

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองระบบ SCADA ไร้สาย

SCADA WIRELESS SIMULATOR SYSTEM



T 0 6 2 1 6 3



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**62163**  
วัน,เดือน,ปี.....**31 ก.ค. 2549**

บ.....  
ร.....

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SCADA WIRELESS SIMULATOR SYSTEM



**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**

**2004**

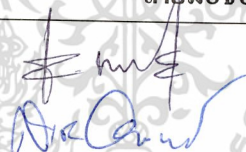
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ แบบจำลองระบบ SCADA ไร้สาย  
SCADA WIRELESS SIMULATOR SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชาญวิทย์ เรืองจันทร์ รหัสประจำตัว 45015503  
นายศรายุทธ อินทุเศรษฐ รหัสประจำตัว 45015528  
นายอิทธิวัฒน์ ทับพะ รหัสประจำตัว 45015541

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2547

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ   |
|-------------------------------|--|
| ผศ. เชื้อ นกอยู่              |  |
| ผศ.ดร.สาธิต อินทจักร์         |  |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2548  
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |  |             |
|--------------------|--|-------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | แบบจำลองระบบ SCADA ไร้สาย<br>SCADA WIRELESS SIMULATOR SYSTEM |             |
| นักศึกษาผู้จัดทำ   | นายชาญวิทย์  | เรืองจันทร์ |
|                    | นายศรายุทธ   | อินทุเศรษฐ  |
|                    | นายอิทธิวัฒน์  | ทับพะ       |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | ผศ.เชื้อ   | นกออยู่     |
|                    | ผศ.ดร.สาธิต  | อินทจักร์   |
| ปีการศึกษา         | 2547   |             |

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ขาดเสียไม่ได้ สำหรับงานทางด้านระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งระบบที่ให้บริการทางด้านสาธารณูปโภค เช่น โรงผลิตและจ่ายไฟฟ้าและน้ำ เพราะสามารถลดขั้นตอนการทำงานที่อยู่ยาก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและช่วยอำนวยความสะดวกนานัปการแก่ผู้ปฏิบัติงานควบคุมการผลิต การที่สามารถนำเอาค่าสัญญาณหรือข้อมูลจากระบบการผลิตมาทำการประมวลผล เพื่อให้ได้ค่าหรือผลลัพธ์ควบคุมสำหรับส่งออกไปยังอุปกรณ์ควบคุม เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ทันการ และต่อเนื่อง จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และ เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือ พีซี (PC) ได้รับการพัฒนาการล้ำหน้าอย่างมากจึงมีการเอาคอมพิวเตอร์มาพัฒนาเข้ามาร่วมกับทำเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยในปัจจุบันระบบ SCADA เป็นอีกระบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ ในระดับเดียวกัน

โครงการนี้เป็นทดลองการทำแบบจำลองระบบ SCADA แบบไร้สายโดยการใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC 2 ตัว ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานและแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบในรูปแบบของ Graphic, Chart, Alarm and Event, Database

|                       |                                 |           |
|-----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>Thesis Title</b>   | Scada Wireless Simulator System |           |
| <b>Authors</b>        | Mr.Chanwit                      | Ruengchan |
|                       | Mr.Sarayut                      | Intrusad  |
|                       | Mr.Ittiwat                      | Tabpa     |
| <b>Thesis Advisor</b> | Asst.Prof.Chuae                 | Nok yoo   |
|                       | Asst.Prof.Dr.Sathit             | Intajak   |
| <b>Year</b>           | 2004                            |           |

### ABSTRACT

Nowadays automatic system necessary in an industrial and public utility such as power plant and water plant. Because decrease a complexing step in a process, increase efficiency of plant And helping user comfort.

Signal or information from a process was sending for calculating an answer for control process with accuracy, continuously, promptly and efficiency.

Hardware and software technology of personal computer (PC) was developed with SCADA technology. It's very popular system; cause of it's cheaper than others.

This project was tested by simulating SCADA by use radio wave control with 2 PLC and uses computer control and display parameter value in graph, chart, alarm and event and database...

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตากรุณาและสนับสนุนจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาธิต อินทจักร์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดเวลา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตร ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|   | หน้า     |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                      | I        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                   | II       |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                      | III      |
| สารบัญ.....   | IV       |
| สารบัญตาราง.....  | VII      |
| สารบัญรูป.....  | VIII     |
| <b>บทที่ 1</b> บทนำ.....                                  | <b>1</b> |
| 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....                | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญานิพนธ์.....                     | 2        |
| 1.3 ขอบเขตของปริิญญานิพนธ์.....                           | 2        |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....                                  | 2        |
| <b>บทที่ 2</b> ทฤษฎีและหลักการ.....                       | <b>3</b> |
| 2.1 SCADA .....   | 3        |
| 2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....                   | 5        |
| 2.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232.....                     | 6        |
| 2.4 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Wireless-RS232).....             | 9        |
| 2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไป.....                                | 9        |
| 2.4.2 Power Supply.....                                   | 10       |
| 2.4.3 โหมดการทำงาน.....                                   | 12       |
| 2.4.4 การกำหนดค่า Configuration ของ Wireless – RS232..... | 12       |
| 2.4.5 การเชื่อมต่อสัญญาณ RS232.....                       | 13       |
| 2.5 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้.....                       | 26       |
| 2.5.1 ส่วนประกอบด้านหน้าของ PLC.....                      | 26       |
| 2.5.2 การต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก.....                  | 27       |
| 2.5.3 การติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....        | 28       |
| 2.5.4 การติดต่อกับพอร์ตภายนอก.....                        | 28       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 2.5.5 การติดต่อกับพอร์ตของ DL05.....                          | 29        |
| 2.5.6 การแสดงผลของ PLC รุ่น KOYO DL05.....                    | 29        |
| 2.6 โปรแกรม DirectSOFT32.....                                 | 30        |
| 2.7 Analog Input Module.....                                  | 36        |
| 2.7.1 การติดตั้งกับเครื่อง PLC DL-05 ของ KOYO.....            | 37        |
| 2.7.2 การสร้าง Scale ค่าใช้งาน.....                           | 38        |
| 2.8 โปรแกรม DS Data server.....                               | 40        |
| 2.8.1 การตั้งค่าการเชื่อมต่อกับเครื่อง PLC.....               | 40        |
| 2.8.2 การสร้างหัวข้อในการติดต่อกับเครื่อง PLC.....            | 43        |
| <b>บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....</b>          | <b>45</b> |
| 3.1 บทนำ.....   | 45        |
| 3.2 การวัดระดับ (Level Measurement).....                      | 48        |
| 3.2.1 ดิฟสติค.....  | 49        |
| 3.2.2 กระจกแก้วมองระดับ (Glass Gauge).....                    | 49        |
| 3.2.3 ลูกลอย (Float).....                                     | 57        |
| 3.2.4 การวัดระดับ โดยการวัดความดันคิฟเฟอเรนเชียล.....         | 65        |
| 3.2.5 สวิตช์ระดับแบบลูกลอย (Magnetic Type Float Switch).....  | 66        |
| <b>บทที่ 4 รายละเอียดในการสร้างและประกอบปริญญานิพนธ์.....</b> | <b>69</b> |
| 4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์(Hardware).....                           | 70        |
| 4.1.1 Pressure Sensor.....                                    | 70        |
| 4.1.2 ส่วนของวงจร Instrument Amplifier.....                   | 71        |
| 4.1.3 Plant กระบวนการ.....                                    | 73        |
| 4.2 ส่วนของซอฟต์แวร์.....                                     | 73        |
| 4.2.1 โปรแกรม ของPLC.....                                     | 73        |
| 4.2.2 โปรแกรมหน้าจอ SCADA (Microsoft Visual Basic).....       | 75        |

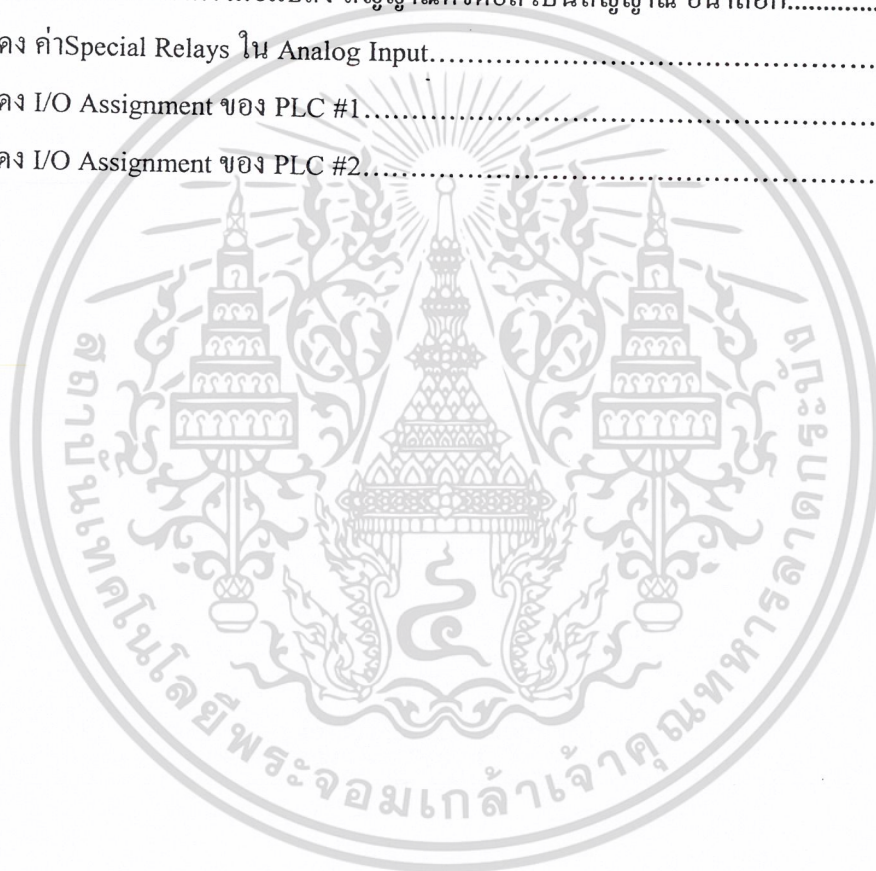
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| <b>บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>                       | <b>78</b> |
| 5.1 การทดลองและสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter.....  | 78        |
| 5.2 การทดลองเปรียบเทียบระดับของเหลวกับกราฟฟิกับคอมพิวเตอร์..... | 83        |
| 5.3 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง.....                           | 83        |
| 5.4 สรุปผลการทดลอง.....   | 86        |
| <b>บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>                 | <b>87</b> |
| 6.1 สรุปผลงาน.....  | 87        |
| 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....                            | 87        |
| <b>บรรณานุกรม.....</b>  | <b>88</b> |
| <b>ภาคผนวก.....</b>   | <b>89</b> |

# สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25.....                 | 7    |
| 2.2 แสดงการตั้งค่าต่างๆระหว่างตัวรับ และ ตัวส่ง.....                  | 17   |
| 2.3 แสดง การตั้งค่าต่างๆ แบบ Full Duplex.....                         | 19   |
| 2.4 แสดงผลของไฟ CPU .....   | 29   |
| 2.5 แสดงการคำนวณหาค่า เมื่อแปลง สัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณ อนาล็อก..... | 39   |
| 2.6 แสดง ค่าSpecial Relays ใน Analog Input.....                       | 39   |
| 4.1 แสดง I/O Assignment ของ PLC #1.....                               | 74   |
| 4.2 แสดง I/O Assignment ของ PLC #2.....                               | 75   |



# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ตัวอย่าง ระบบ SCADA.....  | 4    |
| 2.2 แสดงสัญญาณของการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....                                    | 5    |
| 2.3 การจัดหาพอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25.....                    | 7    |
| 2.4 แสดง การต่อสายสัญญาณ RS232 .....  | 11   |
| 2.5 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ DB9 เป็นการต่อระหว่าง เครื่อง PC กับ Wireless.....       | 13   |
| 2.6 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ DB25 เป็นการต่อระหว่าง เครื่อง PC กับ Wireless.....      | 14   |
| 2.7 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ RS232 เป็นการต่อระหว่าง เครื่อง PLC กับ Wireless.....    | 14   |
| 2.8 แสดงการตั้งชื่อในการใช้ Hyper Terminal.....   | 15   |
| 2.9 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อ.....   | 15   |
| 2.10 แสดงการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม RS232.....                               | 16   |
| 2.11 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Hyper Terminal .....  | 16   |
| 2.12 แสดงการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทาง (Half Duplex) แบบ จุดต่อจุด (Point – to – Point)..... | 17   |
| 2.13 แสดง การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป.....                      | 19   |
| 2.14 แสดงการตั้งชื่อในการใช้ Hyper Terminal แบบทดสอบ.....                               | 20   |
| 2.15 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อ.....  | 21   |
| 2.16 แสดงการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม RS232.....                               | 22   |
| 2.17 แสดงโปรแกรม Hyper Terminal.....  | 23   |
| 2.18 แสดงการเริ่มต้นการส่งข้อมูล.....   | 24   |
| 2.19 แสดงของฝ่ายรับข้อมูล.....  | 24   |
| 2.20 แสดงสถานะการทำงานของโปรแกรม Hyper Terminal.....                                    | 25   |
| 2.21 แสดง วงจรของสายที่ใช้สำหรับทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex.....                | 25   |
| 2.22 แสดงค่าน้ำของ PLC.....   | 27   |
| 2.23 แสดงการต่อแหล่งจ่าย.....   | 27   |
| 2.24 แสดงการติดต่อบetween PC กับ PLC.....   | 28   |
| 2.25 แสดงการต่อสายหัวปลั๊กโทรศัพท์ RJ-12 และหน้าที่ของ Port ต่างๆ.....                  | 28   |
| 2.26 แสดงผลไฟสถานะ CPU ของ PLC.....   | 30   |
| 2.27 แสดง การเปิด New Project ขึ้นมาเพื่อทำการเขียน โปรแกรม.....                        | 30   |
| 2.28 แสดงการเลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC .....                                       | 31   |

2.29 แสดงการต่อ PLC กับ computer และทำการ Link กับโปรแกรม DirectSOFT32.....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.30 แสดงหน้าจอการรอกการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC.....                    | 32   |
| 2.31 แสดงจะเลือกใช้ข้อมูลเป็นแบบใด.....                                | 32   |
| 2.32 แสดงการเลือก Uses Disk.....                                       | 33   |
| 2.33 แสดงบล็อกสัญลักษณ์ การเขียน Ladder.....                           | 33   |
| 2.34 แสดงวิธีการเขียน Ladder Diagram.....                              | 34   |
| 2.35 แสดงไอคอนการติดต่อกับ PLC .....                                   | 34   |
| 2.36 แสดงการเลือก Mode การทำงานของ PLC.....                            | 35   |
| 2.37 แสดงการทำงานของโปรแกรมอยู่ใน Mode RUN.....                        | 35   |
| 2.38 รูปแสดง Analog Input Module 4 Channel.....                        | 36   |
| 2.39 รูปแสดง โครงสร้างภายในของ Analog Input Module 4 Channel.....      | 37   |
| 2.40 รูปแสดงตัวเครื่อง PLC DL-05 ของ KOYO.....                         | 37   |
| 2.41 รูปแสดง V- Memory.....  | 38   |
| 2.42 รูปแสดง การสุตรคำนวณ.....   | 38   |
| 2.43 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม Ds DATA server.....        | 40   |
| 2.44 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อของ PLC.....                              | 41   |
| 2.45 แสดงการเลือกการพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์.....                    | 41   |
| 2.46 แสดงการเลือกรุ่นต่างๆ ของเครื่อง PLC.....                         | 42   |
| 2.47 แสดงการเลือกชนิดของ Protocol.....                                 | 42   |
| 2.48 แสดงการรอกการอ่านข้อมูลของเครื่อง PLC.....                        | 43   |
| 2.49 แสดงการตั้งชื่อหัวข้อของ โปรแกรมของเครื่อง PLC.....               | 43   |
| 2.50 แสดงโปรแกรม Dsdata server.....                                    | 44   |
| 3.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....                  | 45   |
| 3.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....      | 45   |
| 3.3 การควบคุมระดับน้ำในถังจากรูปที่ 3.1 ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ..... | 46   |
| 3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไป.....               | 47   |
| 3.5 การดูระดับจากคิพสติค.....  | 49   |
| 3.6 ท่อแก้วมองระดับ.....   | 51   |
| 3.7 การติดตั้งใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นแก้วสะท้อน.....             | 52   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นแก้วใส ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.9 การแบ่งแผนแก๊วระดับเป็นช่องๆ ในการใช้งานระดับช่องกว้าง.....   | 54   |
| 3.10 แผนแก๊วมองระดับแบบพิเศษ.....                                 | 55   |
| 3.11 การติดตั้งใช้งานของแบบ Multiport .....                       | 56   |
| 3.12 ระดับในช่องมองระดับจะมีระดับต่ำกว่าในภาชนะ.....              | 57   |
| 3.13 MC56 Float Liquid-Level Detector.....                        | 57   |
| 3.14 การวัดระดับโดยลูกลอย.....                                    | 59   |
| 3.15 การอ่านระดับที่ใช้รอกและเทปหมุนเข็มบนหน้าปัด.....            | 60   |
| 3.16 โครงสร้างอย่างง่ายๆ ที่ใช้เทปประกอบในการอ่านระดับ.....       | 60   |
| 3.17 การอ่านระดับโดยใช้ลูกลอยและเทป .....                         | 61   |
| 3.18 การใช้แม่เหล็กช่วยในการอ่านระดับ.....                        | 62   |
| 3.19 โครงสร้างของเกจวัดซึ่งใช้แม่เหล็กประกอบเข้ากับลูกลอย.....    | 62   |
| 3.20 การใช้คันช่วยในการอ่านระดับ.....                             | 63   |
| 3.21 การวัดระดับแบบลูกลอยที่มีการใช้63คันช่วยในการอ่านระดับ.....  | 63   |
| 3.22 D/p cell.....  | 65   |
| 3.23 สวิตช์ระดับแบบลูกลอย (Magnetic Type Float Switch).....       | 66   |
| 3.24 สวิตช์แม่เหล็ก.....  | 68   |
| 4.1 Hardware โดยรวม.....  | 69   |
| 4.2 แสดงตัวอุปกรณ์ วงจรภายใน และตำแหน่งขาของ Pressure Sensor..... | 70   |
| 4.3 แสดงวงจรและขาของ IC เบอร์ Xtr101.....                         | 71   |
| 4.4 แสดงรูปการต่อใช้งานของ IC เบอร์ Xtr101.....                   | 72   |
| 4.5 แสดงรูปการต่อใช้งานจริง.....                                  | 72   |
| 4.6 แสดงกระบวนการของโครงการ.....                                  | 73   |
| 4.7 แสดงสถานะและควบคุมการทำงานของกระบวนการ.....                   | 76   |
| 4.8 แสดงสถานะการทำงานของ PLC.....                                 | 76   |
| 4.9 แสดงสัญญาณเตือนและเหตุการณ์.....                              | 77   |
| 4.10 แสดงค่าระดับของเหลวภายในถังต่างๆ.....                        | 77   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำวิจัย

ปัจจุบันนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ขาดเสียไม่ได้ สำหรับงานทางด้านระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งระบบที่ให้บริการสาธารณูปโภค เช่น โรงผลิตและจ่ายไฟฟ้าและน้ำ เพราะสามารถลดขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยาก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ปฏิบัติงานควบคุมการผลิต หลักการสำคัญของระบบควบคุมอัตโนมัติคือ การที่สามารถนำเอาค่าสัญญาณหรือข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าหรือผลลัพธ์ควบคุมสำหรับส่งออกไปยังอุปกรณ์ควบคุม เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ ทันการ และต่อเนื่อง

ในการทำระบบควบคุมการผลิตอย่างอัตโนมัติสำหรับงานประเภทกระบวนการและโรงงานประเภทประกอบชิ้นส่วน เรามักนึกถึงการเอาระบบคอมพิวเตอร์เฉพาะอย่าง เช่น DCS หรือ PLC มาใช้พัฒนาอย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือพีซี (PC) ได้รับการพัฒนาการล้ำหน้าอย่างมาก จึงมีการเอาพีซีมาพัฒนาเข้ามาร่วมกับทำเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ

เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติก็ยังไม่พ้นระบบคอมพิวเตอร์ ที่จัดได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบ และได้รับความไว้วางใจจากมนุษย์ว่าสามารถปฏิบัติงานดังกล่าวได้อย่างไม่มีผิดพลาด ระบบ SCADA เป็นอีกระบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมและสถานีบริการสาธารณูปโภคต่างๆ อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ ในระดับเดียวกัน

โครงการนี้เป็นทดลองการทำแบบจำลองระบบสคาดา (SCADA) แบบไร้สาย ซึ่งเป็นการสื่อสารระยะไกล โดยการใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับ PC โดยการนำสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์มาทำการมอดูเลตแบบ FSK (Frequency Shift Keying) แล้วทำการส่งโดยการส่งผ่านภาคส่งของเครื่องส่งวิทยุและ รับสัญญาณโดยผ่านเครื่องรับวิทยุแล้วนำมาทำการผ่านการดีมอดูเลต จากนั้นทำการอินเตอร์เฟส (Interface) สัญญาณจ่ายกลับให้ PLC

โครงการนี้เป็นทดลองการทำแบบจำลองระบบ SCADA แบบไร้สายโดยการใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC 2 ตัว ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานและแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบในรูปแบบของ Graphic, Chart, Alarm and Event, Database

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาและประยุกต์ใช้งาน PLC
2. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Visual Basic
3. ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Visual Basic กับ เครื่อง PLC
4. ทำการควบคุม Plant โดยผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์แบบไร้สายได้

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ทำแบบจำลอง Plant
2. แสดงหน้าจอการทำงานของ Plant บนเครื่องคอมพิวเตอร์ และสามารถควบคุม Plant ผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์แบบไร้สายได้
3. สามารถเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Visual Basic กับเครื่อง PLC

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของ การสื่อสารแบบไร้สาย คือ ทำการศึกษาถึง MODEM กล่าวคือ เรื่อง การ Modulation และ Demodulation ว่ามีกี่แบบอะไรบ้าง ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้มีการใช้แบบ FSK (Frequency Shift Keying) และทำการศึกษาถึงหลักการใช้งาน และทำงานของเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER: PLC) ว่ามีการใช้งานอย่างไร และใช้ Protocol แบบไหนในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง PLC 2 เครื่อง หรือระหว่างเครื่อง PLC กับ โปรแกรม Visual Basic และทำการศึกษาถึงการใช้งานโปรแกรม Visual Basic เพื่อที่จะได้ใช้โปรแกรม Visual Basic ในการสร้าง Graphic หน้าจอเป็นรูปต่างๆ ในโครงการนี้ได้ทำเป็นรูป Plant แบบการวัดระดับ และยังมีการใช้โปรแกรม Visual Basic ในการสั่งงานให้ Plant ทำงาน โดยผ่านทางหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำการศึกษาถึงตัววัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure) ตลอดจนเรื่องของ การปรับเทียบค่า (Calibration)

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 SCADA

สกาด้า (SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition)

สกาด้า หมายถึง ระบบที่สามารถดึงเอาสัญญาณจากระบบการที่อยู่ในรูปแบบของไฟฟ้าหรือพลังงานอื่นๆมาแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นตัวเลขเพื่อประโยชน์ต่างๆให้กับผู้ปฏิบัติงาน (Data Acquisition) เช่น นำไปแสดงผลบนจอภาพเพื่อติดตามผล(Monitoring) คำนวณสรุปผล รายงานการทำงานของระบบการผลิต (Logging Report) บันทึกเก็บไว้เป็นสถิติเพื่อการวิเคราะห์การผลิต เป็นต้น ขณะเดียวกันข้อมูลที่ได้สามารถนำมาคำนวณด้วยทางสมการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง เพื่อกำหนดค่าการควบคุมทางปฏิบัติที่พนักงานควบคุมไม่สามารถคิดคำนวณได้ทันการในเวลาปกติ ค่าคำนวณที่ได้นี้จะถูกส่งป้อนกลับไปยังอุปกรณ์ควบคุมการผลิตเพื่อให้ควบคุมค่าตามที่คำนวณเหล่านี้ (Supervisory Control) สกาด้าเป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องควบคู่กับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เป็นหัวใจในการทำงาน สกาด้าต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ประเภท ได้แก่

- อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (I/O Device)
- อุปกรณ์สื่อสารข้อมูล
- เครื่องคอมพิวเตอร์

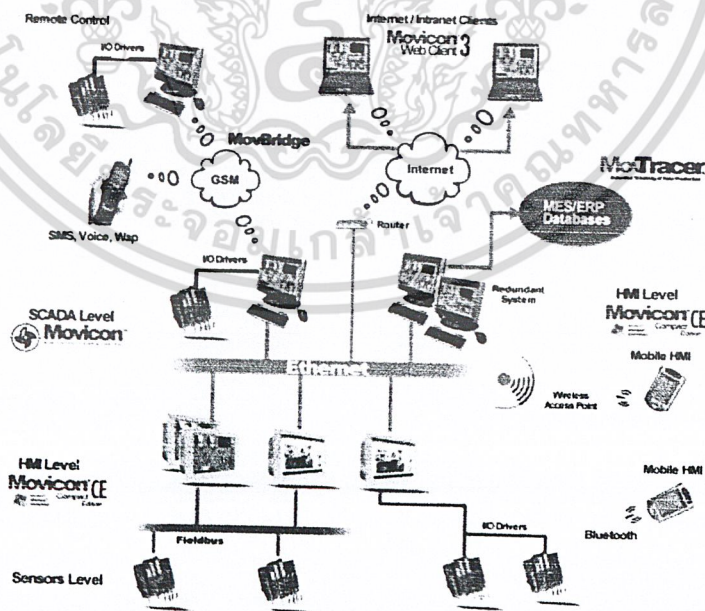
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณทำหน้าที่อ่าน สัญญาณป้อนเข้า(Input) ที่ได้จากตัววัดในรูปของสัญญาณอนาล็อกและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เป็นตัวเลข เพื่อส่งไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะเดียวกันจะมีอุปกรณ์ภาคส่งที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณออก (Output) จากสัญญาณแบบดิจิทัลแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์รับส่งสัญญาณเองก็จะมีระบบคอมพิวเตอร์อยู่ในตัวเพื่อทำหน้าที่สื่อสารสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่มีใช้กันทั่วไป ได้แก่ พีแอลซี , อุปกรณ์ควบคุม (Control) , อาร์ทียู (RTU : Remote terminal Unit) และเครื่องวัดต่างๆที่สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้

อุปกรณ์สื่อสารเป็นส่วนสำคัญ ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณดิจิทัลไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณเหล่านี้ จะต้องมีช่องต่อสำหรับติดต่อสื่อสารสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยทั่วไปจะใช้แบบมาตรฐาน RS- 232 C และในปัจจุบันนี้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณได้รับการพัฒนาให้สามารถสื่อสารสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ด้วยระบบเครือข่ายข้อมูลท้องถิ่น (Local Area Network) ตามมาตรฐาน RS 422 และ RS 485 โดยต่อสายสัญญาณระหว่างกันระหว่างกันด้วยสื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแบบสายขดตีเกลียวจนถึงสายใยแก้วนำแสง อีกทั้งมีการพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารระยะไกลถึงกันได้ด้วยสื่อสัญญาณแบบผ่านทางสายโทรศัพท์ และคลื่นวิทยุด้วยการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ผสมผสานกับเทคโนโลยีสื่อสารข้อมูล(Data Communication) เครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบ Scada จึงสามารถรับส่งสัญญาณจากที่ไกลๆได้

เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เป็นหัวใจของระบบสกาด้า ในอดีตมีการนำระบบคอมพิวเตอร์เมนเฟรมและขนาดกลางมาใช้งานในระบบสกาด้า แต่ในปัจจุบันได้พัฒนามาใช้ระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เป็นแบบส่วนบุคคลและเป็นแบบ Work station มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ดีกว่า ส่วนที่สำคัญคือตัวซอฟต์แวร์สามารถทำงานแบบ Real-Time Multitasking ได้นั้น คือสามารถทำหน้าที่หลายๆ พร้อมกันในขณะเดียวกัน เช่น

- สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ
- แสดงค่าที่อ่านได้บนจอภาพ
- เก็บบันทึกข้อมูลระยะยาวบนหน่วยความจำ (Historical Trending)
- ตรวจสอบและแสดงสัญญาณเตือน (Alarming) ด้วยภาพและเสียงและบันทึกลงบนหน่วยความจำซึ่งสามารถสั่งพิมพ์ออกบนกระดาษได้
- คำนวณค่าสำหรับแสดงผลเก็บบันทึกและควบคุม (Calculation and Controlling)
- พิมพ์รายงานผลการปฏิบัติงานบนเครื่องพิมพ์ (Logging Report)
- ตอบรับข้อมูลที่ป้อนผ่านแป้นพิมพ์จากผู้ปฏิบัติงาน

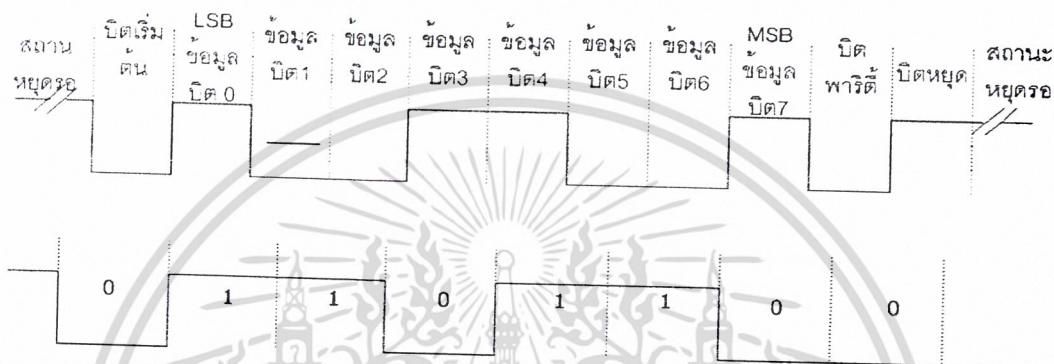


รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่าง ระบบ SCADA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลไปในสาย โดยไม่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอข้อมูล หรือ บอครต (Baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second: bps)



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณของการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสจะประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิต หรือไม่มีก็ได้
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิตก็ได้

จากรูปเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่ง ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting State) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิกเป็น “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต ซึ่งจะมีการเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีค่านัยสำคัญต่ำที่สุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะทำการส่งออกไปอาจจะ มีจำนวน 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะทำการส่งคือ บิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ค่า DATA มีสถานะเป็น 1 อีกครั้ง ด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมา สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเรียกว่า UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver / Transmitter ด้วยอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ ค่าบอครต ซึ่งก็คือ ค่าจำนวนบิตต่อวินาทีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

บอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที

และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที เนื่องจากบอดเรตคือจำนวนบิตของข้อมูลที่ถ่ายถอดได้ภายใน 1 วินาที ยกตัวอย่าง ข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูลที่รับส่งนี้เท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลนี้เท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตีความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเหลือเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (Odd) หรือแบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ การตรวจสอบพาริตีเป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก "1" ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์

### 2.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่าสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

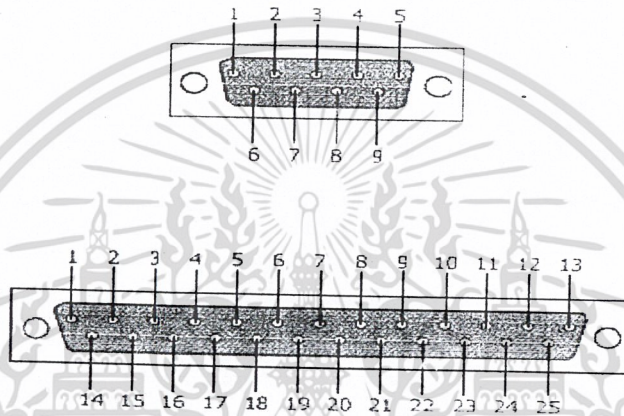
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดคือ คอนเน็คเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็คเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็คเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

### คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 ตัวผู้หรือ DB-25 ตัวผู้สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

ตารางที่ 2.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

| คอนเน็กเตอร์ DB-9 | คอนเน็กเตอร์ DB-25 | ชื่อของสายสัญญาณ          | ชนิดของสายสัญญาณ |
|-------------------|--------------------|---------------------------|------------------|
| 1                 | 8                  | Data Carrier Detect : DCD | อินพุต           |
| 2                 | 3                  | Received Data : RxD       | อินพุต           |
| 3                 | 2                  | Transmitted Data : TxD    | เอาต์พุต         |
| 4                 | 20                 | Data Terminal Ready : DTR | เอาต์พุต         |
| 5                 | 7                  | Signal Ground             | -                |
| 6                 | 6                  | Data Set Ready : DSR      | อินพุต           |
| 7                 | 4                  | Request To Send : RTS     | เอาต์พุต         |
| 8                 | 5                  | Clear To Send : CTS       | อินพุต           |
| 9                 | 22                 | Ring Indicator : RI       | อินพุต           |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

- **Data Carrier Detect: DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกติฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- **Receive Data: RD** หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- **Data Terminal Ready: DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อดำเนินไป โดยขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจสอบสัญญาณพาห์
- **Signal Ground: GND** กราวด์ระบบ
- **Data Set Ready: DSR** ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก ซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- **Request To Send: RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem จะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- **Clear To Send: CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- **Ring Indication: RI** ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ได้ถูกใช้งาน จะใช้สายนี้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

**UART** มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัสแล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่น ๆ ให้คอมพิวเตอร์ทราบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปจะขอยกเว้นค่าในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างบอดเรตแบบโปรแกรมได้ โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1 – 65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน

### ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่ใช้กันมาช้านาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิพรีจิสเตอร์แบบ FIFO ( First In First Out ) ขนาด 16 ไบต์เข้าไป ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน + 5 V และ + 3 V มีโหมคประหัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

## 2.4 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Wireless-RS232)

### 2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ชุด Wireless – RS232 เป็นชุด Signal Converter สำหรับใช้แปลงสัญญาณระหว่าง RS232 และ RF-Wireless โดยในโหมคการทำงานของการทำงานของการส่งข้อมูล (Transmitter) จะทำหน้าที่ที่รองรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จากขา RX แล้วแปลงเป็นสัญญาณความถี่ (FSK) ส่งออกไปในอากาศ และในทางกลับกันในโหมคการทำงานแบบรับ (Receiver) ของชุด Wireless – RS232ก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่คอยตรวจจับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณความถี่ (FSK) จากด้าน RF เพื่อแปลงกลับเป็นข้อมูลแบบ RS232 ส่งออกไปที่ขา TX ได้ด้วย

ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดแปลงสัญญาณ Wireless – RS232 นั้น สามารถนำไปต่อใช้งานร่วมกับพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ RS232 เพื่อใช้งานในลักษณะของการสื่อสารอนุกรมแบบไร้สาย (Wireless Transceiver) ได้โดยตรงโดยจะมีข้อดีกว่าคือ สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่า RS232 หลายเท่าตัว และประการสำคัญคือไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณที่เป็นตัวนำสัญญาณทางไฟฟ้าในการสื่อสารข้อมูลกัน ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลง หรือเคลื่อนย้ายจุดรับส่งได้ตลอดเวลา ซึ่งถ้าเป็นการรับส่งด้วยระบบ RS232 แบบที่ใช้สายสัญญาณนั้น จะเกิดความยุ่งยากในการติดตั้งสายสัญญาณเป็นอย่างมาก

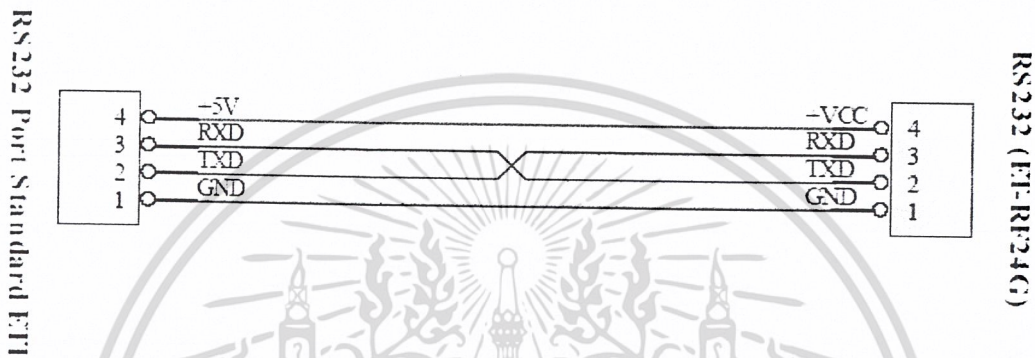
แต่อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการสื่อสารนั้น ก็มีข้อจำกัดบางประการเหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เรื่องความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้รับส่งกัน ซึ่งมีโอกาสผิดพลาดหรือสูญหายได้เหมือนกัน เนื่องจากในการลำเลียงข้อมูลนั้น ไม่ได้ใช้สัญญาณเป็นตัวกลางในการสื่อสารรับส่งข้อมูล แต่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลแทน ซึ่งมีโอกาสที่ข้อมูลจะเกิดการรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ ที่มีย่านความถี่ใกล้เคียงกัน แล้วทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนไปได้บ้างเหมือนกัน ซึ่งระบบการจัดการข้อมูลของเครื่อง Wireless – RS232 นั้น มีระบบการเข้ารหัส และถอดรหัสที่มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่จัดว่าดี โดยข้อมูลแต่ละ Byte ที่มีการรับส่งกันนั้น จะมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลให้ด้วยแล้ว โดยข้อมูลที่รับได้จากด้าน RF นั้นรับประกันได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องแน่นอน แต่อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลนั้นมีโอกาสผิดพลาดในเรื่องการสูญหายของข้อมูลบ้างเหมือนกัน เนื่องจากกลไกในการรับส่งข้อมูลของเครื่อง Wireless – RS232 นั้น จะมีการตรวจสอบข้อมูลทุก Byte ที่รับได้จาก RF เสมอ ซึ่งถ้าพบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะทิ้งข้อมูล Byte นั้นไป ซึ่งผู้ใช้ควรมีกลไกในการตรวจสอบข้อมูลที่รับส่งกันว่าครบถ้วนหรือไม่ด้วย ซึ่งหากพบว่ามีการสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นก็ให้ร้องขอให้มีการส่งข้อมูลนั้นซ้ำๆ ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ก็จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

#### 2.4.2 Power Supply

สำหรับการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่อง Wireless – RS232 นั้น จะสามารถเลือกต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องได้ 2 ทางด้วยกัน โดยเครื่อง Wireless – RS232 นั้น ต้องการไฟเลี้ยงวาทร์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ขนาดประมาณ +5VDC ถึง +9VDC โดยจุดเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟของเครื่อง Wireless – RS232 นี้ สามารถเชื่อมต่อได้ 2 จุดด้วยกัน โดยผู้ใช้สามารถเลือกต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่อง Wireless – RS232 จุดใดจุดหนึ่งก็ได้

ในกรณีที่นำเครื่อง Wireless – RS232 ไปต่อเชื่อมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่างๆ นั้นสามารถใช้แหล่งจ่ายจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อจ่ายไฟให้กับตัวเครื่อง Wireless – RS232 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เนื่องจากขั้วต่อสัญญาณ RS232 ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่างๆ ได้จัดเตรียมแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด +5V เตรียมไว้ให้ด้วยแล้ว โดยผู้ใช้เพียงแต่นำสายสัญญาณ RS232 ซึ่งทำการต่อสายสัญญาณครบทั้ง 4 เส้น ดังรูปมาเชื่อมต่อก็สามารถใช้งานได้แล้ว



รูปที่ 2.4 แสดง การต่อสายสัญญาณ RS232 เพื่อใช้แหล่งจ่ายไฟจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

แต่สำหรับกรณีที่น่าเครื่อง Wireless – RS232 ไปต่อใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ได้มีการจัดเตรียมจุดต่อไฟเลี้ยงไว้ให้ด้วย ผู้ใช้จำเป็นต้องจัดหา Adapter จ่ายไฟจากภายนอกมาต่อให้กับเครื่อง Wireless – RS232 ต่างหากด้วย โดยให้เลือกแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดแรงดันไฟตรงประมาณ +5VDC และสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 300mA เป็นอย่างน้อย ซึ่งในกรณีนี้ขอแนะนำให้เลือกใช้ Power Supply ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟแบบ Switching Power ใช้กับไฟบ้าน 220VAC และให้เอาที่พุทเป็นไฟกระแสตรง ขนาดประมาณ 5VDC/750mA โดยที่ Power Supply สามารถใช้งานร่วมกับเครื่อง Wireless – RS232 ได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความร้อนสะสมที่วงจร Regulate ของเครื่อง Wireless – RS232 มากนัก ซึ่งถ้ามีการเลือกแหล่งจ่ายไฟรุ่นอื่นๆ ที่มีขนาดแรงดันสูงกว่า +5V มากๆ ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถใช้งานร่วมกับเครื่อง Wireless – RS232 ได้ แต่ถ้ามีการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ แล้ว อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ตัวไอซี Regulate มากเกินไป จนอาจทำให้ภาค Power ของเครื่อง Wireless – RS232 หยุดจ่ายไฟทำให้เครื่องหยุดทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 โหมดการทำงาน

สำหรับโหมดการทำงานของเครื่อง Wireless – RS232 นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดด้วยกัน โดยการกำหนดโหมดการทำงานของ Wireless นั้นจะกระทำผ่าน Switch เลือกโหมด ซึ่งอยู่ด้านใต้ กัดอง โดยการเลือกโหมดการทำงานนั้นจะต้องกระทำให้เสร็จเรียบร้อยก่อนการจ่ายไฟให้กับ Wireless – RS232 ด้วยเสมอ เนื่องจากการทำงานของเครื่อง Wireless – RS232 นั้นจะทำการ ตรวจสอบโหมดการทำงานของเครื่องจาก Switch เลือกโหมด เฉพาะในช่วงของการจ่ายไฟเลี้ยงให้ เครื่องเริ่มต้นการทำงานครั้งแรก (Power-ON) เท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการทำงานของ Switch เลือกโหมด หลังจากทำการจ่ายไฟให้กับ Wireless – RS232 ไปแล้ว จะไม่มีผลต่อการทำงาน ของเครื่องแต่อย่างใด โดยการทำงานของเครื่อง Wireless – RS232 นั้นจะมี LED แสดงสถานการณ์ ทำงานของเครื่องจำนวน 2 หลอด คือ LED POWER ซึ่งเป็น LED สีแดง โดยที่ LED POWER นี้จะ ติดสว่างให้เห็นอยู่ตลอดเวลาที่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้เครื่องทำงานอยู่ ส่วน LED อีกดวงหนึ่งนั้นจะเป็น LED สีเขียว ใช้แสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่องซึ่งเรียกว่า LED STATUS โดย LED STATUS นี้ จะเกิดการกระพริบตามจังหวะของการรับส่งข้อมูลกันในแต่ละครั้ง โดยในสภาวะปรกตินั้น ถ้าเครื่อง ทำงานอยู่ใน RUN MODE หลอด LED STATUS จะดับอยู่ตลอดเวลาถ้าไม่มีการรับส่งข้อมูล แต่ถ้า ตัวเครื่องทำงานอยู่ใน SETUP MODE หลอด LED STATUS จะติดอยู่ตลอดเวลาถ้าไม่มีการรับส่ง ข้อมูล โดยในโหมดการทำงานของ Wireless – RS232 จะมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมดคือ RUN Mode และ Setup Mode

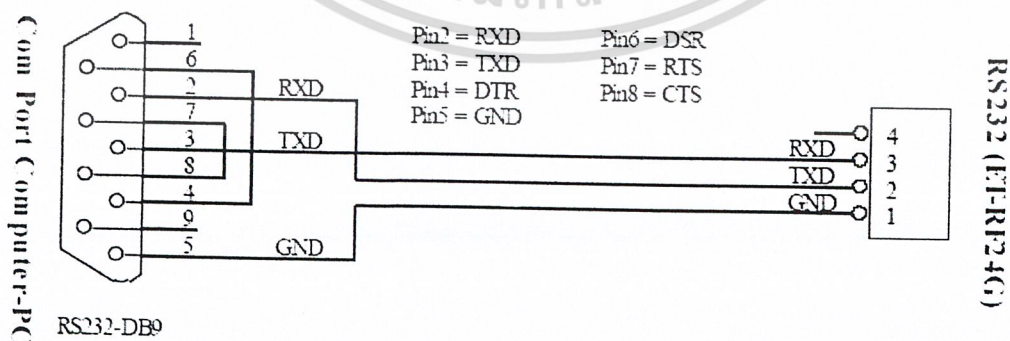
### 2.4.4 ข้อเสนอแนะในการกำหนดค่า Configuration ของ Wireless – RS232

การกำหนดค่า Configuration ของ Wireless – RS232 นั้นสามารถเลือกกำหนดได้ตาม ความต้องการและจุดประสงค์ของการใช้งาน โดยแต่ละโหมดของการใช้งานนั้นมีค่า Configuration ที่ เหมาะสมต่างกัน ซึ่งขอแนะนำวิธีการกำหนดค่า Configuration ดังแนวทางต่อไปนี้

- ความเร็วในการรับส่งข้อมูลด้าน RS232 หรือ User RS232 Baud rate ที่ความเร็ว 19200 Bps นั้นเหมาะกับการใช้งานของ Wireless-RS232 แบบ Receive Only หรือ Transmit Only ซึ่งมีการตรวจสอบความพร้อมของสัญญาณในการรับส่งข้อมูลกันด้วย แต่ถ้าต้องการใช้งานเครื่อง Wireless – RS232 ในโหมด Auto Direction นั้น ควรกำหนดค่า User RS232 Baud rate ไว้ที่ความเร็ว ไม่เกิน 9600 Bps จะดีที่สุด และควรกำหนดค่า Baud rate ของ ทั้ง สองฝ่ายให้มีค่าเท่ากัน
- ค่าความเร็วของการรับส่งข้อมูลด้าน RF หรือ RF Data Rate ที่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ ระยะทางไกลที่สุด และมีโอกาสผิดพลาดน้อยที่สุด คือ 250Kbps
- ค่า RF Power Gain ที่ดีที่สุดคือ 0 dBm ซึ่งเป็นค่ากำลังส่งสูงสุด ซึ่งจะทำให้สามารถ

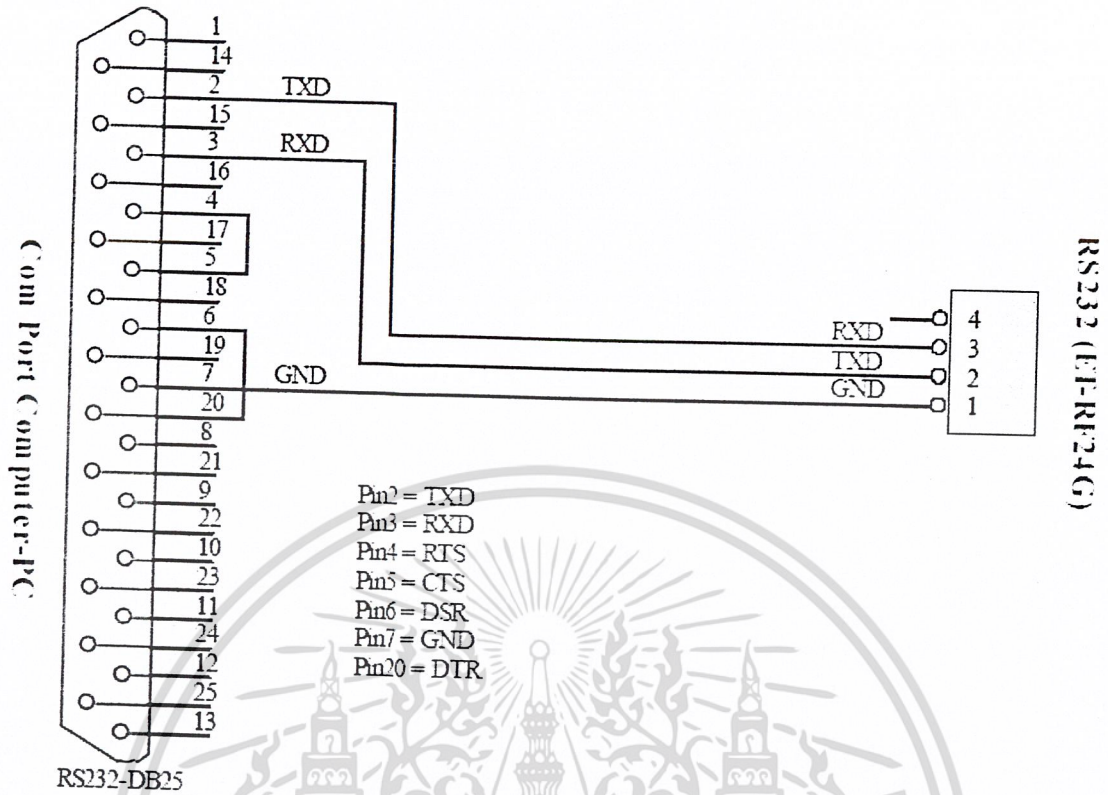
- รับส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลที่สุด แต่ถ้าระยะการรับส่งข้อมูลไม่ไกลกันมาก และมีการใช้งาน Wireless – RS232 จำนวนหลายๆกลุ่มในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ก็อาจทำการลดกำลังส่งให้ต่ำลง เพื่อลดปัญหาการรบกวนกันหรือกำหนดช่องความถี่ RF Frequency Channel ให้ห่างกันมากๆ
- ในกรณีที่มีการใช้ Wireless – RS232 หลายๆกลุ่มในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ควรกำหนดช่องความถี่ในการใช้งาน หรือ RF Frequency Channel ให้ห่างกันด้วยเพื่อป้องกันการรบกวนกัน
- การใช้ Wireless – RS232 แบบ Auto Direction นั้น ถ้ามีการส่งข้อมูลจำนวนมากๆ ควรจัดแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดๆ โดยให้มีขนาดข้อมูลชุดละไม่เกิน 64 Byte โดยในการส่งข้อมูลแต่ละชุดนั้นให้ทำการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องโดยให้ข้อมูลแต่ละ Byte มีระยะเวลาห่างกันไม่เกิน 2.5 mS เนื่องจากถ้าข้อมูลขาดหายไปนานกว่านี้ Wireless – RS232 จะทำการเปลี่ยนโหมดของการส่งข้อมูลกลับเป็นโหมดของการรับข้อมูลแทน ซึ่งเมื่อมีการส่งข้อมูล Byte ถัดไปมาอีกก็จะต้องเสียเวลาในการสลับโหมดจากฝ่ายรับข้อมูลให้เป็นฝ่ายส่งข้อมูลอีก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการจัดส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากต้องเสียเวลาในการสลับโหมดการทำงานของวงจรภาค RF อยู่ตลอดเวลา โดยที่เมื่อทำการจัดส่งข้อมูลครบ 64 Byte แล้ว ให้ทำการหน่วงเวลาไว้ชั่วขณะหนึ่งประมาณ 1 mS – 2 mS แล้วจึงส่งข้อมูลชุดถัดไปอีกอย่างนี้เรื่อยๆจะทำให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงสุด
- การใช้ Wireless – RS232 แบบ Auto Direction นั้น ควรหน่วงเวลาในการสลับโหมดจากฝ่ายของการรับข้อมูลเป็นฝ่ายส่งข้อมูล อย่างน้อยที่สุด 3 mS – 5 mS ซึ่งถ้าส่งข้อมูลย้อนกลับด้วยเวลาที่เร็วกว่านี้อาจทำให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถรับข้อมูล Byte แรกได้ทัน

2.4.5 การเชื่อมต่อสัญญาณ RS232

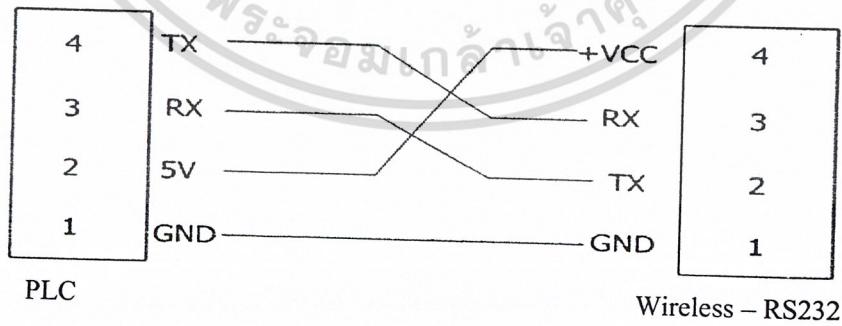


รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ DB9 ซึ่งเป็นการต่อระหว่างเครื่อง PC กับ Wireless-RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ DB25 ซึ่งเป็นการต่อระหว่าง เครื่อง PC กับ Wireless - RS232

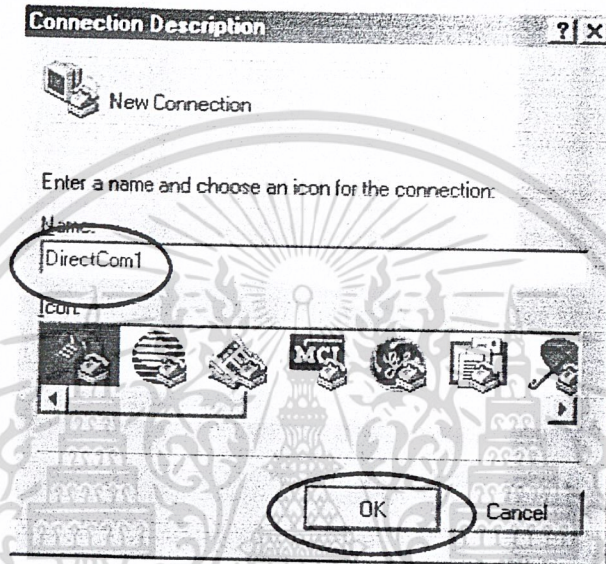


รูปที่ 2.7 แสดงการเชื่อมต่อ RS232 กับ RS232 ซึ่งเป็นการต่อระหว่าง เครื่อง PLC กับ Wireless - RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

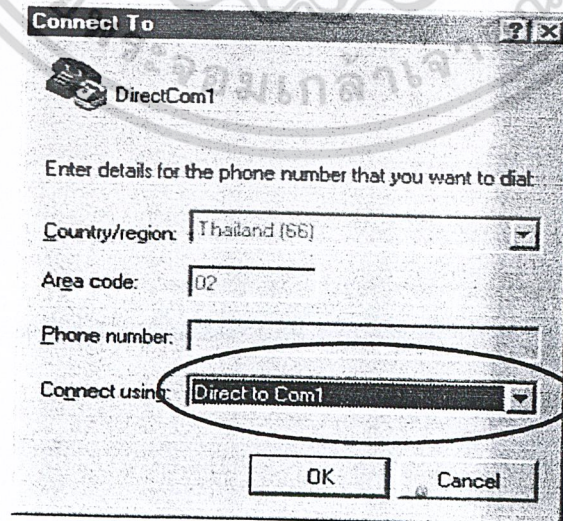
ตัวอย่างการใช้งานนั้น จะขอแสดงให้เห็น โดยใช้คอมพิวเตอร์ PC เป็นอุปกรณ์การทดลอง โดยในที่นี้จะขอเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการสื่อสารของ Window ซึ่งก็คือ Hyper Terminal โดยใน 2 ตัวอย่างแรกนั้นจะใช้งานกับ Wireless – RS232 ในโหมด Auto Direction ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. เรียกใช้โปรแกรม Hyper Terminal ของ Window โดยเรียกจาก Start → Program → Accessories → Communication → Hyper Terminal ซึ่งจะได้ผลดังรูป



รูปที่ 2.8 แสดงการตั้งชื่อในการใช้ Hyper Terminal

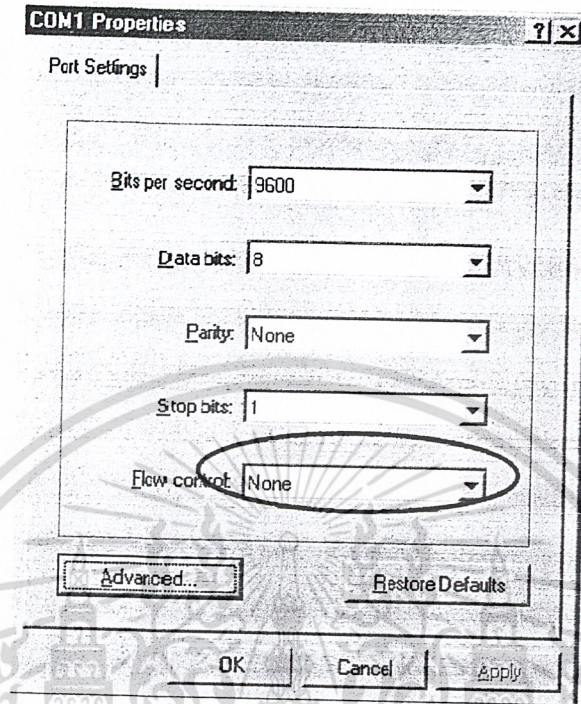
2. ให้เลือกกำหนดชื่อสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถกำหนดได้เองตามต้องการ โดยในตัวอย่างจะกำหนดเป็น DirecCom1 จากนั้นให้เลือก OK เพื่อข้ามไปยังขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 2.9 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อ

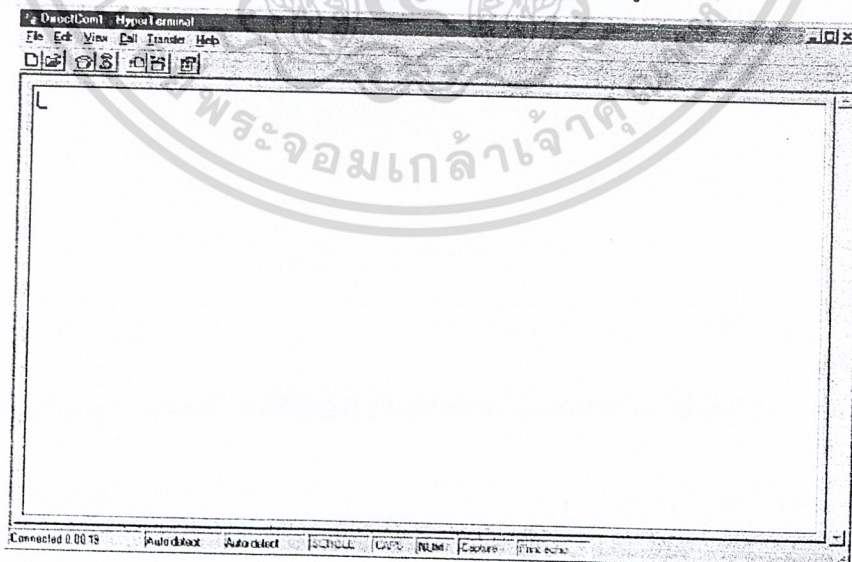
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ให้เลือกกำหนดการเชื่อมต่อเป็น Direct to Com1 ซึ่งถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็น Comport อื่นที่ไม่ใช่ Com1 ก็ให้เลือกให้ตรงกับความเป็นจริง จากนั้นให้เลือก OK เพื่อข้ามไปยังขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 2.10 แสดงการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม RS232

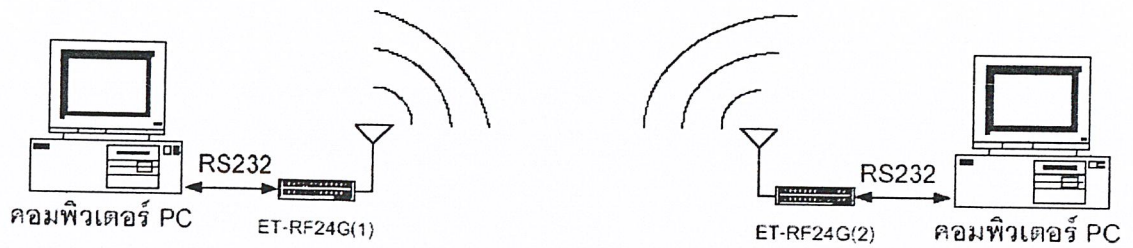
4. ขั้นตอนนี้ จะใช้สำหรับกำหนดคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรม RS232 โดยให้เลือก Bit per second = 9600, Data Bit = 8, Parity = None, Stop Bit = 1 ส่วน Flow Control ให้เลือกเป็น none จากนั้นเลือก OK ซึ่งจะเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลักของ Hyper Terminal ดังรูป



รูปที่ 2.11 แสดงหน้าจอของ โปรแกรม Hyper Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 การรับส่งข้อมูล 2 ทิศทาง (Half Duplex) แบบ จุดต่อจุด (Point – to – Point)



รูปที่ 2.12 แสดงการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทาง (Half Duplex) แบบจุดต่อจุด (Point – to – Point)

สำหรับตัวอย่างนี้จะเป็นการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารอนุกรมแบบ RS232 จำนวน 2 ชุด โดยต้องใช้รูปแบบการสื่อสารแบบ Half Duplex หรือผลัดกันรับ ผลัดกันส่ง กล่าวคือ ด้านรับจะต้องทำการรอรับข้อมูลจากด้านส่งจนครบทั้งหมด แล้งจึงส่งข้อมูลตอบกลับไปได้ ซึ่งจะไม่สามารถส่งข้อมูลสวนทางกลับไปในขณะที่กำลังรับข้อมูลอยู่ได้ โดยการสื่อสารแบบนี้ฝ่ายรับข้อมูลจะต้องรอให้รับข้อมูลได้ครบทั้งหมดเสียก่อน จากนั้นจึงจะส่งข้อมูลตอบกลับไปได้ โดยให้กำหนดค่า Configuration ของตัว Wireless – RS232 เป็นดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการตั้งค่าต่างๆระหว่างตัวรับ และ ตัวส่ง

| ค่า Configuration    | Wireless – RS232 ตัวที่ 1 | Wireless – RS232 ตัวที่ 2 |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| User RS232 Baudrate  | 9600 Bps                  | 9600 Bps                  |
| RF Data Rate         | 250 Kbps                  | 250 Kbps                  |
| RF Operation Mode    | Auto Direction            | Auto Direction            |
| RF Power Gain        | +0dBm                     | +0dBm                     |
| RXD ID Code          | 01                        | 02                        |
| TXD ID Code          | 02                        | 01                        |
| RF Frequency Channel | 0                         | 0                         |

ข้อสังเกตในการกำหนด Configuration

- ค่า RF Frequency Channel ต้องกำหนดให้ตรงกันทั้ง 2 ตัว
- ค่า RF Data Rate ต้องกำหนดให้ตรงกันทั้ง 2 ตัว
- ค่า RXD ID Code ของตัวที่1 ต้องตรงกับ TXD ID Code ของตัวที่2
- ค่า TXD ID Code ของตัวที่1 ต้องตรงกับ RXD ID Code ของตัวที่2

สำหรับการทดสอบการทำงานด้วย Hyper Terminal นั้น ให้ทดลองกดคีย์ใดๆ ในขณะที่โปรแกรม Hyper Terminal อยู่ โดยจะสังเกตเห็นตัวอักษรจากแป้นพิมพ์ของฝ่ายส่งข้อมูล จะถูกส่งออกไปแสดงผลที่หน้าจอโปรแกรม Hyper Terminal ของอีกฝ่ายหนึ่งในทันที

ข้อสังเกตในการกำหนด Configuration

- ค่า RF Frequency Channel ต้องกำหนดให้ตรงกันทั้งหมดทุกตัว
- ค่า RF Data Rate ต้องกำหนดให้ตรงกันหมดทุกตัว
- ค่า RXD ID Code ของตัวที่1 (Master) ต้องตรงกับ TXD ID Code ของตัวที่2-4 (Slave1-3)
- ค่า TXD ID Code ของตัวที่1 (Master) ต้องตรงกับ RXD ID Code ของตัวที่2-4 (Slave1-3)

สำหรับการสื่อสารแบบนี้ จะต้องมีการกำหนด Protocol ขึ้นมาใช้ในการรับส่งข้อมูลกันด้วย ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ใช้รหัส เครื่องหมาย '\*' เป็นรหัสเริ่มต้นของชุดข้อมูล ตามด้วยรหัสหมายเลข ID Code ของ Slave ปลายทางเป็นตัวเลข 2 หลัก และจบด้วยรหัส Enter ดังนั้น ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง Master จะต้องทำการส่งข้อมูลขนาด 4 Byte เสมอ และทางด้าน Slave ก็จะต้องรับข้อมูล โดยจะรอรับรหัสเครื่องหมาย '\*' ได้แล้ว จึงรอรับข้อมูลถัดไปอีก 2 Byte จากนั้นจึงรอรับข้อมูล Byte ที่ 4 ซึ่งจะต้องตรวจสอบว่าเท่ากับรหัส Enter หรือไม่ ซึ่งถ้าใช่ก็แสดงว่ารับข้อมูลมาถูกต้อง จากนั้นจึงทำการตรวจสอบข้อมูลใน Byte ที่ 4 ซึ่งจะต้องตรวจสอบเท่ากับรหัส Enter หรือไม่ ซึ่งถ้าใช่ก็แสดงว่ารับข้อมูลมาถูกต้อง จากนั้นจึงทำการตรวจสอบข้อมูลใน Byte ที่ 2 และ 3 ว่าตรงกับรหัส ID Code ของตัวเองหรือไม่ โดย จะมีรหัสเป็น '0, 1 ส่วน Slave-2 และ Slave-3 ก็จะมีรหัส ID Code ของตนเอง ก็ให้ตอบกลับด้วย รหัส ID Code ตามด้วยข้อความ 'OK'

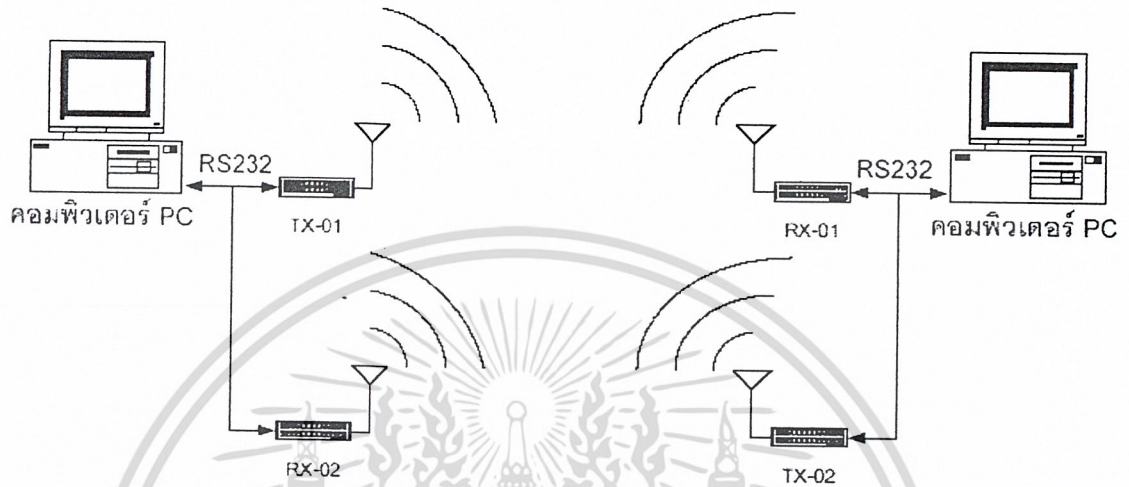
ซึ่งจากตัวอย่าง Protocol ข้างต้นจะได้ว่า เมื่อ Master ต้องการส่งข้อมูลไปยัง Slave-1 จะต้องมีการระบุหมายเลข ID Code ของ Slave-1 รวมไปในชุดข้อมูลด้วย โดยจะส่งข้อมูลเป็น '\*', '1', '0', Enter ออกไป ซึ่งข้อความดังกล่าวที่ส่งออกไปจาก Master นั้น ตัว Slave ทุกตัวจะสามารถรับข้อมูลได้เหมือนกันหมด ซึ่ง Slave ทุกตัวจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รับได้ จะต้องกลับด้วยข้อมูล '\*', '1', '0', 'K', Enter เป็นต้น

ซึ่งจากตัวอย่างที่ได้กล่าวอธิบายมานี้ เป็นเพียงตัวอย่างแนวทางขั้นต้น เท่านั้น ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องมีการดัดแปลงและเพิ่มเติมข้อกำหนดต่างๆเข้าไปในชุดข้อมูลอีก เช่น รหัสคำสั่ง รหัสตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Checksum) เป็นต้น ซึ่งข้อกำหนดต่างๆเหล่านี้ผู้ใช้สามารถ คิดค้น ออกแบบ รูปแบบของข้อมูลและคำสั่งต่างๆขึ้นมาใช้งานได้เองตามต้องการ

สำหรับการทำงานตรวจสอบด้วยโปรแกรม Hyper Terminal นั้น อันดับแรกให้ทดสอบกดแป้นพิมพ์จากเครื่องที่เป็น Master ด้วยข้อความ \*01 และ Enter ดู ซึ่งจะเห็นข้อความดังกล่าวไปแสดงอยู่ที่หน้าจอโปรแกรมที่เป็นของตัว Slave ทุกๆตัวเหมือนกันหมด จากนั้นให้ทดลองคีย์ข้อความ \*01OK และ Enter จาก Slave-1 ซึ่งก็จะเห็นข้อความนั้นไปปรากฏที่หน้าจอโปรแกรมของตัว Master ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปแสดงผลยังหน้าจอของ Slave ทุกตัวเหมือนกันหมด และเมื่อมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลใดๆจาก Slave ไม่ว่าตัวใด ข้อมูลนั้นๆจะถูกส่งไปแสดงผลยังหน้าจอของ Master เช่นเดียวกัน แต่ข้อมูลที่ถูส่งจาก Slave จะไม่ถูกส่งไปแสดงผลที่หน้าจอของ Slave ตัวอื่นๆ เลย

ตัวอย่างที่ 2 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป



รูปที่ 2.13 แสดง การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ในตัวอย่างนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้งานเครื่อง Wire less สำหรับทำการรับส่งข้อมูลกันแบบ Full Duplex โดยกำหนดโหมดการใช้งานเป็น RF Receive Only และ RF Transmit Only ฝ้ายละชุด

ตารางที่ 2.3 แสดง การตั้งค่าต่างๆ แบบ Full Duplex

| ค่า Configuration    | ET-RF24G V1.0 ฝ้ายต้นทาง |                  | ET-RF24G V1.0 ฝ้ายปลายทาง |                  |
|----------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                      | ตัวที่1 (RF RX1)         | ตัวที่2 (RF TX1) | ตัวที่3 (RF RX2)          | ตัวที่4 (RF TX2) |
| User RS232 Baudrate  | 19200 Bps                | 19200 Bps        | 19200 Bps                 | 19200 Bps        |
| RF Data Rate         | 250 Kbps                 | 250 Kbps         | 250 Kbps                  | 250 Kbps         |
| RF Operation Mode    | RF RX Only               | RF TX Only       | RF RX Only                | RF TX Only       |
| RF Power Gain        | +0dBm                    | +0dBm            | +0dBm                     | +0dBm            |
| RXD ID Code          | 01                       | -                | 02                        | -                |
| TXD ID Code          | -                        | 02               | -                         | 01               |
| RF Frequency Channel | 0                        | 124              | 124                       | 0                |

ข้อสังเกตในการกำหนด Configuration

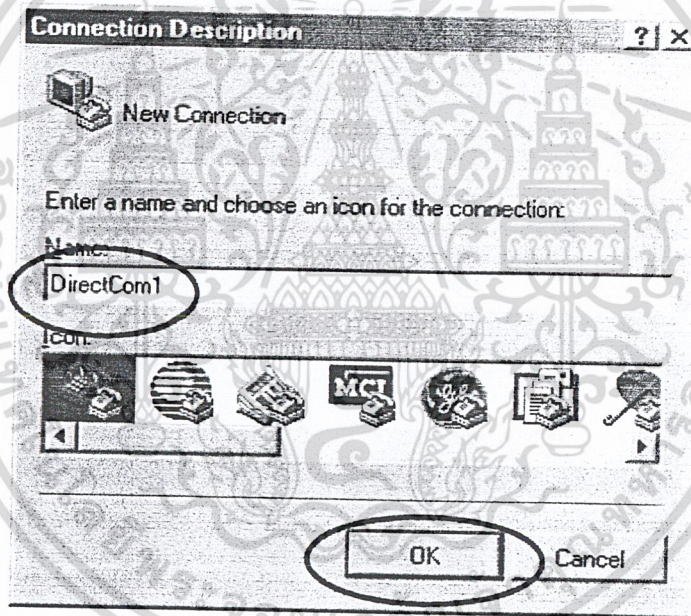
- ค่า RF Frequency Channel ของตัวรับ ด้านต้นทาง ต้องกำหนดให้ตรงกับ ตัวส่ง ด้านปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า RF Data Rate ต้องกำหนดให้ตรงกันหมดทุกตัว
- ค่า RXD ID Code ของตัวรับ ด้านต้นทาง ต้องตรงกับ TXD ID Code ของตัวส่ง ด้านปลายทาง
- ค่า TXD ID Code ของตัวส่ง ด้านต้นทาง ต้องตรงกับ RXD ID Code ของตัวรับ ด้านปลายทาง

สำหรับการทดสอบการใช้งาน ตามตัวอย่างนี้ สามารถเรียกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่จัดการเรื่องการสื่อสารอนุกรมของ Windows ซึ่งก็คือ Hyper Terminal ได้ทันทีโดยในการใช้งานนั้นสามารถกระทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. เรียกใช้โปรแกรม Hyper Terminal ของ Windows โดยเรียกจาก Start, Programs, Accessories, Communications, Hyper Terminal ซึ่งจะแสดงผลดังรูป



รูปที่ 2.14 แสดงการตั้งชื่อในการใช้ Hyper Terminal แบบทดสอบ

2. ให้เลือกการกำหนดชื่อสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถกำหนดได้เองตามต้องการ โดยใช้ตัวอย่างจะกำหนดเป็น DirectCom1 จากนั้นให้เลือก OK เพื่อข้ามไปยังขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connect To ? | X

DirectCom1

Enter details for the phone number that you want to dial:

Country/region: Thailand (66)

Area code: 02

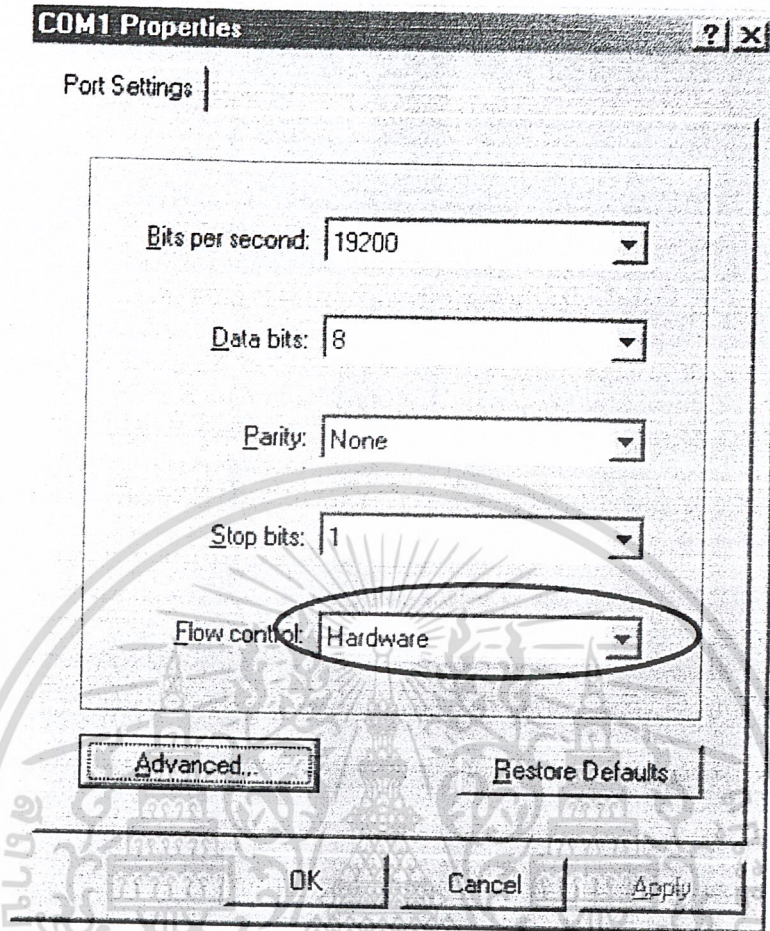
Phone number:

Connect using: Direct to Com1

OK Cancel

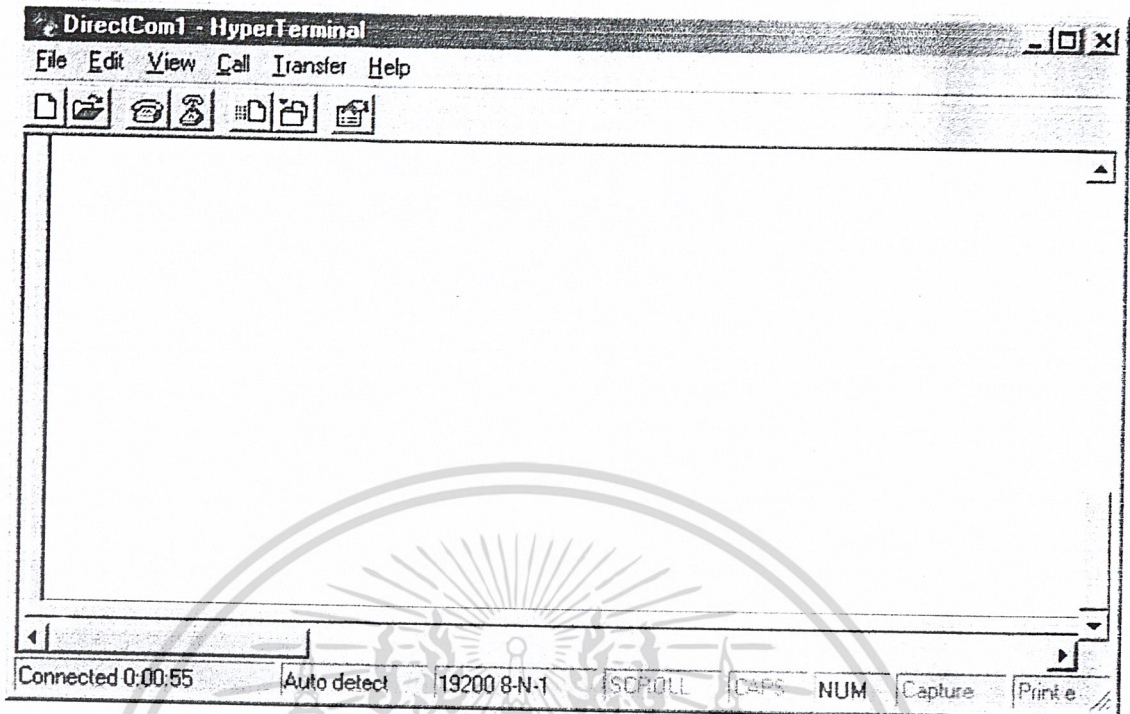
รูปที่ 2.15 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อ

3. ให้เลือกกำหนดการเชื่อมต่อเป็น Direct to Com1 ซึ่งถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็น Comport อื่นที่ไม่ใช่ Com1 ก็ให้เลือกให้ตรงกับความเป็นจริง จากนั้นให้เลือก OK เพื่อข้ามไปยังขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2.16 แสดงการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม RS232

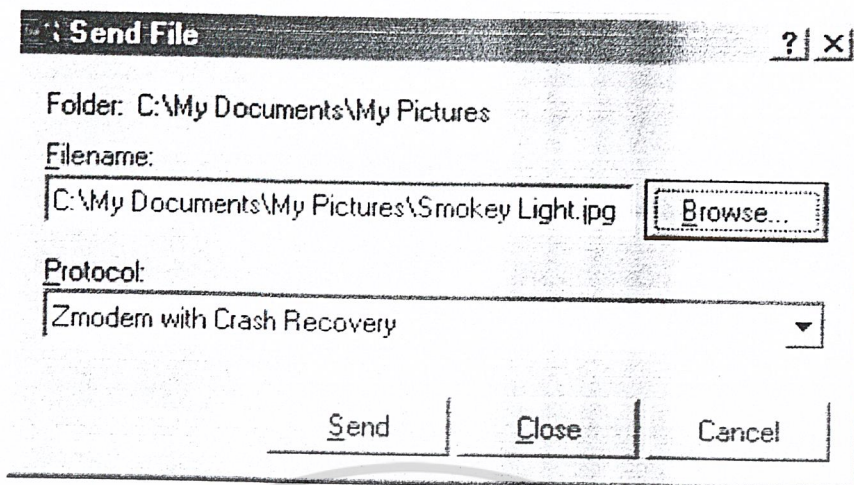
4. ในขั้นตอนนี้ จะใช้สำหรับกำหนดคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรม RS232 โดยให้เลือก Bit per second = 19200, Data Bit = 8, Parity = None, Stop Bit = 1 ส่วน Flow Control ให้เลือกเป็น Hardware จากนั้นเลือก OK ซึ่งจะเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลักของ Hyper Terminal ดังรูป



รูปที่ 2.17 แสดงโปรแกรม Hyper Terminal

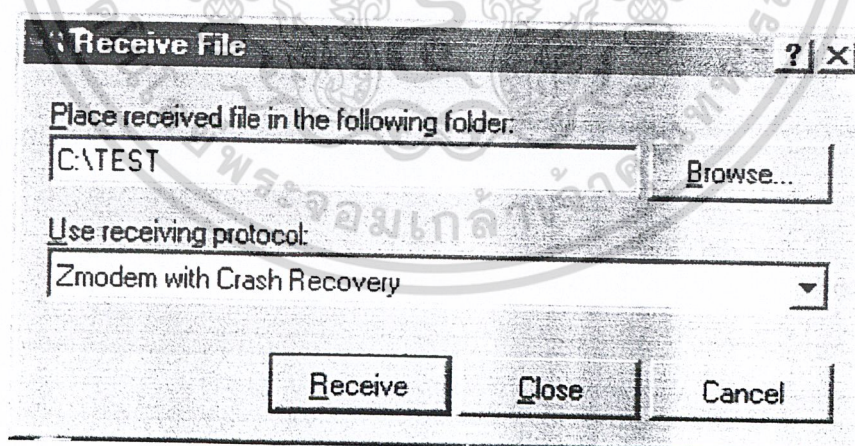
5. ในขั้นตอนนี้สามารถทำการรับส่งข้อมูลระหว่างทั้ง 2 ฝ่ายได้แล้ว ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการกดคีย์ใดๆ จากฝ่ายหนึ่ง ซึ่งตัวอักษรบนคีย์นั้นๆ จะถูกส่งไปแสดงผลยังฝั่งตรงข้ามทันที แต่ในที่นี้เราจะทำการทดสอบการรับ และส่งไฟล์ โดยใช้ Protocol สำเร็จรูปของ Hyper Terminal ซึ่งมีให้เลือกใช้มากมายหลาย Protocol โดยต้องกำหนด Protocol ให้ตรงกันทั้งฝ่ายรับ และฝ่ายส่ง ซึ่งในขั้นตอนของการทดสอบนั้นต้องกำหนดให้ฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายรับ และให้อีกฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายส่ง ซึ่งในที่นี้จะขอแนะนำให้ทดสอบโดยเลือกใช้ Protocol ของ Zmodem with Crash Recovery ซึ่งมีวิธีการทดสอบการรับส่งข้อมูลดังนี้

ทางด้านฝ่ายส่งให้ทำการเลือกกำหนดไฟล์ที่จะส่งจากเมนูคำสั่ง Transfer, Send File จากนั้นให้เลือกกำหนดชื่อ และที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการจะส่ง โดยคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Browse พร้อมกับกำหนดชื่อ และที่อยู่ของไฟล์ตามต้องการ จากนั้นให้เลือกกำหนด Protocol ของการรับส่งข้อมูลเป็น Zmodem with Crash Recovery แล้วเลือกคลิกเมาส์ที่ปุ่ม Send เพื่อทำการเริ่มต้นส่งข้อมูลดังรูป



รูปที่ 2.18 แสดงการเริ่มต้นการส่งข้อมูล

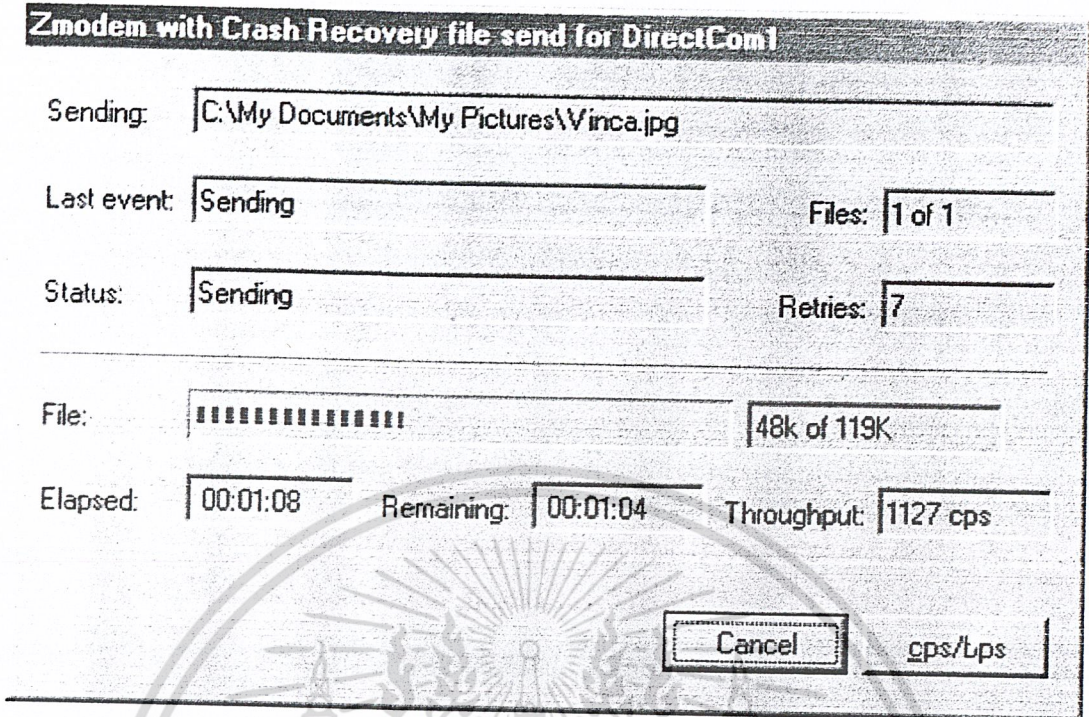
สำหรับในด้านที่เป็นฝ่ายรับข้อมูลนั้นก็ให้เลือกกำหนดการทำงานให้เป็นฝ่ายรับ โดยกำหนดจากคำสั่งของ Transfer, Receive File จากนั้นให้เลือกกำหนดตำแหน่งของ Folder สำหรับใช้บันทึกไฟล์ที่รับได้จากฝ่ายส่ง โดยการเลือกจากปุ่ม Browse แล้วกำหนด Folder ที่ต้องการ ส่วนชื่อนั้นไม่ต้องกำหนด โดยโปรแกรม Hyper Terminal จะตั้งให้เองตามชื่อไฟล์จริงที่ส่งมา และในส่วนของ Protocol ที่ใช้นั้นต้องกำหนดให้ตรงกับทางด้านส่ง คือ Zmodem with Crash Recovery จากนั้นให้เลือก Receive เพื่อให้โปรแกรมรองรับไฟล์จากด้านส่ง



รูปที่ 2.19 แสดงของฝ่ายรับข้อมูล

โดยในขณะที่มีการส่งข้อมูลกันอยู่นั้น โปรแกรมจะแสดงสถานการณ์ทำงานทราบตลอดเวลา

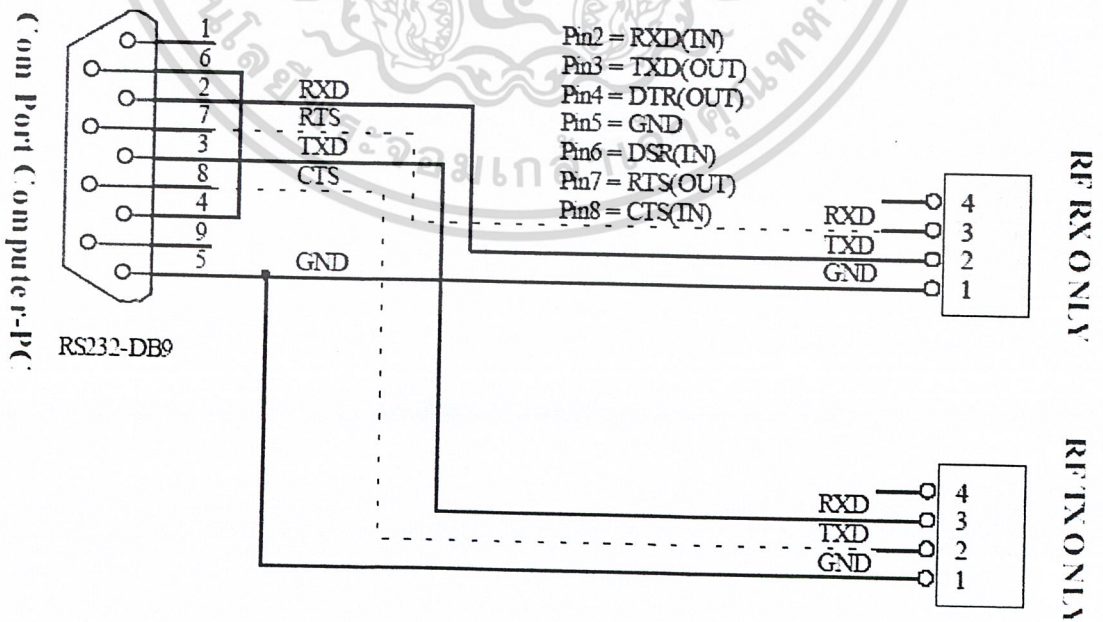
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงสถานการณ์ทำงานของโปรแกรม Hyper Terminal

โดยให้รอกันกว่าการทำงานจะเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งหน้าต่างที่แสดงสถานะ การทำงานของโปรแกรมจะถูกปิดไปเองโดยอัตโนมัติหลังจากทำการรับส่งข้อมูลกันเสร็จเรียบร้อยแล้ว

โดยในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมตามตัวอย่างนี้ จะต้องกำหนดรูปแบบการสื่อสารของ RS232 ให้มีการตรวจสอบความพร้อมในการรับส่งข้อมูลกันด้วยทาง Hardware ด้วย



รูปที่ 2.21 แสดง วงจรของสายที่ใช้สำหรับทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้

### (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER: PLC)

PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด-สเตจ (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Function) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการของคอมพิวเตอร์ จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Element เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟ หรือที่เรียกว่า Hard-Wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นจะต้องเปลี่ยนกระบวนการการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟใหม่ ซึ่งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิตก็ทำได้ง่ายโดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโวลิจ-สเตจ ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องขยายการทำงาน

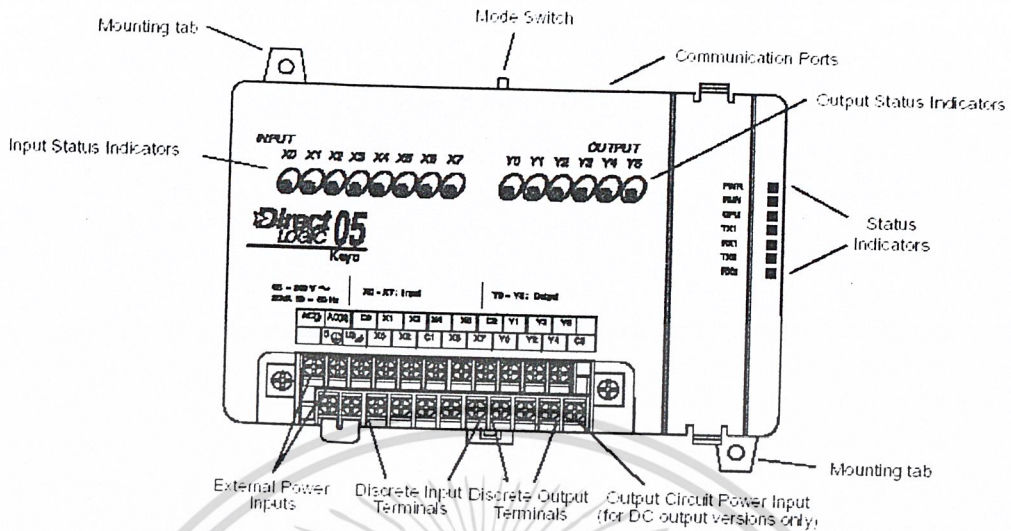
เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PLC) นี้สามารถใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ได้หลายๆอย่าง เช่น ใช้ซอฟต์แวร์ทำกรุปออนโปรแกรม แก้ไขโปรแกรม ดูการทำงานของโปรแกรม เป็นต้น

จากหลักการพื้นฐานแล้ว อุปกรณ์ควบคุมตัวนี้จะทำงานในลักษณะเลขฐานสอง คือ “เปิด” “ON” “ปิด” “OFF” หรือสัญญาณลอจิกเท่านั้น แต่ปัจจุบันนี้ไม่ได้เป็นเช่นนั้นอีกต่อไปแล้วคือสามารถรับและส่ง Input แบบต่อเนื่อง หรือสัญญาณอนาล็อก (Analog) ได้ ซึ่งในปฏิยานุพันธ์ฉบับนี้ได้นำ PLC มาใช้ในการควบคุมการทำงานของ Plant โดยการสั่งการและดูสถานการณ์ทำงานจากคอมพิวเตอร์ (PC) ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลกันระหว่าง เครื่อง PLC กับ คอมพิวเตอร์ (PC) เป็นผลให้ระบบการควบคุมการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในปฏิยานุพันธ์ฉบับนี้ได้มีการใช้เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PLC) ขนาดเล็กของ KOYO รุ่น DL05 มีส่วนต่างๆ แสดงให้เห็นดัง

#### 2.5.1 ส่วนประกอบด้านหน้าของ PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER KOYO DL05)

ประกอบด้วย ส่วนของการติดต่อ, ส่วนแสดงผล, ไฟแสดงสถานะ, และสัญลักษณ์คำอธิบาย แสดงอยู่บนด้านหน้าของ PLC ขนาดเล็กรุ่น DL05 พอร์ตการติดต่อจะอยู่ด้านบนของ PLC ดังรูปข้างล่าง



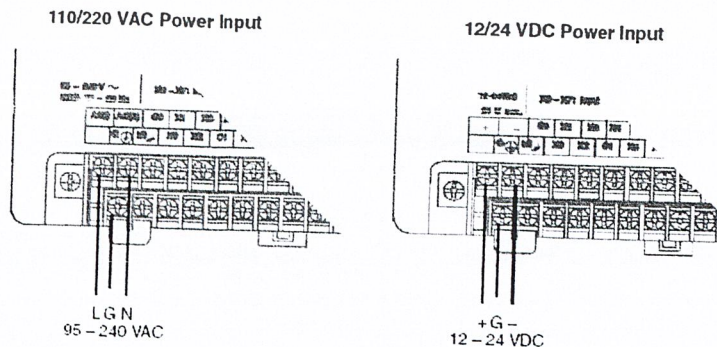
รูปที่ 2.2 แสดงด้านหน้าของ PLC

ส่วนของการติดต่อแฉวนด้านซ้ายสุดจะได้รับอินพุทจากแหล่งจ่ายภายนอก จากด้านซ้ายไปด้านขวาถัดไป 5 ช่อง ช่องแรกเป็นอินพุทคอมมอน (C0) ที่เหลืออีก 4 ช่องเป็นช่องอินพุท X1, X3, X4, X6 ที่เหลืออีก 4 ช่อง ด้านขวาสุดเป็นเอาต์พุทคอมมอน (C2) และ Y1, Y3 และ Y5

ส่วนการติดต่อแฉวต่าง 2 ช่องซ้ายสุดเป็น กราวนด์กับลอคจิกกราวนด์ 2 ช่องถัดมาเป็นอินพุท X0 และ X2 ถัดมาเป็นอินพุทคอมมอนที่ 2 คือ C3 DC เอาต์พุทด้านขวาสุดจะยอมรับแหล่งจ่ายจากภายนอก

2.5.2 การต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก

สำหรับ PLC รุ่น KOYO DL05 มีการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าดังรูปข้างล่าง เมื่อเชื่อมต่อสายเสร็จแล้วให้อาณวนคลุมส่วนของการติดต่อ ห้ามเปิดเครื่องในการทำขั้นตอนนี้

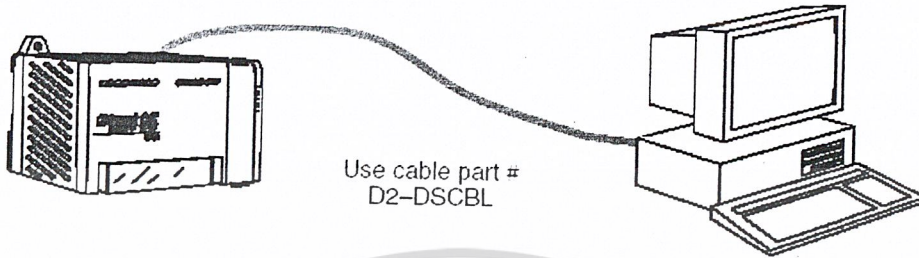


รูปที่ 2.23 แสดงการต่อแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 การติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

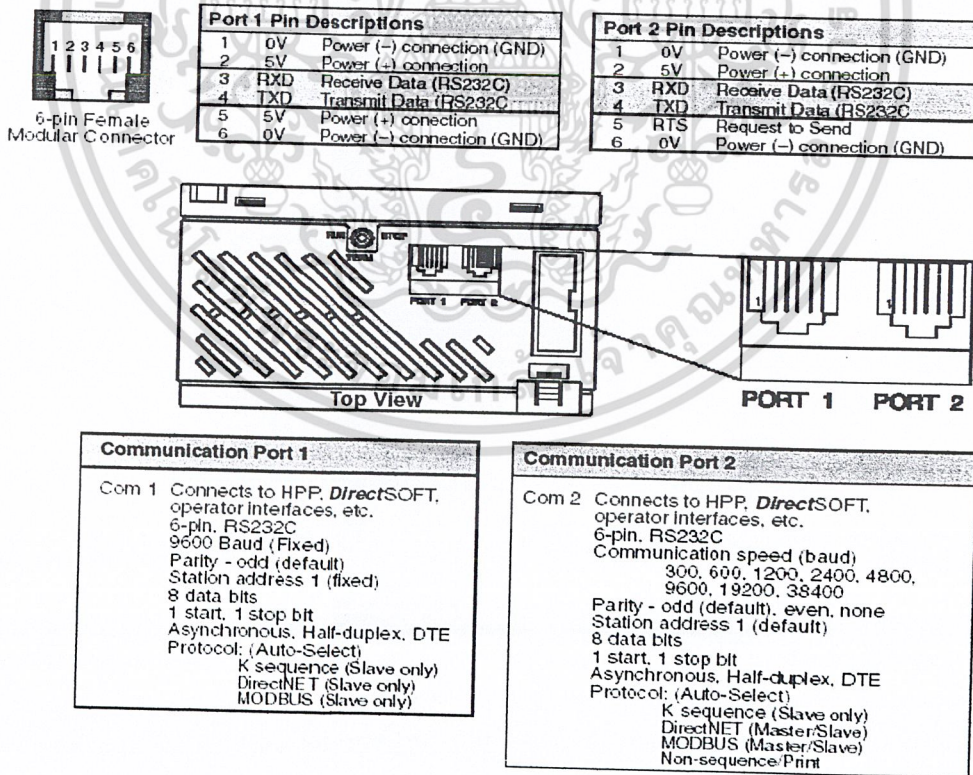
PLC ขนาดเล็กรุ่น DL05 สามารถโปรแกรมได้จาก โปรแกรม DirectSOFT บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้สายเคเบิลต่อดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.24 แสดงการติดต่อระหว่าง PC กับ PLC

### 2.5.4 การติดต่อกับพอร์ตภายนอก

การติดต่อกับพอร์ตภายนอก เราจำเป็นต้องใช้สายที่มีความยาวเพียงพอ ที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับ PLC ได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว โดยใช้สายสัญญาณมาตรฐาน RS-232C โดยใช้หัวปลั๊กโทรศัพท์ RJ-12 ในการทำหัวเจ็ค คู่กับพอร์ตอนุกรม ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.25 แสดงการต่อสายหัวปลั๊กโทรศัพท์ RJ-12 และหน้าที่ของ Port ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLC ขนาดเล็ก จะมีพอร์ตติดต่อ RS-232C 2 พอร์ต พอร์ต 1 ปกติใช้ติดต่อกับ D2-HPP, DirectNET ติดต่อการทำงาน, MOD BUS ตัวรอง หรือ DirectNET ตัวรอง buad rate กำหนดอยู่ที่ 9600 สำหรับ พอร์ต 2 สามารถทำงานเป็นได้ทั้งตัวหลักและตัวรอง พอร์ต 2 มีช่วงความเร็วจาก 300 baud ถึง 34.4 kbaud

### 2.5.5 การติดต่อกับพอร์ตของ DL05

อธิบายถึงการติดต่อ CPU ของพอร์ตการติดต่อโครงข่ายทั้ง 2 พอร์ต เป็น MOD BUS DirectNET ในที่นี้สามารถติดต่อ PLC ในรุ่น DL05 ในระบบโดยตรงกับโครงข่าย MODBUS โดยใช้โปรโตคอล RTU หรืออุปกรณ์บนโครงข่าย DirectNET ก็ได้

### 2.5.6 การแสดงผลของ PLC รุ่น KOYO DL05

การแสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC จะบอกให้ทราบถึงสถานการณ์ทำงานของ PLC ในขณะนั้น ซึ่งจะมีไฟแสดงสถานะดังรูปข้างล่าง

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของไฟ CPU

| Indicator | Status | Meaning  |
|-----------|--------|--|
| PWR       | ON     | Power good                                       |
|           | OFF    | Power failure                                    |
| RUN       | ON     | CPU is in Run Mode                               |
|           | OFF    | CPU is in Stop or program Mode                   |
| CPU       | ON     | CPU self diagnostics error                       |
|           | OFF    | CPU self diagnostics good                        |
| TX1       | ON     | Data is being transmitted by the CPU - Port 1    |
|           | OFF    | No data is being transmitted by the CPU - Port 1 |
| RX1       | ON     | Data is being received by the CPU - Port 1       |
|           | OFF    | No data is being received by the CPU - Port 1    |
| TX2       | ON     | Data is being transmitted by the CPU - Port 2    |
|           | OFF    | No data is being transmitted by the CPU - Port 2 |
| RX2       | ON     | Data is being received by the CPU - Port 2       |
|           | OFF    | No data is being received by the CPU - Port 2    |

PLC รุ่น DL05 มีเครื่องหมายบอกถึงความต้องการให้เราช่วยเหลือในระบบ ในเวลาปกติจะมีไฟแสดงขึ้นที่ RUN กับ PWR เท่านั้น

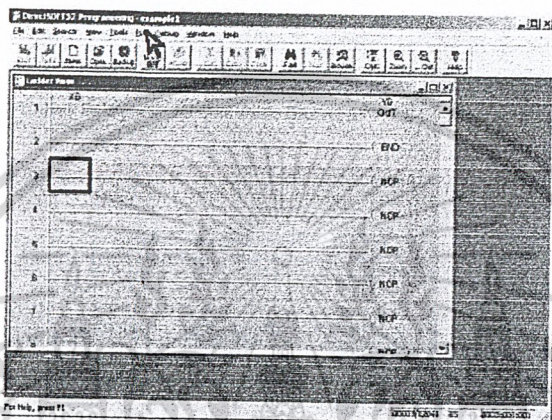
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



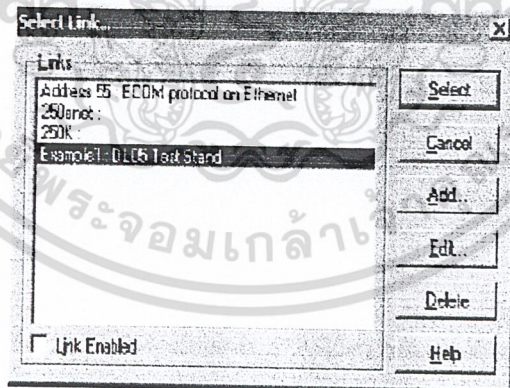
(รูปที่ 2.27) ซึ่งหน้าต่างนี้จะเป็นการเปิด New Project ขึ้นมาเพื่อทำการเขียนโปรแกรม โดยการคลิกที่ช่อง name เพื่อตั้งชื่อ New Project ของคุณ หลังจากนั้น เลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้วคลิก OK ก็จะปรากฏหน้าต่างดังรูปข้างล่าง (รูปที่ 2.28)

### ขั้นตอนที่สอง

ทำการต่อ PLC กับ computer และทำการ Link กับโปรแกรม DirectSOFT32 โดยการไปเลือกที่ PLC บน menu bar แล้วเลือก connect ก็จะปรากฏ ดังรูปข้างล่าง (รูปที่ 2.29)



รูปที่ 2.28 แสดงการเลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้วคลิก OK

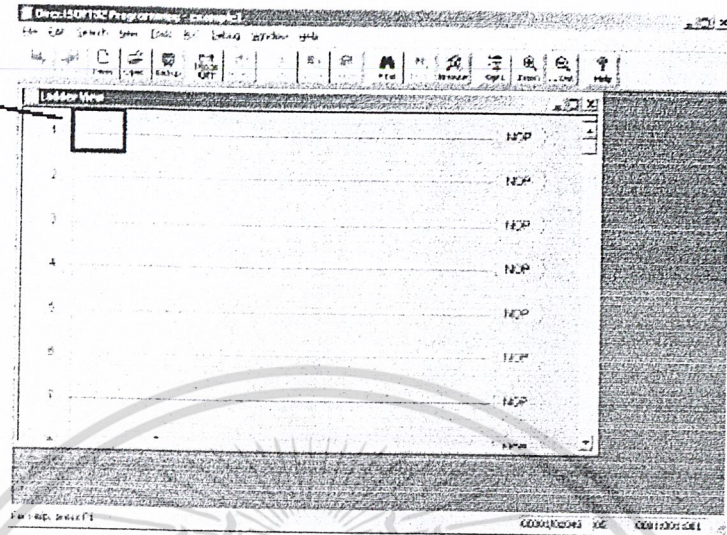


รูปที่ 2.29 แสดงการต่อ PLC กับ computer และทำการ Link กับโปรแกรม DirectSOFT32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

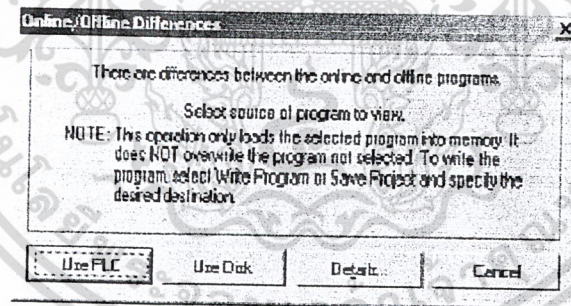
View Only  
Mode

(cursor is hollow)



รูปที่ 2.30 แสดงหน้าจอการรอกการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC

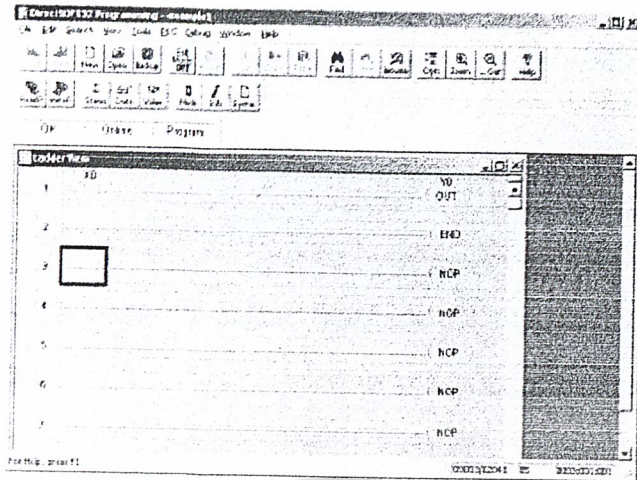
หลังจากนั้นคลิกเลือก Name ในช่อง Link แล้วคลิก select ก็จะปรากฏดังรูปข้างล่าง (รูปที่ 2.30)



รูปที่ 2.31 แสดงจะเลือกใช้ข้อมูลเป็นแบบใด

แล้วคลิกเลือก Uses PLC โปรแกรมก็จะทำการอ่านโปรแกรมที่อยู่ใน CPU ของ PLC เพื่อที่จะทำการ RUN โปรแกรม แต่ถ้าเลือก Uses Disk โปรแกรมก็จะทำการเตรียมพร้อมที่จะบันทึกโปรแกรมใหม่ลง CPU ของ PLC ดังแสดงให้เห็น ดังรูปข้างล่าง (รูปที่ 2.31)

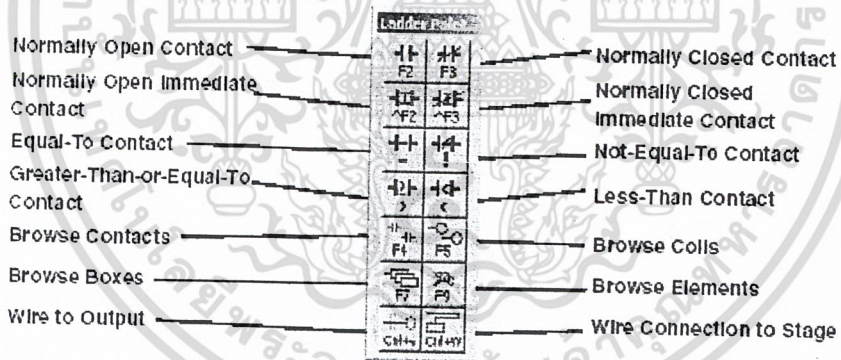
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แสดงการเลือก Uses Disk

ขั้นตอนที่สาม

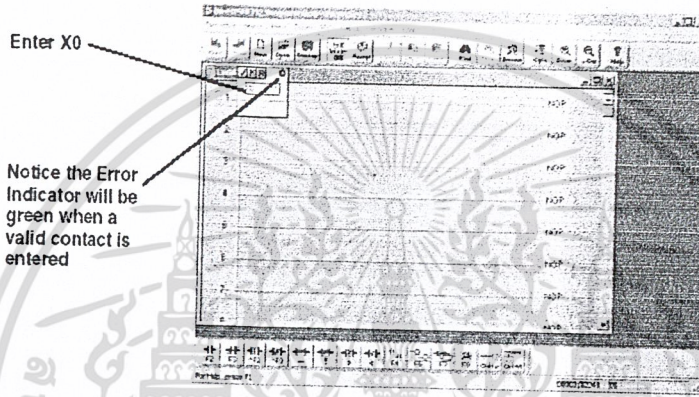
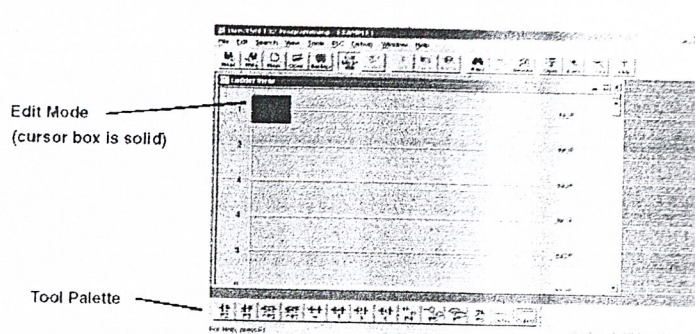
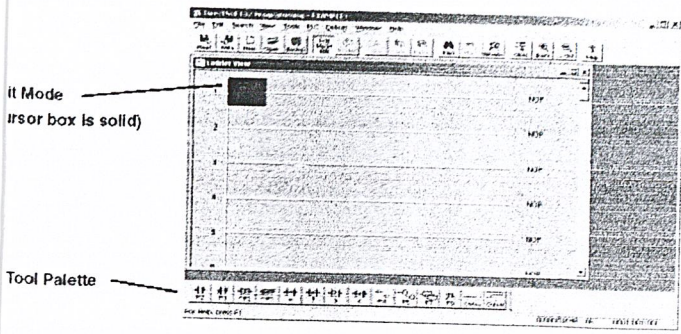
การเขียน โปรแกรมทำได้โดยการคลิกที่ Edit Mode Off (ปุ่มจะมีสีเหลือง) เพื่อให้บล็อกสัญลักษณ์ การเขียน Ladder ปรากฏขึ้นคังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.33 แสดงบล็อกสัญลักษณ์ การเขียน Ladder

ซึ่งใช้ในการเขียน Ladder ที่สะดวกกว่า การใช้ที่ menu bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

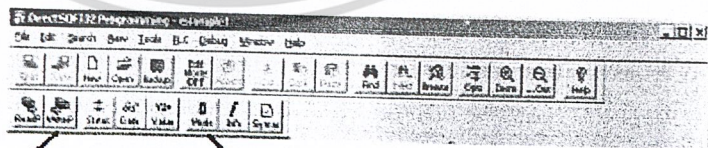


รูปที่ 2.34 แสดงวิธีการเขียน Ladder Diagram

ขั้นตอนที่สี่

การเขียน โปรแกรมลงบน PLC

เมื่อเครื่อง PC และ PLC ทำการติดต่อกันได้แล้ว ก็สามารถที่จะเขียน โปรแกรมลงบน PLC ได้ โดยผ่าน โปรแกรม DirectSOFT32 ซึ่งทำได้โดยการคลิกที่ไอคอน ที่สองข้างล่างทางซ้าย ซึ่งเป็น ไอคอนการ write โปรแกรมลงบน PLC ดังรูปข้างล่าง



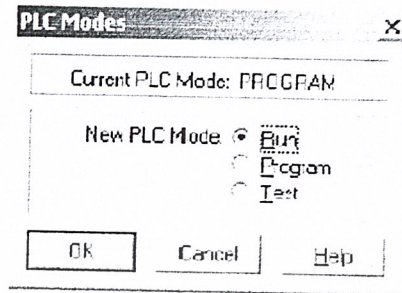
Click on this button to write the program to the PLC.

Click on this button to change the PLC Mode.

รูปที่ 2.35 แสดงไอคอนการติดต่อกับ PLC

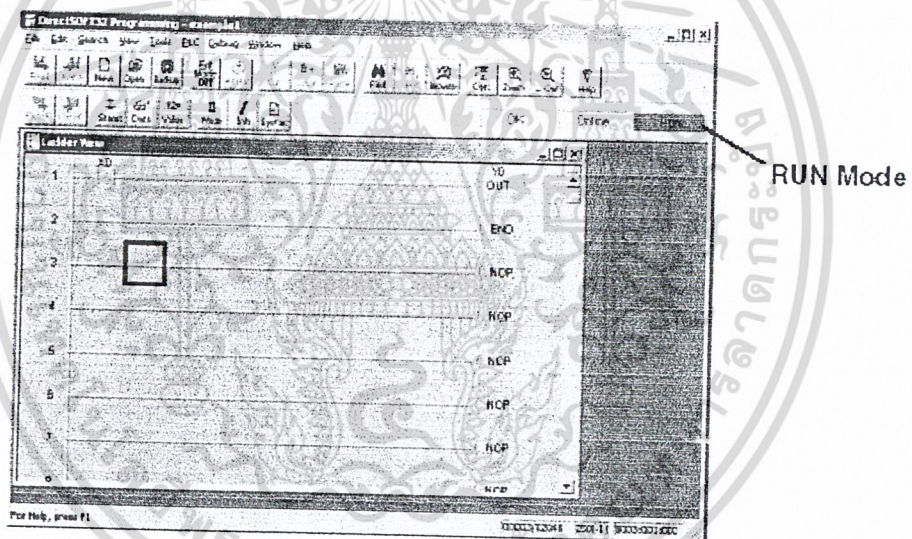
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหลังจากนั้นทำการ RUN โปรแกรม โดยคลิกที่ไอคอน Mode ดังที่แสดงบนรูปข้างบน และจะปรากฏหน้าต่างดังรูปข้างล่าง แล้วคลิกที่ RUN PLC ก็จะอยู่ใน Mode Run



รูปที่ 2.36 แสดงการเลือก Mode การทำงานของ PLC

เมื่อ โปรแกรมอยู่ใน Mode Run โปรแกรมก็จะปรากฏดังรูปข้างล่าง

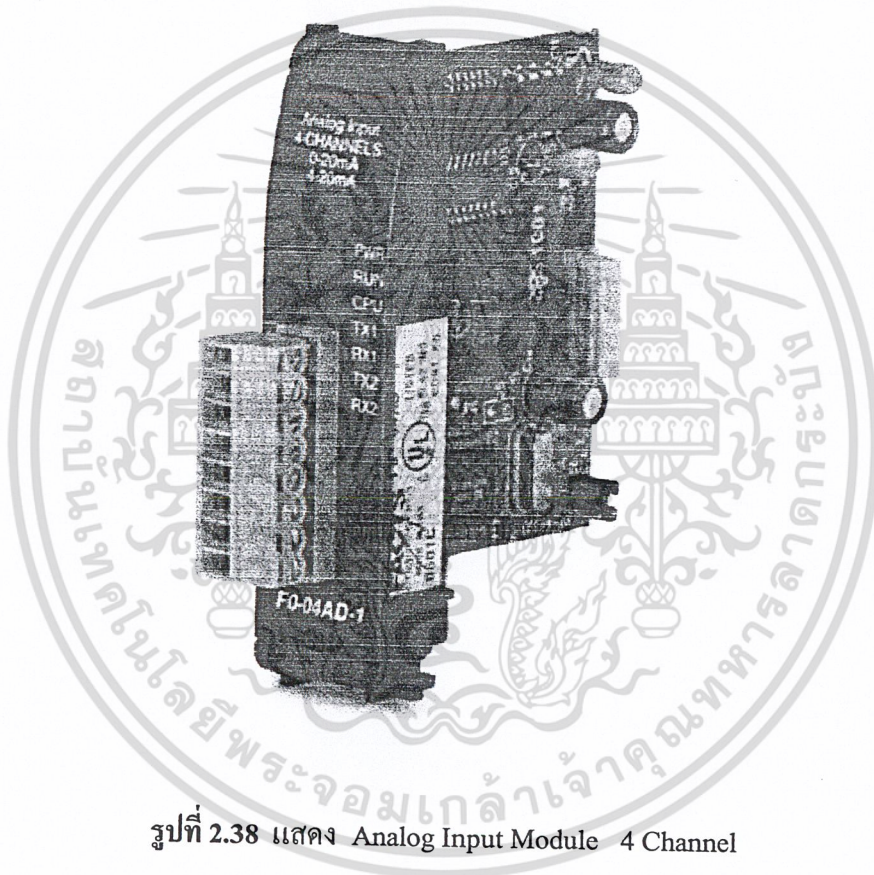


รูปที่ 2.37 แสดงการทำงานของโปรแกรมอยู่ใน Mode RUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 Analog Input Module

Analog Input Module เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณอนาล็อกจากภายนอกแล้วทำการแปลงมาเป็นสัญญาณ Digital เพื่อให้ CPU ของเครื่อง PLC สามารถทำการประมวลผลได้ ดังนั้น Analog Input Module จึงมีความจำเป็นเมื่อต้องการที่จะทำการควบคุมขบวนการที่มีการส่งสัญญาณควบคุมออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก เราสามารถเลือกใช้ Analog Input Module ได้ตามความเหมาะสมกับความต้องการได้ เนื่องจากในท้องตลาดจะมีให้เลือกจำนวน Channel ได้เช่น 2 Channel, 4 Channel หรือจะมีทั้ง Input และ Output ใน Module ตัวเดียวกันได้ ซึ่งในโครงการนี้ จะทำการเลือกใช้ Analog Input Module 4 Channel ดังรูป



รูปที่ 2.38 แสดง Analog Input Module 4 Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| Analog Input Module DL05<br>V-memory Locations |       |
|--|-------|
| Data Type and Number of Channels               | V7700 |
| Storage Pointer                                | V7701 |

รูปที่ 2.41 แสดง V-Memory

Data Type / Number of channels ( V7700 ) มีไว้สำหรับการเลือกชนิดของข้อมูลที่เป็นค่ามาจากภายนอก และเลือกว่าจะใช้ Channels ไหน เช่น

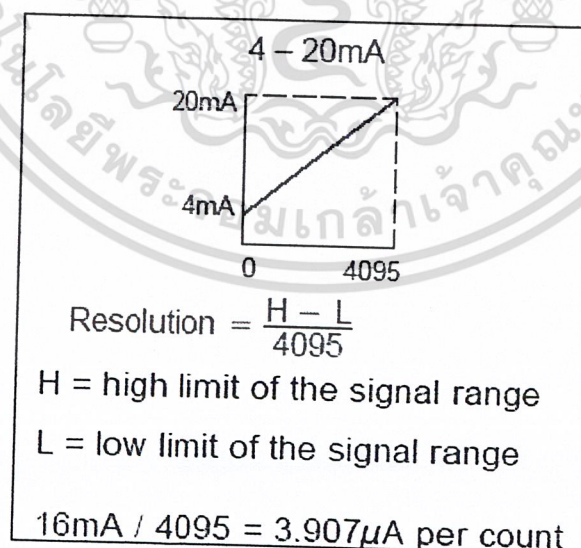
V7700 = 0400 (BCD) จะเป็น Analog Channel ที่ 4 และ ข้อมูลเป็นแบบ BCD

V7700 = 8400 (BCD) จะเป็น Analog Channel ที่ 4 และ ข้อมูลเป็นแบบ Binary

Storage Pointer (V7701) ใช้สำหรับการ Set ให้นำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ V-Memory ตำแหน่งต่าง ๆ

### 2.7.2 การสร้าง Scale ค่าใช้งาน

ความไวของการ Scale ค่าจะมีสูตรการคำนวณหาตั้งรูปข้างล่าง โดยค่าความไวจะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการนำกลับมาแสดงผล ถ้าค่ามีความละเอียดต่อหน่วยมาก ก็จะทำให้กราฟพิกแสดงผลมีความละเอียดมากขึ้นด้วย .



รูปที่ 2.42 แสดง การสูตรคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าเมื่อเราทำการแปลงสัญญาณอนาล็อก ไปเป็นสัญญาณ ดิจิตอล และการคำนวณหาค่า เมื่อแปลง สัญญาณดิจิตอล เป็นสัญญาณ อนาล็อก ก็จะมีการคำนวณดังรูปข้างล่าง

ตารางที่ 2.5 แสดงการคำนวณหาค่า เมื่อแปลง สัญญาณดิจิตอล เป็นสัญญาณ อนาล็อก

| Range     | If you know the digital value... | If you know the analog signal level... |
|-----------|----------------------------------|--|
| 4 to 20mA | $A = \frac{16D}{4095} + 4$       | $D = \frac{4095}{16}(A - 4)$           |
| 0 to 20mA | $A = \frac{20D}{4095}$           | $D = \frac{4095}{20}$                  |

For example, if you have measured the signal as 10mA, you can use the formula to determine the digital value that will be stored in the V-memory location that contains the data.

$$D = \frac{4095}{16}(A - 4)$$

$$D = \frac{4095}{16}(10\text{mA} - 4)$$

$$D = (255.93) (6)$$

$$D = 1536$$

ตารางที่ 2.6 แสดง ค่าSpecial Relays ใน Analog Input

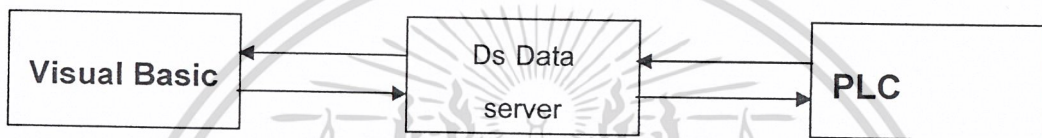
DL05 Special Relays

|       |                   |                         |                         |
|-------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| SP600 | Chan 1 input type | 0 = 0 – 20mA            | 1 = 4 – 20mA            |
| SP601 | Chan 2 input type | 0 = 0 – 20mA            | 1 = 4 – 20mA            |
| SP602 | Chan 3 input type | 0 = 0 – 20mA            | 1 = 4 – 20mA            |
| SP603 | Chan 4 input type | 0 = 0 – 20mA            | 1 = 4 – 20mA            |
| SP610 | Chan 1 input open | 1 = xmitter signal open | 0 = xmitter signal good |
| SP611 | Chan 2 input open | 1 = xmitter signal open | 0 = xmitter signal good |
| SP612 | Chan 3 input open | 1 = xmitter signal open | 0 = xmitter signal good |
| SP613 | Chan 4 input open | 1 = xmitter signal open | 0 = xmitter signal good |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 โปรแกรม DS Data server


โปรแกรม Dsdata Server เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการที่จะให้ Software window แลกเปลี่ยนข้อมูลกับเครื่อง PLC ซึ่งเปรียบเสมือนว่าโปรแกรม DsData Server จะเป็นล่ามที่ช่วยในการแปลข้อมูลจาก Software window เพื่อที่จะให้เครื่อง PLC เข้าใจ และทำงานได้ตามต้องการ หรือทำการแปลข้อมูลที่ได้จากเครื่อง PLC เพื่อให้ Software window เข้าใจ และสามารถนำไปแสดงผล การใช้โปรแกรม DsData Server จะใช้ได้เฉพาะเครื่อง PLC ของยี่ห้อ KOYO เท่านั้น

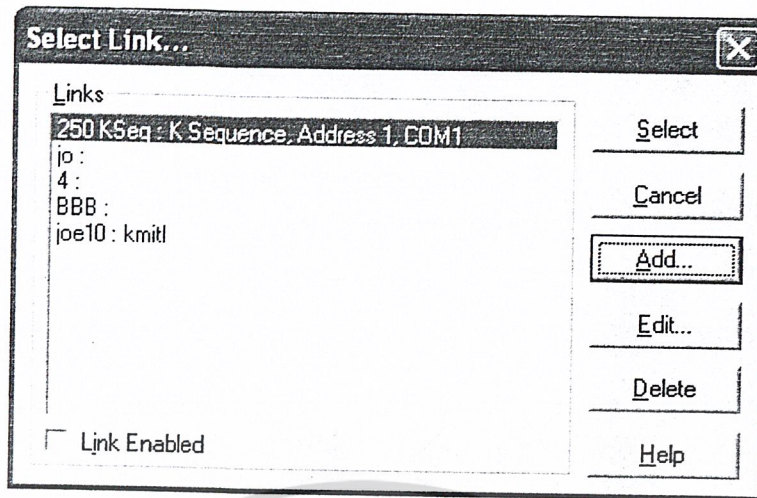


รูปที่ 2.43 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม Ds DATA server

การติดต่อสื่อสารกันระหว่างโปรแกรม จะใช้การติดต่อได้ 2 แบบ คือ DDE หรือ OPC ของแต่ละโปรแกรม ซึ่ง DDE และ OPC จะเป็น Protocol ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

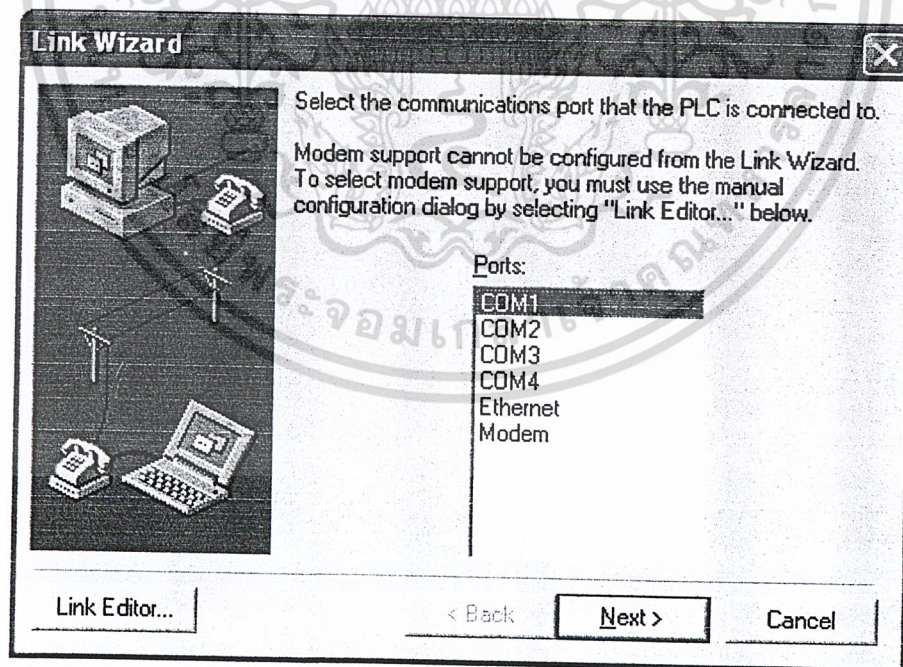
### 2.8.1 การตั้งค่าการเชื่อมต่อกับเครื่อง PLC

การที่เราจะทำการใช้ Ds Data Server ทำงานได้ต้องทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อเสียก่อน โดยการคลิก  จะปรากฏหน้าจอจตุรัส ถ้าไม่มีการติดต่อสื่อสารมาก่อนจะปรากฏเพียงแต่หน้าจอว่าง ถ้ามีการตั้งค่าไว้แล้วให้ทำการกด Select ได้ทันที



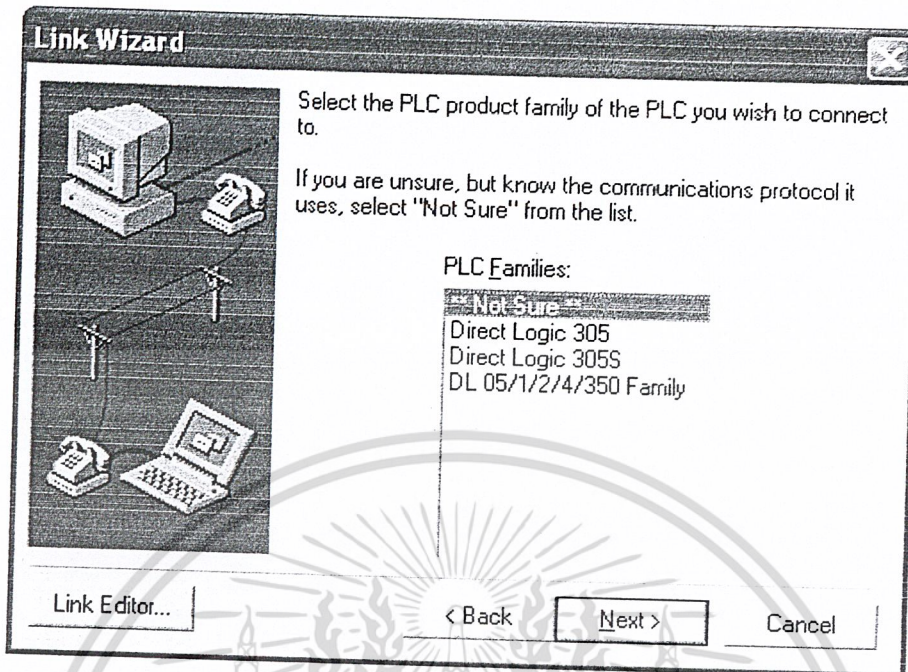
รูปที่ 2.44 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อของ PLC

แต่ถ้ายังไม่ได้มีการตั้งค่าเอาไว้ จะต้องสร้างการเชื่อมต่อใหม่ โดยการคลิก Add เพื่อสร้างการเชื่อมต่อใหม่ จะปรากฏหน้าจอตั้งรูป ก็ให้ทำตามขั้นตอนไปเรื่อย ๆ โดยสามารถที่จะเรียกว่า จะติดต่อกับเครื่อง PLC รุ่นไหน และทำการเลือก Protocol ว่าจะใช้ Protocol อะไรในการเชื่อมต่อ

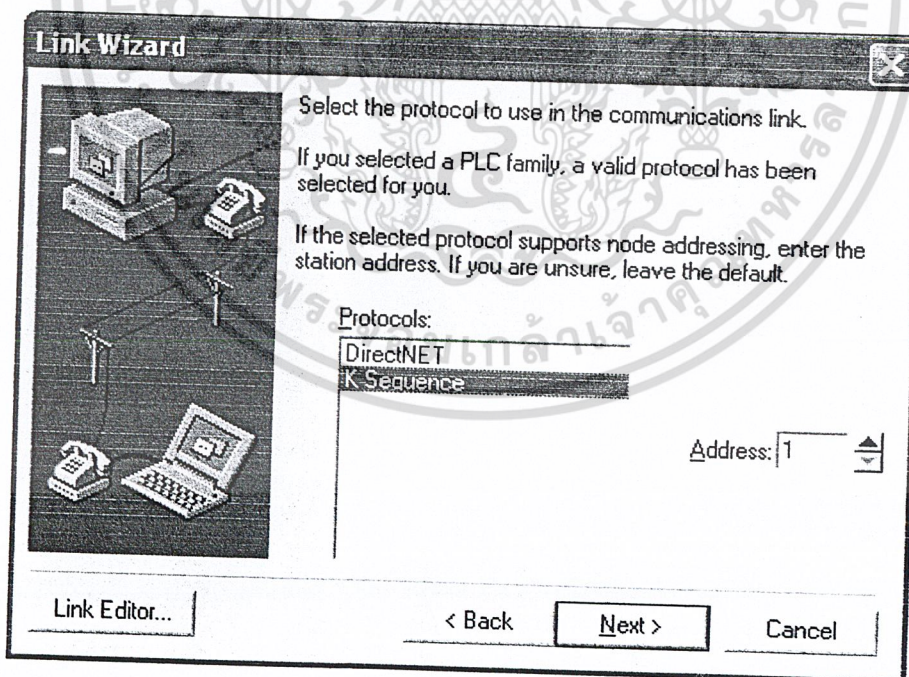


รูปที่ 2.45 แสดงการเลือกการพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

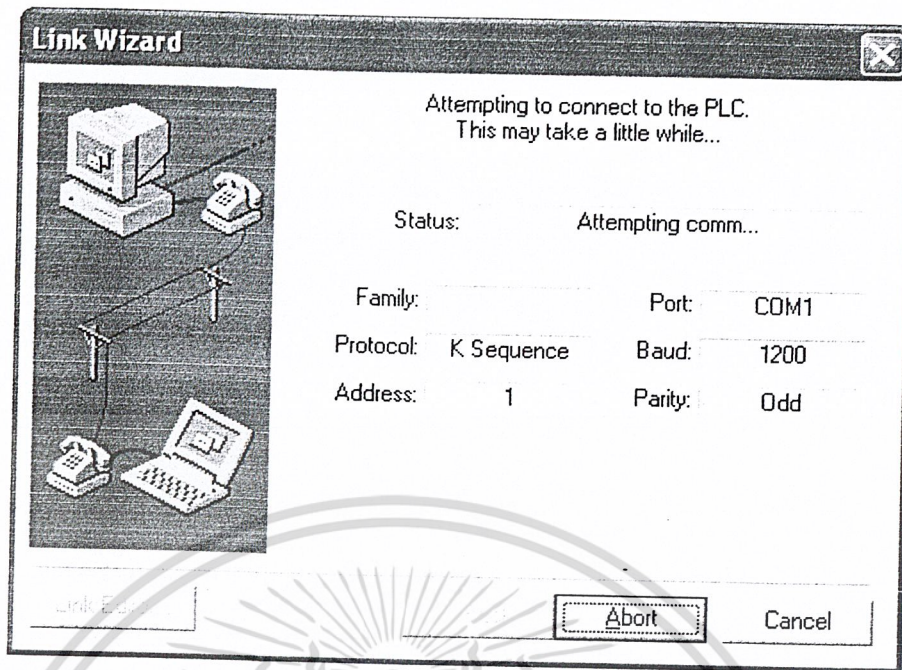


รูปที่ 2.46 แสดงการเลือกรุ่นต่างๆ ของเครื่อง PLC




รูปที่ 2.47 แสดงการเลือกชนิดของ Protocol

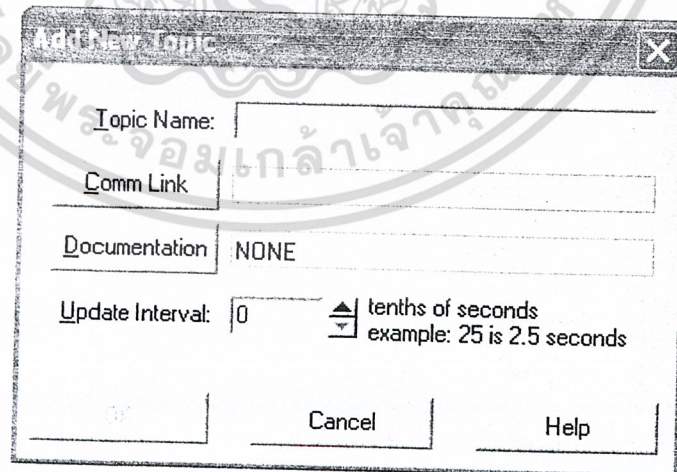
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 แสดงการรอการอ่านข้อมูลของเครื่อง PLC

### 2.8.2 การสร้างหัวข้อในการติดต่อกับเครื่อง PLC

หัวข้อ หรือ Topic ที่เราทำการสร้างไว้จะถูกนำไปใน โปรแกรม Visual Basic ต่อไป ซึ่งการสร้าง Topic จะทำได้โดยการคลิกที่  ก็จะขึ้นหน้าจอดังรูป



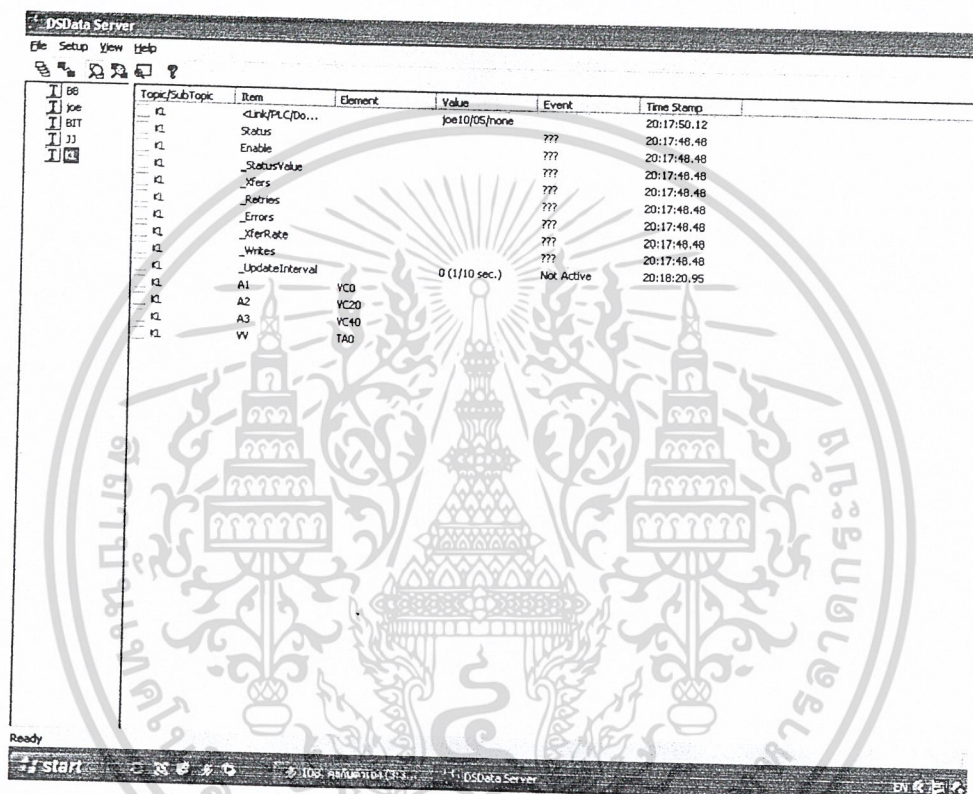
รูปที่ 2.49 แสดงการตั้งชื่อหัวข้อของ โปรแกรมของเครื่อง PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เราใส่ชื่อของ Topic นั้น ๆ เช่น Demo Topic เป็นชื่อของ Topic ถ้าเราได้สร้างการเชื่อมต่อไว้แล้วก็สามารถเลือกได้ทันทีว่าจะใช้การติดต่อแบบไหน เมื่อเราทำการสร้าง Topic เสร็จแล้ว ให้เราทำการคลิกขวาที่ Topic นั้นแล้วเลือก Edit Item

จะขึ้นมาให้เราเขียนชื่อ Item และทำการเลือกว่าจะให้แทนส่วนใดของเครื่อง PLC เช่น C, T, V เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.50 แสดงโปรแกรม Ds data server

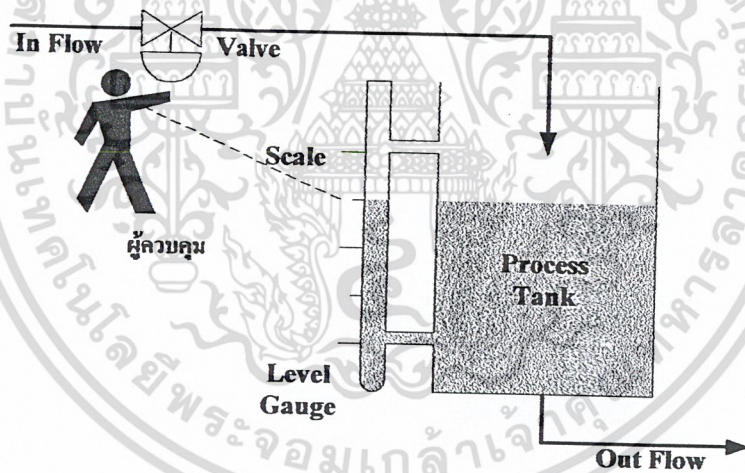
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

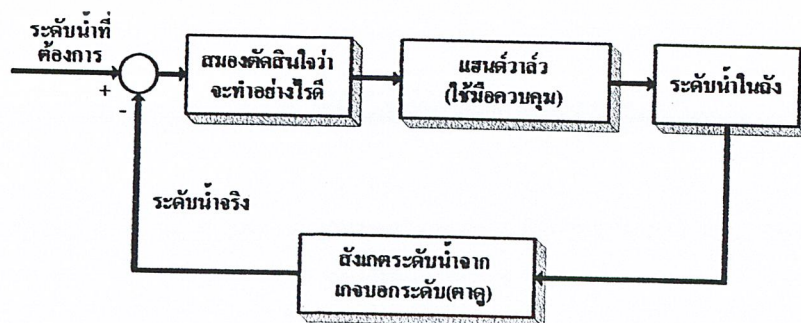
## หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

### 3.1 บทนำ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมนั้น คือการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์อันได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) อัตราการไหล (Flow Rate) ระดับ (Level) ค่าความเป็นกรดค่า (pH) และอื่นๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ตาม ซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสม ในอดีตการควบคุมกระบวนการต่างๆ จะเลือกใช้การควบคุมแบบง่ายๆ ด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งอาศัยพนักงานหรือผู้ควบคุม (Operator) คอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ยกตัวอย่าง เช่น การควบคุมระดับน้ำในถัง ดังรูปที่ 3.1



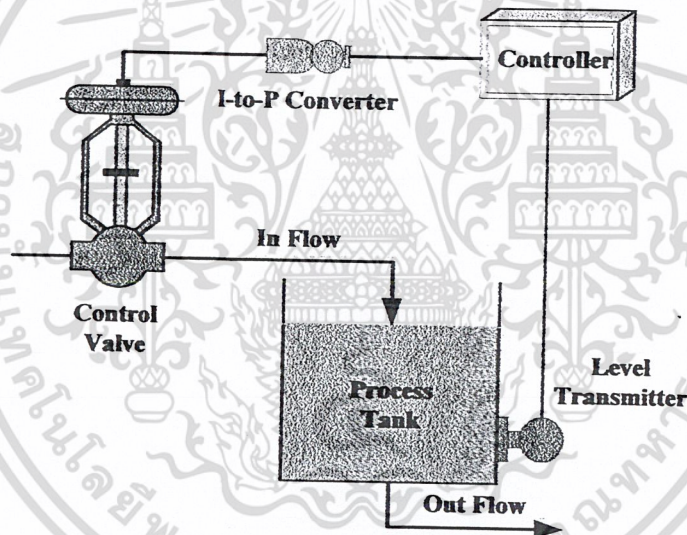
รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

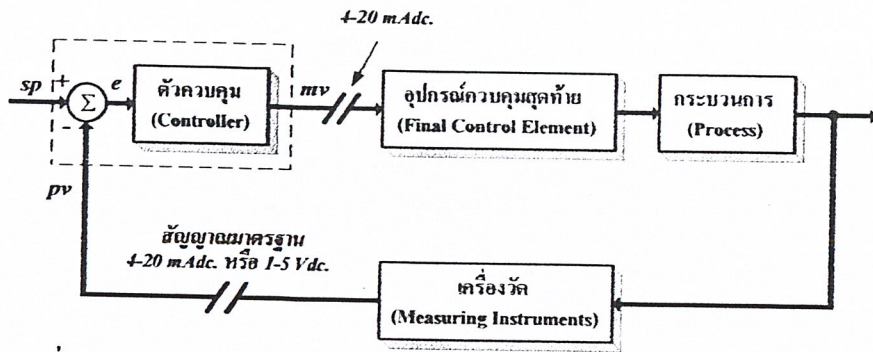
จากรูปที่ 3.1 การควบคุมระดับน้ำในถังจะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับน้ำในถังว่าได้ระดับที่ต้องการหรือไม่ โดยใช้สายตาจากเกจวัดระดับ (Level Gauge) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่งการให้มือทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์ว เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าการควบคุมแบบง่ายๆ ด้วยมือ วิธีนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น การควบคุมจะดีหรือไม่อย่างไรจะขึ้นอยู่กับพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงแล้ว มนุษย์หรือพนักงานควบคุมไม่สามารถทำงานให้ดีได้เท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบันโรงงานที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ Manual Control ตามรูปที่ 3.1 ถ้านำมาทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังจากรูปที่ 3.1 ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.3 ระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัด โดยเครื่องวัดระดับ (Level Transmitter) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุมจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิด-ปิด เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อยๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ที่มีตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller) เป็นเครื่องควบคุม โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบ ป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.4 จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะคล้ายกับบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 ซึ่งถ้าจะกล่าวไปแล้วแนวความคิดของการควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นก็มาจากรูปแบบการควบคุมในลักษณะตามรูปที่ 3.2 นั่นเอง โดยระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

1. **ตัวควบคุม (Controller)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือตัวควบคุมแบบ PID
2. **อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element)** คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม
3. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: pv)
4. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่นๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20 mA dc) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 V dc) หรือสัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว (3-15 psi. หรือ 0.2-1.0 Kg/cm<sup>2</sup>) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบอัตโนมัติจากรูปที่ 3.4 มีขั้นตอนการทำงานคือ อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ (pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของเหลว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Set Point: sp) จากนั้นตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error: e) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ นักศึกษาจะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใดๆ นั้น นักศึกษาจะต้องศึกษาถึงการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ในระบบควบคุมและลักษณะกระบวนการก่อน นั่นก็คือจะต้องศึกษาถึงชนิดและการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุม และอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย รวมถึงวิธีควบคุมและวิธีการปรับแต่งต่างๆ เสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้องในอันที่จะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 3.2 การวัดระดับ (Level Measurement)

ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท จะมีงานวัดระดับแทรกอยู่ด้วยเสมอ เช่น การวัดระดับน้ำมัน น้ำในถังพัก การวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ โดยอาศัยหลักการวัดโดยวิธีตรง ที่ใช้ ลูกลอยหรือดีพสติค (Dipsticks) ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบง่ายๆ แต่ถ้าเป็นการวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นสารเคมีอันตราย หรือต้องการสัญญาณระดับเพื่อไปใช้งานอย่างอื่น เช่น เพื่อการควบคุม บันทึกราคา ดังนั้นจะใช้การวัด โดยตรงไม่ได้ จะต้องประยุกต์หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ เข้าช่วยเพื่อให้งานการวัดระดับบรรลุผลตามความมุ่งหมาย

วิธีการวัดระดับพอจะแบ่งเป็นหลักการใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. วิธีการวัด โดยตรง (Direct)
2. วิธีการวัด โดยหลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างอื่นเข้าช่วย (Inferential) ในสภาพงานที่มีปัญหา เช่น การวัดระดับน้ำใต้ดินในการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาล การวัดระดับของน้ำในหม้อไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงเพื่อควบคุมการป้อนน้ำเลี้ยงในอัตราที่เหมาะสม หรือ การวัดระดับของผงถ่าน เมล็ดพืช ในถังเก็บ เหล่านี้จะต้องอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย ในปัจจุบันที่มีใช้อยู่ในวงการอุตสาหกรรมได้แก่

- \* หลักการของแรงและความดัน (Force and Pressure)
- \* หลักการทางไฟฟ้า (Resistance, Conductance & Capacitance)
- \* หลักการการเดินทางของเสียง (Ultrasonic)
- \* หลักการแผ่รังสีและการดูดซึมพลังงานของสาร (Radiation)

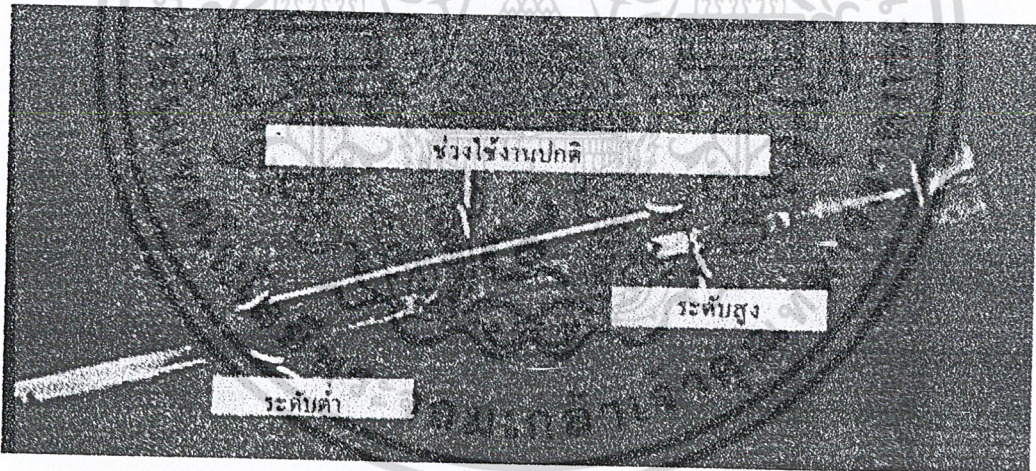
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการวัดโดยตรง

วิธีการวัด โดยตรงเป็นวิธีการที่ประหยัด ง่าย และเชื่อถือได้ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ดิพสติค แบบกระจกมองระดับ และแบบลูกลอย

### 3.2.1 ดิพสติค

ดิพสติค เป็นก้าน โลหะที่มีขีดบอกระดับเป็นระยะๆ สำหรับจุ่มลงไปวัดระดับของของเหลวที่อยู่ในภาชนะตื้นๆ เช่น อ่างเก็บน้ำมันเครื่องของรถยนต์ ภาชนะเก็บน้ำมันสำหรับหล่อลื่นเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ปั๊ม ของเหลวที่ต้องการวัดระดับจะต้องมีความหนืดและระเหยช้า เมื่อต้องการดูระดับจะต้องดึงตัวดิพสติคขึ้นมาเช็ดคราบน้ำมันออกก่อนแล้วจึงจุ่มลงไปวัดระดับอีกครั้ง ค่าระดับที่บอกส่วนใหญ่จะไม่บอกเป็นตัวเลขแต่จะบอกเป็นระดับสูงสุดและต่ำสุดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถ้าระดับน้ำมันอยู่ในช่วงนี้ถือว่าปกติ การวัดเพื่อคู่อัตราการใช้ น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องจักรกลและสามารถวิเคราะห์การรั่วไหล สภาพเครื่องยนต์ ช่วงเวลาการเติมน้ำมันหล่อลื่นครั้งต่อไป ข้อควรระวังคือ ขณะสอดเข้าไปวัดระดับจะต้องสอดเข้าไปให้สุดและพยายามดึงออกมาตรงๆ อย่าให้เสียดสีกับขอบถัง



รูปที่ 3.5 แสดงการดูระดับจากดิพสติค

### 3.2.2 กระจกแก้วมองระดับ (Glass Gauge)

กระจกมองระดับเป็นวิธีที่สามารถดูระดับของเหลวได้โดยตรง ใช้น้ำกับภาชนะที่ไม่สูงนัก แบบพิเศษสามารถใช้งานได้กับภาชนะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง เช่น ในหม้อน้ำเลี้ยง (Drum) ของหม้อไอน้ำ (Boiler) การอ่านระดับจะอ่านได้เฉพาะจุดที่ติดตั้งกระจกมองระดับเท่านั้น ถ้าต้องการดูระดับในจุดที่ห่างออกไปจากตัววัด เช่น ในห้องควบคุม อาจทำได้โดยใช้โทรศัพท์วงจรปิด เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและปลอดภัยต่อการใช้งาน กระจกมองระดับจะถูกติดตั้งไว้ภายนอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

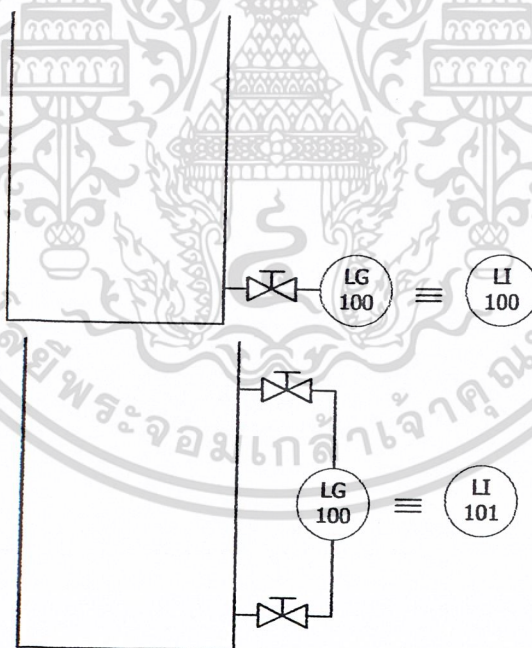
ภาชนะ มีวาล์วปิดทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อตัดส่วนนี้ออกขณะต้องการซ่อมบำรุง กระจกแก้ว  
มองระดับแบ่งแยกตามลักษณะ โครงสร้างได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบท่อแก้ว (Tubular Glass)
2. แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass)
3. แบบแบ่งเป็นช่อง (Multiport)

### 3.2.2.1 แบบท่อแก้ว (Tubular Glass)

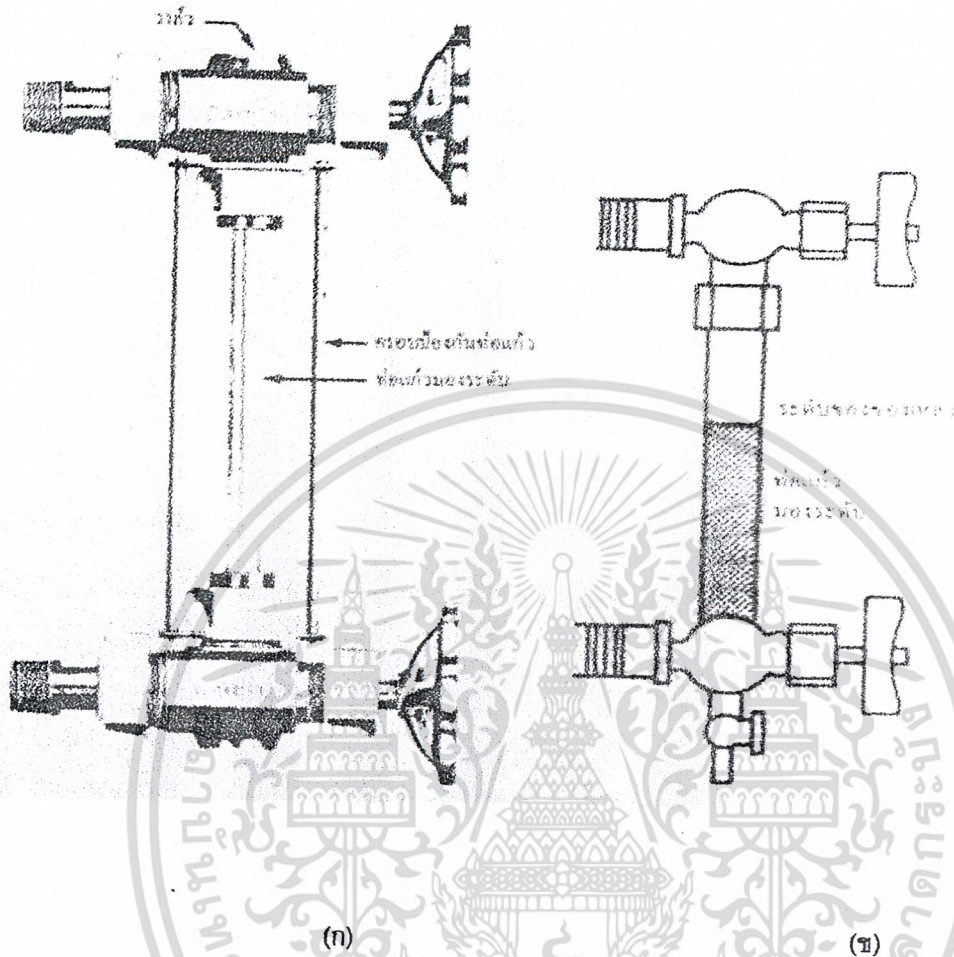
|            |  |
|------------|--|
| ใช้วัด     | Liquid   |
| ความแม่นยำ | ขึ้นอยู่กับ Process และความละเอียดของสเกล                      |
| ผู้ผลิต    | Clark Reliance, Daniel Industries, Krohne Tokyo Keiso และอื่นๆ |

#### ก. สัญลักษณ์ในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข. โครงสร้างและหลักการทำงาน



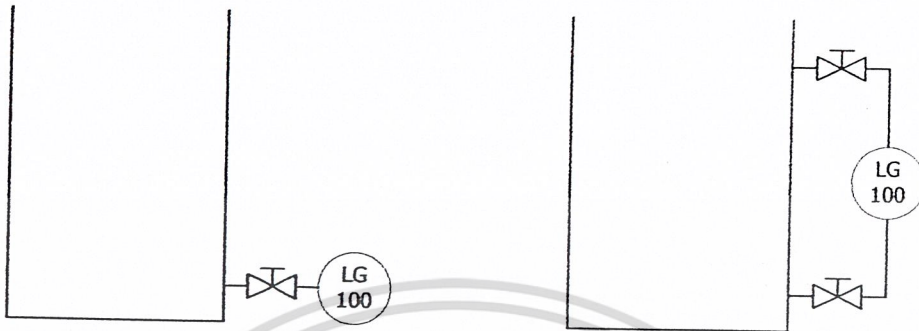
รูปที่ 3.6 แสดงท่อแก้วมองระดับ

ลักษณะของกระจกแก้วมองระดับแบบท่อแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ก) ใช้สำหรับงานที่มีความดันและอุณหภูมิไม่สูงนัก มีข้อเสียคือ แดงง่าย ไม่เหมาะกับการทำงานที่อยู่ในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายได้ง่าย (Hazardous Area) ท่อแก้วจะถูกติดตั้งอยู่ในช่วงที่ต้องการระดับ มีวาล์วที่สามารถเปิด-ปิด ได้ทั้งสองข้าง ขนาดและความหนาของท่อแก้วขึ้นอยู่กับความดันและช่วงความยาวของระดับที่ต้องการวัด การป้องกันอันตรายจากท่อแก้วแตกสามารถทำได้โดย การใช้ท่อพลาสติกใส แข็ง ครอบตัวแก้วไว้ ในบางครั้งการระดับของของเหลวที่ใส ไม่มีสี จะมีความยุ่งยากในการสังเกตระดับ การอ่านจะต้องเข้าไปพิจารณาใกล้ๆ เพื่อให้การอ่านค่าทำได้ง่ายยิ่งขึ้น เนื่องจากเลนส์นูนมีคุณสมบัติในการขยายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.5(ข) ท่อแก้วเปรียบเสมือนเลนส์นูน ถ้าเรานำแถบสีขนาดเล็กปิดไว้ตามแนวทางด้านหลังท่อ เมื่อของเหลวไหลลอดแก้วสูงขึ้นถึงบริเวณใด เนื่องจากการหักเหของแสงในอากาศและใน ของเหลวไม่เท่ากัน ดังนั้น ในช่วงที่เป็นของเหลว แถบสีเล็กๆ ด้านหลังจะถูกขยายให้เห็นใหญ่กว่าเดิมมาก ทำให้สามารถสังเกตระดับได้ชัดเจนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

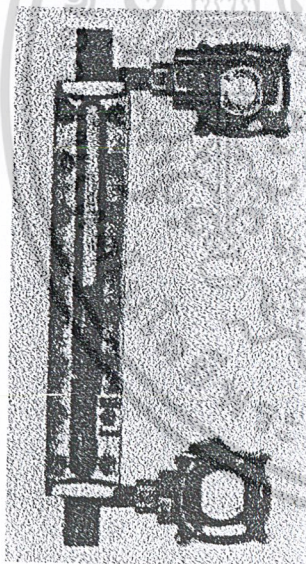
3.2.2.2 แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass)

ก. สัญลักษณ์ในการใช้งาน

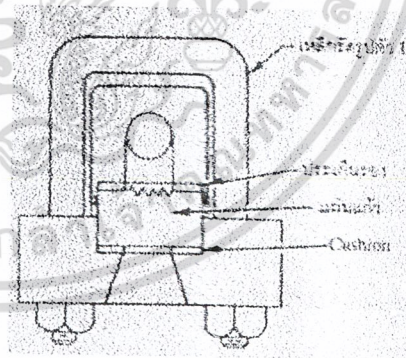


ข. โครงสร้างและหลักการทำงาน

แบบแผ่นแก้วเรียบ เริ่มมีใช้ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1900 แทนที่แบบท่อแก้ว แบ่งเป็นแบบย่อยๆ ได้อีก 2 แบบ คือ แบบแผ่นแก้วสะท้อน และแบบใส  
1 แบบแผ่นแก้วสะท้อน



(ก)



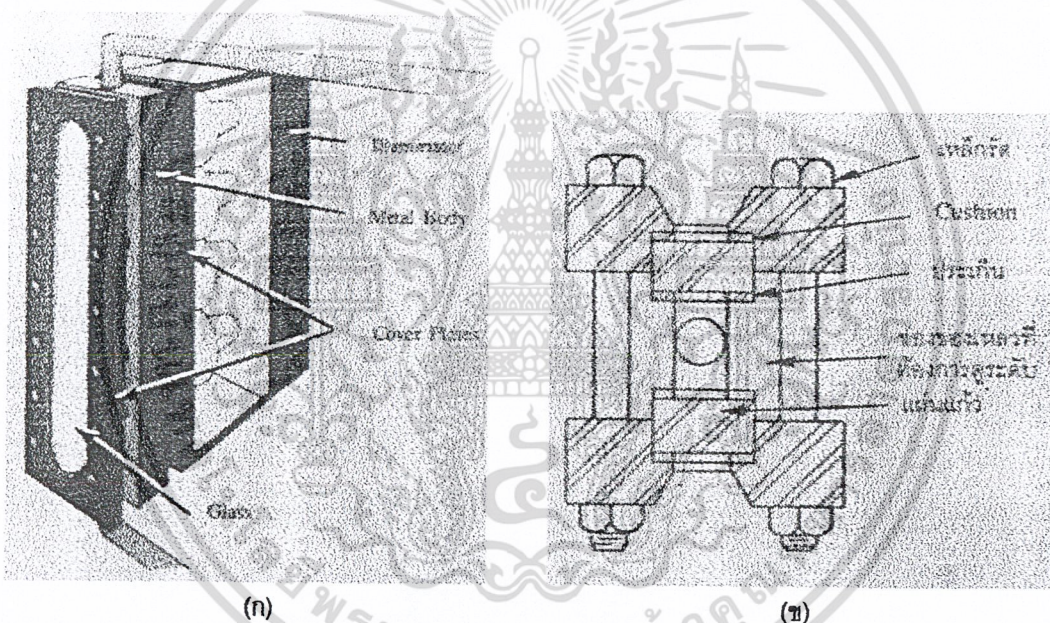
(ข)

รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นแก้วสะท้อน

แบบแผ่นแก้วสะท้อน ลักษณะด้านหน้าของแผ่นแก้วจะเรียบ ด้านในจะระ่องเป็นมุมรูป ฟันเลื่อย มุมด้านในของแผ่นแก้วพอดีที่จะทำให้แสงส่วนที่อยู่ใต้ระดับของหลอดถูกคลกคืนไปหมด ทำให้คูมึคในส่วนที่เป็นของหลอด และส่วนที่ก๊าช แสงจะสะท้อนกลับออกมา ทำให้ดูโปร่งแสงกว่า ส่วนที่เป็นของหลอด แผ่นแก้วที่ใช้ทำ คือ โบ โรซิลิเกต ซึ่งมีอัตราการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนต่อการช็อกที่เกิดจากความร้อนและแรงที่มากกระทำได้ดี ลักษณะการติดตั้งเป็นดังรูปที่ 3.6 แผ่นแก้วที่ติดกับของเหลวด้านในมีประเก็นรองอยู่ ด้านมี Cushion รองอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กกับแผ่นแก้ว จึงไม่มีส่วนสัมผัสโดยตรงกับโลหะ เหล็กกรูรูปตัว U มีไว้สำหรับรัดส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน แบบแผ่นแก้วสะท้อน เหมาะสำหรับของเหลวที่สะอาด ไม่มีสี มีค่าความหนืดต่ำ เพราะถ้ามีของเหลวที่ต้องการดูระดับมาเคลือบบนแผ่นแก้ว การอ่านระดับจะทำให้ยาก หรือถ้าของเหลวด้านในเคือเคมีไอน้ำมาเกาะที่แผ่นแก้ว จะทำให้การอ่านระดับผิดไปได้เช่นกัน ข้อดีของแผ่นแก้วแบบสะท้อน คือ ไม่ต้องมีหลอดส่องแสงสว่างก็สามารถอ่านระดับได้ แบบพิเศษสามารถทนความดันได้สูงถึง 4,000psig และทนอุณหภูมิได้ 750°F

## 2. แบบแผ่นแก้วใส (Transparent Gauge)

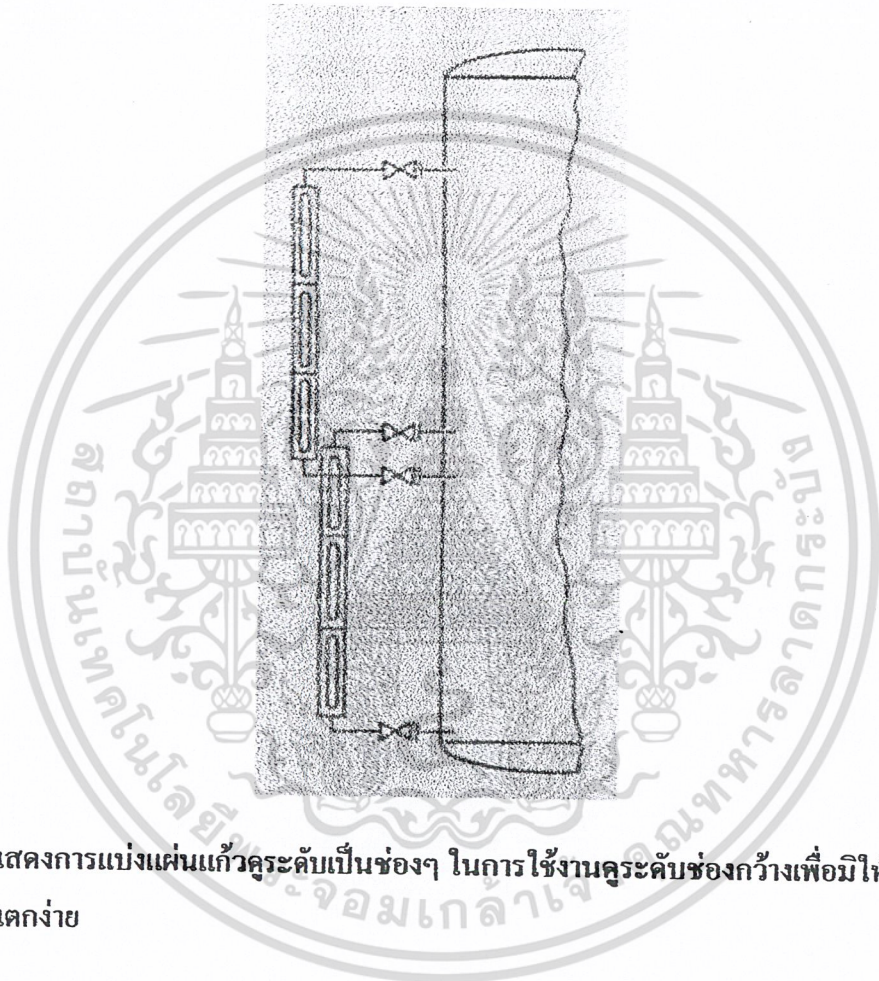
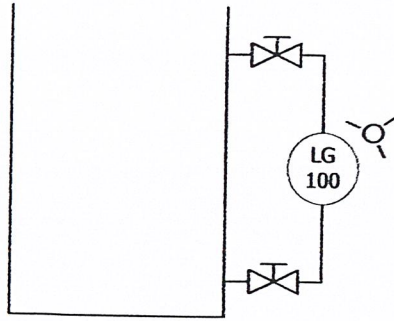


รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นแก้วใส

แบบแผ่นแก้วใส มีโครงสร้างคล้ายแบบสะท้อนแต่ผิวด้านในเรียบ เหมาะสำหรับใช้ดูระดับของของเหลวที่มีสีหรือมีความหนืดสูง เช่น น้ำมัน ภาพตัดขวางเป็นดังรูปที่ 3.7 มีแผ่นแก้วเรียบประกบอยู่ระหว่างของเหลวทั้งสองด้าน ทำให้มองเห็นทะลุทั้งสองด้าน บางแบบอาจมีไฟส่องดูระดับ ซึ่งสามารถดูได้ทุกเวลา

สัญลักษณ์ในการใช้งาน (ในกรณีที่มีไฟส่องดูระดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

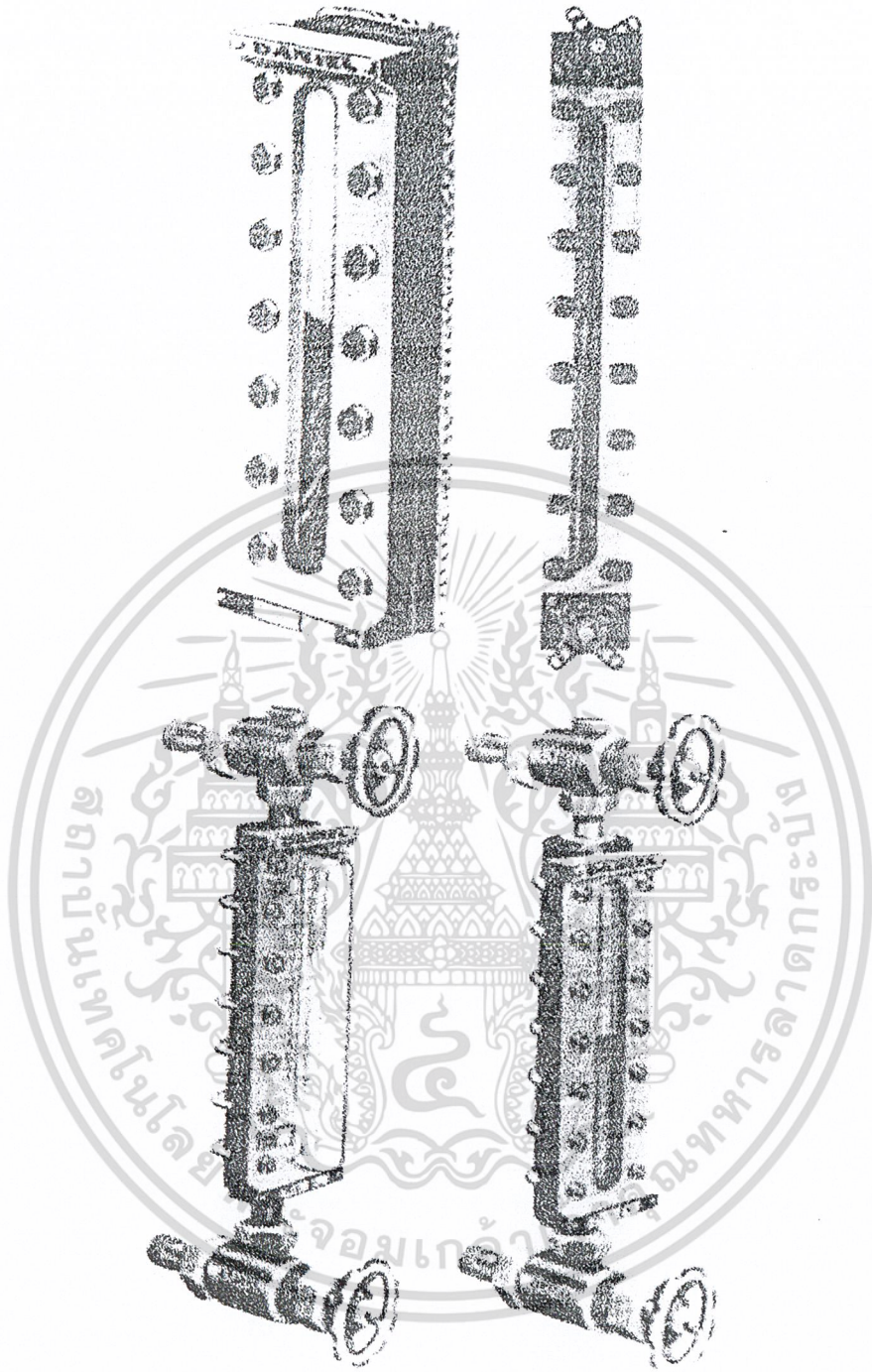


**รูปที่ 3.9** แสดงการแบ่งแผ่นแก้วระดับเป็นช่องๆ ในการใช้งานระดับช่องกว้างเพื่อมิให้แผ่นแก้วแตกง่าย

ถ้าของเหลวที่ต้องการระดับเป็นสารกัดกร่อน ซึ่งอาจกระทำกับแผ่นแก้ว จะต้องใช้แผ่นไมก้าใส (Transparent Mica) หรือ Kel-F เป็นแผ่นรองมิให้ของเหลวนั้นสัมผัสกับแผ่นแก้วได้โดยตรง ถ้าระดับที่ต้องการดูมีช่วงยาว การใช้แผ่นแก้วอันเดียวจะทำให้แผ่นแก้วนั้นแตกได้ง่ายเนื่องจากการขยายตัว ดังนั้นจะต้องแบ่งแผ่นแก้วออกเป็นช่วงๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 แบบพิเศษที่เจาะภาชนะเพื่อติดตั้งกระจกมองระดับโดยตรงไม่พบบ่อยนัก แต่จะใช้ในกรณีที่

1. ช่องว่าง (Space) ที่จุดนั้นมีจำกัด
2. ต้องการลดจุดต่อต่างๆ ให้มีน้อยที่สุดเนื่องจากของเหลวที่ต้องการระดับเป็นของอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เพื่อลดจุดต่อให้มีน้อยที่สุด

(ข) ใช้กระเปาะที่ติดตั้งแผ่นแก๊วขนาดใหญ่

รูปที่ 3.10 แสดงแผ่นแก๊วมองระดับแบบพิเศษ

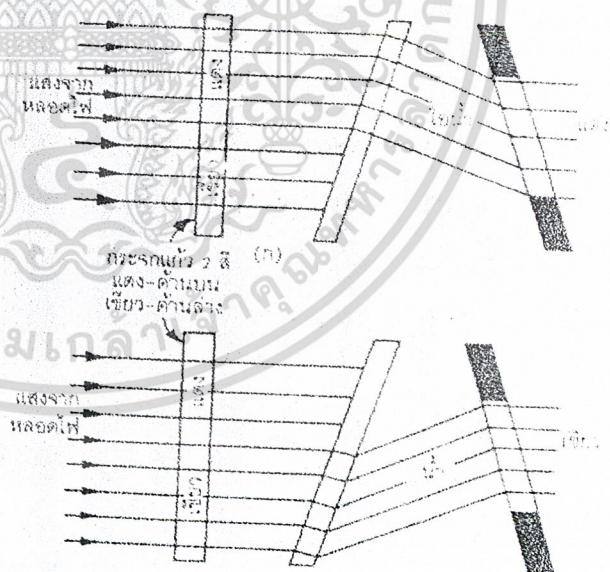
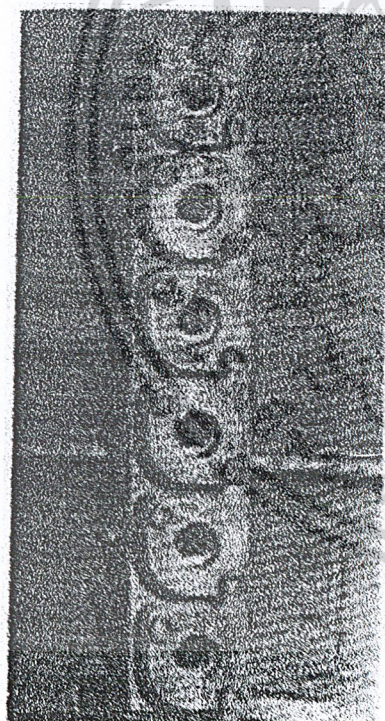
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 ถ้าของเหลวภายในภาชนะกระเพื่อมอยู่ตลอดเวลา เช่น น้ำในภาชนะนั้นเดือด ซึ่งจะทำให้การอ่านระดับทำได้ยาก จะต้องออกแบบกระเปาะด้านล่างให้ใหญ่เป็นพิเศษ กระเปาะนี้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ข)

### 3.2.2.3 แบบแบ่งเป็นช่อง (Multiport)

เป็นแบบที่เหมาะสมสำหรับของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูงโดยเฉพาะ ภายในช่องระดับมีทรงเป็นรูปลิ้น จุดที่ต้องการระดับจะติดตั้งแผ่นแก้วไว้เป็นช่องๆ ระดับที่อยู่ระหว่างช่องทั้งสองจะมองไม่เห็น

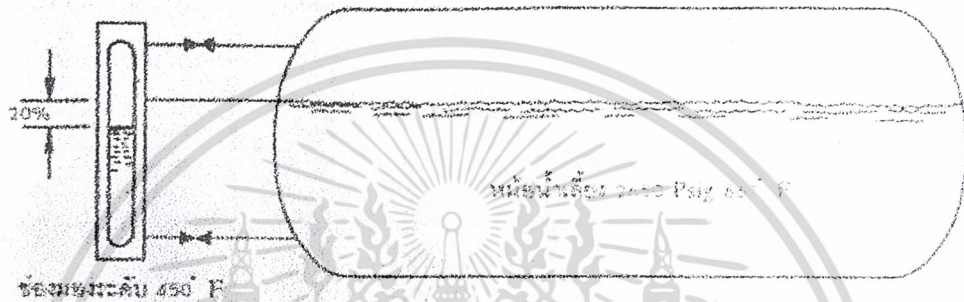
เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตระดับ ได้มีผู้คิดกำหนดสีของของเหลว และส่วนที่เป็นที่ว่างให้แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยใช้หลักการหักเหของแสงในน้ำและในอากาศไม่เหมือนกัน ประกอบกับช่องภายในเป็นรูปลิ้นทำหน้าที่เหมือนปริซึม ตามรูปที่ 3.10 ส่วนใหญ่มักกำหนดให้ น้ำหรือของเหลวเป็นสีเขียว อากาศหรือไอน้ำเป็นสีแดง



รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้งใช้งานของแบบ Multiport และหลักการแยกสีของน้ำและอากาศหรือไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

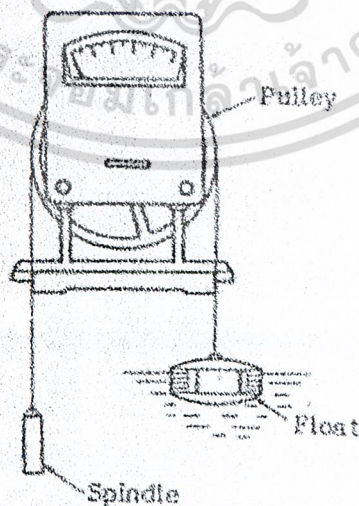
ความผิดพลาดที่เกิดจากของเหลวในภาชนะมีอุณหภูมิสูง เช่น ในหม้อน้ำเลี้ยง (Drum) ของหม้อไอน้ำซึ่งน้ำอยู่ภายใต้สภาวะจุดเดือดตลอดเวลา การใช้ช่องกระจกมองระดับซึ่งต่ออยู่ห่างออกมา ทำให้อุณหภูมิของของเหลวในช่องมองระดับมีค่าต่ำกว่าของเหลวในหม้อน้ำเลี้ยง ค่าความหนาแน่นของน้ำในช่องมองระดับจึงสูงกว่า ตัวอย่างเช่น จุดทำงานโดยปกติของหม้อน้ำเลี้ยงอยู่ที่ 2650psig อุณหภูมิ 667°F และน้ำในช่องมองระดับซึ่งต่ออยู่ห่างออกไปมี อุณหภูมิ 450°F จะทำให้ค่าระดับที่อ่านได้ผิดไป คือต่ำกว่าระดับของของเหลวในหม้อน้ำเลี้ยงถึง 20% ตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 แสดงระดับในช่องมองระดับจะมีระดับต่ำกว่าในภาชนะเมื่อความหนาแน่นของน้ำในช่องมองระดับมีค่าสูงกว่าในภาชนะ

### 3.2.3 ลูกลอย (Float)

การวัดระดับของของเหลวที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง ก็คือ การวัดระดับของของเหลวโดยใช้ลูกลอยวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกลอย



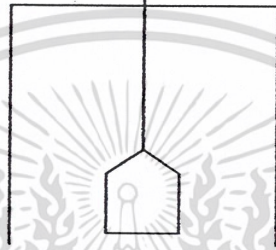
### รูปที่ 3.13 แสดง MC56 Float Liquid-Level Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

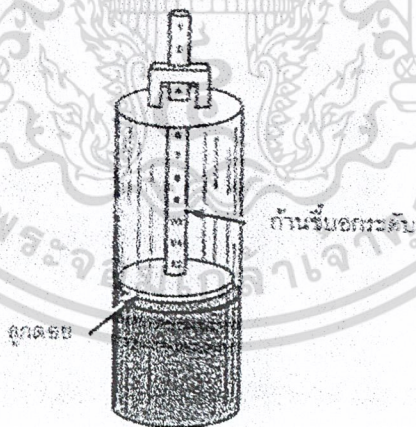
เครื่องวัดแบบลูกลอย (Float Type Meter) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นเครื่องวัดที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถใช้ได้กับงานในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงและภายใต้สภาพความดันสูง ๆ ง่ายต่อการใช้ สะดวกต่อการปรับแต่ง (Calibrate) มีความเที่ยงตรงสูง

ก. สัญลักษณ์ในการใช้งาน

II  
101

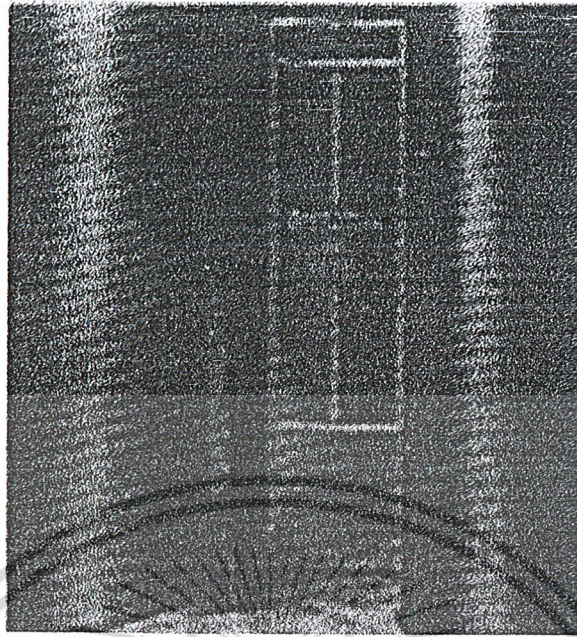


ข. โครงสร้างและหลักการทำงาน



(ก) หลักการของลูกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (ข) การใช้ลูกกลยว้ระดับในดึงเก็บน้ำมันหล่อลื่นแทนคิพสติก ทำให้สามารถระดับได้ตลอดเวลา

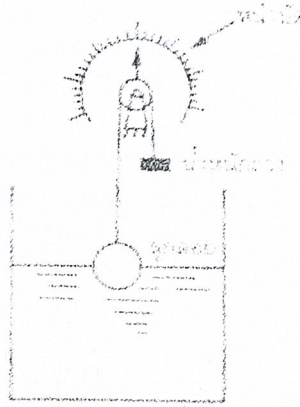
รูปที่ 3.14 แสดงการว้ระดับโดยลูกกลย

ในการว้ระดับของของเหลวโดยอาศัยการลอยตัวของลูกกลย การที่ลูกกลยสามารถลอยได้นิ่งอยู่บนของเหลว แสดงว่าแรงที่กดลงมาซึ่งก็คือน้ำหนักของลูกกลยซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลก จะต้องมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่ลูกกลยจมในของเหลว เมื่อระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงจะทำให้ลูกกลยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามไปด้วย จึงสามารถต่อแกนขึ้นในแนวตั้งเพื่อ ชี้ออกค่าระดับได้ ตามรูปที่ 3.13 เป็นการแสดง โครงสร้างอย่างง่าย

### 3.2.3.1 ใช้เทปประกอบในการอ่านระดับ

เกจว้ระดับนี้มีหลักการทำงานและโครงสร้างอย่างง่ายๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ลูกกลยจะถูกค้ำด้วยเชือก เส้นลวด โข่หรือเทป คล้องผ่านรอก (Pulley) และอีกปลายค้ำเข้ากับลูกค้ำเพื่อรักษาให้เชือกค้ำอยู่ตลอดเวลา การหมุนของรอกจะสัมพันธ์กันโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของลูกกลย ขณะที่ระดับเปลี่ยนแปลง ลูกกลยจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวค้ำส่งผลให้รอกหมุน แกนของรอกสามารถต่อ ไปขับเข็มชี้ที่ติดอยู่เพื่อเทียบกับสเกลที่ค้ำแสดงค่าของระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการอ่านระดับที่ใช้รอกและเทปหมุนเข็มนาฬิกา

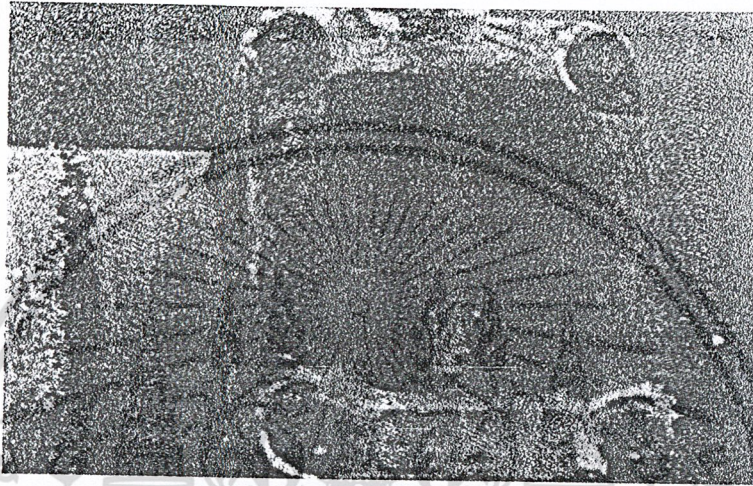


รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายๆ ที่ใช้เทปประกอบในการอ่านระดับ โดยมีน้ำหนักถ่วง คือ แผ่นอ่านระดับ

ในกรณีที่ใช้สายเทป ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ใช้ต่อระหว่างลูกลอยเคลื่อนที่ผ่านรอกไปยัง ลูกตุ้ม (Counter Weight) เมื่อลูกลอยเคลื่อนที่อาจเกิดการลื่นไถลของสายเทปที่สัมผัสกับรอกขึ้นได้ เพื่อให้ค่าในการวัดมีความถูกต้องแน่นอน การแก้ไขการลื่นไถลด้วยสาเหตุนี้ ตัวรอกจะทำในลักษณะเป็นเฟืองและสายเทปต้องเจาะรูให้ระยะห่างของรูมีขนาดพอดีกับเฟือง ดังนั้นสาเหตุความผิดพลาดในการอ่านเนื่องจากสาเหตุนี้ก็จะหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกจวัดที่ใช้เทปประกอบในการอ่านนี้ไม่เหมาะสำหรับการวัดระดับของของเหลวในภาชนะปิด (Closed Tank) เพราะจะเกิดความยุ่งยากในการนำการเคลื่อนที่ของลูกลอยออกมายังเครื่องอ่านค่าภายนอก โดยปราศจากความเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามในภาชนะเปิดที่มีขนาดใหญ่ เช่น ถังเก็บน้ำมัน หรือถังเก็บน้ำ การวัดชนิดนี้ก็มีความเหมาะสม ย่านการใช้งาน 0.5 – 50 เมตร และมีค่าความผิดพลาด  $\pm 1$  ถึง 2%

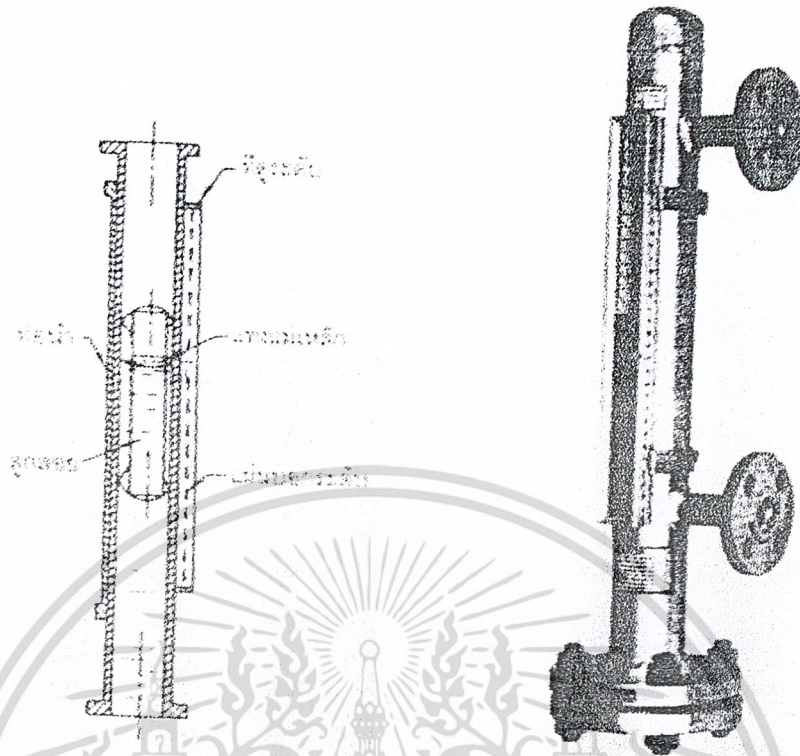


รูปที่ 3.17 แสดงการอ่านระดับโดยใช้ลูกลอยและเทป แต่ใช้สปริงเป็นตัวดึงเทปให้ตั้งอยู่ตลอดเวลา แทนน้ำหนักถ่วง ซึ่งเหมาะสำหรับในจุดที่มีพื้นที่จำกัด

### 3.2.3.2 ใช้แม่เหล็กช่วยในการอ่านระดับ

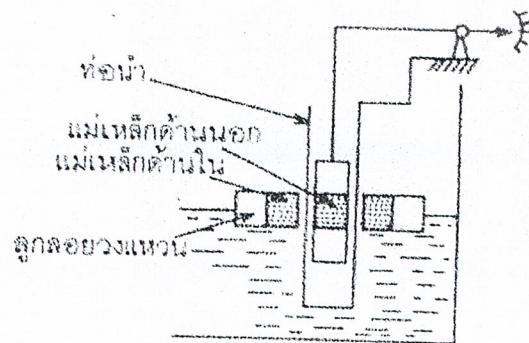
ในกรณีของเหลวที่ต้องการทราบระดับมีอันตราย มีพิษ ซึ่งจะให้รั่วออกมาข้างนอกไม่ได้ จึงจำเป็นต้องแยกส่วนที่วัดออกจากตัวอ่านค่า เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วขึ้นได้ วิธีการใช้ลูกลอยติดแท่งแม่เหล็กจะแก้ปัญหานี้ได้ ตัววัดแบบนี้ประกอบด้วยท่อรูปทรงกระบอกที่แข็งแรงไม่ใช่สารแม่เหล็กหรือต้านทานต่อเส้นแรงแม่เหล็กต่อออกมาภายนอกลักษณะเดียวกับแบบกระจกมองระดับ ภายในมีลูกลอยซึ่งมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ ลูกลอยสามารถเคลื่อนตัวขึ้น-ลงตามระดับน้ำได้อย่างอิสระ ด้านนอกมีที่ครอบระดับที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะชิ้นเล็กๆ ที่เป็นสารแม่เหล็กตั้งเรียงกันอยู่ตามแนวระดับ แผ่นโลหะเหล่านี้ขยับได้โดยอิสระเป็นมุม 18 องศา ขณะที่ลูกลอยเคลื่อนที่ไปอยู่ ณ จุดใด สนามแม่เหล็กจากลูกลอยจะทำให้แผ่นโลหะในจุดนั้นถูกดูดเอียงทำมุม ทำให้ทราบค่าระดับของของเหลวในถังได้ แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะสม ถ้าของเหลวในถังมีอุณหภูมิสูงเพราะจะทำให้แม่เหล็กเสื่อมในเวลาอันรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงการใช้แม่เหล็กช่วยในการอ่านระดับ

จากรูปที่ 3.17 ลูกลอยแบบนี้จะสร้างให้มีลักษณะเป็นวงแหวนคล้ายกับขนมโดนัท และสร้างด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ช่องว่างตรงกลางของลูกลอยมีท่อบรูปทรงกระบอก กลวง ส่วนล่างของท่อทรงกระบอกถูกปิดทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็กและทนต่อการกัดกร่อน ท่อทรงกระบอกนี้จะทำหน้าที่เป็นท่อนำให้ลูกลอยด้วย ภายในท่อรูปทรงกระบอกมีแท่งแม่เหล็กที่ ต่อแขนโยงเข้ากับคันที่ต่อ ไปยังเข็มชี้เพื่ออ่านค่าระดับ การขยับตัวของลูกลอย (Ring Float) ที่มี แม่เหล็กถาวรติดอยู่จะทำให้แท่งแม่เหล็กภายในท่อ (Inner Magnet) ขยับตัวตามกัน โดยตรง



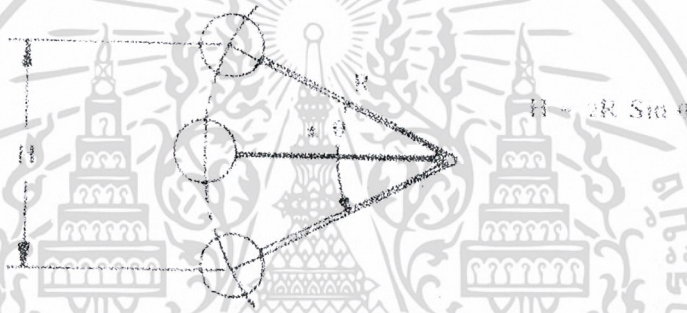
รูปที่ 3.19 แสดงโครงสร้างของแกว้ดซึ่งใช้แม่เหล็กประกอบเข้ากับลูกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของขั้วในแนวตั้งของแม่เหล็กด้านในจะส่งผลให้ขั้วขั้ว ซึ่งสามารถให้การขั้วของคานไปขั้วกลไกในตัวทรานสมิตเตอร์ เพื่อเปลี่ยนออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า 4 – 20 mA หรือสัญญาณลม (Pneumatic) 3 – 5 psig เพื่อส่งเข้าไปเข้าเครื่องอ่านค่าหรือเครื่องควบคุม ที่อยู่ในห้องควบคุมหรือบริเวณที่ไกลจุดวัดได้

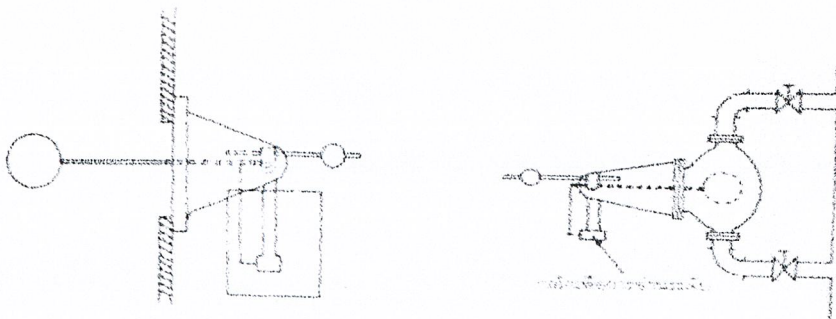
เกจวัดแบบนี้สามารถนำไปใช้ในการวัดระดับของของเหลวได้ ทั้งในถังเปิดและถังปิดภายใต้ความดันต่างๆ ได้ เพราะส่วนที่เป็นแม่เหล็กด้านในจะแยกออกจากของเหลวในถังอย่างเด็ดขาด สามารถใช้กับของเหลวที่มีการกัดกร่อนได้ดี มีค่าผิดพลาดในการวัด  $\pm 1$  ถึง 2% มีย่านการวัด 0.5 – 50m

3.2.3.3 ใช้คานช่วยในการอ่านระดับ



รูปที่ 3.20 แสดงการใช้คานช่วยในการอ่านระดับ

การวัดด้วยวิธีนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 จะใช้ลูกลอยถูกค้ำด้วยคานที่มีความยาว R ระยะทางที่ลูกลอยเคลื่อนที่ในแนวตั้ง H ขณะที่ลูกลอยและจุดหมุนอยู่ในแนวระดับมุม  $\theta$  จะเท่ากับ 0 องศา ตัวคานจะเคลื่อนที่ได้โดยอิสระตามลูกลอยที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงจากแนวระดับเป็นมุม  $\theta$  องศา



(ก) แบบลูกลอยอยู่ในภาชนะ

(ข) แบบลูกลอยอยู่นอกภาชนะ

รูปที่ 3.21 แสดงการวัดระดับแบบลูกลอยที่มีการใช้คานช่วยในการอ่านระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดระดับแบบลูกลอยในลักษณะนี้ สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. ลูกลอยถูกติดตั้งในภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 (ก) สามารถใช้ได้ในการวัดระดับที่สามารถติดตั้งลูกลอยได้โดยตรงในการวัดระดับของของเหลวในถัง
2. ลูกลอยถูกติดตั้งนอกภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.20(ข) ในการใช้งานซึ่งไม่สามารถให้ลูกลอยอยู่ในถังได้โดยตรง ต้องมีการต่อท่อออกจากถังที่ต้องการวัดระดับมายังช่องวัดระดับภายนอก และลูกลอยจะถูกติดตั้งอยู่ภายในช่องวัดระดับนี้

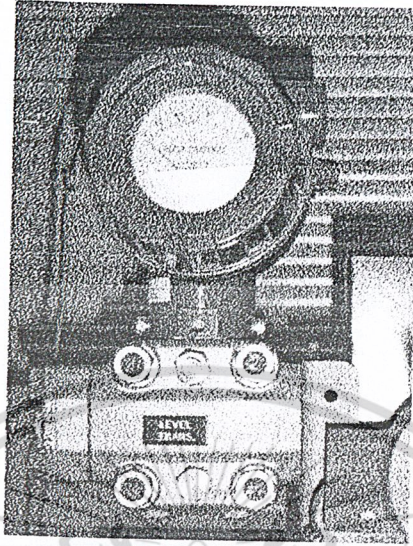
ข้อดีของการติดตั้งลูกลอยภายนอก คือ ง่ายในการตรวจสอบ บำรุงรักษาและสะดวกต่อการใช้งาน ท่อที่ต่อจากถังหรืออ่างที่ต้องการวัดระดับมายังช่องวัดระดับ เนื่องจากการกระเพื่อมของของเหลวในถังที่เราต้องการทราบระดับ

แต่ข้อเสียก็คือ การติดตั้งลูกลอยภายนอกมีขีดจำกัดในย่านการใช้งานเพราะการเคลื่อนที่ของลูกลอยและคานจะถูกกำหนดด้วยขนาดของช่องวัดระดับ มุมในการขยับตัวของคานขึ้นและลงจากแนวระดับจะมีได้ประมาณ  $\pm 30$  องศา ดังนั้นย่านในการวัดจะมีได้เพียง 500ml สำหรับลูกลอยอยู่ภายในภาชนะ และแบบลูกลอยอยู่ภายนอกภาชนะจะมีการขยับได้ประมาณ 100ml

ลูกลอยจะใช้ต้องถูกสร้างให้มีรูปร่างและขนาดที่ให้ได้รับแรงลอยตัวมากที่สุด โดยมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด แต่เพื่อให้มีความไวในการวัดมากที่สุด ลูกลอยจะถูกต่อเข้ากับคานและปลายอีกด้านหนึ่งต้องต่อเข้ากับลูกตุ้ม (Balance Weight)

มิเตอร์วัดระดับชนิดนี้มีโครงสร้างที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน สามารถประกอบเข้ากับ ชุดของสวิตช์ที่เป็นสวิตช์ปรอท หรือไมโครสวิตช์ เพื่อใช้ในระบบสัญญาณเตือนหรือต่อเข้าเครื่องควบคุมระดับน้ำได้

### 3.2.4 การวัดระดับโดยการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 3.22 แสดง D/p cell

|            |   |
|------------|---|
| ใช้วัด     | Liquid  |
| ความแม่นยำ | ± 0.15 ถึง 0.5%   |
| ผู้ผลิต    | Barton Instrumentation, Bechman Instruments, Fox Boro, Yokogawa E&H, Yamatake, Rosemount, Smar, Honeywell, Toshiba และอื่นๆ |

#### 3.2.4.1 หลักการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล

การวัดระดับโดยวิธีวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลเป็นที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมวิธีหนึ่ง สามารถใช้กับของเหลวที่สกปรก มีความดันหรืออุณหภูมิสูงได้ดี หลักการวัดความสมการเบื้องต้น ดังนี้

$$P = h.SG_m$$

- เมื่อ
- P คือ ค่าความดัน มีหน่วยเป็น เมตรน้ำ
  - h คือ ค่าความสูงของของเหลว มีหน่วยเป็น เมตร
  - $SG_m$  คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของสาร (ไม่มีหน่วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากสมการ ค่าความถ่วงจำเพาะของสารเป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้น เช่น น้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะ เป็น 1 หรือ โปรทมีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.6 ดังนั้น ความดันที่เกิดขึ้นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของของเหลวในถัง ดังนี้

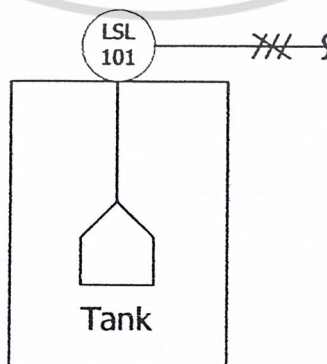
3.2.5 สวิตช์ระดับแบบลากลอย (Magnetic Type Float Switch)



รูปที่ 3.23 แสดงสวิตช์ระดับแบบลากลอย (Magnetic Type Float Switch)

|                  |   |
|------------------|---|
| ใช้วัด           | Liquid  |
| ความแม่นยำ       | ± 1% ของ Full Scale   |
| ผู้ผลิต<br>อื่นๆ | Custom control, Magnetrol, Robertshaw controls, Rochester gauges Inc, และ |

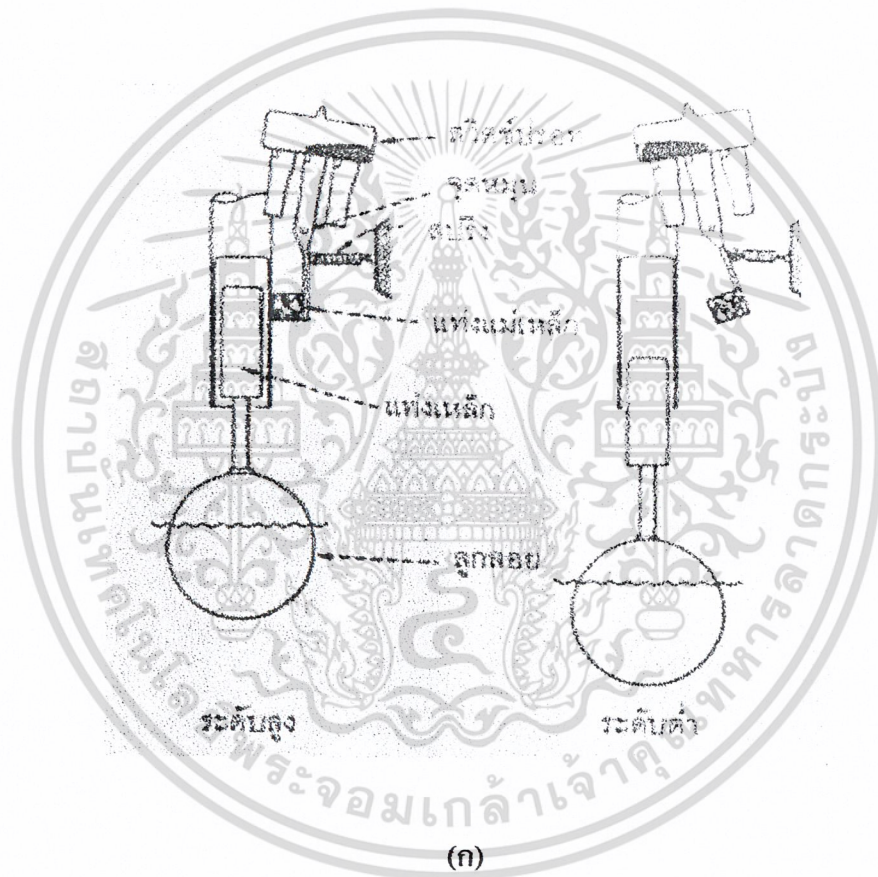
ก. สัญลักษณ์ในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

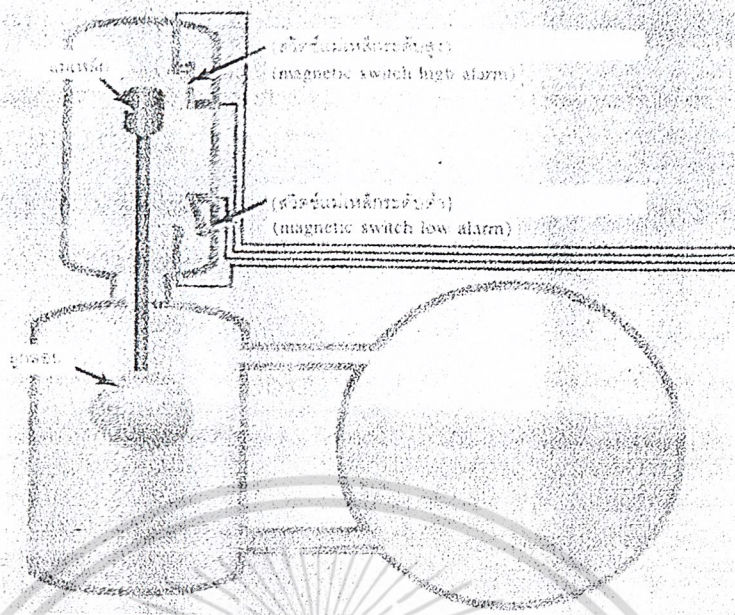
### ข. โครงสร้างและหลักการทำงาน

สวิตช์ระดับแบบที่ใช้ลูกลอยกับแท่งแม่เหล็กถาวรเป็นแบบที่ง่าย ราคาถูก และเป็นที่ยอมรับมากที่สุดแบบหนึ่ง เปลี่ยนระดับขึ้นลงตามน้ำหรือของเหลว ที่ตัวลูกลอยมีแกนติดอยู่ ดังนั้นแกนนี้จะเคลื่อนตัวขึ้นลงในแนวตั้งไปตามระดับน้ำด้วย ปลายด้านบนของแกนมีแท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่ สวิตช์แม่เหล็กถูกติดตั้งไว้ภายนอก เมื่อระดับของเหลวสูงขึ้นจนแท่งแม่เหล็กถาวรยังติดอยู่กับแกนสูงขึ้นจนอยู่ในระดับเดียวกับสวิตช์แม่เหล็กด้านนอก มันจะถูกดูดให้เข้าใกล้กันมากขึ้น ทำให้สวิตช์ปรอทต่อเชื่อมกัน เมื่อระดับของลูกลอยต่ำลง แรงแม่เหล็กที่ดูดกันของแท่งแม่เหล็กและสวิตช์แม่เหล็กน้อยลง สปริงจะดึงรั้งสวิตช์ทำให้สวิตช์ปรอทตัดวงจรออก



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.24 แสดงสวิทช์แม่เหล็ก

ข้อดีของการใช้สวิทช์แม่เหล็ก คือ สวิทช์แม่เหล็กและตัวลูกลอยจะแยกกันอยู่แต่ขาดอันตรายที่อาจเกิดจากไฟรั่วที่ตัวสวิทช์จะไม่เกิดขึ้น แต่ไม่เหมาะกับของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศมากนัก เพราะแม่เหล็กที่ใช้จะเสื่อมคุณภาพในเวลาอันสั้น

ข้อดีของลูกลอยอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในแกนของลูกลอยอันเดียวกันสามารถติดตั้งสวิทช์แม่เหล็กมากกว่า 1 ชุด ตามรูปที่ 3.23 สามารถสร้างสัญญาณระดับมากกว่า 1 จุด จึงเหมาะสำหรับใช้ควบคุมระดับของของเหลวในภาชนะให้อยู่ในย่านที่เหมาะสมได้ เช่น ใช้ควบคุมมอเตอร์ที่ปั้มน้ำเข้าถังพัก สวิทช์ระดับด้านบนใช้ตัดมอเตอร์ของปั้มน้ำเมื่อระดับน้ำขึ้นสูงถึงจุดบนที่กำหนด และสวิทช์ระดับด้านล่างใช้ต่อมอเตอร์ของปั้มน้ำเข้าทำงานอีกครั้งเมื่อระดับลดลงถึงจุดล่างสุดที่กำหนด หรืออาจต่อไปเข้าตัวส่งสัญญาณเตือนเมื่อระดับน้ำถึงสูงหรือต่ำกว่าขีดที่กำหนดไว้

## บทที่ 4

# รายละเอียดในการสร้างและประกอบปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้แก่

1.1 วงจรของตัว Pressure Sensor

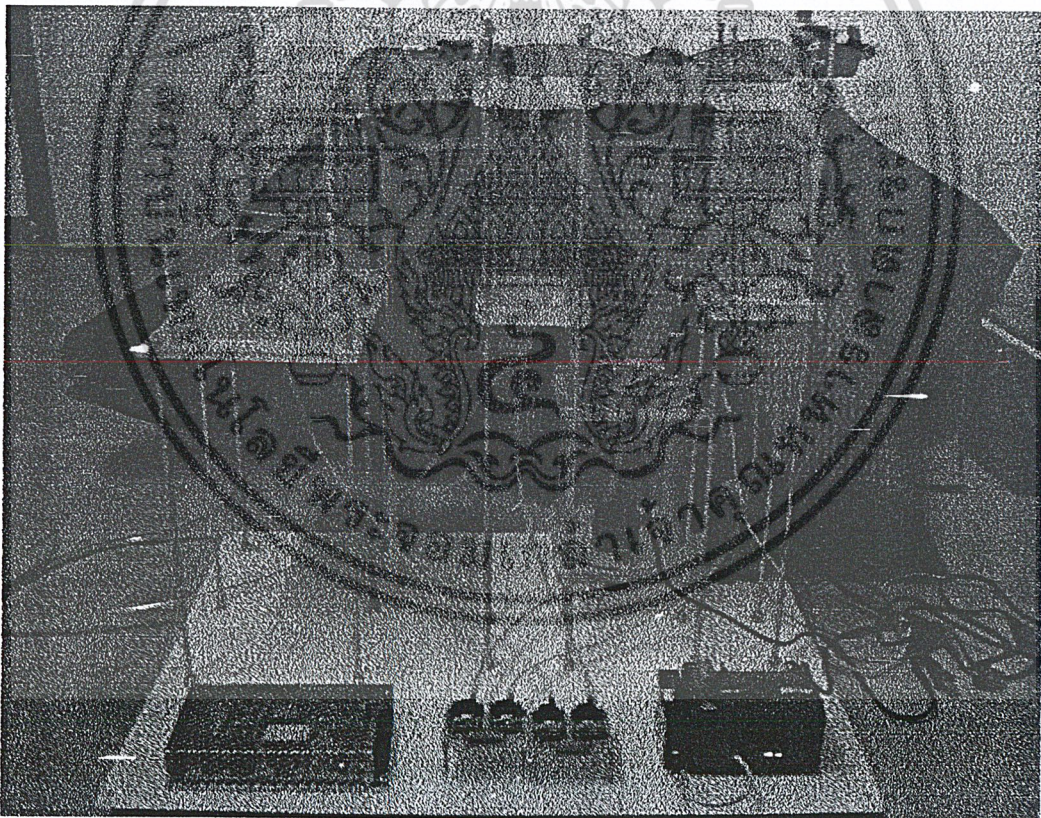
1.2 วงจร Instrument Amplifier

1.3 ส่วนของ Plant กระบวนการ

2. ส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

2.1 โปรแกรม ของ PLC

2.2 โปรแกรมหน้าจอ SCADA (Microsoft Visual Basic)

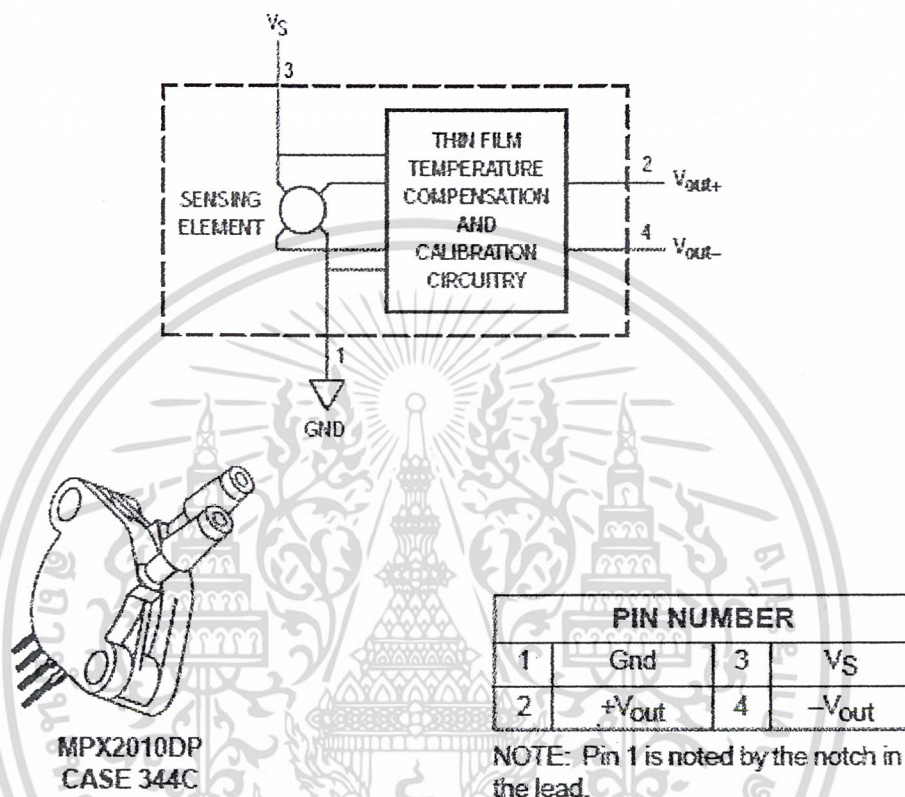


รูปที่ 4.1 แสดง Hardware โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์(Hardware)

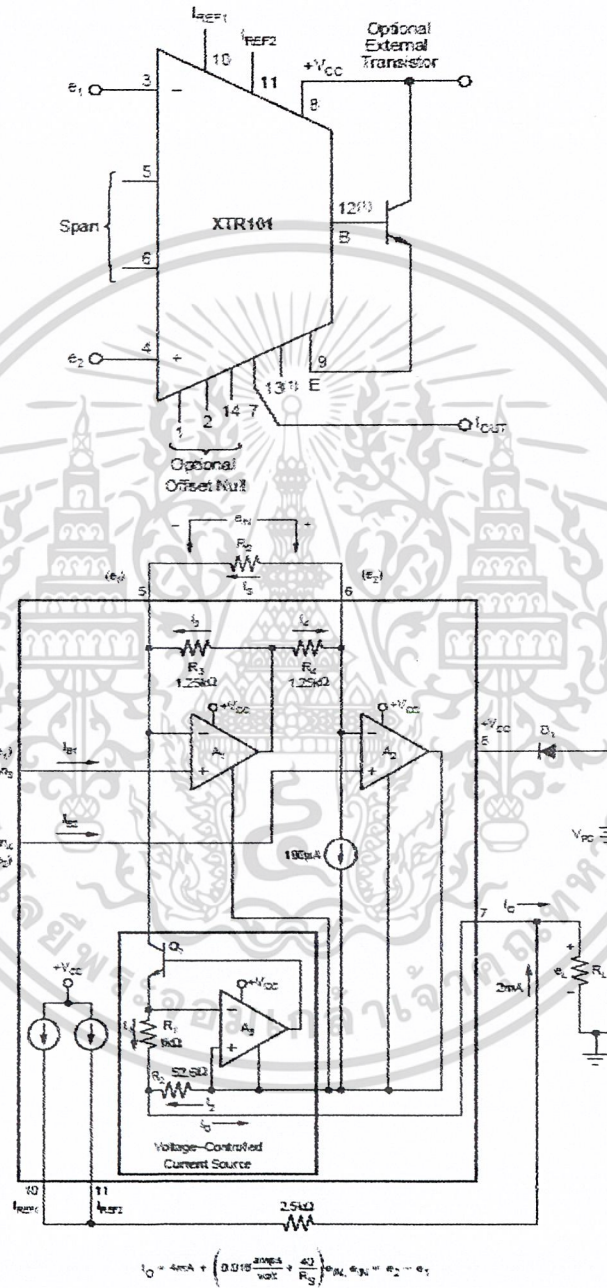
4.1.1 Pressure Sensor (Differential Pressure Transmitter) เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่มีวงจรภายในดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอุปกรณ์ วงจรภายใน และตำแหน่งขาของ Pressure Sensor

โดยการทำงานคือ เมื่อมีการจ่าย  $V_s$  ให้แก่ตัวอุปกรณ์ และจ่ายแรงดันให้กับตัวอุปกรณ์ ซึ่งวัดได้เป็นความดันแตกต่าง โดยอาจจะเทียบกับความดันบรรยากาศก็ได้ ก็จะได้ค่า  $V_{out}$  ออกมาเป็นค่าแรงดันเป็น mV ซึ่งจะต้องนำมาขยายแรงดันอีกทีโดยการป้อนเข้าวงจร Instrument Amp เพื่อที่จะขยายแรงดันออกมาเป็น 1 – 5 V แล้วจากนั้นนำค่าแรงดันไปแปลงเป็นกระแส 4-20 mA เพื่อที่จะจ่ายค่าที่รับได้จาก Plant ในรูปกระแสให้กับ PLC เพื่อที่จะใช้ในการควบคุม Process อีกที

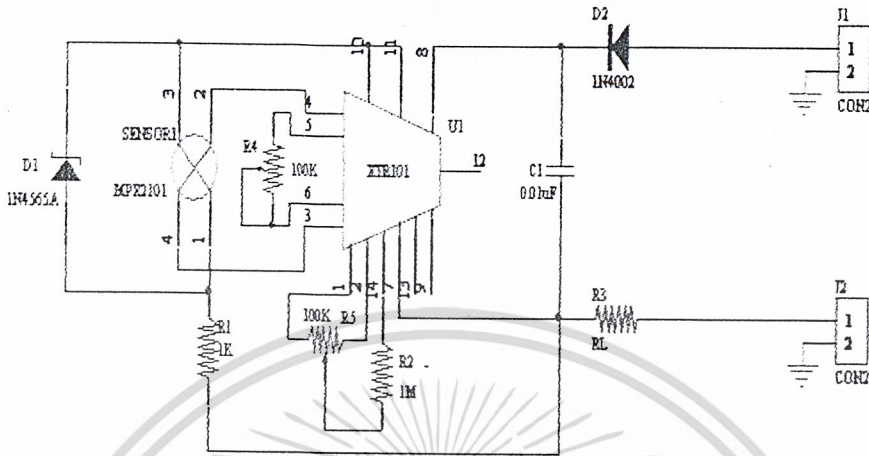
4.1.2 ส่วนของวงจร Instrument Amplifier จะใช้ IC เบอร์ Xtr101 ซึ่งเป็น IC ที่ทำหน้าที่ในการขยายแรงดันและแปลงเป็นกระแส 4-20 mA ได้ในตัว ซึ่งมีวงจรภายในดังรูป



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรและขาของ IC เบอร์ Xtr101

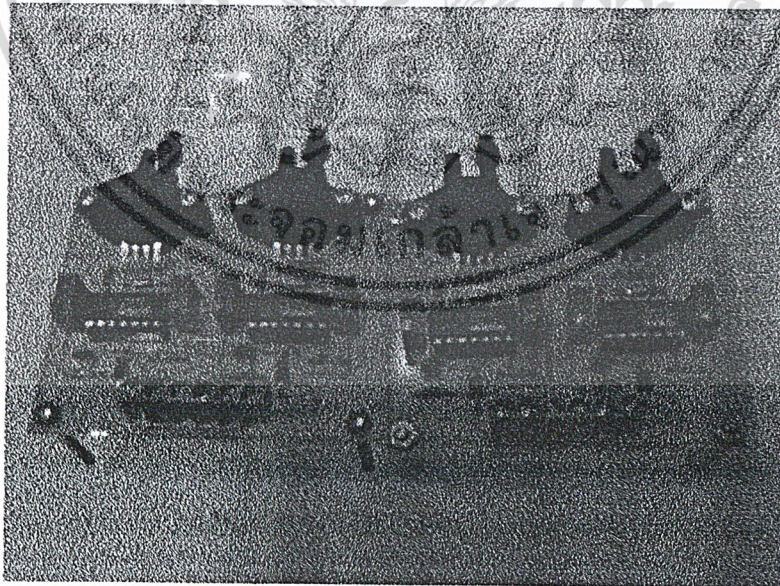
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการออกแบบวงจร ที่ใช้ในการวัดค่าความดันและส่ง Output ในรูปกระแสจ่าย ให้แก่ PLC เป็นดังรูป



รูปที่ 4.4 แสดงรูปการต่อใช้งานของ IC เบอร์ XTR 101

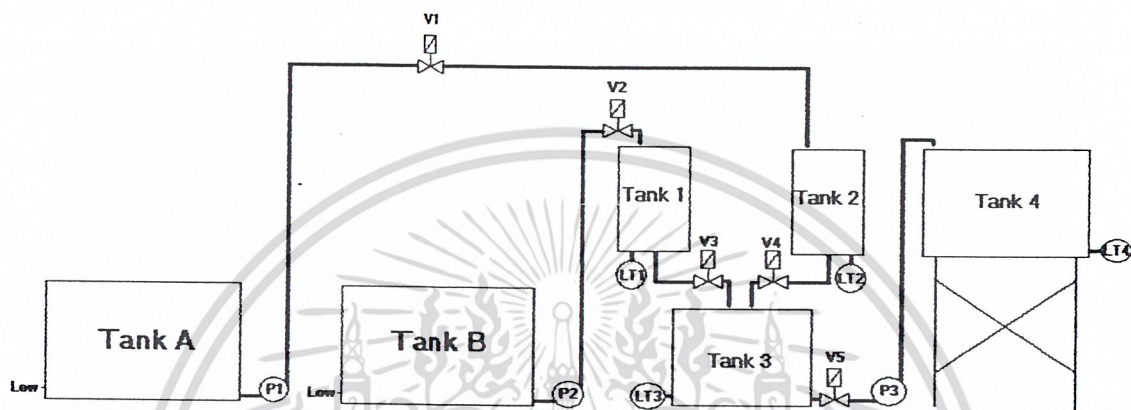
เมื่อเราทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องทำการปรับ Zero และ Span ให้ได้ตามค่าความดัน (ความสูงของน้ำ) ให้ได้ตามต้องการตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.5 แสดงรูปการต่อใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 Plant กระบวนการ จะจำลองกระบวนการผสมของเหลว 2 ชนิด ลักษณะการทำงาน Tank A และ Tank B จะเป็นที่เก็บของเหลวที่จะทำการผสมซึ่งของเหลวทั้ง 2 ชนิดถูกดูดโดยปั๊ม P1 และ P2 เพื่อส่งไปยัง Tank 1 และ Tank 2 ซึ่งจะเป็นที่พักของของเหลวก่อนทำการผสมเมื่อของเหลวทั้ง 2 ถึงเต็มแล้ววาล์ว V1 และ V2 จะทำงานปล่อยของเหลวที่อยู่ในถังพักลงไปยังถังผสม Tank 3 จนกระทั่งระดับของเหลวในถังผสมเต็มปั๊ม P3 จะทำงานดูดของเหลวที่ผสมกันแล้วขึ้นไปเก็บที่ถังเก็บ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการของโครงการ

## 4.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

4.2.1 โปรแกรม ของ PLC จะเป็นผู้ควบคุมการทำงานของกระบวนการ โดยตรง PLC สามารถเขียน โปรแกรม ได้ง่ายและสะดวกในการนำไปใช้งานเพื่อควบคุมกระบวนการ

การออกแบบจะต้องทำการกำหนด I/O และ หน่วยความจำว่าจะใช้งานอย่างไรซึ่งขึ้นอยู่กับ การออกแบบและลักษณะการนำไปใช้งาน ในปฏิญญาฉบับนี้จะใช้ PLC 2 ตัวติดต่อสื่อสารและ แลกเปลี่ยนข้อมูลกัน โดยได้กำหนดการแบ่ง I/O และ หน่วยความจำดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดง I/O Assignment ของ PLC #1

**PLC #1 I/O Assignment**

| ตำแหน่งหน่วยความจำ<br>อินพุต - เอาท์พุต | รายการอุปกรณ์และการใช้งาน         | หมายเหตุ                  |
|---|-----------------------------------|---------------------------|
| Y0                                      | วาล์ว V3                          | ปล่อยของเหลวใน Tank 1     |
| Y1                                      | วาล์ว V4                          | ปล่อยของเหลวใน Tank 2     |
| Y2                                      | วาล์ว V5                          | ป้องกันของเหลวไหลกลับ     |
| Y3                                      | ปั๊ม P3                           | สูบของเหลวไป Tank 3       |
| V40400                                  | หน่วยความจำอินพุต                 |                           |
| V40500                                  | หน่วยความจำเอาท์พุต               |                           |
| V40600 - V40605                         | Control Relay                     | รีเลย์ภายใน               |
| V2000                                   | เก็บข้อมูลอินพุตจาก PLC#2         |                           |
| V2001                                   | เก็บข้อมูลเอาท์พุตจาก PLC#2       |                           |
| V2010                                   | เก็บข้อมูลอินพุตส่งให้ PLC#2      |                           |
| V2011                                   | เก็บข้อมูลเอาท์พุตส่งให้<br>PLC#2 |                           |
| V3000                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 1         | ข้อมูลก่อนทำสเกล          |
| V3001                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 2         | ข้อมูลก่อนทำสเกล          |
| V3002                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 3         | ข้อมูลก่อนทำสเกล          |
| V3003                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 4         | ข้อมูลก่อนทำสเกล          |
| V3010                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 1         | ข้อมูลหลังทำสเกล          |
| V3011                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 2         | ข้อมูลหลังทำสเกล          |
| V3012                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 3         | ข้อมูลหลังทำสเกล          |
| V3013                                   | เก็บข้อมูลจาก Analog CH 4         | ข้อมูลหลังทำสเกล          |
| V3110 – V3111                           | เก็บค่า Limit Level Tank 1        | รับข้อมูลจาก Visaul Basic |
| V3112 – V3113                           | เก็บค่า Limit Level Tank 2        | รับข้อมูลจาก Visaul Basic |
| V3114 – V3115                           | เก็บค่า Limit Level Tank 3        | รับข้อมูลจาก Visaul Basic |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดง I/O Assignment ของ PLC #2

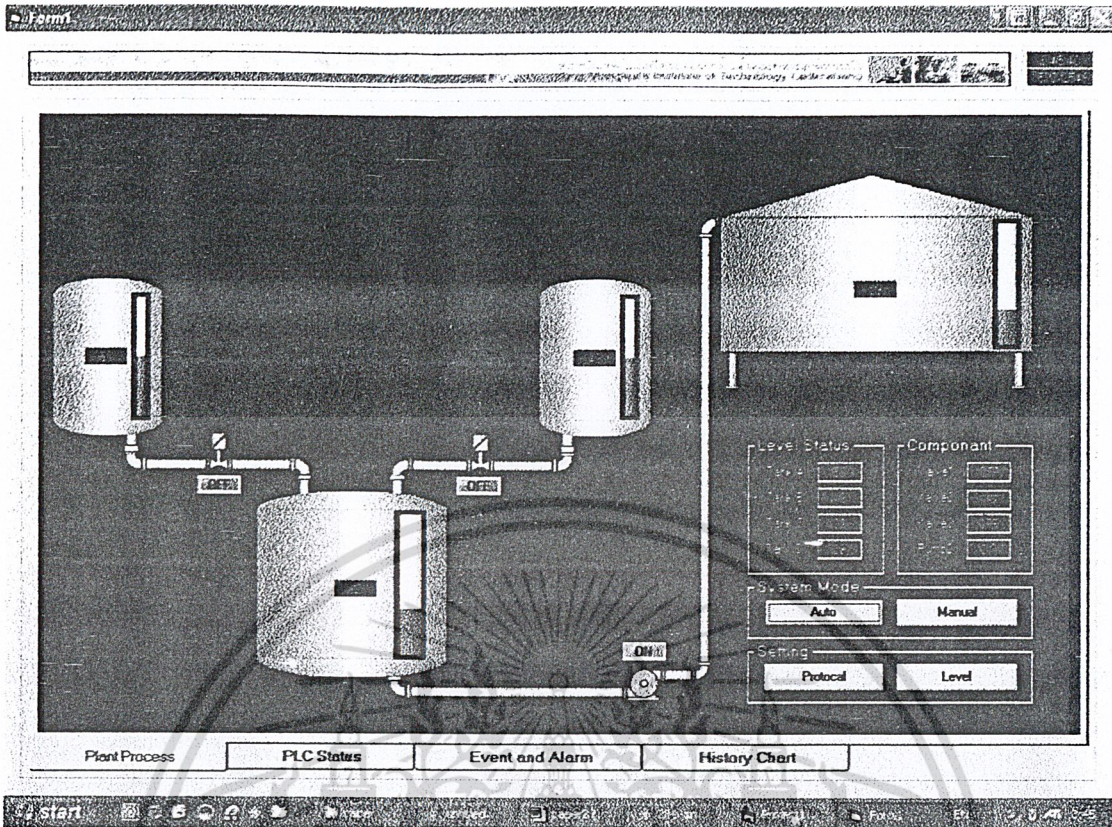
PLC #2 I/O Assignments

| ตำแหน่งหน่วยความจำ<br>อินพุต - เอาท์พุต | รายการอุปกรณ์และการใช้งาน         | หมายเหตุ              |
|---|-----------------------------------|-----------------------|
| X0                                      | ลูกลอย Tank A (La)                | ตรวจระดับ Low         |
| X1                                      | ลูกลอย Tank B (Lb)                | ตรวจระดับ Low         |
| Y0                                      | ปั๊ม P1                           | สูบของเหลวไป Tank 2   |
| Y1                                      | วาล์ว V1                          | ป้องกันของเหลวไหลกลับ |
| Y2                                      | ปั๊ม P2                           | สูบของเหลวไป Tank 1   |
| Y3                                      | วาล์ว V2                          | ป้องกันของเหลวไหลกลับ |
| V40400                                  | หน่วยความจำอินพุต                 |                       |
| V40500                                  | หน่วยความจำเอาท์พุต               |                       |
| V40600 - V40605                         | Control Relay                     | รีเลย์ภายใน           |
| V2000                                   | เก็บข้อมูลอินพุตส่งให้ PLC#1      |                       |
| V2001                                   | เก็บข้อมูลเอาท์พุตส่งให้<br>PLC#1 |                       |
| V2010                                   | เก็บข้อมูลอินพุตจาก PLC#1         |                       |
| V2011                                   | เก็บข้อมูลเอาท์พุตจาก PLC#1       |                       |

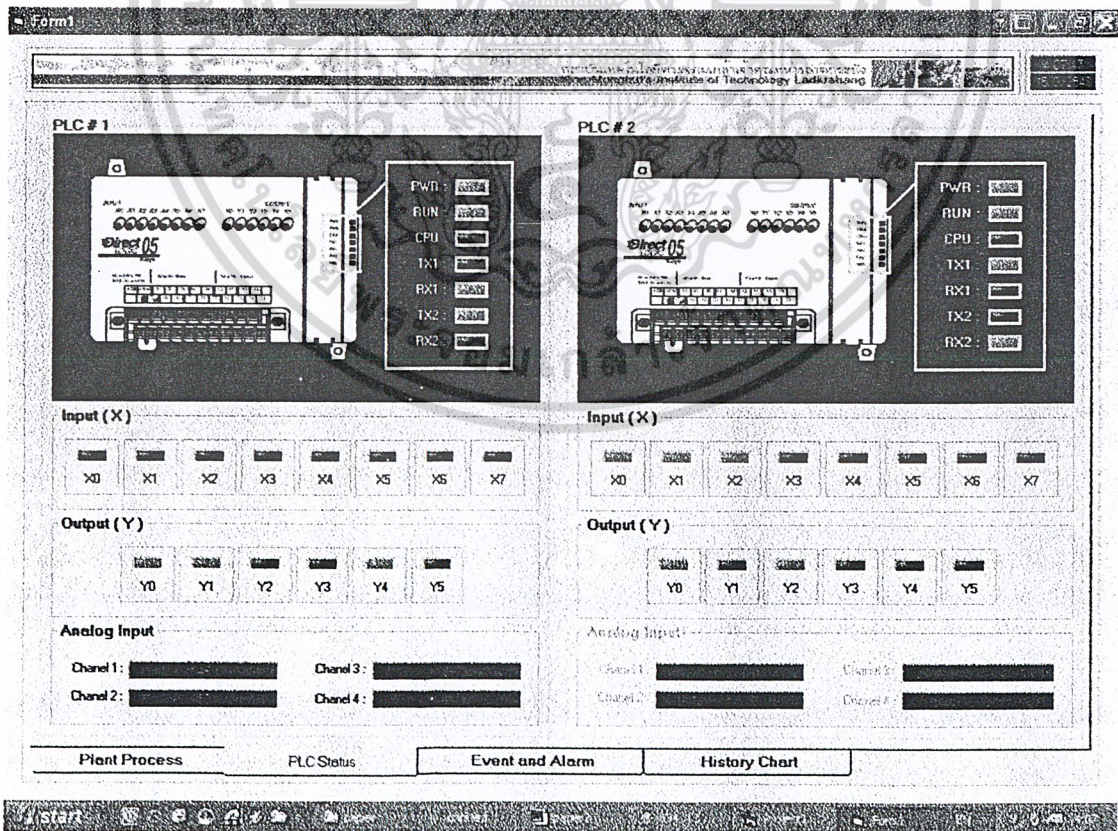
4.2.2 โปรแกรมหน้าจอ SCADA (Microsoft Visual Basic) เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง โปรแกรมจะติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับ PLC โดยใช้ โปรแกรม DSDData เป็นตัวช่วยในการจัดทำโปรโตคอล เพื่อให้โปรแกรมที่เขียนจาก Visual Basic และ PLC สามารถที่จะสื่อสารกันได้ โปรแกรมที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยส่วนย่อยต่างๆดังนี้

- กราฟฟิกแสดงสถานะและควบคุมการทำงานของกระบวนการ
- กราฟฟิกแสดงสถานะการทำงานของ PLC
- กราฟฟิกแสดงสัญญาณเตือนและเหตุการณ์
- กราฟแสดงค่าระดับของเหลวภายในถังต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

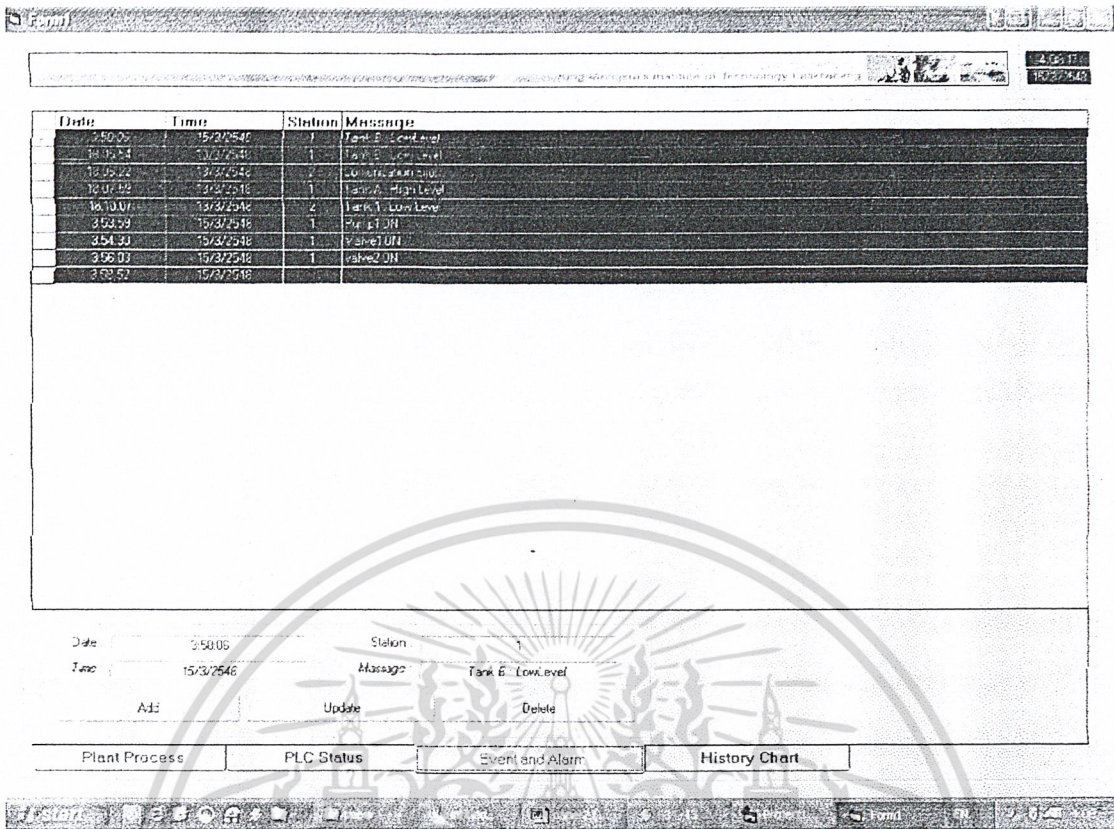


รูปที่ 4.7 แสดงสถานะและควบคุมการทำงานของกระบวนการ

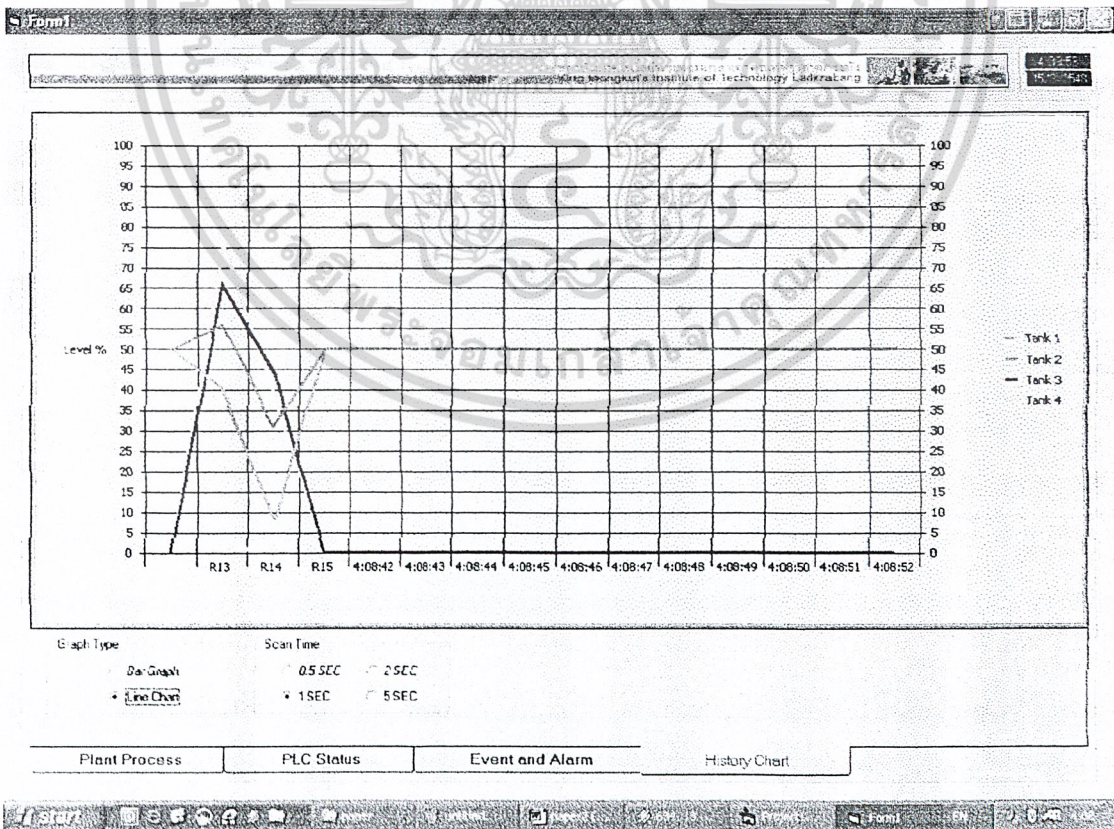


รูปที่ 4.8 แสดงสถานะการทำงานของ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณเตือนและเหตุการณ์



รูปที่ 4.10 แสดงค่าระดับของเหลวภายในถังต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 การทดลองและสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter

ในปฏิยานิพนธ์นี้จะใช้ Differential Pressure Transmitter เป็นตัววัดระดับของเหลวของกระบวนการที่จะควบคุม ซึ่งจะทำการแปลงระดับของของเหลวเป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA เพื่อส่งให้เป็นสัญญาณเข้าอินพุตของ Analog Card ของ PLC ดังนั้นจึงจะต้องสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter ก่อนที่นำไปใช้งานจริง

##### ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการสอบเทียบเริ่มจัดแบ่งสเกลของระดับของเหลวเป็น 0% ,25%,50%,75%, 100% แล้วปล่อยของเหลวจนถึงระดับที่ค่าสเกลต่างๆ ซึ่งค่าที่ได้จะไม่ถูกต้องจึงทำการปรับ Zero และ Span จนกว่าจะได้ค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการปรับค่า Input โดยการเติมระดับน้ำไปใน Tank ให้ได้ระดับที่ 0 % แล้วดูที่ค่าที่เอาท์พุทคือค่าที่ออกมาจากวงจรที่ทำการทดลอง ซึ่งปกติแล้วจะต้องมีค่า 4 mA แต่ถ้าค่าที่ได้ไม่ถูกต้องก็ใช้ไขควงปรับที่ตำแหน่ง Zero Adjustment ให้มีค่าเท่ากับค่า Standard Signal คือ 4 mA
2. ทำการปรับค่า Input โดยการเติมระดับน้ำไปใน Tank ให้ได้ระดับที่ 1000 % แล้วดูที่ค่าเอาท์พุทคือค่าที่ออกมาจากวงจรที่ทำการทดลอง ซึ่งปกติแล้วจะต้องมีค่า 20 mA แต่ถ้าค่าได้ไม่เท่ากับเอาท์พุทที่อ่านได้นั้นเป็นค่า A1
3. นำค่า A1 ที่ได้มาแทนค่าในสูตรเพื่อหาค่ากระแสที่เราจะต้องทำการปรับเพื่อหาค่า A2

$$A2 = \{(Zero * Range) / (A1 - Zero)\} + (Span - Zero)$$

4. ทำการไขควงปรับที่ตำแหน่ง Span Adjustment ให้มีค่าเท่ากับค่า A2
5. ทำการไขควงปรับที่ตำแหน่ง Zero Adjustment ให้มีค่าที่ค่า 100 % ของค่า Standard Signal คือ 20 mA
6. ให้ทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ซ้ำจนได้ค่าตามค่า Standard Signal คือ 4mA ถึง 20 mA

เช่น จากการทดลองที่ Tank ที่ 2 เมื่อเราทำการปรับค่ามาที่ค่า 100 % แล้วทำการอ่านค่าที่เอาท์พุทได้ค่าเท่ากับ 16.52 mA แล้วเมื่อนำค่าที่ได้ไปเข้าสูตรเพื่อหาค่า A2 จะได้ค่าเท่ากับ 21.112 mA แล้วเราก็ทำการปรับค่า Span ให้ได้ค่าเท่ากับ 21.112 mA โดยการปรับที่ Span Adjustment และทำการปรับที่ Zero Adjustment ให้ได้ค่าเท่ากับ 20 mA แล้วก็ทำตามขั้นตอนต่อไป

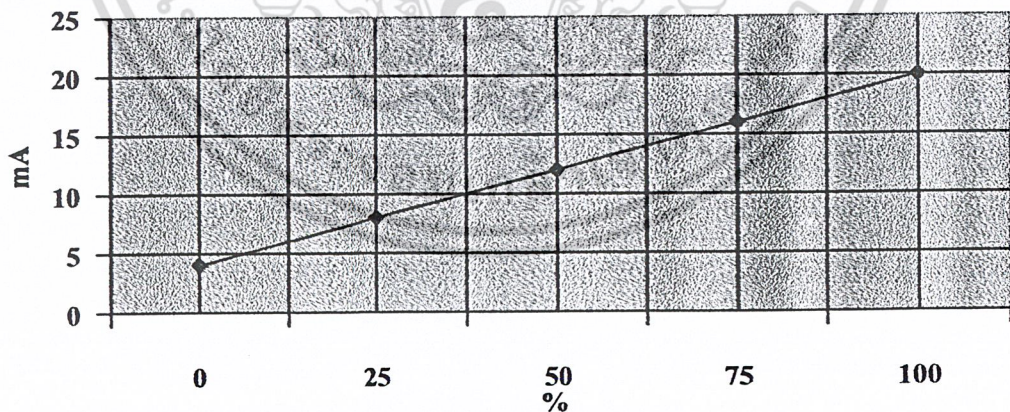
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

## 1. ผลการทดลองของ Tank ที่ 1

| INPUT |    | OUTPUT      |                        |            |            |           |
|-------|----|-------------|------------------------|------------|------------|-----------|
| %     | mA | ก่อน        | หลังจากการ Calibration |            |            |           |
|       |    | Calibration | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0     | 4  | 4.45        | 4.02                   | 4.03       | 4.01       | 4.020     |
| 25    | 8  | 8.56        | 7.99                   | 7.98       | 8.00       | 7.990     |
| 50    | 12 | 12.45       | 12.04                  | 12.10      | 12.02      | 12.053    |
| 75    | 16 | 16.53       | 16.06                  | 16.10      | 16.04      | 16.067    |
| 100   | 20 | 19.32       | 20.00                  | 20.00      | 20.00      | 20.000    |
| 75    | 16 | 16.47       | 16.08                  | 16.08      | 16.06      | 16.073    |
| 50    | 12 | 12.36       | 12.05                  | 12.06      | 12.04      | 12.050    |
| 25    | 8  | 8.20        | 8.04                   | 8.02       | 7.98       | 8.013     |
| 0     | 4  | 4.38        | 4.03                   | 4.02       | 4.02       | 4.023     |

กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank 1

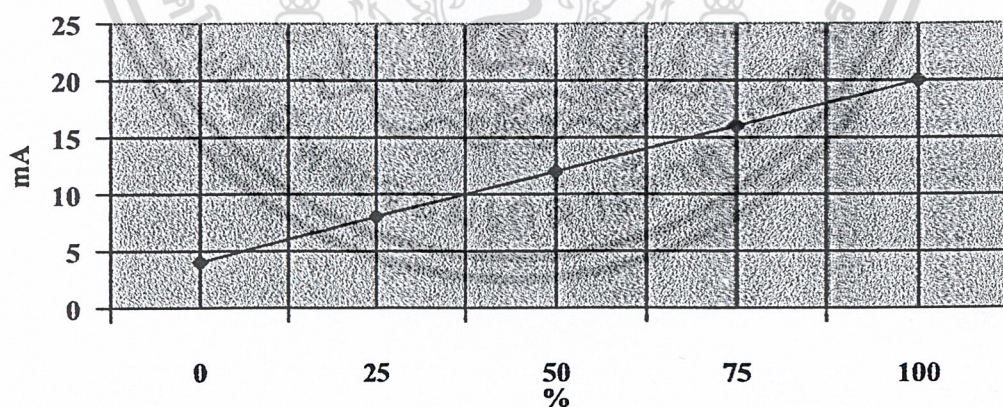


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เป็นผลการทดลองของ Tank ที่ 2

| INPUT |    | OUTPUT           |                        |            |            |           |
|-------|----|------------------|------------------------|------------|------------|-----------|
| %     | mA | ก่อน Calibration | หลังจากการ Calibration |            |            |           |
|       |    |                  | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0     | 4  | 5.53             | 4.04                   | 4.03       | 4.03       | 4.033     |
| 25    | 8  | 6.70             | 7.98                   | 8.00       | 8.04       | 8.006     |
| 50    | 12 | 10.65            | 12.06                  | 12.10      | 12.04      | 12.067    |
| 75    | 16 | 12.30            | 16.07                  | 16.12      | 16.12      | 16.103    |
| 100   | 20 | 16.52            | 19.99                  | 20.00      | 19.97      | 19.987    |
| 75    | 16 | 12.23            | 16.08                  | 16.09      | 16.12      | 16.097    |
| 50    | 12 | 10.23            | 12.05                  | 12.08      | 12.10      | 12.076    |
| 25    | 8  | 6.52             | 8.02                   | 8.05       | 8.09       | 8.053     |
| 0     | 4  | 5.86             | 4.03                   | 4.02       | 4.06       | 4.037     |

กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank 2

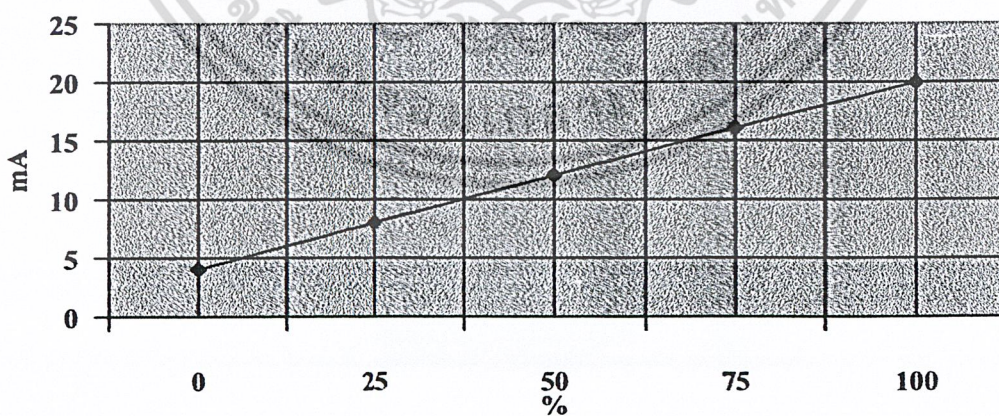


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. เป็นผลการทดลองของ Tank ที่ 3

| INPUT |    | OUTPUT      |                        |            |            |           |
|-------|----|-------------|------------------------|------------|------------|-----------|
| %     | mA | ก่อน        | หลังจากการ Calibration |            |            |           |
|       |    | Calibration | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0     | 4  | 4.85        | 3.98                   | 4.02       | 4.04       | 4.013     |
| 25    | 8  | 8.36        | 7.97                   | 8.02       | 8.00       | 7.996     |
| 50    | 12 | 12.63       | 12.04                  | 12.06      | 12.02      | 12.036    |
| 75    | 16 | 16.41       | 16.08                  | 16.10      | 16.07      | 16.083    |
| 100   | 20 | 19.48       | 19.98                  | 20.00      | 19.96      | 19.980    |
| 75    | 16 | 16.47       | 16.08                  | 16.12      | 16.06      | 16.087    |
| 50    | 12 | 12.50       | 12.05                  | 12.06      | 12.06      | 12.056    |
| 25    | 8  | 8.13        | 8.04                   | 8.02       | 8.03       | 8.030     |
| 0     | 4  | 4.69        | 4.02                   | 4.04       | 4.01       | 4.023     |

กราฟแสดงกระแสค่าที่เทียบกับระดับของเหลว Tank 3

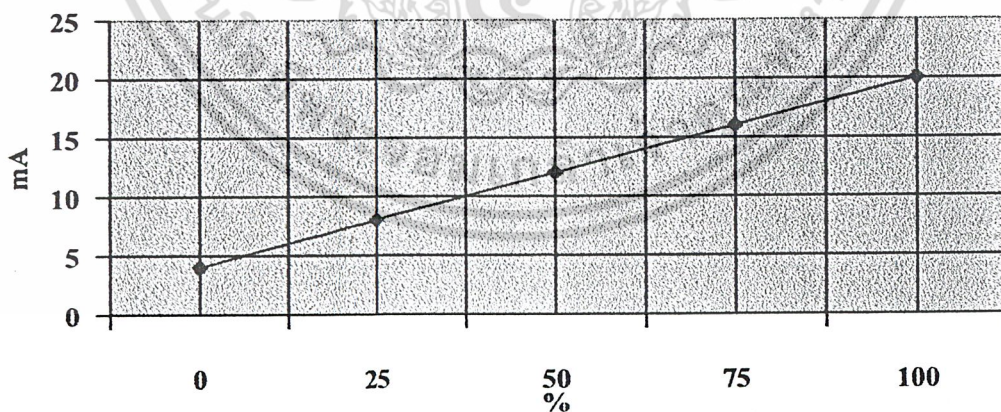


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. เป็นผลการทดลองของ Tank ที่ 4

|     |    | OUTPUT              |                        |            |            |           |
|-----|----|---------------------|------------------------|------------|------------|-----------|
|     |    | ก่อน<br>Calibration | หลังจากการ Calibration |            |            |           |
| %   | mA |                     | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0   | 4  | 3.26                | 3.98                   | 4.01       | 4.04       | 4.003     |
| 25  | 8  | 6.32                | 7.98                   | 8.02       | 8.00       | 8.000     |
| 50  | 12 | 9.56                | 11.97                  | 12.06      | 12.02      | 12.017    |
| 75  | 16 | 12.02               | 15.98                  | 16.00      | 16.05      | 16.010    |
| 100 | 20 | 15.32               | 19.98                  | 20.02      | 20.03      | 20.010    |
| 75  | 16 | 11.95               | 16.04                  | 16.03      | 16.06      | 16.043    |
| 50  | 12 | 9.20                | 12.03                  | 12.10      | 12.08      | 12.070    |
| 25  | 8  | 6.45                | 8.04                   | 8.04       | 7.98       | 8.020     |
| 0   | 4  | 3.39                | 3.98                   | 4.02       | 4.03       | 4.010     |

กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank 4



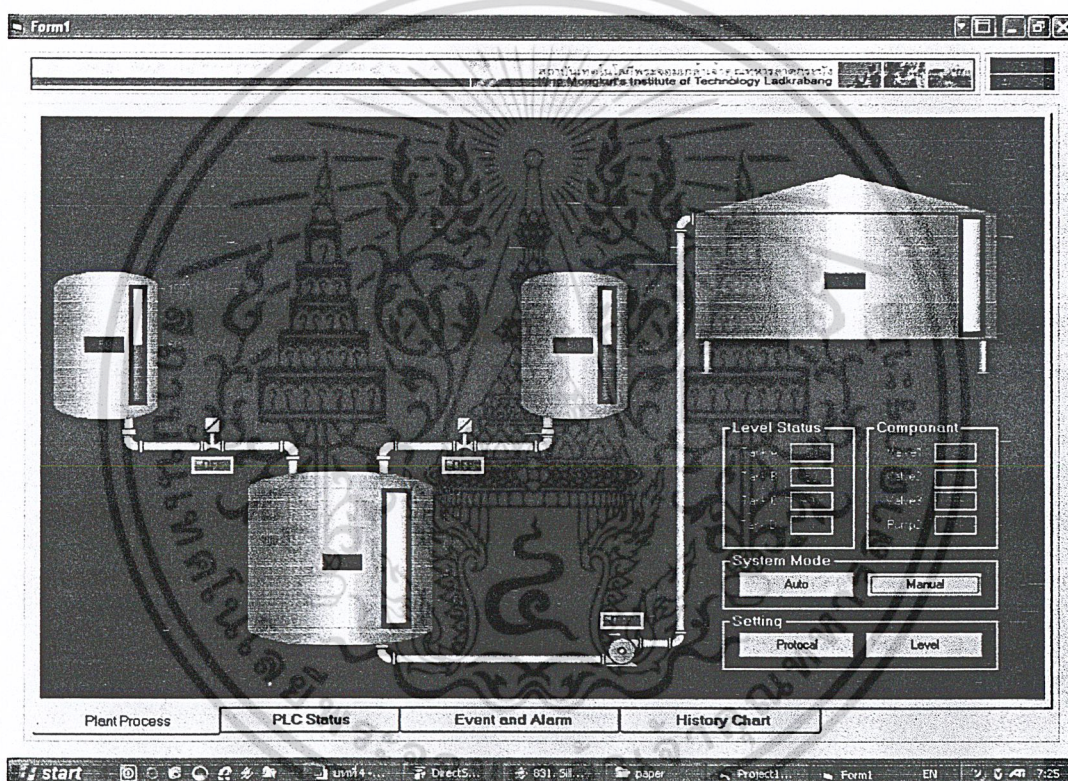
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การทดลองเปรียบเทียบระดับของเหลวกับกราฟฟีกบนคอมพิวเตอร์

จะเป็นการดูค่าจากคอมพิวเตอร์เทียบกับระดับของเหลวจริงในกระบวนการที่ทำการควบคุม ซึ่งใช้ Differential Pressure Transmitter วัดระดับของเหลวแปลงเป็นสัญญาณ 4-20 mA เพื่อส่งค่าให้ตัวควบคุม PLC แล้วใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและดึงข้อมูลจาก PLC ไปแสดงผลบนหน้าจออีกทีหนึ่ง โดยจะดูว่าการแสดงผลบนหน้าจอตรงกับระบบของเหลวจริงหรือไม่

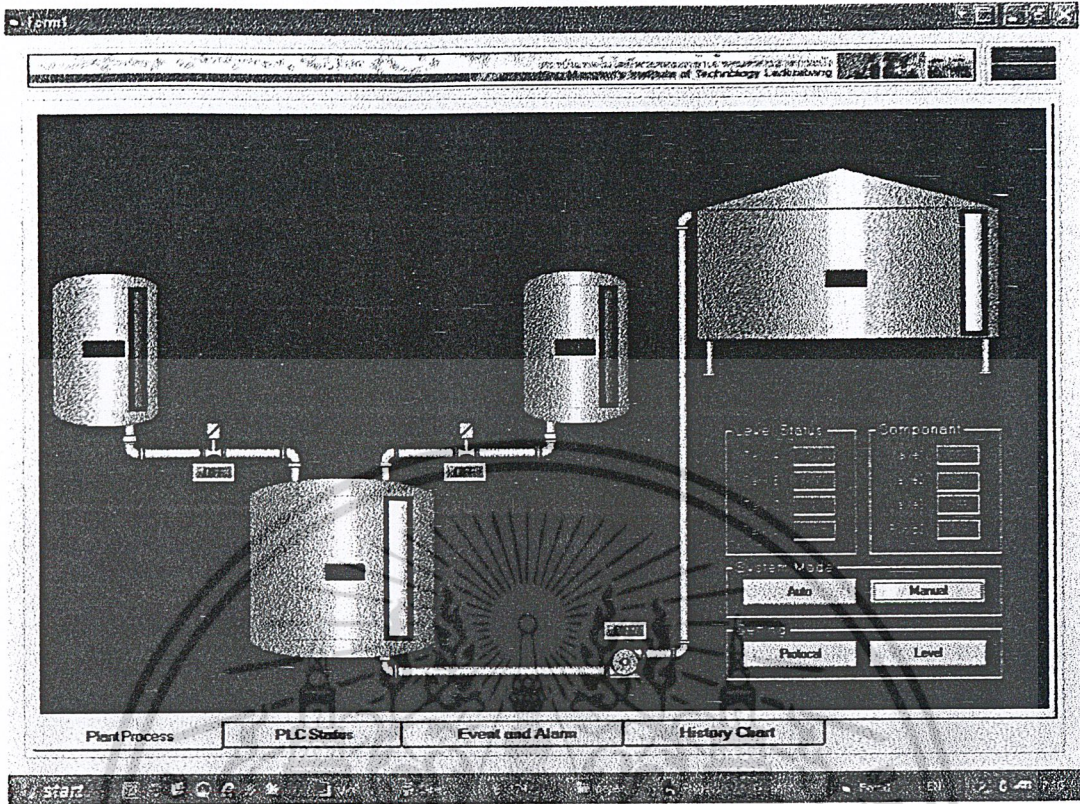
## 5.3 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

5.3.1 ปรับโหมดการทำงานเป็นโหมด Manual แล้วกดปุ่มเปิดปั๊มแต่ละตัว โดยเริ่มเปิดปั๊ม ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 จนระดับของ Tank 1 และ Tank 2 อยู่ที่ 50%

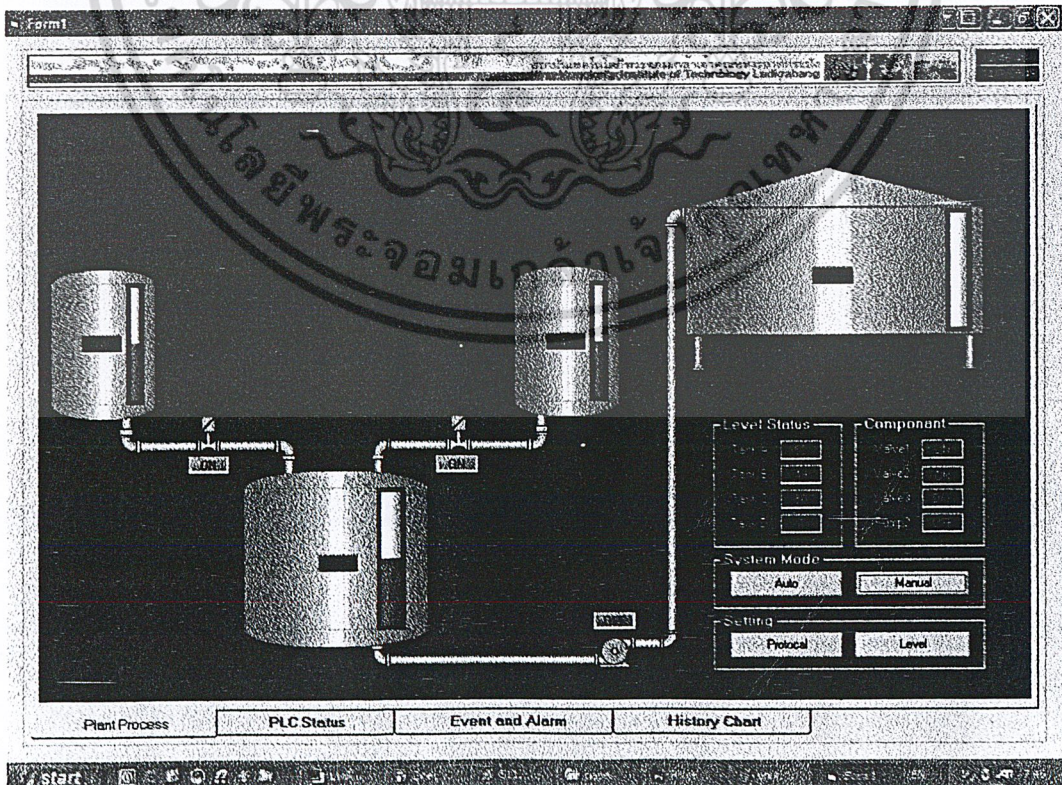


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 เพิ่มระดับของเหลวใน Tank 1 และ Tank 2 จนถึง 100%

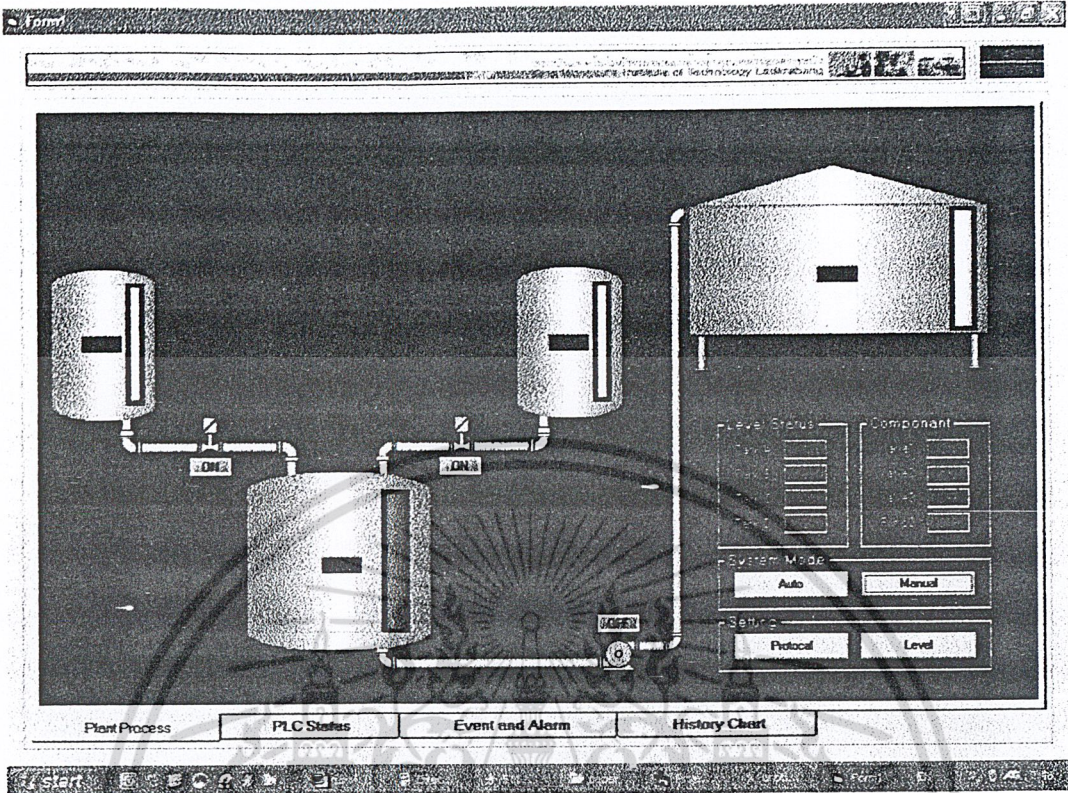


### 5.3.3 ทำการเปิด วาล์ว 1 และ วาล์ว 2 จนระดับของ Tank 3 อยู่ที่ 50%

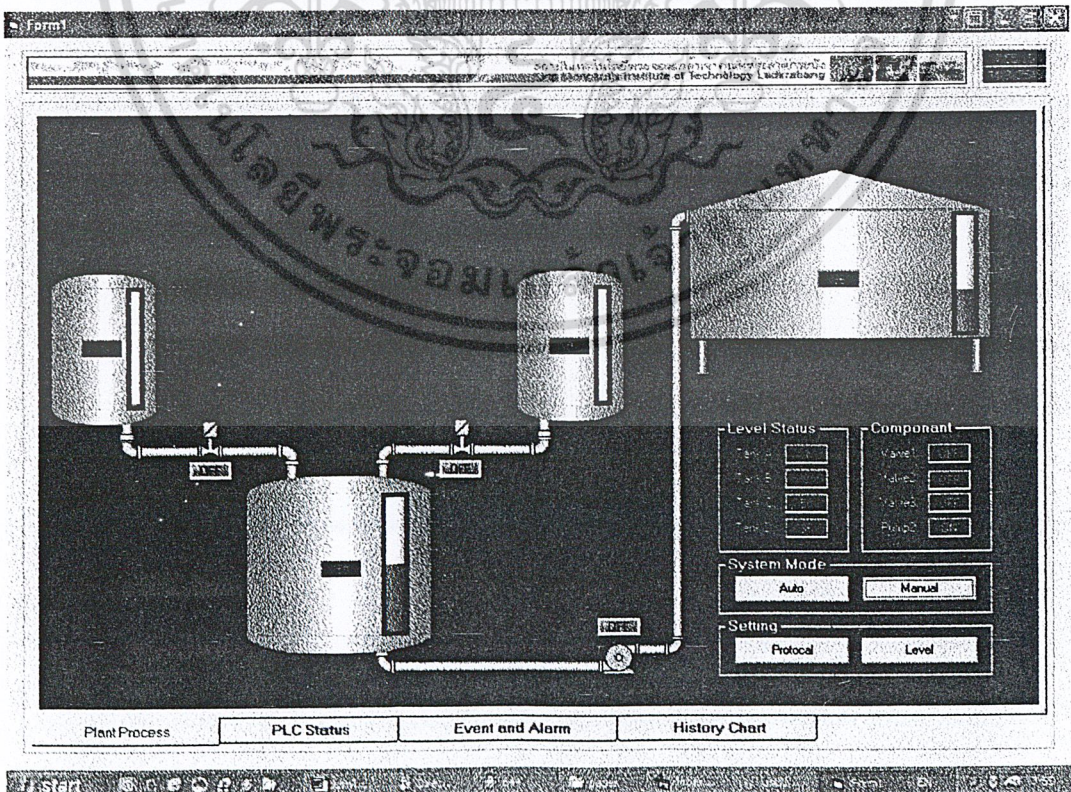


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.4 เปิดวาล์ว 1 และ วาล์ว 2 อีกจนระดับใน Tank 3 มีระดับที่ 100%



### 5.3.5 ปิดวาล์ว 1 และ วาล์ว 2 และเปิดปั๊ม 3 จนระดับ Tank 3 ลดลงเหลือ 50%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเปรียบเทียบค่าระดับของเหลวจริงกับค่าที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์จะมีความแม่นยำและถูกต้องใกล้เคียงกัน กล่าวคือเมื่อระดับของของเหลวที่หน้าจามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าเท่าไรนั้น ค่าระดับของของเหลวที่ Plant จริงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ทั้งนี้ก็อาจจะมีการผิดพลาดเล็กน้อยซึ่งเกิดจาก Differential Pressure Transmitter เพราะการสอบเทียบไม่ละเอียดเพียงพอมักจะมีค่าผิดพลาดอยู่เล็กน้อย และการผิดพลาดอาจจะมาจากสาเหตุที่ว่า การวางอุปกรณ์ต่างๆ ใน Plant และสาเหตุอีกประการก็คือ เรื่องของการสื่อสารข้อมูลซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายก็จะส่วนในการติดต่อกันระหว่าง เครื่องคอมพิวเตอร์ และ Plant อาจจะมีข้อมูลบางส่วนขาดหายไปจากการรับส่งข้อมูลก็เป็นไปได้

จากการทดลองเรื่องของการปรับเทียบ (Calibration) ของอุปกรณ์ Differential Pressure จะมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าสัญญาณมาตรฐาน (ค่าสัญญาณมาตรฐานมีค่าที่ 0% คือ 4 mA และค่าที่ 100% คือ 20 mA) ก็อาจจะเป็นเพราะว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่เราใช้ในการทดลอง ทั้ง Differential Pressure และ IC XTR101 นั้นเป็นอุปกรณ์ตัวใหม่ และอีกสาเหตุหนึ่งก็คือว่า ตอนทำการปรับเทียบได้กระทำหลาย ๆ ครั้ง ต่ออุปกรณ์ 1 ชุด

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลงาน

จากการทดลองเราสามารถเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับ PLC และควบคุมการทำงานของ PLC เพื่อควบคุมกระบวนการทำงานของ Plant ทดลองได้และสามารถที่จะนำข้อมูลของกระบวนการที่ควบคุมมาแสดงผลเป็นกราฟฟีกบนจอคอมพิวเตอร์ โดยที่กราฟฟีกแสดงผลการทำงานของกระบวนการบนจอคอมพิวเตอร์ได้แบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก คือ รูป Process การทำงานของ Plant กราฟแสดงระดับน้ำ สัญญาณเตือน และสถานะการทำงานของ PLC และสามารถเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง PLC ตัวที่ 1 กับ PLC ตัวที่ 2 โดยใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สาย เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่อยู่ในแต่ละ Plant ให้ทำงานสัมพันธ์กัน ซึ่งลักษณะการติดต่อจะเป็นแบบ Master และ Slave

นอกจากนี้ในปฏิญานิพนธ์ได้สร้างอุปกรณ์วัดระดับ Differential Pressure Transmitter เพื่อวัดระดับของเหลวของกระบวนการแปลงเป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐาน 4-20 mA โดยอุปกรณ์วัดระดับนี้มีความแม่นยำ และ ความเป็นเชิงเส้นที่ดี

### 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ระบบ SCADA เป็นระบบควบคุมอัตโนมัติที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่ประสิทธิภาพ สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ภายในระบบเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลอยู่ตลอดเวลาจึงสามารถจะติดตามการทำงานของกระบวนการได้เป็นแบบ Real Time

ในปฏิญานิพนธ์นี้เป็นแค่ส่วนย่อยของระบบ SCADA จริงๆ อาจจะพัฒนาระบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพิ่มจำนวนอุปกรณ์ หรือเพิ่มความสามารถของตัวโปรแกรมเช่น พัฒนาให้สามารถควบคุมสั่งการและติดตามกระบวนการบนอินเทอร์เน็ต หรือพัฒนาให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการ

## บรรณานุกรม

1. ชมาพร เกสวรกุล , ฐิติกานต์ เพชรรักษ์ “การควบคุมตำแหน่ง X, Y โดยใช้อินพุทความเร็วสูงของเครื่อง PLC “ปริชญานีพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
2. ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ “ระบบPLC“,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,พิมพ์ครั้งที่ 7 2545
3. PLC Direct™ Intercorporated, “DL 05 User Manual “, 1994 [www.Indusoft.com](http://www.Indusoft.com)
4. รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์, เอกสารประกอบการสอน วิชาวิศวกรรมการวัดคุม (Instrumentation Engineering) ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



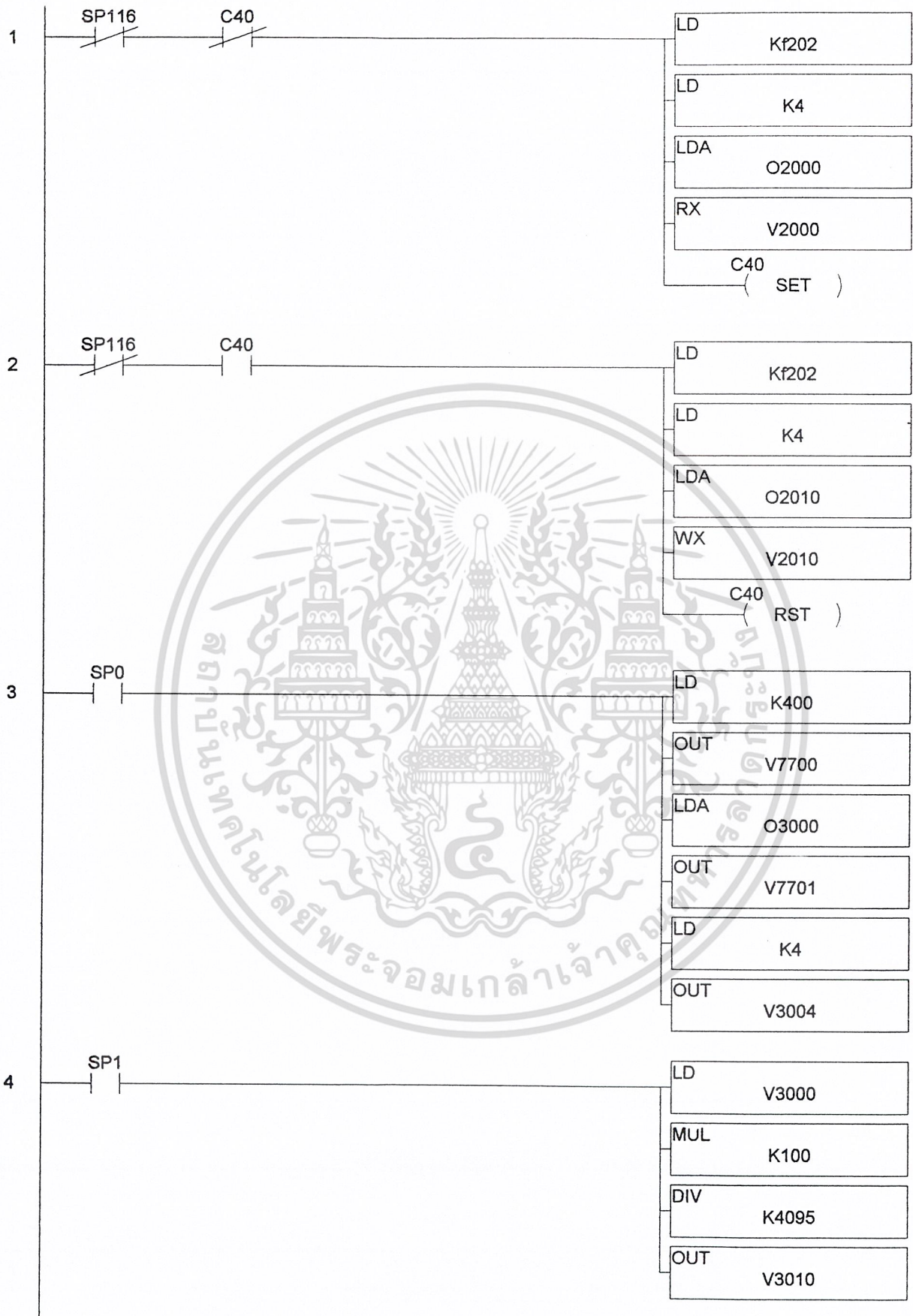
ภาคผนวก

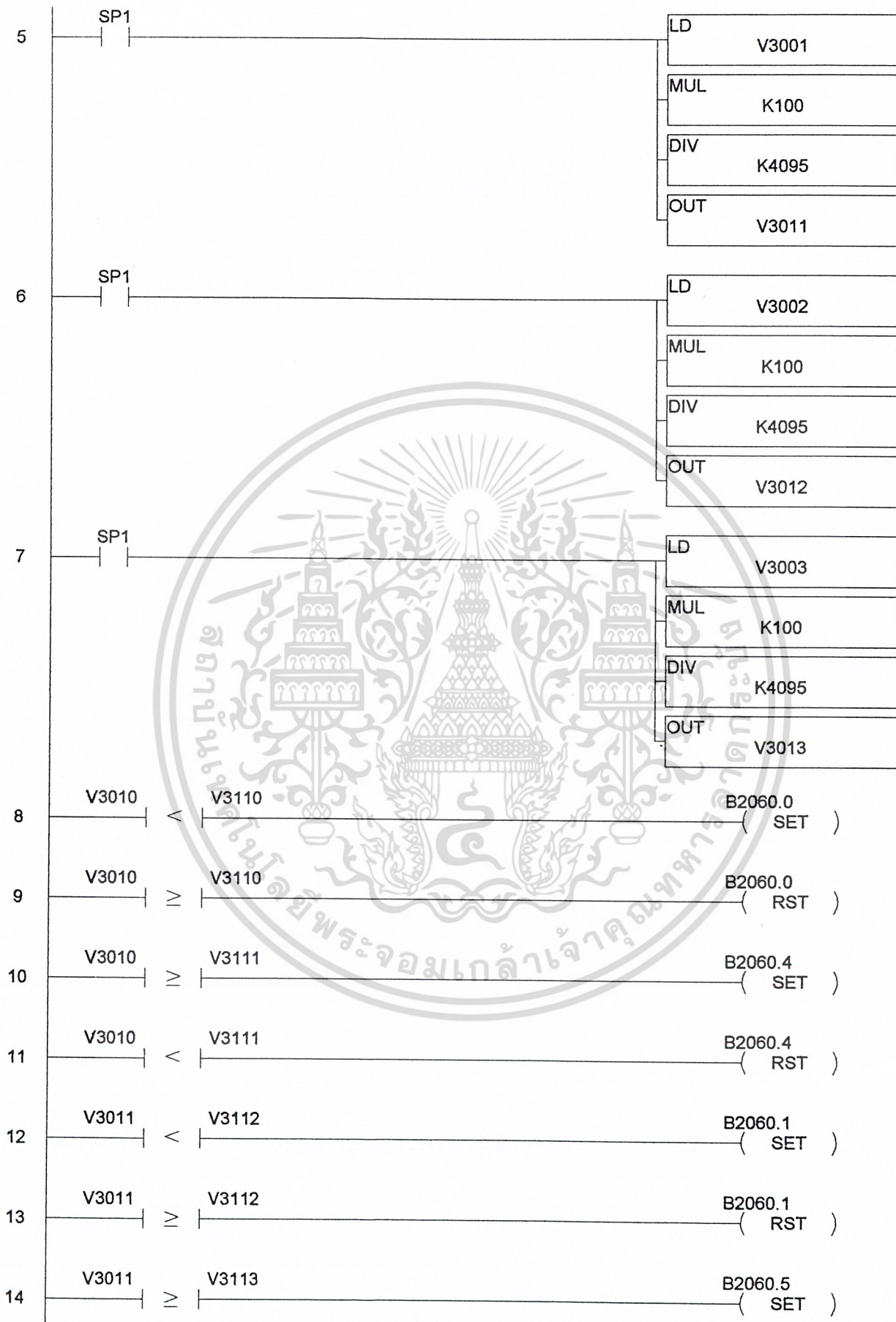
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

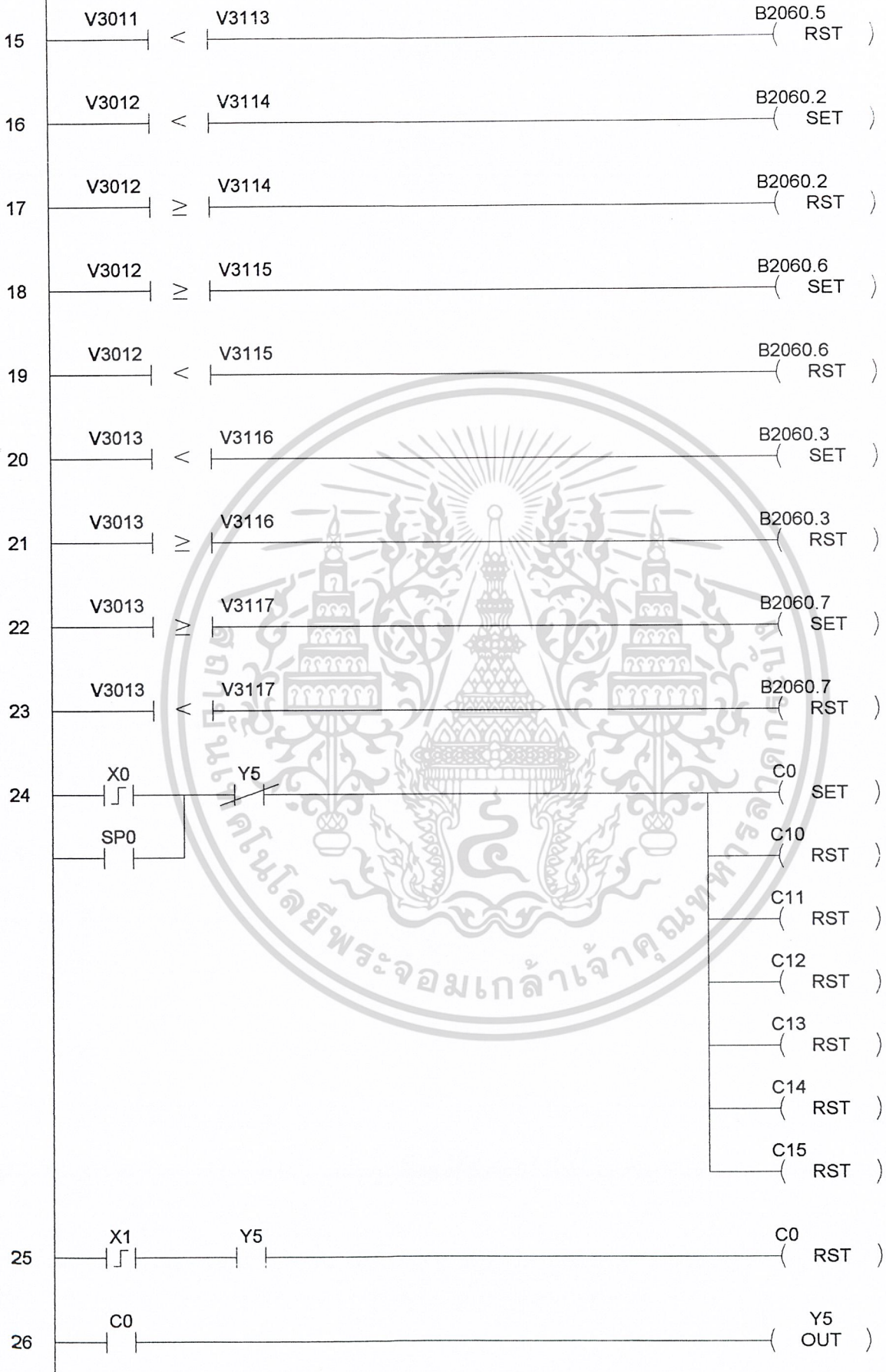


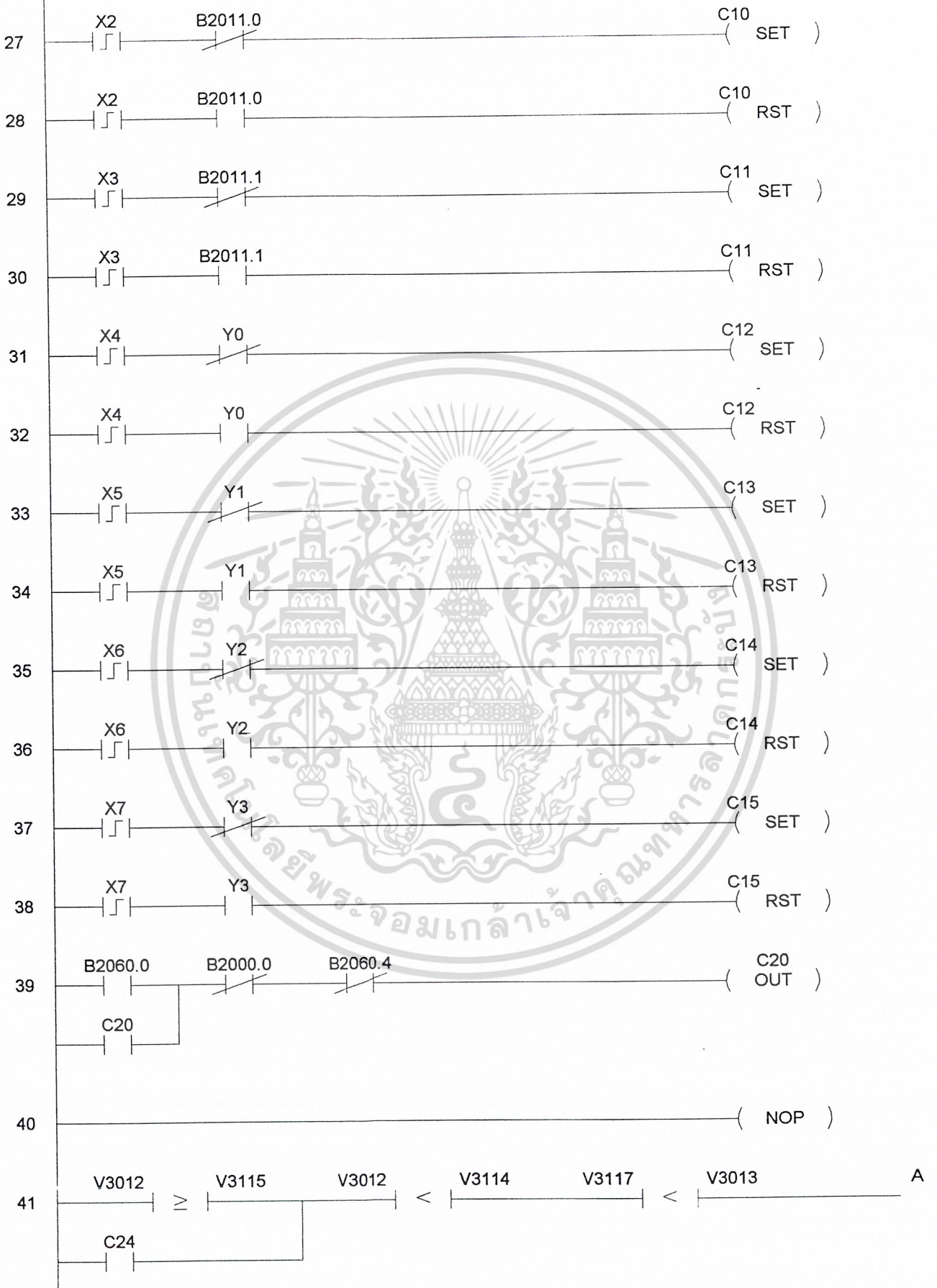
## โปรแกรม PLC ตัวที่ 1 (Master)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

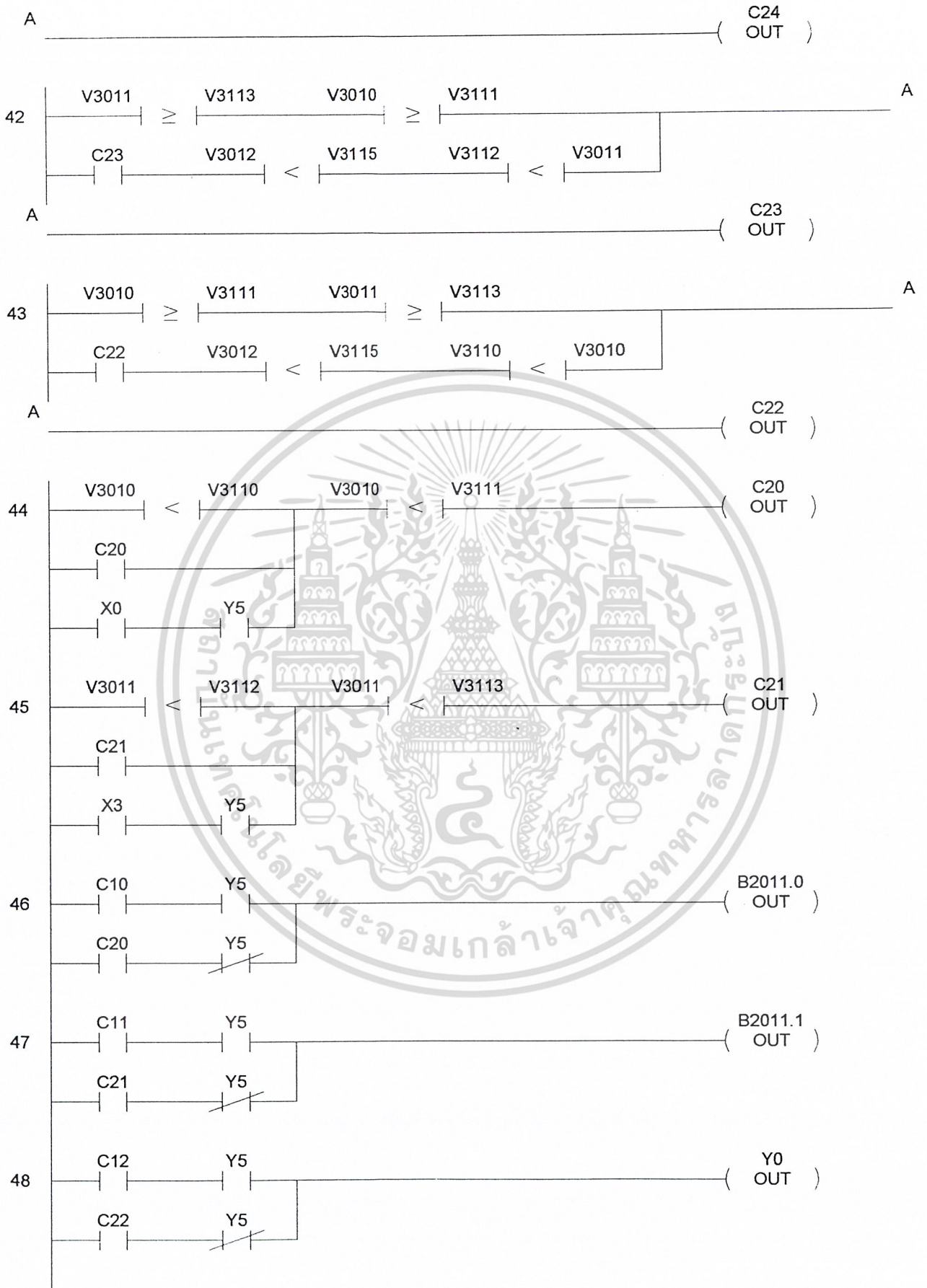




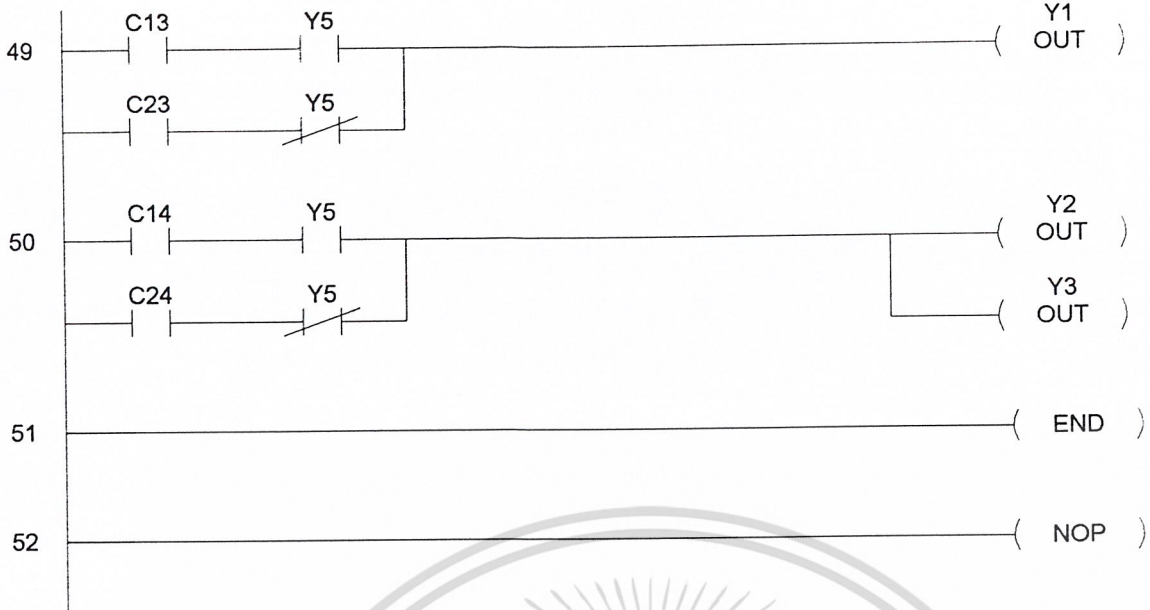




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





## โปรแกรม PLC ตัวที่ 2 (Slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 SP11 ( B2002.0 OUT )

2 SP17 ( B2002.1 OUT )

3 \_TermRunMode SP12 ( B2002.2 OUT )

4 \_TermStopMode SP16 ( B2002.3 OUT )



5 On SP1 ( LD VX0 )

( OUT V2000 )

( LD VY0 )

( OUT V2001 )

6 On SP1 ( LD V2010 )

( OUT VC20 )

( LD V2011 )

( OUT VC0 )

7 C0 ( Y4 OUT )

( Y1 OUT )

8 C1 ( Y2 OUT )

( Y3 OUT )

9 ( END )

10 ( NOP )



## Precision, Low Drift 4-20mA TWO-WIRE TRANSMITTER

### FEATURES

- INSTRUMENTATION AMPLIFIER INPUT:
  - Low Offset Voltage, 30 $\mu$ V max
  - Low Voltage Drift, 0.75 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max
  - Low Nonlinearity, 0.01% max
- TRUE TWO-WIRE OPERATION:
  - Power and Signal on One Wire Pair
  - Current Mode Signal Transmission
  - High Noise Immunity
- DUAL MATCHED CURRENT SOURCES
- WIDE SUPPLY RANGE: 11.6V to 40V
- SPECIFICATION RANGE: -40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
- SMALL DIP-14 PACKAGE, CERAMIC AND PLASTIC

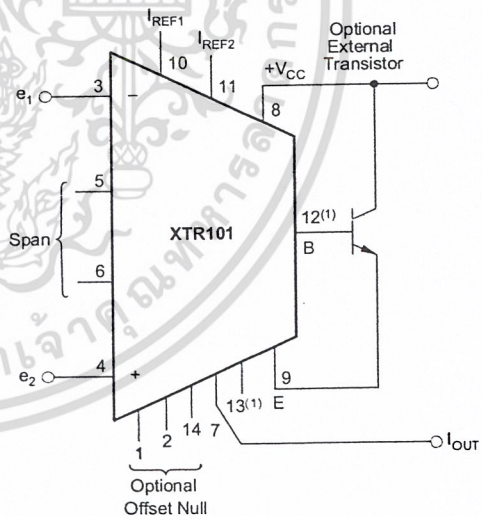
### APPLICATIONS

- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL:
  - Pressure Transmitters
  - Temperature Transmitters
  - Millivolt Transmitters
- RESISTANCE BRIDGE INPUTS
- THERMOCOUPLE INPUTS
- RTD INPUTS
- CURRENT SHUNT (mV) INPUTS
- PRECISION DUAL CURRENT SOURCES
- AUTOMATED MANUFACTURING
- POWER/PLANT ENERGY SYSTEM MONITORING

### DESCRIPTION

The XTR101 is a microcircuit, 4-20mA, two-wire transmitter containing a high accuracy instrumentation amplifier (IA), a voltage-controlled output current source, and dual-matched precision current reference. This combination is ideally suited for remote signal conditioning of a wide variety of transducers such as thermocouples, RTDs, thermistors, and strain gauge bridges. State-of-the-art design and laser-trimming, wide temperature range operation, and small size make it very suitable for industrial process control applications. In addition, the optional external transistor allows even higher precision.

The two-wire transmitter allows signal and power to be supplied on a single wire pair by modulating the power-supply current with the input signal source. The transmitter is immune to voltage drops from long runs and noise from motors, relays, actuators, switches, transformers, and industrial equipment. It can be used by OEMs producing transmitter modules or by data acquisition system manufacturers.



NOTE: (1) Pins 12 and 13 are used for optional BW control.



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

All trademarks are the property of their respective owners.

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

TEXAS  
INSTRUMENTS  
www.ti.com

Copyright © 1986-2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(1)**

|   |   |
|---|---|
| Power Supply, +V <sub>CC</sub>                  | 40V   |
| Input Voltage, e <sub>1</sub> or e <sub>2</sub> | ≥ V <sub>OUT</sub> ; ≤ +V <sub>CC</sub>         |
| Storage Temperature Range, Ceramic              | -55°C to +165°C                                 |
| Plastic   | -55°C to +125°C                                 |
| Lead Temperature (soldering, 10s) G, P          | +300°C  |
| (wave soldering, 3s) U                          | +260°C  |
| Output Short-Circuit Duration                   | Continuous +V <sub>CC</sub> to I <sub>OUT</sub> |
| Junction Temperature                            | +165°C  |

(1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not supported.



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

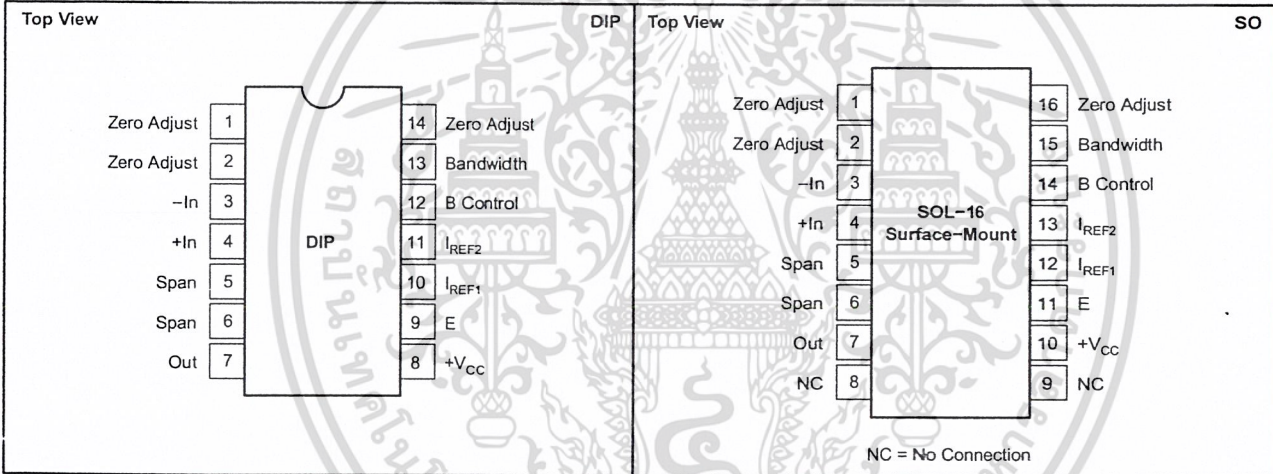
ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

**ORDERING INFORMATION**

| PRODUCT | PACKAGE-LEAD   | PACKAGE DESIGNATOR(1) | SPECIFIED TEMPERATURE RANGE | PACKAGE MARKING |
|---------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|
| XTR101  | Ceramic DIP-14 | JD                    | -40°C to +85°C              | XTR101AG        |
|         |                | N                     |                             | XTR101BG        |
|         | Plastic DIP-14 | N                     |                             | XTR101AP        |
|         |                | DW                    |                             | XTR101AU        |

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum located at the end of this data sheet.

**PIN CONFIGURATION**



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 24\text{VDC}$ , and  $R_L = 100\Omega$  with external transistor connected, unless otherwise noted.

| PARAMETER                              | CONDITIONS   | XTR101AG   |            |                | XTR101BG   |            |             | XTR101AP |             |             | XTR101AU |             |             | UNIT                         |
|--|--|------------|------------|----------------|--|------------|-------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|------------------------------|
|  |  | MIN        | TYP        | MAX            | MIN  | TYP        | MAX         | MIN      | TYP         | MAX         | MIN      | TYP         | MAX         |                              |
| <b>OUTPUT AND LOAD CHARACTERISTICS</b> |  |            |            |                |  |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Current                                | Linear Operating Region  | 4          |            | 20             | *  |            | *           | *        |             | *           |          | *           |             | mA                           |
|  | Derated Performance  | 3.8        |            | 22             | *  |            | *           | *        |             | *           |          | *           |             | mA                           |
| Current Limit                          |  |            | 28         | 38             |  | *          | *           |          | 31          | *           |          | 31          | *           | mA                           |
| Offset Current Error vs Temperature    | $I_{OS}$ , $I_O = 4\text{mA}$  |            | $\pm 3.9$  | $\pm 10$       |  | $\pm 2.5$  | $\pm 6$     |          | $\pm 8.5$   | $\pm 19$    |          | $\pm 8.5$   | $\pm 19$    | $\mu\text{A}$                |
| Full-Scale Output Current Error        | $\Delta I_{OS}/\Delta T$   |            | $\pm 10.5$ | $\pm 20$       |  | $\pm 8$    | $\pm 15$    |          | $\pm 10.5$  | $\pm 20$    |          | *           | *           | ppm/FS/°C                    |
| Power-Supply Voltage                   | Full-Scale = 20mA  |            | $\pm 20$   | $\pm 40$       |  | $\pm 15$   | $\pm 30$    |          | $\pm 30$    | $\pm 60$    |          | $\pm 30$    | $\pm 60$    | $\mu\text{A}$                |
|  | $V_{CC}$ , Pins 7 and 8, Compliance(1)   | $\pm 11.6$ |            | $\pm 40$       | *  |            | *           | *        |             | *           |          | *           |             | VDC                          |
| Load Resistance                        | At $V_{CC} = +24\text{V}$ , $I_O = 20\text{mA}$  |            |            | 600            |  |            | *           |          | *           |             |          | *           |             | $\Omega$                     |
|  | At $V_{CC} = +40\text{V}$ , $I_O = 20\text{mA}$  |            |            | 1400           |  |            | *           |          | *           |             |          | *           |             | $\Omega$                     |
| <b>SPAN</b>                            |  |            |            |                |  |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Output Current Equation                | $R_S$ in $\Omega$ , $e_1$ and $e_2$ in V   |            |            |                | $I_O = 4\text{mA} + \left[ 0.016\text{amps/volt} + (40/R_S) \right] (e_2 - e_1)$ |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Span Equation                          | $R_S$ in $\Omega$  |            |            |                | $S = \left[ 0.016\text{amps/volt} + (40/R_S) \right]$                            |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| vs Temperature                         | Excluding TCR of $R_S$   |            | $\pm 30$   | $\pm 100$      |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | A/V                          |
| Untrimmed Error(2)                     | $\epsilon_{SPAN}$  | -5         | -2.5       | 0              | *  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | ppm/°C                       |
| Nonlinearity                           | $\epsilon_{NONLINEARITY}$  |            |            | 0.01           |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | %                            |
| Hysteresis                             |  |            | 0          |                |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | %                            |
| Dead Band                              |  |            | 0          |                |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | %                            |
| <b>INPUT CHARACTERISTICS</b>           |  |            |            |                |  |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Impedance: Differential                |  |            | 0.4        | 3              |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | $G\Omega    pF$              |
| Common-Mode                            |  |            | 10         | 3              |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | $G\Omega    pF$              |
| Voltage Range, Full-Scale              | $\Delta e = (e_2 - e_1)(3)$  | 0          |            | 1              | *  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | V                            |
| Offset Voltage                         | $V_{OS}$   |            | $\pm 30$   | $\pm 60$       |  | $\pm 20$   | $\pm 30$    |          | *           | *           |          | $\pm 100$   | *           | $\mu\text{V}$                |
| vs Temperature                         | $\Delta V_{OS}/\Delta T$   |            | $\pm 0.75$ | $\pm 1.5$      |  | $\pm 0.35$ | $\pm 0.75$  |          | *           | *           |          | *           | *           | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Power-Supply Rejection                 | $\Delta V_{CC}/\text{PSRR} = V_{OS}$ Error   | 110        | 125        |                | *  | *          | *           | *        | 122         | *           | *        | 122         | *           | dB                           |
| Bias Current                           | $I_B$  |            | 60         | 150            |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | nA                           |
| vs Temperature                         | $\Delta I_B/\Delta T$  |            | 0.30       | 1              |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | nA/°C                        |
| Offset Current                         | $I_{OSI}$  |            | 10         | $\pm 30$       |  | *          | *           | *        | $\pm 20$    | *           | *        | *           | *           | nA                           |
| vs Temperature                         | $\Delta I_{OSI}/\Delta T$  |            | 0.1        | 0.3            |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | nA/°C                        |
| Common-Mode Rejection(4)               | DC   | 90         | 100        |                | *  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | dB                           |
| Common-Mode Range                      | $e_1$ and $e_2$ with Respect to Pin 7  | 4          |            | 6              | *  |            | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | V                            |
| <b>CURRENT SOURCES</b>                 |  |            |            |                |  |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Magnitude                              |  |            | 1          |                |  | *          | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | mA                           |
| Accuracy                               | $V_{CC} = 24\text{V}$ ,<br>$V_{PIN 8} - V_{PIN 10, 11} = 19\text{V}$ ,<br>$R_2 = 5\text{k}\Omega$ , see Figure 5 |            | $\pm 0.06$ | $\pm 0.1$      |  | $\pm 0.02$ | $\pm 0.075$ |          | $\pm 0.2$   | $\pm 0.37$  |          | $\pm 0.2$   | $\pm 0.37$  | %                            |
| vs Temperature                         |  |            | $\pm 50$   | $\pm 80$       |  | $\pm 30$   | $\pm 50$    |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/°C                       |
| vs $V_{CC}$                            |  |            | $\pm 3$    |                |  | *          | *           |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/V                        |
| vs Time                                |  |            | $\pm 8$    |                |  | *          | *           |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/month                    |
| Compliance Voltage Ratio Match         | With Respect to Pin 7 Tracking   | 0          |            | $V_{CC} - 3.5$ | *  |            | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | V                            |
| Accuracy                               | $(1 -  REF1 / REF2 ) \times 100\%$   |            | $\pm 0.01$ | $\pm 0.0$      |  | $\pm 0.00$ | $\pm 0.04$  |          | $\pm 0.031$ | $\pm 0.068$ |          | $\pm 0.031$ | $\pm 0.088$ | %                            |
| vs Temperature                         |  |            |            | $\pm 15$       |  |            | 10          |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/°C                       |
| vs $V_{CC}$                            |  |            | $\pm 10$   |                |  | *          | *           |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/V                        |
| vs Time                                |  |            | $\pm 1$    |                |  | *          | *           |          | *           | *           |          | *           | *           | ppm/month                    |
| Output Impedance                       |  | 10         | 20         |                | *  | *          | *           | 15       |             | *           | 15       |             | *           | M $\Omega$                   |
| <b>TEMPERATURE RANGE</b>               |  |            |            |                |  |            |             |          |             |             |          |             |             |                              |
| Specification                          |  | -40        |            | +85            | *  |            | *           | *        | *           | *           | *        | *           | *           | °C                           |
| Operating                              |  | -55        |            | +125           | *  |            | *           | -40      | +85         | -40         | +85      |             | +85         | °C                           |
| Storage                                |  | -55        |            | +165           | *  |            | *           | -55      | +125        | -55         | +125     |             | +125        | °C                           |

\* Same as XTR101AG.

(1) See the Typical Characteristics.

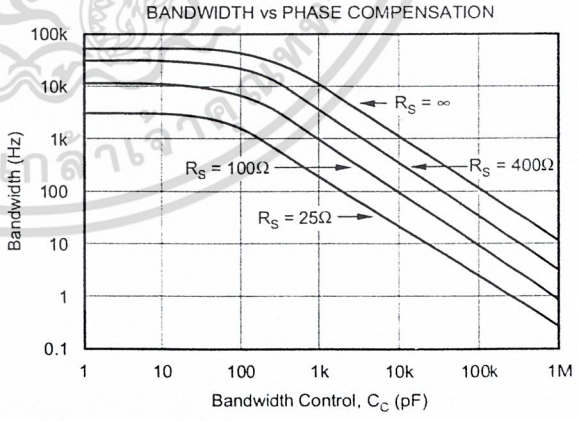
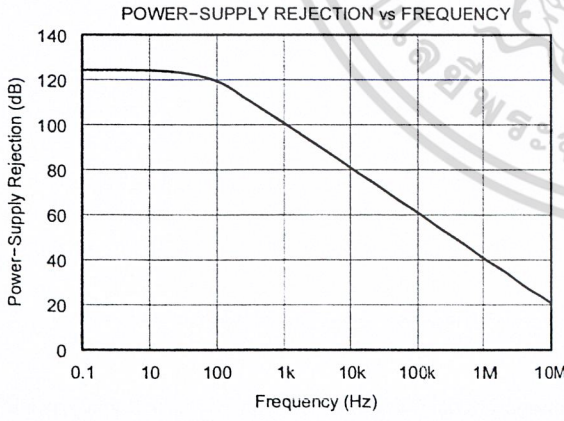
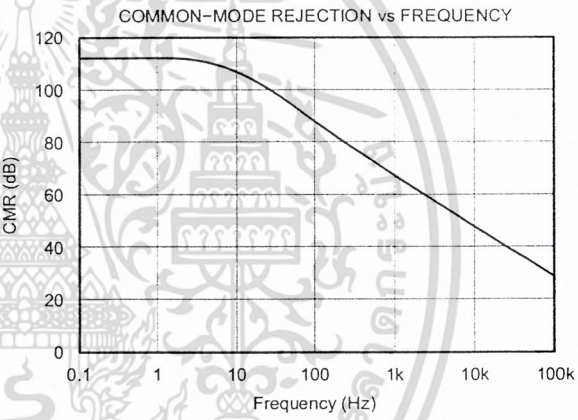
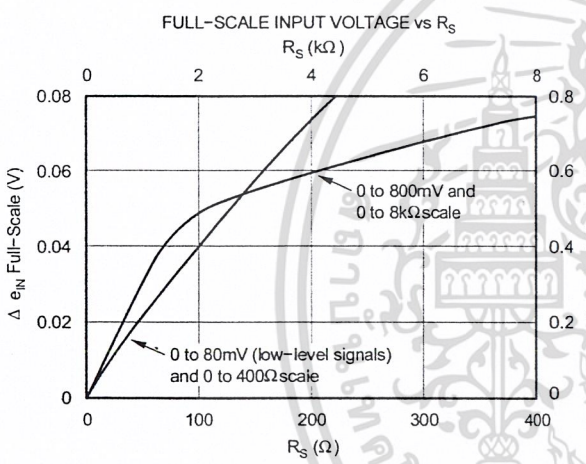
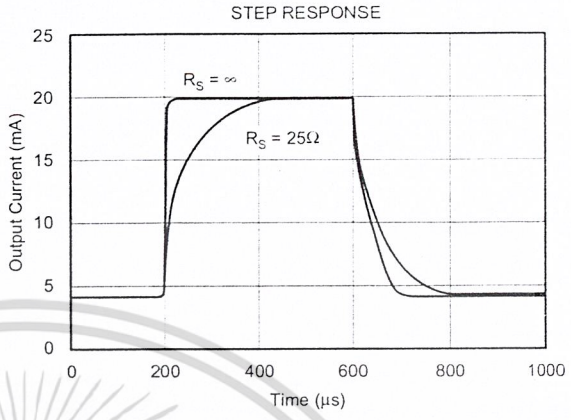
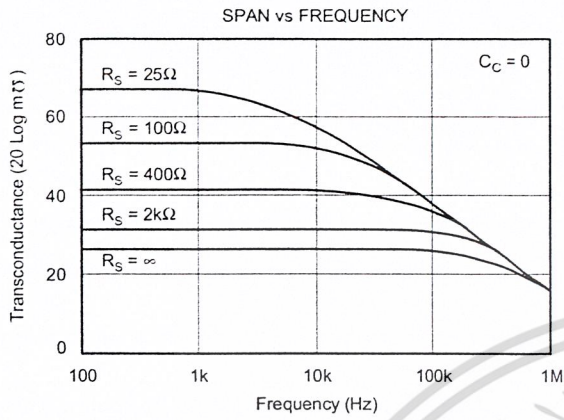
(2) Span error shown is untrimmed and may be adjusted to zero.

(3)  $e_1$  and  $e_2$  are signals on the  $-I_n$  and  $+I_n$  terminals with respect to the output, pin 7. While the maximum permissible  $\Delta e$  is 1V, it is primarily intended for much lower signal levels, for instance, 10mV or 50mV full-scale for the XTR101A and XTR101B grades, respectively. 2mV FS is also possible with the B grade, but accuracy will degrade due to possible errors in the low value span resistance and very high amplification of offset, drift, and noise.

(4) Offset voltage is trimmed with the application of a 5V common-mode voltage. Thus, the associated common-mode error is removed. See the *Application Information* section.

TYPICAL CHARACTERISTICS

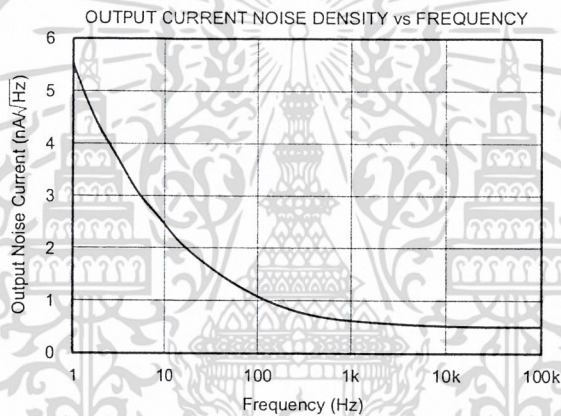
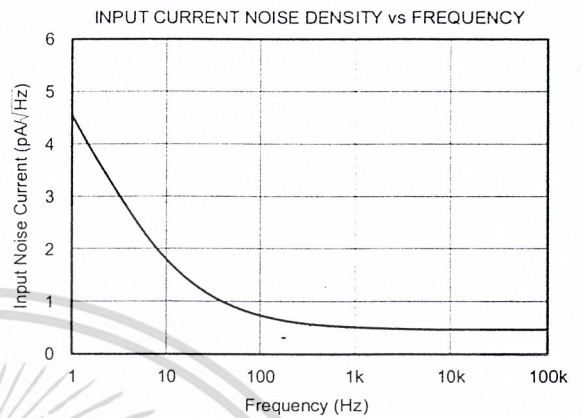
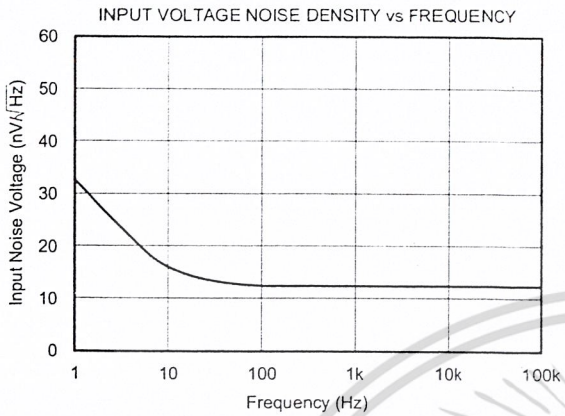
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$  and  $V_{CC} = 24\text{VDC}$ , unless otherwise noted.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)**

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +3.3\text{V}$ , and  $V_{IO} = +3.3\text{V}$ , unless otherwise noted.



## THEORY OF OPERATION

A simplified schematic of the XTR101 is shown in Figure 1. Basically, the amplifiers  $A_1$  and  $A_2$  act as a single power-supply instrumentation amplifier controlling a current source,  $A_3$  and  $Q_1$ . Operation is determined by an internal feedback loop.  $e_1$  applied to pin 3 will also appear at pin 5, and similarly,  $e_2$  will appear at pin 6. Therefore, the current in  $R_S$  (the span setting resistor) will be  $I_S = (e_2 - e_1)/R_S = e_{IN}/R_S$ . This current combines with the current  $I_3$  to form  $I_1$ . The circuit is configured such that  $I_2$  is 19 times  $I_1$ . From this point, the derivation of the transfer function is straightforward but lengthy. The result is shown in Figure 1.

Examination of the transfer function shows that  $I_O$  has a lower range-limit of 4mA when  $e_{IN} = e_2 - e_1 = 0V$ . This 4mA is composed of 2mA quiescent current exiting pin 7 plus 2mA from the current sources. The upper range limit of  $I_O$  is set to 20mA by the proper selection of  $R_S$  based on the upper range limit of  $e_{IN}$ . Specifically,  $R_S$  is chosen for a 16mA output current span for the given full-scale input voltage span.

$$\text{For example, } \left(0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}} + \frac{40}{R_S}\right) (e_{IN} \text{ full-scale}) = 16\text{mA.}$$

Note that since  $I_O$  is unipolar,  $e_2$  must be kept larger than  $e_1$  (that is,  $e_2 \geq e_1$  or  $e_{IN} \geq 0$ ). Also note that in order not to exceed the output upper range limit of 20mA,  $e_{IN}$  must be kept less than 1V when  $R_S = \infty$  and proportionately less as  $R_S$  is reduced.

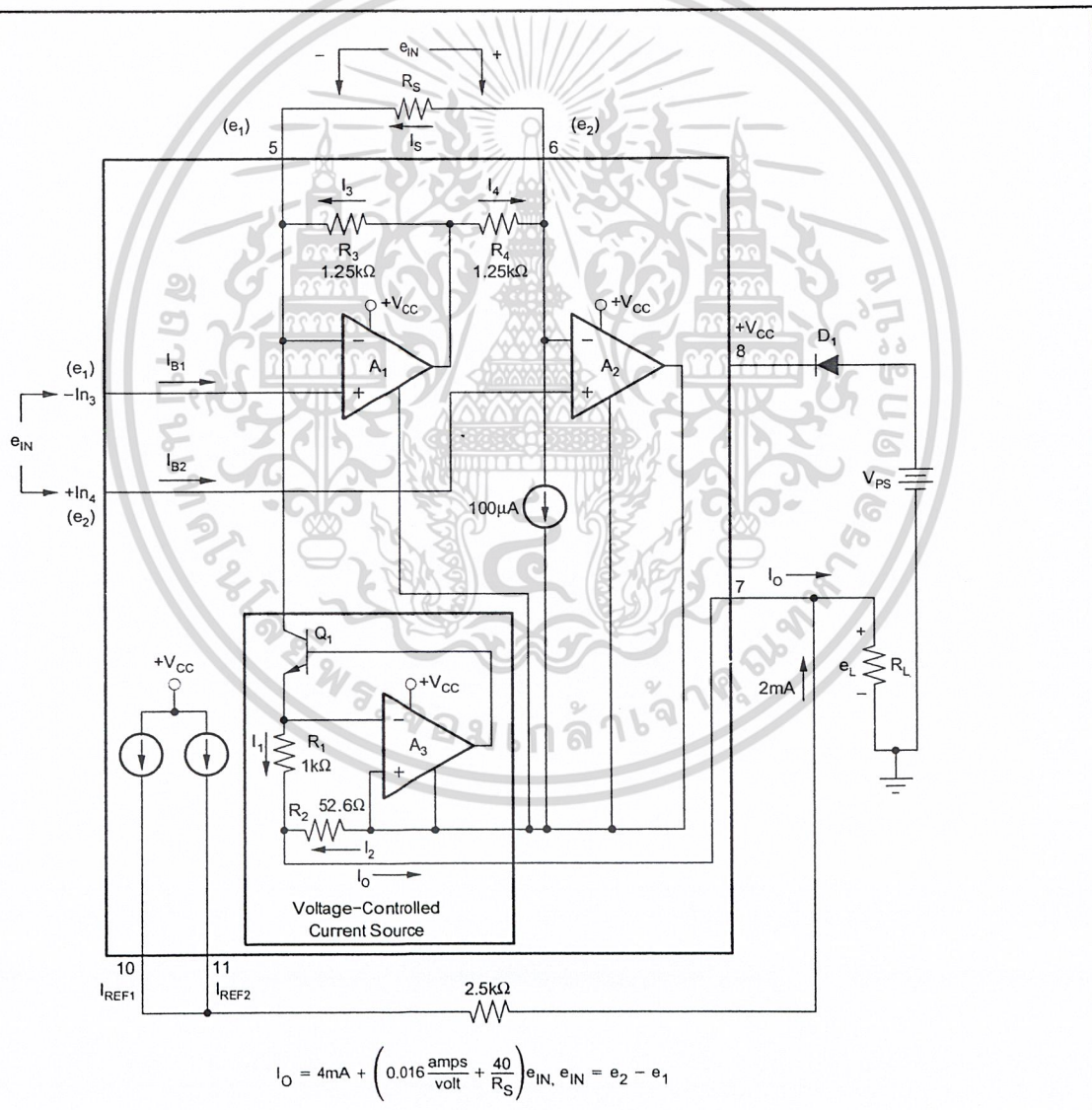


Figure 1. Simplified Schematic of the XTR101

## INSTALLATION AND OPERATING INSTRUCTIONS

### BASIC CONNECTION

See Figure 1 for the basic connection of the XTR101. A difference voltage applied between input pins 3 and 4 will cause a current of 4-20mA to circulate in the two-wire output loop (through  $R_L$ ,  $V_{PS}$ , and  $D_1$ ). For applications requiring moderate accuracy, the XTR101 operates very cost-effectively with just its internal drive transistor. For more demanding applications (high accuracy in high gain), an external NPN transistor can be added in parallel with the internal one. This keeps the heat out of the XTR101 package and minimizes thermal feedback to the input stage. Also, in such applications where the  $e_{IN}$  full-scale is small ( $< 50\text{mV}$ ) and  $R_{SPAN}$  is small ( $< 150\Omega$ ), caution should be taken to consider errors from the external span circuit plus high amplification of offset drift and noise.

### OPTIONAL EXTERNAL TRANSISTOR

The optional external transistor, when used, is connected in parallel with the XTR101 internal transistor. The purpose is to increase accuracy by reducing heat change inside the XTR101 package as the output current spans from 4-20mA. Under normal operating conditions, the internal transistor is never completely turned off, as shown in Figure 2. This maintains frequency stability with varying external transistor characteristics and wiring capacitance. The actual current sharing between internal and external transistors is dependent on two factors:

1. relative geometry of emitter areas, and
2. relative package dissipation (case size and thermal conductivity).

For best results, the external device should have a larger base-emitter area and smaller package. It will, upon turn-on, take about  $[0.95(I_O - 3.3\text{mA})]\text{mA}$ . However, it will heat faster and take a greater share after a few seconds.

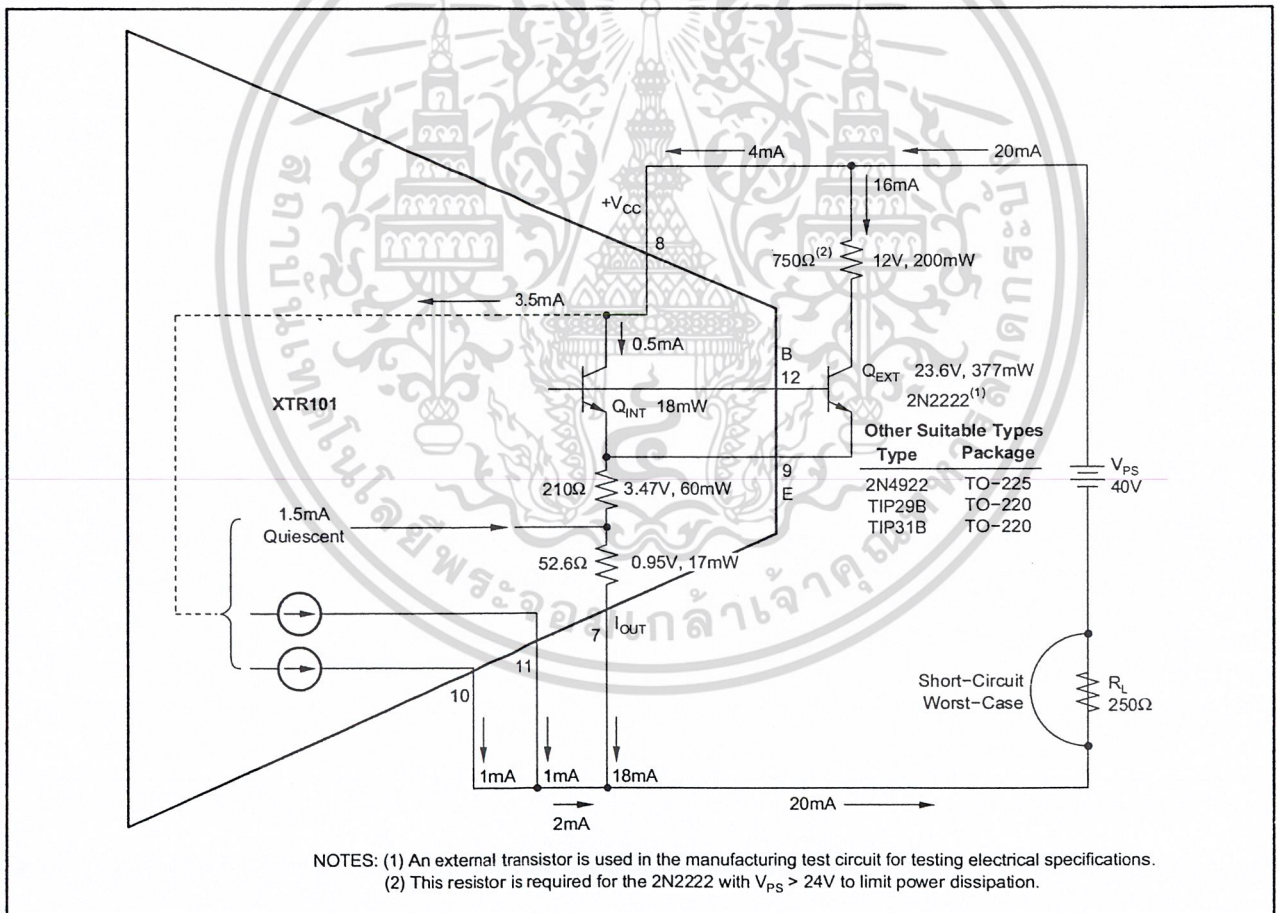


Figure 2. Power Calculation of the XTR101 with an External Transistor

Although any NPN of suitable power rating will operate with the XTR101, two readily available transistors are recommended:

1. 2N2222 in the TO-18 package. For power-supply voltages above 24V, a 750Ω, 1/2W resistor should be connected in series with the collector. This will limit the power dissipation to 377mW under the worst-case conditions; see Figure 2. Thus, the 2N2222 will safely operate below its 400mW rating at the upper temperature of +85°C. Heat sinking the 2N2222 will result in greatly reduced accuracy improvement and is not recommended.
2. TIP29B in the TO-220 package. This transistor will operate over the specified temperature and output voltage range without a series collector resistor. Heat sinking the TIP29B will result in slightly less accuracy improvement. It can be done, however, when mechanical constraints require it.

**ACCURACY WITH AND WITHOUT AN EXTERNAL TRANSISTOR**

The XTR101 has been tested in a circuit using an external transistor. The relative difference in accuracy with and without an external transistor is shown in Figure 3. Notice that a dramatic improvement in offset voltage change with supply voltage is evident for any value of load resistor.

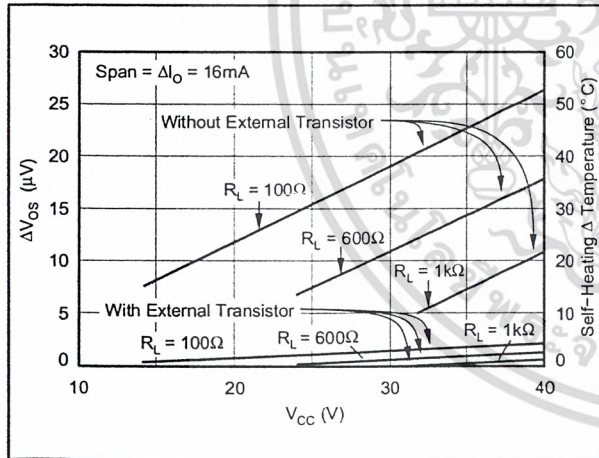


Figure 3. Thermal Feedback Due to Change in Output Current

**MAJOR POINTS TO CONSIDER WHEN USING THE XTR101**

1. The leads to  $R_S$  should be kept as short as possible to reduce noise pick-up and parasitic resistance.
2.  $+V_{CC}$  should be bypassed with a 0.01μF capacitor as close to the unit as possible (pin 8 to pin 7).
3. Always keep the input voltages within their range of linear operation, +4V to +6V ( $e_1$  and  $e_2$  measured with respect to pin 7).
4. The maximum input signal level ( $e_{INFS}$ ) is 1V with  $R_S = \infty$  and proportionally less as  $R_S$  decreases.
5. Always return the current references (pins 10 and 11) to the output (pin 7) through an appropriate resistor. If the references are not used for biasing or excitation, connect them together to pin 7. Each reference must have between 0V and  $(+V_{CC} - 4V)$  with respect to pin 7.
6. Always choose  $R_L$  (including line resistance) so that the voltage between pins 7 and 8 ( $+V_{CC}$ ) remains within the 11.6V to 40V range as the output changes between the 4-20mA range (as shown in Figure 4).
7. It is recommended that a reverse polarity protection diode ( $D_1$  in Figure 1) be used. This will prevent damage to the XTR101 caused by a momentary (such as a transient) or long-term application of the wrong polarity of voltage between pins 7 and 8.
8. Consider PC board layout which minimizes parasitic capacitance, especially in high gain.

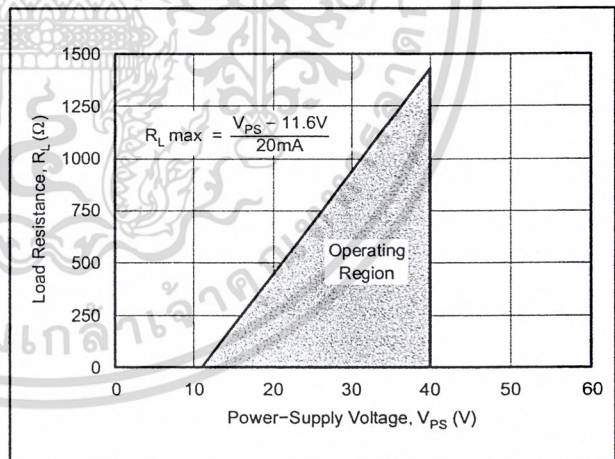


Figure 4. Power-Supply Operating Range

## SELECTING THE $R_S$

$R_{SPAN}$  is chosen so that a given full-scale input span ( $e_{INFS}$ ) will result in the desired full-scale output span of  $\Delta I_{OFS}$ :

$$\left[ \left( 0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}} \right) + \left( \frac{40}{R_S} \right) \right] \Delta e_{IN} = \Delta I_O = 16\text{mA}$$

Solving for  $R_S$ :

$$R_S = \frac{40}{\Delta I_O / \Delta e_{IN} - 0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}}} \quad (1)$$

For example, if  $\Delta e_{INFS} = 100\text{mV}$  for  $\Delta I_{OFS} = 16\text{mA}$ ,

$$R_S = \frac{40}{(16\text{mA}/100\text{mV}) - 0.016} = \frac{40}{0.16 - 0.016} = \frac{40}{0.144} = 278\Omega$$

See the Typical Characteristics for a plot of  $R_S$  vs  $\Delta e_{INFS}$ . Note that in order not to exceed the 20mA upper range limit,  $e_{IN}$  must be less than 1V when  $R_S = \infty$  and proportionately smaller as  $R_S$  decreases.

## BIASING THE INPUTS

Because the XTR operates from a single supply, both  $e_1$  and  $e_2$  must be biased approximately 5V above the voltage at pin 7 to assure linear response. This is easily done by using one or both current sources and an external resistor,  $R_2$ . Figure 5 shows the simplest case—a floating voltage source  $e'_2$ . The 2mA from the current sources flows through the 2.5k $\Omega$  value of  $R_2$  and both  $e_1$  and  $e_2$  are raised by the required 5V with respect to pin 7. For linear operation the constraint is:

$$+4\text{V} \leq e_1 \leq +6\text{V}$$

$$+4\text{V} \leq e_2 \leq +6\text{V}$$

The offset adjustment is used to remove the offset voltage of the input amplifier. When the input differential voltage ( $e_{IN}$ ) equals zero, adjust for 4mA output.

Figure 6 shows a similar connection for a resistive transducer. The transducer could be excited either by one (as shown) or both current sources. Also, the offset adjustment has higher resolution compared to Figure 5.

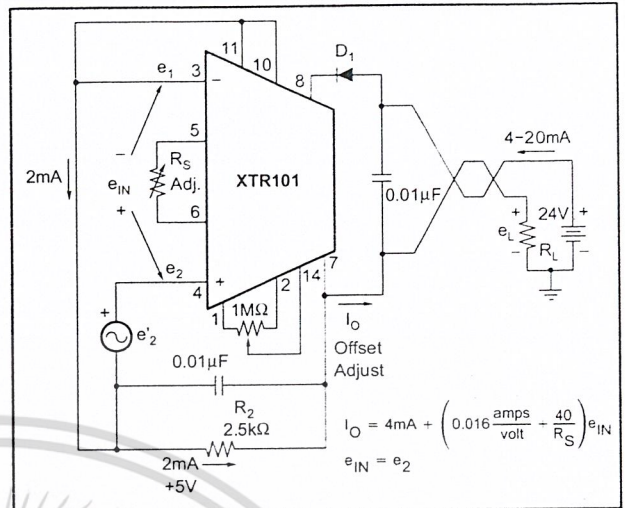


Figure 5. Basic Connection for Floating Voltage Source

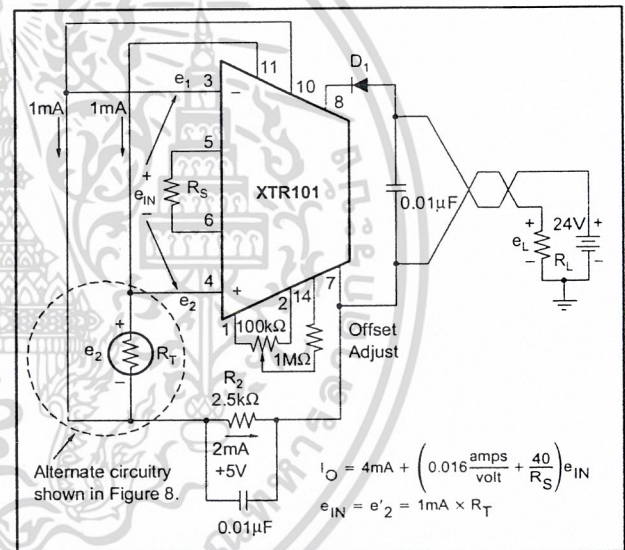


Figure 6. Basic Connection for Resistive Source

## CMV AND CMR

The XTR101 is designed to operate with a nominal 5V common-mode voltage at the input and will function properly with either input operating over the range of 4V to 6V with respect to pin 7. The error caused by the 5V CMV is already included in the accuracy specifications.

If the inputs are biased at some other CMV, then an input offset error term is  $(\text{CMV} - 5)/\text{CMRR}$ , where CMR is in dB, and CMRR is in V/V.

### SIGNAL SUPPRESSION AND ELEVATION

In some applications, it is desired to have suppressed zero range (input signal elevation) or elevated zero range (input signal suppression). This is easily accomplished with the XTR101 by using the current sources to create the suppression/elevation voltage. The basic concept is shown in Figure 7 and Figure 8(a). In this example, the sensor voltage is derived from  $R_T$  (a thermistor, RTD, or other variable resistance element) and excited by one of the 1mA current sources. The other current source is used to create the elevated zero range voltage. Figure 8(b), (c), and (d) show some of the possible circuit variations. These circuits have the desirable feature of noninteractive span and suppression/elevation adjustments.

Note: It is not recommended to use the optional offset voltage null (pins 1, 2, and 14) for elevation/suppression. This trim capability is used only to null the amplifier's input offset voltage. In many applications the already low offset voltage (typically  $20\mu\text{V}$ ) will not need to be nulled at all. Adjusting the offset voltage to non-zero values will disturb the voltage drift by  $\pm 0.3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  per  $100\mu\text{V}$  or induced offset.

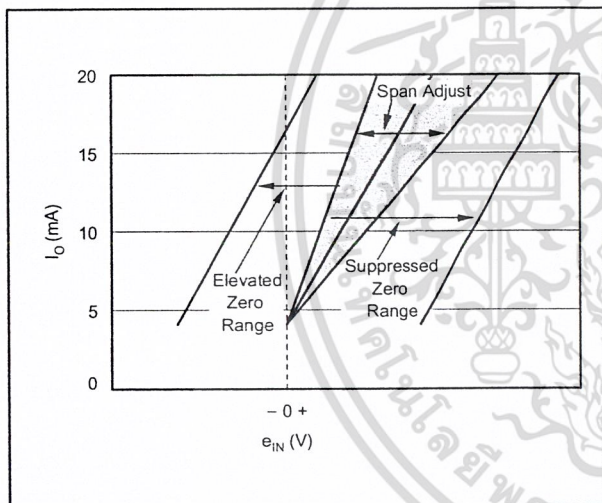


Figure 7. Elevation and Suppression Graph

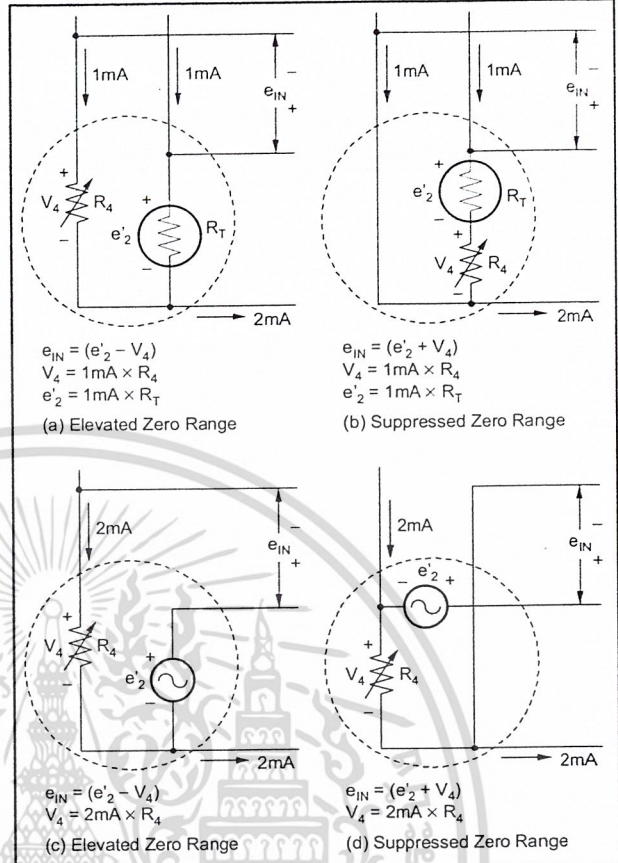


Figure 8. Elevation and Suppression Circuits

### APPLICATION INFORMATION

The small size, low offset voltage and drift, excellent linearity, and internal precision current sources make the XTR101 ideal for a variety of two-wire transmitter applications. It can be used by OEMs producing different types of transducer transmitter modules and by data acquisition systems manufacturers who gather transducer data. Current-mode transmission greatly reduces noise interference. The two-wire nature of the device allows economical signal conditioning at the transducer. Thus the XTR101 is, in general, very suitable for individualized and special-purpose applications.

**EXAMPLE 1**

An RTD transducer is shown in Figure 9.

Given a process with temperature limits of +25°C and +150°C, configure the XTR101 to measure the temperature with a platinum RTD which produces 100Ω at 0°C and 200Ω at +266°C (obtained from standard RTD tables). Transmit 4mA for +25°C and 20mA for +150°C.

**COMPUTING R<sub>S</sub>:**

The sensitivity of the RTD is  $\Delta R/\Delta T = 100\Omega/266^\circ\text{C}$ . When excited with a 1mA current source for a 25°C to 150°C range (a 125°C span), the span of  $e_{IN}$  is  $1\text{mA} \times (100\Omega/266^\circ\text{C}) \times 125^\circ\text{C} = 47\text{mV} = \Delta e_{IN}$ .

$$R_s = \frac{40}{\Delta I_O/\Delta e_{IN} - 0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}}}$$

$$R_s = \frac{40}{16\text{mA}/47\text{mV} - 0.016\text{A/V}} = \frac{40}{0.3244} = 123.3\Omega$$

Span adjustment (calibration) is accomplished by trimming  $R_s$ .

**COMPUTING R<sub>4</sub>:**

$$\begin{aligned} \text{At } +25^\circ\text{C}, e'_2 &= 1\text{mA}(R_T + \Delta R_T) \\ &= 1\text{mA} \left[ 100\Omega + \frac{100\Omega}{266^\circ\text{C}} \times 25^\circ\text{C} \right] \\ &= 1\text{mA}(109.4\Omega) = 109.4\text{mV} \end{aligned}$$

In order to make the lower range limit of 25°C correspond to the output lower range limit of 4mA, the input circuitry shown in Figure 9 is used.

$e_{IN}$ , the XTR101 differential input, is made 0 at 25°C or:

$$\begin{aligned} e'_{2\ 25^\circ\text{C}} - V_4 &= 0 \\ \text{thus, } V_4 &= e'_{2\ 25^\circ\text{C}} = 109.4\text{mV} \\ R_4 &= \frac{V_4}{1\text{mA}} = \frac{109.4\text{mV}}{1\text{mA}} = 109.4\Omega \end{aligned}$$

**COMPUTING R<sub>2</sub> AND CHECKING CMV:**

$$\begin{aligned} \text{At } +25^\circ\text{C}, e'_2 &= 109.4\text{mV} \\ \text{At } +150^\circ\text{C}, e'_2 &= 1\text{mA}(R_T + \Delta R_T) \\ &= 1\text{mA} \left[ 100\Omega + \frac{100\Omega}{266^\circ\text{C}} \times 150^\circ\text{C} \right] \\ &= 156.4\text{mV} \end{aligned}$$

Since both  $e'_2$  and  $V_4$  are small relative to the desired 5V common-mode voltage, they may be ignored in computing  $R_2$  as long as the CMV is met.

$$R_2 = \frac{5\text{V}}{2\text{mA}} = 2.5\text{k}\Omega$$

$$\begin{aligned} e_2 \text{ min} &= 5\text{V} + 0.1094\text{V} \\ e_2 \text{ max} &= 5\text{V} + 0.1564\text{V} \\ e_1 &= 5\text{V} + 0.1094\text{V} \end{aligned}$$

The 4V to 6V CMV requirement is met.

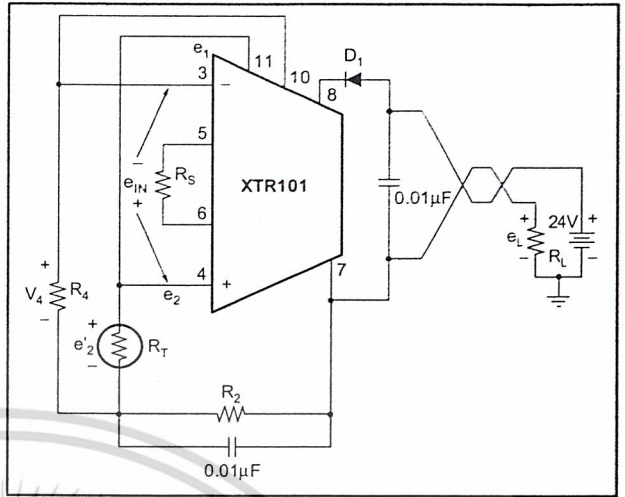


Figure 9. Circuit for Example 1

**EXAMPLE 2**

A thermocouple transducer is shown in Figure 10.

Given a process with temperature ( $T_1$ ) limits of 0°C and +1000°C, configure the XTR101 to measure the temperature with a type J thermocouple that produces a 58mV change for 1000°C change. Use a semiconductor diode for cold junction compensation to make the measurement relative to 0°C. This is accomplished by supplying a compensating voltage ( $V_{R6}$ ) equal to that normally produced by the thermocouple with its cold junction ( $T_2$ ) at ambient. At a typical ambient of +25°C, this is 1.28mV (obtained from standard thermocouple tables with reference junction of 0°C). Transmit 4mA for  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  and 20mA for  $T_1 = +1000^\circ\text{C}$ . Note:  $e_{IN} = e_2 - e_1$  indicates that  $T_1$  is relative to  $T_2$ .

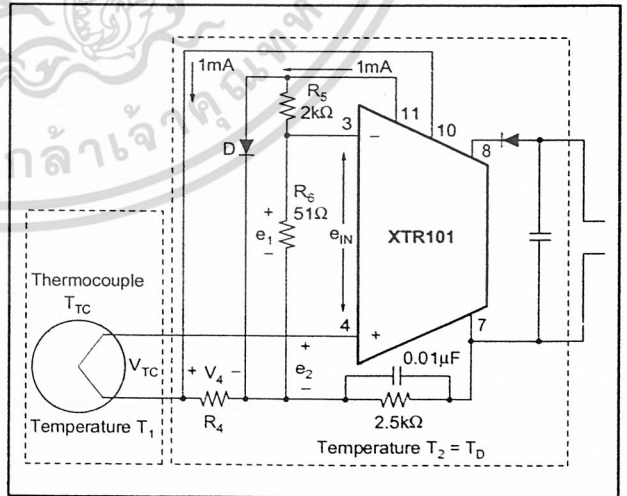


Figure 10. Thermocouple Input Circuit with Two Temperature Regions and Diode (D) Cold Junction Compensation

ESTABLISHING R<sub>S</sub>:

The input full-scale span is 58mV ( $\Delta e_{INFS} = 58mV$ ).

R<sub>S</sub> is found from Equation 1.

$$R_S = \frac{40}{\Delta I_O / \Delta e_{IN} - 0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}}} = \frac{40}{16mA / 58mV - 0.016A/V} = \frac{40}{0.2599} = 153.9\Omega$$

SELECTING R<sub>4</sub>:

R<sub>4</sub> is chosen to make the output 4mA at T<sub>TC</sub> = 0°C (V<sub>TC</sub> = -1.28mV) and T<sub>D</sub> = +25°C (V<sub>D</sub> = 0.6V); see Figure 10.

V<sub>TC</sub> will be -1.28mV when T<sub>TC</sub> = 0°C and the reference junction is at +25°C. e<sub>1</sub> must be computed for the condition of T<sub>D</sub> = +25°C to make e<sub>IN</sub> = 0V.

$$V_{D, 25^\circ C} = 600mV$$

$$e_{1, 25^\circ C} = 600mV \left( \frac{51}{2051} \right) = 14.9mV$$

$$e_{IN} = e_2 - e_1 = V_{TC} + V_4 - e_1$$

With e<sub>IN</sub> = 0 and V<sub>TC</sub> = -1.28mV,

$$V_4 = e_1 + e_{IN} - V_{TC} = 14.9mV + 0V - (-1.28mV)$$

$$1mA(R_4) = 16.18mV$$

$$R_4 = 16.18\Omega$$

COLD JUNCTION COMPENSATION:

A temperature reference circuit is shown in Figure 11.

The diode voltage has the form:

$$V_D = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{DIODE}}{I_{SAT}}$$

Typically at T<sub>2</sub> = +25°C, V<sub>D</sub> = 0.6V and  $\Delta V_D / \Delta T = -2mV/^\circ C$ . R<sub>5</sub> and R<sub>6</sub> form a voltage divider for the diode voltage V<sub>D</sub>. The divider values are selected so that the gradient  $\Delta V_D / \Delta T$  equals the gradient of the thermocouple at the reference temperature. At +25°C this is approximately 52 $\mu V/^\circ C$  (obtained from a standard thermocouple table); therefore,

$$\frac{\Delta T_C}{\Delta T} = \frac{\Delta V_D}{\Delta T} \left( \frac{R_6}{R_5 + R_6} \right)$$

$$\frac{52\mu V}{^\circ C} = \frac{2000\mu V}{^\circ C} \left( \frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) \tag{2}$$

R<sub>5</sub> is chosen as 2k $\Omega$  to be much larger than the resistance of the diode. Solving for R<sub>6</sub> yields 51 $\Omega$ .

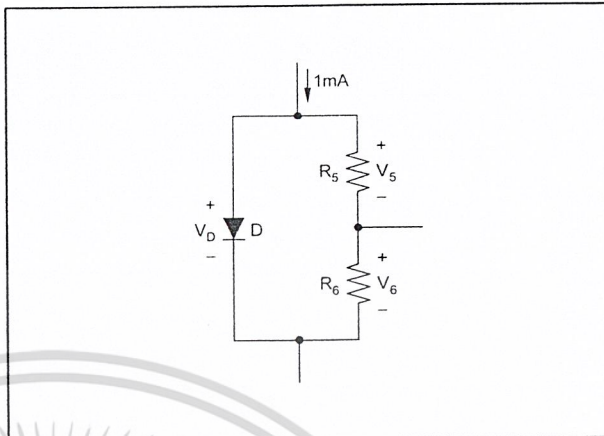


Figure 11. Cold Junction Compensation Circuit

THERMOCOUPLE BURN-OUT INDICATION

In process control applications it is desirable to detect when a thermocouple has burned out. This is typically done by forcing the two-wire transmitter current to either limit when the thermocouple impedance goes very high. The circuits of Figure 16 and Figure 17 inherently have downscale indication. When the impedance of the thermocouple gets very large (open) the bias current flowing into the + input (large impedance) will cause I<sub>O</sub> to go to its lower range limit value (about 3.8mA). If upscale indication is desired, the circuit of Figure 18 should be used. When T<sub>C</sub> opens, the output will go to its upper range limit value (about 25mA or higher).

OPTIONAL INPUT OFFSET VOLTAGE TRIM

The XTR101 has provisions for nulling the input offset voltage associated with the input amplifiers. In many applications the already low offset voltages (30 $\mu V$  max for the B grade and 60 $\mu V$  max for the A grade) will not need to be nulled at all. The null adjustment can be done with a potentiometer at pins 1, 2, and 14; see Figure 5 and Figure 6. Either of these two circuits may be used. NOTE: It is not recommended to use this input offset voltage nulling capability for elevation or suppression. See the *Signal Suppression and Elevation* section for the proper techniques.

### OPTIONAL BANDWIDTH CONTROL

Low-pass filtering is recommended where possible and can be done by either one of two techniques; see Figure 12.  $C_2$  connected to pins 3 and 4 will reduce the bandwidth with a cutoff frequency given by:

$$f_{CO} = \frac{15.9}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)(C_2 + 3pF)}$$

This method has the disadvantage of having  $f_{CO}$  vary with  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , and it may require large values of  $R_3$  and  $R_4$ . The other method, using  $C_1$ , will use smaller values of capacitance and is not a function of the input resistors. It is, however, more subject to nonlinear distortion caused by slew rate limiting. This is normally not a problem with the slow signals associated with most process control transducers. The relationship between  $C_1$  and  $f_{CO}$  is shown in the Typical Characteristics.

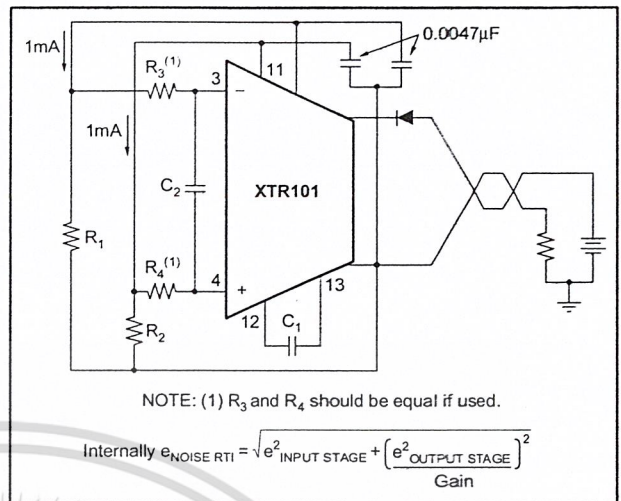


Figure 12. Optional Filtering

### APPLICATION CIRCUITS

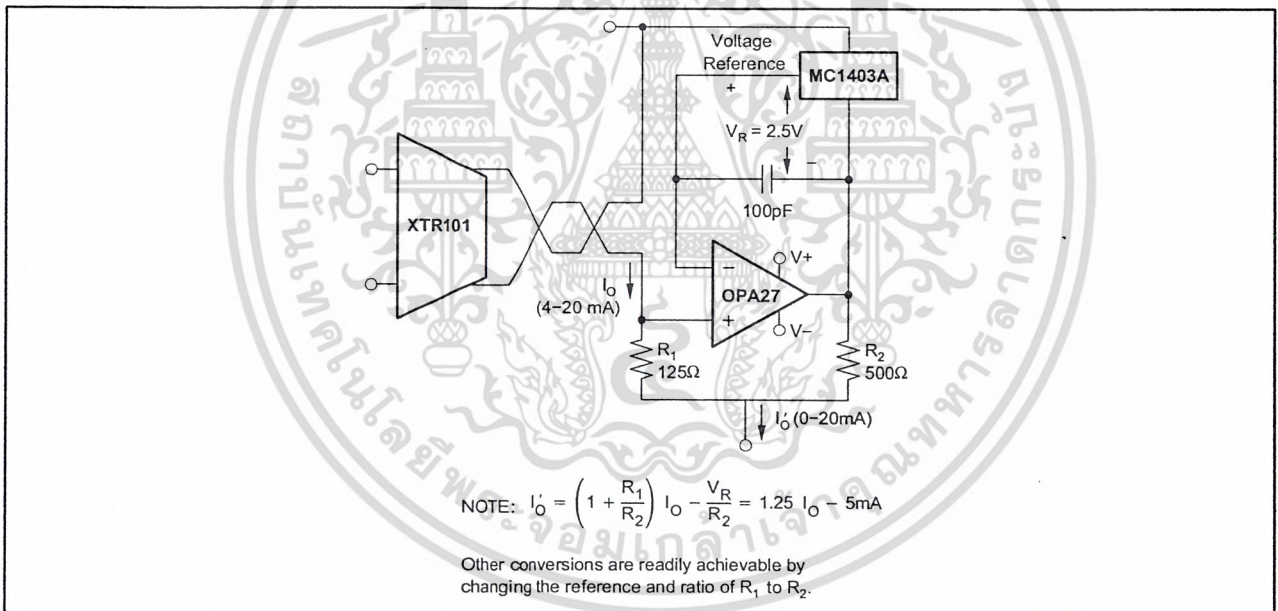


Figure 13. 0-20mA Output Converter

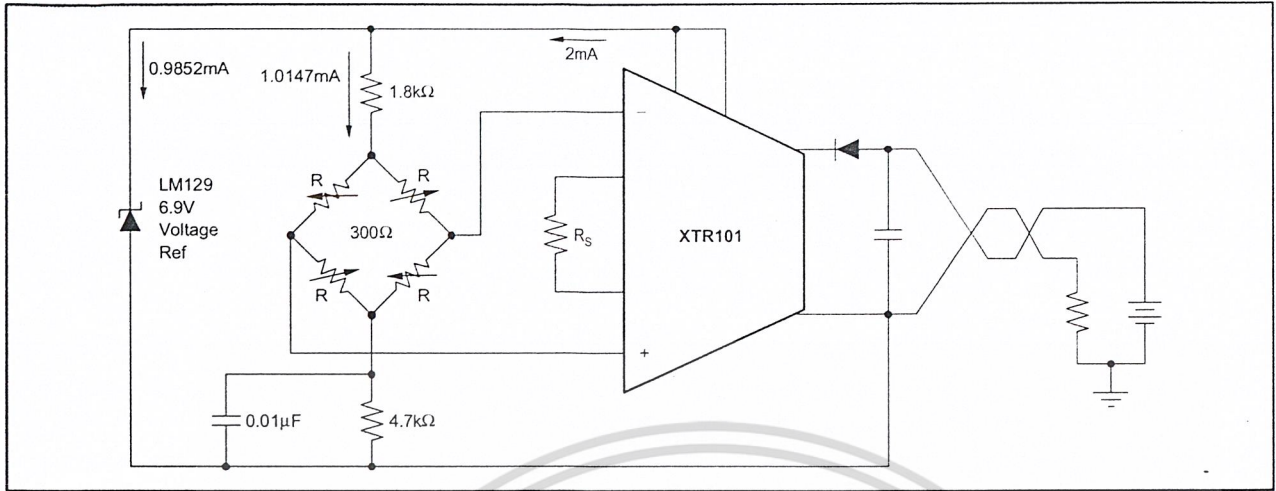


Figure 14. Bridge Input, Voltage Excitation

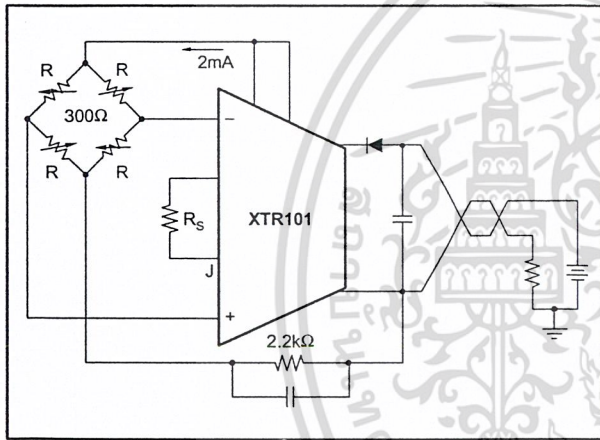


Figure 15. Bridge Input, Current Excitation

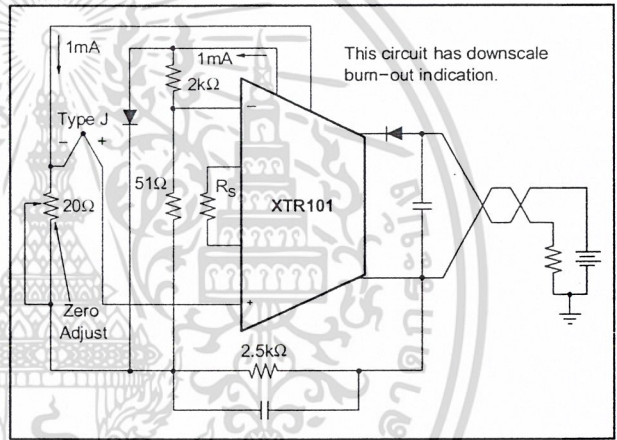


Figure 17. Thermocouple Input with Diode Cold Junction Compensation

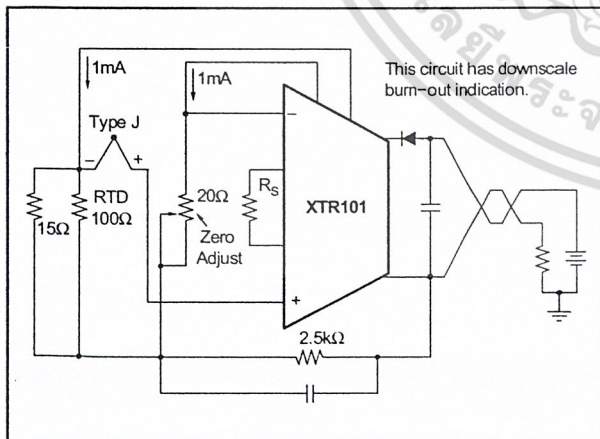


Figure 16. Thermocouple Input with RTD Cold Junction Compensation

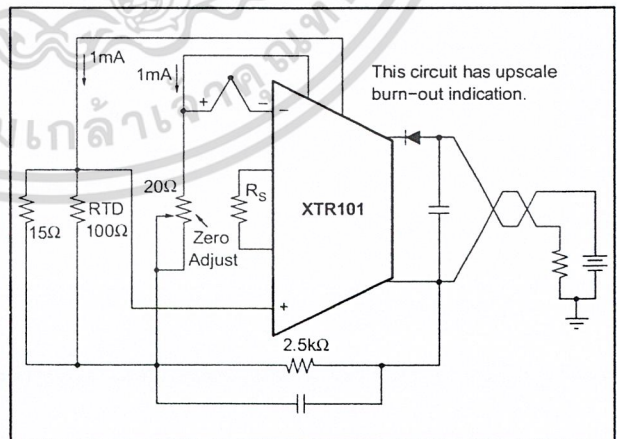


Figure 18. Thermocouple Input with RTD Cold Junction Compensation

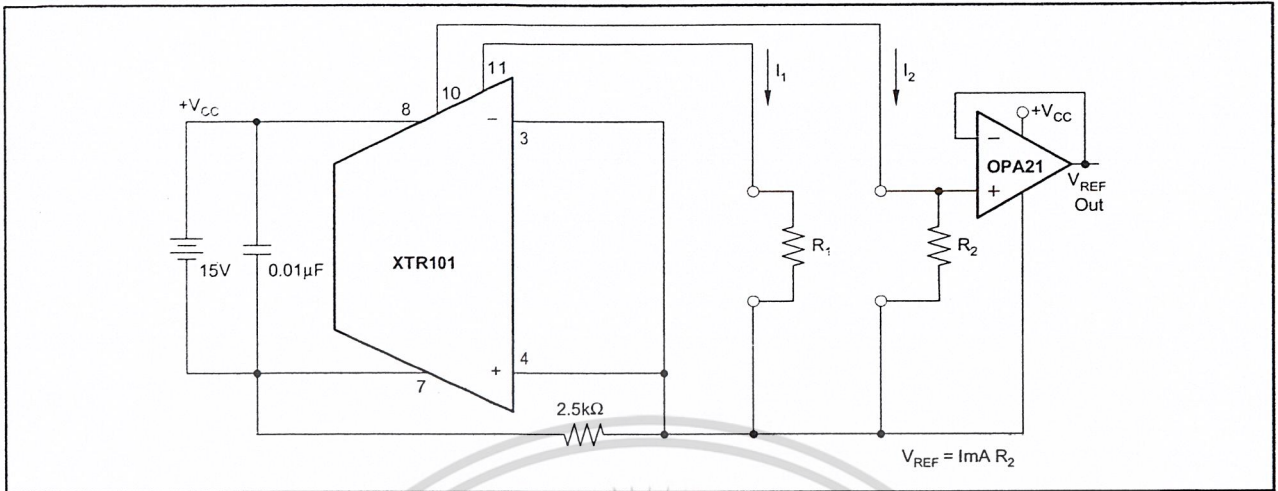


Figure 19. Dual Precision Current Sources Operated from One Supply

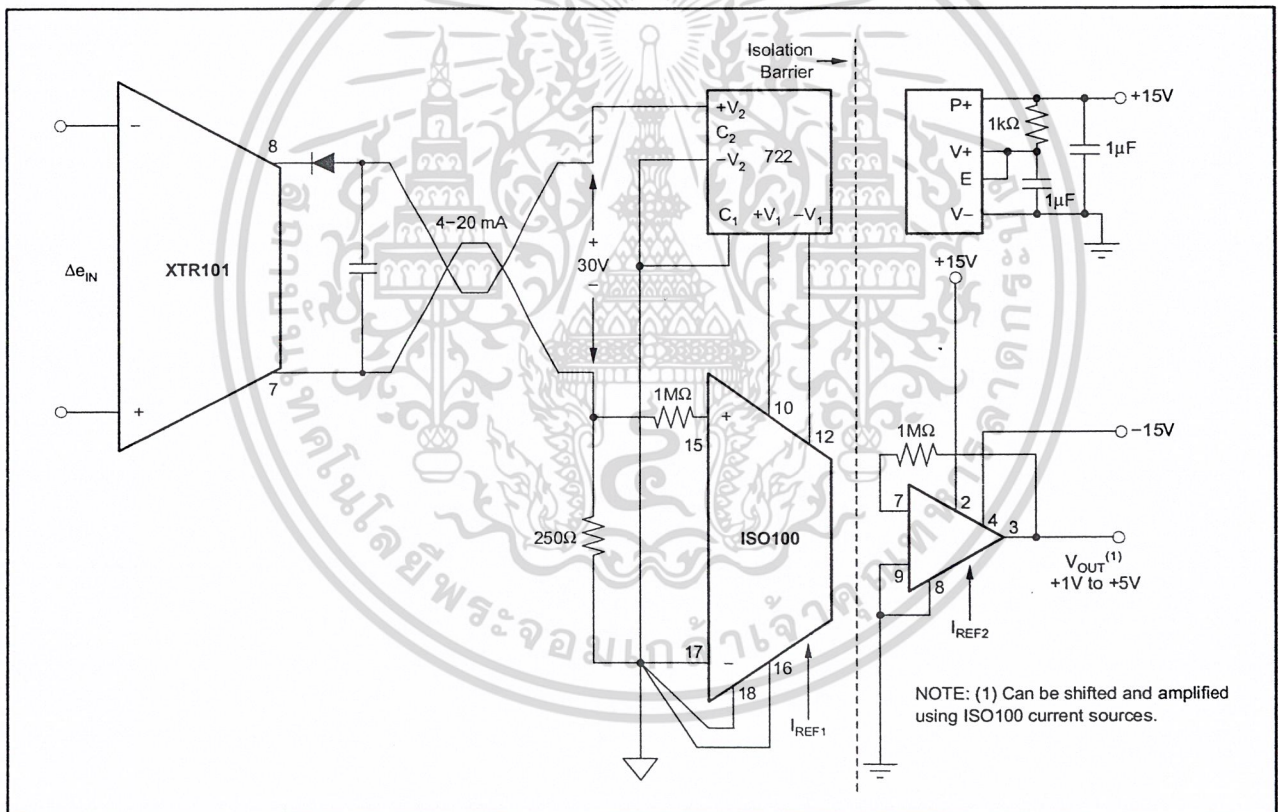


Figure 20. Isolated Two-Wire Current Loop

### DETAILED ERROR ANALYSIS

The ideal output current is:

$$I_{O\ IDEAL} = 4\text{mA} + K e_{IN} \quad (3)$$

where K is the span (gain) term,  $\left(0.016 \frac{\text{amps}}{\text{volt}} + \left(\frac{40}{R_S}\right)\right)$

In the XTR101 there are three major components of error:

1.  $\sigma_O$  = errors associated with the output stage.
2.  $\sigma_S$  = errors associated with span adjustment.
3.  $\sigma_I$  = errors associated with the input stage.

The transfer function including these errors is:

$$I_{O\ ACTUAL} = (4\text{mA} + \sigma_O) + K(1 + \sigma_S)(e_{IN} + \sigma_I) \quad (4)$$

When this expression is expanded, second-order terms ( $\sigma_S, \sigma_I$ ) dropped, and terms collected, the result is:

$$I_{O\ ACTUAL} = (4\text{mA} + \sigma_O) + K e_{IN} + K\sigma_I + K\sigma_S e_{IN} \quad (5)$$

The error in the output current is  $I_{O\ ACTUAL} - I_{O\ IDEAL}$  and can be found by subtracting Equation 3 from Equation 5.

$$I_{O\ ERROR} = \sigma_O + K\sigma_I + K\sigma_S e_{IN} \quad (6)$$

This is a general error expression. The composition of each component of error depends on the circuitry inside the XTR101 and the particular circuit in which it is applied. The circuit of Figure 9 will be used to illustrate the principles.

$$\sigma_O = I_{OS\ RTO} \quad (7)$$

$$\sigma_S = \epsilon_{NONLINEARITY} + \epsilon_{SPAN} \quad (8)$$

$$\sigma_I = V_{OSI} + (I_{B1} + R_4 - I_{B2} R_T) + \frac{\Delta V_{CC}}{PSRR} + \frac{(e_1 + e_2) - 5V}{CMRR} \quad (9)$$

The term in parentheses may be written in terms of offset current and resistor mismatches as  $I_{B1} \Delta R + I_{OS}' R_4$ .

$V_{OSI}^{(1)}$  = input offset voltage.

$I_{B1}^{(1)}, I_{B2}^{(1)}$  = input bias current.

$I_{OSI}^{(1)}$  = input offset current.

$I_{OS\ RTO}^{(1)}$  = output offset current error.

$\Delta R = R_T - R_4$  = mismatch in resistor.

$\Delta V_{CC}$  = change supply voltage between pins 7 and 8 away from 24V nominal.

$PSRR^{(1)}$  = power-supply rejection ratio.

$CMRR^{(1)}$  = common-mode rejection ratio.

$\epsilon_{NONLIN}^{(1)}$  = span nonlinearity.

$\epsilon_{SPAN}^{(1)}$  = span equation error.

Untrimmed error = 5% max. May be trimmed to zero.

(1) These items can be found in the Electrical Characteristics.

### EXAMPLE 3

See the circuit in Figure 9 with the XTR101BG specifications and the following conditions:  $R_T = 109.4\Omega$  at 25°C,  $R_T = 156.4\Omega$  at 150°C,  $I_O = 4\text{mA}$  at 25°C,  $I_O = 20\text{mA}$  at 150°C,  $R_S = 123.3\Omega$ ,  $R_4 = 109\Omega$ ,  $R_L = 250\Omega$ ,  $R_{LINE} = 100\Omega$ ,  $V_{DI} = 0.6\text{V}$ , and  $V_{PS} = 24\text{V} \pm 0.5\%$ . Determine the % error at the upper and lower range values.

#### A. AT THE LOWER RANGE VALUE (T = +25°C)

$$\sigma_O = I_{OS\ RTO} = \pm 6\mu\text{A}$$

$$\sigma_I = V_{OSI} + (I_{B1} \Delta R + I_{OSI} R_4) + \frac{\Delta V_{CC}}{PSRR} + \left[ \frac{(e_1 + e_2) - 5V}{CMRR} \right]$$

$$\Delta R = R_{T\ 25^\circ\text{C}} - R_4 = 109.4 - 109 \approx 0$$

$$\Delta V_{CC} = (24 \times 0.005) + 4\text{mA}(250\Omega + 100\Omega) + 0.6\text{V} = 120\text{mV} + 1400\text{mV} + 600\text{mV} = 2120\text{mV}$$

$$e_1 = (2\text{mA} \times 2.5\text{k}\Omega) + (1\text{mA} \times 109\Omega) = 5.109\text{V}$$

$$e_2 = (2\text{mA} \times 2.5\text{k}\Omega) + (1\text{mA} \times 109.4\Omega) = 5.1094\text{V}$$

$$\frac{(e_1 + e_2)}{2} - 5V = 0.1092\text{V}$$

$$PSRR = 3.16 \times 10^5 \text{ for } 110\text{dB}$$

$$CMRR = 31.6 \times 10^3 \text{ for } 90\text{dB}$$

$$\sigma_I = 30\mu\text{V} + (150\text{nA} \times 0 + 20\text{nA} \times 109\Omega) +$$

$$\frac{2120\text{mV}}{3.16 \times 10^5} + \frac{0.1092\text{V}}{3.16 \times 10^3} \quad (10)$$

$$= 30\mu\text{V} + 2.18\mu\text{V} + 6.7\mu\text{V} + 3.46\mu\text{V} = 42.34\mu\text{V}$$

$$\sigma_S = \epsilon_{NONLIN} + \epsilon_{SPAN}$$

$$= 0.0001 + 0 \text{ (assumes trim of } R_S)$$

$$I_{O\ ERROR} = \sigma_O + K\sigma_I + K\sigma_S e_{IN}$$

$$K = 0.016 + \frac{40}{R_S} = 0.016 + \frac{40}{123.3\Omega}$$

$$= 0.340 \frac{\text{amps}}{\text{volts}}$$

$$e_{IN} = e_2 - V_4 = I_{REF1} R_{T\ 25^\circ\text{C}} - I_{REF2} R_4$$

Since  $R_{T\ 25^\circ\text{C}} = R_4$ :

$$e_{IN} = (I_{REF1} - I_{REF2}) R_4 = 0.4\mu\text{A} \times 109\Omega = 43.6\mu\text{V}$$

Since the maximum mismatch of the current references is 0.04% of 1mA = 0.4μA:

$$I_O \text{ error} = 6\mu\text{A} + (0.34\text{A/V} \times 42.34\mu\text{V}) +$$

$$(0.34\text{A/V} \times 0.0001 \times 43.6\mu\text{V})$$

$$= 6\mu\text{A} + 14.40\mu\text{A} + 0.0015\mu\text{A} = 20.40\mu\text{A}$$

$$\% \text{ error} = \frac{20.40\mu\text{A}}{16\text{mA}} \times 100\%$$

0.13% of span at lower range value.

## B. AT THE UPPER RANGE VALUE (T = +150°C)

$$\Delta R = R_{T_{150^{\circ}\text{C}}} - R_4 = 156.4 - 109.4 = 47\Omega$$

$$\Delta V_{CC} = (24 \times 0.005) + 20\text{mA}(250\Omega + 100\Omega) + 0.6\text{V} \\ = 7720\text{mV}$$

$$e_1 = 5.109\text{V}$$

$$e_2 = (2\text{mA} \times 2.5\text{k}\Omega) + (1\text{mA} \times 156.4\Omega) \\ = 5.156\text{V}$$

$$\frac{(e_1 - e_2)}{2} - 5\text{V} = 0.1325\text{V}$$

$$\sigma_o = 6\mu\text{A}$$

$$\sigma_1 = 30\mu\text{V} + (150\text{nA} \times 47\Omega + 20\text{nA} \times 190\Omega) + \\ \frac{7720\text{mV}}{3.16 \times 10^5} + \frac{0.1325\text{V}}{3.16 \times 10^3} \\ = 30\mu\text{V} + 9.23\mu\text{V} + 24\mu\text{V} + 4.19\mu\text{V} \\ = 67.42\mu\text{V}$$

$$\sigma_s = 0.0001$$

$$e_{IN} = e'_2 - V_4 = I_{REF1} R_{T_{150^{\circ}\text{C}}} - I_{REF2} R_4 \\ = (1\text{mA} \times 156.4\Omega) - (1\text{mA} \times 109\Omega) \\ = 47\text{mV}$$

$$I_o \text{ error} = \sigma_o + K \sigma_1 + K \sigma_s e_{IN} \quad (11) \\ = 6\mu\text{A} + (0.34\text{A/V} \times 67.42\mu\text{V}) + \\ (0.34\text{A/V} \times 0.0001 \times 47000\mu\text{V}) \\ = 6\mu\text{A} + 22.92\mu\text{A} + 1.60\mu\text{A} \\ = 30.52\mu\text{A}$$

$$\% \text{ error} = \frac{30.52\mu\text{A}}{16\text{mA}} \times 100\%$$

0.19% of span at upper range value.

## CONCLUSIONS

**Lower Range:** From Equation 10, it is observed that the predominant error term is the input offset voltage ( $30\mu\text{V}$  for the B grade). This is of little consequence in many applications.  $V_{OS RTI}$  can, however, be nulled using the plots shown in Figure 5 and Figure 6. The result is an error of 0.06% of span instead of 0.13% of span.

**Upper Range:** From Equation 11, the predominant errors are  $I_{OS RTO}$  ( $6\mu\text{A}$ ),  $V_{OS RTI}$  ( $30\mu\text{V}$ ), and  $I_B$  ( $150\text{nA}$ ), max, B grade. Both  $I_{OS}$  and  $V_{OS}$  can be trimmed to zero; however, the result is an error of 0.09% of span instead of 0.19% of span.

## RECOMMENDED HANDLING PROCEDURES FOR INTEGRATED CIRCUITS

All semiconductor devices are vulnerable, in varying degrees, to damage from the discharge of electrostatic energy. Such damage can cause performance degradation or failure, either immediate or latent. As a general practice, we recommend the following handling procedures to reduce the risk of electrostatic damage:

1. Remove the static-generating materials (such as untreated plastic) from all areas that handle microcircuits.
2. Ground all operators, equipment, and work stations.
3. Transport and ship microcircuits, or products incorporating microcircuits, in static-free, shielded containers.
4. Connect together all leads of each device by means of a conductive material when the device is not connected into a circuit.
5. Control relative humidity to as high a value as practical (50% recommended).

**PACKAGING INFORMATION**

| Orderable Device | Status <sup>(1)</sup> | Package Type | Package Drawing | Pins | Package Qty | Eco Plan <sup>(2)</sup> | Lead/Ball Finish | MSL Peak Temp <sup>(3)</sup> |
|------------------|-----------------------|--------------|-----------------|------|-------------|-------------------------|------------------|------------------------------|
| XTR101AG         | NRND                  | CDIP SB      | JD              | 14   | 27          | None                    | Call TI          | Level-NA-NA-NA               |
| XTR101AP         | ACTIVE                | PDIP         | N               | 14   | 25          | None                    | Call TI          | Level-NA-NA-NA               |
| XTR101AU         | ACTIVE                | SOIC         | DW              | 16   | 48          | None                    | CU SNPB          | Level-3-260C-168 HR          |
| XTR101AU/1K      | ACTIVE                | SOIC         | DW              | 16   | 1000        | None                    | CU SNPB          | Level-3-260C-168 HR          |
| XTR101BG         | NRND                  | CDIP SB      | JD              | 14   | 27          | None                    | Call TI          | Level-NA-NA-NA               |

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - May not be currently available - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**None:** Not yet available Lead (Pb-Free).

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean "Pb-Free" and in addition, uses package materials that do not contain halogens, including bromine (Br) or antimony (Sb) above 0.1% of total product weight.

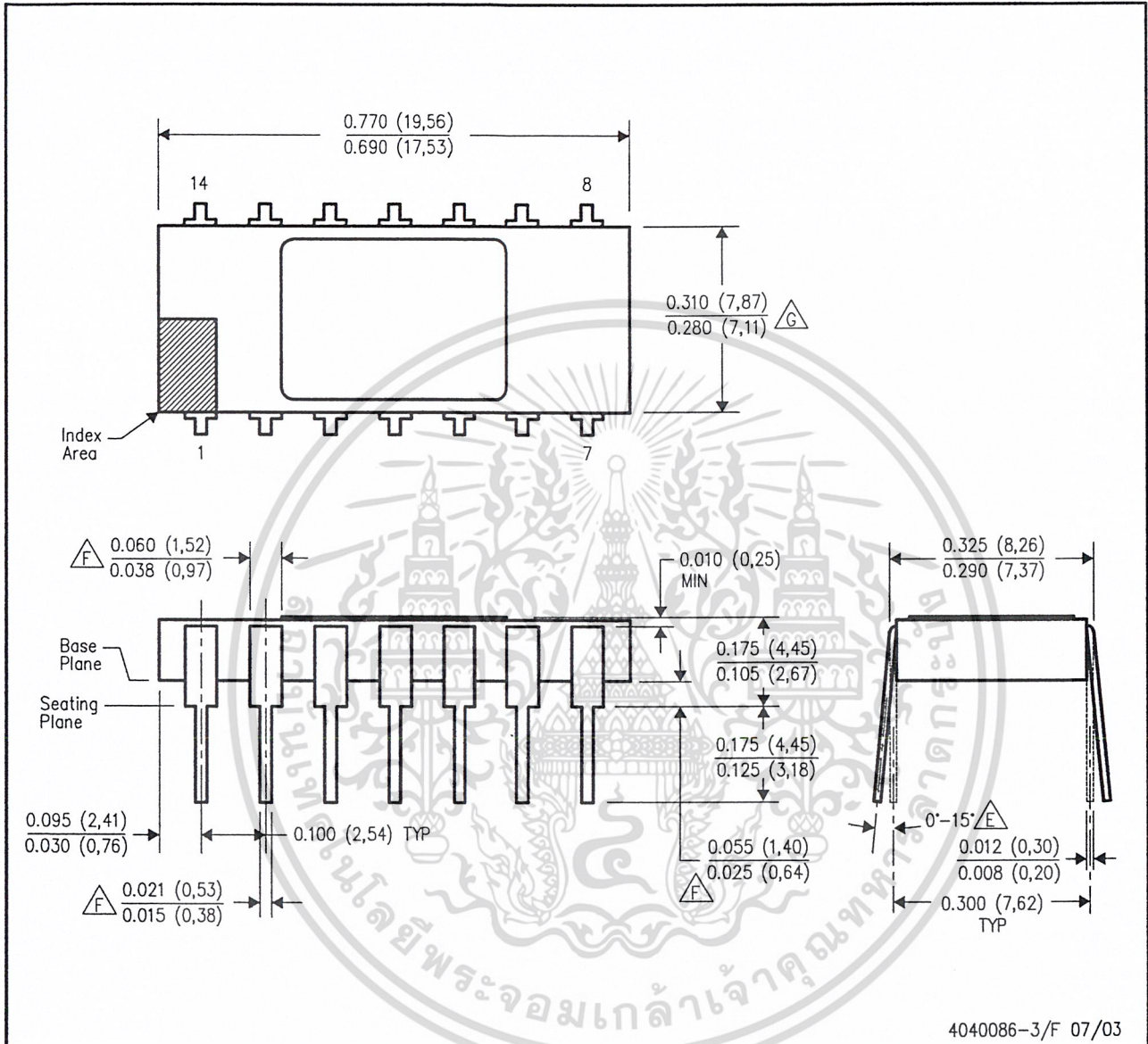
<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. – The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

JD (R-CDIP-T14)

CERAMIC SIDE-BRAZE DUAL-IN-LINE

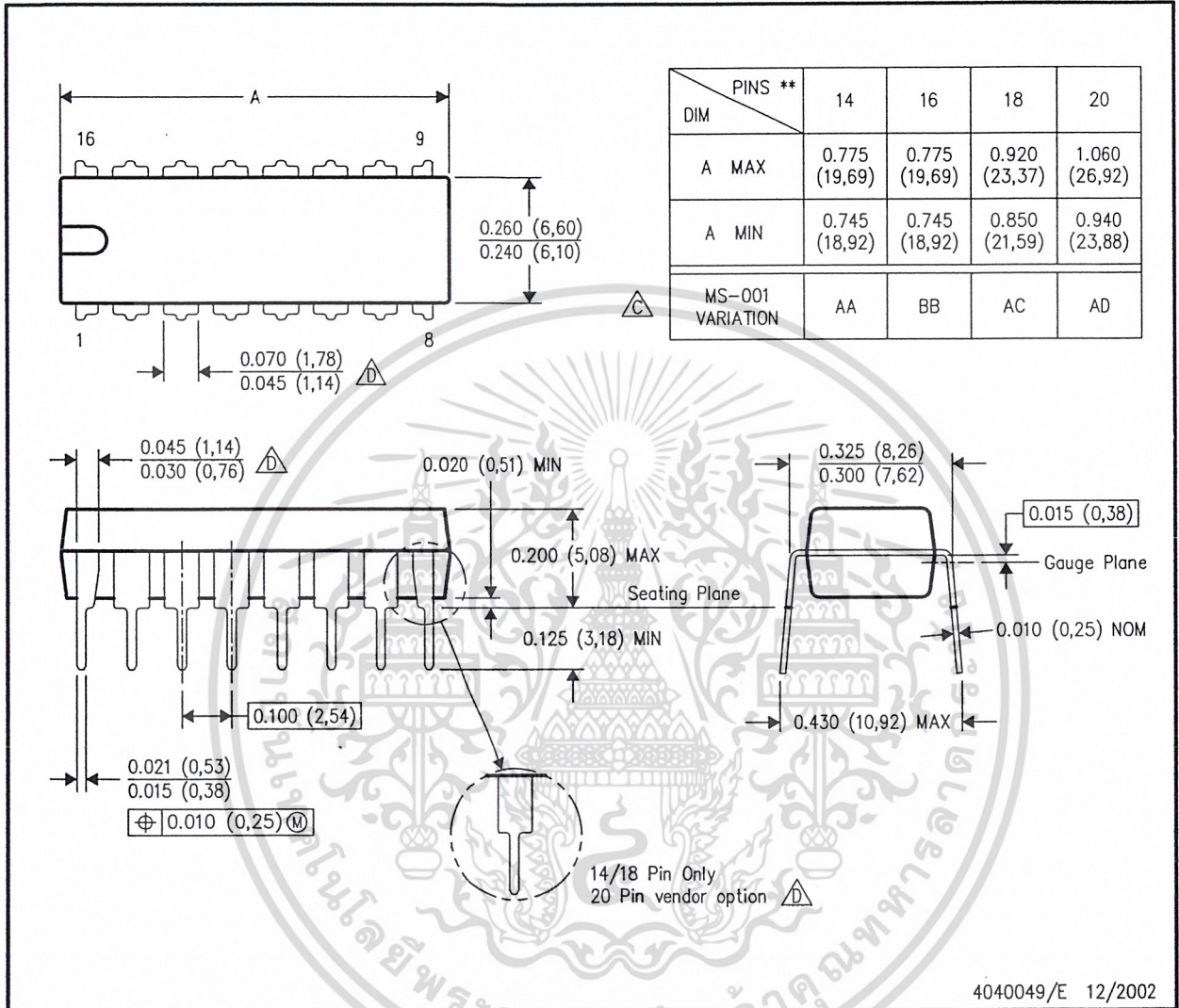


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Controlling dimension: inch.
  - D. Leads within 0.005 (0,13) radius of true position (TP) at gage plane with maximum material condition and unit installed.
  - E. Angle applies to spread leads prior to installation.
  - F. Outlines on which the seating plane is coincident with the plane (standoff = 0), terminals lead standoffs are not required, and lead shoulder may equal lead width along any part of the lead above the seating/base plane.
  - G. Body width does not include particles of packing materials.
  - H. A visual index feature must be located within the cross-hatched area.

N (R-PDIP-T\*\*)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

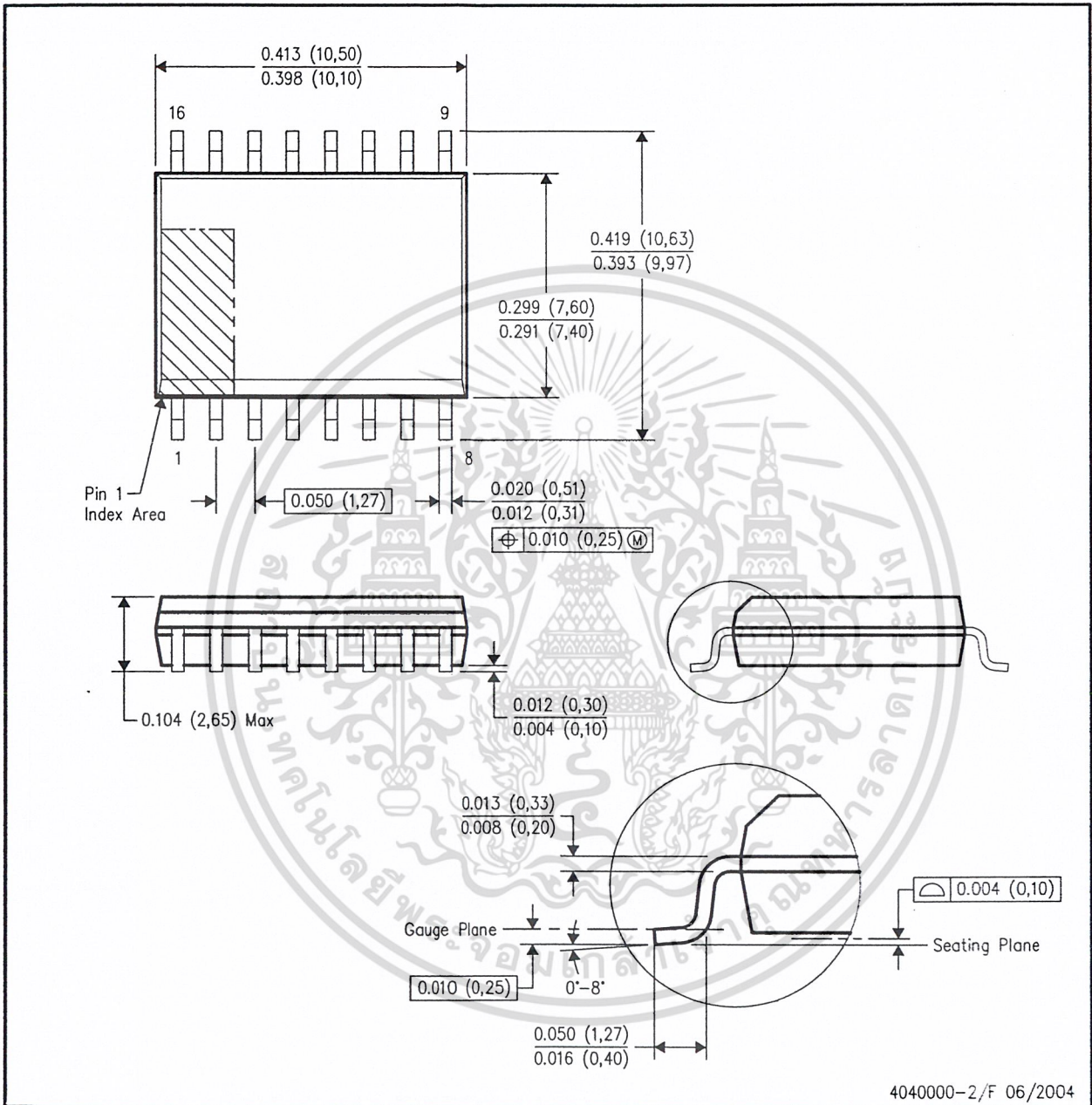
16 PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
  - D The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

DW (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040000-2/F 06/2004

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - D. Falls within JEDEC MS-013 variation AA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

| <b>Products</b>  |  | <b>Applications</b> |  |
|------------------|--|---------------------|--|
| Amplifiers       | <a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>             | Audio               | <a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>                   |
| Data Converters  | <a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>     | Automotive          | <a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>         |
| DSP              | <a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>                         | Broadband           | <a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>           |
| Interface        | <a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>             | Digital Control     | <a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a> |
| Logic            | <a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>                     | Military            | <a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>             |
| Power Mgmt       | <a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>                     | Optical Networking  | <a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a> |
| Microcontrollers | <a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a> | Security            | <a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>             |
|                  |  | Telephony           | <a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>           |
|                  |  | Video & Imaging     | <a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>                   |
|                  |  | Wireless            | <a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>             |

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 10 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010/MPXV2010G series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin-film resistor network integrated on each chip. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

## Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratiometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options

## Application Examples

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

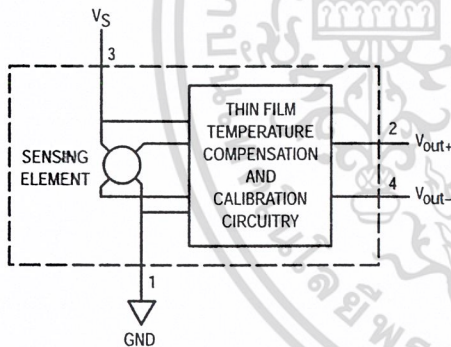


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

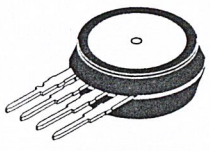
## VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).


Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 9


**UNIBODY PACKAGE**



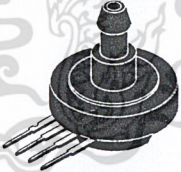
MPX2010D  
CASE 344



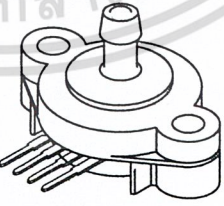
MPX2010GP  
CASE 344B



MPX2010DP  
CASE 344C



MPX2010GS  
CASE 344E



MPX2010GSX  
CASE 344F

| PIN NUMBER |       |   |       |
|------------|-------|---|-------|
| 1          | Gnd   | 3 | VS    |
| 2          | +Vout | 4 | -Vout |

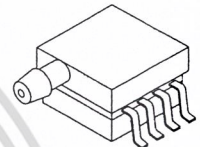
NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

# MPX2010 MPXV2010G SERIES

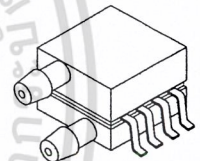
Motorola Preferred Device

**COMPENSATED  
PRESSURE SENSOR**  
0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)  
FULL SCALE SPAN: 25 mV

**SMALL OUTLINE PACKAGE  
SURFACE MOUNT**



MPXV2010GP  
CASE 1369



MPXV2010DP  
CASE 1351

## PIN NUMBER

|   |       |   |     |
|---|-------|---|-----|
| 1 | Gnd   | 5 | N/C |
| 2 | +Vout | 6 | N/C |
| 3 | VS    | 7 | N/C |
| 4 | -Vout | 8 | N/C |

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

**MAXIMUM RATINGS(NOTE)**

| Rating                     | Symbol           | Value       | Unit |
|----------------------------|------------------|-------------|------|
| Maximum Pressure (P1 > P2) | P <sub>max</sub> | 75          | kPa  |
| Storage Temperature        | T <sub>stg</sub> | -40 to +125 | °C   |
| Operating Temperature      | T <sub>A</sub>   | -40 to +125 | °C   |

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

**OPERATING CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 10 Vdc, T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)**

| Characteristic  | Symbol             | Min  | Typ  | Max  | Unit              |
|---|--------------------|------|------|------|-------------------|
| Pressure Range <sup>(1)</sup>                           | POP                | 0    | —    | 10   | kPa               |
| Supply Voltage <sup>(2)</sup>                           | V <sub>S</sub>     | —    | 10   | 16   | Vdc               |
| Supply Current  | I <sub>o</sub>     | —    | 6.0  | —    | mAdc              |
| Full Scale Span <sup>(3)</sup>                          | V <sub>FSS</sub>   | 24   | 25   | 26   | mV                |
| Offset <sup>(4)</sup>                                   | V <sub>off</sub>   | -1.0 | —    | 1.0  | mV                |
| Sensitivity   | ΔV/ΔP              | —    | 2.5  | —    | mV/kPa            |
| Linearity <sup>(5)</sup>                                | —                  | -1.0 | —    | 1.0  | %V <sub>FSS</sub> |
| Pressure Hysteresis <sup>(5)</sup> (0 to 10 kPa)        | —                  | —    | ±0.1 | —    | %V <sub>FSS</sub> |
| Temperature Hysteresis <sup>(5)</sup> (-40°C to +125°C) | —                  | —    | ±0.5 | —    | %V <sub>FSS</sub> |
| Temperature Effect on Full Scale Span <sup>(5)</sup>    | TCV <sub>FSS</sub> | -1.0 | —    | 1.0  | %V <sub>FSS</sub> |
| Temperature Effect on Offset <sup>(5)</sup>             | TCV <sub>off</sub> | -1.0 | —    | 1.0  | mV                |
| Input Impedance   | Z <sub>in</sub>    | 1000 | —    | 2550 | Ω                 |
| Output Impedance  | Z <sub>out</sub>   | 1400 | —    | 3000 | Ω                 |
| Response Time <sup>(6)</sup> (10% to 90%)               | t <sub>R</sub>     | —    | 1.0  | —    | ms                |
| Warm-Up   | —                  | —    | 20   | —    | ms                |
| Offset Stability <sup>(7)</sup>                         | —                  | —    | ±0.5 | —    | %V <sub>FSS</sub> |

**NOTES:**

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V<sub>FSS</sub>) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V<sub>off</sub>) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
  - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
  - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION and CALIBRATION

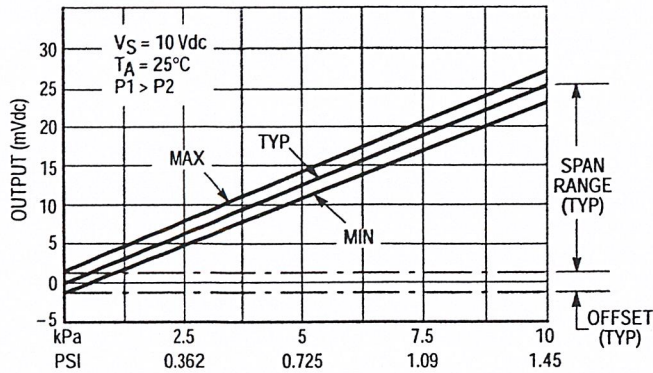


Figure 2. Output versus Pressure Differential

Figure 2 shows the output characteristics of the MPX2010/MPXV2010G series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on full scale span and offset are very small and are shown under Operating Characteristics.

This performance over temperature is achieved by having both the shear stress strain gauge and the thin-film resistor circuitry on the same silicon diaphragm. Each chip is dynamically laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation.

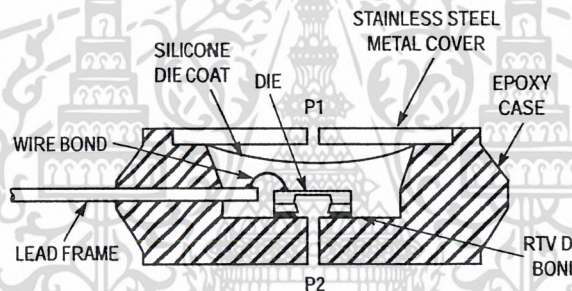


Figure 3. Unibody Package — Cross-Sectional Diagram (not to scale)

Figure 3 illustrates the differential/gauge die in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

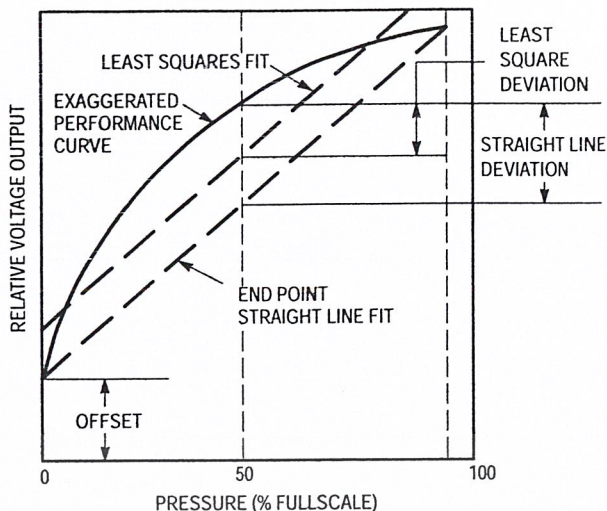
The MPX2010/MPXV2010G series pressure sensor oper-

ating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

**LINEARITY**

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation:  $V_{out} = V_{off} + sensitivity \times P$  over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 5) or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user. Motorola's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.



**Figure 4. Linearity Specification Comparison**

**PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE**

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The Motorola MPX

pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied,  $P1 > P2$ .

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

| Part Number | Case Type | Pressure (P1) Side Identifier |
|-------------|-----------|-------------------------------|
| MPX2010D    | 344       | Stainless Steel Cap           |
| MPX2010DP   | 344C      | Side with Part Marking        |
| MPX2010GP   | 344B      | Side with Port Attached       |
| MPX2010GS   | 344E      | Side with Port Attached       |
| MPX2010GSX  | 344F      | Side with Port Attached       |
| MPXV2010GP  | 1369      | Side with Port Attached       |
| MPXV2010DP  | 1351      | Side with Part Marking        |

**ORDERING INFORMATION — UNIBODY PACKAGE (MPX2010 SERIES)**

| Device Type     | Options                 | Case Type | MPX Series   |                |
|-----------------|-------------------------|-----------|--------------|----------------|
|                 |                         |           | Order Number | Device Marking |
| Basic Element   | Differential            | 344       | MPX2010D     | MPX2010D       |
| Ported Elements | Differential, Dual Port | 344C      | MPX2010DP    | MPX2010DP      |
|                 | Gauge                   | 344B      | MPX2010GP    | MPX2010GP      |
|                 | Gauge, Axial            | 344E      | MPX2010GS    | MPX2010D       |
|                 | Gauge, Axial PC Mount   | 344F      | MPX2010GSX   | MPX2010D       |

**ORDERING INFORMATION — SMALL OUTLINE PACKAGE (MPXV2010G SERIES)**

| Device Type     | Options                      | Case No. | MPX Series Order No. | Packing Options | Marking   |
|-----------------|------------------------------|----------|----------------------|-----------------|-----------|
| Ported Elements | Gauge, Side Port, SMT        | 1369     | MPXV2010GP           | Trays           | MPXV2010G |
|                 | Differential, Dual Port, SMT | 1351     | MPXV2010DP           | Trays           | MPXV2010G |

# A Simple 4–20 mA Pressure Transducer Evaluation Board

Prepared by: Denise Williams  
Discrete Applications Engineering

## INTRODUCTION

The two wire 4–20 mA current loop is one of the most widely utilized transmission signals for use with transducers in industrial applications. A two wire transmitter allows signal and power to be supplied on a single wire-pair. Because the information is transmitted as current, the signal is relatively immune to voltage drops from long runs and noise from motors, relays, switches and industrial equipment. The use of additional power sources is not desirable because the usefulness of this system is greatest when a signal has to be transmitted over a long distance with the sensor at a remote location. Therefore, the 4 mA minimum current in the loop is the maximum usable current to power the entire control circuitry.

Figure 1 is a block diagram of a typical 4–20 mA current loop system which illustrates a simple two chip solution to converting pressure to a 4–20 mA signal. This system is designed to be powered with a 24 Vdc supply. Pressure is converted to a differential voltage by the Motorola MPX5100 pressure sensor. The voltage signal proportional to the monitored pressure is then converted to the 4–20 mA current signal with the Burr–Brown XTR101 Precision Two–Wire Transmitter. The current signal can be monitored by a meter in series with the supply or by measuring the voltage drop across  $R_L$ . A key advantage to this system is that circuit performance is not affected by a long transmission line.

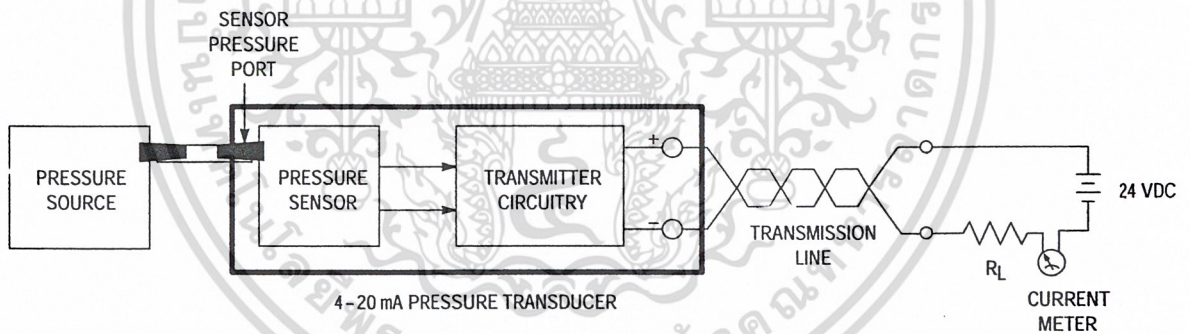


Figure 1. System Block Diagram

REV 4

## INPUT TERMINALS

A schematic of the 4–20 mA Pressure Transducer topology is shown in Figure 2. Connections to this topology are made at the terminals labeled (+) and (–). Because this system utilizes a current signal, the power supply, the load and any current meter must be put in series with the (+) to (–) terminals as indicated in the block diagram. The load for this type of

system is typically a few hundred ohms. As described above, a typical use of a 4–20 mA current transmission signal is the transfer of information over long distances. Therefore, a long transmission line can be connected between the (+) and (–) terminals on the evaluation board and the power supply/load.

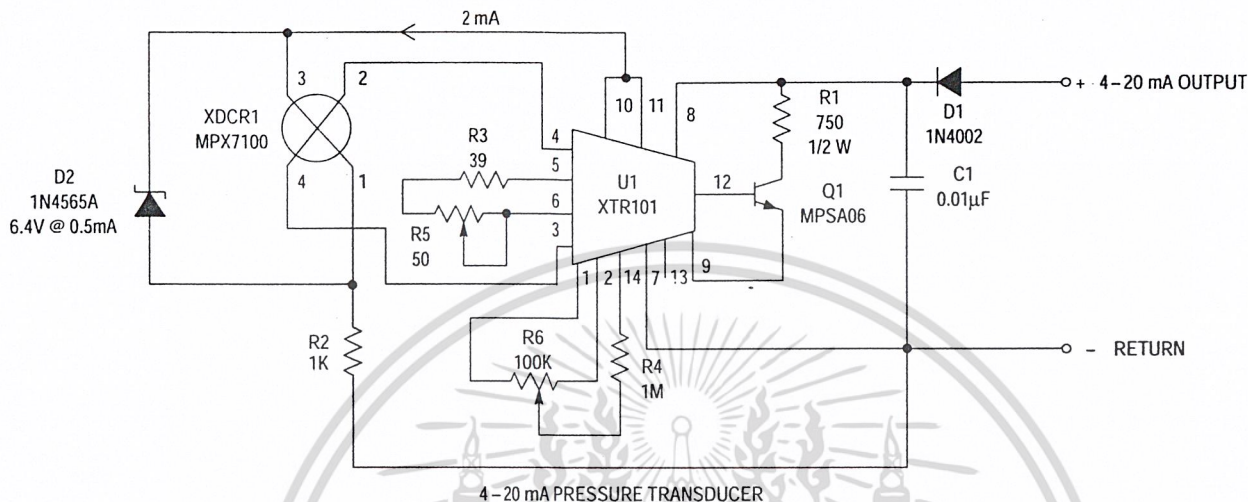


Figure 2. Schematic Diagram

## PRESSURE INPUT

The device supplied on this topology is an MPX5100DP, which provides two ports. P1, the positive pressure port, is on top of the sensor and P2, the vacuum port, is on the bottom of the sensor. The system can be supplied up to 15 PSI of positive pressure to P1 or up to 15 PSI of vacuum to P2 or a differential pressure up to 15 PSI between P1 and P2. Any of these pressure applications will create the same results at the sensor output.

## CIRCUIT DESCRIPTION

The XTR101 current transmitter provides two one-milliamp current sources for sensor excitation when its bias voltage is between 12 V and 40 V. The MPX5100 series sensors are constant voltage devices, so a zener, D2, is placed in parallel with the sensor input terminals. Because the MPX5100 series parts have a high impedance the zener and sensor combination can be biased with just the two milliamps available from the XTR101.

The offset adjustment is composed of R4 and R6. They are used to remove the offset voltage at the differential inputs to the XTR101. R6 is set so a zero input pressure will result in the desired output of 4 mA.

R3 and R5 are used to provide the full scale current span of 16 mA. R5 is set such that a 15 PSI input pressure results in the desired output of 20 mA. Thus the current signal will span

16 mA from the zero pressure output of 4 mA to the full scale output of 20 mA. To calculate the resistor required to set the full scale output span, the input voltage span must be defined. The full scale output span of the sensor is 24.8 mV and is  $\Delta V_{IN}$  to the XTR101. Burr-Brown specifies the following equation for  $R_{span}$ . The 40 and 16 mΩ values are parameters of the XTR101.

$$R_{span} = 40 / [(16 \text{ mA} / \Delta V_{in}) - 0.016 \text{ mhos}] = 64 \Omega$$

The XTR101 requires that the differential input voltage at pins 3 and 4,  $V_2 - V_1$  be less than 1V and that  $V_2$  (pin 4) always be greater than  $V_1$  (pin 3). Furthermore, this differential voltage is required to have a common mode of 4–6 volts above the reference (pin 7). The sensor produces the differential output with a common mode of approximately 3.1 volts above its reference pin 1. Because the current of both 1 mA sources will go through R2, a total common mode voltage of about 5.1 volts ( $1 \text{ k}\Omega \times 2 \text{ mA} + 3.1 \text{ volts} = 5.1 \text{ volts}$ ) is provided.

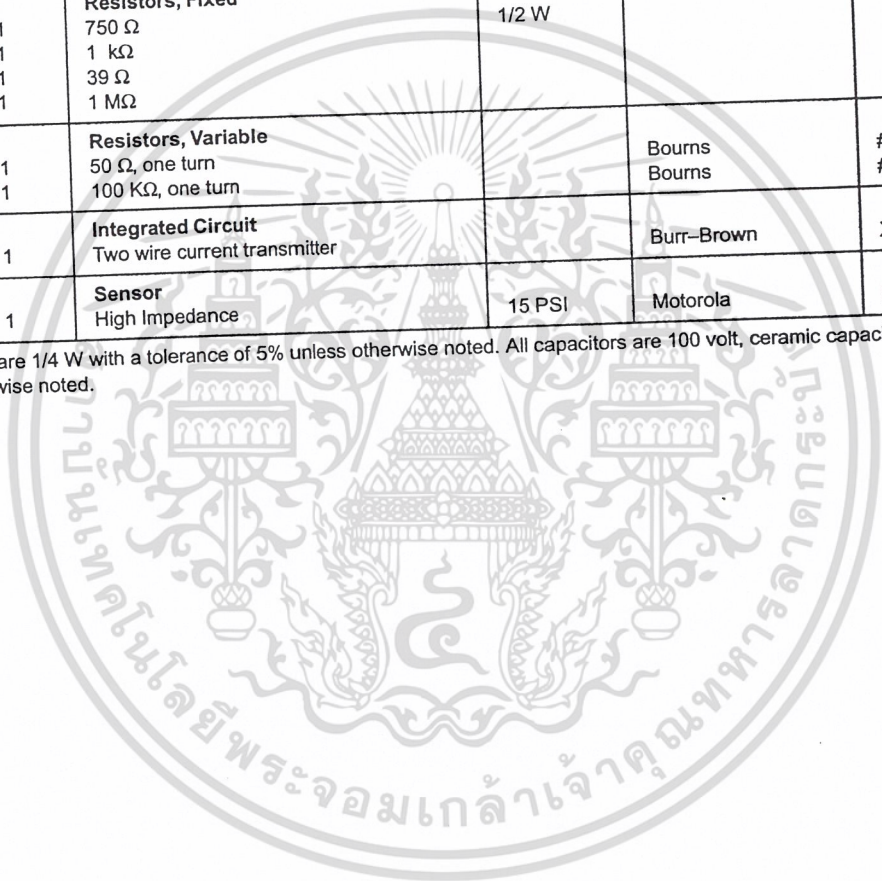
## CONCLUSION

This circuit is an example of how the MPX5000 series sensors can be utilized in an industrial application. It provides a simple design alternative where remote pressure sensing is required.

Table 1. Parts List for 4–20 mA Pressure Transducer Evaluation Board

| Designator           | Quantity                   | Description   | Rating | Manufacturer         | Part Number                  |
|----------------------|----------------------------|---|--------|----------------------|------------------------------|
|                      | 1<br>1<br>4<br>4<br>2<br>2 | PC Board (see Figure 3)<br>Input/Output Terminals<br>1/2" standoffs, Nylon threaded<br>1/2" screws, Nylon<br>5/8" screws, Nylon<br>4–40 nuts, Nylon |        | Motorola<br>PHX CONT | DEVB126<br>#1727010          |
| C1                   | 1                          | Capacitor<br>0.01 $\mu$ F   | 50 V   |                      |                              |
| D1<br>D2             | 1<br>1                     | Diodes<br>100 V Diode<br>6.4 V Zener  | 1 A    |                      | 1N4002<br>1N4565A            |
| Q1                   | 1                          | Transistor<br>NPN Bipolar   |        | Motorola             | MPSA06                       |
| R1<br>R2<br>R3<br>R4 | 1<br>1<br>1<br>1           | Resistors, Fixed<br>750 $\Omega$<br>1 k $\Omega$<br>39 $\Omega$<br>1 M $\Omega$   | 1/2 W  |                      |                              |
| R5<br>R6             | 1<br>1                     | Resistors, Variable<br>50 $\Omega$ , one turn<br>100 K $\Omega$ , one turn  |        | Bourns<br>Bourns     | #3386P–1–500<br>#3386P–1–104 |
| U1                   | 1                          | Integrated Circuit<br>Two wire current transmitter  |        | Burr–Brown           | XTR101                       |
| XDCR1                | 1                          | Sensor<br>High Impedance  | 15 PSI | Motorola             | MPX5100DP                    |

NOTE: All resistors are 1/4 W with a tolerance of 5% unless otherwise noted. All capacitors are 100 volt, ceramic capacitors with a tolerance of 10% unless otherwise noted.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้