

ยานสำรวจ

EXPLORER MODULE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 46216

วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

ยานสำรวจ  
EXPLORER MODULE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ยานสำรวจ (EXPLORER MODULE)

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ศุภลักษณ์ โภคะกุล 41014434
2. นาย กิตติ ชนากรพิสุทธ์ 41014025



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ. อธิธิชัย อรุณศรีแสงชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความรู้ในการจัดทำมาโดยตลอด รวมทั้งแนวคิดริเริ่มที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการเป็นอย่างมาก , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ต่างๆ และที่ขาดไม่ได้ก็คือคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ส่งสอนมา ให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ในด้านต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ที่สำคัญที่สุด ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้การเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมทั้งกำลังใจที่ดีที่มีให้เสมอมาที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



## ยานสำรวจ

นางสาว ศุภลักษณ์ โกะกุล

นาย กิตติ ธนากรพิสุทธิ

รศ. อธิชัย อรุณศรีแสงไชย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาตรี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างยานสำรวจขึ้นมา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยาน การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เกิดจากระบบ Manual คือใช้จอยสติ๊กบังคับ และ Automation โดยจะเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ซึ่งใช้อุปกรณ์ทรานดิวเซอร์ตัวรับ - ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกเป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง นอกจากนี้บนยานสำรวจจะมีกล้องเพื่อรับภาพและส่งมายังผู้บังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## EXPLORER MODULE

Supaluk Pokakul

Kitti Tanakonpisoot

Itthichai Arunseesangchai

Advisor

2001

### ABSTRACT

This project is a study of the electronic controlling system of an explorer module. The explorer's module uses microcontroller MCS-51 to control motors which used to drive the explorer module. The operation mode consist of two modes, which are manual and automatic mode, manual mode can be controlled by the command through JOY STRICK and automatic mode can move the explorer module and avoid the obstruction object automatically by the using ultrasonic. On explorer module its also loaded a camera to transmit the image to the controller.

## คำนำ

โครงการนี้เป็นโครงการในหัวข้อเรื่อง **EXPLORER MODULE** โดยตัวโครงการมีลักษณะเป็นรถที่มีขอบเขตความสามารถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติ โดยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยอุปกรณ์ทรานสดิวส์เซอร์จะส่งคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงออกไป เมื่อกระทบสิ่งกีดขวางก็จะสะท้อนกลับมายังภาครับและประมวลผลเป็นระยะทางออกมาเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับทราบ ว่าขณะนี้สิ่งกีดขวางขวางอยู่เพื่อให้รถนั้นสามารถเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางนั้นได้อัตโนมัติ

โครงการนี้จะมีลักษณะเป็นแบบจำลอง จึงมีลักษณะค่อนข้างเล็กซึ่งถ้าโครงการนี้สามารถใช้งานได้จริงตามขอบเขต เราก็สามารถนำไปสร้างให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยใช้หลักการเช่นเดียวกันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม หรืองานอื่นๆ ก็ได้

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานประกอบโครงการอันเป็นส่วนหนึ่งของวิชา **ELECTRONIC CIRCUIT APPLICATIONS** ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ ขั้นตอน และวิธีการสร้าง อาทิเช่น การใช้งานอัลตราโซนิก โครงสร้าง MCS-51 เป็นต้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาค้นคว้า รายงานฉบับนี้ถ้าหากมีส่วนหนึ่งส่วนใดผิดพลาด ผู้จัดทำก็ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาว สุภลักษณ์ โภคะกุล

นาย กิตติ ธนากรพิสุทธิ์

4 มีนาคม 2545

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ	
Abstract	
คำนำ	
สารบัญ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS (AGVS)	2
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	2
2.2.1 คุณสมบัติของ MCS-51	2
2.2.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51	4
2.2.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51	6
2.3 ระบบตรวจจับ (Sensor System)	16
2.3.1 การหาระยะทาง	16
2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุลตราโซนิก	17
2.3.3 คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอุลตราโซนิกเบื้องต้น	17
2.3.4 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอุลตราโซนิก	18
2.3.5 คลื่นอุลตราโซนิก	18
2.3.6 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอุลตราโซนิก	19
2.3.7 ลักษณะของคลื่น	21
2.3.8 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิก	22
2.3.9 การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิก (Attenuation)	22
2.4 อุลตราโซนิกทรานควิวเซอร์	23
2.4.1 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก	23
2.4.2 การทำงานของทรานควิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ	23
2.4.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ	24
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบ	27

เอกสารนี้เป็น 3.1 โครงสร้างของยานสำรวจ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 27 โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2	ตัวรับและตัวส่งคลื่นอุลตราโซนิค	27
3.2.1	วงจรถูกส่ง	28
3.2.2	วงจรถูกรับ	28
3.3	ลักษณะการต่อวงจรต่างๆ เข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์	29
<b>บทที่ 4</b>	<b>การทดสอบและผลการทดสอบโครงการ</b>	<b>31</b>
4.1	การทดสอบวงจรถูกส่ง	31
4.1.1	การวัดสัญญาณภาคส่งและภาครับ	31
4.1.2	ระยะตรวจจับสิ่งกีดขวาง	33
4.2	การทดสอบการขับเคลื่อนของยานสำรวจ	34
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผล</b>	<b>35</b>
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51	7
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51	8
รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน	8
รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด ใน MCS-51	12
รูปที่ 2.6 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IE)	12
รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP	13
รูปที่ 2.8 แสดงแนวคิดและหลักการหาระยะทาง	16
รูปที่ 2.9 แสดงช่วงความถี่ต่างๆ ของคลื่นอุลตราโซนิคที่ถูกนำไปใช้งานด้านต่างๆ	18
รูปที่ 2.10 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น	19
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง	19
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆจนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่	20
รูปที่ 2.13 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง	20
รูปที่ 2.14 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	21
รูปที่ 2.15 ผลของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	23
รูปที่ 2.16 แสดงการลดทอนของคลื่นที่เลี้ยวเบนออก	24
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการเป็นลำของคลื่น	25
รูปที่ 2.18 แสดงค่าความถี่ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ความดันทานต่างๆ	25
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของรถที่ใช้ในโครงการ	27
รูปที่ 3.2 วงจรภาคส่ง 40 kHz	28
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาครับ	29
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวงจรต่างๆ เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง ขณะที่ไม่ต่อทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง	31
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง ขณะที่ต่อทรานสดิวเซอร์ตัวส่งแล้ว	32
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ภาครับ	32
รูปที่ 4.4 แสดงระยะตรวจจับสิ่งกีดขวาง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างมาก มนุษย์พยายามคิดค้นและประดิษฐ์สิ่งต่างๆ ขึ้นมามากมาย เพื่ออำนวยความสะดวกต่างๆ เช่นเดียวกับโครงการนี้ซึ่งจัดทำ ยานสำรวจ (EXPLORER MODULE) ขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ให้ยานสำรวจนี้สามารถวิ่งเข้าไปสำรวจยังพื้นที่ที่ต้องการได้ ยานสำรวจนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม , ทางทหาร และอื่นๆอีกมากมาย เพราะการนำยานสำรวจนี้ไปใช้งานนั้นจะช่วยประหยัดแรงงานมนุษย์ , ลดอัตราเสี่ยงต่ออันตรายที่เกิดขึ้นจากการทำงาน นอกจากนี้ยังสะดวกและรวดเร็วอีกด้วย

ยานสำรวจนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้หลายรูปแบบ โดยที่จะควบคุมด้วยการบังคับ (Manual) หรือ ให้ยานเคลื่อนที่ด้วยตัวเองโดยอัตโนมัติ (Automatic) ก็ได้ โดยขั้นตอนการทำงานโครงการนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของโครงสร้างตัวยานสำรวจ ถือเป็น ส่วน Mechanic

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของวงจรควบคุมการทำงานของยานสำรวจ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน ในส่วนนี้ประกอบด้วย วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง (Ultrasonic Sensor Circuits), และวงจรบังคับการเคลื่อนที่ ทั้งหมดนี้เป็นส่วนทาง Hardware

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของการเขียน โปรแกรมควบคุมให้ยานสำรวจทำงานได้ตามต้องการ ถือเป็น ส่วน Software

รายละเอียดของทั้ง 3 ส่วนได้รวบรวมเอาไว้ภายในรายงานฉบับนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ หลักการและการออกแบบ การทดลอง และสรุปผลการปฏิบัติงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS (AGVS)

##### 2.1.1 ชนิดของ AGVS

ระบบ AUTOMATIC GUIDED VEHICLE หรือ AGV. เป็นระบบจัดการพัสดุ แบบใช้ยานพาหนะขับเคลื่อนด้วยตัวเองอย่างอิสระไปตามพื้นที่ที่กำหนด โดยได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ที่อยู่ภายในตัวของมันเอง

AVGS แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

##### -DRIVERLESS TRAINS

เปรียบเสมือนหัวรถจักรที่สามารถลากจูงรถฟวงได้อีกหลายคันมีหน้าที่นำรถฟวงที่ขนส่งภาระไปยังพื้นที่เรากำหนด

##### -AGVS PALLET TRUCKS

เปรียบเสมือนตู้โดยสารของรถไฟ Pallet Trucks นี้จะต่อฟวงอยู่ที่ด้านหลังของ Driverless Train และมีหน้าที่ขนของ

##### -AGVS UNIT LOAD CARRIES

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ทำหน้าที่รับภาระจากพนักงานแล้วส่งขึ้นไป Pallet Trucks โดยอัตโนมัติ เช่นรางลูกกลิ้ง และ สายพาน จะทำหน้าที่ขนถ่ายสิ่งของออกจากห้องเก็บของไปสู่ Automatic Lift ซึ่งจะคอยยกสิ่งของออกจากสายพานไปไว้บน Pallet Trucks เพื่อนำไปส่งยังจุดที่เราที่กำหนด

##### -AGVS TECHNOLOGY

เป็นเทคโนโลยีหุ่นยนต์เพื่อช่วยงานมนุษย์ ซึ่งยังสามารถพัฒนาไปได้อีกไกล

#### 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

##### 2.2.1 คุณสมบัติของ MCS-51

คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

1. ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
2. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์

เบอร์ 8031,8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มี ความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์

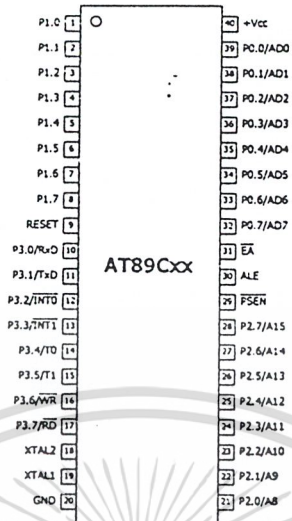
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์ (ใน 8031,8051)หรือ 256 ไบต์
4. สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 ไบต์แยกจากกัน
5. คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิร์ต
6. พอร์ตสามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
7. รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (Band Rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลไบต์ต่อวินาที
8. จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
9. มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพื่อบันทึกจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิปหรือนับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว)
10. หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับ ไบต์และระดับบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
11. มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิต ในตัวเอง
12. สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้ในการควบคุมโดยเฉพาะ
13. ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (Upwardly Compatible) ได้

สำหรับเบอร์ 8051 และ 8751 เราสามารถทำให้มีคุณสมบัติเหมือน 8031 ได้โดยการต่อขา EA ลงกราวด์ คือให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกเพียงอย่างเดียว

### 2.2.2 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0–P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาท์พุต พอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย ( มีสถานะ High Impedance ) นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ ( A0-A7 ) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล ( D0-D7 ) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ต ทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ ( High Impedance ) โดยมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0- P2.7) ขนาด 8 บิต แบบ Open Drain Bicirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ High Impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้

ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรถูกอภัยภายใน

- ขาพอร์ท 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ท 2 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ททั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ท ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ทนี้ เพื่อให้มีสถานะ High Impedance โดยใช้วงจรถูกอภัยภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่างดังนี้

ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0

ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1

ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0

ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ท 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับคาร์รีเซตวงจรถูกอภัยภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซตชิป MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์วินไซเคิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์ม เพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc

- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) จากพอร์ท 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้เวลาที่ได้ออกไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่นอกชิป นอกจากนี้ขา ALE สำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการเขียนโปรแกรมลงใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM

- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป ( Program Srobe Eable ) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละเมกซ์ซินไซเคิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป จะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิปหรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป ด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิลเลเตอร์

- ขา XTAL 2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรรอสซิลเลเตอร์

### 2.2.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51

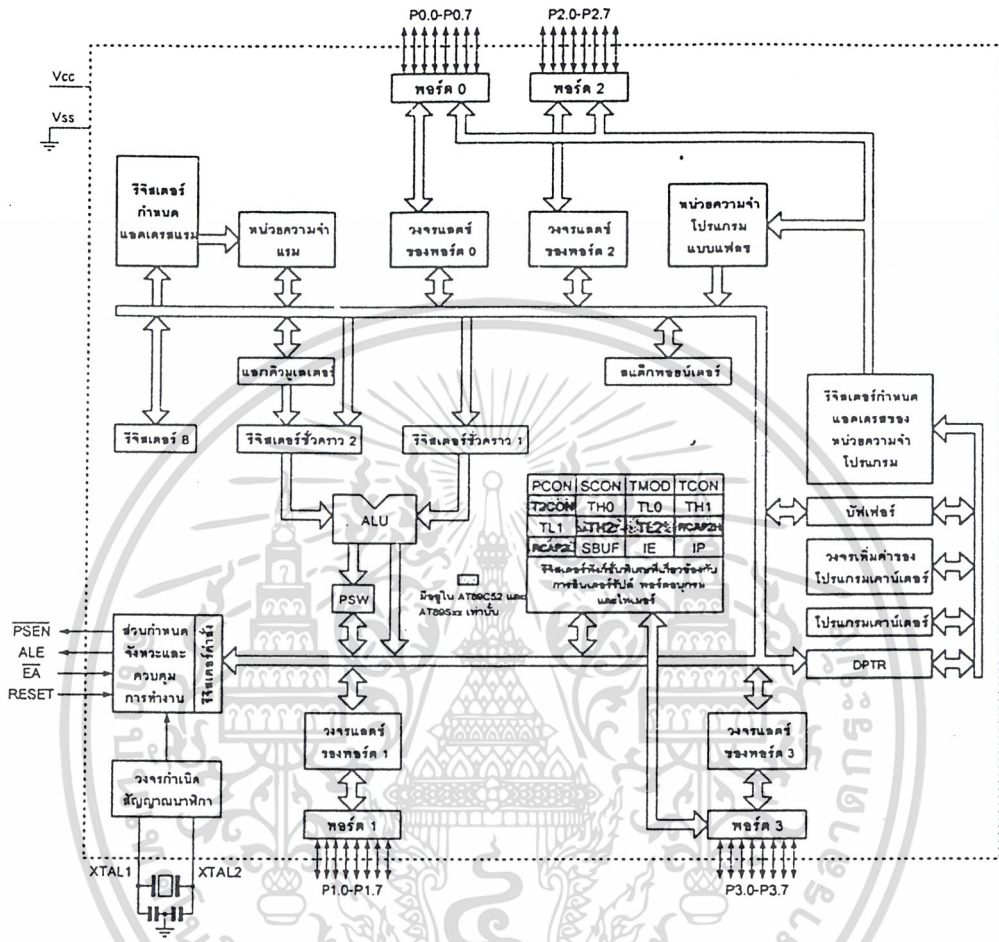
โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังรูปที่ 2.2

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ

- หน่วยความจำโปรแกรม ( Program Memory )
- หน่วยความจำข้อมูล ( Data Memory )

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง แต่จะมีมากหรือน้อยขึ้นกับเบอร์ของชิป โครงสร้างของหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (Internal Programmememory ) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (External Program Memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

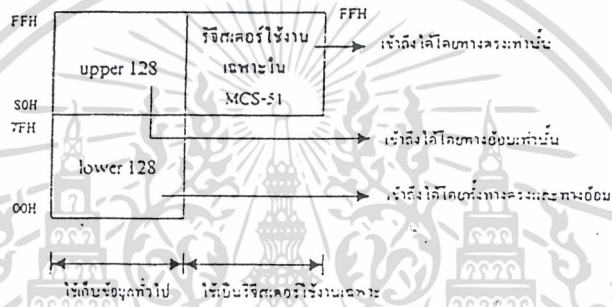
หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป ( Internal Ram )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (Special Function Register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของ ซีพียู แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณมีดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

FFH	หน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลภายในส่วนนี้ มีใน MCS-51 บางเบอร์เท่านั้น
80H	
7FH	
2FH	บริเวณหน่วยความจำที่ใช้ได้ถึงระดับบิต
20H	จำนวน 16 ไบต์ $\times 8 = 128$
18H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่มที่ 4
10H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่มที่ 3
08H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่มที่ 2
00H	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 กลุ่มที่ 1

รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้งไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบท์ ไปจนถึง 256 ไบท์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป บริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า Lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า Upper ดังแสดงในรูปที่ 2.4

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้งไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบท์หลัง (ตำแหน่ง 80 H ขึ้นไป)จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80 H ขึ้นไปเช่นกัน) โดยมีวิธีเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

**รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ** เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรรภายในไมโคร-คอนโทรลเลอร์ จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำส่วนที่ภายนอกชิป MCS-51 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่มเอง การติดต่อระหว่าง MCS-51 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 (พอร์ท 0) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบท์ต่ำ (A0-A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย (ใช้เป็นคาตาบัส) ส่วนค่าแอดเดรสไบท์สูง (A8-A15) จะใช้ขา 21-28 (พอร์ท 2) ดังนั้นเมื่อพอร์ท 0 และพอร์ท 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ทสำหรับใช้งานอื่นๆ น้อยลง

**รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป** รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปพักไว้ชั่วคราว หรือใช้งานทั่วไปตามต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปนี้มีอยู่ด้วยกัน 8 ตัว คือรีจิสเตอร์ R0-R7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว ถูกจัดให้อยู่ร่วมกันและมีให้เลือกใช้ถึง 4 แบนค์ (bank) นั่นคือรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปถึง 32 ตัวให้ใช้งาน เพียงแต่การเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ใดแบงก์หนึ่ง จะถูกกำหนดจากบิต RS0-RS1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ เอกสาร PSW ดังนั้นการเลือกใช้จึงเลือกได้เพียงแบงก์เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลที่ราคาไม่แพงทีเดียว ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บไว้ในรีจิสเตอร์เบงก์ใดก็ตามที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละเบงก์ จะไม่มีผลซึ่งกันและกันเลย ทำให้ผู้เขียน โปรแกรมใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปนี้ได้ทั้ง 32 ตัว อย่างเต็มที่และไม่ยุ่งยากในการเขียน โปรแกรม

**โครงสร้างพอร์ท** MCS-51 ทุกเบอร์จะมีขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ท (P0,P1,P2,P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ทขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ท หรือจะใช้เป็นพอร์ทขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ท ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ท ใช้งานเป็นอินพุทพอร์ทหรือ เอาท์พุทพอร์ทอย่างใดอย่างหนึ่ง ได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะป็นหน่วยความจำสำหรับ เก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ท 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ท 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง และบางส่วนของพอร์ท 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ท 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ท 0 จะถูกใช้หมดทั้ง 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็นค่าคำสั่งบัส ส่วนพอร์ท 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบ หากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใด ก็จะต้องทำให้เหลือจำนวนพอร์ทที่จะนำมาใช้งานลดลง ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด

พอร์ท 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะส่งสัญญาณสำหรับสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ (INT0 , INT1) สัญญาณอินพุทที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์ (T0,T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD ,TXD) อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ทที่ใช้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุท ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุทหรือเอาท์พุทพอร์ทได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ทถูกใช้เป็นอินพุทในช่วงเวลาหนึ่ง และเป็นเอาท์พุทในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้

**ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์** ใน MSC-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนำพิกหรือเมฆซินไซเคลของวงจรรอสซิงสเตเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นไทม์เมอร์) หรือนับ  
เอกสาร... ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

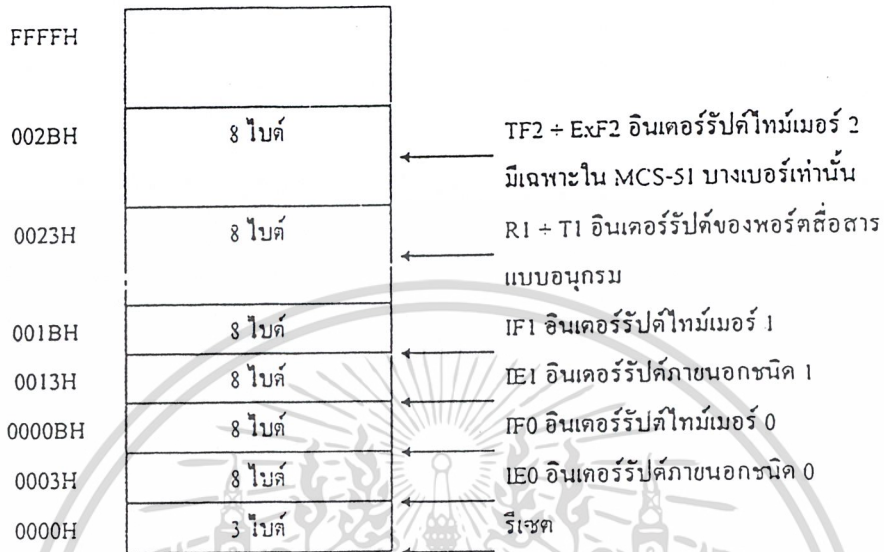
จำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของ พอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ) (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มอีก 1 ตัว) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับได้ครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เพื่อบอกให้ซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงานไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถที่จะควบคุมได้จากวงจรภายนอก (ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INTO , INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งในโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายใน ที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (band rate) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110 , 1.2K , 2.4K , 4.8K , 19.2K , 37.5K ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

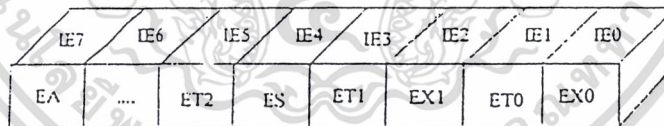
โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์ MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงานโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 ถูกอินเทอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเทอร์เน็ตแต่ละชนิดใน MCS-51

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (IE)

บิต      บิต

IE1      EA      ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตทั้งหมด  
 0: MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตใดๆ ทั้งสิ้น  
 1: การตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตแต่ละชนิดจะถูกควบคุมโดยตรงจากบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ต ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์เช่นกัน

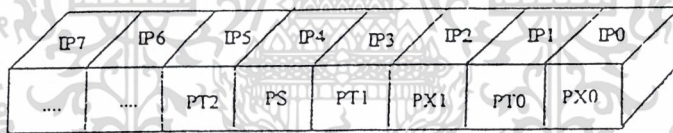
IE6      ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)

IE5      ET2      ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด

		Overflow (มีเฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)
IE4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด Overflow
IE2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IE1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0

หมายเหตุ ถ้าบิตที่ควบคุมการตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์แต่ละบิต มีค่าเป็น 0 หมายถึงอนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่ให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้น

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interrupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

บิต	ชื่อบิต	
IP7	---	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)
IP6	---	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญ ในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ไทม์เมอร์ 1
IP2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ไทม์เมอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IP1	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ไทม์เมอร์ 0
IP	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ไทม์เมอร์ 0

หมายเหตุ ค่าในบิตที่กำหนดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด หากเป็น 1 หมายถึงกำหนดให้มีลำดับความสำคัญสูง หากเป็น 0 หมายถึงกำหนดให้มีลำดับความสำคัญต่ำ

กลุ่มคำสั่งใน MCS-51 คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 มีสองประการคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลจะมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลได้หลายวิธีดังนี้

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในคำสั่ง

- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง (Register-Specific Instruction)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing)

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการข้อมูลหรือโอเปอเรนด์ (operand) จะมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลในโอเปอเรนด์ได้วิธีเดียวหรือหลายวิธี ขึ้นกับคำสั่งแต่ละคำสั่ง รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงข้อมูลของโอเปอเรนด์แต่ละวิธีมีดังนี้

**วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing)** เป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง บริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างอิงได้โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเฉพาะบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ

**วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing)** เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าเอกสารในรีจิสเตอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำกำหนดหน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้คือค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่างและ 128 ไบต์บน และทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0 ,R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (Stack Pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (Data Pointer)

การใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องระบุเครื่องหมาย "@" ไว้ข้างหน้า ดังตัวอย่าง

```
MOV A,@R0
```

```
MOV X@DPTR,A
```

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction) ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น โดยในการทำงานจริงๆ ซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW เอง

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (Register – Specific) คำสั่งบางคำสั่งของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น ACCUMULATOR,DPSR,SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง (opcode) ของคำสั่งประเภทนี้ MCS-51 จะรู้ได้เองว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใดเลย เช่น

```
MOV A,#data
```

```
MOV DPTR,#data
```

จากตัวอย่างนี้ เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ A,DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants) เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่ง ทั้งนี้จะต้องให้เครื่องหมาย "#" ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing) ข้อมูลที่ใช้วิธีการอ้างแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรมภายในหรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์ของการอ้างข้อมูลแบบนี้ มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรม ซึ่งข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้ในการอ้างวิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR, PC จะต้องมามีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

```
MOVC A, @A+PC
```

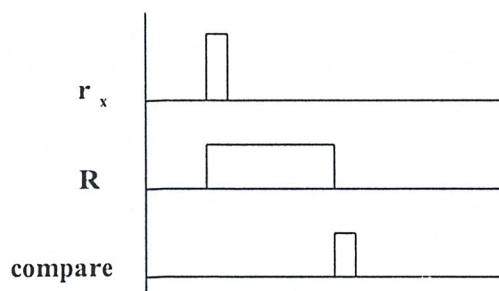
### 2.3 ระบบตรวจจับ (Sensor System)

SENSOR เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของ MOBILE ROBOT เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บอกให้ส่วนควบคุมทราบว่าจะขณะนี้ ในทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไปนั้นมีวัตถุขวางกั้นมันอยู่หรือไม่ และ ถ้ามันต้องแจ้งให้ทราบตัวอย่างวัตถุอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทางเท่าใดเพื่อให้ส่วนควบคุมนั้นนำข้อมูลไปประมวลผล เพื่อหาทางหลบหลีก และปรับความเร็วของ ROBOT ให้เหมาะสม

ดังนั้น หน้าที่ของ SENSOR คือ ตรวจสอบระยะทางให้ได้ว่า วัตถุที่กีดขวางมันอยู่มีระยะทางเท่าใดและมาจากทิศทางใด

#### 2.3.1 แนวคิดและหลักการหาระยะทาง

โดยอาศัยหลักการส่งคลื่นสัญญาณไปในอากาศ ในทิศทางที่เราต้องการทราบค่าระยะทาง จากวัตถุกับตัว ROBOT และคอยรับสัญญาณจากวัตถุนั้น แล้วก็นำสัญญาณที่ส่งไปและรับกลับมา เปรียบเทียบหาเวลาที่สูญหายไปดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงแนวคิดและหลักการหาระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าที่วัดได้นั้น จะแปรค่าตามระยะทางที่หายไป โดยระยะทางที่ได้นี้คือ

$$S = VT / 2 \tag{2.1}$$

S ระยะทางระหว่างวัตถุและตัว SENSOR (m)

T เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ไปกลับ (s)

V ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (m/s)

### 2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอูตราโซนิก

#### การเกิดอูตราโซนิก

อูตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาหรือเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอูตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศนั้น จึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อูตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่ค่าหนึ่ง
- แบบแมกนีโตรสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
- แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล

สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมกันมากเพราะราคาถูก หาซื้อง่าย ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงภายหลัง

### 2.3.3 คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอูตราโซนิกเบื้องต้น

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยที่อนุภาคของตัวกลางนั้นจะเคลื่อนที่ไปทางที่คลื่นเสียงผ่าน เราสามารถช่องของความถี่ของคลื่นเสียงออกเป็น

#### 2.3.3.1 ความถี่ 0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้  
อินฟราโซนิกเรจ (Intrasonic Range) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงต่ำกว่าที่หูคนเราจะได้ยิน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 ความถี่ 20 Hz

ออดิเบิ้ลเรจจ์ ( Audio Range ) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่หูคนเราจะได้ยิน

2.3.3.3 ความถี่มากกว่า 20 Hz

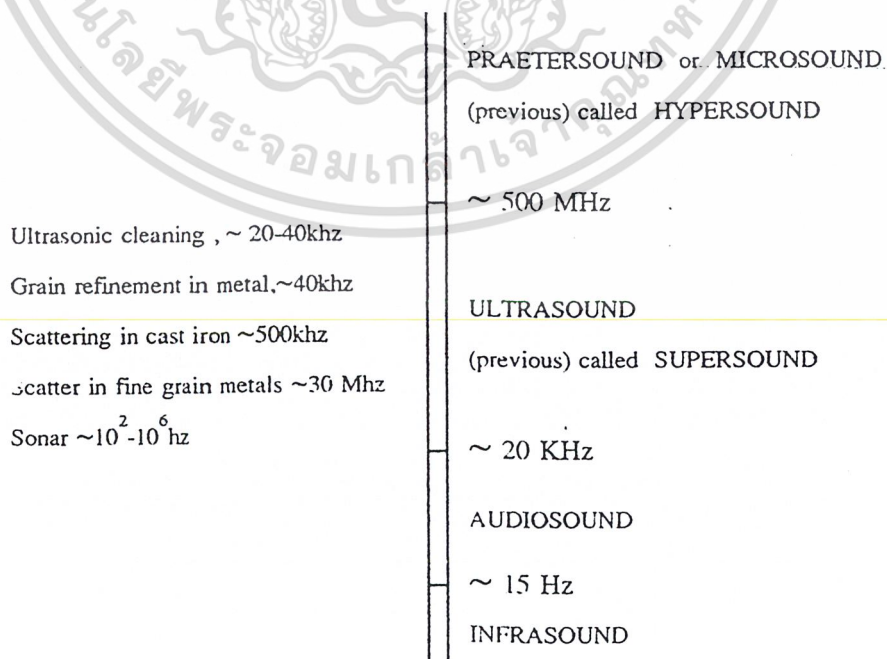
อัลตราโซนิกเรจจ์ ( Ultrasonic Range ) ย่านความถี่ของคลื่นเสียงสูงกว่าที่หูคนเราจะได้ยิน

2.3.4 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ พลังงานของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่ง ถ้าไปกระทบกับวัตถุ พลังงานบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้ตัวรับที่เหมาะสมจะสามารถการสะท้อนกลับของสัญญาณ เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางออกมาได้เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.3.5 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูจะได้ยินในย่านความถี่ประมาณ 15 kHz ถึง 20 kHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิก จึงหมายคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz จนถึง  $10^4$  GHz โดยคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า  $10^4$  GHz และมีแอมพลิจูด ( Amplitude ) สูงๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์” ( Hypersound )



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.9 แสดงช่วงความถี่ต่างๆ ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ถูกนำไปใช้งานด้านต่างๆ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอุตราโซนิก

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง จะแสดงได้ 4 แบบ คือ

#### 2.3.6.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลหลายลักษณะ คือ

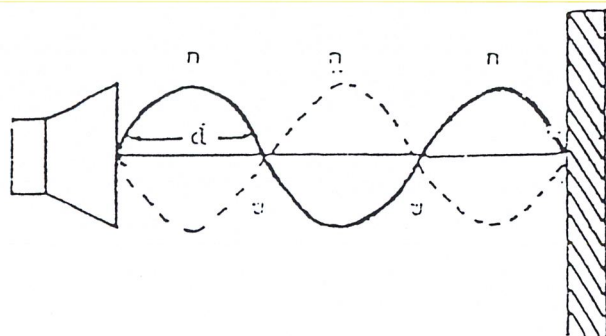
1) การบีบอัด (Beats) ของคลื่นเสียง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูปเป็นการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปซึ่งประโยชน์ของการบีบอัดของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน

2) การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป 2.11 เสียงจะมีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ  $d = \lambda/2$  หรือ  $L = n(\lambda/2)$  ;  $n = 1, 2, 3$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรูปรูปรที่ 2.11 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

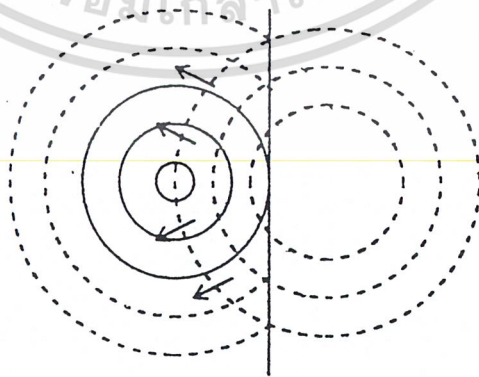
การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือของแคบ ดังแสดงในรูป 2.12 ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา เช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่คนละมุมตึก



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

### 2.3.6.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่ 2

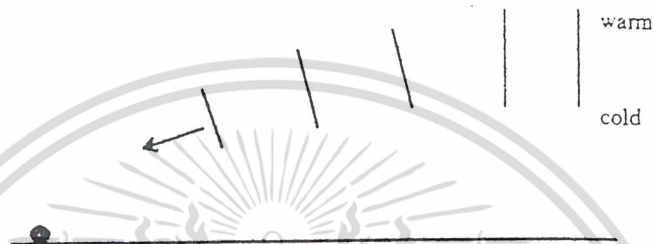


รูปที่ 2.13 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง  
คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

### 2.3.7 ลักษณะของคลื่น

#### 2.3.7.1 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

#### 2.3.7.2 ความยาวคลื่น (Wavelength)

ความยาวคลื่น (Wavelength) คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางที่ครบรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดที่ต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefactions) การอัด คือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบาง เป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของอากาศปกติ ความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$v = f \cdot \lambda$$

(2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f$  = ความถี่ (Hz)

$\lambda$  = ความยาวคลื่น (m)

### 2.3.8 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกของการโก่งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับฤทธิ์ที่แสดงความเร็วของคลื่นในก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) จะเป็นดังนี้

$$v = \sqrt{\gamma RT / M}$$

(2.5)

โดยที่  $R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

$M$  = มวลของอากาศ

$V$  = ปริมาตรของอากาศ

$$v = v_0 \sqrt{1 + t/273}$$

(2.6)

โดยที่  $v$  = ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิใดๆ (m/s)

$v_0$  = ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิ  $0^\circ \text{C}$  (m/s)

$t$  = อุณหภูมิ ( $^\circ \text{C}$ )

### 2.3.9 การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิก (Attenuation)

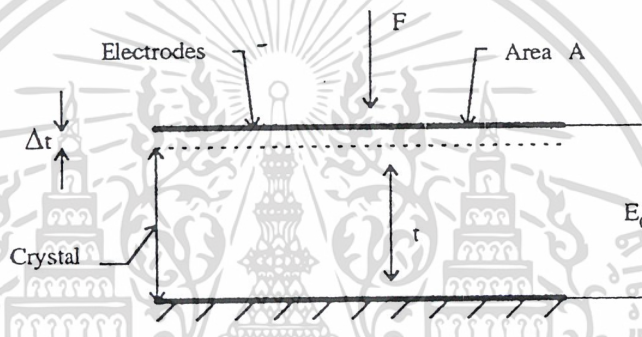
เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอุลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอุลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นโดยตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

## 2.4 อุตตราโซนิคทรานดิวเซอร์

### 2.4.1 ปรากฎการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ Soil Crystalline Dielectric ดังในรูปที่ 2.15 ก็จะเกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอล และทำให้ Crystal Lattice ผิดรูป ผลก็คือ ประจุเปลี่ยนไป การที่ Crystal Lattice ผิดรูป การแทนที่ของประจุภายในเท่ากับภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)



รูปที่ 2.15 ผลของเพียโซอิเล็กทริกทรานดิวเซอร์

### 2.4.2 การทำงานของทรานดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับแรงดันมาครบคร่อม จะทำให้ชิ้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นมา ดังนั้น ถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้องๆจากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชิ้นสารโค้งงอมากน้อยหรือทิศทางใดก็ตามขนาด และทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงมาประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาท์พุทจะสูงโดยประมาณที่ค่านี้ก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชิ้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลธรรมชาติของชิ้นสารนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานดิวเซอร์ตัวรับมีการทำงานตรงข้ามกับตัวส่ง คือ เมื่อคลื่นเสียงที่มีความต่างกับความถี่เรโซแนนท์เข้ามา จะทำให้ชิ้นสารโค้งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุตตราโซนิคทรานดิวเซอร์ แบบเพียโซอิเล็กทริกก็คือมีความต้านทานทางไฟตรงสูงมาก อาจสูงถึง  $10\text{ M}\Omega$  เรียกว่าถ้าเอาอิมิตติเตอร์ธรรมดาตามตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆเข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสลั๊บจะลดลง

### 2.4.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

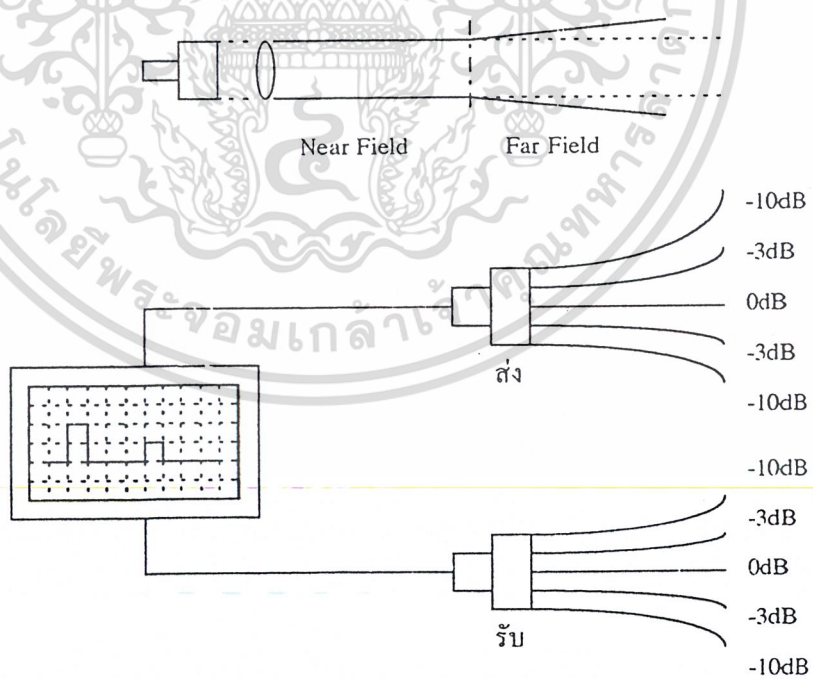
- ไม่ควรให้ตัวต้านทานทรานควิเซอร์ได้รับการกระทบหรือตกจากที่สูงเพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

- ทรานควิเซอร์ที่มีขายกันทั่วไปตามท้องตลาดจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้ตัวทรานควิเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดนี้

- ความถี่ของรีโซแนนท์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานควิเซอร์ 40 kHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่ารับแถบความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

- อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานควิเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

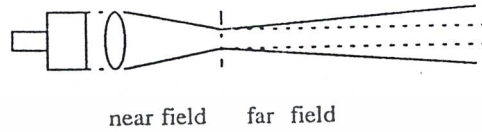
- ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนไปจากตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งมาในแนวที่ที่ตำแหน่งเบนไปจากตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลง จึงควรพยายามให้ตัวรับตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องอาจเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นอุลตราโซนิกสามารถสะท้อนกำแพง และวัตถุที่อยู่ภายในห้องทำให้คลื่นเสียงอุลตราโซนิกสามารถเข้าไปหาตัวรับได้หลายทางดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการลดทอนของคลื่นที่เลี้ยวเบนออก

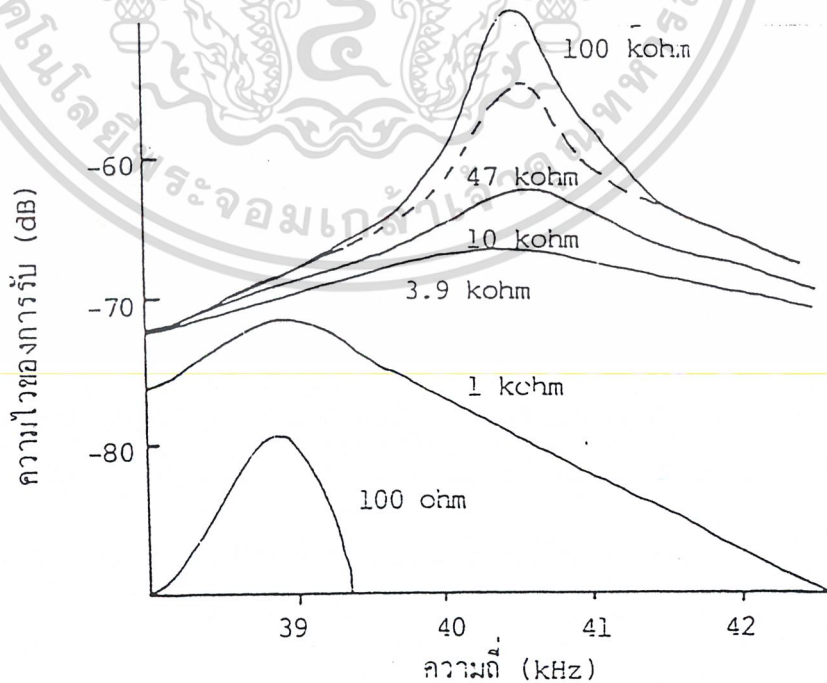
- อุลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า planococave lens วางข้างหน้าทรานควิเซอร์ แต่การทำให้ลำแคบ (Beam) นี้สามารถใช้ทรานควิเซอร์ที่สร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงที่เหมาะสมกับงานทางการแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 MHz เพื่อใช้ตรวจเนื้อเยื่อ มีลักษณะการส่งเป็นลำแคบ ดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการเป็นลำของคลื่น

- ในกรณีที่ใช้งาน ตัวรับต้องมีตัวต้านต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10k – 100k จากการทดลองพบว่า ถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100k มาเป็น 10k ความไวจะลดลงประมาณ 10 – 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่รีโซแนนท์(ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ ตัวอย่างการทดลองแสดงดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงค่าความถี่ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ความต้านทานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตามปกติแล้วเราสามารถเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ขอเพียงแต่ให้มีความถี่หรือแอมพลิจูดที่เหมือนกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางไฟฟ้าสลับ เพื่อให้ลักษณะตอบสนองความถี่สอดคล้องกับของเดิม

- ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด(ที่เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงนั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิกทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายทาง เช่น ไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะทางไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งผลกระทบต่อเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องตรวจตำแหน่งอวัยวะบางส่วนของร่างกาย ใช้ในการทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็จะจำกัดอยู่ไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปกว่านี้อากาศจะดูดคลื่นเสียงได้มากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz – 10MHz ขณะที่ความถี่ GHz ก็มีการใช้กันหลายๆการใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่

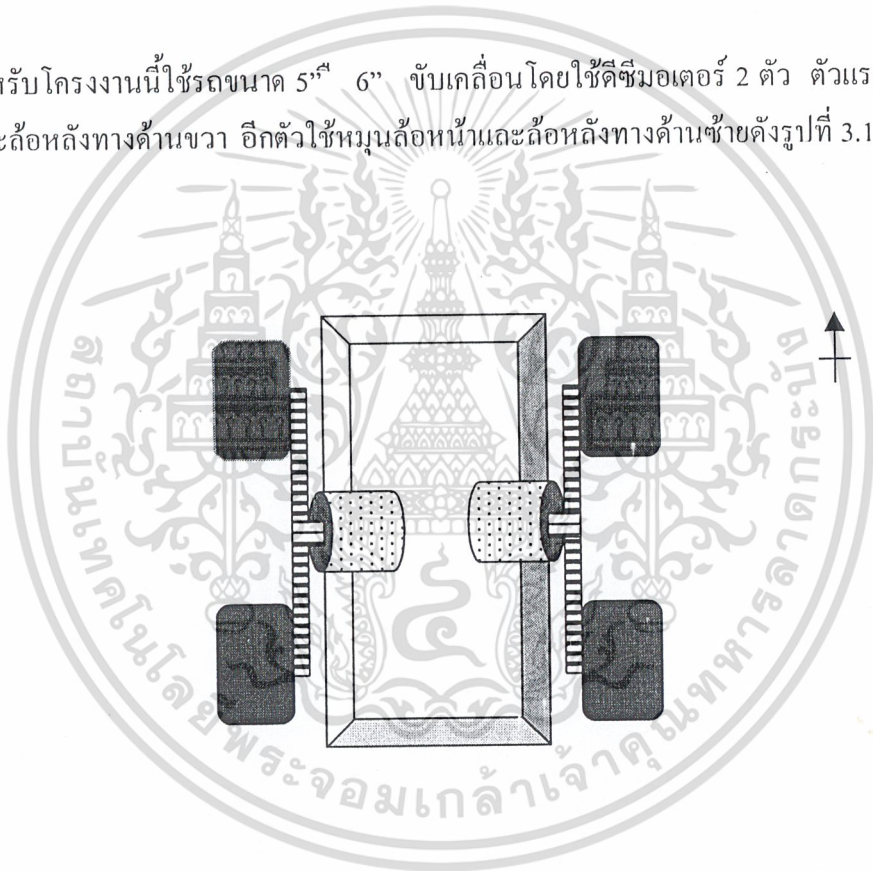
## บทที่ 3

### หลักการและการออกแบบ

#### 3.1 โครงสร้างของยานสำรวจ

โครงสร้างของยานถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะถ้าส่วนนี้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว แม้ว่าส่วนควบคุมจะดีเพียงใด ยานก็ไม่สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ได้

สำหรับโครงงานนี้ใช้รถขนาด 5" 6" ขับเคลื่อนโดยใช้ดีซีมอเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกใช้หมุนล้อหน้าและล้อหลังทางด้านขวา อีกตัวใช้หมุนล้อหน้าและล้อหลังทางด้านซ้ายดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดง โครงสร้างของรถที่ใช้ในโครงงาน

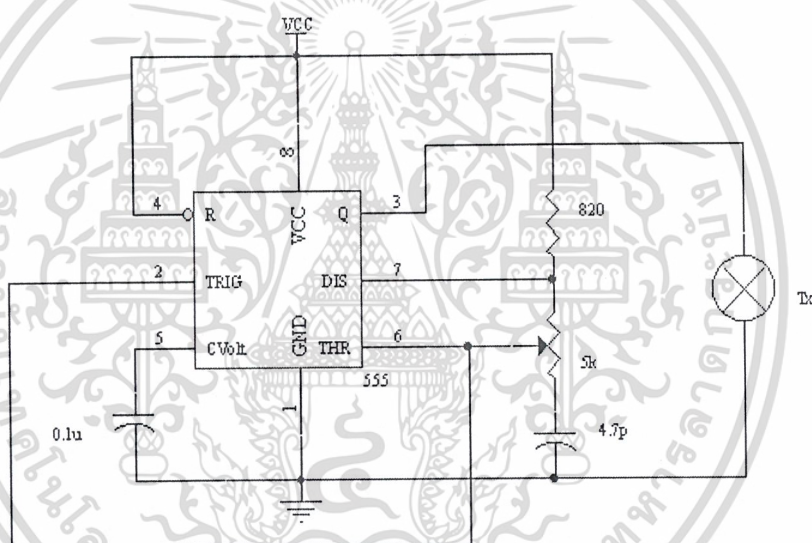
#### 3.2 ตัวรับและตัวส่งคลื่นอุลตราโซนิก

ทรานสดิวเซอร์จะมีอยู่ 2 อย่างคือ ตัวส่ง (Transmitter) และ ตัวรับ (Receiver) ซึ่งตัวรับคือ อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่มันให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิก ส่วนตัวรับ คือ อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบ

แบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิกที่มาจากกระทบบตัวมัน ให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า

### 3.3.1 วงจรภาคส่ง

วิธีการสร้างเครื่องส่งเสียงอุลตราโซนิกทำได้โดยการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถสร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวส่งที่จะใช้ แล้วต่อคร่อมขั้วเอาต์พุตทำหน้าที่เป็นโหลด วงจรภาคส่งในรูปที่ 3.2 เป็นวงจรที่ใช้ไอซีเบอร์ 555 มาต่อเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบบีทแวลิวเบเรเตอร์ ซึ่งให้สัญญาณสี่เหลี่ยมออกมาป้อนแก่ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งความถี่ 40 kHz ทำให้ตัวทรานสดิวเซอร์ส่งคลื่นเสียงออกมา โดยมี  $R_2$  เป็นตัวที่ใช้ปรับแต่งความถี่ของการออสซิลเลชันของวงจรให้เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวส่งที่ใช้

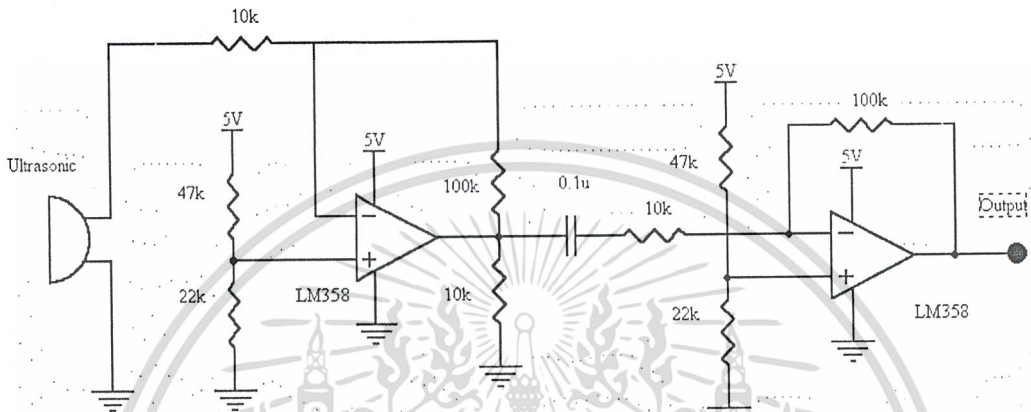


รูปที่ 3.2 วงจรภาคส่ง 40 kHz

### 3.3.2 วงจรภาครับ

วงจรภาครับคลื่นเสียงอุลตราโซนิก ประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ( $R_x$ ) เมื่อมีคลื่นอุลตราโซนิกมาตกกระทบบทรานสดิวเซอร์ตัวรับ จะเกิดแรงดันขนาดเล็กเป็นคลื่นรูปซายน้ขึ้นมาคร่อมตัวทรานสดิวเซอร์ซึ่งมีความถี่เดียวกับความถี่ที่มาจากกระทบบ และจะมีขนาดสูงสุดเมื่อความถี่ของคลื่นเสียงที่เข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวรับ ส่วนที่ความถี่อื่นๆสัญญาณจะออกมาน้อยมาก เนื่องจากกระยะทางในการเดินทางของคลื่นมีผลต่อขนาดของคลื่น ดังนั้นในวงจรภาครับจึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณ ดังรูปที่ 3.3 เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกมาจากตัวรับให้มีขนาด

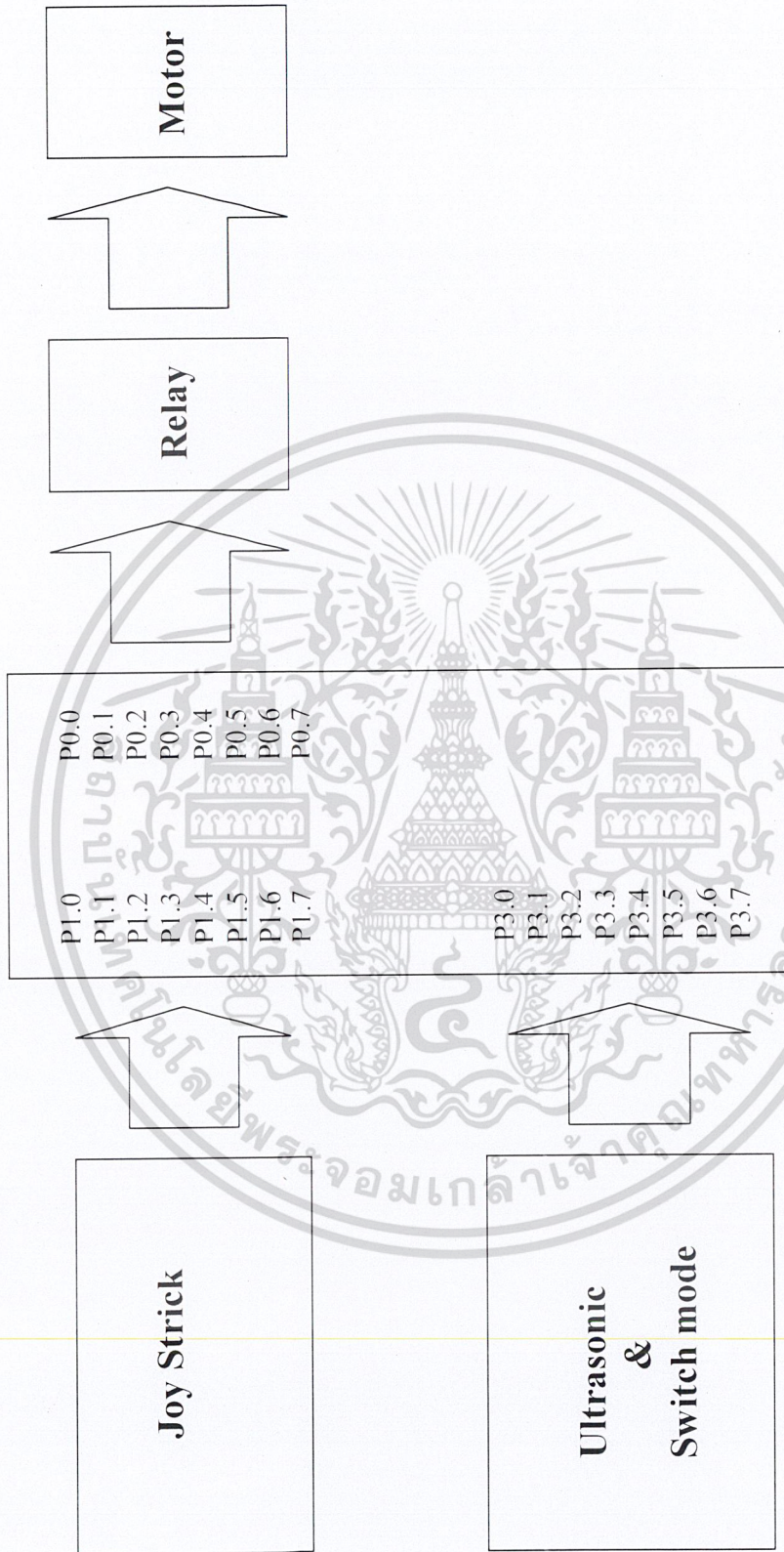
สูงพอที่จะให้ภาคเอาต์พุตแปลงสัญญาณที่ได้นี้ไปควบคุมหรือสั่งงานอุปกรณ์อื่นๆ ให้ทำงานตามคำสั่งต่อไป



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาครับ

### 3.3 ลักษณะการต่อวงจรต่างๆ เข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อวงจรต่างๆ ซึ่งเป็น Input Device เข้ามาต่อกับอินพุตพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการต่อส่วน Output Device เข้ามาต่อกับเอาต์พุตพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวงจรต่างๆ เช้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบโครงการงาน

#### 4.1 การทดสอบวงจรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

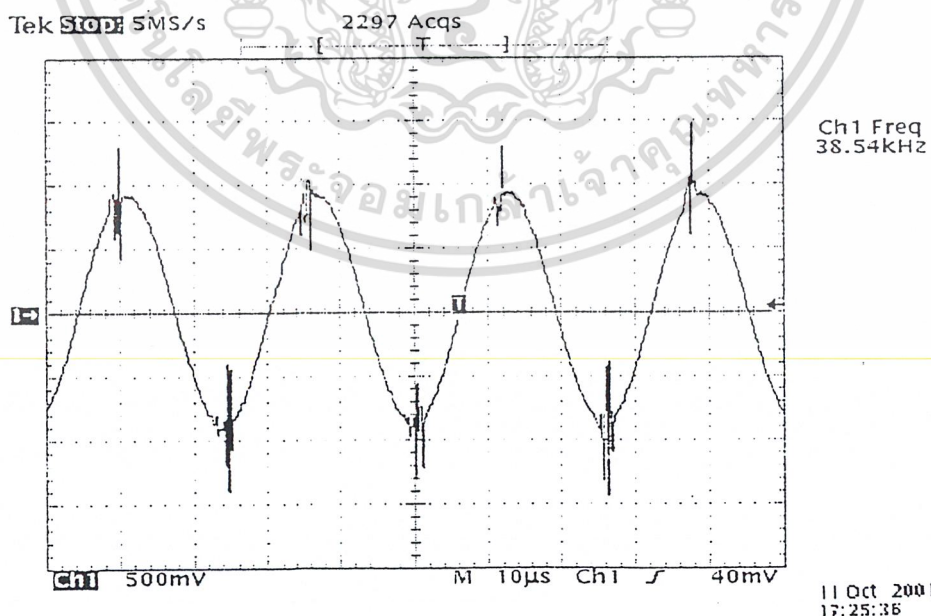
##### 4.1.1 การวัดสัญญาณภาคส่งและภาครับ

##### อุปกรณ์ที่ใช้

- Oscilloscope
- แหล่งจ่ายไฟตรง 12 V
- วัสดุผิวเรียบ

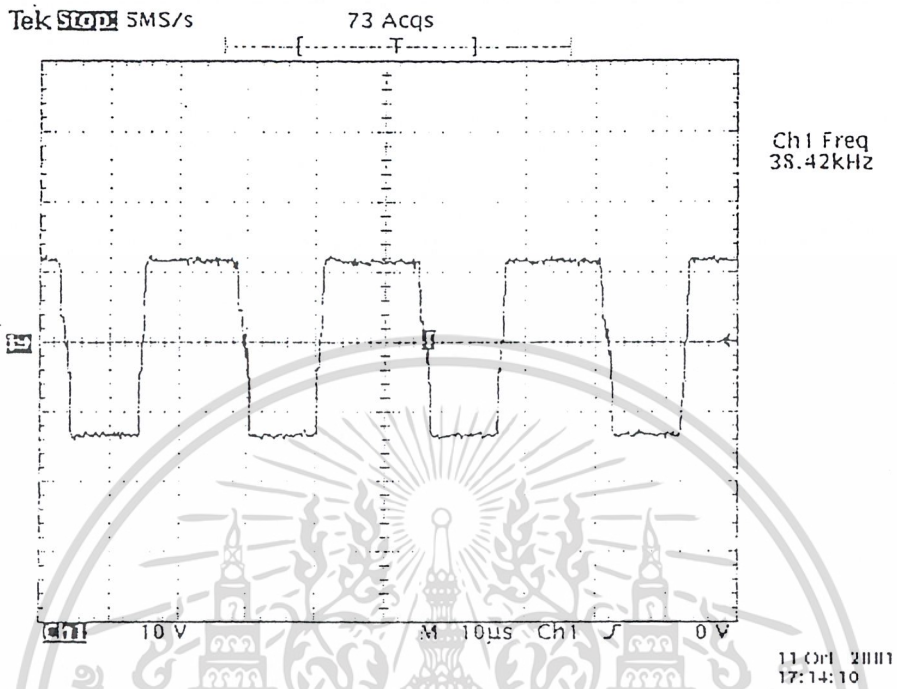
##### การทดสอบ

- ป้อนไฟเลี้ยงแก่วงจร
- ตั้งระยะห่างจากวัสดุผิวเรียบประมาณ 5 ซม.
- ปรับค่า VR<sub>1</sub> เพื่อเปลี่ยนความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งสัญญาณให้ตรงความถี่รีโซแนนซ์ของตัวส่งและตัวรับ โดยใช้สโคปวัดสัญญาณสูงสุดที่ตัวรับ
- บันทึกรูปสัญญาณ ณ ค่าต่างๆ

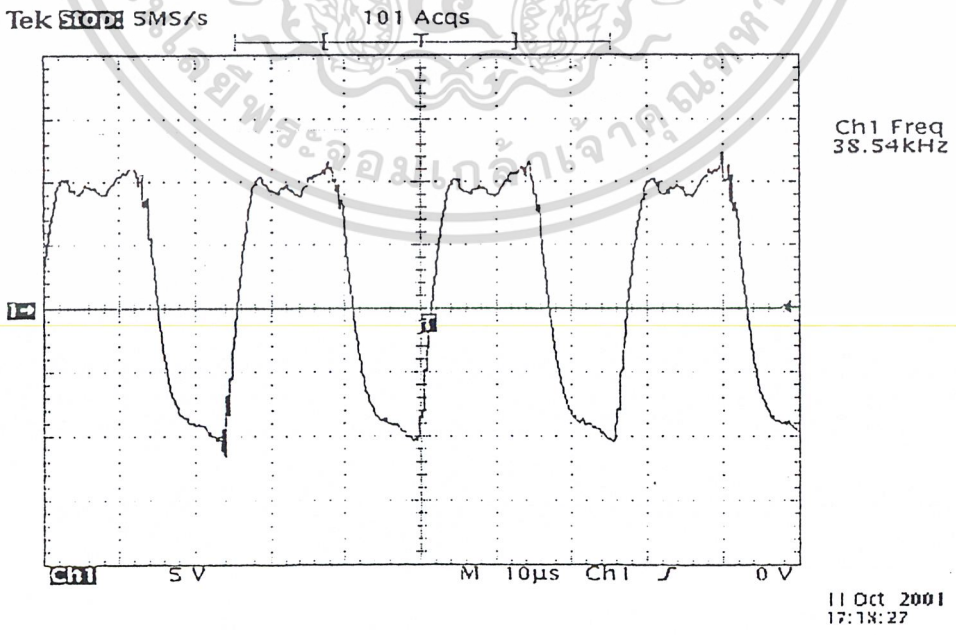


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง ขณะที่ไม่ต่อทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง ขณะที่ต่อทรานซิสเตอร์ตัวส่งแล้ว

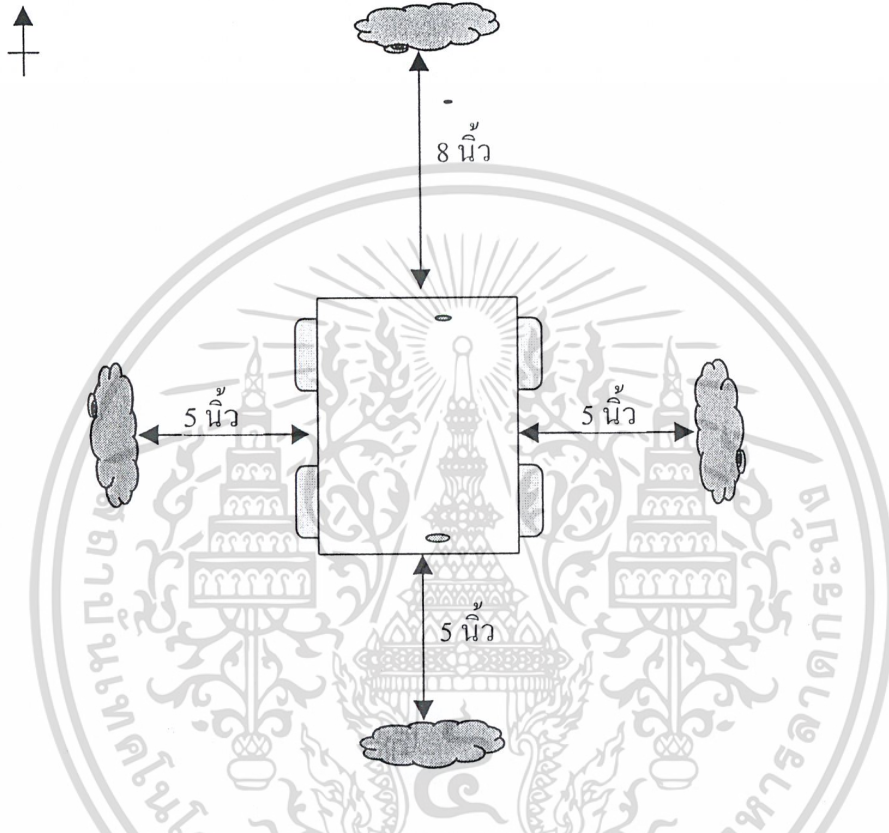


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ระยะเวลาจับสิ่งกีดขวาง

การทดลองหาค่า  $V_{ref}$  ที่เหมาะสมเพื่อให้ยานสำรวจนี้มีระยะเวลาจับสิ่งกีดขวางดังรูป



รูปที่ 4.4 แสดงระยะเวลาจับสิ่งกีดขวาง

ทำการปรับค่า  $V_{ref}$  ของแผ่นวงจรอุตราโซนิกแต่ละแผ่น เพื่อให้แต่ละวงจรสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อมีสิ่งกีดขวางมาปรากฏที่มีระยะห่างตั้ง 0 จนถึง ระยะที่แสดงดังรูป 4.4

วงจรอุตราโซนิก	ระยะเวลาจับ (นีว)	$V_{ref}$ (Volt)
หน้า	8	1.9
ขวา	5	2.1
ซ้าย	5	2.1
หลัง	5	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดสอบการขับเคลื่อนของยานสำรวจ

ทดสอบลักษณะการขับเคลื่อนของยานสำรวจโดยป้อนอินพุตพอร์ต P0.0-P0.3 ดังต่อไปนี้  
แล้วสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของยานสำรวจ

P0.3	P0.2	P0.1	P0.0	Output
1	0	1	0	วิ่งหน้า
0	1	0	1	ถอยหลัง
1	0	0	0	เลี้ยวซ้าย
0	0	1	0	เลี้ยวขวา
1	0	0	1	หมุนซ้าย
0	1	1	0	หมุนขวา
0	1	0	0	ถอยซ้าย
0	0	0	1	ถอยขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างยานสำรวจขึ้นมา โดยยานที่ใช้มีขนาด 5" × 6" ขับเคลื่อนโดยใช้ดีซีมอเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกใช้หมุนล้อหน้าและล้อหลังทางด้านขวา อีกตัวใช้หมุนล้อหน้าและล้อหลังทางด้านซ้าย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยาน การสั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เกิดจากระบบ Manual คือใช้จอยสติ๊กบังคับ และ Automation โดยจะเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ซึ่งใช้อุปกรณ์ทรานดิวเซอร์ตัวรับ-ตัวส่งคลื่นอุลตราโซนิค เป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง นอกจากนั้นบนยานสำรวจจะมีกล้องเพื่อรับภาพและส่งมายังผู้บังคับ

การทำงานเริ่มต้นจากการรับคำสั่งเลือกโหมดว่าจะให้ทำงานในโหมด Manual หรือ Auto ถ้าเลือกแบบ Manual คือการบังคับด้วยจอยสติ๊ก เราสามารถกำหนดทิศทางได้เองว่าจะให้วิ่งไปในทิศทางใด โดยจะมีการรับค่าจากอุลตราโซนิค ว่ามีสิ่งกีดขวางหรือไม่ในทิศทางที่จะไปถ้ามีก็ให้หลบหลีกเอง ส่วนแบบ Auto คือการปล่อยให้วิ่งเองอัตโนมัติ หลบหลีกสิ่งกีดขวางเองได้

จากการที่ได้ลงมือปฏิบัติ พบว่าในการสร้างโปรเจกชันนี้มีปัญหาเกิดขึ้นมากมายทั้งจาก Hardware และ Software สิ่งที่เป็นปัญหามากที่สุดคือ การควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุ จะมีสัญญาณรบกวนมากมาย ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปนั้น ไปไม่ถึงตัวรับ ทำให้ไม่สามารถควบคุมยานสำรวจได้

## บรรณานุกรม

ทนา โชติสนุยุทธ์ , “เทคนิคการใช้งานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สำหรับนักทดลอง” , เชมิตคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , หน้า 83-95 , ซีอีดูเคชั่น , 2536

ธีรวัฒน์ ประกอบผล , “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์” , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

รัชชัย อินทุโส , ไตรภพ อินทุโส , “ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051” , หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

ทีมงานซีอีดี , “รวม 301 วงจร” , ซีอีดูเคชั่น , 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

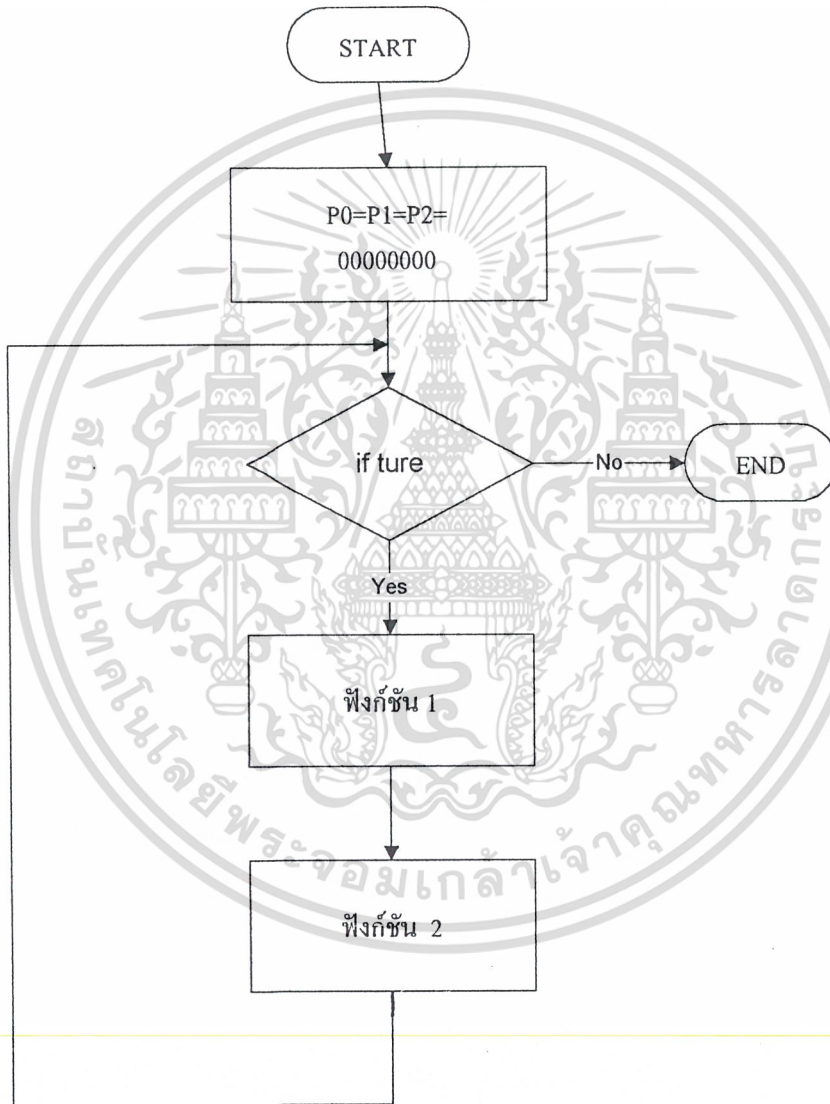


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

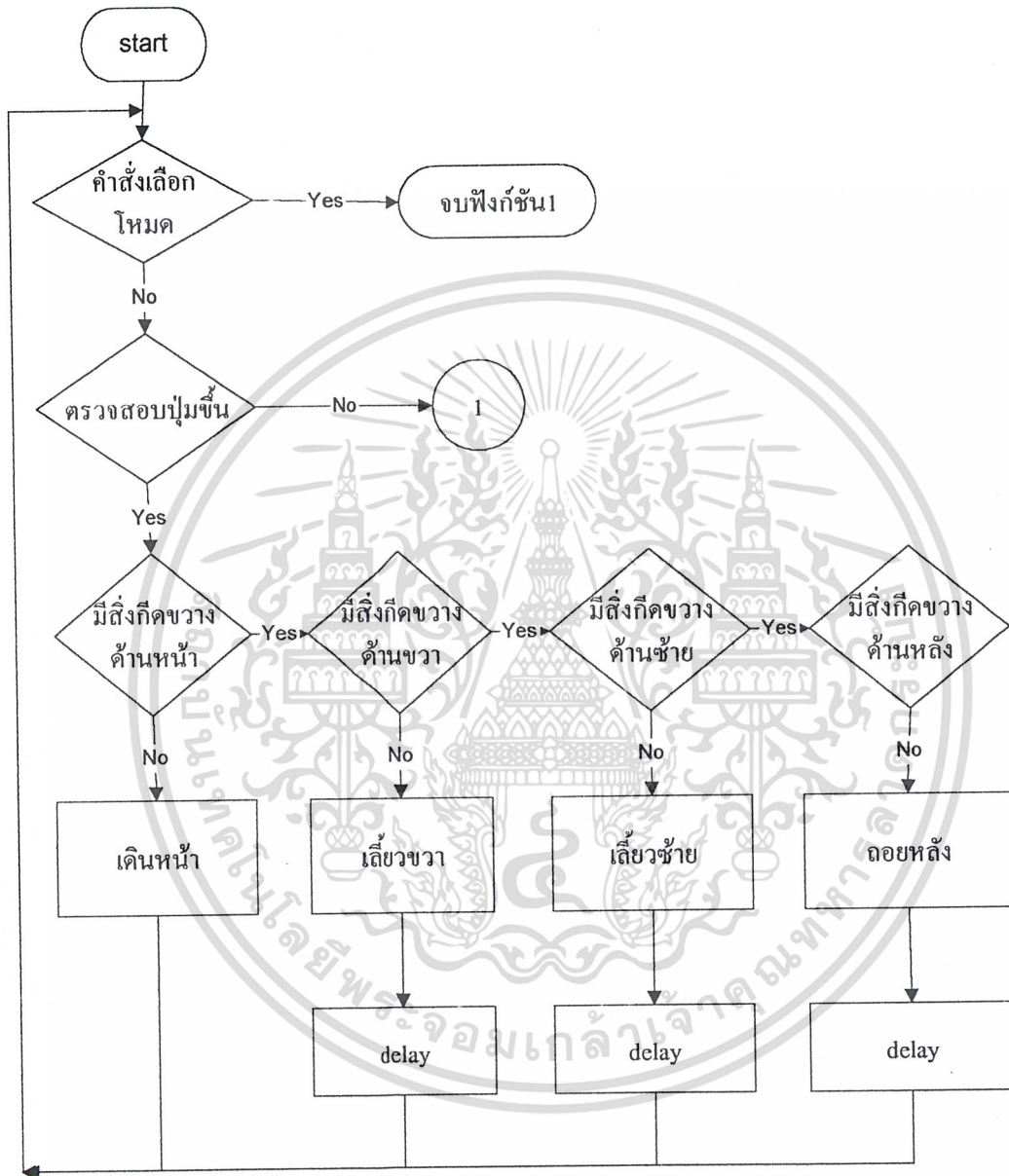
# FLOW CHART

## MAIN



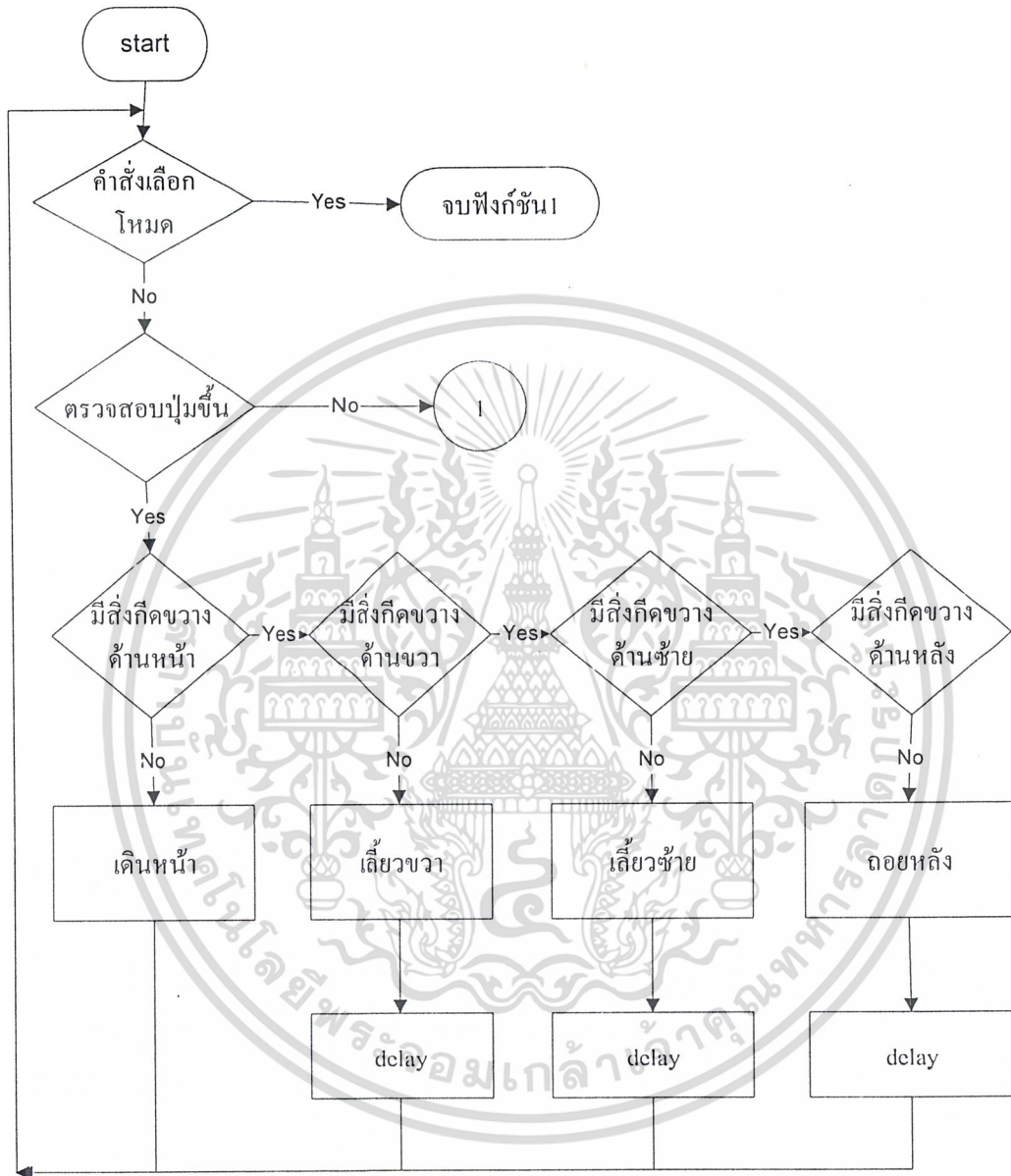
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ฟังก์ชัน 1

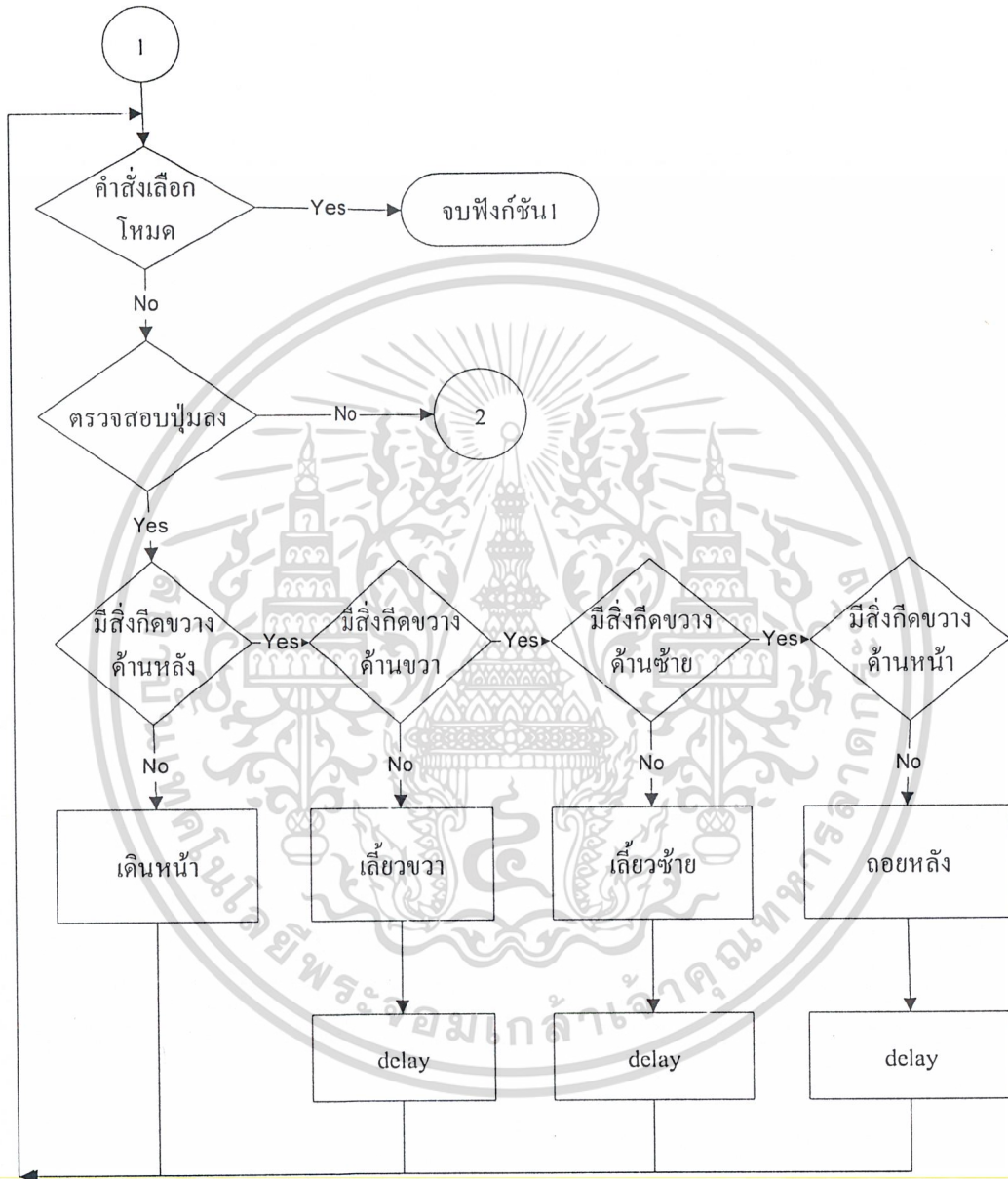


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

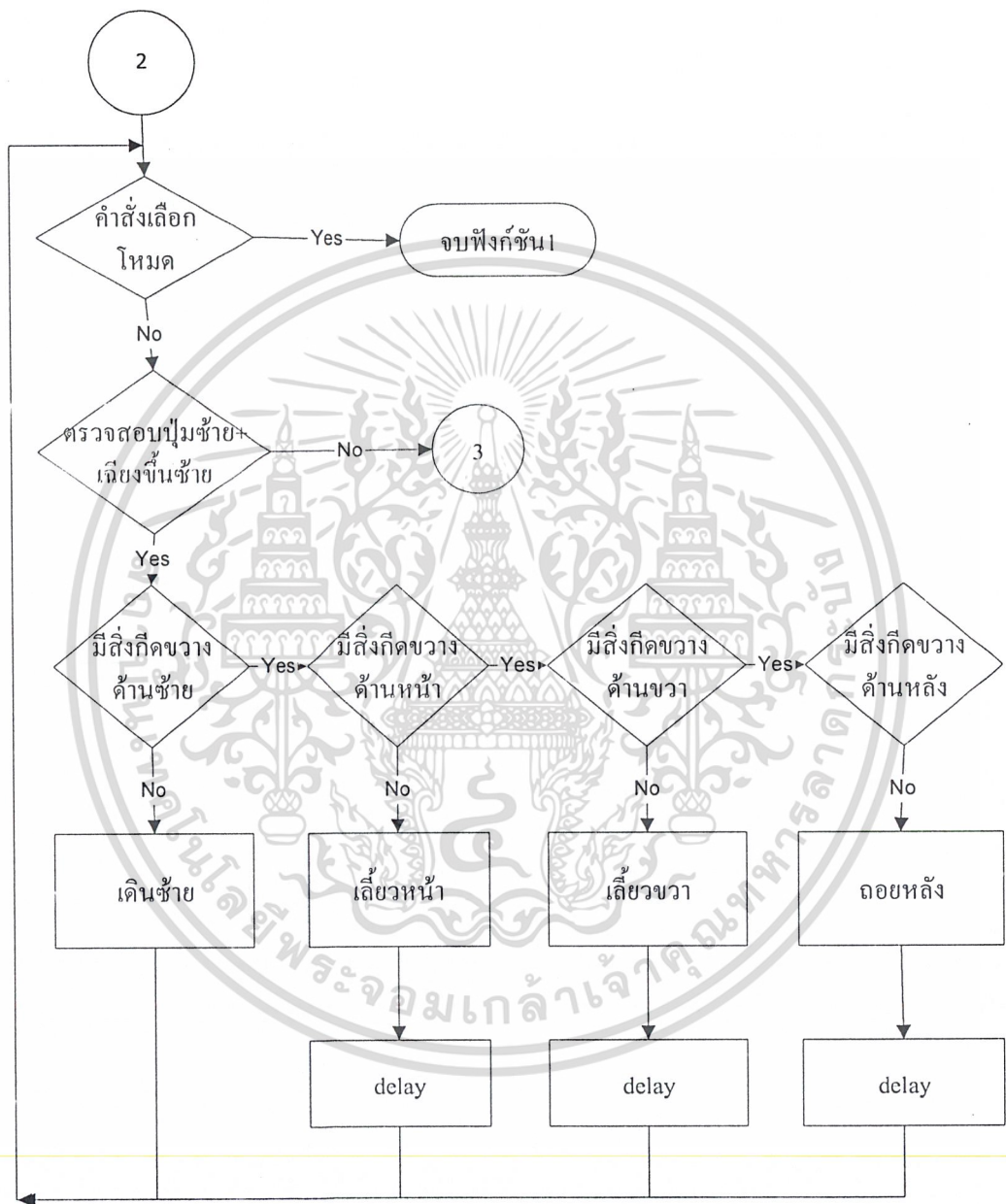
# ฟังก์ชัน 1



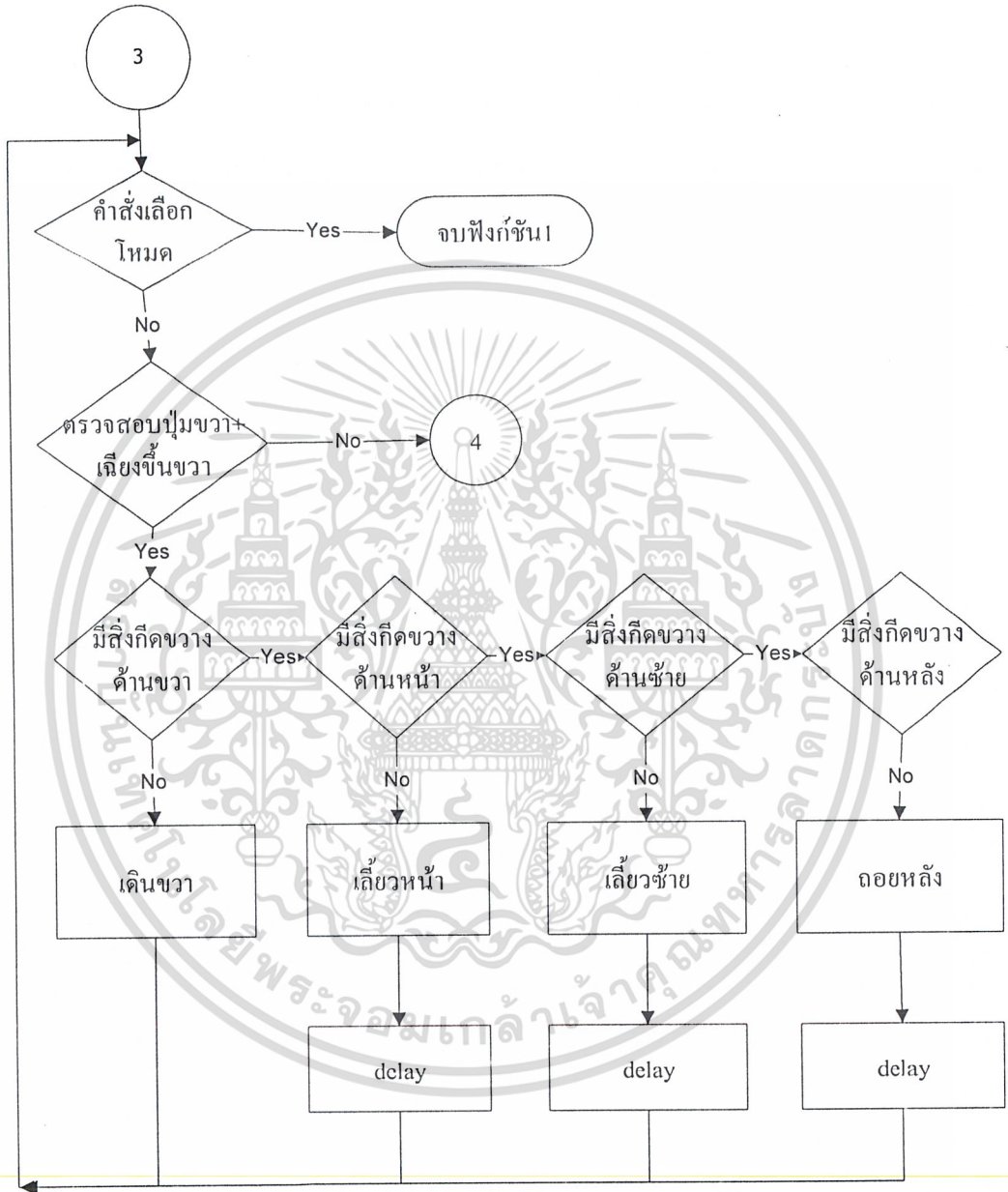
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



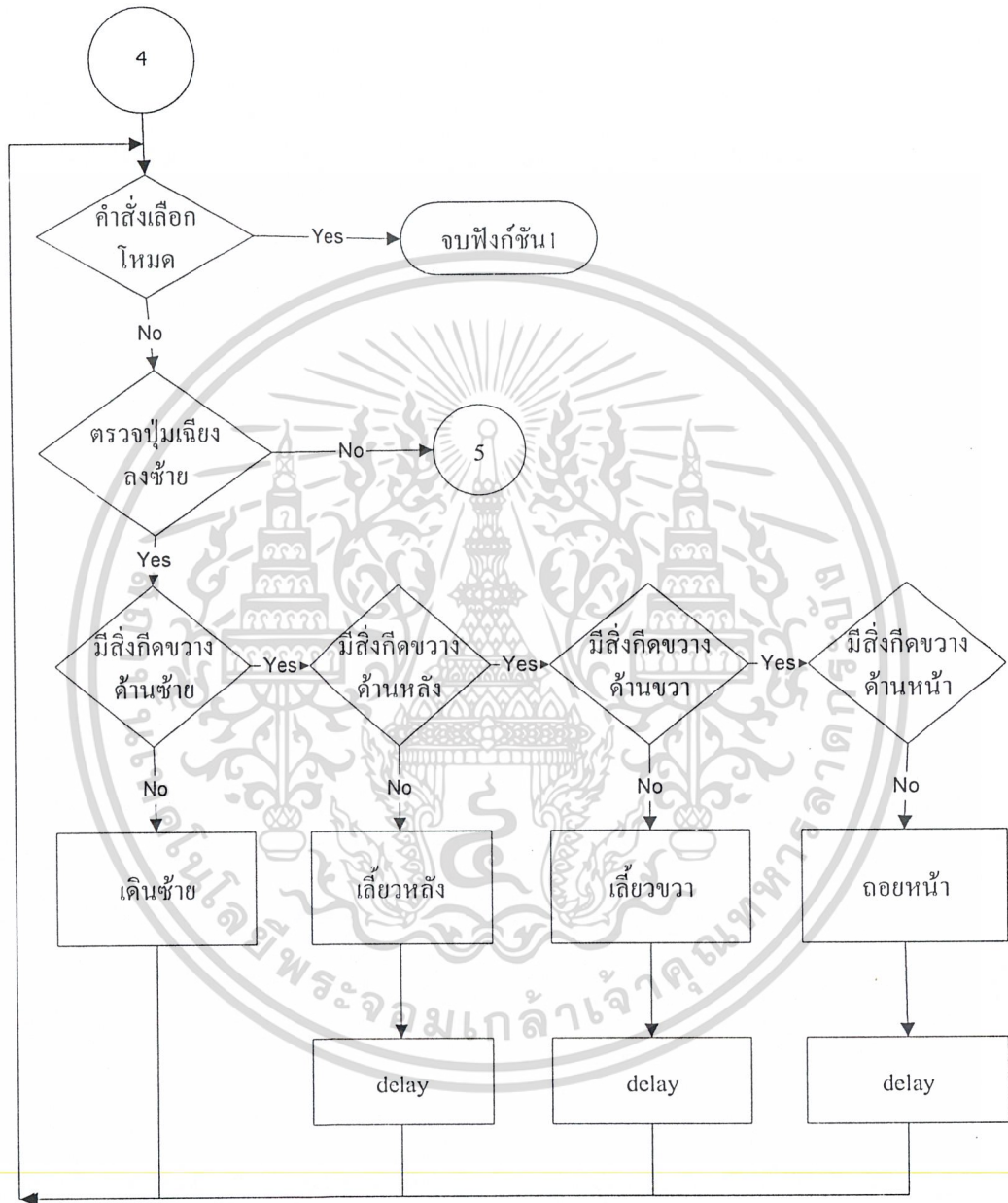
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



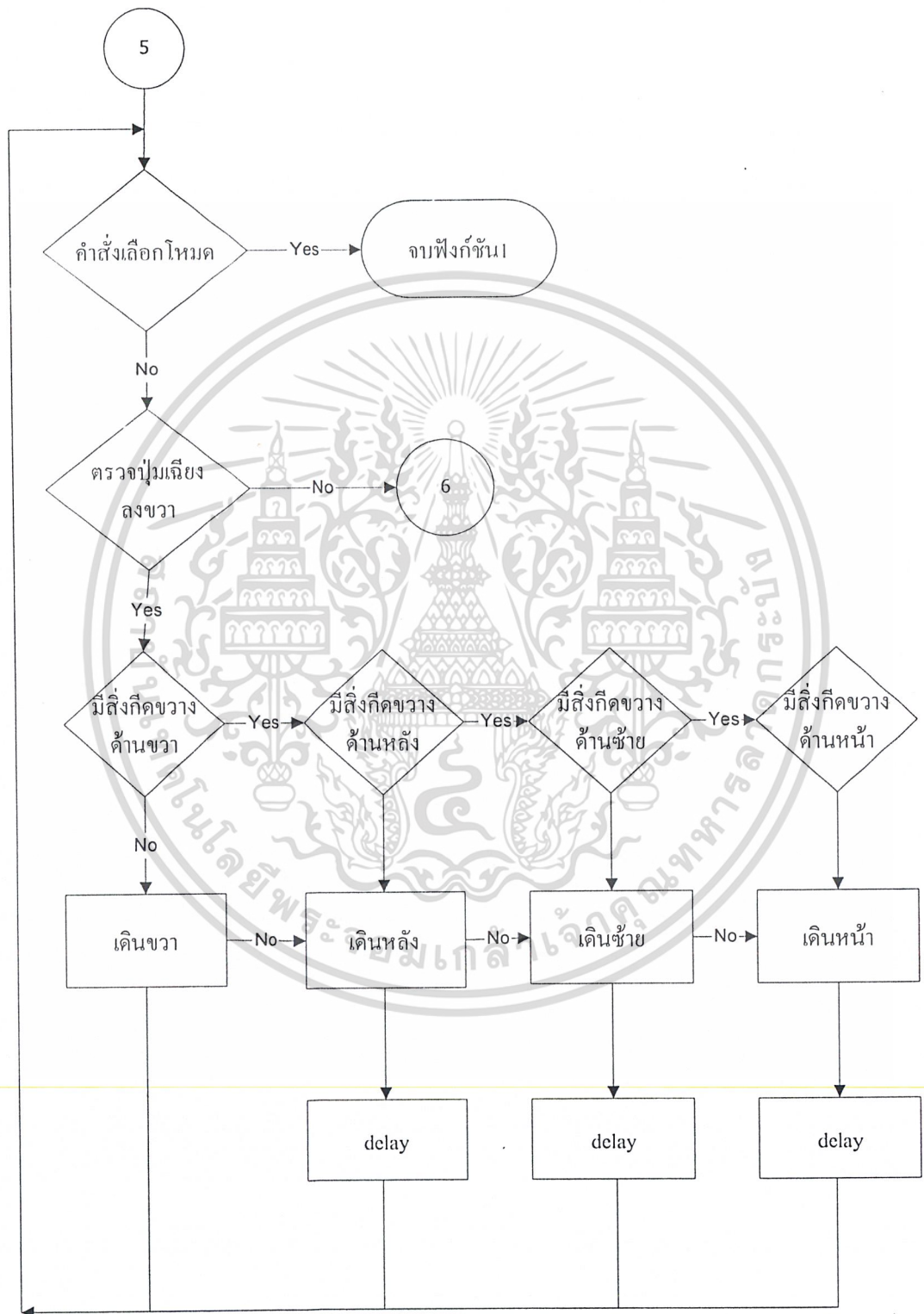
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



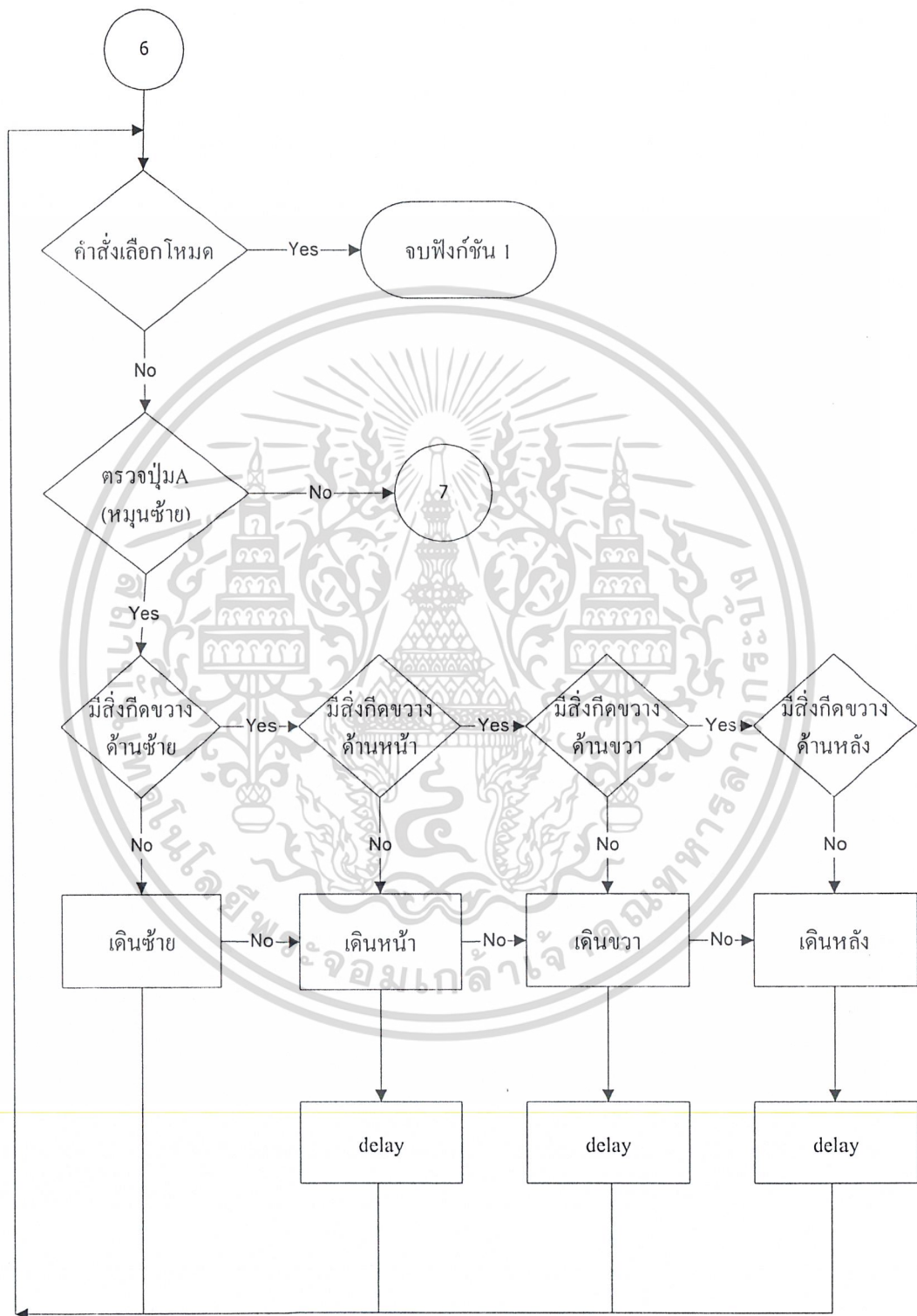
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



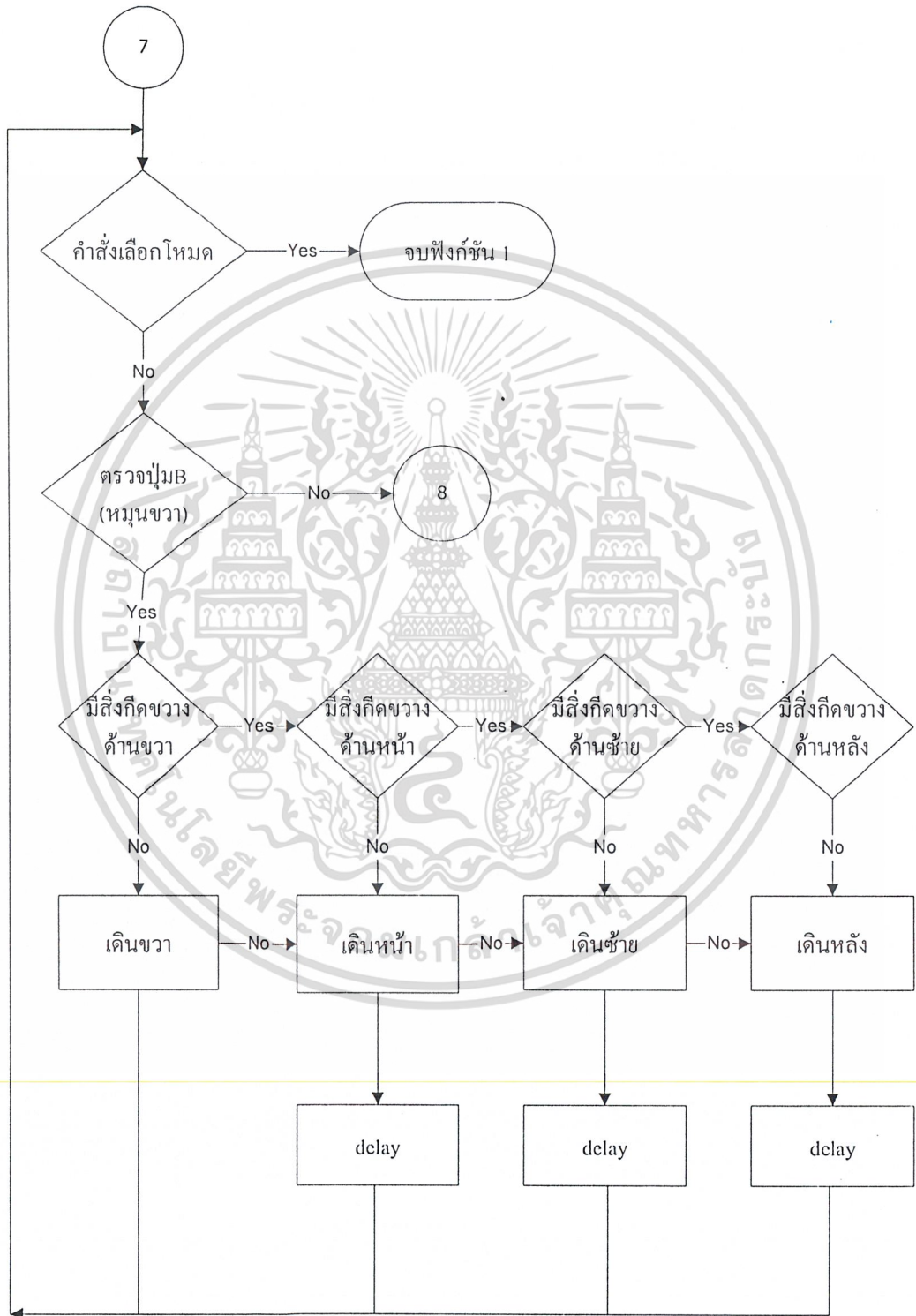
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

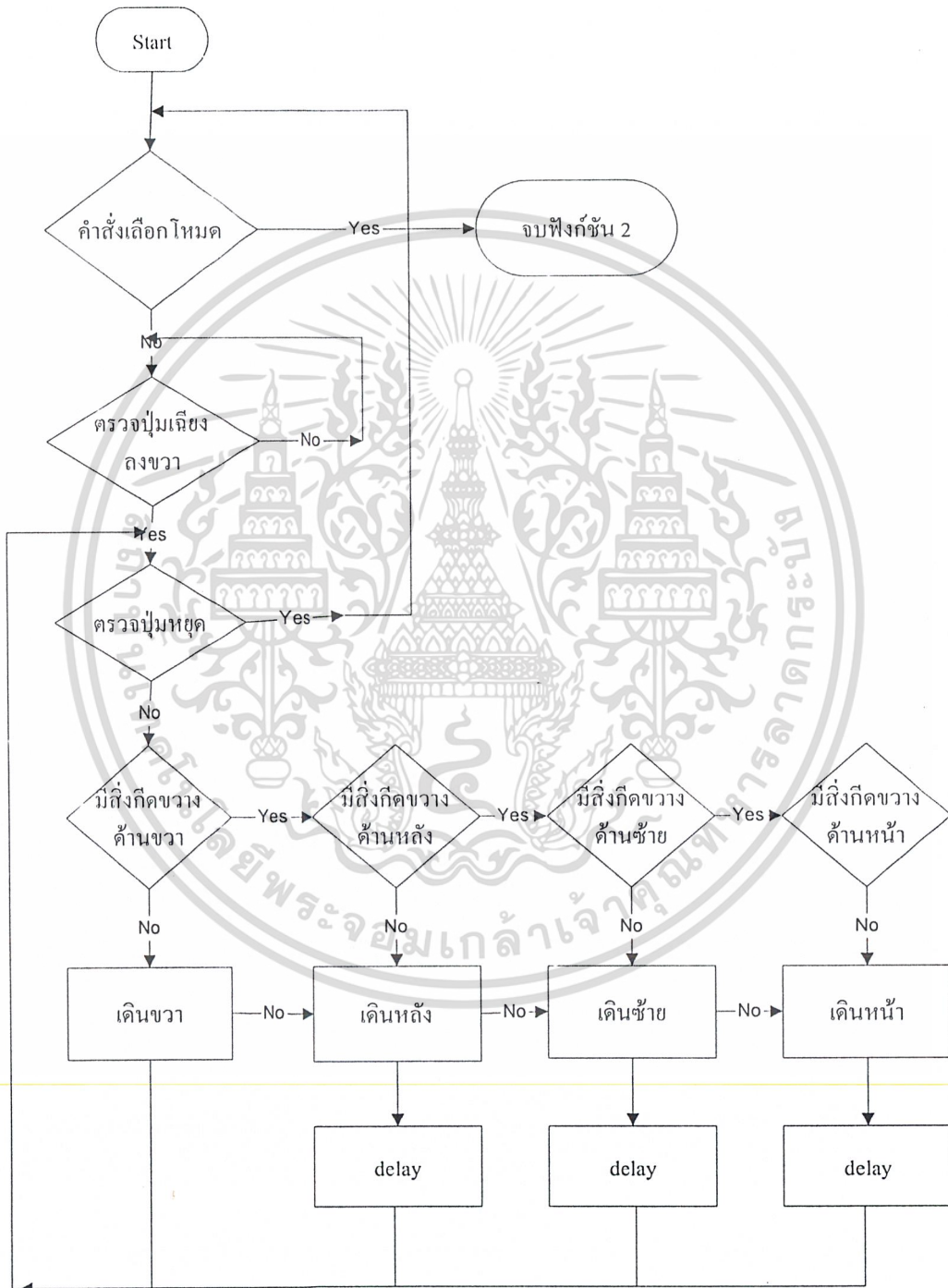


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ฟังก์ชัน 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

# LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

SLCS007C – SEPTEMBER 1973 – REVISED OCTOBER 2000

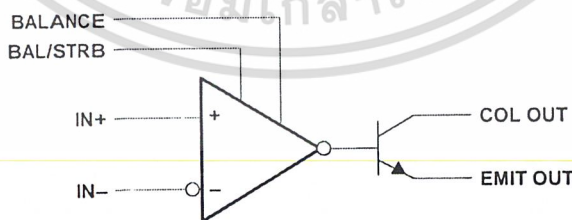
- Fast Response Times
- Strobe Capability
- Maximum Input Bias Current . . . 300 nA
- Maximum Input Offset Current . . . 70 nA
- Can Operate From Single 5-V Supply
- Designed to Be Interchangeable With National Semiconductor LM111, LM211, and LM311
- Available in Q-Temp Automotive
  - High Reliability Automotive Applications
  - Configuration Control/Print Support
  - Qualification to Automotive Standards

## description

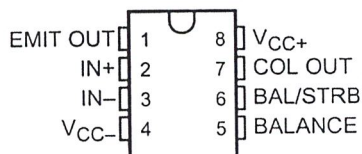
The LM111, LM211, and LM311 are single high-speed voltage comparators. These devices are designed to operate from a wide range of power-supply voltages, including  $\pm 15$ -V supplies for operational amplifiers and 5-V supplies for logic systems. The output levels are compatible with most TTL and MOS circuits. These comparators are capable of driving lamps or relays and switching voltages up to 50 V at 50 mA. All inputs and outputs can be isolated from system ground. The outputs can drive loads referenced to ground,  $V_{CC+}$  or  $V_{CC-}$ . Offset balancing and strobe capabilities are available, and the outputs can be wire-OR connected. If the strobe is low, the output is in the off state, regardless of the differential input.

The LM111 is characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM211 is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ . The LM211Q is characterized for operation over the full automotive range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM311 is characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ .

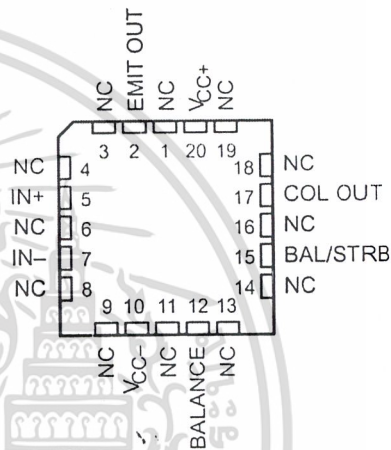
## functional block diagram



LM111 . . . JG PACKAGE  
LM211, LM311 . . . D, P, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



LM111 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC – No internal connection



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2000, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

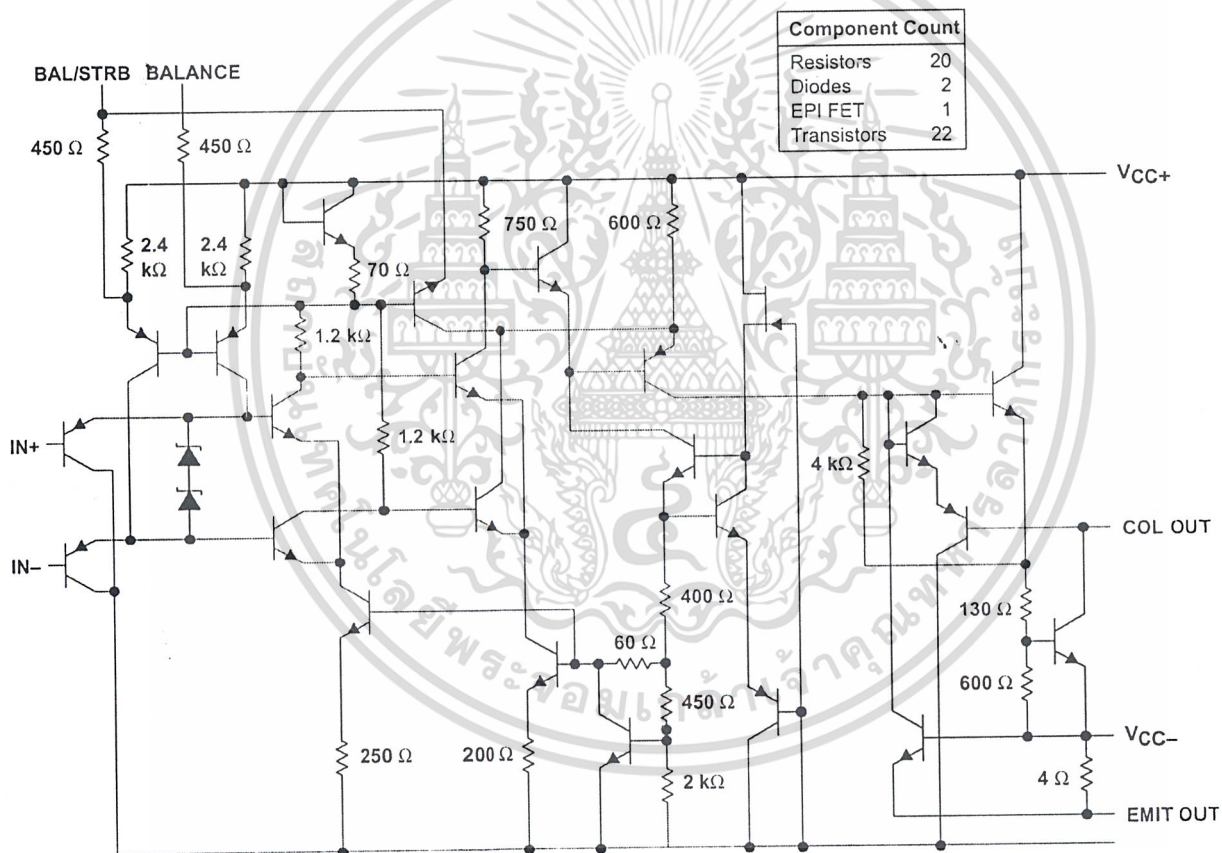
SLCS007C – SEPTEMBER 1973 – REVISED OCTOBER 2000

## AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	V <sub>IO</sub> max AT 25°C	PACKAGED DEVICES					CHIP FORM
		PLASTIC SMALL OUTLINE (D)	CERAMIC CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	PLASTIC TSSOP (PW)	
0°C to 70°C	7.5 mV	LM311D			LM311P	LM311PWR	LM311Y
-40°C to 85°C	3 mV	LM211D			LM211P		
-40°C to 125°C	3 mV	LM211QD					
-55°C to 125°C	3 mV		LM111FK	LM111JG			

The D package also is available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., LM311DR). The PW package is only available taped and reeled. Chip forms are tested at 25°C only.

## schematic



All resistor values shown are nominal.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

SLCS007C – SEPTEMBER 1973 – REVISED OCTOBER 2000

## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage: $V_{CC+}$ (see Note 1)	18 V
$V_{CC-}$ (see Note 1)	-18 V
$V_{CC+} - V_{CC-}$	36 V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)	$\pm 30$ V
Input voltage, $V_I$ (either input, see Notes 1 and 3)	$\pm 15$ V
Voltage from emitter output to $V_{CC-}$	30 V
Voltage from collector output to $V_{CC-}$ :	
LM111	50 V
LM211	50 V
LM211Q	50 V
LM311	40 V
Duration of output short circuit (see Note 4)	10 s
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 5):	
D package	97°C/W
P package	85°C/W
PW package	149°C/W
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: J or JG package	300°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: D, P, or PW package	260°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between  $V_{CC+}$  and  $V_{CC-}$ .
2. Differential voltages are at  $IN+$  with respect to  $IN-$ .
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or  $\pm 15$  V, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or either power supply.
5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE $T_A$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
FK	500 mW	11.0 mW/°C	105°C	500 mW	500 mW	275 mW
JG	500 mW	8.4 mW/°C	90°C	500 mW	500 mW	210 mW

## recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_{CC+} - V_{CC-}$		3.5	30	V
Input voltage ( $ V_{CC\pm}  \leq 15$ V)		$V_{CC-} + 0.5$	$V_{CC+} - 1.5$	V
Operating free-air temperature range, $T_A$	LM111	-55	125	°C
	LM211	-40	85	
	LM211Q	-40	125	
	LM311	0	70	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

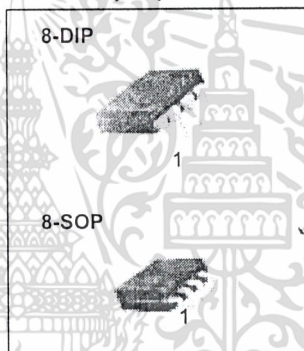
## Dual Operational Amplifier

### Features

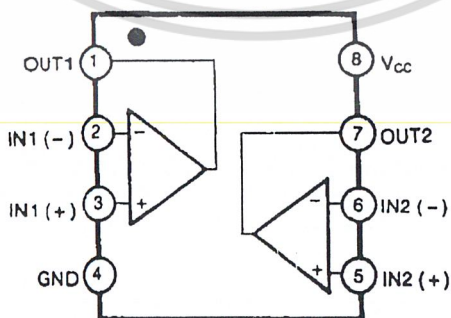
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide power supply range:  
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or  $\pm 1.5V \sim 16V$ )  
LM2904 : 3V~26V (or  $\pm 1.5V \sim 13V$ )
- Input common mode voltage range Includes ground
- Large output voltage swing: 0V DC to  $V_{cc} - 1.5V$  DC
- Power drain suitable for battery operation.

### Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



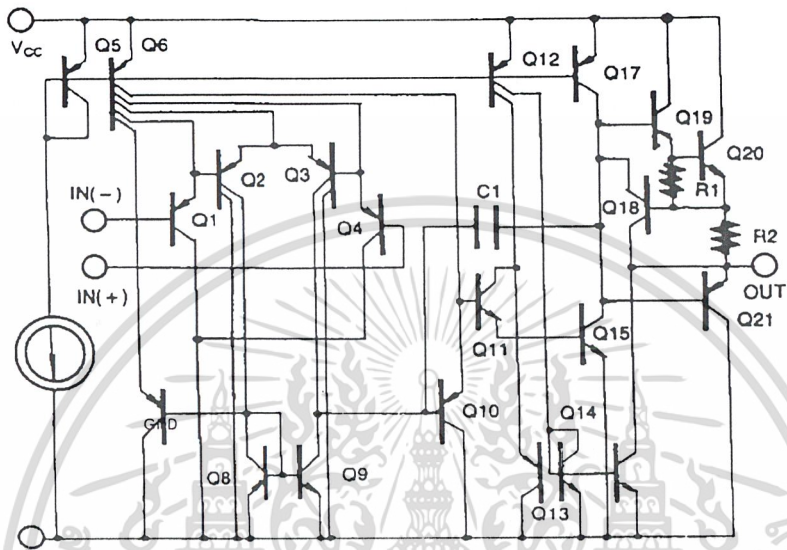
### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

### Schematic Diagram

(One section only)



### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	32	32	26	V
Input Voltage	V <sub>I</sub>	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V <sub>CC</sub> ≤ 15V, T <sub>A</sub> = 25 °C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T <sub>OPR</sub>	-25 ~ + 85	0 ~ + 70	-40 ~ + 85	°C
Storage Temperature Range	T <sub>STG</sub>	-65 ~ + 150	-65 ~ + 150	-65 ~ + 150	°C

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 5.0V$ ,  $V_{EE} = GND$ ,  $T = 25\text{ }^{\circ}C$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	$V_{IO}$	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$ , $R_S = 0\Omega$	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	$I_{IO}$	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$ )	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V
Supply Current	$I_{CC}$	$R_L = \infty$ , $V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$ )	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		$R_L = \infty$ , over full temperature range	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	$G_V$	$V_{CC} = 15V$ , $R_L \geq 2K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$ $R_L = 2K\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 26V$ for LM2904 $R_L = 10K\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
		$V_{CC} = 5V$ , $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	$f = 1KHz$ to $20KHz$	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	$I_{SC}$	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	$I_{SOURCE}$	$V_{I(+)} = 1V$ , $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$ , $V_{O(P)} = 2V$	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA
	$I_{SINK}$	$V_{I(+)} = 0V$ , $V_{I(-)} = 1V$ , $V_{CC} = 15V$ , $V_{O(P)} = 2V$	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
		$V_{I(+)} = 0V$ , $V_{I(-)} = 1V$ , $V_{CC} = 15V$ , $V_{O(P)} = 200mV$	12	100	-	12	100	-	-	-	-	$\mu A$
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	V	

## LM555/LM555C Timer

### General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

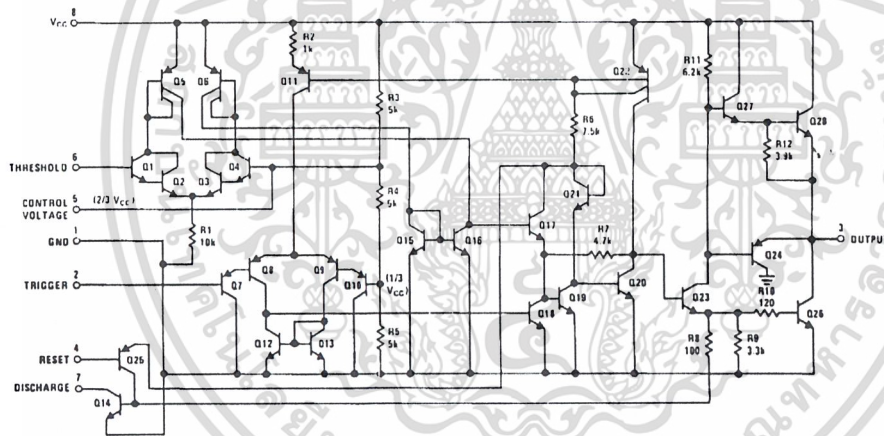
### Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

### Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes

### Schematic Diagram



TL/H/7851-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	+ 18V
Power Dissipation (Note 1)	
LM555H, LM555CH	760 mW
LM555, LM555CN	1180 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to + 70°C
LM555	- 55°C to + 125°C

Storage Temperature Range -65°C to + 150°C

Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

## Electrical Characteristics (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = + 5V to + 15V, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = ∞ V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = ∞ (Low State) (Note 2)		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
Timing Error, Monostable			0.5			1		%
Initial Accuracy			30			50		ppm/°C
Drift with Temperature	R <sub>A</sub> = 1k to 100 kΩ, C = 0.1 μF, (Note 3)							
Accuracy over Temperature			1.5			1.5		%
Drift with Supply			0.05			0.1		%/V
Timing Error, Astable			1.5			2.25		%
Initial Accuracy			90			150		ppm/°C
Drift with Temperature	R <sub>A</sub> , R <sub>B</sub> = 1k to 100 kΩ, C = 0.1 μF, (Note 3)							
Accuracy over Temperature			2.5			3.0		%
Drift with Supply			0.15			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667			0.667		x V <sub>CC</sub>
Trigger Voltage	V <sub>CC</sub> = 15V	4.8	5	5.2		5		V
	V <sub>CC</sub> = 5V	1.45	1.67	1.9		1.67		V
Trigger Current			0.01	0.5		0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 4)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	V <sub>CC</sub> = 15V	9.6	10	10.4	9	10	11	V
	V <sub>CC</sub> = 5V	2.9	3.33	3.8	2.6	3.33	4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 5)								
Output Low	V <sub>CC</sub> = 15V, I <sub>7</sub> = 15 mA		150			180		mV
Output Low	V <sub>CC</sub> = 4.5V, I <sub>7</sub> = 4.5 mA		70	100		80	200	mV

**Electrical Characteristics**  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15\text{V}$ , (unless otherwise specified) (Continued)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{\text{SINK}} = 10\text{ mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	$I_{\text{SINK}} = 50\text{ mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	$I_{\text{SINK}} = 100\text{ mA}$		2	2.2		2	2.5	V
	$I_{\text{SINK}} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$							
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{SOURCE}} = 200\text{ mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5			12.5		V
	$I_{\text{SOURCE}} = 100\text{ mA}$ , $V_{CC} = 15\text{V}$	13	13.3		12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	3	3.3		2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns

**Note 1:** For operating at elevated temperatures the device must be derated above  $25^\circ\text{C}$  based on a  $+150^\circ\text{C}$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $164^\circ\text{C}/\text{w}$  (T0-5),  $106^\circ\text{C}/\text{w}$  (DIP) and  $170^\circ\text{C}/\text{w}$  (S0-6) junction to ambient.

**Note 2:** Supply current when output high typically 1 mA less at  $V_{CC} = 5\text{V}$ .

**Note 3:** Tested at  $V_{CC} = 5\text{V}$  and  $V_{CC} = 15\text{V}$ .

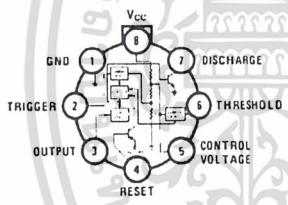
**Note 4:** This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation. The maximum total ( $R_A + R_B$ ) is 20 M $\Omega$ .

**Note 5:** No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

**Note 6:** Refer to RETSS55X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

**Connection Diagrams**

Metal Can Package

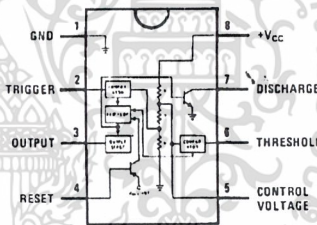


Top View

TL/H/7851-2

Order Number LM555H or LM555CH  
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View

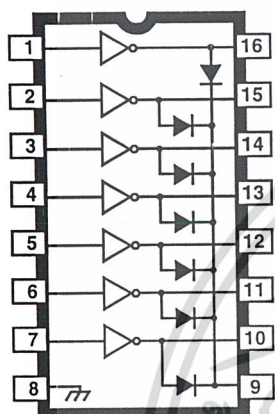
TL/H/7851-3

Order Number LM555J, LM555CJ,  
LM555CM or LM555CN  
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

# 2003 THRU 2024

Data Sheet  
29304F

## HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS



Dwg. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, $V_{CE}$	
(ULN200xA and ULN200xL) .....	50 V
(ULN202xA and ULN202xL) .....	95 V
Input Voltage, $V_{IN}$ .....	30 V
Continuous Output Current,	
$I_C$ .....	500 mA
Continuous Input Current, $I_{IN}$ .....	25 mA
Power Dissipation, $P_D$	
(one Darlington pair) .....	1.0 W
(total package) .....	See Graph
Operating Temperature Range,	
$T_A$ .....	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
$T_S$ .....	-55°C to +150°C

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series ULN20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix “A”) and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix “L”). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from “ULN” to “ULQ”.

### FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

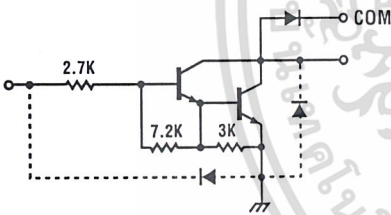
**DEVICE PART NUMBER DESIGNATION**

$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_{C(MAX)}$	500 mA	500 mA
Logic	Part Number	
5V TTL, CMOS	ULN2003A* ULN2003L*	ULN2023A* ULN2023L
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2004A* ULN2004L*	ULN2024A ULN2024L

\* Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

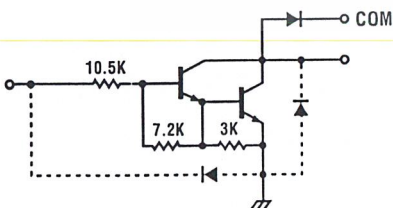
**PARTIAL SCHEMATICS**

ULN20x3A/L (Each Driver)

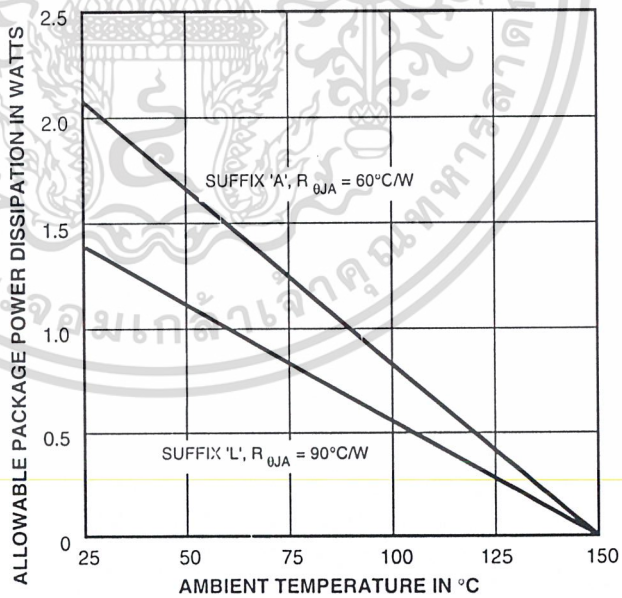


Dwg. No. A-9651

ULN20x4A/L (Each Driver)



Dwg. No. A-989A



Dwg. GP-006A

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.



115 Northeast Cutoff, Box 15036

Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

Copyright © 1974, 1998 Allegro MicroSystems, Inc.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2004A, and ULN2004L  
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
		1B	ULN2004A/L	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2003A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2004A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2003A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2004A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L  
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
		1B	ULN2024A/L	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2023A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2023A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2024A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.



115 Northeast Cutoff, Box 15036

Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

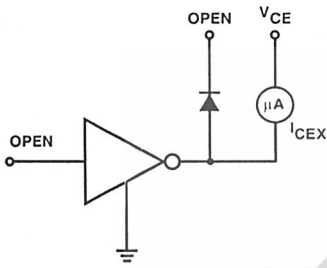
เอเลกรามีโซลูชันไมโครซิสเต็มครบวงจรที่ช่วยให้การออกแบบง่ายขึ้นและประหยัดต้นทุนได้มากกว่า 50% ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

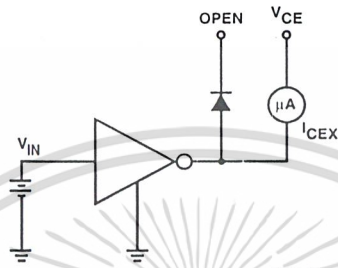
## TEST FIGURES

FIGURE 1A



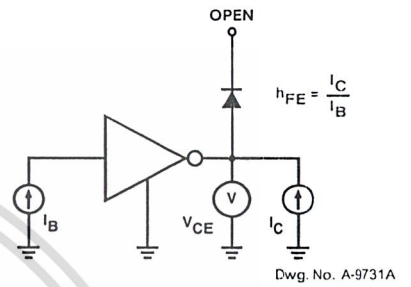
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



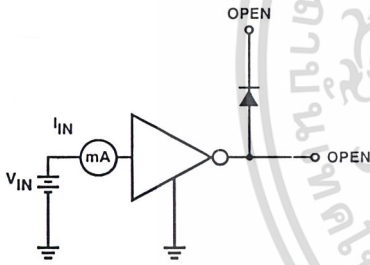
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



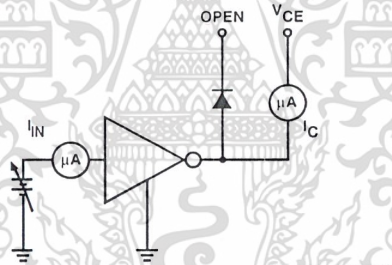
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



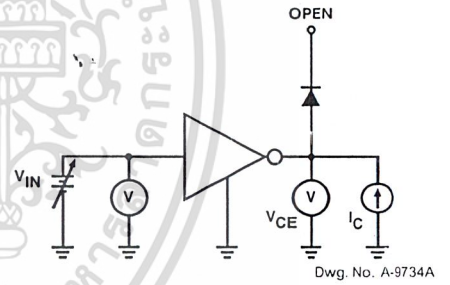
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



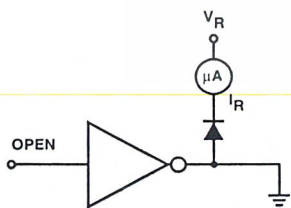
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



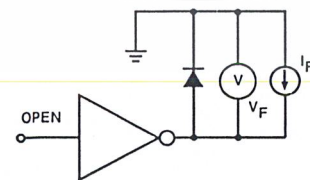
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



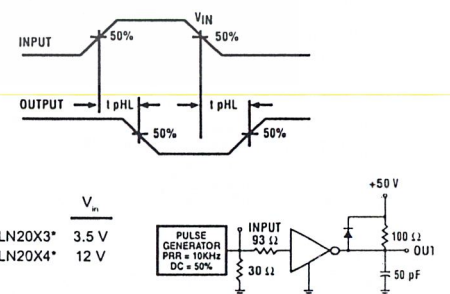
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

FIGURE 8

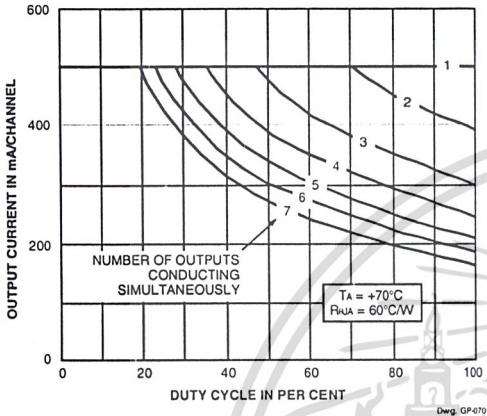


\* Complete part number includes a final letter to indicate package.

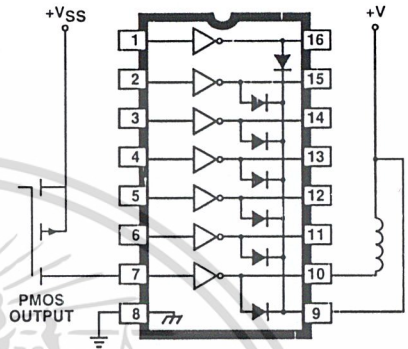
X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

# 2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

## ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE (Dual In-line-Packaged Devices, Suffix 'A')

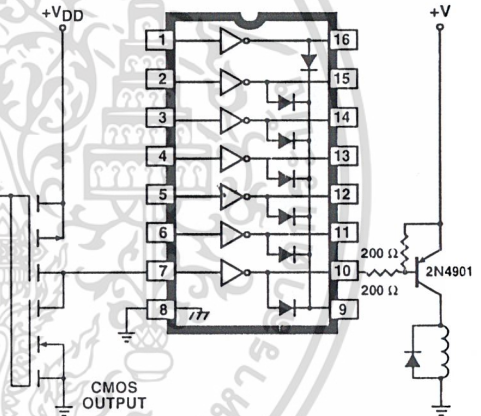
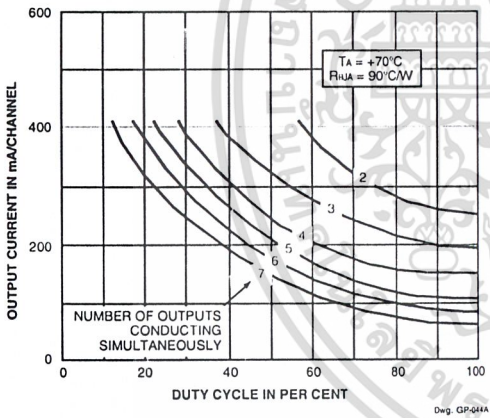


## TYPICAL APPLICATIONS



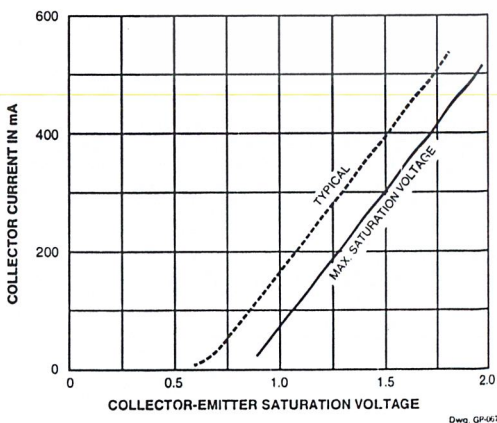
Dwg. No. A-9652

## (Small-Outline-Packaged Devices, Suffix 'L')



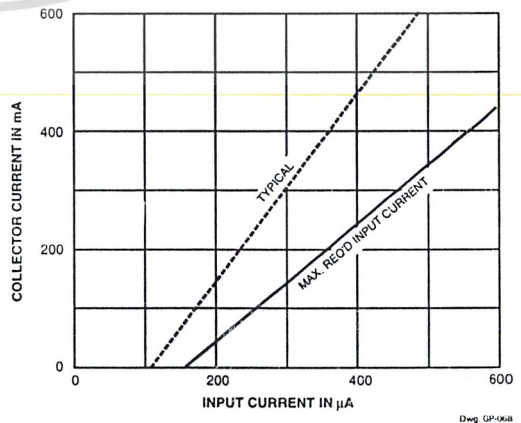
Dwg. No. A-9654A

## SATURATION VOLTAGE AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT



Dwg. GP-067

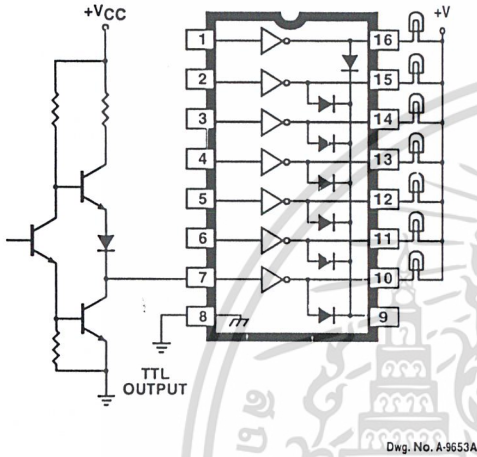
## COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT CURRENT



Dwg. GP-068

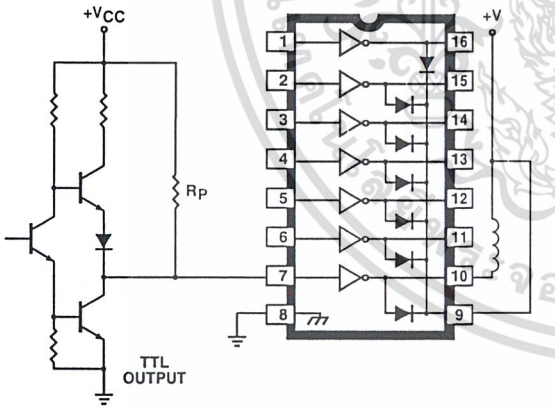
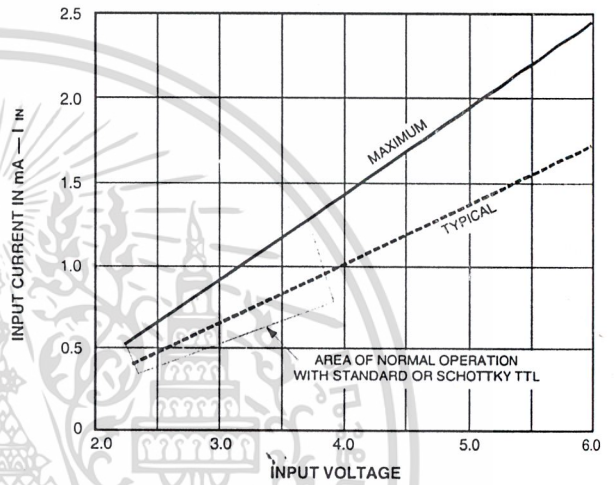
# 2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

## TYPICAL APPLICATIONS

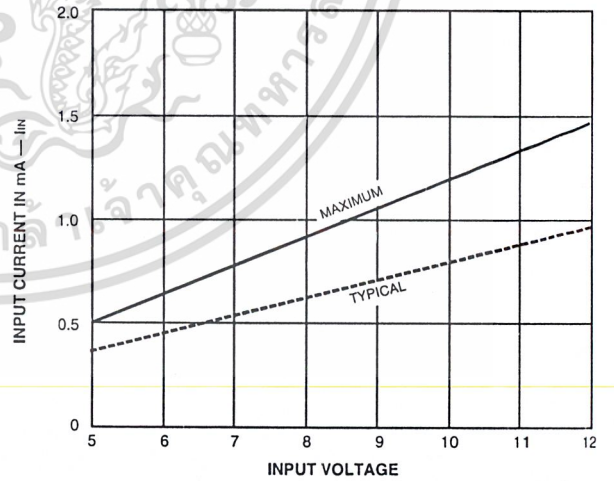


## INPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2023A, and  
ULN2023L



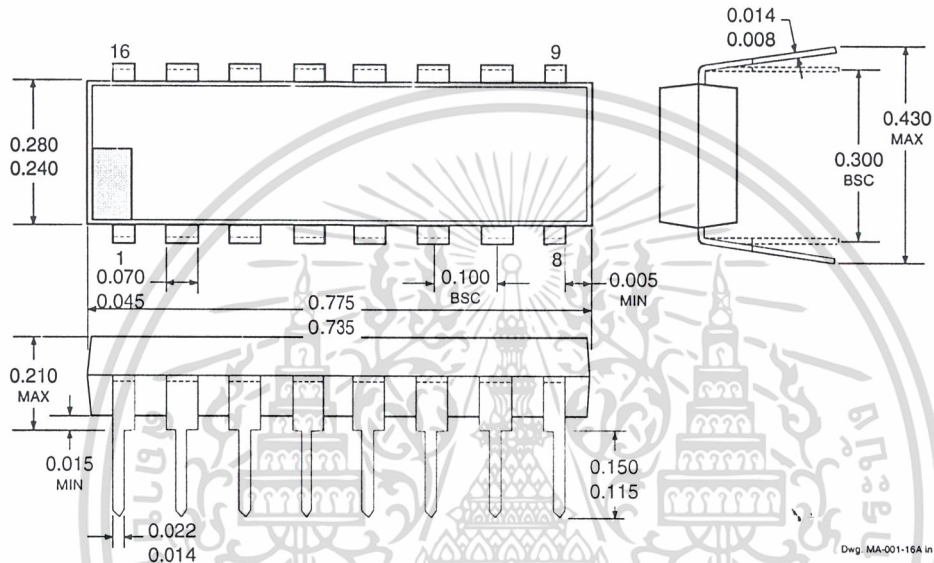
Types ULN2004A, ULN2004L, ULN2024A, and  
ULN2024L



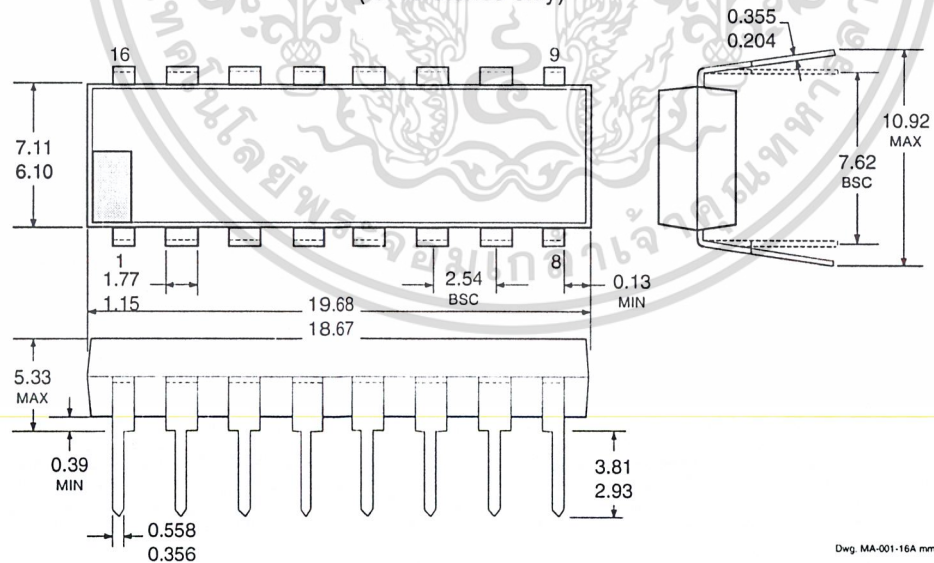
**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**PACKAGE DESIGNATOR "A"**

Dimensions in Inches  
(controlling dimensions)



Dimension in Millimeters  
(for reference only)



- NOTES: 1. Leads 1, 8, 9, and 16 may be half leads at vendor's option.  
2. Lead thickness is measured at seating plane or below.  
3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.  
4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.



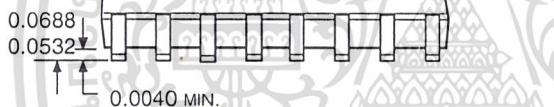
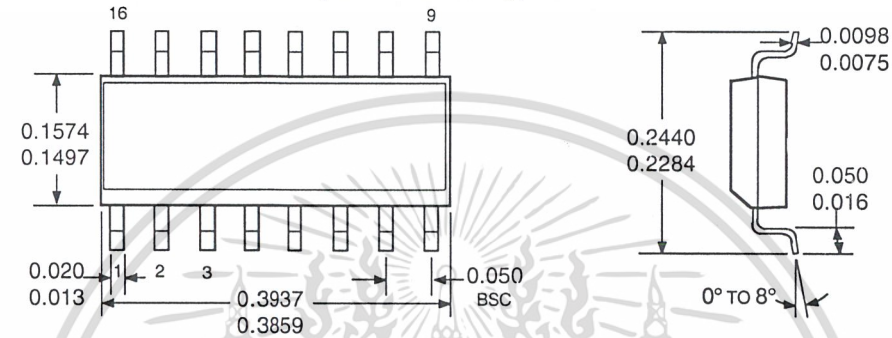
115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

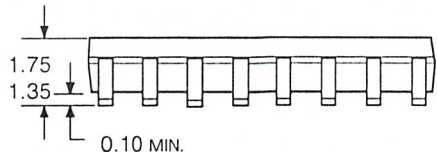
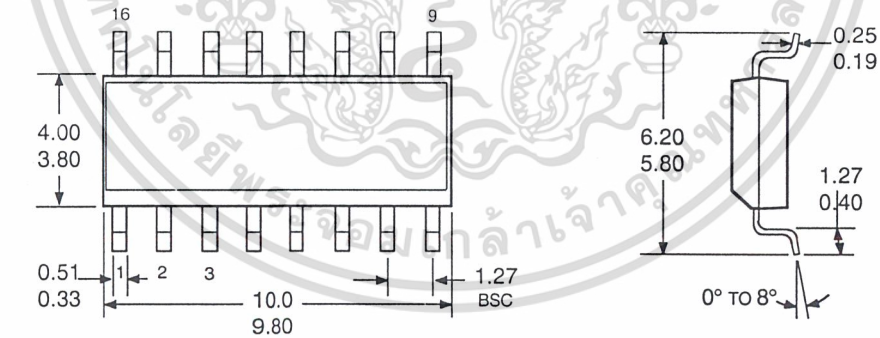
2003 THRU 2024  
**HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**PACKAGE DESIGNATOR "L"**

Dimensions in Inches  
(for reference only)



Dimension in Millimeters  
(controlling dimensions)



- NOTES: 1. Lead spacing tolerance is non-cumulative.  
2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**



*The products described here are manufactured under one or more U.S. patents or U.S. patents pending.*

*Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.*

*Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.*

*The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.*



115 Northeast Cutoff, Box 15036

Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

Allegro MicroSystems, Inc. ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลนี้ไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้