

1301 300: Mechanical Measurement and Instruments

การวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมเครื่องกล



บทที่ 1

Introduction



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
ธนบุรี ศรีวิระกุล

บทนำ

1. ความหมายและความสำคัญของการวัดและเครื่องมือวัด
2. องค์ประกอบโดยรวมของระบบเครื่องมือวัด
3. เทคโนโลยีของระบบเครื่องมือวัด
4. ศาสตร์พื้นฐานที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดและเครื่องมือวัด

1. ความหมายและความสำคัญของการวัดและเครื่องมือวัด

ความหมายของการวัด

การวัดคือการกระทำเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ ในที่นี้รวมถึงการใช้เครื่องมือ(**Instrument**) ข้อมูลที่ต้องการก็คือ ปริมาณวัด (**measurand**) และ ผลการวัด (**measured result**) ก็คือ ผลจากการสังเกต (**observation**) ของผู้ทำการวัด

คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการวัด

1. ผลการวัด**ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม** ดังนั้นต้องกำหนดสภาพแวดล้อมของการวัดหรือสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ในขณะทำการวัด รวมทั้งระบุข้อมูลของเครื่องมือวัด เพราะข้อมูลประกอบเหล่านี้เป็นตัวบอกความน่าเชื่อถือของผลการวัด
2. การวัดที่ดีต้อง**ไม่ขึ้นอยู่กับผู้ทำการวัด** ให้ผู้ใดวัดก็ควรให้ผลเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน และควรใช้มาตรฐานเดียวกันที่ทุกคนเข้าใจได้ตรงกัน ผู้ทำการวัดจะต้องมีความรู้ในเรื่องวิชาการวัดที่ถูกต้อง จึงจะทำการวัดตามคุณสมบัติ 2 ข้อนี้ได้ดี

ความหมายและความสำคัญ of เครื่องมือวัด

In abstract terms, an instrument is a device that transforms a physical variable of interest (the measurand) into a form that is suitable for recording (the measurement).

- เป็นเครื่องมือที่สามารถบอกลักษณะทางกายภาพออกมาเป็นจำนวนที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ (หน่วย, สเกล)
- ตัวอย่างที่ ๑ _____
- ตัวอย่างที่ ๒ ความร้อน
- เครื่องมือวัดทางวิศวกรรมเครื่องกล
 - การวัดทางกล: อุณหภูมิ, ความดัน, ความเร่ง, แรง, การเคลื่อนไหว

ความสำคัญของเครื่องมือวัด

1) ช่วยในการตรวจสอบการทำงานให้มีความถูกต้อง

- ❑ เกจวัดความดันในระบบทำความเย็น

2) ใช้ในงานควบคุมอัตโนมัติ

- ❑ ป้อนน้ำ ป้อนลม
- ❑ ระบบหัวฉีดในเครื่องยนต์
- ❑ โรงไฟฟ้า
- ❑ ระบบ PLC ในไลน์การประกอบรถยนต์



หน่วยและระบบมาตรฐานของหน่วย

การวัดเป็นการบอกขนาดของปริมาณวัดที่เป็นปริมาณทางกายภาพ ให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของหน่วยมาตรฐาน

$$\text{magnitude} = \{ \text{value} \} \times [\text{unit}]$$
$$x = \{ x \} [x]$$
$$\mathbf{x} = \{ x \} [x] \mathbf{e}$$

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน จึงต้องมีการกำหนดมิติ (dimension) หน่วย (unit) และสัญลักษณ์ของหน่วย (symbol)

ระบบหน่วย SI

เป็นระบบหน่วยที่มีพื้นฐานมาจากระบบเมตริก (metric system) ประกอบไปด้วย

1. หน่วยรากฐาน (base unit) มีอยู่ 7 ชนิดคือ

- ❑ ความยาว (length)
- ❑ มวล (mass)
- ❑ เวลา (time)
- ❑ กระแสไฟฟ้า (electrical current)
- ❑ อุณหภูมิจี (thermodynamic temperature)
- ❑ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (luminous intensity)
- ❑ จำนวนของสาร (amount of substance)

2. หน่วยเพิ่มเติม (additional unit) มีอยู่ 2 ชนิดคือ

- ❑ เรเดียน (radian)
- ❑ สเตอเรเดียน (steradian)

3. หน่วยอนุพันธ์ (derivative unit)

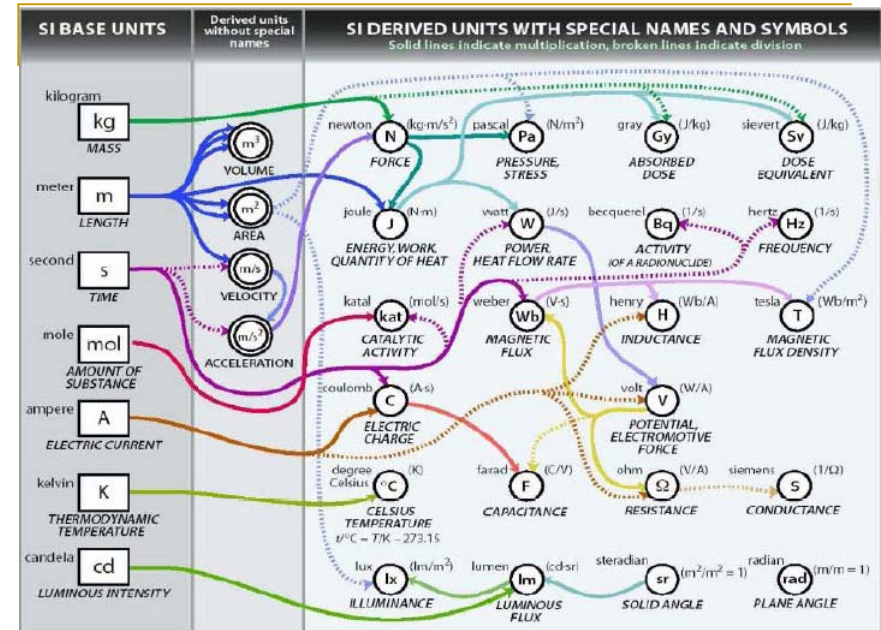
4. ใช้สัญลักษณ์พหุคูณหรือพหุคูณย่อย (decimal prefix) เพื่อบอกขนาดที่ใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าหน่วยมาตรฐานมาก ๆ

ปริมาณและหน่วยรากฐานของระบบ SI

Base quantity	Name of unit	Unit symbol
Length	meter	m
Mass	kilogram	kg
Time	second	s
Electrical current	ampere	A
Thermodynamic temperature	Kelvin	K
Luminous intensity	candela	cd
Amount of substance	mole	mol

ปริมาณและหน่วยที่กำหนดเพิ่มเติม

Quantity	Name of unit	Unit symbol
Plane angle	radian	rad
Solid angle	steradian	sr



2. องค์ประกอบโดยรวมของระบบเครื่องมือวัด

■ Sensor Stage/ Transducer

ตรวจจับและแปลงเป็นสิ่งที่ใช้ได้ เช่น การเคลื่อนไหว หรือแรงดันไฟฟ้า

■ Signal Processing/ Conditioning / ปรับปรุง

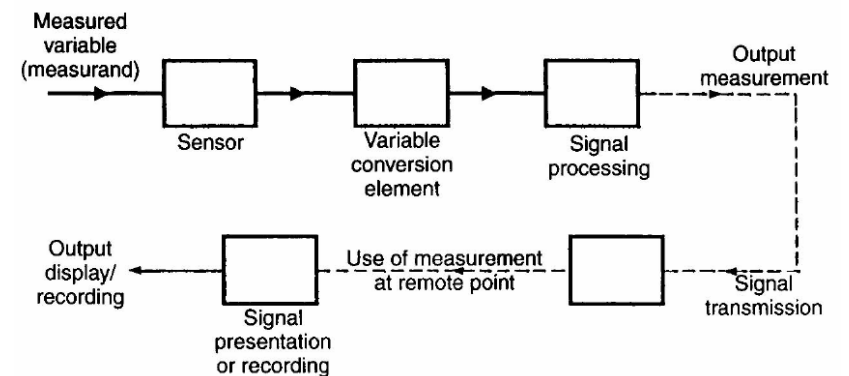
สัญญาณให้อยู่ในรูปที่ต้องการ เช่น การขยายสัญญาณ

■ Output Stage

แสดงผล, แสดงจำนวน หรือ บันทึกจำนวน

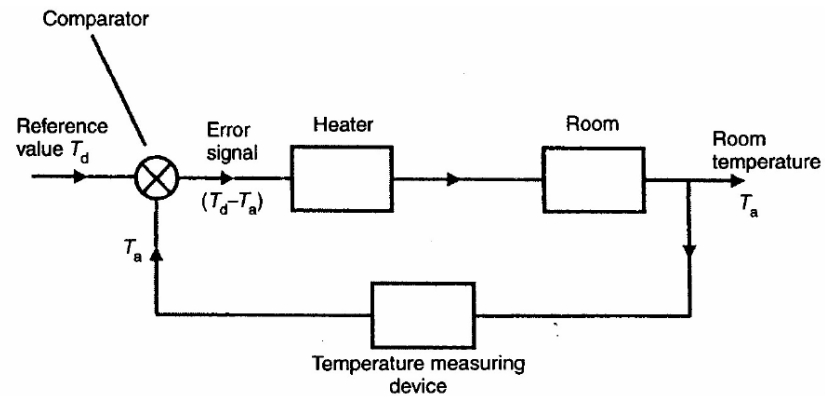
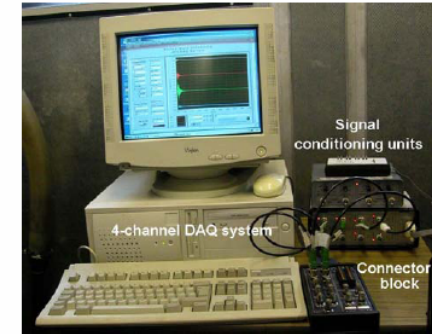
■ Feed-Back Control Stage

ใช้ระบบที่มีการควบคุมและนำข้อมูลมาประกอบการตัดสินใจ



3. เทคโนโลยีของระบบเครื่องมือวัด

Data Acquisition (DAQ) System

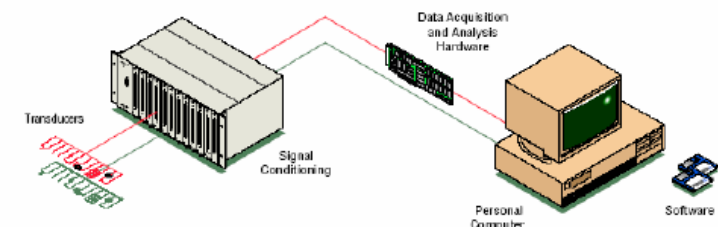


Data Acquisition (DAQ)

- กระบวนการเก็บข้อมูล/สัญญาณ จากแหล่งที่ต้องการวัด (Sources) ทั้งในรูปของ analog และ digital แล้วนำข้อมูล/สัญญาณมาจัดเก็บไว้เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ หรือนำเสนอข้อมูลในภายหลังบนเครื่องคอมพิวเตอร์
- ใช้งานร่วมกันของทั้ง hardware และ software เพื่อนำมาจัดทำเป็นระบบการวัด/เก็บข้อมูล ซึ่งสามารถพัฒนา/ปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานต่าง ๆ กัน

ระบบพื้นฐานของ DAQ มีส่วนประกอบอยู่ 5 ส่วน คือ

- 1) Transducers and sensors
- 2) Signals
- 3) Signal conditioning
- 4) DAQ hardware (Analog-to-Digital Converter (ADC) & Digital-to-Analog Converter (DAC))
- 5) Driver and application software



3.1) TRANSDUCER & SENSORS

Transducer: ตัวแปลง

คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพลังงาน (energy signal) ในรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เช่น การเคลื่อนที่, การไหล, การระเบิดของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ฯลฯ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณพลังงานแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทคือ

กล (mechanical) อุณหภูมิ (thermal) แม่เหล็ก (magnetic)
ไฟฟ้า (electrical) เคมี (chemical) รังสี (radiation)

- : ตัวแปลงด้านเข้าอาจเรียกว่า ตัวรับรู้ (sensor) และตัวตรวจจับ (detector)
- : ตัวแปลงด้านออกอาจเรียกว่า ตัวขับเคลื่อน (actuator) และตัวแสดงผล (effector)

การจัดแบ่งประเภทตัวแปลง (Transducer classification)

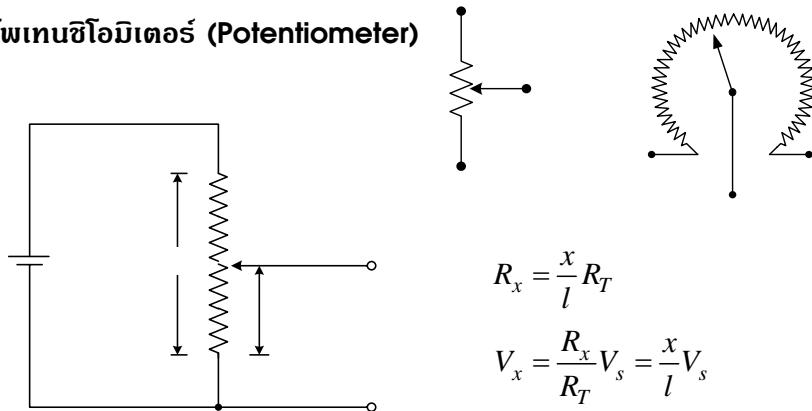
1. จัดแบ่งเป็นแบบที่ต้องใช้กำลังจากแหล่งจ่ายมาเปลี่ยนเป็นปริมาณออกโดยใช้ปริมาณเข้าเป็นตัวควบคุม ซึ่งเรียกว่า แบบมอดูเลตติง (modulating) อีกแบบหนึ่งคือ แบบที่เปลี่ยนปริมาณเข้าที่เป็นพลังงานในรูปแบบหนึ่งไปเป็นปริมาณออกในอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า แบบกำเนิดในตัว (self-generating)
2. จัดแบ่งตามลักษณะสัญญาณออกเป็น แบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล
3. จัดแบ่งตามประเภทของปริมาณวัดเช่น ตัวแปลงอุณหภูมิ ความเร็ว เป็นต้น
4. สำหรับตัวแปลงของระบบไฟฟ้า มีการจัดแบ่งตามประเภทของตัวแปลงทางไฟฟ้าที่เป็นปริมาณออกเช่น แบบความต้านทาน แบบความจุไฟฟ้า เป็นต้น
5. แบ่งตามการแปลงรูปแบบพลังงานเช่น แบบเมกคาโนอิเล็กทริกที่แปลงปริมาณกลเป็นไฟฟ้า แบบเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งแปลงปริมาณอุณหภูมิจากเป็นไฟฟ้า เป็นต้น

ตัวแปลงประเภทเมกคาโนอิเล็กทริก

1. ตัวแปลงระยะขจัด (Displacement transducer)

แบบความต้านทาน

โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)



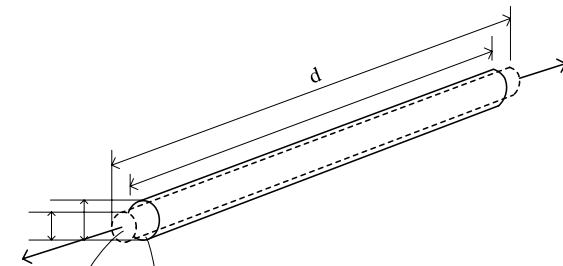
สเตรนเกจ (Strain gauge)

เป็นอุปกรณ์ที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความเค้น (stress)

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

ค่าความเปลี่ยนแปลงความต้านทานสัมพันธ์คือ

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A}$$



ตัวแปลงประเภทเทอร์โมอิเล็กทริก

เป็นตัวแปลงที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ แบ่งตามวิธีการทำงานได้เป็น 4 กลุ่ม

1. แบบที่ใช้ปริมาณทางไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
2. แบบที่สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเป็นตัวแปลงแบบกำเนิดในตัว
3. แบบที่เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีความร้อน
4. แบบที่ใช้วิธีการวัดโดยอ้อม

1. ตัวแปลงความร้อนแบบแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ตัวแปลงในกลุ่มนี้มีชนิดเดียวคือ เทอร์โมคัปเปิล (**Thermocouple**) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย ทนทาน ราคาถูก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพียงเส้นลวดโลหะ 2 เส้นที่ต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกัน โดยเรียกจุดเชื่อมต่อว่า รอยต่อ (**junction**)

2. ตัวแปลงความร้อนแบบความต้านทาน

อาร์ทีดี (**RTD, resistance temperature detector**)

เป็นตัวแปลงที่ทำขึ้นจากโลหะซึ่งจะมีค่าความต้านทานเปลี่ยนตามอุณหภูมิ โดยมีสัมประสิทธิ์เป็นบวก จึงเรียกว่า ความต้านทานแบบพีทีซี (**PTC resistor**) เป็นตัวแปลงที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ทำให้มีสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ จึงเรียกได้อีกชื่อว่า ความต้านทานแบบเอ็นทีซี (**NTC resistor**) เทอร์มิสเตอร์มีความไวสูงกว่าอาร์ทีดี แต่ก็มีความไม่เชิงเส้นมากกว่าด้วย ไม่เหมาะจะใช้วัดในงานที่ต้องการความแม่นยำสูงและในงานที่มีพิสัยการวัดกว้าง แต่ก็มีการใช้กันมากในงานควบคุมอุณหภูมิเพราะมีราคาถูก

ตัวแปลงประเภทแมกนีโตอิเล็กทริก

ตัวแปลงในกลุ่มนี้ทำงานโดยการตรวจจับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กแล้วเปลี่ยนเป็นปริมาณไฟฟ้าเช่น แรงดันไฟฟ้า และความต้านทาน

ตัวอย่างของ Transducer ชนิดต่าง ๆ

และการใช้งาน

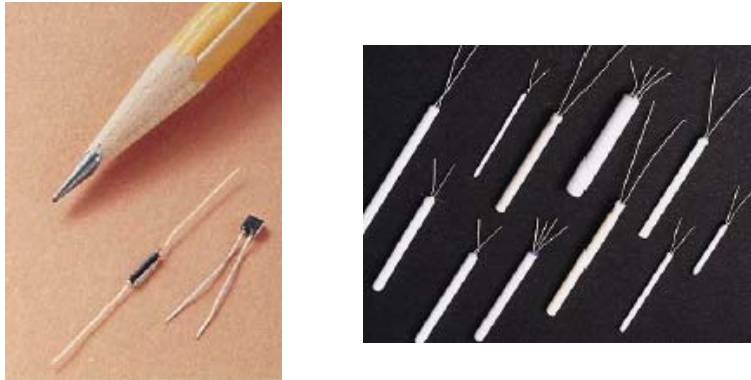
Application	Transducer
Temperature	Themocouples Resistive Temperature Devices (RTDs) Thermistors
Light	Photo Sensors
Sound	Microphone
Force and Pressure	Strain Gauges Piezoelectric Transducers
Position and Displacement	Potentiometers Linear Voltage Differential Transformer Optical Encoder
pH	pH Electrodes

Thermocouples



Low voltage output / Low sensitivity

RTDs (Resistance Temperature Detectors)



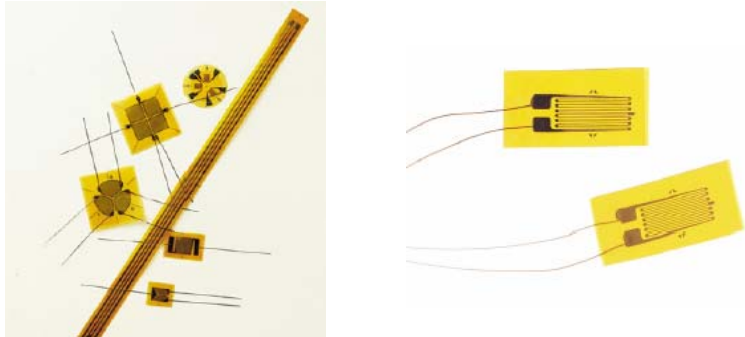
Low resistance / Low sensitivity

Thermistors (Temperature)



High resistance / high sensitivity

Strain Gauges (Force/Displacement)



Low resistance / Low sensitivity

Displacement & Speed



LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

Proximity Sensors

Speed Sensors

Pressure sensors



3.2) SIGNALS

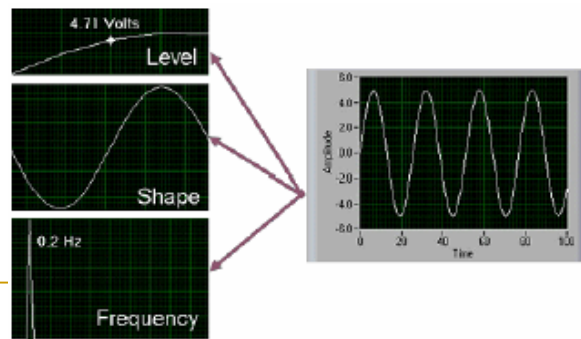
3.2.1) Analog Signals

3.2.2) Digital Signals

3.2.1) สัญญาณ Analog (Analog signal)

เป็นสัญญาณที่มีค่าใด ๆ เทียบกับเวลา ตัวอย่างของสัญญาณ analog เช่นค่าความต่างศักย์, อุณหภูมิ, ความดัน, เสียง เป็นต้น

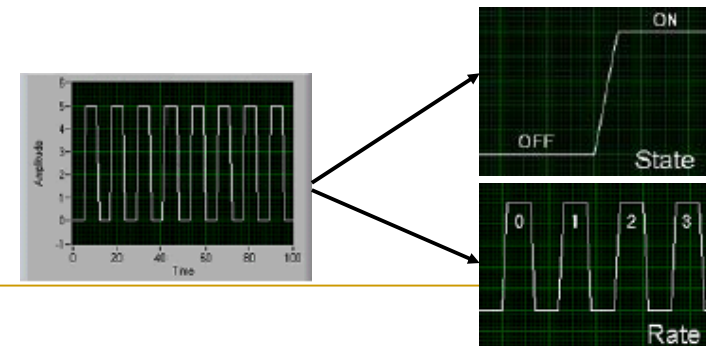
สัญญาณ analog มีคุณลักษณะแตกต่างกันอยู่ 3 อย่างคือ level, shape และ frequency



3.2.2) สัญญาณ Digital (Digital signal)

เป็นสัญญาณที่มีค่าเป็นไปได้อยู่ 2 ค่าคือ สูงและต่ำ (หรือ เปิด/ปิด)สัญญาณ Digital มักจะอ้างถึงสัญญาณ TTL (Transistor-to-Transistor Logic).

สัญญาณ TTL จะมีค่าต่ำ เมื่อระดับของสัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.8 V, และมีค่าสูงเมื่อระดับสัญญาณอยู่ระหว่าง 2-5 V สัญญาณ digital ที่วัดมาได้ใช้แสดงสถานะ(State) และอัตรา (Rate) การเปลี่ยนสถานะของระบบ

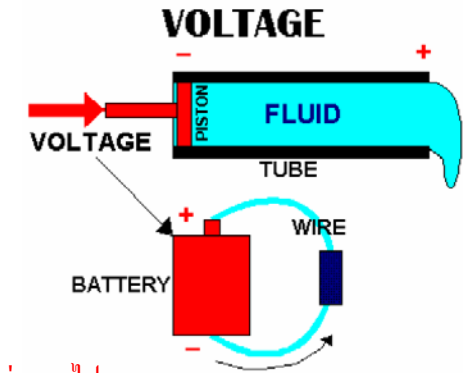


3.3) SIGNAL PROCESSING/ CONDITIONING

- เครื่องมือวัดจะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบมาตรฐานต่างๆซึ่งจะมีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน
- สัญญาณทางไฟฟ้าส่วนมากจะอยู่ในรูปของ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) หรือ กระแสไฟฟ้า (Ampere)
- โดยทั่วไปแล้ว มีสัญญาณมาตรฐาน เช่น
 - 0-1V, 0-5V, 0-10V
 - 4-20mA

Signal Processing: ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage)

- ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าก็เปรียบเสมือนความดันในท่อน้ำที่อยู่ในระบบ
- จากรูป ความต่างศักย์ก็คือแรงที่ผลักอิเล็กตรอน(น้ำ)ไปตามสายไฟ(ท่อ)



ข้อดี

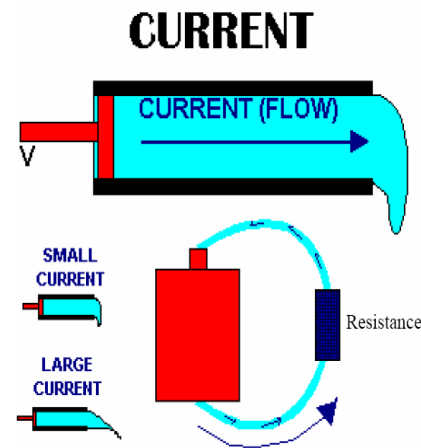
- เป็นรูปแบบที่สามารถอ่านโดยเครื่องมือ/อุปกรณ์ได้โดยตรง

ข้อด้อย

- จะเกิดการสูญเสียสัญญาณเมื่อต้องต่อสายไปไกลๆ

Signal Processing: กระแสไฟฟ้า (Current)

- กระแสไฟฟ้า คือ อัตราการไหลของอิเล็กตรอนในวงจร มีหน่วยเป็น แอมแปร์
- ความต้านทาน คือ สิ่งที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร มีหน่วยเป็น โอห์ม



ข้อดี

- ไม่เกิดการสูญเสียในสายส่ง

ข้อด้อย

- ไม่มีเครื่องมือที่อ่านค่าออกโดยตรงได้

Signal Conditioning



Signal conditioning

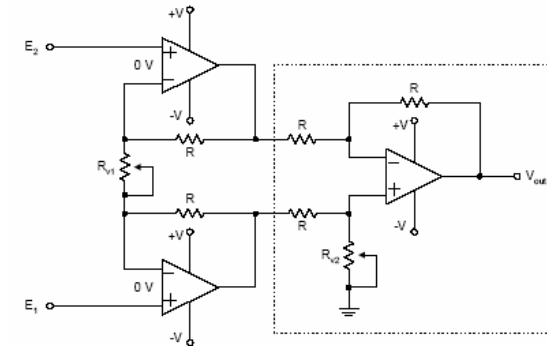
เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการปรับปรุงสัญญาณที่ต้องการวัดจาก Sensors/Transducers ซึ่งบางครั้งสัญญาณที่ได้รับมีค่าต่ำหรือสูงเกินไปให้มาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับ DAQ system ถ้าหากสัญญาณที่วัดมีค่าสูงเกินไป จะทำให้ DAQ system เกิดความเสียหายได้

Signal conditioning มีอยู่หลายแบบ

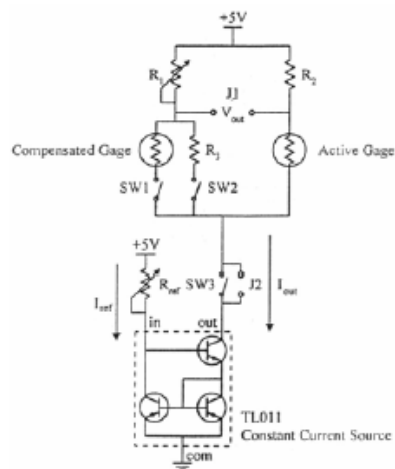
ตัวอย่างเช่น

- Amplification
- Attenuation
- Filtering
- Excitation
- Simultaneous sampling
- Multiplexing

วงจรขยายชนิดอินสตรูเมนต์ขั้นแบบง่าย



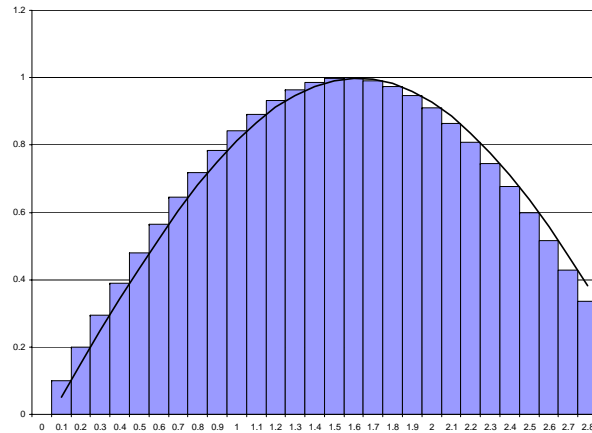
วงจรสำหรับ Strain Gauge



Analog to Digital Conversion (A/D)

- ในปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลในรูปของดิจิตอลมากขึ้นเพราะว่า
 - สัญญาณมีความคมชัด มีการรบกวนน้อยกว่า
 - การใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์มากขึ้น
 - อุปกรณ์มีราคาถูก
- สัญญาณดิจิตอลคืออะไร?
 - ชุดสัญญาณที่อยู่ในรูปตัวเลขฐานสอง(0 หรือ 1)
 - โดยใช้ระบบเลขฐานสองในการบ่งบอกปริมาณ
 - เช่นดิจิตอล 8 บิต คือ 00000000 ถึง 11111111 จะมีความแตกต่างกัน 256 ชั้น

Analog to Digital Conversion (A/D)



Analog to Digital Conversion (A/D)

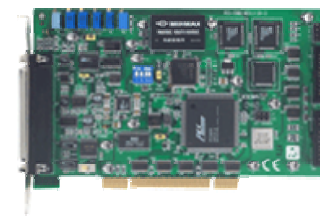
- ความละเอียดนั้นจะเรียกเป็น บิต
- เช่น 16 บิต จะมีตัวเลข 16 หลัก
 - สามารถคำนวณออกมาได้ $2^{16} = 65536$ ชั้น
- 12 บิต, $2^{12} = 4096$ ชั้น

3.4) DAQ Hardware



- Analog input/output (No. of CHs, Sampling rate, Trigger)
- Digital input/output
- Counter/timing input/output

Analog to Digital Conversion (A/D)



- ตัวอย่าง
- 12 Bit A/D converter
- Range 0-0.625V
- $0.625/2^{12}V=0.15$ mV

Computer Based Data Acquisition System

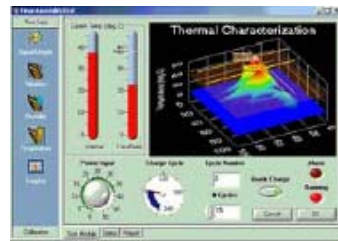


Analog Input / Output

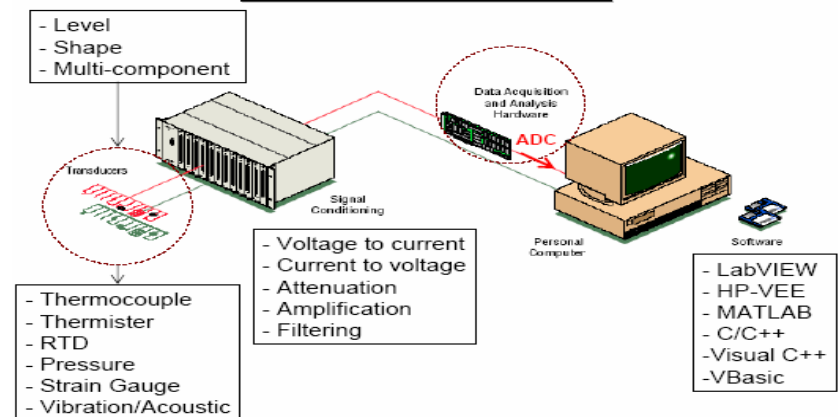
- **Analog input** เป็นช่องรับสัญญาณ **analog** ของ **DAQ card** ซึ่งมาจาก **Sensors/Transducers** และสามารถแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
- **Analog output** เป็นช่องสัญญาณที่สามารถส่งสัญญาณ **analog** ออกทาง **DAQ card** เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์หรือระบบที่ต้องการควบคุม

3.5) DAQ Software

- LabVIEW
- Visual basic/Visual C++
- C/C++
- HP-VEE
- MATLAB
- GeniDAQ



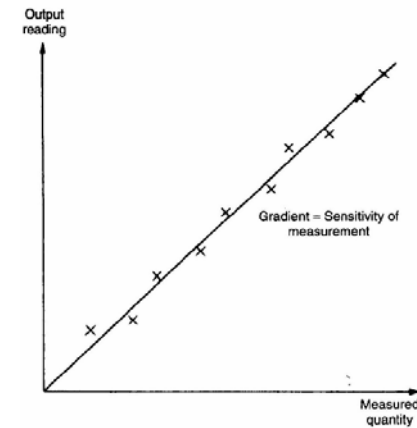
Measurement System



4. ศาสตร์พื้นฐานที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดและเครื่องมือวัด

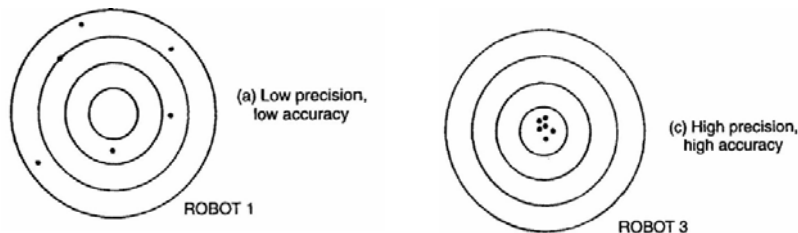
- การสอบเทียบอุปกรณ์วัด
 - เทียบค่ามาตรฐานกับระบบที่ทำการวัดและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ามาตรฐานและค่าที่ระบบตอบสนอง
 - Static Calibration
 - สอบเทียบโดยที่ค่ามาตรฐานกับการแสดงผลคงที่
 - Dynamics Calibration
 - ค่าทั้งสองเปลี่ยนแปลงตามเวลา จะใช้กับระบบพลศาสตร์

ย่านการวัด (RANGE)



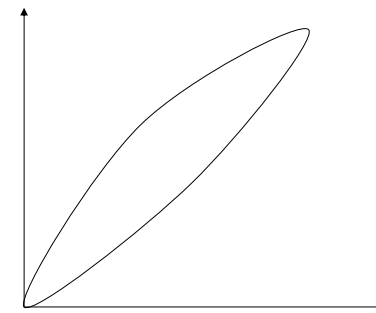
ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์วัด (Accuracy/ Error/ Precision)

- **Accuracy** (ความแม่นยำ) & **Error** (ความผิดพลาด)
- **Repeatability & Precision** (ความเที่ยงตรง)

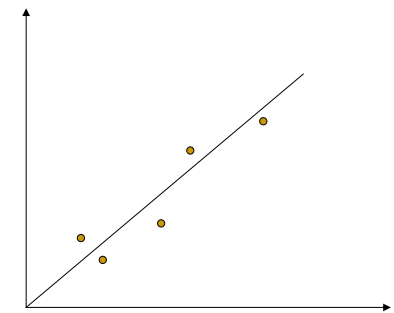


$\% \text{ ความแม่นยำ} = 100\% - \% \text{ ความผิดพลาด}$

■ Hysteresis Error

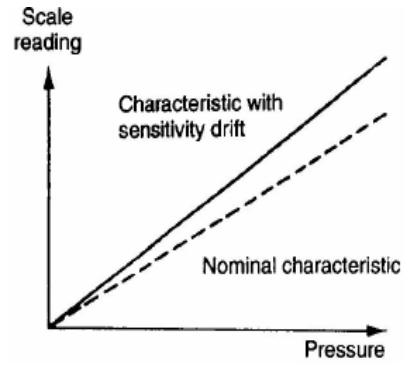


■ Linearity Error



ความเป็นเชิงเส้น (**linearity**) เป็นคุณสมบัติบอกความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกกับปริมาณเข้า

■ Sensitivity Error



■ Offset Error

