

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้

**PROGRAMMING POSITION CONTROL VALVE**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....625.8.9  
วัน,เดือน,ปี...19 ส.ค. 2549

b. 11626421  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PROGRAMMING POSITION CONTROL VALVE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้  
PROGRAMMING POSITION CONTROL VALVE  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายศราวดี สมบูรณ์ รหัสประจำตัว 46015460  
นายสะเทวียน ชิงษา รหัสประจำตัว 46015466  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2548

|                          |  |
|--------------------------|--|
| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท | ลายมือชื่อ   |
| ผศ. สาท คำมูล            |  |

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)  
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |  |              |          |
|--------------------|--|--------------|----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้<br>PROGRAMMING POSITION CONTROL VALVE |              |          |
| นักศึกษาผู้จัดทำ   | นายศราวุฒิ สมบูรณ์   | รหัสประจำตัว | 46015460 |
|                    | นายสะหวิยน ชิวษา   | รหัสประจำตัว | 46015466 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | ผศ.สาท คำมูล   |              |          |
| ปีการศึกษา         | 2548   |              |          |

### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการสร้างตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุม ในส่วนแรกเป็นการทดลองนำตำแหน่งของวาล์ว (Stroke Indicator) มาแสดงผล (0-100 %) บนจอ LCD Module หลังจากนั้นจะเป็นการสร้างตัวควบคุมตำแหน่งการเปิด-ปิด ของวาล์ว โดยจะใช้คีย์แพด (Key-pad) ในการป้อนค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (0-100 %) แสดงผลด้วย LCD Module ซึ่งค่าตำแหน่งของวาล์วที่ป้อนมานี้จะส่งไปยังตัวควบคุมซึ่งจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งการเปิด-ปิดวาล์ว ด้วยสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA.

**Thesis Title** Programming Position Control Valve  
**Authors** Mr. Sarwuth Somboon  
Mr. Sawian Tiwongsa  
**Thesis Advisor** Asst.Prof. Sart Kammoon  
**Year** 2005

### ABSTRACT

This article has presented the building up a fortune controlling a valve position. In the first part succeeded to experience take a position (Stroke indicator) of the control valve. With show LCD Module (0-100 %). There after closed a -openness position. By will use the Key-pad. In the value feeder was the percent (0-100 %) with show LCD Module. Which the position value of the control valve will still send the controller. The Programming Position Control Valve it will micro controller and electronic circuits assemble. For use controlled position an openness and closes the control valve. With a standard signal 4-20 mA.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาท คำมูล ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้คำแนะนำอันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งของลูก ที่ให้การ สนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ ทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|                    | หน้า |
|--------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย    | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II   |
| กิตติกรรมประกาศ    | III  |
| สารบัญ             | IV   |
| สารบัญตาราง        | VII  |
| สารบัญภาพ          | VIII |

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                   | <b>1</b> |
| 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์       | 1        |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์             | 1        |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา                   | 1        |

|  |          |
|--|----------|
| <b>บทที่ 2 วาล์วควบคุม</b>                   | <b>3</b> |
| 2.1 กล่าวนำ                                  | 3        |
| 2.2 วาล์วควบคุม (Control Valve)              | 3        |
| 2.3 ส่วนประกอบหลักของวาล์วควบคุม             | 4        |
| 2.3.1 ส่วนของ Actuator ของวาล์วควบคุม        | 4        |
| 2.3.2 ส่วน Body ของวาล์วควบคุม               | 5        |
| 2.4 ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว (Valve Positioner) | 10       |
| 2.4.1 Pneumatic Valve Positioner             | 11       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ</b>                             | <b>12</b> |
| 3.1 กล่าวนำ  | 12        |
| 3.2 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน (Op-Amp and Applications) | 12        |
| 3.2.1 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ (Op-Amp Applications)      | 13        |
| 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51                               | 23        |
| 3.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ T89C51AC2         | 23        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| 3.3.2 โครงสร้างของ MCS-51  | 24        |
| 3.3.3 การจัดการหน่วยความจำของ MCS-51   | 25        |
| 3.3.4 สถาปัตยกรรมของ MCS-51  | 25        |
| 3.3.5 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต   | 26        |
| 3.3.6 การทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุต  | 26        |
| 3.3.7 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)                                      | 27        |
| 3.3.8 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)  | 28        |
| 3.4 ระบบควบคุม   | 28        |
| 3.4.1 ประเภทของการควบคุม   | 29        |
| 3.4.2 ตัวควบคุม (Controller)   | 30        |
| 3.4.3 ชนิดของการควบคุม   | 37        |
| 3.4.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID  | 39        |
| <b>บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างตัวควบคุมวาล์วแบบโปรแกรมได้</b>                 | <b>42</b> |
| 4.1 กล่าวนำ  | 42        |
| 4.2 ขอบเขตการทำงาน   | 42        |
| 4.3 ขั้นตอนการทำงาน  | 42        |
| 4.3.1 วางแผนการทำงาน   | 42        |
| 4.3.2 ออกแบบวงจร   | 49        |
| 4.3.3 ออกแบบ R <sub>stroke</sub> ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Stem Valve | 48        |
| 4.3.4 เครื่องอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างโปรเจก                                   | 49        |
| 4.3.5 การทดสอบวงจร   | 50        |
| 4.3.6 ออกแบบลายวงจร โดยใช้โปรแกรม PROTEL 99 SE                                 | 50        |
| 4.3.7 การกัดลายวงจร  | 51        |
| 4.3.8 ประกอบอุปกรณ์ลงแผงวงจร   | 52        |
| 4.3.9 ตรวจสอบ  | 53        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| <b>บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง</b>                    | <b>54</b> |
| 5.1 จุดประสงค์ในการทดลอง                                | 54        |
| 5.2 ขั้นตอนการทดลอง                                     | 54        |
| 5.2.1 ทดสอบส่วนการแสดงผล                                | 54        |
| 5.2.3 ทดสอบการทำงานแบบ Open Loop                        | 56        |
| 5.2.3 ทดสอบการทำงานแบบ Feedback Control หรือ Close Loop | 58        |
| 5.2.4 การทดสอบการควบคุมวงล้ในสภาวะมีโหลด                | 62        |
| 5.3 สรุปผลการทดลอง                                      | 63        |
| <b>บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและแนวทางการพัฒนา</b>          | <b>64</b> |
| 6.1 บทสรุป  | 64        |
| 6.2 แนวทางการพัฒนา                                      | 64        |
| 6.3 ปัญหาสำหรับการวิจัย                                 | 64        |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                       | <b>65</b> |
| ภาคผนวก   | 66        |
| ภาคผนวก ก   | 67        |
| ภาคผนวก ข   | 79        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.1 แสดงรายการอุปกรณ์                             | 49   |
| 5.1 แสดงผลการทดลองส่วนแสดงผล                      | 55   |
| 5.2 แสดงผลการทดลองการควบคุมวาล์วแบบ Open Loop     | 57   |
| 5.3 แสดงผลการทดลองควบคุมการเปิดวาล์ว (Close Loop) | 59   |
| 5.4 แสดงผลการทดลองควบคุมการปิดวาล์ว (Close Loop)  | 60   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถัง   | 3    |
| 2.2 แสดงภาพ Globe Valve  | 5    |
| 2.3 แสดงภาพของ Butterfly Valve   | 7    |
| 2.4 แสดงภาพ Eccentric Rotating Valve   | 8    |
| 2.5 แสดงภาพ Ball Valve   | 9    |
| 2.6 แสดงภาพ Diaphragm Valve  | 10   |
| 2.7 แสดงภาพของ Pneumatic Valve Positioner  | 11   |
| 2.8 แสดงไดอะแกรมของ Force Balance Positioner   | 11   |
| 3.1 สัญลักษณ์ของออปแอมป์   | 12   |
| 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส(Inverting Amplifier)  | 13   |
| 3.3 วงจรสมมูลของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส 180 องศา  | 14   |
| 3.4 วงจรสมมูลในรูปที่ 3.3 เมื่อแทนด้วยแหล่งกำเนิดกระแสตามทฤษฎีอินอร์ตัน                                | 14   |
| 3.5 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)  | 15   |
| 3.6 วงจรบัฟเฟอร์และวงจรมูลของบัฟเฟอร์  | 16   |
| 3.7 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า   | 17   |
| 3.8 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ  | 17   |
| 3.9 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่ง<br>ย่านการแปลงได้               | 18   |
| 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุทและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท                                    | 19   |
| 3.11 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า แบบต่อโหลดลงกราวด์                                   | 20   |
| 3.12 แสดงวงจรสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน   | 21   |
| 3.13 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่าน<br>การแปลงได้แบบต่อโหลดลงกราวด์ | 22   |
| 3.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของ MCS-51  | 24   |
| 3.15 พื้นฐานระบบควบคุม   | 28   |
| 3.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด   | 29   |
| 3.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด  | 29   |
| 3.18 แสดงกิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF   | 31   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| 3.19 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional                                      | 32   |
| 3.20 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral  | 33   |
| 3.21 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Derivative                                | 34   |
| 3.22 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)                        | 35   |
| 3.23 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD  | 36   |
| 3.24 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PID (Direct action)                       | 37   |
| 3.25 รูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี   | 39   |
| 4.1 แสดง IC เบอร์ PCF8591  | 43   |
| 4.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า                                    | 44   |
| 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุทและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท                       | 45   |
| 4.4 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่ง<br>ย่านการแปลงได้ | 45   |
| 4.5 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง  | 46   |
| 4.6 แสดงวงจรตามศีกดา   | 47   |
| 4.7 แสดงวงจรอปแอมป์ที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงแรงดัน                                    | 47   |
| 4.8 แสดงวงจร Regulate  | 48   |
| 4.9 แสดงตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งใช้เป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Stem Valve            | 49   |
| 4.10 แสดงโปรแกรม PROTEL 99 SE ที่ใช้ในการออกแบบลายวงจร                                   | 50   |
| 4.11 แสดงลายวงจรบนแผ่นปริ๊น  | 51   |
| 4.12 แสดงการประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ๊น   | 52   |
| 4.13 การติดตั้ง Key-Pad และ LCD Module   | 52   |
| 4.14 แสดงตำแหน่งตัวตั้งค่าของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วแบบโปรแกรมได้                          | 53   |
| 4.14 แสดงแผ่นวงจรที่ประกอบอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว                                      | 53   |
| 5.1 แสดงการการต่ออุปกรณ์การทดลองของ LCD  | 54   |
| 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ % Stroke Valve                                  | 56   |
| 5.3 แสดงการการต่ออุปกรณ์การทดลอง   | 56   |
| 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ เอาต์พุท (ค่าที่ LCD)       | 58   |
| 5.5 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบ  | 58   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ กระแส (I)             | 61   |
| 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ ความดันเกจ (P)        | 61   |
| 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ เอาท์พุท (ค่าที่ LCD) | 62   |
| 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท กรณีวาล์วควบคุมสภาวะมีไหล             | 63   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมงานอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายสะดวกและง่ายในการใช้งาน วาล์วควบคุม (Control Valve) ก็เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตทางด้านงานอุตสาหกรรม ซึ่งในการควบคุมวาล์วให้ทำงานตามกระบวนการควบคุมอัตโนมัติ จะต้องอาศัยตัวควบคุม ตำแหน่งวาล์วมาควบคุมการทำงานของวาล์ว ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วในงานอุตสาหกรรมก็มีหลายประเภทให้เลือกใช้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและกระบวนการควบคุม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

เพื่อการศึกษาและออกแบบตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วแบบโปรแกรมได้ โดยเราสามารถป้อนค่าตำแหน่งของวาล์วจากคีย์แพด (Key-pad) 0-100% สั่งงานให้วาล์วเปิด-ปิด ตามค่าที่ป้อนให้กับตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวาล์วควบคุม (Control Valve) ในกรณีที่ต้องการควบคุมวาล์วแบบ Manual หรือในกรณีที่ระบบควบคุมอัตโนมัติไม่ทำงาน (Fail) เพื่อช่วยในการควบคุมของไหลในกระบวนการ

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ออกแบบตัวแสดงผลให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ในการเปิด - ปิดของวาล์วควบคุม
2. ออกแบบและสร้างตัวควบคุมโดยใช้ Key-Pad ป้อนค่าเปอร์เซ็นต์การเปิด - ปิดของวาล์วควบคุมและให้แสดงผล 0-100% ออกทาง LCD Module แล้วนำไปควบคุมแบบวาล์วควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) หรือ Closed-Loop โดยในการเปิด-ปิดจะไม่คำนึงถึงแรงดันของของไหลภายในระบบ

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเรื่องวาล์วและตัวควบคุมตำแหน่ง
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์
3. ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรต่างๆ
4. สร้างแบบจำลองของตัวควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดสอบและแก้ปัญหา
6. สรุปผลการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

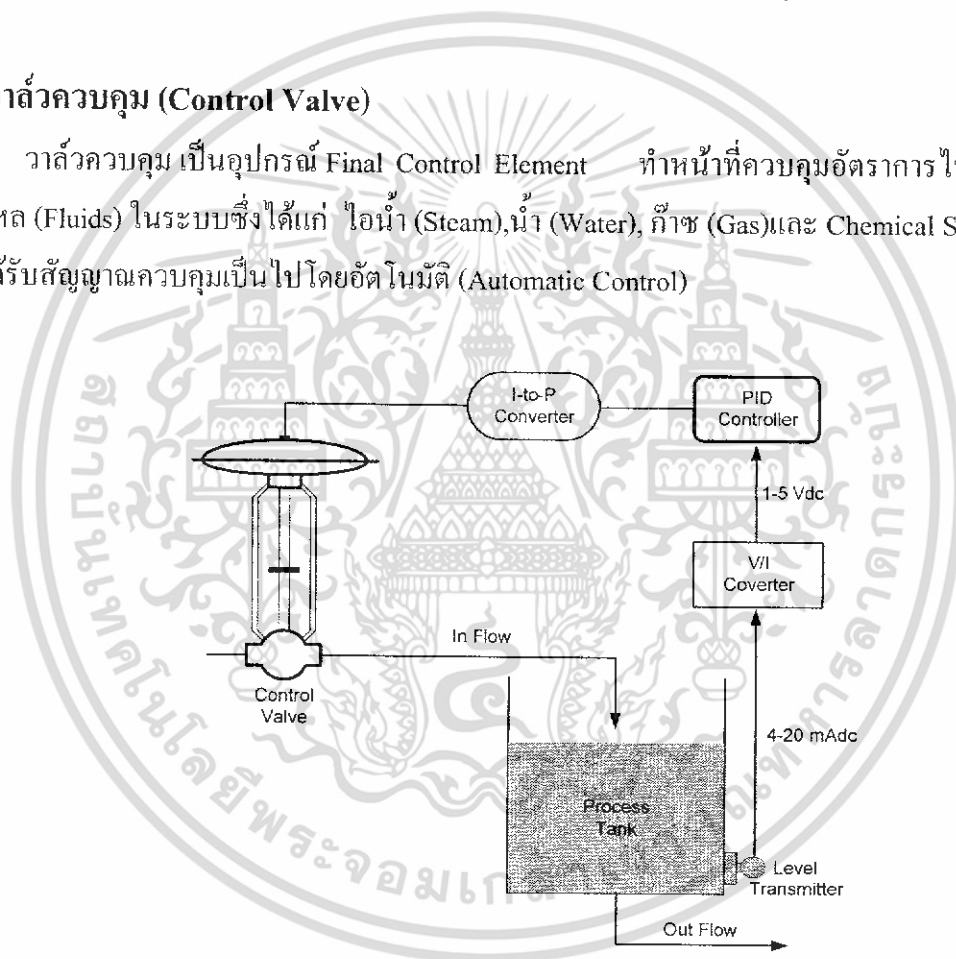
# วาล์วและตัวควบคุมตำแหน่ง

### 2.1 กล่าวนำ

โดยทั่วไปในระบบควบคุมของกระบวนการใด ๆ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมหน้าที่ต่าง ๆ ตั้งแต่ Primary Element จนถึง Final Control Element ตัวอย่างหนึ่งของ Final Control Element คือ วาล์วควบคุมซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึง ส่วนประกอบหลักของวาล์วควบคุมและชนิดของวาล์ว

### 2.2 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุม เป็นอุปกรณ์ Final Control Element ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของของไหล (Fluids) ในระบบซึ่งได้แก่ ไอน้ำ (Steam), น้ำ (Water), ก๊าซ (Gas) และ Chemical Solution โดยได้รับสัญญาณควบคุมเป็นไปโดยอัตโนมัติ (Automatic Control)



ภาพที่ 2.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถัง

จากภาพที่ 2.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถัง โดยมีการตรวจจับ (Sensor) ตรวจจับระดับน้ำของน้ำในถังแล้วส่งสัญญาณไปยังตัวทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) โดยตัวทรานสมิตเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) เพื่อส่งให้ตัวควบคุม (Controller) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าควบคุมที่ต้องการ (Set point) หรือระดับน้ำที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการเพื่อสร้าง Error Signal แล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยังวาล์วควบคุม (Control Valve) ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.1 ระดับน้ำมีค่าสูงเกินกว่าระดับที่ต้องการ ดังนั้นสัญญาณจากตัวควบคุมจะทำให้ตำแหน่งของวาล์วควบคุมเปิดเพื่อเป็นการปล่อยน้ำจากถัง เมื่อน้ำลดลงเท่ากับระดับที่ต้องการแล้ว ตัวควบคุมก็จะส่งสัญญาณให้วาล์วควบคุมอยู่ในตำแหน่งปิดเพื่อหยุดปล่อยน้ำ

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าวาล์วควบคุมนี้มีบทบาทไม่น้อยไปกว่าตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ตัวอื่นๆ ในระบบ เพื่อควบคุมกระบวนการให้เกิดเสถียรภาพเป็นไปโดยอัตโนมัติตามค่าสัญญาณควบคุมต่างๆ ดังนั้นในแต่ละกระบวนการจะต้องมีการออกแบบและตัดสินใจเพื่อเลือกชนิดของวาล์วควบคุม (Type of Valve) หาขนาด (Valve Sizing) ชนิดของวัสดุ (Materials Selection) ลักษณะการไหล (Flow Characteristic) ขนาดและประเภทของ Actuators (Actuators Selection) ราคา (Costs) การติดตั้งและการบำรุงรักษา และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีความสำคัญ

ประเภทของวาล์วควบคุมแบ่งตามลักษณะการเปิด-ปิด

**2.2.1 Linear-Shaft Valve หรือ Linear Motion Type** จะมีลักษณะการเปิด-ปิดของวาล์วที่อยู่ในแนวเส้นตรง วาล์วชนิดนี้ได้แก่ Globe Valve

**2.2.2 Rotary-Shaft Valve หรือ Rotary Motion Type** จะมีลักษณะการเปิด-ปิดของวาล์วจะเป็นการเคลื่อนที่คายนแนวเส้นรอบวง วาล์วชนิดนี้ได้แก่ Butterfly Valve, Eccentric Rotary และ Ball Valve

## 2.3 ส่วนประกอบหลักของวาล์วควบคุม

สามารถแยกพิจารณาเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ ส่วนของ Actuator และส่วนของ Body

### 2.3.1 ส่วนของ Actuator ของวาล์วควบคุม

ส่วนของ Actuator ของวาล์วควบคุม เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว

Actuator สามารถแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ในการพิจารณา

1. ถ้าแบ่งตามลักษณะการเปิด-ปิดของวาล์ว จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Linear และ Rotary
2. แบ่งตามลักษณะโครงสร้างจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบไดอะแฟรม (Diaphragm), แบบกระบอกกลม (Cylinder)
3. ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ Direct Action , Reverse Action, Single Action และ Double Action
4. แบ่งตามลักษณะของสัญญาณจะแบ่งได้ 3 ประเภทคือสัญญาณไฟฟ้า(Electric), สัญญาณลม (Pneumatic) , สัญญาณไฮดรอลิกส์ (Hydraulic)

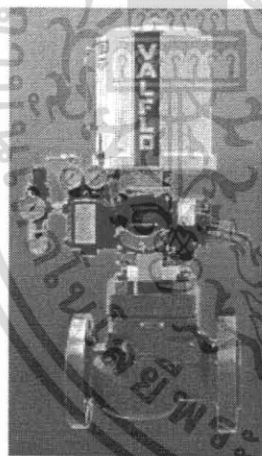
### 2.3.2 ส่วน Body ของวาล์วควบคุม

Valve Body ที่ใช้ในระบบควบคุมมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะตามความเหมาะสมของการทำงาน โดยทั่วไปชนิดของ Valve Body จะใช้กับการทำงานตามลักษณะการเปิด-ปิดช่องทางเดินของของไหลที่เป็นการเคลื่อนที่เปิด-ปิดตามแนวเส้นตรง (Linear Motion Type) กับการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวง (Rotary Motion Type)

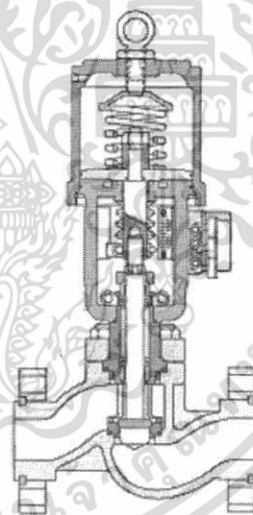
ส่วนใหญ่ในงานระบบควบคุมที่เป็นส่วนของวาล์วควบคุมจะกล่าวถึง Valve Body ที่เป็นแบบ Globe Valve แต่ในปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตออกแบบ Valve Body แบบอื่นๆ เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของของไหลอีกหลายแบบ แต่จะอธิบายเฉพาะแบบที่นิยมใช้งานกัน ดังนี้

#### 2.3.2.1 Globe Valve

Globe Valve เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งมีชนิดและขนาดต่างกัน สำหรับทิศทางการไหลนั้นมีทั้งชนิด Flow-to-Close กล่าวคือ แรงดันการไหลจะไปดันก้านวาล์วเข้าหาป่าวาล์ว ซึ่งชนิดนี้จะนิยมใช้กันมาก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.2 แสดงภาพ Globe Valve

Globe Valve ยังแบ่งย่อยตามลักษณะของ Port ได้อีก 2 แบบ คือ

#### 1. Single-Port Globe Valve

Single-Port Globe Valve หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Single-Seated Valve เป็นลักษณะของ Body ที่มีลิ้นวาล์วเพียงชุดเดียวคือของไหลจะผ่านช่องว่างระหว่าง Plug และ Seat หรือระหว่าง Plug, cage และ Seat ซึ่งช่องทางเดิน (Port) อยู่เพียงช่องเดียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของ Valve Plug Stem จะถูกประคองด้วยตัวประคองส่วนบน (Top Guide) และตัวประคองส่วนล่าง (Bottom Guide) ลักษณะของ Single-Port จะมีรูป (Form) ของ Body แตกต่างกันหลายแบบ เช่น แบบ Contoured แบบ Cage และแบบ Angle เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว ถึง 16 นิ้ว สามารถใช้แบบ Cage-Style ประกอบกับ Seat Ring และ Plug Guiding มีลักษณะการไหลหลายแบบให้เลือกใช้ง่ายต่อการบำรุงรักษา ใช้ในงานควบคุมอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องและใช้งานที่ต้องการปิดสนิท (Tight Shut Off) โดยมีแรงดันตกคร่อมวาล์วไม่มากนัก อัตราเร็วสูงสุดมีค่าน้อยกว่า 0.01% ของ Rated CV

## 2. Double-Port Globe Valve

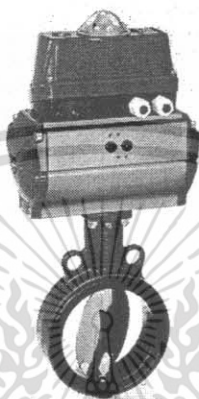
Double-Port Globe Valve หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Double-Seated Valve เป็น Globe Valve ที่มีลิ้นวาล์วและบ่าวาล์ว 2 ชุด แบบ Single-Port ของไหลที่ไหลผ่านสามารถไหลได้ช่องทางเดียวและเมื่อของไหลผ่านทางเดินจะเกิดแรงดันจากของไหลด้านแรงกดของ Actuator ทำให้ต้องเพิ่มขนาดของ Actuator หรือเพิ่ม Pressure ขึ้นทำให้สิ้นเปลืองมาก แต่ใน Globe Valve แบบนี้ของไหลจะไหลขึ้นด้านบนและไหลลงด้านล่าง ด้วยเหตุนี้จะทำให้แรงที่เกิดจากของไหลไหลกดหรือดัน Valve Plug เกิดการหักล้างกันไป มีผลทำให้แรงที่ออกจาก Actuator เพื่อดัน Valve Plug นั้นน้อยลงจากการที่มีช่องทางเดิน 2 ช่องทางเดิน ทำให้อัตราการรั่วซึมมากกว่าแบบ Single-Port Globe Valve คือประมาณ 0.5% ของ Rated CV เนื่องจากการที่จะให้ลิ้นวาล์วทั้งสองปิดได้สัมพันธ์กันเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยาก

Plug Valve แบบนี้สามารถใช้ได้ 2 ทางในตัวเดียวกัน คือ Push-Down-to-Open และ Push-Down-to-Close เพียงแต่กลับปลายด้านหนึ่งและกลับหน้า Seat ด้วย แต่ก่อนอื่นต้องแน่ใจว่าเลือกการทำงานแบบไหน Seat ที่ใช้เป็นแบบ Metal-to-Metal ปริมาณการไหล (Capacity Flow) มีมากกว่าแบบ Single-Port Globe Valve เมื่อมีขนาดเท่ากันแบบ Double-Port Globe Valve ยังแยกเป็นแบบ Port-Guide Valve Plug โดยใช้ Port เป็นตัวประคอง แต่ใช้งานกับ On-Off และ Low-Pressure เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นแบบ Top-Bottom Guided ใช้กับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ซึ่งการประกอบบริเวณ Top-Bottom Guided จะต้องทำให้ได้ศูนย์ร่วมระหว่างด้านบนและด้านล่าง มิฉะนั้นแล้วขณะที่ของไหลวิ่งผ่านมันสามารถกระแทกบริเวณ Plug ทำให้ Guide Bushing เกิดการหลวมจนในที่สุด Plug อาจขาดได้ นอกจากนี้ Double-Port Globe Valve ยังมีแบบ Three-way Valve ซึ่งมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1. Diverting Valve ใช้ในกระบวนการแยก เช่น ขบวนการกลั่น
2. Converging Valve ใช้ในขบวนการผสมบางครั้งเรียกว่า Mixing Type

### 2.3.2.2 Butterfly Valve

Butterfly Valve เป็น Valve Body แบบหนึ่งของ Rotary-Shaft Valve โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ มีขนาดตั้งแต่ 2 นิ้ว ขึ้นไปจนถึง 72 นิ้ว เหมาะสำหรับการไปใช้งานในระบบที่มีความดันต่ำแต่มีอัตราการไหลสูงคุณลักษณะการไหล (Flow Characteristic) เป็นแบบ Equal Percentage



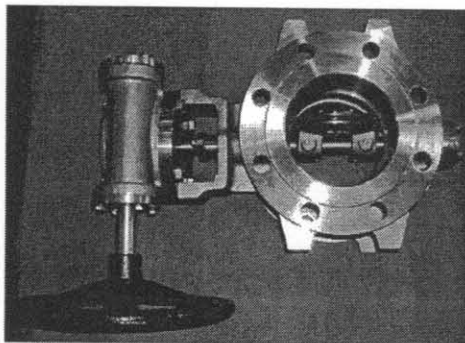
ภาพที่ 2.3 แสดงภาพของ Butterfly Valve

Butterfly Valve ที่มีลักษณะของ Disc เป็นแบบ Conventional Disc คือแนวของศูนย์กลางของ Shaft อยู่ในแนวเดียวกับ Disc แต่แบบ Eccentric Disc ออกแบบให้แนวศูนย์กลางของ Disc อยู่เอียงศูนย์กลางกับแนวของ Shaft ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้ได้แรงในการปิดสนิท (Shut Off) ได้มากกว่าแบบแรก ดังนั้นอัตราการรั่วซึม (Leakage Rate) จะน้อยกว่าแบบแรก แต่ในการจัดประเภทของ Valve Body แบบนี้จะมีบางบริษัทผู้ผลิตจัดให้ Eccentric Disc เป็นวาล์วอีกประเภทหนึ่งในแบบของ Rotary Shaft Valve

### 2.3.2.3 Eccentric Rotating Valve

Eccentric Rotating Valve หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Eccentric Rotary Valve เพื่อให้การทำงานของวาล์วมีความเชื่อถือสูงมากขึ้น โดยเฉพาะความต้องการในการปิดสนิท (Shut Off) ได้ดีขึ้น คือมีอัตราการรั่วซึมน้อยมากๆ ประมาณ 0.01% ของ Rated CV ตามมาตรฐานของ ANSI B16.104 Class IV (ถ้าใช้ Seat ที่ทำมาจาก Teflon) ในขณะเดียวกันแรงที่ใช้ในขณะปิดมีจำนวนน้อยจึงทำให้ขนาดของ Actuator เล็กกลง โดยปกติวาล์วแบบนี้มีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว จนถึง 12 นิ้ว ทำจาก Carbon Steel หรือ Stainless Steel ซึ่งสามารถใช้งานตาม ANSI Class 600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



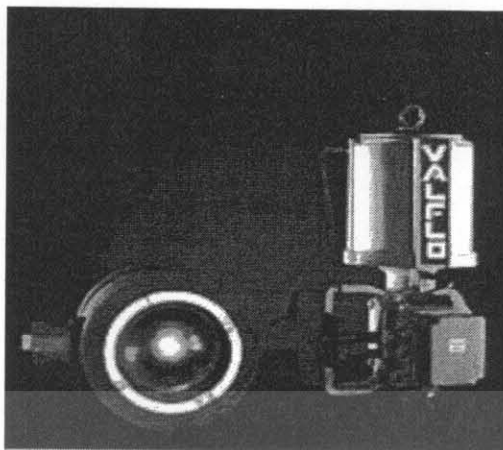
ภาพที่ 2.4 แสดงภาพ Eccentric Rotating Valve

ข้อดีของวาล์วชนิดนี้คือมีราคาถูกกว่าแบบ Globe Valve และที่ได้เปรียบมากที่สุด คือ มีน้ำหนักเบากว่ามากเพราะโครงสร้างเป็นแบบ Flangeless มี End Connection เป็นแบบ Wafer และยังเป็นวาล์วที่ไม่ต้องบำรุงรักษามาก นอกจากนี้การเคลื่อนที่แบบ Eccentric ของ Spherical Face ของ Plug ยังช่วยลดแรงบิดและการทำงานที่มีเสถียรภาพไม่ว่าจะติดตั้งแบบ Flow-to-Open หรือ Flow-to-Close ก็ตาม คุณลักษณะการไหล (Flow Characteristic) จะเป็นแบบ Linear

สำหรับ Actuator ที่ใช้กับ Eccentric Rotating Valve นี้จะเป็นแบบ Diaphragm หรือ Piston ก็ได้แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Piston และบางครั้งใช้งานร่วมกับ Valve Positioner ด้วย

#### 2.3.2.4 Ball Valve

Ball Valve จัดเป็น Valve Body แบบหนึ่งที่มีการเคลื่อนที่แบบ Rotary ที่ ออกแบบให้เกิด Pressure Drop น้อยที่สุด (ในกรณีที่เป็น Full Ball) เมื่อมีอัตราการไหลมาก ก็มี Flow Capacity มากกว่าแบบ Globe Valve เมื่อมีขนาดเท่ากัน Ball Valve จัดอยู่ในพวก High Recovery Valve ทำให้เกิด Pressure Drop น้อย แต่โอกาสที่จะเกิด Cavitation นั้นมีมากกว่าแต่ไม่เสมอไป



ภาพที่ 2.5 แสดงภาพ Ball Valve

โดยทั่วไปเราจะแบ่งประเภทของ Ball Valve ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต คือ

#### 1. Full Ball Valve

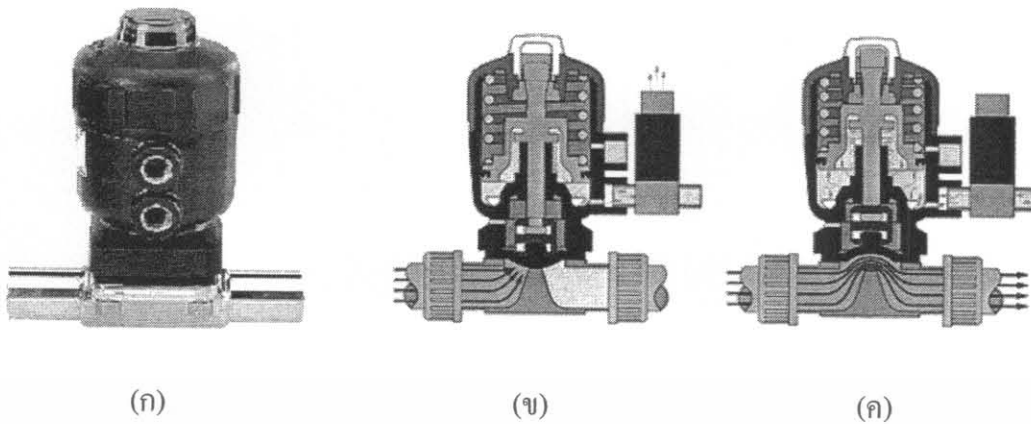
Full Ball Valve เป็นแบบแรกของ Ball Valve มีลักษณะของช่องทางเดินของของไหลตามส่วนโค้งของวงกลม เมื่อของไหลไหลผ่านส่วนของ Ball จะไหลผ่านได้โดยตลอด คือขนาดของช่องทางเดินมีขนาดเท่ากับขนาดความโตของท่อ (I.D.) ส่วนของ Ball จะถูกยึดด้วย Seats หรือ Stem shaft ที่หมุนอยู่บน Bearing แต่ถ้าวาล์วนี้เปิดอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งช่องจะปิดสุด-เปิดสุด จะทำให้เส้นแนวการไหลต้องไหลช่องทางเดิน (Port) จำนวน 2 ชั้น (2 Stages) จากผลอันนี้ความเร็วของการไหลจะลดลงคือ ความเร็วจะต่ำกว่าแบบ 1 ชั้น (Single Stages) ซึ่งทำให้เป็นการลดการเกิด Cavitation และ Vibration

2. Segmented Ball Valve เป็นการนำส่วนของ Ball มาตัดส่วนของรูปทรงกลมออกบางส่วน เพื่อจุดประสงค์ในการออกแบบคุณลักษณะการไหลให้เป็นแบบที่ต้องการ ซึ่ง Ball Valve แบบนี้จะมีคุณลักษณะการไหลเป็นแบบ Equal Percentage ทำให้การควบคุมการไหลตามตัวแปรที่ต้องการได้ดีกว่าแบบ Full Ball แต่แบบนี้มีโอกาสเกิด Cavitation ได้มากกว่า

#### 2.3.2.4 Diaphragm Valve

Diaphragm Valve หรือเรียกตามชื่อเฉพาะว่า Saunder-Patent Valve วาล์วนี้เหมาะที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความเหนียวข้น กัดกร่อน หรือมีเศษผงเจือปนอยู่ โครงสร้างประกอบด้วย Housing ของ Valve Body ซึ่งมีเส้นของ (Weir) ที่ถูกยกขึ้นมาในช่วงกลาง ส่วนลิ้นวาล์วเป็น Diaphragm ที่หนาและยึดหยุ่นแทน Valve Plug โคนทั่วไปก้านวาล์วจะกด Diaphragm ให้เคลื่อนที่กดลงบนสันขอบทำให้วาล์วปิดได้สนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แสดงภาพ Diaphragm Valve

ข้อดีของวาล์วชนิดนี้ คือ มีโครงสร้างง่าย ราคาถูกและบำรุงรักษาได้ง่าย สำหรับข้อเสียนั้น วาล์วชนิดนี้จะมี Actuator Force ที่ไม่สม่ำเสมอและมี Flow Characteristic ที่ไม่ดีอีกทั้งใช้กับของไหลที่มีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 180°F โดยปกติแล้ว Saunder-Patent Valve จะไม่มี Stuffing Box สำหรับใส่ Gland Packing ดังนั้นเมื่อ Diaphragm เกิดชำรุดหรือทะลุขึ้นของไหลที่อยู่ภายในจะมีโอกาสรั่วออกมาได้ ฉะนั้นในกรณีที่ต้องการใช้กับของไหลที่อันตรายหรือกัดกร่อนจะต้องใช้ Bonnet แบบพิเศษที่มี Stuffing Box เพื่อป้องกันการรั่วซึมในกรณีที่ Diaphragm เกิดการเสียหาย

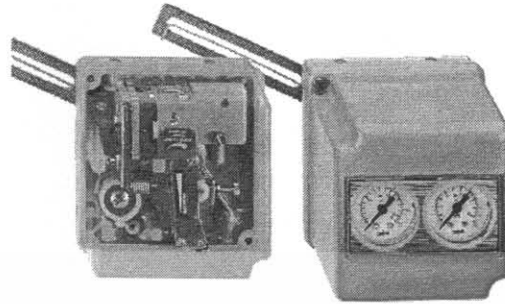
#### 2.4 ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว (Valve Positioner)

โดยทั่วไปวาล์วควบคุมจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประกอบและการใช้อุปกรณ์ประกอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ทำให้วาล์วควบคุมทำงานตามค่าสัญญาณควบคุมได้ถูกต้อง
2. ทำให้วาล์วควบคุมทำงานตามการตอบสนองของสัญญาณได้รวดเร็ว
3. ทำให้วาล์วควบคุมรักษาเสถียรภาพของกระบวนการ
4. ทำให้วาล์วควบคุมทำงานตามเงื่อนไขของระบบควบคุม

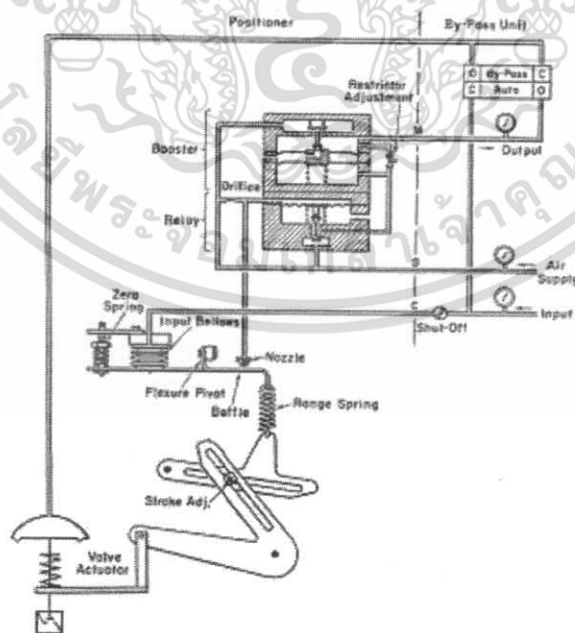
อุปกรณ์ประกอบที่ใช้เป็นส่วนมาก คือ Valve Positioner ซึ่งมีใช้งานหลายชนิดด้วยกัน ขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุต เช่น Pneu-Pneu Positioner (P/P Positioner), Elec- Pneu Positioner (E/P Positioner)

### 2.4.1 Pneumatic Valve Positioner



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพของ Pneumatic Valve Positioner

Pneumatic Valve Positioner จะมีการรับสัญญาณมาตรฐาน  $02-1.0 \text{ kg/cm}^2$  (bar) หรือ 3-15 psi และส่งสัญญาณไปที่ Actuator โดยในภาพที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมของ Force Balance Positioner ซึ่งอาศัยหลักการสมดุลของแรง โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงที่เกิดขึ้นจากสัญญาณอินพุตกับแรงที่เกิดจาก Feedback Spring ซึ่งต่ออยู่กับก้านวาล์ว เมื่อสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นจะทำให้ Bellow ขยายตัวออกดันให้ Spring หุบตัวเข้ามีผลทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back Pressure) เพิ่มขึ้นที่ Nozzle ทำให้เอาท์พุทของ Relay เพิ่มขึ้นและส่งเป็นเอาท์พุทของ Positioner ไปยัง Actuator ทำให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมของ Force Balance Positioner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

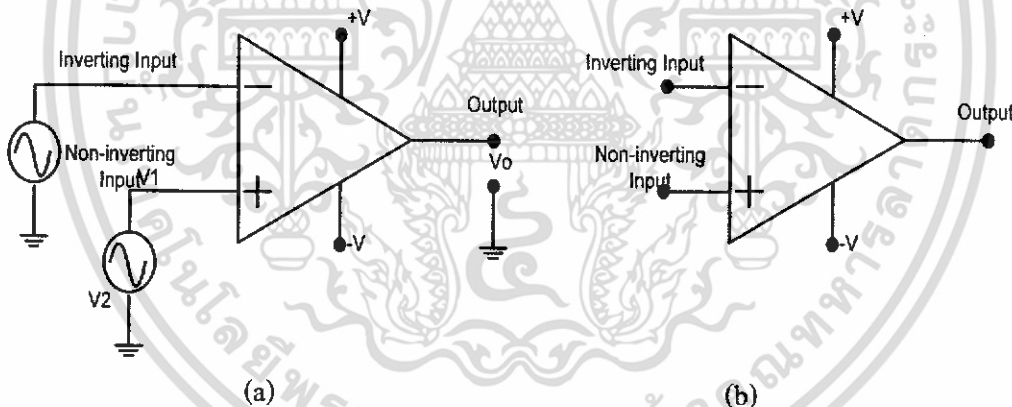
# หลักการและทฤษฎี

### 3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องของทฤษฎีและการคำนวณ เพื่อจะนำมาสร้างวงจรให้ใกล้เคียงกับทฤษฎีและผลการทำงานที่ต้องการมากที่สุด

### 3.2 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน (Op-Am and Applications)

ออปแอมป์ (Operational Amplifier : Op-Am) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้อัตราการขยายสูงขณะทำงานที่ลูปปิด (close loop gain) และสามารถควบคุมคุณสมบัติการทำงานของออปแอมป์ได้จากค่าของอุปกรณ์ที่ต่อภายนอก จากรูปที่ 3.1 (a) แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ซึ่งประกอบด้วยขาสัญญาณอินพุตจำนวน 2 ขาสัญญาณ (ขาสัญญาณอินพุตบวกและขาสัญญาณอินพุตลบ) และขาสัญญาณเอาต์พุตอีก 1 ขาสัญญาณ



ภาพที่ 3.1 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

สัญญาณอินพุตแต่ละขาสัญญาณจะมีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตและในการใช้สัญญาณโดยทั่วไปมักจะละขาที่ต่อแรงดันไฟเลี้ยง (voltage supply) บวกและลบเข้าตัวออปแอมป์ในฐานะที่เข้าใจว่าจะต้องมีอยู่เสมอ จึงทำให้สัญลักษณ์ของออปแอมป์ง่ายขึ้นดังรูปที่ 3.1 (b) การทำงานของออปแอมป์แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือการทำงานกรณีที่มีอินพุตด้านเดียว (single-end mode) และการทำงานกรณีที่มีอินพุตสองด้าน (differential mode)

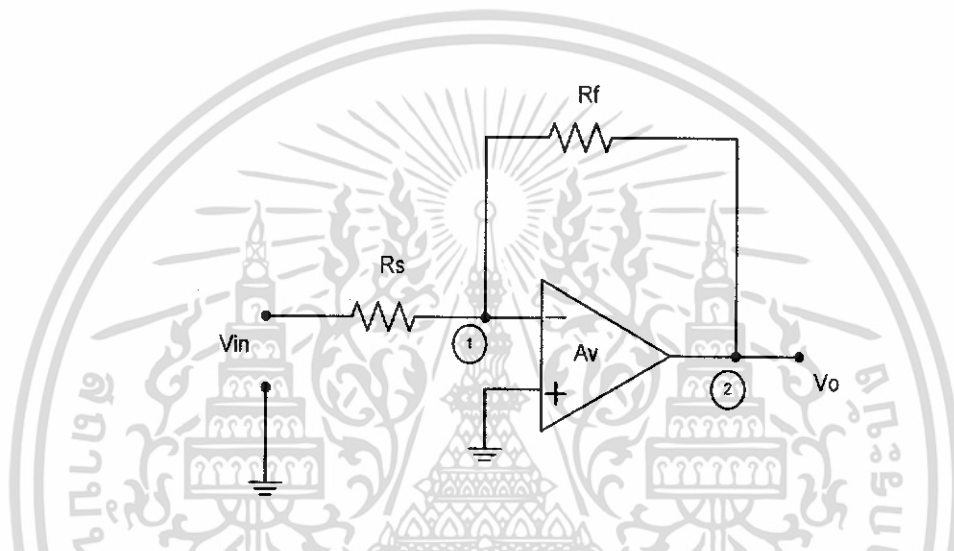
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ (Op-Amp Applications)

ออปแอมป์นำมาประกอบเป็นวงจรได้หลายวงจร ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ในวงจรบางประเภทเช่น วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส , วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสและวงจรบัฟเฟอร์

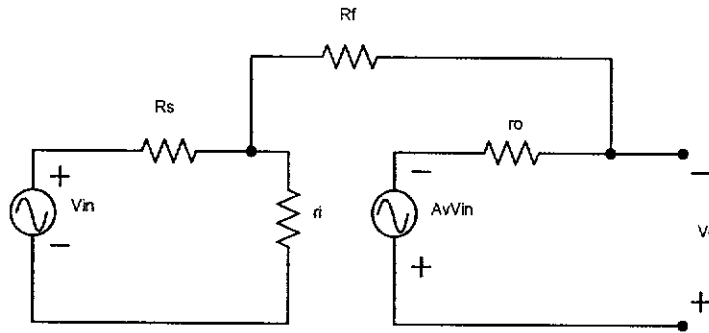
#### 3.2.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสซึ่งให้อัตราขยายหลังการป้อนกลับที่คงที่และได้รับความนิยมมากแบบหนึ่ง

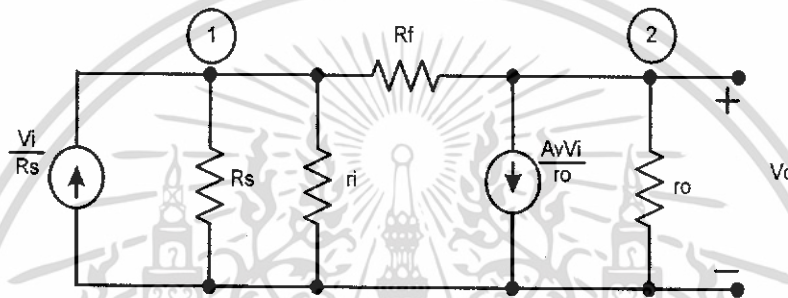


ภาพที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

เขียนวงจรสมมูลของออปแอมป์ที่มีการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุต ในภาพที่ 3.2 โดยแทนวงจรสมมูลของออปแอมป์ ในทางปฏิบัติจะได้วงจรสมมูลของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสดังภาพที่ 3.3 เมื่อแทนแหล่งกำเนิดสัญญาณแรงดันและความต้านทานอนุกรม ในรูปที่ 3.3 ด้วยแหล่งกำเนิดกระแสและความต้านทานขนานของนอร์ตัน (Norton's equivalent circuit) จะได้วงจรสมมูลดังภาพที่ 3.4 หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์แบบโนด (node analysis) เพื่อหาค่าของอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุต (อัตราขยาย) ในรูปความต้านทานอินพุต, ความต้านทานเอาต์พุต, ความต้านทานป้อนกลับและอัตรารายขยายของออปแอมป์



ภาพที่ 3.3 วงจรสมมูลของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส 180 องศา



ภาพที่ 3.4 วงจรสมมูลในรูปที่ 3.3 เมื่อแทนด้วยแหล่งกำเนิดกระแสตามทฤษฎีโน้ด

จากภาพที่ 3.4 จะได้ว่า

Node 1: 
$$V_1 \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_f} \right) - V_o \left( \frac{1}{R_f} \right) = \frac{V_{in}}{R_s} \tag{3.1}$$

Node 2: 
$$-V_1 \left( \frac{1}{R_f} \right) + V_o \left( \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_o} \right) = \frac{-A_v V_1}{r_o} \tag{3.2}$$

$$-V_1 \left( \frac{1}{R_f} - \frac{A_v}{r_o} \right) + \left( \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_o} \right) V_o = 0 \tag{3.3}$$

จากสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.3 เมื่อแก้สมการจะได้อัตราขยายของออปแอมป์ที่ใช้มีค่าสูงมากคือ

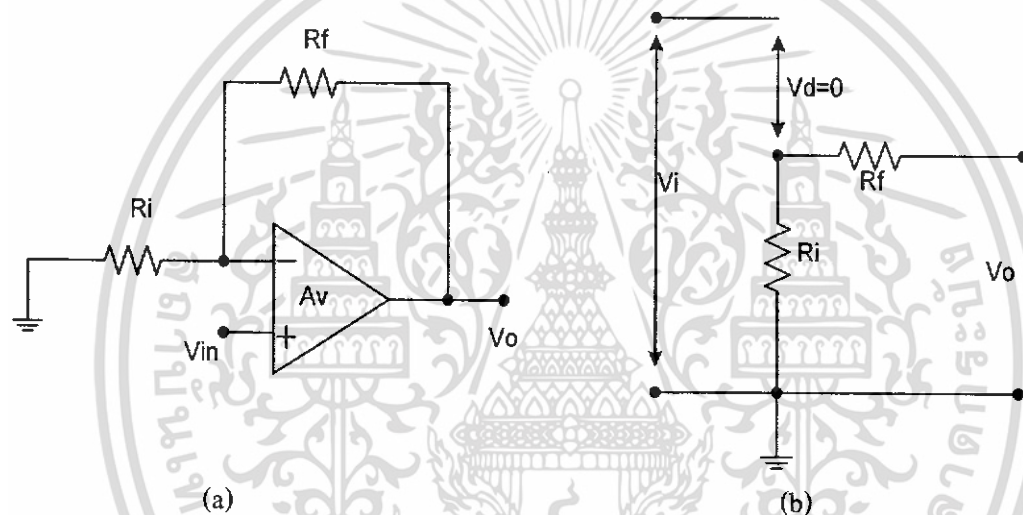
$$\frac{V_o}{V_m} = - \left( \frac{R_f}{R_i} \right) \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการอัตราขยายพบว่าอัตราขยายจะมีค่าเป็นลบซึ่งแสดงว่าสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอินพุตมีความต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา ซึ่งทั้งหมดนั้นวงจรขยายกลับเฟสจะทำงานได้โดยสมมุติบนสมมติฐาน(Assumption)ที่ว่า อัตราขยายของออปแอมป์มีค่าสูงมาก , ความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่ามาก , ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าน้อยมากจึงจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.4

### 3.2.1.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสมีลักษณะดังภาพที่ 3.5 (a) ซึ่งเขียนเป็นวงจรมมูลได้ดังภาพที่ 3.5 (b)



ภาพที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

เนื่องจาก  $V_d=0$  จึงหาค่า  $V_i$  ได้โดยกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้ดังนี้ คือ

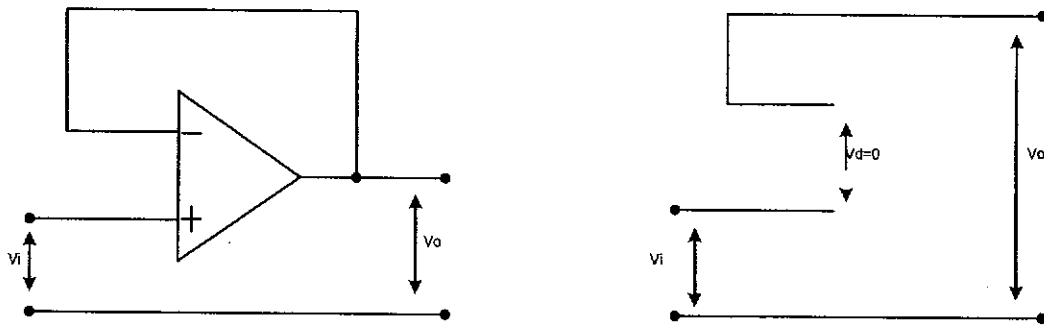
$$V_i = \left[ \frac{R_i}{R_i + R_f} \right] V_o \quad (3.5)$$

ดังนั้น

$$\frac{v_i}{v_o} = \frac{R_i + R_f}{R_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (3.6)$$

ดังนั้นหากให้ค่า  $R_f=0$  จะทำให้ได้วงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือเป็นวงจรบัฟเฟอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



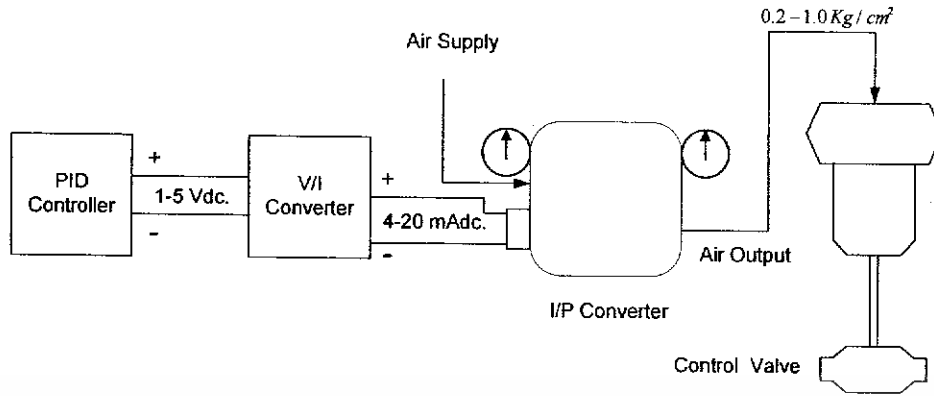
ภาพที่ 3.6 วงจรบัพเฟอร์และวงจรสมมูลของบัพเฟอร์

### 3.2.1.2 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

#### (Voltage to Current Converter Circuit)

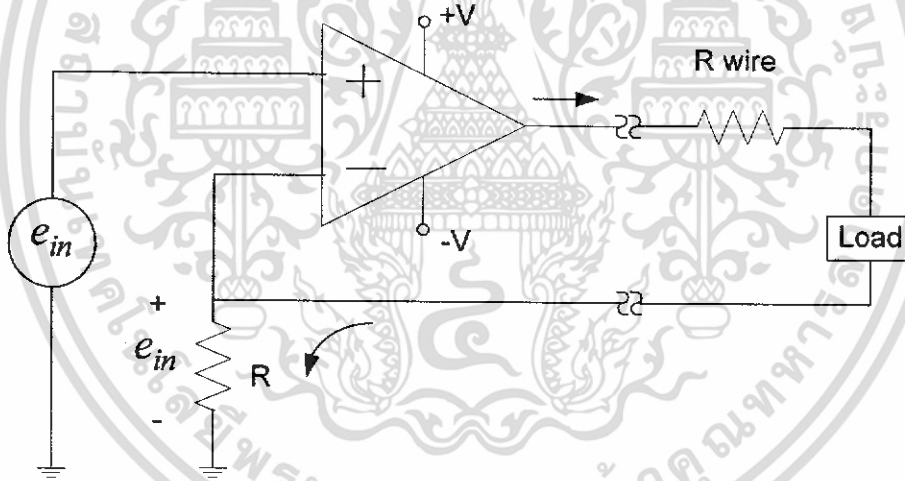
สัญญาณมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้ 3 ประเภท คือสัญญาณลม (Pneumatic) อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และสัญญาณดิจิทัล (Digital) โดยขนาดของสัญญาณลมมาตรฐานที่ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุมปัจจุบัน คือสัญญาณลมมาตรฐาน  $0.2 - 1.0 \text{ Kg/cm}^2$  หรือ  $3 - 15 \text{ psig}$  และที่พบน้อยมาก คือ  $6 - 30 \text{ psig}$  และ  $3 - 27 \text{ psig}$  ขณะที่สัญญาณมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์มี 2 แบบ คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน  $1 - 5 \text{ Vdc}$  และที่พบน้อยมากคือ  $0 - 10 \text{ Vdc}$  และ สัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน  $4 - 20 \text{ mAdc}$  และที่พบน้อยมาก คือ  $10 - 50 \text{ mAdc}$  สำหรับสัญญาณมาตรฐานดิจิทัล ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นตอนการตกลง ดังนั้นการนำอุปกรณ์ดังกล่าวต่างๆ ไปทำงานร่วมกันจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณเสียก่อน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเพียงการแปลงสัญญาณมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์เสียก่อนเท่านั้น

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า เป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งที่ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากบางครั้งตัวส่งสัญญาณในระบบ ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้าแต่จำเป็นต้องส่งไปเป็นระยะทางไกลจึงต้องส่งเป็นกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ตัวรับต้องการอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น การต่อตัวควบคุม PID (PID Controller) ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า มาตรฐาน  $1 - 5 \text{ Vdc}$  กับตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current-to-Pneumatic Converter, I/P Converter)  $4-20 \text{ mAdc}$  เป็นสัญญาณลม  $0.2-2.0 \text{ Kg/cm}^2$  เพื่อนำสัญญาณลมไปควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve) ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ และปัจจุบันมีไอซีสำเร็จรูปสำหรับวงจรนี้ วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ

จากภาพที่ 3.8 เป็นการประยุกต์ใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) ซึ่งจากหลักการของวงจรนี้ แรงดัน  $V_A = V_R = e_{in}$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R} = \frac{e_{in}}{R} \quad (3.7)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุทย่าน  $e_m = 1 - 5 \text{ Vdc}$  เป็นกระแสไฟฟ้า

$i_o = 4-20 \text{ mAdc}$  สามารถทำได้ดังนี้

ที่  $e_{in} = 1 \text{ V}$  กระแสเอาต์พุทเป็น  $i_o = 4 \text{ mA}$  จะได้

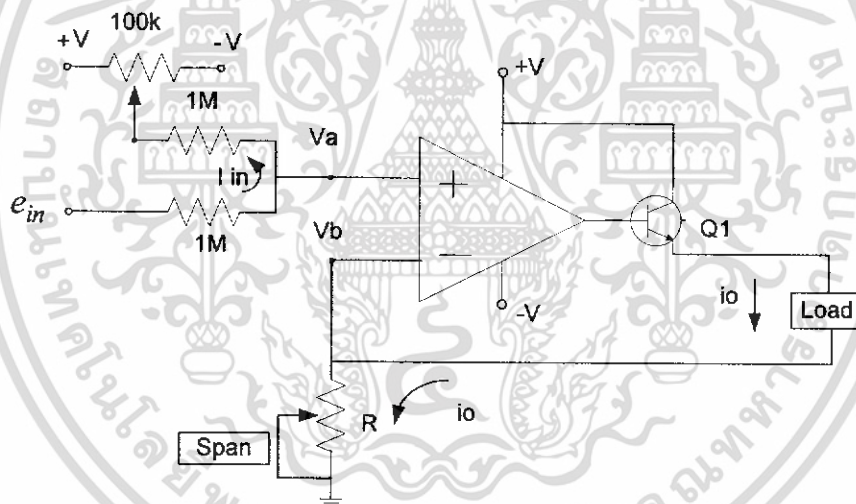
$$4 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{R}$$

$$\therefore R = 250 \Omega$$

และที่  $e_{in} = 5 \text{ V}$  จะได้กระแสเอาต์พุทเป็น

$$i_o = \frac{5 \text{ V}}{250 \Omega} = 20 \text{ mA}$$

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยออปแอมป์มีขีดจำกัด อีกทั้งวงจรตัวอย่างการกำหนดย่านการแปลงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน จึงได้นำทรานซิสเตอร์มาช่วยขับเคลื่อนดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้

จากรูป ตามหลักการของวงจรนี้ แรงดัน  $V_A = V_B = V_R$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_A}{R} = \frac{V_B}{R} = \frac{V_R}{R} \quad (3.8)$$

และแรงดันในลูปบน คือ

$$e_{in} - i_{in}(1\text{M}\Omega) - i_{in}(1\text{M}\Omega) - e_{ref} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$i_{in} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{2M\Omega} \quad (3.9)$$

และแรงดันรูปต่าง

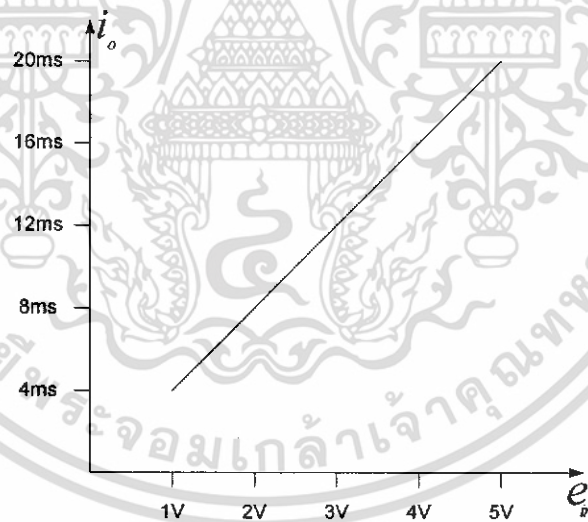
$$e_{in} - i_{in}(1M\Omega) - V_A = 0$$

$$V_A = e_{in} - \frac{e_{in} - e_{ref}}{2M\Omega}(1M\Omega) = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2}$$

นั่นคือ

$$i_o = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2R} \quad (3.10)$$

จากสมการกระแสเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุต แรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน ตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1 - 5$  Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4 - 20$  mAdc ตามกราฟภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุตและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

การคำนวณสามารถทำได้ดังนี้

ที่  $e_{in} = 1$  V กระแสเอาต์พุตเป็น  $i_o = 4$  mA

$$4 \times 10^{-3} A = \frac{1 + e_{ref}}{2R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $e_{ref} = 8 \times 10^{-3} R - 1$  นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.11) ค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่  $e_m = 5V$  กระแสเอาต์พุตเป็น  $i_o = 20 \text{ mA}$  จะได้

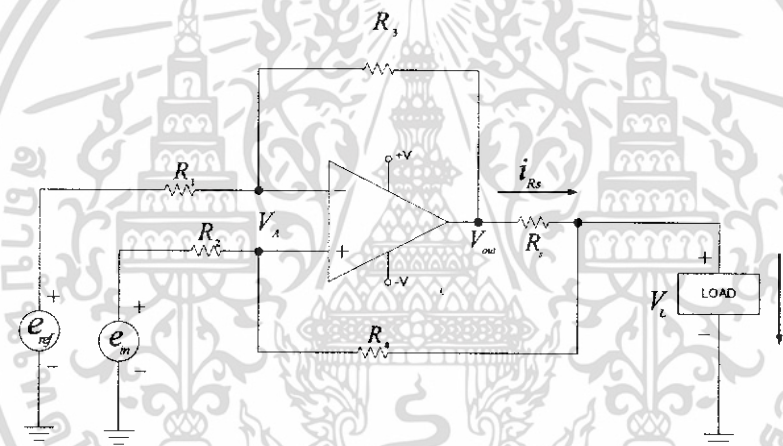
$$20 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{5 + e_{ref}}{2R}$$

$$\therefore e_{ref} = 40 \times 10^{-3} R - 5 \quad (3.12)$$

จาก (3.14) จะได้

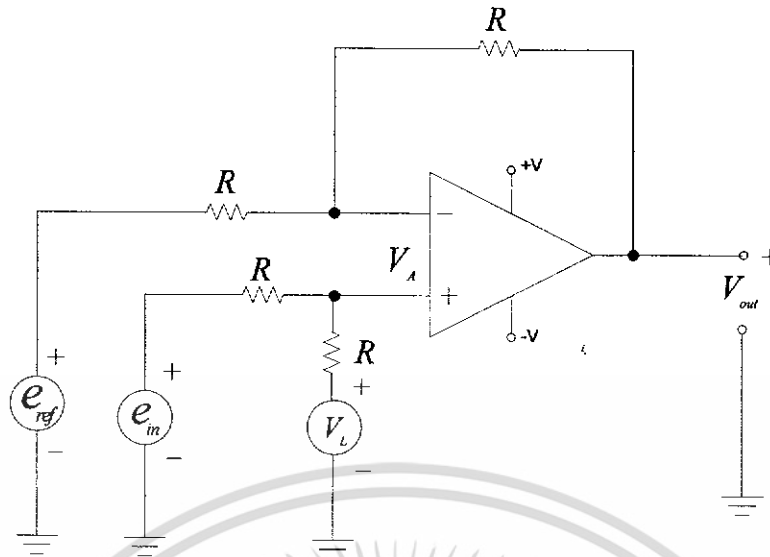
$$e_{ref} = 8 \times 10^{-3} \times 125 - 1 = 0$$

อย่างไรก็ตามวงจรในภาพที่ 3.9 จะเห็นว่ากระแสเอาต์พุต  $i_o$  จะไหลผ่านโหลดและตัวต้านทาน  $R$  ลงกราวด์ ซึ่งเรียกการต่อโหลดลักษณะนี้ว่า “โหลดลอย” ถ้าต้องการให้กระแสเอาต์พุตไหลผ่านโหลดแล้วลงกราวด์โดยไม่ผ่านตัวต้านทานก็สามารถทำได้ โดยใช้วงจรดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า แบบต่อโหลดลงกราวด์

จากรูปถ้า  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  เราสามารถคำนวณแรงดันเอาต์พุตของวงจรได้โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน (Superposition) ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แสดงวงจรสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน

จากภาพที่ 3.12 เมื่อใช้การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อนจะได้

$$V_{out1} = -e_{ref}$$

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R}{R}\right)V_A$$

ซึ่ง

$$V_A = \left(\frac{e_{in} - V_L}{2R}\right)R + V_L$$

ดังนั้น

$$V_{out2} = 2V_A = 2 \left[ \left(\frac{e_{in} - V_L}{2R}\right)R + V_L \right] = e_{in} + V_L$$

และ

$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2} = V_L + e_{in} - e_{ref}$$

และจากรูป

$$V_{RS} = V_{out} - V_L = V_L + e_{in} - e_{ref} - V_L = e_{in} - e_{ref}$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_s$  ซึ่งก็มีค่าเท่ากับกระแสเอาต์พุต คือ

$$i_{rs} = i_o = \frac{V_{RS}}{R_s} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{R_s} \quad (3.13)$$

จากสมการจะเห็นว่ากระแสเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุต แรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน  $R_s$  ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1-5$  Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4 - 20$  mA จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$4 \times 10^{-3} A = \frac{1 - e_{ref}}{R_s}$$

$$\therefore e_{ref} = 1 - 4 \times 10^{-3} R_s \quad (3.14)$$

และที่  $e_m = 5 V$  กระแสเอาต์พุตเป็น  $i_o = 20 mA$  จะได้

$$20 \times 10^{-3} A = \frac{5 - e_{ref}}{R_s}$$

$$\therefore e_{ref} = 5 - 20 \times 10^{-3} R_s \quad (3.15)$$

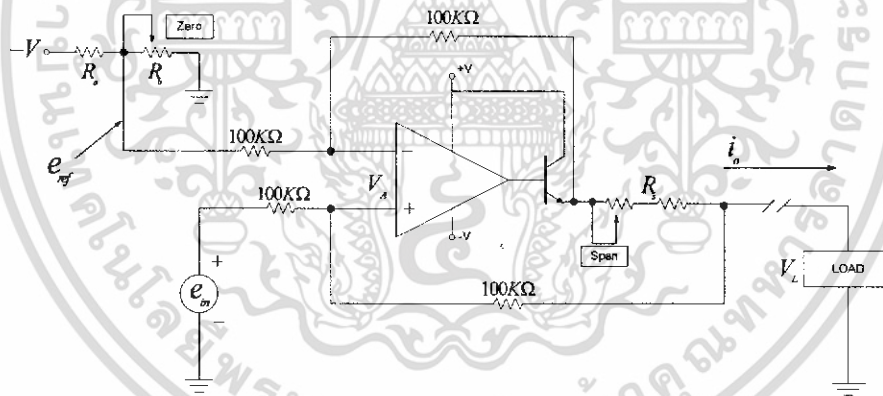
จาก (3.14) และ (3.15) จะได้

$$R_s = \frac{4}{16 \times 10^{-3}} = 250 \Omega$$

และ

$$e_{ref} = 1 - 4 \times 10^{-3} \times 250 = 0$$

ถ้าต้องการปรับย่านการแปลงและให้วงจรสามารถจับกระแสได้มากขึ้นสามารถทำได้โดยต่อทรานซิสเตอร์เข้าไปดังตัวอย่างในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้แบบต่อโหลดลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว (Single Chip Microcontroller) คือไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็กโดยบรรจุไว้ในแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) เพียงชิปเดียวเหมาะสำหรับควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ โดยอัตโนมัติ โดยผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้ตามต้องการ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51 ที่เลือกใช้ในโครงการนี้ คือเบอร์ T89C51AC2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ของบริษัท ATMEL ซึ่ง CPU ตัวนี้จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ PLCC ขนาด 44 ขา เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) ภายในแบบ Flash Memory ขนาด 32 Kbytes ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบข้อมูลได้ใหม่ถึง 1,000 ครั้งและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

#### 3.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ T89C51AC2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ T89C51AC2 ผลิตโดยบริษัท ATMEL เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญที่สำคัญดังนี้

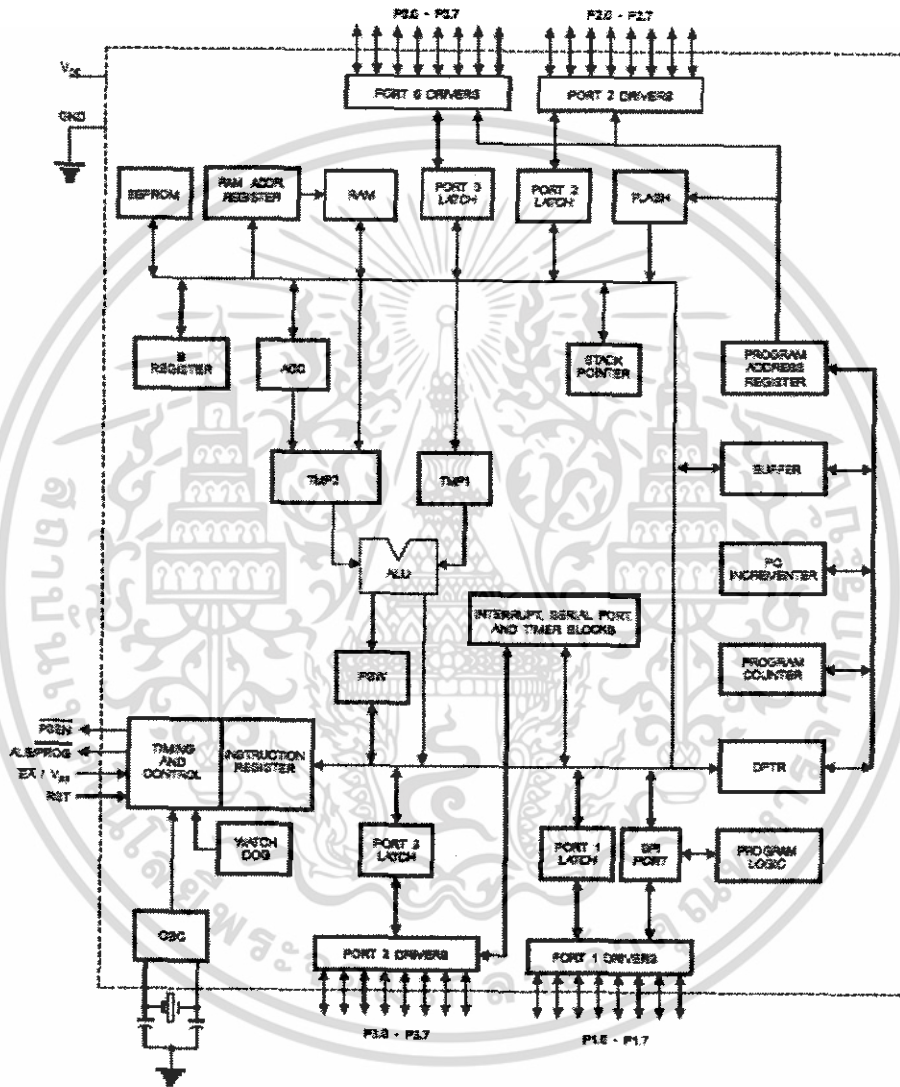
1. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายใน 8 Kbytes ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของโครงการนี้
2. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลในระหว่างการทำงานของโปรแกรม (Internal RAM) ได้ 256x8-bit
3. มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเขียนและลบได้ 100,000 ครั้ง ขนาด 2 Kbytes
4. ใช้แหล่งจ่ายระหว่าง 4-6 โวลท์
5. ใช้ความถี่ระหว่าง 0-24 MHz
6. มีวงจร Timer / Counter ขนาด 16 บิต 3 ชุด
7. มีการขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt Sources) 9 ชุด
8. สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมดของ Idle (การทำงานปกติ) และ Powerdown (การประหยัดพลังงานไฟฟ้า)
9. สามารถโปรแกรมผ่าน SPI (Serial Peripheral Interface)
10. สามารถโปรแกรมแบบ Watchdog Timer

จากคุณสมบัติที่กล่าวถึงทำให้ MCS-51 เป็นที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติซึ่งบรรจุไว้ในไอซีรวมเดี่ยว (Single Chip) ขนาด 40 ขา ดังนั้นจึงสามารถออกแบบให้ระบบมีขนาดเล็กทำให้ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้ง่าย รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตหากจะต้องมีการผลิตเป็นจำนวนมาก

3.3.2 โครงสร้างของ MCS-51

โครงสร้างภายในของ MCS-51 ประกอบด้วยเกตต่างๆ เช่น AND OR NOT ซึ่งเกตเหล่านี้จะถูกออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่าง ๆ เช่น วงจรลอครหัสสร้างสัญญาณนาฬิกา โครงสร้างภายในของ MCS-51 จะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.14

Block Diagram



ภาพที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของ MCS-51

จากภาพที่ 3.14 โครงสร้างของ MCS-51 ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. CPU (Central Processing Unit) ซึ่งมีส่วนย่อยอีก แต่ละส่วนมีหน้าที่ต่าง ๆ กัน ได้แก่ ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม (Control Unit) ในการติดต่อกับส่วนอื่น ๆ ส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล สำหรับไปเก็บไว้และอ่านเอาข้อมูลออกมาจากหน่วยความจำ

3. Input / Output Device ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก

### 3.3.3 การจัดการหน่วยความจำของ MCS-51

หน่วยความจำของ MCS-51 แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. Program Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมการทำงาน ซึ่งจะเป็น ROM (Read Only Memory) เท่านั้น แบ่งเป็นหน่วยความจำภายใน (Internal Memory) ซึ่งจะอยู่ภายใน MCS-51เบอร์ 8252 จำนวน 8 กิโลไบต์ ตำแหน่งของหน่วยความจำเนื้อที่ 0000H ถึง 0FFFH และหน่วยความจำภายนอก (External Memory) ตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ที่ 1FFFH ถึง FFFFH

2. Data Memory แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ มีเพียง 256 ไบต์สำหรับเบอร์ 8252 หน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพมีความจุ 64 กิโลไบต์

### 3.3.4 สถาปัตยกรรมของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดขั้นต้นดังนี้

1. ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

2. ขา GND เป็นขาราวด์สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

3. ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขาแต่ละขา สามารถที่จะกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปลั๊กลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นที่ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

4. ขาพอร์ต (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต ที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุต สำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ขาพอร์ต (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถ กำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งาน ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก ( A8-A15) ไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขา 1 นี้ยังเป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการ โปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการ โปรแกรม +12V

6. ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการ กำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.3.5 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟลทที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาของพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ตแล้วรอให้ซีพียูอ่านค่าเข้าไปเมื่อเป็นเช่นนี้อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสถานะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด ( ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว )

### 3.3.6 การทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปยังเฟลททำงานที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงานทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมากเพียงแต่

แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายของข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุทจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุท

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นพอร์ตเอาต์พุทแต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์สได้สูงสุด 10 mA และทุกขาารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 ได้สูงสุด 15 mA และสำหรับพอร์ต 1 ถึง 3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุทจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุท เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแส จึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุท เพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

### 3.3.7 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกหน่วยความจำ โปรแกรมภายในอย่างเดียว หรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็จะสามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซ็ตให้เริ่มต้นการทำงานจะต้องเริ่มต้นการทำงานที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตามในพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรม ไม่ว่าจะใช้จากภายนอกหรือภายในก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

1. พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
2. พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
3. พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
4. พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
5. พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

### 3.3.8 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายในโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89xx สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอกนั้นคือ ขา  $\overline{RD}$  และ  $\overline{WR}$

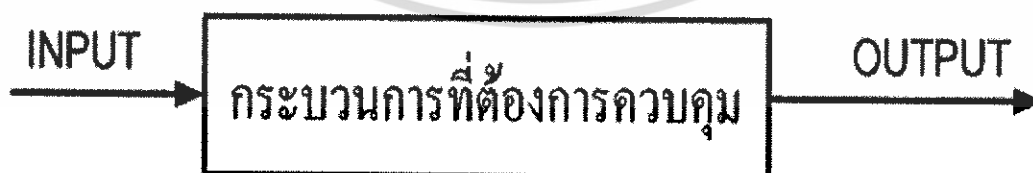
สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89xx ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง, ส่วนบน และ รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์

## 3.4 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือ รูปแบบของระบบใด ๆ ก็ตามที่มีการจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบ เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบที่เป็นไปตามต้องการ ซึ่งส่วนมากอาศัยพื้นฐานทฤษฎีระบบเชิงเส้น มาช่วยในการวิเคราะห์พิจารณาถึงความสัมพันธ์ ระหว่างเหตุผลของแต่ละองค์ประกอบของระบบไม่ว่าระบบควบคุมนี้จะมี ความซับซ้อนเพียงไรก็ตามพื้นฐานของระบบควบคุม จะมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- วัตถุประสงค์ของการควบคุม (Input)
- กระบวนการ, ขั้นตอน, หลักที่ใช้ในการควบคุม (Process)
- ค่าที่ได้รับจริง (Output)

จากองค์ประกอบต่าง ๆ ข้างต้น สามารถนำมาเขียนแทนด้วยภาพบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 พื้นฐานระบบควบคุม

### 3.4.1 ประเภทของการควบคุม

ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ระบบการควบคุมแบบเปิด (Open-loop control system)
2. ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control system)

#### 3.4.1.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop)

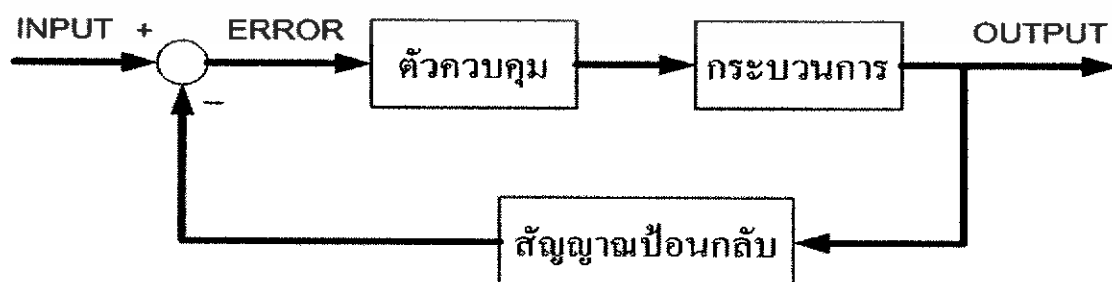
ระบบควบคุมแบบเปิดหรือเรียกอีกอย่างว่า ระบบควบคุมแบบไม่มีการป้อนกลับ ระบบนี้ค่าเอาต์พุตที่ได้ จะไม่มีผลต่อการควบคุมขบวนการของระบบ หมายความว่าไม่มีการนำเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าของอินพุต (อ้างอิง) ที่ป้อนไปให้กับระบบ ซึ่งสามารถที่จะแสดงลักษณะบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

#### 3.4.1.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

เมื่อระบบควบคุมแบบเปิดไม่สามารถจะให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุมนำมาใช้งาน โดยการนำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้น จะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อจะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ (Set point) ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 ตัวควบคุม (Controller)

เครื่องควบคุมแบบ PID ถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากกว่า 50 ปี โดยแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุมแบบนิวแมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ดังนี้

$$m(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.16)$$

โดยที่  $K_p$  = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain)

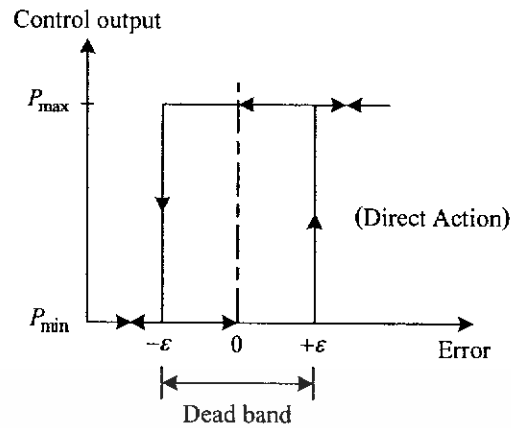
$T_i$  = ค่าเวลา Integral (Integral Time)

$T_d$  = ค่าเวลา Derivative (Derivative Time)

จากสมการที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุมหรือตัวแปรปรับกระบวนการ ( $mv$ ) ที่ได้จากตัวควบคุม PID จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าตัวควบคุมกับตัวแปรกระบวนการ ( $pv$ ) กับสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย ( $sp$ ) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่ผู้ควบคุมปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID) ซึ่งสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมจะเป็นไปตามกฏการควบคุมแบบต่างๆ ดังที่จะกล่าวต่อไป

#### 3.4.2.1 กฏการควบคุมแบบ ON-OFF

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยการควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะ คือ เปิด (100%) กับปิด (0%) กฏการควบคุมแบบ ON-OFF ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF

จากภาพที่ 3.18 จะเห็นว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤต ( $+\varepsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต ( $-\varepsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุตที่อยู่ในช่วงเดธแบนด์ (Dead Band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใดซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้เกิดช่วงเดธแบนด์ขึ้นเพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมหรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดธแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนักเพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m(t) = \begin{cases} 0\% & , e < -\varepsilon \\ 100\% & , e > +\varepsilon \end{cases} \quad (3.17)$$

เมื่อ  $m(t)$  = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม  
 $e(t)$  = ค่าความคลาดเคลื่อน  
 $\varepsilon$  =  $\frac{1}{2}$  ของค่าเดธแบนด์

#### 3.4.2.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

กริยาการควบคุมแบบ P นั้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม กริยาการควบคุมแบบ P สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

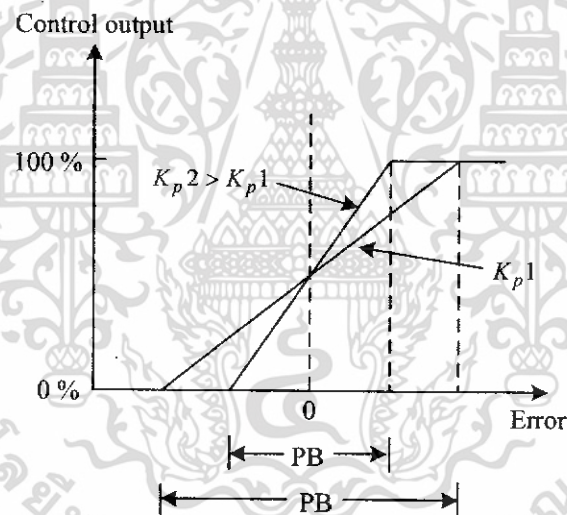
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_p(t) = K_p e(t) + \bar{m} \quad (3.18)$$

เมื่อ  $m_p(t) =$  ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Proportional  
 $K_p =$  อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional  
 $\bar{m} =$  ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตัวควบคุมแบบ P บางตัวอาจจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า  $K_p$  ซึ่ง PB คือ ช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่เอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่า 0-100 % ดังสมการ (3.19) ข้อเสียของกริยาการควบคุมแบบ Proportional คือ ไม่สามารถกำจัดค่าออฟเซตได้

$$PB = \frac{100\%}{K_p} \quad (3.19)$$



ภาพที่ 3.19 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional

### 3.4.2.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

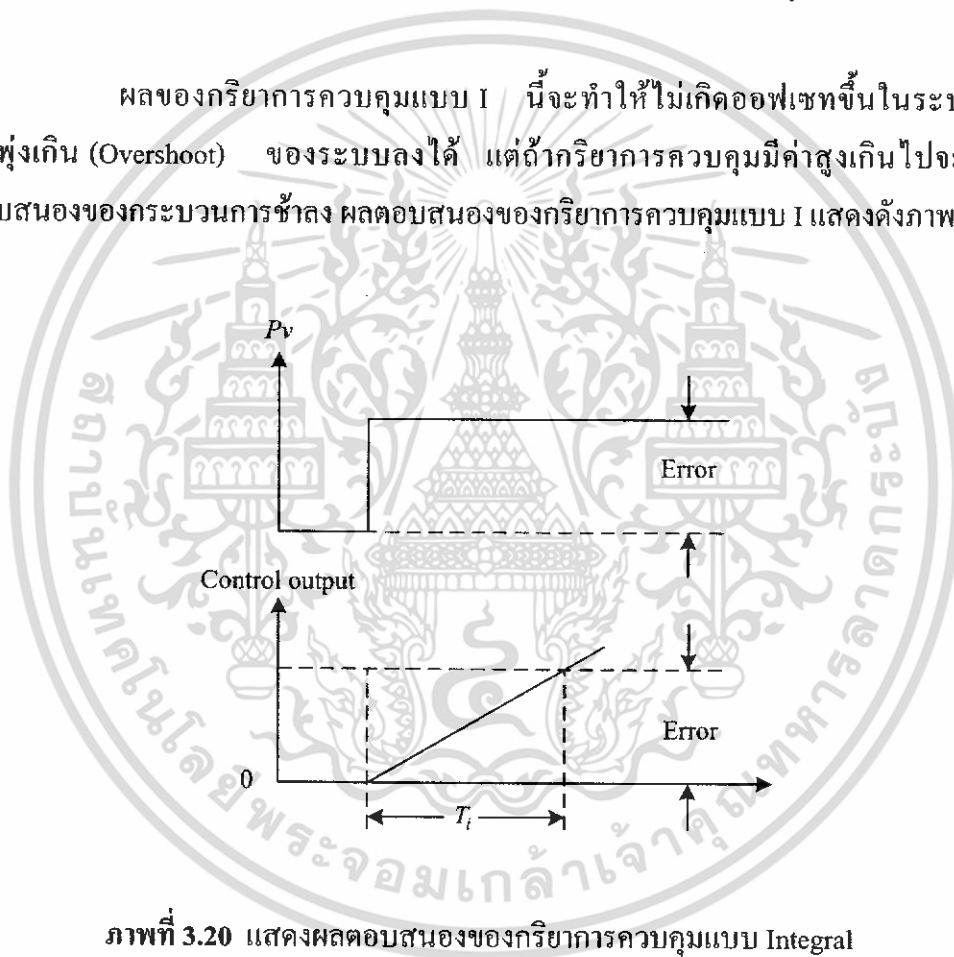
กริยาการควบคุมแบบ I หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบรีเซต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมหาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลาคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \bar{m}_I(0) \quad (3.20)$$

|       |                      |   |
|-------|----------------------|---|
| เมื่อ | $m_I(t) =$           | ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral             |
|       | $K_I =$              | อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral               |
|       | $\int_0^t e(t) dt =$ | พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน             |
|       | $\bar{m}_I(0) =$     | ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลา $t$ เท่ากับศูนย์ |

ผลของกริยาการควบคุมแบบ I นี้จะทำให้ไม่เกิดออฟเซตขึ้นในระบบและลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของระบบลงได้ แต่ถ้ากริยาการควบคุมมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ I แสดงดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral

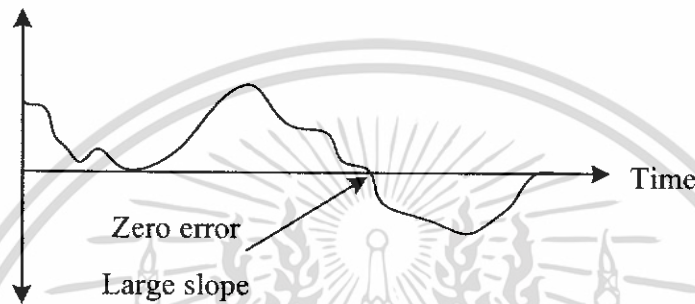
#### 3.4.2.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กริยาการควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.21)$$

เมื่อ  $m_D(t)$  = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative  
 $K_D$  = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative  
 $\frac{de(t)}{dt}$  = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา  $t$



ภาพที่ 3.21 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของของการควบคุมแบบ Derivative

#### 3.4.2.5 การควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

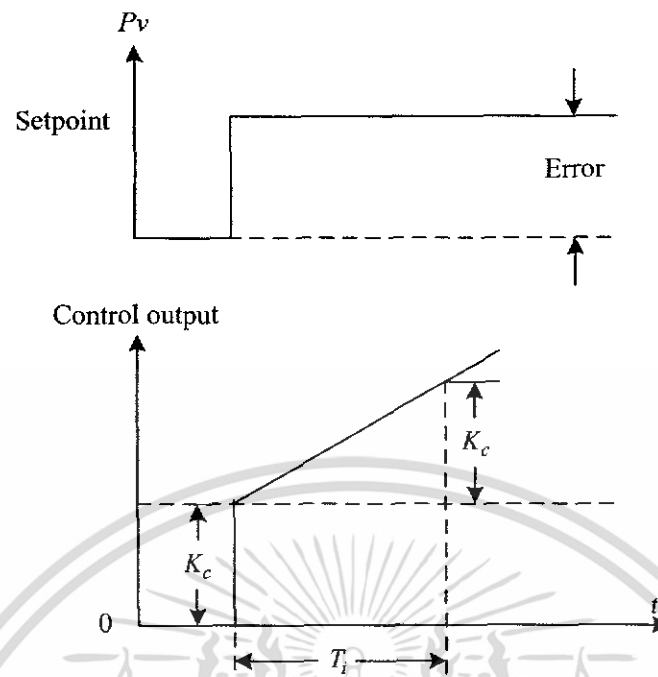
ตามที่กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมแบบ P นั้น จะมีออฟเซตเกิดขึ้น ซึ่งการกำจัดค่าออฟเซตนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังนั้นสมการเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PI นี้ ดังสมการ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt \quad (3.22)$$

หรือ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (3.23)$$

เมื่อ  $K_c = K_p$  และ  $K_I = 1/T_i$   
 $T_i$  = ค่าเวลา Integral



ภาพที่ 3.22 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)

#### 3.4.2.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

การประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ P ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ D เพื่อทำให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองของระบบที่สภาวะคงที่ ซึ่งสมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังสมการต่อไปนี้

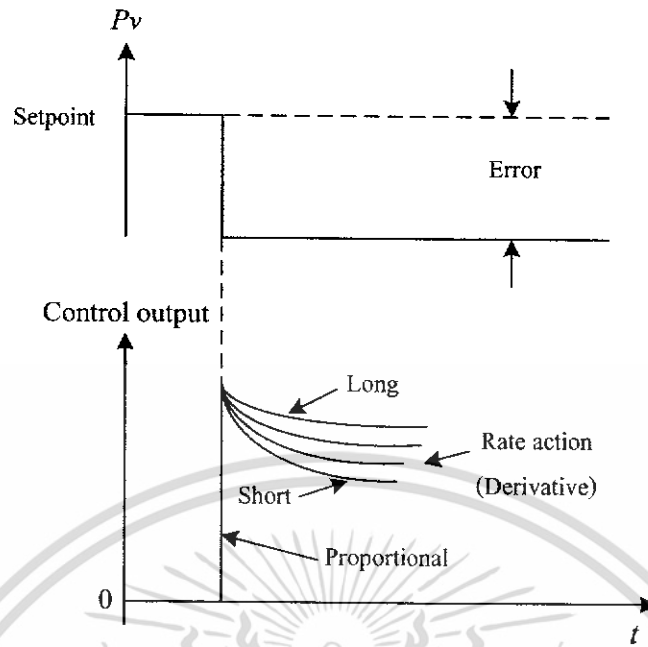
$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_P e(t) + K_P K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.24)$$

หรือ

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.25)$$

เมื่อ  $K_D = T_d$

$T_d =$  ค่าเวลา Derivative



ภาพที่ 3.23 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD

### 3.4.2.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

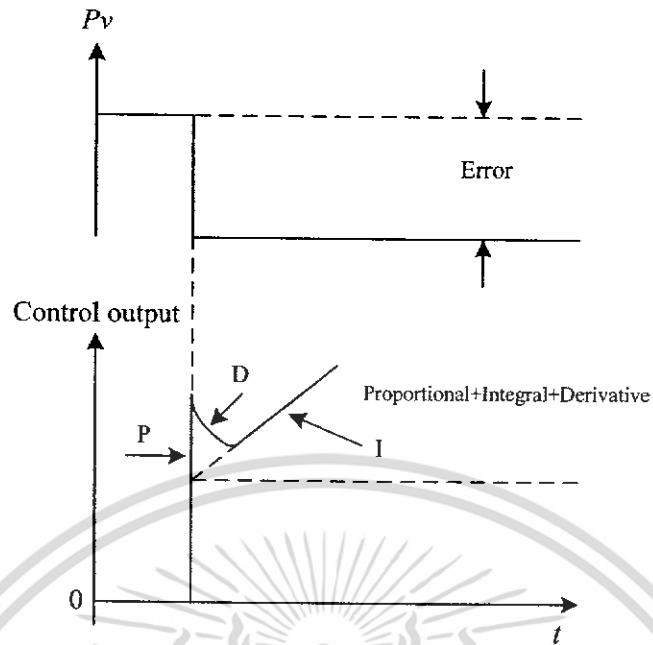
จากที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการจึงใช้กริยาการควบคุมทั้ง 3 แบบร่วมกัน ซึ่งจะทำได้กริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการดังต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.26)$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.24 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PID (Direct action)

### 3.4.3 ชนิดของการควบคุม

จุดประสงค์ของการเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปในกระบวนการนั้นก็เพื่อต้องการควบคุมให้ได้ผลตามที่ต้องการที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติของการควบคุมทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของตัวควบคุมที่มีต่อระบบ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมให้มีความเหมาะสม กับกระบวนการแต่ละแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพตัวควบคุมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในกระบวนการมีดังนี้

#### 3.4.3.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

เป็นแบบของการควบคุมที่ง่ายที่สุดของตัวควบคุม เนื่องจากมีค่าที่ปรับเพียงค่าเดียวคือค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (RC) หรือค่า RB (Proportional band) ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมชนิดนี้ การเพิ่มตัวควบคุม P เข้าไปในระบบจะทำให้ได้ค่าช่วงเวลาได้ขึ้น (Rise time) ของระบบลดแต่พบว่าจะมีค่า Off Set หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว (Steady-State Error-ess) เกิดขึ้นทำให้ผลการตอบสนองต่อสถานะอยู่ตัวไม่เข้าสู่ค่าของ Set Point ตามที่ต้องการแต่ก็สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวนี้ลดได้โดยการเพิ่มค่าอัตราขยาย(KC) (หรือลดค่าPB) ซึ่งก็มีผลกระทบทำให้ค่าพุ่งเกิน(Over Shoot) ของระบบมีค่ามากขึ้นจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมักจะใช้ตัวควบคุมแบบ P ร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional Derivative (PD)

เป็นแบบของการควบคุมกระบวนการที่สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ Proportional ได้อยู่แล้ว โดยการเพิ่มส่วนของตัวควบคุมอนุพันธ์ (D) เข้าไปซึ่งคุณสมบัติของตัวควบคุม PD นี้จะคล้ายกับตัวควบคุมแบบ P คือยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวอยู่ในระบบแต่ถ้าให้ค่าอัตราขยายของ Proportional มีค่าสูงๆแล้ว (หรือค่าRBต่ำๆ) พบว่าตัวควบคุม PD มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวต่ำกว่าตัวควบคุมแบบ (P)

### 3.4.3.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)

สำหรับกระบวนการที่ไม่ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว จะทำให้การควบคุมมีผลเสียหาควรใช้ตัวควบคุมชนิดนี้ เนื่องจากผลของตัวควบคุมอินทิกรัล (I) นั้นจะทำให้ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวนั้นในระบบควบคุม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของตัวควบคุมชนิดนี้แต่อาจจะ ทำให้ระบบควบคุมมีการทำงานช้าลง

### 3.4.3.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID)

นิยมใช้กับกระบวนการที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) มีค่ามากหรือกระบวนการที่มีค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead Time) หรือในกระบวนการที่ผลตอบสนองช้า อย่างเช่นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิสำหรับกระบวนการที่มีผลตอบสนองเร็ว อย่างเช่นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการไหลของของไหล ตัวควบคุมแบบ PID อาจจะไม่เหมาะสมที่จะใช้งานเนื่องจากผลของอนุพันธ์ในตัวควบคุมจะทำให้ระบบควบคุมต่อสิ่งรบกวน แต่จะทำให้ลดค่าพุงเกินของระบบได้ดี

สำหรับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D) หรือตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (I) อย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการใดๆ และเนื่องจากว่าตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ นั้นจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเป็น 100% อีกทั้งยังพุงเกินสูง สำหรับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล จะทำให้ระบบมีอันดับสูงขึ้น และอาจจะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เนื่องจากผลของการอินทิกรัล จะไปลดค่าอัตราการหน่วง (Damping Ratio) ของระบบ

ในกรณีที่ตัวควบคุมที่กล่าวมาไม่สามารถควบคุมระบบตามที่ต้องการได้ นั้นก็สามารถเพิ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวชดเชย (Compensator) เข้าไปในระบบได้เช่นตัวชดเชยแบบ Lead ซึ่งจะทำให้ระบบมีการตอบสนองเร็วขึ้นตัวชดเชยแบบ Lag ซึ่งจะทำให้ระบบมีพฤติกรรมตรงกันข้ามกับตัวชดเชยแบบ Lead ในการเพิ่มตัวควบคุมและตัวชดเชยให้แก่ระบบนั้น จะต้องพิจารณาด้วยว่ามีการเชื่อมต่ออย่างไรเข้ากับระบบที่ถูกควบคุมถ้าต่อตัวควบคุมเป็นแบบอนุกรม (Series) กับระบบที่ถูกควบคุมจะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชยแบบอนุกรม ในบางครั้งเรียกการต่อแบบนี้ว่า Cascade ถ้าต่ออยู่ในลักษณะการป้อนกลับนั้นจะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชย

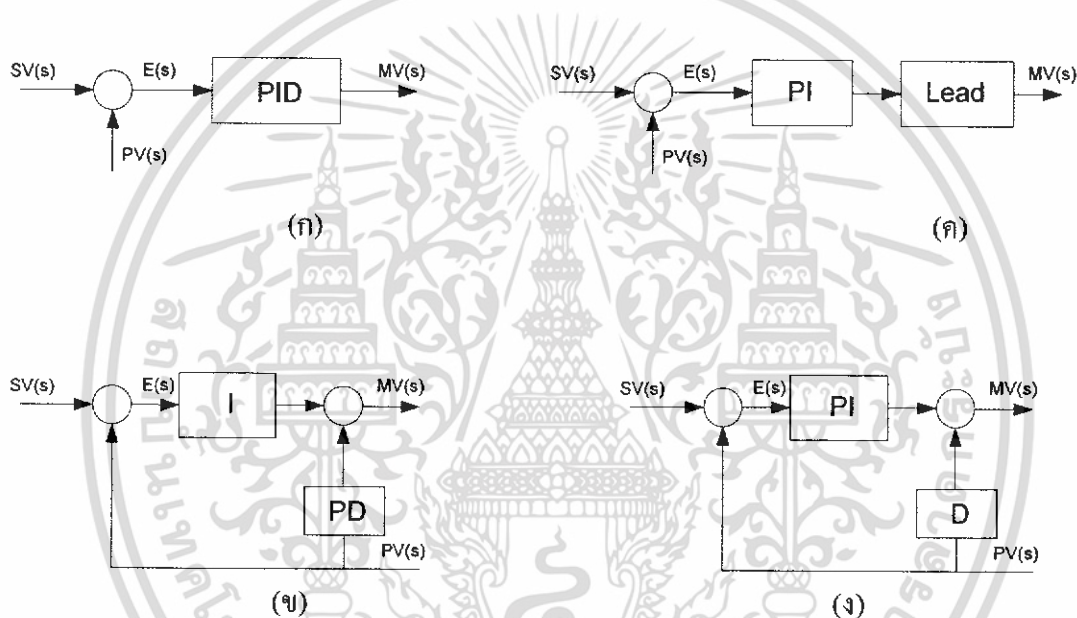
เอกลารินเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งในเอกสารนี้หากมีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งให้เราทราบโดยเร็วที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบขนาน (Parallel) หรือแบบป้อนกลับ (Feed Back) นอกจากนั้นยังอาจต่ออยู่ในลักษณะที่เรียกว่า การควบคุม หรือชดเชยแบบ Forward หรืออาจจะนำแบบต่างๆเหล่านี้มาต่อร่วมกันก็ได้ การเพิ่ม ตัวควบคุมหรือชดเชยเข้าไปในระบบนั้น ต้องพิจารณาพฤติกรรมของระบบระดับสัญญาณ ที่จุดต่าง ๆ รูปแบบในการต่อตลอดจนต้องสามารถหาอุปกรณ์ทางกายภาพ ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน ตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมหรือตัวชดเชยที่ต้องการให้ได้

### 3.4.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) พอที่จะแบ่งรูปแบบของตัวควบคุมตามกฎเกณฑ์ของการ ควบคุมออกเป็นได้ 4 แบบ ตามภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.25 รูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี

โดยที่

$SV(s)$  = จุดปรับตั้ง (Set Point หรือ Set Value)

$PV(s)$  = สัญญาณตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)

$E(s)$  = ผลต่างระหว่างจุดปรับตั้งและสัญญาณป้อนกลับ มีค่าเท่ากับ  $SV(s) - PV(s)$

$MV(s)$  = สัญญาณตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Signal)

รูปแบบตามรูปที่ 3.25 (ก) นั้นเป็นรูปแบบที่ใช้มากในการอธิบายเพื่อความเข้าใจตาม หนังสือต่าง ๆ แต่เป็นรูปแบบที่ไม่ค่อยได้ใช้ในการควบคุมกระบวนการควบคุมการผลิตจริง ๆ ดังนั้น พารามิเตอร์แต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นในการปรับค่าพารามิเตอร์ตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูเอตเห็นไปเซบระเซชันดำเนินการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคตัวหนึ่งจะไม่มีผลของพารามิเตอร์ตัวอื่นไปเกี่ยวข้อง สมการของตัวควบคุมใน S - Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 3.28

$$MV = \left(\frac{100}{PB}\right) * \left(1 + \frac{1}{Tis} + Tds\right) * e(t) \quad (3.28)$$

รูปแบบตามรูปที่ 3.25 (ข) นั้นจะเป็นรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในตัวควบคุมพีไอดี (PID) แบบเชิงอุปมาน (Analog) ทั้งนี้เนื่องจากว่าง่ายในการออกแบบ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้พบเห็นกันมากนัก เนื่องจากการปรับค่า PB, Ti และ Td นั้นจะมีผลกระทบต่อกัน (Mutual Interference) สมการของการควบคุมใน S-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 3.29

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) * \left(1 + \frac{1}{T.is}\right) * (1 + Tds) * e(s) * \frac{1}{\left(1 + \frac{Tds}{N}\right)} \quad (3.29)$$

สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ตามภาพที่ 3.25 (ค) และภาพที่ 3.25 (ง) เป็นรูปแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในเครื่องควบคุม PID ชนิดเชิงเลข (Digital PID Controller) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยที่รูปแบบตามรูปบล็อกที่ 3.25 (ค) นั้นจะเป็นรูปแบบที่ดี เหมาะสำหรับการควบคุมที่กระบวนการมีการรบกวนจากภายนอก (Load หรือ Supply Disturbance) แต่กระบวนการนั้นจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีเมื่อได้มีการเปลี่ยนแปลงจากค่า Set Point เนื่องจากค่า Proportional Band มีผลกับสัญญาณตัวแปรกระบวนการ ส่วนรูปแบบที่ 3.25 (ง) นั้นเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมที่มีการเปลี่ยนค่าของ Set Point แต่กระบวนการจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีถ้ามีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ทั้งนี้เนื่องจากค่า Proportional Band นั้นมีผลกับค่าผลต่างระหว่างค่า Set Point กับตัวแปรกระบวนการ สำหรับรูปแบบทั้งสองที่กล่าวมานี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า Derivative Term นั้นจะมีผลเฉพาะค่าตัวแปรกระบวนการทั้งนี้ข้อดีคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Set Point อย่างทันทีทันใดจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของกระบวนการ สมการคณิตศาสตร์ใน S-Domain ของรูปแบบที่ 3.25 (ค) แสดงได้ตามสมการที่ 3.30 และ สมการคณิตศาสตร์ใน S-Domain ของรูปแบบที่ 3.25 (ง) แสดงได้ตามสมการที่ 3.31

$$MV(s) = \frac{100}{PB} \left[ PV(s) + \frac{E(s)}{Tid} + Tds * \frac{PV(s)}{1 + \frac{Tds}{n}} \right] \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MV(s) = \frac{100}{PB} \left[ EV(s) + \frac{E(s)}{Tid} + Tds * \frac{PV(s)}{1 + \frac{Tds}{n}} \right] \quad (3.31)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การออกแบบและการสร้างตัวควบคุมวาล์วควบคุม แบบโปรแกรมได้

### 4.1 กล่าวนำ

วาล์วควบคุม (Control Valve) ที่ใช้ในกระบวนการควบคุมแบบอัตโนมัติจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งการเปิด-ปิดของวาล์ว หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุม (Positioner) เพื่อที่ตัวควบคุม (Controller) จะสามารถควบคุมวาล์วให้เปิด-ปิดในตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติ Positioner ส่วนใหญ่จะใช้หลักการทาง Mechanical ในการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งในการออกแบบตัวควบคุมวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ นี้จะใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เพื่อสร้างตัวควบคุมการเปิด-ปิด วาล์วควบคุมโดยการป้อนค่าด้วย Key-Pad เป็นเปอร์เซ็นต์ 0- 100% ของการเปิด-ปิดวาล์ว และใช้การเคลื่อนที่ของ Stem Valve นำมาแสดงผลเป็นค่า 0- 100% ทาง LCD Module

### 4.2 ขอบเขตการทำงาน

ออกแบบและสร้างตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ ซึ่งสามารถใช้ Key-Pad ป้อนค่า 0-100% เพื่อนำไปควบคุมวาล์วควบคุมให้เปิด-ปิด ตามค่าที่ป้อนจาก Key-Pad แล้วนำการเคลื่อนที่ของ Stem Valve แสดงผลเป็นตัวเลข 0-100% ทาง LCD Module โดยใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาประกอบกันเพื่อสร้างตัวควบคุม

### 4.3 ขั้นตอนการทำงาน

#### 4.3.1 วางแผนการทำงาน

#### 4.3.2 ออกแบบวงจร

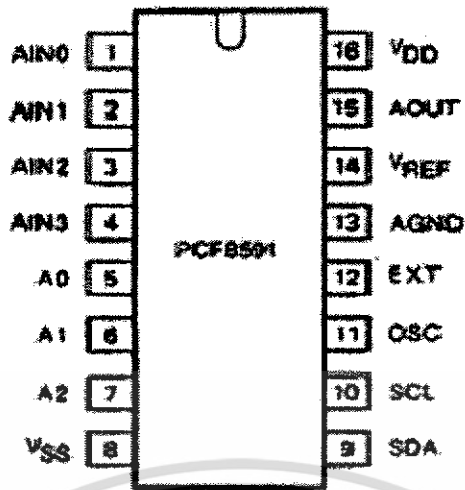
##### 4.3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC)

ในส่วนของวงจร DAC นี้จะใช้ IC เบอร์ PCF8591 เป็นไอซีสำเร็จรูปแปลงค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปแรงดัน 1-5 V

หลักการออกแบบและการคำนวณ

IC เบอร์ PCF8591 เป็นเบอร์ที่มีทั้ง ADC 4 ช่อง และ DAC 1 ช่อง ขนาด 8 บิต ในตัวเดียวกันโดยใช้การติดต่อแบบ I<sup>2</sup>C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดง IC เบอร์ PCF8591

คุณสมบัติทั่วไปของ PCF8591

1. ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเดี่ยวตั้งแต่ 2.5-6 V.
2. กินกระแสเพียง 15  $\mu$ A ขณะ Standby
3. อินพุต / เอาท์พุต อินเตอร์เฟสแบบอนุกรม I<sup>2</sup>C บัส
4. สามารถกำหนด Address ของอุปกรณ์ได้ 8 ตำแหน่ง
5. มีอินพุต Analog to Digital จำนวน 4 ตัว
6. ข่านแรงดันอินพุตอนาลอกอินพุตจาก Vss - Vdd
7. มีเอาท์พุต Digital to Analog 1 ช่อง

หน้าที่ของขาต่างๆ ของ PCF8591

AIN0-3 เป็นขาที่ทำหน้าที่ เป็นอินพุตรับสัญญาณ Analog

A0-A2 เป็นขา Address ของ PCF8591

SDA เป็นอินพุต / เอาท์พุต แบบ I<sup>2</sup>C

SCL เป็นขาที่รับสัญญาณ Clock แบบ I<sup>2</sup>C

OSC เป็นขาที่เป็นเอาท์พุตและอินพุตของ สัญญาณนาฬิกา

EXT สวิตช์เลือกให้ OCS ให้เป็นอินพุต / เอาท์พุต

AGND เป็น Ground ของสัญญาณ Analog

Vref เป็นแรงดันอ้างอิงของสัญญาณ Analog

AOUT เป็นเอาท์พุตของสัญญาณ Digital to Analog

VDD-VSS เป็นไฟเลี้ยง

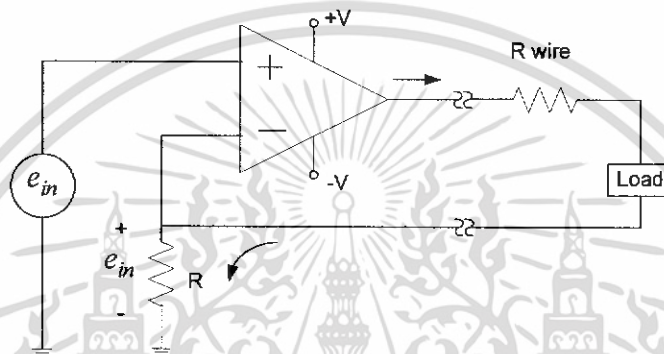
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

#### (Voltage to Current Converter Circuit)

ในส่วนของวงจร V-I Converter จะใช้เป็นวงจรแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 V แปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA เพื่อส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current to Pneumatic Converter, I/P Converter) เป็นสัญญาณลม 0.2-1.0 Kg/Cm<sup>2</sup> เพื่อนำสัญญาณลมไปควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve)

หลักการออกแบบและการคำนวณ



ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.2 เป็นการประยุกต์ใช้งานวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) ซึ่งจากหลักการของวงจรนี้ แรงดัน  $V_A = V_R = e_{in}$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R} = \frac{e_{in}}{R} \quad (4.1)$$

จากเงื่อนไขต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1 - 5$  Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20$  mAdc สามารถทำได้ดังนี้  
ที่  $e_{in} = 1$  V กระแสเอาต์พุตเป็น  $i_o = 4$  mA จะได้

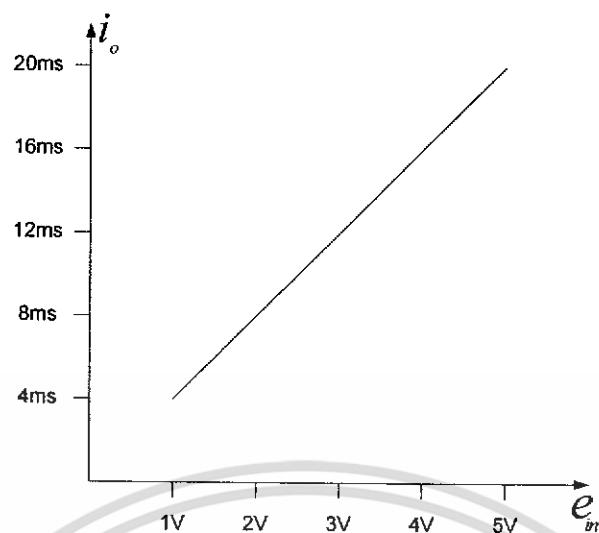
$$4 \times 10^{-3} A = \frac{1V}{R}$$

$$\therefore R = 250\Omega$$

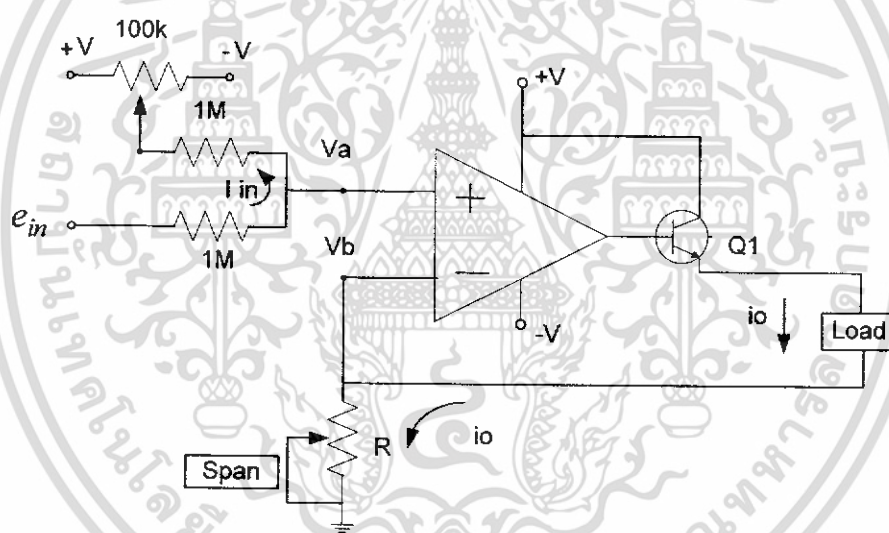
และที่  $e_{in} = 5V$  จะได้กระแสเอาต์พุตเป็น

$$i_o = \frac{5V}{250\Omega} = 20mA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุตและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต



ภาพที่ 4.4 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้

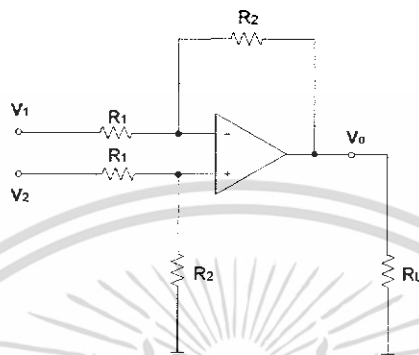
จากภาพที่ 4.4 จะให้ IC ออปแอมป์เบอร์ LM358 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันอินพุต และใช้ ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3053 มาช่วยในการจ่ายกระแสเอาต์พุต ส่วนตัวต้านทานที่ใช้ปรับค่า Span Adj. จะใช้ค่า 1K ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2.3 วงจรเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน

ในส่วนของวงจรเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน จะใช้ IC ออปแอมป์เบอร์ LM358  
สร้างเป็นวงจรแปลงค่าแรงดัน ไฟฟ้า 0-5 V แปลงเป็นแรงดัน ไฟฟ้า 0-2.5 V

หลักการออกแบบและการคำนวณ



ภาพที่ 4.5 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง

จากภาพที่ 4.5 สามารถหาแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ได้ดังนี้

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1) \quad (4.2)$$

ซึ่งวงจรต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 0-5 V. เป็นแรงดันไฟฟ้า 0-2.5 V

จาก  $Y = mx + c$  (4.3)

$$m = \frac{2.5 - 0}{5 - 0}$$

จะได้สมการ

$$Y = \frac{2.5}{5} x$$

ซึ่งสมการที่ได้เมื่อเทียบกับสมการของวงจรขยายความแตกต่างจะได้ว่า

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

$$Y = \frac{2.5}{5} (x - 0) \quad (4.4)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ จะได้ว่า

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2.5}{5}$$

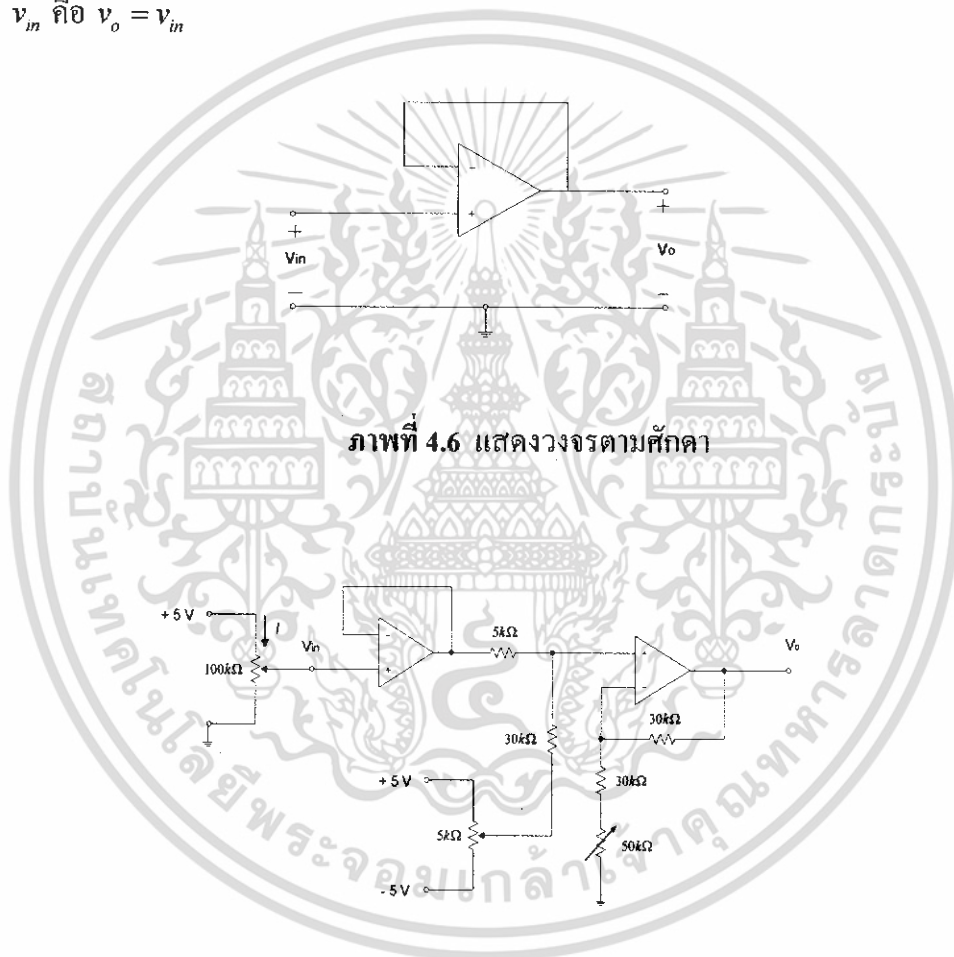
$$R_1 = 50k\Omega$$

$$R_2 = 25k\Omega$$

$$R_1 = R_3 = 50k\Omega$$

$$R_2 = R_4 = 25k\Omega$$

ทางด้านอินพุทของวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มวงจรตามศักรคาเข้าไป เพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณทางอินพุท และ เพื่อแยกสัญญาณทางอินพุท และเอาต์พุท ออกจากกัน ซึ่งวงจร Buffer นี้จะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุท  $v_o$  และแรงดันอินพุท  $v_{in}$  คือ  $v_o = v_{in}$



ภาพที่ 4.7 แสดงวงจรออปแอมป์ที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงแรงดัน

#### 4.3.2.4 วงจร Power Supply

วงจร Regulator จะทำหน้าที่เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟหลักให้กับวงจรในตัวควบคุม ซึ่งจะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V. เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -5 V , +5 V , -9 V , +9 V และ Ground ( 0 V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการออกแบบและการคำนวณ

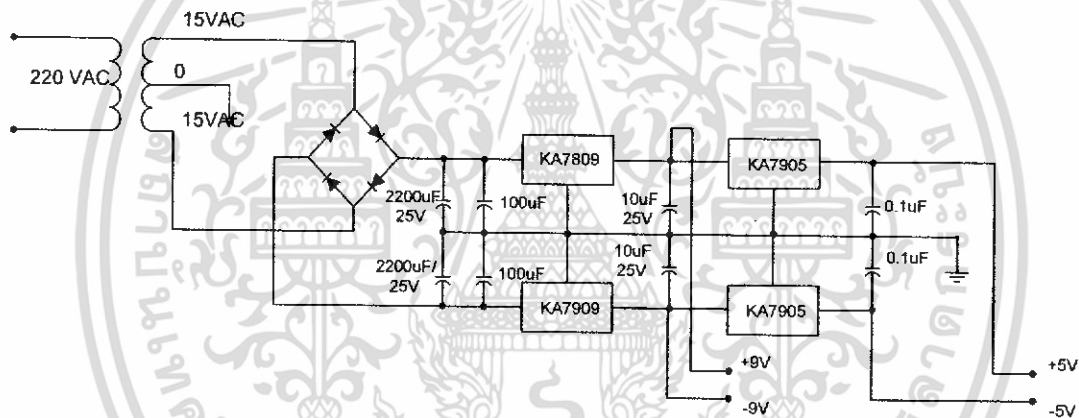
ออกแบบวงจรโดยใช้หม้อแปลงแบบมี TAP เพื่อให้สามารถแปลงแรงดันออกมาทั้งซีกบวกและซีกลบ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากหม้อแปลงนี้จะผ่าน IC Bridge เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจึงใช้ IC Regulate แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระดับต่าง ๆ ตามเบอร์ของ IC สำหรับตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปในวงจรจะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยกรองสัญญาณให้เรียบขึ้น

Code IC Regulator

XX78XX จะเป็น IC Regulate สัญญาณไฟทางซีกบวก

XX79XX จะเป็น IC Regulate สัญญาณไฟทางซีกลบ

- เช่น
- KA7809 เป็น IC Regulate ทางซีกบวก เอาต์พุตออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 9 V
  - KA7905 เป็น IC Regulate ทางซีกลบ เอาต์พุตออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน -5 V

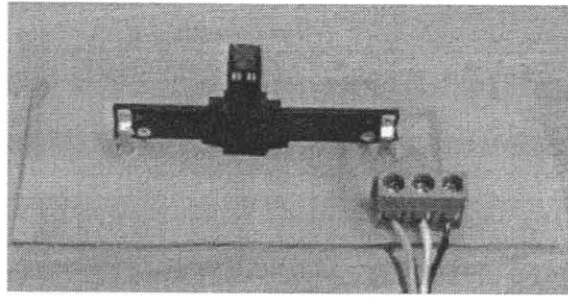


ภาพที่ 4.8 แสดงวงจร Regulate

#### 4.3.3 ออกแบบ $R_{stroke}$ ที่ใช้ในการตรวจับการเคลื่อนที่ของ Stem Valve

ตัวต้านทานที่นำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจับการเคลื่อนที่ของ Stem Valve จำเป็นจะต้องใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง และค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงจะต้องเป็นเชิงเส้น คือ ค่าความต้านทานจะต้องเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับระยะการเคลื่อนที่ของ Stem Valve สำหรับการเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่จะนำมาใช้ติดกับ Stem Valve ควรจะเลือกตัวต้านทานที่มีระยะการเคลื่อนที่ให้กว้างกว่า Stroke Valve เพื่อที่จะสามารถติดตั้งและทำการปรับให้ใช้งานกับวาล์วควบคุมได้ ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่นำมาใช้ในโครงการนี้จะใช้ค่า 100 K $\Omega$  มีระยะการเคลื่อนที่ 3 cm. ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับวาล์วควบคุมที่ทดลองในโครงการนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดงตัวด้านทานปรับค่าได้ ซึ่งใช้เป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Stem Valve

#### 4.3.4 เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างโปรเจก

ตารางที่ 4.1 แสดงรายการอุปกรณ์

| No. | รายการอุปกรณ์             | จำนวน | No. | รายการอุปกรณ์   | จำนวน |
|-----|---------------------------|-------|-----|-----------------|-------|
| 1   | หม้อแปลงแทบ 220/15 V      | 1     | 20  | LM358           | 2     |
| 2   | IC Diode เบอร์ 2W06       | 1     | 21  | PCF8591P        | 1     |
| 3   | C 2200uF 25 V Electrolyte | 2     | 22  | Socket 16 Pin   | 1     |
| 4   | C 100uF 25 V Electrolyte  | 2     | 23  | Socket 8 Pin    | 2     |
| 5   | C 10uF 25 V Electrolyte   | 2     | 24  | Key-Pad 4x4     | 1     |
| 6   | C 1uF 25 V Electrolyte    | 2     | 25  | LCD Module      | 1     |
| 7   | IC Regulate KA7809        | 1     | 26  | R 50k 1/4 5%    | 1     |
| 8   | IC Regulate KA7909        | 1     | 27  | R 47k 1/4 5%    | 1     |
| 9   | IC Regulate KA7805        | 1     | 28  | R 30k 1/4 5%    | 3     |
| 10  | IC Regulate KA7905        | 1     | 29  | R 1M 1/4 5%     | 3     |
| 11  | Heat Sing                 | 4     | 30  | VR เกือกม้า 10K | 1     |
| 12  | Fuse 220V 0.5A            | 1     | 31  | VR เกือกม้า 500 | 1     |
| 13  | Con 2 Pin                 | 9     | 32  | VR 50K          | 1     |
| 14  | Con 3 Pin                 | 2     | 33  | VR 10K          | 1     |
| 15  | Pow Con 2 Pin             | 1     | 34  | VR 5K           | 1     |
| 16  | Header 8x2 ตัวผู้ ขาดตรง  | 1     | 35  | VR 1K           | 1     |
| 17  | Header 8x2 ตัวเมีย        | 1     | 36  | 2N3053          | 1     |
| 18  | Header 8x1 ตัวผู้ ขาดตรง  | 1     | 37  | PCB             | 1     |
| 19  | Header 8x1 ตัวเมีย        | 1     | 38  | สายแพ 0.5เมตร   | 1     |

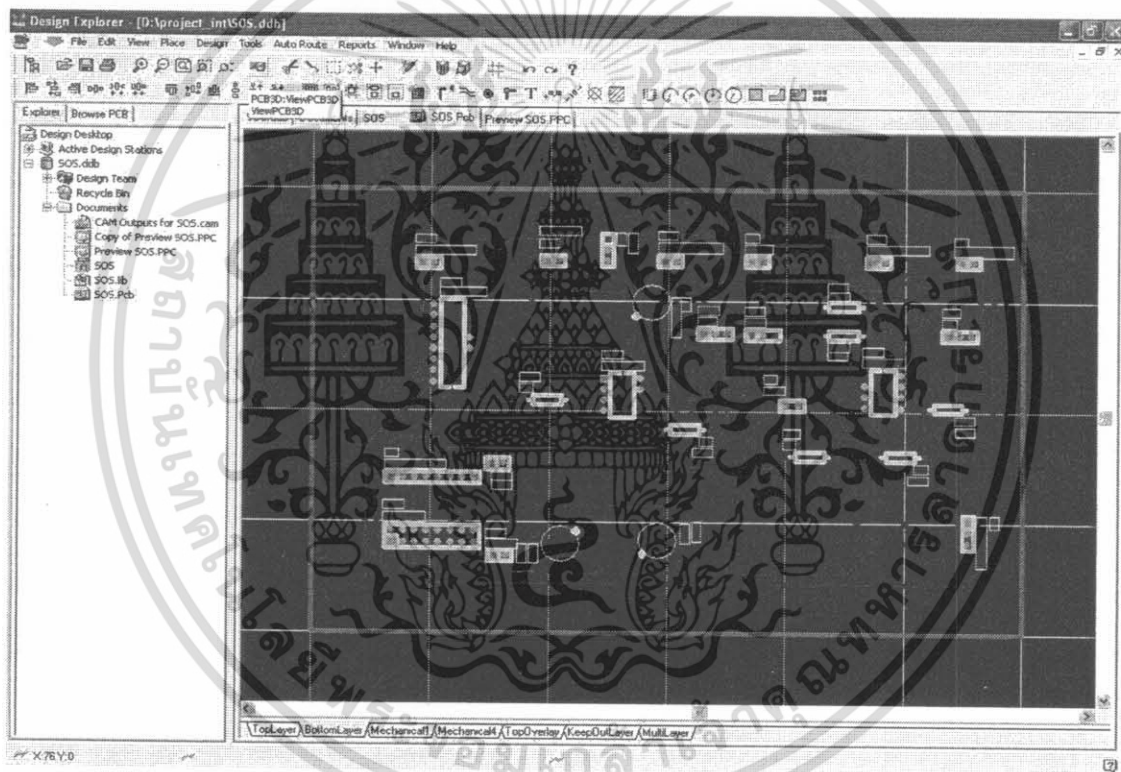
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| No. | รายการอุปกรณ์         | จำนวน |
|-----|-----------------------|-------|
| 39  | VR 100K               | 1     |
| 40  | แผ่นพลาสติกหนา 0.5 cm | 1     |

#### 4.3.5 การทดลองวงจร

ทำการต่อวงจรและทดลองวงจร ให้ใช้งานได้ตามเงื่อนไขการใช้งานโดยทดลองต่อวงจรบนแผงโพรโตบอร์ด

#### 4.3.6 ออกแบบลายวงจร โดยใช้โปรแกรม PROTEL 99 SE

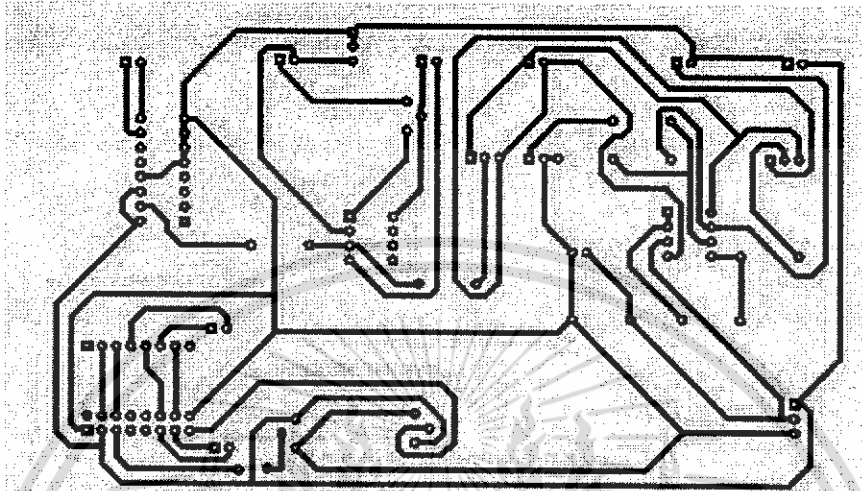


ภาพที่ 4.10 แสดงโปรแกรม PROTEL 99 SE ที่ใช้ในการออกแบบลายวงจร

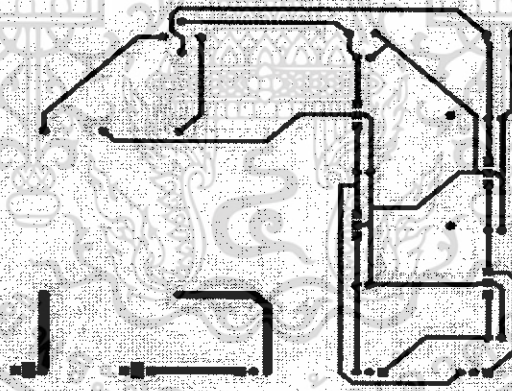
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.7 การกัดลายวงจร

นำแผ่นปริ๊นมากัดลายวงจรให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ และตรวจสอบความถูกต้องของลายวงจร



(ก) ลายวงจร Signal Condition บนแผ่นปริ๊น

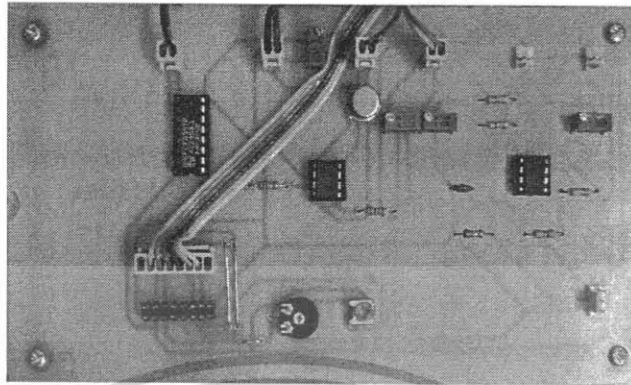


(ข) ลายวงจร Supply บนแผ่นปริ๊น

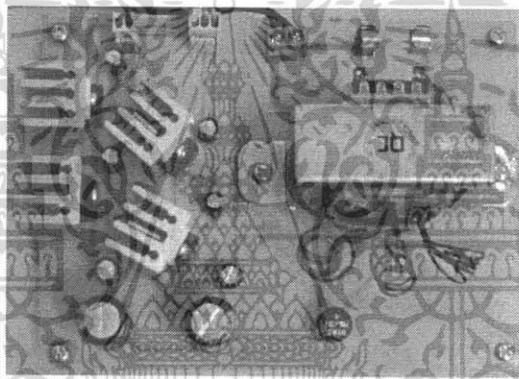
ภาพที่ 4.11 แสดงลายวงจรบนแผ่นปริ๊น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.8 ประกอบอุปกรณ์ลงแผงวงจร

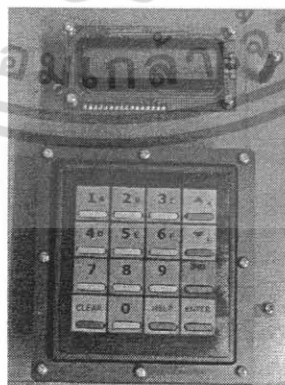


(ก) วงจร Signal Condition



(ข) วงจร Power Supply

ภาพที่ 4.12 แสดงการประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้น

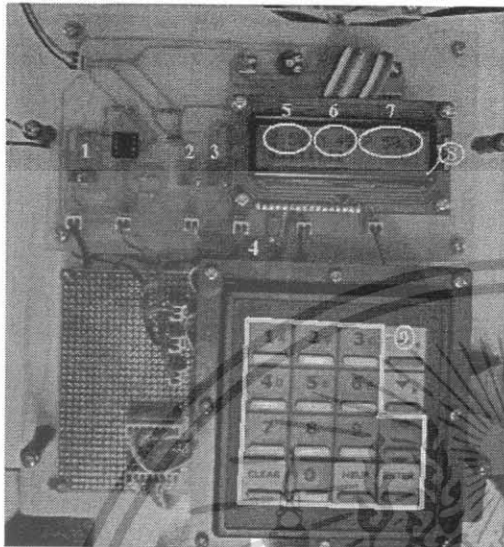


ภาพที่ 4.13 แสดงการติดตั้ง Key-Pad และ LCD Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

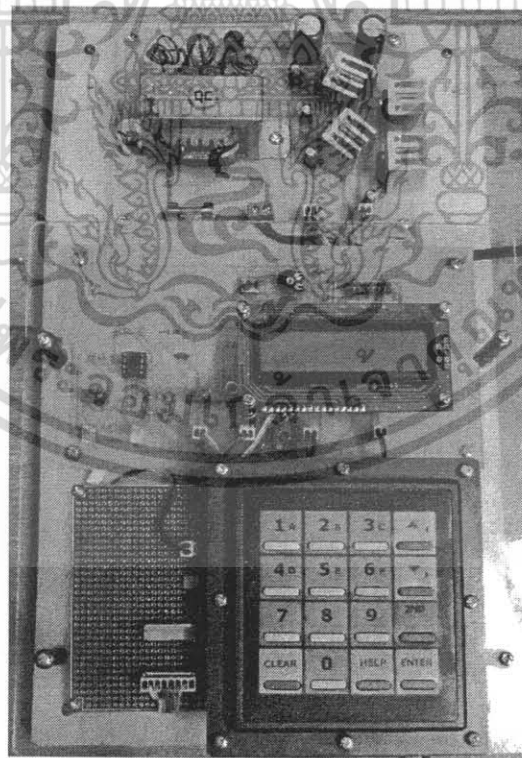
#### 4.3.9 ตรวจสอบ

ตรวจสอบและทำการทดลองแบบจำลองตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วแบบโปรแกรมได้ เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรที่สร้างสามารถใช้งานได้ถูกต้อง



1. Span Adj. (0V-5V)
2. Zero Adj. (0V-5V)
3. Zero Adj. (4mA-20mA)
4. Span Adj. (4mA-20mA)
5. Set Point
6. Manipulated Signal
7. Process Variable
8. Bar Graph
9. Keypad

ภาพที่ 4.14 แสดงตำแหน่งตัวตั้งค่าของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วแบบโปรแกรมได้



ภาพที่ 4.15 แสดงแบบจำลองตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วแบบโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

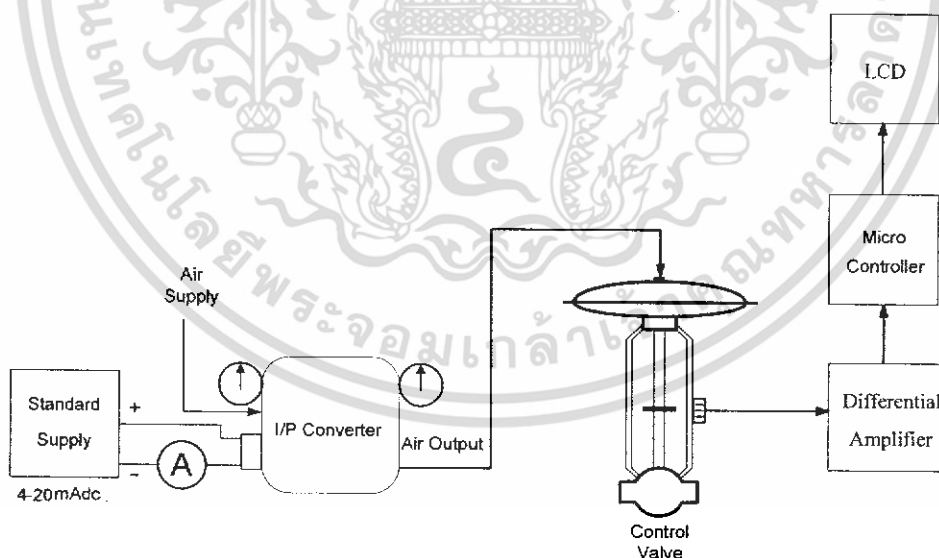
#### 5.1 จุดประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อทดสอบว่าเมื่อทำการป้อนค่าจากคีย์แพด 0-100% วาล์วสามารถเคลื่อนที่เปิด-ปิดตามค่าที่ป้อนได้จริง
2. เพื่อทดสอบว่าการแสดงผลของจอ LCD แสดงผลได้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เปิด-ปิดของวาล์วควบคุม
3. เพื่อทดสอบการใช้ตัวควบคุมวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ ควบคุมวาล์วแบบปิด (Closed Loop) ให้ทำงานตามค่าที่ป้อนได้จริง

#### 5.2 ขั้นตอนการทดลอง

##### 5.2.1 ทดสอบส่วนการแสดงผล

ในส่วนการทดลองนี้เป็นการทดสอบส่วนแสดงผลของ LCD โดยจะใช้ Standard Supply จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 4-20 mA.



ภาพที่ 5.1 แสดงการการต่ออุปกรณ์การทดลองของ LCD

1. ทำการต่อวงจรและอุปกรณ์ตามภาพที่ 5.1

2. จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจาก Standard Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการ Set Zero, Set Span เพื่อปรับแต่งให้ตัว Sensor สามารถใช้งานในช่วง Stroke Valve ได้ ซึ่งจากการวัดระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke Valve มีค่าเท่ากับ 1.9 เซนติเมตร

4. ทำการสร้างสเกลจาก 0-1.9 cm ให้เป็น 0-100% เพื่อใช้ในการดูค่าการเคลื่อนที่ของ Stroke Valve

5. พยายามปรับกระแสไฟฟ้า 4-20 mA. โดยสังเกตค่าของความดันที่เกจวัดแรงดันของตัว I-P Converter ให้ได้ค่าความดันตามตารางผลการทดลองที่ 5.1

6. ทำการทดลองตามตารางผลการทดลองที่ 5.1 แล้วบันทึกค่า กระแสไฟฟ้า และค่า % Stroke Valve

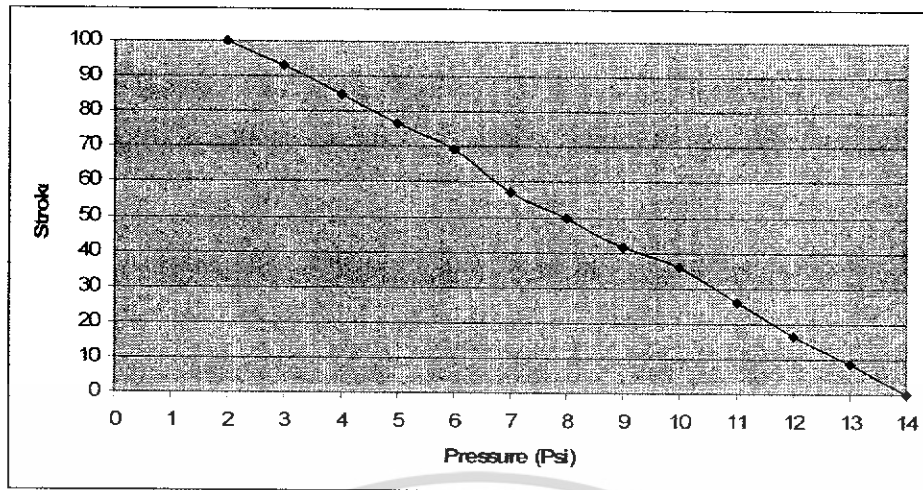
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองส่วนแสดงผล

| ผลของการทดสอบวาล์ว |            |            |
|--------------------|------------|------------|
| P (psi)            | กระแส (mA) | Stroke (%) |
| 2                  | 4.02       | 100        |
| 3                  | 5.51       | 93.2       |
| 4                  | 6.74       | 84.9       |
| 5                  | 8.01       | 76.5       |
| 6                  | 9.18       | 69.3       |
| 7                  | 10.46      | 57.3       |
| 8                  | 11.92      | 49.8       |
| 9                  | 13.23      | 41.7       |
| 10                 | 14.57      | 36.1       |
| 11                 | 16.11      | 25.9       |
| 12                 | 17.24      | 16.5       |
| 13                 | 18.53      | 8.7        |
| 14                 | 20.03      | 0          |

\* หมายเหตุ วาล์วควบคุมแบบ Action-to-Close โดยทำงานที่แรงดันอินพุต 2-14 Psi ซึ่งจะทำให้วาล์วเคลื่อนที่เปิด-ปิด ได้เต็มที่ของระยะการเคลื่อนที่ของ Stroke Valve

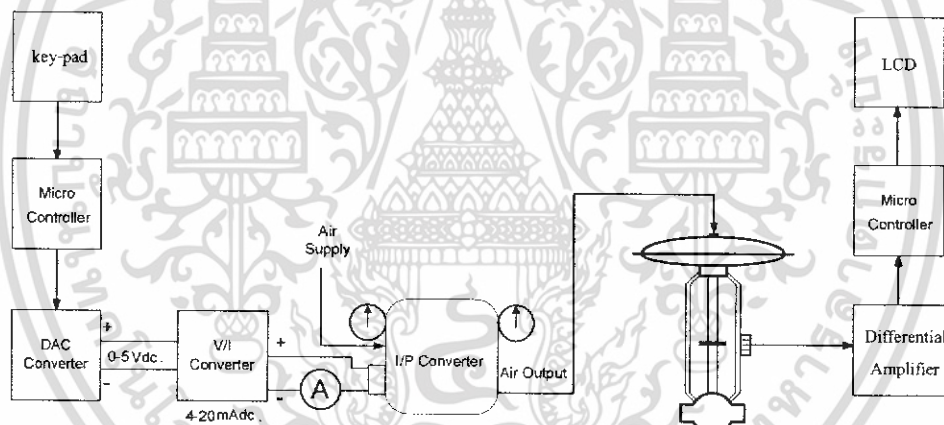
7. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ % Stroke Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ % Stroke Valve

### 5.2.2 ทดสอบการทำงานแบบ Open Loop



ภาพที่ 5.3 แสดงการการต่ออุปกรณ์การทดลอง

1. ทำการต่อวงจรและอุปกรณ์ตามภาพที่ 5.2
2. ทำการป้อนค่าจากคีย์แพดสั่งให้วาล์วทำการเปิด-ปิด
3. ทำการป้อนค่าการทดลองตามตารางการทดลองที่ 5.2 ทั้งขาเปิดวาล์ว (100-0%) และขาปิดวาล์ว (0-100%) เพื่อดูผลของ Hysteresis จากวาล์วควบคุม
4. บันทึกค่ากระแสเอาต์พุต สัญญาณลมจาก I/P และจอแสดงผล

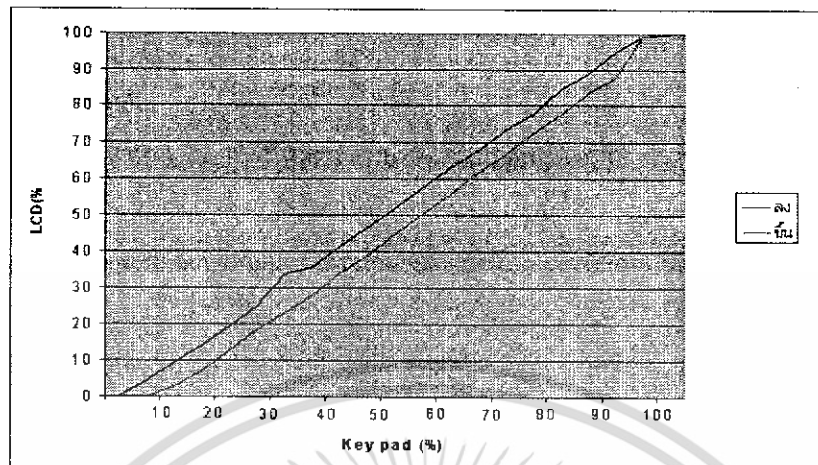
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองการควบคุมวาล์วแบบ Open Loop

| Key<br>Pad | ครั้งที่1 |      | ครั้งที่2 |      | ครั้งที่3 |      | AVERAGE |      |
|------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|---------|------|
|            | ลง        | ขึ้น | ลง        | ขึ้น | ลง        | ขึ้น | ลง      | ขึ้น |
| 0          | 0         | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    | 0       | 0    |
| 5          | 4.3       | 0    | 4.2       | 0    | 4.5       | 0    | 4.3     | 0    |
| 10         | 9.1       | 1.9  | 9.1       | 2.1  | 10.3      | 3.7  | 9.5     | 2.7  |
| 15         | 14        | 6.8  | 14.2      | 7    | 14.1      | 7.2  | 14.1    | 7    |
| 20         | 18.9      | 11.9 | 18.9      | 12.3 | 20.1      | 13.5 | 19.3    | 12.7 |
| 25         | 24        | 17   | 25        | 18   | 24.8      | 19   | 24.6    | 18   |
| 30         | 30.1      | 22.7 | 29.7      | 23   | 31.5      | 24   | 33.7    | 23.2 |
| 35         | 35.6      | 27.9 | 36        | 28   | 35.2      | 28.2 | 35.6    | 28   |
| 40         | 41.1      | 33.4 | 40.7      | 33.8 | 42        | 34.6 | 41.2    | 33.9 |
| 45         | 46.3      | 38.7 | 46.5      | 38.6 | 45.5      | 38.7 | 46.1    | 38.6 |
| 50         | 51.4      | 44   | 51.2      | 44.4 | 52.4      | 45.2 | 51.6    | 44.5 |
| 55         | 57.1      | 49.9 | 58        | 51.2 | 57.5      | 50   | 57.5    | 50.3 |
| 60         | 62.8      | 55.1 | 62.6      | 55.5 | 63.6      | 56   | 63      | 55.5 |
| 65         | 67.9      | 61.4 | 66.8      | 61.6 | 67.5      | 62.1 | 67.4    | 61.7 |
| 70         | 73.1      | 66.7 | 73.1      | 66.5 | 74.3      | 66.7 | 73.5    | 66.6 |
| 75         | 78.4      | 72   | 78        | 73   | 77.9      | 72.6 | 78.1    | 72.5 |
| 80         | 84.5      | 77.8 | 84.3      | 77.6 | 85.1      | 77.6 | 84.6    | 77.6 |
| 85         | 89        | 83.1 | 87.7      | 84.3 | 90        | 83.8 | 88.9    | 83.7 |
| 90         | 95.1      | 88.2 | 94.7      | 88.2 | 95.6      | 88   | 95.1    | 88.1 |
| 95         | 99.2      | 99.2 | 99.4      | 99   | 99.2      | 99.2 | 99.2    | 99.1 |
| 100        | 100       | 100  | 100       | 99.4 | 100       | 99   | 100     | 99.4 |

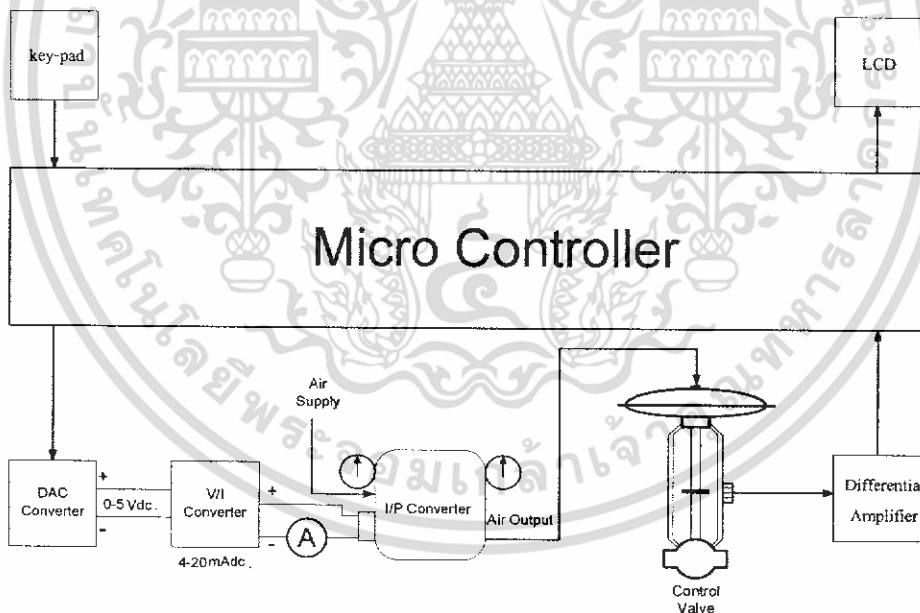
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์



ภาพที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ เอาท์พุท (ค่าที่ LCD)

### 5.2.3 ทดสอบการทำงานแบบ Feedback Control หรือ Close Loop



ภาพที่ 5.5 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบ

1. ทำการต่อวงจรและอุปกรณ์ตามภาพที่ 5.3
2. ทำการป้อนค่าจากคีย์แพดสั่งให้วาล์วทำการเปิด-ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการป้อนค่าการทดลองตามตารางการทดลองที่ 5.3 ทั้งขาเปิดวาล์ว (100-0%) และขาเปิดวาล์ว (0-100%) เพื่อดูผลการทำงานของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วว่าสามารถช่วยลด Hysteresis ได้หรือไม่

4. บันทึกค่ากระแสเอาต์พุต สัญญาณลมจาก I/P และ จอแสดงผล

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองควบคุมการเปิดวาล์ว (Close Loop)

| ผลการทดลองควบคุมการเปิดวาล์ว (Close Loop) |              |         |         |
|---|--------------|---------|---------|
| Keypad (%)                                | Ioutput (mA) | P (psi) | LCD (%) |
| 0   | 20.01        | 14      | 0       |
| 5   | 18.21        | 13      | 5       |
| 10  | 17.38        | 12.4    | 9.9     |
| 15  | 16.68        | 11.9    | 15      |
| 20  | 16.09        | 11.2    | 19.9    |
| 25  | 15.26        | 10.9    | 25      |
| 30  | 14.71        | 10      | 30.1    |
| 35  | 13.7         | 9.6     | 35      |
| 40  | 12.87        | 9       | 40.1    |
| 45  | 12.16        | 8.4     | 45      |
| 50  | 11.53        | 8       | 50      |
| 55  | 10.77        | 7.4     | 54.9    |
| 60  | 10.19        | 7       | 60      |
| 65  | 9.36         | 6.1     | 64.9    |
| 70  | 8.6          | 5.5     | 70      |
| 75  | 7.84         | 5       | 74.9    |
| 80  | 7.14         | 4.5     | 80      |
| 85  | 6.31         | 4       | 85.1    |
| 90  | 5.72         | 3.6     | 90      |
| 95  | 5.04         | 3       | 95.1    |
| 100                                       | 4.02         | 2       | 100     |

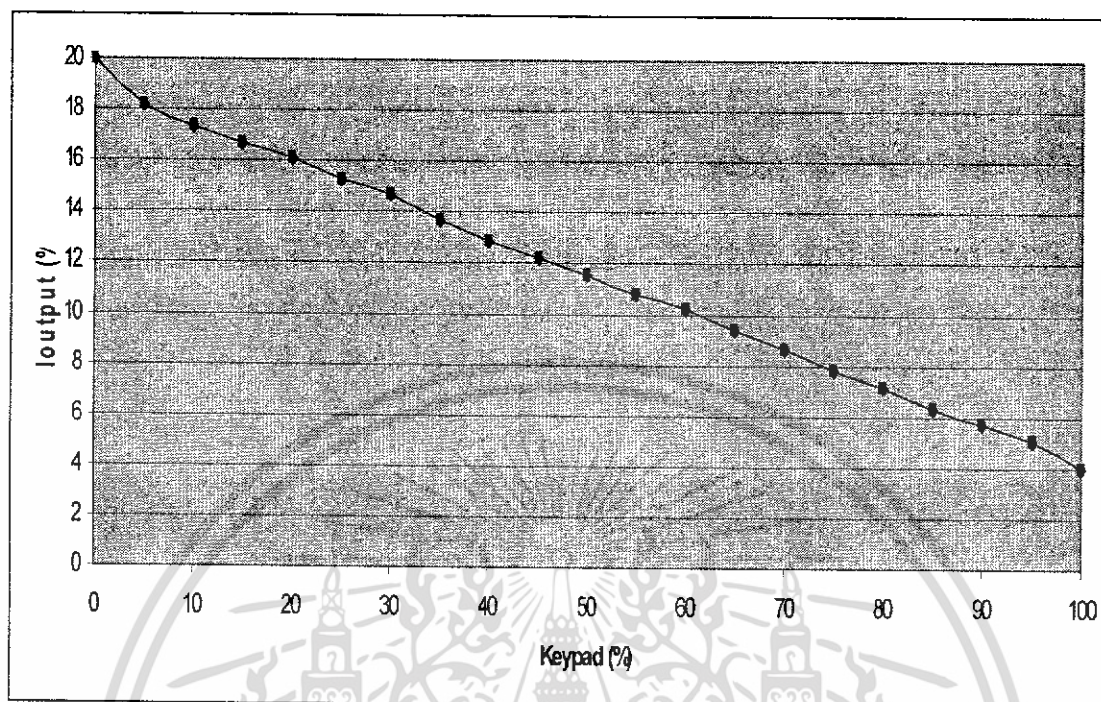
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองควบคุมการปิดวาล์ว (Close Loop)

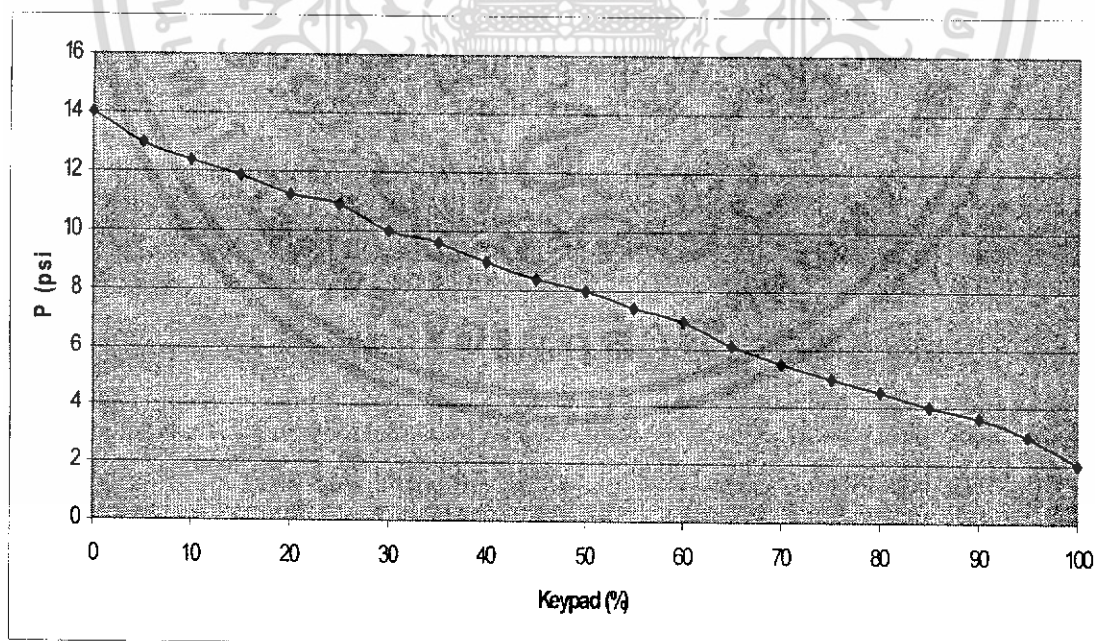
| ผลการทดลองควบคุมการปิดวาล์ว (Close Loop) |              |         |         |
|--|--------------|---------|---------|
| Keypad (%)                               | Ioutput (mA) | P (psi) | LCD (%) |
| 0  | 19.98        | 14      | 0.1     |
| 5  | 18.46        | 12.9    | 4.8     |
| 10                                       | 17.47        | 12.1    | 9.9     |
| 15                                       | 16.93        | 11.8    | 15      |
| 20                                       | 16.14        | 11.2    | 20.1    |
| 25                                       | 15.36        | 10.8    | 25      |
| 30                                       | 14.87        | 10      | 29.9    |
| 35                                       | 13.94        | 9.4     | 35      |
| 40                                       | 13.11        | 8.9     | 39.9    |
| 45                                       | 12.49        | 8.4     | 45      |
| 50                                       | 11.63        | 7.9     | 50      |
| 55                                       | 10.97        | 7.2     | 54.9    |
| 60                                       | 10.43        | 6.9     | 60      |
| 65                                       | 9.56         | 6.2     | 65.1    |
| 70                                       | 9.03         | 5.8     | 70      |
| 75                                       | 8.51         | 5.4     | 74.9    |
| 80                                       | 7.75         | 4.8     | 80      |
| 85                                       | 7.07         | 4.1     | 85.1    |
| 90                                       | 6.15         | 3.5     | 90      |
| 95                                       | 5.42         | 3       | 94.9    |
| 100                                      | 4.07         | 2       | 100     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์

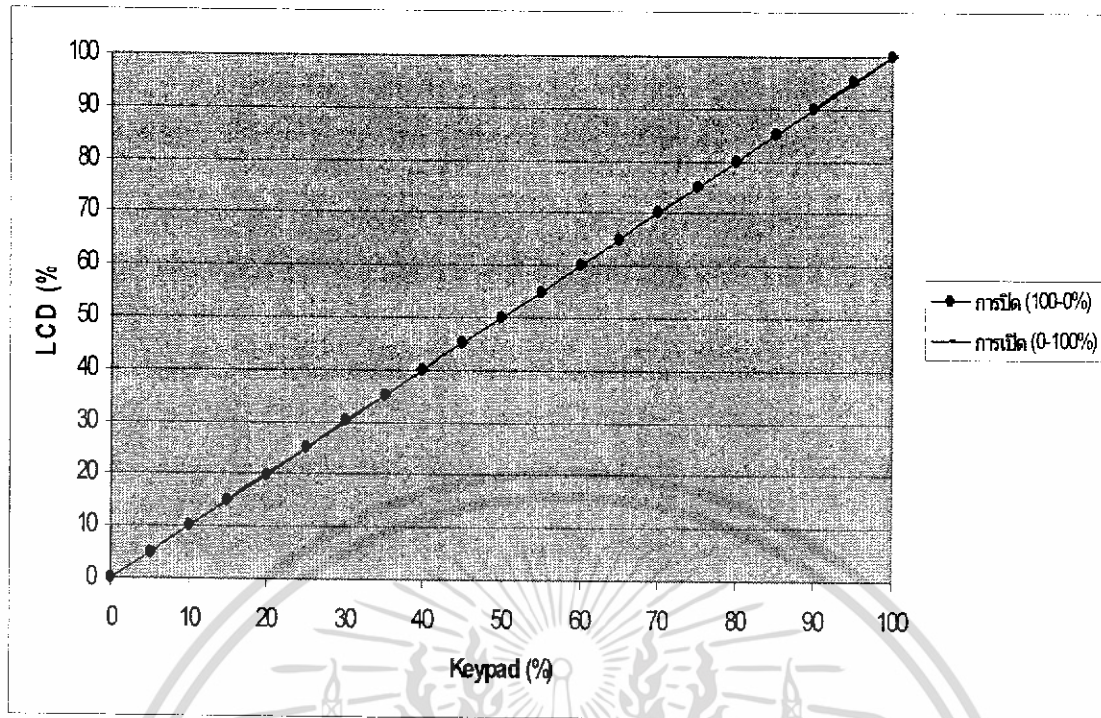


ภาพที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ กระแส (I)



ภาพที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ ความดันเกจ (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

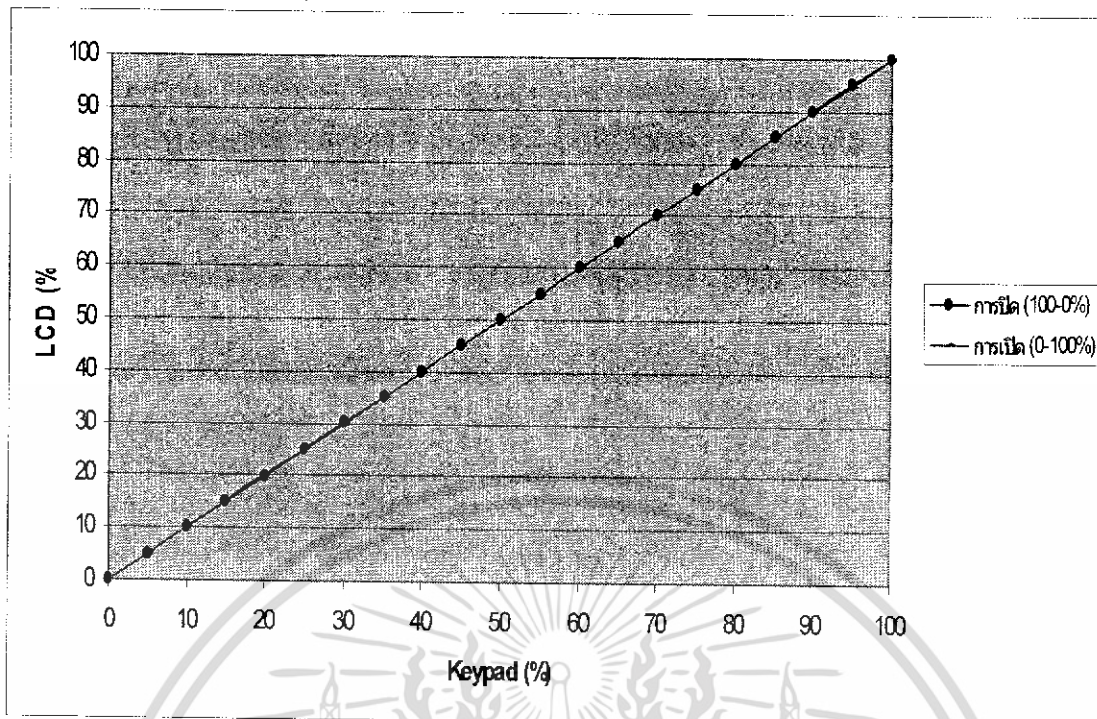


ภาพที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (ค่าที่ป้อนจากคีย์แพด) กับ เอาท์พุท (ค่าที่ LCD)

#### 5.2.4 การทดสอบการควบคุมวาล์วในสภาวะมีโหลด

ในการทดลองนี้จะทดลองการทำงานของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วให้ควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมที่อยู่ในสภาวะมีโหลด มากระทำกับ Plug Valve ซึ่งในการทดลองจะใช้ Pressure ในการทดลอง 2 ครั้งคือ  $3 \text{ kg/cm}^2$  และ  $4 \text{ kg/cm}^2$  มาต่อทางด้าน INLET ของวาล์วควบคุม ส่วนทางด้าน OUTLET ก็จะต่อเข้ากับวาล์วเปิด-ปิด แบบใช้มือ เพื่อทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงโหลดของวาล์วควบคุม

ในส่วนของผลการทดลองที่ได้ของการทดสอบการควบคุมวาล์วในสภาวะมีโหลด จากการทดลองจะได้ผลของการควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุม เหมือนกับการทดลองการควบคุมวาล์วในสภาวะไม่มีโหลดเข้าไป ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5.9 จะเห็นว่าตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมสามารถควบคุมตำแหน่งวาล์วให้เปิด-ปิด ได้ตามตำแหน่งที่ป้อนไว้ แต่ในการเข้าสู่ Set Point จะใช้เวลามากกว่านิดหน่อย (ไม่ถึง 1 วินาที) เมื่อเทียบกับการควบคุมวาล์วควบคุมแบบไม่มีโหลด เพราะแรงที่เกิดจากแรงดันที่กระทำต่อ Plug Valve ซึ่งสังเกตได้จากการทดลองที่ Pressure ต่างกันก็จะทำให้เวลาที่เข้าสู่ et Point ที่ต่างกันไปด้วย



ภาพที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต กรณีวาล์วควบคุมสภาวะมีไหล

### 5.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการใช้ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ ซึ่งได้ทดลองควบคุมแบบ Open Loop ปรากฏว่าค่าเอาต์พุตที่ได้เกิด Hysteresis ขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 5.4 จะเห็นว่าเส้นกราฟขาขึ้น และขาลง ไม่เป็นเส้นเดียวกันทำให้เกิดความผิดพลาดในแสดงค่าที่ LCD

ในส่วนของการทดลองการใช้ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ ซึ่งได้ทดลองควบคุมแบบ Feedback Control หรือ Closed Loop ผลที่ได้เมื่อสังเกตจากภาพที่ 5.8 และภาพที่ 5.9 จะเห็นว่าการใช้การควบคุมแบบ Feedback Control หรือ Closed Loop สามารถแก้ Hysteresis ได้ทำให้ผลเอาต์พุต(PV) ที่ได้มีค่าเท่ากับอินพุต(SP) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมได้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและแนวทางการพัฒนา

### 6.1 บทสรุป

ในการทำวิจัยนี้จุดประสงค์ของการสร้างตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้นี้ก็เพื่อช่วยเป็นตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว โดยอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนประกอบ เพื่อลดข้อบกพร่องจากปัญหาที่เกิดจากกลไกแอมกานิกส์ของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบเดิม และตัวควบคุมที่สร้างขึ้นมานี้ยังสามารถแสดงผลระยะการเคลื่อนที่ของวาล์วออกมาในรูปของตัวเลข ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการสังเกตและควบคุม โดยตัวควบคุมตำแหน่งแบบโปรแกรมได้นี้จะใช้การควบคุมแบบ PID เข้ามาช่วยในการควบคุมตำแหน่ง

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำตัวควบคุมแบบ PID เข้ามาช่วยในกระบวนการควบคุมแบบปิด (Close Loop) สามารถทำให้การเข้าถึง Set Point ได้ไวขึ้น และช่วยแก้ปัญหาเรื่อง Hysteresis ทำให้ผลการทดลองที่ได้ในการเปิดและปิดวาล์วควบคุม เส้นกราฟทั้งสองเส้นที่ได้เป็นเส้นตรงและค่าที่ได้มีค่าเท่ากัน ซึ่งผลที่ได้นี้เราสามารถนำตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมแบบโปรแกรมได้ไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมได้

### 6.2 แนวทางการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาต่อทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่เปิด-ปิดของวาล์วให้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จะทำให้การตรวจจับมีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ในส่วนของการหาพฤติกรรมของวาล์วเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการควบคุมวาล์วควรจะสร้างส่วน Interface กับคอมพิวเตอร์เพื่อนำค่ามาแสดงเป็นกราฟพฤติกรรมของวาล์วควบคุมในขณะที่ทำการปรับแต่งเพื่อให้ง่ายต่อการหาค่าพารามิเตอร์ที่จะป้อนให้กับตัวควบคุม

### 6.3 ปัญหาสำหรับการวิจัย

1. ในกรณีที่มีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของ PID ให้เหมาะสมกับการควบคุมวาล์วแต่ละตัวยังต้องอาศัยการทดลองปรับค่าแบบสุ่มทำให้ยากในการปรับแต่ง
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่มีค่าผิดพลาดอยู่ ทำให้การควบคุมทำได้ค่อนข้างยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

สมยศ จุณณะปิยะ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ., 2546  
วิศรุต ศรีรัตนและคณะ. ปฏิบัติการวิศวกรรมการวัดคุม1. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก.วีเจ พรินต์ติ้ง,  
กรุงเทพฯ., 2546

ธีรวัฒน์ เทพมณีและคณะ. ปฏิบัติการวิศวกรรมการวัดคุม4. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก.วีเจ พรินต์ติ้ง,  
กรุงเทพฯ., 2547

สาท คำมูล. เอกสารประกอบคำสอน วิชา 01063214 Control Valve and Drive.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include "89c51ac2.h"
#include "absacc.h"
#include "intrins.h"
#include "Delay.c"
#include "scankey.c"
#include "I2C.c"
#include "Icd.c"
#include "a2d.c"
#include "Tx_Rx.c"
```

```
#define BARLEVEL 625
#define Direct 0
#define Reverse 1
/*****/
void PID_Out(void);
void TunePID(void);
void TunePage(void);
void MonPage(void);
void Monitor(void);

void WR_PV(unsigned int Buffer);
void SetSP(unsigned char key);
void SetKP(unsigned char key);
void SetTI(unsigned char key);
void SetTD(unsigned char key);
void ChkSP(void);
void ChkKP(void);
void ChkTI(void);
void ChkTD(void);
/*****/
```

```
bit Mode,Pass=1; // Reverse or Direction
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bit TuneMon=0;

unsigned char Cnt=0,Index=0,Step=0;

unsigned int Data=0,DlySet=0,blink=0;

unsigned int tempSP=0,tempKP=0,tempTI=0,tempTD=0;

unsigned char SetS[3]={0,0,0},SetP[4]={0,0,0},SetI[4]={0,0,0},SetD[4]={0,0,0};

float err2,err1,err0,Mv1,Mv,Sp,Pv;

float Kp,Ti,Td;

sbit Lamp=P2^6;

/*****/

void ReloadPID(void)
{
    GOTO_XY(0,3); WR_3WORD(tempSP);
    GOTO_XY(0,12); WR_4WORD(tempKP);
    GOTO_XY(1,3); WR_4WORD(tempTI);
    GOTO_XY(1,12); WR_4WORD(tempTD);
}

void DlySetTime(unsigned char Sec)
{
    if (Sec<181)
    {
        DlySet= Sec*50; // 1 Sec = 50 Count
        TH0=0x88;
        TL0=0x00;
        TR1=1;
    }
}

/*****/

void main()
{
    unsigned char Key,i; // LCD Menu

    ADCF=0x01;

    TMOD=0x11; // Timer0 16 bit,Timer1 16 Bit

    TH0=0x88; // 18432000/12 : 1536000/50=30720 :7800H

```

```

TL0=0x00;          // 10000H-7800H = 8800H
TH1=0x88;          // 18432000/12 : 1536000/50=30720 :7800H
TL1=0x00;          // 10000H-7800H = 8800H

SCON=0x50;         // Serial Port RxTx Mode
T2CON=0x34;        // Baud rate mode
RCAP2H=0xFF; // 18432000/2/16=576000 :576000/9600=60 =3CH
RCAP2L=0xC4; // 10000H-3CH = FFC4H

EA=1;
ES=1;
ET0=1;
ET1=1;
TR0=1;
TR1=0;
Sp=50;  Kp=50;  Ti=50;  Td=2;  Mv=0;
tempSP=Sp; tempKP=Kp; tempTI=Ti; tempTD=Td;

Init_Lcd();

while(1)
{
    if(DlySet==0){ Monitor(); Pass=1; } // Monitor Mode

    if((Scan_Key()==Func)&&(DlySet==0))
    {
        KeyUp(); DlySetTime(2); Pass=0; TunePage(); ReloadPID();
        Step=0;
        for(i=0;i<3;i++){ SetS[i]=0; }
        for(i=0;i<4;i++){ SetP[i]=0; SetI[i]=0; SetD[i]=0;}
        Index=0;
        tempSP=Sp; tempKP=Kp; tempTI=Ti; tempTD=Td;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

if(Pass==0)
{
    if(blink>=10){ TunePID(); blink=0; }

    if((Scan_Key()!=0xFF))
    {
        Key=Scan_Key();
        DlySetTime(2);
        KeyUp();

        if(Key<10)
        {
            switch(Index)
            {
                case 0: SetSP(Key); break;
                case 1: SetKP(Key); break;
                case 2: SetTI(Key); break;
                case 3: SetTD(Key); break;
                default : break;
            }
        }

        if(Key==Enter)
        {
            switch(Index)
            {
                case 0: ChkSP(); break;
                case 1: ChkKP(); break;
                case 2: ChkTI(); break;
                case 3: ChkTD(); break;
                default : break;
            }
        }

        Step=0;
        for(i=0;i<3;i++){ SetS[i]=0; }
        for(i=0;i<4;i++){ SetP[i]=0; SetI[i]=0; SetD[i]=0;}
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(Key==Clear)
{
    tempSP=Sp; tempKP=Kp; tempTI=Ti; tempTD=Td;

    Step=0;
    for(i=0;i<3;i++){ SetS[i]=0; }
    for(i=0;i<4;i++){ SetP[i]=0; SetI[i]=0; SetD[i]=0;}
}
if(Key==Func)
{
    Index=Index+1;
    if(Index==4)
    { Index=0;}
    Step=0;
    ReloadPID();
}
}
} // While Loop
}

/*****
void Serial_Int() interrupt 4
{
    if(RI)
    {
        RI=0;
        Mv=SBUF;
    }
}

void Timer0() interrupt 1
{
    TH0=0x88; // Time Base 20 ms
    TL0=0x00;
    blink=blink+1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Data = A2D(0); //
Process Value
    Pv= Data*(0.19569471624266144814090019569472);

    Cnt=Cnt+1; // 1 Cnt=20 ms ( 5 Cnt=100 ms)
    if(Cnt>=10)
    { Cnt=0; PID_Out();
      TX_BYTE(Sp);
      TX_BYTE(Pv);
    }
}
void Timer1() interrupt 3
{ TH0=0x88; //Time Base-Reload
  TL0=0x00;
  DlySet--;
  if(DlySet==0) { TR1=0; }
}
/*****
void PID_Out(void)
{ float T=0.2;
  float a,b;
  float kp,ti,td;

  kp=Kp/100;
  ti=Ti/100;
  td=Td/100;

  err2=err1; // Update Error
  err1=err0;
  Mv1=Mv; // Update

```

MV  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

err0=Pv-Sp; // Error

//Mv=Mv1+((err0-err1)*Kp)+((err0*T)/Ti)+((err0-(2*err1)+err2)*(Td/T));
a=(td/T);
b=(T/ti);

Mv=Mv1+((err0-err1)*kp);
Mv=Mv+(err0*b);
Mv=Mv+((err0-(2*err1)+err2)*a);

if(Mv>100) { Mv=100; } // Reset Wind-Up
Protect
else if(Mv<0) { Mv=0; }
Write_D2A((Mv*2.55),0);
}

void Monitor(void)
{
GOTO_XY(0,0);
WR_DDRAM('S'); WR_3WORD(Sp); WR_DDRAM('%'); // Setpoint
WR_DDRAM('M'); WR_3WORD(Mv); WR_DDRAM('%'); // Manipulate
WR_DDRAM('P'); WR_PV(Pv*100); // Process Value
XBarGraph(Pv);
}

void TunePID(void)
{
bit blink;
switch(Index)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{      case 0: GOTO_XY(0,3);
// Setpoint
        if(blink==1){ WR_Blank(3);   blink=0; }
        else          { WR_3WORD(tempSP); blink=1; }
        break;
        case 1: GOTO_XY(0,12);
// Proportional Gain
        if(blink==1){ WR_Blank(4);   blink=0; }
        else          { WR_4WORD(tempKP); blink=1; }
        break;
        case 2: GOTO_XY(1,3);
// Intregtral Time
        if(blink==1){ WR_Blank(4);   blink=0; }
        else          { WR_4WORD(tempTI); blink=1; }
        break;
        case 3: GOTO_XY(1,12);
// Derivative Time
        if(blink==1){ WR_Blank(4);   blink=0; }
        else          { WR_4WORD(tempTD); blink=1; }
        break;
        default :
        break;
}
}
/*****/

```

```

void ChkSP(void)          // Check SetPoint

```

```

{
    if(tempSP<=100)
    {      Sp=tempSP; }    // New Setpoint
    else
    {      tempSP=Sp; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void ChkKP(void)                // Check Proportional Gain
{
    Kp=tempKP; }

void ChkTI(void)                // Check Integral Gain
{
    if(tempTI!=0)
        {
            Ti=tempTI; }
    else
        {
            tempTI=Ti; }

}

void ChkTD(void)                // Check Derivative Gain
{
    Td=tempTD; }

/*****

void SetSP(unsigned char key)
{
    if(Step<3)
        {
            if(Step==0){ SetS[0]=key;
            }
            if(Step==1){ SetS[1]=SetS[0]; SetS[0]=key;
            }
            if(Step==2){ SetS[2]=SetS[1]; SetS[1]=SetS[0]; SetS[0]=key; }
        }
    Step++;
    tempSP=(SetS[2]*100)+(SetS[1]*10)+SetS[0];
    GOTO_XY(0,3);    WR_3WORD(tempSP);
}

void SetKP(unsigned char key)
{
    if(Step<4)
        {
            if(Step==0){ SetP[0]=key;
            }
            if(Step==1){ SetP[1]=SetP[0]; SetP[0]=key;
        }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(Step==2){ SetP[2]=SetP[1]; SetP[1]=SetP[0]; SetP[0]=key; }
        if(Step==3){ SetP[3]=SetP[2]; SetP[2]=SetP[1]; SetP[1]=SetP[0];
SetP[0]=key; }
    }
    Step++;
    tempKP=(SetP[3]*1000)+(SetP[2]*100)+(SetP[1]*10)+SetP[0];
    GOTO_XY(0,12); WR_4WORD(tempKP);
}

void SetTI(unsigned char key)
{
    if(Step<4)
    {
        if(Step==0){ SetI[0]=key;
        }
        if(Step==1){ SetI[1]=SetI[0]; SetI[0]=key;
        }
        if(Step==2){ SetI[2]=SetI[1]; SetI[1]=SetI[0]; SetI[0]=key; }
        if(Step==3){ SetI[3]=SetI[2]; SetI[2]=SetI[1]; SetI[1]=SetI[0]; SetI[0]=key;
        }
    }
    Step++;
    tempTI=(SetI[3]*1000)+(SetI[2]*100)+(SetI[1]*10)+SetI[0];
    GOTO_XY(1,3); WR_4WORD(tempTI);
}

void SetTD(unsigned char key)
{
    if(Step<4)
    {
        if(Step==0){ SetD[0]=key;
        }
        if(Step==1){ SetD[1]=SetD[0]; SetD[0]=key;
        }
        if(Step==2){ SetD[2]=SetD[1]; SetD[1]=SetD[0]; SetD[0]=key; }
        if(Step==3){ SetD[3]=SetD[2]; SetD[2]=SetD[1]; SetD[1]=SetP[0];
SetD[0]=key; }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Step++;
tempTD=(SetD[3]*1000)+(SetD[2]*100)+(SetD[1]*10)+SetD[0];
GOTO_XY(1,12);    WR_4WORD(tempTD);
}

```

/\*\*\*/



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

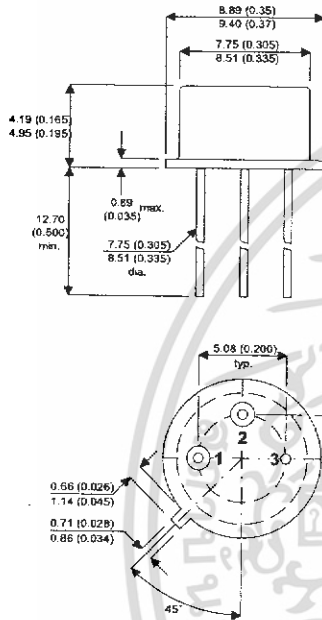


ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MECHANICAL DATA**  
Dimensions in mm (inches)

**MEDIUM POWER SILICON  
NPN PLANAR TRANSISTOR**



**FEATURES**

- $V_{CEO} = 40V$
- $I_C = 0.7A$
- $P_{tot} = 5W$

**TO39 PACKAGE**

**Underside View**

Pin 1 = Emitter    Pin 2 = Base    Pin 3 = Collector

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ( $T_{case} = 25^\circ C$  unless otherwise stated)

|                   |  |              |
|-------------------|--|--------------|
| $V_{CBO}$         | Collector - Base Voltage                 | 60V          |
| $V_{CEO}$         | Collector - Emitter Voltage              | 40V          |
| $V_{CER}$         | Collector - Emitter Sustaining Voltage   | 50V          |
| $V_{CEX}$         | Collector - Emitter Voltage              | 60V          |
| $V_{EBO}$         | Emitter-Base Voltage                     | 5V           |
| $I_C$             | Collector Current                        | 0.7A         |
| $P_{TOT}$         | Power Dissipation $T_{amb} = 25^\circ C$ | 1W           |
|                   | $T_{case} = 25^\circ C$                  | 5W           |
| $T_j$             | Junction Temperature                     | 200°C        |
| $T_{stg}$         | Storage Temperature                      | -65 to 200°C |
| $\theta_{th(jc)}$ | Thermal Resistance Junction to Case      | 35°C / W     |
| $\theta_{th(ja)}$ | Thermal Resistance Junction to Ambient   | 175°C / W    |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$  unless otherwise stated)

| Parameter                    | Test Conditions   | Min. | Typ. | Max. | Unit          |
|------------------------------|---|------|------|------|---------------|
| $V_{\text{CEO(SUS)}}$        | Collector – Emitter Voltage<br>$I_{\text{C}} = 100\text{mA}$ $I_{\text{B}} = 0$                           | 40   |      |      | V             |
| $V_{\text{CER(SUS)*}}$       | Collector – Emitter Voltage<br>$R_{\text{BE}} = 10\Omega$ $I_{\text{C}} = 100\text{mA}$                   | 50   |      |      |               |
| $V_{(\text{BR})\text{CBO}*}$ | Collector – Base Breakdown Voltage<br>$I_{\text{C}} = 0.1\text{mA}$ $I_{\text{E}} = 0$                    | 60   |      |      |               |
| $V_{(\text{BR})\text{EBO}*}$ | Emitter – Base Breakdown Voltage<br>$I_{\text{E}} = 0.1\text{mA}$ $I_{\text{C}} = 0$                      | 5    |      |      | $\mu\text{A}$ |
| $I_{\text{CBO}}$             | Collector – Base Cut-off Current<br>$V_{\text{CB}} = 30\text{V}$ $I_{\text{E}} = 0$                       |      |      | 0.25 |               |
| $I_{\text{EBO}}$             | Emitter – Base Cut-off Current<br>$V_{\text{EB}} = 4\text{V}$ $I_{\text{C}} = 0$                          |      |      | 0.25 |               |
| $V_{\text{CE(sat)*}}$        | Collector – Emitter Saturation Voltage<br>$I_{\text{C}} = 0.15\text{A}$ $I_{\text{B}} = 0.015\text{A}$    |      |      | 1.4  | V             |
| $V_{\text{BE(sat)*}}$        | Base – Emitter Saturation Voltage<br>$I_{\text{C}} = 0.15\text{A}$ $I_{\text{B}} = 0.015\text{A}$         |      |      | 1.7  |               |
| $h_{21\text{E}*}$            | Static Forward Current Transfer ratio<br>$I_{\text{C}} = 0.15\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 10\text{V}$       | 50   |      | 250  | —             |
| $f_{\text{T}}$               | Transistor Frequency<br>$V_{\text{CE}} = 10\text{V}$ $I_{\text{C}} = 0.05\text{A}$<br>$f = 100\text{MHz}$ | 100  |      |      | MHz           |
| $C_{22\text{b}}$             | Output Capacitance<br>$V_{\text{CB}} = 10\text{V}$ $f = 1\text{MHz}$                                      |      |      | 15   |               |
| $C_{11\text{b}}$             | Input Capacitance<br>$V_{\text{EB}} = 10\text{V}$ $f = 1\text{MHz}$                                       |      |      | 80   | pF            |

\* Pulsed  $t_{\text{p}} = 300\mu\text{s}$   $\delta \leq 2\%$

# KA78XX/KA78XXA

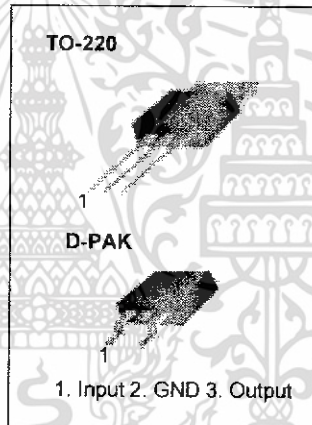
## 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

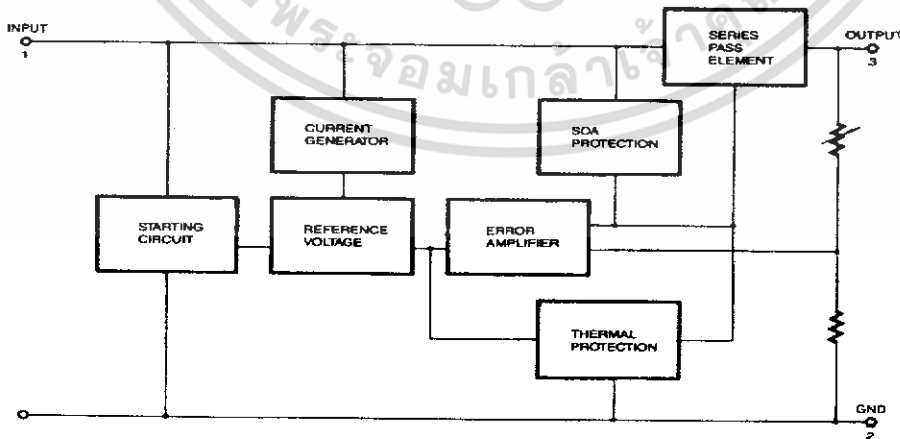
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The KA78XX/KA78XXA series of three-terminal positive regulator are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.0

## Absolute Maximum Ratings

| Parameter  | Symbol          | Value      | Unit          |
|--|-----------------|------------|---------------|
| Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ )<br>(for $V_O = 24V$ ) | $V_I$           | 35         | V             |
|  | $V_I$           | 40         | V             |
| Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)                     | $R_{\theta JC}$ | 5          | $^{\circ}C/W$ |
| Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)                       | $R_{\theta JA}$ | 65         | $^{\circ}C/W$ |
| Operating Temperature Range (KA78XX/A/R)                       | $T_{OPR}$       | 0 ~ +125   | $^{\circ}C$   |
| Storage Temperature Range                                      | $T_{STG}$       | -65 ~ +150 | $^{\circ}C$   |

## Electrical Characteristics (KA7805/KA7805R)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_I = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

| Parameter                | Symbol                  | Conditions   | KA7805                   |      |      | Unit            |    |
|--------------------------|-------------------------|--|--------------------------|------|------|-----------------|----|
|                          |                         |  | Min.                     | Typ. | Max. |                 |    |
| Output Voltage           | $V_O$                   | $T_J = +25^{\circ}C$   | 4.8                      | 5.0  | 5.2  | V               |    |
|                          |                         | $5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$ , $P_O \leq 15W$<br>$V_I = 7V$ to $20V$ | 4.75                     | 5.0  | 5.25 |                 |    |
| Line Regulation (Note1)  | Regline                 | $T_J = +25^{\circ}C$   | $V_O = 7V$ to $25V$      | -    | 4.0  | 100             | mV |
|                          |                         |  | $V_I = 8V$ to $12V$      | -    | 1.6  | 50              |    |
| Load Regulation (Note1)  | Regload                 | $T_J = +25^{\circ}C$   | $I_O = 5.0mA$ to $1.5A$  | -    | 9    | 100             | mV |
|                          |                         |  | $I_O = 250mA$ to $750mA$ | -    | 4    | 50              |    |
| Quiescent Current        | $I_Q$                   | $T_J = +25^{\circ}C$   | -                        | 5.0  | 8.0  | mA              |    |
| Quiescent Current Change | $\Delta I_Q$            | $I_O = 5mA$ to $1.0A$<br>$V_I = 7V$ to $25V$                       | -                        | 0.03 | 0.5  | mA              |    |
|                          |                         |  | -                        | 0.3  | 1.3  |                 |    |
| Output Voltage Drift     | $\Delta V_O / \Delta T$ | $I_O = 5mA$  | -                        | -0.8 | -    | mV/ $^{\circ}C$ |    |
| Output Noise Voltage     | $V_N$                   | $f = 10Hz$ to $100KHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$                      | -                        | 42   | -    | $\mu V/V_O$     |    |
| Ripple Rejection         | RR                      | $f = 120Hz$<br>$V_O = 8V$ to $18V$                                 | 62                       | 73   | -    | dB              |    |
| Dropout Voltage          | $V_{Drop}$              | $I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$                                  | -                        | 2    | -    | V               |    |
| Output Resistance        | $r_O$                   | $f = 1KHz$   | -                        | 15   | -    | m $\Omega$      |    |
| Short Circuit Current    | ISC                     | $V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$                                 | -                        | 230  | -    | mA              |    |
| Peak Current             | IPK                     | $T_J = +25^{\circ}C$   | -                        | 2.2  | -    | A               |    |

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7809/KA7809R)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

| Parameter                | Symbol                  | Conditions  | KA7809                                |      |      | Unit                   |    |
|--------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|------|------|------------------------|----|
|                          |                         |   | Min.                                  | Typ. | Max. |                        |    |
| Output Voltage           | $V_O$                   | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | 8.65                                  | 9    | 9.35 | V                      |    |
|                          |                         | $5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$<br>$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$ | 8.6                                   | 9    | 9.4  |                        |    |
| Line Regulation (Note1)  | Regline                 | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | $V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$   | -    | 6    | 180                    | mV |
|                          |                         |   | $V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$     | -    | 2    | 90                     |    |
| Load Regulation (Note1)  | Regload                 | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$    | -    | 12   | 180                    | mV |
|                          |                         |   | $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$ | -    | 4    | 90                     |    |
| Quiescent Current        | $I_Q$                   | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | -                                     | 5.0  | 8.0  | mA                     |    |
| Quiescent Current Change | $\Delta I_Q$            | $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$<br>$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$                               | -                                     | -    | 0.5  | mA                     |    |
|                          |                         |   | -                                     | -    | 1.3  |                        |    |
| Output Voltage Drift     | $\Delta V_O / \Delta T$ | $I_O = 5\text{mA}$  | -                                     | -1   | -    | mV/ $^{\circ}\text{C}$ |    |
| Output Noise Voltage     | $V_N$                   | $f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$                                       | -                                     | 58   | -    | $\mu\text{V}/V_O$      |    |
| Ripple Rejection         | RR                      | $f = 120\text{Hz}$<br>$V_I = 13\text{V to } 23\text{V}$   | 56                                    | 71   | -    | dB                     |    |
| Dropout Voltage          | $V_{\text{Drop}}$       | $I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | -                                     | 2    | -    | V                      |    |
| Output Resistance        | $r_O$                   | $f = 1\text{kHz}$   | -                                     | 17   | -    | m $\Omega$             |    |
| Short Circuit Current    | $I_{\text{SC}}$         | $V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$  | -                                     | 250  | -    | mA                     |    |
| Peak Current             | $I_{\text{PK}}$         | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$   | -                                     | 2.2  | -    | A                      |    |

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

# KA79XX/KA79XXA

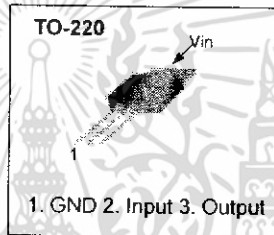
## 3-Terminal 1A Negative Voltage Regulator

### Features

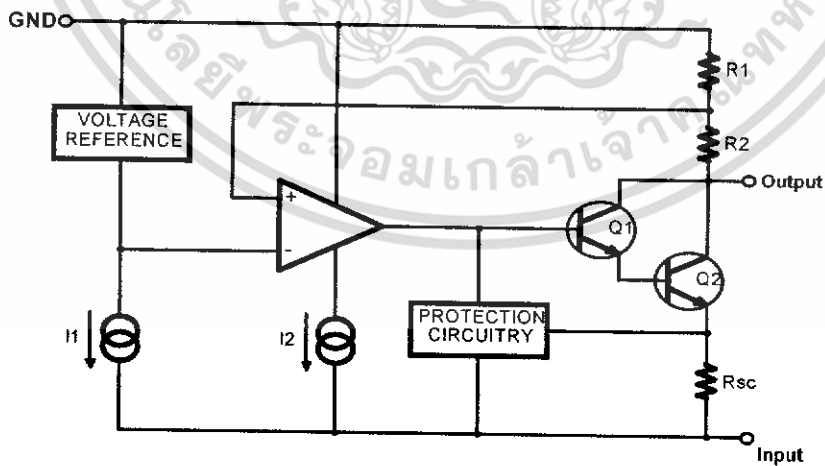
- Output Current in Excess of 1A
- Output Voltages of -5, -6, -8, -9, -10, -12, -15, -18, -24V
- Internal Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Compensation

### Description

The KA79XX/KA79XXA series of three-terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shutdown and safe operating area limiting, thermal shutdown and safe operating area protection, making it essentially indestructible.



### Internal Block Diagram



## Absolute Maximum Ratings

| Parameter                                  | Symbol          | Value      | Unit          |
|--|-----------------|------------|---------------|
| Input Voltage                              | $V_I$           | -35        | V             |
| Thermal Resistance Junction-Case (Note1)   | $R_{\theta JC}$ | 5          | $^{\circ}C/W$ |
| Thermal Resistance Junction-Air (Note1, 2) | $R_{\theta JA}$ | 65         | $^{\circ}C/W$ |
| Operating Temperature Range                | $T_{OPR}$       | 0 ~ +125   | $^{\circ}C$   |
| Storage Temperature Range                  | $T_{STG}$       | -65 ~ +150 | $^{\circ}C$   |

### Note:

- Thermal resistance test board  
Size: 76.2mm \* 114.3mm \* 1.6mm(1S0P)  
JEDEC standard: JESD51-3, JESD51-7
- Assume no ambient airflow

## Electrical Characteristics (KA7905)

( $V_I = -10V$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $0^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$ ,  $C_I = 2.2\mu F$ ,  $C_O = 1\mu F$ , unless otherwise specified.)

| Parameter                        | Symbol                | Conditions   | Min.                | Typ. | Max.  | Unit            |    |
|----------------------------------|-----------------------|--|---------------------|------|-------|-----------------|----|
| Output Voltage                   | $V_O$                 | $T_J = +25^{\circ}C$                                     | -4.8                | -5.0 | -5.2  | V               |    |
|                                  |                       | $I_O = 5mA$ to 1A, $P_O \leq 15W$<br>$V_I = -7V$ to -20V | -4.75               | -5.0 | -5.25 |                 |    |
| Line Regulation (Note3)          | $\Delta V_O$          | $T_J = +25^{\circ}C$                                     | $V_I = -7V$ to -25V | -    | 35    | 100             | mV |
|                                  |                       |  | $V_I = -8V$ to -12V | -    | 8     | 50              |    |
| Load Regulation (Note3)          | $\Delta V_O$          | $T_J = +25^{\circ}C$ , $I_O = 5mA$ to 1.5A               | -                   | 10   | 100   | mV              |    |
|                                  |                       | $T_J = +25^{\circ}C$ , $I_O = 250mA$ to 750mA            | -                   | 3    | 50    |                 |    |
| Quiescent Current                | $I_Q$                 | $T_J = +25^{\circ}C$                                     | -                   | 3    | 6     | mA              |    |
| Quiescent Current Change         | $\Delta I_Q$          | $I_O = 5mA$ to 1A  | -                   | 0.05 | 0.5   | mA              |    |
|                                  |                       | $V_I = -8V$ to -25V                                      | -                   | 0.1  | 0.8   |                 |    |
| Temperature Coefficient of $V_D$ | $\Delta V_O/\Delta T$ | $I_O = 5mA$  | -                   | -0.4 | -     | mV/ $^{\circ}C$ |    |
| Output Noise Voltage             | $V_N$                 | $f = 10Hz$ to 100kHz, $T_A = +25^{\circ}C$               | -                   | 40   | -     | $\mu V$         |    |
| Ripple Rejection                 | RR                    | $f = 120Hz$ , $\Delta V_I = 10V$                         | 54                  | 60   | -     | dB              |    |
| Dropout Voltage                  | $V_D$                 | $T_J = +25^{\circ}C$ , $I_O = 1A$                        | -                   | 2    | -     | V               |    |
| Short Circuit Current            | $I_{SC}$              | $T_J = +25^{\circ}C$ , $V_I = -35V$                      | -                   | 300  | -     | mA              |    |
| Peak Current                     | $I_{PK}$              | $T_J = +25^{\circ}C$                                     | -                   | 2.2  | -     | A               |    |

### Note

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

**Electrical Characteristics (KA7909)** (Continued)(V<sub>I</sub> = -15V, I<sub>O</sub> = 500mA, 0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +125°C, C<sub>I</sub> = 2.2μF, C<sub>O</sub> = 1μF, unless otherwise specified.)

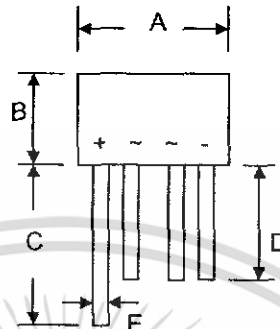
| Parameter                                 | Symbol              | Conditions   | Min.                            | Typ. | Max. | Unit  |    |
|---|---------------------|--|---------------------------------|------|------|-------|----|
| Output Voltage                            | V <sub>O</sub>      | T <sub>J</sub> = +25°C   | -8.7                            | -9.0 | -9.3 | V     |    |
|   |                     | I <sub>O</sub> = 5mA to 1A, P <sub>O</sub> ≤ 15W<br>V <sub>I</sub> = -1.5V to -23V | -8.6                            | -9.0 | -9.4 |       |    |
| Line Regulation (Note1)                   | ΔV <sub>O</sub>     | T <sub>J</sub> = +25°C   | V <sub>I</sub> = -11.5V to -26V | -    | 10   | 180   | mV |
|   |                     |  | V <sub>I</sub> = -12V to -18V   | -    | 5    | 90    |    |
| Load Regulation (Note1)                   | ΔV <sub>O</sub>     | T <sub>J</sub> = +25°C, I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A                               | -                               | 12   | 180  | mV    |    |
|   |                     | T <sub>J</sub> = +25°C, I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA                            | -                               | 4    | 90   |       |    |
| Quiescent Current                         | I <sub>Q</sub>      | T <sub>J</sub> = +25°C   | -                               | 3    | 6    | mA    |    |
| Quiescent Current Change                  | ΔI <sub>Q</sub>     | I <sub>O</sub> = 5mA to 1A   | -                               | 0.05 | 0.5  | mA    |    |
|   |                     | V <sub>I</sub> = -11.5V to -26V  | -                               | 0.1  | 1    |       |    |
| Temperature Coefficient of V <sub>D</sub> | ΔV <sub>O</sub> /ΔT | I <sub>O</sub> = 5mA   | -                               | -0.6 | -    | mV/°C |    |
| Output Noise Voltage                      | V <sub>N</sub>      | f = 10Hz to 100kHz, T <sub>A</sub> = +25°C   | -                               | 175  | -    | μV    |    |
| Ripple Rejection                          | RR                  | f = 120Hz, ΔV <sub>I</sub> = 10V   | 54                              | 60   | -    | dB    |    |
| Dropout Voltage                           | V <sub>D</sub>      | T <sub>J</sub> = +25°C, I <sub>O</sub> = 1A  | -                               | 2    | -    | V     |    |
| Short Circuit Current                     | I <sub>SC</sub>     | T <sub>J</sub> = +25°C, V <sub>I</sub> = -35V                                      | -                               | 300  | -    | mA    |    |
| Peak Current                              | I <sub>PK</sub>     | T <sub>J</sub> = +25°C   | -                               | 2.2  | -    | A     |    |

**Note**

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

### Features

- Diffused Junction
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- High Reliability
- High Surge Current Capability
- Ideal for Printed Circuit Boards
- UL Recognized File # E157705



| RB-20                |      |      |
|----------------------|------|------|
| Dim                  | Min  | Max  |
| A                    | 9.10 | 9.40 |
| B                    | 6.90 | 7.40 |
| C                    | 27.9 | —    |
| D                    | 25.4 | —    |
| E                    | 0.71 | 0.81 |
| G                    | 4.60 | 5.60 |
| All Dimensions in mm |      |      |

### Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: As Marked on Body
- Weight: 1.3 grams (approx.)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number



### Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T<sub>A</sub>=25°C unless otherwise specified

Single Phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.  
 For capacitive load, derate current by 20%.

| Characteristic   | Symbol           | 2W005       | 2W01 | 2W02 | 2W04 | 2W06 | 2W08 | 2W10 | Unit |
|--|------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Peak Repetitive Reverse Voltage  | VRRM             |             |      |      |      |      |      |      |      |
| Working Peak Reverse Voltage   | VRWM             | 50          | 100  | 200  | 400  | 600  | 800  | 1000 | V    |
| DC Blocking Voltage  | VR               |             |      |      |      |      |      |      |      |
| RMS Reverse Voltage  | VR(RMS)          | 35          | 70   | 140  | 280  | 420  | 560  | 700  | V    |
| Average Rectified Output Current (Note 1)  | I <sub>O</sub>   | 2.0         |      |      |      |      |      |      | A    |
| Non-Repetitive Peak Forward Surge Current<br>8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method) | I <sub>FSM</sub> | 50          |      |      |      |      |      |      | A    |
| Forward Voltage (per element)  | V <sub>FM</sub>  | 1.0         |      |      |      |      |      |      | V    |
| Peak Reverse Current   | I <sub>RM</sub>  | 10          |      |      |      |      |      |      | μA   |
| At Rated DC Blocking Voltage   |                  | 500         |      |      |      |      |      |      |      |
| Operating Temperature Range  | T <sub>j</sub>   | -55 to +125 |      |      |      |      |      |      | °C   |
| Storage Temperature Range  | T <sub>STG</sub> | -55 to +150 |      |      |      |      |      |      | °C   |

Note: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.