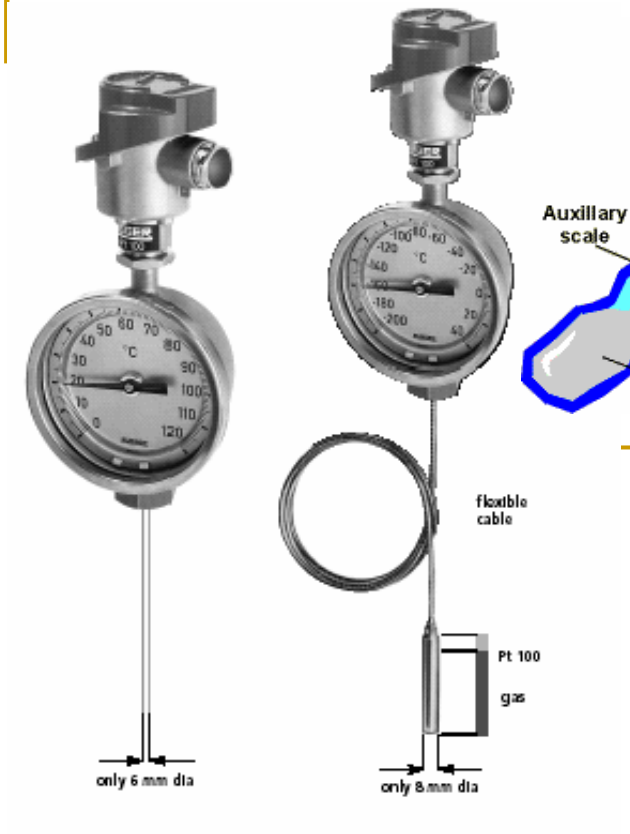
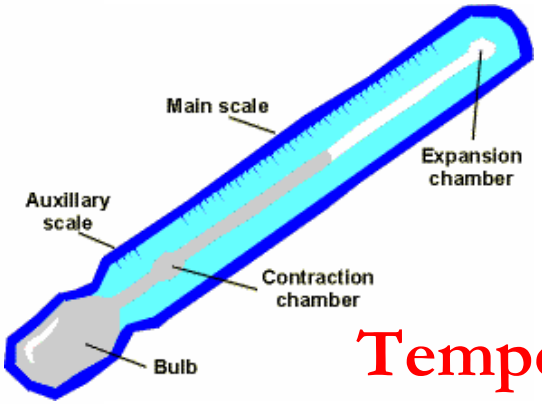
1301 300: Mechanical Measurement and Instruments

การวัดและเครื่องมือวัดความดันทางวิศวกรรมเครื่องกล





Temperature Measurement 1

การวัดและเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิ 1

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ธนรัฐ ศรีวีระกุล

การวัดอุณหภูมิ

1. บทนำและประวัติเบื้องต้น
2. มาตรฐานและคำจำกัดความ
3. การวัดอุณหภูมิเชิงกล
   - แบบของเหลวในหลอดแก้ว
   - แบบโลหะทวิ
4. การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้า-ความต้านทาน
   - Resistance Temperature Detectors
   - Thermistors
5. การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้าแบบอื่นๆ
   - Thermoelectric
   - Radiation
6. ความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิ

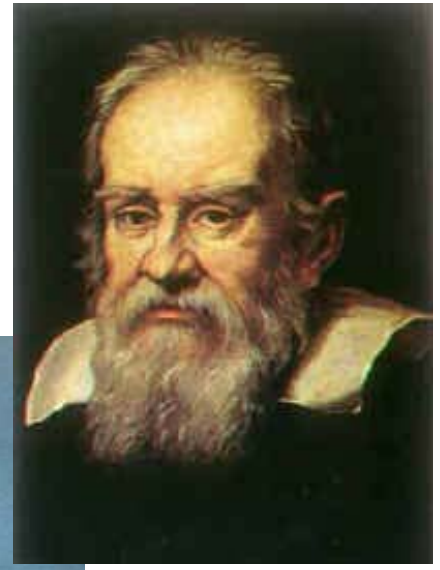
1. บทนำ

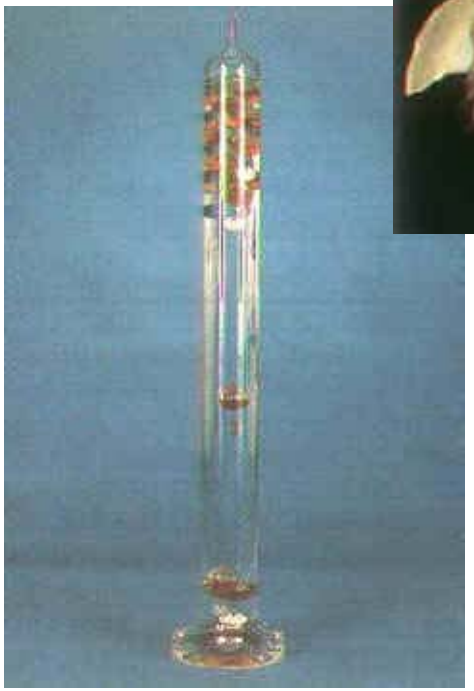
- อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ใช้และวัดอย่างกว้างขวางในงานวิศวกรรม
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิในช่วงแรกๆนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานวิจัยแล้วถึงได้แพร่หลายออกมาใช้งานทั่วไป

ประวัติเบื้องต้น

กาลิเลโอ (1565-1642)

- สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยใช้การขยายตัวของของเหลวในหลอดแก้ว
- ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิ
- แต่ก็มีข้อเสียที่ ความดันบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้ผลการวัดไม่เท่ากัน
- ต่อมาได้มีการพัฒนาการผลิต ท่อแก้วแคปิราลี และเป็นต้นแบบที่ใช้ต่อยอดมาถึงปัจจุบัน





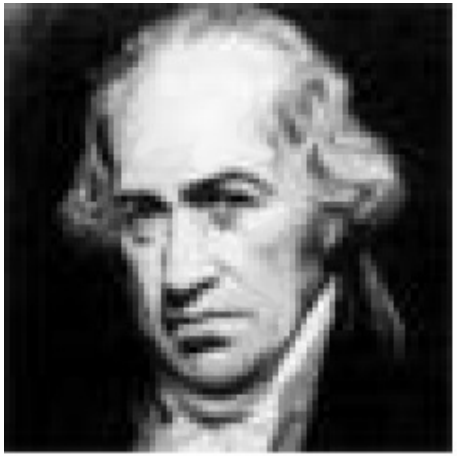
ประวัติเบื้องต้น

ไอแซค นิวตัน (1642-1727)

- ใช้ อุณหภูมิรักแร้ของคนที่มีร่างกายสมบูรณ์มา แบ่งเป็นมาตราจำนวน 12 ช่วง

ประวัติเบื้องต้น

ฟาเรนไฮนต์ (1686-1739)



- ค.ศ. 1715 สร้างสเกลฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}$F) โดยใช้อุณหภูมิของร่างกายเป็นจุดกึ่งกลางของมาตราที่แบ่งออกเป็น 180 ช่วงระหว่างจุดเยือกแข็ง (32 $^{\circ}$F) และจุดเดือดของน้ำ (212°F)
- เป็นคนแรกที่ใช้ ปรอทเป็นของเหลวใน เทอร์โมมิเตอร์

ประวัติเบื้องต้น

เซลเซียส (1701-1744)

- ค.ศ. 1742 ทำมาตรที่แบ่งช่วงอุณหภูมิระหว่างจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศออกมาเป็น 100 ช่วง
- ในตอนแรกเรียกว่า เซ็นติเกรด แต่ได้เปลี่ยนมาใช้ชื่อ เซลเซียสในปี 1948

ประวัติเบื้องต้น

William Thomson (Lord Kelvin), (early **1800**'s)

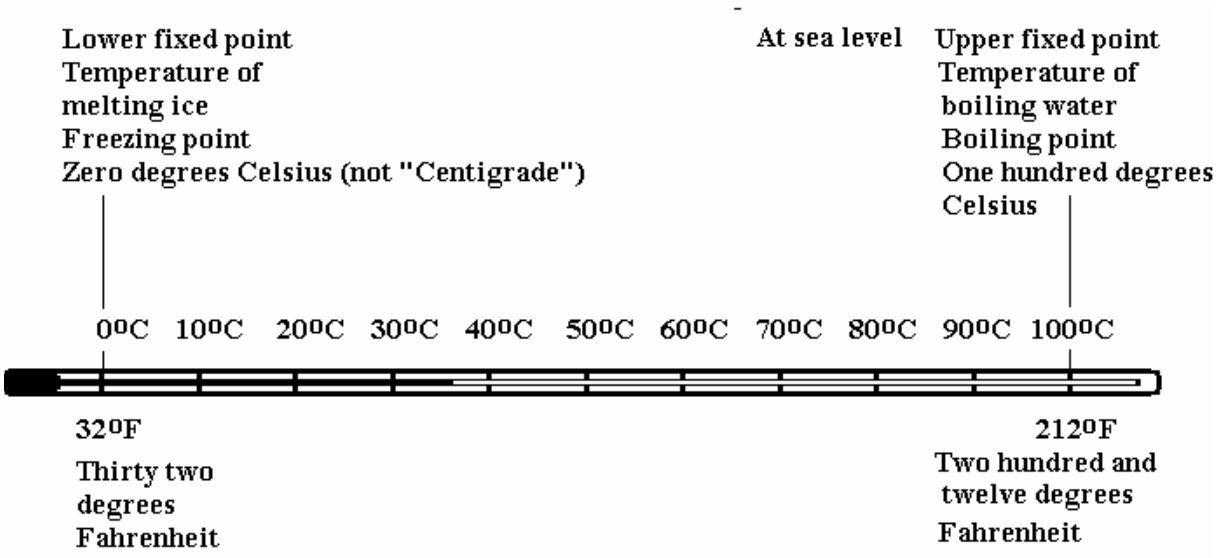
- developed a universal thermodynamic scale based upon the coefficient of expansion of an ideal gas.
- Kelvin established the concept of absolute zero, and his scale remains the standard for modern thermometry.

2. มาตรฐานและคำจำกัดความ

- อุณหภูมิ คือ สิ่งที่บอกถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ร้อนหรือเย็น
- จากประสบการณ์การถ่ายเทความร้อนสามารถทำให้อุณหภูมิเท่ากันได้
- มาตราส่วนอุณหภูมิสามารถแบ่งได้เป็นสามข้อดังนี้
  - ความชัดเจนของขนาดต่อองศา
  - จุดอ้างอิงอุณหภูมิที่แน่นอนที่กำหนดจากอุณภูมิที่รู้
  - สามารถคาดประมาณค่าระหว่างจุดอ้างอิงสองจุดได้
- ทั้งสามข้อนี้เป็นพื้นฐานของมาตรฐานหลัก

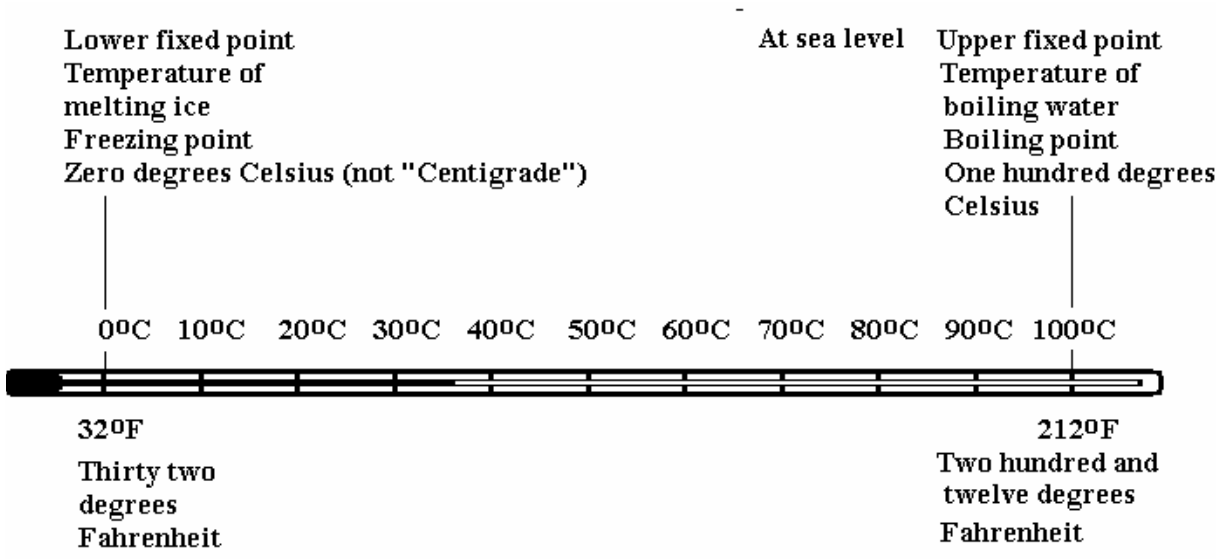
2.1 จุดอ้างอิงอุณหภูมิคงที่ (Reference Temperature)

- โดยทั่วไปแล้วสารบริสุทธิ์จะมีอุณหภูมิคงที่เมื่อสารมีการเปลี่ยนสถานะ
- จุดอ้างอิงจึงนิยมใช้ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์
- เช่น มาตราเซลเซียส ใช้ จุดเยือกแข็งของน้ำที่ความดันบรรยากาศ เป็นจุดอ้างอิงด้านต่ำ และใช้จุดเดือดของน้ำที่ความดันบรรยากาศเป็นจุดอ้างอิงด้านสูง



2.2 การประมาณค่า

- เนื่องจากเทอโมมิเตอร์เปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงสองจุด
- ในการวัดอุณหภูมิที่ค่าอื่นๆจึงต้องใช้การประมาณค่า



- ค่าความผิดพลาด?

2.3 อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐานสากล : *ITS-90*

- International Temperature Scale of 1990
- เป็นมาตรฐานของจุดอ้างอิงอุณหภูมิหลัก 16 จุด
- ถูกใช้แทน IPTS 68 (International Practice Temperature Scale 1968)
- OCTOBER 5, 1989

ITS-90

FIXED POINTS OF THE IPTS-68

AND OF THE ITS(90) AS ADOPTED BY CIPM, OCTOBER 5

SUBSTANCE	STATE	CELSIUS TEMP. IPTS-68	CELSIUS TEMP. ITS-90
e-H_2	Trip	-259.34	-259.3467
O_2	Trip	-218.789	-218.7916
Ar	Trip	-189.352	-189.3442
N_2	Boil	-195.802	-195.794
Hg	Trip	-38.842	-38.8344
H_2O	Trip	0.01	0.01

ITS-90 (Cont')

FIXED POINTS OF THE IPTS-68

AND OF THE ITS(90) AS ADOPTED BY CIPM, OCTOBER 5

SUBSTANCE	STATE	CELSIUS TEMP. IPTS-68	CELSIUS TEMP. ITS-90
Ga	Melt	29.772	29.7646
In	Freeze	156.634	156.5985
Sn	Freeze	231.9681	231.928
Zn	Freeze	419.58	419.527
Al	Freeze	660.46	660.323
Ag	Freeze	961.93	961.78
Au	Freeze	1064.43	1064.18
Cu	Freeze	1084.88	1084.62

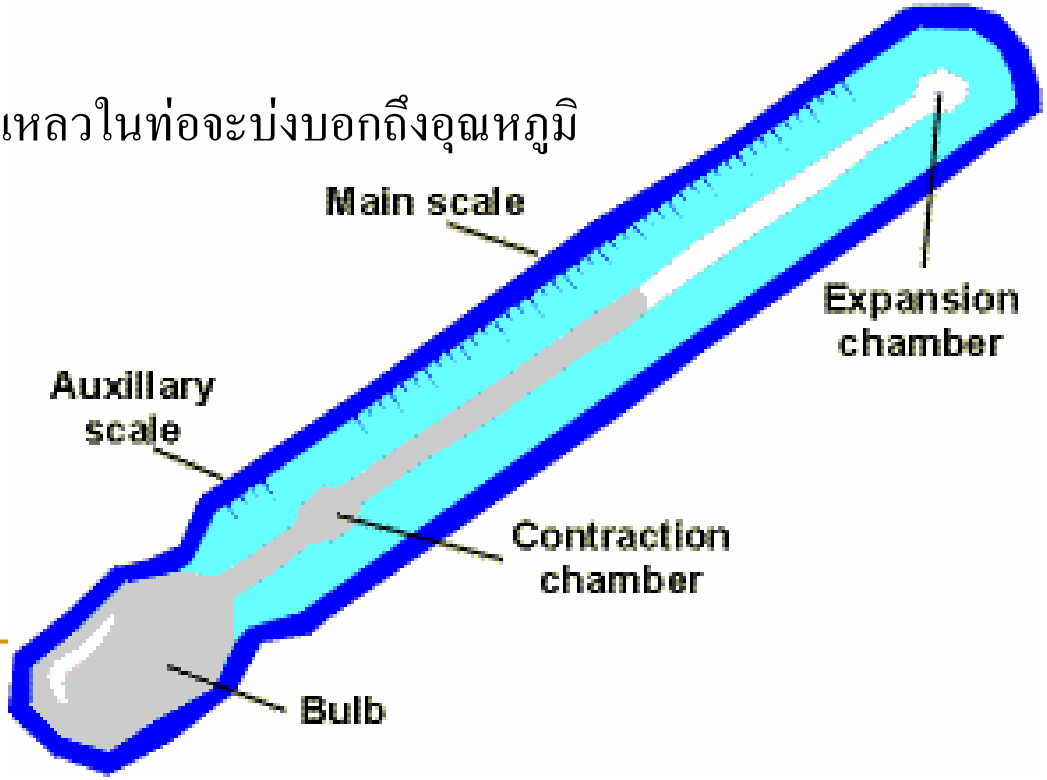
3. การวัดอุณหภูมิเชิงกล

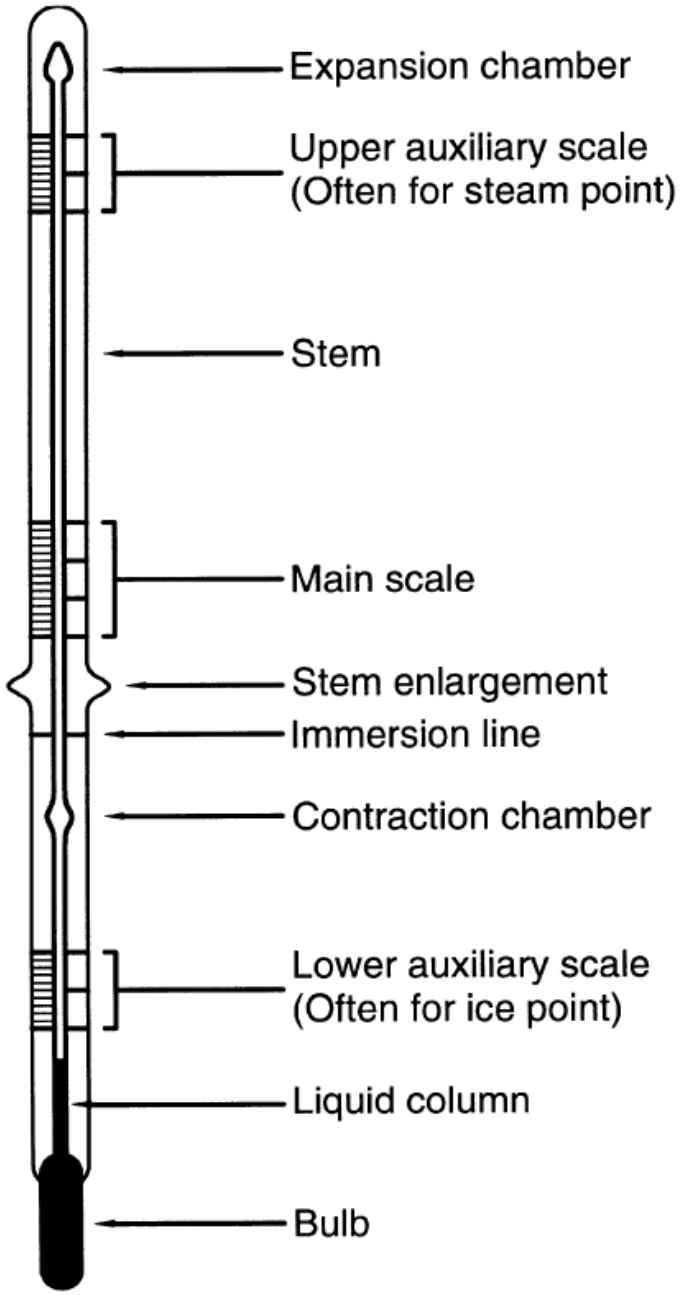
- ใช้หลักการการขยายตัวของวัสดุเนื่องจากอุณหภูมิ
- มีสองรูปแบบ
  - แบบของเหลวในหลอดแก้ว
  - แบบโลหะทวิ

3.1 แบบของเหลวในหลอดแก้ว

(Liquid in glass thermometer)

- ใช้หลักการการขยายตัวเชิงความร้อนของของเหลวที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้ว บ่งชี้อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
- โครงสร้างประกอบด้วย กระเปาะ (Bulb), ก้าน (Stem)
- กระเปาะบางใช้สำหรับกักเก็บของเหลวมากพอที่จะขยายตัวให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในก้านในขนาดที่สามารถตรวจจับได้
- ก้านเป็นท่อแคปิลารี่ซึ่งระดับของเหลวในท่อจะบ่งบอกถึงอุณหภูมิ




Expansion chamber
Upper auxiliary scale
(Often for steam point)
Stem
Main scale
Stem enlargement
Immersion line
Contraction chamber
Lower auxiliary scale
(Often for ice point)
Liquid column
Bulb

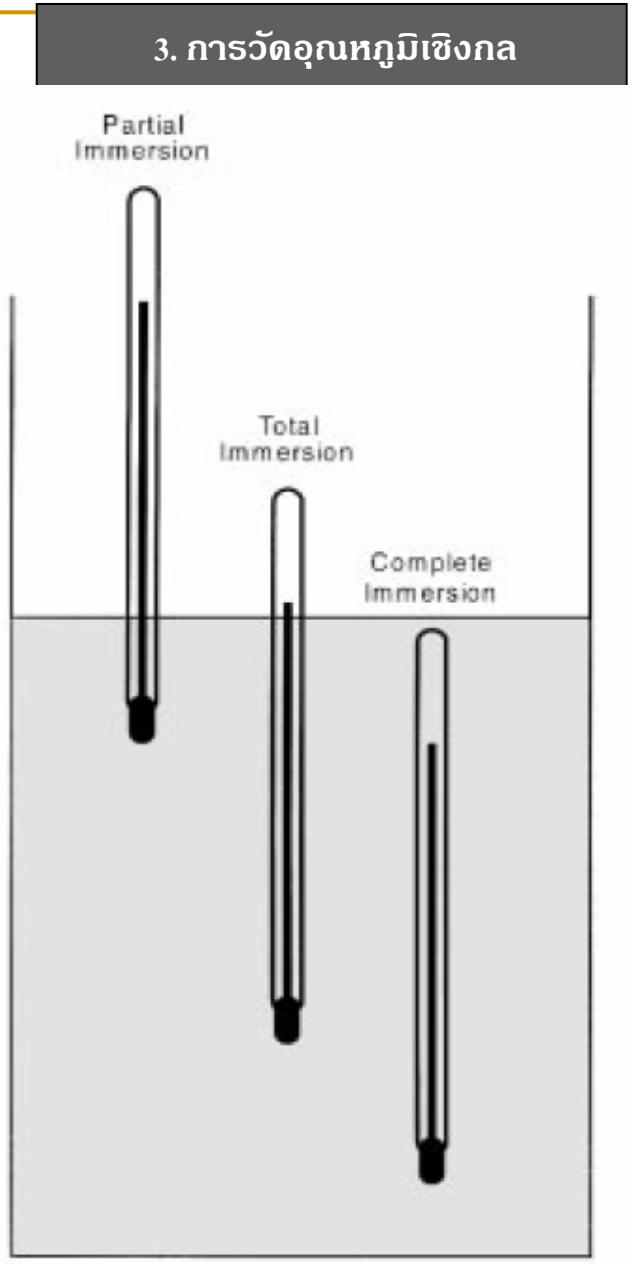
การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบของเหลวในหลอดแก้ว

- การสอบเทียบ มีอยู่สามรูปแบบ

โดยทั้งหมดจะทำการจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในของเหลวที่ทราบอุณหภูมิแล้ว

  - จุ่มทั้งก้านและกระเปาะ
  - จุ่มแค่ครึ่งก้าน
  - จุ่มแค่กระเปาะ

- เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องจึงต้องใช้งานเทอโมมิเตอร์ให้ถูกต้องตามรูปแบบที่ได้รับการสอบเทียบมา

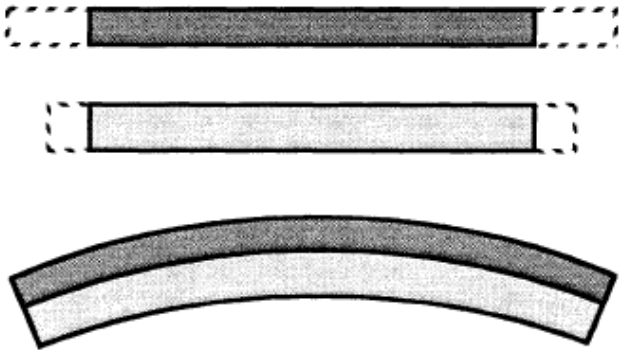


การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบของเหลวในหลอดแก้ว

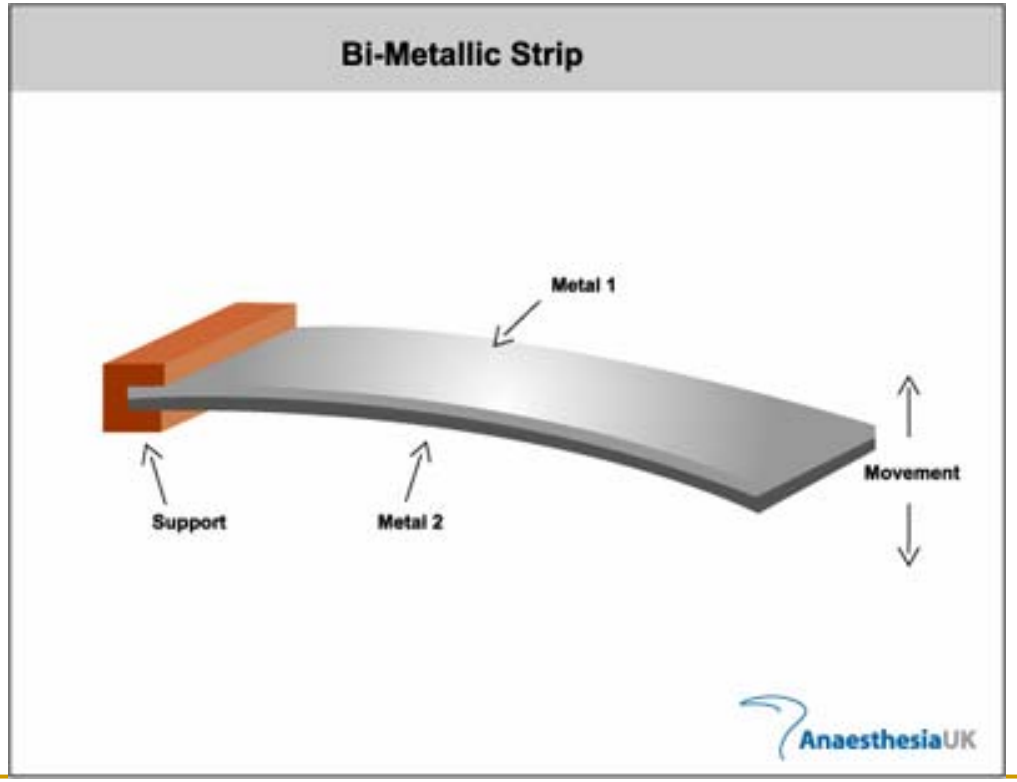
- ความละเอียดของอุปกรณ์
  - $\pm 0.01^{\circ}C$ ภายใต้การควบคุม
  - การขยายตัวมีผลกับความดันบรรยากาศมีค่าความเบี่ยงเบน 0.1 $^{\circ}C$ ต่อ 1 ความดันบรรยากาศ
- ความละเอียดทั่วไป
  - $\pm 0.2^{\circ}C$ ถึง $\pm 2.0^{\circ}C$

การวัดอุณหภูมิเชิงกล:
แบบโลหะทวิ (Bimetallic Thermometer)

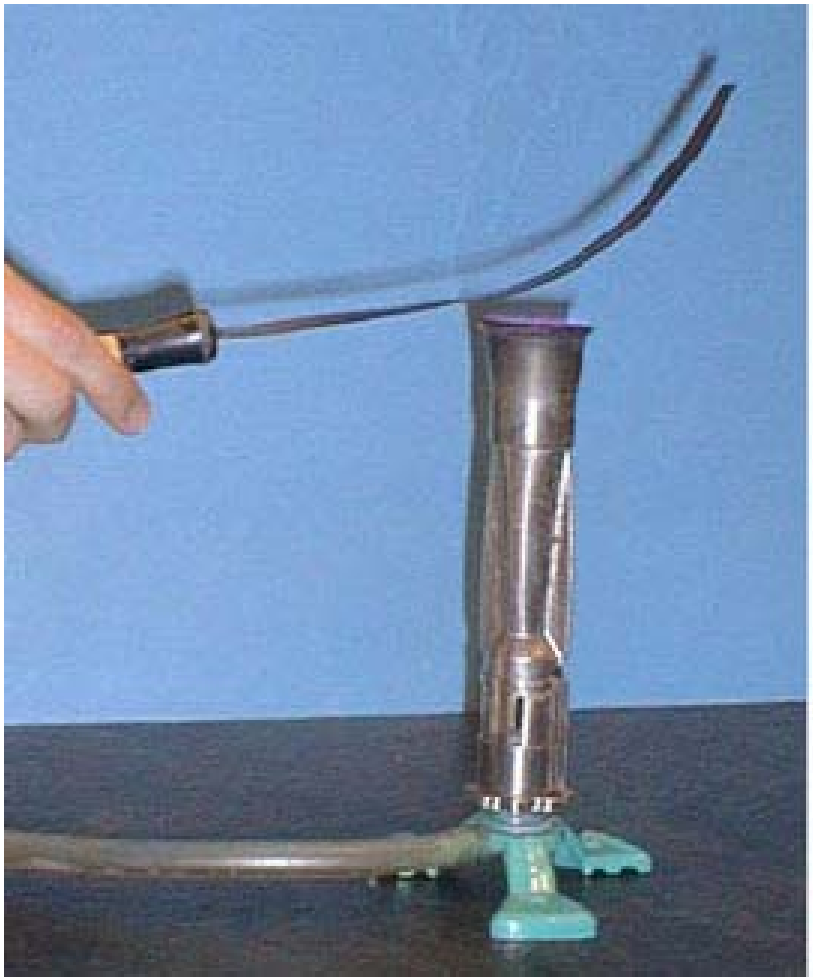
- ใช้ความแตกต่างของการขยายตัวเชิงความร้อนของโลหะสองชนิด ที่ประกบกัน เมื่อให้ความร้อนจะเกิดความโค้งงอที่ไม่เท่ากัน



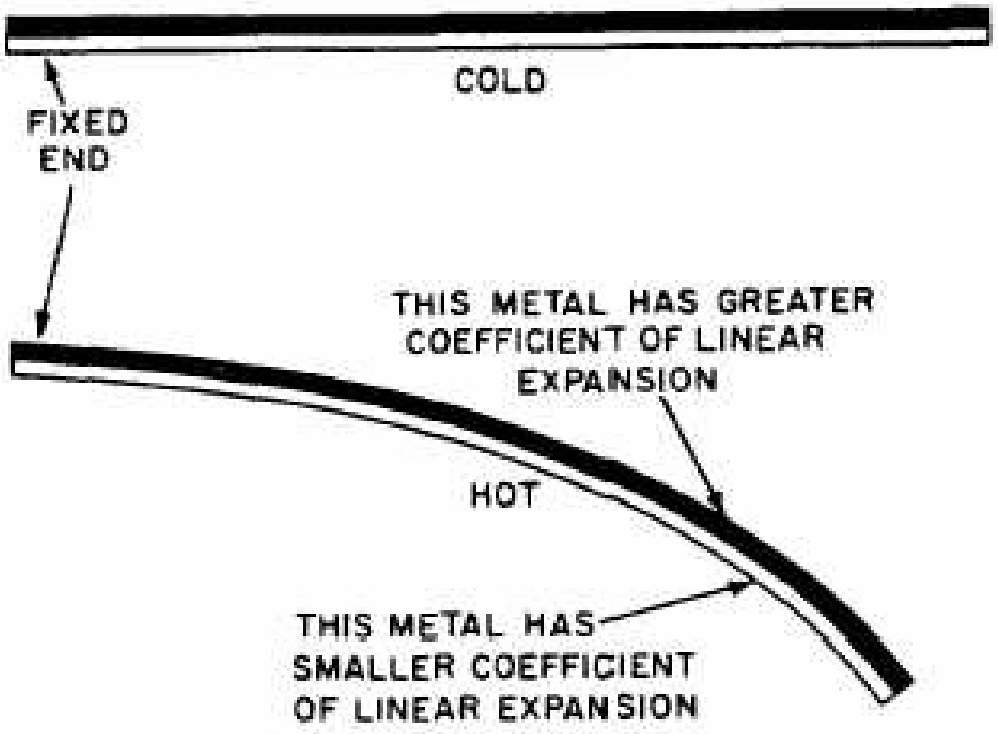
Linear bimetallic strip.



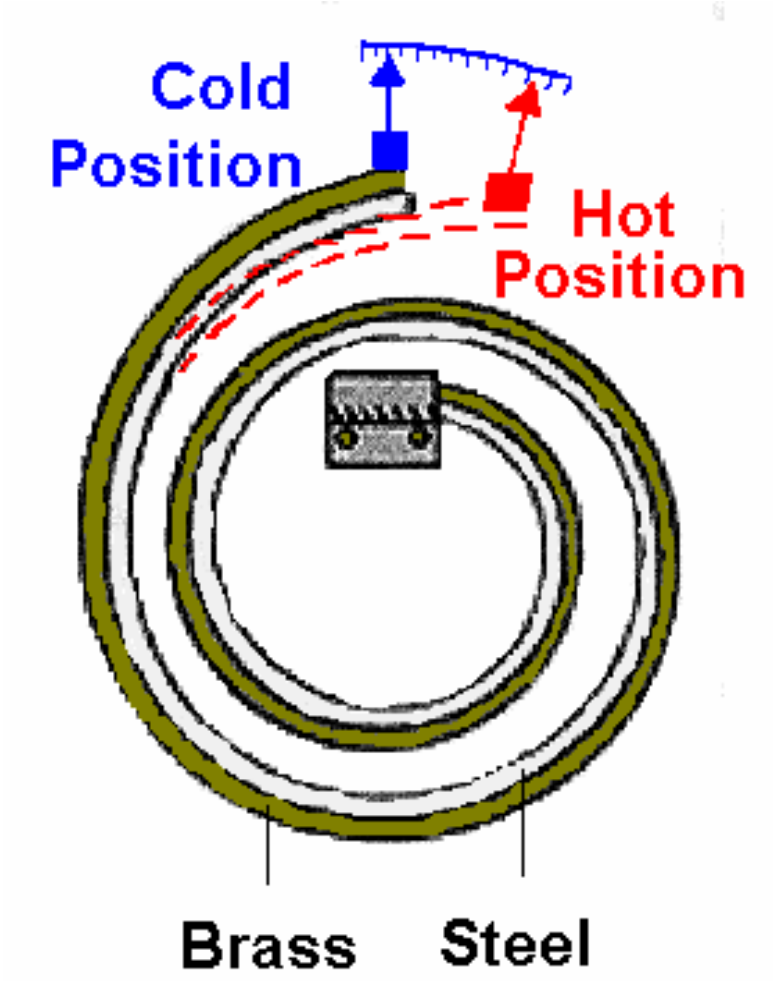
การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบโลหะทวิ

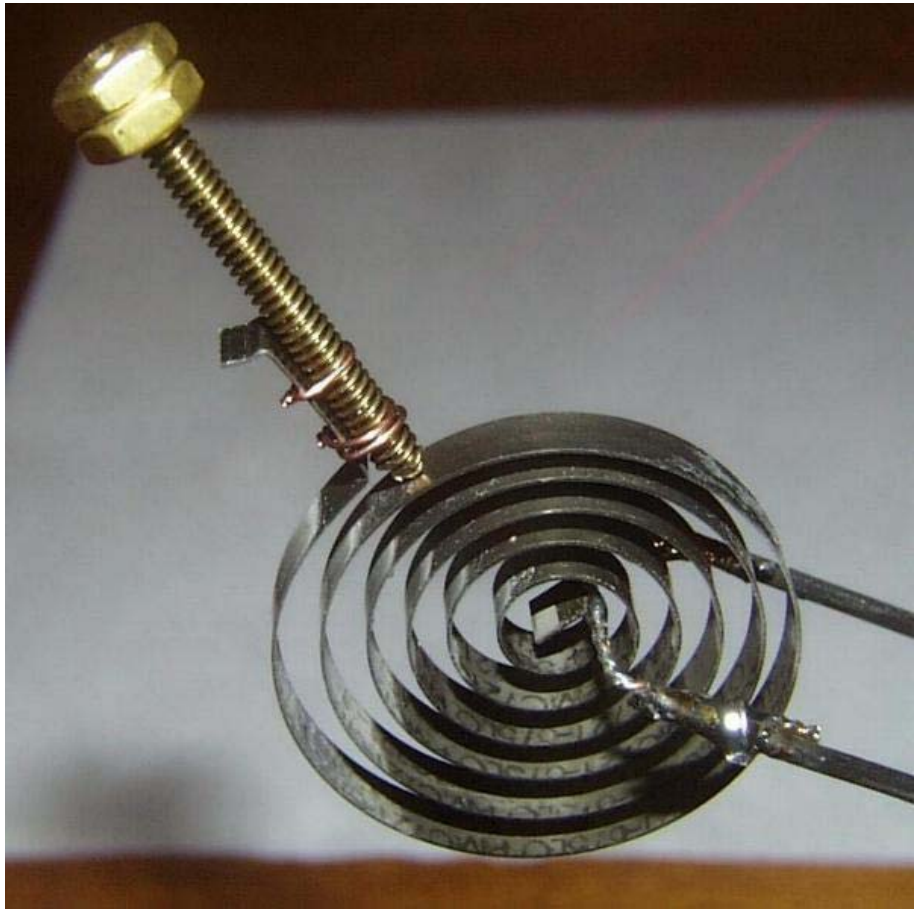


การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบโลหะทวิ

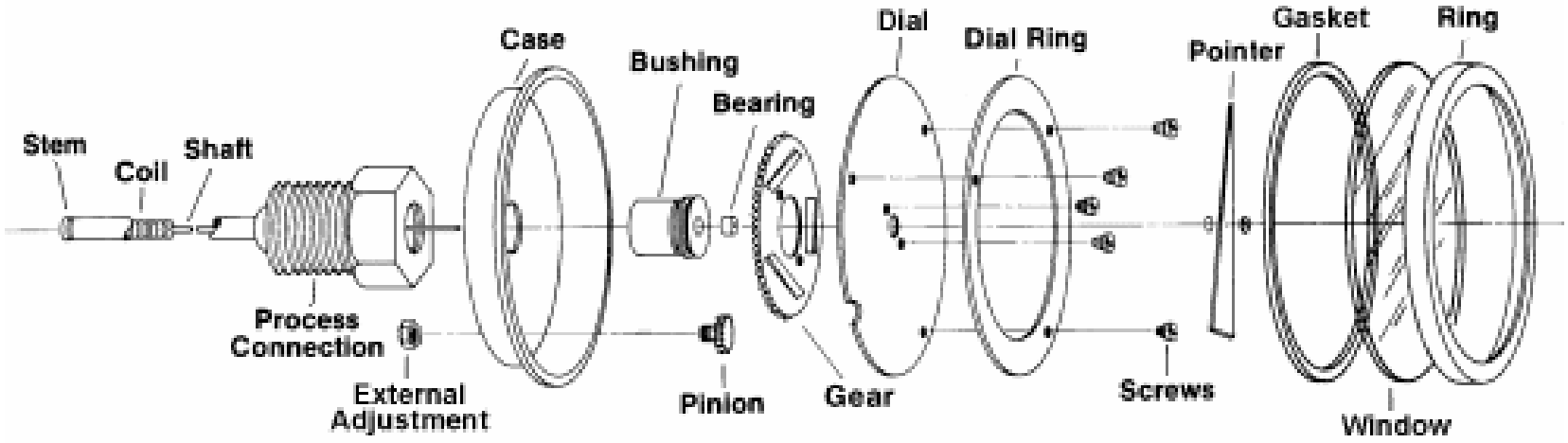


การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบโลหะทวิ





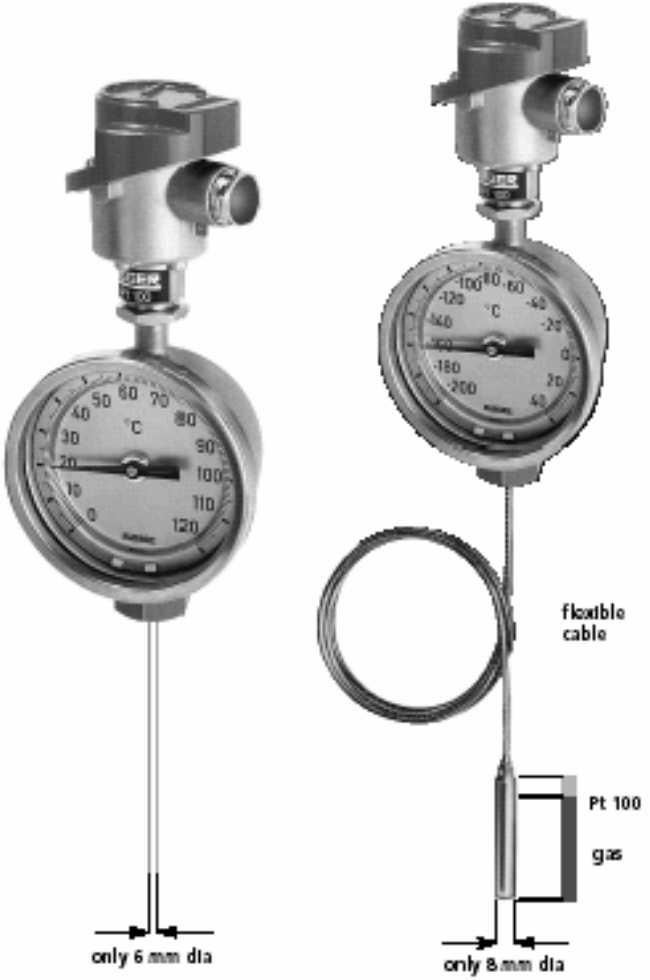
การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบโลหะทวิ



การวัดอุณหภูมิเชิงกล: แบบโลหะทวิ

- ความละเอียดทั่วไป

  $\pm 1^{\circ}C$



การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้า:

4.1) ชนิดความต้านทาน

ความต้านทางทางไฟฟ้าของสารตัวนำ (Conductors) หรือสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductors) จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

- ใช้หลักการการเหนี่ยวนำไฟฟ้า, ความต้านทานไฟฟ้า
- แบ่งได้สองแบบหลัก

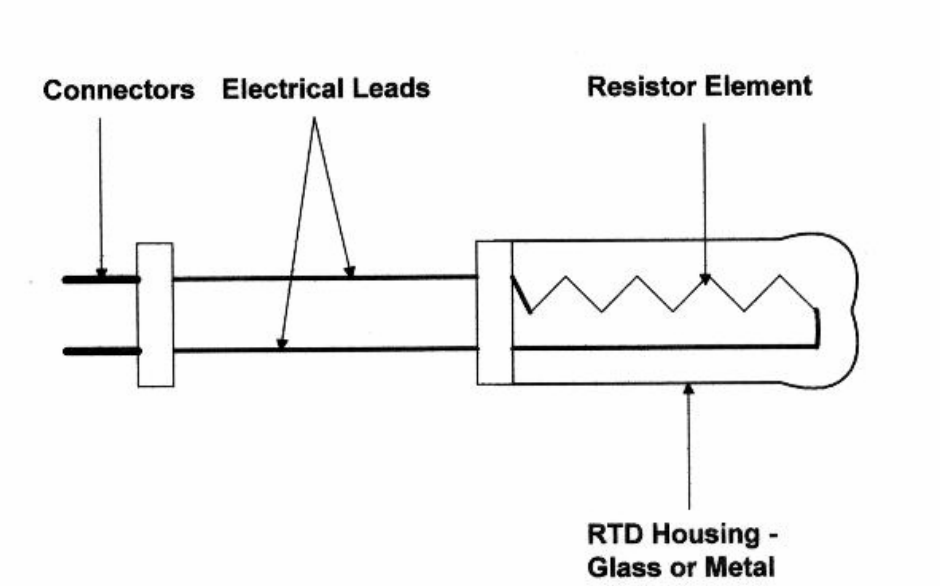
4.1.1) Resistance Temperature Detectors (RTD, Conductor as sensor)

4.1.2) Thermistors (Semi-conductor as sensor)

การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน:

4.1) Resistance Temperature Detectors

- RTD
- อุณหภูมิจะสัมพันธ์กับความต้านทานของวัสดุ



- โครงสร้างของ RTD ต้องป้องกันการการเปลี่ยนแปลงทางกลซึ่งจะมีผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน
- ค่าความต้านทานในวัสดุโลหะจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

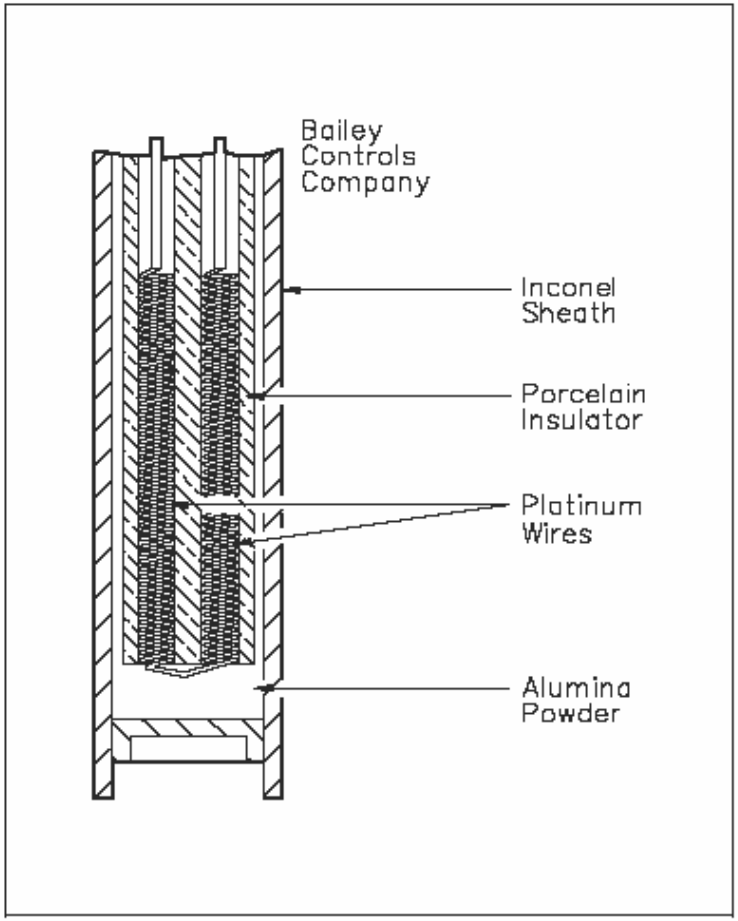
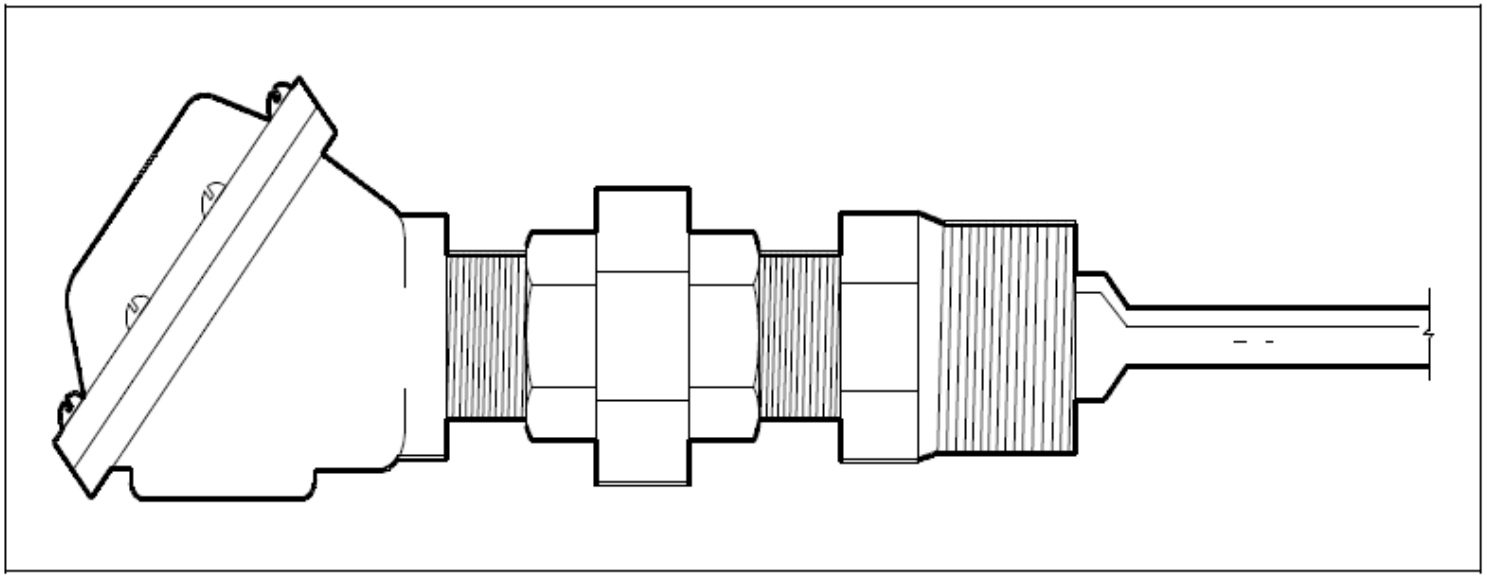
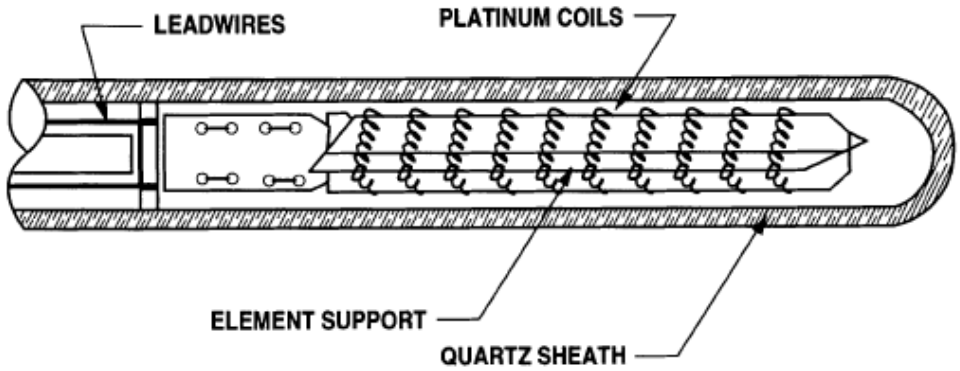


Figure 2 Internal Construction of a Typical RTD




LEADWIRES
PLATINUM COILS
ELEMENT SUPPORT
QUARTZ SHEATH

การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน:

Resistance Temperature Detectors

$$R = R_0[1 + \alpha (T - T_0)]$$

R **= Resistance**

T **= Temperature**

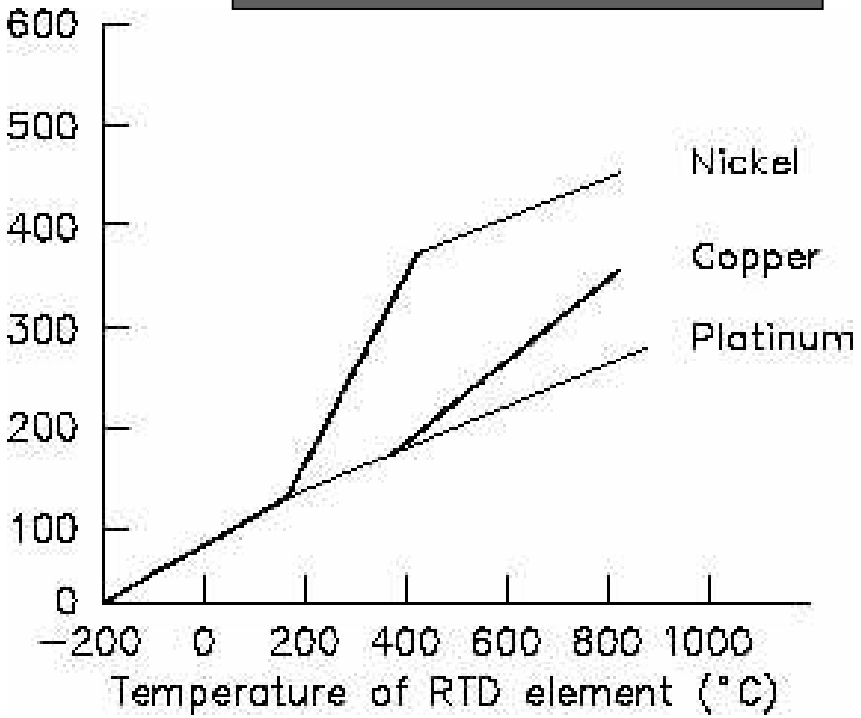
0 **= Reference Point**

α **= temperature coefficient resistivity**

ใช้ได้ในช่วงแคบๆเช่น Ptatinum (Pt)

±0.3% ในช่วง 0-200°C

±1.2% ในช่วง 200-800°C



Temp Coefficient of Resistivity (α)

- Ni = 0.0067 °C^{-1}
- Cu = 0.0043 °C^{-1}
- Pt = 0.003927 °C^{-1}

การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน:

Resistance Temperature Detectors

Figure 35
Meyers RTD
construction

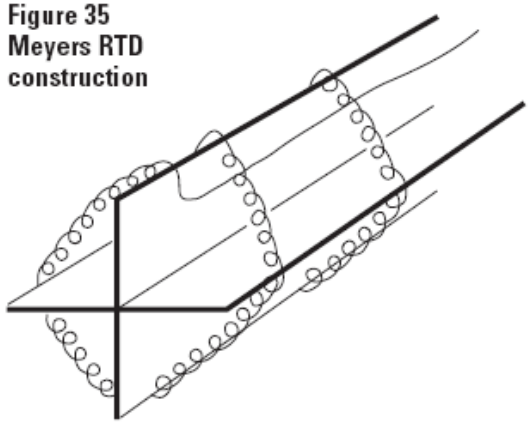


Figure 36
Bird-caged
PRTD

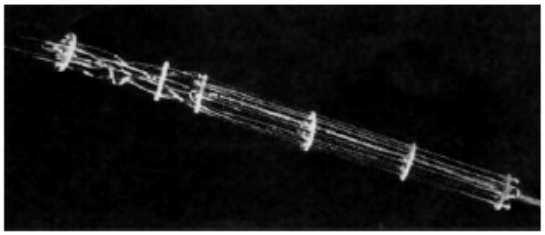
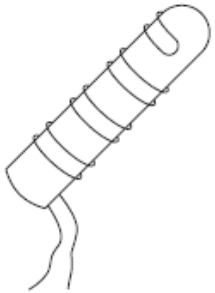
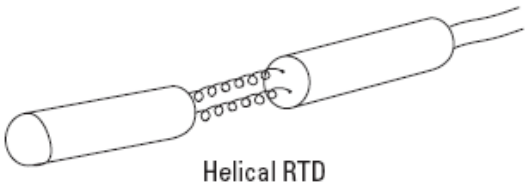


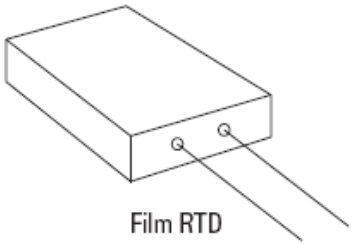
Figure 37



Sealed Bifilar Winding



Helical RTD



Film RTD

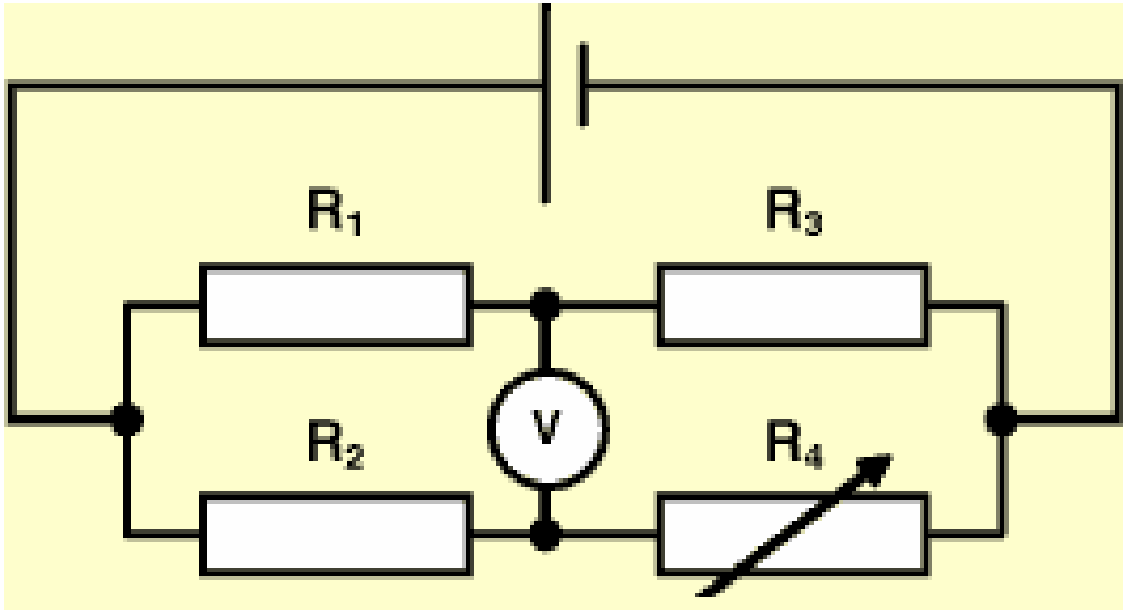
การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน:

Resistance Temperature Detectors

- ปกติแล้ว RTD จะสร้างจาก พลาตินั่ม เนื่องจาก สามารถคาดการณ์อุณหภูมิได้ดี มีความเที่ยงตรงสูง มีเสถียรภาพ ทนทานต่อการกัดกร่อน และ มีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานเป็นเชิงเส้นตรงในช่วงกว้าง
- RTD สามารถใช้วัดได้ตั้งแต่ ช่วงเย็นจัด(Cryogenic) จนถึง 650 $^{\circ}$C
- มีความเที่ยงตรง $\pm 0.005^{\circ}$C
- การวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD ทำได้โดยการวัดความต้านทานของตัว RTD แล้วแปลงไปเป็นค่าอุณหภูมิ
- ไม่สามารถใช้โอห์มมิเตอร์วัดได้เนื่องจากมิเตอร์จะสร้างกระแสจำนวนมากป้อนให้ RTD จนทำให้เกิดความร้อนใน RTD และทำให้การวัดค่าไม่ถูกต้อง
- Bridge Circuit แบบ Wheatstone

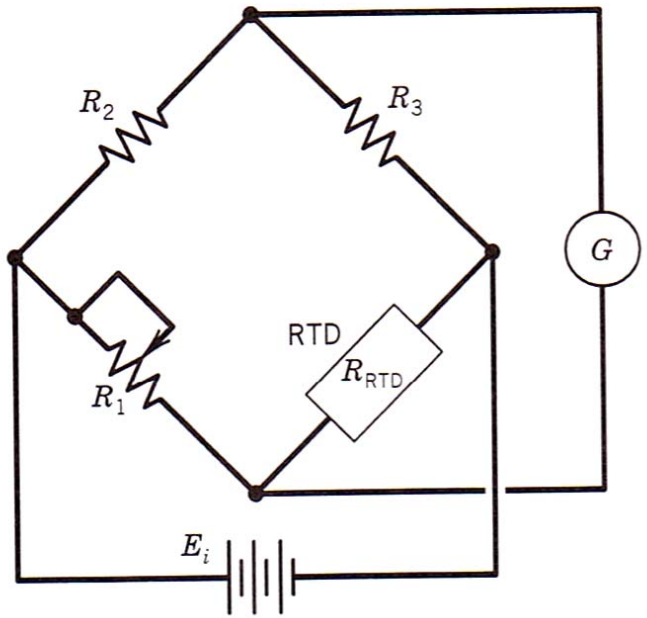
การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน: การวัดความต้านทานของ RTD

- Wheatstone Bridge



ตัวอย่าง Wheatstone Bridge

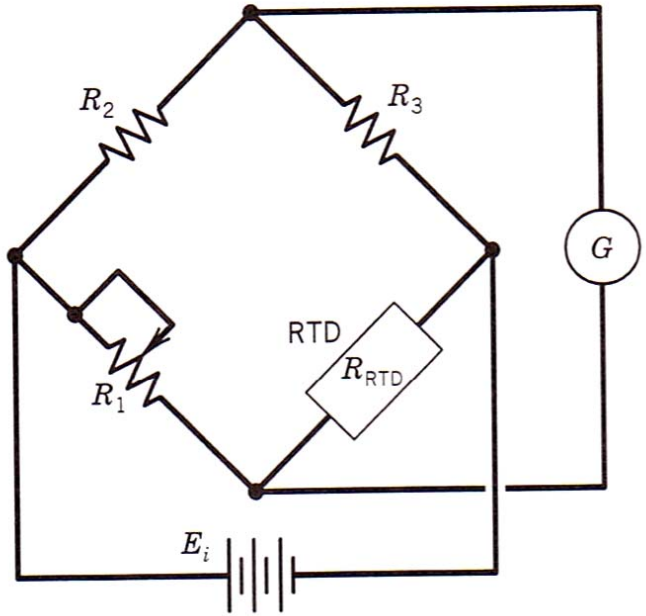
- R_1, R_2, R_3 = 25Ω
- R_0 at 0°C = 25Ω
- α = 0.003925 °C^{-1}
- จะวัดอุณหภูมิได้เท่าใดเมื่อ R_1 = 37.36 Ω balance brigde



$$R = R_0[1 + \alpha (T - T_0)]$$

การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน: การวัดความต้านทานของ RTD

- ตัวอย่าง 8.1
- R_1, R_2, R_3 = 25Ω
- R_0 at 0°C = 25Ω
- α = 0.003925 °C^{-1}
- จะวัดอุณหภูมิได้เท่าใดเมื่อ RTD = 37.36 Ω



$$R = R_0[1 + \alpha (T - T_0)]$$

การวัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน:

Resistance Temperature Detectors

- RTD มีข้อเสียตรงที่การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่อนข้างช้าจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในระบบที่มีพลวัตรสูง

การวัดอุณหภูมิความต้านทาน:

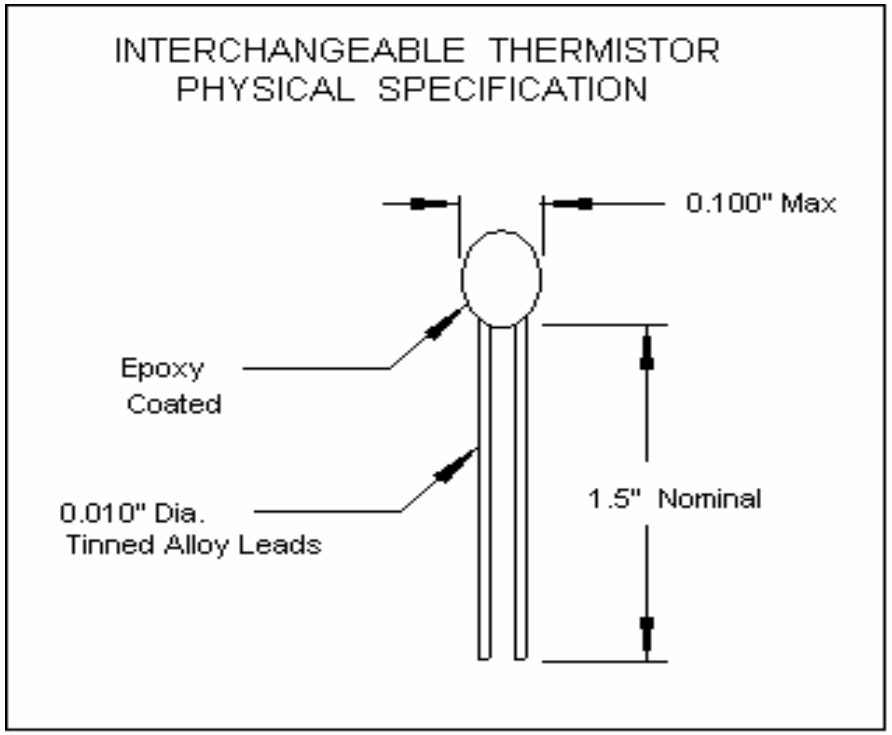
4.2) Thermistors

- มาจากคำว่า Thermally sensitive resistor เป็นสารกึ่งตัวนำคล้ายเซรามิค
- มีความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

การวัดอุณหภูมิความต้านทาน:

Thermistors

- Thermistor จะเคลือบไว้ด้วยแก้วเพื่อป้องกันการกัดกร่อน
- ใช้ในงานที่ต้องการการตอบสนองอย่างรวดเร็ว
- มีค่าความต้านทานเริ่มต้นสูงมากจึงไม่จำเป็นต้องระวังเรื่องความต้านทานในสายต่อ

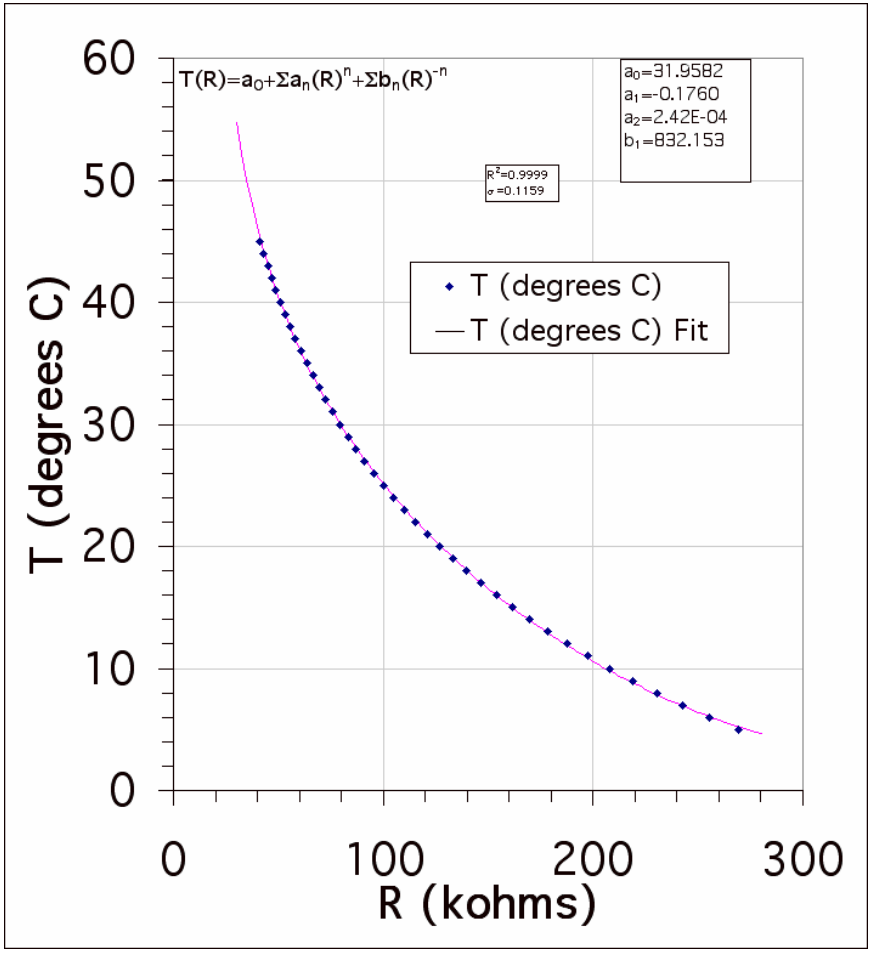


การวัดอุณหภูมิความต้านทาน:

Thermistors

$$R = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)}$$

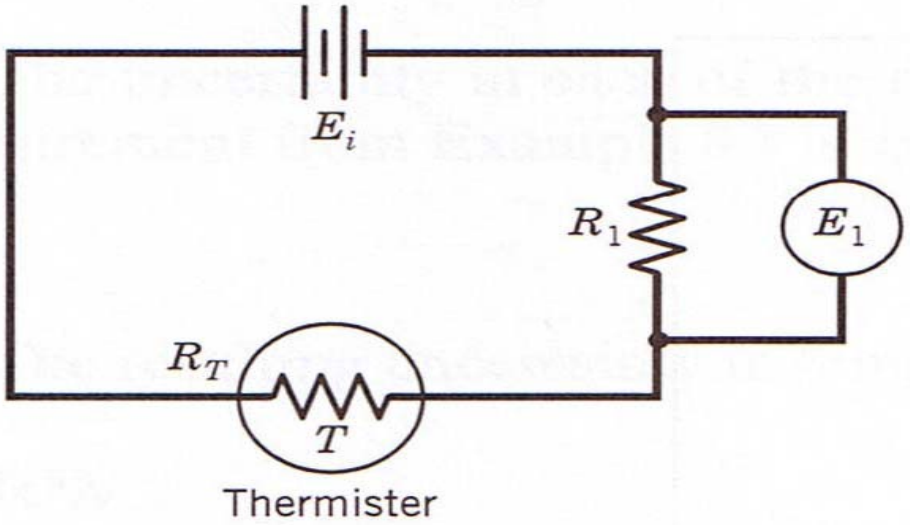
β = thermistor character



การวัดอุณหภูมิความต้านทาน:

Thermistors

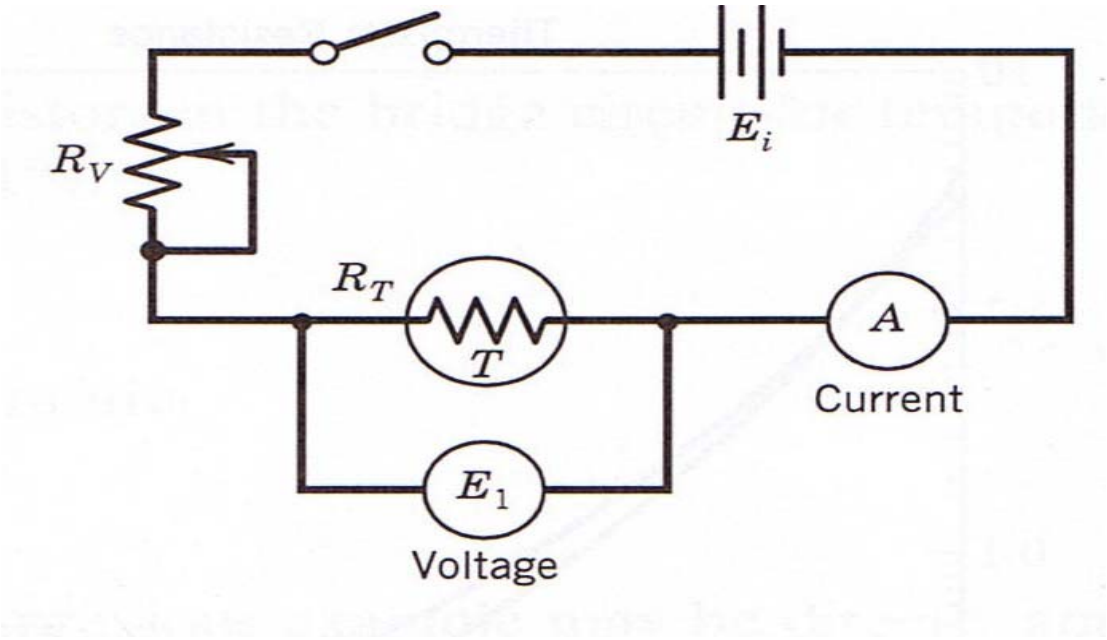
- การวัดความต้านทาน
- Voltage-divider



การวัดอุณหภูมิความต้านทาน:

Thermistors

- การวัดความต้านทาน
- Volt-amp meter



การวัดอุณหภูมิยังมีต่อในครั้งหน้า

Thermoelectric Devices
Radiation
Physical Error