่ดีขึ้นได้ ซึ่งสามารถแยกชนิดของกล้องโทรทัศน์วงจรปิดได้หลายชนิดตามลักษณะของอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของกล้องโทรทัศน์วงจรปิด ซึ่งจะขออธิบายถึงกล้องชนิดที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน 2 ชนิดคือ

##### 1) กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CCD (Charge Coupled Device)

กล้องโทรทัศน์วงจรปิดแบบนี้ใช้หลักการแปรเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นลักษณะของชีพไอซีอิเล็กทรอนิกส์ มีให้เลือกตั้งแต่ขนาด 1/6 1/3 1/2 และ 2/3 นิ้ว มีความคมชัดของภาพสูงสามารถเปลี่ยนเลนส์เป็นแบบซูมภาพได้ ลักษณะของกล้อง CCD จะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.10 กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิดนี้เป็นกล้องวงจรปิดขนาดกลาง มีขนาดกว้าง 4.6 ซม. ยาว 9 ซม. โดยประมาณ ตัวกล้องใช้เลนส์ CCD มีความคมชัดสูงสามารถเปลี่ยนเลนส์ซูมภาพได้ความคมชัดของภาพอยู่ที่ 380 ถึง 420 เส้น ที่แสงสว่างตั้งแต่ 1.5 ลักซ์ ถึง 0.45 ลักซ์ จะเหมาะสำหรับติดตั้งในออฟฟิศ สำนักงาน ห้างร้านมินิมาร์ท หรือภายในตึกอาคารต่างๆ ตัวกล้องมีความลงทุนสูงติดตั้งง่าย มีอายุการใช้งานยาวนาน 10 ถึง 20 ปี ภาพที่ออกมาเป็นภาพสีความคมชัดสูงสามารถต่อสายสัญญาณภาพแบบหัวต่อ BNC และ RCA ได้ยาวถึง 300 เมตร สามารถใช้เลนส์ซูมแบบออโต้ไริสต่อเข้ากับกล้องได้ ใช้กำลังไฟในการทำงาน 12 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.10 กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CCD ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

กล้องโทรทัศน์วงจรปิดแบบนี้ใช้อุปกรณ์การแปรเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นลักษณะของชิปไอซีอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กมากเรียกว่าเลนส์แบบ CMOS มีขนาดเล็กกว่าแบบ CCD มาก ขนาดของกล้องกว้างและยาวประมาณ 3.5 ซม. สามารถจะแสดงภาพสีหรือภาพแบบขาว/ดำก็ได้ แล้วแต่การเลือกใช้งาน สามารถต่อดูภาพและเสียงผ่านทางช่อง AV ของเครื่องรับโทรทัศน์ได้ทันทีผ่านทางสายสัญญาณ AV ที่มีความยาวได้ถึง 100 เมตร ใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงาน 9 โวลต์ และบางรุ่นสามารถใช้แบตเตอรี่แบบ 9 โวลต์ ต่อเข้ากับตัวกล้องได้ กล้องชนิดนี้เหมาะสำหรับติดตั้งในออฟฟิศ สำนักงานหรือห้างร้านมินิมาร์ทที่ต้องการไม่ให้บุคคลภายนอกทราบว่าได้มีการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดไว้ เนื่องจากขนาดของกล้องที่มีขนาดเล็กมากนี้จะทำให้สามารถที่จะติดตั้งไว้ในจุดที่บุคคลภายนอกไม่สามารถพบเห็นได้ ลักษณะของกล้อง CMOS จะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กล้องโทรทัศน์วงจรปิดชนิด CMOS

### 2.1.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีของ CMOS และ CCD

จะเห็นว่าเทคโนโลยี CMOS จะมีจุดเด่นที่มีราคาถูก ใช้พลังงานต่ำ และทำให้มีขนาดเล็กได้ง่ายกว่า ยิ่งถ้าหากใช้เทคโนโลยีล่าสุดมาใช้ในการผลิตก็สามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากกว่าในอดีต (ตัวอย่างเช่นกล้องดิจิทัลคอนนอนหลายรุ่นใช้ CMOS เซนเซอร์ในการผลิตตัวรับแสง) แต่สำหรับกล้อง CMOS

ที่อยู่ในตลาดกล้องวงจรปิด โดยเฉพาะหากผลิตมาจากประเทศจีนคงคาดหวัง “เสดเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
เทคโนโลยี” โดยยาก ใช้งานจึงต้องเน้นรองรับการใช้งานแบบ พอดู ได้ว่ามีคนหรือวัตถุอยู่ตรงหน้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

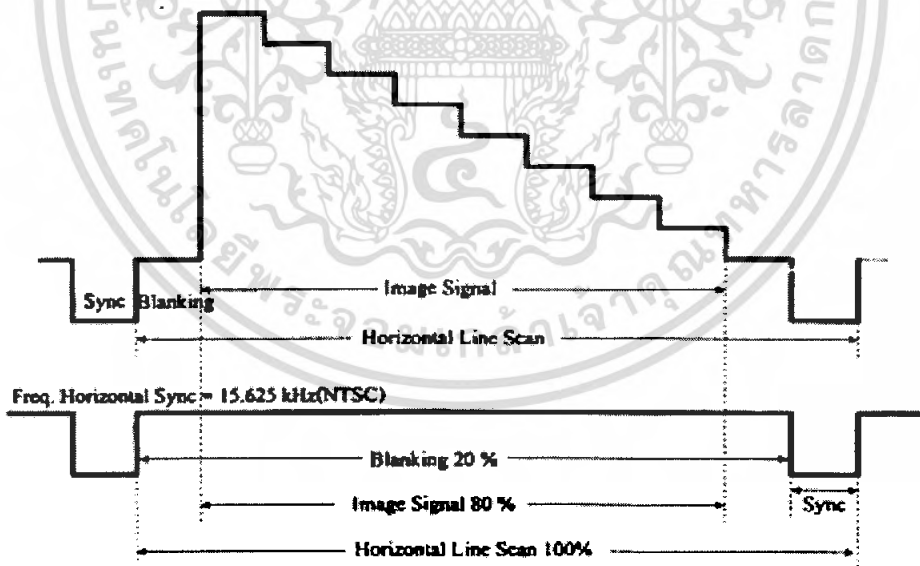
กล้องเท่านั้น หากต้องลงรายละเอียดมากก็คงไม่ได้ รวมทั้งการเดินสายยาวๆ ก็จะไม่เหมาะสมทั้งกำลังของสัญญาณที่ต่ำกว่าและการถูกรบกวนของสัญญาณที่ถูกรบกวนได้ง่ายกว่า

ส่วนกรณีของ CCD พบว่ามีจุดเด่นที่ มีความไวแสงสูงกว่า สัญญาณรบกวนต่ำกว่า และมีช่วงกว้างในการรับแสงที่กว้างกว่า คือตั้งแต่ UV จนถึง IR ได้เลยทีเดียว ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่หัวใจความ ที่อุปกรณ์รับแสงในกล้องพืงจะมี การใช้งานจึงให้ภาพที่สว่างใสมกว่า ให้รายละเอียดมิตมากกว่า และสามารถเดินสายไกลได้ยาวกว่ากล้อง CMOS แต่ราคาของกล้อง CCD ก็สูงกว่าด้วยเช่นกัน

ส่วนเรื่องอายุการใช้งาน แม้ว่ากล้อง CMOS จะมีการสะสมความร้อนที่ต่ำกว่าแต่ด้วยมาตรฐานการผลิตที่สูงกว่าของ CCD ทำให้อายุการใช้งานของกล้อง CCD ที่ผลิตจากโรงงานที่น่าเชื่อถือ สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าเช่นกัน

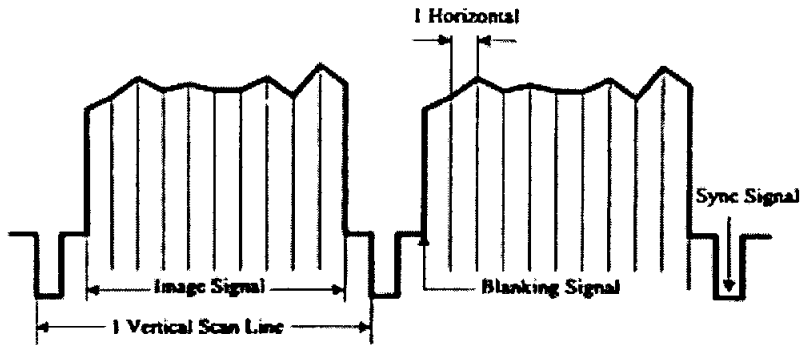
## 2.2 ลักษณะของสัญญาณภาพ

สัญญาณภาพโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นสัญญาณคอมโพสิทีวีดีโอคือ จะประกอบไปด้วยข้อมูลสัญญาณภาพ (Image Signal) , สัญญาณซิงค์ (Sync Signal) และสัญญาณแบลนกกิ่ง (Blanking Signal) โดยลักษณะของสัญญาณดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.12

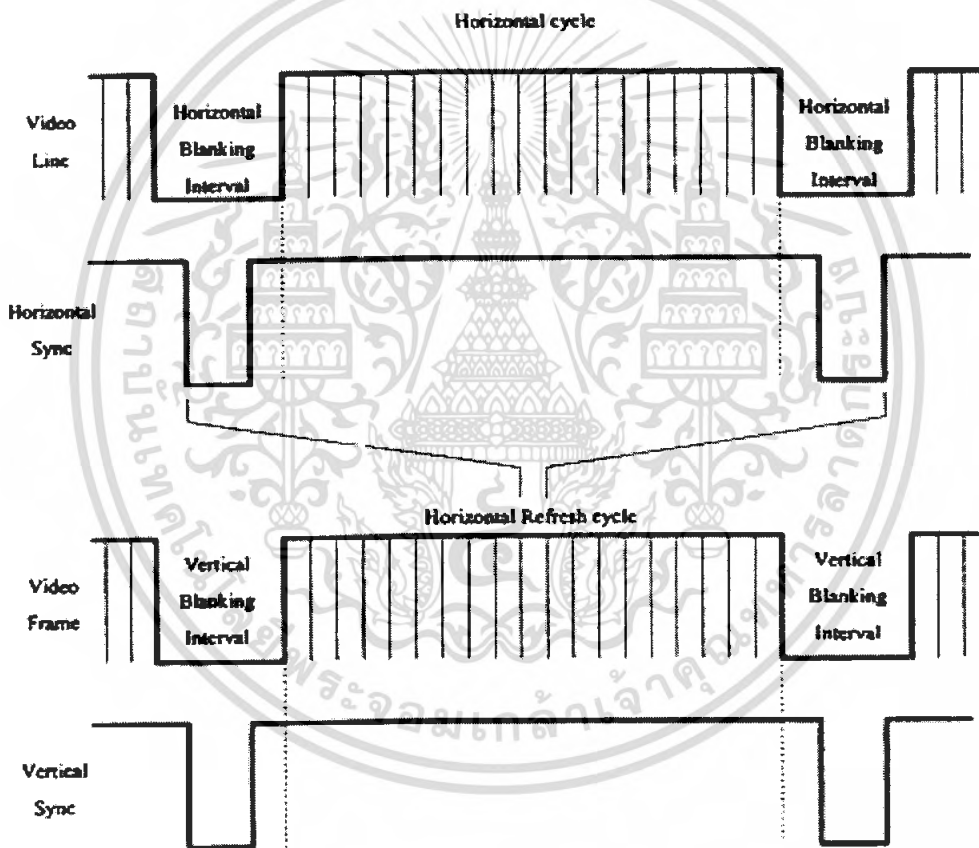


รูปที่ 2.12 ลักษณะของสัญญาณทางค่านวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ลักษณะของสัญญาณทางด้านแนวตั้ง



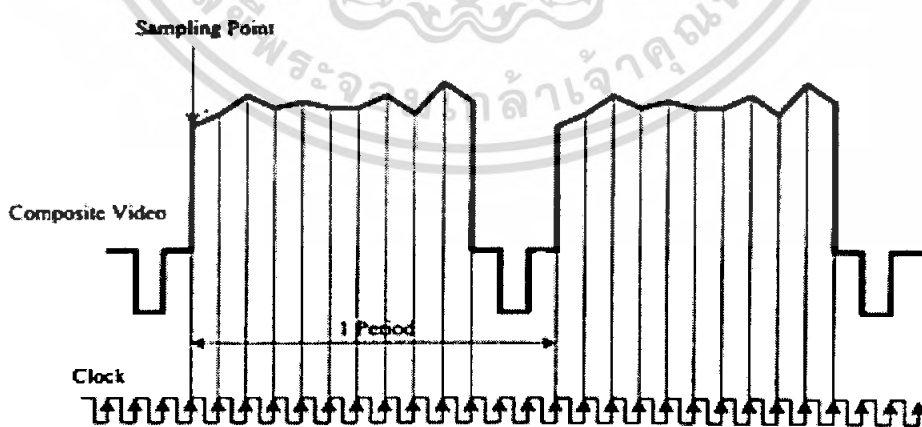
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง

สัญญาณภาพที่แสดงในรูปที่ 2.14 จะเป็นสัญญาณภาพรวมที่ประกอบด้วย เส้นสแกนทางแนวนอนและเส้นสแกนทางแนวตั้ง โดยเส้นสแกนทั้งสองจะประกอบด้วยสัญญาณซิงค์ สัญญาณแบล็กกิ้งและสัญญาณภาพ สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังมอนิเตอร์ทำให้เกิดการสแกนที่หน้าจอ มอนิเตอร์ ซึ่งจะทำให้ปรากฏเป็นภาพขึ้นมา เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเก็บสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์วีดีโอ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสัญญาณอนาล็อกเข้าไปเก็บไว้ยังหน่วยความจำ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้สามารถที่จะจัดเก็บเข้าไปยังหน่วยความจำได้ ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกนั้น ก็ต้องประกอบด้วย ส่วนของการสุ่มตัวอย่างสัญญาณและการควอนไทซ์สัญญาณ (Quantization) หรือการจัดระดับสัญญาณ ซึ่งการจัดระดับสัญญาณนั้นกระทำโดยการนำสัญญาณที่ผ่านการสุ่มสัญญาณแล้วนำมาทำการแปลงให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล โดยสัญญาณภาพที่ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วสามารถที่จะถูกจัดเก็บลงในหน่วยความจำได้ แต่ในการสแกนทางด้านแนวนอนของสัญญาณภาพนั้นจะใช้เวลาในการสแกนที่สั้นมาก ดังนั้นจึงทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนของการเปลี่ยนสัญญาณภาพจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) รวมทั้งการเขียนข้อมูลเข้าไปเก็บยังหน่วยความจำ

ปัญหาแรกคือ ปัญหาในเรื่องของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล การที่สัญญาณภาพมีเวลาที่ใช้ในการสแกนทางด้านแนวนอนที่สั้นมาก ในการจัดเก็บเพื่อให้ได้ความละเอียดของภาพคงเดิม ดังเช่นที่แสดงทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ จำเป็นจะต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอัตราในการสุ่มตัวอย่างที่สูงเพียงพอกับสัญญาณดังกล่าว

ปัญหาที่สองนั้น เกิดจากข้อมูลที่ถูกแปลงแล้วจะนำไปเขียนยังหน่วยความจำซึ่งในการเขียนข้อมูลดังกล่าวนี้ จะต้องมีการจัดเวลาอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นในขั้นตอนของการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ ในการจัดเก็บข้อมูลภาพลงสู่หน่วยความจำนั้นจะอาศัยหลักการจัดเก็บภาพลงหน่วยความจำแบบแอดเดรสเป็นแบบต่อเนื่อง ดังแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เวลาในการสุ่มสำหรับเส้นสแกนทางแนวนอนของสัญญาณคอมพิวเตอร์วีดีโอ

จากรูปที่ 2.15 ถ้าหากเป็นสัญญาณภาพที่ได้รับจากสัญญาณคอมโพสิทวิดีโอทุกๆ ไปตัวอย่างเช่น สัญญาณวิดีโอในระบบ NTSC (The National Television System Committee) จะพบว่าใน 1 เส้นสแกนทางแนวนอนจะใช้เวลาทั้งสิ้น 64 ไมโครวินาที แต่เนื่องจากส่วนที่เป็นสัญญาณภาพจริงๆ จะประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของสัญญาณทั้งหมดคือ  $64 \times 0.8 = 51.2$  ไมโครวินาที ส่วนที่เหลือดังกล่าวจะเป็นสัญญาณในช่วงแบล็กกิ้งและถ้าหากต้องการที่จะทำการจัดเก็บสัญญาณในแต่ละเส้นสแกนทางแนวนอนให้มีจุดภาพทั้งสิ้น 512 จุดภาพ ก็จำเป็นจะต้องใช้เวลาในการเขียนข้อมูลภาพแต่ละจุดภาพลงสู่หน่วยความจำเท่ากับเวลาในการเขียนข้อมูลภาพแต่ละจุดภาพ =  $51.2 \mu\text{S} / 512$

$$= 100 \text{ nS}$$

เวลาดังกล่าวเป็นค่า ACCESS TIME ของหน่วยความจำที่นำมาใช้ โดยค่าความจุของหน่วยความจำที่ใช้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนเส้นสแกนต่อหนึ่งเฟรมกับจุดภาพในหนึ่งเส้นสแกนทางแนวนอนคือ ความจุของหน่วยความจำ = จำนวนเส้นสแกน  $\times$  จำนวนจุดภาพในหนึ่งเส้นสแกนทางแนวนอน

$$= 512 \times 512$$

$$= 256 \text{ kByte}$$

### 2.3 องค์ประกอบของภาพ

หากเราตัดภาพจากหนังสือพิมพ์สักภาพหนึ่งแล้วขยายขึ้นด้วยกล้องหรือแว่นขยาย จะพบว่าภาพมีองค์ประกอบมาจากจุดสีขาวแล้วดำมากมายมาเรียงกันประกอบขึ้นเป็นภาพ จุดเหล่านี้เองที่เรียกว่าเป็นองค์ประกอบของภาพหรือ พิกเจอร์ อีลิเมนต์ หรือ พิกเซล ทำนองเดียวกันภาพที่ปรากฏทางจอภาพก็เอามาจากหลักการนี้ ภาพที่เกิดขึ้นบนจอภาพหรือจอโทรทัศน์ประกอบด้วยเส้นขวางเล็กๆ ในแนวนอนเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นนั้นมีทั้งส่วนที่ดำสนิท ส่วนที่จางและส่วนที่สว่างรวมกัน เส้นเหล่านี้เราได้มาจากการกวาดลำแสง (Scan) ความแตกต่างกันบนเส้นกวาดลำแสงหรือเส้นสแกนเหล่านี้เองที่เราจัดว่าเป็นองค์ประกอบภาพ

ระบบสแกน 525 เส้น เราจะแบ่งส่วนแนวตั้งได้ 700 เส้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าหากจะหาจำนวนขององค์ประกอบภาพในระบบการสแกน 525 เส้น แล้วจะได้เท่ากับ  $525 \times 700$  เท่ากับ 367,500 พิกเซล ยิ่งภาพมีจำนวนเส้นมากเท่าไรรายละเอียดภาพก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น จอภาพที่มีจำนวนเส้นสแกนมากย่อมได้รายละเอียดหรือความชัดเจนของภาพมากกว่าแต่การออกแบบวงจรจะยากตามไปด้วย เนื่องจากแบนด์วิดท์ของความถี่จะต้องกว้างขึ้นด้วย จากที่กล่าวมาว่าองค์ประกอบของภาพมีหลายพิกเซลแต่ในความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริงแล้วเรามองเห็นได้ไม่ครบทุกพิกเซล เนื่องจากมีบางส่วนหายไประหว่างการสแกนจากการทดสอบจะพบว่าภาพที่พอดูได้จะมีองค์ประกอบไม่ต่ำกว่า 200,000 พิกเซล

ระบบที่ใช้อยู่ในประเทศไทยปัจจุบันเราใช้ระบบการสแกน 625 เส้น 25 ภาพต่อวินาที จึงทำให้แบนด์วิดท์ต้องกว้างถึง 7 เมกะเฮิร์ตซ์ ในขณะที่ระบบ 525 เส้น กว้างเพียง 6 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่านั้น อย่างไรก็ตามองค์ประกอบภาพจะมีความละเอียดมากขึ้น โดยสามารถหาลององค์ประกอบภาพได้จากค่าจำนวนสแกน 625 เส้น คูณกับจำนวนจุดหรือองค์ประกอบตามแนวตั้ง 852 เส้น ได้เท่ากับ 531,875 พิกเซล ปัจจุบันส่วนที่เรียกว่าองค์ประกอบภาพได้ถูกนำเอาไปใช้งานอย่างเป็นทางการมากขึ้น ในส่วนโทรทัศน์หรือเครื่องเล่นวีดีโอคาสเซตเรคคอร์ดเดอร์ซึ่งจะมีการนำเอาพิกเซลเหล่านี้เก็บไว้ในหน่วยความจำ เพราะข้อมูลที่เป็นพิกเซลเท่านั้นที่ระบบดิจิทัลจะจัดการข้อมูลได้ เราจะพบว่าวิธีการนี้ในโทรทัศน์ระบบดิจิทัล, โทรทัศน์ระบบคอมพิวเตอร์, โทรทัศน์จอภาพแอลซีดี, ดิจิตอล วิซีอาร์, โทรทัศน์หรือวีซีอาร์ ระบบซ้อนภาพ ฯลฯ

ในปัจจุบันสำหรับโทรทัศน์ธรรมดาเราจะพบว่ามีการเพิ่มเส้นภาพให้มากขึ้นและแน่นอนว่าจำนวนพิกเซลย่อมมากขึ้นด้วย อย่างโทรทัศน์จอใหญ่หรือโทรทัศน์ที่ต้องการรายละเอียดสูงอย่าง HDTV อาจจะต้องใช้เส้นสแกนมากกว่า 625 เส้น เช่นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ 725 เส้น หรืออย่างเครื่องฉายวีดีโอโปรเจกเตอร์จะใช้เส้นภาพ 2,200 เส้นภาพ และหากเป็นจอใหญ่หลายร้อยนิ้วจะต้องเพิ่มรายละเอียดมากขึ้นอีกนั่นคือการเพิ่มพิกเซลอีลิเมนต์นั่นเอง

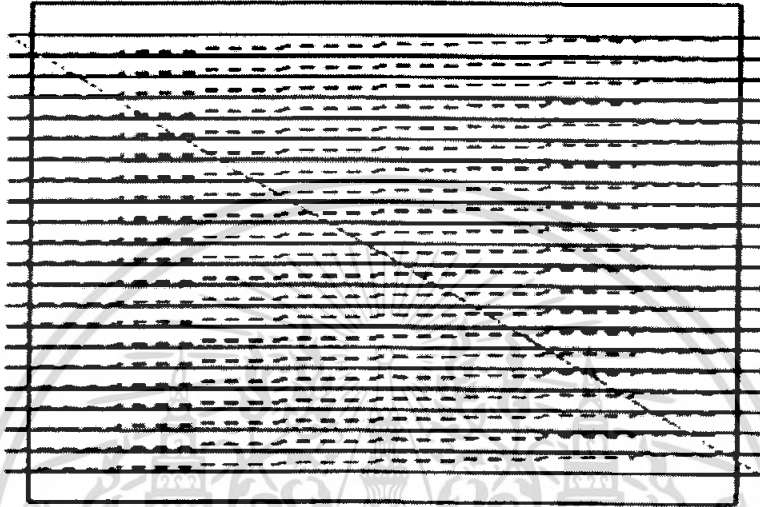
#### 2.4 การสแกนภาพและเรื่องที่เกี่ยวข้อง

ภาพบนจอหลอดภาพของเครื่องรับโทรทัศน์สีโดยทั่วไปจะประกอบด้วยเส้นขวางเล็กๆ ในแนวนอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละเส้นเหล่านี้มีทั้งส่วนที่ดำสนิทหรือมีสีเข้มส่วนที่ดำจางหรือมีสีจางและส่วนที่สว่างมากปะปนกันอยู่ เส้นขวางเล็กๆ ในแนวนอนเหล่านี้มีชื่อเรียกว่าเส้นสแกน เส้นเหล่านี้ประกอบไปด้วยจุดเล็กๆ ซึ่งมีทั้งมืดและสว่างปะปนกันอยู่ ภาพที่ปรากฏบนจอหลอดภาพจึงประกอบด้วยจุดเล็กๆ ที่มีระดับของความสว่างแตกต่างกันเป็นจำนวนมาก จุดเล็กๆ เหล่านี้เรียกว่าส่วนประกอบของภาพหรือ พิคเจอร์ อีลิเมนต์ ซึ่งมีส่วนสำคัญกับความละเอียดของภาพเช่นเดียวกับจุดคำหรือจุดเล็กๆ ในรูปภาพของสิ่งตีพิมพ์ ภาพที่เห็นบนจอหลอดภาพจะเห็นละเอียดย่นาคูหากจำนวนจุดเล็กๆ หรือจำนวนเส้นสแกนในแนวนอนมากเพียงพอ อย่างไรก็ตามภาพที่เห็นบนจอหลอดภาพจะมองละเอียดหรือหยาบไม่น่าดูอย่างไรนั้น ยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอีกหลายอย่างเช่น ความสว่างของภาพและระยะทางที่มองดูภาพ เป็นต้น สำหรับโทรทัศน์ระบบอเมริกันซึ่งมีจำนวนเส้นสแกนน้อยกว่า แต่ถ้ามองดูภาพในระยะห่างประมาณ 4-8 เท่า ของความสูงของภาพแล้วก็จะรู้สึกได้ว่าภาพพอใช้ได้เหมือนกัน จุดที่เห็นสว่างใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดภาพของจอภาพเกิดขึ้นเพราะอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแคโทดถูกดึงดูดให้วิ่งเป็นลำไปกระทบแอโนดหรือจอหลอดภาพ ซึ่งฉาบวัสดุเรืองแสงบางชนิดเอาไว้การสแกนหลอดภาพมี 2 วิธีคือ

- 1) การสแกนแบบก้าวหน้า (Progressive scanning)
- 2) การสแกนแบบสลับเส้น (Interlaced scanning)



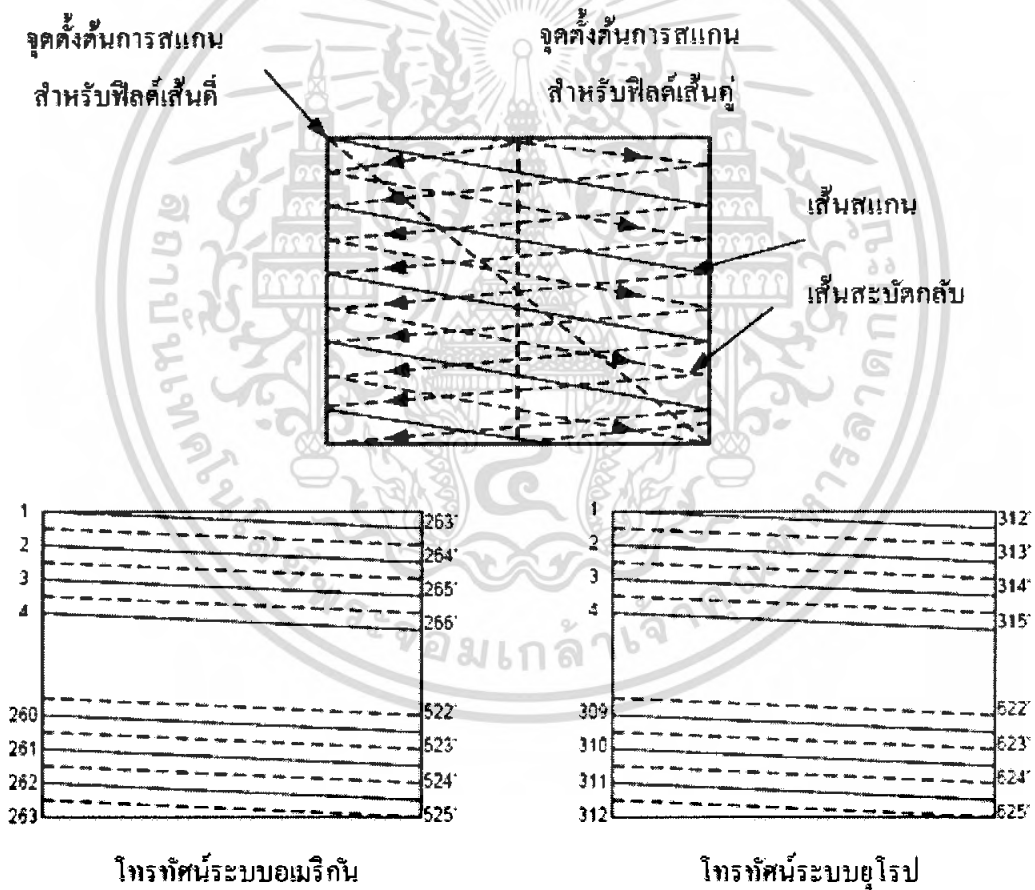
รูปที่ 2.16 การสแกนจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง

การที่จะให้การสแกนมีความต่อเนื่องขององค์ประกอบภาพดังที่กล่าวมาแล้วจะต้องคำนึงถึงหลัก 3 ประการคือ

- 1) ถ้าอิเล็กตรอนที่กวาดในแนวนอน (Horizontal scanning) ในแต่ละครั้งจะต้องครอบคลุมองค์ประกอบภาพทั้งหมดของเส้นนั้นๆ
- 2) ในแต่ละเส้นของการสแกนถ้าอิเล็กตรอน ถ้าแสงจะต้องกวาดกลับไปยังด้านซ้ายเพื่อเริ่มต้นเส้นภาพทางแนวนอนลำดับต่อไป เวลาของการสลับกลับเราเรียกว่า “รีเทรช” หรือ ฟลายแบ็ค ในกรณีดังกล่าวจะต้องไม่มีข้อมูลภาพใดๆ เพราะว่ามันต้องถ่ายและหลอดภาพจะเกิดการเบสลงต่อเอาที่ในขณะนั้น
- 3) ในขณะที่เส้นสแกนสลับกลับมาเพื่อเริ่มต้นทางซ้ายใหม่ ตำแหน่งทางแนวตั้งต้องต่ำกว่าตำแหน่งเดิมเพื่อทำให้การสแกนเส้นต่อไปไม่ทับกัน ทั้งนี้โดยการควบคุมของสัญญาณในแนวตั้ง (Vertical scanning)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสแกนที่ใช้ในเครื่องรับโทรทัศน์ ถึงแม้เราจะพบว่าหากให้มีการเรียงภาพเกินกว่า 16 ภาพต่อวินาที แล้วสายตาจะเห็นเป็นภาพต่อเนื่อง จากการทดลองเส้นภาพเราพบว่าแม้ภาพที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้น 24 ภาพต่อวินาทีแล้วก็ตาม ก็ยังมีการกระพริบ (Flicker) เกิดขึ้นเนื่องจากว่าในขณะที่การสแกนเริ่มจากขอบบนลงมาด้านล่าง (ซึ่งคล้ายกับการเขียนหนังสือเริ่มจากซ้ายไปขวา บนลงล่าง) เมื่อเส้นสแกนลงมาถึงขอบด้านล่างแสงทางด้านบนในความรู้สึกของมนุษย์จะเริ่มมืดกว่าด้านล่าง เวลาที่ลำแสงการสแกนวกกลับไปด้านบนด้านล่างก็เกิดปัญหาเช่นเดียวกัน ความรู้สึกต่อกรณีนี้คือเกิดแสงกระพริบหรือวูบวาบขึ้น จึงต้องใช้สแกนสลับเส้นหรือบางคนเรียกว่าการสแกนแบบสอดแทรก โคนครั้งแรกจะสแกนฟิลด์คู่ (Even line trace) เป็นการสแกนแบบเส้นเว้นเส้นนั่นหมายความว่า การได้ภาพหนึ่งภาพหรือที่เรียกว่าภาพหนึ่งเฟรมต้องใช้การสแกนถึง 2 ครั้งหรือ 2 ฟิลด์



รูปที่ 2.17 การสแกนสองครั้งสำหรับภาพนิ่งแต่ละภาพ โดยแบ่งหนึ่งเฟรมออกเป็นสองฟิลด์

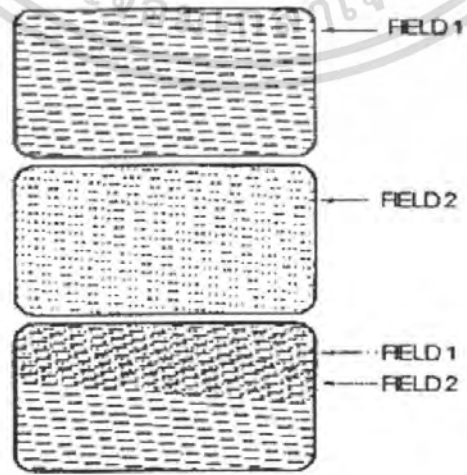
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 รูปที่เกิดจากการสแกนฟิล์มคู่ (Even line trace)



รูปที่ 2.19 รูปที่เกิดจากการสแกนฟิล์มคี่ (Odd line trace)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.20 การรวมฟิลด์ 1 และฟิลด์ 2 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์

สแต็ปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีลักษณะพิเศษเป็นตัวต้นกำลังแบบดิจิทัลที่สำคัญอย่างหนึ่ง สามารถทำงานโดยเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของการเคลื่อนที่ ซึ่งมีอินพุตเป็นกลุ่มของแรงดันไบนารี และเอาต์พุตเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นสแต็ปที่มีค่ามุมคงที่ โดยการจ่ายแรงดันหรือกระแสแก่ขดลวดแต่ละเฟสตามลำดับอย่างถูกต้อง การนำไปใช้งานเมื่อต้องการควบคุมการเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ การเคลื่อนที่แต่ละสแต็ปเกี่ยวข้องกับสัญญาณพัลส์แต่ละอันที่จ่ายแก่ขดลวดสเตเตอร์ทั้งหมด จำนวนสแต็ปที่เคลื่อนที่จะเท่ากับสัญญาณพัลส์ที่จ่ายแก่มอเตอร์ สามารถเคลื่อนที่ทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับการจัดลำดับการจ่ายพัลส์แก่ขดลวด

### 2.5.1 ทำไมต้องใช้สแต็ปปีงมอเตอร์

เพราะในการใช้งานส่วนใหญ่ที่ต้องการตำแหน่งการหมุนและหยุดหมุนของมอเตอร์ที่แม่นยำ และมีความเร็วที่แน่นอนรวมทั้งความต้องการแรงบิดที่แกนของมอเตอร์ที่สูงจึงทำให้เหมาะกับงานที่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งในงานประเภทนี้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ถ้าใช้งานได้ก็ต้องสร้างระบบเพื่อทดขึ้นมาและส่งผลให้เกิดความยุ่งยากในการนำมาใช้งานและคงจะดีเท่าสแต็ปปีงมอเตอร์ไม่ได้ เพราะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงบิดที่แกนต่ำถึงแม้ว่าจะมีความเร็วรอบที่อาจจะสูงกว่าและใช้งานง่ายกว่าก็ตาม ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลเบื้องต้นว่าทำไมจึงต้องนำสแต็ปปีงมอเตอร์มาใช้งานและความจำเป็นที่ต้องใช้งานหรือ ใช้งานอะไรได้บ้าง อาจจะกลายเป็นเหตุผลต่อมา

สแต็ปปีงมอเตอร์สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางเพราะมีหลายขนาด จึงสามารถนำไปใช้ได้แม้กระทั่งในงานจำพวกของเล่น อุปกรณ์ใช้งานในรถยนต์ ในกล้องวิดีโอหรือกล้องถ่ายรูปในแบบที่เป็นการซูมอัตโนมัติรวมถึงการประยุกต์ใช้ในระบบสาขาอากาศวิทยุติดรถยนต์ที่เป็นแบบชักขึ้น - ลงอัตโนมัติและการใช้งานในลักษณะที่ต้องการ โครงสร้างของมอเตอร์ที่แข็งแรง ใช้ในการควบคุมการปรับมุมยกหรือมุมในส่วนต่างๆของกล้องโทรทรรศน์ให้ทำงานในลักษณะอัตโนมัติหรือโปรแกรมการทำงานในลักษณะอัตโนมัติเป็นต้น นอกจากนั้นแล้วสแต็ปปีงมอเตอร์ถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับวงจรควบคุมการทำงานในลักษณะอื่นก็ยิ่งเห็นประโยชน์มากมายขึ้นอีก และสามารถที่จะควบคุมลักษณะการหมุนได้ทั้งแบบหมุนต่อเนื่อง หมุนทีละสแต็ปสำหรับการค้นหาตำแหน่งที่แน่นอนในการประยุกต์ใช้งานลักษณะเป็นตัวควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง



รูป 2.21 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น



รูป 2.22 สเต็ปป์มอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น

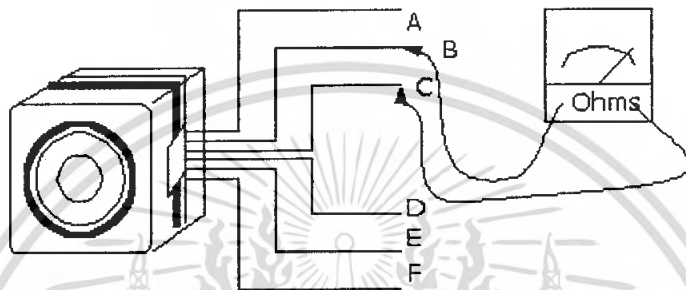
สเต็ปป์มอเตอร์ปัจจุบันบางครั้งจะมีแบบ 5 เส้น แต่โดยปกติและส่วนมากแล้วจะมีแบบ 6 เส้น และในบางครั้งอาจพบในแบบ 8 เส้น เท่าที่พบและมีการใช้งานกันมากจะเป็นแบบ 5 และ 6 เส้น

### 2.5.2 วิธีการตรวจสอบหาเฟสของขดลวดสเต็ปป์มอเตอร์

ในขั้นตอนที่ 1 ให้สังเกตว่าสเต็ปป์มอเตอร์ที่นำมาทดลองที่เป็นแบบยูนิโพลาร์ (Uni - Polar Stepping Motor) จะมีจำนวนสาย 5 เส้นหรือ 6 เส้น

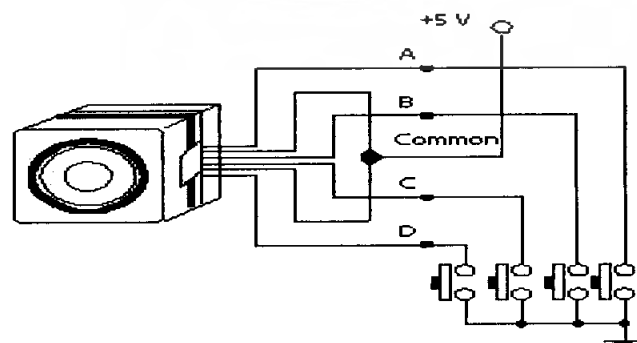
ในขั้นตอนที่ 2 ใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทานของเส้นลวดในแต่ละขดดังรูป 2.23 ขั้นตอนการวัดให้หาสายที่ต่อเป็นจุดร่วม (Common) เสียก่อน โดยให้ใช้มัลติมิเตอร์ตั้งค่าไว้สำหรับการวัดค่าความต้านทานแต่ละเส้นสังเกตที่ค่าความต้านทานถ้าหากเราไม่ได้วัดระหว่างจุดต่อร่วมกับสายแต่ละเส้น ค่าค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานจะมีค่าเป็น 2 เท่าของการวัดระหว่างจุดต่อร่วมกับสายที่ใช้งานตัวอย่างเช่น ถ้าให้จุด B เป็นจุดร่วมหากวัดระหว่างที่จุด A กับจุด B จะมีค่าเท่ากับ 60 โอห์ม แต่ถ้าวัดระหว่างที่จุด A และจุด C ซึ่งไม่ใช่จุดร่วมก็จะได้ค่าเท่ากับ 120 โอห์ม หากเป็นแบบที่มีสาย 6 เส้น ก็จะมีจุดร่วมสองจุดเพราะมีขดลวดคนละชุดกันและสายที่เป็นจุดร่วมส่วนใหญ่จะมีสีเหมือนกัน ทำนองเดียวกันหากเป็นแบบที่มีสาย 5 เส้นก็จะมีจุดร่วมเพียงจุดเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.23 การใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

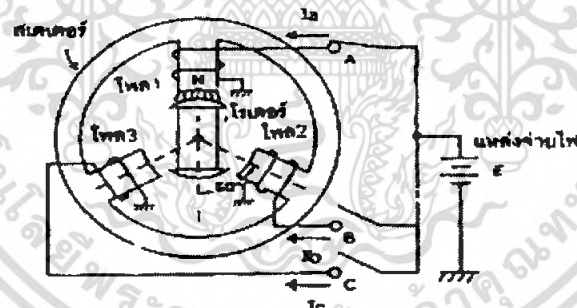
ในขั้นตอนที่ 3 หากเป็นแบบที่มีสาย 6 เส้น ก็ให้ทำการต่อจุดร่วมเข้าด้วยกันจะได้เป็น 5 เส้น แล้วต่อวงจรตามรูปที่ 2.24 หลังจากนั้นให้ทดลองกดสวิตช์ที่ต่อเข้ากับแต่ละจุด โดยเริ่มที่ จุด A จุด B จุด C และจุด D แล้วให้สังเกตการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ว่าหมุนได้ต่อเนื่องหรือไม่ หากมีการกระโดดข้ามสเต็ปก็ให้ทดลองโดยเรียงลำดับการกดสวิตช์ใหม่ จนหาลำดับของสายได้ถูกต้องคือมอเตอร์เดินตามทีละสเต็ปอย่างเป็นลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.24 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบโดยการสวิตช์เพื่อหาลำดับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของสตีปิ้งมอเตอร์

จากรูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบแบบง่าย ๆ ของสตีปิ้งมอเตอร์ ประกอบด้วยขั้วโพลสเตเตอร์ 3 ขั้วและโรเตอร์ 2 ขั้วที่ทำจากเหล็กอ่อน ขดลวดสเตเตอร์ถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยผ่านสวิตช์ 3 ตัว A, B, C เมื่อสวิตช์เปิดวงจรมอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งใดๆ ก็ได้ แต่เมื่อสวิตช์ A ปิดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่สร้างโดยโพล 1 จะดึงดูดโรเตอร์ให้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับโพลเหมือนแสดงในรูป แต่เมื่อเราเปิดสวิตช์ A และปิดสวิตช์ที่ B โรเตอร์ก็จะอยู่ในแนวเดียวกับขั้วโพล 2 ดังนั้นมอเตอร์จะหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา 60 องศา เมื่อเปิดสวิตช์ที่ B และปิดสวิตช์ที่ C จะทำให้โรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับขั้วโพล 3 และหมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นเราสามารถทำให้โรเตอร์หมุนในทิศในทิศทวนเข็มนาฬิกาได้ 60 องศา ต่อสตีปิ้งโดยการเปิดและปิดสวิตช์ไปตามลำดับ A, B, C, A, B, C, .... นอกจากนั้นเรายังสามารถกลับทิศทางการหมุนได้โดยการกลับลำดับการสวิตช์เป็น A, C, B, A, C, B, .... เพื่อให้ตำแหน่งสุดท้ายของโรเตอร์ยังคงอยู่โดยการยังคงปิดสวิตช์ตัวสุดท้ายอยู่ ซึ่งจะทำให้โรเตอร์ยังคงอยู่ที่ตำแหน่งนี้และเป็นการป้องกันการกระทบกระเทือนจากแรงภายนอก ในสถานะคงตัวนี้มอเตอร์ยังคงถูกล็อกอยู่โดยแรงภายนอกไม่มากเกินค่านี้เรียกว่า โหลดตั้งทอร์กของมอเตอร์ ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งต่อไป การเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะถูกกระทบกระเทือนโดยอินเนอร์เซียร์และแรงเสียดทานภายนอกได้

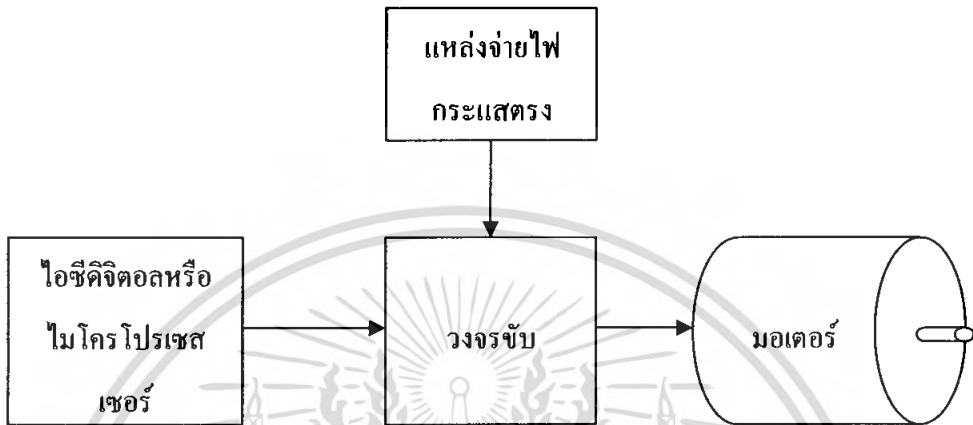


รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบแบบง่าย ๆ ของสตีปิ้งมอเตอร์มุม โรเตอร์เคลื่อนที่ 60 องศา

ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและวงจรรวมมากขึ้น ทำให้การใช้งานสตีปิ้งมอเตอร์ง่ายและสะดวกขึ้น อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ถูกนำมาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์สำหรับควบคุมการจ่ายกระแสให้แก่สตีปิ้งมอเตอร์ และสัญญาณพัลส์ในการควบคุมก็ได้จากอุปกรณ์ดิจิทัลไอซีหรือไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งสะดวกแก่การควบคุม หลักการควบคุมสตีปิ้งมอเตอร์ดังแสดงในรูป 2.26

สาเหตุที่ทำให้สตีปิ้งมอเตอร์มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อดีที่ต่างจากมอเตอร์ประเภทอื่นดังนี้ เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ไม่ต้องการส่วนป้อนกลับของสัญญาณเพื่อควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว จึงสามารถควบคุมแบบวงจรเปิดได้ ทำให้วงจรการควบคุมง่ายและต้นทุนต่ำ
- 2) ไม่มีการสะสมหรือเพิ่มขึ้นของความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการเคลื่อนที่
- 3) สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ดิจิทัลและคอมพิวเตอร์ได้อย่างดี



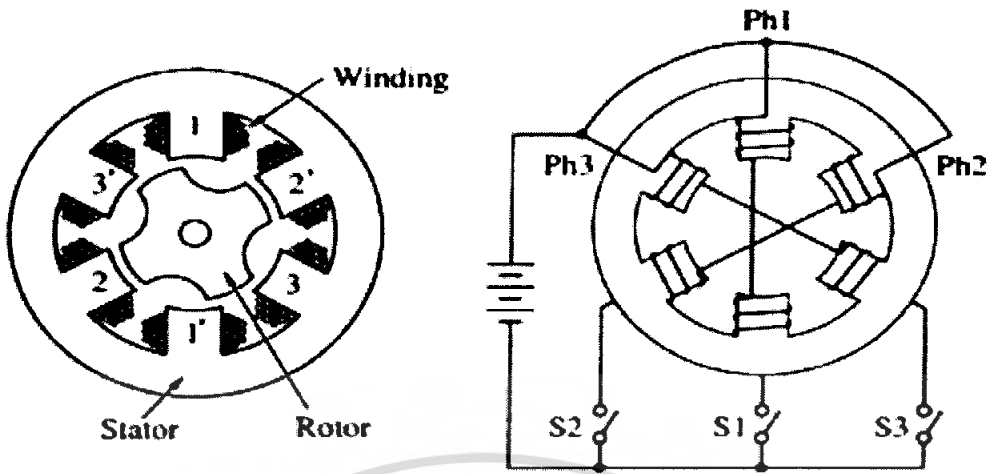
รูปที่ 2.26 หลักการควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

**2.5.4 ประเภทของสเต็ปปีงมอเตอร์**

สเต็ปปีงมอเตอร์แบ่งออกเป็นหลายประเภทที่สอดคล้องกับลักษณะ โครงสร้างทางกลและหลักเกณฑ์การทำงานดังต่อไปนี้

**1) สเต็ปปีงมอเตอร์ประเภทค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ (Variable Reluctance Stepping Motor)**

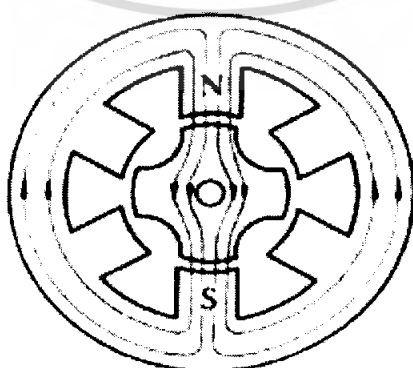
สเต็ปปีงมอเตอร์ประเภทค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้หรือเรียกว่า วีอาร์ - สเต็ปปีงมอเตอร์ เป็นประเภทสเต็ปปีงที่ง่ายที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจพื้นฐานจะใช้มอเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งเป็นมอเตอร์ 3 เฟส มีฟันซี่สเตเตอร์เท่ากับ 6 ฟันที่อยู่ตรงข้ามกัน 2 ซี่ทำมุมกัน 180 องศาจะเป็นเฟสเดียวกัน ขดลวด (Winding) ที่พันอยู่บนซี่ฟันแต่ละคู่จะต่อกันแบบอนุกรมหรือขนาน (ในรูปจะต่อแบบอนุกรม) โรเตอร์มีฟันซี่เท่ากับ 4 ปกติแล้วแกนของสเตเตอร์และโรเตอร์เป็นแผ่นเหล็กบางๆ ที่มีส่วนผสมของซิลิกอนวางซ้อนกัน (Laminate Silicon Steel) แต่โรเตอร์ที่ทำจากแท่งเหล็กซิลิกอนจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่า วัสดุที่ใช้ทำสเตเตอร์และโรเตอร์ต้องมีค่าซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability) สูง และให้เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux) ผ่านได้ง่ายเพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force) สูงสุด



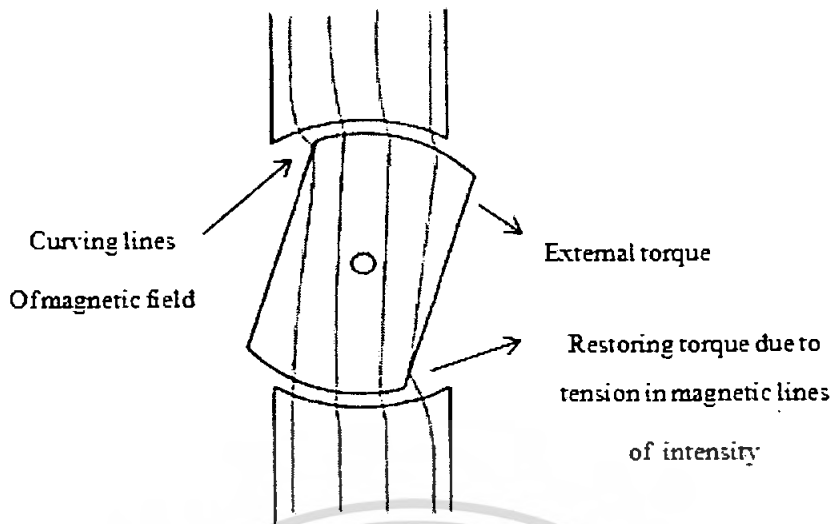
รูปที่ 2.27 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทค่ารีลัคแตนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส

ในรูปที่ 2.27 สมมติให้ฟันซี่แต่ละคู่ของสเต็ปิ่งมอเตอร์มีขั้วที่ตรงกันข้ามกันคือ 1, 2, 3 เป็นขั้วเหนือ (N) และ 1', 2', 3' เป็นขั้วใต้ (S) เมื่อแต่ละเฟสถูกกระตุ้นให้ทำงาน

กระแสในแต่ละเฟสจะถูกควบคุมโดยการเปิดและปิดสวิตซ์ตามลำดับ ถ้ากระแสถูกจ่ายให้เฟส 1 หรือพูดว่าเฟส 1 ถูกกระตุ้นฟลักซ์แม่เหล็กจะเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.28 โดยที่ฟันโรเตอร์คู่หนึ่งจะมีตำแหน่งตรงกับซี่ฟัน 1 และ 1' ของสเตเตอร์ เมื่อโรเตอร์อยู่แนวเดียวกับสเตเตอร์ค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Magnetic reluctance) จะมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งที่ตำแหน่งนี้มอเตอร์จะหยุดหรือเรียกว่าตำแหน่งสมดุลเมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำกับโรเตอร์ให้ออกจากตำแหน่งสมดุลในทิศตามเข็มนาฬิกา จะมีแรงบิดที่ต้านแรงบิดภายนอก เรียกว่า แรงบิดรีสตอริง (Restoring torque) ที่มีทิศวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.29

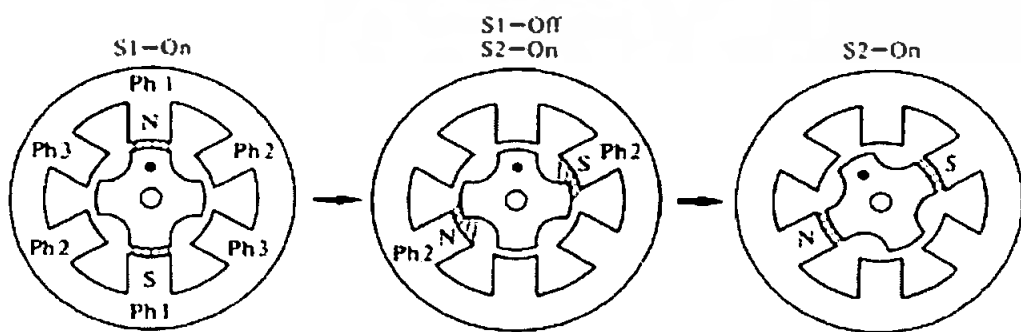


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.28 ตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสที่ 1 ถูกกระตุ้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



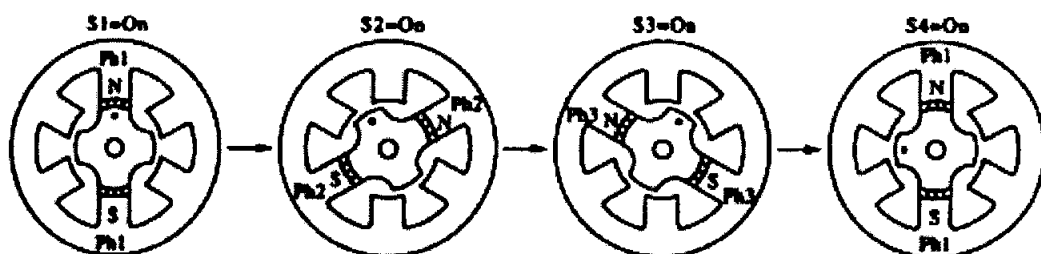
รูปที่ 2.29 แรงบิดรีสตอริงที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกา

ในภาพนี้แรงบิดภายนอกมีทิศทวนเข็มนาฬิกาทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางดังกล่าวด้วยแรงบิดรีสตอริงจะมีทิศทวนเข็มนาฬิกาตรงกันข้ามกับแรงบิดภายนอกเพื่อรักษาตำแหน่งโรเตอร์ให้ตรงกับตำแหน่งซึ่งพื้นของสเตเตอร์มากที่สุด ขณะที่ตำแหน่งซึ่งพื้นของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งสมดุลของเฟสที่ถูกกระตุ้นค่าความต้านทานแม่เหล็กจะมีค่ามาก จากรูปที่ 2.30 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ขณะที่เฟส 1 ถูกเปิดออกและเฟสที่ 2 ถูกจ่ายกระแสทันที ค่าความต้านทานแม่เหล็กของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นทันที โรเตอร์จะเคลื่อนที่เป็นสเต็ปด้วยมุม 30 องศา ในทิศทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้ความต้านทานแม่เหล็กมีค่าน้อยที่สุด การเคลื่อนที่ผ่านมุมสเต็ปเมื่อมีการสวิตซ์การกระตุ้นแต่ละครั้งเรียกว่า “สเต็ป” หลังจากโรเตอร์เคลื่อนที่ครบ 3 สเต็ป โรเตอร์จะเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งจุดเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.30 การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ขณะที่เฟสที่ 1 ถูกเปิดออกและเฟสที่ 2 ถูกจ่ายกระแสทันที

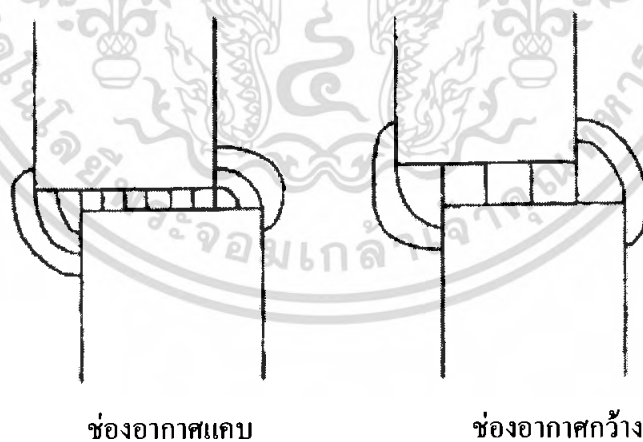
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การเคลื่อนที่สเต็ปครบรอบของสเต็ปปั๊มมอเตอร์ประเภทรีล็กแดนซ์แปรค่าได้

โครงสร้างพื้นฐานของสเต็ปปั๊มมอเตอร์ประเภทรีล็กแดนซ์แปรค่าได้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ช่องว่างอากาศ (Air gap) ควรแคบที่สุด ซึ่งหมายถึง ช่องว่างระหว่างซี่ฟันโรเตอร์และสเตเตอร์ในสเต็ปปั๊มมอเตอร์ควรจะแคบที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้เกิดค่าแรงบิด (Torque) สูงสุดและตำแหน่งโรเตอร์มีความเที่ยงตรงสูง ในรูปที่ 2.32 เปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างสเต็ปปั๊มมอเตอร์ที่มีช่องว่างอากาศกว้างและแคบ จะเห็นว่าช่องว่างอากาศที่แคบจะให้จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กหนาแน่นมากกว่าช่องอากาศที่กว้าง หมายความว่า แรงบิดที่ได้ก็จะสูงกว่าด้วยและผลที่ตามมาคือความเที่ยงตรงของตำแหน่งโรเตอร์ก็จะสูงตามไปด้วย โดยทั่วไปขนาดของช่องว่างอากาศจะมีค่าประมาณ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.32 เปรียบเทียบลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของสเต็ปปั๊มมอเตอร์ที่มีช่องอากาศแคบและกว้าง

2. ขนาดมุมสเต็ปที่เล็ก โครงสร้างของสเต็ปปั๊มมอเตอร์ประเภทรีล็กแดนซ์แปรค่าได้ขนาด 3 และ 4 เฟส จะมีขนาดมุมสเต็ปเท่ากันคือ 15 องศาต่อสเต็ป แต่จะมีโครงสร้างต่างกันซึ่งขนาด 3 เฟส มีซี่

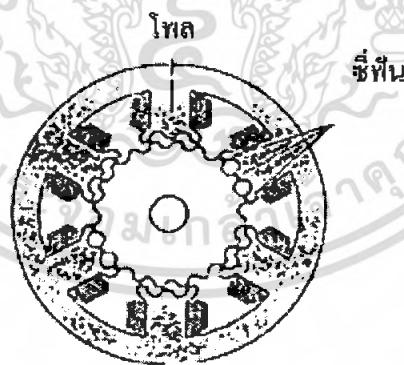
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟันของสเตเตอร์จำนวน 12 ซี่และโรเตอร์จำนวน 8 ซี่ ส่วนขนาด 4 เฟสจะมีซี่ฟันของสเตเตอร์จำนวน 8 ซี่ และโรเตอร์จำนวน 6 ซี่

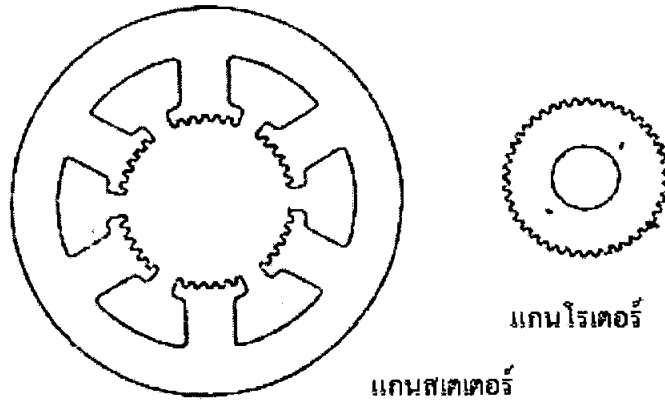
ความสัมพันธ์ของขนาดมุมสเต็ป( $\theta_s$ ), จำนวนเฟส( $m$ ), จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์( $N_r$ ), จำนวนสเต็ป( $S$ )ได้จากสมการที่ (2 – 10) ต่อไปนี้

$$S = \frac{360}{\theta_s} = mN_r \quad (2 - 10)$$

จากสมการที่ 2.10 ถ้าต้องการลดขนาดสเต็ป( $\theta_s$ ) จะต้องเพิ่มจำนวนซี่ฟันโรเตอร์ให้สูงขึ้น แต่ถ้าต้องเพิ่มจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ให้สูงขึ้นจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ก็ต้องเพิ่มตามไปด้วย ดังหลักการที่ได้กล่าวผ่านมาแล้วแต่จะเห็นว่า จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ไม่ปรากฏในสมการข้างบน ซึ่งที่จริงแล้วสเต็ปปิ้งมอเตอร์ประเภทนี้ที่มีสเต็ปเล็กจะมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.33 จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์( $N_r$ ) เท่ากับ 20,  $m$  คือจำนวนเฟสเท่ากับ 3 ในกรณีนี้มอเตอร์เคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ด้วยจำนวนสเต็ป  $3 \times 20 = 60$  สเต็ป มุมสเต็ปเป็น  $360 / 60 = 6$  ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.33 และแสดงอีกลักษณะหนึ่งของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดที่มีความละเอียดของขนาดสเต็ปสูง รูปที่ 2.34 เป็นมอเตอร์ 3 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์เพิ่มเป็น 44 ซี่ จำนวนสเต็ปต่อรอบ 132 สเต็ป รูปที่ 2.35 มอเตอร์ 4 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์เพิ่มเป็น 50 ซี่ มุมสเต็ป 1.8 องศา จำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 สเต็ป



รูปที่ 2.33 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟัน 2 ซี่ บนแต่ละสเตเตอร์โพล จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 20 ซี่ และมีมุมสเต็ป 6 องศา



รูปที่ 2.34 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 44 ซี่ และมีจำนวนสเต็ปต่อรอบ 132 สเต็ป

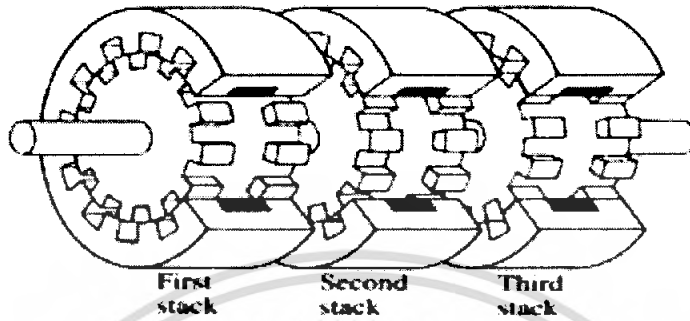


รูปที่ 2.35 ภาพตัดขวางมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 3 เฟส จำนวนซี่ฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเต็ป 1.8 องศา และจำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 สเต็ป

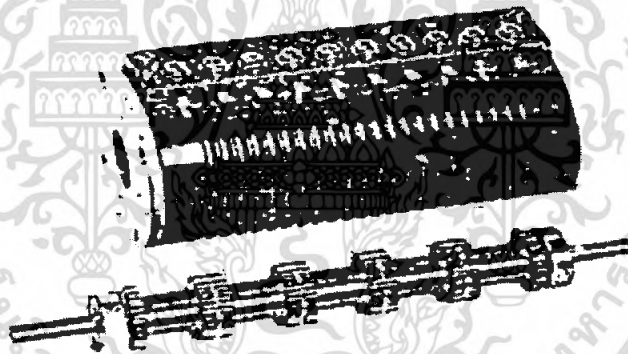
3. สเต็ปปิ้งมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ประเภทหลายสเตค ที่ผ่านมาเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดแปรค่าได้ชนิดสแตกเดี่ยวคือ จำนวนเฟสทั้งหมดจะอยู่ที่สแตกเดี่ยวส่วนชนิดหลายสแตกนั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.36 ซึ่งเป็นประเภท 3 สแตก ถ้ากระตุ้นให้เฟส (สแตก) ที่ 3 ทำงาน ซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ของเฟสนั้นจะมีตำแหน่งตรงกัน ส่วนเฟสอื่นๆ ตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่ตรงกัน ซึ่งในภาพนี้จะห่างจากตำแหน่งสมมูลเมื่อมีเฟสที่ 3 ถูกกระตุ้นเท่ากับ  $1/3$  เท่าของระยะซี่ฟัน (Tooth pitch) จากนั้นเปลี่ยนการกระตุ้นจากเฟสที่ 3 ไปเฟสที่ 1 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 1 สเต็ป แต่ถ้ากระตุ้นจากเฟสที่ 3 ไปเฟสที่ 2 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 1 สเต็ป นอกจากนี้ยังมีแบบประเภท 5 สแตก แสดงดังรูปที่ 2.37 ซึ่งจะเป็น 5 เฟส แสดงโครงสร้างดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ผ่านการอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

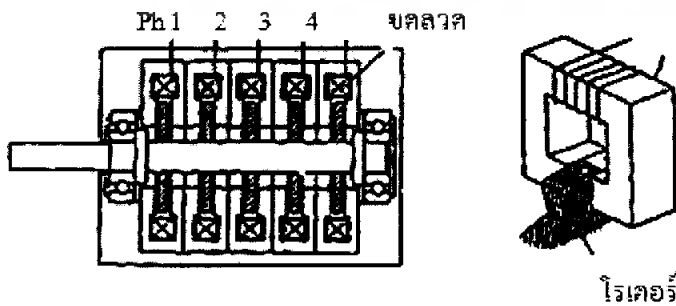
2.38 ออกแบบมาเพื่อนำไปใช้งานด้านน้ำมันเมอริคอลลอนโทรล ซึ่งในรูปที่ 2.38 แสดงหลักการของมอเตอร์ประเภทนี้จะเห็นว่า ชีฟฟันของโรเตอร์จะถูกขนาบด้วยชีฟฟันของสเตเตอร์เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดสูงนั่นเอง



รูปที่ 2.36 โครงสร้างของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ชนิดหลายสแตค



รูปที่ 2.37 โรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ 5 สแตค



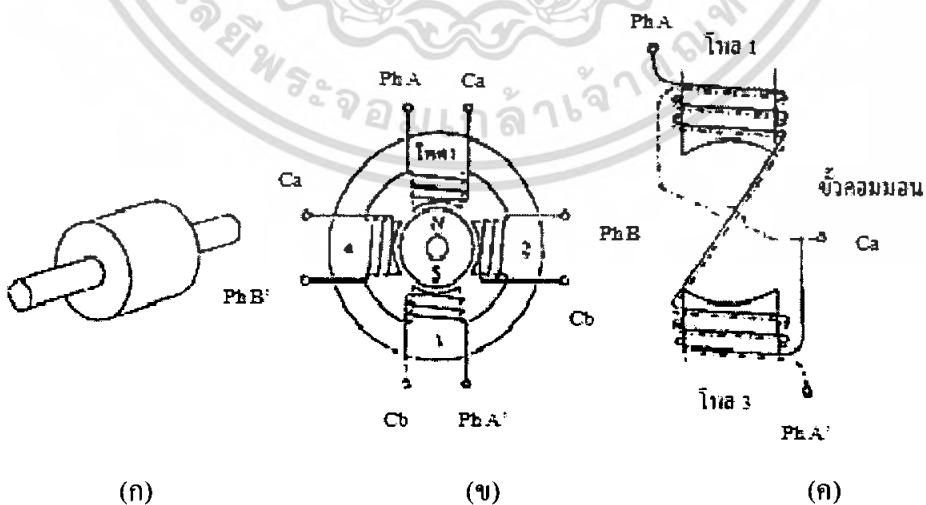
เอกสารนี้รูปที่ 2.38 โครงสร้างของมอเตอร์ประเภทคาร์ลิกแดนซ์แปรค่าได้ชนิด 5 สแตคแบบเซนวิสด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepping Motor หรือ PM Stepping Motor)

สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทที่โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรถูกเรียกว่า “สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทแม่เหล็กถาวร” แสดง โครงสร้างเบื้องต้นดังรูปที่ 2.39 ซึ่งใช้โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรแบบกระบอกมีสเตเตอร์ 4 โพลหรือซี่ฟัน แต่ละซี่ฟันจะมีขดลวดพันล้อมรอบอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.44 (ก) และ (ข) ตามลำดับ รูปที่ 2.44 แสดงการพันขดลวดจริงซึ่งเรียกว่า “การพันแบบไบพอลาร์” โดยขดลวดสองเส้นวางทับกันถูกพันในลักษณะพันแบบเส้นเดียวบนโพล 1 และ โพล 3 โดยขดลวดสองเส้นนี้ถูกแยกออกจากกันเป็นอิสระ ที่ปลายแต่ละข้างและที่ปลายขั้วอีกข้างหนึ่งที่เขียนว่า Ca , Cb จะต่อเป็นขั้วร่วมต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งแสดงดังรูปการสวิตซ์ในรูปที่ 2.40 เมื่อขดลวด Ph A ที่เป็นเส้นที่บ (รูปที่ 2.40) ถูกกระตุ้นโพล 1 จะเป็นขั้วเหนือ (N) และโพล 2 เป็นขั้วใต้ (S) ถ้า Ph A' ถูกกระตุ้นขั้วจะกลับกัน การกระตุ้น ตามลำดับ Ph A, Ph B, Ph A', Ph B' โรเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกาเหมือนแสดงดังรูปที่ 2.41 จะทำให้มีมุมการสเต็ป 90 องศา ถ้าจำนวนฟันของสเตเตอร์และขั้วแม่เหล็กเพิ่มเป็น 2 เท่า จะทำให้มุมการสเต็ปเป็น 45 องศา มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรจะมีแรงบิดมากกว่าแบบค้ำรีล็คแทนซ์แปรค่าได้เมื่อมีขนาดเท่ากัน

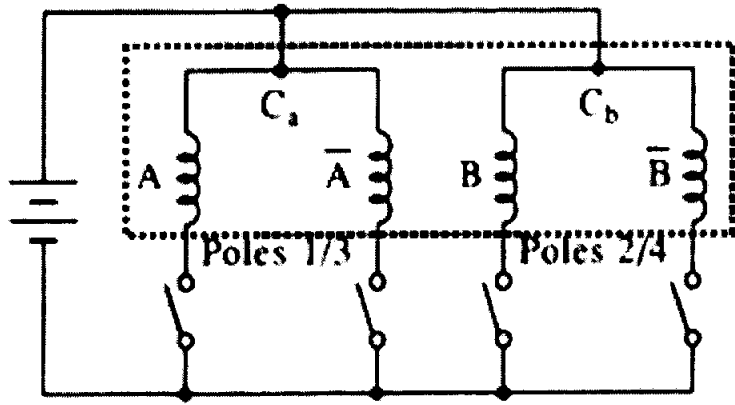
ความสัมพันธ์ของขนาดมุมสเต็ป( $\theta_s$ ), จำนวนเฟส(m), จำนวนของโพล(P), จำนวนสเต็ป(S)ได้จากสมการที่ (2 – 11) ต่อไปนี้

$$S = \frac{360}{\theta_s} = mP \tag{2 – 11}$$

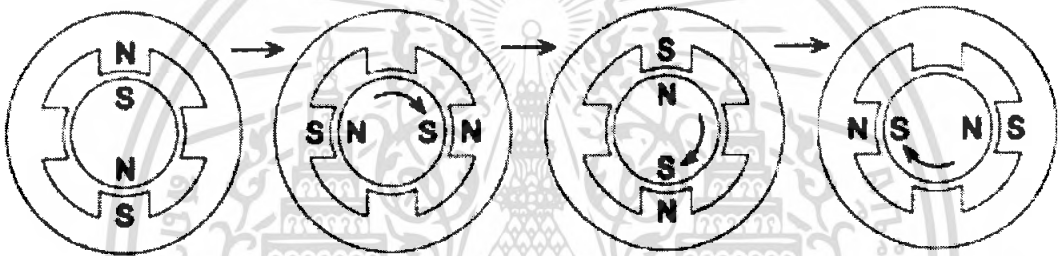


รูปที่ 2.39 โครงสร้างเบื้องต้นของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 การต่อวงจรขั้วอย่างง่ายสำหรับมอเตอร์ 2 เฟส



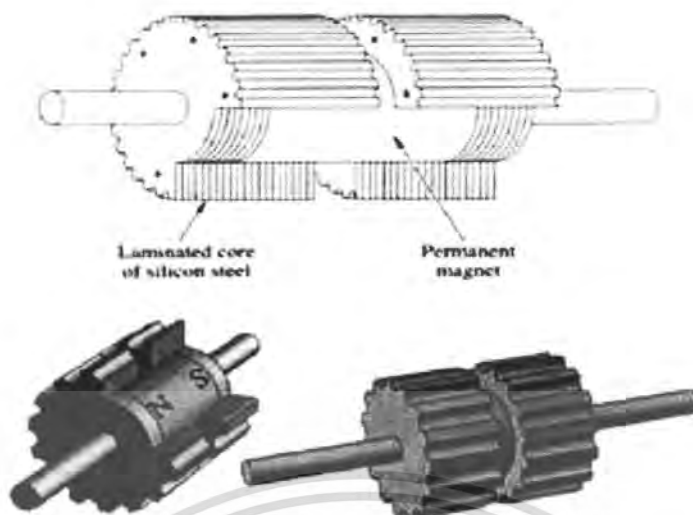
รูปที่ 2.41 การเคลื่อนที่ของโรเตอร์เมื่อถูกกระตุ้นในทิศตามเข็มนาฬิกา

### 3) สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทไฮบริด (Hybrid Stepping Motor)

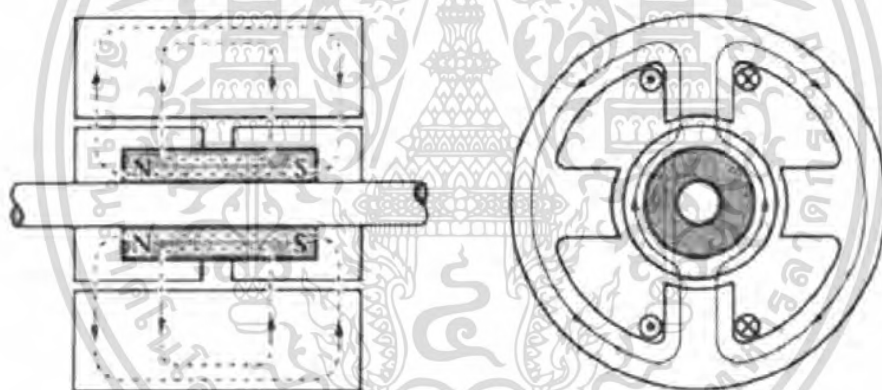
สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้มีหลักการทำงานผสมผสานกันระหว่างสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทแม่เหล็กถาวรกับประเภทคาร์ริคแทนซ์แปรค่าได้ จึงได้ชื่อว่า “สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทไฮบริด” เพื่อให้ได้มุมสเต็ปที่เล็กและมีค่าแรงบิดสูงจากมอเตอร์ขนาดเล็ก โครงสร้างของมอเตอร์จะเหมือนกับสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทคาร์ริคแทนซ์แปรค่าได้ ส่วนที่สำคัญของสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทไฮบริดอยู่ที่โครงสร้างของโรเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.42 มีแม่เหล็กรูปทรงระบอกที่วางตัวตามแนวแกนโรเตอร์ มีทิศทางการสร้างสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.43 (ก) โดยแต่ละโพลของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยซี่เหล็กอ่อนที่ทำจากซิลิกอน ส่วนสนามแม่เหล็กสร้างโดยขดลวดสเตเตอร์เป็นสนามแบบเฮเทอโรโพลาร์ (Heteropolar) เหมือนดังรูปที่ 2.43 (ข)

ความสัมพันธ์ของขนาดมุมสเต็ป( $\theta_s$ ), จำนวนเฟส( $m$ ), จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์( $N_r$ ), จำนวนสเต็ป( $S$ ) ได้จากสมการที่ (2 - 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 โครงสร้างโรเตอร์ของสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทไฮบริด



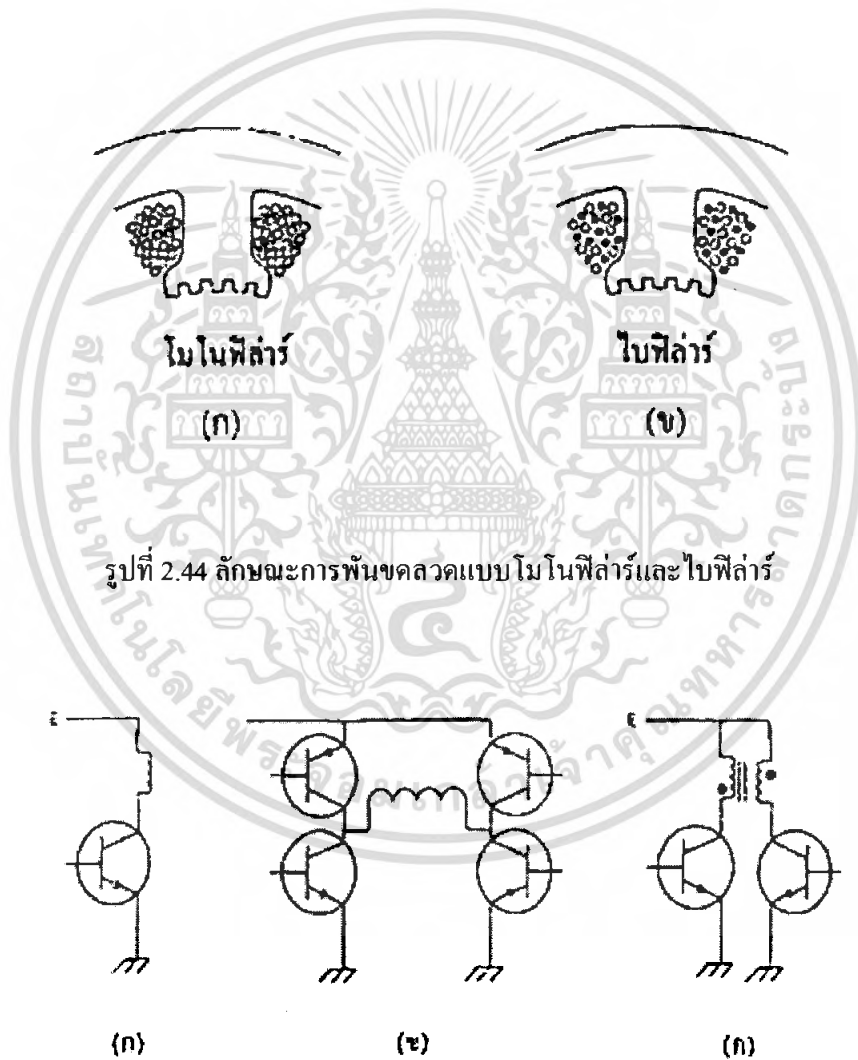
รูปที่ 2.43 ทิศทางการสร้างสนามแม่เหล็กของสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทไฮบริด

### 2.5.5 ลักษณะการพันขดลวดในสเต็ปิ่งมอเตอร์

ประเภทของขดลวดที่ใช้พันในสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ชนิดมีหลายสแตก และสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทแม่เหล็กถาวรประเภทมีคร่าวโพลจะมีลักษณะเป็นขดลวดโซลินอยด์หรือวงแหวน (Solenoidal or ring coil) ส่วนในสเต็ปิ่งมอเตอร์ประเภทไฮบริดและประเภทคาร์ลัคแดนซ์แปรค่าได้ชนิดสแตกเดียวจะเป็นขดลวดความเข้มข้นสูง (Concentrated coil) พันรอบสเตเตอร์ ซึ่งมีลักษณะการพันขดลวดเป็นแบบโมนอฟิลาร์และไบฟีลาร์ ซึ่งลักษณะการพันขดลวดจะแตกต่างกันแสดง

ดังรูปที่ 2.44 การพันขดลวดแบบไบฟีลาร์แสดงดังรูปที่ 2.44 (ข) ก็จะใช้เส้นลวด 2 เส้นพันคู่กันไปถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เส้นหนึ่งเป็นของเฟส 1 แล้วอีกเส้นที่เหลือจะเป็นของเฟสที่ 3 ในทำนองเดียวกันถ้าเส้นแรกเป็นของเฟสที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

2 แล้วเส้นที่เหลือจะเป็นของเฟสที่ 4 ซึ่งวัตถุประสงค์ของการพันขดลวดแบบไบพอลาร์คือ ต้องการให้โพลของสเตเตอร์สามารถมีขั้วแม่เหล็กกลับไปมาได้ 2 ขั้ว โดยลวดอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมกระแสดังรูปที่ 2.45 แสดงหลักการของวงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการพันขดลวดแบบต่างๆ โดยรูปที่ 2.45 (ก) เป็นวงจรควบคุมการทำงานพื้นฐานที่มีการพันแบบโมโนพอลาร์ ขั้วของสนามแม่เหล็กที่ได้จะมีเพียงทิศทางเดียว ถ้าต้องการให้สามารถกลับขั้วของสนามแม่เหล็กไปมาในขดลวดแบบโมโนพอลาร์ จะต้องจัดวงจรเป็นลักษณะวงจรบริดจ์ดังรูปที่ 2.45 (ข) แต่จะเห็นได้ว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ในการสวิตช์กระแสเพิ่มก็คือ ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัวต่อ 1 เฟส แต่ถ้าขดลวดที่ใช้ในสเต็ปป์มอเตอร์มีการพันแบบไบพอลาร์แล้วอุปกรณ์ในการสวิตช์กระแสจะใช้เพียง 2 ตัวในหนึ่งเฟสดังแสดงในรูปที่ 2.45 (ค)



รูปที่ 2.45 หลักการของวงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการพันขดลวดแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.6 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์

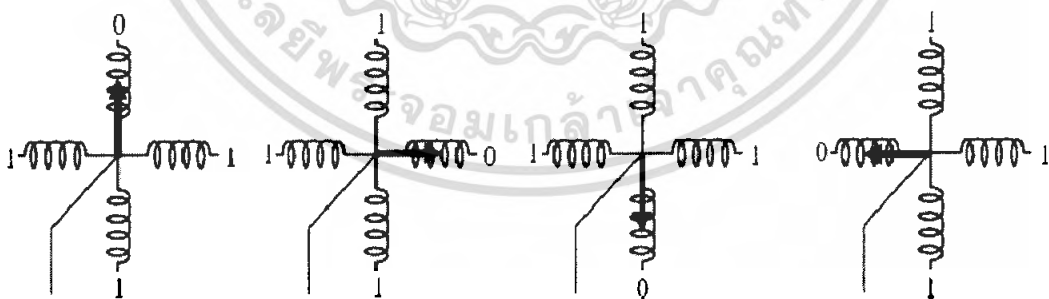
การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดที่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วยสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบ 1 เฟส (One phase) , แบบ 2 เฟส (Two phase) และแบบครึ่งสเต็ป (Half step)

#### 1) แบบ 1 เฟสหรือแบบฟูลสเต็ป

เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดที่ละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงติดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3, 4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4, 3, 2 แล้วกลับมาขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งจะทำให้ทิศทางของการหมุนสวนกันในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตาราง 2.10

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.10 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1 เฟส



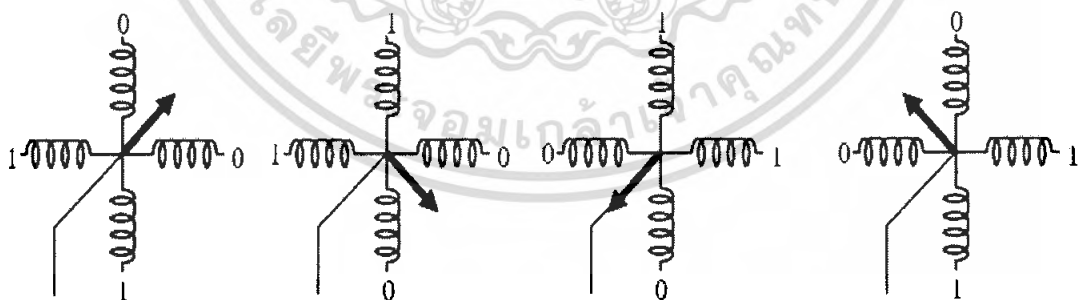
รูปที่ 2.46 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

## 2) แบบ 2 เฟส

เป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟ ดังตัวอย่าง ขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกัน การกระตุ้นสเต็ปป์มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันและต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.11

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.11 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส



รูปที่ 2.47 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

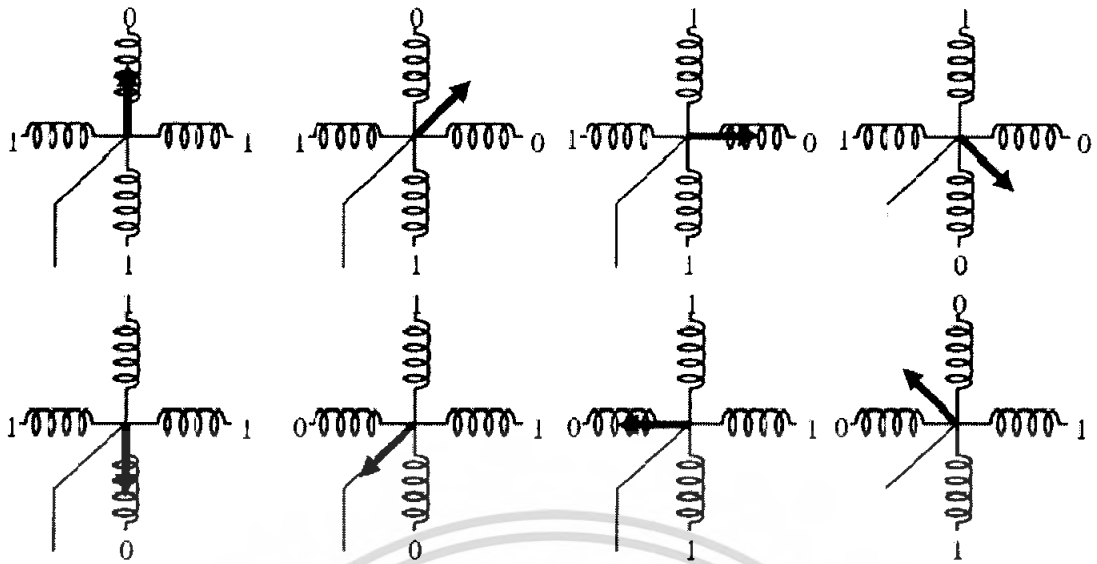
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) แบบครึ่งสเต็ป

เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟสและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1, 1 และ 2, 2, 2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลงแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้นแต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่า เมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้ระยะเท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.12

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.12 แสดงลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป



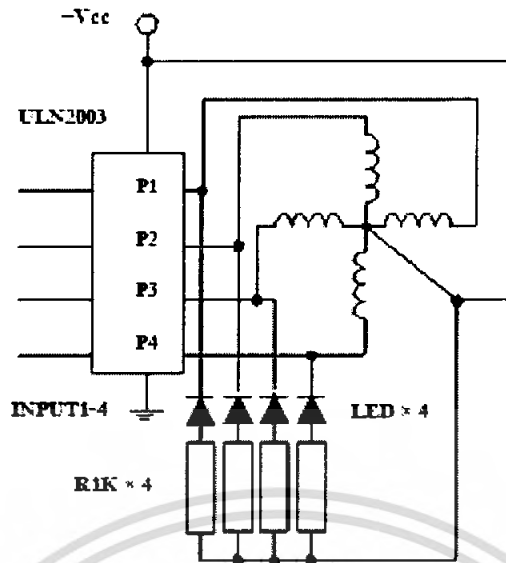
รูปที่ 2.48 แสดงการหมุนของแกนมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

### 2.5.7 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

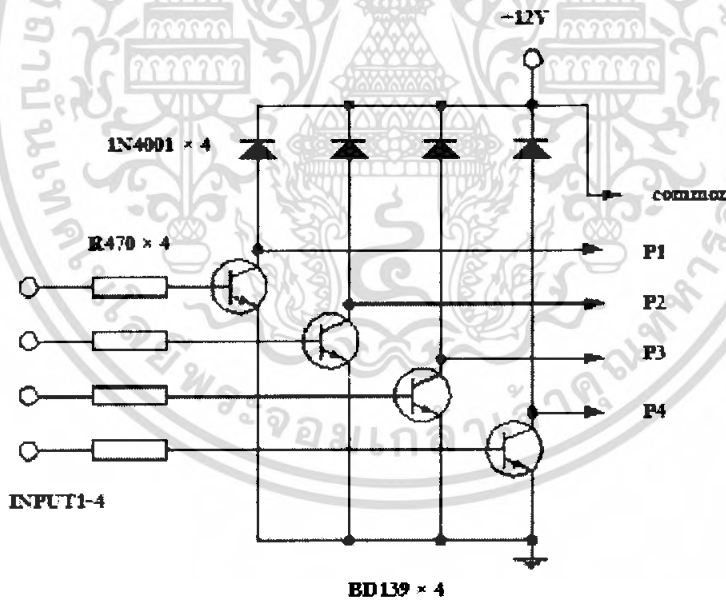
สัญญาณกระตุ้นสำหรับสเต็ปมอเตอร์ ปัจจุบันจะได้จากไอซีดิจิทัลหรือไมโคร โปรเซสเซอร์ จะเป็นสัญญาณขนาดกำลังต่ำประเภททรานซิสเตอร์ 5 โวลต์ 18 มิลลิแอมป์ แต่สเต็ปมอเตอร์ที่ใช้งานจะต้องการกระแสสูง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้วงจรขับเพื่อเป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสหรือกำลังงานแก่มอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับสเต็ปมอเตอร์

### 2.5.8 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์จะต้องมีการป้อนสัญญาณที่เป็นซีแควนซ์ออกไป โดยที่หลังจากเราป้อนสัญญาณเราจะต้องคอยเวลาทีละขั้นจนกระทั่งสเต็ปมอเตอร์หมุนไปเสร็จสิ้นแล้ว จึงจะสามารถส่งสัญญาณต่อไปได้ ซึ่งจะต้องมีภาคขับ (Driver Circuit) ที่สามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอที่จะทำให้สเต็ปมอเตอร์หมุนไปได้ ซึ่งในวงจรภาคขับนี้เราอาจใช้ไอซีแบบอินเวอร์ตเตอร์ เช่น ULN2003, ULN2803 เป็นต้น หรืออาจใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือเพาเวอร์มอสเฟต เช่น BD139, IRF510 เป็นต้น



รูปที่ 2.49 แสดงวงจรขับสเต็ปมอเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN2003



รูปที่ 2.50 แสดงวงจรขับสเต็ปมอเตอร์โดยใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 สายนำสัญญาณ

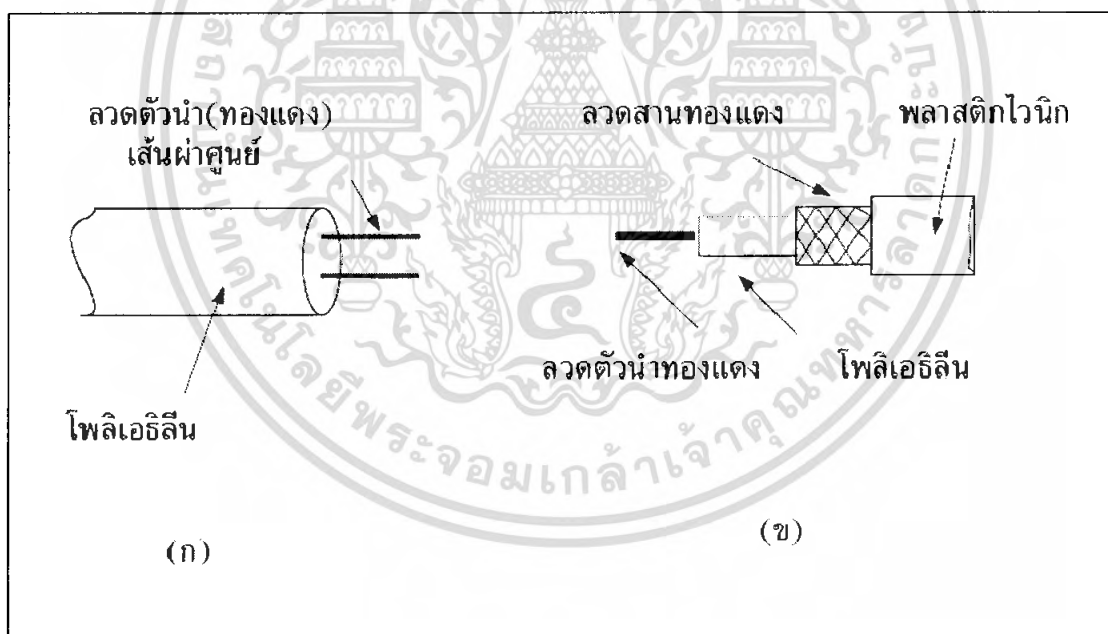
จุดประสงค์หลักของการใช้สายนำสัญญาณ คือ ส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยความยาวของสายนำสัญญาณ อาจมีได้หลายร้อยกิโลเมตรจนเหลือเพียงเศษส่วนของเมตรได้แล้วแต่กรณี อย่างเช่น

- 1) ถ้าใช้สายในระบบสื่อสารใหญ่ เช่น โทรศัพท์ที่มีความยาวอาจถึงหลายร้อยกิโลเมตร
- 2) ถ้าใช้เป็นสายพีดเคอร์หรือสายนำสัญญาณในเครื่องส่งหรือเครื่องรับวิทยุมีได้หลายร้อยเมตร
- 3) ถ้าใช้เป็นส่วนหนึ่งในอุปกรณ์ด้าน UHF มีใช้ในขนาดเศษส่วนของเมตร

โครงสร้างหลักของสายนำสัญญาณประกอบด้วยคู่ตัวนำ 2 เส้น ที่แยกจากกันโดยมีฉนวนคั่นไว้ ประเภทหลักๆของสายที่ใช้มีอยู่ 2 แบบคือ

- 1) สายแบบเส้นคู่ (two-wire)
- 2) สายแบบโคแอกเชียล (coaxial cable)

ดังแสดงลักษณะของสายจากรูปที่ 2.52 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.51 แสดงโครงสร้างของสายนำสัญญาณ

(ก) แบบเส้นคู่

(ข) แบบโคแอกเชียล

ฉนวนที่ใช้ระหว่างตัวนำทั้งสองมีได้หลายแบบ อย่างเช่น อากาศ (เป็นสายเปลือย) สารฉนวน

พวกโพลีเอทิลีน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 สายแบบเฟล็กซิเบิล (Flexible lines)

มีลักษณะพิเศษ คือ สามารถโค้งงอหรือม้วนสายได้โดยง่าย ซึ่งมีสารไดอิเล็กตริกแบบอ่อนอยู่ และมีข้อดีกว่าแบบใช้อากาศเป็นฉนวนดังนี้

- มีน้ำหนักเบากว่า
- มีระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองอย่างแน่นอน
- ง่ายในการติดตั้ง

สายแบบตัวนำวางขนานกับสายโคแอกเซียลมีแบบเฟล็กซิเบิล ข้อเสียที่เห็นได้ชัดของสายแบบเฟล็กซิเบิล คือ ค่าการสูญเสียกำลังต่อหน่วยความยาวมีมากกว่าสายแบบฉนวนเป็นอากาศ โดยกำลังคลื่นสูญเสียไปในรูปความร้อนและถ้าร้อนมากเกินไป อาจทำให้สายเสียหายทั้งทางกายภาพและทางไฟฟ้าได้

สำหรับสายที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นไปอีก เรียกว่า เชมฟีล็กซิเบิล เช่น สายแบบเฮลิคอล (Helical line) และยังมีสายฮาร์ดไลต์ (Hard line) โดยใช้ท่อโลหะบางๆ เช่น อะลูมิเนียมเป็นตัวนำด้านนอก รายละเอียดของสายแบบต่างๆ อธิบายดังต่อไปนี้

#### 1) สายแบบตัวนำวางขนานกัน

สายคู่ (Twin Lead) มีโครงสร้างแบบบาลานซ์ ไม่มีการชิลด์ จะใช้เส้นลวดตัวนำวางขนานกัน โดยมีฉนวนโพลีเอธิลีนหุ้มคั่นกลาง สายแบบนี้มีข้อเสียอยู่บ้าง คือ ความชื้นในบรรยากาศจะมีผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเปลี่ยนไป ทำให้เกิดไม่แม่นยำกับโหลดและสูญเสียพลังงานไปในสาย อาจแก้ไขโดยทำความสะอาดเป็นครั้งคราวหรือใช้สารเคลือบกันน้ำ เช่น ซิลิโคนหรือขี้ผึ้งทาร์ลยนต์ เป็นต้น สายคู่แสดงดังรูปที่ 2.53

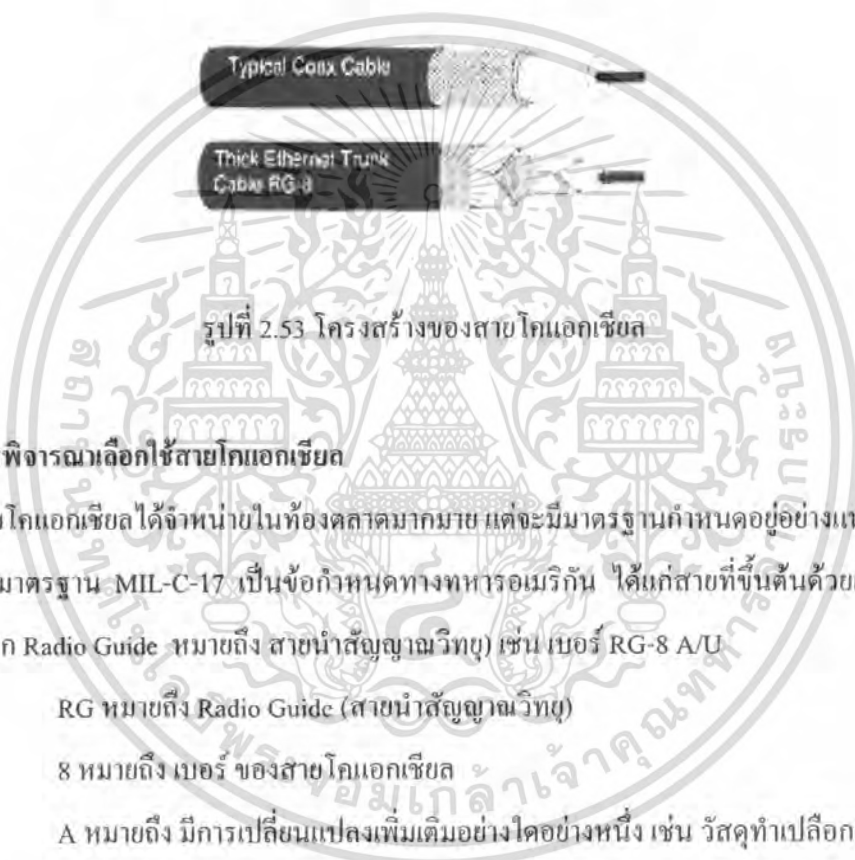


รูปที่ 2.52 โครงสร้างของสายคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) สายโคแอกเชียล

สายโคแอกเชียลแกนของสายเป็นตัวนำสั้นกลม อาจเป็นเส้นเคียวหรือเส้นเล็กหลายเส้นพันรวมกัน หุ้มด้วยสารไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.54 โดยถ้าใช้งานในย่านความถี่ต่ำจะใช้สารโพลีเอทิลีนหรือโพลีเอทิลีนโฟมแต่ถ้าใช้งานในความถี่สูงมักใช้สารเทฟลอนแทน บางกรณีจะใช้ก๊าซเป็นสารไดอิเล็กตริกแทน เช่น ในโคโรเจน ที่มีคุณสมบัติกำจัดความชื้นไปและต้องคอยควบคุมปริมาณ ความดันของก๊าซไว้ตลอดสายโคแอกเชียลบางแบบมีการป้องกันคลื่นรบกวนจากภายนอกเข้ามาในสายอย่างเป็นพิเศษคือ สายแบบมีชีลด์ 2 ชั้น บางครั้งฉนวนที่หุ้มเป็นวัสดุแข็ง เช่น ใช้อลูมิเนียมเป็นตัวนำชั้นนอก



รูปที่ 2.53 โครงสร้างของสายโคแอกเชียล

### การพิจารณาเลือกใช้สายโคแอกเชียล

สายโคแอกเชียลได้จำหน่ายในท้องตลาดมากมาย แต่จะมีมาตรฐานกำหนดอยู่อย่างแน่นอนดังนี้

1) มาตรฐาน MIL-C-17 เป็นข้อกำหนดทางทหารอเมริกัน ได้แก่สายที่ขึ้นต้นด้วยเบอร์ RG/U (RG ย่อมาจาก Radio Guide หมายถึง สายนำสัญญาณวิทยุ) เช่น เบอร์ RG-8 A/U

RG หมายถึง Radio Guide (สายนำสัญญาณวิทยุ)

8 หมายถึง เบอร์ ของสายโคแอกเชียล

A หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วัสดุทำเปลือกหุ้มเลื่อนไป,

จำนวนลวดตรงกลางต่างกัน, อิมพีแดนซ์ต่างกันเล็กน้อย, อัตราการสูญเสียต่างกันเล็กน้อย ฯลฯ

U หมายถึง Utility หรือ Universal คือ ใช้งานทั่วไป

2) มาตรฐาน JIS C3501 เป็นของประเทศญี่ปุ่นเช่น เบอร์ 3C-2V

3 หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกโดยประมาณของไดอิเล็กตริก

C หมายถึง ค่าอิมพีแดนซ์

โดย C = 75 โอห์ม (เปลือกหุ้มจะมีสีดำหรือขาว)

C = 50 โอห์ม (เปลือกหุ้ม PVC เป็นสีเทาหรือขาว ถ้าเป็น PE จะมีสีดำ)

2 หมายถึง วัสดุที่ทำไดอิเล็กตริกโดยเลข 2 คือ PE (โพลีเอทิลีน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F คือ โฟม (Cellular PE)

V หมายถึง ลักษณะของซีลด์และเปลือกหุ้มสาย

โดย B คือ ซีลด์ทองแดง + ซีลด์อะลูมิเนียม + PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์)

E คือ ซีลด์ทองแดง + PE

L คือ ซีลด์อะลูมิเนียม + PVC

N คือ ซีลด์ทองแดง + ไนลอนฉก

V คือ ซีลด์ทองแดง + PVC

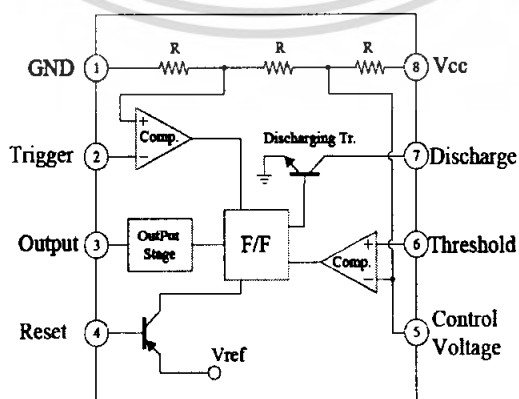
W คือ ซีลด์ทองแดง 2 ชั้น + PVC

5) ค่าอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 4\%$  และตัวคูณความเร็ว ที่ความถี่ต่างๆ ควรผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 3\%$

6) ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต) ใช้พิจารณาว่าสายโคแอกเชียลไปไหลลดการทำงานของ เครื่องส่งเพียงใด (เป็นคุณสมบัติสำหรับการออกแบบวงจร)

## 2.7 การใช้ไอซี 555 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ไอ.ซี เบอร์ 555 เป็นวงจรรวมที่สามารถสร้างเป็นวงจรตั้งเวลา(Timer) และสร้างเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบต่างๆ ได้ เช่น โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์หรือวงจรกำเนิดสัญญาณลาดเอียง และวงจรตั้งเวลาเชิงลำดับ (Sequential timer) ฯลฯ โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ 555 แสดงในรูปที่ 2.55 ประกอบไปด้วยขั้วต่อแปดขั้วที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) 2 ตัว ฟลิปฟลอปและอินเวอร์เตอร์ 1 ตัว การออกแบบวงจรต่าง ๆ นั้นทำได้ง่ายโดยการคำนวณค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อต่อประกอบกับวงจรภายนอก



รูปที่ 2.54 โครงสร้างภายในของไอซี เบอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

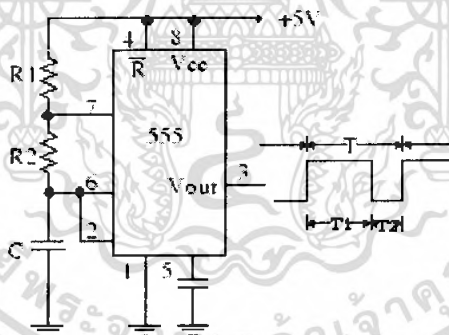
วงจรภายในของไอซี เบอร์ 555 ขา 8 เป็น  $V_{cc}$  และขา 1 เป็นกราวด์ มีวงจรแบ่งแรงดันโดย  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ต่ออยู่เพื่อป้องกันกับวงจรเปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 และตัวที่ 2 เอาท์พุทป้องกันให้ฟลิปฟลอป ซึ่งฟลิปฟลอปจะต่อเอาท์พุทผ่านทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ไอซี 555 เป็นไอซีที่ประยุกต์ใช้งานกับวงจรซึ่งไม่ต้องการความแม่นยำสูงมากนักได้อย่างกว้างขวาง ในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้งาน 2 ประเภท

- 1) การใช้เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์
- 2) การใช้งานเป็นวงจรอะอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

### 2.7.1 วงจรอะอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

วงจรอะอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์เป็นวงจรมีลติไวเบรเตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกว่า “ฟรีรันนิ่งมีลติไวเบรเตอร์” โดยปกติมักถูกนำไปใช้ป็นวงจรผลิตคลื่นจัตุรัส (Square wave) วงจรชนิดนี้ประกอบด้วยวงจรกลับสัญญาณสองวงจร โดยที่เอาท์พุทของวงจรแรกจะถูกนำไปเป็นวงจรอินพุทของวงจรที่สอง การป้องกันสัญญาณจากเอาท์พุทกลับไปเป็นอินพุทใช้วิธี RC ทับปลี้ง มีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.56



รูปที่ 2.55 วงจรอะอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

โดยที่ช่วงเวลา  $T$  สามารถจะกำหนดได้โดย

ถ้าให้  $T = \text{คาบเวลา} = T_1 + T_2$

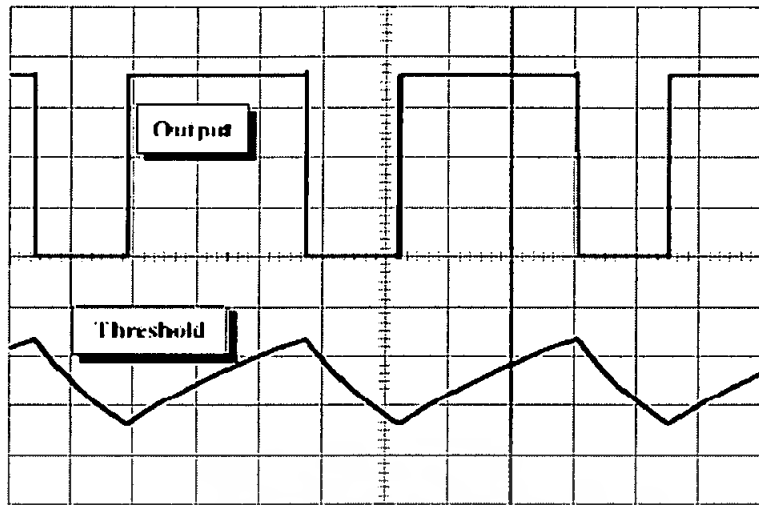
$T_1 = \text{ช่วงเวลาที่เอาท์พุทเป็น "high"}$

$T_2 = \text{ช่วงเวลาที่เอาท์พุทเป็น "low"}$

จะได้  $T_1 = 0.693(R_1 + R_2)C$

$T_2 = 0.693(R_2)C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

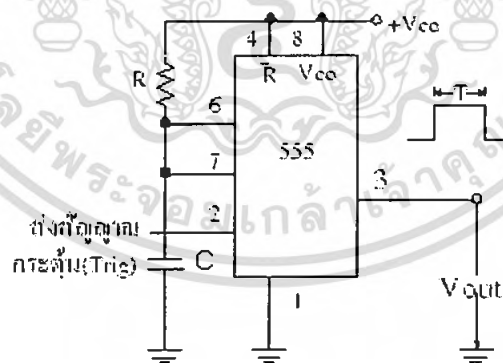


รูปที่ 2.56 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรระยะเวลามัลติไวเบรเตอร์

### 2.7.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

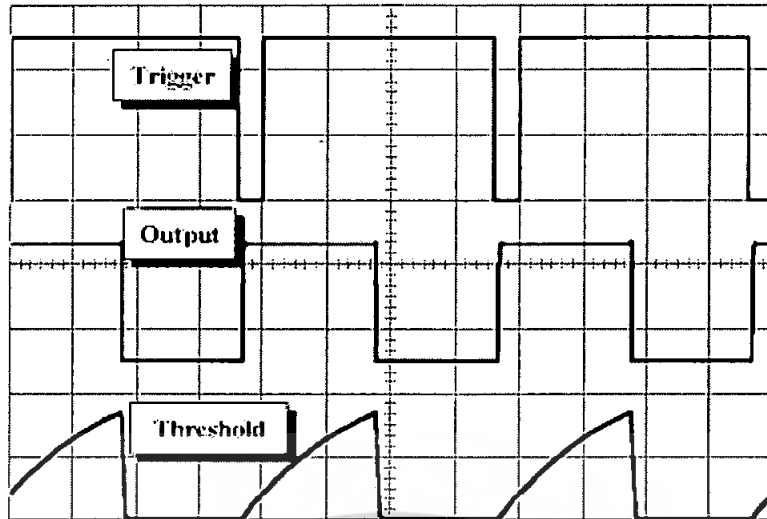
โมโนสเตเบิลเป็นวงจรถูกออกแบบให้เอาต์พุตเสถียรที่ระดับลอจิก "0" หรือ "1" เพียงสถานะเดียวเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจะเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตไปเป็นสถานะที่ไม่เสถียรชั่วขณะนานเท่ากับช่วงเวลาที่กำหนดโดย RC วงจรพื้นฐานเป็น ดังรูปที่ 2.56

โดยที่ช่วงเวลา T สามารถจะกำหนดได้โดย  $T = 0.693RC$



รูปที่ 2.57 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

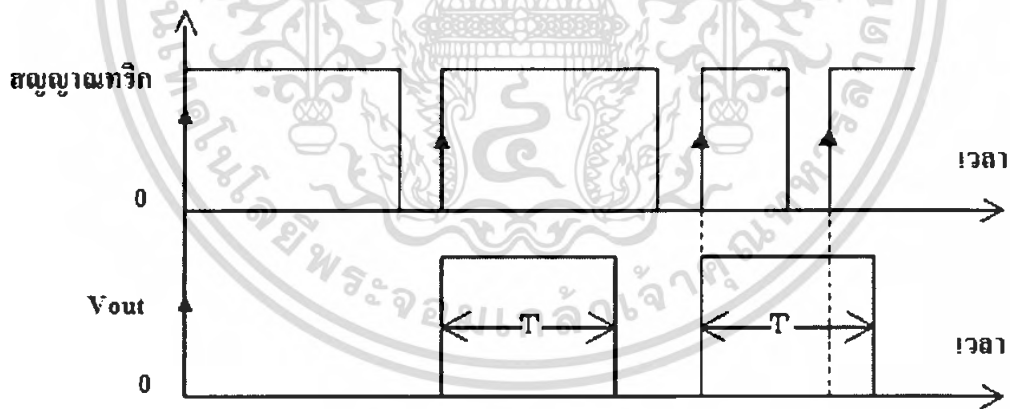
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.58 ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวม โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์มี 2 ชนิด คือ ชนิดทริกซ์เข้าได้และชนิดทริกซ์เข้าไม่ได้

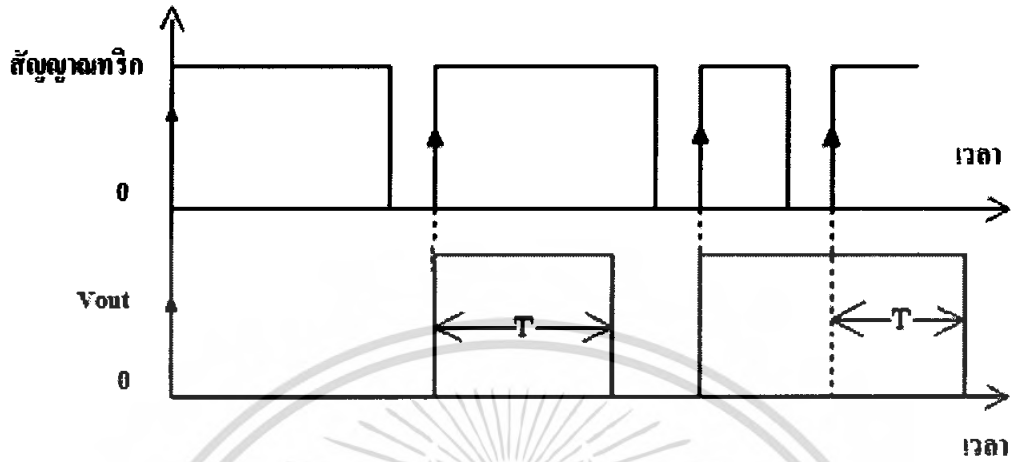
- 1) ชนิดทริกซ์เข้าได้ (Non - retriggerable) เป็นชนิดที่ให้เอาต์พุตด้วยเวลาที่คงที่ทุกครั้งที่เกิดทริก หากเอาต์พุตยังไม่เสถียรการทริกจะไม่ทำให้อเอาต์พุตเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.59 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทริกและสัญญาณเอาต์พุตของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ที่ทริกซ์เข้าได้

2) ชนิดทริกซ้ำไม่ได้ (Retriggerable) การทริกซ้ำในขณะที่เอาต์พุตยังไม่เสถียร สำหรับโมนอสเตเบิลชนิดนี้เวลาของเอาต์พุตจะต่อเนื่องออกไปอีกเท่ากับเวลา  $T$  ของวงจร



รูปที่ 2.60 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทริกและสัญญาณเอาต์พุตของโมนอสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ที่ทริกซ้ำไม่ได้

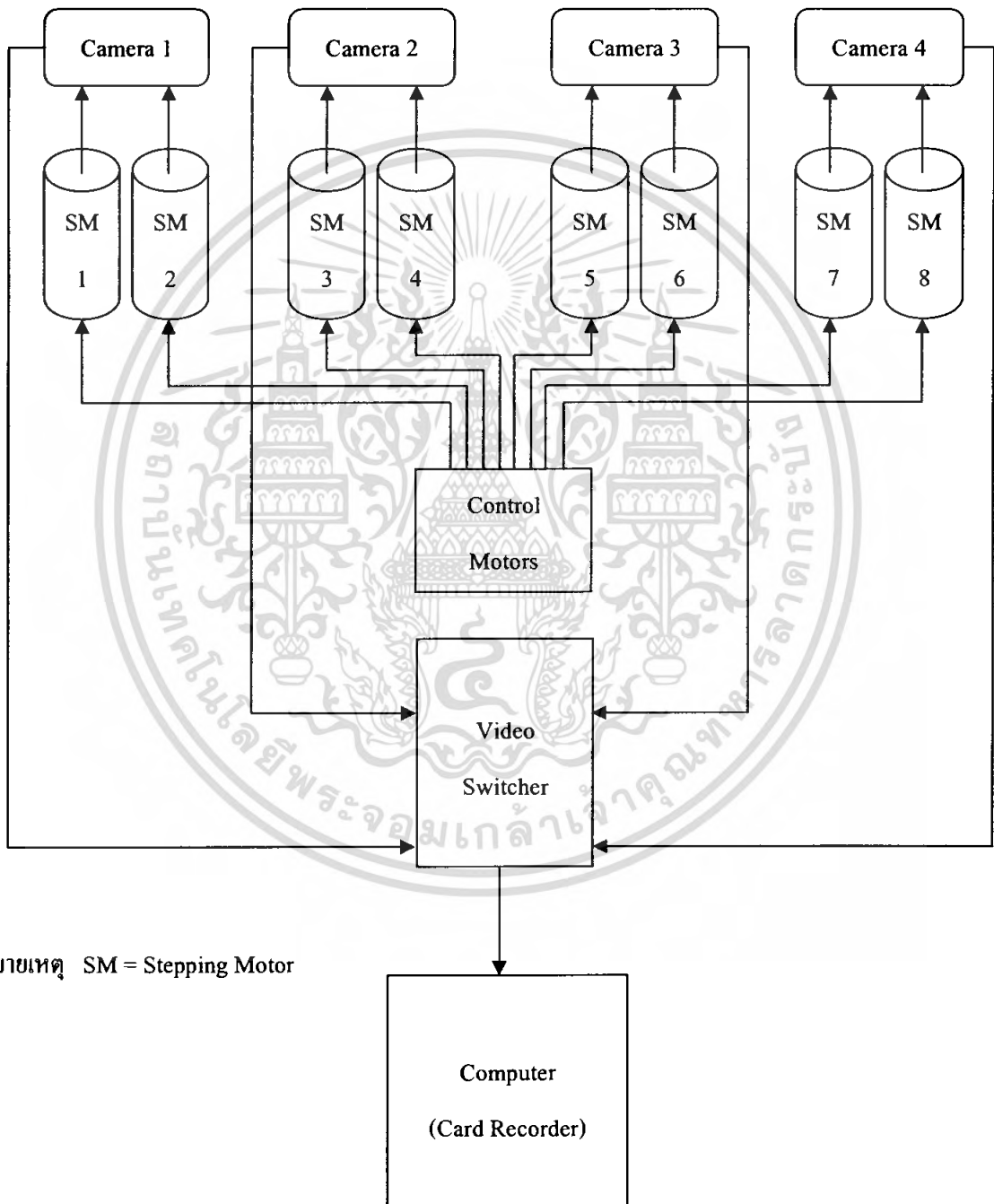
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

หลักการทํางานของระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

บล็อกไดอะแกรมของระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิดแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด

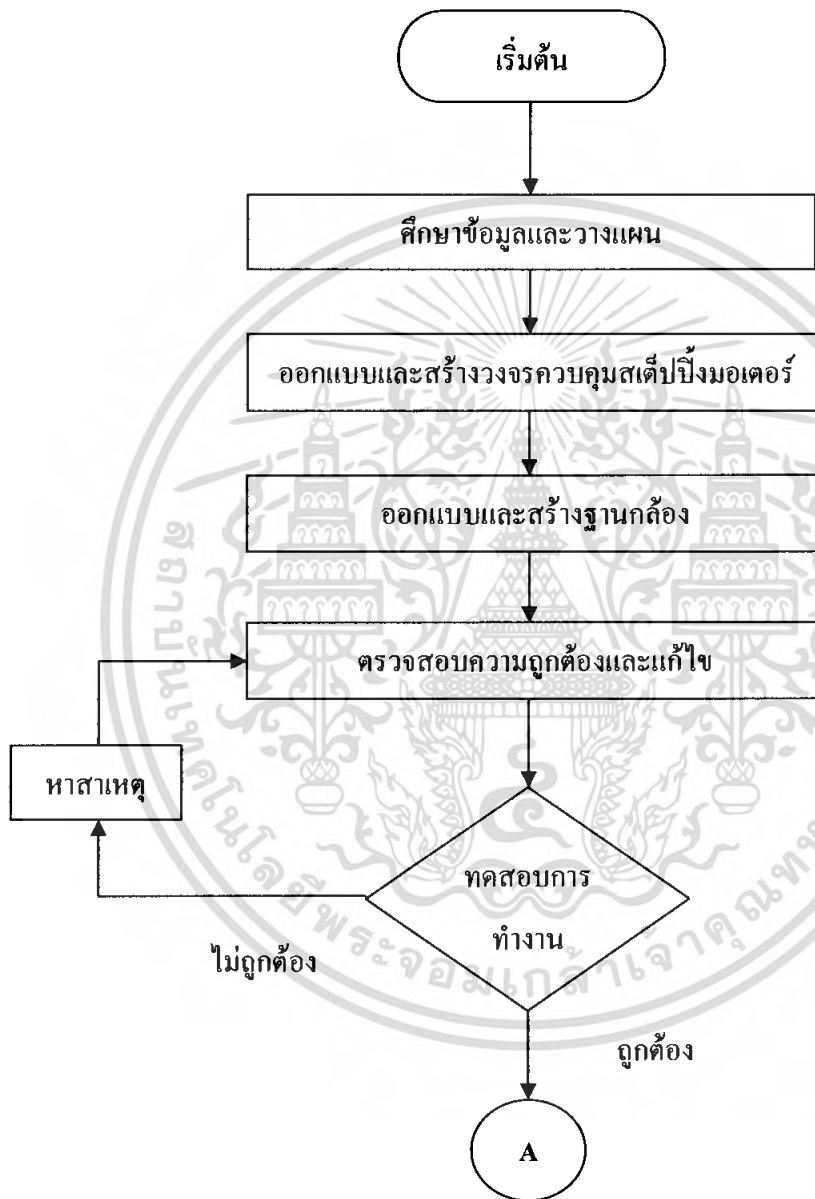
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกโคแอมระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด จะใช้กล้องวงจรปิด 4 ตัว ยึดติดกับฐานกล้องแล้วนำไปติดตั้งตามจุดต่างๆ 4 จุด โดยในส่วนของฐานกล้องนั้นสามารถปรับให้แพนได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนจากชุดควบคุมมอเตอร์ ซึ่งฐานกล้องแต่ละอันจะใช้สเต็ปปีงมอเตอร์ 2 ตัว ในการควบคุมการแพนกล้อง โดยมอเตอร์ตัวหนึ่งจะควบคุมการแพนกล้องในแนวนอนส่วนอีกตัวจะควบคุมการแพนกล้องในแนวตั้ง โดยสัญญาณภาพจากกล้องทั้ง 4 ตัว จะถูกต่อเข้ากับเครื่องสวิทซ์สัญญาณภาพ ซึ่งในส่วนของเครื่องสวิทซ์สัญญาณภาพนี้จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณภาพจากกล้องทั้ง 4 ตัว แล้วส่งเอาท์พุทออกไปที่การ์ดบันทึกภาพเพื่อบันทึกภาพและทำการแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ โดยจะทำการสลับสัญญาณจากตัวกล้องให้รับเข้ามาแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ทีละสัญญาณจากทีละกล้อง โดยสัญญาณจากกล้องต่างๆจะถูกสลับเข้ามาโดยอัตโนมัติ อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งให้การสลับช่องเร็วหรือช้าก็ได้ และเลือกกำหนดเป็นแบบเลือกสัญญาณเองก็ได้ ส่วนการ์ดบันทึกภาพนั้นจะรับสัญญาณมาจากเครื่องสวิทซ์สัญญาณภาพ เพื่อทำการแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์และทำการบันทึกภาพเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการบันทึกภาพนั้นสามารถทำการบันทึกได้ทั้งแบบตลอดเวลาและบันทึกเฉพาะเวลาที่ภาพมีการเคลื่อนไหว โดยกล้องที่ใช้ในโครงการนี้จะเป็นแบบ CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

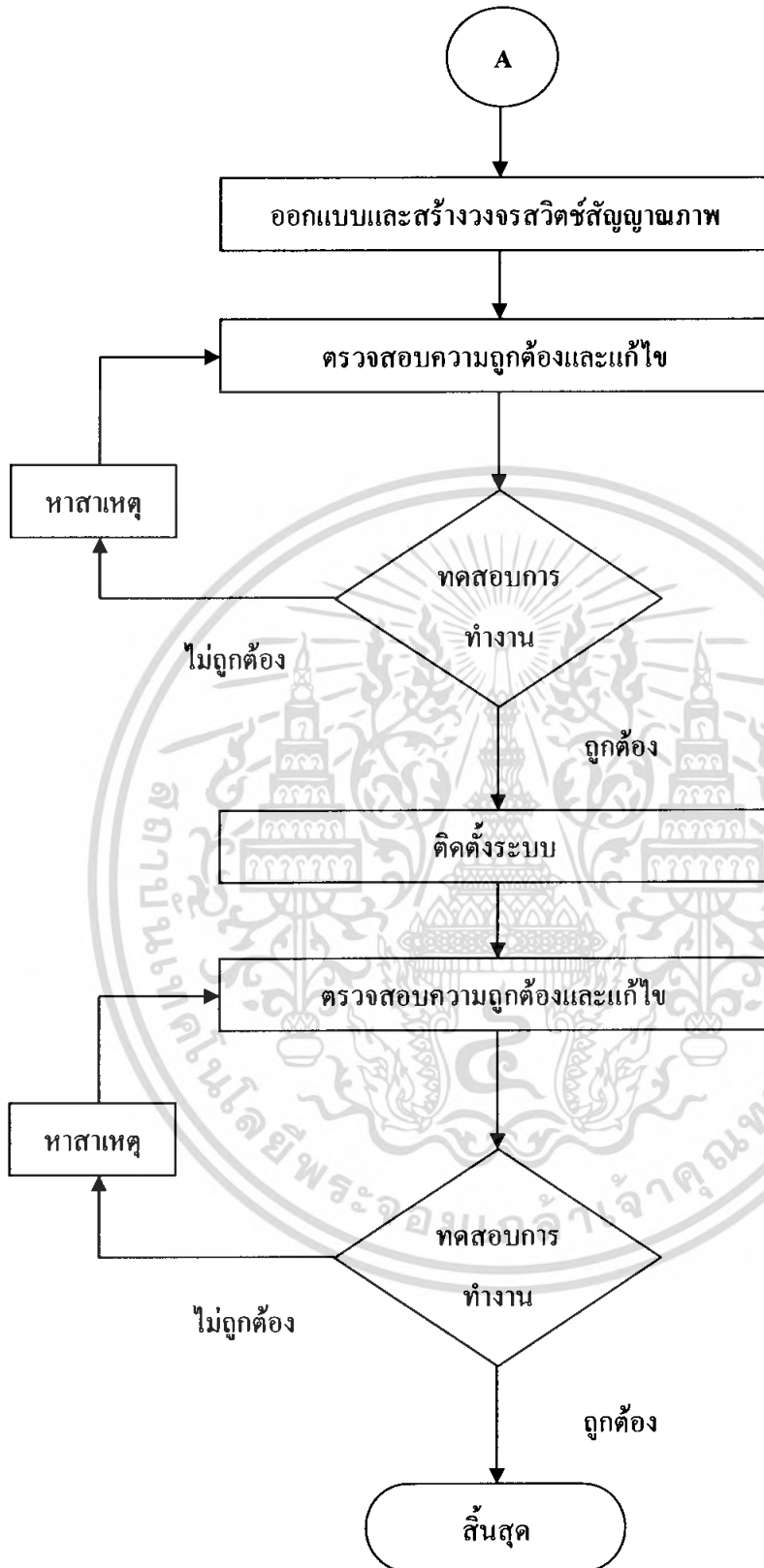
### 3.1 ขั้นตอนในการออกแบบและการสร้าง

โครงการนี้ได้กำหนดขั้นตอนนี้ในการออกแบบและการสร้างในส่วนต่างๆ ของโครงการ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 เพื่อให้เป็นแนวทางในการดำเนินงานในแต่ละส่วน พร้อมทั้งทำการตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขปัญหาไปพร้อมๆ กัน เพื่อให้โครงการมีความถูกต้องและเสร็จตามกำหนดเวลา



รูปที่ 3.11 แผนผังขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

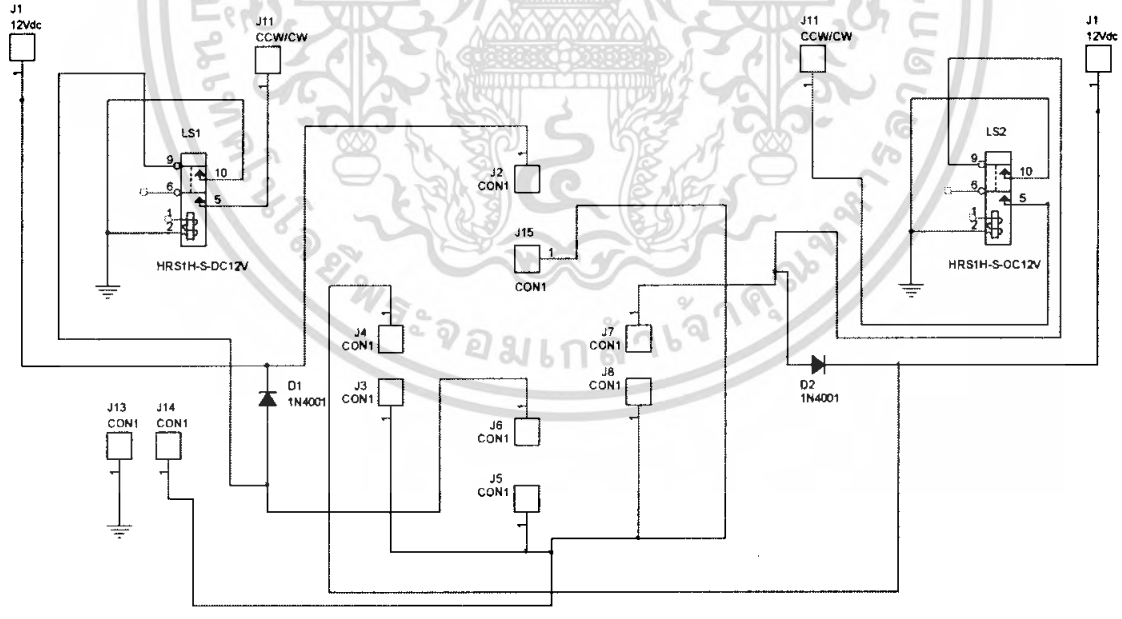
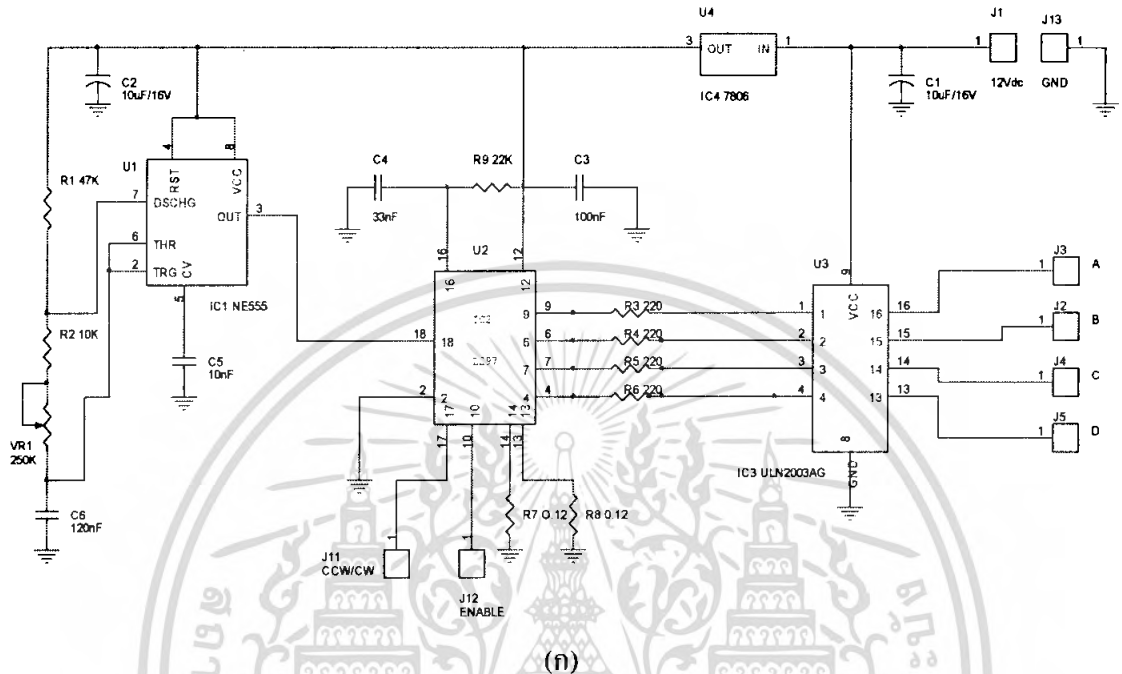


รูปที่ 3.12 แผนผังขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมสตีปีงมอเตอร์

วงจรในส่วนนี้ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของสตีปีงมอเตอร์และวงจรขับ ซึ่งวงจรควบคุมสตีปีงมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.12(ก) และ 3.12(ข)



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมสตีปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 หลักการทำงานของวงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์

จากรูปที่ 3.12(ก) ไอซี 1 เบอร์ NE555 จะนำมาต่อใช้งานเป็นวงจรเบสิกอะสเตเบิลโมด ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพิก้า คาบเวลาที่ได้จากวงจรถูกกำหนดโดย R1 , R2 , C6 และ VR1 โดยที่ VR1 จะเป็นตัวปรับความถี่ของสัญญาณพิก้า โดยทำการออกแบบให้ความถี่สัญญาณพิก้า สามารถปรับได้ตั้งแต่ 21.21 เฮิร์ตซ์ จนถึง 179.53 เฮิร์ตซ์ (หรือจะกำเนิดสัญญาณ 1 ลูก ทุกครั้งที่เวลาประมาณเร็วสุด 0.006 วินาที จนถึงช้าสุดประมาณ 0.047 วินาที) ซึ่งจะเอาที่พุทออกที่ขา 3 ของไอซี NE555 เพื่อนำไปป้อนเป็นอินพุทให้กับขา 18 ของไอซี 2 เบอร์ L297

ไอซี 2 เบอร์ L297 เป็นไอซีดิจิทัลสำเร็จรูป ซึ่งถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ได้โดยตรง ไอซี L297 ประกอบด้วยขาควบคุมการทำงาน 4 ขา ดังนี้

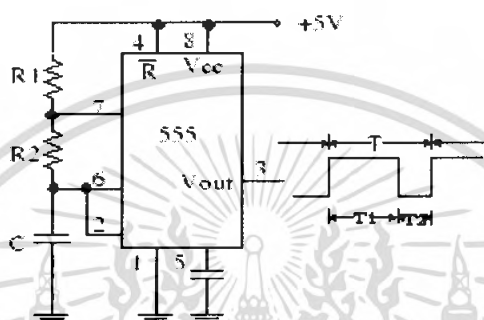
- 1) CCW/CW ขา 17 เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของสเต็ปมอเตอร์
  - 2) Clock ขา 18 เป็นตัวรับสัญญาณพิก้าจากเอาต์พุทขา 3 ของไอซี 555 ซึ่งจะควบคุมความเร็วในการหมุนของสเต็ปมอเตอร์
  - 3) Enable ขา 10 เป็นตัวควบคุมให้สเต็ปมอเตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน ซึ่งสเต็ปมอเตอร์จะหยุดทำงานเมื่อต่อขานี้ลงกราวด์
  - 4) Half/Full ขา 19 เลือกรูปแบบของการขับสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้การขับแบบ Half โดยจะปล่อยขา 19 ลอยไว้ ถ้าต้องการขับแบบ Full ก็ทำการต่อขา 19 ลงกราวด์
- เอาต์พุทที่ได้จากไอซี L297 จะมีทั้งหมด 4 เฟส โดยที่ขา 9 จะเป็นเฟสที่ 1 , ขา 6 เป็นเฟสที่ 2 , ขา 7 เป็นเฟสที่ 3 และขา 4 จะเป็นเฟสที่ 4 เพื่อนำไปป้อนเป็นอินพุทให้ขา 1 , 2 , 3 และ 4 ของไอซี 3 ULN2003AG ตามลำดับ

ไอซี 3 เบอร์ ULN2003AG ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถขับโหลดได้สูงสุดเฟสละ 500 มิลลิแอมป์ และสามารถใช้กับแรงดันได้ถึง 50 โวลต์ โดยไอซี ULN2003AG จะทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุทของไอซี L297 ให้มีแอมป์ลิจูดสูงขึ้นและเอาต์พุทที่ได้จากไอซี L297 ทั้ง 4 เฟสคือ เฟสที่ 1 ขา 16 , เฟสที่ 2 ขา 15 , เฟสที่ 3 ขา 14 และเฟสที่ 4 ขา 13 ซึ่งจะนำไปควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์สำหรับสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบยูนิโพลาร์ โดยมีสเต็ปในการหมุนสเต็ปละ 7.5 องศา เมื่อได้รับสัญญาณ 1 พัลส์ โดยมีไอซีเร็กกูเลเตอร์ 6 โวลต์ เป็นตัวรักษาระดับแรงดันไฟให้กับไอซี NE555 และไอซี L297

จากรูปที่ 3.12(ข) J13 จะเป็นกราวด์ส่วน J14 จะต่อกับไฟตรง 12 โวลต์ และมีสวิตช์ควบคุมการหมุนของของสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ให้สามารถหมุนได้ทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการหมุนของกล้องทั้งแนวตั้งและแนวนอน โดยจะใช้รีเลย์เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งหลักการการทำงานของรีเลย์คือ เมื่อมีไฟตรง 12 โวลต์เข้ามาที่ขา 9 จะรั้งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ขา 5 ต่อดงกราวด์ ทำให้สเต็ปป์มอเตอร์หมุนกลับทิศทางและมีไดโอดเป็นตัวป้องกันแรงดันที่ไหลย้อนกลับ โดยเมื่อทำการกดสวิทช์ บน-ล่าง จะมีแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ ที่คอนเน็คเตอร์ J1 ซึ่งต่อไปยังวงจรควบคุมการหมุน บน-ล่าง และเมื่อทำการกดสวิทช์ ซ้าย-ขวา จะมีแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ J1 ซึ่งต่อไปยังวงจรควบคุมการหมุน ซ้าย-ขวา ของกล่องวงจรปิด

### 3.2.2 การคำนวณหาค่าความถี่ที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบเบสิคอะสเตเบิล

ถ้าให้  $T$  = คาบเวลา

$T_1$  = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "high"

$T_2$  = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "low"

จะได้

$$T_1 = 0.693(R_1 + R_2)C$$

$$T_2 = 0.693(R_2)C$$

ความถี่ที่ได้

$$f = 1/T$$

จากวงจร  $R_1 = 47K$ ,  $R_2 = 260K$ ,  $C = 120nF$

จะได้

$$T_1 = 0.693(47K + 260K)120nF = 25.53 \text{ ms}$$

$$T_2 = 0.693(260K)120nF = 21.62 \text{ ms}$$

และคาบเวลา

$$T = T_1 + T_2$$

$$= 25.53 \text{ ms} + 21.62 \text{ ms}$$

$$= 47.15 \text{ ms}$$

ความถี่ต่ำสุด

$$f = 1/T = 1/47.15 \text{ ms} = 21.21 \text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

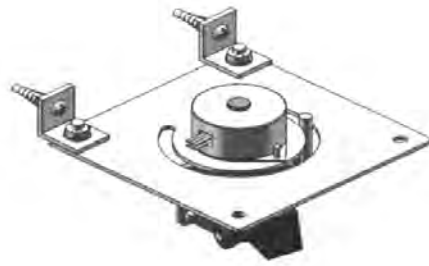
จากวงจรเมื่อ  $R1 = 47K, R2 = 10K, C = 120nF$   
 จะได้  $T1 = 0.693(47K + 10K)120nF = 4.74 \text{ ms}$   
 $T2 = 0.693(10K)120nF = 0.83 \text{ ms}$   
 และคาบเวลา  $T = T1 + T2$   
 $= 4.74 \text{ ms} + 0.83 \text{ ms}$   
 $= 5.57 \text{ ms}$   
 ความถี่สูงสุด  $f = 1/T = 1/5.57 \text{ ms} = 179.53 \text{ Hz}$

### 3.3 การออกแบบและสร้างฐานกลิ้ง

โครงสร้างแบบจำลองของฐานกลิ้งแสดงดังรูปที่ 3.13(ก) และ 3.13(ข) โดยฐานกลิ้งจะทำจากเหล็ก โดยในรูปที่ 3.13(ก) จะเป็นฐานกลิ้งแบบติดตั้งกับเพดาน ส่วนในรูปที่ 3.13(ข) จะเป็นฐานกลิ้งแบบติดกับผนัง ซึ่งจากทั้งสองรูปมอเตอร์ตัวบนจะเป็นตัวบังคับการหมุนทิศทางซ้าย-ขวา ส่วนมอเตอร์ตัวล่างจะเป็นตัวบังคับทิศทางบน-ล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

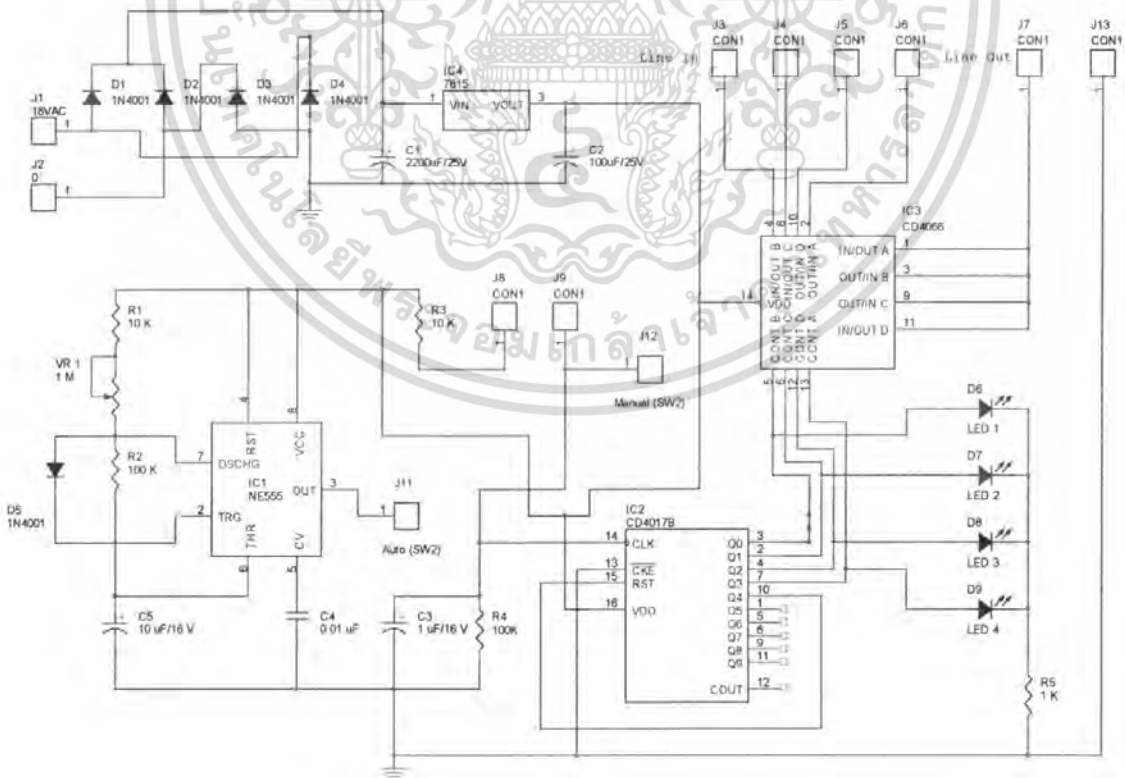


(ค)

รูปที่ 3.15 โครงสร้างแบบจำลองของฐานกลิ้ง

### 3.4 การออกแบบและสร้างวงจรสวิทช์สัญญาณภาพ

วงจรสวิทช์สัญญาณภาพประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรนับ ซึ่งวงจรสวิทช์สัญญาณภาพแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.16 วงจรสวิทช์สัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 หลักการทำงานของวงจรสวิทช์สัญญาณภาพ

ในรูปที่ 3.14 เป็นวงจรสวิทช์สัญญาณภาพ 4 ช่อง โดยไฟสลับ 18 โวลต์ จะถูกเรียงกระแสเป็นไฟตรงด้วยไดโอด D1 ถึง D4 จากนั้นทำการกรองไฟให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ C1 ก่อนรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ด้วยไอซี 4 ซึ่งจะได้อะดับแรงดันคงที่ 15 โวลต์ กรองไฟให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ C2 ก่อนจ่ายไปยังวงจรต่างๆ ต่อไป

ไอซี 1 เบอร์ NE555 ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยมีตัวต้านทาน R1 , R2 , VR1 , D5 และ C5 ร่วมกันทำหน้าที่กำหนดความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถปรับความถี่ให้เร็วหรือช้าตามการปรับค่าความต้านทานที่ VR1 โดยในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบให้ความถี่นาฬิกาสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.68 เฮิร์ตซ์ จนถึง 0.12 เฮิร์ตซ์ (หรือจะกำเนิดสัญญาณ 1 ลูก ทุกครั้งที่เวลาประมาณเร็วสุด 2 วินาที จนถึงช้าสุดประมาณ 9 วินาที)

สัญญาณนาฬิกาจะออกมาทางขา 3 ผ่านสวิทช์ SW2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากผลักสวิทช์ไปที่ตำแหน่งออกได้สัญญาณนาฬิกาจากขา 3 ของไอซี 1 ก็จะผ่านไปยังขา 14 ของไอซี 2 เบอร์ CD4017 ซึ่งเป็นไอซีนับสิบ แต่ในโครงการนี้จะกำหนดให้นับได้สูงสุดเพียง 4 เท่านั้น โดยทำการต่อขา 15 เข้ากับขา 10 ซึ่งสัญญาณจากขา 10 จะมาทริกขาเรซีตที่ขา 15 ของไอซี 2 เพื่อให้การนับเริ่มต้นใหม่ที่ขา 3 ของไอซี 2 อีกครั้ง

LED1 ถึง LED4 จะเป็นหลอดไฟแสดงผลว่าขณะนี้ท่านกำลังรับชมสัญญาณภาพจากกล้องวงจรปิดตัวไหน โดยใช้ R5 เป็นตัวจำกัดกระแสให้กับหลอด LED

ถ้าหาก SW2 ถูกผลักไปที่ตำแหน่งแมนนวลสัญญาณนาฬิกาจากไอซี 1 ก็จะไม่สามารถผ่านมายังขา 14 ของไอซี 2 สัญญาณภาพจากกล้องก็จะค้างไว้ที่กล้องนั้น หากเราต้องการเลื่อนไปยังกล้องตัวถัดไป ก็จะมีปุ่มสวิทช์ SW3 เราสามารถกดปุ่มนี้เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก แทนสัญญาณนาฬิกาที่กำเนิดโดยไอซี 1 ทำให้สามารถเลื่อนตำแหน่งการเลือก (ขา 3 , 2 , 4 และขา 7 ของไอซี 2 ไปบังคับการควบคุมสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขา 5 , 6 , 12 และขา 13 ของไอซี 3) เพื่อรับภาพจากกล้องตัวถัดไปได้ โดยมีตัวต้านทาน R3 ช่วยลดกระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟ 9 โวลต์ มารอป้อนให้ขา 14 ของไอซี 2 ทันทันที่เรากดปุ่มสวิทช์ SW3 นี้ตัวเก็บประจุ C3 ช่วยป้องกันการกระเด็นของหน้าสัมผัสสวิทช์ซึ่งอาจทำให้การกดปุ่มสวิทช์ SW3 หนึ่งครั้งอาจเลื่อนไปหลายตำแหน่ง

ส่วนไอซี 3 เบอร์ CD4066 เป็นไอซีสวิทช์สัญญาณภาพจากกล้องวงจรปิดทั้ง 4 ตัว ซึ่งจะถูกต่อกับขาอินพุตคือขา 4 , 8 , 10 และขา 2 ส่วนเอาต์พุตขา 1 , 3 , 9 และขา 11 จะถูกรวบรวมเข้าหากันและทำการส่งออกเป็นสัญญาณเอาต์พุตไปยังจอมอนิเตอร์ การควบคุมในส่วนของการเลือกสัญญาณภาพจากอินพุตจะถูกควบคุมโดยขา 5 , 6 , 12 และขา 13 โดยได้มาจากไอซี 2 ที่ขา 3 , 2 , 4 และขา 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

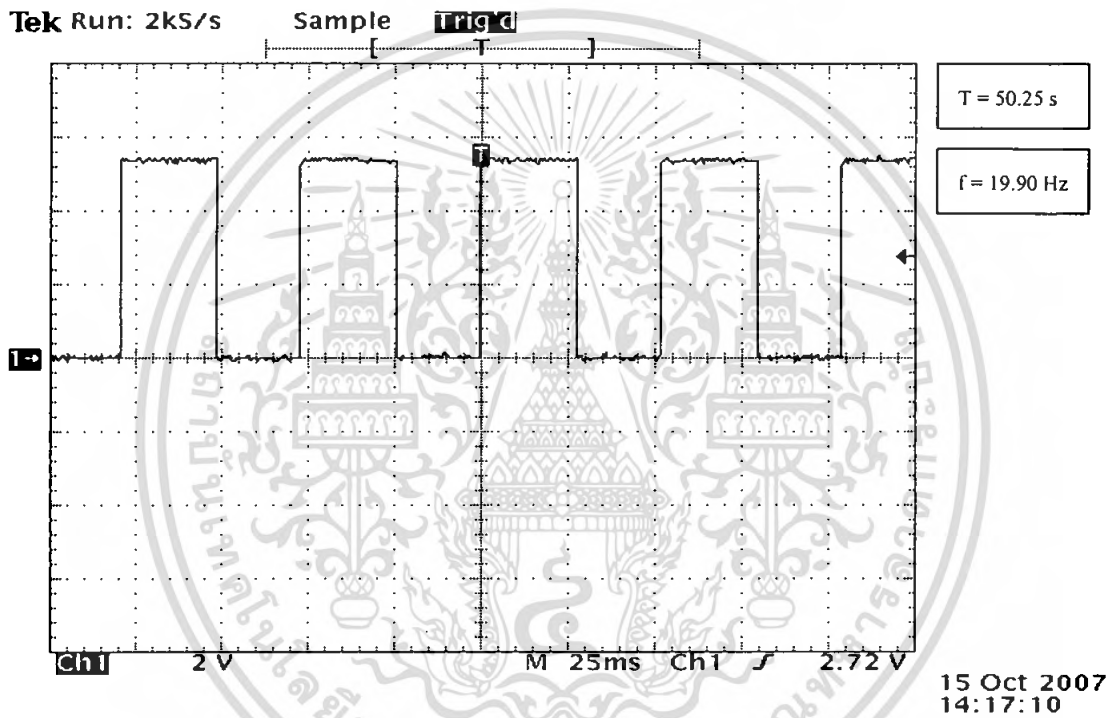
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

4.1.1 ป้อนแรงดันไฟตรง 6 โวลต์ ให้กับขา 8 ซึ่งเป็นขา VCC ส่วนกราวด์ต่อเข้ากับขา 1 ของไอซี NE555

4.1.2 ทำการวัดเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาที่ขา 3 ของไอซี NE555 โดยวัดที่ขา 3 เทียบกับกราวด์



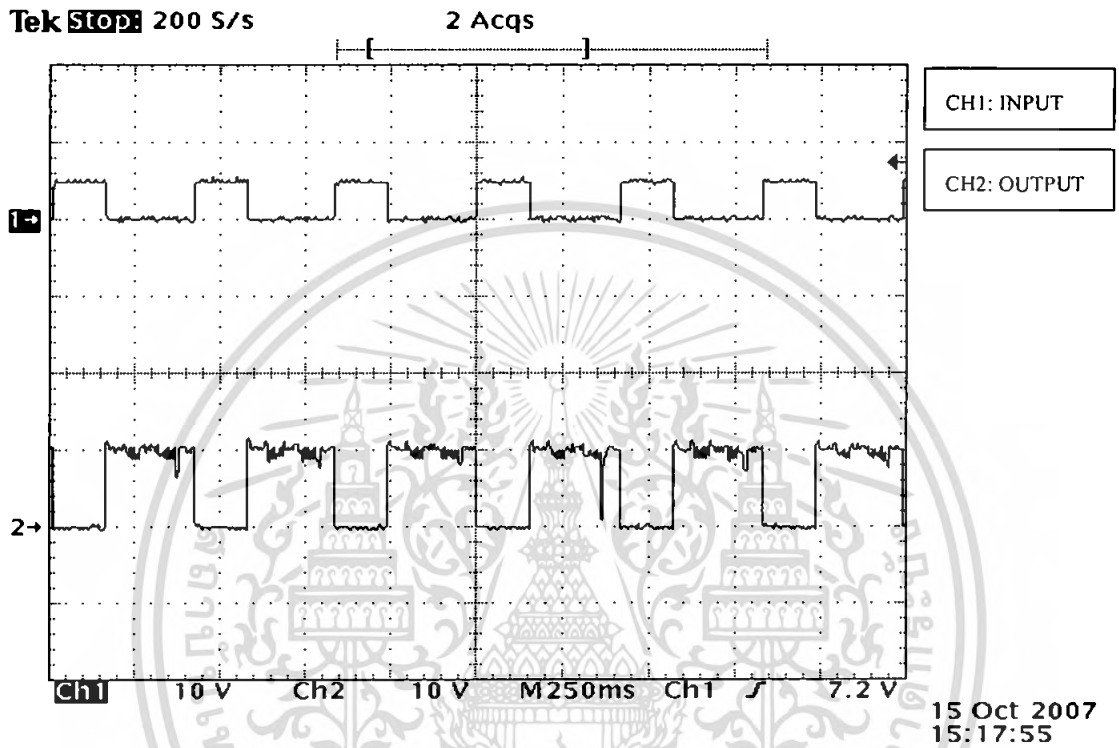
รูปที่ 4.10 เอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาที่ขา 3 ของไอซี NE555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ทดสอบวงจรควบคุมเตปิ้งมอเตอร์

4.2.1 ป้อนแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ ให้กับวงจรควบคุมเตปิ้งมอเตอร์

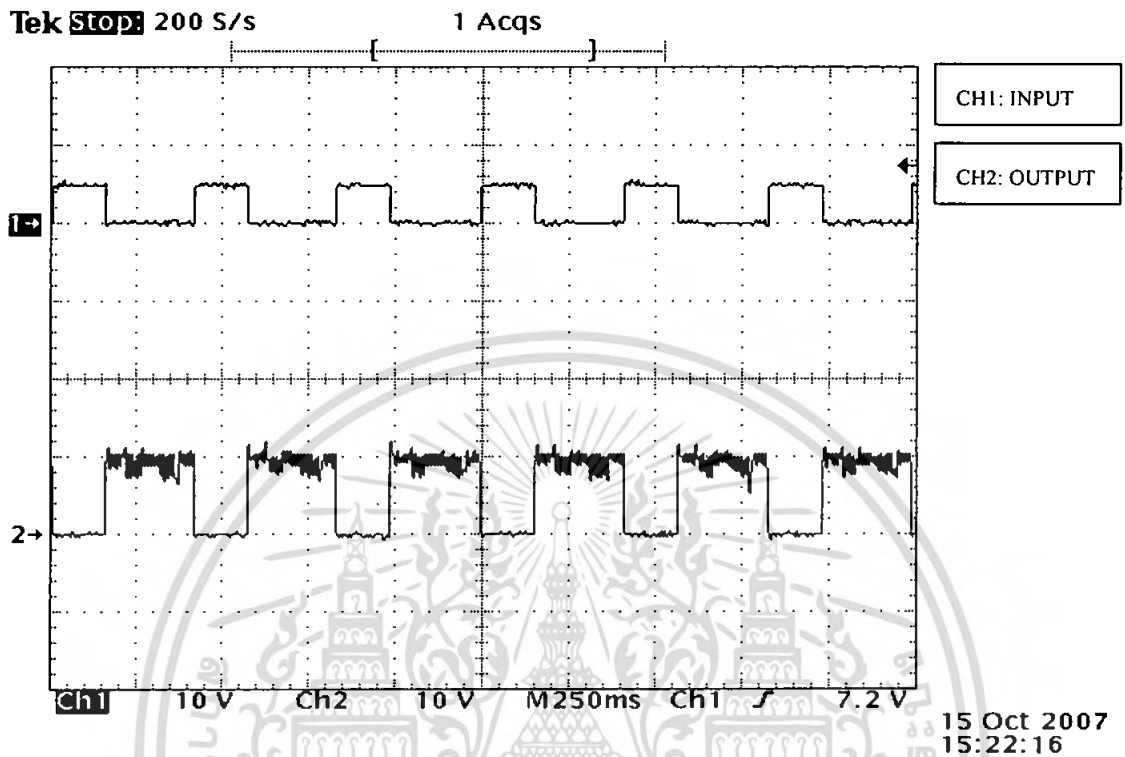
4.2.2 ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 1 ขา 16 ของไอซี ULN2003AG เทียบกับสัญญาณอินพุตที่ได้จากขา 9 ของไอซี L297



รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 1 เทียบกับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

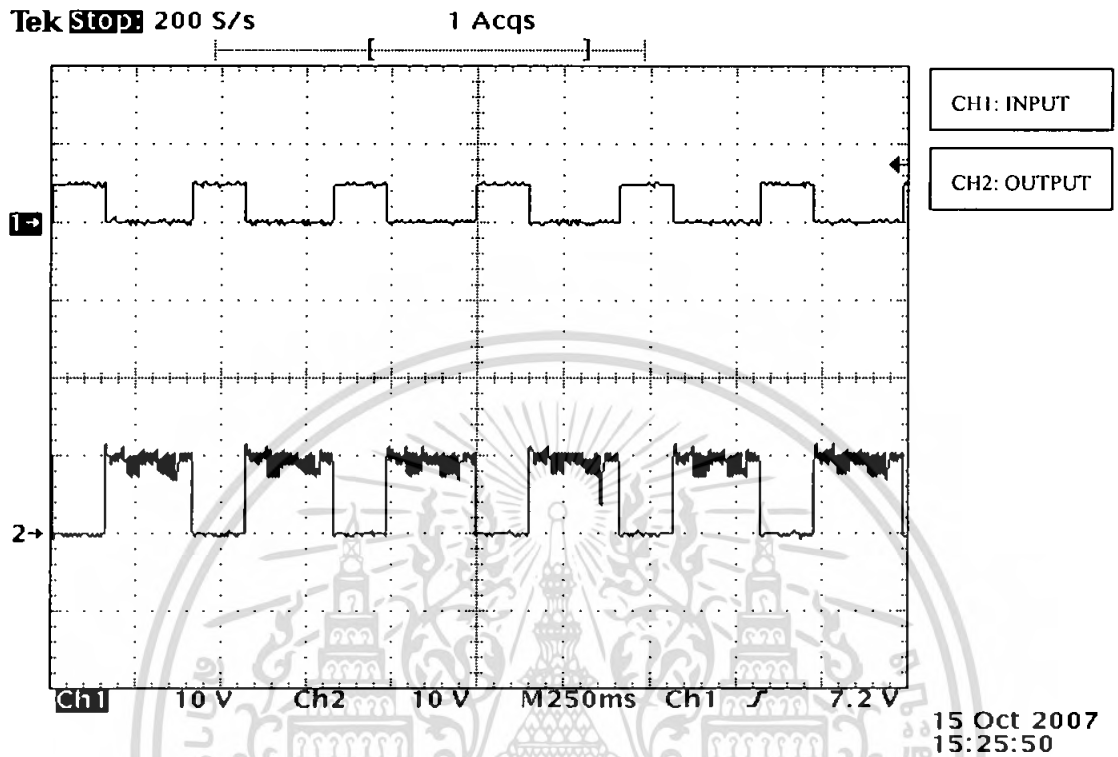
4.2.3 ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 2 ขา 15 ของไอซี ULN2003AG เทียบกับสัญญาณอินพุตที่ได้จากขา 6 ของไอซี L297



รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตควมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 2 เทียบกับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

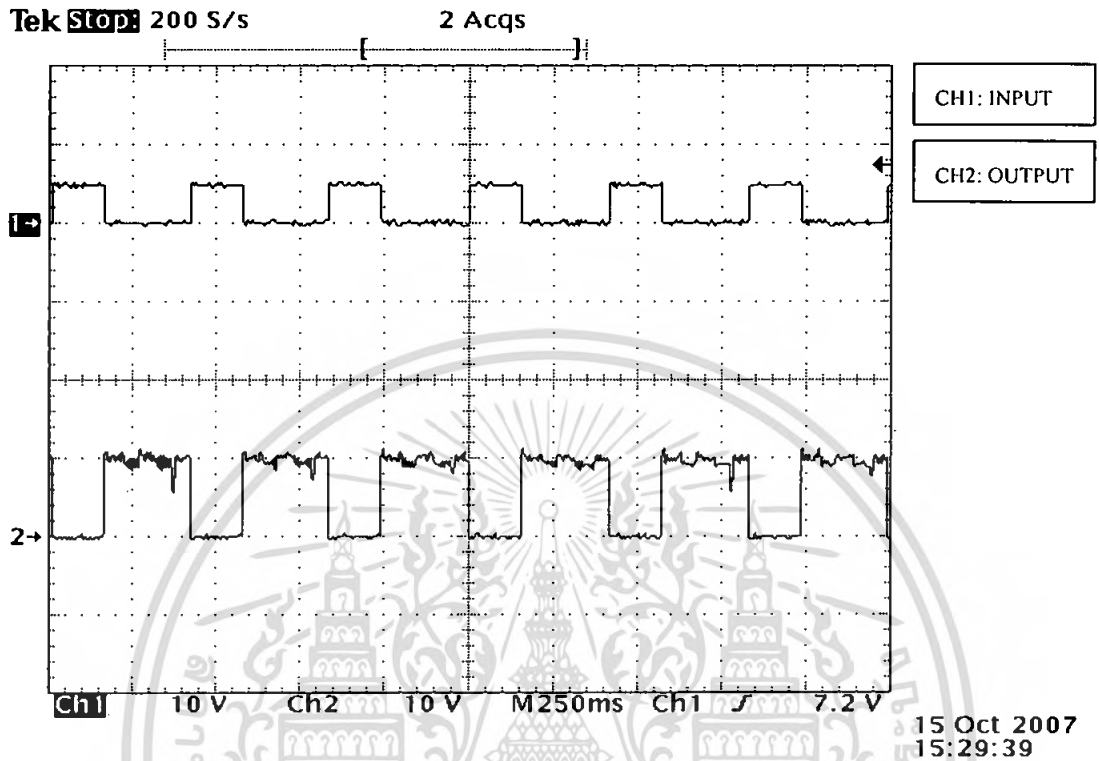
4.2.4 ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 3 ขา 14 ของไอซี ULN2003AG เทียบกับสัญญาณอินพุตที่ได้จากขา 7 ของไอซี L297



รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 3 เทียบกับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 4 ขา 13 ของไอซี ULN2003AG เทียบกับสัญญาณอินพุตที่ได้จากขา 4 ของไอซี L297

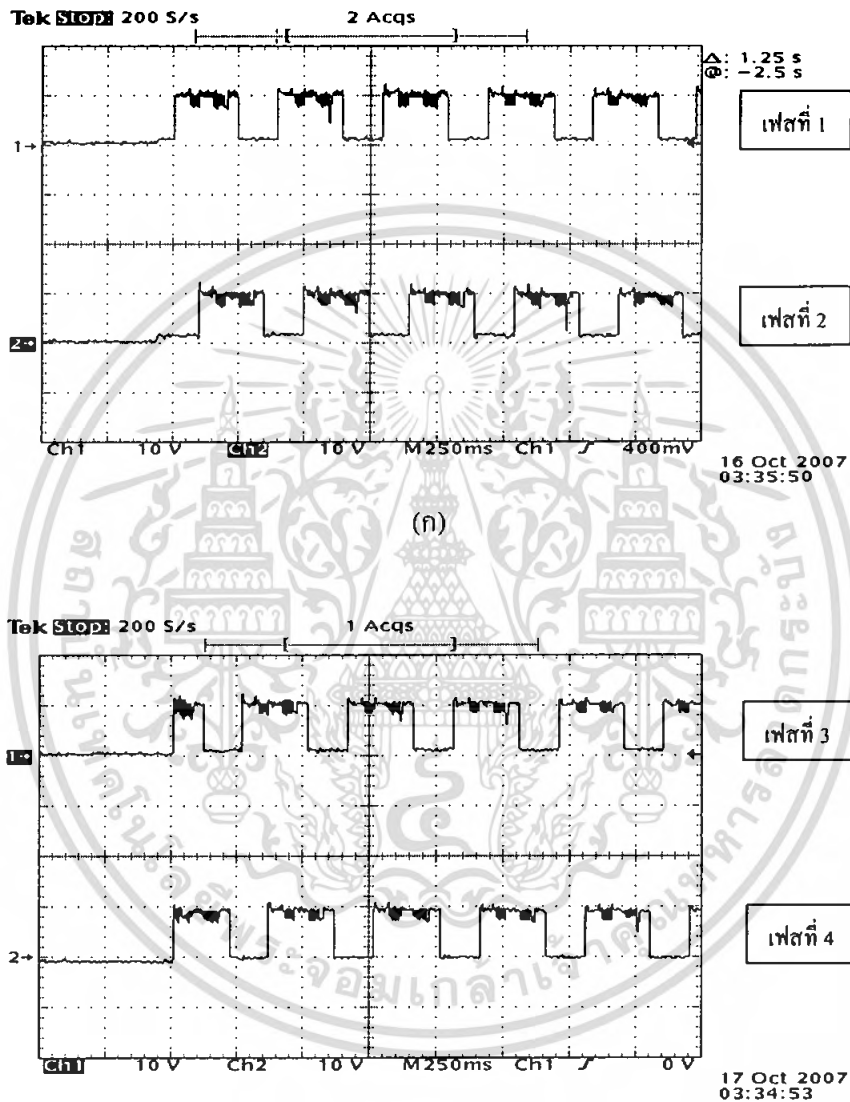


รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตควบคุมมอเตอร์ที่ถูกขยายแล้วเฟสที่ 4 เทียบกับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 วัตถุประสงค์ของเอาต์พุตเฟสที่ 1 ขา 16 เทียบกับเฟสที่ 2 ขา 15 เฟสที่ 3 ขา 14 และเฟสที่ 4 ขา 13 ที่ไอซี ULN2003AG ซึ่งจะวัดสัญญาณเปรียบเทียบกับระหว่างการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกากับการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา

- การหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา



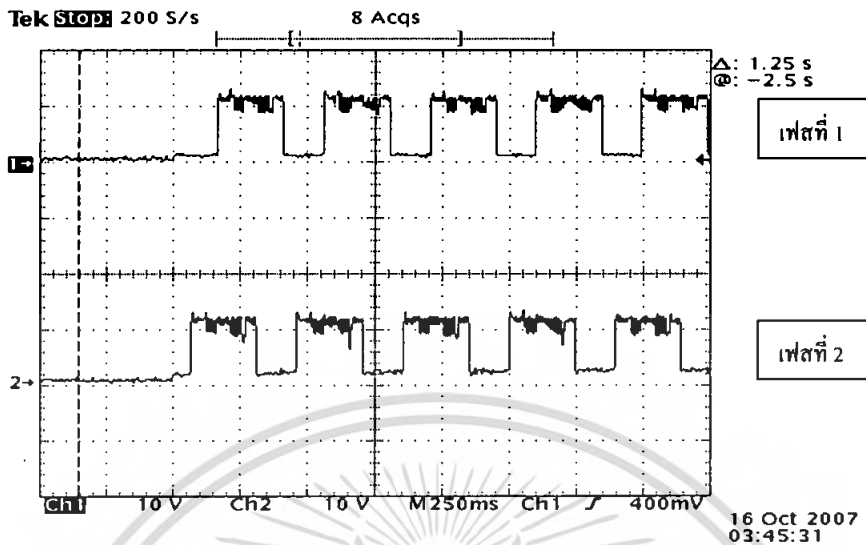
(ข)

รูปที่ 4.15(ก) สัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 ตามลำดับ ของการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา

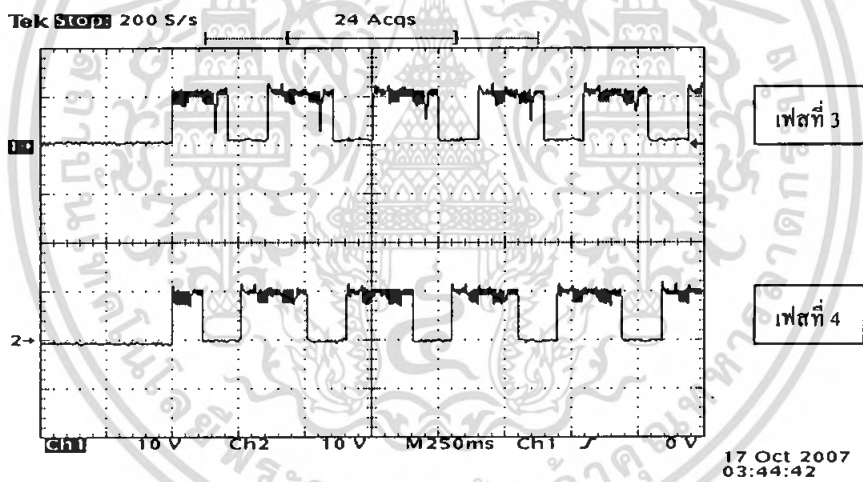
รูปที่ 4.15(ข) สัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับ ของการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16(ก) สัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 ตามลำดับ ของการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 4.16(ข) สัญญาณเอาต์พุตเฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับ ของการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

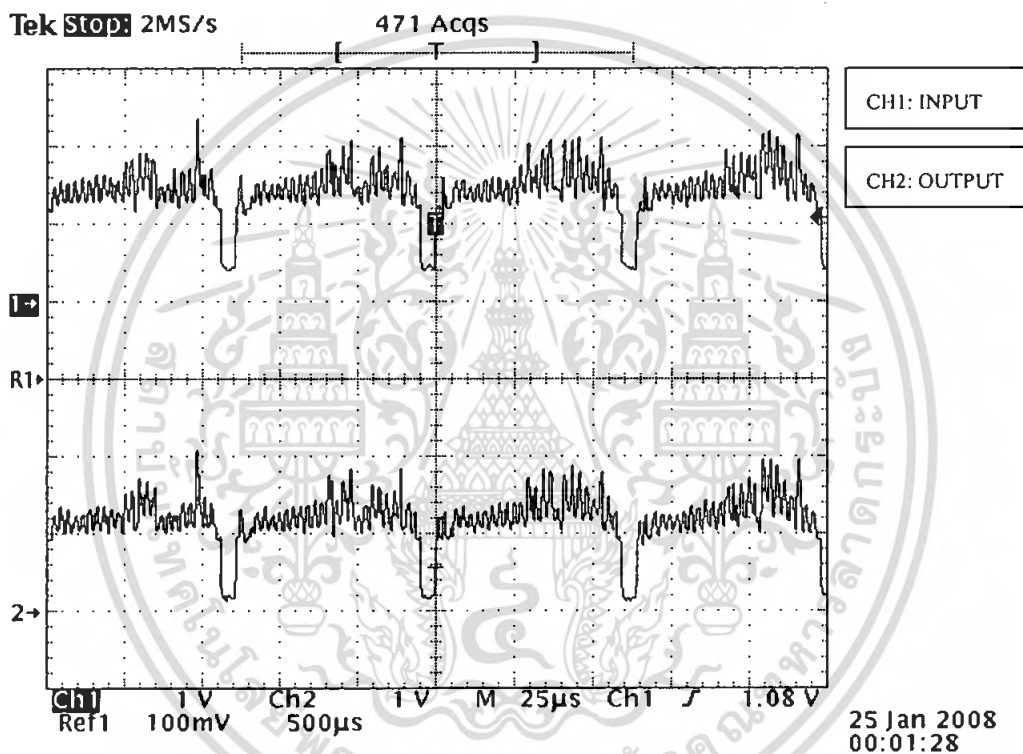
### 4.3 ทดสอบวงจรสวิตช์สัญญาณภาพ

4.3.1 ต่อสายสัญญาณภาพจากกล้องทั้ง 4 ตัวเข้ากับอินพุทของวงจรสวิตช์สัญญาณภาพ

4.3.2 ต่อสัญญาณเอาต์พุทจากวงจรสวิตช์สัญญาณภาพเข้ากับการ์ดบันทึกภาพเพื่อทำการแสดงผล

4.3.3 ป้อนแรงดันไฟตรง 9 โวลต์ ให้กับวงจรสวิตช์สัญญาณภาพ

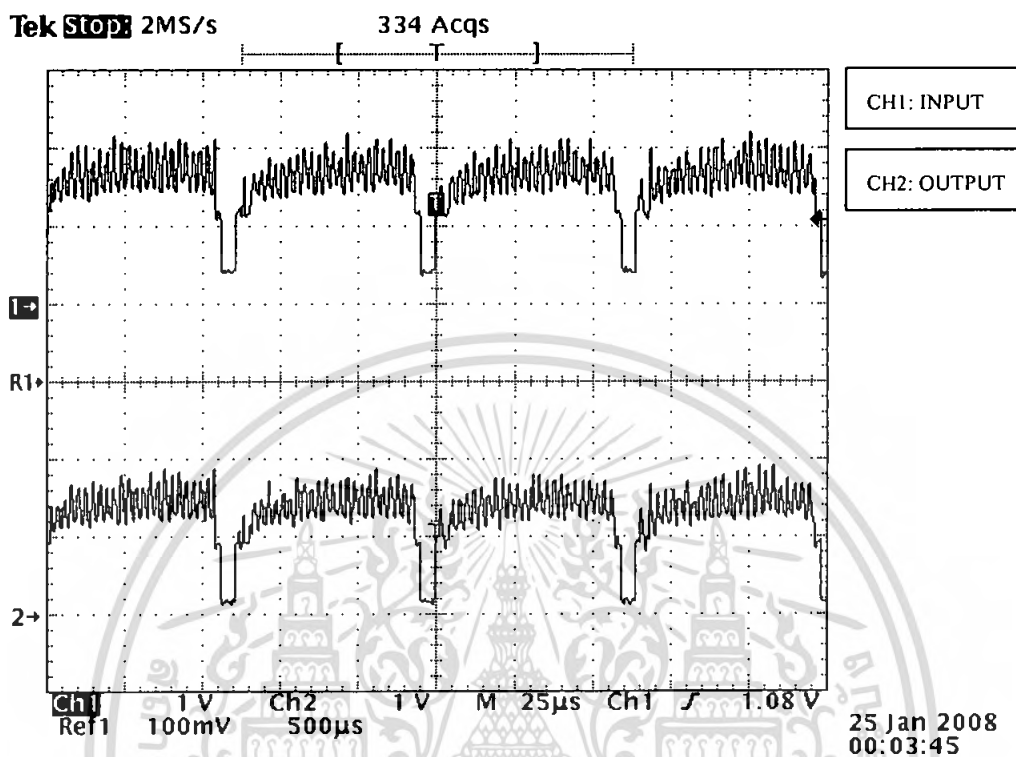
4.3.4 ทำการวัดสัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 1 โดยวัดสัญญาณอินพุทที่ขา 4 ของไอซี CD4066 เทียบกับสัญญาณเอาต์พุทที่ขา 3



รูปที่ 4.17 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 1 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาต์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

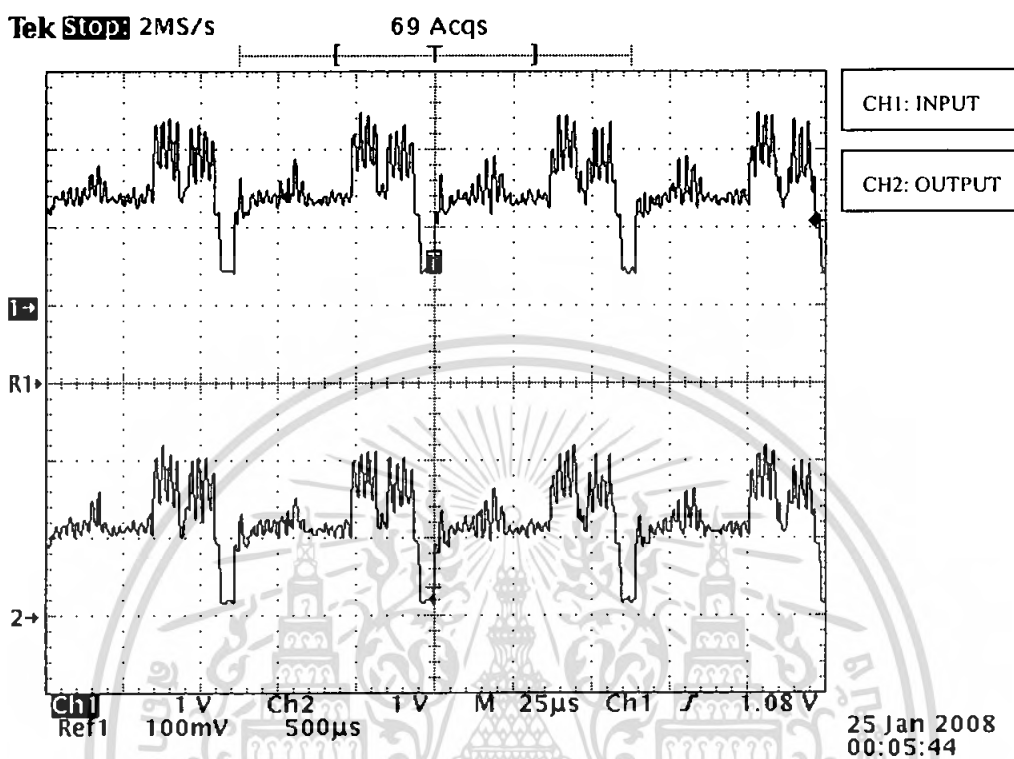
4.3.5 ทำการวัดสัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 2 โดยวัดสัญญาณอินพุตที่ขา 6 ของไอซี CD4066 เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 9



รูปที่ 4.18 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 2 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

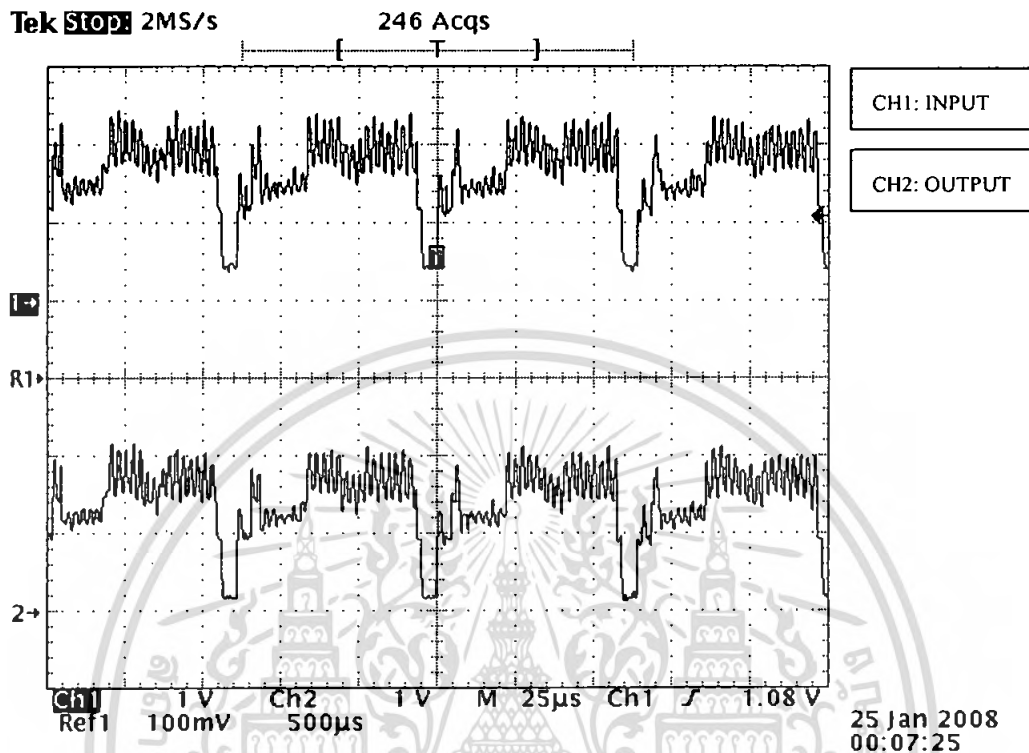
4.3.6 ทำการวัดสัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 3 โดยวัดสัญญาณอินพุตที่ขา 10 ของไอซี CD4066 เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 11



รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 3 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

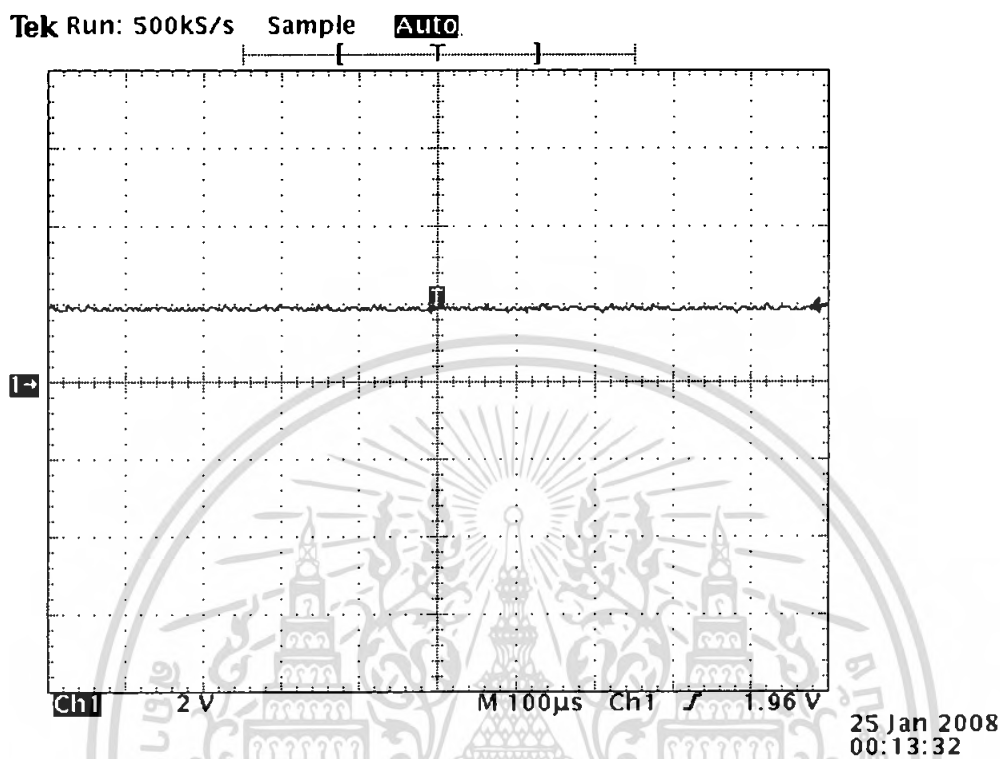
4.3.7 ทำการวัดสัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 4 โดยวัดสัญญาณอินพุตที่ขา 2 ของไอซี CD4066 เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 1



รูปที่ 4.20 สัญญาณภาพจากกล้องตัวที่ 4 โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

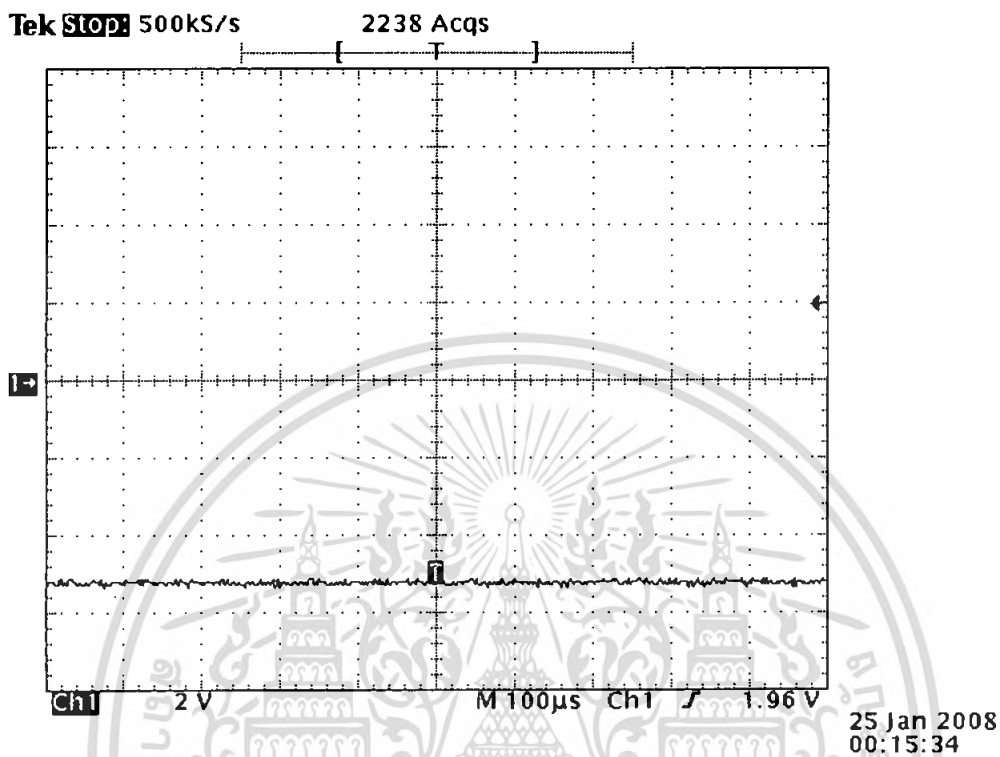
4.3.8 ทำการวัดสัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพที่ขา 5, 6, 12 และ 13 ของไอซี CD4066 กรณีเมื่อทำการเลือกใช้งานกล่องแต่ละตัว



รูปที่ 4.21 สัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพเมื่อทำการเลือกใช้งานกล่องแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

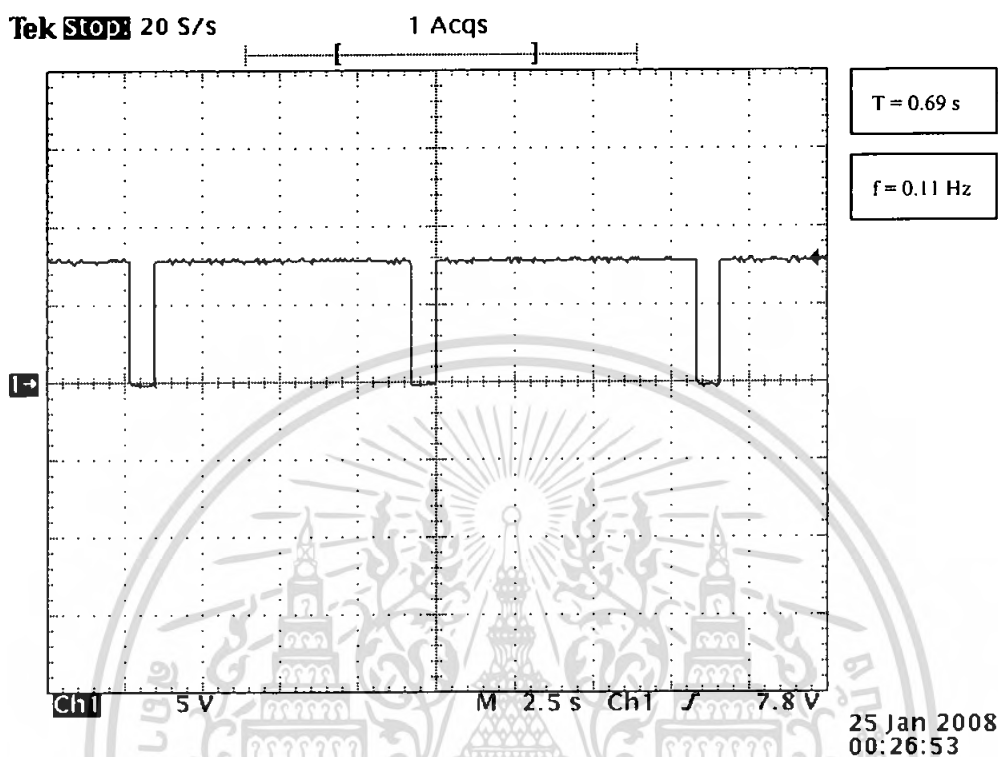
4.3.9 ทำการวัดสัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพที่ขา 5 , 6 , 12 และ 13 ของไอซี CD4066 กรณีเมื่อไม่ได้ทำการเลือกใช้งานกึ่งแต่ละตัว



รูปที่ 4.22 สัญญาณควบคุมการสวิตซ์สัญญาณภาพเมื่อไม่ได้ทำการเลือกใช้งานกึ่งแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10 ทำการวัดสัญญาณนาฬิกาเมื่อเลือกการสวิตซ์สัญญาณภาพแบบอัตโนมัติ โดยวัดที่ขา 3 ของไอซี NE555 ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 4.23 สัญญาณนาฬิกาเมื่อเลือกการสวิตซ์สัญญาณภาพแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

จากการทดลองเมื่อทำการติดตั้งกล้องวงจรปิดเข้ากับฐานกล้องแล้วทำการยึดเข้ากับผนังในบริเวณที่เราต้องการ เมื่อทำการกดสวิทช์ซ้าย-ขวาจะทำให้สเต็ปิ่งมอเตอร์หมุนไปบังคับให้ตัวกล้องหมุนในทิศทางซ้าย-ขวาได้ประมาณ 300 องศา และเมื่อทำการกดสวิทช์ขึ้น-ลงจะทำให้ตัวกล้องหมุนในทิศทางขึ้นลงได้ประมาณ 45 องศา ซึ่งถือว่าให้มุมมองในการมองเห็นภาพที่เพียงพอต่อความต้องการ ส่วนสาเหตุที่ไม่สามารถออกแบบให้ได้อัตโนมัติเพราะเมื่อทำการหมุนเกิน 360 องศาจะเกิดการพันกันของสายนำสัญญาณของกล้องวงจรปิดและสายของสเต็ปิ่งมอเตอร์ ในส่วนของวงจรสวิทช์สัญญาณภาพนั้นสามารถทำการสวิทช์สัญญาณภาพได้ครบทั้ง 4 แชนแนล รวมทั้งสามารถทำการเลือกสัญญาณภาพได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบเลือกเอง ซึ่งคุณภาพของสัญญาณที่ได้ไม่ค่อยดีนัก แต่ก็ยังสามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนพอสมควร ซึ่งสาเหตุที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณไม่ดีเกิดจากการต่อสายนำสัญญาณเชื่อมต่อกันหลายจุด ทำให้สัญญาณเกิดการรบกวนกันและเกิดการสูญเสียของสัญญาณขึ้น โดยแนวทางแก้ไขควรใช้จุดการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณให้น้อยที่สุดและไม่ควรต่อสายนำสัญญาณยาวเกินไป

ปัญหาที่พบในการทดลองคือ ตัวกล้องเกิดการสั่นในเวลาหมุนเพราะตัวกล้องนั้นถูกยึดกับสเต็ปิ่งมอเตอร์โดยตรง โดยไม่ได้ทำการทดเฟือง ซึ่งทำให้ในเวลาหมุนเกิดการสั่นของภาพได้แนวทางแก้ไขคือ ออกแบบฐานกล้องให้มีการทดเฟืองเพื่อลดการสั่นของกล้องให้น้อยลงเวลาเคลื่อนที่

สายนำสัญญาณของตัวกล้องวงจรปิดสั่นเกินไปเวลาที่ตัวกล้องหมุนทำให้เกิดการบิดของสายนำสัญญาณ ทำให้ตัวกล้องนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แนวทางการแก้ไขคือ ใช้กล้องวงจรปิดที่มีสายนำสัญญาณยาวขึ้นและมีการยึดหุ่่นที่ดีแล้วทำการยึดสายนำสัญญาณเข้ากับผนังห้องในระะยะที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระขึ้น

## หนังสืออ้างอิง

- [1] ประกิจ ตั้งศิษานนท์ , ทฤษฎีโทรทัศน , กรุงเทพมหานคร , สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2535
- [2] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ , ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4017BM/CD4017BC Decade Counter/Divider with 10 Decoded Outputs

## CD4022BM/CD4022BC Divide-by-8 Counter/Divider with 8 Decoded Outputs

### General Description

The CD4017BM/CD4017BC is a 5-stage divide-by-10 Johnson counter with 10 decoded outputs and a carry out bit.

The CD4022BM/CD4022BC is a 4-stage divide-by-8 Johnson counter with 8 decoded outputs and a carry-out bit.

These counters are cleared to their zero count by a logical "1" on their reset line. These counters are advanced on the positive edge of the clock signal when the clock enable signal is in the logical "0" state.

The configuration of the CD4017BM/CD4017BC and CD4022BM/CD4022BC permits medium speed operation and assures a hazard free counting sequence. The 10/8 decoded outputs are normally in the logical "0" state and go to the logical "1" state only at their respective time slot. Each decoded output remains high for 1 full clock cycle. The carry-out signal completes a full cycle for every 10/8 clock input cycles and is used as a ripple carry signal to any succeeding stages.

### Features

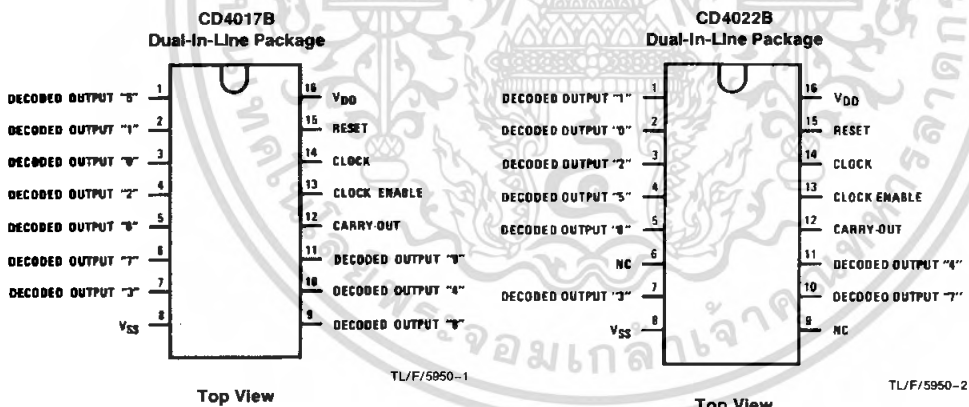
- Wide supply voltage range
- High noise immunity
- Low power
- TTL compatibility
- Medium speed operation
- Low power
- Fully static operation

3.0V to 15V  
0.45  $V_{DD}$  (typ.)  
Fan out of 2 driving 74L  
or 1 driving 74LS  
5.0 MHz (typ.)  
with 10V  $V_{DD}$   
10  $\mu$ W (typ.)

### Applications

- Automotive
- Instrumentation
- Medical electronics
- Alarm systems
- Industrial electronics
- Remote metering

### Connection Diagrams



Order Number CD4017B or CD4022B

CD4017BM/CD4017BC Decade Counter/Divider with 10 Decoded Outputs  
CD4022BM/CD4022BC Divide-by-8 Counter/Divider with 8 Decoded Outputs

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5 $V_{DC}$ to +18 $V_{DC}$
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5 $V_{DC}$ to $V_{DD}$ + 0.5 $V_{DC}$
Storage Temperature ( $T_S$ )	-65°C to +150°C
Power Dissipation ( $P_D$ )	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature ( $T_L$ ) (Soldering, 10 seconds)	260°C

### Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	+3 $V_{DC}$ to +15 $V_{DC}$
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0 to $V_{DD}$ $V_{DC}$
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	
CD4017BM, CD4022BM	-55°C to +125°C
CD4017BC, CD4022BC	-40°C to +85°C

### DC Electrical Characteristics CD4017BM, CD4022BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		5		0.3	5		150	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		10		0.5	10		300	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		20		1.0	20		600	$\mu A$
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95	V	
$V_{IL}$	Low Level Input Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$		1.5			1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$		3.0			3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$		4.0			4.0		4.0	V
$V_{IH}$	High Level Input Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	3.5		3.5			3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$	7.0		7.0			7.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$	11.0		11.0			11.0	V	
$I_{OL}$	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
$I_{OH}$	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.25		-0.2	-0.36		-0.14		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-0.62		-0.5	-0.9		-0.35		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-1.8		-1.5	-3.5		-1.1		mA
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		-10 <sup>-5</sup>	-0.1		-1.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10 <sup>-5</sup>	0.1		1.0	$\mu A$

### DC Electrical Characteristics CD4017BC, CD4022BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		20		0.5	20		150	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$		40		1.0	40		300	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$		80		5.0	80		600	$\mu A$
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$ I_O  < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95	V	

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed, they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2:  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

Note 3:  $I_{OL}$  and  $I_{OH}$  are tested one output at a time.

### DC Electrical Characteristics CD4017BC, CD4022BC (Note 2) (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage	I <sub>O</sub>   < 1.0 μA								
		V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V		3.0			3.0		3.0	V
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage	I <sub>O</sub>   < 1.0 μA								
		V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5			3.5		V
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V	7.0		7.0			7.0		V
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0			11.0		V
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current (Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current (Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.2		-0.16	-0.36		-0.12		mA
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-0.5		-0.4	-0.9		-0.3		mA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-1.4		-1.2	-3.5		-1.0		mA
I <sub>IN</sub>	Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.3		-10 <sup>-5</sup>		-0.3		μA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.3		10 <sup>-5</sup>		0.3		μA

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed, they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

**Note 2:** V<sub>SS</sub> = 0V unless otherwise specified.

**Note 3:** I<sub>OL</sub> and I<sub>OH</sub> are tested one output at a time.

### AC Electrical Characteristics\*

T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200k, t<sub>rCL</sub> and t<sub>fCL</sub> = 20 ns, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
<b>CLOCK OPERATION</b>							
t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time Carry Out Line	V <sub>DD</sub> = 5V		415	800	ns	
		V <sub>DD</sub> = 10V		160	320	ns	
		V <sub>DD</sub> = 15V		130	250	ns	
	Carry Out Line	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V	C <sub>L</sub> = 15 pF		240	480	ns
					85	170	ns
					70	140	ns
Decode Out Lines	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		500	1000	ns		
			200	400	ns		
			160	320	ns		
t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	Transition Time Carry Out and Decode Out Lines t <sub>TLH</sub>	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		200	360	ns	
				100	180	ns	
				80	130	ns	
	t <sub>THL</sub>	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100	200	ns	
				50	100	ns	
				40	80	ns	
f <sub>CL</sub>	Maximum Clock Frequency	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V	Measured with Respect to Carry Output Line	1.0	2	MHz	
				2.5	5	MHz	
				3.0	6	MHz	
t <sub>WL</sub> , t <sub>WH</sub>	Minimum Clock Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		125	250	ns	
				45	90	ns	
				35	70	ns	
t <sub>rCL</sub> , t <sub>fCL</sub>	Clock Rise and Fall Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V			20	μs	
					15	μs	
					5	μs	
t <sub>SU</sub>	Minimum Clock Inhibit Data Setup Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		120	240	ns	
				40	80	ns	
				32	65	ns	
C <sub>IN</sub>	Average Input Capacitance			5	7.5	pF	

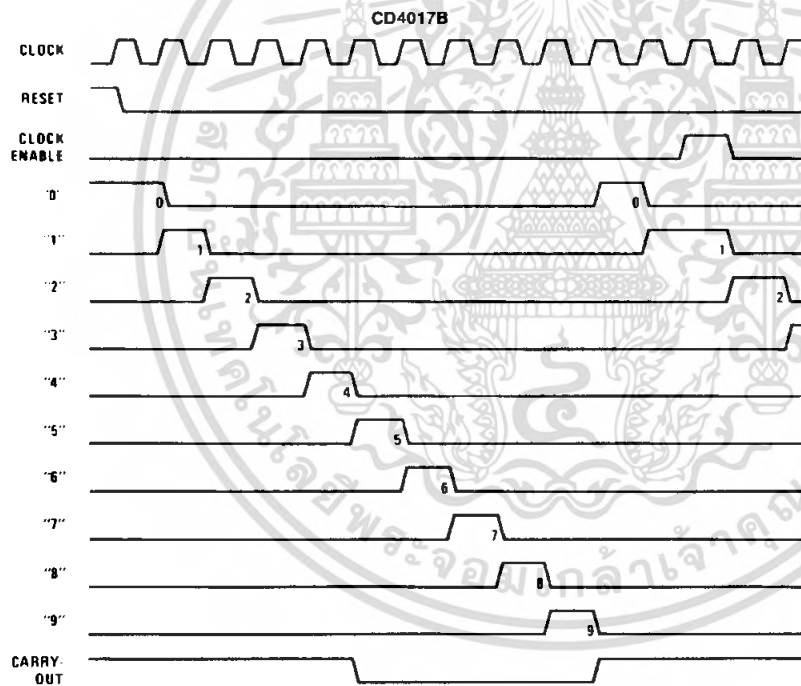
## AC Electrical Characteristics\*

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}$ ,  $t_{\text{CL}}$  and  $t_{\text{rCL}} = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>RESET OPERATION</b>						
$t_{\text{PHL}}$ , $t_{\text{PLH}}$	Propagation Delay Time Carry Out Line	$V_{\text{DD}} = 5\text{V}$		415	800	ns
		$V_{\text{DD}} = 10\text{V}$		160	320	ns
		$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$		130	250	ns
	Carry Out Line	$V_{\text{DD}} = 5\text{V}$	} $C_L = 15\text{ pF}$	240	480	ns
		$V_{\text{DD}} = 10\text{V}$		85	170	ns
		$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$		70	140	ns
	Decode Out Lines	$V_{\text{DD}} = 5\text{V}$		500	1000	ns
		$V_{\text{DD}} = 10\text{V}$		200	400	ns
		$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$		160	320	ns
$t_w$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{\text{DD}} = 5\text{V}$		200	400	ns
		$V_{\text{DD}} = 10\text{V}$		70	140	ns
		$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$		55	110	ns
$t_{\text{REM}}$	Minimum Reset Removal Time	$V_{\text{DD}} = 5\text{V}$		75	150	ns
		$V_{\text{DD}} = 10\text{V}$		30	60	ns
		$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$		25	50	ns

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

## Timing Diagrams

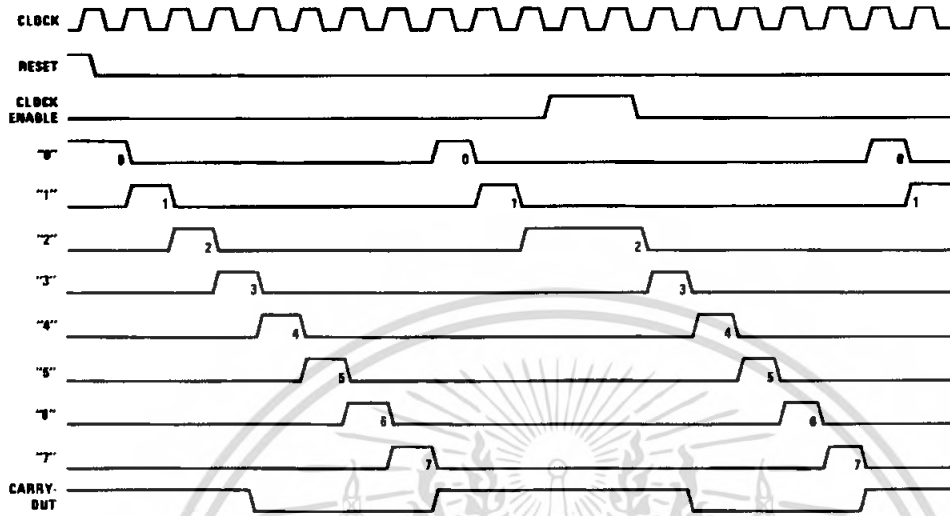


TL/F/5950-3

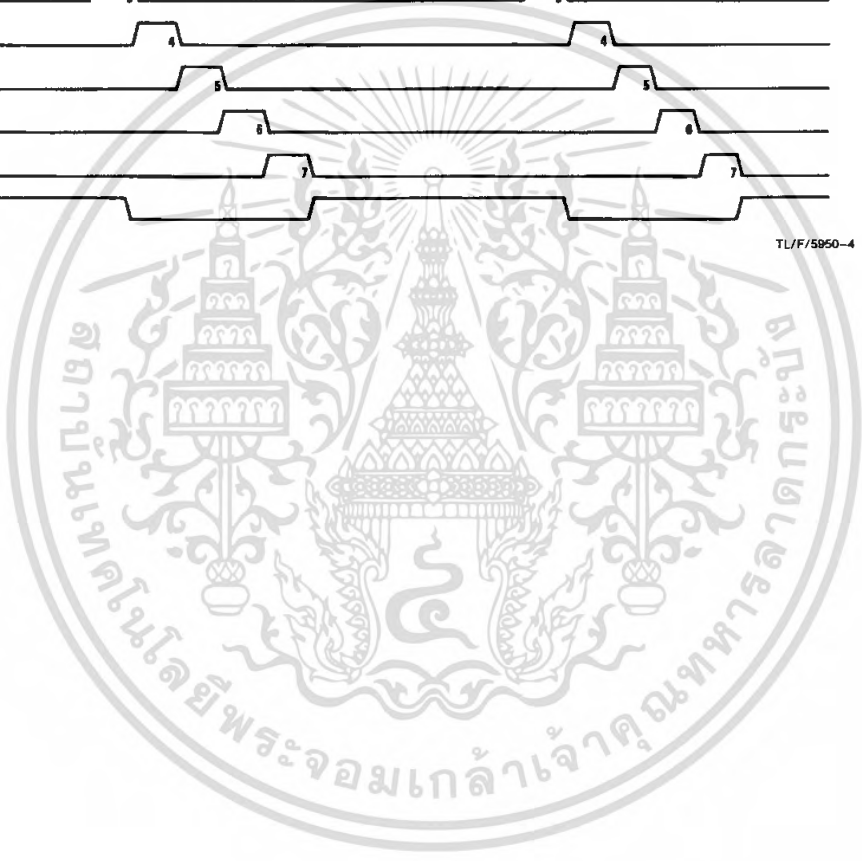
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagrams (Continued)

CD4022B

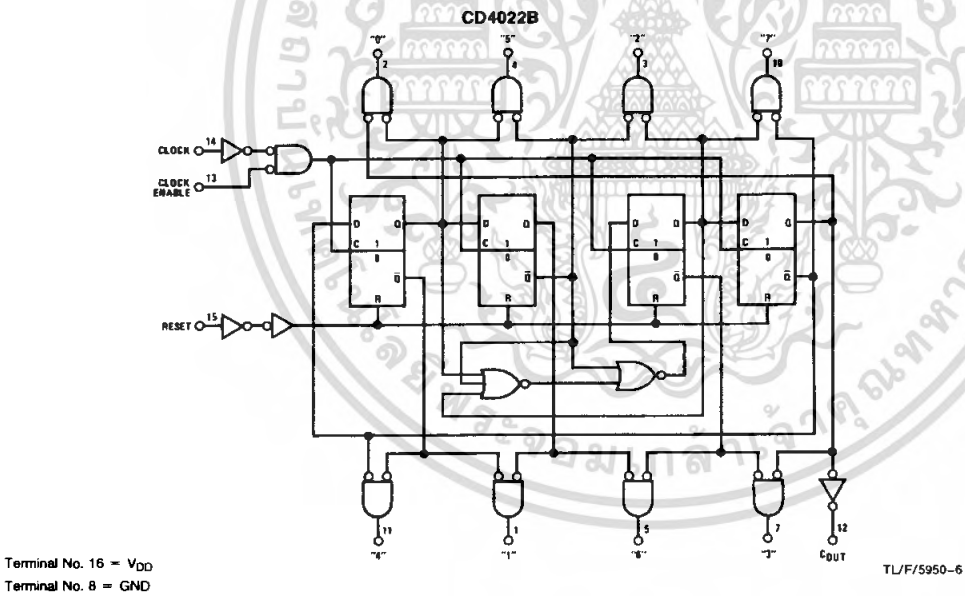
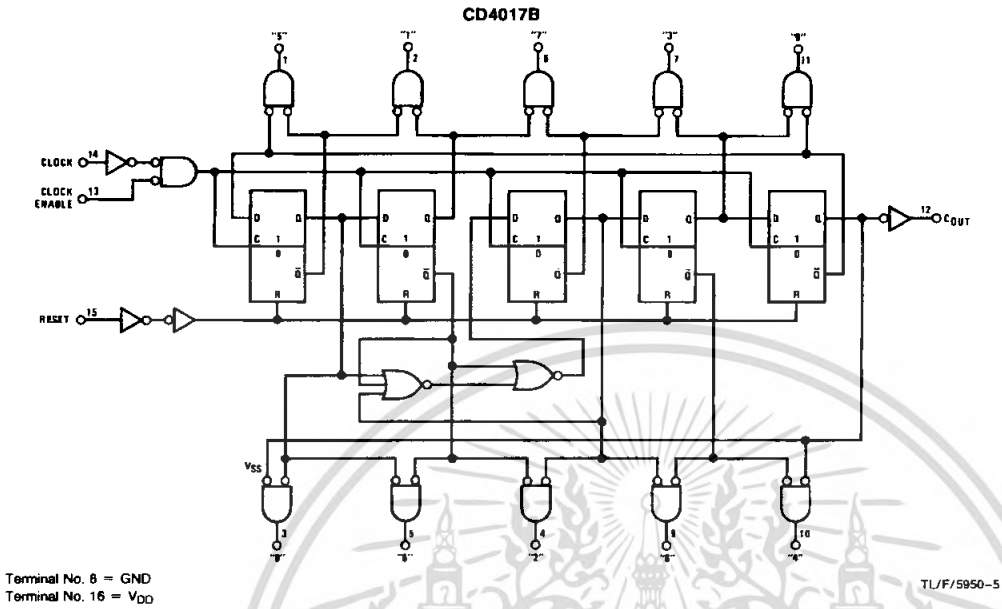


TL/F/5950-4



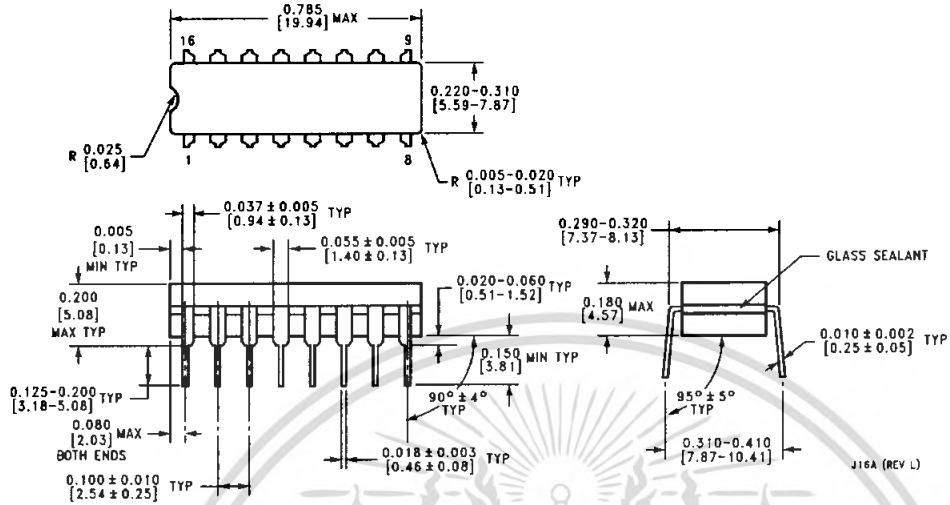
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Logic Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

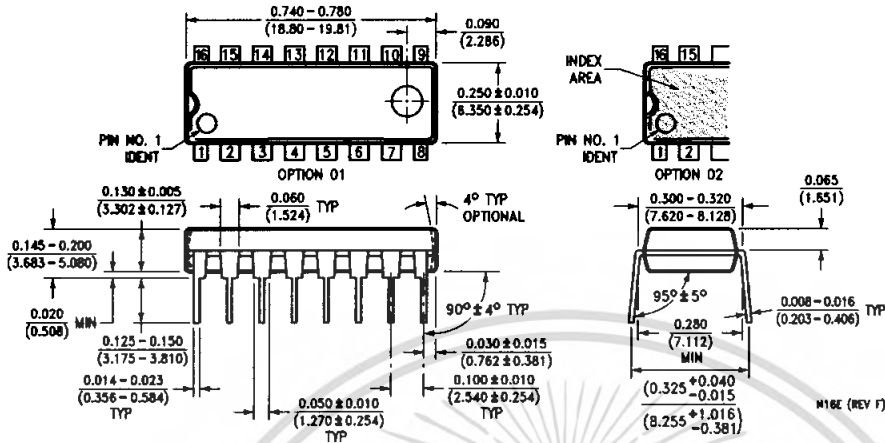
**Physical Dimensions** inches (millimeters)



**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
**Order Number CD4017BMJ, CD4017BCJ, CD4022BMJ, CD4022BCJ**  
**NS Package Number J16A**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)  
 Order Number CD4017BMN, CD4017BCN, CD4022BMN, CD4022BCN  
 NS Package Number N16E

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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



**National Semiconductor Corporation**  
 1111 West Bardin Road  
 Arlington, TX 76017  
 Tel: 1(800) 272-9959  
 Fax: 1(800) 737-7018

**National Semiconductor Europe**  
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
 Email: cnwge@lsvm2.nsc.com  
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85  
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32  
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58  
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 18 80

**National Semiconductor Hong Kong Ltd.**  
 13th Floor, Straight Block,  
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
 Tsimshatsui, Kowloon  
 Hong Kong  
 Tel: (852) 2737-1600  
 Fax: (852) 2736-9960

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
 Tel: 81-043-299-2309  
 Fax: 81-043-299-2408

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

## CD4066BM/CD4066BC Quad Bilateral Switch

### General Description

The CD4066BM/CD4066BC is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with CD4016BM/CD4016BC, but has a much lower "ON" resistance, and "ON" resistance is relatively constant over the input-signal range.

- Extremely low "OFF" switch leakage @  $V_{DD} - V_{SS} = 10V, T_A = 25^\circ C$  0.1 nA (typ.)
- Extremely high control input impedance  $10^{12}\Omega$  (typ.)
- Low crosstalk between switches @  $f_{is} = 0.9$  MHz,  $R_L = 1$  k $\Omega$  -50 dB (typ.)
- Frequency response, switch "ON" 40 MHz (typ.)

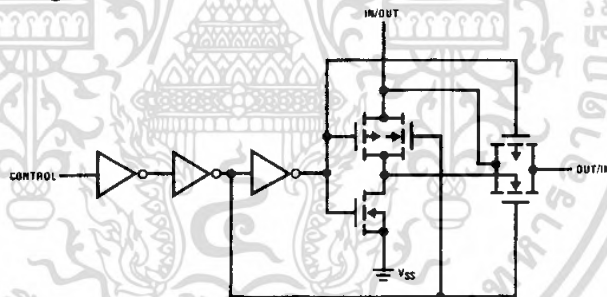
### Features

- Wide supply voltage range 3V to 15V
- High noise immunity  $0.45 V_{DD}$  (typ.)
- Wide range of digital and analog switching  $\pm 7.5 V_{PEAK}$
- "ON" resistance for 15V operation 80 $\Omega$
- Matched "ON" resistance over 15V signal input  $\Delta R_{ON} = 5\Omega$  (typ.)
- "ON" resistance flat over peak-to-peak signal range
- High "ON"/"OFF" output voltage ratio @  $f_{is} = 10$  kHz,  $R_L = 10$  k $\Omega$  65 dB (typ.)
- High degree linearity @  $f_{is} = 1$  kHz,  $V_{is} = 5V_{p-p}$ ,  $V_{DD} - V_{SS} = 10V, R_L = 10$  k $\Omega$  0.1% distortion (typ.)
- High degree linearity

### Applications

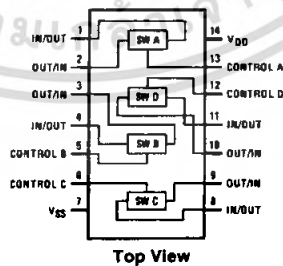
- Analog signal switching/multiplexing
  - Signal gating
  - Squeeich control
  - Chopper
  - Modulator/Demodulator
  - Commutating switch
- Digital signal switching/multiplexing
- CMOS logic implementation
- Analog-to-digital/digital-to-analog conversion
- Digital control of frequency, impedance, phase, and analog-signal-gain

### Schematic and Connection Diagrams



Order Number CD4066B

### Dual-In-Line Package



Top View

TL/F/5665-1

**Absolute Maximum Ratings** (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5V to +18V
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$
Storage Temperature Range ( $T_S$ )	-65°C to +150°C
Power Dissipation ( $P_D$ )	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature ( $T_L$ )	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

**Recommended Operating Conditions** (Note 2)

Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	3V to 15V
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0V to $V_{DD}$
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	
CD4066BM	-55°C to +125°C
CD4066BC	-40°C to +85°C

**DC Electrical Characteristics** CD4066BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		0.25		0.01	0.25		7.5	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$		0.5		0.01	0.5		15	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$		1.0		0.01	1.0		30	$\mu A$

**SIGNAL INPUTS AND OUTPUTS**

$R_{ON}$	"ON" Resistance	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $\frac{V_{DD} - V_{SS}}{2}$ $V_C = V_{DD}$ , $V_{IS} = V_{SS}$ to $V_{DD}$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		800 310 200		270 120 80	1050 400 240		1300 550 320	$\Omega$ $\Omega$ $\Omega$
$\Delta R_{ON}$	$\Delta$ "ON" Resistance Between any 2 of 4 Switches	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $\frac{V_{DD} - V_{SS}}{2}$ $V_C = V_{DD}$ , $V_{IS} = V_{SS}$ to $V_{DD}$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$				10 5				$\Omega$ $\Omega$
$I_{IS}$	Input or Output Leakage Switch "OFF"	$V_C = 0$ $V_{IS} = 15V$ and $0V$ , $V_{OS} = 0V$ and $15V$		$\pm 50$		$\pm 0.1$	$\pm 50$		$\pm 500$	nA

**CONTROL INPUTS**

$V_{ILC}$	Low Level Input Voltage	$V_{IS} = V_{SS}$ and $V_{DD}$ $V_{OS} = V_{DD}$ and $V_{SS}$ $I_{IS} = \pm 10\ \mu A$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		1.5 3.0 4.0		2.25 4.5 6.75	1.5 3.0 4.0		1.5 3.0 4.0	V V V
$V_{IHC}$	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ (see note 6) $V_{DD} = 15V$	3.5 7.0 11.0		3.5 7.0 11.0	2.75 5.5 8.25		3.5 7.0 11.0		V V V
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} - V_{SS} = 15V$ $V_{DD} \geq V_{IS} \geq V_{SS}$ $V_{DD} \geq V_C \geq V_{SS}$		$\pm 0.1$		$\pm 10^{-5}$	$\pm 0.1$		$\pm 1.0$	$\mu A$

**DC Electrical Characteristics** CD4066BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		1.0		0.01	1.0		7.5	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$		2.0		0.01	2.0		15	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$		4.0		0.01	4.0		30	$\mu A$

## DC Electrical Characteristics (Continued) CD4066BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
<b>SIGNAL INPUTS AND OUTPUTS</b>										
$R_{ON}$	"ON" Resistance	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $\frac{V_{DD}-V_{SS}}{2}$ $V_C = V_{DD}, V_{SS}$ to $V_{DD}$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		850 330 210		270 120 80	1050 400 240		1200 520 300	$\Omega$ $\Omega$ $\Omega$
$\Delta R_{ON}$	$\Delta$ "ON" Resistance Between Any 2 of 4 Switches	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ to $\frac{V_{DD}-V_{SS}}{2}$ $V_{CC} = V_{DD}, V_{IS} = V_{SS}$ to $V_{DD}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$				10 5				$\Omega$ $\Omega$
$I_{IS}$	Input or Output Leakage Switch "OFF"	$V_C = 0$		$\pm 50$		$\pm 0.1$	$\pm 50$		$\pm 200$	nA

## CONTROL INPUTS

$V_{ILC}$	Low Level Input Voltage	$V_{IS} = V_{SS}$ and $V_{DD}$ $V_{OS} = V_{DD}$ and $V_{SS}$ $I_{IS} = \pm 10\mu\text{A}$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		1.5 3.0 4.0		2.25 4.5 6.75	1.5 3.0 4.0		1.5 3.0 4.0	V V V
$V_{IHC}$	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ (See note 6) $V_{DD} = 15\text{V}$	3.5 7.0 11.0		3.5 7.0 11.0	2.75 5.5 8.25		3.5 7.0 11.0		V V V
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} - V_{SS} = 15\text{V}$ $V_{DD} \geq V_{IS} \geq V_{SS}$ $V_{DD} \geq V_C \geq V_{SS}$		$\pm 0.3$		$\pm 10^{-5}$	$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	$\mu\text{A}$

## AC Electrical Characteristics\* $T_A = 25^\circ\text{C}, t_r = t_f = 20\text{ ns}$ and $V_{SS} = 0\text{V}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL}, t_{PLH}$	Propagation Delay Time Signal Input to Signal Output	$V_C = V_{DD}, C_L = 50\text{ pF}$ , (Figure 1) $R_L = 200\text{ k}\Omega$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		25 15 10	55 35 25	ns ns ns
$t_{PZH}, t_{PZL}$	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output High Impedance to Logical Level	$R_L = 1.0\text{ k}\Omega, C_L = 50\text{ pF}$ , (Figures 2 and 3) $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$			125 60 50	ns ns ns
$t_{PHZ}, t_{PLZ}$	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output Logical Level to High Impedance Sine Wave Distortion  Frequency Response-Switch "ON" (Frequency at -3 dB)	$R_L = 1.0\text{ k}\Omega, C_L = 50\text{ pF}$ , (Figures 2 and 3) $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$ $V_C = V_{DD} = 5\text{V}, V_{SS} = -5\text{V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega, V_{IS} = 5V_{p-p}, f = 1\text{ kHz}$ , (Figure 4)  $V_C = V_{DD} = 5\text{V}, V_{SS} = -5\text{V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega, V_{IS} = 5V_{p-p}$ , $20 \text{ Log}_{10} V_{OS}/V_{OS}$ (1 kHz) - dB, (Figure 4)		0.1  40	125 60 50	ns ns ns %  MHz

## AC Electrical Characteristics\* (Continued) $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ and $V_{SS} = 0\text{V}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	Feedthrough — Switch "OFF" (Frequency at -50 dB)	$V_{DD} = 5.0\text{V}$ , $V_{CC} = V_{SS} = -5.0\text{V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $V_{IS} = 5.0\text{V}_{p-p}$ , $20\text{ Log}_{10}$ , $V_{OS}/V_{IS} = -50\text{ dB}$ , (Figure 4)		1.25		
	Crosstalk Between Any Two Switches (Frequency at -50 dB)	$V_{DD} = V_{C(A)} = 5.0\text{V}$ ; $V_{SS} = V_{C(B)} = 5.0\text{V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $V_{IS(A)} = 5.0\text{V}_{p-p}$ , $20\text{ Log}_{10}$ , $V_{OS(B)}/V_{IS(A)} = -50\text{ dB}$ (Figure 5)		0.9		MHz
	Crosstalk; Control Input to Signal Output	$V_{DD} = 10\text{V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $R_{IN} = 1.0\text{ k}\Omega$ , $V_{CC} = 10\text{V}$ Square Wave, $C_L = 50\text{ pF}$ (Figure 6)		150		mV <sub>p-p</sub>
	Maximum Control Input	$R_L = 1.0\text{ k}\Omega$ , $C_L = 50\text{ pF}$ , (Figure 7) $V_{OS(f)} = \frac{1}{2} V_{OS}(1.0\text{ kHz})$ $V_{DD} = 5.0\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		6.0 8.0 8.5		MHz MHz MHz
$C_{IS}$	Signal Input Capacitance			8.0		pF
$C_{OS}$	Signal Output Capacitance	$V_{DD} = 10\text{V}$		8.0		pF
$C_{IOS}$	Feedthrough Capacitance	$V_C = 0\text{V}$		0.5		pF
$C_{IN}$	Control Input Capacitance			5.0	7.5	pF

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

**Note 2:**  $V_{SS} = 0\text{V}$  unless otherwise specified.

**Note 3:** These devices should not be connected to circuits with the power "ON".

**Note 4:** In all cases, there is approximately 5 pF of probe and jig capacitance in the output; however, this capacitance is included in  $C_L$  wherever it is specified.

**Note 5:**  $V_{IS}$  is the voltage at the in/out pin and  $V_{OS}$  is the voltage at the out/in pin.  $V_C$  is the voltage at the control input.

**Note 6:** Conditions for  $V_{IHC}$ : a)  $V_{IS} = V_{DD}$ ,  $V_{OS} = \text{standard B series } I_{OH}$  b)  $V_{IS} = 0\text{V}$ ,  $I_{OL} = \text{standard B series } I_{OL}$ .

## AC Test Circuits and Switching Time Waveforms

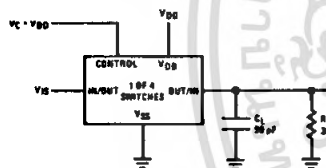


FIGURE 1.  $t_{PHL}$ ,  $t_{PLH}$  Propagation Delay Time Signal Input to Signal Output

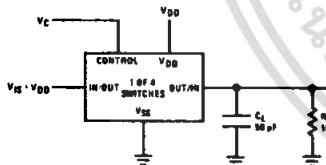
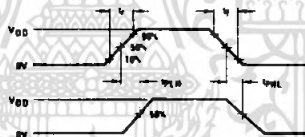


FIGURE 2.  $t_{PZH}$ ,  $t_{PHZ}$  Propagation Delay Time Control to Signal Output

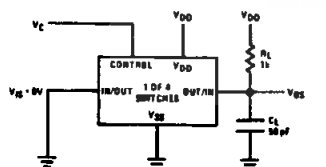
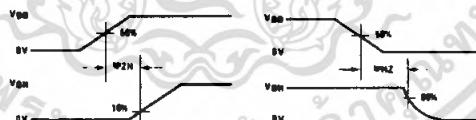
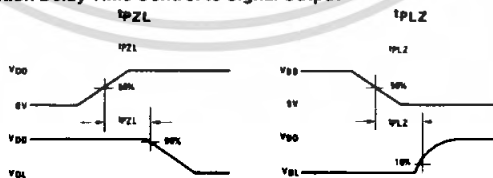


FIGURE 3.  $t_{PZL}$ ,  $t_{PLZ}$  Propagation Delay Time Control to Signal Output



TU/F/5665-2

## AC Test Circuits and Switching Time Waveforms (Continued)

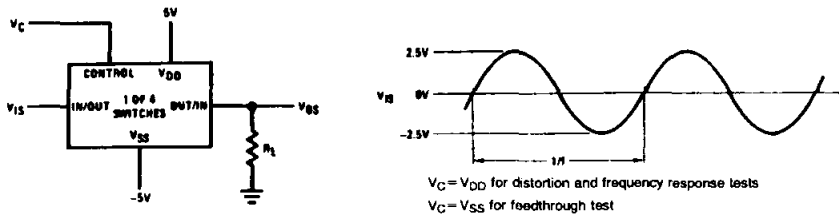


FIGURE 4. Sine Wave Distortion, Frequency Response and Feedthrough

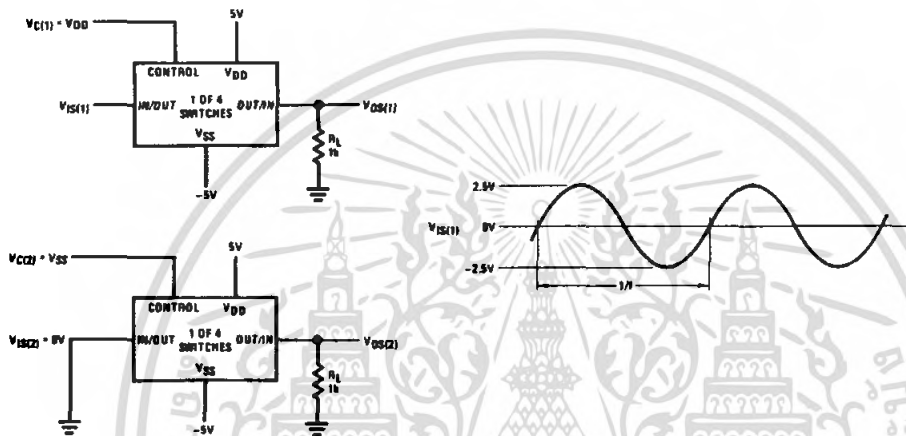


FIGURE 5. Crosstalk Between Any Two Switches

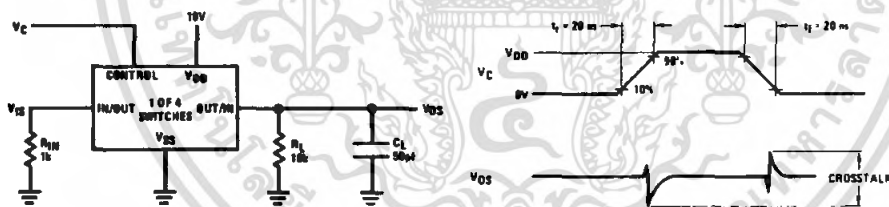


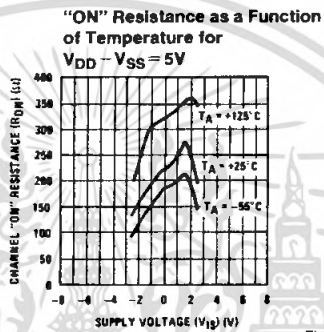
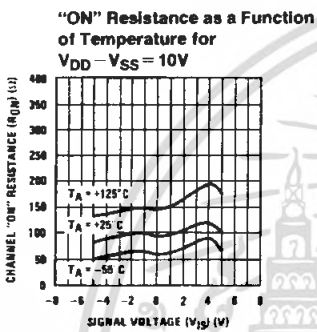
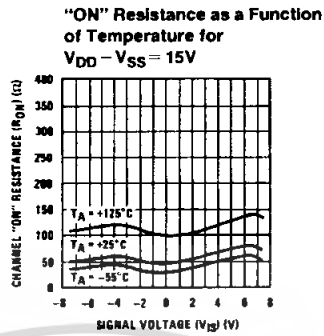
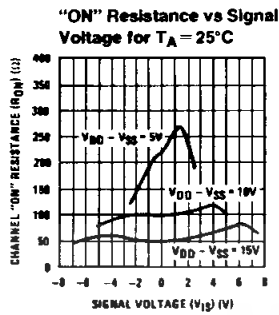
FIGURE 6. Crosstalk: Control Input to Signal Output



FIGURE 7. Maximum Control Input Frequency

TL/F/5665-3

## Typical Performance Characteristics



TL/F/5665-4

### Special Considerations

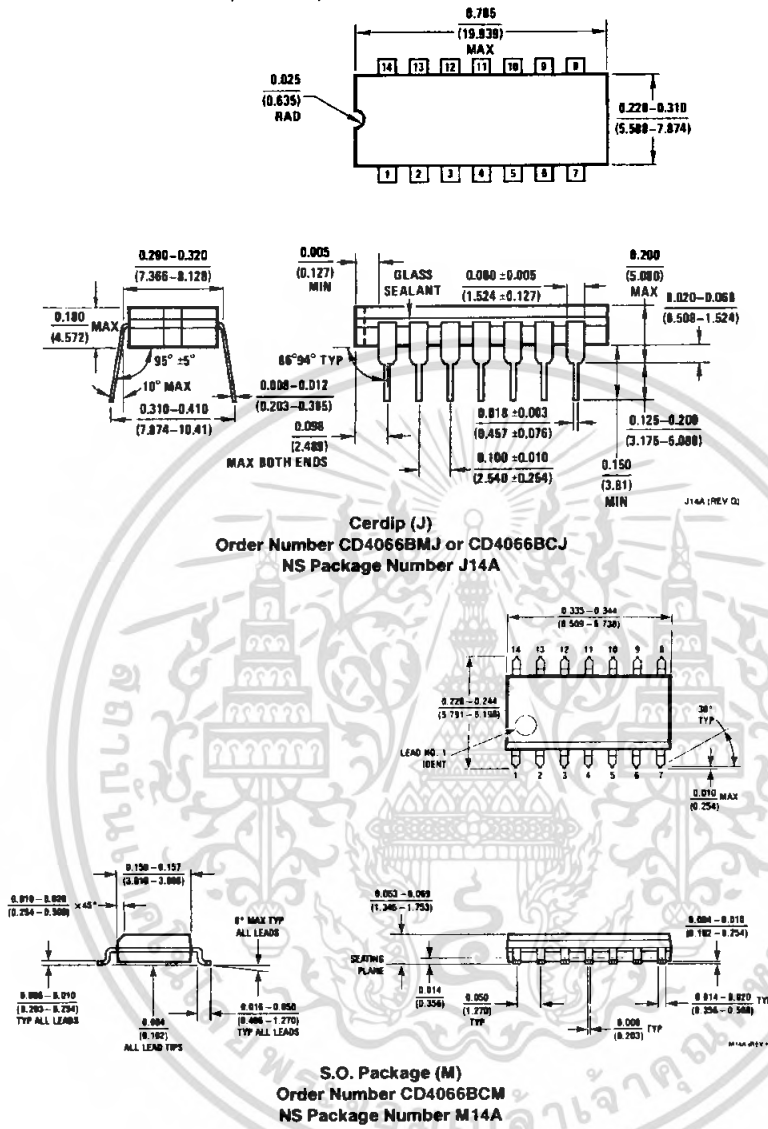
In applications where separate power sources are used to drive  $V_{DD}$  and the signal input, the  $V_{DD}$  current capability should exceed  $V_{DD}/R_L$  ( $R_L$  = effective external load of the 4 CD4066BM/CD4066BC bilateral switches). This provision avoids any permanent current flow or clamp action of the  $V_{DD}$  supply when power is applied or removed from CD4066BM/CD4066BC.

In certain applications, the external load-resistor current may include both  $V_{DD}$  and signal-line components. To avoid

drawing  $V_{DD}$  current when switch current flows into terminals 1, 4, 8 or 11, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.6V at  $T_A \leq 25^\circ\text{C}$ , or 0.4V at  $T_A > 25^\circ\text{C}$  (calculated from  $R_{ON}$  values shown).

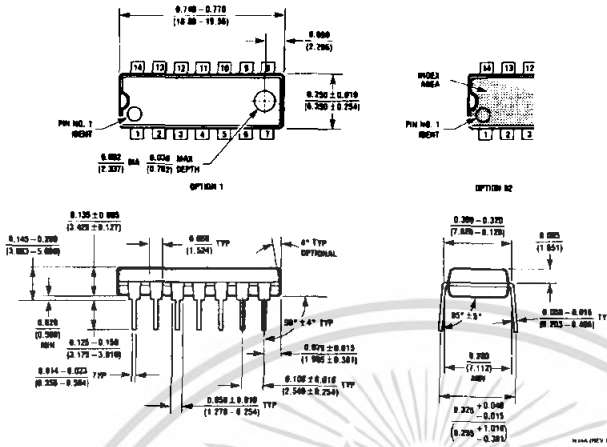
No  $V_{DD}$  current will flow through  $R_L$  if the switch current flows into terminals 2, 3, 9 or 10.

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



**Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number CD4066BMN or CD4066BCN**  
**NS Package Number N14A**

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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



**National Semiconductor Corporation**  
 1111 West Bardin Road  
 Arlington, TX 76017  
 Tel: 1(800) 272-9959  
 Fax: 1(800) 737-7018

**National Semiconductor Europe**  
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com  
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85  
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32  
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58  
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

**National Semiconductor Hong Kong Ltd.**  
 13th Floor, Straight Block,  
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
 Tsimshatsui, Kowloon  
 Hong Kong  
 Tel: (852) 2737-1600  
 Fax: (852) 2736-9960

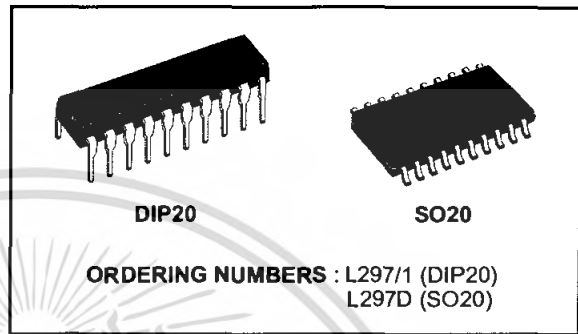
**National Semiconductor Japan Ltd.**  
 Tel: 81-043-299-2309  
 Fax: 81-043-299-2408

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAVE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT



### DESCRIPTION

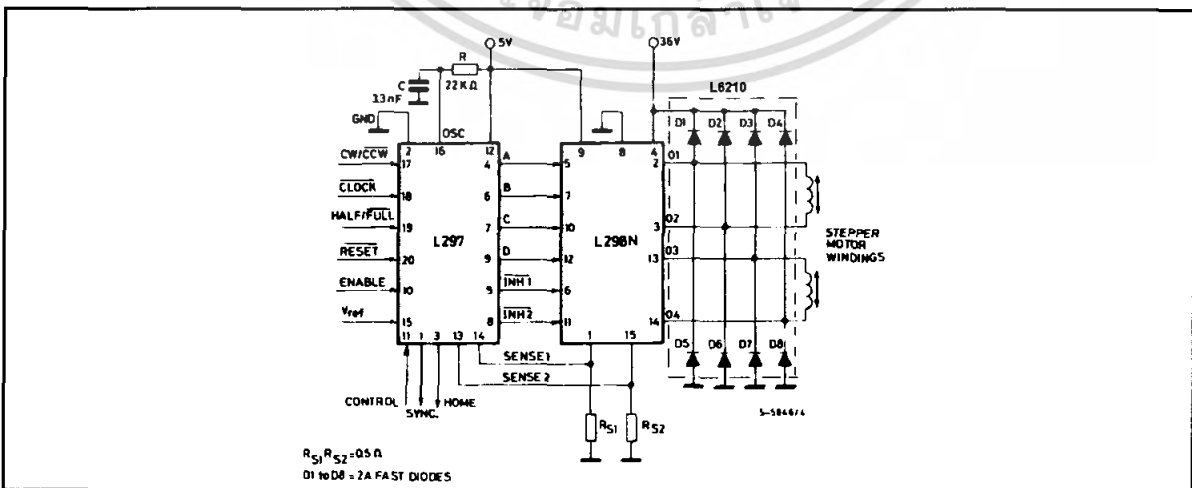
The L297 Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switch-mode control of the current in the windings. A feature of

this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlingtonts.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

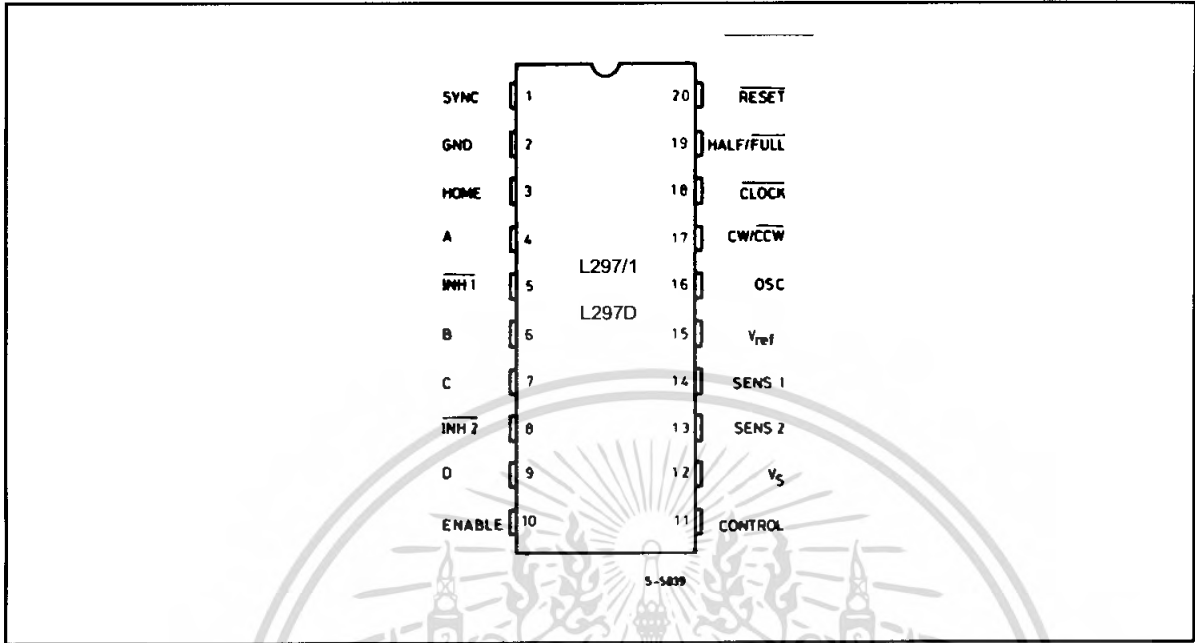
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply voltage	10	V
$V_i$	Input signals	7	V
$P_{tot}$	Total power dissipation ( $T_{amb} = 70^\circ\text{C}$ )	1	W
$T_{slg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to + 150	$^\circ\text{C}$

### TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

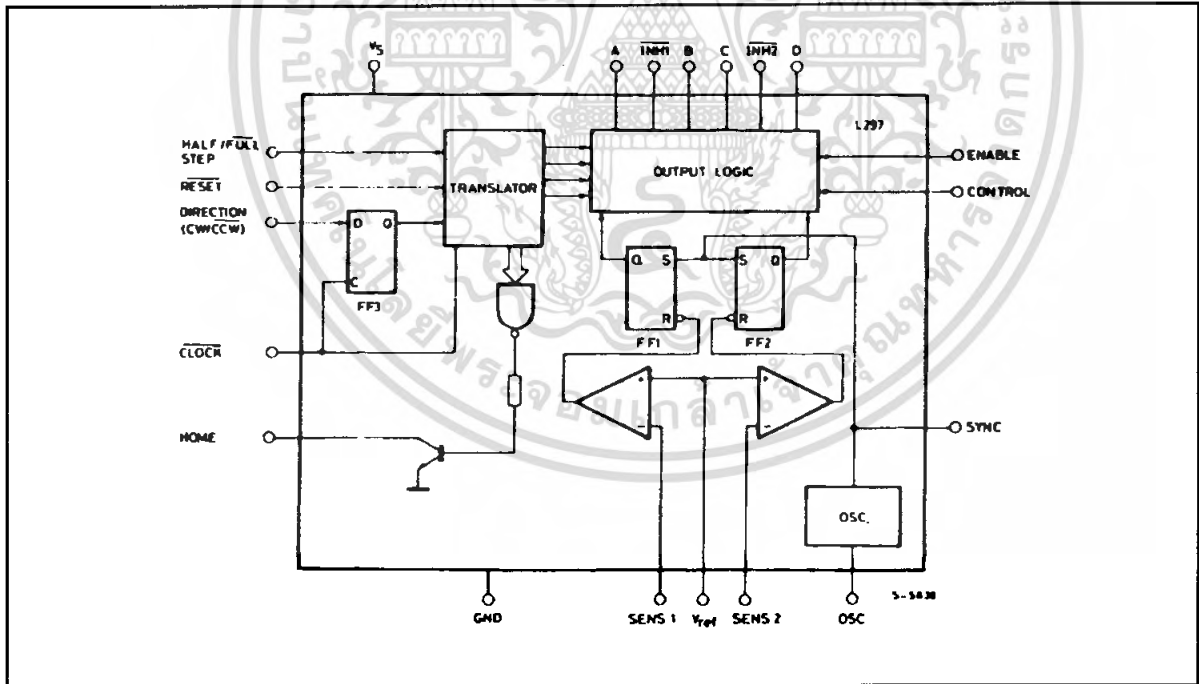


# L297

## PIN CONNECTION (Top view)



## BLOCK DIAGRAM (L297/1 - L297D)



## PIN FUNCTIONS - L297/1 - L297D

N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	$\overline{\text{INH1}}$	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	$\overline{\text{INH2}}$	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	$V_s$	5V supply input.
13	SENS <sub>2</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS <sub>1</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	$V_{\text{ref}}$	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to $V_{\text{CC}}$ , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi - L297 configurations. $f \approx 1/0.69 RC$
17	$\overline{\text{CW/CCW}}$	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	$\overline{\text{CLOCK}}$	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.

## PIN FUNCTIONS - L297/1 - L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP20	SO20	Unit	
$R_{th-j-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	max	80	100	°C/W

## CIRCUIT OPERATION

The L297 is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines

are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs SENS<sub>1</sub> or SENS<sub>2</sub>) equals  $V_{ref}$  and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the  $V_{ref}$  input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

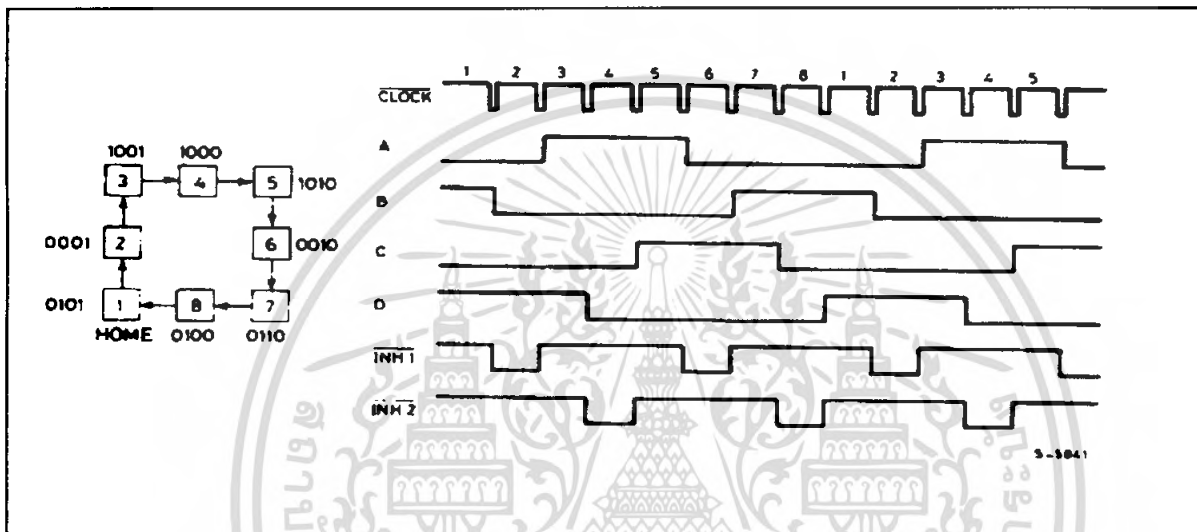
**MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES**

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. The state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transition of CLOCK.

Clockwise rotation is indicate; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed RESET restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

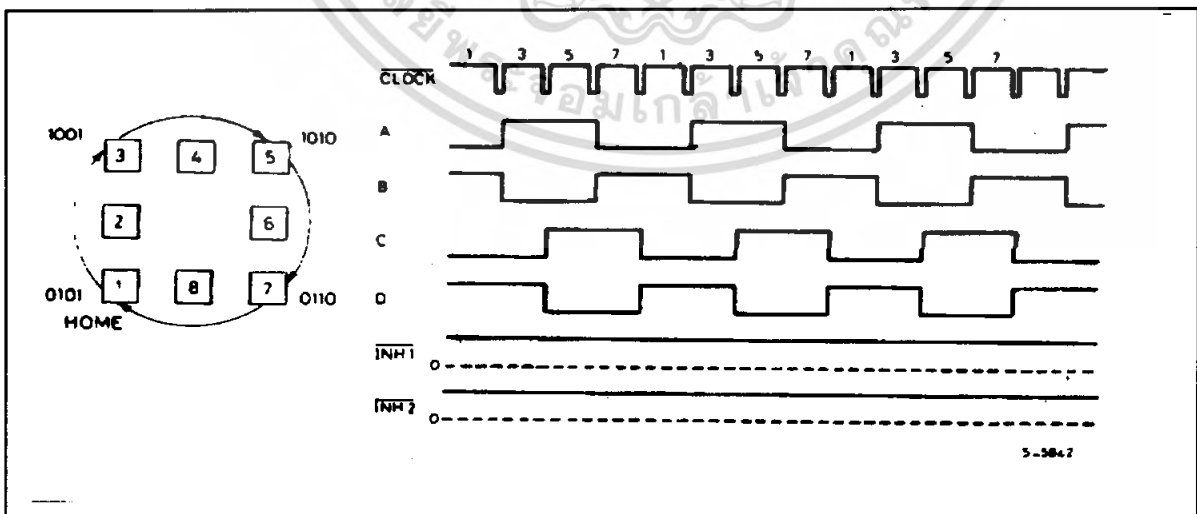
**HALF STEP MODE**

Half step mode is selected by a high level on the HALF/FULL input.



**NORMAL DRIVE MODE**

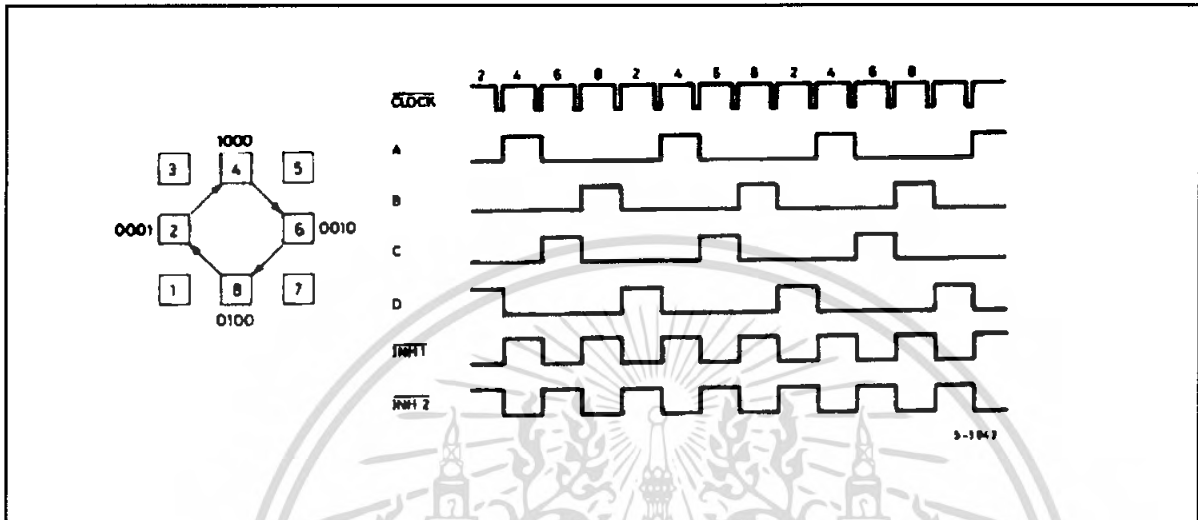
Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the INH1 and INH2 outputs remain high throughout.



## MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

## WAVE DRIVE MODE

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).

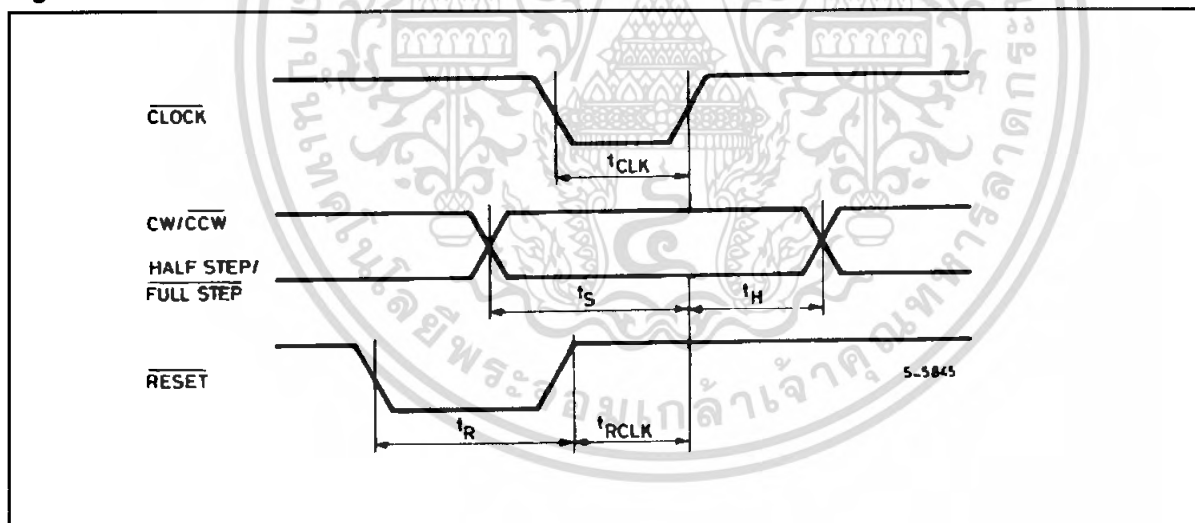

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Refer to the block diagram  $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_s = 5\text{V}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
$V_s$	Supply voltage (pin 12)		4.75		7	V
$I_s$	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating		50	80	mA
$V_i$	Input voltage (pin 11, 17, 18, 19, 20)	Low			0.6	V
		High	2		$V_s$	V
$I_i$	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = L$		100		$\mu\text{A}$
		$V_i = H$			10	$\mu\text{A}$
$V_{en}$	Enable input voltage (pin 10)	Low			1.3	V
		High	2		$V_s$	V
$I_{en}$	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = L$			100	$\mu\text{A}$
		$V_{en} = H$			10	$\mu\text{A}$
$V_o$	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)	$I_o = 10\text{mA}$ $V_{OL}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{OH}$	3.9			V
$V_{inh}$	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	$I_o = 10\text{mA}$ $V_{inh L}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{inh H}$	3.9			V
$V_{SYNC}$	Sync Output Voltage	$I_o = 5\text{mA}$ $V_{SYNC H}$	3.3			V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{SYNC V}$			0.8	

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
$I_{leak}$	Leakage current (pin 3)	$V_{CE} = 7\text{ V}$			1	$\mu\text{A}$
$V_{sat}$	Saturation voltage (pin 3)	$I = 5\text{ mA}$			0.4	V
$V_{off}$	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	$V_{ref} = 1\text{ V}$			5	mV
$I_o$	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	$\mu\text{A}$
$V_{ref}$	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
$t_{CLK}$	Clock time		0.5			$\mu\text{s}$
$t_S$	Set up time		1			$\mu\text{s}$
$t_H$	Hold time		4			$\mu\text{s}$
$t_R$	Reset time		1			$\mu\text{s}$
$t_{RCLK}$	Reset to clock delay		1			$\mu\text{s}$

Figure 1.

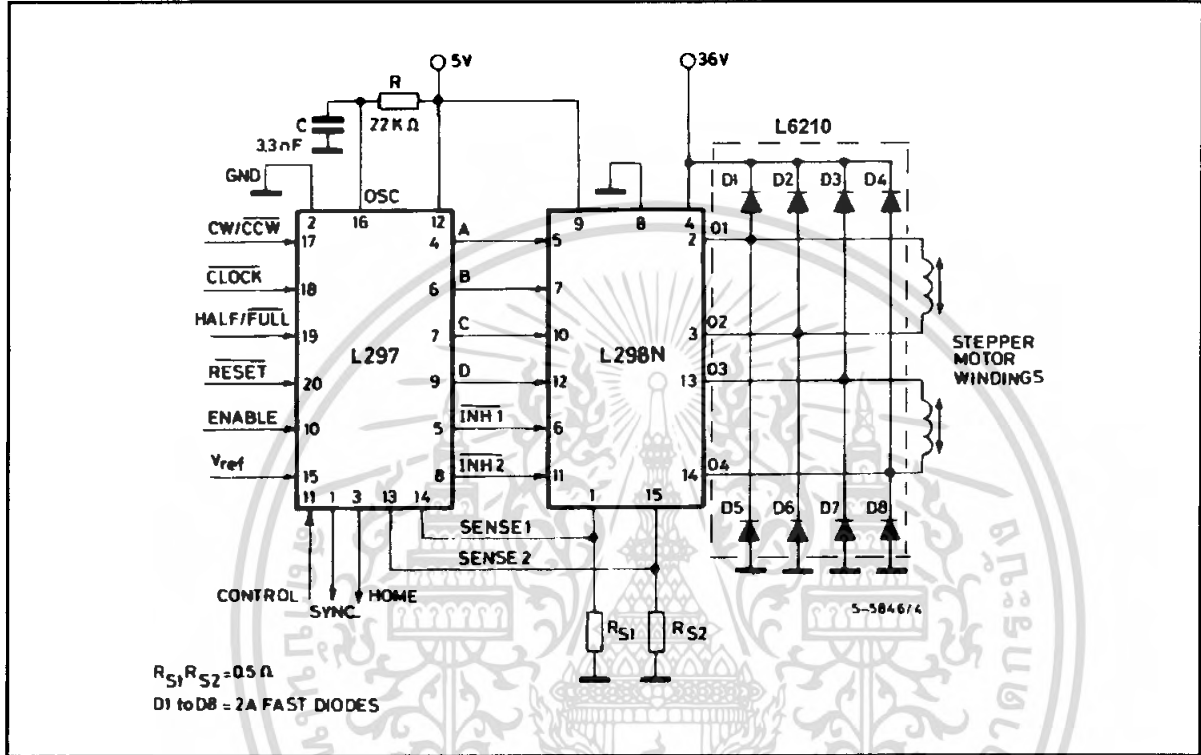


**APPLICATION INFORMATION**

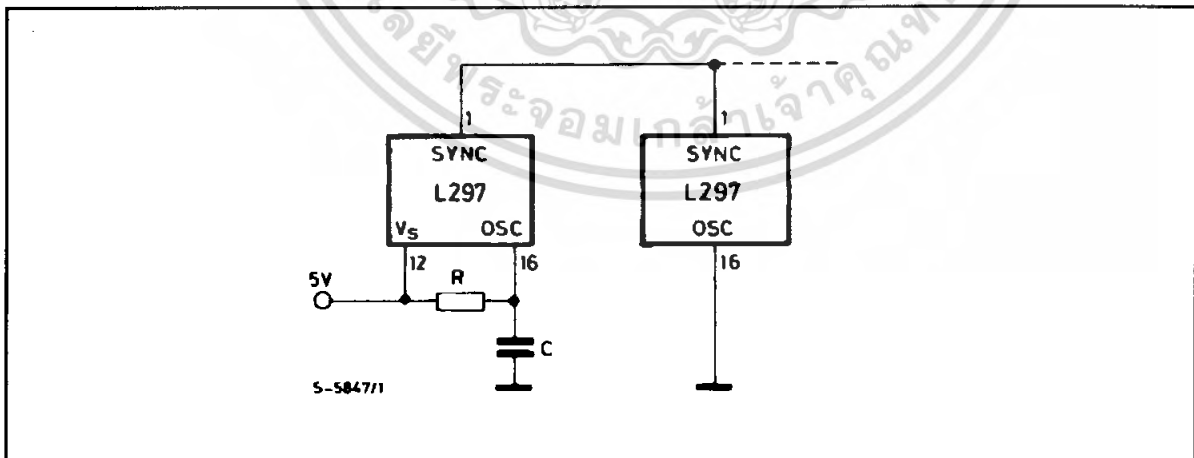
**TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT**

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2A. The diodes are fast 2A types.

**Figure 2.**

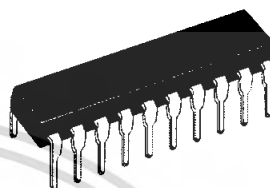


**Figure 3 : Synchronising L297s**

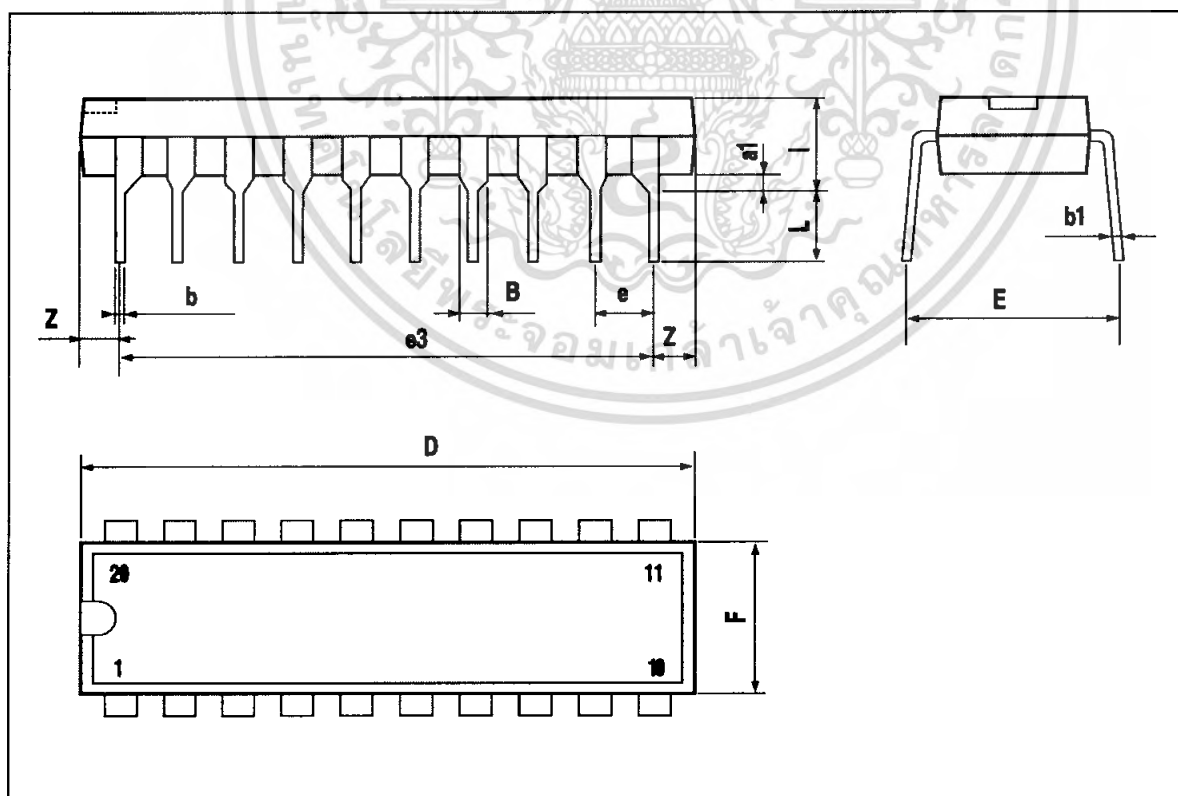


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.254			0.010		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.45			0.018	
b1		0.25			0.010	
D			25.4			1.000
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		22.86			0.900	
F			7.1			0.280
I			3.93			0.155
L		3.3			0.130	
Z			1.34			0.053

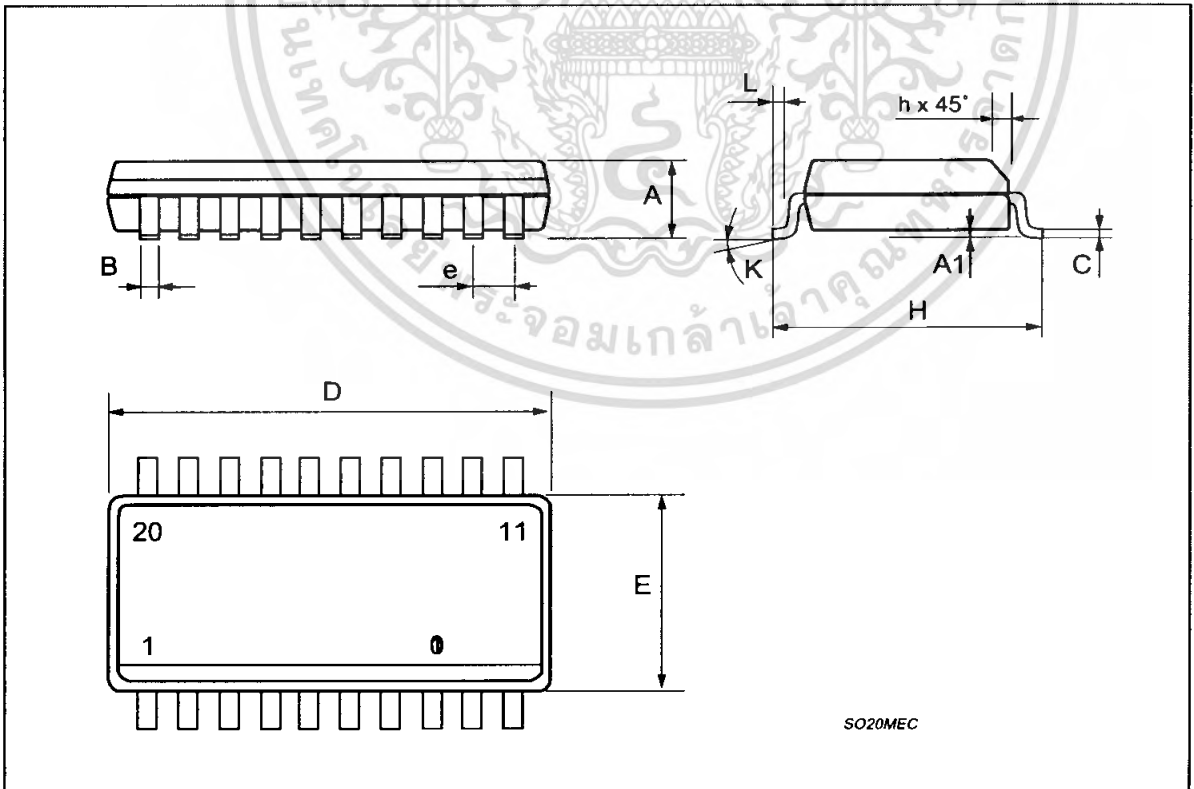
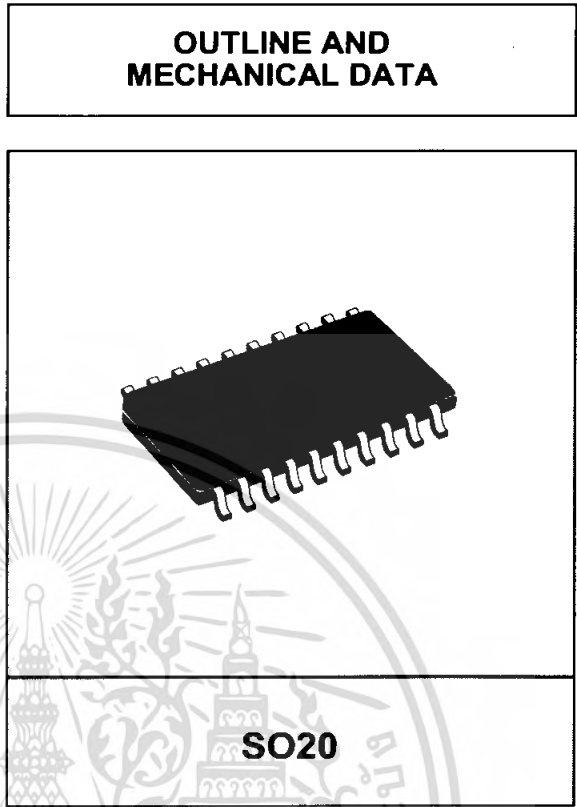
### OUTLINE AND MECHANICAL DATA



**DIP20**



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	2.35		2.65	0.093		0.104
A1	0.1		0.3	0.004		0.012
B	0.33		0.51	0.013		0.020
C	0.23		0.32	0.009		0.013
D	12.6		13	0.496		0.512
E	7.4		7.6	0.291		0.299
e		1.27			0.050	
H	10		10.65	0.394		0.419
h	0.25		0.75	0.010		0.030
L	0.4		1.27	0.016		0.050
K	0° (min.)8° (max.)					





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

<http://www.st.com>

# LM555/NE555/SA555

## Single Timer

### Features

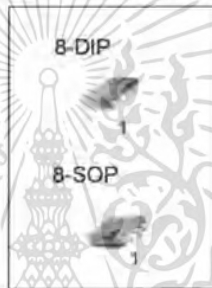
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From  $\mu$ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than  $2\mu$ Sec

### Applications

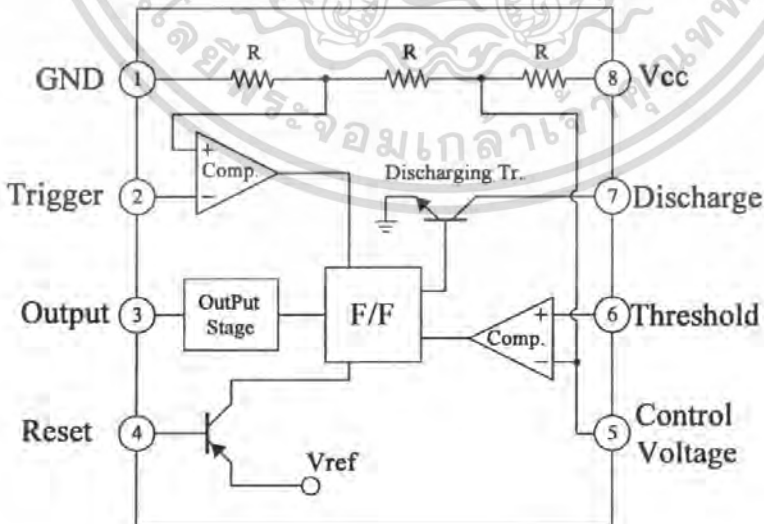
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

### Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



### Internal Block Diagram



## Electrical Characteristics

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5 \sim 15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	$V_{CC}$	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_L = \infty$	-	3	6	mA
		$V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_L = \infty$	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	1.0 50 0.1	3.0 - 0.5	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	2.25 150 0.3	-	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Control Voltage	$V_C$	$V_{CC} = 15\text{V}$	9.0	10.0	11.0	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	$V_{TH}$	$V_{CC} = 15\text{V}$	-	10.0	-	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	$I_{TH}$	-	-	0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Trigger Voltage	$V_{TR}$	$V_{CC} = 5\text{V}$	1.1	1.67	2.2	V
		$V_{CC} = 15\text{V}$	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	$I_{TR}$	$V_{TR} = 0\text{V}$	-	0.01	2.0	$\mu\text{A}$
Reset Voltage	$V_{RST}$	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	$I_{RST}$	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	$V_{OL}$	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{mA}$ $I_{SINK} = 50\text{mA}$	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 5\text{mA}$	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	$V_{OH}$	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 200\text{mA}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	12.75	12.5 13.3	-	V V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	$t_R$	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	$t_F$	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	$I_{LKG}$	-	-	20	100	nA

### Notes:

- When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at  $V_{CC} = 5\text{V}$ .
- Tested at  $V_{CC} = 5.0\text{V}$  and  $V_{CC} = 15\text{V}$ .
- This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation, the max. total  $R = 20\text{M}\Omega$ , and for 5V operation, the max. total  $R = 6.7\text{M}\Omega$ .
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

## Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (V <sub>th</sub> )(PIN 6)	Trigger Voltage (V <sub>tr</sub> )(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	High	Low	ON
$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	High	-	-
$V_{th} < V_{cc} / 3$	$V_{th} < V_{cc} / 3$	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, the timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

### 1. Monostable Operation

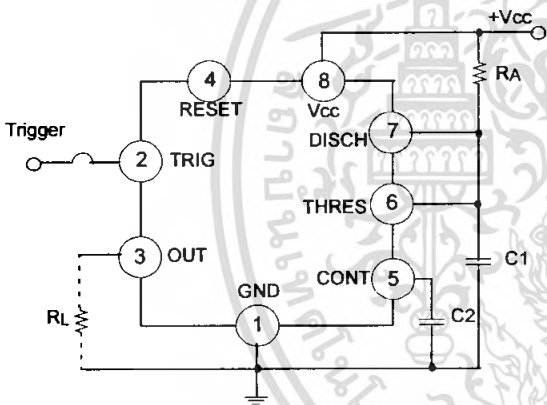


Figure 1. Monoatable Circuit



Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay(td)

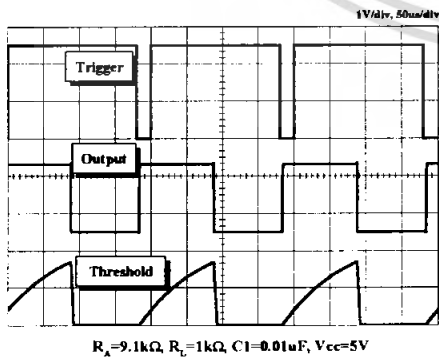


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below  $V_{cc}/3$ . When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below  $V_{cc}/3$  while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging  $Tr$  off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor  $C1$  and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor  $C1$ ,  $V_{C1}$  increases exponentially with the time constant  $\tau=RA \cdot C$  and reaches  $2V_{cc}/3$  at  $t_d=1.1RA \cdot C$ . Hence, capacitor  $C1$  is charged through resistor  $RA$ . The greater the time constant  $RAC$ , the longer it takes for the  $V_{C1}$  to reach  $2V_{cc}/3$ . In other words, the time constant  $RAC$  controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor  $C1$  reaches  $2V_{cc}/3$ , the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging  $Tr$  on. At this time,  $C1$  begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in the monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on  $RA$  and  $C$ . Figure 3 shows the general waveforms during the monostable operation.

It must be noted that, for a normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of  $V_{cc}/3$  before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform does not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below  $V_{cc}/3$ . Figure 4 shows such a timer output abnormality.

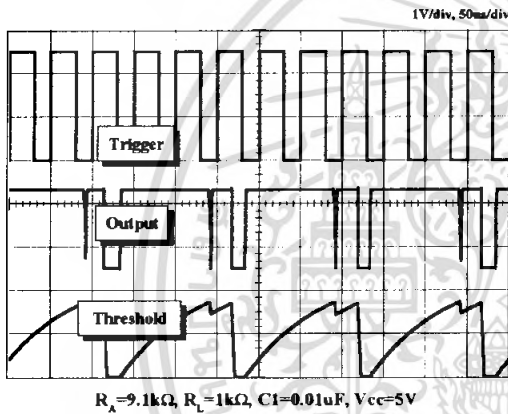


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

## 2. Astable Operation

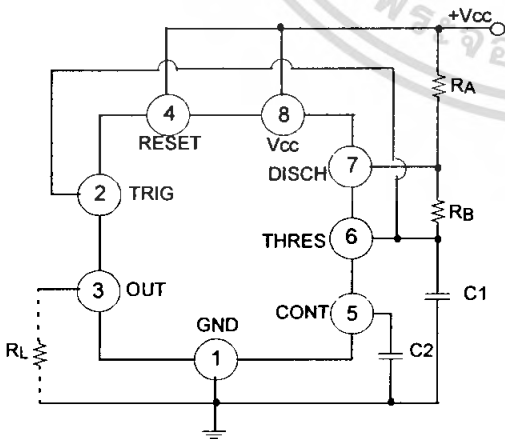


Figure 5. Astable Circuit

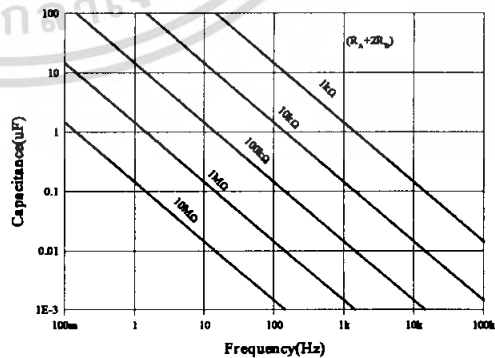


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

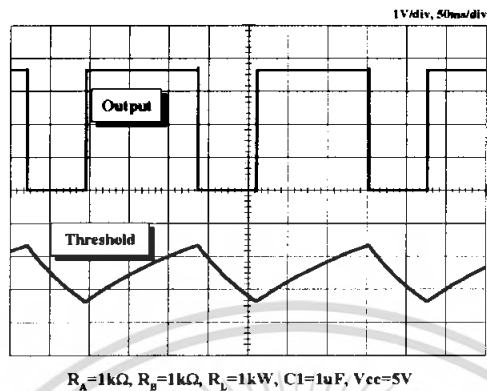
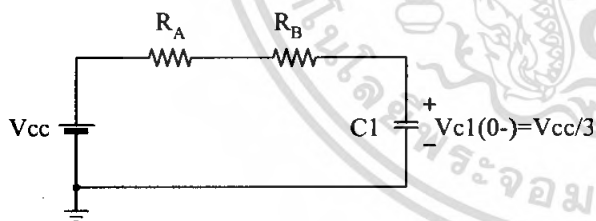


Figure 7. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor  $R_B$  to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In the astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging  $Tr$  turns off and the  $V_{C1}$  increases by exponential function with the time constant  $(R_A+R_B)*C$ .

When the  $V_{C1}$ , or the threshold voltage, reaches  $2V_{CC}/3$ , the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging  $Tr$  and the  $C1$  discharges through the discharging channel formed by  $R_B$  and the discharging  $Tr$ . When the  $V_{C1}$  falls below  $V_{CC}/3$ , the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging  $Tr$  turns off and the  $V_{C1}$  rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the  $V_{C1}$  to rise from  $V_{CC}/3$  to  $2V_{CC}/3$ , and the section where the timer output is low is the time it takes for the  $V_{C1}$  to drop from  $2V_{CC}/3$  to  $V_{CC}/3$ . When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor  $C1$  is as follows:



$$C_1 \frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{V_{CC} - V(0-)}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

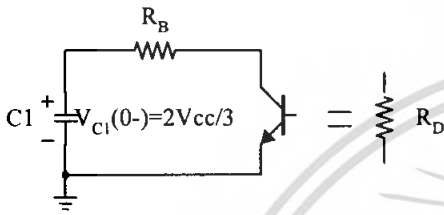
$$V_{C1}(t) = V_{CC} \left( 1 - \frac{2}{3} e^{-\left( \frac{t}{(R_A + R_B)C_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Since the duration of the timer output high state ( $t_H$ ) is the amount of time it takes for the  $V_{C1}(t)$  to reach  $2V_{CC}/3$ ,

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} \left( 1 - \frac{2}{3} e^{-\left( \frac{t_H}{(R_A + R_B)C_1} \right)} \right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A + R_B) \ln 2 = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1, when timer output is low is, as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A + R_B} V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3} V_{CC} e^{-\frac{t}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state ( $t_L$ ) is the amount of time it takes for the  $V_{C1}(t)$  to reach  $V_{CC}/3$ ,

$$\frac{1}{3} V_{CC} = \frac{2}{3} V_{CC} e^{-\frac{t_L}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B + R_D) \ln 2 = 0.693(R_B + R_D)C_1 \quad (9)$$

Since  $R_D$  is normally  $R_B \gg R_D$  although related to the size of discharging  $T_r$ ,  
 $t_L = 0.693R_B C_1$  (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with ' $T = t_H + t_L = 0.693(R_A + R_B)C_1 + 0.693R_B C_1 = 0.693(R_A + 2R_B)C_1$ ' because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency, } f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

### 3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

**Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	PD	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C



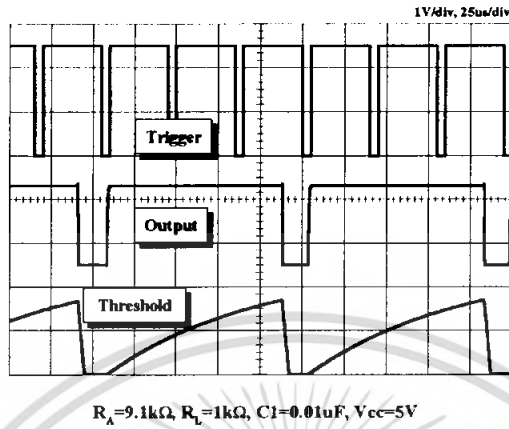


Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation

#### 4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9 illustrates the pulse width modulation circuit. When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows the example of pulse width modulation waveform.

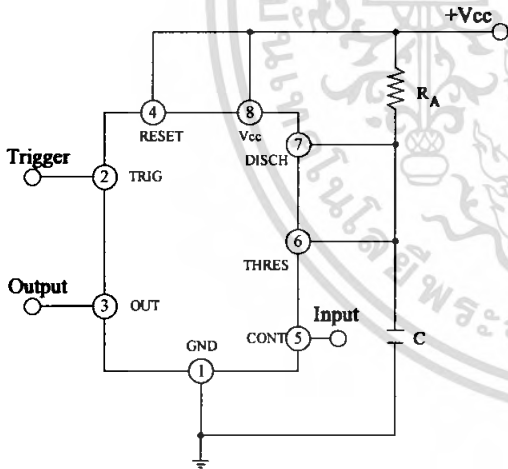


Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation

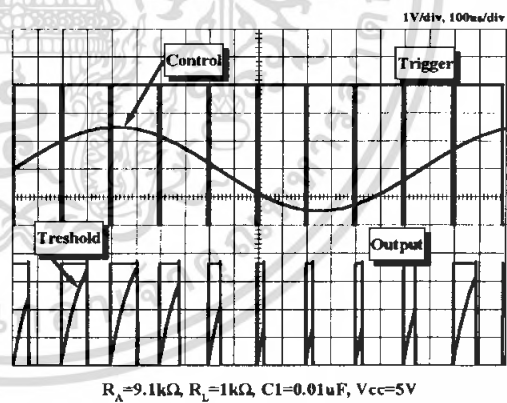


Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation

#### 5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for the astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator.

In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal.

Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.

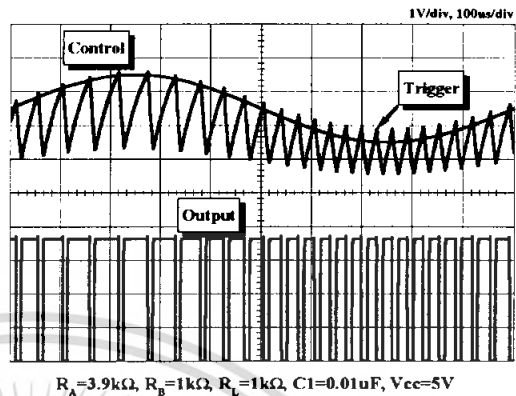
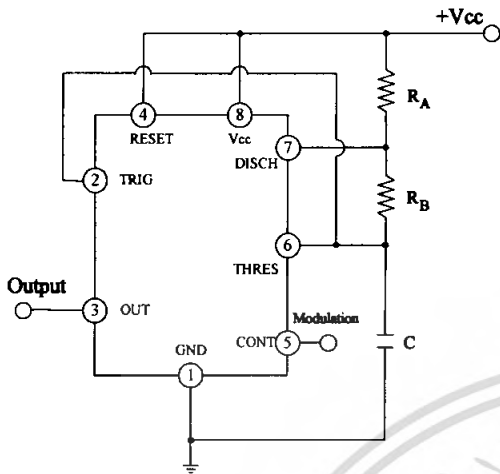


Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation

Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

### 6. Linear Ramp

When the pull-up resistor  $R_A$  in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the  $V_C1$  increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

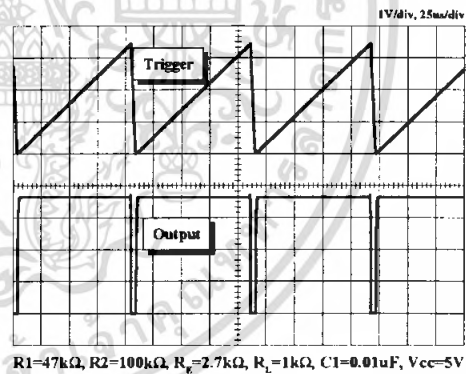
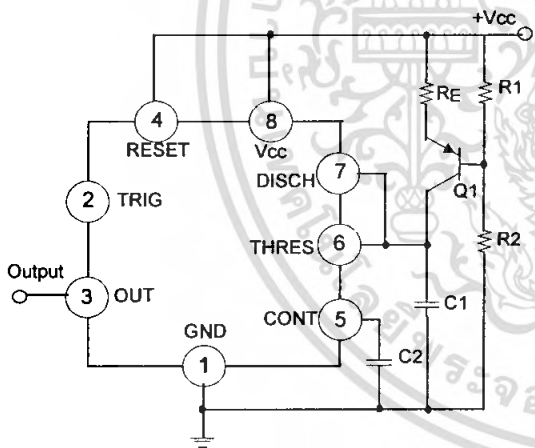


Figure 13. Circuit for Linear Ramp

Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor  $Q1$  and resistor  $R1, R2,$  and  $R_E$ .

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \quad (12)$$

Here,  $V_E$  is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (13)$$

For example, if  $V_{CC}=15V, R_E=20k\Omega, R1=5k\Omega, R2=10k\Omega,$  and  $V_{BE}=0.7V,$

$$V_E = 0.7V + 10V = 10.7V$$

$$I_C = (15 - 10.7) / 20k = 0.215mA$$

When the trigger starts in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing through capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.

Hence, the VC is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \quad (14)$$

Here the  $V_{p-p}$  is the peak-to-peak voltage.

If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the VC comes out as follows:

$$V=Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S=I/C \quad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.

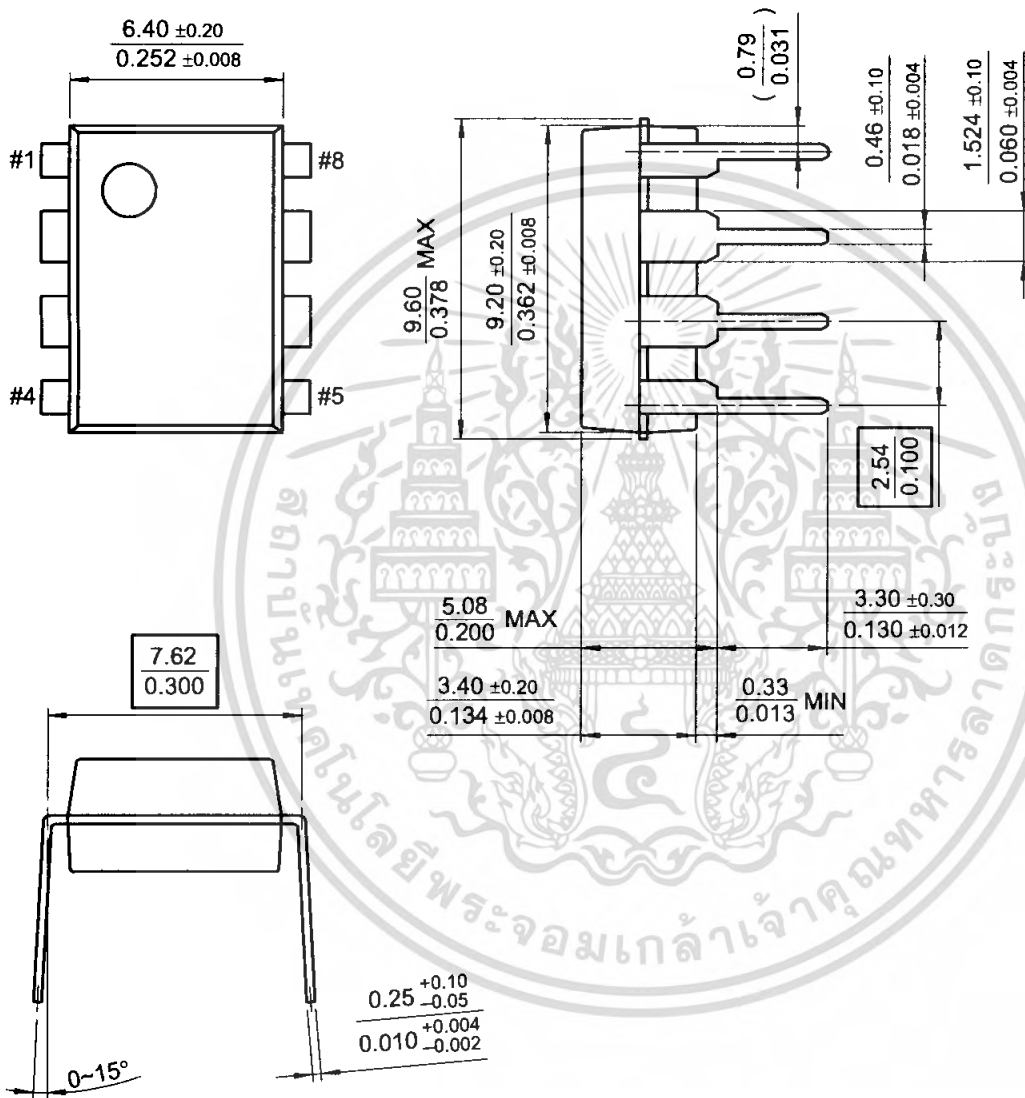
If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is 0.02 $\mu$ F, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is  $S = 0.215\text{m}/0.022\mu = 9.77\text{V}/\text{ms}$ .

## Mechanical Dimensions

## Package

Dimensions in millimeters

## 8-DIP

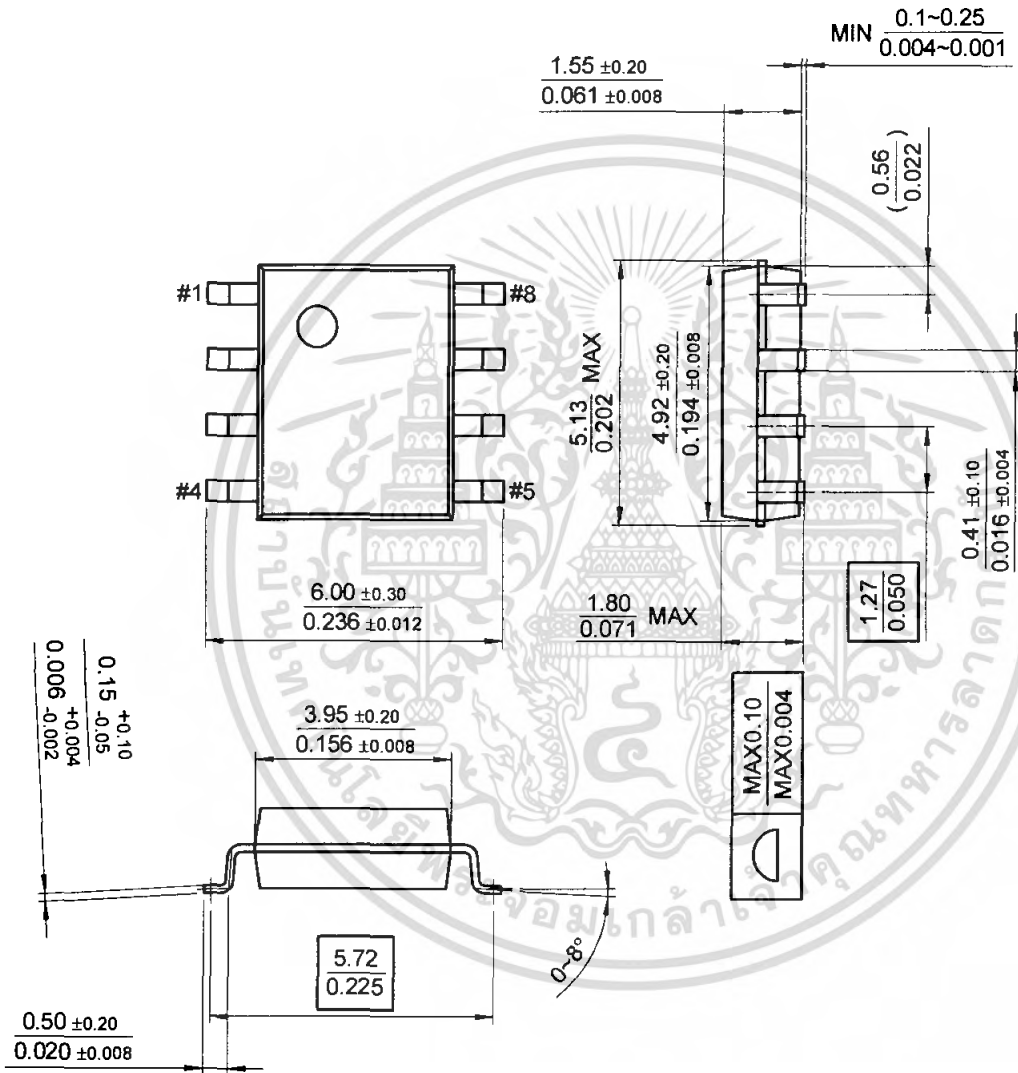


Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



## Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM555CN	8-DIP	0 ~ +70°C
LM555CM	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
NE555N	8-DIP	0 ~ +70°C
NE555D	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
SA555	8-DIP	-40 ~ +85°C
SA555D	8-SOP	





#### DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

#### LIFE SUPPORT POLICY

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

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

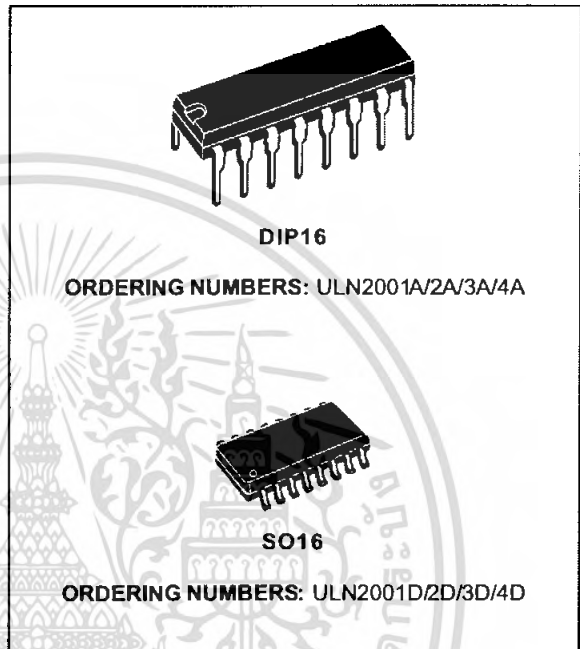
[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)



# ULN2001A-ULN2002A ULN2003A-ULN2004A

## SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT



### DESCRIPTION

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

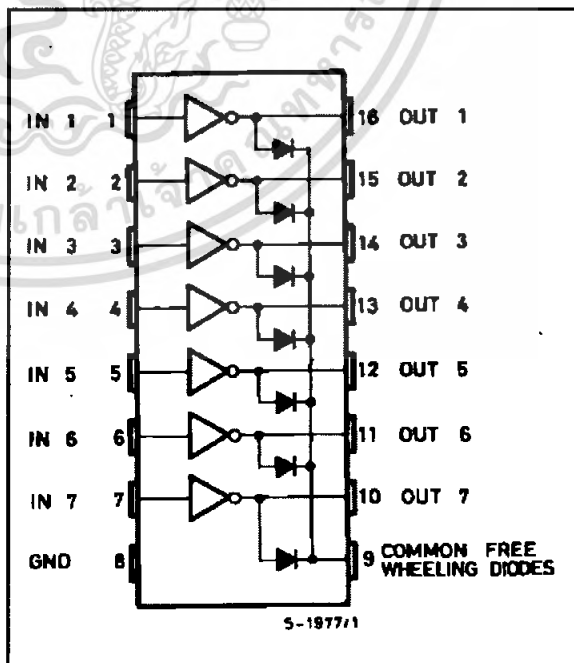
The four versions interface to all common logic families :

ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

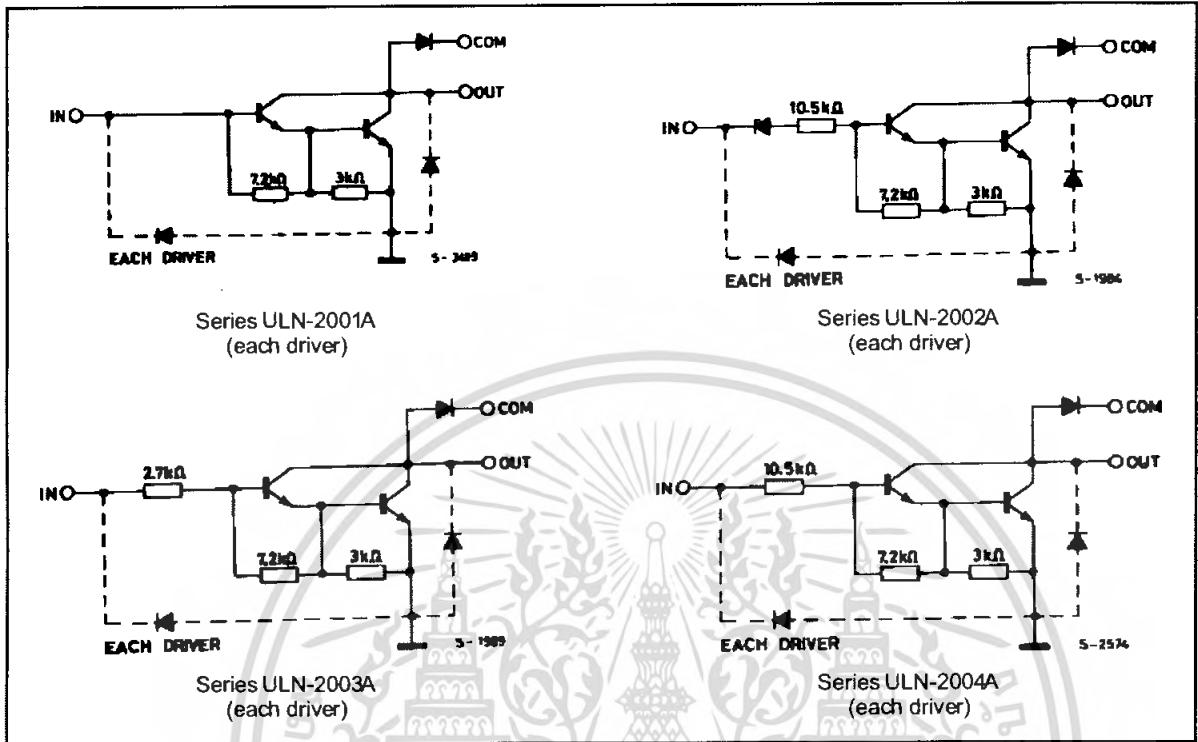
The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.

### PIN CONNECTION



# ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_o$	Output Voltage	50	V
$V_{in}$	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
$I_c$	Continuous Collector Current	500	mA
$I_b$	Continuous Base Current	25	mA
$T_{amb}$	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
$T_j$	Junction Temperature	150	°C

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 70	100	°C/W

## ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
$I_{CEX}$	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 50\text{V}$			50 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$	1a 1a
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ for ULN2002A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 6\text{V}$			500	$\mu\text{A}$	1b
		for ULN2004A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 1\text{V}$			500	$\mu\text{A}$	1b
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 250\mu\text{A}$		0.9	1.1	V	2
		$I_C = 200\text{mA}, I_B = 350\mu\text{A}$		1.1	1.3	V	2
		$I_C = 350\text{mA}, I_B = 500\mu\text{A}$		1.3	1.6	V	2
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17\text{V}$		0.82	1.25	mA	3
		for ULN2003A, $V_i = 3.85\text{V}$		0.93	1.35	mA	3
		for ULN2004A, $V_i = 5\text{V}$		0.35	0.5	mA	3
		$V_i = 12\text{V}$		1	1.45	mA	3
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, I_C = 500\mu\text{A}$	50	65		$\mu\text{A}$	4
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$ for ULN2002A $I_C = 300\text{mA}$			13		
		for ULN2003A $I_C = 200\text{mA}$			2.4		
		$I_C = 250\text{mA}$			2.7		
		$I_C = 300\text{mA}$			3		
		for ULN2004A $I_C = 125\text{mA}$			5		
		$I_C = 200\text{mA}$			6		
		$I_C = 275\text{mA}$			7		
		$I_C = 350\text{mA}$			8		
$h_{FE}$	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 350\text{mA}$	1000				2
$C_i$	Input Capacitance			15	25	pF	
$t_{PLH}$	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu\text{s}$	
$t_{PHL}$	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu\text{s}$	
$I_R$	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$			50	$\mu\text{A}$	6
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_R = 50\text{V}$			100	$\mu\text{A}$	6
$V_F$	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{mA}$		1.7	2	V	7

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

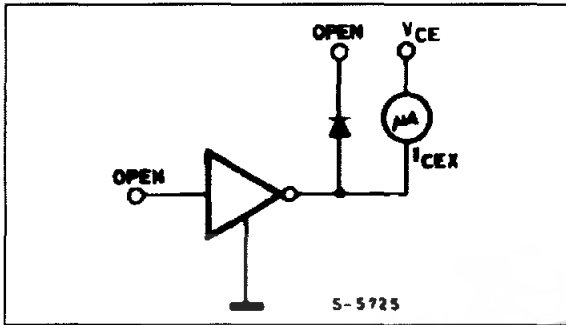


Figure 1b.

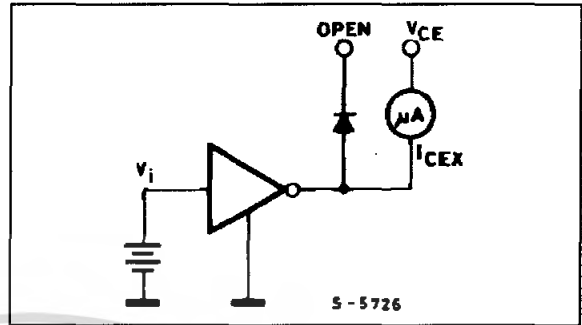


Figure 2.

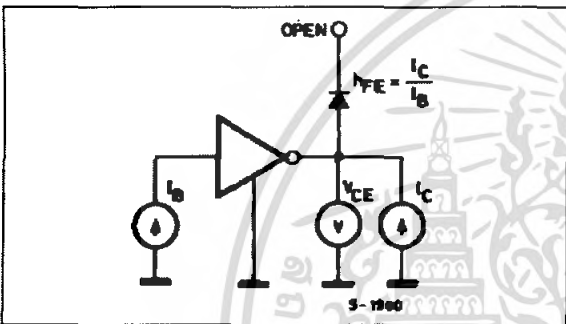


Figure 3.

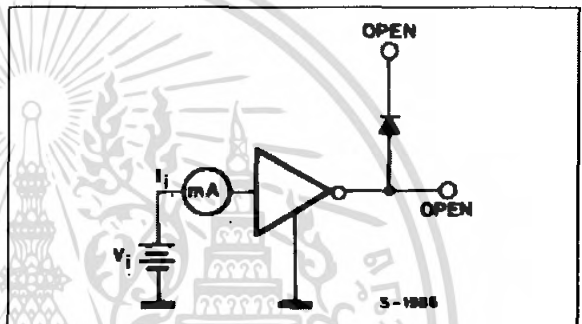


Figure 4.

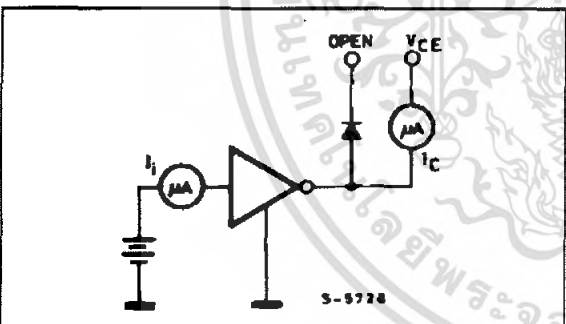


Figure 5.

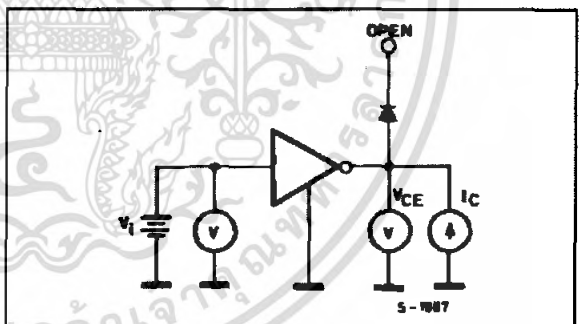


Figure 6.

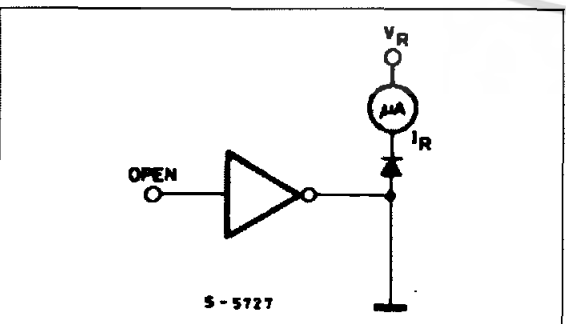


Figure 7.

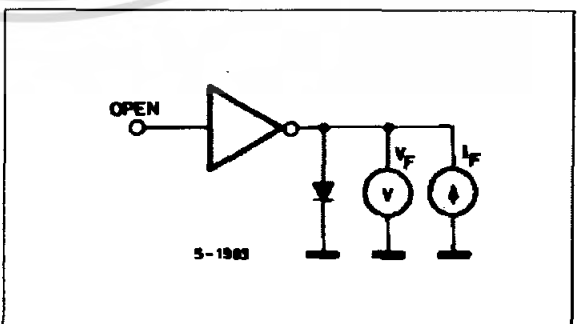


Figure 8: Collector Current versus Input Current

Figure 9: Collector Current versus Saturation Voltage

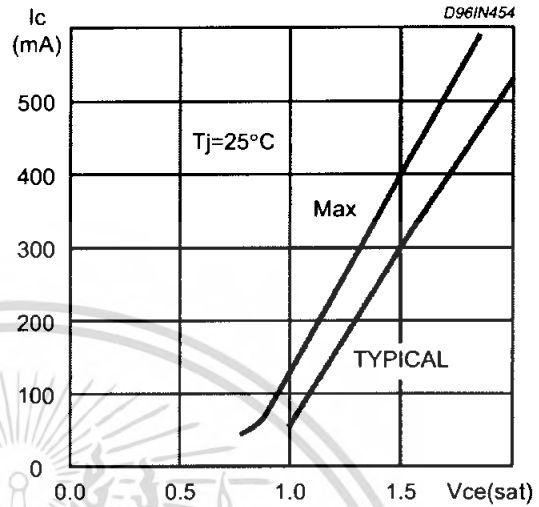
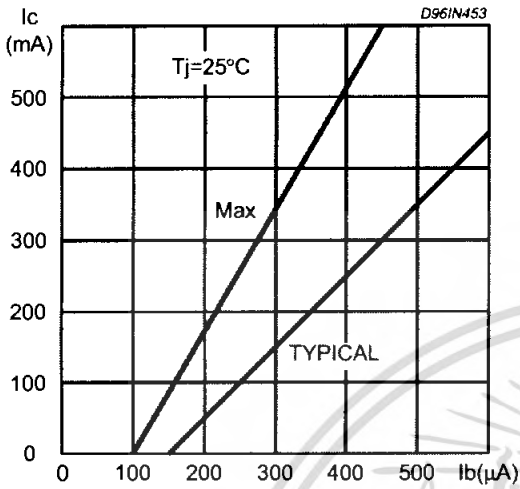
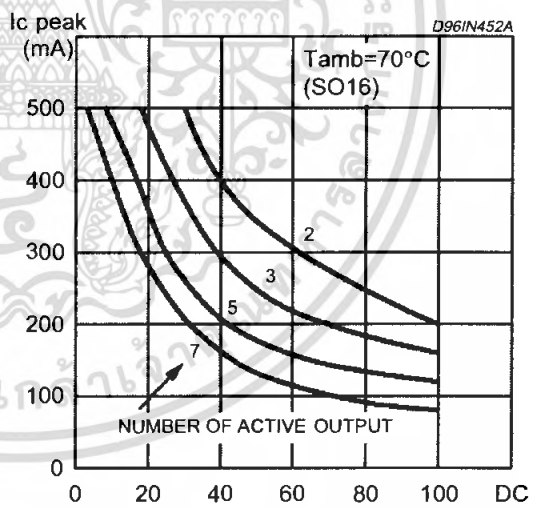
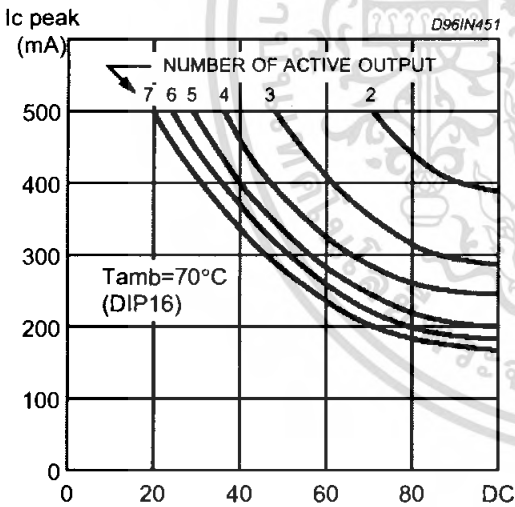


Figure 10: Peak Collector Current versus Duty Cycle

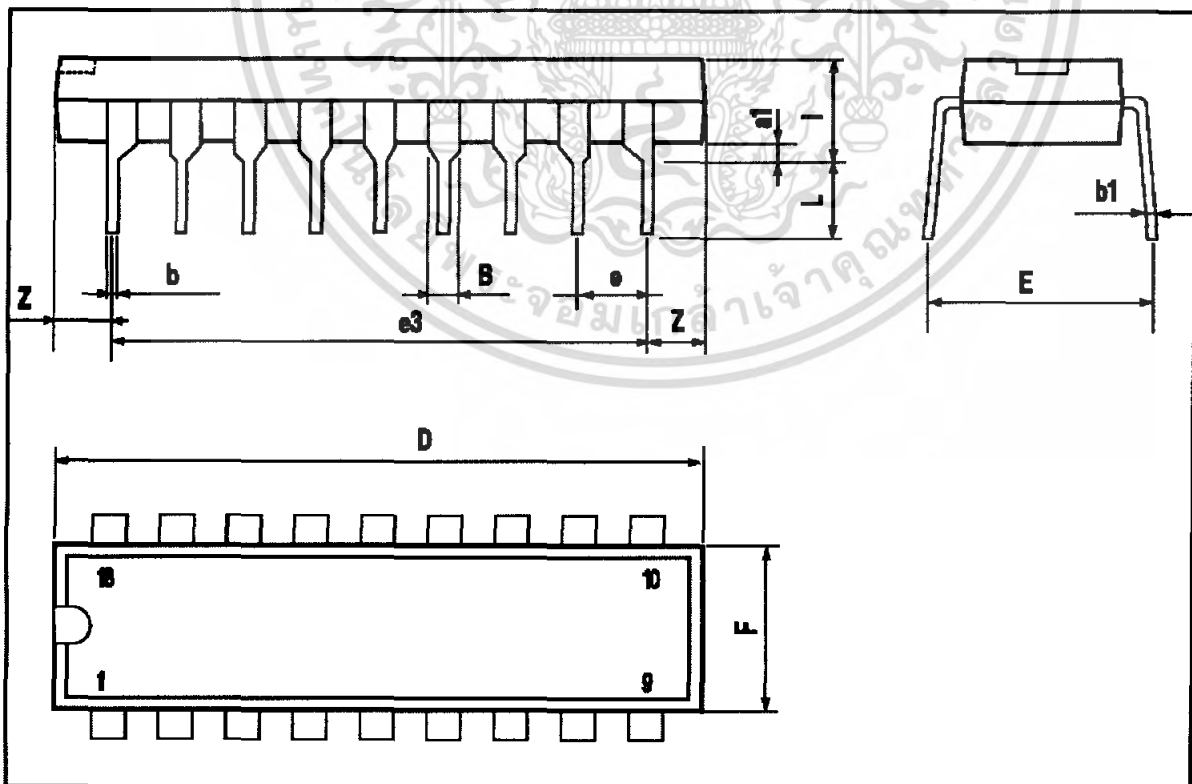
Figure 11: Peak Collector Current versus Duty Cycle



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIP16 PACKAGE MECHANICAL DATA

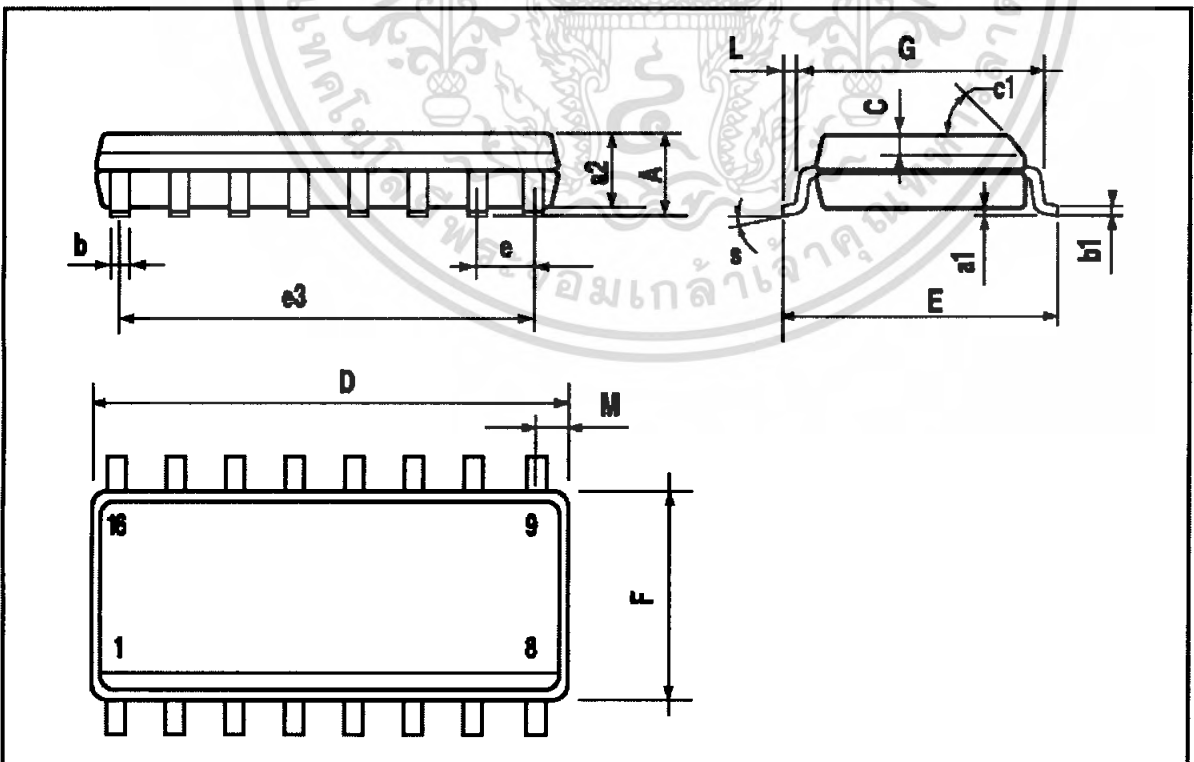
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SO16 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45 (typ.)					
D	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8 (max.)					



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
© 1998 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.