

การควบคุมอากาศยานด้วยฟัซซี่  
AVIATION FUZZY CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบะบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอากาศยานด้วยฟัซซี่  
AVIATION FUZZY CONTROL

โดย

นายกวิน      คุลย์กานนท์      45015185  
นายนิคม      มะลิซ้อน      45015198  
นายปิยะภัทร      กรีสระเดช      45015200

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ยุทธนา      กิดใจเดียว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมอากาศยานด้วยพีซี

ผู้จัดทำ

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 1. นายกวิน     | คุลย์กานนท์ |
| 2. นายนิคม     | มะลิซ้อน    |
| 3. นายปิยะภัทร | กริสุระเดช  |

ลงชื่อ



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ยุทธนา คีตใจเดียว)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอากาศยานด้วยฟัซซี่  
AVIATION FUZZY CONTROL

ผู้จัดทำ

1. นายกวิน                      ศุภย์กานนท์
2. นายนิคม                    มะลิซ้อน
3. นายปิยะภัทร            กริสุระเดช

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ยุทธนา คิดใจเดียว อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น  
อย่างยิ่ง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในระหว่างขั้นตอนการทำงาน ขอขอบพระคุณอาจารย์  
ประภากร สุวรรณ อาจารย์ชินภัทร นันทจิรากรชัย และอาจารย์เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง ที่ได้ให้  
คำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการทำโครงการนี้ รวมถึงทุกคนที่ไม่ได้กล่าวถึงที่มีส่วนช่วย  
ให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การควบคุมอากาศยานด้วยพีซซี

|                 |                               |          |
|-----------------|-------------------------------|----------|
| นาย กวิน        | ดุลย์กานนท์                   | 45015185 |
| นาย นิคม        | มะลิซ้อน                      | 45015198 |
| นาย ปิยะภัทร    | กรีสุระเดช                    | 45015200 |
| ผศ.ดร. ยุทธนา   | คิดใจเดียว (อาจารย์ที่ปรึกษา) |          |
| ปีการศึกษา 2547 |                               |          |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบการใช้ทฤษฎีพีซซีในการควบคุมงานด้านอากาศยาน โดยใช้ อัลตราโซนิกเป็นตัววัดระยะทาง ซึ่งระยะทางที่ได้นี้จะเป็นตัวทำให้อากาศยานสามารถทรงตัวอยู่ได้ โดยการนำคาบเวลาที่วัดได้จากอัลตราโซนิก มาคำนวณเป็นระยะทางในคอมพิวเตอร์ จากนั้น ระยะทางที่ได้จะนำไปเข้าสู่กฎของพีซซี และทำการประมวลผล ซึ่งเอาต์พุตที่ได้ จะส่งให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปทำการสร้างพัลส์ เพื่อนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ที่อยู่ในตัวอากาศยาน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมและรักษาระดับ การทรงตัวของอากาศยาน

## AVIATION FUZZY CONTROL

Kawin Dunkanon (ID 45015185)

Nikhom Malisons (ID 45015198)

Piyapat Greesuradej (ID 45015200)

Assist. Prof. Dr. Yutthana Kidjaideaw (Advisor)

### ABSTRACT

This project presents the aviation control system using fuzzy theory for stability. The system consists of ultrasonic sensors measuring distance on the aviation. The measured distance was sent to fuzzy control system. The output of fuzzy system was transfer to microcontroller then pulse signal will be constructed and sent to control the stability of aviation passing servo motors on the aviation.



## สารบัญ

|                 | หน้า |
|-----------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ | I    |
| บทคัดย่อ        | II   |
| ABSTRACT        | III  |
| สารบัญ          | IV   |
| สารบัญรูป       | VI   |
| สารบัญตาราง     | VIII |

## บทที่ 1 บทนำ

1

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.1 ตัวควบคุมพีซีลอจิก                               |    |
| 2.1.1 ทฤษฎีพีซี                                      | 2  |
| 2.1.2 แบบจำลองพีซี                                   | 5  |
| 2.1.3 แบบจำลองพีซีที่สามารถปรับตัวเองได้             | 16 |
| 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)              |    |
| 2.2.1 AT89C51                                        | 16 |
| 2.2.2 AT89C52                                        | 23 |
| 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับอัลตราโซนิก                     |    |
| 2.3.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก        | 24 |
| 2.3.2 คลื่นอัลตราโซนิก                               | 25 |
| 2.3.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก                        | 25 |
| 2.3.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก           | 26 |
| 2.3.5 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์                       | 30 |
| 2.4 รูปแบบของการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port)       |    |
| 2.4.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232                   | 33 |
| 2.4.2 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ | 33 |
| 2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)                     |    |
| 2.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์              | 36 |
| 2.5.2 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์                      | 36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6 เฮลิคอปเตอร์ (Helicopter)                                                 |    |
| 2.6.1 หลักพื้นฐานการบินของเฮลิคอปเตอร์                                        | 37 |
| 2.6.2 คำจำกัดความ และศัพท์ทางเทคนิค                                           | 37 |
| <b>บทที่ 3</b> การออกแบบโครงสร้างการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด                 |    |
| 3.1 การออกแบบทางด้านโครงสร้าง                                                 |    |
| 3.1.1 โมเดลเฮลิคอปเตอร์ (Model Helicopter)                                    | 41 |
| 3.1.2 การออกแบบระบบรักษาระดับความสูง<br>และรักษาการทรงตัวด้วยคลื่นอัลตราโซนิก | 42 |
| 3.1.3 โครงสร้างการทำงานของระบบฟัซซี่ (Fuzzy System)                           | 44 |
| 3.2 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์                                                  |    |
| 3.2.1 วงจรภาคส่ง-ภาครับ คลื่นอัลตราโซนิก                                      | 47 |
| 3.2.2 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์                                           | 49 |
| 3.3 การออกแบบทางด้านโปรแกรม                                                   |    |
| 3.3.1 ส่วนควบคุมโดยใช้ ฟัซซี่โลจิก                                            | 52 |
| 3.3.2 ส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์                                       | 53 |
| <b>บทที่ 4</b> การทดลองและผลการทดลอง                                          |    |
| 4.1 การทดลองและผลการทดลอง ภาครับ-ภาคส่ง อัลตราโซนิก                           |    |
| 4.1.1 ทดลองวงจรภาคส่งอัลตราโซนิก                                              | 57 |
| 4.1.2 ทดลองวัดระยะเทียบกับระยะจริงโดยชุดรับ 1 ชุด และ ชุดส่ง 1 ชุด            | 65 |
| 4.2 การทดลองโปรแกรมฟัซซี่                                                     | 66 |
| <b>บทที่ 5</b> สรุปผลการทดลอง                                                 |    |
| 5.1 สรุปผลการทดลองภาครับ-ภาคส่ง อัลตราโซนิก                                   | 67 |
| 5.2 สรุปผลการทดลองโปรแกรมในส่วนของฟัซซี่                                      | 68 |



## สารบัญรูป

หน้า

|             |                                                                                            |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.1  | บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟิชชีลอจิก                                                         | 5  |
| รูปที่ 2.2  | แผนผังการควบคุม Stream Turbine                                                             | 7  |
| รูปที่ 2.3  | แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก)อุณหภูมิ (ข)ความดัน (ค)การเปิดปิดวาล์ว                             | 8  |
| รูปที่ 2.4  | แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต COOL และ NORMAL                                    | 10 |
| รูปที่ 2.5  | แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต LOW และ OK                                         | 11 |
| รูปที่ 2.6  | ขั้นตอนการประมาณค่า $I[y]$ โดยคำนวณจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด                            | 13 |
| รูปที่ 2.7  | แสดงการ Defuzzification โดยใช้ค่าสูงสุดของค่าอัตราความเป็นสมาชิก                           | 14 |
| รูปที่ 2.8  | แสดงการ Defuzzification โดยใช้วิธี COA                                                     | 15 |
| รูปที่ 2.9  | แสดงขาของ 89C51                                                                            | 18 |
| รูปที่ 2.10 | แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว                                                               | 25 |
| รูปที่ 2.11 | แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง                                                              | 26 |
| รูปที่ 2.12 | แสดงการบีตส์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น                                                          | 27 |
| รูปที่ 2.13 | แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง                                                                 | 27 |
| รูปที่ 2.14 | แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่                      | 28 |
| รูปที่ 2.15 | แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน                                  | 28 |
| รูปที่ 2.16 | แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง                                               | 28 |
| รูปที่ 2.17 | ผลของเปียโซอิเล็กทริก                                                                      | 31 |
| รูปที่ 2.18 | วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก                                                              | 31 |
| รูปที่ 2.19 | การเชื่อมต่อภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ                                | 34 |
| รูปที่ 2.20 | การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 โดยแบ่งตามชนิด DB-9 และ DB-25 ตามลำดับ | 34 |
| รูปที่ 2.21 | โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม                                                        | 35 |
| รูปที่ 2.22 | สัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์                                                     | 36 |
| รูปที่ 2.23 | แสดงตำแหน่งของใบพัดหลัก และใบพัดหาง                                                        | 37 |
| รูปที่ 2.24 | แสดงการเกิด Lift Force                                                                     | 38 |
| รูปที่ 2.25 | แสดงส่วนต่างๆ ของ Airfoil                                                                  | 38 |
| รูปที่ 3.1  | บล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด                                                  | 40 |
| รูปที่ 3.2  | โมเดลเฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้า                                                                     | 41 |
| รูปที่ 3.3  | การออกแบบรูปสัญญาณ Output ของตัวส่ง                                                        | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



|             |                                                              |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 3.4  | แสดง And gate ที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์                       | 43 |
| รูปที่ 3.5  | แสดงโครงสร้างของระบบ SENSOR                                  | 43 |
| รูปที่ 3.6  | การวางตำแหน่งอัลตราโซนิกเซนเซอร์                             | 43 |
| รูปที่ 3.7  | โครงสร้างการทำงานของระบบฟัซซี่ (Fuzzy System)                | 44 |
| รูปที่ 3.8  | แสดง Member ship function in put                             | 45 |
| รูปที่ 3.9  | แสดง Member ship function out put                            | 45 |
| รูปที่ 3.10 | แสดงภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก                                   | 48 |
| รูปที่ 3.11 | แสดงภาครับคลื่นอัลตราโซนิก                                   | 49 |
| รูปที่ 3.12 | เป็นการแสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์            | 49 |
| รูปที่ 3.13 | ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมชุดอัลตราโซนิก                  | 50 |
| รูปที่ 3.14 | ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุม ดีซีมอเตอร์ และ เซอร์โวมอเตอร์ | 50 |
| รูปที่ 3.15 | วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์                                     | 51 |
| รูปที่ 3.16 | แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมฟัซซี่                          | 52 |
| รูปที่ 3.17 | แสดงการทำงานของโปรแกรม Main Controller                       | 53 |
| รูปที่ 3.18 | แสดงการทำงานของโปรแกรม AT89C52                               | 54 |
| รูปที่ 3.19 | แสดงการทำงานของโปรแกรม AT89C2051 ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์        | 55 |
| รูปที่ 3.20 | แสดงการทำงานโดยรวมของโปรแกรมทั้งหมด                          | 56 |
| รูปที่ 4.1  | แสดงสัญญาณภาคส่งอัลตราโซนิกและจุดที่ต้องวัด                  | 57 |
| รูปที่ 4.2  | แสดงสัญญาณที่จุด 1                                           | 58 |
| รูปที่ 4.3  | แสดงสัญญาณที่จุด 2                                           | 58 |
| รูปที่ 4.4  | แสดงสัญญาณที่จุด 3                                           | 59 |
| รูปที่ 4.5  | แสดงสัญญาณที่จุด 4                                           | 59 |
| รูปที่ 4.6  | แสดงสัญญาณที่จุด 5                                           | 60 |
| รูปที่ 4.7  | แสดงสัญญาณที่จุด 6 เทียบ 7                                   | 60 |
| รูปที่ 4.8  | แสดงวงจรภาครับอัลตราโซนิกและจุดที่ต้องวัด                    | 61 |
| รูปที่ 4.9  | แสดงสัญญาณที่จุด A                                           | 61 |
| รูปที่ 4.10 | แสดงสัญญาณที่จุด B                                           | 62 |
| รูปที่ 4.11 | แสดงสัญญาณที่จุด C                                           | 62 |
| รูปที่ 4.12 | แสดงสัญญาณที่จุด D                                           | 63 |
| รูปที่ 4.13 | แสดงสัญญาณที่จุด E                                           | 63 |
| รูปที่ 4.14 | แสดงสัญญาณที่จุด F                                           | 64 |
| รูปที่ 4.15 | แสดงสัญญาณที่จุด F เทียบกับจุด 6 ของภาคส่ง                   | 64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญตาราง

หน้า

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 2.1 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีลอจิก ตามนิยามของ Zadeh                               | 3  |
| ตารางที่ 2.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีลอจิก ตามนิยามของ Baldwin                             | 4  |
| ตารางที่ 2.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุม STREAM TURBINE                                                  | 10 |
| ตารางที่ 2.4 แสดงกฎที่เป็นจริงของ FAM เมื่อ $T[t] = 190^{\circ}\text{C}$ และ $P[t] = 100 \text{ KgmM}^{-2}$ | 12 |
| ตารางที่ 2.5 แสดงหน้าที่ของขา Port 3 ของ 8051                                                               | 17 |
| ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของ Register ที่ใช้กับ Timer                                                     | 19 |
| ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดภายใน Register TMOD                                                              | 20 |
| ตารางที่ 2.8 การเลือกโหมดของ Timer                                                                          | 21 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดระยะเทียบกับระยะจริง โดยชุดรับ 1 ชุด และ ชุดส่ง 1 ชุด                             | 65 |
| ตารางที่ 4.2 การทดลองโปรแกรมพีชชี ในระยะความสูงต่างๆ                                                        | 66 |
| ภาคผนวก                                                                                                     |    |
| บรรณานุกรม                                                                                                  |    |



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันโลกได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วในหลายๆด้าน โดยมนุษย์นั้นได้พยายามทำให้กระบวนการประมวลผล หรือการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ คล้ายคลึงกับมนุษย์มากที่สุด การทำให้สิ่งประดิษฐ์ทำงานคล้ายนั้นมีหลายทฤษฎีที่ใช้อ้างอิง โดยหนึ่งในนั้น คือทฤษฎีฟัซซี่ ซึ่งทฤษฎีฟัซซี่นั้นสามารถนำมาใช้ในการควบคุมสิ่งต่างๆรอบตัวได้ เช่น ควบคุมระบบของรถไฟฟ้า เครื่องซักผ้า และอื่นๆอีกมากมาย โดยทฤษฎีฟัซซี่เป็นทฤษฎีที่ทำให้สิ่งประดิษฐ์ต่างๆมีกระบวนการคิดและการตัดสินใจคล้ายมนุษย์นั้นหมายถึงการทำให้สิ่งประดิษฐ์ต่างๆมีกระบวนการทำงานที่ละเอียดขึ้น ซึ่งจะทำให้ใช้งานง่ายขึ้น หรือมนุษย์อาจไม่จำเป็นต้องควบคุมการทำงานเอง โดยให้การตัดสินใจทั้งหมดขึ้นอยู่กับสิ่งประตษฐ์นั้นๆ ดังเช่นในโครงงานนี้จะนำทฤษฎีฟัซซี่มาใช้ในการควบคุมงานด้านอากาศยาน

ในโครงงานนี้จะใช้อัลตราโซนิกในการวัดระยะทาง โดยจะใช้ภาครับของอัลตราโซนิกจำนวน 3 ชุด ระยะทางที่วัดได้จากอัลตราโซนิกทั้ง 3 ชุดจะใช้เป็นตัวรักษาระดับ และการทรงตัวของอากาศยาน ระยะทางที่ได้จากอัลตราโซนิกนี้จะถูกนำไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์โดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่ และเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลนั้นจะถูกนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor) ที่อยู่ในอากาศยาน เพื่อควบคุมให้อากาศยานสามารถทรงตัวอยู่ได้ในอากาศ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

##### 2.1.1 ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิกเป็นทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ที่ขยายมาจากทฤษฎีตรรกศาสตร์หลายค่า (Multivalued logic) โดยนิยามค่าความจริงของประพจน์เป็นตัวแปรลิงกวิสติกได้และมีการนิยามการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์สำหรับฟัซซี่ลอจิกไว้ต่าง ๆ กัน ในวิทยานิพนธ์นี้ จะอ้างอิงจากนิยามดั้งเดิมของ Zadeh ดังต่อไปนี้

##### นิยาม 1 ค่าความจริงของประพจน์ในทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

กำหนดให้  $V(A)$  เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์  $V = [0, 1]$  ซึ่งแทนค่าความจริงของประพจน์  $A$  จะได้ว่า

$$V(A) = \{(V_i, \mu_i | i = 1, 2, \dots, n, V_i \in [0, 1])\} \quad (2.1)$$

$$V(\text{not } A) = \{(1 - V_i, \mu_i | i = 1, 2, \dots, n, V_i \in [0, 1])\} \quad (2.2)$$

##### นิยาม 2 การปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์ในทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

กำหนดให้

$$V(A) = \{(V, \mu_A | \mu_A(V) \in [0, 1], V \in [0, 1])\}$$

$$V(B) = \{(V, \mu_B | \mu_B(V) \in [0, 1], V \in [0, 1])\}$$

จะได้ว่า

$$V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \{(V, \min\{\mu_A(V), \mu_B(V)\})\} \quad (2.3)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \{(V, \max\{\mu_A(V), \mu_B(V)\})\} \quad (2.4)$$

$$\neg V(A) = \{(V, 1 - \mu_A(V))\} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} V(A) \rightarrow V(B) &= V(A \rightarrow B) = \neg V(A) \vee V(B) \\ &= \{(V, \max\{(1 - \mu_A(V)), \mu_B(V)\})\} \end{aligned} \quad (2.6)$$



ในกรณีนี้

$$V(A) = \{(V_\tau, \alpha_\tau) | i = 1, 2, \dots, n; V_\tau \in [0, 1]; \alpha_\tau \in [0, 1]\}$$

$$V(B) = \{(\omega_\tau, \beta_\tau) | i = 1, 2, \dots, n; \omega_\tau \in [0, 1]; \beta_\tau \in [0, 1]\}$$

จะได้ว่า

$$V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \left\{ \begin{array}{c} \min\{V_i, \omega_i\}, \max \min\{\alpha_i, \beta_i\} \\ \min\{V_i, \omega_i\} \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \left\{ \begin{array}{c} \max\{V_i, \omega_i\}, \max \min\{\alpha_i, \beta_i\} \\ \max\{V_i, \omega_i\} \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} V(A) \rightarrow V(B) &= V(A \rightarrow B) = \neg V(A) \wedge V(B) \\ &= \left\{ \begin{array}{c} \max\{V_i, \omega_i\}, \min\{1 - \alpha_i, \beta_i\} \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Zadeh ได้เสนอตารางความจริง สำหรับพิจารณาค่าความจริงในการปฏิบัติการของฟัซซี่ลอจิก โดยการขยายจากตรรกศาสตร์บูลีน มาเป็นตรรกะ 3 ค่า คือ true (T), false (F), และ unknow (T+F) ได้ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิก ตามนิยามของ Zadeh

| A   | B   | $\wedge$ | $\vee$ | $\neg A$ |
|-----|-----|----------|--------|----------|
| T   | T   | T        | T      | F        |
| T   | F   | F        | T      | F        |
| T   | T+F | T+F      | T      | F        |
| F   | T   | F        | T      | T        |
| F   | F   | F        | F      | T        |
| F   | T+F | F        | T+F    | T        |
| T+F | T   | T+F      | T      | T+F      |
| T+F | F   | F        | T+F    | T+F      |
| T+F | T+F | T+F      | T+F    | T+F      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Baldwin ได้เสนอการสร้างตารางความจริงสำหรับฟัซซี่ลอจิก โดยทำให้นิยามทอมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลึงกวิสติก “Truth” ซึ่งแสดงดังนี้

$$\text{True} = \{(V, \mu_{\text{true}}(V) = V) | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{False} = \{(V, \mu_{\text{false}}(V) = 1 - \mu_{\text{true}}(V)) | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{Very true} = \{(V, \mu_{\text{true}}(V)^2 | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{Very false} = \{(V, (1 - \mu_{\text{true}}(V))^2 | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{Fairly true} = \{(V, \mu_{\text{true}}(V)^{1/2} | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{Fairly false} = \{(V, (1 - \mu_{\text{true}}(V))^{1/2} | V \in [0, 1]\}$$

$$\text{Undecided} = \{(V, 1 | V \in [0, 1]\}$$

ดังนั้น

$$(\text{very})^k \text{ true} \rightarrow \text{absolutely true} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{very})^k \text{ false} \rightarrow \text{absolutely false} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{fairly})^k \text{ true} \rightarrow \text{undecided} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{fairly})^k \text{ false} \rightarrow \text{undecided} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

นอกจากนี้ Baldwin ได้นิยามตัวปฏิบัติการ “And” และ “Or” ด้วย Minimum และ Maximum ตามลำดับและสร้างตารางความจริงของการปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิกได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิก ตามนิยาม Baldwin

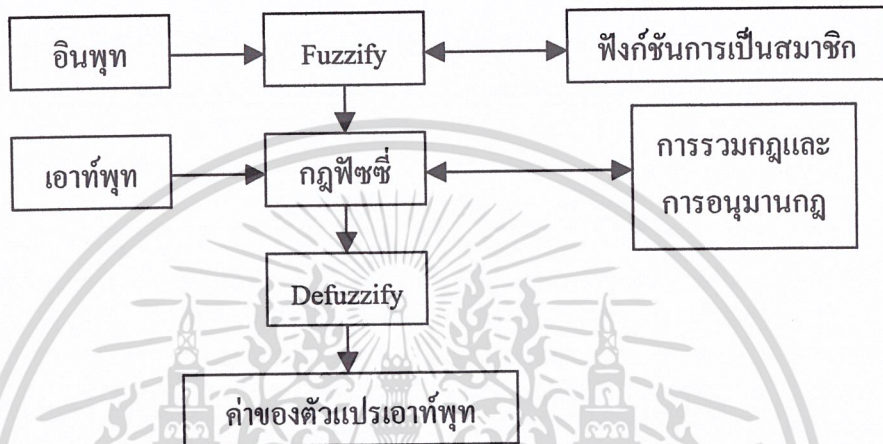
| V(P)      | V(Q)        | V(PandQ)    | V(PorQ)   |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
| False     | False       | False       | False     |
| True      | False       | False       | True      |
| True      | True        | True        | True      |
| Undecided | False       | False       | Undecided |
| Undecided | True        | Undecided   | True      |
| Undecided | Undecided   | Undecided   | Undecided |
| True      | Very true   | True        | Very true |
| True      | Fairly true | Fairly true | True      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.1.2 แบบจำลองฟัซซี่ (Fuzzy Model)

จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว ทั้งหมดในเรื่องของ ฟัซซี่เซตจะถูกนำมาใช้ในแบบจำลองฟัซซี่ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการอนุมานค่าของตัวแปร ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก

จากบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองของฟัซซี่ลอจิก สามารถแยกอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. อินพุตและเอาต์พุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกก็คือ ตัวแปรของฟัซซี่เซต ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวอาจจะมีเทอมเซตได้หลายเทอม อินพุตซึ่งเป็นตัวแปรของระบบ (State Variables) อาจจะมีที่ตัวก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบ สำหรับตัวแปรของเอาต์พุตหรือที่เรียกว่า Action Variables ซึ่งเป็นตัวแปรที่ถูกประมาณค่าโดยแบบจำลองของฟัซซี่ลอจิก เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกฎฟัซซี่เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป ปัญหาที่เกิดขึ้นตอนนี้ก็คือการกำหนดจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปรว่าควรจะมีกี่เทอม จึงจะทำให้การอนุมานค่าของตัวแปรเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียง ค่าตัวแปรที่แท้จริงมากที่สุด ซึ่งจุดนี้ผู้ออกแบบจำลองฟัซซี่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบที่กำลังออกแบบอยู่พอสมควร

2. Fuzzify เป็นขั้นตอนการแปลงค่าของตัวแปรของอินพุตไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้เสนอไปแล้ว การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปร เช่น ถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นจะต้องเลือกฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วยซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วย เช่น ฟังก์ชันรูปตัว S,  $\pi$ , Beta, Gaussian



3. กฎฟัซซี่ (Fuzzy Rules) จะประกอบด้วยประพจน์ของฟัซซี่ โดยกฎฟัซซี่จะอยู่ในรูปของ IF-THEN เช่น

IF X is small THEN Y is positive

ที่ X และ Y เป็นตัวแปรฟัซซี่ ส่วน small และ positive เป็นเทอมเซตที่สอดคล้องกับตัวแปร X, Y และประพจน์ของฟัซซี่เซตคือ X is small และ Y is positive ประพจน์ที่ตามหลัง IF จะเป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือ ส่วนของอินพุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกนั่นเอง และประพจน์ที่ตามหลัง THEN จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาต์พุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก Antecedent อาจจะประกอบด้วยหลายประพจน์ซึ่งจำนวนของประพจน์จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรของอินพุต และจำนวนของเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัว เช่น ถ้าอินพุตมีสองตัวแปรในส่วนของ Antecedent จะมีสองประพจน์ต่อกันในกฎหนึ่งกฎและในการเชื่อมต่อกันของประพจน์จะต้องมีตัวเชื่อมซึ่งในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกจะมีตัวเชื่อมอยู่สองตัวด้วยกันคือ ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน เช่น ในกรณีที่เชื่อมด้วยยูเนียน

IF X small OR T is cool THEN Y is positive

และในกรณีที่เชื่อมด้วยอินเตอร์เซกชัน

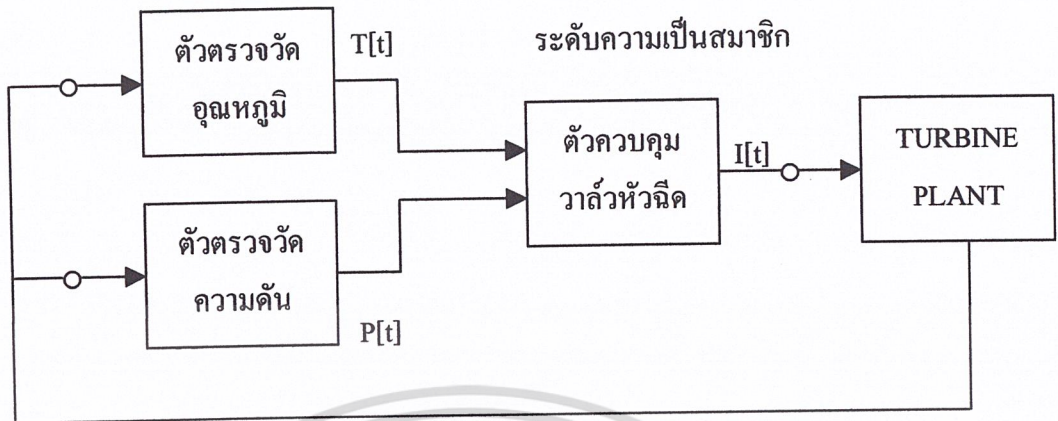
IF X small AND T is cool THEN Y is positive

นอกจากนี้ในกฎฟัซซี่เทอมเซตอาจจะมี Hedge มาขยายเช่น very และ large

IF X very small THEN Y is large positive

สำหรับจำนวนกฎในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกของระบบหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรอินพุตและจำนวนเทอมของแต่ละตัวแปร เช่น ถ้าอินพุตมีสองตัวแปรและตัวแปรแต่ละตัวมี 5 เทอมเซตซึ่งจำนวนกฎทั้งหมดจะมีเท่ากับ 25 กฎ ตัวอย่างของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่ใช้กับระบบของ stream turbine ซึ่งมีแผนผังการควบคุมดังรูปที่ 2.2

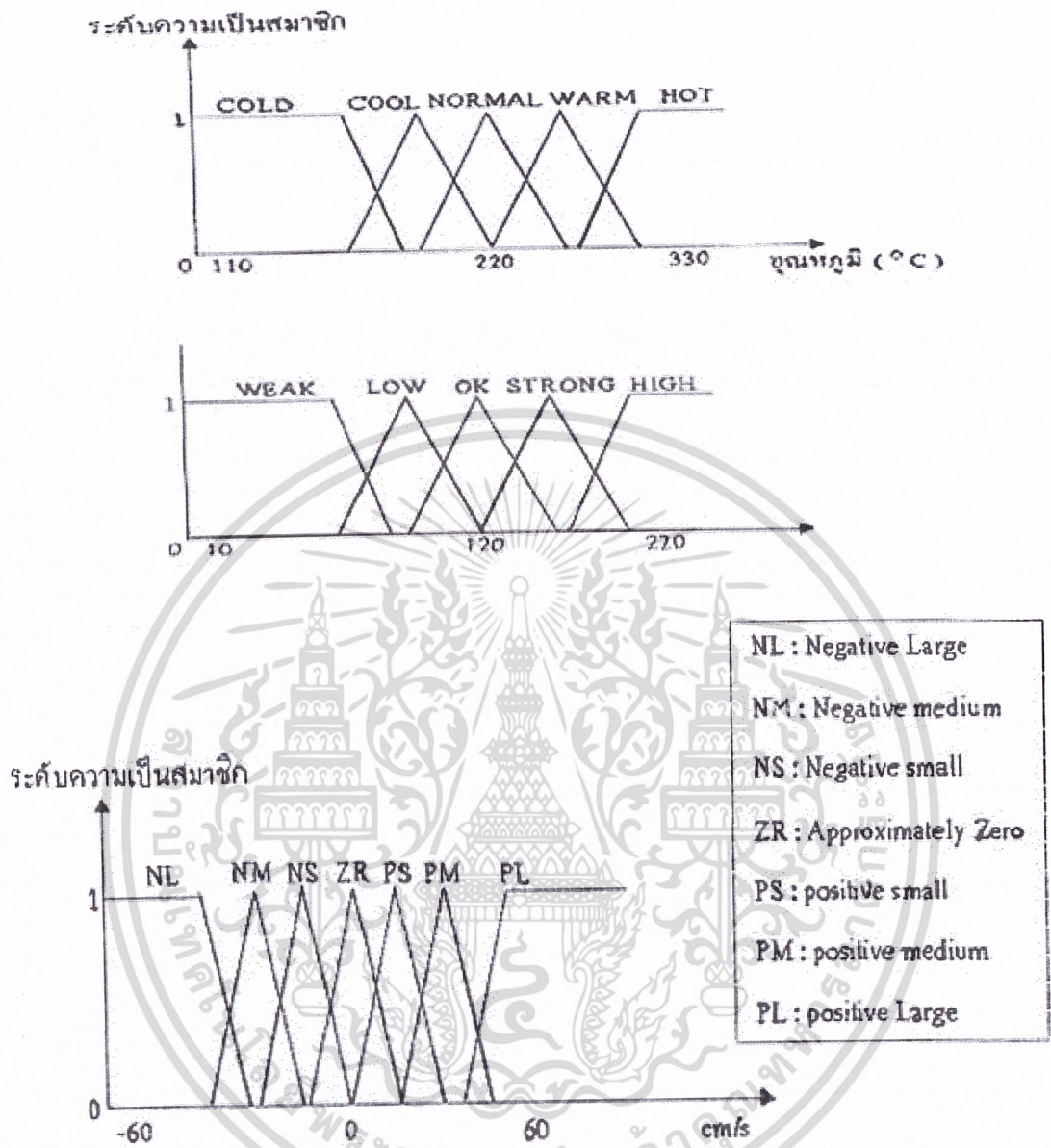




รูปที่ 2.2 แผนผังการควบคุม Stream Turbine

จากแผนผังของกระบวนการควบคุมของ Stream Turbine อินพุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกมีตัวแปรสองตัว คือ อุณหภูมิ และความดัน ส่วนเอาต์พุตมีตัวแปรหนึ่งตัว คือ การเปิดวาล์ว ตัวแปรของอินพุตแต่ละตัวจะมีเทอมเซตอย่างละ 5 เทอมคือ ถ้ากำหนดให้  $T[t]$  เป็นตัวแปรของอุณหภูมิที่วัดได้ในเวลา  $t$  ใด ๆ ซึ่งมีค่าของตัวแปรอยู่ 5 ค่าด้วยกันคือ  $T[t] = \{\text{cold, cool, normal, warm, hot}\}$  และสำหรับตัวแปรของความดันที่วัดได้ในเวลา  $t$  ใด ๆ ซึ่งมีค่าของตัวแปรนี้อยู่ 5 ค่าเช่นกันคือ  $P[t] = \{\text{weak, low, ok, strong, high}\}$  และตัวแปรของเอาต์พุต  $I[t]$  มี 7 เทอมเซตคือ  $I[t] = \{\text{NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL}\}$  ในรูปที่ 2.3 แสดงเทอมเซตของตัวแปรทั้ง 3 ตัวของระบบการควบคุม Stream Turbine





รูปที่ 2.3 แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก)อุณหภูมิ (ข)ความดัน (ค)การเปิดปีควาล์ว  
 เมื่อออกแบบเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวได้แล้ว ก็นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมา  
 เขียนเป็นกฎฟัซซี่ได้ดังนี้

IF T[t] is cold AND P [t] is weak

THEN I[t] is positive large

IF T[t] is cool AND P [t] is weak

THEN I[t] is positive large

IF T[t] is normal AND P [t] is weak

THEN I[t] is positive medium

IF T[t] is warm AND P [t] is weak

THEN I[t] is positive medium

IF T[t] is hot AND P [t] is weak

THEN I[t] is positive small

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| IF T[t] is cold AND P [t] is low    | THEN I[t] is positive medium    |
| IF T[t] is cool AND P [t] is low    | THEN I[t] is positive medium    |
| IF T[t] is normal AND P [t] is low  | THEN I[t] is positive small     |
| IF T[t] is warm AND P [t] is low    | THEN I[t] is positive small     |
| IF T[t] is hot AND P [t] is low     | THEN I[t] is positive small     |
| IF T[t] is cold AND P [t] is low    | THEN I[t] is positive small     |
| IF T[t] is cool AND P [t] is ok     | THEN I[t] is approximately zero |
| IF T[t] is normal AND P [t] is ok   | THEN I[t] is approximately zero |
| IF T[t] is warm AND P [t] is ok     | THEN I[t] is negative small     |
| IF T[t] is hot AND P [t] is ok      | THEN I[t] is negative medium    |
| IF T[t] is cold AND P [t] is strong | THEN I[t] is negative small     |
| IF T[t] is cool AND P [t] is strong | THEN I[t] is negative medium    |
| IF T[t] is warm AND P [t] is strong | THEN I[t] is negative small     |
| IF T[t] is hot AND P [t] is strong  | THEN I[t] is negative large     |
| IF T[t] is cold AND P [t] is high   | THEN I[t] is negative medium    |
| IF T[t] is cool AND P [t] is high   | THEN I[t] is negative medium    |
| IF T[t] is normal AND P [t] is high | THEN I[t] is negative medium    |
| IF T[t] is warm AND P [t] is high   | THEN I[t] is negative large     |
| IF T[t] is hot AND P [t] is high    | THEN I[t] is negative large     |

จากกฎทั้ง 25 กฎของระบบนี้ สามารถนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรได้ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งเมตริกซ์จะถูกเรียกว่า Fuzzy Associative Memory (FAM) FAM จะมีมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุต ซึ่งในตัวอย่างนี้มีสองตัวแปรดังนี้ FAM จะมีเมตริกซ์เป็นสองมิติขนาด  $MXN$  เมื่อ  $M$  แทนจำนวนเทอมเซตของตัวแปรอุณหภูมิ และ  $N$  เป็นจำนวนเทอมเซตของตัวแปรความดัน และสมาชิกของเมตริกซ์นี้คือค่าของตัวแปรเอาต์พุตทั้ง 7 เทอม ส่วนในกรณีอื่น ๆ เช่นถ้าตัวแปรของอินพุตมี 3 ตัว FAM จะมี 3 มิติและขนาดของตาราง 3 มิติและขนาดของตาราง 3 มิตินี้จะเป็น  $M * N * P$  เมื่อ  $M, N$  และ  $P$  เป็นจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปร เป็นต้น



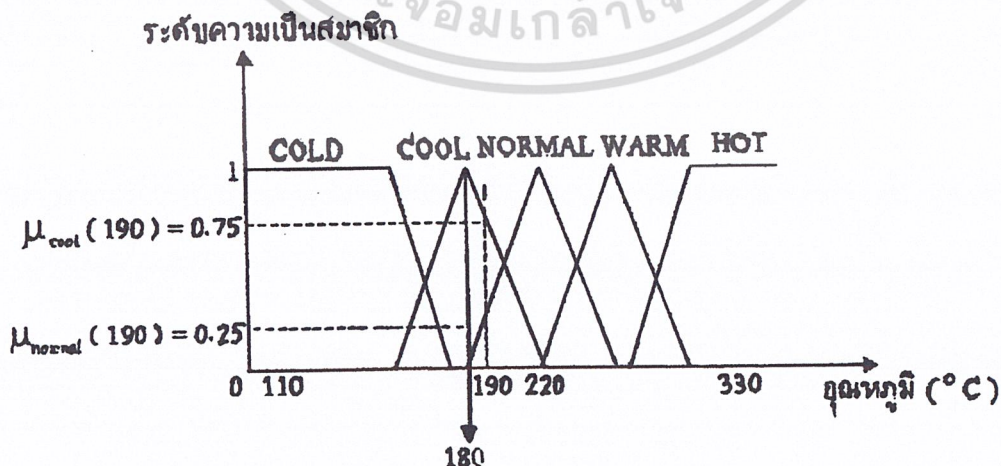
ตาราง 2.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุม STREAM TURBINE

| อุณหภูมิ \ ความดัน | COLD | COOL | NORMAL | WARM | HOT |
|--------------------|------|------|--------|------|-----|
| WEAK               | PL   | PL   | PM     | PM   | PS  |
| LOW                | PM   | PM   | PS     | PS   | PS  |
| OK                 | PS   | ZR   | ZR     | NS   | MS  |
| STRONG             | NS   | NM   | NS     | NM   | NL  |
| HIGH               | NM   | NM   | NM     | NL   | NL  |

4. Defuzzify (Defuzzification) เป็นกระบวนการประมาณค่าของตัวแปรเอาต์พุต โดยการอนุมานจากค่าความจริงในส่วนของ Antecedent ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โดยค่าที่ได้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาต์พุตและค่านี้จะเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของตัวแปรฟัซซี่เซต ที่นำไปใช้ในการควบคุมระบบต่อไป สำหรับการหาค่าคาดหวังของฟัซซี่เซตโดยการ Defuzzification นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

4.1 กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด (เฉพาะเทอมเซตที่เป็นสมาชิกเท่านั้น  $\mu_A(X) > 0$  เมื่อ A เป็นเทอมเซตใด ๆ) ของ Antecedent จากตัวอย่างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่ใช้กับระบบ Stream Turbine ในขั้นตอนของกฎฟัซซี่สามารถประมาณค่า I ที่เวลา t ใด ๆ ได้ดังนี้

สมมุติอุณหภูมิที่วัดได้เวลาเท่ากับ  $190^{\circ}\text{C}$  และความดันที่เวลาเดียวกับที่วัดอุณหภูมิเท่ากับ  $100 \text{ Kgmm}^{-2}$  จากกฎฟัซซี่เทอมเซต COOL และ NORMAL ที่ถูกนำมาพิจารณาดังนั้นเราสามารถประมาณค่าระดับการเปิดปิดวาล์วได้ดังนี้ดังรูปที่ 2.4



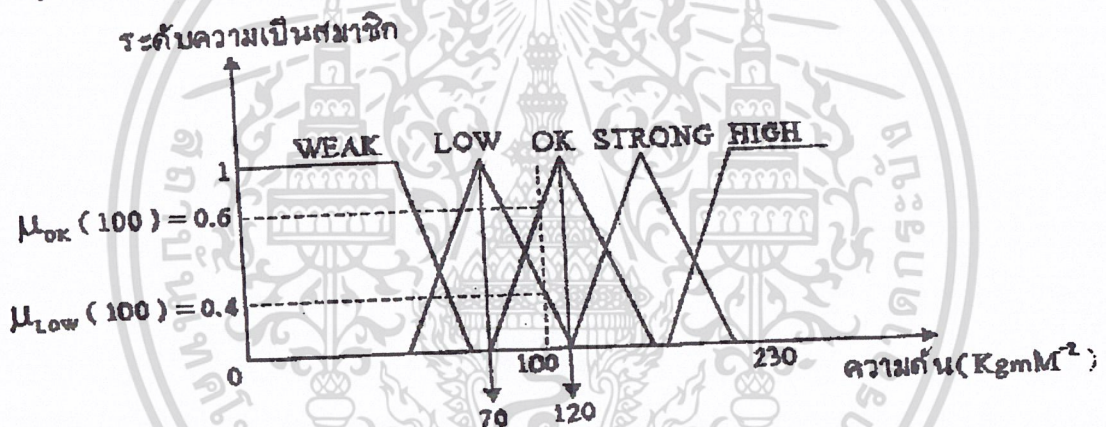
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\begin{aligned}\mu_{\text{COOL}}(X = 190; a = 140, b = 180, c = 220) &= \frac{1}{c-b} (c-x) \\ &= \frac{1}{40} (220 - 190) \\ &= 0.75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{NORMAL}}(X = 190; a = 180, b = 220, c = 260) &= \frac{1}{b-a} (x-a) \\ &= \frac{1}{40} (190 - 180) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิ  $190^{\circ}\text{C}$  ไม่ได้เป็นสมาชิกของเทอมเซต COLD, WARM และ HOT สำหรับความดันที่  $100 \text{ Kgmm}^{-2}$  นั้นสาเหตุจากกฎฟัซซี่จะมีเทอมเซต LOW และ OK ที่ถูกนำมาพิจารณา ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต LOW และ OK

$$\begin{aligned}\mu_{\text{LOW}}(X = 100, a = 20, b = 70, c = 120) &= \frac{1}{c-b} (c-x) \\ &= \frac{1}{50} (120 - 100) \\ &= 0.4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{OK}}(X = 100, a = 70, b = 120, c = 170) &= \frac{1}{b-a} (x-a) \\ &= \frac{1}{50} (100 - 70) \\ &= 0.6\end{aligned}$$

ที่ความดัน  $100 \text{ Kgmm}^{-2}$  ไม่เป็นสมาชิกของเทอมเซต WEAK, STRONG, และ HIGH ดังนั้น

ที่  $T[t] = 190^{\circ}\text{C}$  และ  $P[t] = 100 \text{ Kgmm}^{-2}$  จะส่งผลให้เทอมเซต PM, ZR, และ PS เป็นเทอมที่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประมาณค่า  $I[t]$  พิจารณาเมตริกซ์ FAM ในตารางที่ 2.3 กฎฟัซซี่ที่เป็นจริงอยู่ 4 กฎด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.4 (กฎที่เป็นจริงจะถูกล้อมกรอบด้วยสี่ดำเข้ม)

ตารางที่ 2.4 แสดงกฎที่เป็นจริงของ FAM เมื่อ  $T[t] = 190^{\circ}\text{C}$  และ  $P[t] = 100 \text{ Kgmm}^{-2}$

| อุณหภูมิ / ความดัน | COLD | COOL | NORMAL | WARM | HOT |
|--------------------|------|------|--------|------|-----|
| WEAK               | PL   | PL   | PM     | PM   | PS  |
| LOW                | PM   | PM   | PS     | PS   | PS  |
| OK                 | PS   | ZR   | ZR     | NS   | MS  |
| STRONG             | NS   | NM   | NS     | NM   | NL  |
| HIGH               | NM   | NM   | NM     | NL   | NL  |

เราสามารถประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุต  $I[t]$  ด้วยค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุดได้ดังรูปที่ 2.6

4.2 กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าสูงสุดของ Antecedent จากขั้นตอนการประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุตในรูปที่ 2.6 จะมีความแตกต่างจากการ Defuzzification โดยใช้ค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุดในหัวข้อ 4.1 เฉพาะขั้นตอนการคำนวณค่า  $\mu_{\text{INFERENCE}}$  เท่านั้นซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

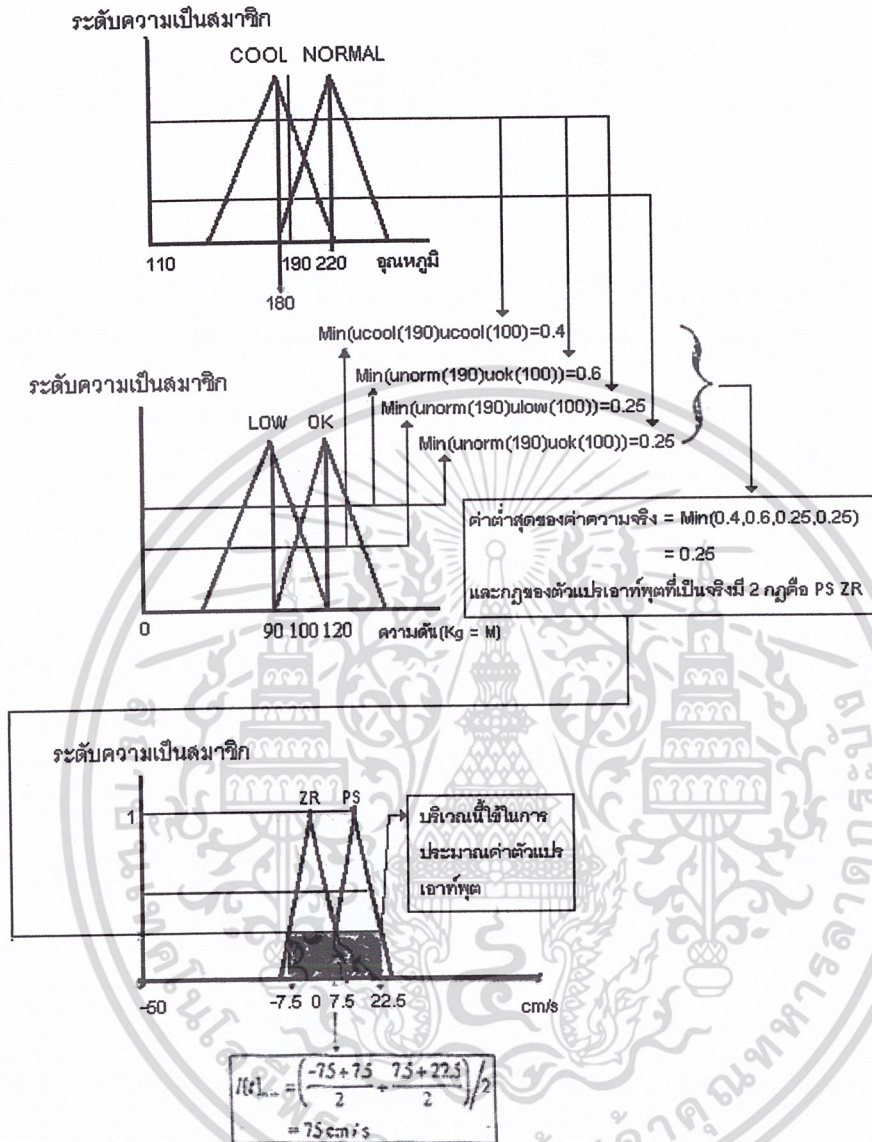
$$\begin{aligned}\mu_{\text{INFERENCE}} &= \text{Max} (0.4, 0.6, 0.25, 0.25). \\ &= 0.6\end{aligned}$$

กฎที่ใช้ในการประมาณค่า  $I[t]$  ในกรณีการ Defuzzification โดยวิธีนี้คือ

IF  $T[t]$  is cool AND  $P[t]$  is ok

THEN  $I[t]$  is approximately zero

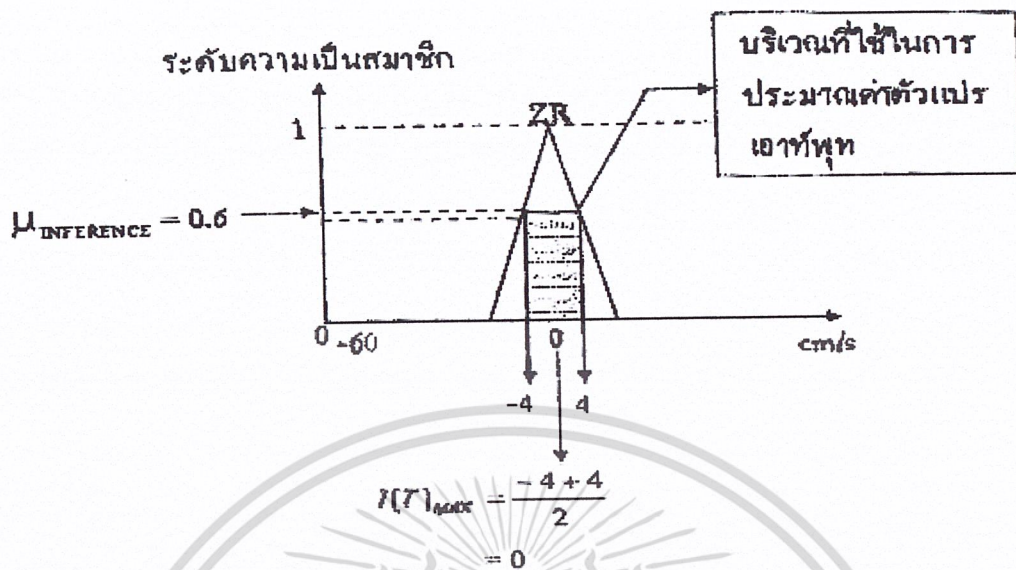
เนื่องจากกฎข้อนี้ให้ค่าความจริงที่มีค่าสูงสุด  $\mu_{\text{INFERENCE}} = 0.6$  ดังนั้นสามารถคำนวณค่าประมาณของ  $I[t]$  ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการประมาณค่า  $I[\mu]$  โดยคำนวณจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.7 แสดงการ Defuzzification โดยใช้ค่าสูงสุดของค่าอัตราความเป็นสมาชิก

4.3 คำนวณจากค่าเฉลี่ยของกฎที่มีค่าความจริงสูงสุด หรือที่เรียกว่าวิธี Mean of Maximum MOM วิธีนี้คล้ายกับวิธีที่ใช้ค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าสูงสุดในหัวข้อ 4.2 เพียงแต่เพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎเดียวกันเป็นตัวหารซึ่งจากตัวอย่างของการควบคุมระบบสามารถ คำนวณได้ดังนี้

$$I[T]MOM = \frac{-4 + 4}{0.6 + 0.6} = 0$$

4.4 การหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วง (Centroid หรือ Center of Area : COA) เป็นการประมาณค่าของตัวแปรเอาท์พุทโดยการหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกฎที่เป็นจริง ซึ่งลักษณะการคำนวณจะมีความแตกต่างจากสองวิธีแรก คือแทนที่จะประมาณค่าตัวแปรของเอาท์พุทโดยใช้ความจริงของกฎที่มีค่าความเป็นสมาชิกต่ำสุดหรือสูงสุด ก็จะใช้ค่าความจริงของกฎทุกข้อที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกมากกว่าศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้กฎทุกข้อที่ถูกล้อมกรอบด้วยเส้นทึบของตาราง FAM ในตารางที่ 2.4 ในตัวอย่างของระบบควบคุม Stream Turbine จะถูกนำมาประมาณค่าตัวแปร I[t] ทุกกฎซึ่งสามารถดำเนินการได้



จากขั้นตอนการประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุตในรูปที่ 2.6 กฎที่ใช้ในการประมาณค่า  $I[t]$  ในกรณีการ Defuzzification โดยวิธีนี้คือ

IF  $T[t]$  is cool AND  $P[t]$  is low

THEN  $I[t]$  is positive medium

IF  $T[t]$  is cool AND  $P[t]$  is ok

THEN  $I[t]$  is approximately zero

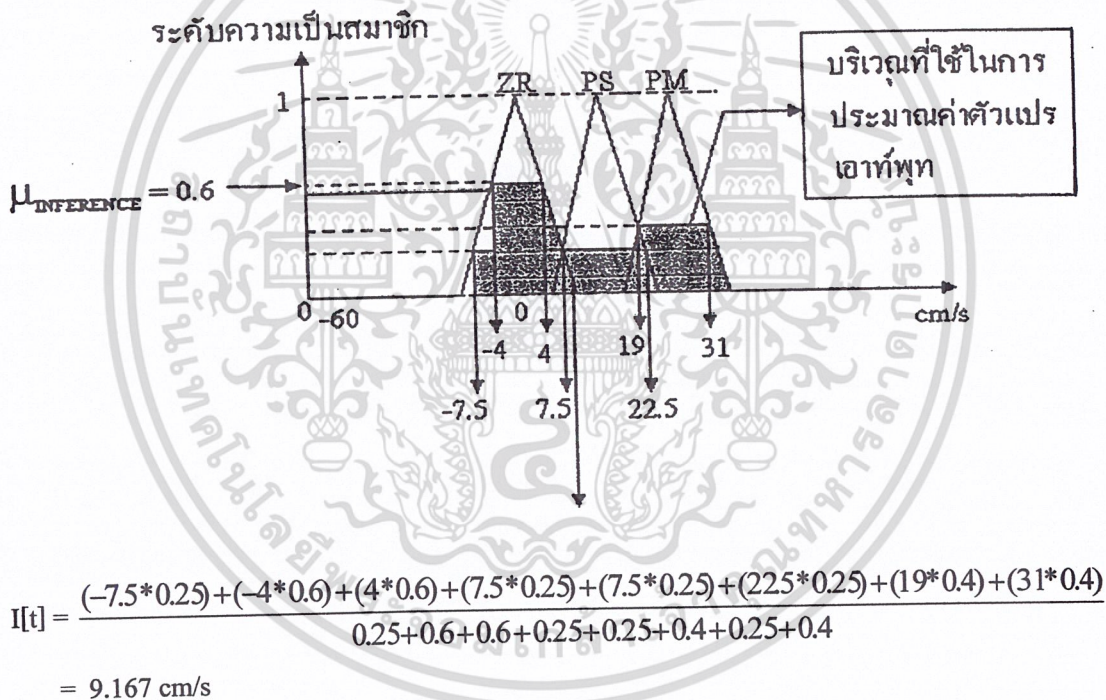
IF  $T[t]$  is normal AND  $P[t]$  is low

THEN  $I[t]$  is positive small

IF  $T[t]$  is normal AND  $P[t]$  is ok

THEN  $I[t]$  is approximately zero

ซึ่งมีค่า  $\mu_{\text{INFERENCE}}$  จะมี 4 ค่า ด้วยกันคือ  $\mu_{\text{INFERENCE}} = \{0.4, 0.6, 0.25, 0.25\}$  ดังนั้นสามารถคำนวณค่าประมาณของ  $I[t]$  ได้ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการ Defuzzification โดยใช้วิธี COA

จากวิธีการ Defuzzification ที่ได้กล่าวมาแล้วทั้ง 4 วิธี วิธี COA เป็นวิธีที่นิยมใช้ในกระบวนการควบคุมมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจากวิธีนี้ ใช้ข้อมูลข่าวสารของค่าความจริงของทุกกฎที่เป็นจริง ( $\mu_A(X) > 0$ ) ทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกที่ค่าตัวแปรบางตัวสามารถปรับค่าได้ เช่น วิธี Basic Defuzzification Distribution : BADD และวิธี Semi Linear Defuzzification : SLIDE เป็นต้น



### 2.1.3 แบบจำลองฟัซซี่ที่สามารถปรับตัวเอง (Adaptive Fuzzy Model)

Fuzzy Model สามารถควบคุมให้ระบบเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ แต่ยังมีจุดด้อยที่ไม่สามารถนำผลตอบสนองเข้าสู่ค่าเป้าหมายในขณะที่มีโหลดได้ นั่นคือจะทำให้เกิด offset ขึ้นในระบบ จึงมีการพัฒนา Fuzzy Model ไปสู่ Adaptive Fuzzy Model ที่ช่วยให้ผลลัพธ์เข้าสู่ค่าคาดหวังในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนโหลดได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าของผลลัพธ์ในครั้งที่แล้ว ( $t - 1$ ) มาใช้ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และให้ค่าที่ได้จากการ Defuzzify เป็นค่า Compensate Value ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปรวมกับค่าควบคุมที่เวลาก่อนหน้าเป็นค่าควบคุมที่เวลาปัจจุบันหรือ Expected Value ดังนั้น เมื่อให้ Expected Value หรือ  $MV_{(t)}$  เป็นค่าควบคุมที่เวลา  $t$  และ  $MV_{(t-1)}$  เป็นค่าควบคุมที่เวลา  $t - 1$  จะได้สมการค่าควบคุมจากการ Defuzzify ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้คือ

$$MV_t = f^{-1}(\mu(X)) + MV_{t-1}$$

## 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

### 2.2.1 AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่บริษัท ATMEL ผลิตขึ้นมาคุณสมบัติดังนี้

- เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 Bit สำหรับงานควบคุมต่างๆ
- มีความสามารถประมวลผลของ Logic ระดับ Bit
- มีขนาดของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมทำงานได้ถึง 64 Kbytes (Program Memory)
- มีขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลได้ถึง 64 Kbytes (Data Memory)
- มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายในขนาด 4 Kbytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 bytes
- มีพอร์ตควบคุม 4 พอร์ตและสามารถอ้างอิงได้ระดับ Bit ต่อ Bit
- มีชุด Timer / Counter ขนาด 16 bit 2 ชุด
- มี Full duplex UART
- มีโครงสร้างรับการ Interrupt 6 แหล่งกำเนิดสัญญาณและ 5 ตำแหน่งโปรแกรมทำงานตอบรับการ Interrupt โดยสามารถจัดระดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีแหล่งกำเนิดความถี่อ้างอิงการทำงานในตัว



### 2.2.1.1 รายละเอียดของขาสัญญาณของ 8051

Vcc: ขาแหล่งจ่ายไฟฟ้า (+5 V)

Vss: ขา Ground

P0: ขา Port 0 ของ 8051 ขนาด 8 bit ชนิด 2 ทิศทาง แต่ละสัญญาณต่อพ่วง TTL แบบ LS ได้ 8 ตัว เป็นขาให้ Multiplex ระหว่างสัญญาณข้อมูล กับ 8 bit ล่างของ Address กรณีใช้หน่วยความจำภายนอก

P1: ขา Port 1 ของ 8051 ขนาด 8 Bit ชนิด 2 ทิศทางแบบ Quasi-bidirectional ถ้าต้องการให้เส้นใดเป็น input ให้ค่า 1 ที่ bit นั้น ต่อพ่วง LS TTL 4 ตัว

P2: ขา Port 2 ของ 8051 ขนาด 8 Bit ชนิด 2 ทิศทางแบบ Quasi-bidirectional ยังให้สัญญาณ Address 8 bit บนกรณีใช้หน่วยความจำภายนอก กรณีอ้าง Address หน่วยความจำขนาด 16 Bit

P3: ขา Port 3 ของ 8051 ขนาด 8 Bit ชนิด 2 ทิศทางแบบ Quasi-bidirectional มีหน้าที่พิเศษดังตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงหน้าที่ของขา port 3 ของ 8051

| ขา Port | หน้าที่พิเศษ | อธิบาย                       |
|---------|--------------|------------------------------|
| P3.0    | R x D        | รับข้อมูลแบบอนุกรม           |
| P3.1    | T x D        | ส่งข้อมูลแบบอนุกรม           |
| P3.2    | INT0         | ขา Interrupt ภายนอก 0        |
| P3.3    | INT1         | ขา Interrupt ภายนอก 1        |
| P3.4    | T0           | ขา input ของ Timer 0         |
| P3.5    | T1           | ขา input ของ Timer 1         |
| P3.6    | WR           | เขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก |
| P3.7    | RD           | อ่านหน่วยความจำข้อมูลภายนอก  |

RST: ขาสำหรับ Reset การทำงานของ 8051 โดยให้ Logic 1 อย่างน้อย 2 ช่วง Machine Cycle

ALE: ขาสัญญาณออกของ Address Latch Enable สำหรับ Latch ค่า Address 8 bit ที่ได้จาก port 0 มีความถี่ออกมาที่ 1/6 ของความถี่อ้างอิงของ 8051

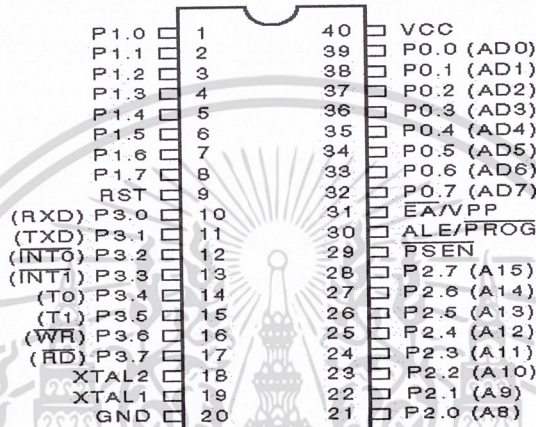
PSEN: ขาสัญญาณ Program Store Enable สำหรับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก



EA : ขาสัญญาณ External Access Enable ให้อ่านหน่วยความจำภายในหรือภายนอก ให้ logic 0 8051 จะอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และ logic 1 8051 จะอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

XTAL 1 : ขาเข้าของวงจรกำเนิดความถี่อ้างอิงภายในของ 8051

XTAL 2 : ขาออกของวงจรกำเนิดความถี่อ้างอิงภายในของ 8051



รูปที่ 2.9 แสดงขาของ 89C51

### 2.2.1.2 ตัวตั้งเวลา และ ตัวนับ (Timer / Counter)

8051 จะมี Timer อยู่ 2 ตัว ทั้งคู่สามารถที่จะควบคุมตั้งค่า อ่านค่า และกำหนดค่าต่างๆ ได้ซึ่งจะมีอยู่ 3 ฟังก์ชัน

1. ใช้เพื่อกำหนดควบคุมในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง
2. สามารถที่จะทำงานต่อเนื่องได้ด้วยตัว Timer เอง
3. ช่วยสร้าง baud rate สำหรับ serial port

สามารถใช้ Timer ในการนับ โดยปกติ Timer จะใช้วิธีนับแบบนับขึ้น และจะเพิ่มโดย Microcontroller

### 2.2.1.3 รูปแบบการนับ

ในตอนแรก จะต้องทำความรู้จักกับ Mode ต่าง ๆ ของตัว Timer ที่มีอยู่ และ วิธีในการที่จะควบคุม ซึ่ง ทัว ๆ ไป Timer จะเพิ่มขึ้น หรือ นับขึ้น ทุก ๆ 1 Machine cycle ซึ่ง ในแต่ละ

1 Machine cycle จะเท่ากับ 12 Crystal pulses ที่เกิดขึ้นจาก Crystal เช่น หากเรามี Crystal 11.059 MHz จะคำนวณได้ดังนี้  $11,059,000 / 12 = 921,583$  Times per second ไม่เหมือนกับพวกคำสั่ง ซึ่งใช้ Machine cycle 1 หรือ 2 หรือ 4 บาง แต่ Timer จะเพิ่มขึ้นคงที่ทุก ๆ 1 Machine cycle ดังนั้นหากต้องการนับ 0 ถึง 50,000 จะคำนวณดังนี้  $50,000 / 921,583 = 0.0542$  seconds ซึ่งในช่วง 1/20 วินาที



หากต้องการจะทำงานทุก ๆ 1 วินาที จะต้องนับ 0 ถึง 50,000 จำนวน 18.45 ครั้ง ซึ่งจะนับช่วงเวลา 0.45 นั้นไม่ได้ แต่จะสามารถที่จะคำนวณใหม่ โดยเราจะหาว่า 0.5 วินาทีที่ต้องนับกี่ครั้ง ซึ่งคำนวณได้จาก  $.05 * 921,583 = 46,079.15$  ครั้ง ซึ่งถ้าต้องการที่จะได้ช่วงเวลา 0.5 วินาที จะต้องนับ 46,079 ครั้ง หากนับตามค่านี้จะทำให้ได้เวลา 0.049999837 seconds หรือ เกิดความผิดพลาดไป 0.000000163 seconds เมื่อพิจารณาถึงช่วงเวลาที่ยาวกว่านี้จะพูดได้ว่า มีความคลาดเคลื่อนไป 1 วินาที ทุก 2 เดือน ซึ่งเมื่อมองถึงการประยุกต์นำไปใช้ในงานต่าง ๆ ความผิดพลาด 1 วินาที ทุก ๆ 2 เดือนนั้นสามารถที่จะยอมรับได้ เมื่อทราบว่า 1/20 วินาที เราจะต้องทำการนับ 46,079 ครั้ง หากต้องการที่จะทำงานทุก ๆ วินาที เพียงรอให้นับครบ 20 ครั้ง ก็สั่งให้ทำงาน และ รอ Timer นับต่อไปจนครบ 20 ครั้งหน้าเพื่อทำงานอีกครั้ง ซึ่งความแม่นยำประมาณ ส่วนพันนี้ สามารถที่จะใช้ช่วยวัดช่วงเวลาได้ จากส่วนนี้จำเป็นที่จะต้องรู้วิธีการการควบคุม และ กำหนดค่า Timer

**2.2.1.4 Timer SFRs** Timer ของ 8051 ตั้งอยู่ 2 ตัว คือ TIMER0 และ TIMER1 ทั้งสองต้องใช้ Register SFRs (TMOD and TCON) ที่ควบคุมเวลาโดยมี Bit ควบคุม 2 ชุดคือ TH0/TL0 และ TH1/TL1 ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากชื่อ และตำแหน่งทำระบุไว้ในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของ register ที่ใช้กับ timer

| SFR Name | Description       | SFR Address |
|----------|-------------------|-------------|
| TH0      | Timer 0 High Byte | 8Ch         |
| TL0      | Timer 0 Low Byte  | 8Ah         |
| TH1      | Timer 1 High Byte | 8Dh         |
| TL1      | Timer 1 Low Byte  | 8Bh         |
| TCON     | Timer Control     | 88h         |
| TMOD     | Timer Mode        | 89h         |

เมื่อเราเขียนภาษา Assembly เราสามารถเขียนได้ดังนี้ `MOV TH0,#25h` แต่หากต้องการอ้างอิงถึงตำแหน่ง คือ ที่ TH0 จะมีตำแหน่งที่ 8Ch จะเขียนได้ดังนี้ `MOV 8Ch,#25h`



- **Timer 0** ตอนนี้จะกลับมาพูดถึง Timer 0 ซึ่งจะมี TH0 และ TL0 ซึ่งจะเป็น high และ low byte ของ timer จะพูดพอสังเขปได้ว่าเมื่อ Timer 0 มีค่า 0 จะได้ TH0 = 0 TL0 = 0 และ Timer 0 มีค่า 1000 จะมี (TH0) high byte = 3 และ (TL0) Low byte = 232 ซึ่งค่า high byte จะคูณด้วย 256 และบวกด้วย low byte ซึ่งเขียนได้คือ  $TH0 * 256 + TL0 = 1000$ ,  $3 * 256 + 232 = 1000$

- **Timer 1** ลักษณะการทำงานจะคล้ายคลึงกัน แต่จะมี SFRs เป็น TH1 และ TL1. ตั้งแต่เพียง 2 byte สามารถที่จะนับได้ค่าสูงสุด 65,535 และ เมื่อถึงค่าสูงสุดจะกลับมานับ 0 ใหม่

**2.2.1.5 TMOD** ในส่วนของ TMOD(Timer mode) จะใช้ควบคุม timer ทั้งสองตัว แต่ละ bit ของ SFR จะใช้ระบุได้ว่าให้ Timer ทำงานอย่างไร ซึ่งมี bit 4-7 ควบคุม Timer 1 bit 0-3 ควบคุม Timer 0 bit ต่าง ๆ ของ TMOD(89h)

ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดภายใน Register TMOD

| bit | Name  | Explanation of Function                                                                                     | Timer |
|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 7   | GATE1 | เมื่อ bit มีค่า 1 Timer จะทำงานเมื่อ INT1 (P3.3) เป็น 1<br>เมื่อ bit มีค่า 0 Timer จะไม่ขึ้นกับ INT1 (P3.3) | 1     |
| 6   | C/T1  | ถ้า เท่ากับ 1 Timer จะนับเมื่อ T1 (P3.5) เป็น 1<br>ถ้า เท่ากับ 0 Timer จะเพิ่มขึ้นทุก ๆ machine cycle       | 1     |
| 5   | T1M1  | Timer mode bit (see below)                                                                                  | 1     |
| 4   | T1M0  | Timer mode bit (see below)                                                                                  | 1     |
| 3   | GATE0 | เมื่อ bit มีค่า 1 Timer จะทำงานเมื่อ INT0 (P3.2) เป็น 1<br>เมื่อ bit มีค่า 0 Timer จะไม่ขึ้นกับ INT0        | 0     |
| 2   | C/T0  | ถ้า เท่ากับ 1 Timer จะนับเมื่อ T0 (P3.4) เป็น 1<br>ถ้า เท่ากับ 0 Timer จะเพิ่มขึ้นทุก ๆ machine cycle       | 0     |
| 1   | T0M1  | Timer mode bit (see below)                                                                                  | 0     |
| 0   | T0M0  | Timer mode bit (see below)                                                                                  | 0     |

Timer ทั้งสองตัวสามารถที่จะปรับ Mode การทำงานได้ทั้งหมด 4 Mode ตามตารางด้านล่าง



### ตารางที่ 2.8 การเลือกโหมดของ Timer

| TxM1 | TxM0 | Timer Mode | Description of Mode |
|------|------|------------|---------------------|
| 0    | 0    | 0          | 13-bit Timer.       |
| 0    | 1    | 1          | 16-bit Timer        |
| 1    | 0    | 2          | 8-bit auto-reload   |
| 1    | 1    | 3          | Split timer mode    |

- **13-bit Time Mode (mode 0)** Timer mode "0" ใน Mode นี้ จะทำงานลักษณะของ Predecessor, the 8048 ซึ่งไม่เป็นที่นิยมมากนัก ลักษณะการทำงาน TLx จะนับจาก 0 ถึง 31 เมื่อถึงค่า 31 จะ Reset และ เพิ่มค่า THx ส่วนของ THx จะนับตั้งแต่ 0 ถึง 255 bit ที่ใช้งานคือ bits 0-4 ของ TLx และ bits 0-7 ของ THx และสามารถที่จะนับได้ค่าสูงสุดที่ 8,192

- **16-bit Time Mode (mode 1)** Timer mode "1" จะเป็น Mode พื้นฐานที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป จะคล้ายกับ Mode 13 bit บ้างในบางฟังก์ชัน ลักษณะการทำงาน TLx จะนับจาก 0 ถึง 255 เมื่อ นับถึงสูงสุด จะ Reset กลับไปที่ 0 และ บวก THx ด้วย 1 ใน Mode นี้จะสามารถนับได้สูงสุดที่ 65,536 และเมื่อนับครบจะทำการปรับค่ากลับมาที่ 0 หลัง Machine cycles นั้นทันที

- **8-bit Time Mode (mode 2)** Timer mode "2" จะมีรูปแบบการทำงานเป็น 8-bit auto-reload mode ซึ่งจะดูว่าการทำงานจะไม่ยุ่งเลย เพราะค่าของ bit THx จะคงที่ จะมีเพียง TLx เท่านั้น ที่ทำการนับ และเมื่อ TLx นับครบ 255 ก็จะไม่ทำการเพิ่มค่า

- **Split Timer Mode (mode 3)** Timer mode "3" ถูกเรียกว่า Split-timer mode ซึ่งจะมีการทำงานโดยการแบ่ง Timer 0 ออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 8 bits ส่วนของ Timer 0 จะสามารถอ้างด้วย TLO และ Timer 1 จะอ้างโดย TH0 จะเห็นว่า Timer 1 ตัวเดิมนั้นไม่ได้อ้างถึง เพราะเรามักจะใช้งานใน mode 3 นี้เมื่อต้องการใช้ Timer ตัวหนึ่งสร้าง baud rate ในการส่งข้อมูลทาง serial port และต้องการ Timer ใช้งานอีก 2 ชุด จะใช้ Mode นี้เพราะสามารถใช้ Timer 1 ตัวเดิมในการสร้าง Baud rate ให้ Serial port และ ใช้ Timer 0 ที่ใช้อยู่เดิมแบ่งออกเป็น Timer 8 bits 2 ชุด



**2.2.1.6 TCON** นอกจากที่เราจะใช้ SRF register ควบคุมการทำงานของ Timer แล้ว ยังมี TCON (88h) register ที่จะใช้ในการตรวจสอบสถานะของ Timer แต่จะมีเพียง 4 bit เท่านั้นที่เกี่ยวข้อง คือ bit 4-7 และมีรายละเอียดดังนี้

- **Bit 7 (TF1)** ตำแหน่ง 8Fh จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ Timer 1 นับเกินค่า 255 ซึ่งหมายถึงการเกิด Overflow

- **Bit 6 (TR1)** ตำแหน่ง 8Eh จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ Timer 1 ทำงานอยู่ และเมื่อ Timer 1 หยุดทำงานจะมีค่า 0 ทันที

- **Bit 5 (TF0)** ตำแหน่ง 8Dh จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ Timer 0 นับเกินค่า 255 ซึ่งหมายถึงการเกิด Overflow

- **Bit 4 (TR0)** ตำแหน่ง 8Ch จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ Timer 0 ทำงานอยู่ และเมื่อ Timer 0 หยุดทำงานจะมีค่า 0 ทันที

- **Bit 3 (IE1)** ตำแหน่ง 8Bh เป็นแฟลกร็องขออินเตอร์รัพท์ภายนอกของสัญญาณ  $\overline{INT\ 1}$

- **Bit 2 (IT1)** ตำแหน่ง 8Ah ใช้เลือกรูปแบบการแอกทีฟของสัญญาณ  $\overline{INT\ 1}$

เป็น 1 แอกทีฟที่การเปลี่ยนจาก 1 ไป 0

เป็น 0 แอกทีฟที่ลอจิก 0

- **Bit 1 (IE0)** ตำแหน่ง 89h เป็นแฟลกร็องขออินเตอร์รัพท์ภายนอกของสัญญาณ  $\overline{INT\ 0}$

- **Bit 0 (IT0)** ตำแหน่ง 88h ใช้เลือกรูปแบบการแอกทีฟของสัญญาณ  $\overline{INT\ 0}$

เป็น 1 แอกทีฟที่การเปลี่ยนจาก 1 ไป 0

เป็น 0 แอกทีฟที่ลอจิก 0



## 2.2.2 AT89C52

ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะเหมือนกับเบอร์ AT89C51 ทุกประการ เพียงแต่จะมี Timer เพิ่มเติมจากเบอร์ AT89C51 อีก 1 ตัวคือ Timer 2 ซึ่งจะมีหลักการทำงานดังนี้

**2.2.2.1 Timer 2** เป็นตัวจับเวลา หรือตัวนับได้เช่นเดียวกับ Timer 0 และ Timer1 ภายใน Timer2 มีรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต เพิ่มจาก Timer 1 และ Timer 0 อยู่ 2 ตัว คือ RCAP2L และ RCAP2H

**2.2.2.2 T2MOD** เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ C9H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีบิตสำหรับกำหนดใช้งานเพียง 2 บิต คือ

- **Bit 1 (T2OE, "Timer 2 Output Enable")** ใช้เปิดเอาต์พุตของ Timer 2

"0" Disable

"1" Enable

- **Bit 0 (DCEN, "Timer 2 Counter Enable Bit")** ใช้กำหนดให้ Timer 2 ทำงานเป็นตัว

นับแบบขึ้นและลง

"0" Disable

"1" Enable

**2.2.2.3 T2CON** เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ C8H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

- **Bit 7 (TF2, "Timer 2 Overflow Flag")** ตำแหน่ง CFh จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ Timer 2 นับเกินค่า 255 ซึ่งหมายถึงการเกิด Overflow

- **Bit 6 (EXF2, "Timer 2 External Flag")** ตำแหน่ง CEh จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดการแคปเจอร์ หรือการรีโหลดขึ้น



- **Bit 5 (RCLK, “Receive Clock Flag”)** ตำแหน่ง CDh ถ้ามีค่าเป็น 1 ทำให้วงจรพอร์ตอนุกรมภายในใช้พัลส์ Overflow ของ Timer 2 เป็นสัญญาณนาฬิกาในการรับข้อมูลในโหมด 1 และ 3 ถ้ามีค่า 0 จะใช้พัลส์จาก Timer 1

- **bit 4 (TCLK, “Transmit Clock Flag”)** ตำแหน่ง CCh ถ้ามีค่าเป็น 1 ทำให้วงจรพอร์ตอนุกรมภายในใช้พัลส์ Overflow ของ Timer 2 เป็นสัญญาณนาฬิกาในการส่งข้อมูลในโหมด 1 และ 3 ถ้ามีค่าเป็น 0 จะใช้พัลส์จาก Timer 1

- **bit 3 (EXEN2, “Timer 2 External Enable Flag”)** ตำแหน่ง CBh ถ้ามีค่าเป็น 1 จะมีการอินเนบิลการ แคปเจอร์หรือรีโหลดที่ขา T2EX ถ้าเป็น 0 Timer 2 จะไม่สนใจเหตุการณ์ที่ขา T2EX

- **bit 2 (TR2)** ตำแหน่ง CAh ใช้ควบคุมการเริ่ม และการหยุดทำงานของ Timer 2 ถ้ามีค่าเป็น 1 จะเริ่มทำงาน ถ้าเป็น 0 จะหยุดทำงาน

- **bit 1 (C/T, “Timer or Counter Selector”)** ตำแหน่ง C9h ใช้เลือกลักษณะการทำงานของ Timer 2 ถ้ามีค่าเป็น 1 ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ ถ้าเป็น 0 ทำงานเป็นไทเมอร์

- **bit 0 (CP/RL2, “Capture/Reload Flag”)** ตำแหน่ง C8h ถ้ามีค่าเป็น 1 แสดงว่าเกิดการแคปเจอร์ขึ้น ถ้าเป็น 0 แสดงว่ามีการรีโหลดค่าของการนับแบบอัตโนมัติเกิดขึ้น

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอัลตราโซนิค

ระบบรักษาระดับอาศัยหลักการวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิคจะกล่าวโดยสังเขปดังนี้

### 2.3.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิค

หลักการของคลื่นเสียง คือ พัลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่งไปซึ่งถ้าเรานำตัวรับชนิดเดียวกันกับตัวส่งซึ่งมีความถี่ตรงกันแล้วก็จะสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิคจะเป็นคลื่นที่มีทิศทางและจะพุ่งออกจากตัวส่งซึ่งจะมีขอบเขตประมาณ 30 องศาจากตัวส่ง เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางได้เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงธรรมชาติของคลื่น จะสามารถทำให้เข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง



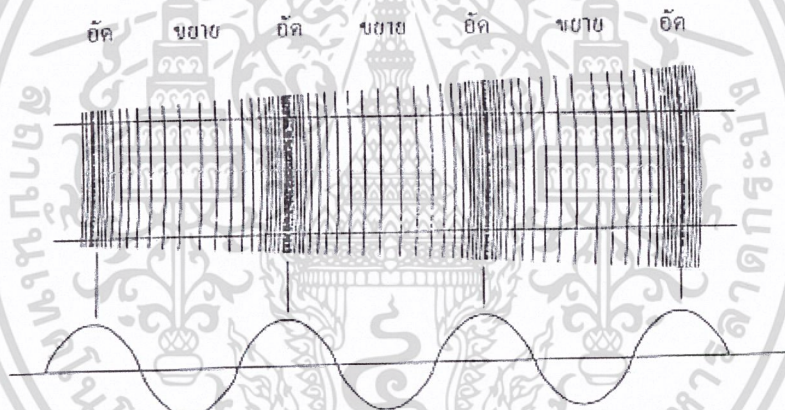
### 2.3.2 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะได้ยินคลื่นความถี่ประมาณ 20 Hz ถึง 20 KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิกจึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz จนถึง 104 GHz โดยคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 104 GHz และแอมพลิจูดสูง ๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์”

### 2.3.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดแตกต่างกันตามการเคลื่อนของอนุภาคในตัวกลางนั้น

**2.3.3.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)** คือคลื่นอนุภาคตัวกลางที่มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

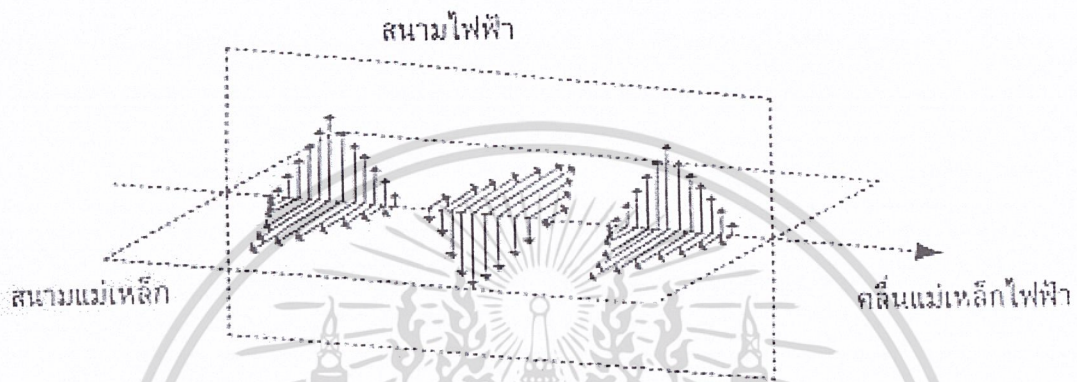
จากรูป 2.11 จะเห็นว่ามีส่วนที่เคลื่อนที่อัด (Compression) ซึ่งก็คือคลื่นช่วงของอนุภาคตัวกลางมีความชันสูงและคลื่นขยาย (Rarefaction) คือที่อนุภาคของตัวกลางมีความตื้นต่ำและเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น (t) ซึ่งเท่ากับ  $1/f$  โดยจุดที่เป็นแกนนั้นยาว 1 บรรยากาศ

**2.3.3.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)** คือที่ทุก ๆ จุดบนคลื่น มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและก๊าซได้

คลื่นตามขวางที่ลักษณะเหมือนกับการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปในทิศทางเดียว เช่นในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น ที่เคลื่อนที่



ไปจากต้นกำเนิดของคลื่นตามขวาง เป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอื่นเนื่องมาจากการแกว่ง และความหนาของตัวกลาง จะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

**2.3.3.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave or Rayleigh)** คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค ไม่เป็นไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

#### 2.3.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก

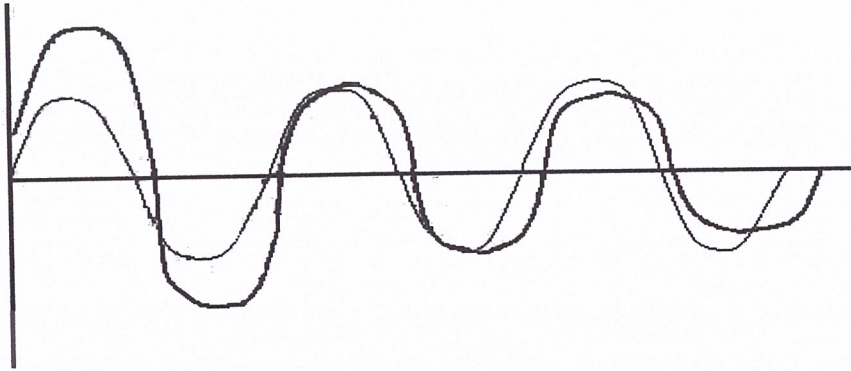
คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียงจะแสดงได้ 4 แบบ คือ

##### 2.3.4.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลางเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะคือ

ก.) การบีตส์ (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือต่างเฟสกัน เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 2.13

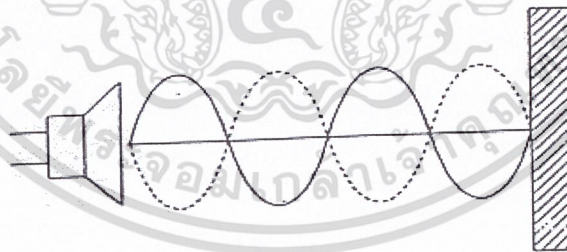




รูปที่ 2.12 แสดงการบิตส์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูปที่ 2.13 เป็นการแสดงบิตส์ของคลื่น 2 คลื่น ซึ่งคลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนไปซึ่งประโยชน์ของการบิตส์ของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันนี้

ข.)การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน และความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือเฟสตรงกันข้าม ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป เสียงจะมีความเข้มขึ้นสูงสุดที่ตำแหน่ง ก และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ  $d = n\lambda / 2 ; (n=1,2,3,...)$

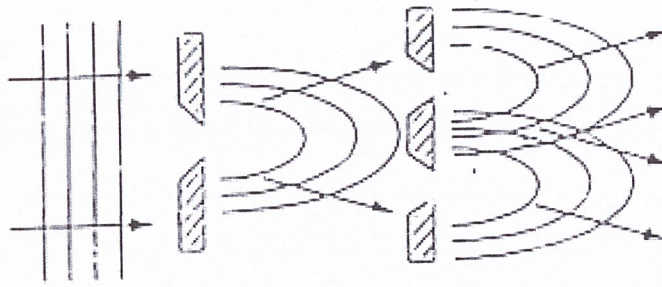


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

#### 2.3.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

คือคลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่น ในกรณีที่เราได้ยินแตรรถที่อยู่คนละมุมถนนของตึกหรือการได้ยินเสียงลอดผ่านช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.15





รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

#### 2.3.4.3 การหักเหของคลื่น (Refraction)

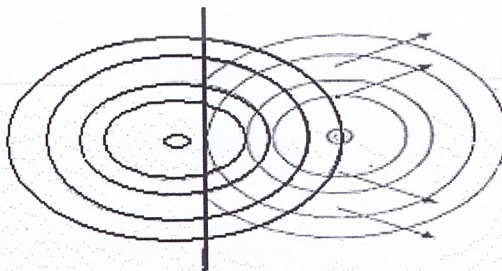
คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่



รูปที่ 2.15 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

#### 2.3.4.4 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยที่มุมสะท้อนและจะทำให้เกิดเสียงก้อง ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 msec จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่ 2



รูปที่ 2.16 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง

คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะเป็นคลื่นวงกลมเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.3.4.5 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก

อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้เป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อัลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลหลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

ก. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

ข. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้น

ค. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

\*\*\* สำหรับเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูกและหาซื้อง่าย

### 2.3.4.6 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wave Length)

ความถี่ คือจำนวนของการออสซิลเลทที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน

ความยาวคลื่น คือระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบ 1 รอบ (Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Success Compression) หรือการเบาบางของอากาศ (Rare Fraction) การอัดคือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของอากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กันตามสมการข้างล่าง

$$c = f\lambda$$

$c$  : ความเร็วของการเดินทาง

$f$  : ความถี่

$\lambda$  : ความยาวคลื่น



### 2.3.4.7 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นดัง

สมการ

$$V = 331.45 + 0.607T \text{ (m/sec)}$$

V: ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ

T: อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ

### 2.3.4.8 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิก จะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

### 2.3.4.9 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นโดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับมาก

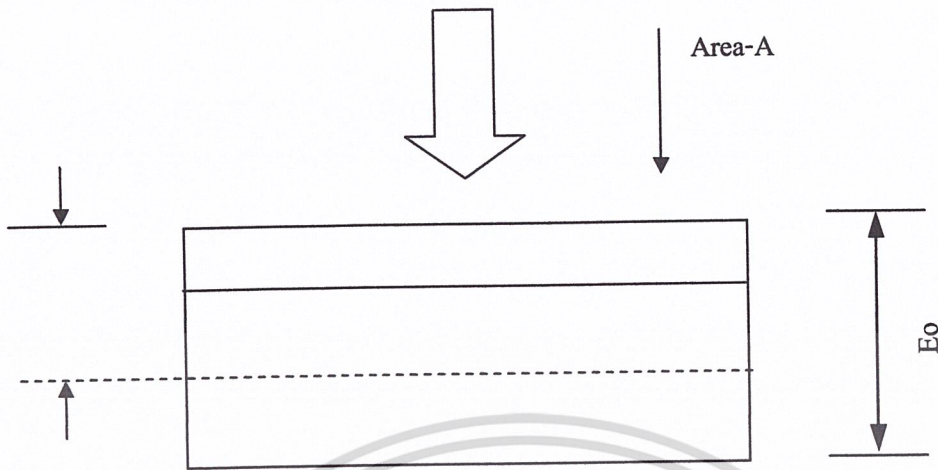
## 2.3.5 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

### 2.3.5.1 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือถ้าป้อนแรงกลให้แก่ Solid Crystalline Dielectric ก็จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอลและทำให้ผลึกของคริสตอลผิดรูปไป เช่นพวกควอตซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงข้ามของคริสตอล เรียกว่าผลของเพียโซอิเล็กทริก

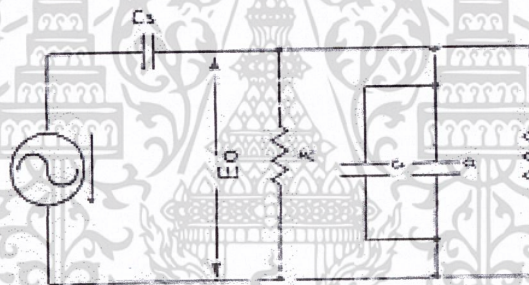
การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (Electrod) เข้าที่ผิวนอก แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (Magnitude) และการมีขั้ว (Polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (Induce) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ





รูปที่ 2.17 ผลของเป็ยโซอิเล็กทริก

วงจรเสมือนของเป็ยโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.18 วงจรเสมือนของเป็ยโซอิเล็กทริก

 $C_c$  : คาปาซิแตนซ์ของเป็ยโซอิเล็กทริก $R_c$  : Leakage Resistance ของเป็ยโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ  $10^8$ - $10^{10}$  ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นความต้านทานทางไหล  $R_L$  (ในช่วง  $10^6$ - $10^7$ ) $C_L$  : คาปาซิแตนซ์ของ Subsequent Stage (Load) รวมกับ Connection Cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ  $E_o$  ที่คร่อมโหลดหาได้โดย  $C_c$  และ  $C_L$  ค่าเหล่านี้มาได้โดยการใช้การแบ่งโวลต์เตจ โดยโวลต์เตจ  $E_o$  ได้จากสมการ

$$E_o = E \cdot (C_c / (C_c + C_L))$$

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เตจมีค่ามากสามารถทำให้ลดลงได้โดยเพิ่มค่า  $C_L$  เช่นการนำค่า  $C_c$  ต่อขนานเข้าไปที่ความถี่ต่ำ โวลต์เตจ  $E_o$  คร่อมโหลดหาได้โดยค่ารีแอคแตนซ์ของ  $C_c$  และอิมพีแดนซ์ของ  $C_L$  และ  $R_L$  ที่ต่อขนานกัน โวลต์เตจ  $E_o$  ขึ้นกับความถี่ลดลง การตอบสนองต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิแตนซ์สูงหรือโดยการเพิ่มความต้านทานทางโหลด

### 2.3.5.2 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมจะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (Electrically Pulse) จากการอสซิลเลทก็จะให้ชั้นสาร โกงงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากการอสซิลเลทนั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณอสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิก ตรงกับความถี่เรโซแนนท์เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับมักมีการทำงานตรงข้ามกับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสาร โกงตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติทั่วไปของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟฟ้าตรงสูงมากอาจถึง 100 เมกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดา ตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลยแต่ขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟฟ้าสลับจะลดลง

## 2.4 รูปแบบของการสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันจะใช้สายอย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือสัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาอยู่ด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะต้องมีการกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second: bpt) ซึ่งค่าบอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที



#### 2.4.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้ ในการส่งผ่านข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีต นั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำ ข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดย คณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกว่า EIA RS-232

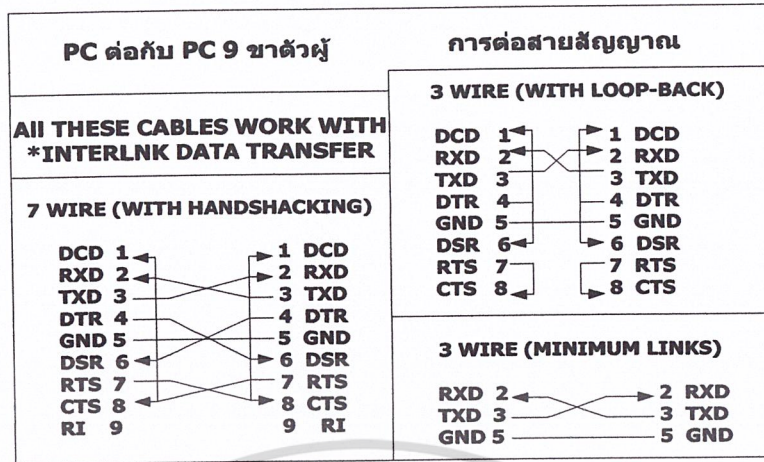
มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้อง เป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการ สร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมา จาก DTE เท่านั้นโดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องทำการทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ กันอยู่ทั่วไปจะเป็นตัวผู้นั่นเอง และการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ด้วยความยาวของสายสูงสุดที่ 20 เมตร

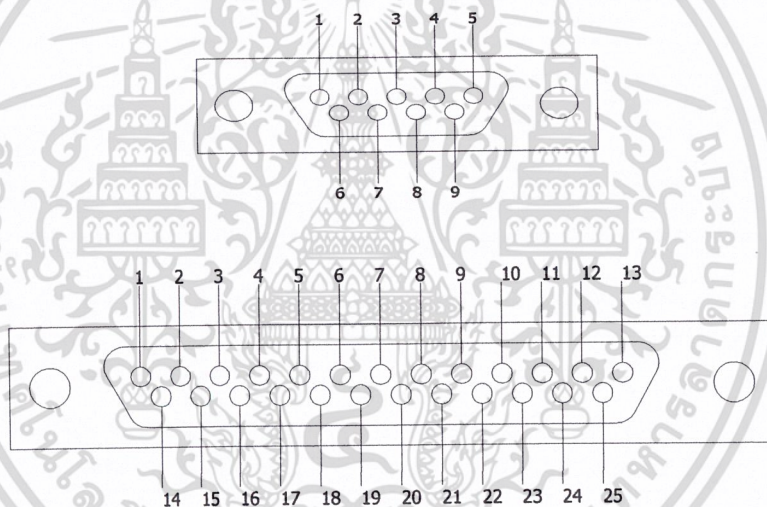
#### 2.4.2 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

ช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสัญญาณไว้ ที่ 50 ฟุต ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้ แบบ DB-9 แล้ว ซึ่งสามารถดูค่าต่าง และการเชื่อมต่อ คอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกได้จากรูปด้านล่างนี้





รูปที่ 2.19 การเชื่อมต่อภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ



รูปที่ 2.20 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 โดยแบ่งตามชนิด DB-9 และ DB-25 ตามลำดับ

หน้าที่ของขาต่างๆ

**Data Carrier Detect: DCD** ขานี้จะแอกติฟเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม

**Receive Data: RxD** ขานี้ใช้รับข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่เก็บได้ไปไว้ที่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

**Transmitted Data: TxD** ขานี้ใช้ส่งข้อมูลอนุกรมออกมาจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป



**Data Terminal Ready: DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อด้วย โดยขา DTR นั้นต้องเชื่อมต่อกับ DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง ในกรณีที่ เป็น Null Modem ที่ใช้สายในการเชื่อมต่อ 3 สาย จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน

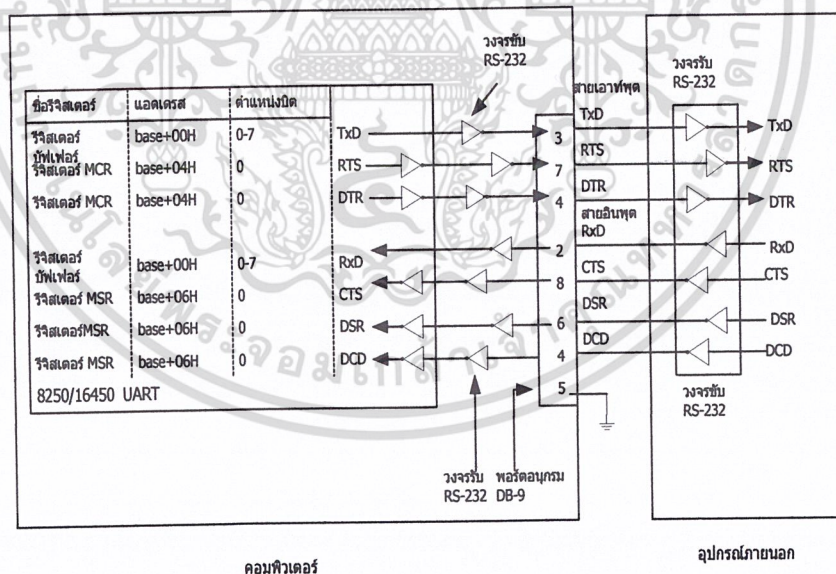
**Signal Ground: GND** ขากราวด์

**Data Set Ready: DSR** ขานี้ใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขานี้ใช้รับข้อมูลจากภายนอกที่ถูกส่งออกมาจากขา DTR

**Request To Send: RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ ถ้าต่อแบบ Null Modem 3 สายต้องต่อ RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน

**Clear To Send: CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้ใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือยัง

**Ring Indicator: RI** ใช้แสดงสถานะเรียกจากสายโทรศัพท์ ขานี้จะใช้งานก็ต่อเมื่อติดต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น



รูปที่ 2.21 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม

## 2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

### 2.5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์

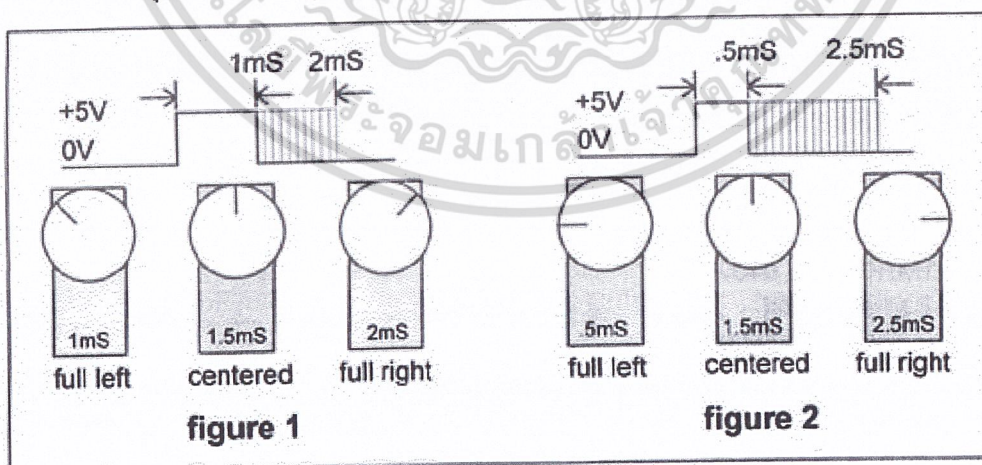
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เซอร์โวมอเตอร์อุปกรณ์สำหรับการขับเคลื่อนหุ่นยนต์หรืองานที่ต้องการการกำหนดการหมุน เป็นช่วงๆ หรือตามองศาที่ต้องการ โดยกำหนดการหมุนในลักษณะครึ่งวงกลมโดยจะรับสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่ตำแหน่งซ้ายสุด 0.5 mS , เซ็นเตอร์ 1.5 mS และขวาสุด 2.5 mS ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์ ประกอบด้วยแผงควบคุม ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการหมุนหรือเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ชุด Gear ที่ติดตั้งไว้ภายในประกอบด้วยเฟืองพลาสติก ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มกำลังหรือแรงบิด ให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ การรับสัญญาณพัลส์ (Pulse) จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณเพียง 1 I/O เท่านั้น จึงประหยัดขา I/O ได้มากกว่าการใช้ Step motor ติดตั้งง่ายเพราะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมและมีขนาด 1.6 x 0.8 x 1.4 นิ้ว น้ำหนัก 1.75 oz. (49 g) ใช้ไฟได้ตั้งแต่ 4.8 – 6 Volts DC กินกระแส 9.7 mA. (Idle) 130 mA. (Moving)

### 2.5.2 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์จะรับสัญญาณพัลส์ (Pulse) เพื่อใช้ในการกำหนดการหมุน สัญญาณพัลส์ที่ได้มีความกว้าง 1.5 mS จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์กลับมาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง (Centered) เมื่อสัญญาณพัลส์มีความกว้างเพิ่มมากขึ้น เช่นถ้าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนมาทางขวา (Right) ก็ต้องเพิ่มความกว้างของช่วงพัลส์จาก 1.5 mS เพิ่มมาเป็น 1.8, 1.9 , 2.0 , 2.1 เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนตามมาทางขวาเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความกว้างของช่วงพัลส์ ไปจนถึง 2.5 mS ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ตำแหน่งขวาสุด (Full Right) ในทำนองกลับกันถ้าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย (Left) ก็ต้องลดช่วงพัลส์ให้แคบลงเรื่อยๆ จนไปถึง 0.5 mS เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนมาทางซ้ายสุด (Full Left)



รูปที่ 2.22 สัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์



## 2.6 เฮลิคอปเตอร์ (Helicopter)

### 2.6.1 หลักพื้นฐานการบินของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 2.23 แสดงตำแหน่งของ ใบพัดหลัก และ ใบพัดหาง

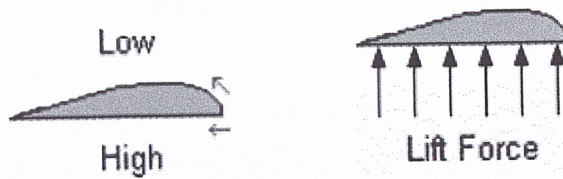
การที่เครื่องบินสามารถบินได้ในอากาศนั้น เป็นเพราะ ปีกของเครื่องบินเป็นตัวที่ทำให้เกิดแรงยกของเครื่องบิน เมื่อมันเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ในระหว่าง การบิน จะมีแรงกระทำต่อเครื่องบิน หรือ เฮลิคอปเตอร์ อยู่ ๓ แรง คือ แรงยก, แรงต้านการเคลื่อนที่, แรงผลักไปข้างหน้า และ น้ำหนักของเครื่องบิน การที่จะทำให้ปีกเครื่องบินเคลื่อนที่ผ่านอากาศนั้น ตัวเครื่องบินต้องเคลื่อนที่ แต่ เฮลิคอปเตอร์ ทำงานโดย ใช้ปีกเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โดยที่ลำตัว คงอยู่กับที่ ปีกของเฮลิคอปเตอร์ เรียกว่า Main rotor blades หรือ ใบพัด (เฮลิคอปเตอร์ ก็คือเครื่องบินปีกหมุน) แรงยกของเฮลิคอปเตอร์ ได้มาจากการหมุน Main rotor blades ในแนว ราบกับพื้น เมื่อ Main rotor ของ helicopter หมุน มันก็จะ เกิดแรงยก หรือ lift และในเวลาเดียวกัน ก็จะเกิด Reaction torque หรือแรงหมุนที่ลำตัว ของ เฮลิคอปเตอร์ด้วย โดยทั่วไป กับเฮลิคอปเตอร์ ที่มี Main rotor ชุดเดียว ก็จะมีใบพัดชุดเล็ก ที่หาง ซึ่งเรียกว่า Tail rotor เพื่อใช้ต้านแรง ที่เรียกว่า Reaction torque รูปร่าง และ มุมของ Rotor blades ที่ เคลื่อนที่ผ่านอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดแรงยกเท่าไร หลังจาก ที่เฮลิคอปเตอร์ ยกตัวขึ้น พื้นพื้นดิน นักบิน สามารถ เอียง ใบพัด และจะทำให้ เฮลิคอปเตอร์ เอียงตามทิศทาง ของ Main rotor ที่ เอียง จะไป ข้างหน้า ข้างหลัง หรือ ด้านข้าง

### 2.6.2 คำจำกัดความ และศัพท์ทางเทคนิค

**หลักของ Bernoulli :** Bernoulli กล่าวว่าไว้ว่า ถ้าความเร็ว ของลม (หรือ ของไหล)เพิ่มขึ้น แรงกดอากาศ จะลดลง และตรงกันข้าม ถ้าความเร็วลดลง แรงกดอากาศจะเพิ่มขึ้น

**Lift :** แรงยกเกิดจาก การสร้าง Lower pressure ที่พื้นผิว ด้านบน ของปีก เครื่องบิน เมื่อเปรียบเทียบกับ High pressure ที่ พื้นผิว ด้านล่าง ของ ปีก เครื่องบิน จึงเป็นเหตุให้ ปีกของเครื่องบิน ถูกยกขึ้น รูปร่าง ลักษณะพิเศษ ของปีก (Airfoil) ที่ถูก ออกแบบ มาให้อากาศที่ไหล ผ่านพื้นผิวด้านบน มีระยะทางที่มากกว่า ทำให้ โมเลกุล ของอากาศ ต้องเดินทาง เร็วกว่า พื้นผิวด้านล่าง จึงทำให้ ด้านบน เกิด เป็น บริเวณ Lower pressure ที่มีแรงกด ต่ำกว่า (ดูรูปภาพ) ดังนั้น จึงเกิด แรงยกขึ้น แรงยก เป็นแรงที่เกิดขึ้นตรงข้ามกับ แรงดึงดูด ของโลก หรือ น้ำหนัก





รูปที่ 2.24 แสดงการเกิด Lift Force

แรงยก ขึ้นอยู่กับ รูปร่าง ลักษณะ ของ Airfoil, มุมของปีก ที่กระทำกับลม Relative wind, บริเวณ พื้นผิว หรือ พื้นที่ ที่อากาศ หรือ ลมพัดผ่าน, กำลัง สอง ของความเร็วลม หรือ ความเร็วลมนั่นเอง และ ความหนาแน่นของอากาศ ดังสมการ

### LIFT EQUATION

$$L = C_L \times d \times \frac{V^2}{2} \times A$$

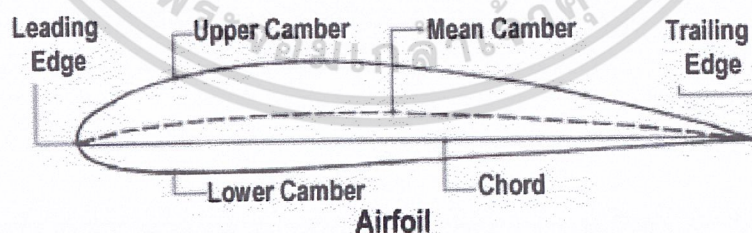
$L$  = Lift

$C_L$  = Lift Coefficient

$d$  = Density of Air

$V$  = Velocity of Air

**Airfoil:** เป็นคำอธิบาย ทางด้าน เทคนิค หมายถึง ลักษณะ รูปร่าง เช่น aileron, elevator, rudder, wing, main rotor blades, or tail rotor blades ออกแบบ มาเพื่อ ให้เกิด แรงปฏิกิริยา จากอากาศ ที่ มัน เคลื่อนที่ ผ่านไป



รูปที่ 2.25 แสดงส่วนต่างๆ ของ Airfoil

**Blades:** ใบพัดของ เฮลิคอปเตอร์

Main rotor ของเฮลิคอปเตอร์ อาจจะมี สอง, สาม, สี่, ห้าหรือ หก ใบก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ การออกแบบ ใบพัด (Main rotor blades) จะยึดติดกับ Rotor head โดยวิธี ที่ทำให้ มีการ กำหนด



ข้อจำกัด ในการ เคลื่อนที่ ขึ้นบน และ ลงล่าง (They have limited movement up and down) และสามารถที่จะเปลี่ยน มุม ได้ (Change pitch or angle of incidence)

Tail rotor (ใบพัดหาง) เป็นใบพัด ขนาดเล็ก อาจจะมี สอง หรือ สี่ ใบ ก็ได้ ซึ่ง ติดตั้งอยู่ที่ ส่วนหางของ เฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะหมุนในแนวตั้ง Tail rotor ใช้ในการต้าน Torque ของ Main rotor และใช้เพื่อ บังคับให้ เฮลิคอปเตอร์ หันหัว ไปตาม ทิศทาง ที่ต้องการ

**Swash Plate Assembly:** ชุด Swash Plate Assembly ประกอบด้วย ส่วนประกอบ ที่สำคัญ สองส่วนรวมผ่าน Rotor mast ส่วนที่ หนึ่ง เป็นแผ่น กลม, ต่อกับคันบังคับ cyclic pitch control. แผ่นกลมนี้สามารถ เอียงได้ทุกตำแหน่ง แต่จะไม่หมุนตามการหมุนของใบพัดใหญ่ (Main rotor) แผ่นกลม ที่ ไม่หมุน นี้ มักจะ เรียกว่า Stationary Star และติด กับ แผ่นกลม อีกแผ่น โดยมี Bearing surface อยู่ ตรงกลาง และ แผ่นกลม อันที่ สอง นี้ เรียกว่า Rotating Star แผ่นนี้ จะหมุน ตาม Rotor

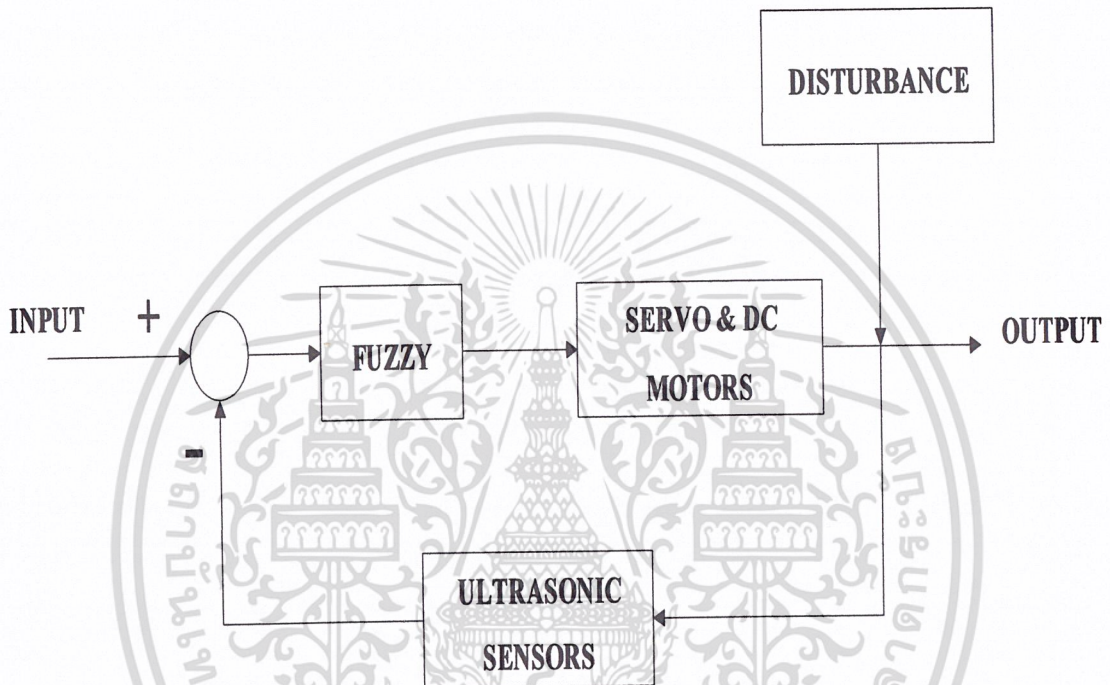




## บทที่ 3

### การออกแบบ

#### 3. โครงสร้างการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมด

จากบล็อกไดอะแกรม จะมีอินพุตเข้าไปยัง FUZZY ทำการ Inference ผ่านกฎ ที่ได้กำหนดไว้ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบกฎ จะนำไปควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ เพื่อให้ได้ เอ้าท์พุท และ เอ้าท์พุท อาจถูกรบกวนจากภายนอกในระบบ (เช่น ลมพัด) ซึ่งก็คือ ส่วนของ Disturbance จากนั้นจะใช้ Ultrasonic เป็นตัวตรวจจับเอ้าท์พุท เพื่อป้อนกลับมาหักล้างกับ อินพุท และป้อนเข้า FUZZY ต่อไป

3.1 การออกแบบทางด้านโครงสร้าง

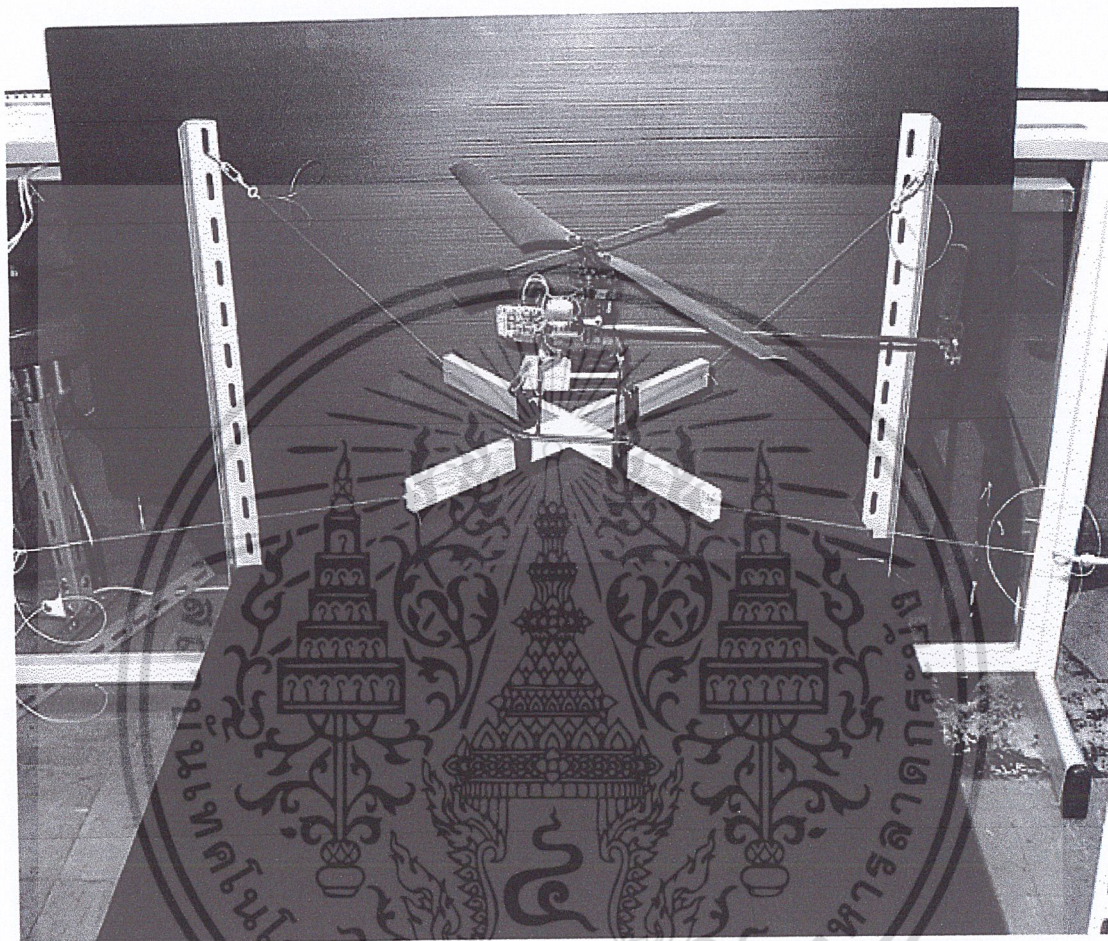
3.2 การออกแบบทางด้านวงจร

3.3 การออกแบบทางด้านโปรแกรม



### 3.1 การออกแบบทางด้านโครงสร้าง

#### 3.1.1 โมเดลเฮลิคอปเตอร์ (Model Helicopter)



รูปที่ 3.2 โมเดลเฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้า

เป็นโมเดลเฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้า ใช้แบตเตอรี่ 8.4 โวลต์ ขนาดตัวลำจากหัวถึงหางยาว 42.5 ซม. ขนาดใบพัดรวมที่ยึดใบยาว 52.5 ซม. มี DC motor 2 ตัว คือ Main motor ต่อกับ Main blade ใช้ในการลอยตัว และ tail motor ต่อกับ tail blade ใช้ในการต้าน torque จาก Main motor ในส่วน Mechanic ที่ใช้ควบคุมนั้นจะมี Servo motor 2 ตัว ตัวแรกใช้ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและข้างหลัง ตัวที่สองใช้ในการเคลื่อนที่ไปด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งโมเดลเฮลิคอปเตอร์นี้จะผูกยึดกับเชือกเอ็นทั้ง 4 มุม ติดกับแท่นเพื่อป้องกันไม่ให้เฮลิคอปเตอร์ตกลงสู่พื้น แต่จะมีความยืดหยุ่นของเชือกเอ็นที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางในอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

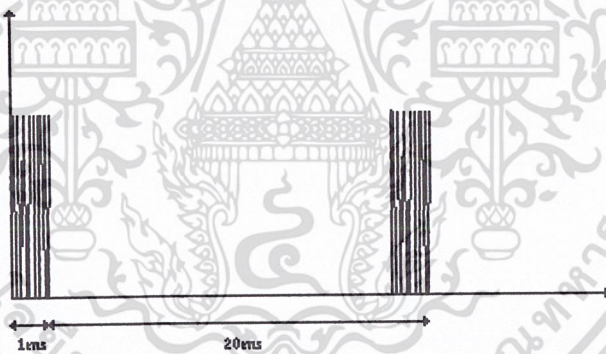


### 3.1.2 โครงสร้างระบบรักษาระดับความสูง และรักษาการทรงตัวด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

จะมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ภาคส่งคลื่น ภาครับคลื่น และส่วนประมวลผล หลักการทำงานของระบบจะใช้คลื่นอัลตราโซนิกยิงจากตัวส่งสะท้อนพื้นกลับมายังตัวรับที่อยู่ระยะนาบเดียว กับตัวส่งแล้วนำมาประมวลผลระยะทางด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะคำนวณจากระยะเวลาในการส่ง-รับ

ในการปรับทิศทางการรักษาระดับและการทรงตัว จะทำได้โดย MCS-51 ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผล เพื่อตรวจสอบว่าตัวรับตัวได้รับสัญญาณจากตัวส่งก่อนกันจากนั้นจึงนำไปประมวลผลด้วยพีซีต่อไป จากเงื่อนไขต่างๆ ทำให้สามารถบังคับการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์ ได้ซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป

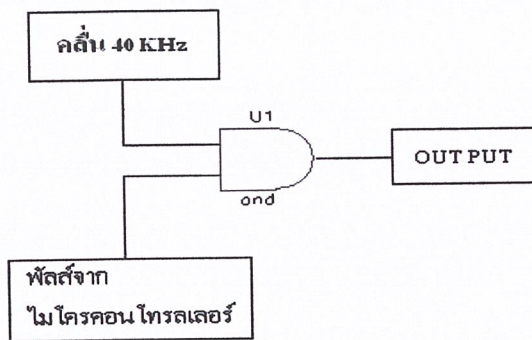
ในการประมวลผลของ MCS-51 นั้นจะทำตลอดเวลา เพื่อทำการปรับระยะการทรงตัวของเฮลิคอปเตอร์ให้อยู่ในสถานะสมดุล ดังนั้นที่ตัวส่งจะต้องออกแบบการทำงานของตัวส่งให้สัญญาณออกมาเป็นช่วงๆ ของเวลาเพื่อการประมวลผลของ MCS-51 รู้ว่าตัวรับตัวได้รับสัญญาณก่อน รูปสัญญาณ Out put ของตัวส่งได้ดังรูป



รูปที่ 3.3 การออกแบบสัญญาณ Output ของตัวส่ง

สัญญาณนี้มาจาก สัญญาณความถี่ 40 KHz จากวงจรสร้างความถี่ ชนิดทรานซิสเตอร์เกต และสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีสถานะเป็น 1 ในช่วงเวลา 1ms และสถานะ 0 ในช่วงเวลา 20 ms ผ่านเข้า And gate ด้วยกัน ซึ่ง And gate จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ ในการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกให้ออกมาเป็นช่วงเวลา เพื่อให้ MCS-51 ตรวจสอบระยะได้

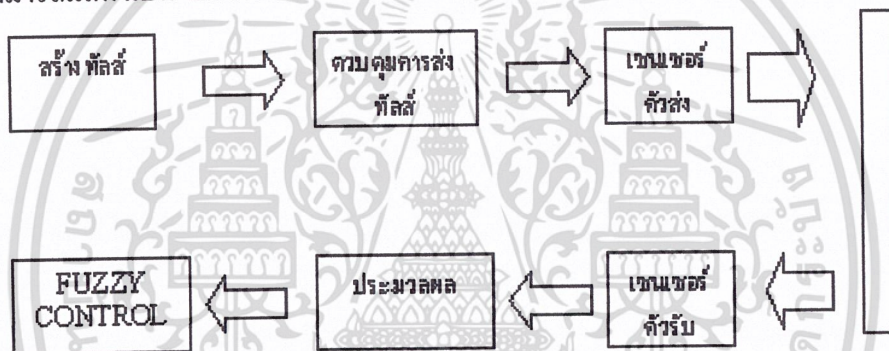




รูปที่ 3.4 แสดง And gate ที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์

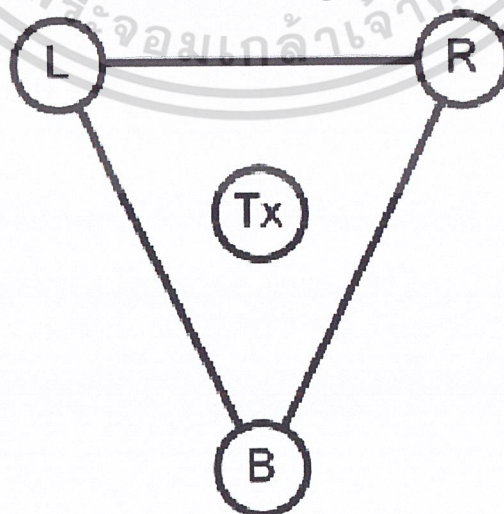
### 3.1.2.1 โครงสร้างของระบบ SENSOR

สามารถแสดงเป็น บล็อกไดอะแกรม ได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของระบบ SENSOR

### ด้านหน้า Copter



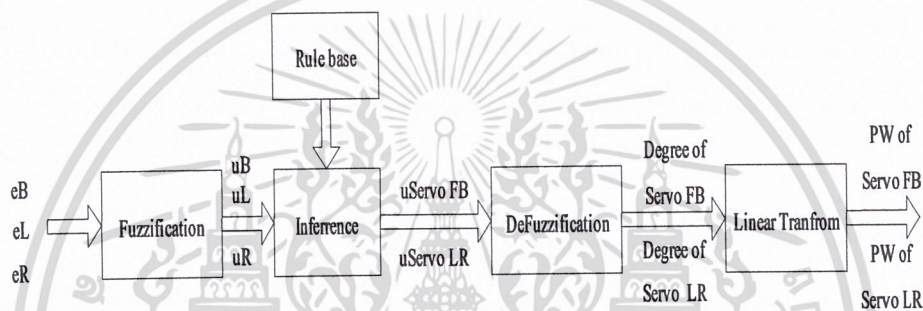
รูปที่ 3.6 การวางตำแหน่งอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



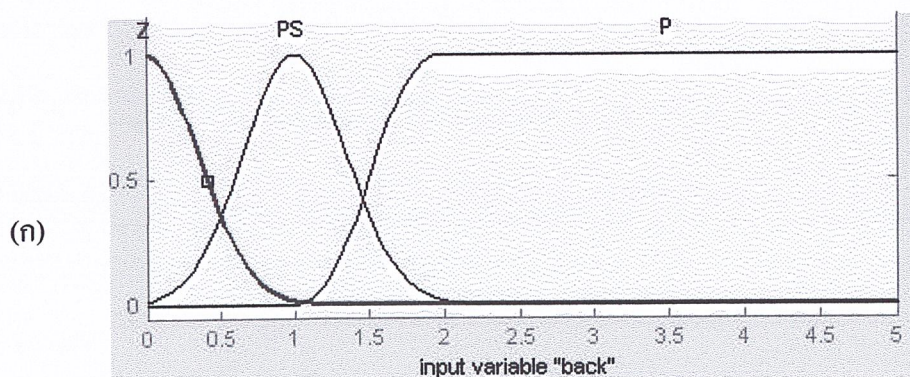
การทำงานเริ่มจาก วงจรผลิตสัญญาณพัลส์ สร้างพัลส์ 40KHz เพื่อนำไปเป็นคลื่นพาหะ จากนั้นสัญญาณ 40 KHz จะถูกควบคุมการส่งพัลส์โดย MCS-51 โดยกำหนดพัลส์เป็นช่วงเวลาตามต้องการ ส่งให้กับทรานสดิวเซอร์TX ตัวส่งทำการส่งคลื่นอัลตราโซนิก เมื่อทรานสดิวเซอร์ตัวรับ Rx ได้รับสัญญาณจากนั้นสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 3 ตัวจะถูกประมวลผลโดย MCS-51 ซึ่งจะทำการคำนวณระยะทาง ส่งให้กับ Fuzzy

### 3.1.3 โครงสร้างการทำงานของระบบฟัซซี่ (Fuzzy System)



รูปที่ 3.7 โครงสร้างการทำงานของระบบฟัซซี่ (Fuzzy System)

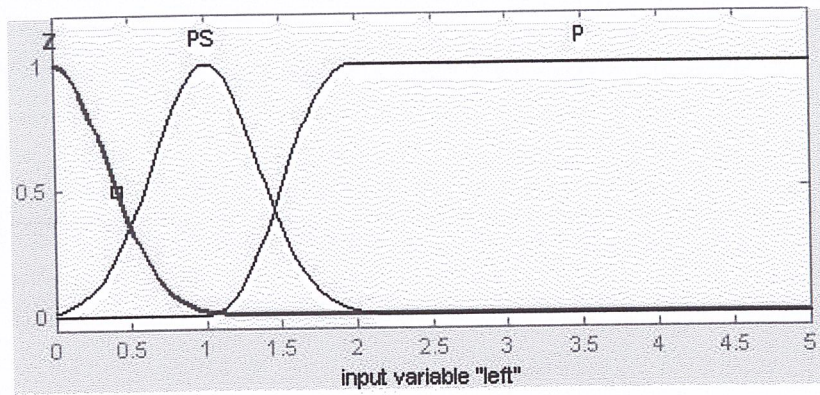
เริ่มต้นจากการนำค่าความสูงที่ได้จากอัลตราโซนิกมาคำนวณหาค่าผิดพลาด (Error) ทั้ง 3 ตัว คือ eB, eR, eL มาทำการฟัซซี่ฟิเคชัน ( Fuzzification ) จะทำให้ทราบค่าสมาชิกภาพ (Membership Value ) ของแต่ละตัวคือ uB, uL และ uR เมื่อได้ค่า Membership ก็จะมีการอนุมาน (Inferences) ด้วยกฎที่สร้างไว้ (Rule Base) ซึ่งเราจะได้ ค่า uServoFB uServoLR เพื่อนำไปดีฟัซซี่ฟิเคชัน (Defuzzification) จะได้ค่าเป็นองศาของเซตฟัซซี่แต่ละตัว จากนั้นจะนำค่าไปผ่านฟังก์ชันที่เป็นเชิงเส้น (Linear Transform) ซึ่ง จะได้ค่าเอาต์พุตสุดท้ายที่เป็นพัลส์วิด (Pulse width) สำหรับนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของแต่ละตัว



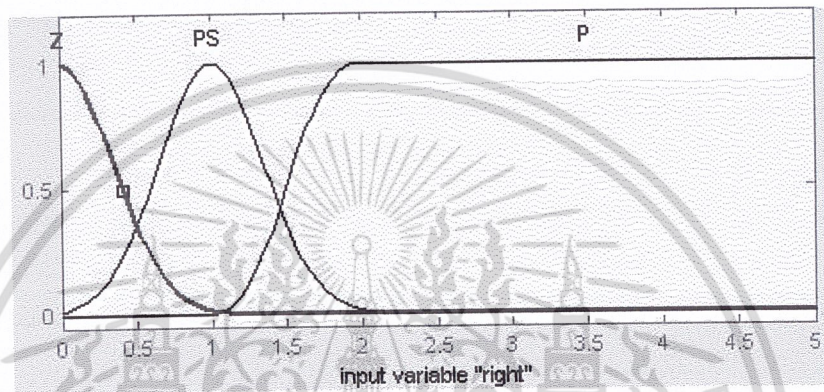
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

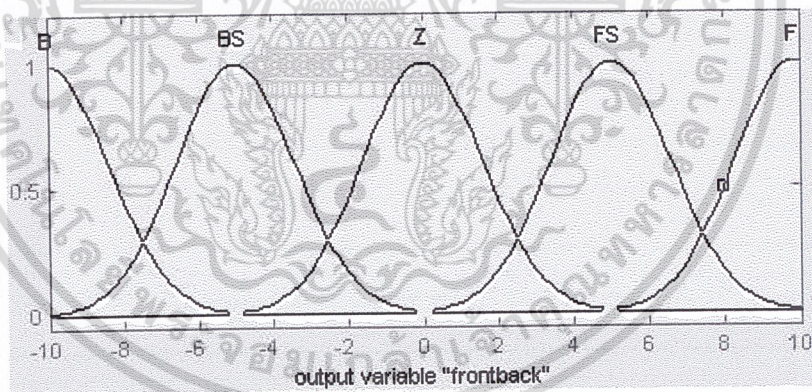


(ค)

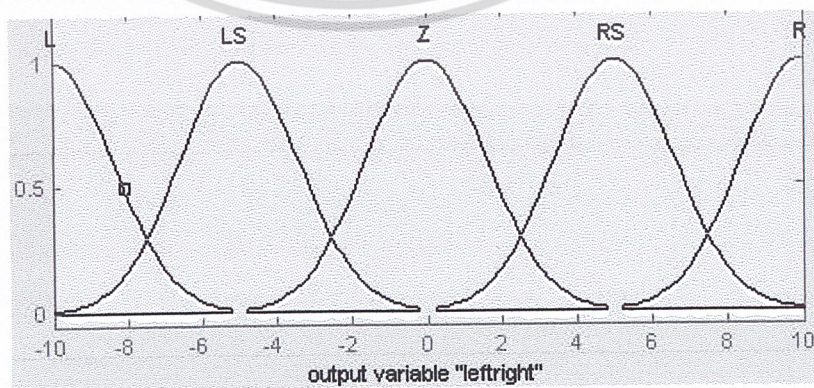


รูปที่ 3.8 แสดง Member ship function in put

(ก)



(ข)



รูปที่ 3.9 แสดง Member ship function out put

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### ฐานของกฎทางฟัซซี่ (Rule Base)

1. If eB is Z and eL is Z and eR is Z then servofb is Z and servolr is Z
2. If eB is Z and eL is Z and eR is PS then servofb is BS and servolr is LS
3. If eB is Z and eL is Z and eR is P then servofb is B and servolr is L
4. If eB is Z and eL is PS and eR is Z then servofb is BS and servolr is RS
5. If eB is Z and eL is PS and eR is PS then servofb is BS and servolr is Z
6. If eB is Z and eL is PS and eR is P then servofb is B and servolr is LS
7. If eB is Z and eL is P and eR is Z then servofb is B and servolr is R
8. If eB is Z and eL is P and eR is PS then servofb is B and servolr is RS
9. If eB is Z and eL is P and eR is P then servofb is B and servolr is Z
10. If eB is PS and eL is Z and eR is Z then servofb is FS and servolr is Z
11. If eB is PS and eL is Z and eR is PS then servofb is FS and servolr is LS
12. If eB is PS and eL is Z and eR is P then servofb Z is and servolr is L
13. If eB is PS and eL is PS and eR is Z then servofb is FS and servolr is RS
14. If eB is PS and eL is PS and eR is PS then servofb is Z and servolr is Z
15. If eB is PS and eL is PS and eR is P then servofb is BS and servolr is LS
16. If eB is PS and eL is P and eR is Z then servofb is Z and servolr is R
17. If eB is PS and eL is P and eR is PS then servofb is BS and servolr is RS
18. If eB is PS and eL is P and eR is P then servofb is BS and servolr is Z
19. If eB is P and eL is Z and eR is Z then servofb is F and servolr is Z
20. If eB is P and eL is Z and eR is PS then servofb is F and servolr is LS
21. If eB is P and eL is Z and eR is P then servofb is F and servolr is L
22. If eB is P and eL is PS and eR is Z then servofb is F and servolr is RS
23. If eB is P and eL is PS and eR is PS then servofb is FS and servolr is Z
24. If eB is P and eL is PS and eR is P then servofb is FS and servolr is LS
25. If eB is P and eL is P and eR is Z then servofb is F and servolr is R
26. If eB is P and eL is P and eR is PS then servofb is FS and servolr is RS
27. If eB is P and eL is P and eR is P then servofb is Z and servolr is Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การ Fuzzification จะใช้ Gaussian Function ในการสร้าง Membership สำหรับการเขียน โปรแกรม เนื่องจาก Gaussian Function ใช้พารามิเตอร์เพียง 2 ตัวคือ  $C, \sigma$

$$F(x; C, \sigma) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma}}$$

โดยจะแบ่ง Partition เป็น 5 Partition คือ N ( Negative ), NS ( Negative small ), Z ( Zero ), PS ( Position Small ), P ( Position ) ซึ่งจะแบ่งเหมือนกัน ทั้ง 3 อินพุต

การ Inference จะใช้วิธี Max – Min เนื่องจากค่าอินพุตทั้ง 3 คำนี้นั้นเป็น Crispy การ Inference ใช้วิธี Max – Min จึงทำได้ง่ายกว่าวิธีอื่นๆ โดยจะนำค่าที่ได้จากการ Fuzzification มาเทียบกับ Rule Base ที่สร้างไว้ก่อนแล้ว ซึ่งจะทำให้รู้ว่า กฎข้อไหนที่ Fired บ้างผลลัพธ์ที่ได้จากกฎแต่ละข้อที่ Fired นั้นจะเป็นค่าที่ต่ำสุด (Min) ที่ได้จากการ Fuzzification หาค่าอินพุตทั้ง 3 อินพุตจากนั้นก็หาค่ารวมทุกๆ กฎ ที่ Fired เข้าด้วยกัน โดยจะเอาค่า Max ของกฎแต่ละข้อที่ Fired มารวมกัน จากนั้นจะนำไปทำการ Defuzzification จะใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยฟัซซี่ (Fuzzy mean) หรืออาจจะเรียกว่า (Weighted average) ซึ่งวิธีนี้จะเป็วิธีประมาณของวิธี COG (Center Of Gravity) จะทำให้ค่าที่ได้ นั้นละเอียดค่าที่ได้ก็คือค่าองศาที่จะนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว

ส่วนสุดท้ายคือ Linear Transform เป็นการนำค่าองศาที่ได้จากการ Defuzzification มาผ่าน Function เส้นตรง ซึ่งจะได้อค่าที่เป็นพัลส์วริ (PW) แล้วจะนำไปส่งให้ MCS-51 เพื่อควบคุม Servo ต่อไป

### 3.2 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์

#### 3.2.1 วงจรภาคส่ง-ภาครับ คลื่นอัลตราโซนิค

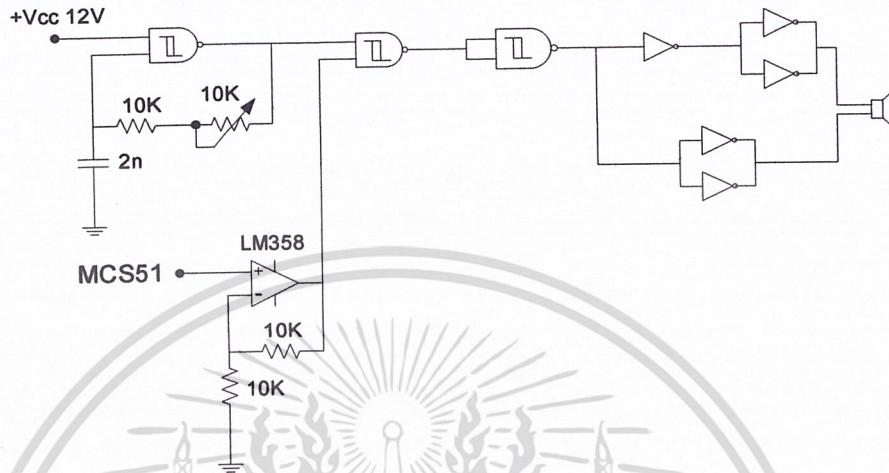
วงจรภาคส่งและภาครับคลื่นอัลตราโซนิค เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะมีหน้าที่ในการ ส่งและรับคลื่นสัญญาณ ซึ่งจะมีผลต่อการประมวลผลมาก หากมีการทำงานที่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อย จะทำให้ระบบการรักษาระดับเกิดความผิดพลาดได้

#### ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

ภาคส่งคลื่นสัญญาณ ทำหน้าที่ในการกำเนิดคลื่นสัญญาณ ซึ่งในที่นี้ก็คือ คลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งจะมีความถี่เท่ากับ 40 KHz ซึ่งจะเป็นความถี่ที่ อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ทำงานตอบ



สนองทั้งส่งและรับได้ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถส่งได้ไกลมากที่สุด สามารถพิจารณาส่วนประกอบดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิคสามารถที่จะแบ่งออกย่อยๆ ได้ 3 วงจรคือ

1. ส่วนวงจรผลิตความถี่ 40 KHz
2. ส่วนวงจรควบคุมการส่งคลื่น
3. ส่วนวงจรขยายกำลัง

#### ภาครับคลื่นอัลตราโซนิค

ภาครับคลื่นอัลตราโซนิคสามารถที่จะแบ่งออกย่อยๆ ได้ 3 วงจรคือ

1. ส่วนรับและขยายกำลัง

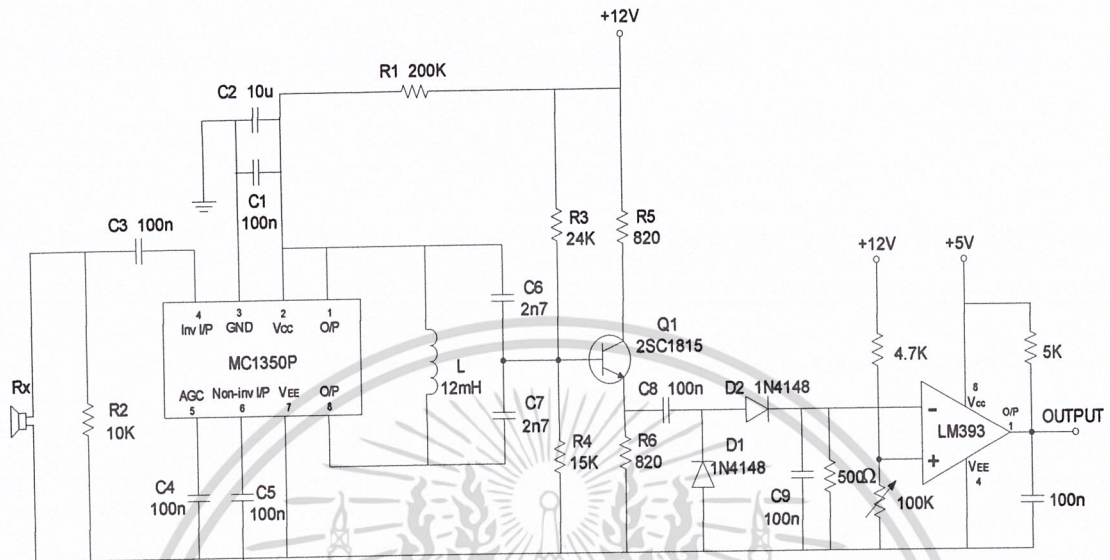
เมื่ออัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ได้รับคลื่นอัลตราโซนิคแต่ละจะเป็นขนาด mV ไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้จึงจำเป็นต้องขยายให้มีความแรงโดยใช้ IC MC1350P ขยายให้แรงขึ้น

2. ส่วนวงจรคอมพาราเตอร์

เป็นวงจรที่ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามาทางขาบวกและขาลบของออปแอมป์ LF393 โดยถ้าระดับสัญญาณที่ขาลบมีค่าสูงกว่าระดับสัญญาณที่ขาบวกสัญญาณที่เอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ถ้าสัญญาณที่ขาลบมีค่าต่ำกว่าระดับสัญญาณที่ขาบวก สัญญาณที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยงของออปแอมป์ โดยจากรูปที่ขาลบจะเป็นทางเข้าของสัญญาณ 40KHz และที่ขาบวกจะสามารถปรับค่าแรงดันเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณให้ได้เอาต์พุตตามที่ต้องการ

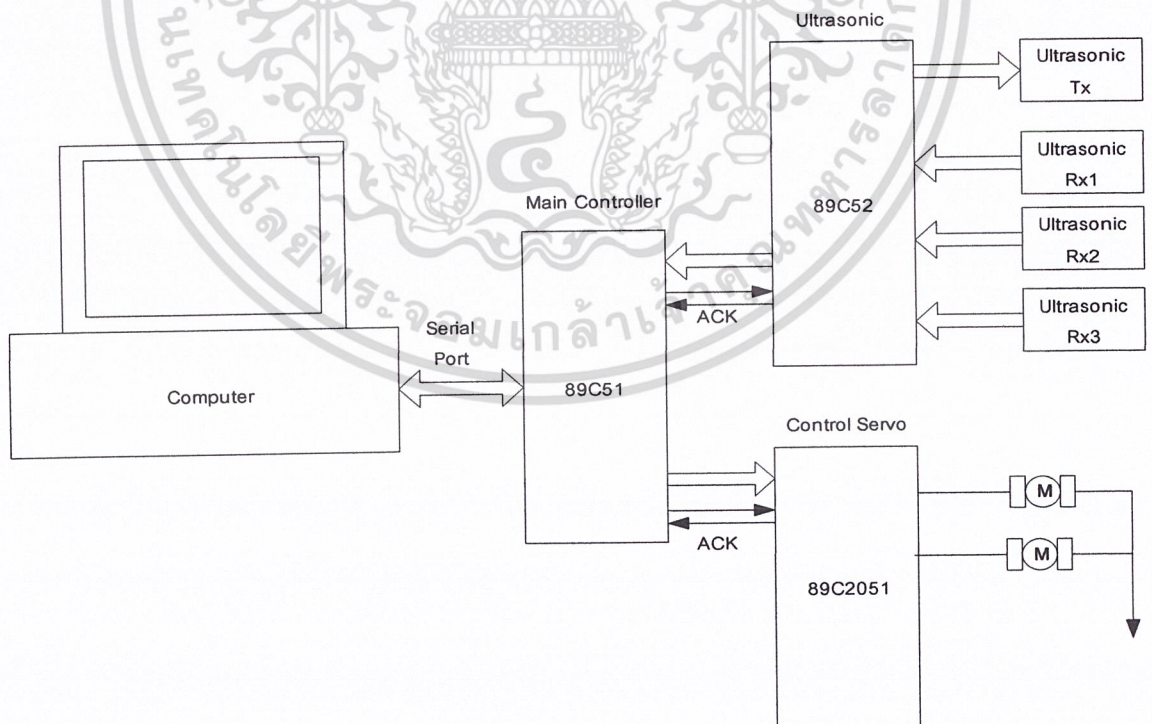


3. วงจรกรองความถี่ เป็นวงจรที่ทำการกรองสัญญาณ 40 KHz ให้ลดต่ำลงที่สามารถใช้ทำงานกับ MCS-51 ได้



รูปที่ 3.11 แสดงภาพกรับคลื่นอัลตราโซนิก

### 3.2.2 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์

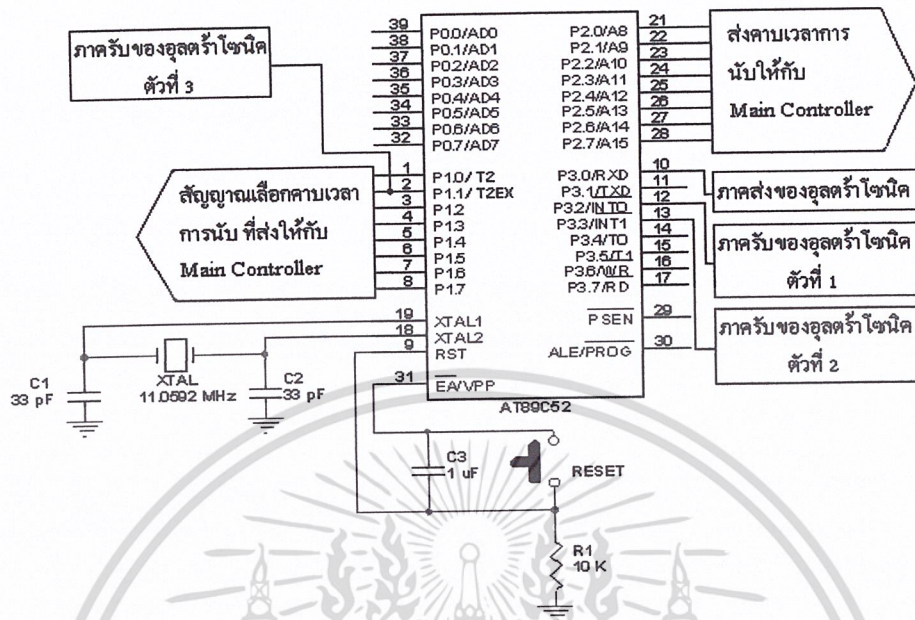


รูปที่ 3.12 เป็นการแสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



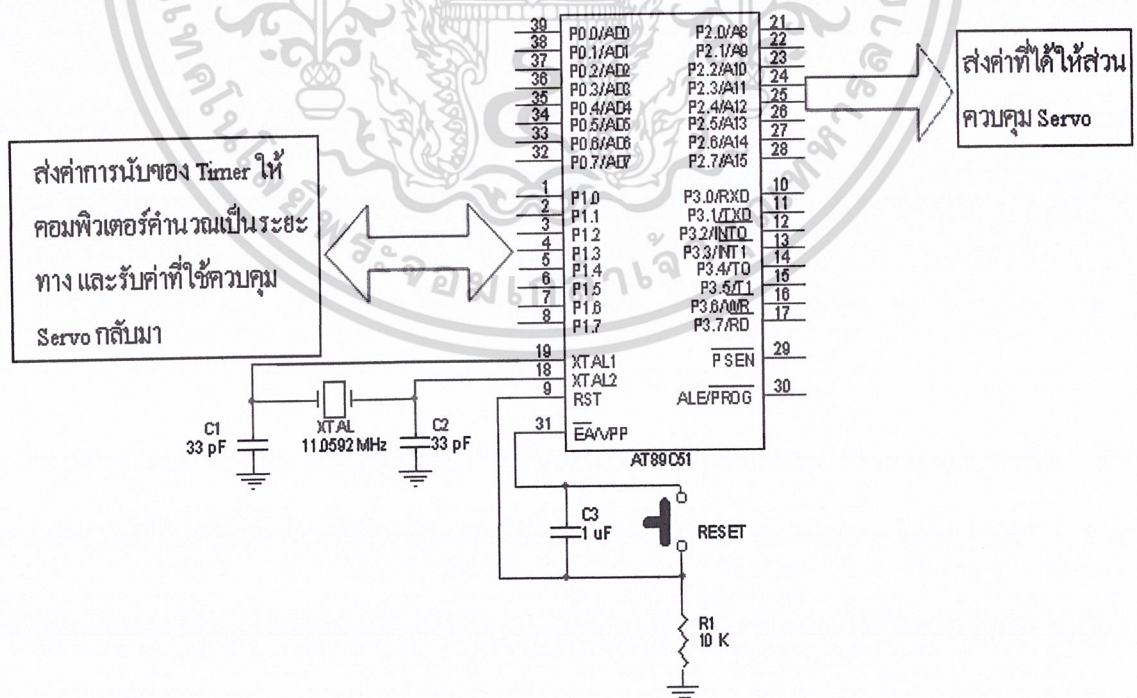
### 3.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52



รูปที่ 3.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมชุดอัลตราโซนิก

นำไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 มาใช้งานเป็นตัวควบคุม ชุดอัลตราโซนิกและ  
ส่งข้อมูลเข้า Main controller เพื่อนำไปประมวลผล

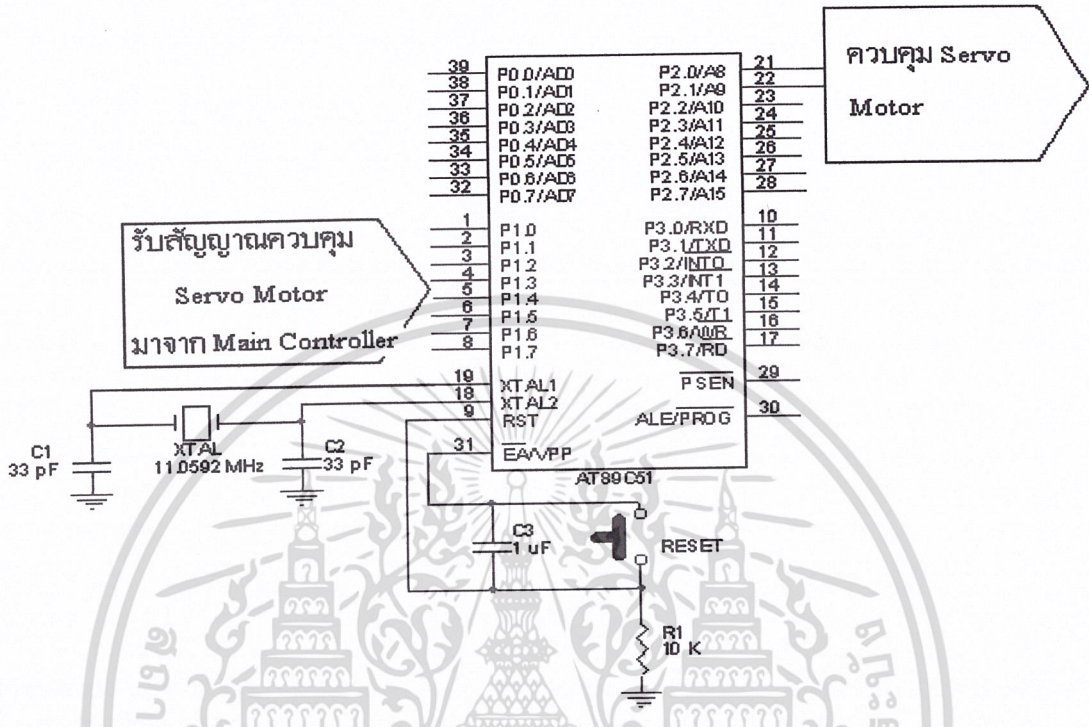
### 3.2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51





รูปที่ 3.14 Main ไมโครคอนโทรลเลอร์

## 3.2.6 วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor)



รูปที่ 3.15 วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

จากโครงสร้างของอากาศยานมีการใช้เซอร์โวมอเตอร์จำนวน 2 ตัว คือ ใช้เซอร์โวมอเตอร์ควบคุมการ เดินหน้า , ถอยหลัง , เลี้ยวซ้าย , เลี้ยวขวา ตามลำดับ

การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์นั้นสามารถควบคุมองศาในการหมุนได้ โดยกำหนดความกว้างของพัลส์(Pulse) ที่จะส่งไปทางสายสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์ กล่าวคือ ถ้าความกว้างของพัลส์มีค่าคงที่มอเตอร์จะไม่เกิดการหมุน แต่หากความกว้างของพัลส์มีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนเพิ่มขึ้นจากทิศทางเดิมทำให้องศาการหมุนเพิ่มขึ้น และถ้าความกว้างของพัลส์มีขนาดลดลงเซอร์โวมอเตอร์จะหมุนกลับหรือในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิมทำให้องศาการหมุนลดลง



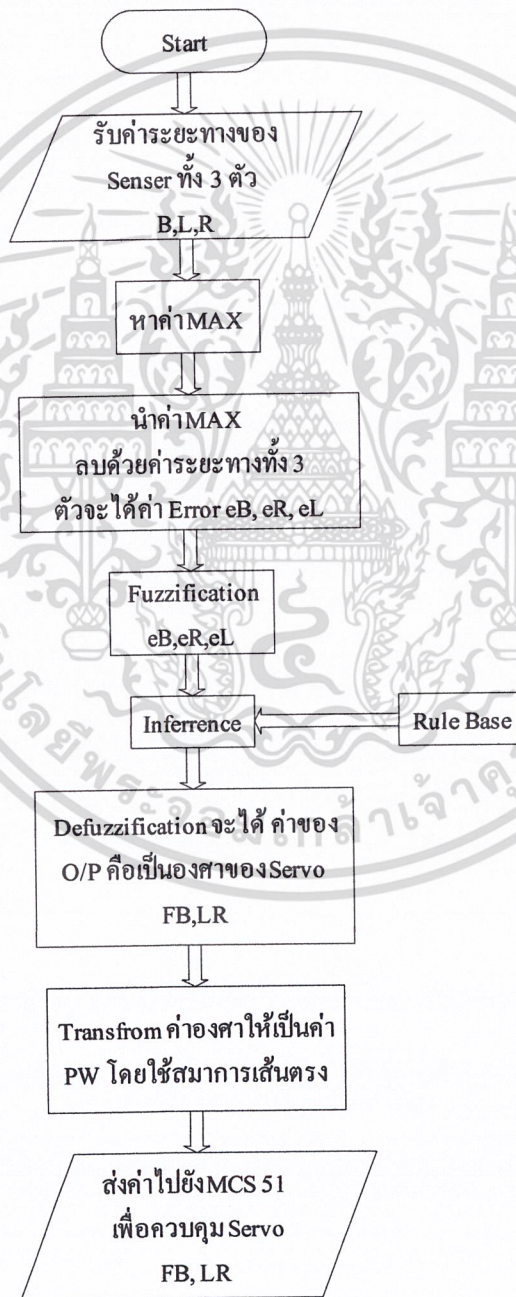
### 3.3 การออกแบบทางด้านโปรแกรม

ในการออกแบบทางด้านโปรแกรมนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.3.1 ส่วนควบคุมโดยใช้ ฟัชชีโลจิก

3.3.2 ส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.3.1 ส่วนควบคุมโดยใช้ ฟัชชีโลจิกคอนโทรล



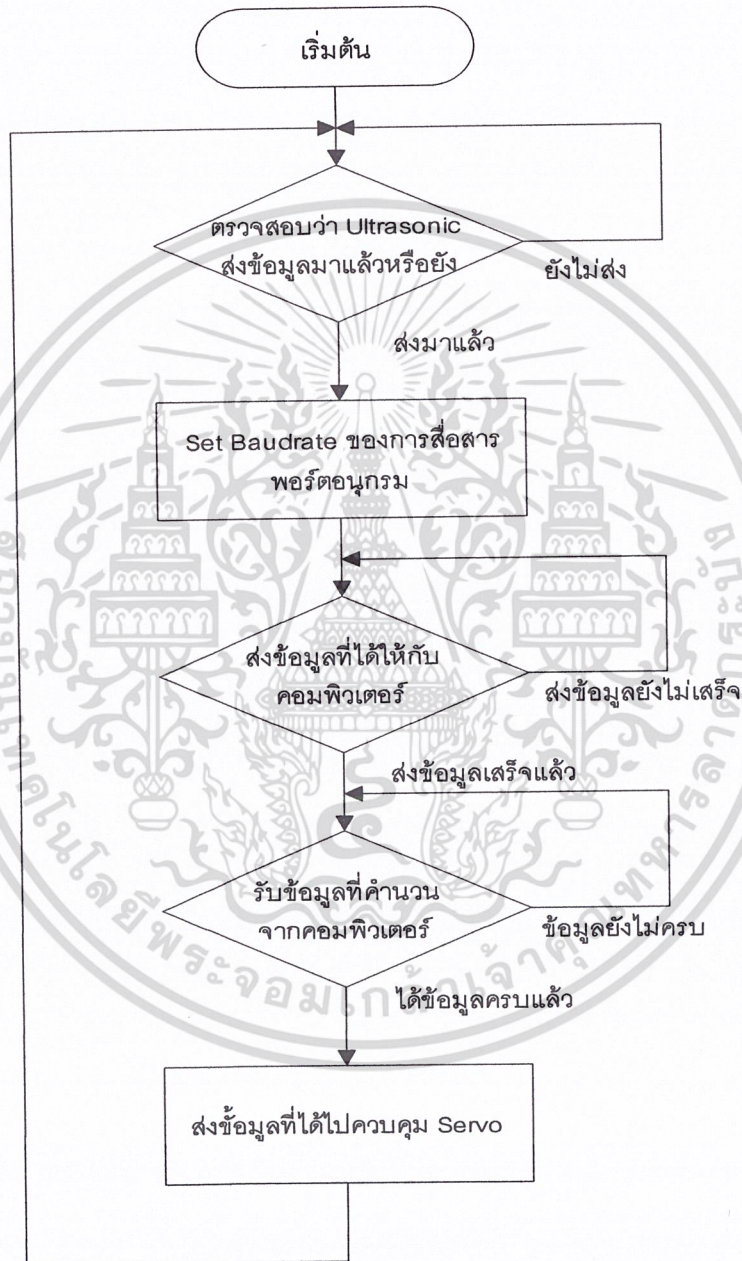
รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมฟัชชี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.3.2 ส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

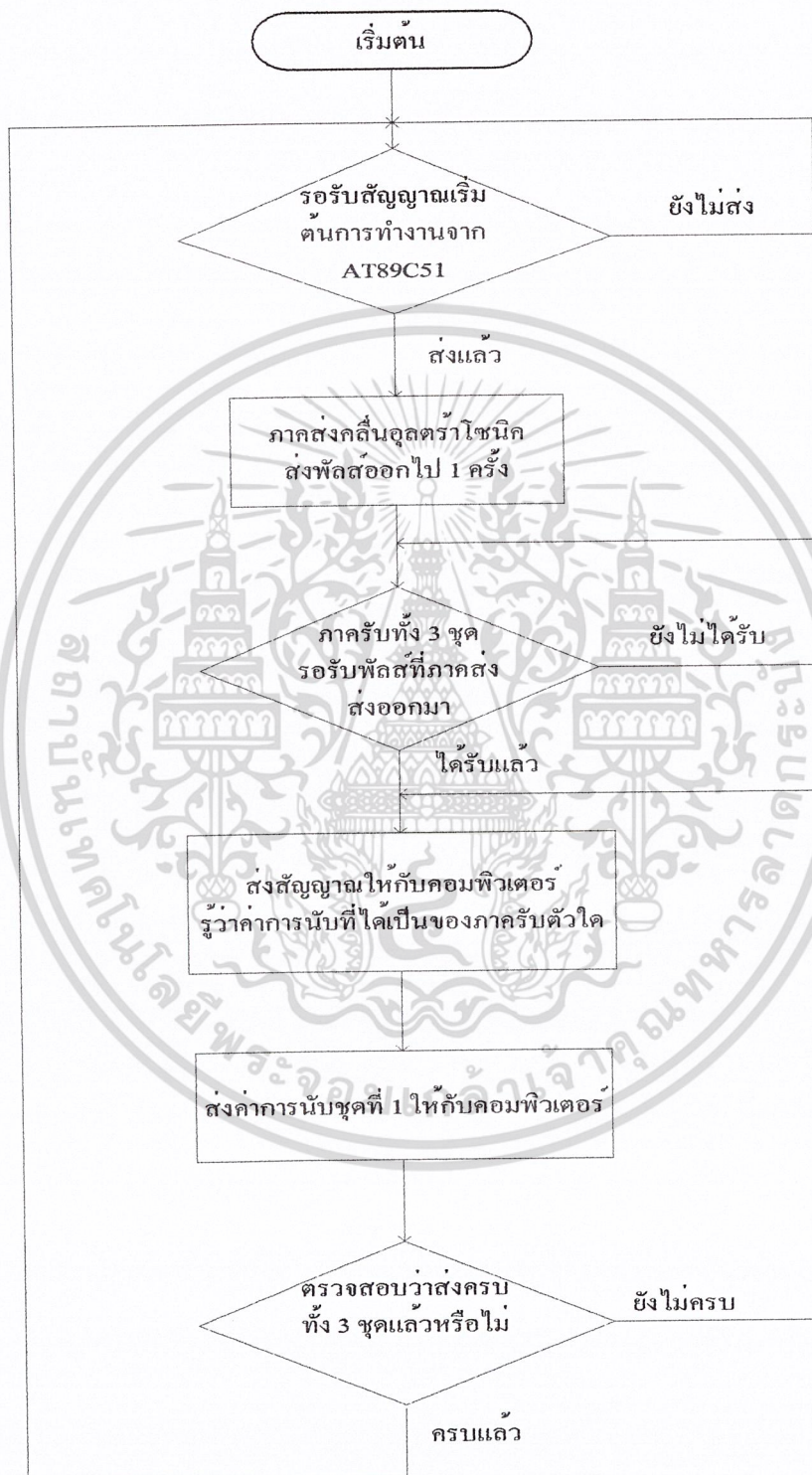
#### 3.3.2.1 การทำงานของโปรแกรม Main Controller



รูปที่ 3.17 แสดงการทำงานของโปรแกรม Main Controller



### 3.3.2.2 การทำงานของโปรแกรม AT89C52

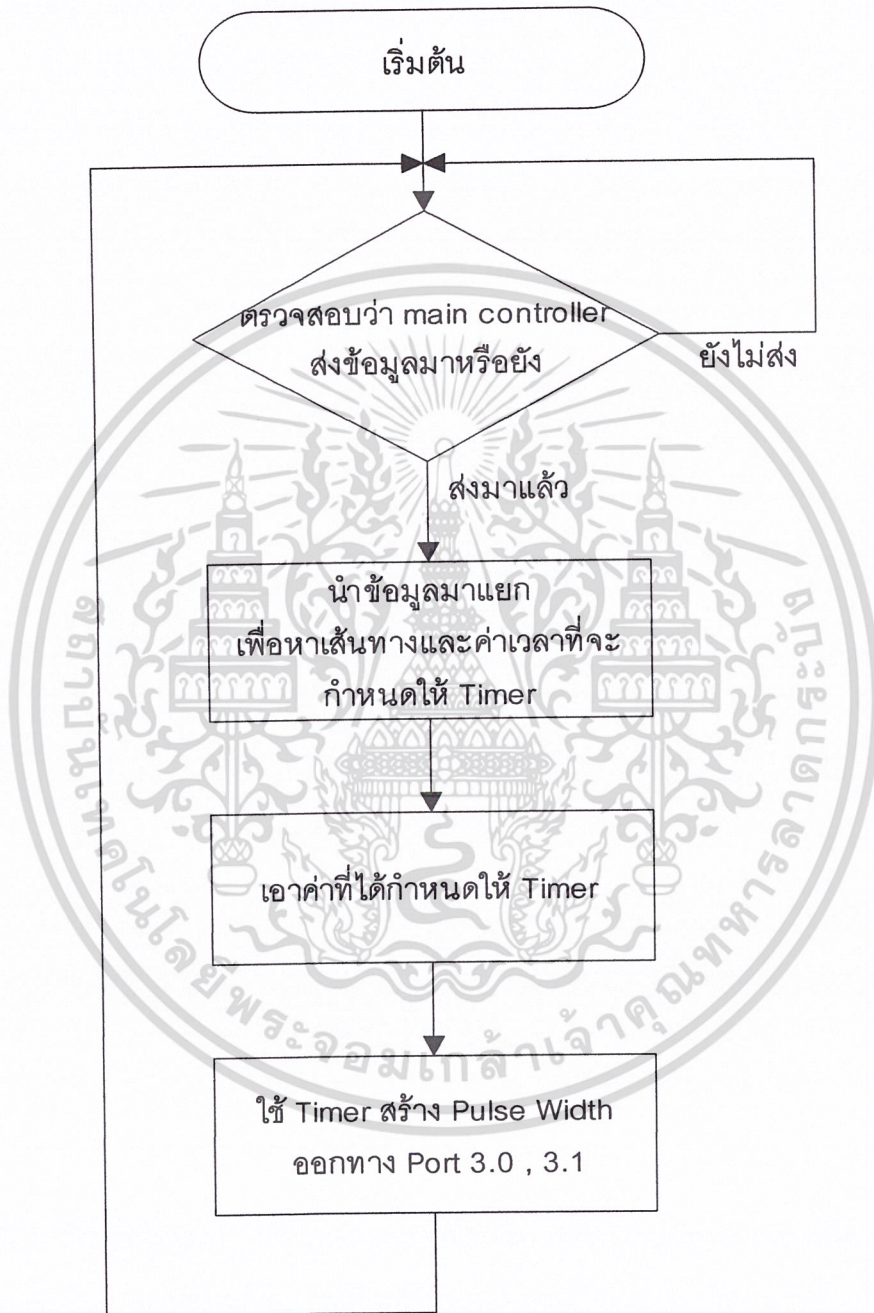


รูปที่ 3.18 แสดงการทำงานของโปรแกรม AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

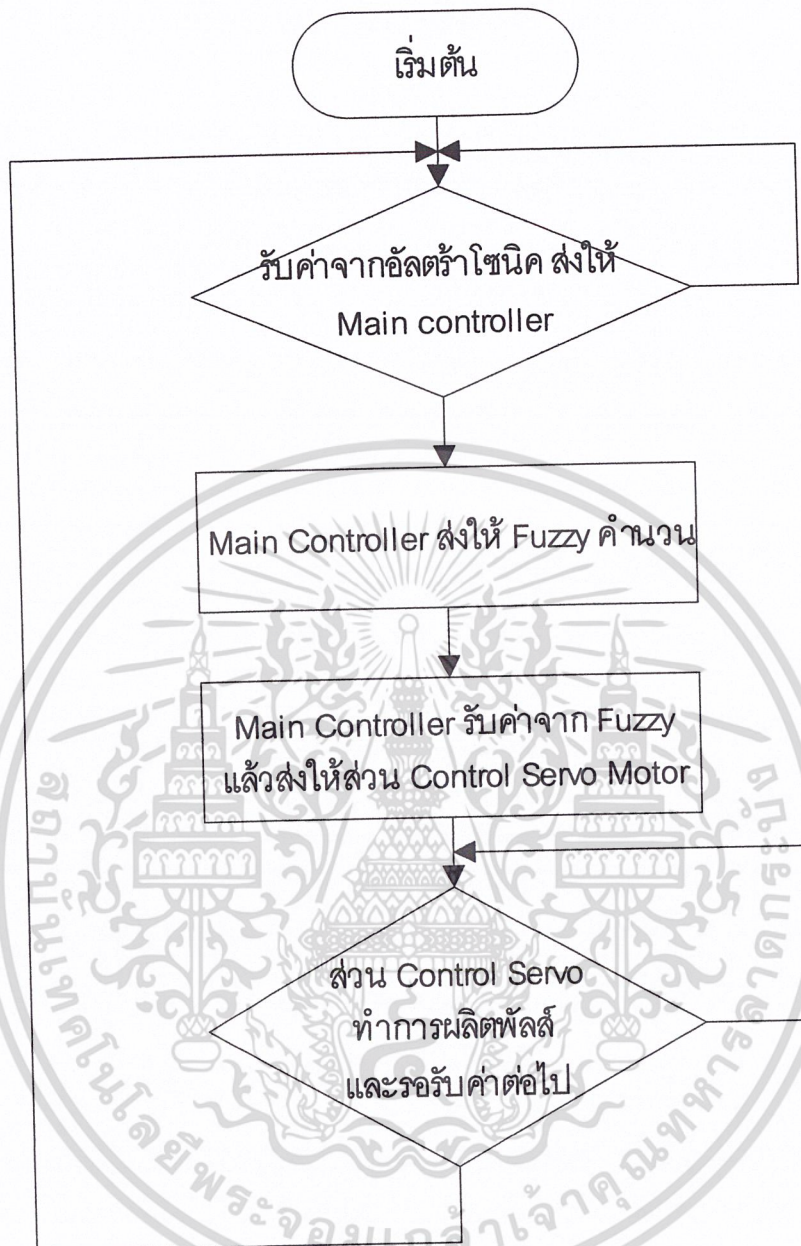


### 3.3.2.3 การทำงานของโปรแกรม AT89C2051 ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.19 แสดงการทำงานของโปรแกรม AT89C2051 ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์





รูปที่ 3.20 แสดงการทำงานโดยรวมของของโปรแกรมทั้งหมด



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4. การทดลองและผลการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1 การทดลองและผลการทดลอง ภาครับ-ภาคส่ง อัลตราโซนิก

4.2. การทดลองทางโปรแกรมพีซี

#### 4.1 การทดลองและผลการทดลอง ภาครับ-ภาคส่ง อัลตราโซนิก

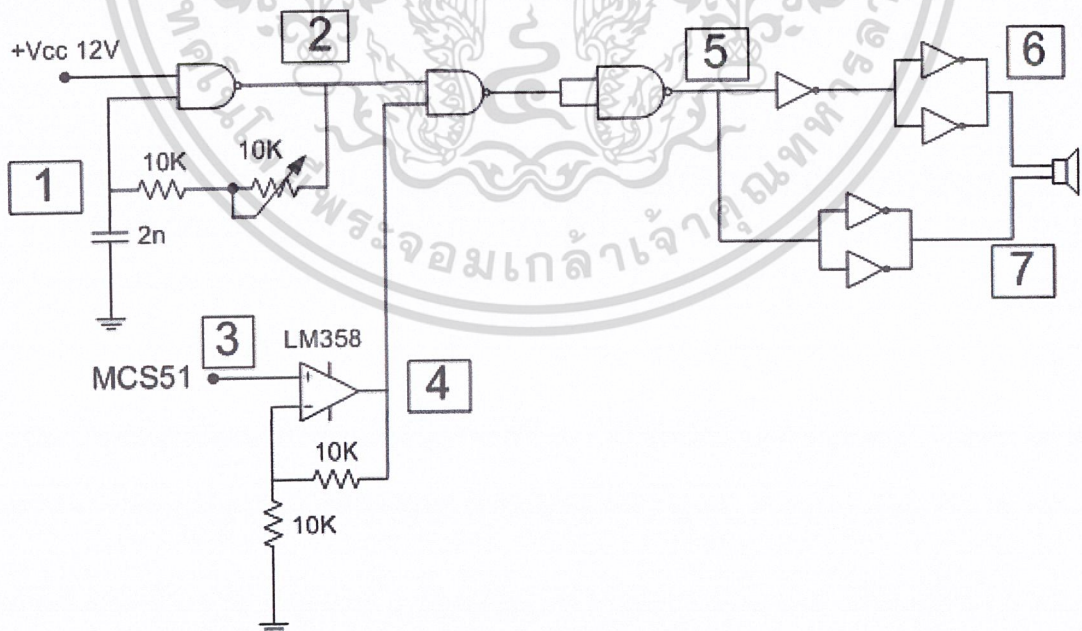
แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1.1 ทดลองวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรภาคส่ง และภาครับ ที่ระยะ 40 ซม. (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

4.1.2 ทดลองวัดระยะเทียบกับระยะจริง โดยใช้ ชุดรับ 1 ชุด และ ชุดส่ง 1 ชุด

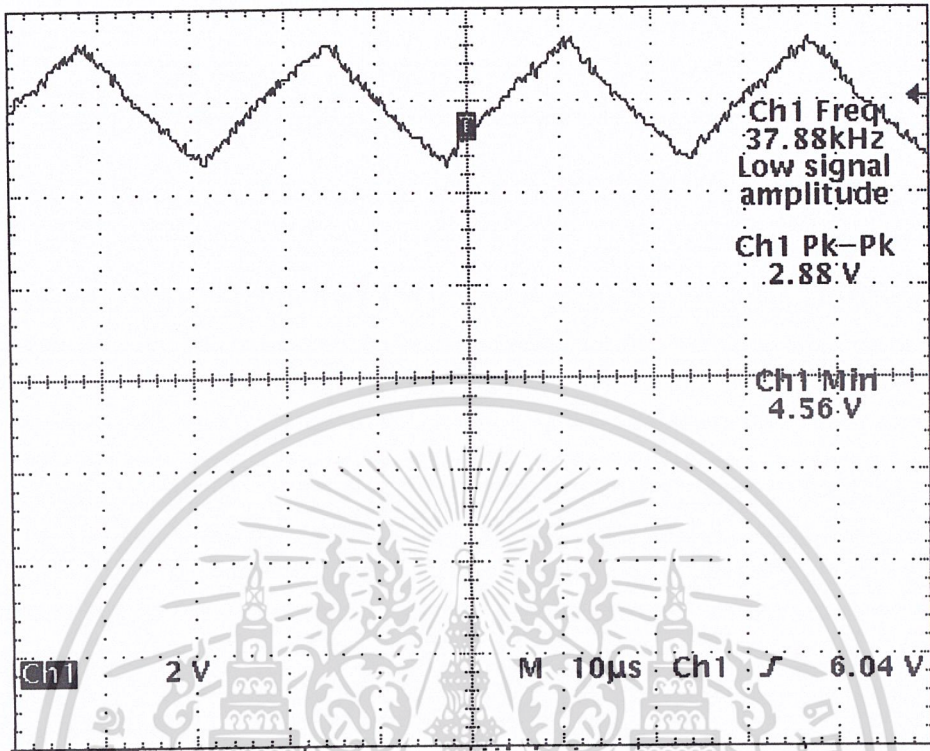
4.1.1 ทดลองวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรภาคส่ง และภาครับ

4.1.1.1 วัดสัญญาณของวงจรภาคส่ง ที่จุด 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ จุด 6 เทียบกับจุด 7

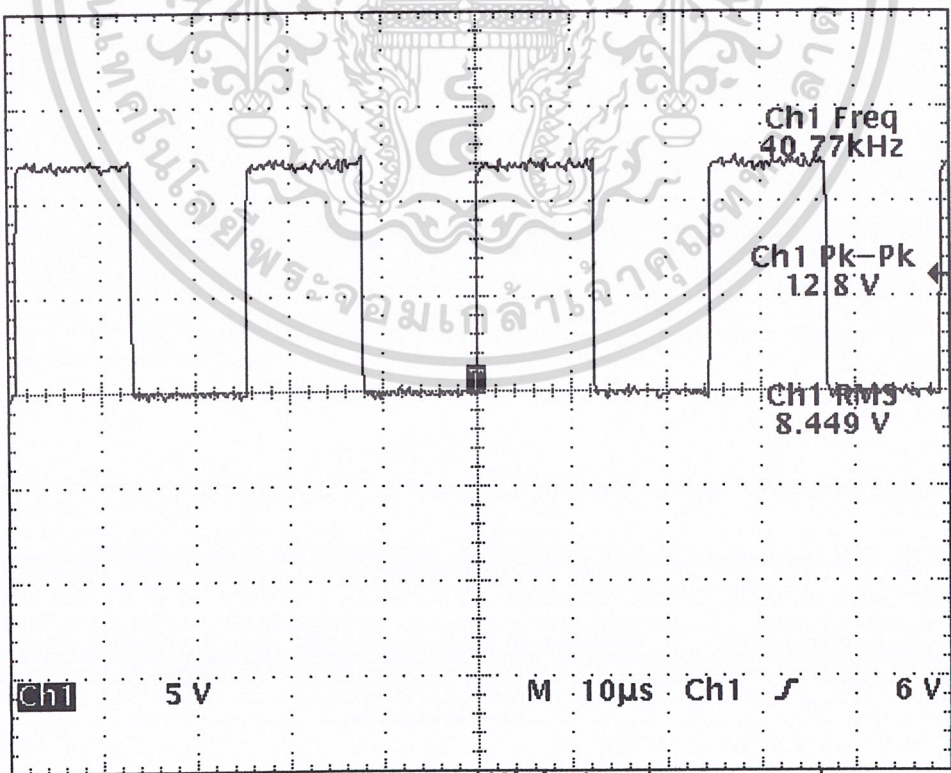


รูปที่ 4.1 แสดงวงจรภาคส่งอัลตราโซนิกและจุดที่ต้องวัด





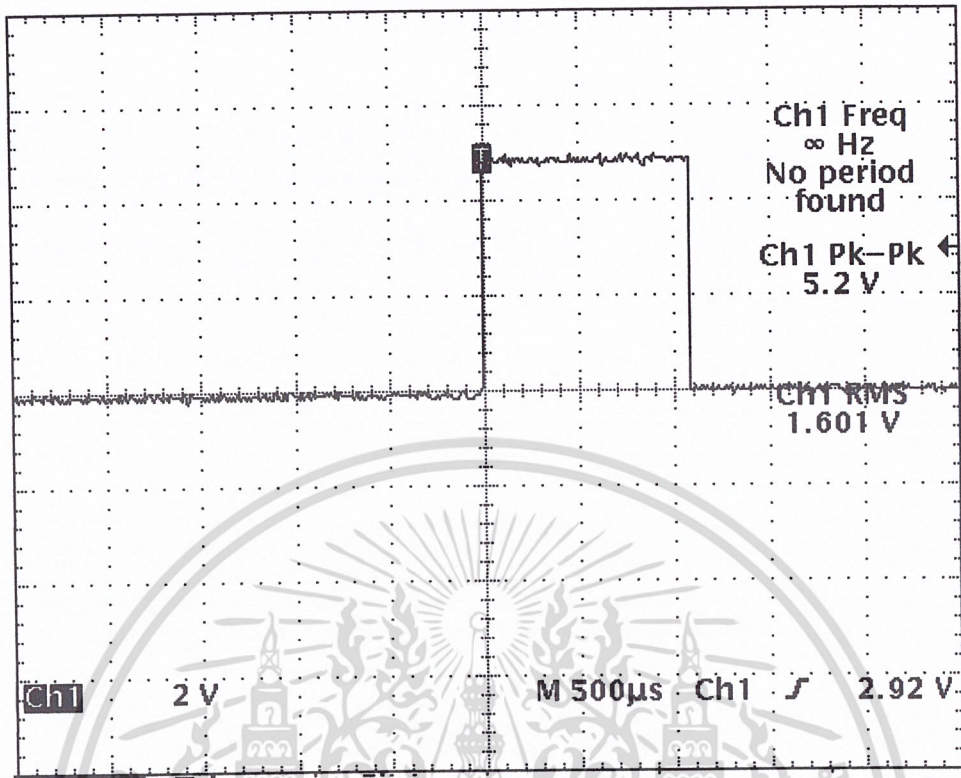
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่จุด 1



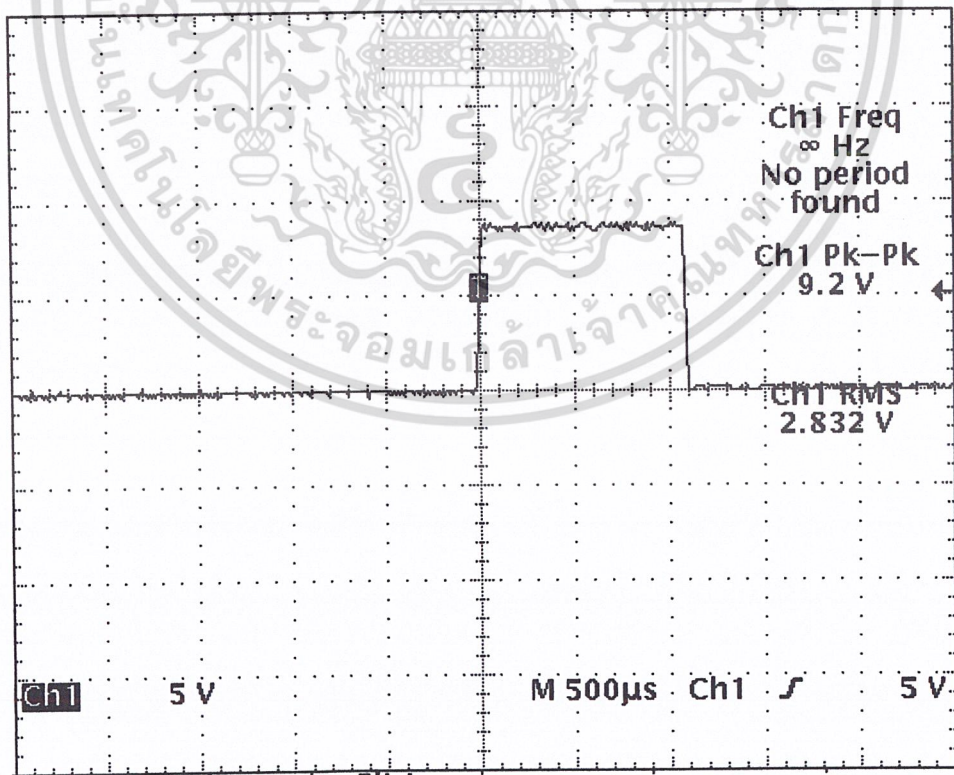
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่จุด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





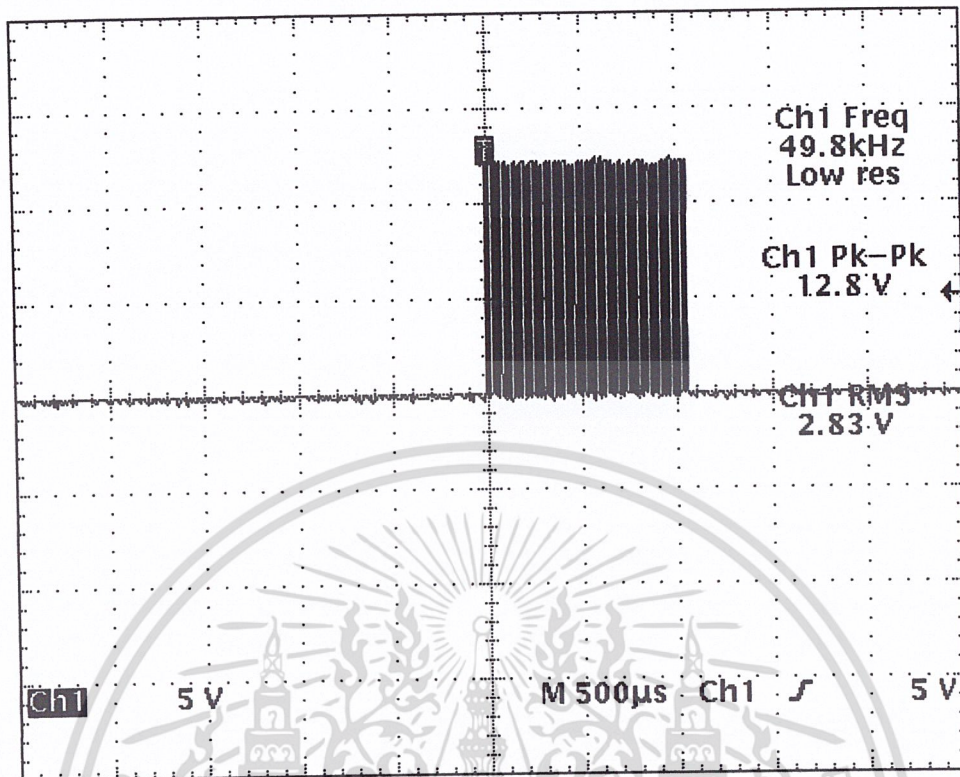
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่จุด 3



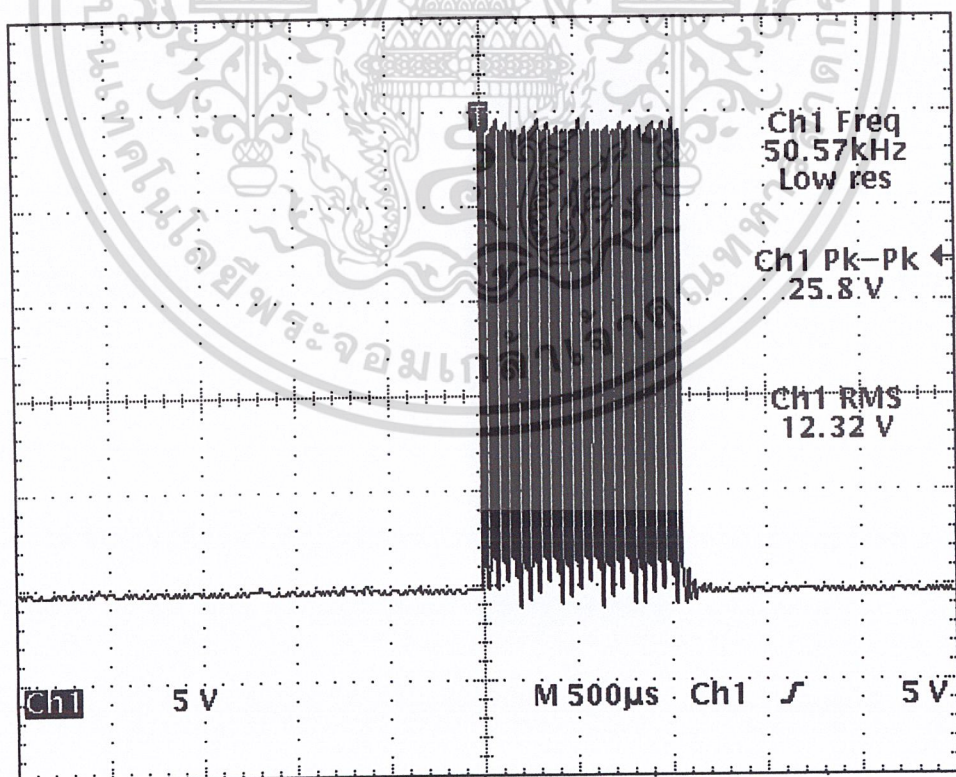
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่จุด 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่จุด 5

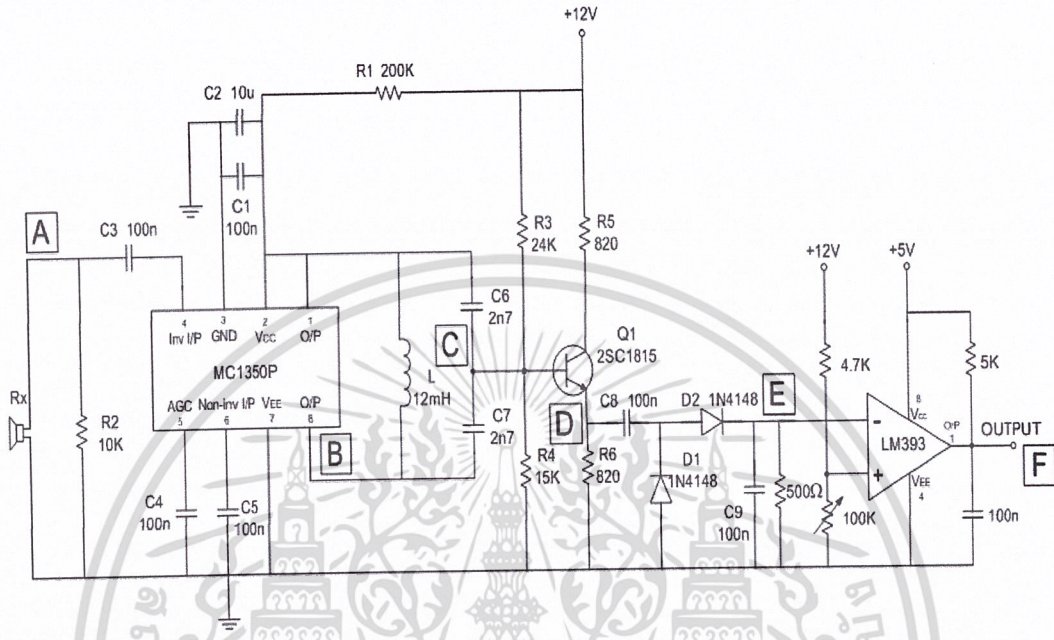


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่จุด 6 เทียบกับจุด 7

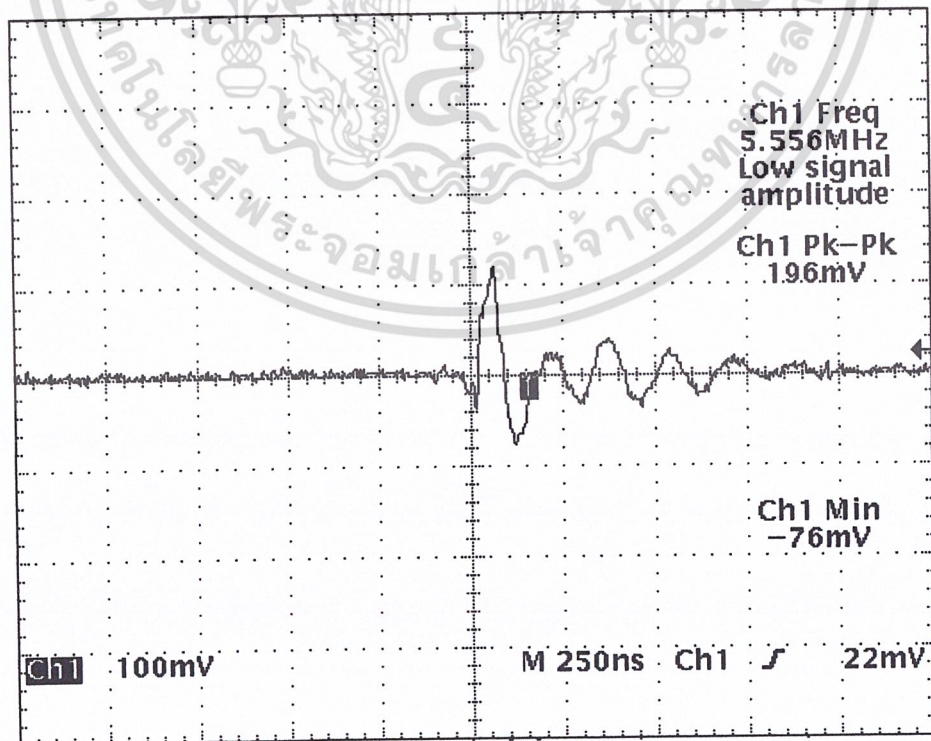
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.1.1.2 วัฏจักรภาครับ ที่จุด A, B, C, D, E, F และ สัญญาณที่จุด F เทียบกับจุด 6 ของภาคส่ง



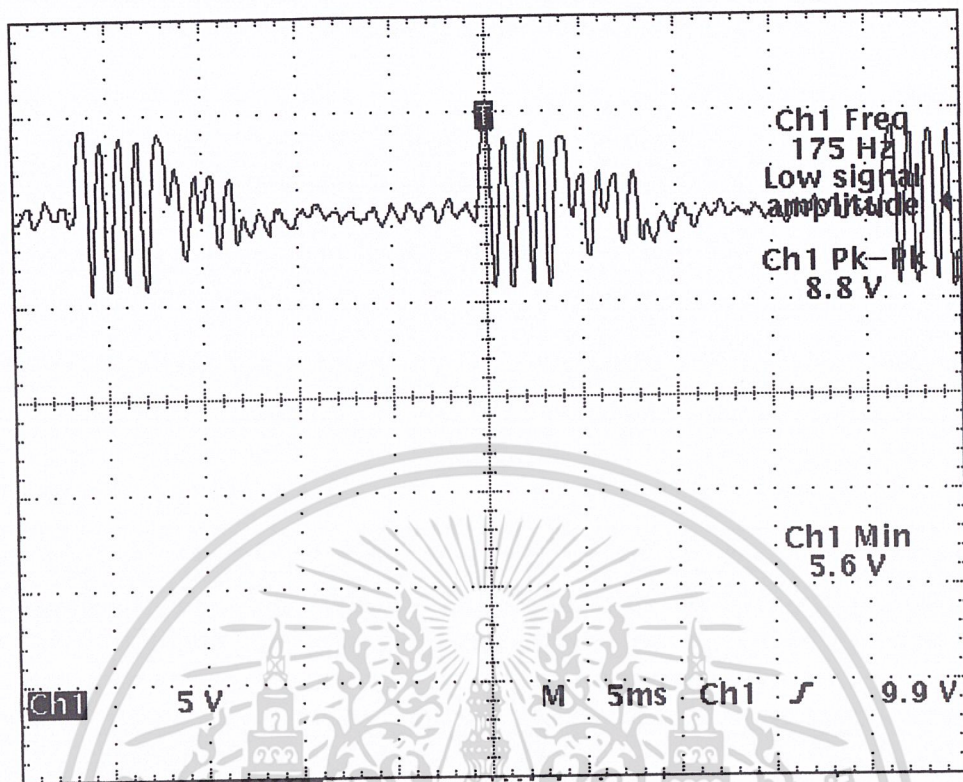
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรภาครับอัลตราโซนิกและจุดที่ต้องวัด



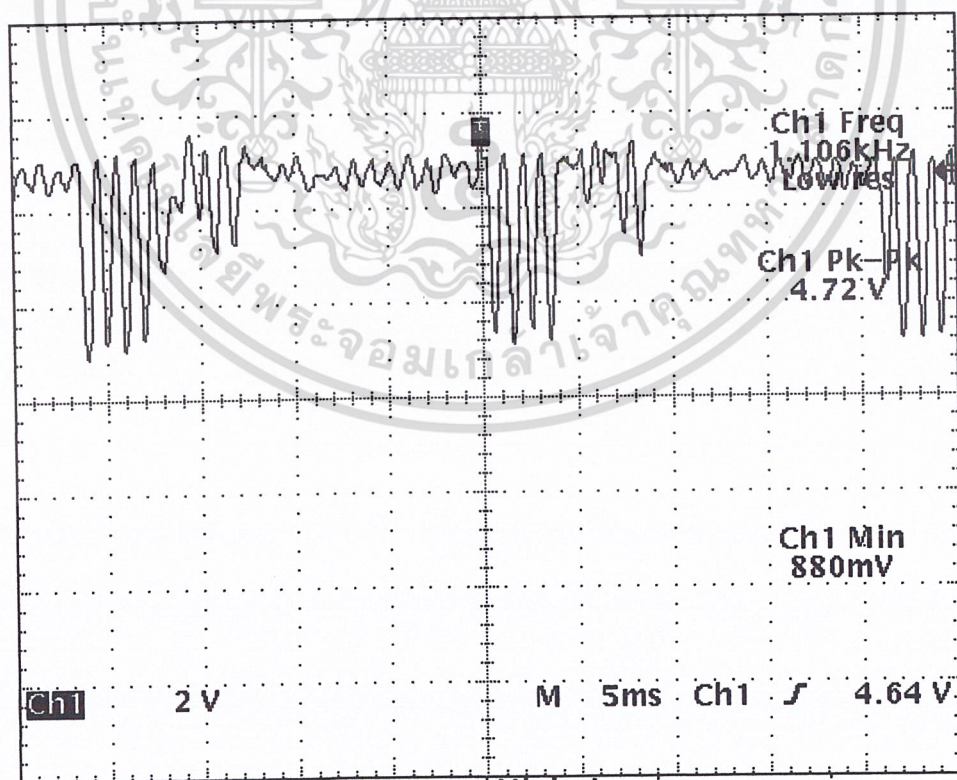
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





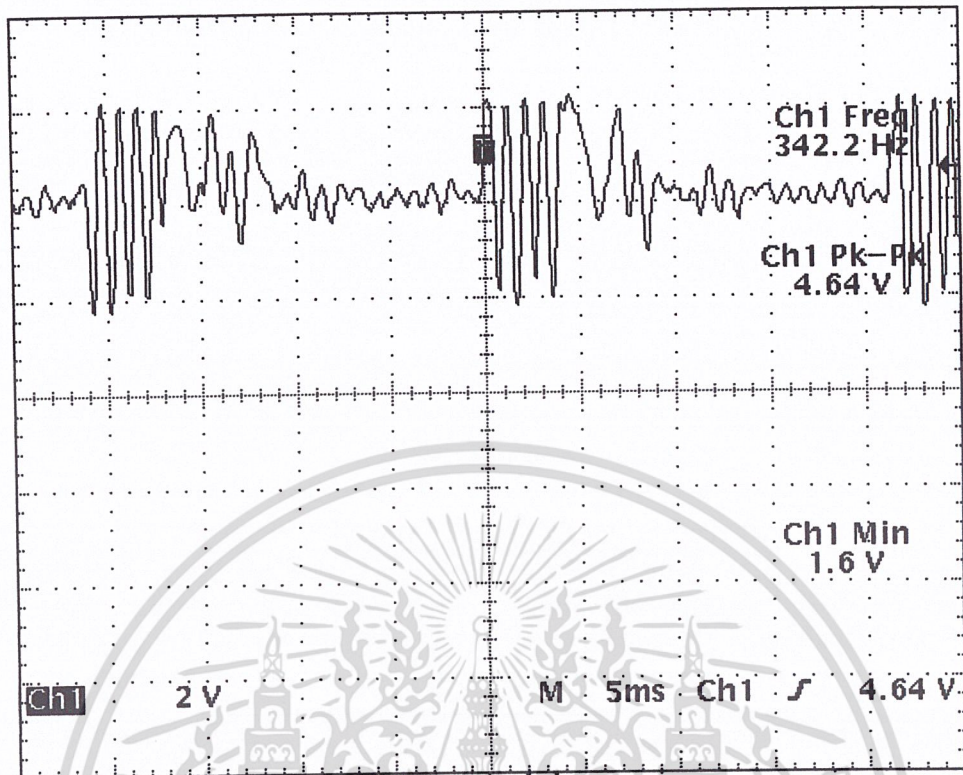
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่จุด B



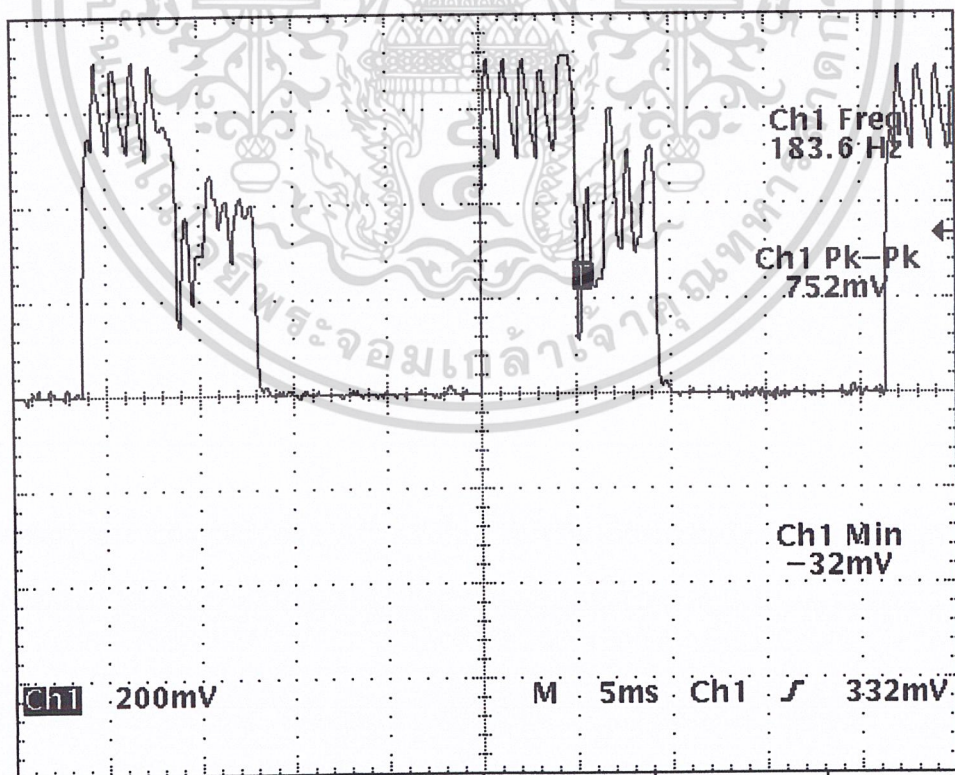
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณที่จุด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





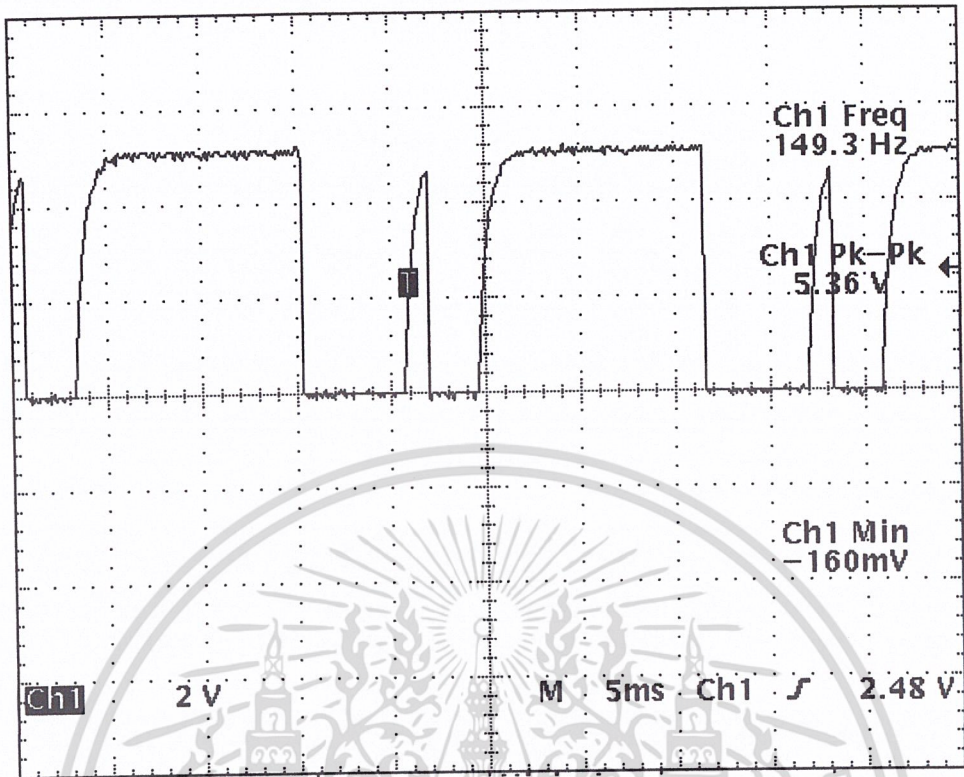
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่จุด D



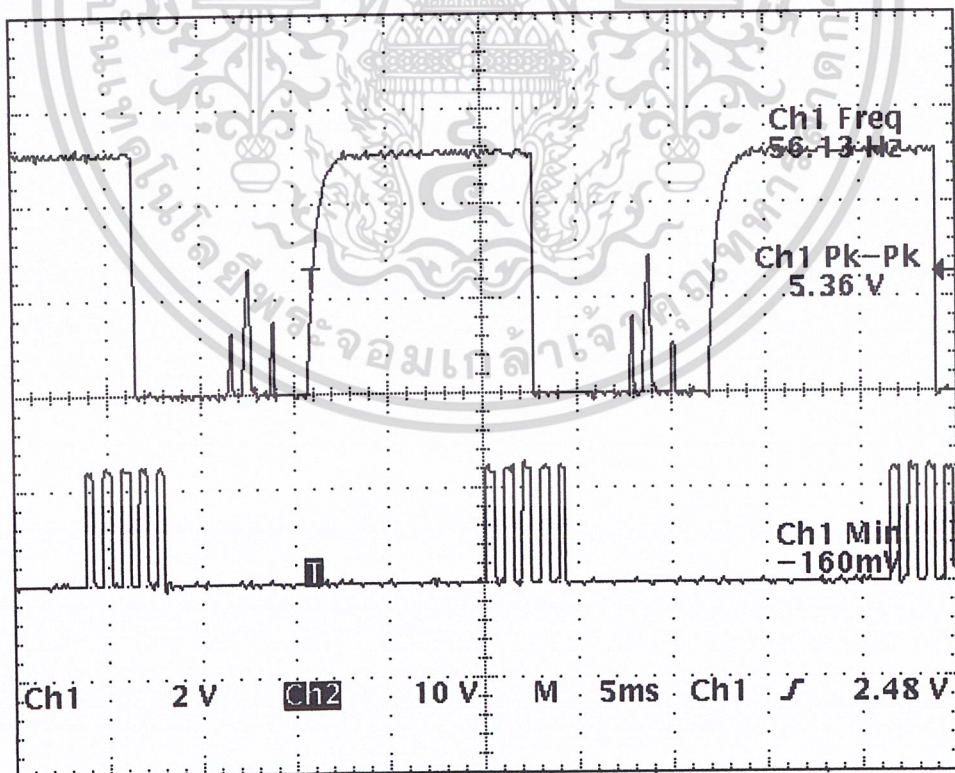
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่จุด E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณที่จุด F



รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณที่จุด F เทียบกับจุด 6 ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.1.2 ทดลองวัดระยะเทียบกับระยะจริง โดยใช้ ชุดรับ 1 ชุด และ ชุดส่ง 1 ชุด ที่อุณหภูมิ 25° C

หัวส่งและหัวรับจะอยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งระยะทางที่ทดลองวัด คือ ระยะทางที่คลื่นออกจากหัวส่งไปยังพื้น แล้วสะท้อนกลับมายังหัวรับ หาคด้วย สอง

$$S = \frac{(331.45 + 0.607T)t}{2}$$

S: ระยะทาง

T: อุณหภูมิขณะทดลอง

t: เวลาที่วัดได้จาก ออสซิลโลสโคป

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดระยะเทียบกับระยะจริง โดยใช้ ชุดรับ 1 ชุด และ ชุดส่ง 1 ชุด

| ระยะทางจากระนาบ<br>ของหัวรับหัวส่งไปยัง<br>พื้น (ซม.) | ระยะเวลาที่คลื่นเดินทาง<br>จากหัวส่งมาถึงหัวรับ<br>ที่วัดจากสโคป (ms) | ระยะทางที่คำนวณ<br>ได้<br>(ซม.) | ค่า error<br>(%) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 10                                                    | 1.0                                                                   | 17.33                           | 42.29            |
| 20                                                    | 1.5                                                                   | 25.9                            | 29.5             |
| 30                                                    | 2.0                                                                   | 34.6                            | 15.33            |
| 40                                                    | 2.5                                                                   | 43.3                            | 8.25             |
| 50                                                    | 3.5                                                                   | 51.9                            | 3.8              |
| 60                                                    | 4.0                                                                   | 60.6                            | 1                |
| 70                                                    | 4.5                                                                   | 69.3                            | 1                |
| 80                                                    | 5.0                                                                   | 78                              | 2.5              |
| 90                                                    | 5.5                                                                   | 86.65                           | 3.72             |
| 100                                                   | 6.0                                                                   | 95.32                           | 4.86             |



## 4.2 การทดลองโปรแกรมฟัซซี่

- ทดลองป้อนค่าระดับความสูงของหัวรับทั้ง 3 ตัว ที่ระยะ ต่างๆ

ตารางที่ 4.2 การทดลองโปรแกรมฟัซซี่

| ความสูงของเซนเซอร์<br>(cm) |      |      | ค่าMax<br>(cm) | ค่าผิดพลาด<br>(Error) |     |     | Defuzzi<br>fication<br>(Degree) |          | ค่า PWM<br>(ms) |             | มุมที่Servo<br>หมุนจริง |             |
|----------------------------|------|------|----------------|-----------------------|-----|-----|---------------------------------|----------|-----------------|-------------|-------------------------|-------------|
| B                          | L    | R    |                | B                     | L   | R   | Z*F<br>B                        | Z*L<br>R | Servo<br>FB     | Servo<br>LR | Servo<br>FB             | Servo<br>LR |
| 30.0                       | 30.0 | 30.0 | 30.0           | 0                     | 0   | 0   | 0                               | 0        | 1.50            | 1.50        | 0                       | 0           |
| 30.0                       | 31.0 | 31.0 | 31.0           | 1.0                   | 0   | 0   | -5.3                            | 0        | 1.55            | 1.50        | 5.0                     | 0           |
| 31.0                       | 30.0 | 30.0 | 31.0           | 0                     | 1.0 | 1.0 | 5.3                             | 0        | 1.55            | 1.50        | 5.0                     | 0           |
| 30.0                       | 32.0 | 32.0 | 32.0           | 2.0                   | 0   | 0   | -9.9                            | 0        | 1.40            | 1.50        | -10.0                   | 0           |
| 32.0                       | 30.0 | 30.0 | 32.0           | 0                     | 2.0 | 2.0 | 9.8                             | 0        | 1.59            | 1.50        | 9.0                     | 0           |
| 32.4                       | 31.9 | 30.0 | 32.4           | 0                     | 0.5 | 2.4 | 9.5                             | 7.5      | 1.59            | 1.57        | 9.0                     | 7.0         |
| 30.1                       | 32.5 | 29.2 | 32.5           | 2.4                   | 0   | 3.3 | -9.8                            | 9.8      | 1.40            | 1.59        | -10.0                   | 9.0         |
| 32.9                       | 29.7 | 28.7 | 32.9           | 0                     | 3.2 | 4.2 | 9.8                             | 0        | 1.59            | 1.50        | 9.0                     | 0           |
| 33.0                       | 31.4 | 32.5 | 33.0           | 0                     | 1.6 | 0.5 | 7.4                             | -5.4     | 1.57            | 1.44        | 7.0                     | -5.0        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลองภาครับ-ภาคส่ง อัลตราโซนิก

จากการทดลองวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก จะเห็นได้ว่าเราสามารถใช้คลื่นอัลตราโซนิกวัดระยะทางได้โดยใช้การสะท้อนกลับของคลื่นโดยให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ในระนาบเดียวกัน ยิ่งกระทบฉากแล้วสะท้อนกลับ แล้วนำระยะเวลาจากตัวส่งที่สะท้อนกลับมายังตัวรับมาคำนวณตามสูตร  $S = (331.45 + 0.607T)t/2$  โดยระยะที่ทดลองจากตารางที่ 4.1 ระยะ 0 – 40cm จะมีค่าผิดพลาดสูงมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะเนื่องมาจากระยะทางระหว่างตัวส่งกับฉากเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นอัลตราโซนิกมีความแตกต่างกันน้อย จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น แต่เมื่อระยะทางมีค่าเพิ่มมากขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างตัวส่งกับฉากเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นอัลตราโซนิกมีความแตกต่างมากทำให้ค่าผิดพลาดลดลงต่ำ ที่ระยะ 60cm-70cm จะมีค่าผิดพลาดเพียง 1% เท่านั้น แต่เมื่อมีระยะเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ ค่าความผิดพลาดจะกลับเพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากระยะที่ไกลทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับมามีความแรงที่ลดลงทำให้เกิดความผิดพลาด

##### 5.1.1 แนวทางแก้ไขปัญหา

1. เนื่องจากในระยะทางที่น้อยเกินไปทำให้ระยะทางระหว่างตัวส่งกับพื้นเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นอัลตราโซนิกมีความแตกต่างกันน้อย จะทำให้เกิดความผิดพลาดดังนั้นจึงต้องใช้โปรแกรมชดเชยค่าผิดพลาดเพื่อแก้ไขปัญหานี้
2. เนื่องมาจากระยะที่ไกล ทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับมามีความแรงที่ลดลงทำให้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นเราต้องออกแบบวงจรภาคส่งให้มีความแรงมากขึ้น และเพิ่มอัตราขยาย วงจรภาครับเพื่อที่จะรับสัญญาณสะท้อนระดับต่ำๆ ได้

##### 5.1.2 การเพิ่มอัตราขยายของวงจรภาครับ

1. เพิ่มค่าความต้านทานที่ต่อคร่อมทรานซิสเตอร์ ให้มีค่ามากขึ้นในช่วง 10K -100K แต่การเพิ่มค่าความต้านทานจะทำให้ Band with น้อยลงแต่รับสัญญาณต่ำๆ ได้ดี
2. จัดวงจรเรโซแนนซ์ เพื่อให้ตอบสนองความถี่ ให้ใกล้เคียง 40 K อัตราการขยายของวงจรจะสูงขึ้น



## 5.2 สรุปผลการทดลองโปรแกรมในส่วนของผู้ใช้

การทดลองโปรแกรมในส่วนของผู้ใช้ โดยยังไม่มีค่าการปรับค่า (เป็นค่า Idea ที่ตั้งไว้) จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1.ค่า error ของความสูงเป็นค่าที่ตรงตาม Rule base ที่สร้างไว้ 2.ค่า error ของความสูงเป็นค่าที่มาจากการ Random ซึ่งจะเป็นเลขทศนิยม

ผลการทดลองในส่วนที่ 1 พบว่า เมื่อมี Input singleton ที่เป็นค่ากลางของ Member ship function เข้ามา จะได้ output ที่ตรงตาม Rule base 100 %

ผลการทดลองในส่วนที่ 2 พบว่า เมื่อมี Input singleton ที่เป็นค่าจากการสุ่ม (Random) ที่เป็นทศนิยม เข้ามาจะได้ output ที่เป็นการประมาณค่าจาก ฟัซซี่ ว่าควรปรับ servo motor มากขนาดไหน ซึ่งค่าก็จะเป็นทศนิยมเหมือนกัน output ที่ได้นี้ก็ยังคงนำไปควบคุม servo motor ได้เช่นกัน เพราะ ก็ยังอยู่บน Rule base ที่สร้างไว้

สรุปได้ว่าระบบฟัซซี่เป็นระบบที่ไม่จำเป็นต้องมี input ที่แน่นอน เพราะค่า input ที่เข้ามาเมื่อนำไป Fuzzification ก็จะได้ค่า Member ship function ซึ่งค่า Member ship นี้จะเปลี่ยนไปตาม input ที่เข้ามา และเนื่องจากว่า ค่า input ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ใน Rule base (อยู่ระหว่างค่าที่ตั้งไว้) ทำให้ output ที่ได้ก็จะไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ใน Rule base แต่จะเป็นค่าประมาณและใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้ใน Rule base ซึ่งสามารถนำค่านี้ไปควบคุม servo motor ได้ต่อไป.

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. ควรเปลี่ยน sensor เนื่องจาก Ultrasonic sensor ให้ค่าที่ไม่คงที่
2. ค่า Memberships ในส่วนของ Fuzzy ควรปรับให้เหมาะสมและดีที่สุด โดยดูจากการทดลองหลายๆครั้ง หรือใช้วิธี Genetic Algorithm





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# MC1350

## Monolithic IF Amplifier

The MC1350 is an integrated circuit featuring wide range AGC for use as an IF amplifier in radio and TV over an operating temperature range of 0° to +75°C.

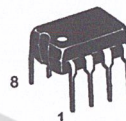
- Power Gain: 50 dB Typ at 45 MHz  
50 dB Typ at 58 MHz
- AGC Range: 60 dB Min, DC to 45 MHz
- Nearly Constant Input & Output Admittance over the Entire AGC Range
- Y21 Constant (−3.0 dB) to 90 MHz
- Low Reverse Transfer Admittance: < 1.0  $\mu\text{mho}$  Typ
- 12 V Operation, Single-Polarity Power Supply

### IF AMPLIFIER

### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

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

| Rating                                 | Symbol     | Value    | Unit  |
|----------------------------------------|------------|----------|-------|
| Power Supply Voltage                   | $V^+$      | +18      | Vdc   |
| Output Supply Voltage                  | $V_1, V_8$ | +18      | Vdc   |
| AGC Supply Voltage                     | $V_{AGC}$  | $V^+$    | Vdc   |
| Differential Input Voltage             | $V_{in}$   | 5.0      | Vdc   |
| Power Dissipation (Package Limitation) | PD         | 625      | mW    |
| Plastic Package                        |            | 5.0      | mW/°C |
| Derate above 25°C                      |            |          |       |
| Operating Temperature Range            | $T_A$      | 0 to +75 | °C    |



**P SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626

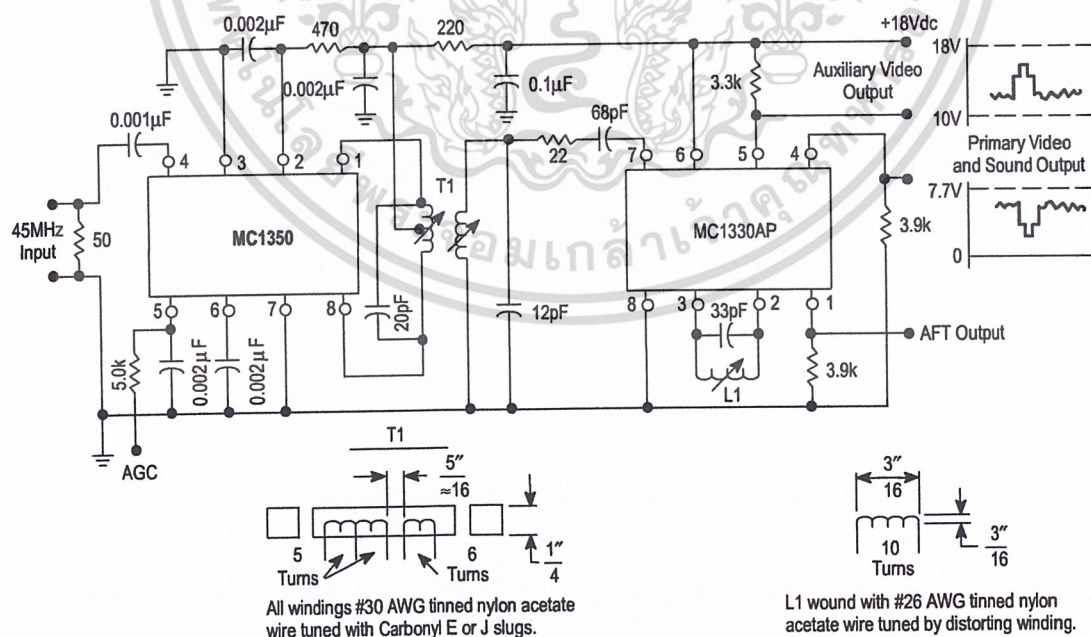
**D SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)



#### ORDERING INFORMATION

| Device  | Operating Temperature Range            | Package     |
|---------|----------------------------------------|-------------|
| MC1350P | $T_A = 0^\circ$ to $+75^\circ\text{C}$ | Plastic DIP |
| MC1350D |                                        | SO-8        |

**Figure 1. Typical MC1350 Video IF Amplifier and MC1330 Low-Level Video Detector Circuit**





# MC1350

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V^+ = +12$ Vdc, $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

| Characteristics                                                                                                                                                                                                                       | Symbol      | Min               | Typ                  | Max              | Unit     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|----------------------|------------------|----------|
| AGC Range, 45 MHz (5.0 V to 7.0 V) (Figure 1)                                                                                                                                                                                         |             | 60                | 68                   | —                | dB       |
| Power Gain (Pin 5 grounded via a 5.1 k $\Omega$ resistor)<br>$f = 58$ MHz, BW = 4.5 MHz See Figure 6(a)<br>$f = 45$ MHz, BW = 4.5 MHz See Figure 6(a), (b)<br>$f = 10.7$ MHz, BW = 350 kHz See Figure 7<br>$f = 455$ kHz, BW = 20 kHz | $A_p$       | —<br>46<br>—<br>— | 48<br>50<br>58<br>62 | —<br>—<br>—<br>— | dB       |
| Maximum Differential Voltage Swing<br>0 dB AGC<br>–30 dB AGC                                                                                                                                                                          | $V_O$       | —<br>—            | 20<br>8.0            | —<br>—           | $V_{pp}$ |
| Output Stage Current (Pins 1 and 8)                                                                                                                                                                                                   | $I_1 + I_8$ | —                 | 5.6                  | —                | mA       |
| Total Supply Current (Pins 1, 2 and 8)                                                                                                                                                                                                | $I_S$       | —                 | 14                   | 17               | mAdc     |
| Power Dissipation                                                                                                                                                                                                                     | $P_D$       | —                 | 168                  | 204              | mW       |

## DESIGN PARAMETERS, Typical Values ( $V^+ = +12$ Vdc, $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

| Parameter                                                                          | Symbol                                           | Frequency           |                   |                   |                    | Unit                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|
|                                                                                    |                                                  | 455 kHz             | 10.7 MHz          | 45 MHz            | 58 MHz             |                            |
| Single-Ended Input Admittance                                                      | $g_{11}$<br>$b_{11}$                             | 0.31<br>0.022       | 0.36<br>0.50      | 0.39<br>2.30      | 0.5<br>2.75        | mmho                       |
| Input Admittance Variations with AGC<br>(0 dB to 60 dB)                            | $\Delta g_{11}$<br>$\Delta b_{11}$               | —<br>—              | —<br>—            | 60<br>0           | —<br>—             | $\mu\text{mho}$            |
| Differential Output Admittance                                                     | $g_{22}$<br>$b_{22}$                             | 4.0<br>3.0          | 4.4<br>110        | 30<br>390         | 60<br>510          | $\mu\text{mho}$            |
| Output Admittance Variations with AGC<br>(0 dB to 60 dB)                           | $\Delta g_{22}$<br>$\Delta b_{22}$               | —<br>—              | —<br>—            | 4.0<br>90         | —<br>—             | $\mu\text{mho}$            |
| Reverse Transfer Admittance (Magnitude)                                            | $ y_{12} $                                       | $< < 1.0$           | $< < 1.0$         | $< < 1.0$         | $< < 1.0$          | $\mu\text{mho}$            |
| Forward Transfer Admittance<br>Magnitude<br>Angle (0 dB AGC)<br>Angle (–30 dB AGC) | $ y_{21} $<br>$\angle y_{21}$<br>$\angle y_{21}$ | 160<br>–5.0<br>–3.0 | 160<br>–20<br>–18 | 200<br>–80<br>–69 | 180<br>–105<br>–90 | mmho<br>Degrees<br>Degrees |
| Single-Ended Input Capacitance                                                     | $C_{in}$                                         | 7.2                 | 7.2               | 7.4               | 7.6                | pF                         |
| Differential Output Capacitance                                                    | $C_O$                                            | 1.2                 | 1.2               | 1.3               | 1.6                | pF                         |

Figure 2. Typical Gain Reduction

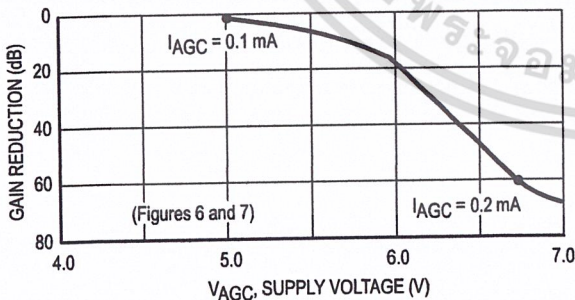
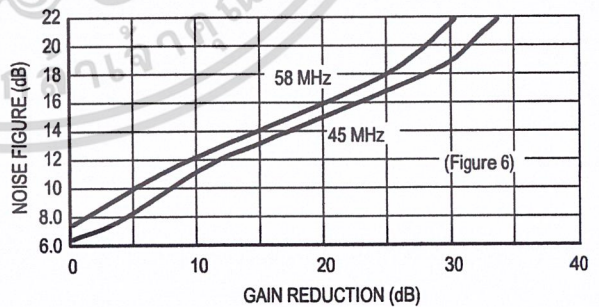


Figure 3. Noise Figure versus Gain Reduction



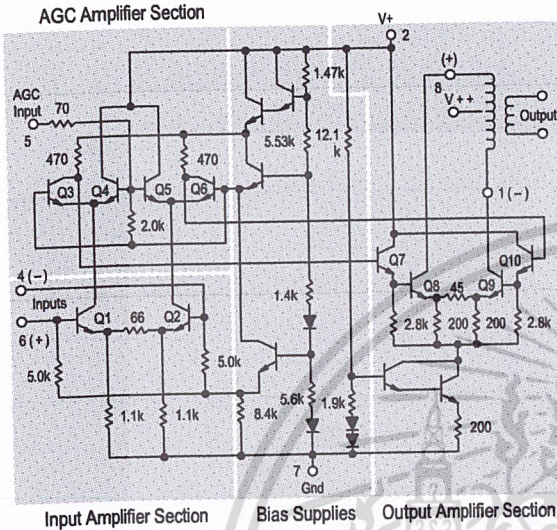


## MC1350

### GENERAL OPERATING INFORMATION

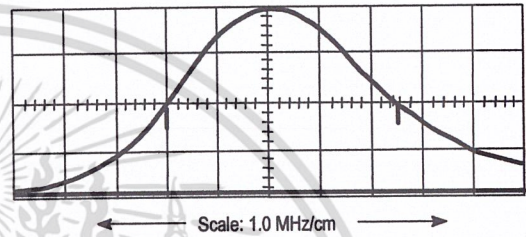
The input amplifiers (Q1 and Q2) operate at constant emitter currents so that input impedance remains independent of AGC action. Input signals may be applied single-ended or differentially (for ac) with identical results. Terminals 4 and 6 may be driven from a transformer, but a dc path from either terminal to ground is not permitted.

**Figure 4. Circuit Schematic**



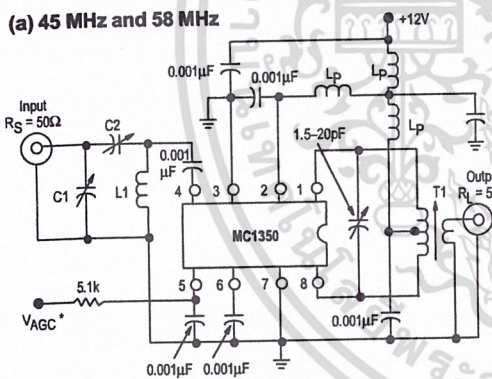
AGC action occurs as a result of an increasing voltage on the base of Q4 and Q5 causing these transistors to conduct more heavily thereby shunting signal current from the interstage amplifiers Q3 and Q6. The output amplifiers are supplied from an active current source to maintain constant quiescent bias thereby holding output admittance nearly constant. Collector voltage for the output amplifier must be supplied through a center-tapped tuning coil to Pins 1 and 8. The 12 V supply ( $V^+$ ) at Pin 2 may be used for this purpose, but output admittance remains more nearly constant if a separate 15 V supply ( $V^+ +$ ) is used, because the base voltage on the output amplifier varies with AGC bias.

**Figure 5. Frequency Response Curve (45 MHz and 58 MHz)**

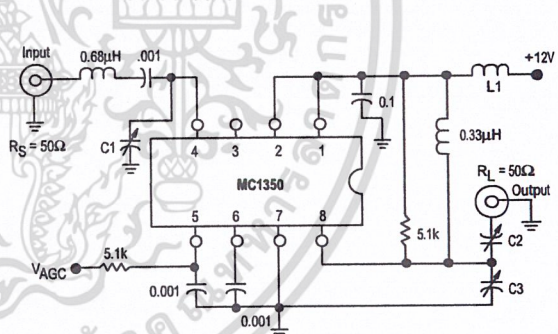


**Figure 6. Power Gain, AGC and Noise Figure Test Circuits**

**(a) 45 MHz and 58 MHz**



**(b) Alternate 45 MHz**



\*Connect to ground for maximum power gain test.

All power supply chokes ( $L_p$ ), are self-resonant at input frequency.  $L_p \geq 20 \text{ k}\Omega$ .  
See Figure 5 for Frequency Response Curve.

L1 @ 45 MHz = 7 1/4 Turns on a 1/4" coil form

@ 58 MHz = 6 Turns on a 1/4" coil form

T1 Primary Winding = 18 Turns on a 1/4" coil form, center-tapped, #25 AWG

Secondary Winding = 2 Turns centered over Primary Winding @ 45 MHz

= 1 Turn @ 58 MHz

Slug = Carbonyl E or J

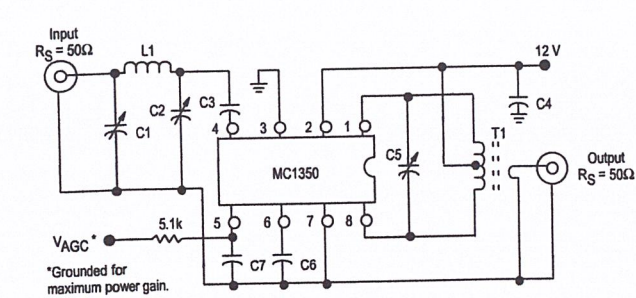
| L1 | Ferrite Core<br>14 Turns 28 S.W.G. |
|----|------------------------------------|
| C1 | 5–25 pF                            |
| C2 | 5–25 pF                            |
| C3 | 5–25 pF                            |

|    | 45 MHz                                 |                                  | 58 MHz                                 |                                  |
|----|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| L1 | 0.4 $\mu\text{H}$                      | $Q \geq 100$                     | 0.3 $\mu\text{H}$                      | $Q \geq 100$                     |
| T1 | 1.3 $\mu\text{H}$ to 3.4 $\mu\text{H}$ | $Q \geq 100$ @ 2.0 $\mu\text{H}$ | 1.2 $\mu\text{H}$ to 3.8 $\mu\text{H}$ | $Q \geq 100$ @ 2.0 $\mu\text{H}$ |
| C1 | 50 pF to 160 pF                        |                                  | 8.0 pF to 60 pF                        |                                  |
| C2 | 8.0 pF to 60 pF                        |                                  | 3.0 pF to 35 pF                        |                                  |



MC1350

Figure 7. Power Gain and AGC Test Circuit  
(455 kHz and 10.7 MHz)



| Component | Frequency |           |
|-----------|-----------|-----------|
|           | 455 kHz   | 10.7 MHz  |
| C1        | —         | 80–450 pF |
| C2        | —         | 5.0–80 pF |
| C3        | 0.05 μF   | 0.001 μF  |
| C4        | 0.05 μF   | 0.05 μF   |
| C5        | 0.001 μF  | 36 pF     |
| C8        | 0.05 μF   | 0.05 μF   |
| C7        | 0.05 μF   | 0.05 μF   |
| L1        | —         | 4.6 μF    |
| T1        | Note 1    | Note 2    |

NOTES: 1. Primary: 120 μH (center-tapped)  
 $Q_U = 140$  at 455 kHz  
Primary: Secondary turns ratio  $\approx 13$   
2. Primary: 6.0 μH  
Primary winding = 24 turns #36 AWG  
(close-wound on 1/4" dia. form)  
Core = Carbonyl E or J  
Secondary winding = 1–1/2 turns #36 AWG, 1/4" dia.  
(wound over center-tap)

Figure 8. Single-Ended Input Admittance

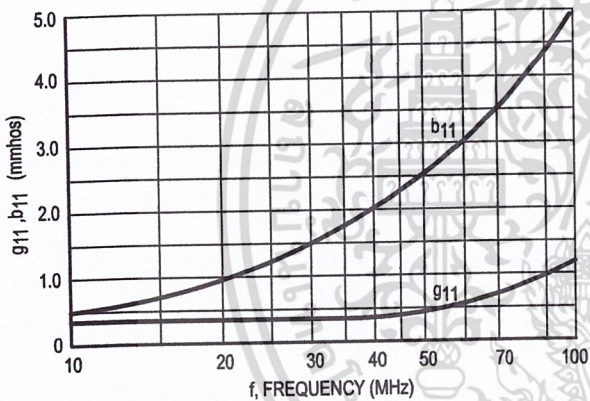


Figure 9. Forward Transfer Admittance

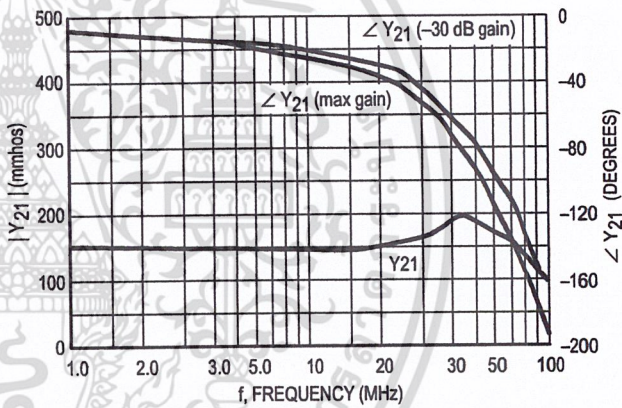


Figure 10. Differential Output Admittance

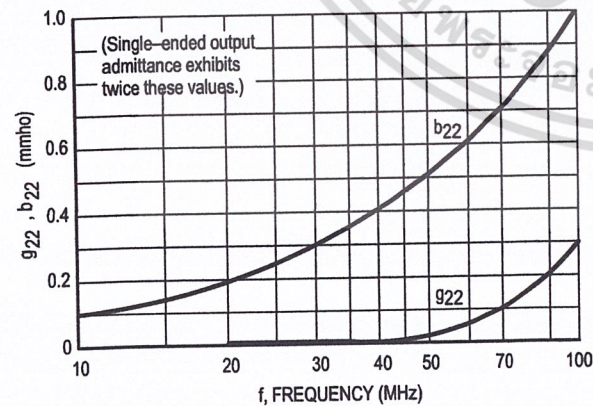
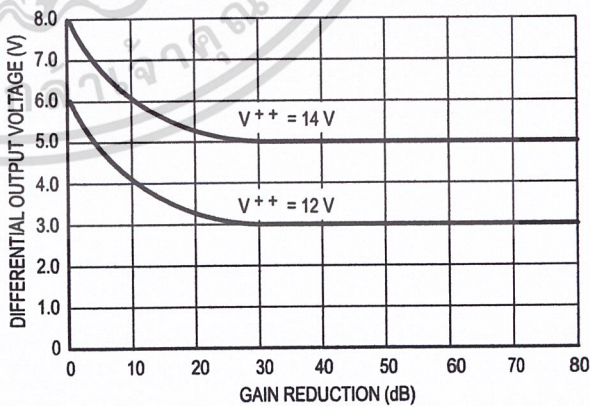


Figure 11. Differential Output Voltage

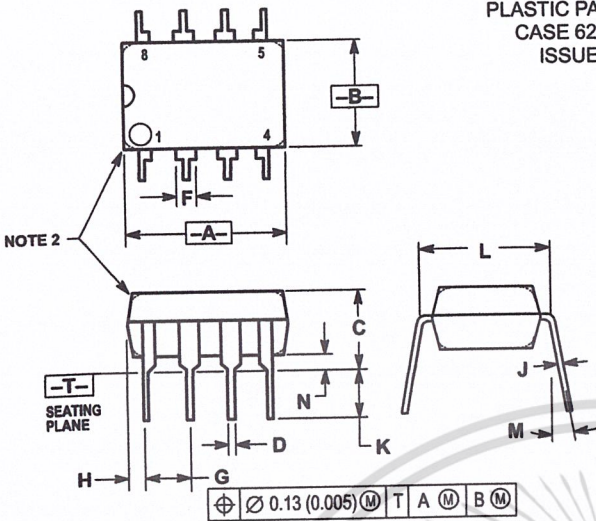




MC1350

OUTLINE DIMENSIONS

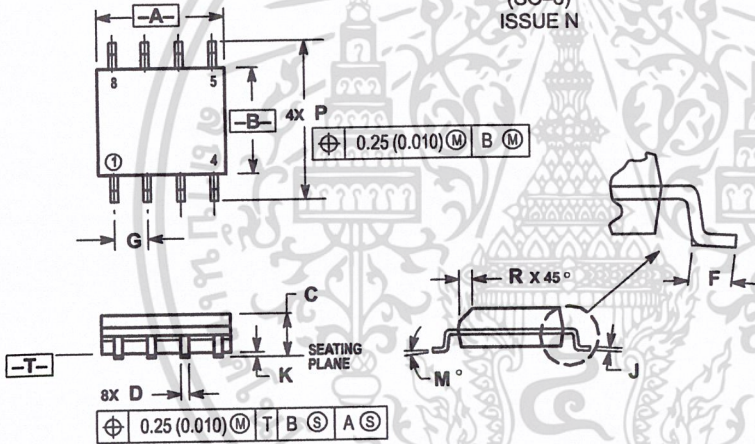
P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626-05  
ISSUE K



- NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
  2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
  3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

| DIM | MILLIMETERS |       | INCHES    |       |
|-----|-------------|-------|-----------|-------|
|     | MIN         | MAX   | MIN       | MAX   |
| A   | 9.40        | 10.16 | 0.370     | 0.400 |
| B   | 6.10        | 6.60  | 0.240     | 0.260 |
| C   | 3.94        | 4.45  | 0.155     | 0.175 |
| D   | 0.38        | 0.51  | 0.015     | 0.020 |
| E   | 1.02        | 1.78  | 0.040     | 0.070 |
| F   | 2.54 BSC    |       | 0.100 BSC |       |
| G   | 0.76        | 1.27  | 0.030     | 0.050 |
| H   | 0.20        | 0.30  | 0.008     | 0.012 |
| J   | 2.92        | 3.43  | 0.115     | 0.135 |
| K   | 7.62 BSC    |       | 0.300 BSC |       |
| L   |             |       | 10°       |       |
| M   | 0.76        | 1.01  | 0.030     | 0.040 |

D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751-05  
(SO-8)  
ISSUE N



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
  3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
  5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

| DIM | MILLIMETERS |      | INCHES    |       |
|-----|-------------|------|-----------|-------|
|     | MIN         | MAX  | MIN       | MAX   |
| A   | 4.80        | 5.00 | 0.189     | 0.196 |
| B   | 3.60        | 4.00 | 0.150     | 0.157 |
| C   | 1.35        | 1.75 | 0.054     | 0.068 |
| D   | 0.35        | 0.49 | 0.014     | 0.019 |
| E   | 0.40        | 1.25 | 0.016     | 0.049 |
| F   | 1.27 BSC    |      | 0.050 BSC |       |
| G   | 0.18        | 0.25 | 0.007     | 0.009 |
| H   | 0.10        | 0.25 | 0.004     | 0.009 |
| I   | 0°          |      | 7°        |       |
| J   | 5.80        | 6.20 | 0.229     | 0.244 |
| K   | 0.25        | 0.50 | 0.010     | 0.019 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

#### How to reach us:

**USA/EUROPE/Locations Not Listed:** Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

**MFAX:** RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609  
**INTERNET:** <http://Design-NET.com>

**JAPAN:** Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

**ASIA/PACIFIC:** Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



**MOTOROLA** การที่ Motorola ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์นี้ไว้สำหรับใช้ในงานเฉพาะเท่านั้น ไม่ได้ออกแบบมาให้ใช้กับระบบอื่นใดก็ตาม

MC1350/D

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ





## บรรณานุกรม

1. ชีรวัฒน์ ประกอบพล, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541
2. มนตรี พจนารถลาวัณย์, “การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2543
3. Timothy J. Ross, “FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS”, McGraw-Hill, Inc., 2538

