



หุ่นยนต์เคลื่อนที่
MOBILE ROBOT



วัน เดือน ปี..... ๑๖๑๐ ๒๕๔๐
เลขทะเบียน..... ๐๓๗๑๖๐
เลขเรียกหนังสือ..... ๑๖๑๖๖๖ ๑-๒๑๑๒ ๓.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๓๘

หุ่นยนต์เคลื่อนที่
MOBILE ROBOT

โดย

นายจิรพงศ์ หงิมห้วง 36013099

นายวัฒนวิทย์ หวังภูษเคนทร์ 36013120

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนที่
(MOBILE ROBOT)

จิรพงศ์ หงิมห้วง

วัฒนวิทย์ หวังภูษเคนทร์

ผศ.ดร.รัตติกร วราภูลศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาตรีรายงานฉบับนี้ได้อธิบายถึงสาเหตุในการศึกษา และทฤษฎีต่างๆ ที่จะใช้ในการสร้างฟิสิกส์ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ด้วยกัน โดยในส่วนแรกคือ ส่วนที่ขับเคลื่อนโดยการใส่สเตปป์มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนการเลี้ยว ส่วนที่สองคือ การควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MCS-51 และส่วนที่สามคือส่วนตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยใช้ Ultrasonic เป็นตัวส่งคลื่นออกไปอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนของคลื่น และสะท้อนกลับมาตรวจสอบ

MOBILE ROBOT

JIRAPONG HNUNGHOUNG

VATANAVIT WANGPUCHAKANE

RATTIKORN VARAKULSIRIPHAN ADVISOR

1996

ABSTRACT

THIS THESIS DESCRIBES WITH THE DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOT BY MCS-51 CONTROLLERS,INVENTING MOBILE ROBOT WITH MANUAL AND AUTOMETIC CONTROLLING MODE. IN THE AUTOMETIC CONTROLLING MODE,THE MOBILE ROBOT CAN MOVE AND AVOID OBSTACLES TO THE TAGET BY ITSELF WITHOUT ANY REFERENCE. IT IS USDE IN THIS SYSTEM USED THE FOURCE FIELD PRINCIPLIN ADDITION ,WE BRING THE RANGE FINDER WITH ULTRASONIC TRANSDUCERS TO USED IN THE SENSOR SYSTEM.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1

บทที่ 2 ระบบตรวจจับ (Sensor System)

2.1 แนวคิดและหลักการหาระยะทาง	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอัลตราโซนิก	4
2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	6
2.4 การใช้งานจากไอซี 555	12
2.5 การใช้งาน	14
2.6 หลักการทำงาน	18
2.7 การใช้งาน	21

บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

3.1 การอ้างตำแหน่งของ MCS-51	24
3.2 การใช้คำสั่งในการโอนย้ายข้อมูลของ MCS-51	27
3.3 การใช้คำสั่งในการกระโดด	35

บทที่ 4 ระบบขับเคลื่อน (Drive System)

4.1 สเตปป์ิ่งมอเตอร์	40
4.2 คุณสมบัติของสเตปป์ิ่งมอเตอร์	40
4.3 โหมดการทำงานของ Stepping Motors	41
4.4 กราฟคุณลักษณะของ Stepping Motors	42
4.5 โหมดของการกระตุ้นเฟส Mode Of Excitation	44
4.6 ชนิดของ Stepping Motors	50
4.7 หลักการทำงานของวงจรขับเคลื่อนสเตปป์ิ่งมอเตอร์	57

	หน้า
บทที่ 5 บล็อกโคอะแกรมและการทำงาน	
5.1 อธิบายบล็อกโคอะแกรม	59
บทที่ 6 บทสรุปและบทวิจารณ์	66

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หุ่นยนต์ (Robots)

Robot มาจากคำว่า Creck ซึ่งหมายถึงทาสหรือคนรับใช้และเข้ามาในศัพท์ภาษาอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1921 โดยนักเขียนบทละครชื่อ Karel Kapex ในบทละครแนวล้อเลียน โดยละครเรื่องนี้หุ่นยนต์ ก็คือจักรกลที่คล้ายคลึงกับมนุษย์ และนำมาทำงานที่นำเนื้อแทนมนุษย์ หุ่นยนต์ถูกสร้างให้ทำงานแทนมนุษย์ แต่ในตอนหลังพวกหุ่นยนต์รวมตัวกันต่อต้านและทำลายล้างมนุษย์

ในช่วงปลายปี 1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 งานวิจัยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้เริ่มเกิดขึ้น ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องจักรกลควบคุมระยะไกล สำหรับการขนถ่ายวัสดุกับมันคาภาพรังสี

ในกลางปี 1950 George C. Devol ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่เขาเรียกว่า “Programed articulated transfer device” ซึ่งเป็นมานิปูเลเตอร์ (manipulator) ที่ทำงานของมันสามารถโปรแกรมได้ ซึ่งแนวความคิดนี้ต่อมาได้ถูกนำเข้ามาสู่อุตสาหกรรม โดยบริษัท Unimation Inc ในปี 1959 หัวใจสำคัญของอุปกรณ์ชนิดนี้ คือการใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ร่วมกับมานิปูเลเตอร์ (manipulator) เพื่อผลิตเครื่องจักรกล ที่ซึ่งสามารถถูกสั่งให้ทำงานที่หลากหลายอย่างอัตโนมัติ โดยการโปรแกรมเข้าไปใหม่

ในปี 1968 McCarty และผู้ร่วมงานของเขาที่ The Stanford Artificial Intelligence laboratory ได้รายงานการพัฒนาคอมพิวเตอร์กับมือ ตา หู (Manipulators, TV cameras, Microphones) โดยระบบนี้ สามารถที่จะจดจำข่าวสารในรูปแบบของเสียง และมองเห็นวัตถุที่ถูกวางอย่างกระจัดกระจายอยู่บนโต๊ะเพื่อโยกย้ายสิ่งของเหล่านั้นตามคำสั่ง

ในปี 1995 บริษัท IBM ได้พัฒนามานิปูเลเตอร์ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์กับเซ็นเซอร์แรงและสัมผัสในวันนี้ เราจะพบว่าหุ่นยนต์เป็นสาขาที่มีขอบเขตกว้างมากซึ่งประกอบไปด้วย Kinematics, Dynamics, Planning system, Control, Programming Languages, Machine Intelligence

1.2 คำจำกัดความของหุ่นยนต์

คำจำกัดความของหุ่นยนต์มีอยู่หลายความด้วยกันดังนี้

1.2.1 นิยามตาม Webster's dictionary : “ A robot is an automatic device that performs functions ordinarily ascribed to human beings “ จาก นิยามนี้จะเห็นว่าเครื่องจักรอัตโนมัติจะถูกพิจารณาเป็นหุ่นยนต์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 คำนิยามของ The Robot Institute of Anevican : “ A robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move meterial, part, tools, or specialized device through various proformance of a varrity of tasks”

1.3 ประเภทต่าง ๆ ของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1.3.1 Fixed Robots

1.3.2 Mobile Robot

Fixed Robots คือ หุ่นยนต์ที่ถูกยึดคงที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ

Mobile Robots คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐาน ที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ โดยที่ฐานอาจมีล้อหรือคั่นระบบ

จากทั้งสองประเภทของหุ่นยนต์ คือ Fixed Robots และ Mobile Robots หุ่นยนต์ประเภทที่สองค่อนข้างจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าประเภทแรก ก็จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ Mobile Robots คงจะได้กล่าวต่อไป

สำหรับเนื้อหาที่จะกล่าวนี้ได้อ้างถึงทฤษฎีพอสังเขป และผลการทดลอง ในปริญญาณิพนธ์ เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่แสดงถึงการพัฒนามาสู่โครงการในขั้นที่ 2 และส่วนที่แสดงเรื่องของการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลของการพัฒนาสำหรับโครงการนี้

บทที่ 2

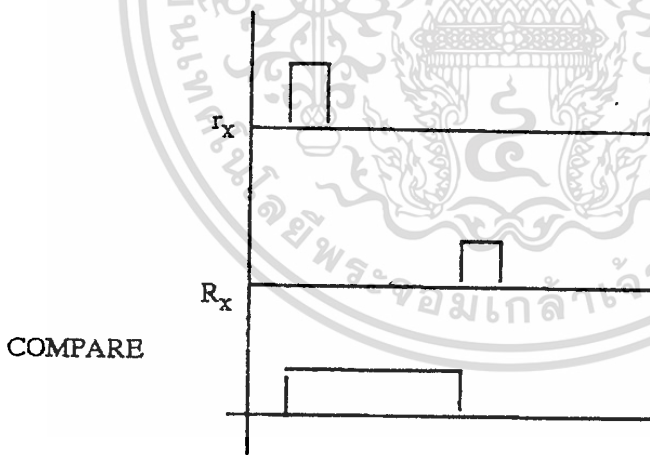
ระบบตรวจจับ (Sensor System)

SENSOR เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของ MOBILE ROBOT เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บอกให้ส่วนควบคุมทราบว่าขณะนี้ ในทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไปที่นั้นมีวัตถุขวางกั้นมันอยู่หรือไม่ และ ถ้ามันต้องแจ้งให้ทราบตัวอย่างวัตถุอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทางเท่าใด เพื่อให้ส่วนควบคุมนำข้อมูลไปประมวลผล เพื่อหาทางหลบหลีก และปรับความเร็วของ ROBOT ให้เหมาะสม

ดังนั้น หน้าที่ของ SENSOR คือ ตรวจหาระยะทางให้ได้ว่า วัตถุที่กีดขวางมันอยู่มีระยะเท่าใดและมาจากทิศทางใด

2.1 แนวคิดและหลักการหาระยะทาง

โดยอาศัยหลักการส่งคลื่นสัญญาณไปในอากาศ ในทิศทางที่เราต้องการทราบค่าระยะทางจากวัตถุกับตัว ROBOT และคอยรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุนั้นก็นำสัญญาณที่ส่งไปและรับกลับมานามาเปรียบเทียบหาเวลาที่สูญหายไปดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1

ซึ่งระยะทางที่วัดได้นั้น จะแปรค่าตามเวลาที่หายไป โดยระยะทางนี้ก็คือ

$$S = VT/2 \quad \dots (2.1)$$

S ระยะทางระหว่างวัตถุและตัว SENSOR (m)

T เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ไปกลับ (s)

V ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุลตราโซนิก

2.2.1 การเกิดอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอุลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศนั้น จึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (mechanical wave) อุลตราโซนิกสามารถสร้างได้ โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง
- แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
- แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมา ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก หาซื้อง่าย รายละเอียดของเพียโซอิเล็กทริกจะกล่าวถึงในภายหลัง

2.2.2 ความถี่และความยาว (Frequency and wavelength)

- ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน
- ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือ การเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (rarefactions) การอัด คือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันของบรรยากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$c = f \cdot \lambda$$

c = ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f = ความถี่ (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นตัวสมการ

$$v = 331.45 + 0.607t \text{ (ม/ส)}$$

เมื่อ v = ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (ม/ส)

t = อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

ความเร็วของคลื่นในแก๊สต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แสดงใน

ตารางที่ 1

GAS	VELOCITY (m/s)
AIR (DRY 0 องศาเซลเซียส)	331.45
ARGON	319
CARBON MONOXIDE	338
CARBON DIOXIDE	259
HELIUM	965
HYDROGEN	1284
METHANE	430
NEON	435
NITROGEN	334
OXYGEN	316
STREAM (134 องศาเซลเซียส)	494

2.2.3 ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอุลตราโซนิกซึ่งจะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

2.2.4 การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิก (Attenuation)

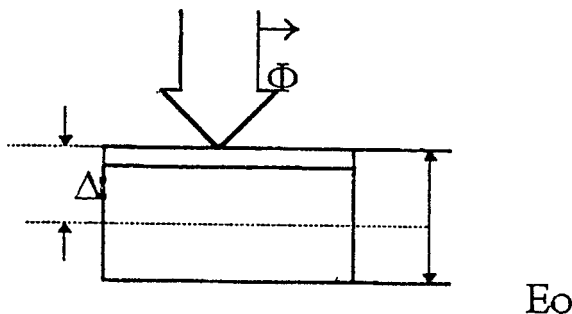
เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอุลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้ม ซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอุลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดการดูดซับพลังงานส่วน หนึ่งของคลื่นโดยตัวกลางที่คลื่นเสียงที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

2.3 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.3.1 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่ง ไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือถ้าป้อนแรงกลให้แก่ soil crystalline dielectric ดังในรูปที่ 2 ก็จะเกิดความเค้น (stress) ภายในคริสตอล และทำให้ crystal lattice ผิดรูป เช่น พวควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือ ประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลตทิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect)

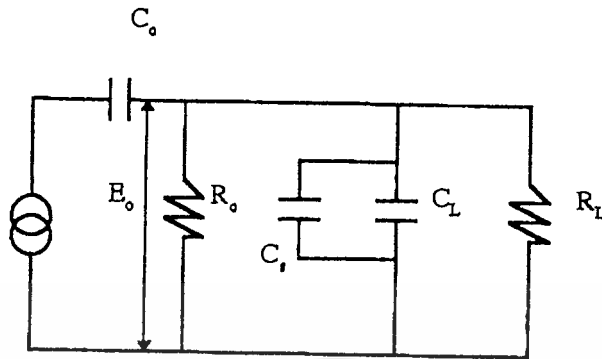
การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองข้าง ขนาด (magnitude) และ การที่ขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทาง (direction) ของแรง (F) ที่มากระทำ



รูปที่ 2.2 ผลของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.3 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก

C_0 = คาปาซิแตนซ์ ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

R_0 = leakage resistance ของเปียโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ $10^8 - 10^{10}$

ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอลโดยทั่วไปจะเป็นไปตามความต้านทานโหลด R_L (ในช่วง $10^6 - 10^7$)

C_L = คาปาซิแตนซ์ ของ stage (load) ร่วมกับ connecting cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลเตจที่คร่อมโหลด E_0 หาได้โดย และ C_L ค่าเหล่านี้มาได้โดยการแบ่งโวลเตจ โดยโวลเตจ E_0 ได้มาจากสมการ

$$E_0 = EC_0 / (C_0 + C_L) \quad \dots (2.4)$$

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลเตจมีค่ามากสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า C_L เช่น การนำค่า C_0 ต่อขนานเข้าไปที่ความถี่ต่ำ โวลเตจ E_0 คร่อมโหลดหาได้โดยค่านีแอดแดนซ์ของ C_0 และ อิมพีแดนซ์ของ C_L และ R_L ที่ต่อขนานกัน โวลเตจ E_0 ขึ้นกับความถี่ และจะลดลงถ้าความถี่ลดลง การตอบสนองของความถี่ต่อสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิแตนซ์สูง หรือโดยการเพิ่มความต้านทานทางโหลด R_L

2.3.3 วัสดุเปียโซอิเล็กทริก

วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz, Tourmaline Rochlle salt, Ammonium Dihydrogen Phosphate (PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์ และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติแต่พวกวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททาเนค เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำมาในสนามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งผ่านไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวทิศทางของสนามและประพจน์ทิศทางคุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

ตารางคุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริก (Propertise of Piezoelectric Materials)

PHYSIAL PROPERTY	UNITS	QUARTZ (X-CUT)	LITHIUM SULFATE	BARIUM TITANATE
DENSITY	10^3 kg/m^3	2.68	2.06	5.5
VELOCITY	10^3 m/s	5.45	5.44	4.49
ACOUSTIC IMPEDANCE	10^3 kg/m^3	14.4	11.2	24.7
YOUNG'S MODULAS	10^{10} N/m	7.9	6.1	11.7
DIELETRIC CONSTANT	RELATIVE TO VACUMM	4.57	10.3	1250
PIEZOELECTRIC CONSTANT	10^{-12} m/v	2.25	16	145
MECHANICAL	-	10^6	-	450
QUALITY FACTOR	C	575	75	115
CURIE TEMPERATURE				

2.3.4 ชนิดของเป็ยโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เป็ยโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

4.1 แบบ generation-action transducer ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากกระทำต่อวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบบ motor-action transducer ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกจะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้ง 2 กรณีค่าไฟฟ้าที่เกิดจะขึ้นกับขนาดวัสดุ

2.3.5 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาครบวงจร จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นมาคั่นนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (electrically) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสารโค้งงอมากน้อยหรือทิศทางใดตามขนาด และทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้า ที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็คือเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิกตรงกันกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่ง คือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสารโค้งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไป ของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือมีความต้านทานทางไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง $100 \text{ M}\Omega$ เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดาตวัดสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสถลจะลดลง

2.3.6 ข้อควรระวังในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุปเป็นแนวทางใช้งานดังนี้

- ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบหรือตกจากที่สูงเมื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

- ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 VRMS ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

- ความถี่ของเรโซแนนท์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 kHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

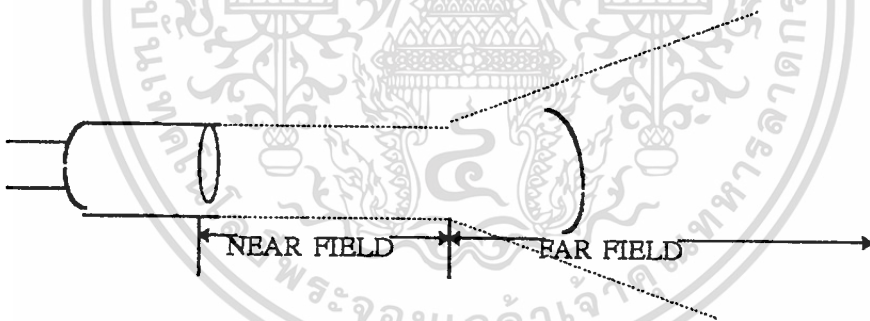
- อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

- ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาจะลดลง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นเสียงอุลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงอุลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

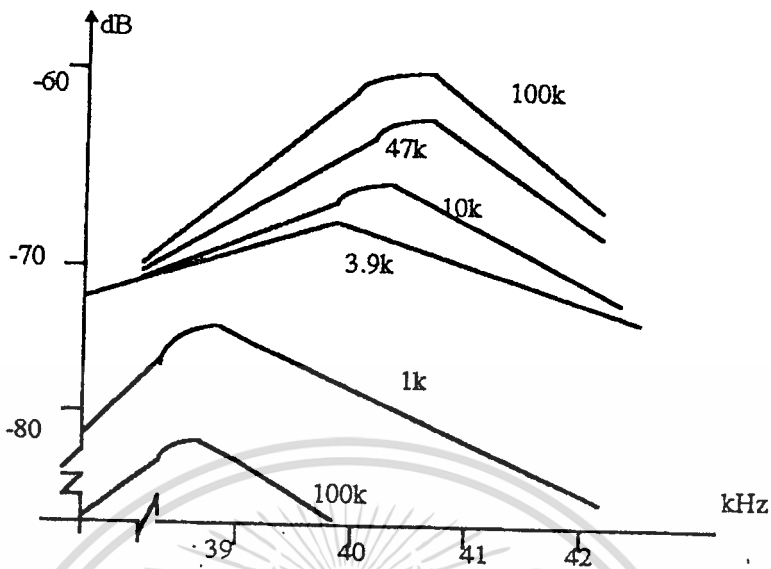
อุลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า planococave lens วางข้างหน้าทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบ (Beam) นี้เหมาะสำหรับการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นสูงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 Mhz เพื่อใช้ตรวจเนื้อเยื่อเยื่อมีลักษณะการส่งเป็นลำแคบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการเป็นลำของคลื่น

- ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานทางต่อขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10k ถึง 100k จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100k มาเป็น 10k ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้นถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลง ไปอีกความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบตัวอย่างการทดลองแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงค่าความถี่ ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ค่าความต้านทานต่างๆ

- ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ของเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนท์เคียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางค่านไฟฟ้าสถับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

- ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นอุลตราโซนิคเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ใช้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ค่าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิคทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายทางอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งแกว่งระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาเครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไป อากาศจะถูกคลื่นเสียงได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความเอกละเอียดนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 Mhz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางคลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

2.4 การใช้งานจากไอซี 555

ไอซี 555 นั้นมีรูปร่าง 3 แบบคือ แบบ TO-99 ซึ่งตัวถังเป็นกระป๋องโลหะแบบ DIP ชนิด 8 ขา ซึ่งมีขาเท่ากับชนิด TO-99 และแบบสุดท้ายคือแบบ DIP ชนิด 14 ขา ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 เนื่องจากแบบ DIP ชนิด 14 ขา บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่ไม่นิยมผลิตกัน ดังนั้นในบทความนี้จะระบุหมายเลขขาต่างๆ ตามแบบ TO-99 และแบบ DIP ชนิด 18 ขา เท่านั้น ตามปกติผู้ผลิตจะใช้อักษรกำกับไว้ท้ายเบอร์ไอซี เช่น ถ้ามีตัวอักษร P, V หรือ N ต่อท้ายเบอร์ก็แสดงว่าเป็น DIP ชนิด 8 ขา ถ้าเป็นตัวอักษร T, H หรือ L แสดงว่าเป็นแบบ TO-99 ถ้าเป็นตัวอักษร F แสดงว่าเป็นแบบ DIP 14 ขา ตัวอย่างเช่น เบอร์ NE 555V หมายความว่า เป็นไอซีเบอร์ 555 แบบ DIP 8 ขาที่ใช้งานทั่วไป



รูปที่ 2.6 รูปแบบต่างๆ ของ 555

โครงสร้าง

ภายใน 555 นี้จะประกอบด้วยวงจรที่ยุ่งยาก มีทรานซิสเตอร์ประมาณ 25 ตัว ดังนั้นเราจะทำความเข้าใจให้ง่ายโดยการเขียนวงจรสมมูลภายในของ 555 ดังรูปที่ 2.7

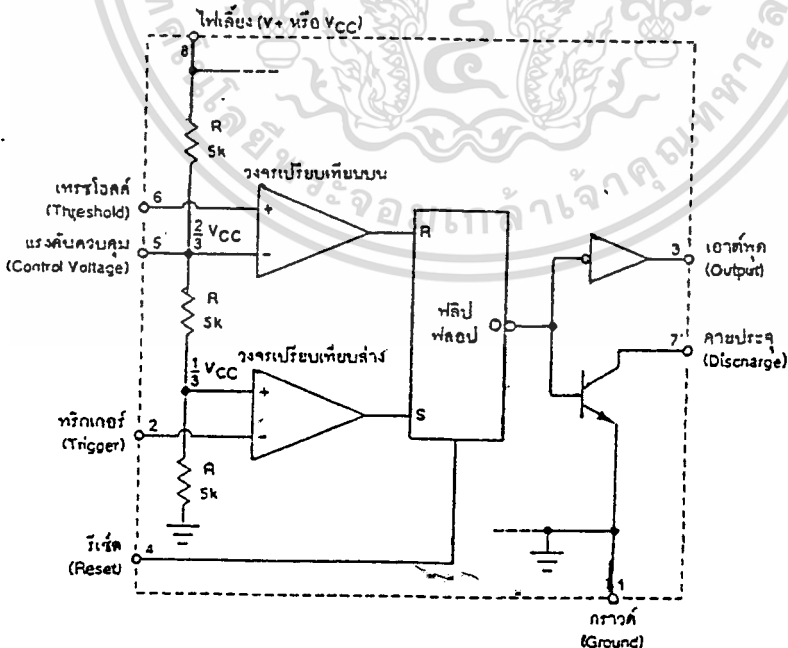
จากรูปที่ 2.7 เราจะเห็นว่าภายในประกอบด้วยส่วนหลัก คือ วงจรเปรียบเทียบกับบน วงจรเปรียบเทียบกับล่าง ฟลิปฟลอป โดยมีตัวต้านทานค่าเท่ากัน 3 ตัว ต่ออนุกรมกันอยู่ และต่อกับแรงดันไฟเลี้ยง ($V+$ หรือ V_{cc})

ตัวต้านทานทั้ง 3 ต่อในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน ดังนั้นที่ขา 5 จะมีแรงดัน ($2/3 V_{cc}$) หรือ วงจรเปรียบเทียบกับบน มีแรงดันที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับกัน $2/3 V_{cc}$ ทางด้านวงจรเปรียบเทียบกับล่าง จะมีแรงดันเปรียบเทียบกับกัน $1/3 V_{cc}$ ต่อไปเราจะมาทำความเข้าใจหน้าที่ของแต่ละขาของ ไอซี 555

V+ (ขา 8) ขา V+ (หรือ V_{cc}) จะต่อกับไฟเลี้ยงขั้วบวกของวงจร ซึ่งจะมีค่าแรงดันระหว่าง 4.5 โวลต์ ถึง 16 โวลต์ ในการใช้งานเราจะใช้ระหว่าง 5 โวลต์ ถึง 15 โวลต์ วงจรภายในจะดึงกระแสประมาณ 1 mA (ไม่คิดกระแสที่ไหลคดิ่ง) ต่อแรงดันไฟที่ป้อนเข้าไปหนึ่งโวลต์ เช่น ถ้าป้อนแรงดัน $+V_{cc} = +15$ จะดึงกระแส 15 mA

กราวด์ (ขา 1) ขากราวด์จะต่อกับขั้วลบหรือขั้วกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ

เอาต์พุต (ขา 3) เป็นขาแสดงผลแต่ละสถานะของ 555 จะมีอยู่ 2 สถานะคือ low (ต่ำ) และ high (สูง) ที่สถานะ low จะมีแรงดันใกล้เคียงศูนย์โวลต์ ส่วนที่สถานะ high จะมีแรงดันใกล้เคียง $+V_{cc}$ ขานี้สามารถใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ รับกระแส (sink) และจ่ายกระแส (source) ในการที่จะกำหนดสถานะที่ขาเอาต์พุต นั้นทำได้โดยถ้าเราให้แรงดันกระตุ้นที่ขา 2 จากแรงดันสูงไปต่ำ (ต่ำกว่า $1/3 V_{cc}$) จะทำให้เอาต์พุตอยู่ในสถานะ high และเราสามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้โดยการให้แรงดันที่ขา 6 มากกว่า $2/3 V_{cc}$ หรือต่อขา 4 (รีเซ็ต) ลงกราวด์



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรสมมูลภายใน 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันควบคุม (ขา 5) ถ้าเราดูจากวงจรภายในรูปที่ 2.7 จะเห็นว่ามีความแรงดันที่ขา 5 เท่ากับ $2/3 V_{cc}$ ในการใช้งานจริงเราจะต่อตัวเก็บประจุค่า $0.01 \mu F$ คร่อมระหว่างขา 5 กับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งอาจจะทำให้วงจรทำงานผิดพลาด นอกจากนี้ขา 5 ยังสามารถเปลี่ยนระดับแรงดันสั่งงานที่ขา 2 และขา 6 ได้ด้วย เช่นถ้าเราต่อตัวต้านทาน $5 k\Omega$ เข้าภายนอกระหว่างขา 5 และ 8 ก็จะทำให้เปลี่ยนระดับแรงดันสั่งงานที่ขา 6 เป็น $0.8 V_{cc}$ และขา 2 เป็น $0.4 V_{cc}$

ทรานซิสเตอร์ (ขา 2) ขา 2 นี้จะต่อกับวงจรเปรียบเทียบต่าง ซึ่งการจะเปลี่ยนสถานะทางด้านเอาต์พุตนั้นแรงดันที่ป้อนเข้าขา 2 นี้จะต้องเปลี่ยนจากแรงดันที่สูงกว่า $1/3 V_{cc}$ ลงไปยังแรงดันที่ต่ำกว่า $1/3 V_{cc}$ ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนสถานะจาก “ต่ำ” ไป “สูง” และเอาต์พุตจะคงค้างอยู่ในสถานะ แม้ว่าแรงดันที่ขา 2 นี้จะต่ำกว่า $1/3 V_{cc}$ อีกก็ตาม

ทรานซิสเตอร์ (ขา 6) ขา 6 นี้เป็นส่วนประกอบของวงจรเปรียบเทียบบน และมีหน้าที่สำหรับการรีเซ็ตเอาต์พุต จะทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนสถานะจาก “สูง” ไป “ต่ำ” โดยการให้แรงดันขา 6 นี้สูงกว่า $2/3 V_{cc}$ และแรงดันที่ป้อนลงในการที่จะป้อนสู่ขา 2 นี้ในช่วง V_{cc} กับกราวด์

รีเซ็ต (ขา 4) ขา 4 นี้ใช้ในการรีเซ็ต ถ้าเราให้แรงดันมีค่าใกล้เคียง 0 โวลต์ หรือต่ำกว่า 0.4 โวลต์ จะทำให้เอาต์พุตมีแรงดันใกล้เคียงศูนย์ทันที หรืออยู่ในสถานะ “ต่ำ” โดยไม่สนใจว่าแรงดันที่ขา 2 จะเป็นอย่างไร ในการใช้งานถ้าเราไม่ใช้ขา 4 นี้เราจะต่อกับแรงดันที่มากกว่า 1 โวลต์ (ปกติจะต่อกับ $+V_{cc}$) ซึ่งจะทำให้ไม่มีผลต่อวงจร

ค่ายประจุ (ขา 7) ขา 7 นี้จะเป็นขาที่ต่อจากขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ภายใน 555 ซึ่งทรานซิสเตอร์ตัวนี้ทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ คอยเปิดปิดวงจรกับกราวด์ จะเปิดวงจรถ้าเอาต์พุตเป็นสถานะ “สูง” และจะปิดวงจรถ้าเอาต์พุตเป็นสถานะ “ต่ำ”

2.5 การใช้งาน

เรานิยมใช้ 555 ทำงานอยู่ 2 แบบ แบบแรกคือ เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) หรือ ที่เรียกกันว่าวงจรวันช็อต (One Shot) และอีกแบบคือวงจรออสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) ซึ่งจะอธิบายทีละแบบดังต่อไปนี้

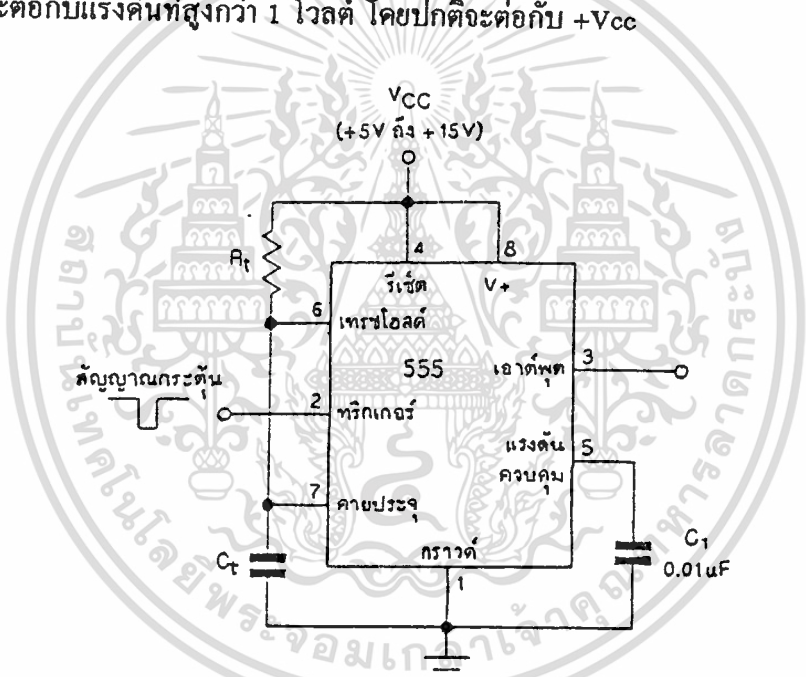
วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์คือ วงจรที่ทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนสถานะไปชั่วขณะ หลังจากมีการกระตุ้นเกิดขึ้นทางด้านอินพุต วงจรโมโนสเตเบิลพื้นฐานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3 ซึ่งในสภาวะปกติ ทางด้านเอาต์พุตจะอยู่ในสถานะ “ต่ำ” มีแรงดันใกล้เคียงศูนย์โวลต์ เมื่อแรงดันที่ขา 2 ต่ำลงกว่า $1/3 V_{cc}$ ทางด้านเอาต์พุตจะเปลี่ยนสถานะจาก “ต่ำ” ไป “สูง” ในขณะที่เดียวกันจะเกิดการประจุตัวเก็บประจุผ่าน R_1 ทำให้แรงดันคร่อมตัวเก็บ

กลับไปยังสถานะ “ต่ำ” อีกครั้งโดยคาบเวลา T หาได้จากสูตร $T = 1.1 R_t C_t$ เช่นเลือกใช้ $R_t = 9.1 \text{ k}\Omega$ ต้องการให้ได้ $T = 1 \text{ ms}$ จะต้องใช้

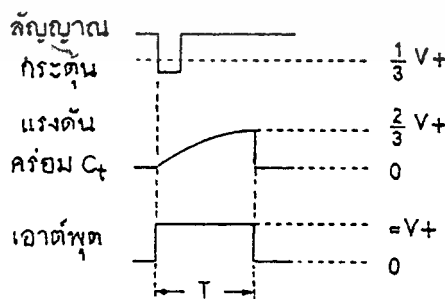
$$C_t = \frac{T}{1.1 R_t} = \frac{1 \times 10^{-3}}{1.1 \times 9.1 \times 10^3}$$

$$= 0.099 \text{ }\mu\text{F} \text{ เราใช้ค่า } 0.1 \text{ }\mu\text{F}$$

จากสมการจะเห็นว่า คาบเวลาทางด้านเอาต์พุตจะไม่ขึ้นกับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลย ดังนั้นถึงแม้ว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลงไปก็จะไม่ทำให้ค่า T เปลี่ยนแปลง ในการทำให้ทางด้านเอาต์พุตกลับสู่สถานะ “ต่ำ” อีกครั้งนั้น เราสามารถทำการรีเซ็ตโดยตรงที่ขา รีเซ็ตได้ โดยให้แรงดันที่ขา รีเซ็ตต่ำกว่า 0.4 โวลต์ จะทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนจาก “สูง” ไป “ต่ำ” ทันที ถ้าเราไม่ใช้ขานี้เราจะตอกกับแรงดันที่สูงกว่า 1 โวลต์ โดยปกติจะตอกกับ +Vcc



Timing Diagram



รูปที่ 2.8 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์พื้นฐาน

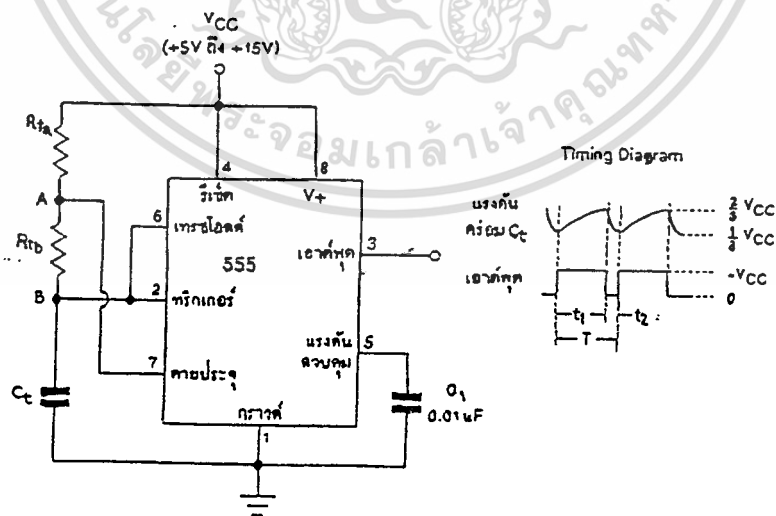
รูปที่ 2.8 จะเห็นว่าสัญญาณกระตุ้นถูกที่สองเข้ามาในระหว่างช่วงเวลา T ไปแล้วคั้งนั้นคาบเวลาสัญญาณกระตุ้น t ควรจะแคบกว่า T เพื่อที่จะได้ไม่กระทบกระเทือนทางด้านเอาต์พุต คั้งนั้นเราจึงปรับปรุงวงจรใหม่ให้โดยเราจะเพิ่ม C_1, R_1 และ D_1 เพื่อให้คาบเวลาของสัญญาณกระตุ้นน้อยลง

การพิจารณาเลือกค่า R_1 และ C_1

โดยปกติเราจะใช้ค่าความต้านทานอยู่ระหว่าง $10\text{ k}\Omega$ ถึง $14\text{ M}\Omega$ และควรใช้ตัวเก็บประจุอยู่ในช่วง 100 pF ถึง 1000 nF พยายามหลีกเลี่ยงการใช้ C ที่มีค่ามากๆ และ C ชนิดอิเล็กโทรไลต์ เพราะ C ชนิดนี้มีกระแสรั่วไหลสูง จะมีผลต่อค่า T ทำให้ผิดพลาดจากที่คำนวณไว้ในรูปที่ 2.8 จะสังเกตเห็นว่าขาที่ 5 ต่อกับตัวเก็บประจุค่า $0.01\text{ }\mu\text{F}$ ก็เพื่อลดสัญญาณรบกวนและป้องกันวงจรออสซิลเลชัน

วงจรรอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ คือ วงจรที่ไม่มีสถานะเสถียร หรือทางด้านเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่าง “สูง” และ “ต่ำ” เป็นจังหวะตลอดเวลา คั้งนั้นวงจรรอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เป็นวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)

วงจรรอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าไม่มีการต่อสัญญาณกระตุ้นจากภายนอก มีตัวต้านทานเพิ่มขึ้นจากวงจรโมโนสเตเบิลพื้นฐานอีก 1 ตัว ในที่นี้จะมี R_{1a} , R_{1b} และตัวเก็บประจุ C_1 โดยขา 7 ต่อที่จุดต่อร่วมของ R_{1a} และ R_{1b} (จุด A) ขา 6 และขา 2 จะต่อร่วมกันที่จุดต่อร่วมของ R_{1b} และ C_1 (จุด B)



รูปที่ 2.9 วงจรรอสเตเบิล ไวเบรเตอร์พื้นฐาน

เมื่อเริ่มคั่นทำงานเราสมมุติว่าตัวเก็บประจุ C_1 ยังไม่ทำการประจุ ตอนนี้นำเอาตัวพุดอยู่ในสถานะ “ต่ำ” เมื่อ C_1 เริ่มทำการประจุผ่าน R_{1a} และ R_{1b} แรงดันที่ขา 2 จะลดลงทันทีใกล้เคียงกับศูนย์โวลต์ เนื่องจากตัว C_1 ยังไม่มีประจุอยู่ภายใน เป็นผลให้เกิดการกระตุ้น ทำให้ทางคั่นเอาต์พุดเปลี่ยนจากสถานะ “ต่ำ” ไป “สูง” ตอนนี้นำแรงคั่นคร่อม C_1 จะสูงขึ้นจนกระทั่งถึง $2/3 V_{cc}$ เมื่อขา 6 มีแรงถึง $2/3 V_{cc}$ เป็นผลให้ทางคั่นเอาต์พุดเปลี่ยนสถานะเป็น “ต่ำ” โดย

$$\text{คาบเวลา } t_1 = 0.693 (R_{1a} + R_{1b}) C_1$$

เมื่ออยู่ในสถานะ “ต่ำ” ขา 7 ของ 555 จะเป็นวงจรปิดกับกราวด์หรือต่อลงกราวด์ ดังนั้น C_1 จะคายประจุผ่าน R_{1b} ลงกราวด์ ค้างรูปที่ 2.10 และแรงคั่นคร่อม C_1 จะลดลงเรื่อยๆ จนต่ำกว่า $1/3 V_{cc}$ ดังนั้นจึงเกิดการกระตุ้นที่ขา 2 อีกครั้งทำให้ทางคั่นเอาต์พุดเปลี่ยนเป็นสถานะ “สูง” หากคาบเวลา t_2 ได้ โดย

$$\text{คาบเวลา } t_2 = 0.693 R_{1b} C_1$$

เมื่อทางคั่นเอาต์พุดเป็นสถานะ “สูง” จะทำให้ขา 7 เป็นวงจรเปิดกับกราวด์ และเกิดการประจุผ่าน R_{1a} และ R_{1b} อีกครั้ง และทำงานวนไปเช่นนี้เรื่อยๆ

คาบเวลา 1 คาบ คือ T

$$\text{ซึ่ง } T = t_1 + t_2$$

$$\text{ดังนั้น } T = 0.693 (R_{1a} + 2R_{1b}) C_1$$

ดังนั้นจะได้ความถี่ $f = \frac{1}{T}$

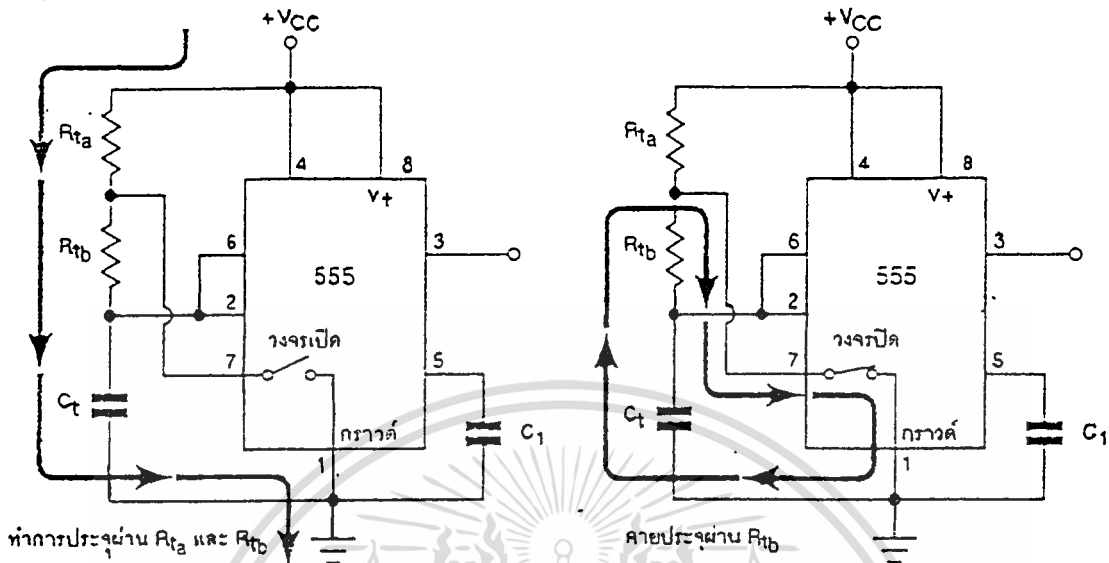
$$= \frac{1}{0.693 (R_{1a} + 2R_{1b}) C_1}$$

$$(R_{1a} + 2R_{1b}) C_1$$

(เราจะใช้ทำงานไม่เกิน 100 kHz)

การพิจารณาค่า R และ C ในการพิจารณาค่าตัวเก็บประจุจะพิจารณาเหมือนวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และการพิจารณาค่าความต้านทานสูงสุดของ $R_{1a} + R_{1b}$ จะพิจารณาเหมือนกับ R_1 ในวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ค่าสูงสุดคือ 14 M Ω

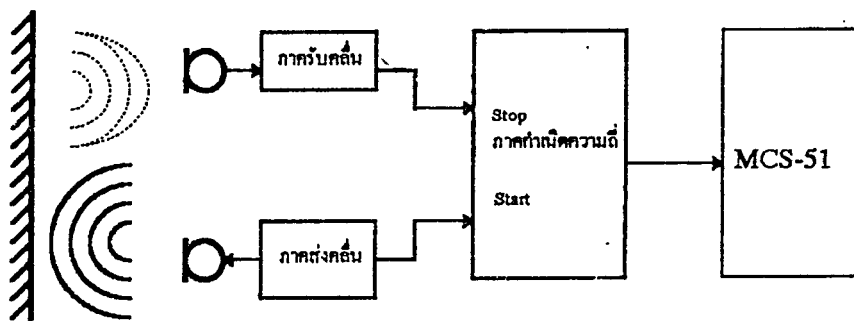
ในการใช้งานโดยทั่วๆ ไปของวงจรออสซิลเลเตอร์นั้น จะใช้เป็นวงจรถ่ายความถี่ต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว



รูปที่ 2.10 แสดงการประจุและคายประจุของวงจรออสซิลเลเตอร์

2.6 หลักการทำงาน

เป็นที่ทราบกันแล้วว่า เสียง คลื่น อนุตรร้าวโซนิก หรือคลื่นอื่น ๆ เดินทางไปในอากาศด้วยความเร็วที่คงที่และสามารถรู้ค่าความเร็วได้ ดังนั้นช่วงเวลาในการเดินทางจากเครื่องส่งไปยังวัตถุและสะท้อนกลับมา สามารถนำมาใช้ในการคำนวณระยะทางได้ เมื่อเครื่องเริ่มส่งแถบคลื่นอนุตรร้าวโซนิกออกไปวงจรนับจะเริ่มทำการนับพัลส์ซึ่งมีความถี่เท่ากับตัวเลขความเร็วของเสียงเป็นเซ็นติเมตรต่อวินาที เมื่อได้รับสัญญาณสะท้อนกลับ ชุดพัลส์ที่ส่งไปวงจรนับจะหยุดนับ ดังนั้นค่าที่นับได้จากวงจรจึงเป็นระยะทางที่สัญญาณเดินทางทั้งหมดซึ่งเป็นค่า 2 เท่าของระยะทางระหว่างวัตถุกับเครื่องส่ง



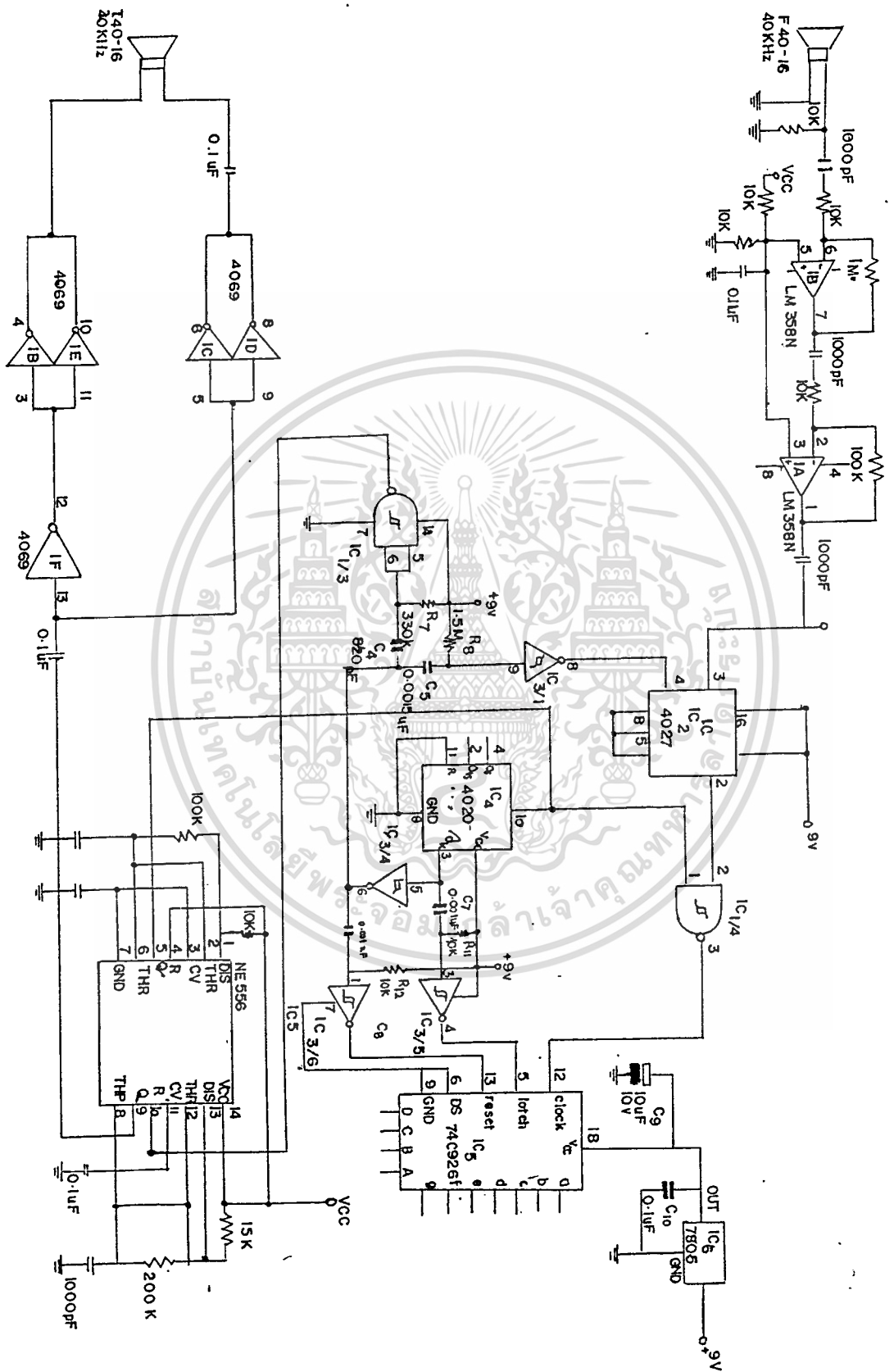
รูปที่ 2.11 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดระยะทางโดยการส่งคลื่นอนุตรร้าวโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ระบุชื่อเป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทำงานของวงจร

ไอซี NE 556 จะประกอบด้วย ไอซี 555 จำนวน 2 ตัว อยู่ในตัวเดียวกัน โดยตัวแรกจะประกอบเป็นวงจร สร้างสัญญาณพัลส์ ป้อนให้กับ ไอซี 4020 เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้กับขา รีเซ็ตของไอซี 555 อีกตัวหนึ่ง ส่วนอีกตัวเป็น ASTABLE ผลิตพัลส์ความถี่ 40 kHz โดยการผลิตจะเป็นจังหวะตามการเปิดที่ขา RESET ให้พัลส์ความถี่ 40 kHz ออกมาเป็นช่วงๆ ผ่าน BUFFER 4069 ส่งออกอากาศผ่านทาง ULTRASONIC SENSOR T40-16 จากนั้นเมื่อ ULTRASONIC กระทบวัตถุและสะท้อนกลับมายังตัว SENSOR R40-16 นำมาผ่านภาคขยาย 2 STATE คือ LM358 ให้สัญญาณแรงขึ้น จากนั้นจะผ่านทางภาค DETECT เวลาและภาค FILTER นำไปผ่านภาค คัดสัญญาณรบกวนโดยการเปรียบเทียบกับสัญญาณของขา 5 (หรือขา 3) ของไอซี LM358 ซึ่งเป็นสัญญาณจากภาคส่ง (PIN-5 ของ NE556) ที่ได้รับการหน่วงที่ขบขาของพัลส์ โดยการเปรียบเทียบของไอซี LM358 ซึ่งจะให้เอาต์พุต จากนั้นจะนำไปผ่านภาค RS F/F แบบ NAND ซึ่งเป็นภาคเปรียบเทียบเวลาระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไปและสัญญาณที่รับเข้ามา ซึ่งจะนับให้เราได้สัญญาณของเวลาที่หายไป ในการเดินทางในอากาศเป็นระยะทางไป-กลับ ระหว่าง ROBOT กับ วัตถุที่ตรวจจับได้ และจะนำสัญญาณนี้ไปเป็นสัญญาณ INT ของ MCS-51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การใช้งานและผลการทดสอบ

การใช้งานการวัดนั้นต้องให้ตัวเครื่องตั้งฉากกับพื้น และขนานกับวัตถุที่จะวัดให้มากที่สุด โดยมือที่จับเครื่องขณะวัดนั้นจะต้องไม่สั่นเพราะ ใช้หลักการของการสะท้อนคลื่นและวัตถุที่จะสะท้อนคลื่นได้ดีจะต้องเป็นวัตถุที่มีผิวค่อนข้างเป็นผิวมันหรือเรียบ เช่น ผนัง กระจก หรือผิวของคูโหลหะเป็นต้น ซึ่งจะทำให้การวัดค่าได้อย่างถูกต้องเพราะคลื่นสามารถสะท้อนจากวัตถุที่วัดเข้ามายังตัวรับได้ดีกว่าวัตถุที่มีผิวหยาบ หรือวัตถุที่มีผิวค่อนข้างอ่อน เช่น ฟองน้ำ เพราะมันจะดูดซับคลื่นทำให้สะท้อนกลับออกมาไม่ได้ หรือใช้เวลาในการสะท้อน ออกมาช้ากว่าปกติตามความเป็นจริง ทำให้ค่าที่วัดออกมาผิดพลาดมาก

ส่วนปัญหาในการวัดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความหนาแน่นของบรรยากาศขณะนั้น ซึ่งทำให้คลื่นผ่านไปด้วยเวลาที่ไมเท่ากัน ความเร็วของเสียงตามอากาศที่อยู่ในสภาพปกติจะมีความเร็วประมาณ 341 เมตรต่อวินาที ที่มีการคำนวณของความเร็วของเสียงในอากาศจะแสดงดังต่อไปนี้

จากสูตรความเร็วของเสียง

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}} \dots (2.6)$$

โดยที่ v = ความเร็วของเสียง

Γ = ค่าโมดูลัส (modulus) ของก๊าซ (สำหรับอากาศคือ 4.1)

P = ความดันของก๊าซมีหน่วยเป็นปาสกาล (ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลคือ 1.01325×10^6 ปาสกาล)

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซ หน่วยเป็น kgm^{-3} (ความหนาแน่นของอากาศคือ 1.29 kgm^{-3})

ดังนั้นถ้าโมลของอากาศมีมวลเป็น M และปริมาตรเป็น v

$$\text{ความหนาแน่น } (\rho) = \frac{M}{v} \dots (2.7)$$

เราจะได้

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}} \dots (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma pV}{M}} \quad \dots (2.8)$$

แต่จาก $pV = RT$ โดยที่ R คือค่าคงที่ของแก๊ส และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ
ดังนั้น

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma RT}{M}} \quad \dots (2.9)$$

สำหรับค่า Γ , M และ R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส มันจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของเสียงใน
แก๊ส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

เพราะฉะนั้นจากความเร็วของเสียงในอากาศที่ 0°C คือ 331 ms^{-1} ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนเป็น
 20° หรือ 293 K ความเร็วเสียงจะมีค่า

$$\frac{v}{331} = \sqrt{\frac{293}{273}} \quad \dots (2.10)$$

$$v = 331 \sqrt{1.077326} = 342.9 \text{ ms}^{-1} \quad \dots (2.11)$$

จากสูตรคำนวณข้างต้น จะพบว่าถ้าความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้นความเร็วของเสียงก็
จะลดลง

ส่วนค่า O -factor ของตัวส่งนี้ก็ปัญหามิเหมือนกัน เพราะอาจทำให้เกิดการไม่สิ้นสุด
ของเวลา หมายถึงตัวรับนั้นรับคลื่นที่สะท้อนออกมาจากตัวส่งไม่ได้หรือรับได้แค่ผิดพลาดไปมาก
หลังจากการทดสอบแล้วปรากฏว่าเครื่องนี้จะใช้ได้ดีในช่วง 30 ซม. ถึง 3 เมตร สำหรับระยะที่
ไกลกว่า 3 เมตร ขึ้นไปถึง 6 เมตร จะต้องตั้งเครื่องให้ขนานกับวัตถุที่จะวัดให้มากที่สุด และมีที่
จับเครื่องนี้ขณะวัดต้องนิ่ง

ผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระยะจริงกับระยะที่ได้

ระยะทางจริง (cm)	ระยะทางที่วัดได้ (cm)	
	ทรงกระบอกกลม	ทรงเหลี่ยม
30	31	30.5
60	63	61
90	95	92
120	126	122
150	157	165
180	189	183
210	220	225
240	255	248
270	280	275
300	315	305
330	345	335
360	378	370
390	410	400
410	430	415
440	462	448
470	493	480
500	525	510

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

3.1 การอ้างตำแหน่งของ MCS-51

คำสั่งภาษาแอสเซมบลีของ MCS-51 จะประกอบด้วยนิวมอนิกรหัสการทำงานหนึ่งไบต์ และตัวโอเปอเรนด์อีก ตั้งแต่ 0-3 ไบต์ โดยการใช้คำสั่งสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ถูกแบ่งด้วย (,) คำสั่งที่ใช้ตัวโอเปอเรนด์สองตัวสัญลักษณ์จะให้ตัวแรกเป็นตัวรับการถ่ายเทข้อมูล (Destination) ส่วนตัวหลังจะเป็นตัวส่งข้อมูล (Source) ส่วนที่ใช้คำสั่งต่าง ๆ ส่วนใหญ่นั้น จะทำงานโดยใช้แอสเซมบลี เป็นตัวหลักในการเป็นตัวส่งข้อมูลในโอเปอเรนด์ และจะเป็นตัวรับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานคำสั่งนั้นๆ ด้วยการให้ตัวอักษร 'A' เช่น

MOV (Destination), (Source)

จากตัวอย่าง MOV เป็นคำสั่งที่จะเอาค่าจาก Destination ไปกระทำกับ Source ซึ่งที่ยกตัวอย่างนี้ เป็นการเอาข้อมูลจาก Source ไปเก็บไว้ที่ Destination ตัวอย่างเช่น

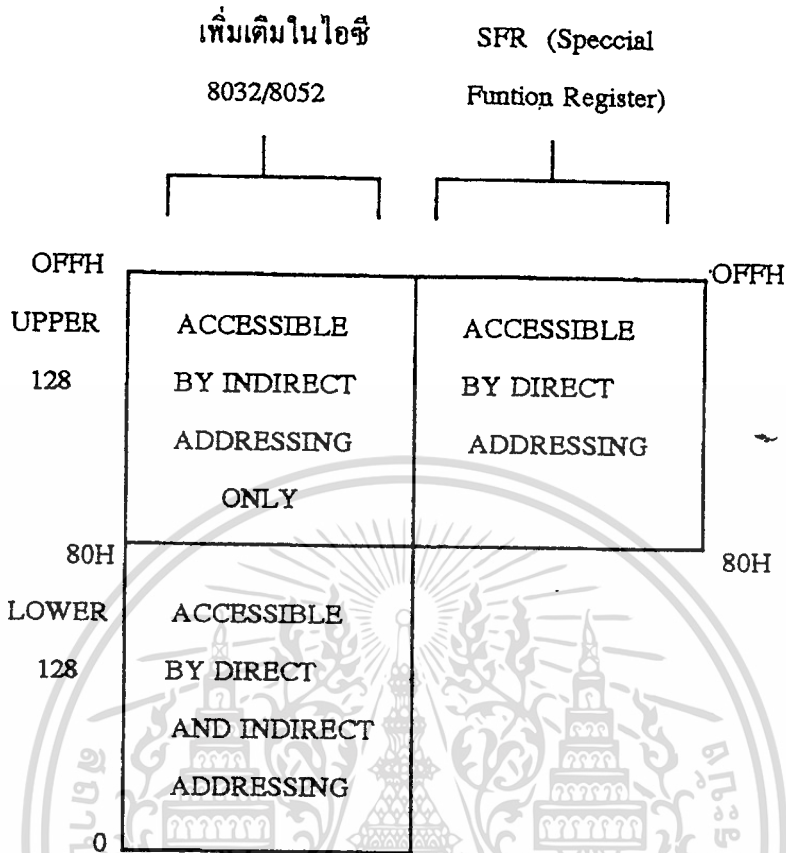
MOV A, RO

จากเป็นการกำหนดให้ รีจิสเตอร์ A เป็น Destination และให้ RO เป็น Source ซึ่งคำสั่งจากตัวอย่างเป็นการเอาข้อมูลที่ รีจิสเตอร์ RO ไปเก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ A

การใช้ลักษณะของ Source ในคำสั่งตัวอย่างนี้ สามารถที่จะเลือกใช้ได้ตามลักษณะของการกำหนดเลขที่อยู่ได้ 4 โหมดด้วยกัน คือ

- 3.1.1 การกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์ (Register Addressing)
- 3.1.2 การกำหนดเลขที่อยู่โดยตรง (Direct Addressing)
- 3.1.3 การกำหนดเลขที่รีจิสเตอร์โดยทางอ้อม (Indirect Addressing)
- 3.1.4 การกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลโดยตรง (Immediate Addressing)

โหมดสาม โหมดแรกเป็นการเข้าถึง แรมภายใน (Internal Ram) ของ MCS-51 และ รีจิสเตอร์ต่างๆ ภายใน ตามโครงสร้างของ MCS-51 นอกจากจะให้เป็นตัวส่งข้อมูลในโอเปอเรนด์ฟิลด์แล้ว ยังใช้เป็นตัวรับการถ่ายเทข้อมูลในโอเปอเรนด์ฟิลด์ได้อีกด้วย ส่วนโหมดที่ 4 เนื่องจากคอเปอร์เรนด์ฟิลด์ข้อมูลคงที่ จึงเป็นตัวส่งข้อมูลคงที่ เพียงอย่างเดียวเท่านั้น



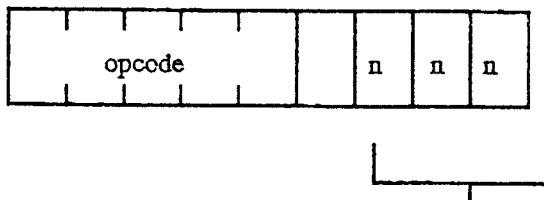
รูปแสดง การกำหนดตำแหน่งของ แรมภายใน (Internal Ram)

จากรูปแสดงการกำหนดเลขที่อยู่ของแต่ละโหมดซึ่ง แรมภายในจะอ้างแตกต่างกัน

3.1.1 การกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์ (Register Addressing)

การกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์ จะให้ข้อมูลคยการใช้รีจิสเตอร์กลุ่ม (Register Banks) ที่ถูกเลือกจากการกำหนด Banks ที่จะใช้งาน โดยแต่ละBanks จะมีรีจิสเตอร์อยู่ 8 ตัว และใช้บิตค่าสามบิตแรกของรหัสคำสั่งเป็นตัวกำหนดเลือกการใช้รีจิสเตอร์ที่จะใช้งานตัวใดตัวหนึ่งใน 8 ตัว ทั้งสามบิตจะรวมอยู่ในรหัสฮอปโค้ดกับโอเปอร์เรนด์ การกำหนดเลขที่อยู่จะเป็นคำสั่งแค่ 1 Byte เท่านั้น ดังรูป

คำสั่ง MOV A, Rn



n

ในภาษาแอสเซมบลีของ MCS-51 จะชี้การทำงานโหมคกำหนดเลขที่อยู่โดยรีจิสเตอร์ด้วย สัญลักษณ์ R_n โดย n จะแทนค่า 0-7 (R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7)

3.1.2 การกำหนดเลขที่อยู่โดยตรง (Direct Addressing)

การกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงเป็นวิธีเดียวที่จะเข้าถึงข้อมูลทาสาร์ทแวร์รีจิสเตอร์ เช่น กลุ่มของ SFR และสามารถกำหนดโดยการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงบริเวณตำแหน่งต่างๆ ของหน่วยความจำภายใน (Internal Ram) จำนวน 128 Byte ด้วยการใส่ไบต์โอเปอร์เรนด์ตัวต่อจากออปโค้ดของคำสั่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งที่ถูกใช้ ดังรูป

คำสั่ง ADD A, direct



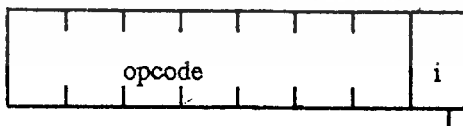
ADD A,

direct

3.1.3 การกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์โดยทางอ้อม (Indirect Addressing)

การกำหนดเลขที่อยู่โดยทางอ้อม ของ MCS-51 จะใช้ข้อมูลใน R0 หรือ R1 โดยแบนด์ที่ถูกเลือกทำงานเป็นดัชนี หรือ ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลภายใน 255 Byte ของแรมภายใน ซึ่งมีเฉพาะในไอซีเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น หรือ ใช้เป็นตัวชี้จำนวน 255 Byte ของหน่วยความจำภายนอกกำหนดใช้แรมภายในจะสามารถกำหนดภายในด้วย R0 และ R1 ซึ่งจะเป็นตัวเลือกด้วยรหัสคำสั่งออปโค้ดที่หลักต่ำสุด (LSB) ดังรูป

คำสั่ง ADD A, @R1



ADD A, @R

I

ใน MCS-51 ภาษาแอสเซมบลีที่กำหนดการใช้ลักษณะนี้ จะใช้สัญลักษณ์ "@" นำหน้า R0 และ R1

การเข้าถึงข้อมูลภายนอกให้ได้ถึง 54 Kbyte จากหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ว่าง จะใช้รีจิสเตอร์คู่ของ Data Pointer (DPTR) ซึ่งมีขนาด 16 บิต

3.1.4 การกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลโดยตรง (Immediate Addressing)

การกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลโดยตรง เป็นการกำหนดโอเปอร์เรนด์เป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้จริง โดยการกำหนดเลขที่อยู่นี้ใช้สัญลักษณ์ “ # “ เป็นตัวกำหนดว่าภายในโอเปอร์เรนด์ฟิลด์ เป็นค่าคงที่ ดังรูป

คำสั่ง MOV A, #data



MOV A, #

data

3.2 การใช้คำสั่งในการโอนย้ายข้อมูลของ MCS-51

คำสั่ง โอนย้ายข้อมูลเป็นคำสั่งที่สำคัญคำสั่งหนึ่งซึ่งใน MCS-51 ได้แบ่งคำสั่งในการโอนย้ายข้อมูลออกตามหน้าที่ที่จะทำการ โอนย้ายข้อมูลระหว่าง Destination กับ Source และ การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำซึ่งใน MCS-51 ได้แบ่งหน่วยความจำออกเป็น สองส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำภายใน (Internal Memory) และ หน่วยความจำภายนอก (External Memory) ซึ่งหน่วยความจำภายใน และ หน่วยความจำภายนอก ยังแบ่งออกได้ดังนี้

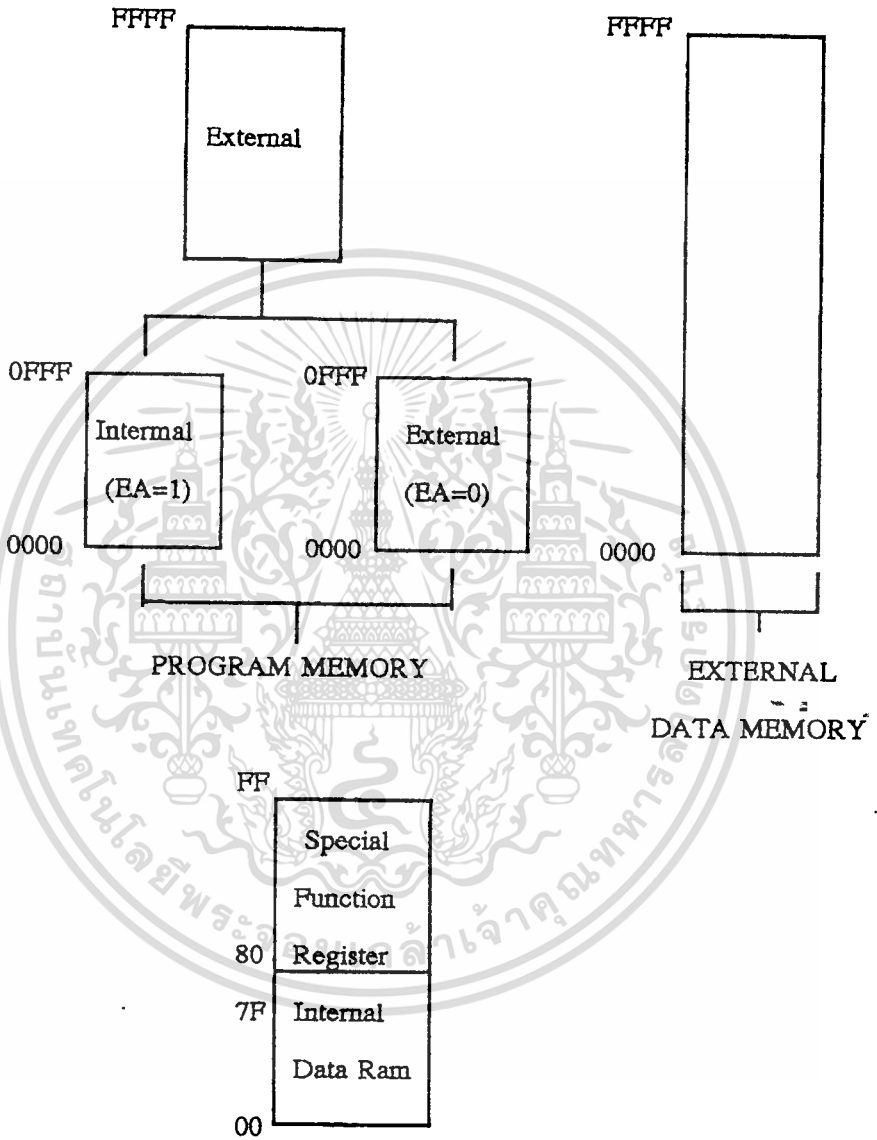
หน่วยความจำภายใน

- หน่วยความจำที่ใช้เป็นข้อมูล (Internal Data Ram)
- หน่วยความจำที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์พิเศษ (SFR : Special Function Register)
- หน่วยความจำที่เพิ่มเติมของไอซี 8032/8052

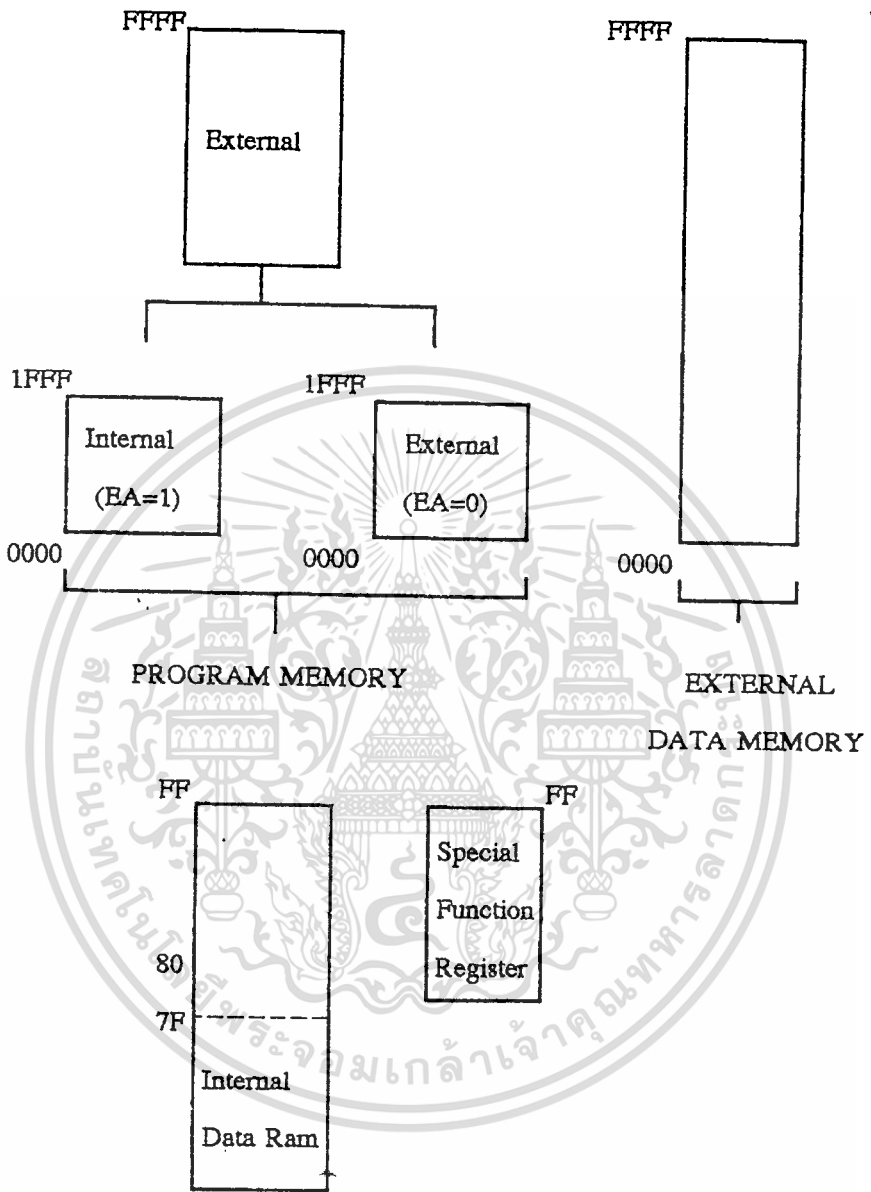
หน่วยความจำภายนอก

- หน่วยความจำของโปรแกรม (Program Memory)
- หน่วยความจำของข้อมูล (Data Memory)

เราสามารถแสดงรูปการแบ่งหน่วยความจำดังรูปต่อไปนี้



รูปแสดงหน่วยความจำของ MCS-51 (ยกเว้น 8032/8052)



รูปแสดงหน่วยความจำของ 8032/8052

จากรูปของหน่วยความจำทั้งสองจะแยกหน่วยความจำออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. หน่วยความจำภายใน (Internal Memory)
2. หน่วยความจำภายนอกที่ใช้เป็น โปรแกรม (Program Memory)
3. หน่วยความจำภายนอกที่ใช้เป็นข้อมูล (Data Memory)

ใน MCS-51 ได้แยกการคอนย้ายข้อมูลที่จะใช้กับหน่วยความจำที่มีอยู่ดังนี้

3.2.1 หน่วยความจำภายใน (Internal Memory)

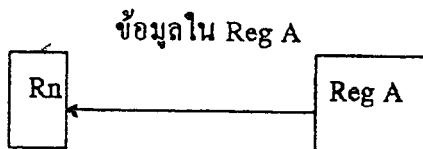
เราจะใช้คำสั่ง MOV ในการใช้หน่วยความจำชนิดนี้ในการโอนย้ายข้อมูลซึ่งการโอนย้ายข้อมูลยังแบ่งออกเป็น ดังนี้

- การโอนย้ายข้อมูลระหว่าง รีจิสเตอร์ กับ รีจิสเตอร์ การโอนย้ายชนิดนี้เป็นการโอนย้ายระหว่างรีจิสเตอร์ กับ รีจิสเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้รีจิสเตอร์ A กับรีจิสเตอร์ แบงก์ (Register Banks) รูปแบบคำสั่งมีดังนี้

MOVA, Rn เป็นการโอนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์แบงก์ที่เลือกแบงก์นั้นอยู่ไปเก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ A โดยที่ Rn แทนค่าด้วย R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7

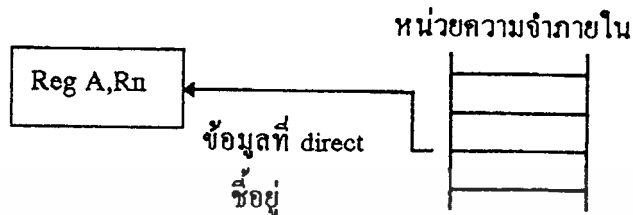


MOV Rn,A เป็นการโอนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A ไปเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์แบงก์ที่เลือกแบงก์นั้นอยู่โดยที่ Rn แทนค่าด้วย R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7



- การโอนย้ายข้อมูลระหว่าง รีจิสเตอร์ กับ หน่วยความจำ เป็นการย้ายข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ กับ หน่วยความจำภายในซึ่งมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

MOV A,direct และ MOV Rn,direct เป็นการโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำที่ direct ซึ่งอยู่ภายในไปเก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ A หรือ รีจิสเตอร์ Rn (R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7)

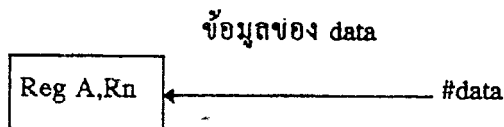


MOV direct,A และ MOV direct,Rn เป็นการโอนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A,Rn ไปเก็บที่หน่วยความจำภายใน ที่ direct ซึ่งอยู่



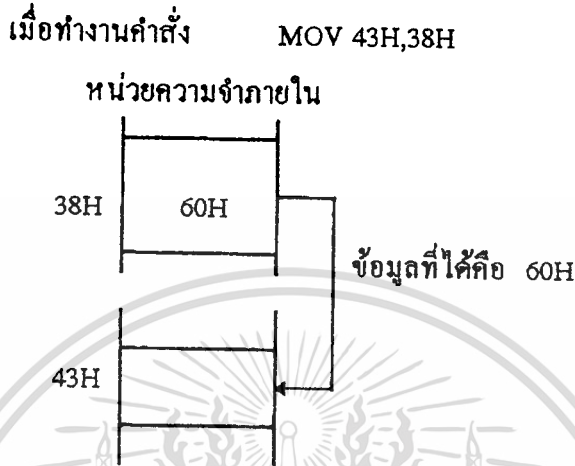
- การโอนย้ายข้อมูลระหว่าง รีจิสเตอร์ กับ ค่าคงที่ เป็นการโอนย้ายข้อมูลกับค่าคงที่ไปไว้ที่ รีจิสเตอร์ โดยที่คำสั่งนี้จะถือว่าค่าคงที่นี้เป็นข้อมูลซึ่งคำสั่งนี้ส่วนมากใช้เป็นการกำหนดค่าให้รีจิสเตอร์ต่างๆ ก่อนที่จะใช้งานรูปแบบคำสั่งมีดังนี้

MOV A,#data และ MOV Rn,#data เป็นคำสั่งที่ของข้อมูล (data) ไปไว้ที่รีจิสเตอร์ A หรือ รีจิสเตอร์ Rn (Register banks R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7) ดังที่จะแสดงในรูปแบบ



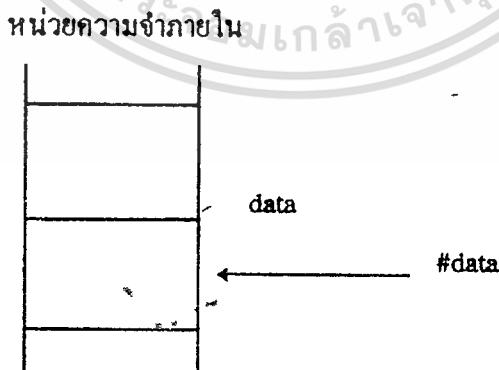
- การโอนย้ายข้อมูลระหว่าง หน่วยความจำ กับ หน่วยความจำ เป็นการโอนย้ายข้อมูลที่ MCS-51 ได้เพิ่มเข้ามาเพื่อสะดวกในการโอนย้ายข้อมูลระหว่างหน่วยความจำ กับ หน่วยความจำ รูปแบบคำสั่งมีดังนี้

MOV direct (destination),direct(source) เป็นการโอนย้ายข้อมูลโดยเอาข้อมูลจาก direct(source) ที่ชี้อยู่ ไปเก็บไว้ที่ direct(destination) ที่ชี้อยู่ดังตัวอย่าง



- การโอนย้ายข้อมูลระหว่าง หน่วยความจำ กับ ค่าคงที่ เป็นการโอนย้ายข้อมูลที่ MCS-51 ได้เพิ่มเข้ามาเพื่อสะดวกในการ โอนย้ายข้อมูลระหว่างหน่วยความจำ กับค่าคงที่ของข้อมูล รูปแบบคำสั่งมีดังนี้

MOV direct,#data เป็นการ โอนย้ายข้อมูล โดยเอาค่าคงที่ของข้อมูลไปเก็บไว้ที่ หน่วยความจำที่ direct ชี้อยู่ ดังรูป



- การโอนย้ายข้อมูลโดยทางอ้อม เป็นการโอนย้ายข้อมูลโดยการเอาข้อมูลใน รีจิสเตอร์ แบงค์ แทนค่าด้วย Ri (R0, R1) ที่ชี้ในแบงค์นั้นอยู่ ไปชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน ซึ่งในคำสั่งโอนย้ายข้อมูลแบบนี้จะมีเครื่องหมาย @ เป็นตัวบอกว่าเป็นการโอนย้ายข้อมูลโดยทางอ้อม รูปแบบคำสั่งมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOV A,@Ri และ MOV direct,@Ri เป็นการโอนย้ายข้อมูลจากตำแหน่งในข้อมูลที่ Ri ชื่ออยู่และ เอาข้อมูลจากตำแหน่งนั้น มาเก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ A หรือ ที่ direct ชื่ออยู่

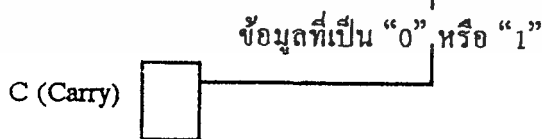
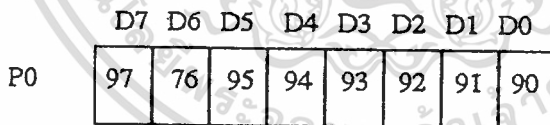
MOV @Ri,A MOV @Ri,direct และ MOV @RI,#data เป็นการโอนย้ายข้อมูลจาก รีจิสเตอร์ A, ตำแหน่งที่ direct ชื่ออยู่ และค่าของข้อมูลคงที่ ไปเก็บไว้ที่ตำแหน่งที่ข้อมูลใน Ri ชื่อตำแหน่งที่จะเก็บ

- การโอนย้ายข้อมูลแบบ บิต เป็นการโอนย้ายข้อมูลครั้งละบิตซึ่งใน MCS-51 จะใช้ Carry ซึ่งอยู่ใน PSW (Program Status Word) เป็นตัวกลางในการโอนย้ายข้อมูลแบบบิต ข้อมูลที่ได้จะเป็น “0” หรือ “1” เท่านั้น ซึ่งจะติดต่อกับหน่วยความจำภายในโดยอ้างเป็นตำแหน่งแบบบิต (Bit Addressing) ซึ่งแสดงในตารางใน Bit Address ในการอ้างมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

MOV C,bit เป็นการโอนข้อมูล “0” หรือ “1” จากตำแหน่งของ บิต (Bit Addressing) มาไว้ที่ Carry ดังตัวอย่าง

MOV C,P1,1 หรือ MOV C,91H

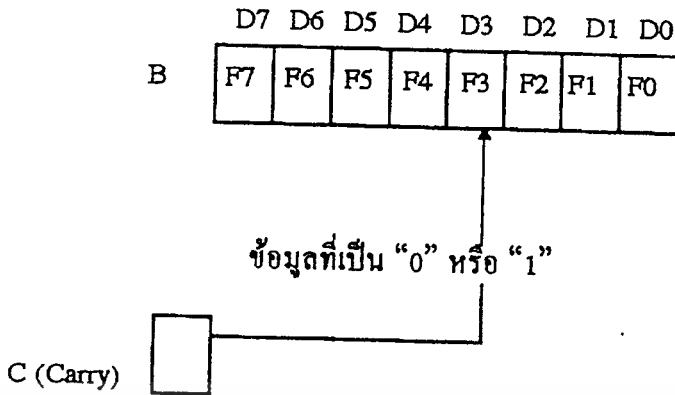
จากตัวอย่างเป็นการ โอนย้ายข้อมูลจาก Port 0 บิตที่ 1 มาเก็บไว้ใน Carry ดังที่จะแสดงในรูป



MOV bit,C เป็นการโอนข้อมูล “0” หรือ “1” จาก Carry ไปไว้ที่ตำแหน่งของ บิต (Bit Addressing) ดังตัวอย่าง

MOV B,3,C หรือ MOV 0F3H, C

จากตัวอย่างเป็นการ โอนย้ายข้อมูลที่เป็น “0” หรือ “1” จาก Carry ไปเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ B บิตที่ 3 ดังที่จะแสดงในรูป



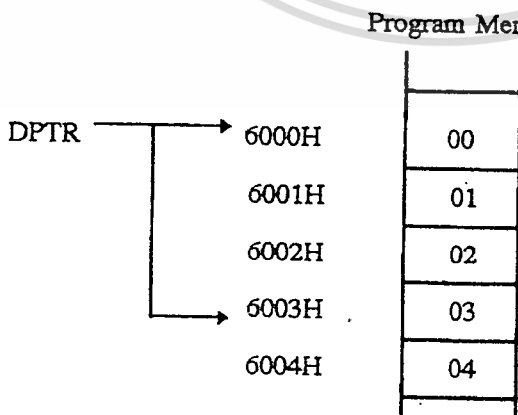
3.2.2 หน่วยความจำภายนอกที่ใช้เป็นโปรแกรม (Program Memory)

เราจะใช้คำสั่ง MOV_C ในการอ้างหน่วยความจำชนิดนี้ส่วนมากคำสั่งชนิดนี้จะใช้ในการเปิดตารางที่มีอยู่แล้วโดยคำสั่งชนิดนี้จะอ้างข้อมูลเป็น Index ซึ่งจะมีตำแหน่งของฐานข้อมูลซึ่งในคำสั่งนี้จะใช้ รีจิสเตอร์ PC(Program Counter) กับ (DPTR : Data pointer) และ offset และค่าที่ได้จะนำไปเป็นตำแหน่งชี้ข้อมูลเพื่อมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ในคำสั่งนี้มีไว้ข้อมูลสองแบบดังนี้

MOV_C A,@A+DPTR เป็นการโอนย้ายข้อมูลโดยใช้ รีจิสเตอร์ A เป็น offset และใช้ DPTR เป็นตัวชี้ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นของฐานข้อมูลแล้วมาเก็บไว้ที่ รีจิสเตอร์ A ดังที่จะแสดงในตัวอย่าง

ตัวอย่าง ใช้คำสั่ง MOV_C A,@A+DPTR

โดยที่กำหนดให้ รีจิสเตอร์ A=3, รีจิสเตอร์ DPTR=6000H



รีจิสเตอร์ A=03H

3.3 การใช้คำสั่งในการกระโดดของ MCS-51

คำสั่งในการกระโดด เป็นคำสั่งที่จะทำการย้ายตำแหน่งการทำงาน หรือ ตำแหน่งของโปรแกรม โดยการเปลี่ยนค่าใน PC (Program Counter) ไปที่ตำแหน่งของโปรแกรมที่จะย้ายตำแหน่งของโปรแกรม ที่จะทำงานในคำสั่งต่อไป

3.3.1 การกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข

เป็นคำสั่งการกระโดดที่ย้ายการทำงานของโปรแกรมโดยการเปลี่ยนค่าใน PC (Program Counter) ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการจะทำงานในคำสั่งต่อไป ในการกระโดดนี้จะไม่มีการตรวจสอบเงื่อนไข ซึ่งมีคำสั่งในการกระโดดนี้มีคำสั่งดังต่อไปนี้

- AJMP (Absolute Jump) จะทำการกระโดดการทำงานของโปรแกรมไปยังแอดเดรสที่ถูกกำหนดอยู่ในรูปแบบออปโค้ดไบทแรกที่บิต 7-5 และ ไบท์ที่สองของชุดคำสั่ง โดยบิตที่เหลือที่อยู่ในสำคัญสูงอีก 5 บิตของ PC หลังจาก PC นี้เพิ่มค่าขึ้นครั้งละหนึ่งสองครั้ง แล้วจะยังคงที่ไม่ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงจากคำสั่งนี้ ฉะนั้นเป้าหมายของโปรแกรมที่จะกระโดดไปจะต้องอยู่ในขอบเขต 2 kbyte ต่อจากแอดเดรสของคำสั่งที่ต่อจาก AJMP

- LJMP (Long Jump) เป็นการกระโดดไปยังค่าแอดเดรสที่ถูกกำหนดโดยไม่มีเงื่อนไขคดขยการไหลคค่าไบท์สูงและไบท์ต่ำด้วยรหัสคำสั่งของไบท์ตัวที่สอง และสามตามลำดับเข้า PC ดังนั้นตำแหน่งแอดเดรสที่จะกระโดดไปสามารถที่จะอยู่ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ ภายในหน่วยความจำของโปรแกรม 64 Kbyte โดยที่ไม่มีผลต่อแฟลชใด ๆ

- SJMP (Short Jump) เป็นคำสั่งการกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไขไปยังแอดเดรสที่ถูกกำหนด โดยจะกระโดดไปตามค่าแอดเดรสที่ได้จากการบวกเอาข้อมูลแบบ sign relative displacement ของรหัสคำสั่งไบท์ที่สองกับตัวชี้โปรแกรม PC ที่มีค่าแอดเดรสที่ชี้ไบท์แรกของคำสั่งตัวต่อมา แล้วเก็บไว้ที่ PC เพราะฉะนั้นตำแหน่งของคำสั่งที่จะกระโดดไปอยู่ข้างหน้าไม่ห่างเกิน 127 ไบท์ หรือ ไปข้างหลังไม่เกิน 128 ไบท์

- JMP @A+DPTR เป็นคำสั่งการกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข โดยการกระโดดตามค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการบวกโดยเอาค่าของข้อมูลในแอดเดรสคูมูเลเตอร์กับ DPTR ขนาด 16 บิต ซึ่งผลจากการบวกกันของไบท์ต่ำถ้าเกิดตัวทศจะทลไปสู่วไบท์สูงซึ่งผลที่ได้จะไปเก็บใน PC โดยที่ค่าของแอดเดรสคูมูเลเตอร์ และ DPTR ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และไม่มีผลต่อแฟลชใด ๆ

3.3.2 การกระโดดแบบมีเงื่อนไข

เป็นคำสั่งกระโดดที่จะทำการตรวจสอบเงื่อนไข ที่กำหนดไว้โดย ถ้าตรงตามเงื่อนไขให้ทำการกระโดด หรือ ผ่านคำสั่งกระโดดนั้นไป ซึ่งคำสั่งกระโดดแบบมีเงื่อนไขนี้ สามารถตรวจสอบเงื่อนไขแบบ บิท หรือ ไบท์ ตามแต่กำหนดคำสั่งกระโดดแบบมีเงื่อนไขมีดังนี้

- JC ทำการกระโดดก็ต่อเมื่อ บิทกคเป็น "1"

เป็นคำสั่งกระโดดถ้าบิทกคเป็น 1 จะกระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนดในคำสั่งด้วยค่าที่ได้จากการบวกกันของค่า signed relative displacement ไบท์ที่ 2 ของคำสั่งนี้กับค่าของ PC ที่ชี้ไบท์แรกของคำสั่งตัวต่อมา แล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจากเพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่าของ PC โดยไม่มีผลต่อแฟล็กใดๆ

- JNC ทำการกระโดดก็ต่อเมื่อ บิทกคไม่เป็น 1

เป็นคำสั่งกระโดดถ้าบิทกคไม่เป็น 1 จะกระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนดในคำสั่งด้วยค่าที่ได้จากการบวกกันของค่า signed relative displacement ไบท์ที่ 2 ของคำสั่งนี้กับค่าของ PC ที่ชี้ไบท์แรกของคำสั่งตัวต่อมา แล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจากเพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่าของ PC โดยไม่มีผลต่อแฟล็กใดๆ

- JB ทำการกระโดดก็ต่อเมื่อ บิทที่ชี้เป็น "1"

เป็นคำสั่งกระโดด ถ้าบิทที่ถูกกำหนดตำแหน่งมีค่าเป็น 1 คำสั่งจะกระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด โดยมีจุดปลายทางจากผลของการบวกกันด้วยค่า signed relative displacement ของไบท์ที่ 3 ของคำสั่งนี้กับค่าของ PC ที่ชี้คำสั่งไบท์แรกของคำสั่งตัวต่อมา แล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจาก PC เพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่า PC โดยที่ไม่มีผลต่อแฟล็กใดๆ

- JNB ทำการกระโดดก็ต่อเมื่อ บิทที่ชี้ไม่เป็น "1"

เป็นคำสั่งกระโดด ถ้าบิทที่ถูกกำหนดเป็น 0 จะกระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนดด้วยค่าที่ได้จากการบวกกันของค่า signed relative displacement ไบท์ที่ 3 ของคำสั่งกับค่า PC ที่ชี้ไบท์แรกแล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจาก PC เพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่า PC โดยที่ไม่มีผลต่อแฟล็กใดๆ

- JBC ทำการกระโดดถ้าบิทที่ถูกกำหนดเป็น 1 และจะทำการเคลียร์บิทนั้น

เป็นคำสั่งกระโดด ถ้าบิทที่ถูกกำหนดมีค่าเป็น 1 คำสั่งเคลียร์บิทตามตำแหน่งนั้นแล้วกระโดดไปยังที่อยู่ที่กำหนดที่ได้จากผลของการบวกกัน ด้วยค่า signed relative displacement ของไบท์ที่ 3 กับค่าของ PC แล้วไปเก็บไว้ที่ PC หลังจาก PC เพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่า PC โดยไม่มีผลต่อแฟล็กใดๆ

- JZ

เป็นคำสั่งกระโดด ถ้าค่าในแอดคิวมูลเตอร์เป็น 0 คำสั่งจะกระโดดไปยังจุดหมายที่กำหนด จากผลของการบวกกันด้วยค่า signed relative displacement ของไบท์ที่ 3 กับ PC แล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจาก PC เพิ่มค่าแล้วจะเป็นการกระโดดตามค่า โดยไม่มีผลต่อแฟลกใด ๆ

- JNZ

เป็นคำสั่งกระโดด ถ้าค่าในแอดคิวมูลเตอร์ไม่มีค่าเป็น 0 คำสั่งจะกระโดดไปยังแอดแควเรสที่กำหนด จากผลการบวกกันด้วยค่า signed relative displacement ของไบท์ที่ 3 กับ PC แล้วเก็บไว้ที่ PC หลังจาก PC เพิ่มค่าแล้วจะทำการกระโดดตามค่า โดยที่ไม่มีผลต่อแฟลกใด ๆ

- CJNE

เป็นคำสั่งกระโดด โดยจะเปรียบเทียบค่าของข้อมูลของโอเปอร์เรนด์สองตัวแรกซึ่งถ้าไม่เท่ากันก็จะกระโดดไปยังแอดแควเรสที่ได้จากการรวมของค่าสัมพัทธ์ที่คิดเครื่องหมายของไบท์ที่สามของชุดคำสั่งนี้กับค่าใน PC หลังจาก PC เพิ่มค่าไปเพื่อที่จะทำชุดคำสั่งต่อไป แฟลกตัวทศจะเซตถ้าตัวเลขของจำนวนเต็มที่ไม่คิดเครื่องหมายของตำแหน่งของข้อมูล น้อยกว่าค่าตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่คิดเครื่องหมายของข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบ ถ้าเป็นอย่างอื่นคือ มากกว่าหรือเท่ากับข้อมูลแฟลกตัวทศจะ เคลียร์ ค่าข้อมูล โอเปอร์เรนด์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งสอง โอเปอร์เรนด์สามารถใช้โหมดการกำหนดเบซที่อยู่ได้ 4 โหมด โดยที่แอดคิวมูลเตอร์อาจจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบตัวเลขที่ถูกกำหนดตำแหน่งในโหมดโดยตรงหรือโหมดโดยทันที และกำหนดตำแหน่งโดยทางอ้อมในตำแหน่ง RAM หรือตำแหน่งของข้อมูลในรีจิสเตอร์ทำงานกับข้อมูลโดยตรง

- DJNZ

เป็นการลดค่าตัวแปรลง 1 ค่า ถ้าผลลัพธ์ไม่เป็น 0 ก็จะทำการกระโดดไปยังแอดแควเรสที่กำหนดจากโอเปอร์เรนด์ตัวที่ 2 หรือรหัสตัวสุดท้ายของคำสั่งที่คิดเครื่องหมายกับค่าใน PC ที่ชี้แอดแควเรสของคำสั่งชุดต่อมา แต่ค่าที่ถูกกำหนดมีค่าเป็น 00H ก็จะถูกลดเป็น Underflow มีค่า 0FFH โดยที่ไม่มีผลต่อแฟลกใด ๆ ตำแหน่งที่ถูกกำหนดให้มีค่าลดลงอาจถูกกำหนดด้วยรีจิสเตอร์ หรือ โหมดการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรงก็ได้

หมายเหตุ ถ้าใช้คำสั่งนี้ในการปรับค่าหรืออ่านจากพอร์ตเอาต์พุท ค่าที่ถูกใช้จะเป็นค่าพอร์ทข้อมูลที่แท้จริง ที่ถูกอ่านจากวงจรถ่ายเอาต์พุทแลตซ์ ไม่ใช่จากขาของอินพุท

3.3.3 การเรียกโปรแกรมย่อย โดยสามารถกลับมายังโปรแกรมหลักได้

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเรียกโปรแกรมย่อยโดยที่ไม่มีเงื่อนไข แล้วสามารถกลับคืนสู่โปรแกรมหลักโดยคำสั่งในการเรียกโปรแกรมย่อย และ คำสั่งที่ใช้ในการกลับคืนสู่โปรแกรมหลักมีดังนี้

- ACALL (Absolute Call)

เป็นคำสั่งเรียกโปรแกรมย่อยในแอดเดรสที่กำหนดแบบไม่มีเงื่อนไข คำสั่งนี้จะเพิ่มค่าใน PC 2 ครั้ง เพื่อรับแอดเดรสจากคำสั่งต่อไป แล้วทำการเก็บค่าของ PC ของคำสั่งที่ต่อจากคำสั่งนี้ลงสแต็ค และเพิ่มค่าตัวชี้สแต็ค 2 ครั้ง โดยแอดเดรสที่ถูกเรียกเข้าไปใน PC จะได้จากรหัสบิตที่ 7-5 และ ไบท์ที่สองของคำสั่ง Call ดังนั้นโปรแกรมย่อยจะอยู่ภายในขอบเขต 2 Kbyte ของหน่วยความจำโปรแกรม

- LCALL (Long Call)

เป็นคำสั่งเรียกโปรแกรมย่อยในแอดเดรสที่กำหนดแบบไม่มีเงื่อนไข คำสั่งนี้จะเพิ่มค่าใน PC 2 ครั้ง เพื่อรับแอดเดรสจากคำสั่งต่อไป แล้วทำการเก็บค่าของ PC ของคำสั่งที่ต่อจากคำสั่งนี้ลงสแต็ค และเพิ่มค่าตัวชี้สแต็ค 2 ครั้ง โดยแอดเดรสที่ถูกโหลดเข้าไปใน PC ด้วยค่าไบท์สูงและไบท์ต่ำของแอดเดรสเริ่มต้น โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกด้วยคำสั่งนี้คือ ไบท์ตัวที่สอง และไบท์ตัวที่สาม ของคำสั่งรหัสตามลำดับ โปรแกรมก็จะทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยคำสั่งที่แอดเดรสนี้ ดังนั้นตัวโปรแกรมย่อยสามารถจะอยู่ ณ ที่ใดก็ได้ของหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 64 Kbyte โดยที่ไม่มีผลต่อแพลตฟอร์ม

- RET Return จาก โปรแกรมย่อย

เป็นคำสั่งที่คืนค่าของ PC ที่เก็บไว้ในสแต็ค ซึ่งได้ถูกเก็บไว้เมื่อมีคำสั่งในการเรียกโปรแกรมย่อยมาก่อน

- RETI Return จาก อินเตอร์รัพต์

เป็นคำสั่งที่คืนค่าของ PC ที่เก็บไว้ในสแต็ค ซึ่งได้ถูกเก็บไว้เมื่อมีคำสั่งในการอินเตอร์รัพต์ ซึ่งจะเป็นการเรียกโปรแกรมย่อยโดยการได้รับการรับอินเตอร์รัพต์ภายนอก หรือภายใน

- PUSH จะทำงานโดยเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ SP ก่อน แล้วจึงถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบท์ จากตัวแหล่งกำเนิดที่ฟิลด์โอเปอร์เรนด์กำหนดไว้ ไปยังบริเวณสแต็คตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ SP กำหนด

- POP การถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบท์ จากบริเวณสแต็คตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ที่โอเปอร์เรนด์กำหนด และหลังจากนั้น รีจิสเตอร์จะลดค่าลงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งในการกระโดดนี้เป็นการทำให้ค่าใน PC (Program Counter) เปลี่ยนแปลงการทำงานของการย้ายการทำงานโดยจะไปทีค่าที่ PC เปลี่ยนแปลงไป โดยการกระโดดนี้มี การกระโดดอยู่ 3 แบบ คือ

1. การกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข
2. การกระโดดแบบมีเงื่อนไข
3. การเรียกโปรแกรมย่อย โดยสามารถกลับมายัง โปรแกรมหลักได้

ซึ่งการใช้งานแล้วแต่จะใช้การทำงานการกระโดดชนิดใด

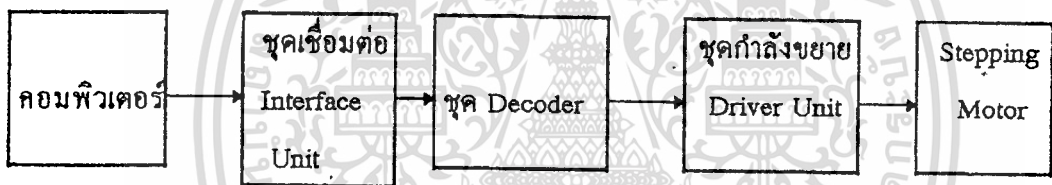


บทที่ 4

ระบบขับเคลื่อน (Drive System)

4.1 สเตปป์ิงมอเตอร์ (Stepping motor)

สเตปป์ิงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้าที่มีอินพุทเป็นกลุ่มของไบนารีโลเตจและเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือมุมไปตามสเตป (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 90 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเตปป์ิงมอเตอร์) ตามสัญญาณพัลซ์ป้อนให้กับขอสเตเตอร์ จึงจะเกิดแรงผลักดันต่อโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนไป แต่ลักษณะของสเตปป์ิงมอเตอร์จะมีขอสเตเตอร์อยู่หลายขดซึ่งเรียกว่า “เฟส” นั้นเมื่อป้อนสัญญาณซึ่งเป็นพัลซ์ในลักษณะซีควีนซ์ของเลขไบนารีโดยผ่านวงจรไดรเวอร์ (Driver) จะทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องกับบล็อกโคดะแกรมรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกโคดะแกรมแสดงการควบคุมสเตปป์ิงมอเตอร์

4.2 คุณสมบัติของสเตปป์ิงมอเตอร์

ในระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้สเตปป์ิงมอเตอร์นั้น มีข้อดีอยู่หลายประการคือ

- เป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการการป้อนกลับไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว
- ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่งแทบไม่มีเลยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสเตปป์ิงนั้นเคลื่อนที่เป็นสเตปด้วยจำนวนองศาที่แน่นอน
- สเตปป์ิงมอเตอร์จะถูกนำมาใช้กับเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำ และใช้อยู่ในเครื่องมือประเภทคิงคอลล เช่น เครื่องวาดรูป เครื่องคอมพิวเตอร์ นิวเมอริคอลลคอนโทรล (Computer numerical control) หรือ CNC
- ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก เมื่ออินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์

-สเตปป์มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล ไปเป็นการเคลื่อนที่ทางกล ดังนั้น การติดต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลก็เป็นไปโดยง่าย และวงจรรขยายกำลังจากสัญญาณดิจิทัล (digital power amplifier) ที่ใช้ก็มีราคาถูกกว่าวงจรรขยายกำลังเชิงเส้น (linear power amplifier) อีกด้วย

-การออกแบบวงจรรควบคุมสเตปป์มอเตอร์สามารถทำได้ง่ายกว่าวงจรรควบคุม มอเตอร์แบบเซอร์โว และยังสามารถออกแบบวงจรรในสเตปป์มอเตอร์ทำงานหรือหยุดได้แบบทันทีทันใด

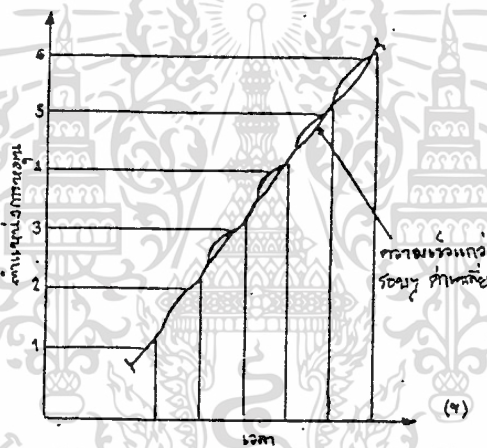
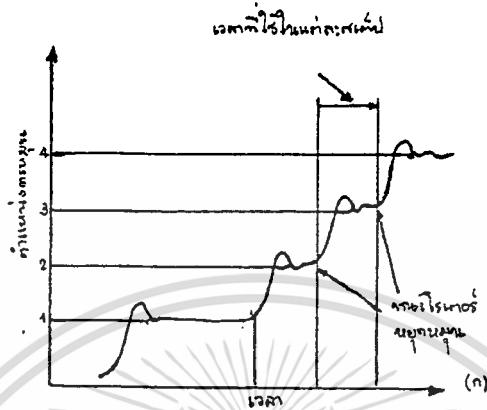
4.3 โหมดการทำงานของ STEPPING MOTORS

ถ้าจะแบ่งโหมดการทำงานของ Stepping Motor ตามอัตราเร็วของ Step จะแบ่งออกได้ เป็น 2 โหมด คือ หมุนเป็นสเตป (Discrete Stepping Mode) และหมุนเป็นแบบต่อเนื่อง (Slewing mode)

โดยถ้าการหมุนเป็นแบบสเตป และมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสเตปต่อไป ก็จะเรียกการทำงานในโหมดนี้ว่าการหมุนเป็น Step ดังรูป 4.2 (ก) สำหรับตัวอย่างของเครื่องใช้ที่ ทำงานในโหมดนี้คือ เครื่องเจาะบัตร การทำงานต่างๆ ก็คือ Stepping Motor จะเป็นตัวส่งแถบ กระดาษเข้าไปยังเครื่องปฏุกกระดาษเพื่อบันทึกข้อมูลลงในแถบกระดาษซึ่งการหมุนของ Stepping Motor จะหมุนไปแล้วหยุดชั่วขณะเพื่อประกระดาษให้เรียบร้อยก่อน แล้วจึงค่อยหมุนต่อไปยัง ตำแหน่งเจาะใหญ่

ถ้าเพิ่มอัตราเร็วในแต่ละ Step ให้เร็วขึ้น และเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดนิ่ง จะเรียก กำหนดการทำงานนี้ว่า การหมุนแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูป 4.2 (ข) ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์ (ก) กับ อัตราเร็วของ Step (ก) และจำนวนสเตปทั้งหมด (s) ได้ ดังสมการ

$$N = 60 \frac{f}{S} \quad \dots \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสเปคการหมุนในโหมดการทำงาน

(ก) หมุนแบบ Step

(ข) หมุนต่อเนื่อง

4.4 กราฟคุณลักษณะของ STEPPING MOTOR

กราฟคุณลักษณะของ Stepping Motor จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของ Step และแรงบิดดังแสดงในรูปสำหรับกราฟเส้นประเรียกว่า Start-step หรือ single step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

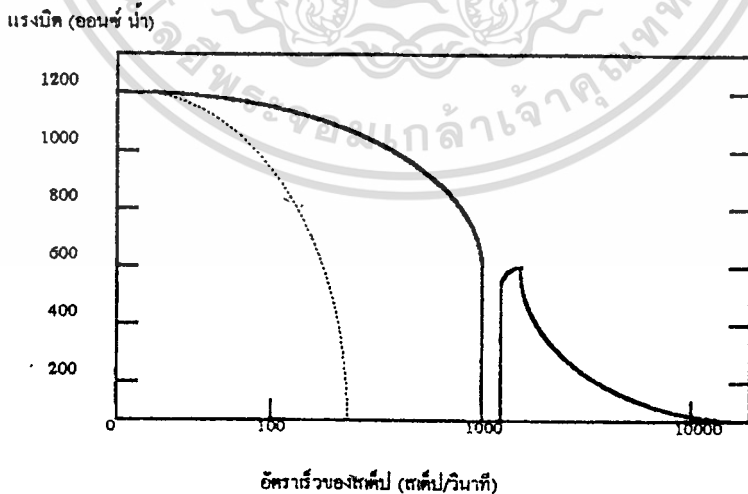
curve เป็นกราฟที่อยู่ในโหมดการหมุนเป็น Step และเป็นแบบกราฟที่แสดงถึงย่านของแรงบิดที่มอเตอร์สามารถเริ่ม และหยุดหมุนได้ โดยปราศจากความผิดพลาดแม้ที่อัตราเร็วของ Step ต่างๆ กัน และกราฟอีกเส้นคือ slew curve ซึ่งทำงานอยู่ในโหมดการหมุนแบบต่อเนื่อง จะเป็นกราฟที่แสดงถึงค่าแรงบิดสูงสุดที่ Stepping Motor สามารถจะกระทำได้ที่อัตราเร็วของ Step ต่างๆ กันถ้ามีการใช้งาน Stepping Motor สามารถจะกระทำได้ที่อัตราเร็วของ Step ต่างๆ กันถ้ามีการใช้งาน stepping Motor โหมดกราฟนี้ก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ในทางตรงข้าม ถ้าใช้งานอยู่ภายใต้กราฟนี้แม้จะควบคุมแบบระบบเปิดก็มั่นใจได้ว่าทั้งตำแหน่งและความเร็วมีความเที่ยงตรงแน่นอน โดยตำแหน่งของ MOTOR สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป มุมใน 1 Step} \times \text{จำนวนพัลส์ที่ป้อนให้} \quad \dots \quad (4.2)$$

ส่วนความเร็วคำนวณหาได้จากสมการ

$$N = 60 \frac{f}{S} \quad \dots \quad (4.3)$$

สำหรับช่วงที่เส้นกราฟขาดหายไปของ slew curve นั้นเป็นย่านเรโซแนนซ์ (Resonant region) ซึ่งเป็นจุดอ่อนสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการพิจารณาใช้งาน เพราะเป็นช่วงที่ไม่เสถียร และควบคุมไม่ได้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราเร็วของ Step กับแรงบิดของการทำงานทั้ง 2 โหมดของ Stepping motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โหมดของการกระตุ้นเฟส (MODES OF EXCITATION)

การใช้งาน Stepping motor อย่างเป็นต่อเนื่อง จำเป็นต้องจ่ายพัลส์เป็นสำคัญอย่างต่อเนื่อง วิธีการกระตุ้นเฟสมีหลายอย่างดังนี้

4.5.1 การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single-phase excitation)

ตาราง 1 แสดงลำดับของการกระตุ้นแบบเฟสเดียวสำหรับ MOTOR แบบ 3 และ 4 เฟส จากตารางเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาสามารถทำได้โดยกระตุ้นเฟส ph1-ph2-ph3 ตามลำดับในทางกลับกันถ้าต้องการทวนเข็มนาฬิกากระตุ้น ph3-ph2-ph1 ตามลำดับเช่นเดียวกับการกระตุ้น ลักษณะนี้เป็นลักษณะ "ONE PHASE ONE DRIVE"

(1) Three-phase motor

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

(2) Four-phase motor

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

Pulses

Note: Symbol R indicates 'reset'.

ตารางรูป 4.1 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดียว

4.5.2 การกระตุ้นแบบเฟสคู่ (Two-phase excitation)

ตารางที่ 4.1 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่สำหรับ Motor แบบ 3 และ แบบ 4 เฟส จากตารางจะพบว่าเมื่อ ph2 off และ ph1 on จะพบว่า ph3 จะคงถูกกระตุ้นอยู่ ลักษณะการกระตุ้นแบบนี้เป็นดังรูปที่ 4.4

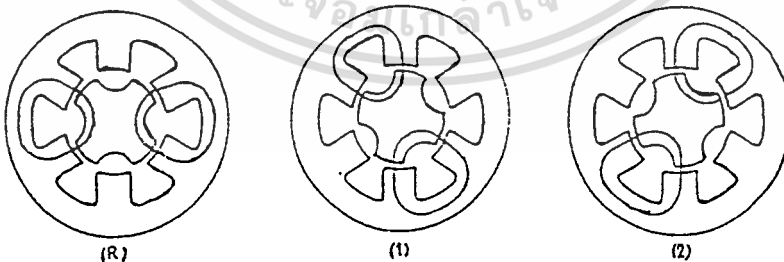
(1) Three-phase motor

Clock stare	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	□	■	■	□	■	■	□
Phase 2	□	■	■	□	■	■	□	■	■
Phase 3	■	□	■	■	□	■	■	□	■

(2) Four-phase motor

Clock stare	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	□	□	■	■	□	□	■
Phase 2	□	■	■	□	■	■	□	■	□
Phase 3	□	□	■	■	□	■	■	□	■
Phase 4	■	□	□	■	■	□	■	■	□

ตาราง 4.2 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่



Change in field pattern as a step proceeds in the two-phase-on mode in a monofilar three-phase VR motor.

รูปที่ 4.4 ลักษณะของการเปลี่ยนเฟสของการกระตุ้นแบบเฟสคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การกระตุ้นแบบครึ่งสเตป (Half-step mode)

เป็นการรวมรูปแบบการกระตุ้น ระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียวและเฟสคู่ ตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป การกระตุ้นจะต้องจ่ายสัญญาณนาฬิกา 2 State คือ A,b โดยที่ A จะจ่ายลักษณะกระตุ้นเฟสเดียว และ B เป็นการจ่าย Clock ในลักษณะกระตุ้นแบบเฟสคู่

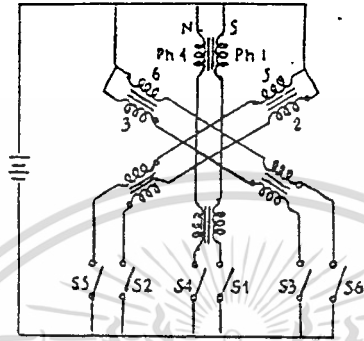
Excitation sequence in the half-step operation (three-phase motor).

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

ตาราง 4.3 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่ง Step

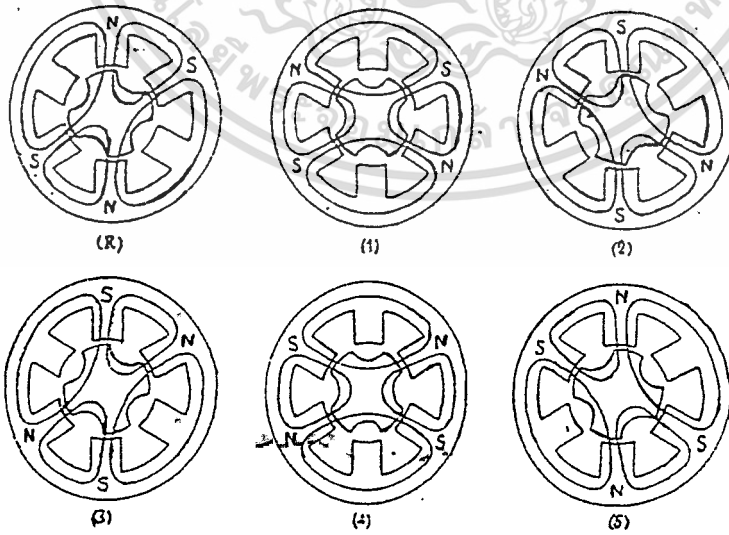
4.5.4 Two-phase-on drive of bifilar-wound three phase VR motor

ความต้องการสำคัญในการออกแบบ Motor คือ ต้องการให้ขนาดของเครื่องจักรเล็ก และถ้าเป็นไปได้จะต้องมีความสามารถทำงานพิเศษ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการกระทำกระตุ้นแบบนี้ขึ้น รูป 3.5 เป็นลักษณะโคอะแกรมของ bifilar wound coil ใน VR Motor 3 เฟสในรูป 4.6 แสดงลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการกระตุ้น ตามตาราง 3.4 ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้คือ แรงบิดของเครื่องจักรจะดีมาก



Schematic diagram of the bifilar-wound coils in the three-phase VR motor.

รูปที่ 4.5 ลักษณะโคอะแกรมของ bifiler coil ใน VR Motor 3 เฟส



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็ก

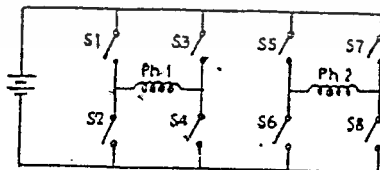
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Ph1 (S1)									
2 (S2)									
3 (S3)									
4 (S4)									
5 (S5)									
6 (S6)									

ตาราง 4.4 แสดงลำดับการกระตุ้น

4.5.5 การกระตุ้นด้วยวงจรบริดจ์

วงจรบริดจ์แสดงในรูป 4.7 เป็นวงจรสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ใน bipolar mode ลักษณะการกระตุ้นวงจรตามลำดับในตาราง 4.5 จากตารางและวงจรที่พบในขดลวดแต่ละขด จะนำกระแสสลับอย่างสม่ำเสมอซึ่งลักษณะนี้จะปรับปรุง 25-30% ของแรงบิดต่อหน่วยของ I/P ซึ่งเป็นไปได้เมื่อใช้กับการไครฟ์ bipolar ลักษณะของ Voltage ที่ป้อนให้วงจร Bipolar drive ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 วงจร Bridge drive สำหรับ Stepping Motor 2 เฟส

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	1				1				1
S2			1				1		
S3			1				1		
S4	1				1				
S5		1				1			
S6	1			1				1	
S7	1			1				1	
S8		1			1				1

ตาราง 4.5 แสดงลำดับการกระตุ้นสำหรับวงจรบริดจ์



Square-wave voltage for the bipolar drive.

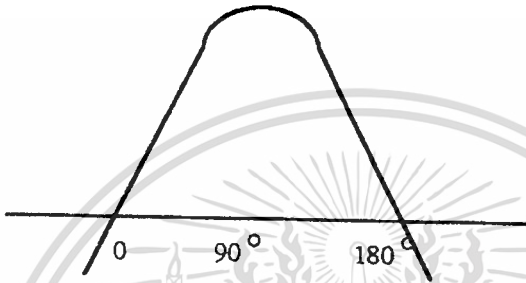
รูปที่ 4.8 Square-wave Voltage สำหรับวงจรโคร์ฟ Bipolar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันเป็นไปได้ที่จะจัดให้สเปซธรรมชาติ ในรูปของสเตปเล็กๆ หลายๆ สเตป ในความหมาย ในทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Ministep หรือ Microstep drive ซึ่งจะพบว่าถูกใช้ใน Hybrid stepping motor บ่อยๆ แนวความคิดนี้มาจาก Sinusoidal bipolar ของ Hybrid motor ซึ่ง คล้ายการ Synchronous motor

การจัด Supply current สำหรับ mini Step drive จะเป็นดังรูป 4.9

ถ้าใน 1 Cycle แบบเป็น $4n$ section ใน one natural step จะถูกแบ่งเป็น n substep



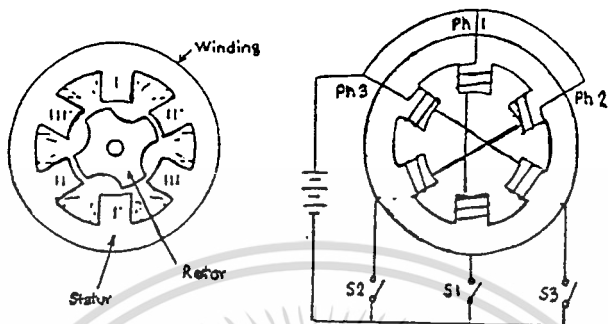
รูปที่ 4.9 A step wase current สำหรับ Ministep drive

4.6 ชนิดของ STEPPING MOTORS

Stepping motor สามารถแบ่งออกได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรที่นำไปใช้งานและลักษณะการออกแบบใช้งาน

4.6.1 VR Motor

Variable-reluctance stepping motor หรือ VR มอเตอร์เป็น stepping motor ที่มี ลักษณะโครงสร้างและการใช้งานที่เป็นพื้นฐานของแบบอื่นๆ ในรูปที่ 3.10 แสดงภาพตัดของ VR motor แบบ 3 เฟส โดย stator มี 6 ฟัน ฟันที่อยู่ตรงข้ามกันจะมีความต่างมุม 180 องศา แต่ละฟัน จะถูกพันด้วยขดลวดและขดตรงข้ามจะถูกต่อกันแบบอนุกรมหรือขนาน (ในรูปต่อแบบอนุกรม) ส่วน Rotor มี 4 ฟัน ทั้ง Stator และ Rotor ทำมาจากเหล็กผสมซิลิกอน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความซึม ซับสูง (high permeability) สามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้มาก ในการจัดขั้วของแบบตรงข้าม กันจะใช้เป็นฟัน I, II, และ III เป็นขั้วเหนือ และ I', II' และ III' เป็นขั้วใต้



รูปที่ 4.10 ภาพหน้าตัดและการพันขดลวดของ VR motor แบบ 3 เฟส

การทำงานจะเริ่มกระตุ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่งดังรูปที่ 4.11 เป็นการกระตุ้นเฟส 1 ก่อน (s_1 "ON") ถ้าโรเตอร์จะพยายามวางตำแหน่งตัวเลขให้อยู่ในทิศทางที่ทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด ในขั้น 1-1

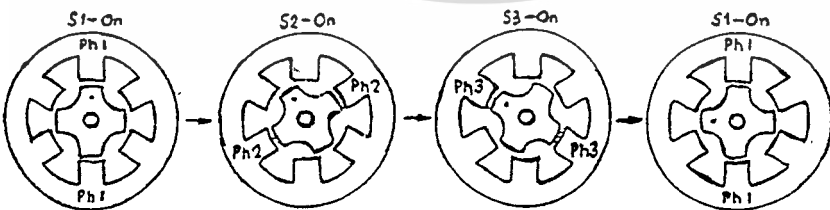


รูปที่ 4.11 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กขณะการกระตุ้นเฟส 1

ในขณะที่เริ่มต้นที่จะกระตุ้นที่เฟส II (S1" OFF., S2 ON) ดังรูปที่ 4.12 เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่อยู่ในแนวทางที่เดินสะดวกจึงทำให้ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กมีค่าสูง ตัวโรเตอร์ก็พยายามปรับตัวเอง เพื่อให้ค่าความต้านทานน้อยที่สุดด้วยการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งแรงบิดที่ใช้หมุนเกิดจากแรงของเส้นแรงแม่เหล็ก แล้วจะไปหยุดที่ตำแหน่งความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด นั่นคือทำให้ได้ 1 Step ซึ่งจากรูปแต่ละ Step ห่างกัน 30 องศาในการหมุนจนครบสมบูรณ์ทั้ง 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อกระตุ้นเฟส 1 ไปเฟส 2



รูปที่ 4.13 แสดงการกระตุ้นเฟสจนครบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ VR MOTOR

Air-gap คือ แบบที่ช่องว่างระหว่าง stator กับ rotor เป็นอากาศใช้กับงานที่มี Step ในการทำงานไม่มากและต้องการแรงหมุนมาก

Smaller step angles เป็นแบบที่มี step ในการทำงานที่ละเอียดจะพบว่ามียุติของ stator มากเพื่อให้ Step แต่ละ Step มีมุมเล็กลงซึ่งจะมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$S = 360/Q, \quad \dots \quad (4.4)$$

$$S = mNr \quad \dots \quad (4.5)$$

เมื่อ

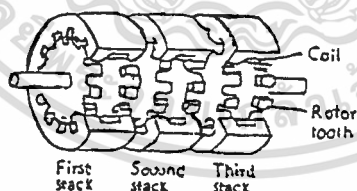
S = จำนวนของ step

M = จำนวนของเฟส

N_r = จำนวนของ rotor

Q_s = มุมระหว่าง step

แบบ Multi-stack ทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาเป็นแบบ single stack แต่ที่จะกล่าวถึงนี้เป็นแบบ Multi-stack ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.14



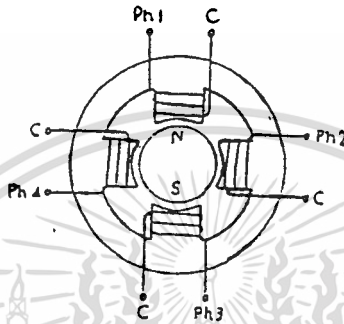
รูปที่ 4.14 โครงสร้างของ VR Motor แบบ Multi stack

ลักษณะการนำไปใช้งานเช่น ใน stack 1 เรากระตุ้นเฟสให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งมุมทั้ง stack 2 เราใช้การกระตุ้นแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนเปลี่ยนไปงานที่นำไปใช้เช่น Numerical Controlled Machines เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 PM STEPPING MOTOR

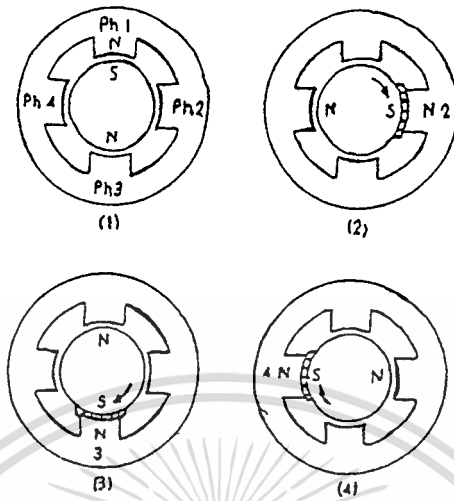
เป็น stepping motors ที่ใช้แม่เหล็กถาวรเป็น rotor (Permenent Magnet Motor) ดังรูปที่ 4.15 การพันขดลวดที่ stator จะเป็นลักษณะที่แต่ละฟันจะมีขดลวดพันอยู่ ซึ่งถือว่าฟันหนึ่งคือ 1 เฟส



รูปที่ 4.15 ภาพตัดแสดง PM Motor แบบ 4 เฟส

การกระตุ้นเฟสของ PM Motor ทำได้ง่ายๆ คือ ต่อจุด C (Common) ที่บวกของ supply เมื่อมีการกระตุ้นที่เฟสใด เฟสนั้นก็จะกลายเป็นขั้วเหนือ

ในรูปที่ 4.16 แสดงการกระตุ้นเฟส 1-2-3-4 ตามลำดับ และการหมุนของโรเตอร์ในแต่ละ step มีมุมเท่ากับ 90 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



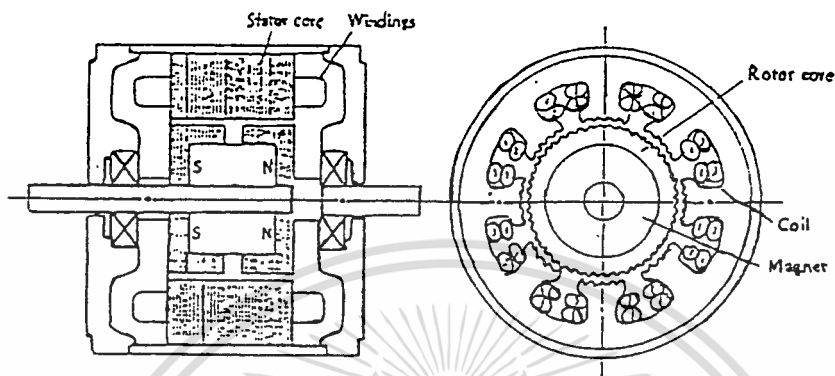
รูปที่ 4.16 step ในการหมุนของ PM Motor แบบ 4 เฟส

ถ้าต้องการให้ step ในการหมุนมากขึ้นทำได้โดยการเพิ่มจำนวนฟันของ stator และขั้วบน Rotor ข้อเสียของ PM Motor คือข้อหนึ่ง PM Motor มีราคาค่อนข้างแพง ข้อสอง ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กถูกจำกัดด้วยระดับของเส้นแรงแม่เหล็กภายใน (Magnetic remanence) ของแม่เหล็ก

4.6.3 HYBRID STEPPING MOTORS

เป็น stepping motor ที่มีแกน rotor เป็นแม่เหล็กถาวรแต่มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ VR Motor ในรูปที่ 4.17 เป็นภาพหน้าตัดโครงสร้างของ hybrid motor

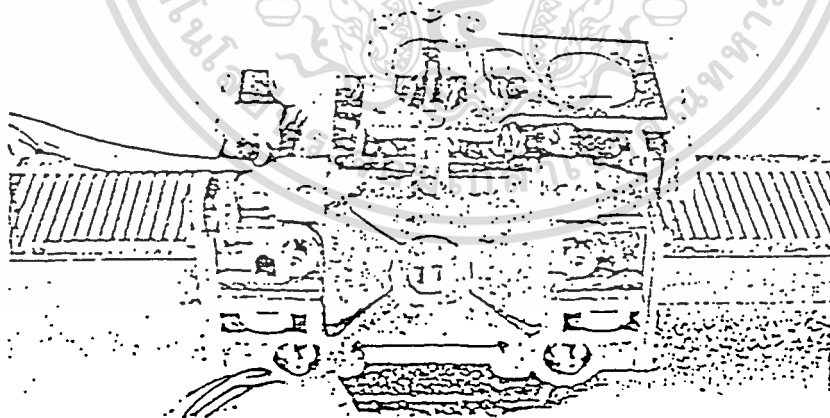
ข้อแตกต่างจาก VR Motor คือใน VR Motor จะมีขดลวดบนขั้วของ stator เพียง 1 ขดแต่ใน hybrid จะมีขดลวด 2 ขดในขั้ว stator เดียว



รูปที่ 4.17 โครงสร้างของ hybrid motor

4.6.4. LINEAR STEPPING MOTOR

เป็นลักษณะของ stepping motor ที่ทำงานอย่างหนึ่งคั้งที่ ส่วนใหญ่จะใช้กับลักษณะงาน control เช่น VR Motor ใช้ใน printer เป็นต้น

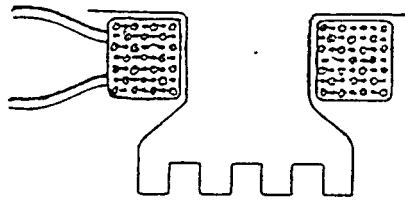


รูปที่ 4.18 VR Motor แบบ 3 เฟส ใช้ใน Printer

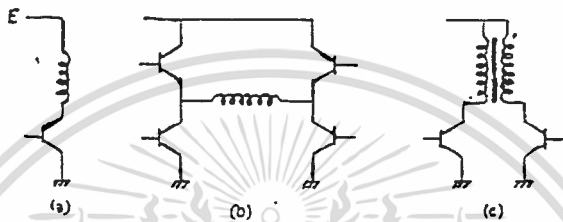
4.6.5 MONOFILAR AND BIFILAR WINDING

รูปที่ 4.19 แสดงการพันลวดแบบ bifilar และ monofilar ลักษณะของ Motor แบบนี้จะต่างที่การพันลวดเช่นแบบ bifilar เป็นการพันลวด 2 เส้นในแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



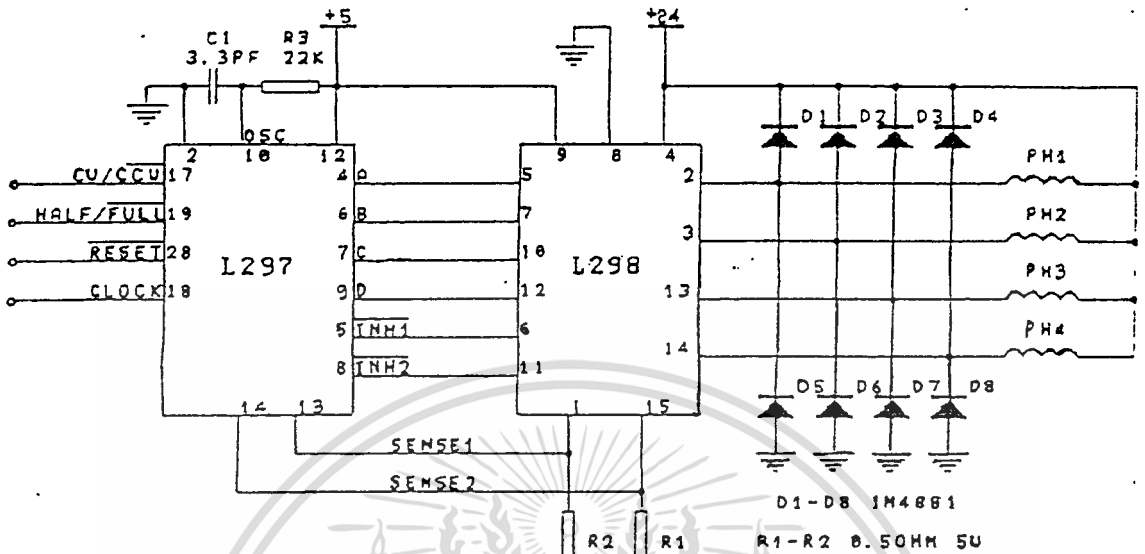
Bifilar winding.



รูปที่ 4.19 แสดงการพันลวดแบบ bifilar และ monofilar

4.7 หลักการทำงานของวงจรถับสเตปिंगมอเตอร์

จากรูปเป็นวงจรถับสเตปिंगโดยใช้ IC L297 และ L298 โดย IC เบอร์ L297 จะเป็นตัวรับสัญญาณ Clock จะเป็นสัญญาณที่ควบคุมระดับความเร็วของมอเตอร์ และสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปตามทิศทางต่างๆ ได้ด้วยขา 17 (CW/CCW) และปรับระดับความเร็วของมอเตอร์ได้ด้วยขา 19 (HALF/FULL) โดยในการควบคุมขาอินพุตทั้งสองนี้ จะใช้ระดับสัญญาณลอจิก “0” และ “1” เป็นตัวควบคุมกล่าวคือ เมื่อระดับแรงดันที่ขา 17 เป็น “1” มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกาและเมื่อเป็น “0” มอเตอร์จะหมุนเร็ว และเมื่อเป็น “1” มอเตอร์จะหมุนช้าลงครึ่งหนึ่ง เพราะเป็นการ Drive แบบเฟสคู่ แต่จะทำให้มอเตอร์มีแรงขับมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้มอเตอร์หยุดหมุนได้โดยป้อนลอจิก “0” เข้าที่ขา 20 ของ IC เบอร์ L297 (ขา RESET)



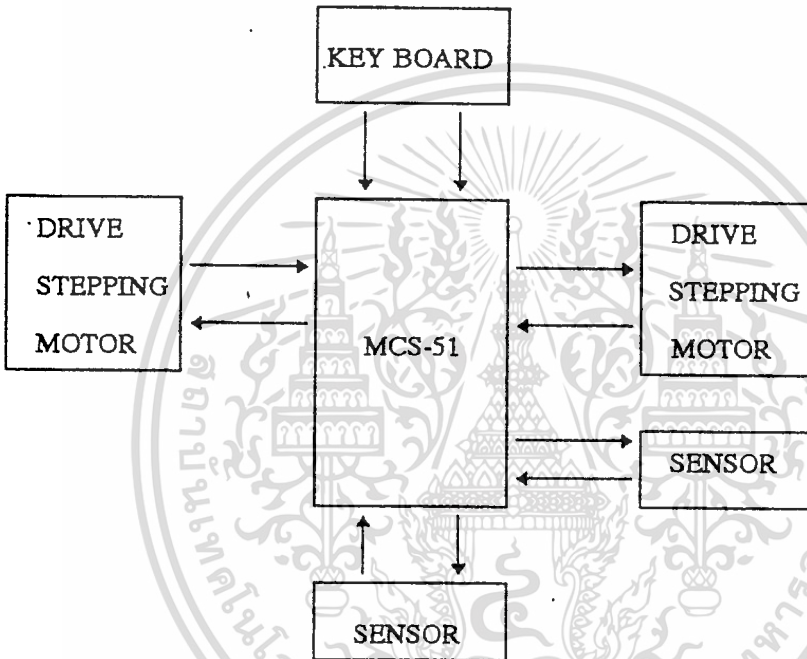
รูปที่ 4.20 แสดงวงจรขับสเต็ปมิ่งมอเตอร์

ส่วน IC เบอร์ L298 เป็น IC ที่ทำหน้าที่ขับกระแสสัญญาณที่ได้จาก A, B, C, และ D ของ IC เบอร์ L297 เพื่อให้กระแสเพียงพอที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ ส่วน Diode D1 ถึง D8 ทำหน้าที่ป้องกันการขุดตัวของสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับ ซึ่งอาจทำให้ IC เสียหายได้

บทที่ 5

บล็อกไดอะแกรมและการทำงาน

5.1 อธิบายบล็อกไดอะแกรม

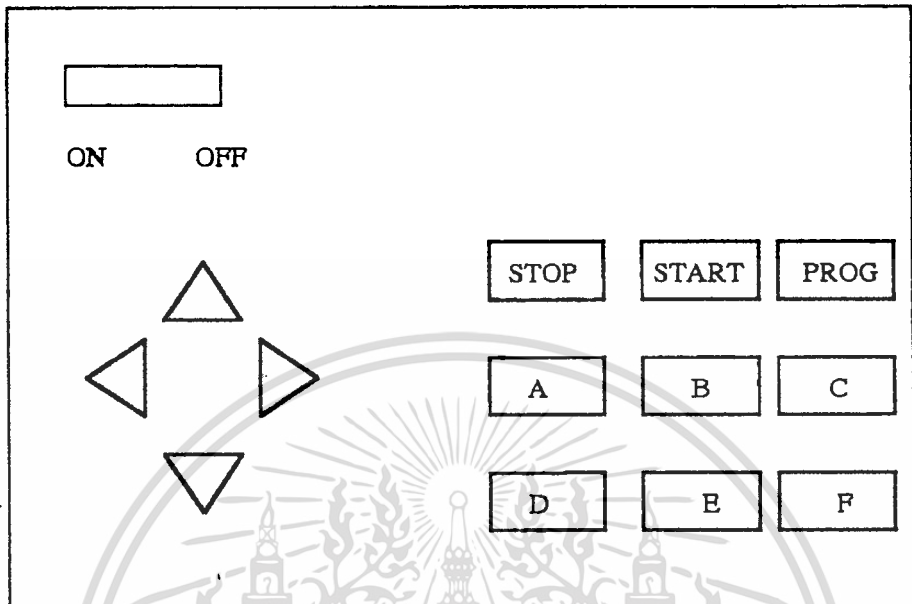


รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

การทำงานของบล็อกไดอะแกรม

จากบล็อกจะเห็นว่า ROBOT ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

- KEY BOARD เป็นส่วนที่กำหนดเป้าหมายแล้วส่งข้อมูลให้กับ MCS-51
- MCS-51 เป็นส่วนประมวลผล และรับส่งข้อมูลกับส่วนต่างๆ
- DRIVE STEPPING MOTOR รับข้อมูลจาก MCS-51
- SENSOR เป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง แล้วส่งข้อมูลให้กับ MCS-51



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของ KEY BOARD

KEY BOARD ประกอบด้วย ปุ่มต่างๆ ได้แก่ ส่วนกำหนดเส้นทางเดิน (เดินหน้า, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา, หยุด, และกลับหลัง) เป้าหมาย (A-F), START, PROG

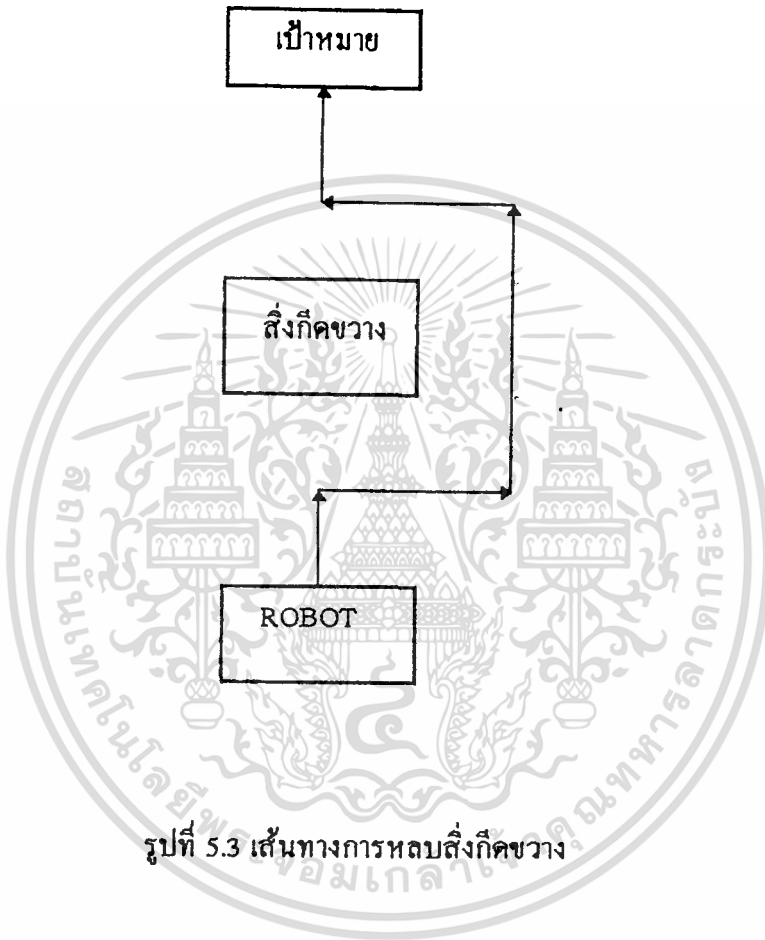
SENSOR ใช้คลื่นความถี่ย่านอัลตราโซนิกในการตรวจสอบสิ่งกีดขวาง โดยใช้ทรานซิวเตอร์เซอร์ความถี่ 40 kHz ส่งคลื่นออกไปเมื่อพบสิ่งกีดขวางจะมีการสะท้อนกลับมาและ MCS-51 จะนำผลที่ได้ไปควบคุมชุดขับเคลื่อนต่อไป

DRIVE STEPPING MOTOR จะต่ออยู่กับ USER PORT 8255 ของ MCS-51 จะรอรับข้อมูลที่ส่งออกมาเพื่อนำไป trig ให้ stepping motor ทำงานพร้อมทั้งส่งข้อมูลระยะทางให้กับ MCS-51 เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

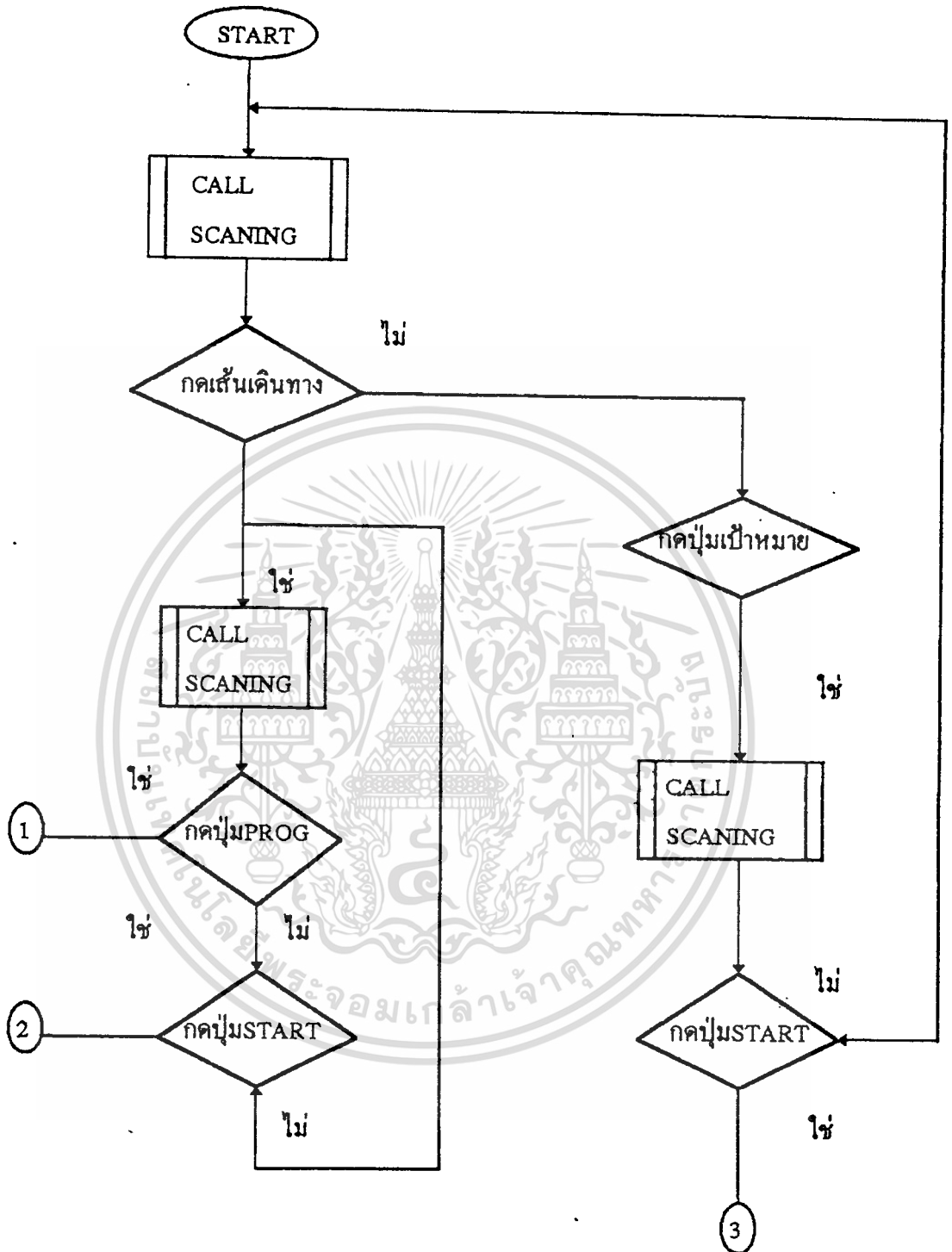
MCS-51 เมื่อจ่ายไฟให้กับ MCS-51 วงจรส่วนต่างๆ จะเริ่มทำงาน โดย MCS-51 จะเริ่มทำงานที่ Program Scan Key ซึ่งจะรอรับข้อมูลจาก Key Board ซึ่งต่ออยู่กับ Internal port 1 จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่า มีการกดปุ่ม เส้นทางเดิน<เดินหน้า, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา, กลับหลัง หรือหยุด> หรือปุ่มเป้าหมาย <A, B, C, D, E, F>

ถ้ามีการกดปุ่มเส้นทางเดิน MCS-51 จะเก็บข้อมูลไว้ แล้วตรวจสอบว่า กดปุ่ม Start หรือ Prog ถ้ากด Prog แล้วกดเป้าหมาย MCS-51 จะตรวจสอบข้อมูลพร้อมทั้งส่งไปควบคุม Stepping Motor เพื่อ ไปให้ถึงเป้าหมาย และตรวจสอบสิ่งกีดขวางไปด้วย

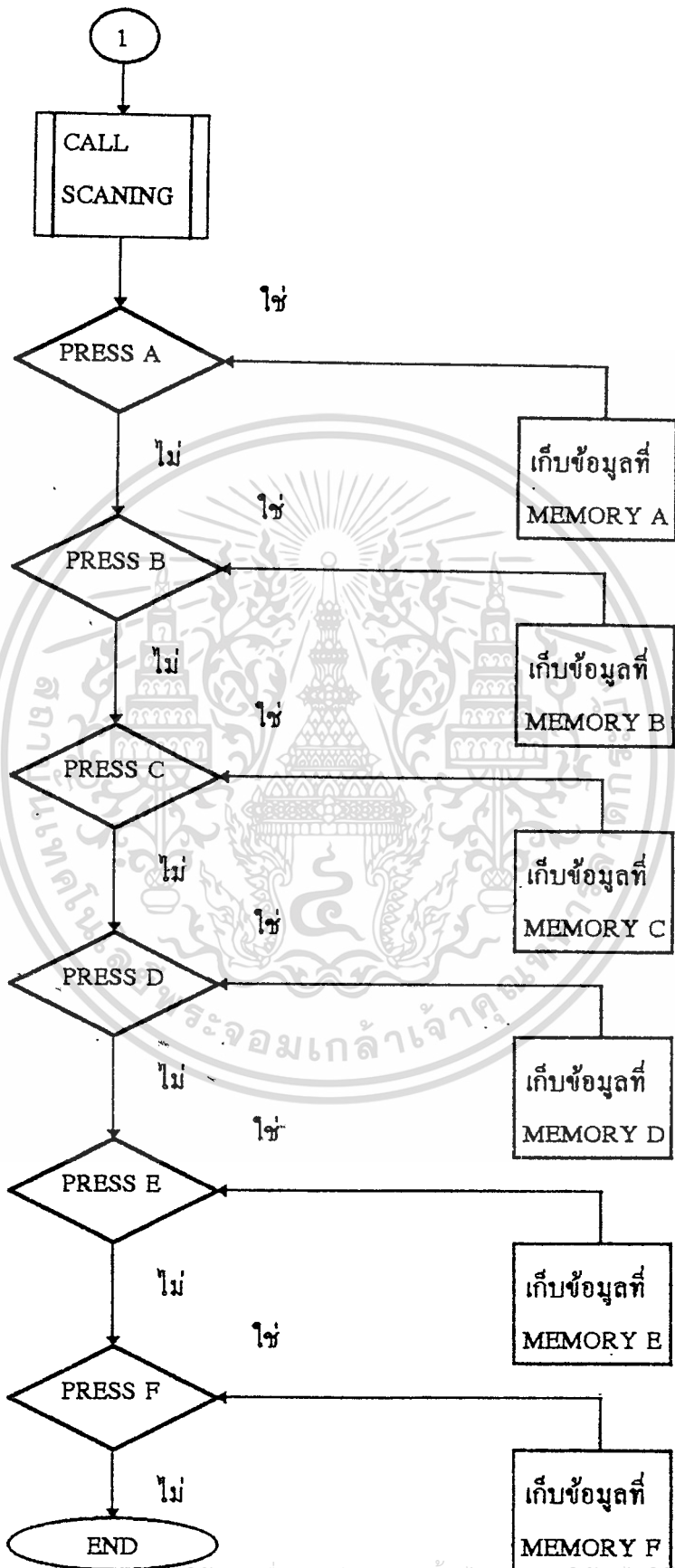
ถ้ามีการคลุมเป้าหมาย MCS-51 จะตรวจสอบว่าเป็นเป้าหมายใด จากนั้นจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของเป้าหมายนั้น และดำเนินการตามที่ Program ไว้ พร้อมทั้งตรวจสอบสิ่งกีดขวาง



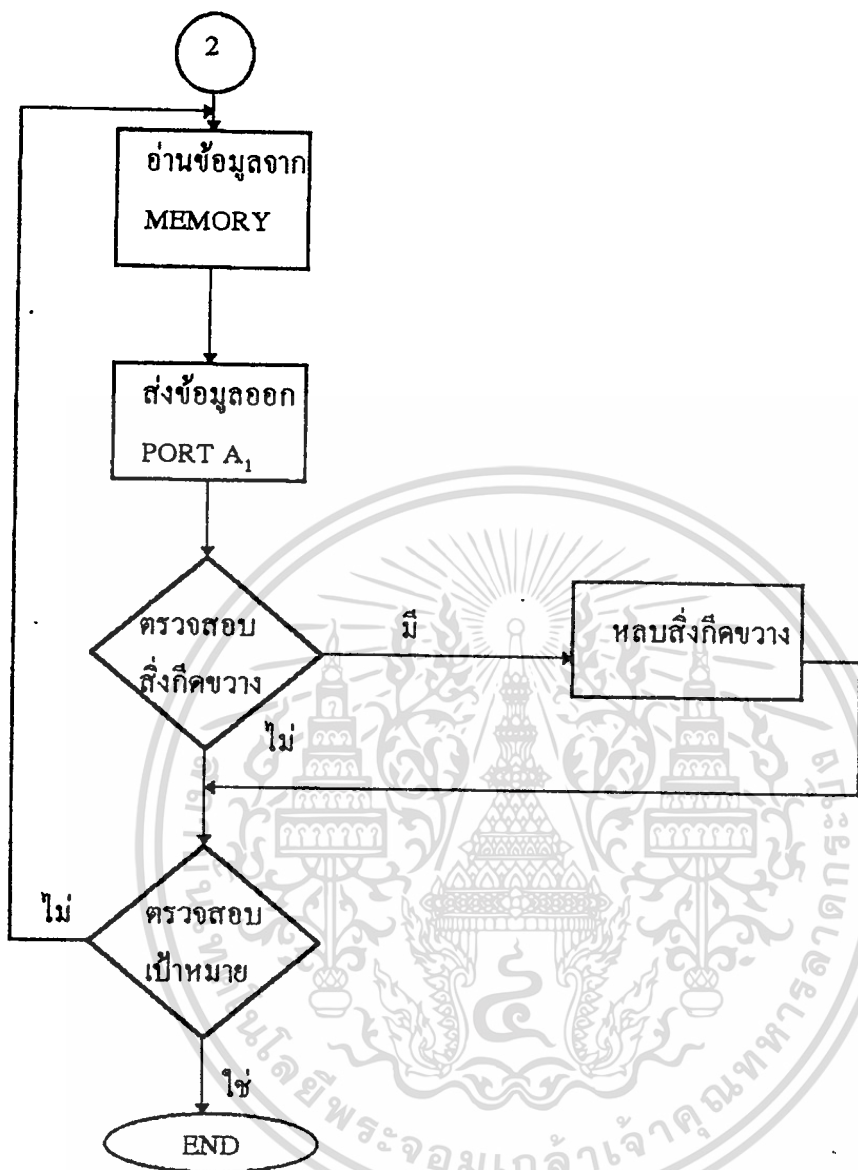
รูปที่ 5.3 เส้นทางหลบสิ่งกีดขวาง

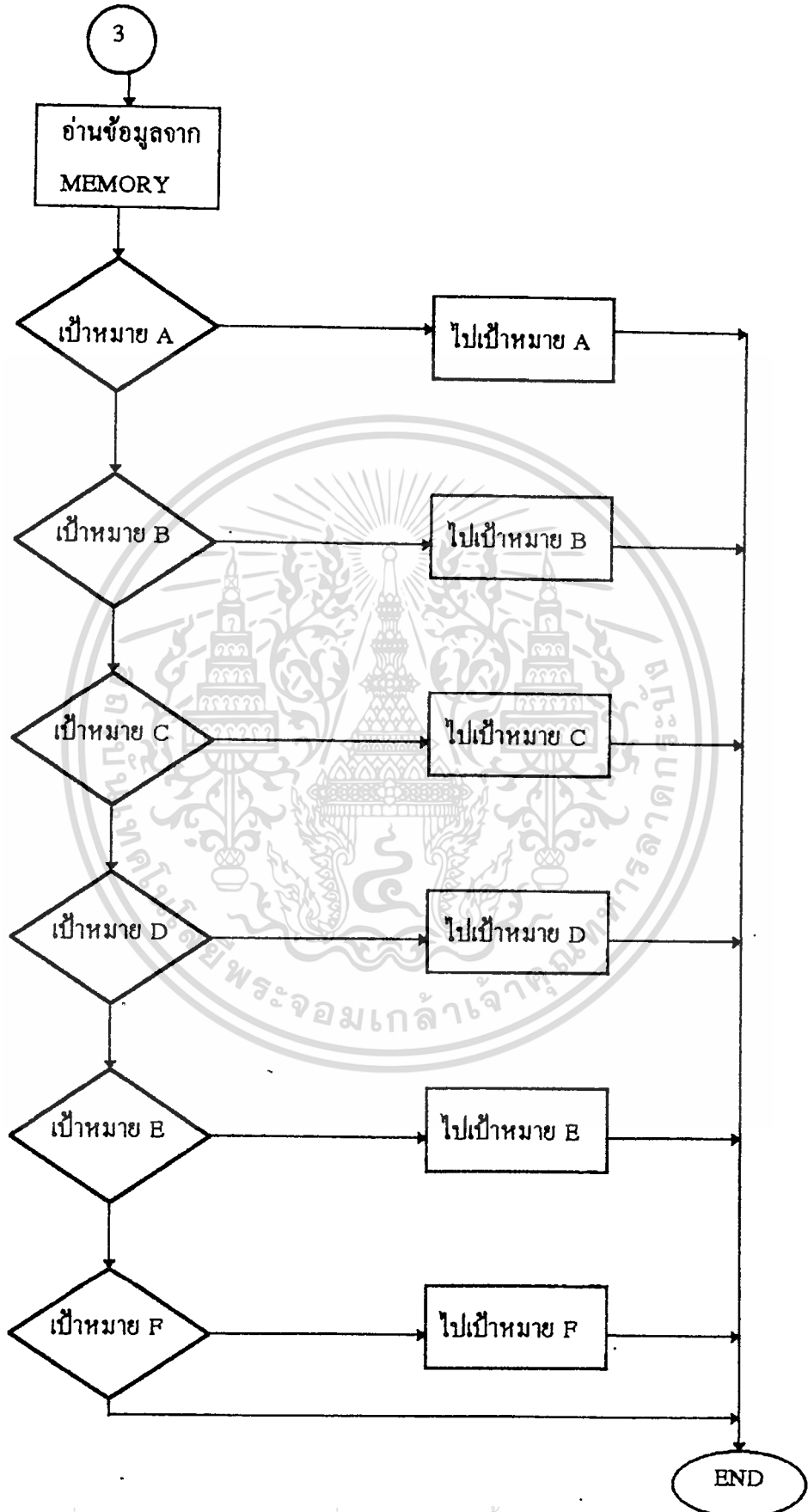


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและวิจารณ์

การทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) โดยแบ่งส่วนการทำงานหลัก ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของ KEY BOARD ทำหน้าที่เป็น ตัวกำหนดเส้นทางการเดินทางและกำหนดเป้าหมาย แล้วส่งข้อมูลที่กำหนดส่งให้ส่วนหลัก ส่วนที่สองคือ ส่วนการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) เป็นส่วนประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูล และควบคุมส่วนหลักต่างๆ ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) โดยส่วนหลักที่สองนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบว่ามีการกีดขวางข้อมูลเส้นทางเดิน พร้อมทั้งส่งไปควบคุมส่วนหลัก ส่วนหลักที่สามคือ ควบคุมการขับเคลื่อนโดยนำข้อมูลที่ได้ออกมาควบคุมการขับเคลื่อนให้ Stepping Motor ทำงาน พร้อมทั้งส่งข้อมูลระยะทางให้กับ MCS-51 เพื่อประมวลผลต่อไป ส่วนสำคัญหลัก ส่วนสุดท้ายก็คือ ส่วนตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้ อัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นตัววัดระยะทาง โดยอาศัยคุณสมบัติของการสะท้อนของคลื่นกลับมา และส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) จะนำผลที่ได้ไปควบคุมชุดของการขับเคลื่อน (Drive Stepping Motor) ต่อไป

ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข

ส่วนของระบบตรวจจับ (Sensor System) ในการทดสอบการใช้งานจริงการวัดระยะทาง ใช้หลักการสะท้อนของคลื่น จะสะท้อนได้ดีกับวัตถุที่มีผิวค่อนข้างเรียบ ถ้าเป็นวัตถุที่มีผิวหยาบ หรือวัตถุที่มีผิวค่อนข้างอ่อน จะดูดซับคลื่นทำให้สะท้อนออกมาได้ไม่ดี หรือ ใช้เวลาในการสะท้อน กลับมาช้ากว่าปกติตามความเป็นจริง ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด และส่วนของการขับเคลื่อนต้องปรับความเร็วของ Robot ให้เหมาะสมกับการประมวลผลของระยะทางทำให้ Robot เคลื่อนที่ได้ช้า และต้องรักษาความเร็วให้สม่ำเสมอ และอีกประการหนึ่งก็คือ ระบบตรวจจับระยะทาง (Sensor) มี 2 ตัว ทำให้เสียเวลาในการประมวลผลระยะทางเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง แนวทางการแก้ไขควรเพิ่ม Sensor อีกหนึ่งตัวคือ ให้มีทั้งสองข้าง เพื่อให้ประมวลผลพร้อมกัน แล้วเอาระยะที่ได้มาเปรียบเทียบให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด และเร็วที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGL4020AB



CMOS 14-STAGE BINARY COUNTER

FEATURES

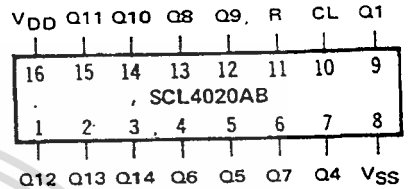
- ◆ 14 Fully Static Stages
- ◆ Buffered Outputs Available from 12 Stages
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Inputs Buffered

DESCRIPTION

The SGL4020AB consists of 14 ripple-carry binary counter stages with appropriate input buffers and reset circuitry. Buffered outputs are externally available from stages 1, and 4 through 14. The counter is reset to its "all zeroes" state by a high level on the Reset input. The counter is advanced one count on the negative-going transition of each input pulse. Isolation from external noise and the effects of loading is provided by output buffering.

Applications include time delay circuits, counter controls, and frequency-dividing circuits.

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc

Operating Temperature T_A

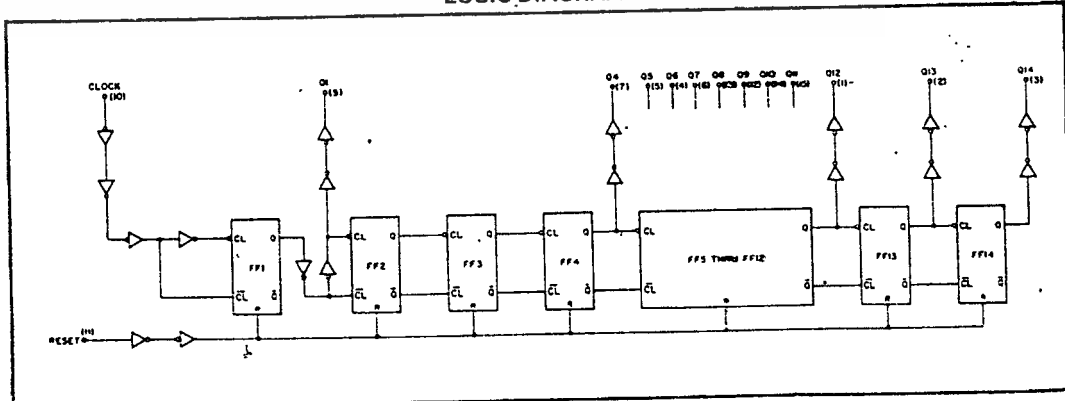
C, D, F, H Device -55 to +125 °C
E Device -40 to +85 °C

TRUTH TABLE

CLOCK	RESET	OUTPUT STATE
	0	No Change
	0	Advance to next state
X	1	All Outputs are low

X = Don't Care

LOGIC DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

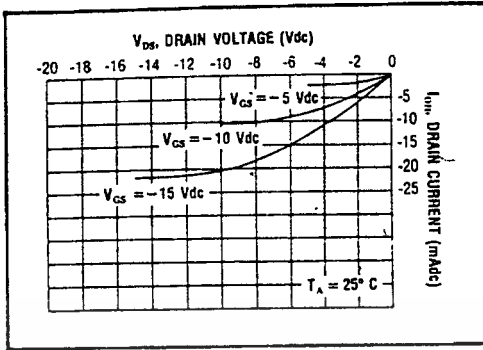
STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units			
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.				
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	5	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	5	-	0.05	5	-	150	μA _{dc}			
	10		-	10	-	0.1	10	-	300				
	15		-	15	-	0.2	20	-	600				
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	5	V _{OH} = 4.6V V _{OH} = 9.5V V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-0.15	-	-0.12	-0.5	-	-0.08	-	mA _{dc}			
	10		-0.37	-	-0.3	-1.15	-	-0.21	-				
	15		-1.25	-	-1.0	-4.5	-	-0.69	-				
	E device		5	-0.14	-	-0.12	-0.5	-	-0.10		-	mA _{dc}	
	10		-0.35	-	-0.3	-1.15	-	-0.25	-				
	15		-1.2	-	-1.0	-4.5	-	-0.85	-				
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	5	V _{OL} = 0.4V V _{OL} = 0.5V V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	0.15	-	0.12	0.5	-	0.08	-	mA _{dc}			
	10		0.37	-	0.3	1.0	-	0.21	-				
	15		1.25	-	1.0	5.8	-	0.69	-				
	E device		5	0.14	-	0.12	0.5	-	0.10		-	mA _{dc}	
	10		0.35	-	0.3	1.0	-	0.25	-				
	15		1.2	-	1.0	5.8	-	0.85	-				

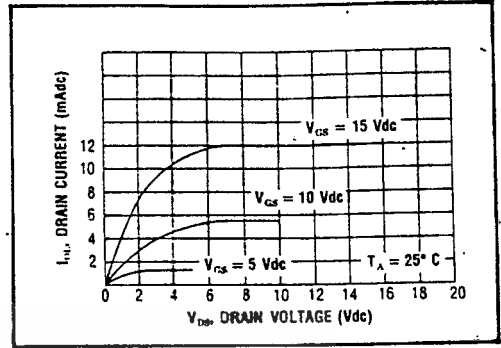
NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q1 Q _i to Q _i + 1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	-	200	400	ns
		10	-	100	200	
		15	-	80	160	
	t _{PLH2} , t _{PHL}	5	-	150	300	ns
		10	-	75	150	
		15	-	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	-	180	360	ns
		10	-	90	180	
		15	-	65	130	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	2.0	4.0	-	MHz
		10	4.0	8	-	
		15	5	10	-	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	-	-	μs
		10	15	-	-	
		15	5	-	-	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PHL}	5	-	300	600	ns
		10	-	150	300	
		15	-	120	240	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	-	150	300	ns
		10	-	75	150	
		15	-	60	120	
RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	-	250	500	ns
		10	-	125	250	
		15	-	100	200	

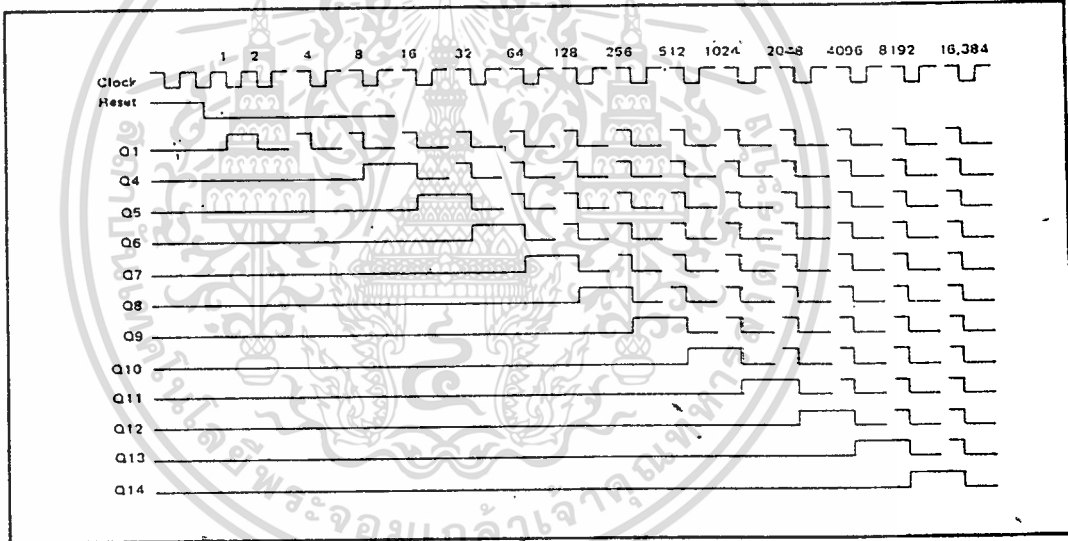


Typical P-Channel Source Current Characteristics

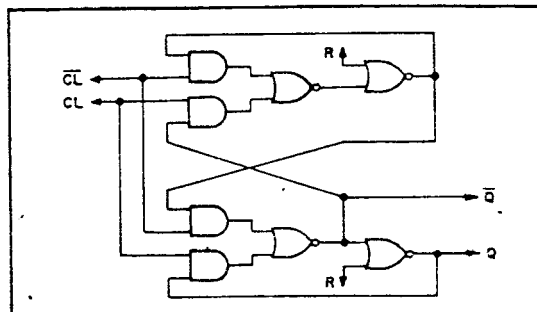


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE



SCL4027B



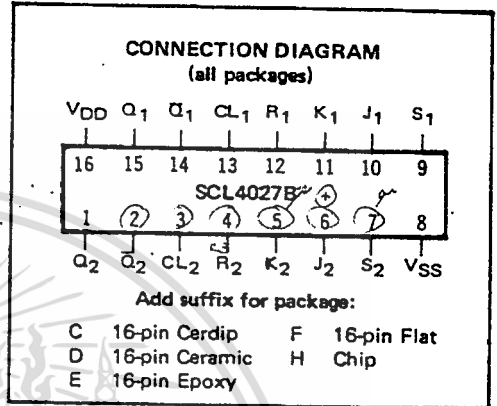
CMOS DUAL J-K FLIP-FLOP

FEATURES

- ◆ Individual Set and Reset Controls
- ◆ Fully Static Operation
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 8MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4027B consists of two identical independent CMOS J-K master-slave Flip-Flops. The SCL4027B is useful in performing control, register, and toggle functions. Logic levels present at the J and K inputs along with internal self-steering control the state of each flip-flop; changes in the flip-flop state are synchronous with the positive-going transition of the Clock pulse. Set and Reset functions are independent of the Clock and are initiated when a high level signal is present at either the Set or Reset input.



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	VDD - VSS	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	TA	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

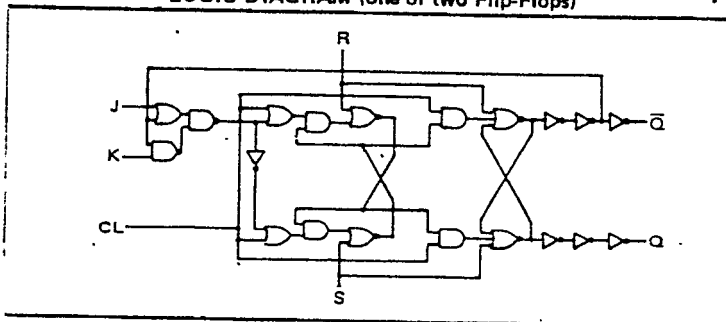
TRUTH TABLE

● t _{n-1} INPUTS					† t _n OUTPUTS		
CL▲	J	K	S	R	Q	Q̄	Q̄
1	X	0	0	0	0	1	0
1	X	0	0	0	1	1	0
1	0	X	0	0	0	0	1
1	X	1	0	0	1	0	1
0	X	X	0	0	X		(No Change)
X	X	X	1	0	X	1	0
X	X	X	0	1	X	0	1
X	X	X	1	1	X	1	1

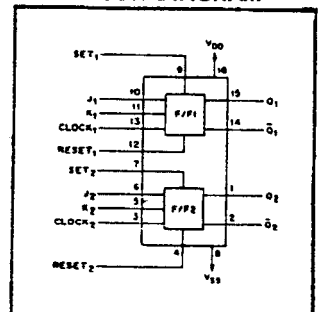
WHERE 1 - HIGH LEVEL
0 - LOW LEVEL
▲ - LEVEL CHANGE
X - DON'T CARE

● t_{n-1} REFERS TO THE INTERVAL PRIOR TO THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION
† t_n REFERS TO THE TIME INTERVAL AFTER THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION.

LOGIC DIAGRAM (one of two Flip-Flops)



BLOCK DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS ^{1,2,3}

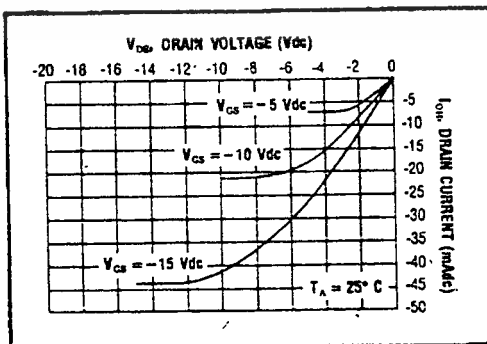
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	5	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	—	1.0	—	0.005	1.0	—	30	μA _{dc}
		10	All valid input combinations	—	2.0	—	0.01	2.0	—	60	
		15		—	4.0	—	0.02	4.0	—	120	

- NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

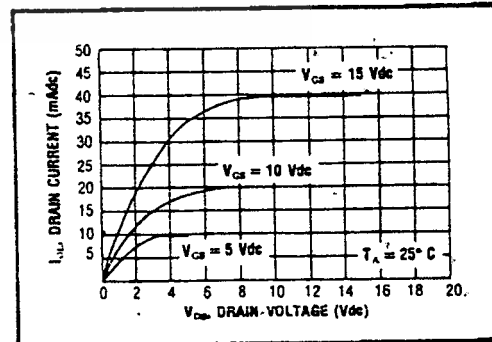
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH, tPHL}	5	—	175	350	ns
		10	—	80	160	
		15	—	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH, tTHL}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	165	330	ns
		10	—	60	120	
		15	—	50	100	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	1.5	3.0	—	MHz
		10	4.0	8.0	—	
		15	5.0	10	—	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME ¹	t _{rCL, t_{fCL}}	5	15	—	—	μs
		10	5	—	—	
		15	3	—	—	
MINIMUM SETUP TIME	t _{setup}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
MINIMUM HOLD TIME	t _{hold}	5	—	-25	0	ns
		10	—	-10	0	
		15	—	-5	0	
SET AND RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME S to Q, R to Q	t _{PLH}	5	—	150	300	ns
		10	—	70	140	
		15	—	55	110	
MINIMUM SET AND RESET PULSE WIDTH	PW _{S, PW_R}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
SET AND RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	0	25	ns
		10	—	0	10	
		15	—	0	5	

¹ When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



Typical P-Channel
Source Current Characteristics.



Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

CD40106BM/CD40106BC Hex Schmitt Trigger

general description

The CD40106B Hex Schmitt Trigger is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N and P-channel enhancement transistors. The positive and negative-going threshold voltages, V_{T+} and V_{T-} , show low variation with respect to temperature (typ 0.0005V/°C at $V_{DD} = 10V$), and hysteresis, $V_{T+} - V_{T-} \geq 0.2 V_{DD}$ is guaranteed.

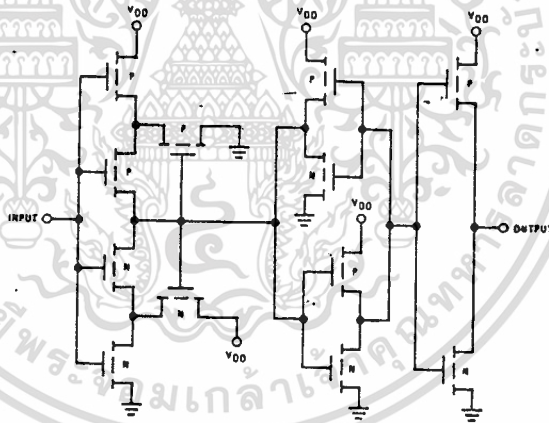
All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

features

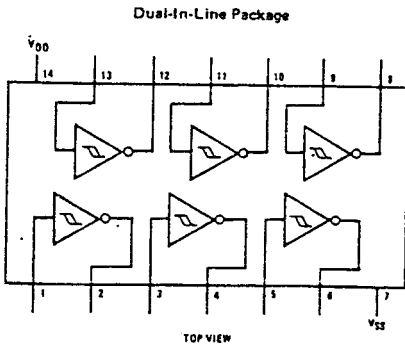
- Wide supply voltage range
- High noise immunity
- Low power
- TTL compatibility
- Hysteresis
- Equivalent to MM54C14/MM74C14
- Equivalent to MC14584B

3V to 15V
0.7 V_{DD} typ
fan out of 2
driving 74L
or 1 driving
74LS
0.4 V_{DD} typ
0.2 V_{DD} guaranteed

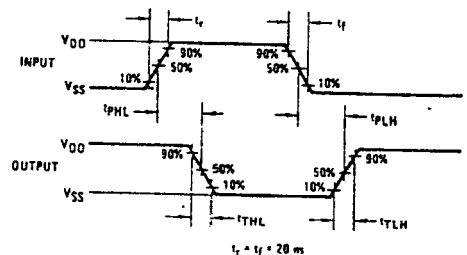
schematic diagram



connection diagram



switching time waveforms



absolute maximum ratings

(Notes 1 and 2)

V _{DD} dc Supply Voltage	-0.5 to +18 V _{DC}
V _{IN} Input Voltage	-0.5 to V _{DD} +0.5 V _{DC}
T _S Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
P _D Package Dissipation	500 mW
T _L Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

recommended operating conditions

(Note 2)

V _{DD} dc Supply Voltage	3 to 15 V _{DC}
V _{IN} Input Voltage	0 to V _{DD} V _{DC}
T _A Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD40106BM	-40°C to +85°C
CD40106BC	

dc electrical characteristics CD40106BM (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS	
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX		
I _{DD}	Quiescent Device Current V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		1.0			1.0		30	μA	
			2.0			2.0		60	μA	
			4.0			4.0		120	μA	
V _{OL}	Low Level Output Voltage I _O < 1μA V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		0.05			0.05		0.05	V	
			0.05			0.05		0.05	V	
			0.05			0.05		0.05	V	
V _{OH}	High Level Output Voltage I _O < 1μA V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		4.95	4.95	5		4.95		V	
			9.95	9.95	10		9.95		V	
			14.95	14.95	15		14.95		V	
V _{T-}	Negative-Going Threshold Voltage V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V V _{DD} = 10V, V _O = 9V V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V		0.7	2.0	0.7	1.4	2.0	0.7	2.0	V
			1.4	4.0	1.4	3.2	4.0	1.4	4.0	V
			2.1	6.0	2.1	5.0	6.0	2.1	6.0	V
V _{T+}	Positive-Going Threshold Voltage V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V V _{DD} = 10V, V _O = 1V V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V		3.0	4.3	3.0	3.6	4.3	3.0	4.3	V
			6.0	8.6	6.0	6.8	8.6	6.0	8.6	V
			9.0	12.9	9.0	10.0	12.9	9.0	12.9	V
V _H	Hysteresis (V _{T+} - V _{T-}) V _{DD} = 5V V _{DD} = 10V V _{DD} = 15V		1.0	3.6	1.0	2.2	3.6	1.0	3.6	V
			2.0	7.2	2.0	3.6	7.2	2.0	7.2	V
			3.0	10.8	3.0	5.0	10.8	3.0	10.8	V
I _{OL}	Low Level Output Current V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V		0.64		0.5	0.88		0.36		mA
			1.6		1.3	2.25		0.9		mA
			4.2		3.4	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V		-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
			-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
			-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
I _{IN}	Input Current V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V			-0.10		-10 ⁻⁵	-0.10		-1.0	μA
				0.10		10 ⁻⁵	0.10		1.0	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_{SS} = 0V unless otherwise specified.

Note 3: C_{PD} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristics application note—AN-90.

dc electrical characteristics CD40106BC (Note 2)

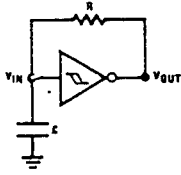
PARAMETER		CONDITIONS	-40°C		25°C			+85°C		UNITS
			MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		4.0			4.0		30	μA
		V _{DD} = 10V		8.0			8.0		60	μA
		V _{DD} = 15V		16.0			16.0		120	μA
V _{OL}	Low Level Output Voltage	I _{OL} < 1μA								
		V _{DD} = 5V		0.05			0.05		0.05	V
		V _{DD} = 10V		0.05			0.05		0.05	V
		V _{DD} = 15V		0.05			0.05		0.05	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	I _{OL} < 1μA								
		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 _{T-}	Negative-Going Threshold Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V	0.7	2.0	0.7	1.4	2.0	0.7	2.0	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 9V	1.4	4.0	1.4	3.2	4.0	1.4	4.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	2.1	6.0	2.1	5.0	6.0	2.1	6.0	V
V _{T+}	Positive-Going Threshold Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V	3.0	4.3	3.0	3.6	4.3	3.0	4.3	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V	6.0	8.6	6.0	6.8	8.6	6.0	8.6	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	9.0	12.9	9.0	10.0	12.9	9.0	12.9	V
V _H	Hysteresis (V _{T+} - V _{T-})	V _{DD} = 5V	1.0	3.6	1.0	2.2	3.6	1.0	3.6	V
		V _{DD} = 10V	2.0	7.2	2.0	3.6	7.2	2.0	7.2	V
		V _{DD} = 15V	3.0	10.8	3.0	5.0	10.8	3.0	10.8	V
I _{OL}	Low Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		-0.30		-10 ⁻⁵		-0.30		μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.30		10 ⁻⁵		0.30		μA

ac electrical characteristics T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, t_r and t_f = 20 ns, unless otherwise specified.

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t _{PHL} or t _{PLH}	Propagation Delay Time From Input To Output	V _{DD} = 5V		220	400	ns
		V _{DD} = 10V		80	200	ns
		V _{DD} = 15V		70	160	ns
t _{THL} or t _{TLH}	Transition Time	V _{DD} = 5V		100	200	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance	Any Gate (Note 3)		14		pF

typical applications

Low Power Oscillator

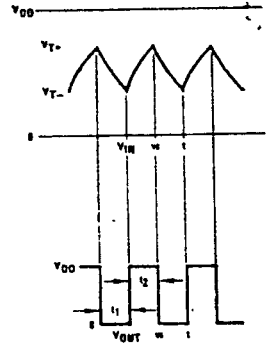


$$t_1 \approx RC \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

$$t_2 \approx RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}}$$

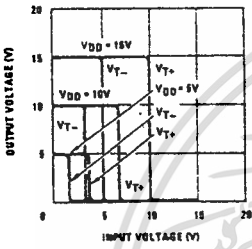
$$f \approx \frac{1}{RC \ln \frac{V_{T+} (V_{DD} - V_{T-})}{V_{T-} (V_{DD} - V_{T+})}}$$

Note: The equations assume $t_1 + t_2 \gg t_{pHL} + t_{pLH}$

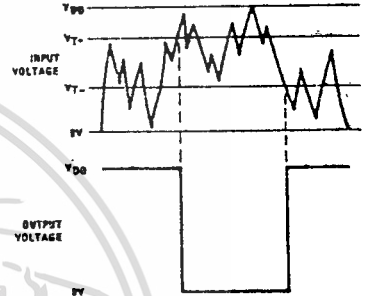
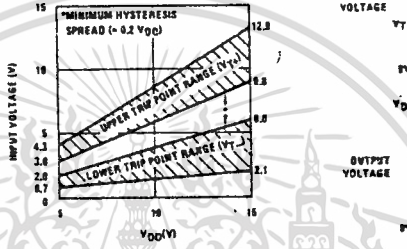


typical performance characteristics

Typical Transfer Characteristics



Guaranteed Trip Point Range



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCL4081B, SCL4082B
SCL4073B**



CMOS AND GATES

SCL4081B - Quad 2-Input AND
SCL4082B - Dual 4-Input AND
SCL4073B - Triple 3-Input AND

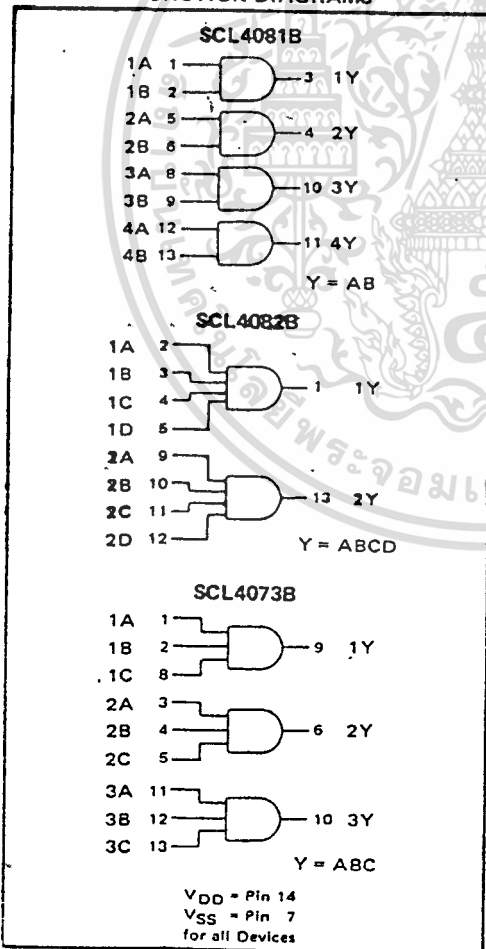
FEATURES

- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

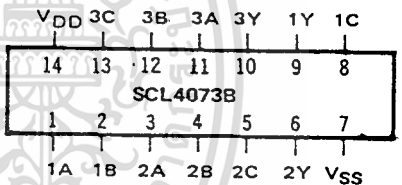
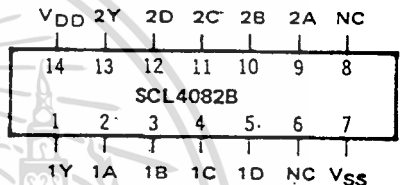
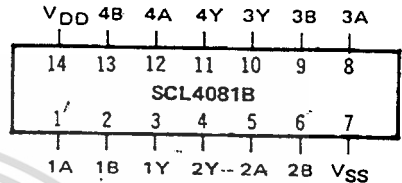
TRUTH TABLE

Inputs	Output
1 1 ... 1	1
All other combinations	0

FUNCTION DIAGRAMS



**CONNECTION DIAGRAMS
(all packages)**



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS ^{1,3}

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μA/dc
			-	0.10	-	0.001	0.10	-	3.0	
			-	0.20	-	0.002	0.20	-	6.0	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"

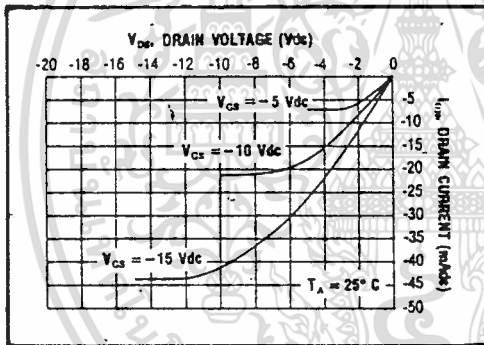
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

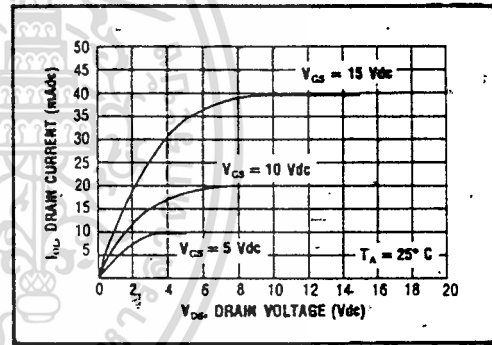
³ These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	150	300	ns
		10	65	130	
		15	50	100	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	

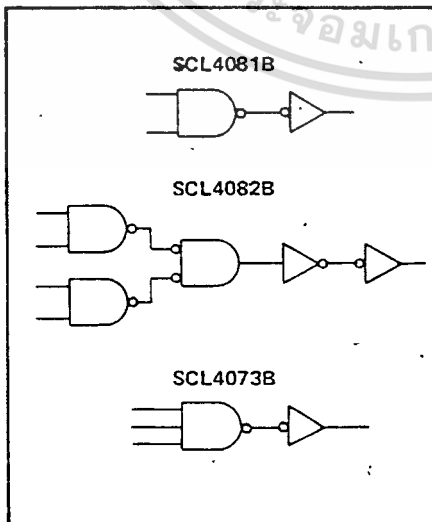


Typical P-Channel Source Current Characteristics

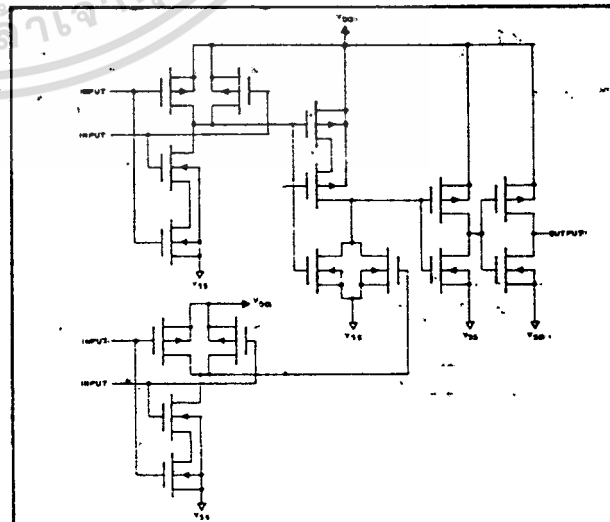


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM - SCL4082B (1 of 2 gates)



SCL4069UB



CMOS HEX INVERTER

FEATURES

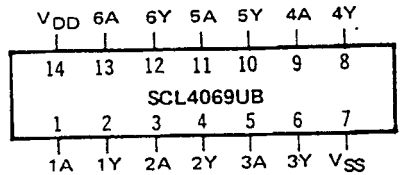
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications
- ◆ Pin Compatible with 74C04

DESCRIPTION

The SCL4069UB consists of six CMOS inverter circuits. The device is intended for general-purpose inverter applications where the higher output drive and level-shifting feature of the SCL4009UB and SCL4049UB are not required.* The SCL4069UB is particularly useful for quasi-linear circuits such as oscillators (See Applications Information).

* For pin-to-pin compatibility with the SCL4009UB and SCL4049UB, the SCL4449UB is available.

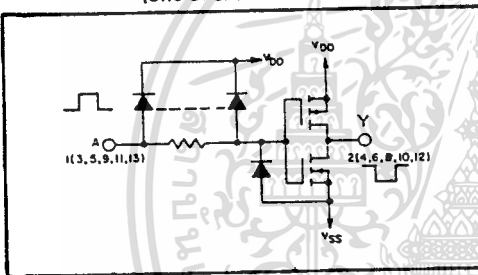
CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

SCHEMATIC DIAGRAM (one of six inverters)

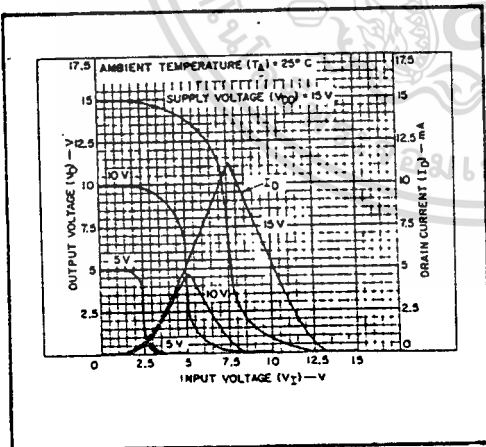
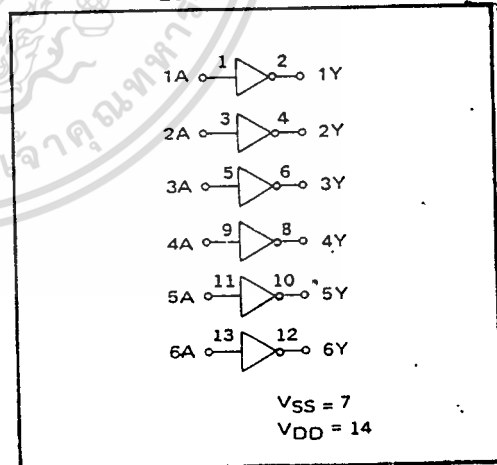


RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V _{DD} - V _{SS}	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T _A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

LOGIC DIAGRAM



Typical current and voltage transfer characteristics.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

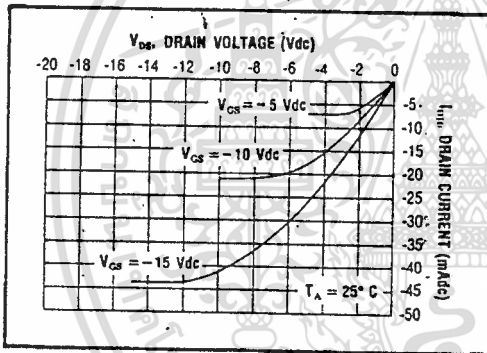
STATIC CHARACTERISTICS^{1,3}

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min:	Max:	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max:	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μA _{dc}
			-	0.10	-	0.001	0.10	-	3.0	
			-	0.20	-	0.002	0.20	-	6.0	

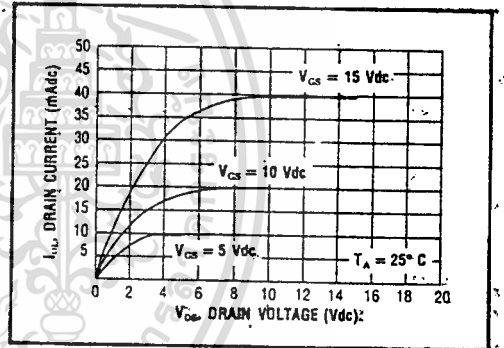
- NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device;
 = + 85°C for E device.
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	60	120	ns
		10	30	60	
		15	25	50	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	

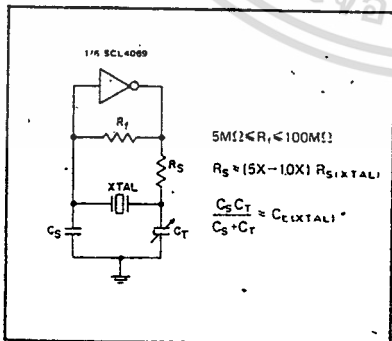


Typical P-Channel Source Current Characteristics

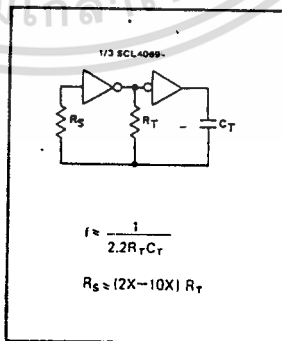


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

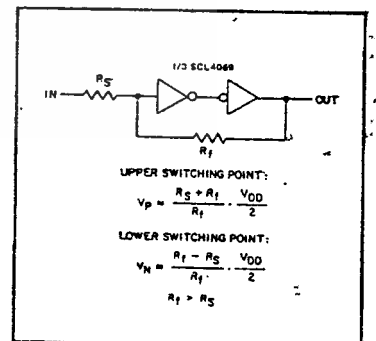
APPLICATIONS INFORMATION



Typical crystal oscillator circuit



Typical RC oscillator circuit



Input pulse shaping circuit (Schmitt Trigger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.รัตติกร วราวุฒศิริพันธุ์ เป็นอย่างสูงที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำแนะนำปรึกษาแก่คณะผู้จัดทำให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ใช้งาน จนปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณที่ป้อนที่ให้สนับสนุนทางด้านคำปรึกษา ขอบคุณที่วชที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจ ขอบคุณที่อ้อยที่ช่วยทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ขอบคุณร้านพื้นที่สนับสนุนทางด้านอาหารและเครื่องดื่มในยามวิกาล และส่วนหนึ่งของอุทิศส่วนกุศลให้กับเพื่อนคือ นายคงกฤษ ปัญญากรณ์ เพื่อนผู้ห่มเทาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อย่างจริงจัง แต่เราก็ต้องสูญเสียเพื่อนคนนี้ไป คงเหลือไว้แต่ความทรงจำที่ดีตลอดไป สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุนในการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งยังเป็นกำลังใจสำคัญในการทำงาน และศึกษาครั้งนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กลม วรรณโสภณ , “การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ชั้นที่ 2” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ , 2534
2. สมบูรณ์ มาตรคำจันทร์ , “การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ชั้นที่ 3” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ , 2535
3. A Meystel , “Autonomos Mobile Robots Vehicles With Cognitive Control World Scientific Publishing” , 1991
4. Igor Aleksander , “Computing Techniques for Robots” , 1985
5. John Clark Craig , “Visual Basic Workshop” , Microsoft Press , 1993
6. Nathan & On Gurewich , “Teach Yourself Visual Basic 30 in 21 Days” , SAMS Publishing , 1993
7. National Semiconductor Corporation , “Linear Databook”