เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์

Sensor and Transducers

Ref :Piyadanai Pachanapan, 303251 EE Instrument&Measurement, EE&CPE, NU.

เนื้อหา

- นิยามและความหมายของเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์
- การประยุกต์ใช้เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์
    - เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Transducer)
    - เครื่องมือวัดแรง (Force Transducer)
    - เครื่องมือวัดแสงสว่าง (Light Transducer)

เซนเซอร์ (sensor)

- ตรวจจับสัญญาณที่เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น ตำแหน่ง อุณหภูมิ แรง แสง

- จะส่งค่าที่วัดได้ ไปแปลงเป็นเป็นปริมาณทางไฟฟ้า เพื่อการวัด การประมวลผล และการควบคุม ต่อไป

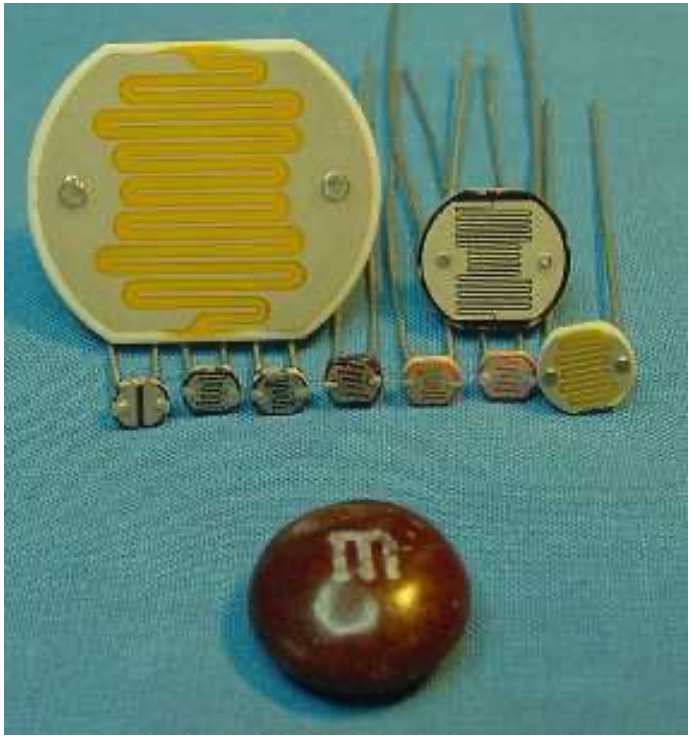
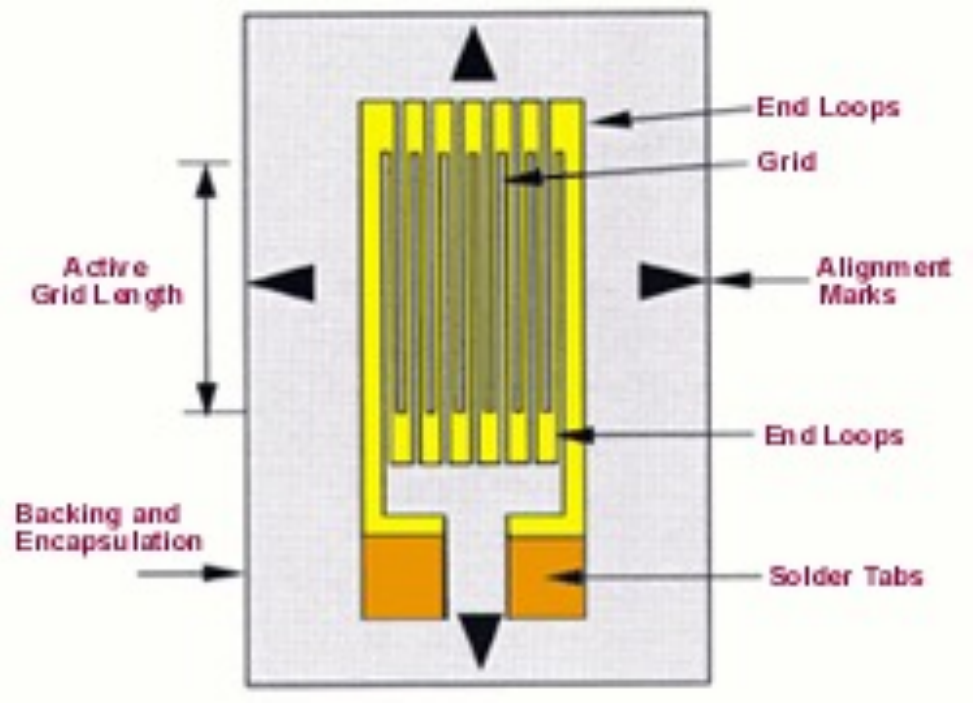
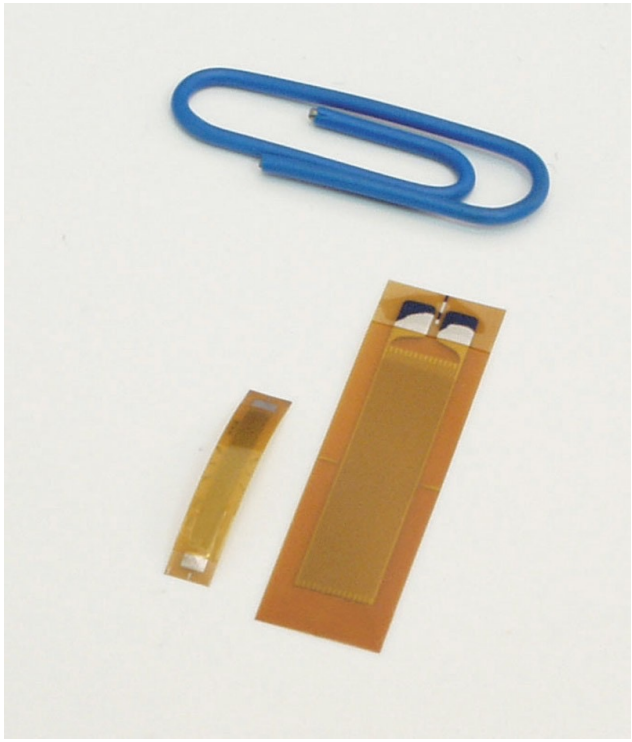


Photo resistor

Thermocouple & Thermistor





Strain Gauge

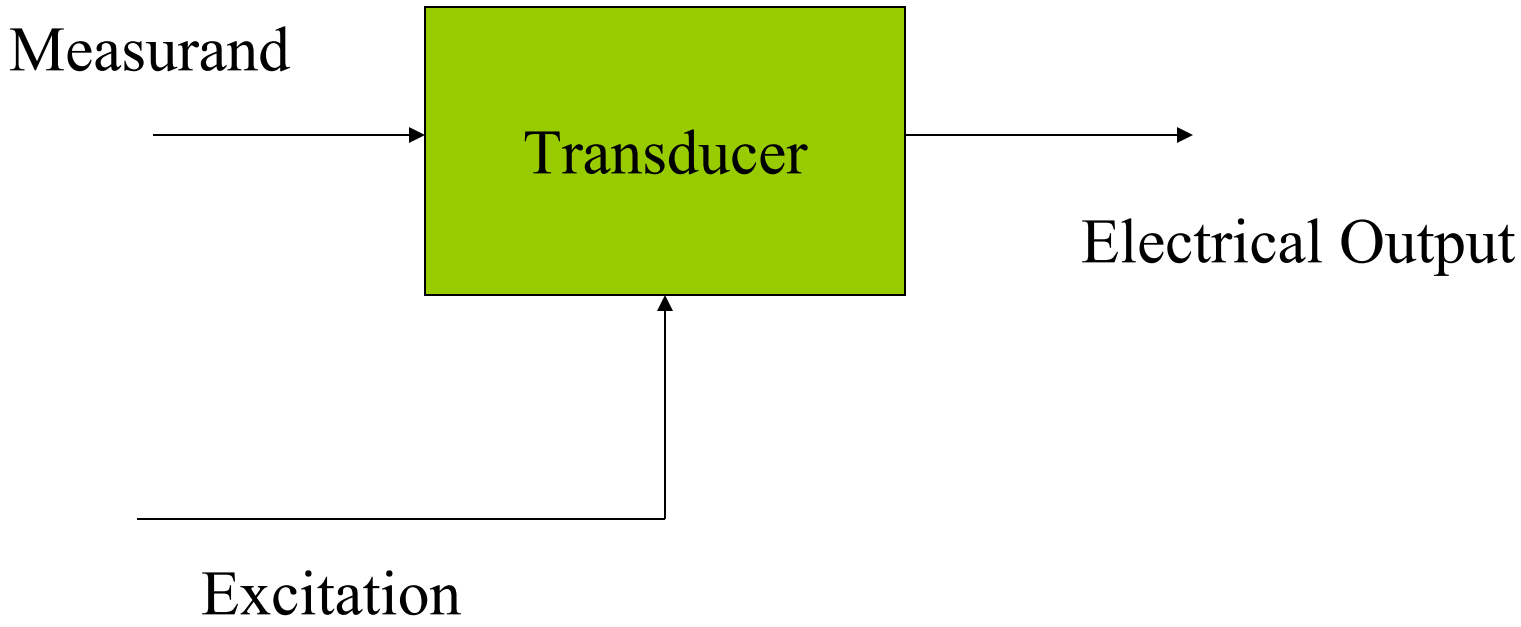
ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

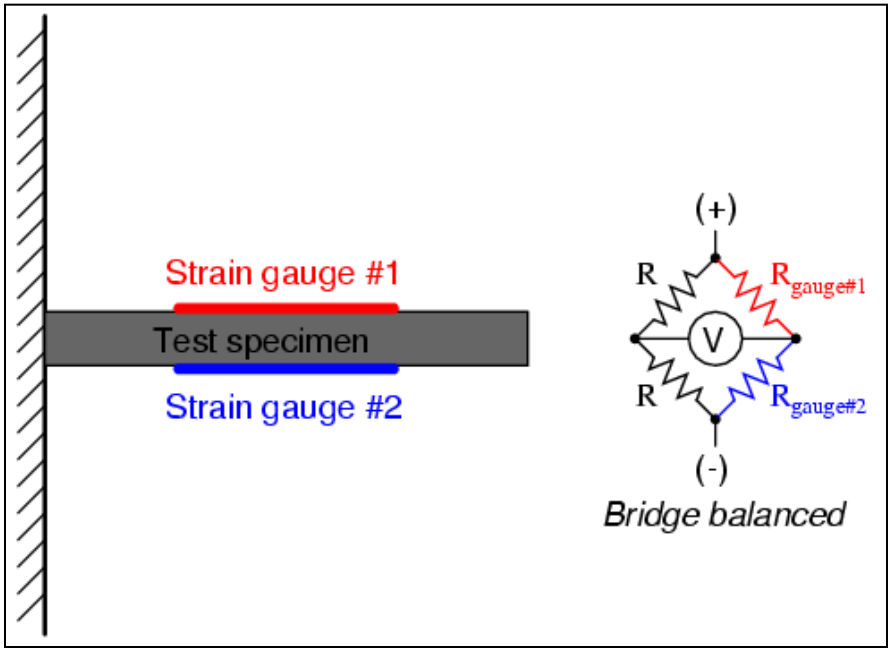
• อุปกรณ์ที่เปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่หมายถึง **การเปลี่ยนรูปปริมาณที่ไม่ใช่ปริมาณทางไฟฟ้า ไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้า**

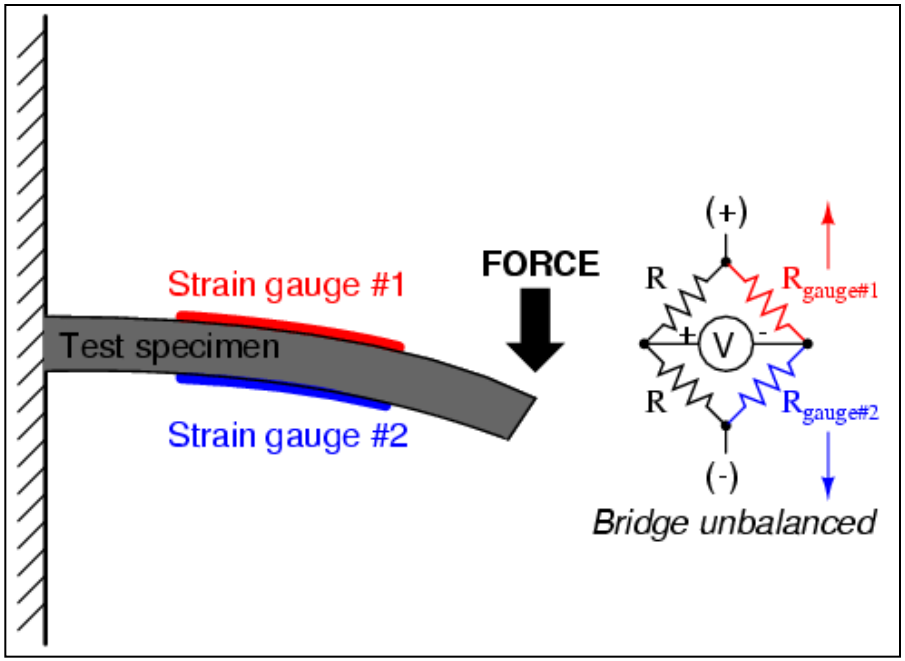
• หน้าที่ของทรานสดิวเซอร์

- ตรวจจับปริมาณที่ต้องการวัด
- สร้างสัญญาณทางไฟฟ้า

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)







Loading Transducer by Strain Gauge

เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

Temperature Transducer

- หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
• ใช้ของเหลวบรรจุในหลอดแก้วปิด (Thermometer)	Δ อุณหภูมิ → เทอร์โมมิเตอร์ → Δ การขยายตัวของของเหลว	ปรอท แอลกอฮอล์	-130 ถึง 315°C [-200 ถึง 600°F]
• เปลี่ยนการขยายตัวเป็นความดัน (Filled Thermal)	Δ อุณหภูมิ → เทอร์โมมิเตอร์แบบ Filled Thermal → Δ ความดัน → Δ ปริมาตร	ปรอท แอลกอฮอล์	-185 ถึง 540°C [-300 ถึง 1000°F]
• แบบแถบโลหะคู่	Δ อุณหภูมิ → ตัววัด Bimetal → Δ ระยะทาง	INVAR-Ni+ Fe+Cr.	-60 ถึง 425°C [-30 ถึง 800°F]

- หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสี

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
ออพติคอล-ไพโรมิเตอร์	ความเข้มของแสง → เปรียบเทียบความเข้มของแสง → ค่าอุณหภูมิ	-	> 700°C

- หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
เทอร์โมคัปเปิล	Δ อุณหภูมิ → [เทอร์โมคัปเปิล] → Δ แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แบบ B	600 ~ + 1,700°C
		แบบ S	0 ~ + 1,600°C
		แบบ R	0 ~ + 1,600°C
		แบบ K	-200 ~ + 1,200°C
		แบบ E	-200 ~ + 800°C
		แบบ J	-200 ~ + 800°C
		แบบ T	-200 ~ + 350°C
อาร์ทีดี	Δ อุณหภูมิ → [RTD] → Δ ความต้านทาน	แพลทินัม	-258 ~ 900°C
		นิกเกิล	-150 ~ 300°C
		ทองแดง	-200 ~ 120°C
เทอร์มิสเตอร์	Δ อุณหภูมิ → [เทอร์มิสเตอร์] → Δ ความต้านทาน	เทอร์มิสเตอร์	-30 ~ 300°C

เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ

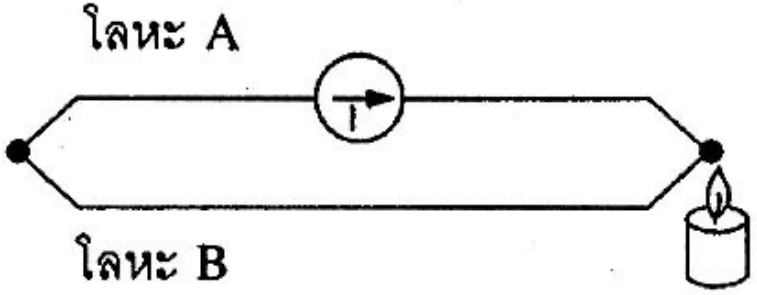
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
- อาร์ทีดี (RTD)
- เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple)

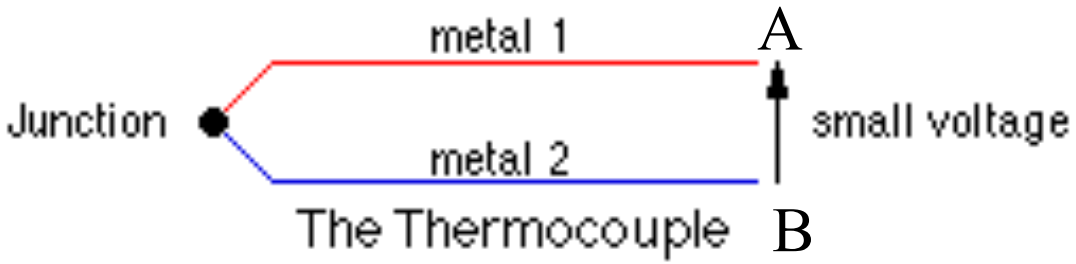
- เมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน

- ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสอง

- ถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียก **“ซีเบ็ค โวลเตจ (Seebeck Voltage)”**



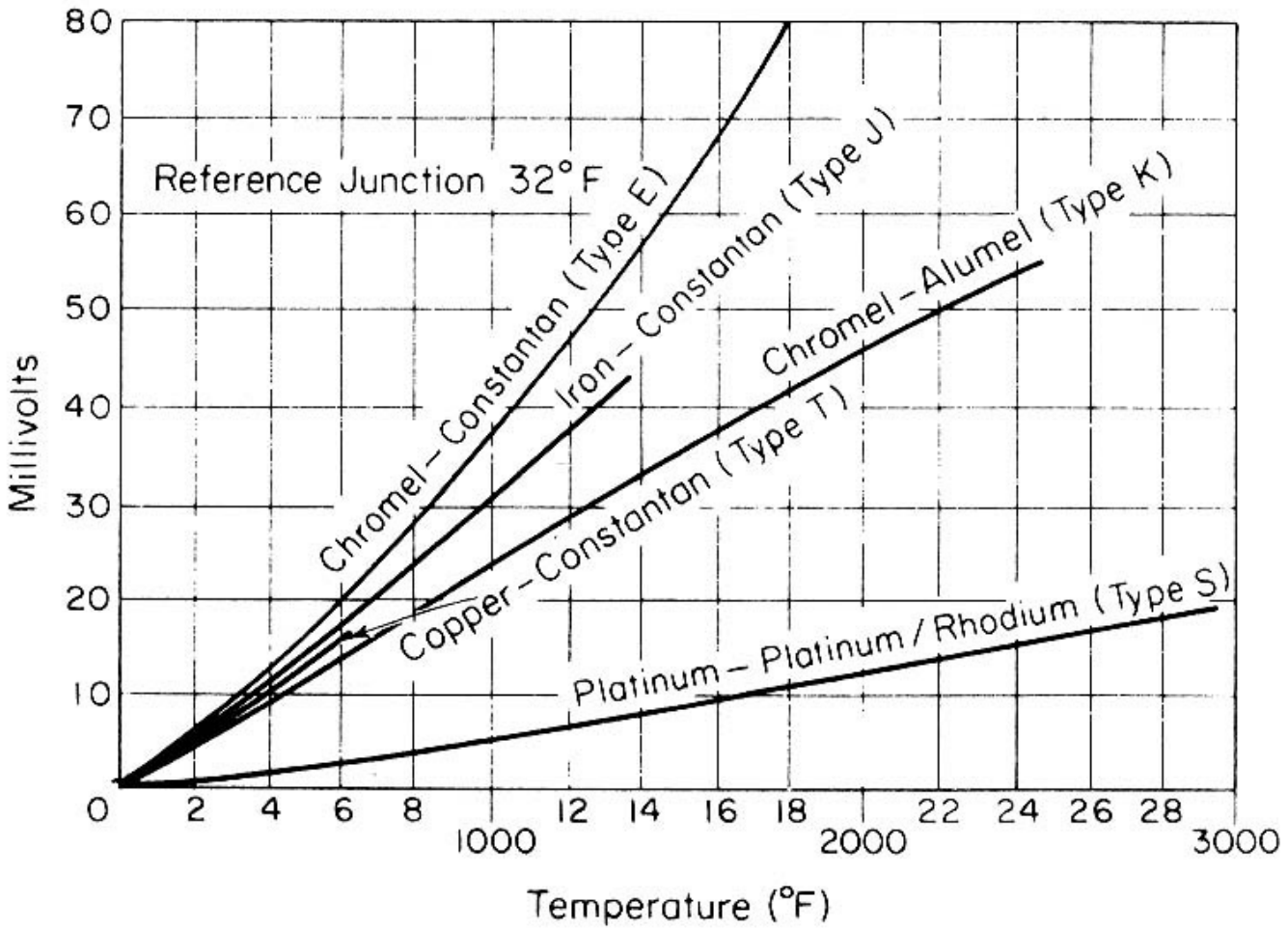
เมื่อเป็นวงจรปิดจะเกิดกระแสไหลวน เปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง



$$e_{AB} = a \mathrm{D} T$$

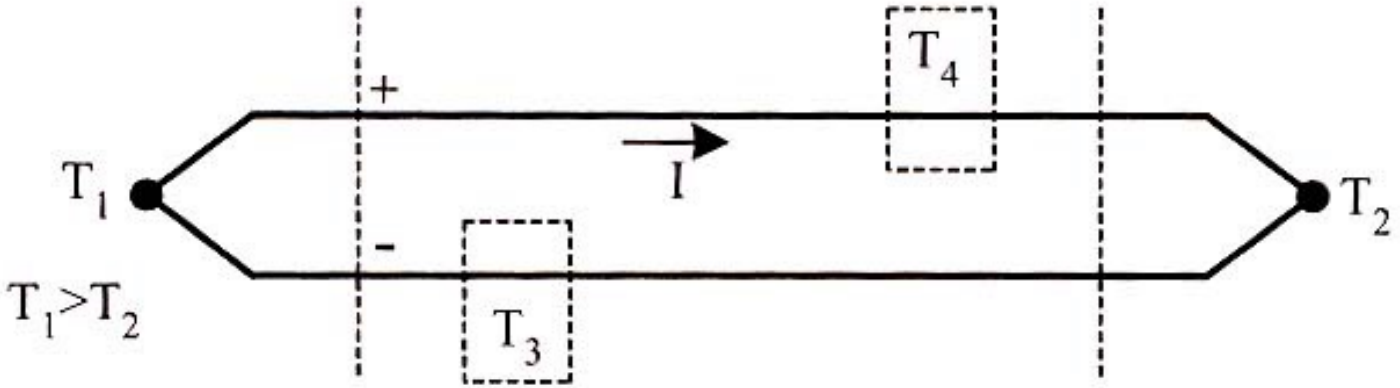
Seebeck Voltage

การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

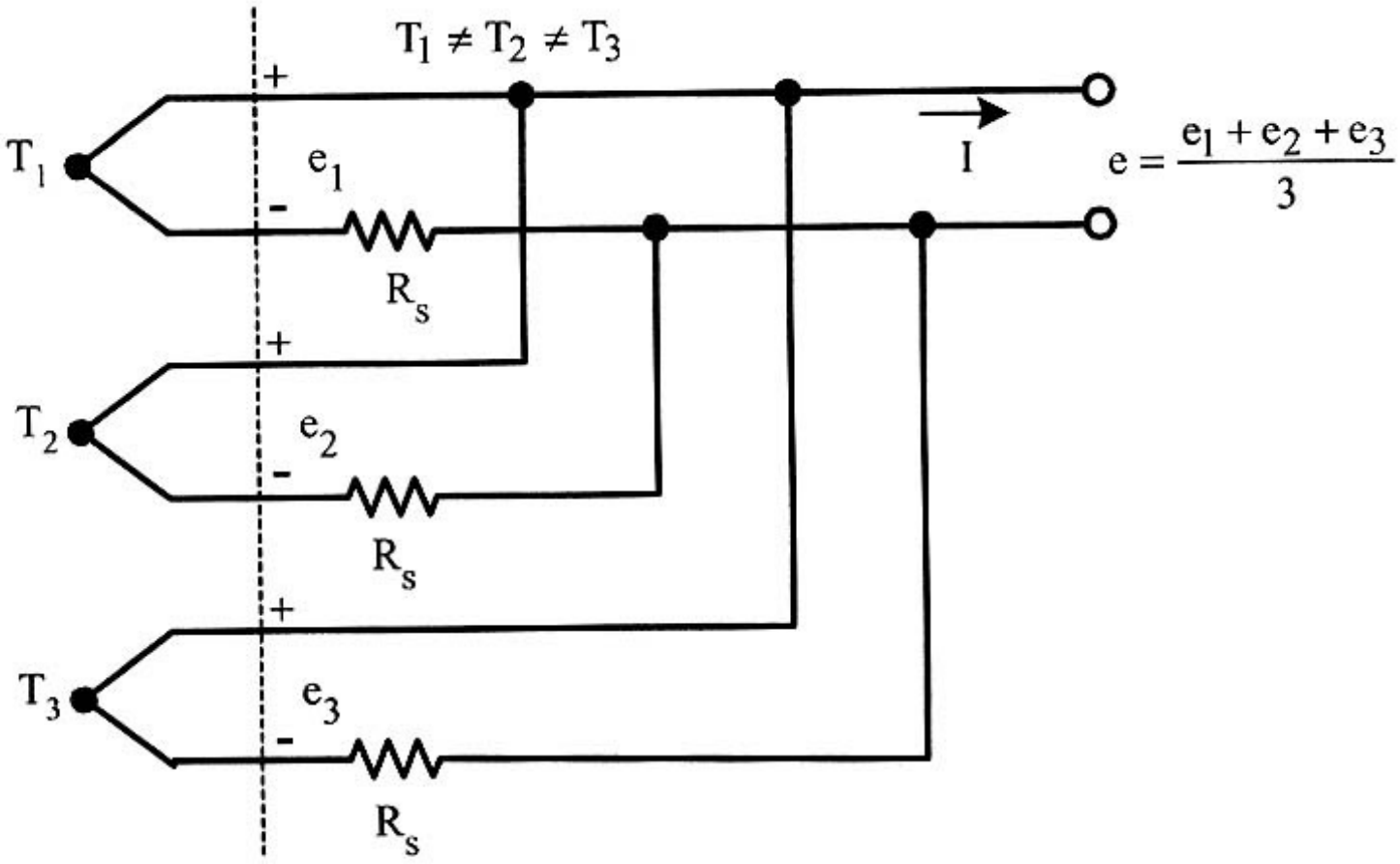


ไม่เป็นเชิงเส้นเล็กน้อย แล้วแต่ชนิดสารที่ใช้

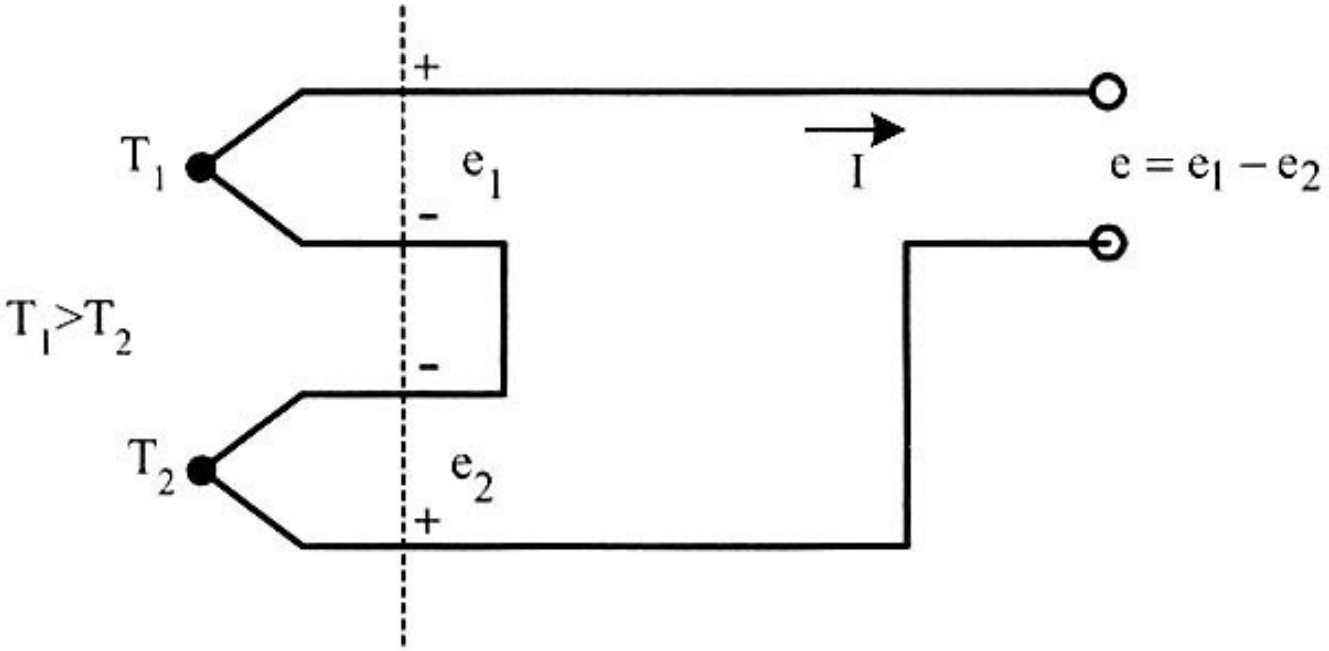
ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัพเปิล



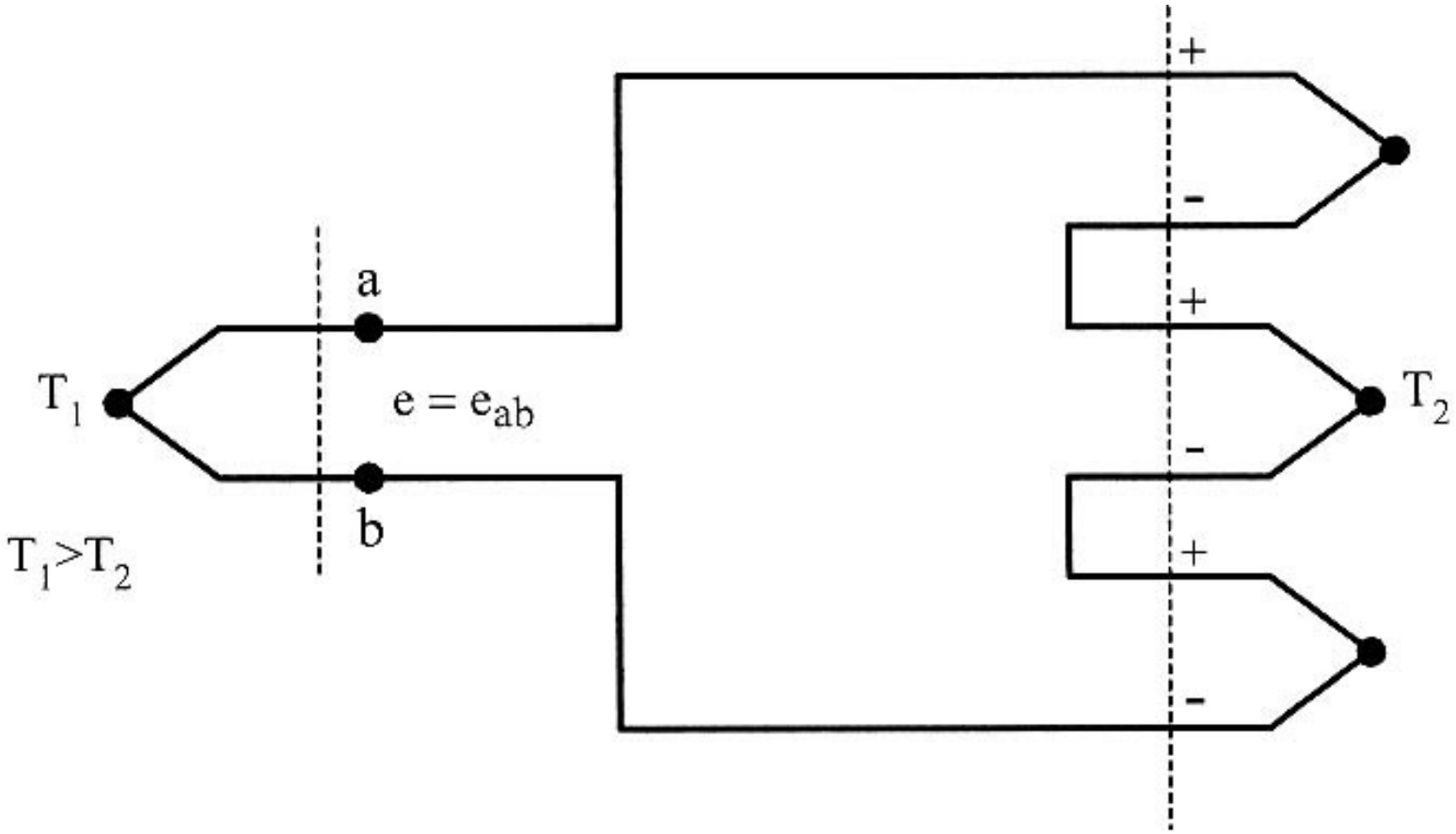
อุณหภูมิ T_3, T_4 ช่วงกลางสายไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค



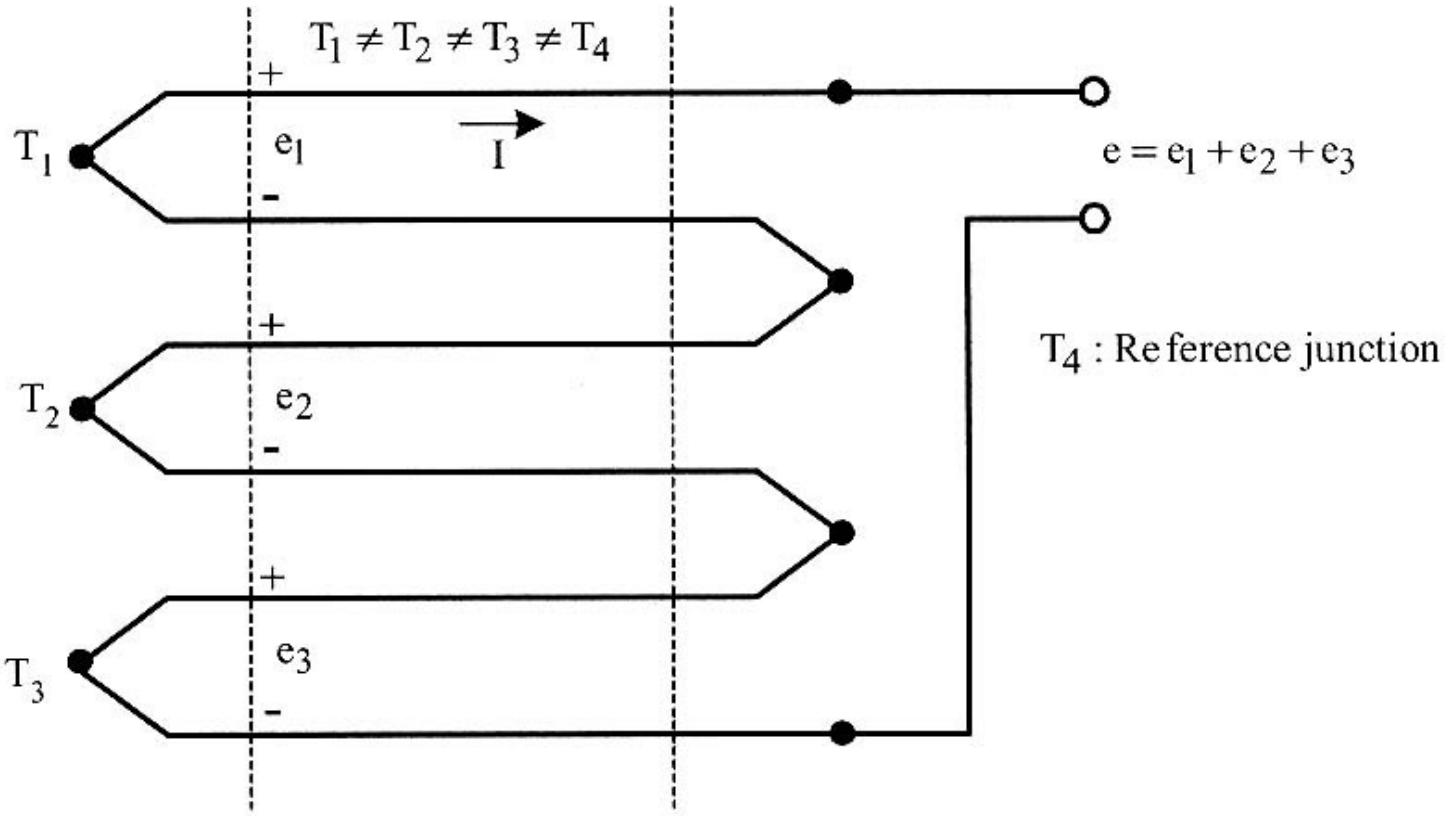
เทอร์โมคัพเปิลต่อขนานกันจะเป็นการวัดอุณหภูมิเฉลี่ย



เทอร์โมคัพเปิลต่อสลับขั้วกันจะเป็นการวัดผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อ T_1, T_2



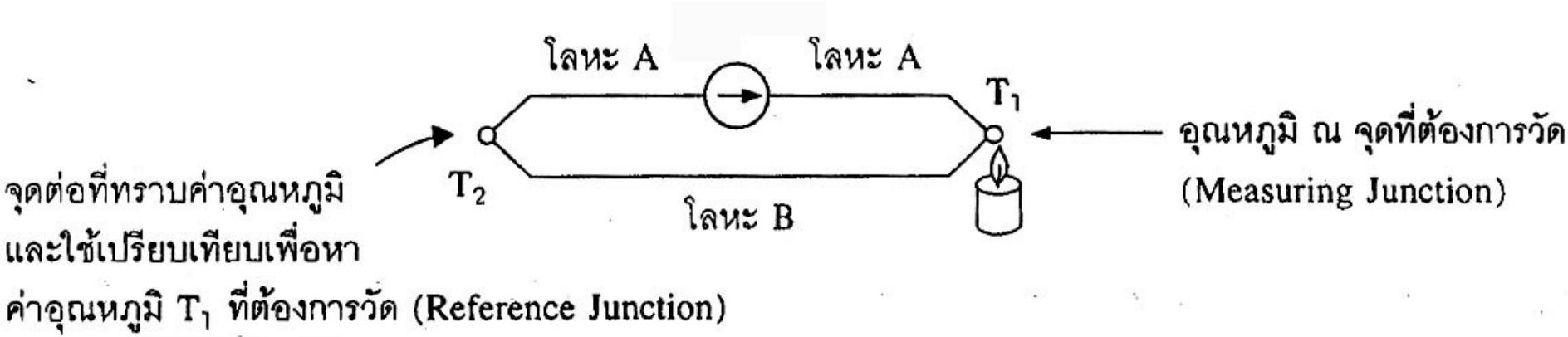
การต่อเทอร์โมคัพเปิลเพิ่มจะไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค



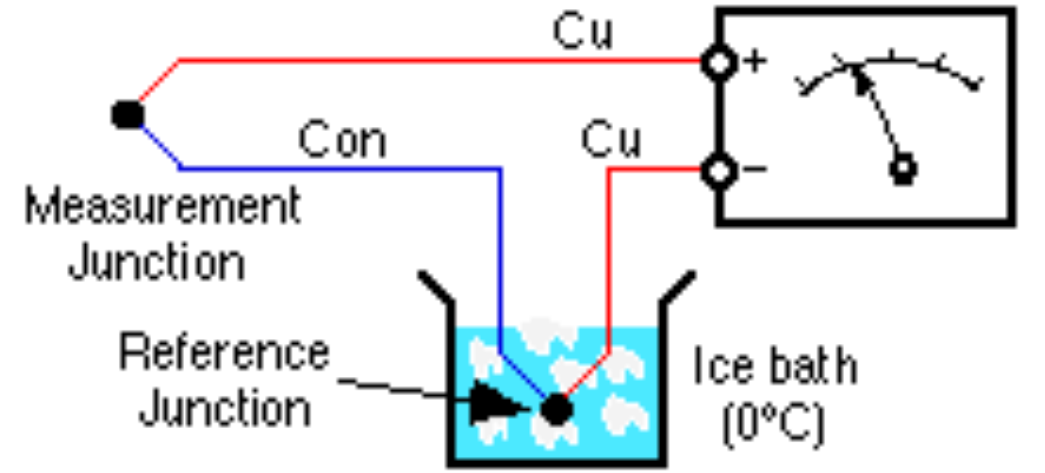
เทอร์โมคัพเปิลต่ออนุกรมกันจะได้ผลรวมแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค

รอยต่ออ้างอิง (Reference Junction)

- จุดต่อจุดหนึ่ง ที่ทราบค่าของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานอยู่
- วิธีการรักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference Junction มี 2 แบบ
  1. ใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์ รักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference ที่ $0^{o}C$
  2. ใช้เทคโนโลยีสร้างจุด $0^{o}C$ สำหรับเครื่องมือวัดทั่วไป

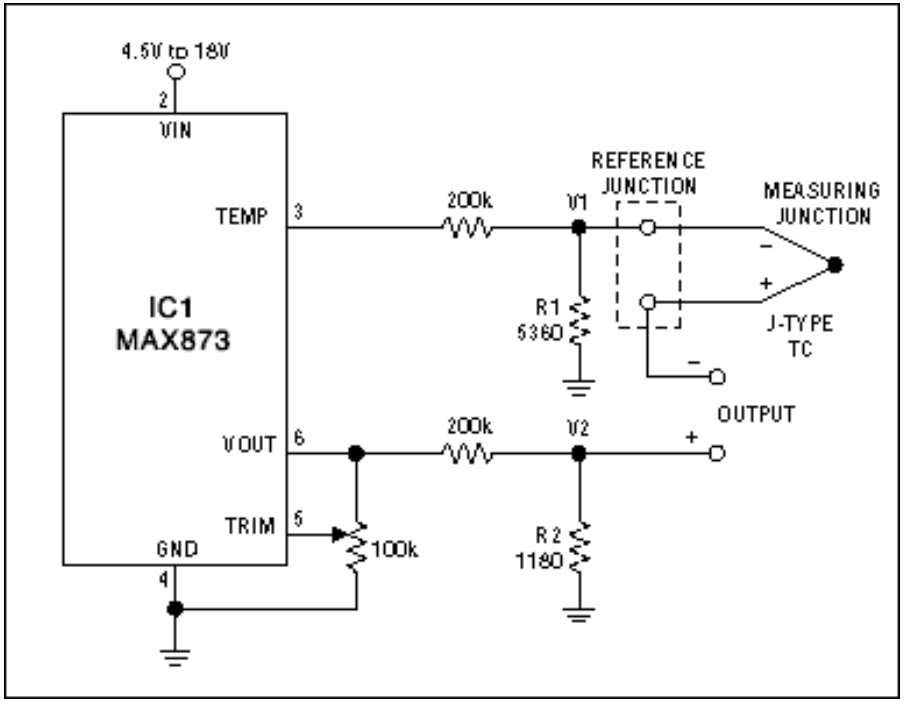


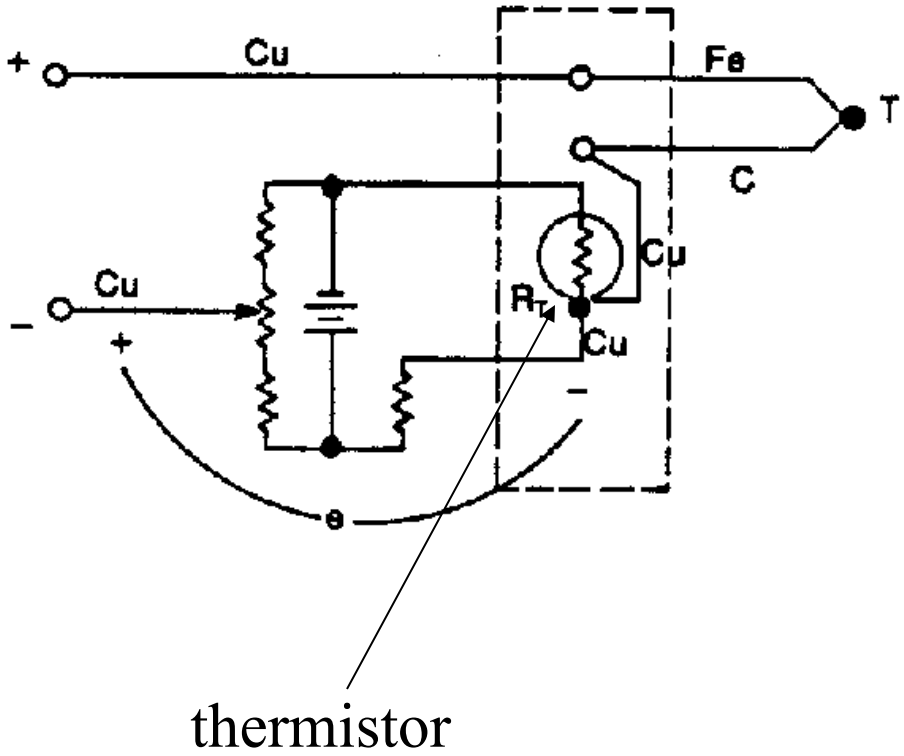
1. ใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์ รักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference ที่ $0^{o}C$



Traditional Thermocouple Measurement

2. ใช้เทคโนโลยีสร้างจุด 0°C สำหรับเครื่องมือวัดทั่วไป





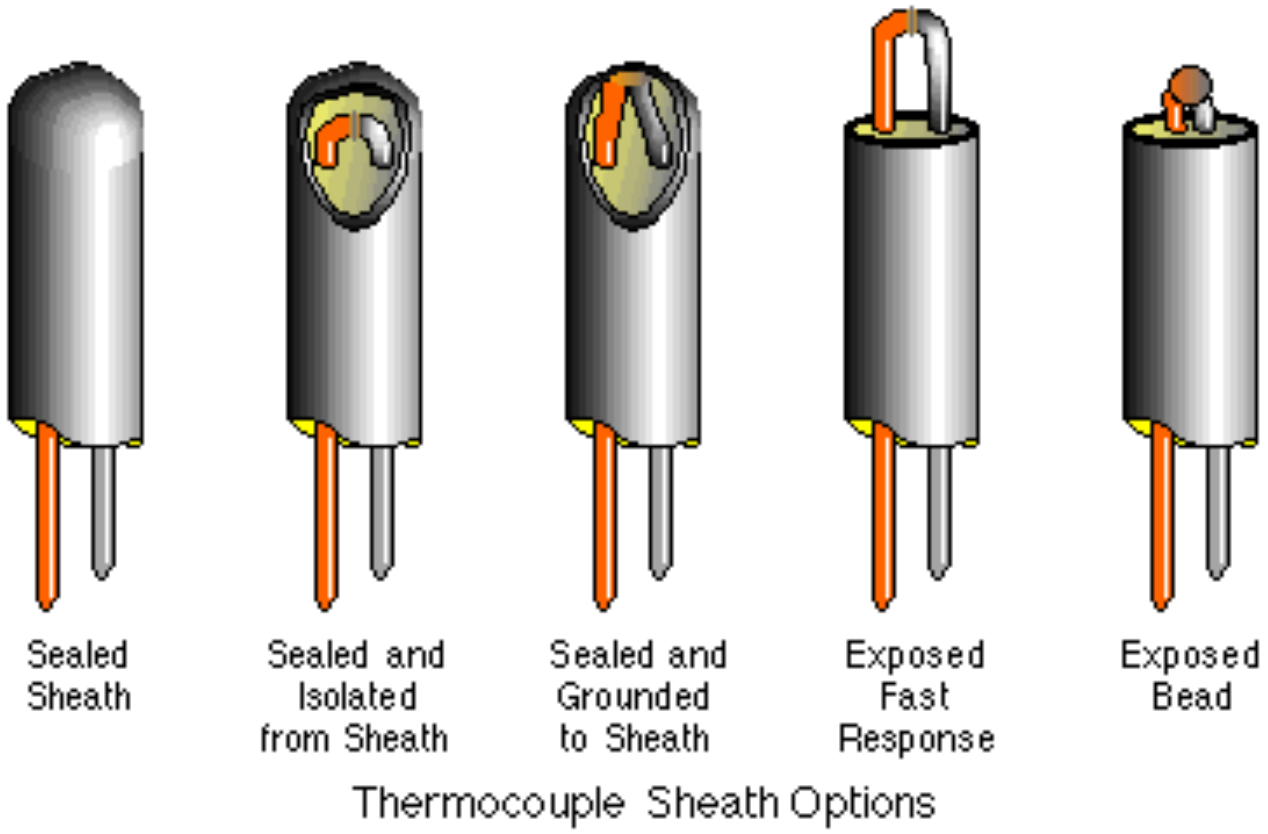
คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิล

- ส่วนผสมของโลหะที่ใช้ทำจะต้องไม่เปลี่ยน หรือสูญเสียธาตุส่วนผสมไปในเวลาอันรวดเร็ว

- ต้องให้แรงดันเอาต์พุตที่มีเสถียรภาพ (Stable) ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่ใช้

- มีความแข็งแรงและทนต่อสภาวะแวดล้อมในการใช้งานที่พิสูจน์ได้

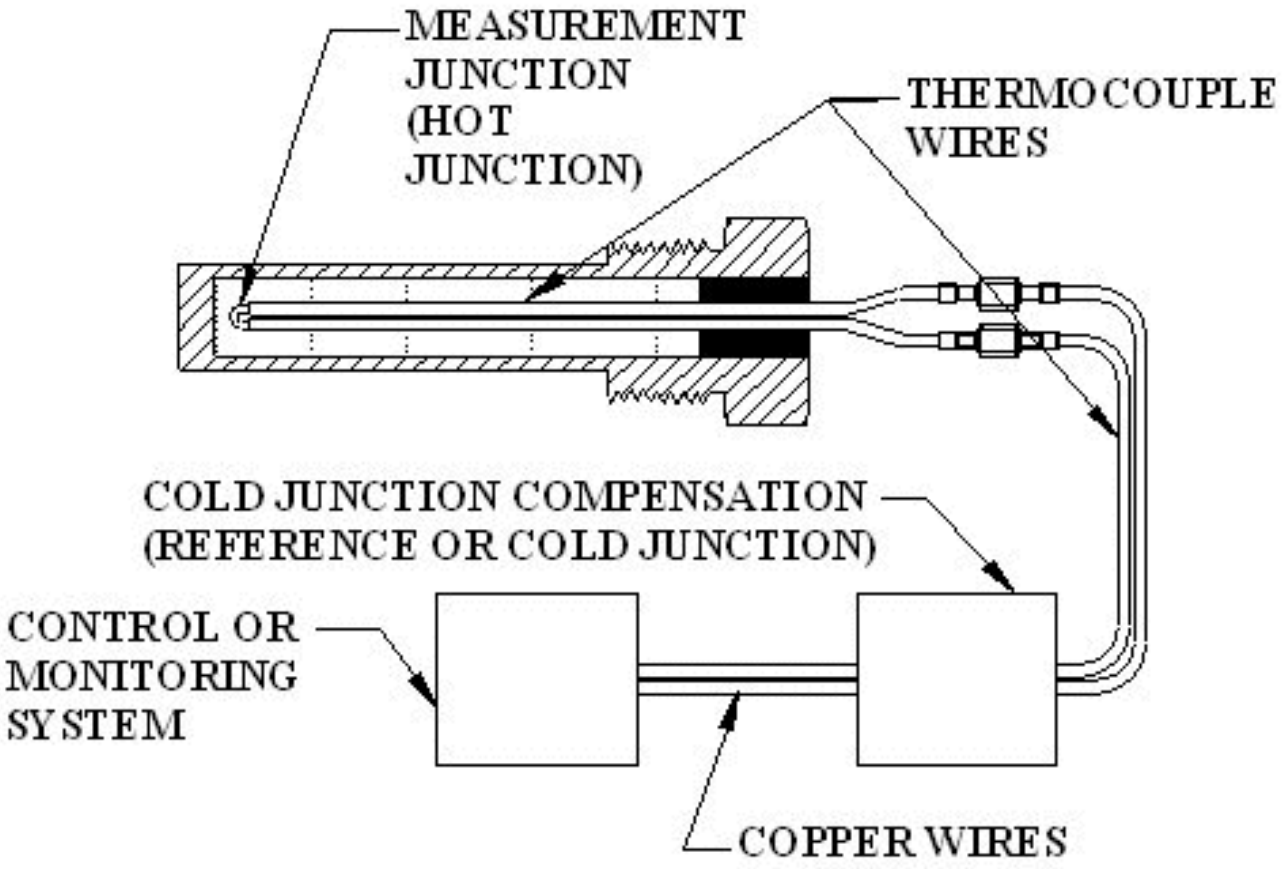
ประเภทของเทอร์โมคัปเปิล



http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Thermocouple/Thermocouple.html#Linearisation

Type	Positive Material	Negative Material	Accuracy** Class 2	Range °C (extension)	Comments
B	Pt, 30%Rh	Pt, 6%Rh	0.5% >800°C	50 to 1820 (1 to 100)	Good at high temperatures, no reference junction compensation required.
C**	W, 5%Re	W, 26%Re	1% >425°C	0 to 2315 (0 to 870)	Very high temperature use, brittle
D**	W, 3%Re	W, 25%Re	1% >425°C	0 to 2315 (0 to 260)	Very high temperature use, brittle
E	Ni, 10%Cr	Cu, 45%Ni	0.5% or 1.7° C	-270 to 1000 (0 to 200)	General purpose, low and medium temperatures
G**	W	W, 26%Re	1% >425°C	0 to 2315 (0 to 260)	Very high temperature use, brittle
J	Fe	Cu, 45%Ni	0.75% or 2.2°C	-210 to 1200 (0 to 200)	High temperature, reducing environment
K*	Ni, 10%Cr	Ni, 2%Al 2%Mn 1%Si	0.75% or 2.2°C	-270 to 1372 (0 to 80)	General purpose high temperature, oxidizing environment
L**	Fe	Cu, 45%Ni	0.4% or 1.5° C	0 to 900	Similar to J type. Obsolete - not for new designs
M**	Ni	Ni, 18%Mo	0.75% or 2.2°C	-50 to 1410	.
N*	Ni, 14%Cr 1.5%Si	Ni, 4.5%Si 0.1%Mg	0.75% or 2.2°C	-270 to 1300 (0 to 200)	Relatively new type as a superior replacement for K Type.
P**	Platinel II	Platinel II	1.0%	0 to 1395	A more stable but expensive substitute for K & N types
R	Pt, 13%Rh	Pt	0.25% or 1.5°C	-50 to 1768 (0 to 50)	Precision, high temperature
S	Pt, 10%Rh	Pt	0.25% or 1.5°C	-50 to 1768 (0 to 50)	Precision, high temperature
T*	Cu	Cu, 45%Ni	0.75% or 1.0°C	-270 to 400 (-60 to 100)	Good general purpose, low temperature, tolerant to moisture.
U**	Cu	Cu, 45%Ni	0.4% or 1.5° C	0 to 600	Similar to T type. Obsolete - not for new designs

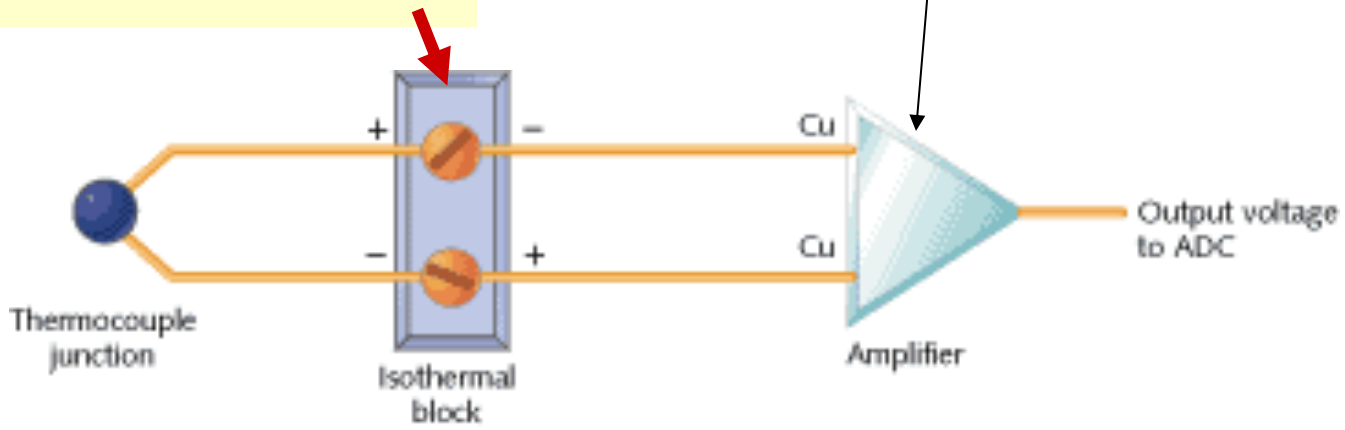
ส่วนประกอบของ Thermocouple Transducer

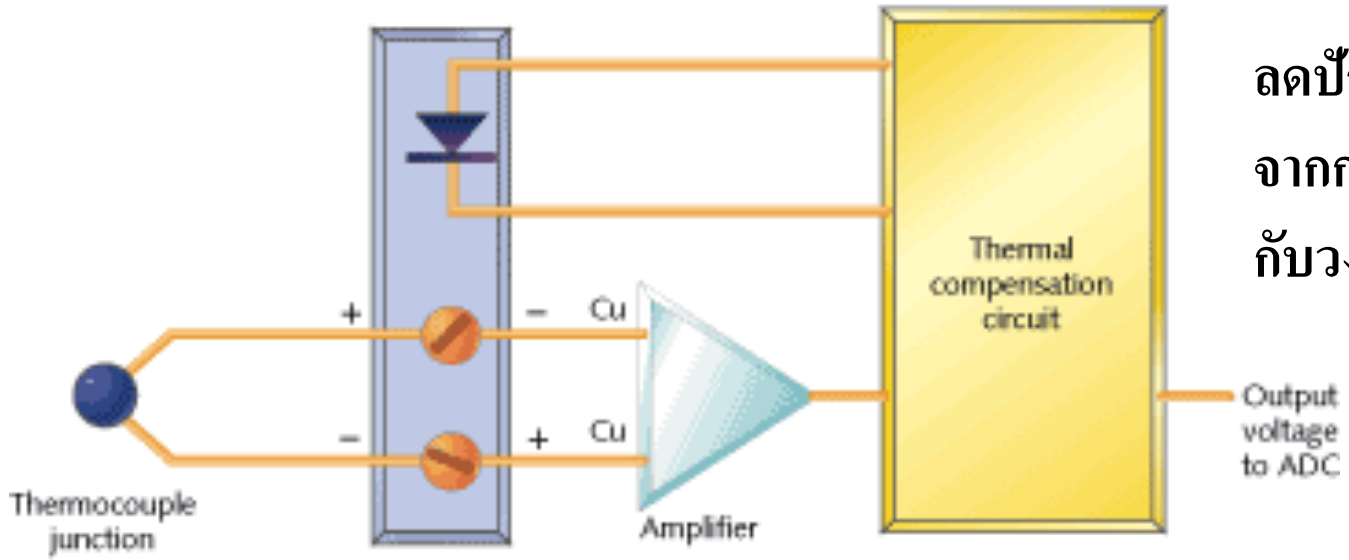


Poor Conductor of Electricity

But a good conductor of Heat

ขยายสัญญาณ

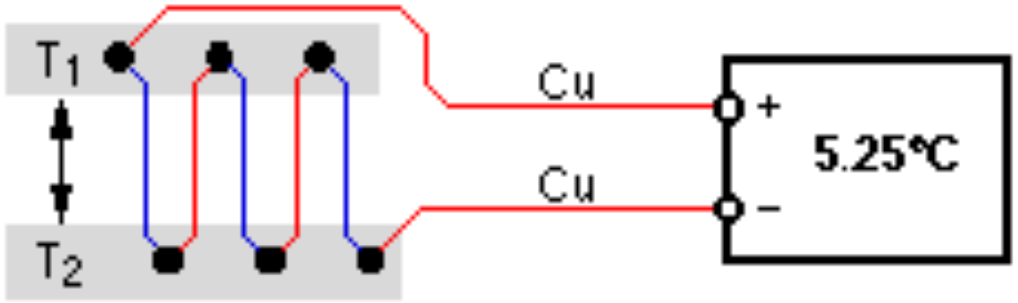




ลดปัญหาจากการต่อกับวงจรวัด

Isothermal block

การใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดพื้นผิว (บริเวณ) ที่มีอุณหภูมิต่างกัน



The Thermopile for Measuring Temperature Difference

ค่าเอาท์พุตที่ได้ คือ ผลต่างของอุณหภูมิ T_1-T_2

อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector, RTD)

- เส้นลวดโลหะที่สามารถใช้เป็นตัวกลางวัดอุณหภูมิได้

- สามารถใช้วัดได้ตั้งแต่จุดแข็งตัวของออกซิเจน (-182.92^{o}C) ไปจนถึงจุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74^{o}C)

ความต้านทานในลวดโลหะ เป็นตามสมการดังนี้

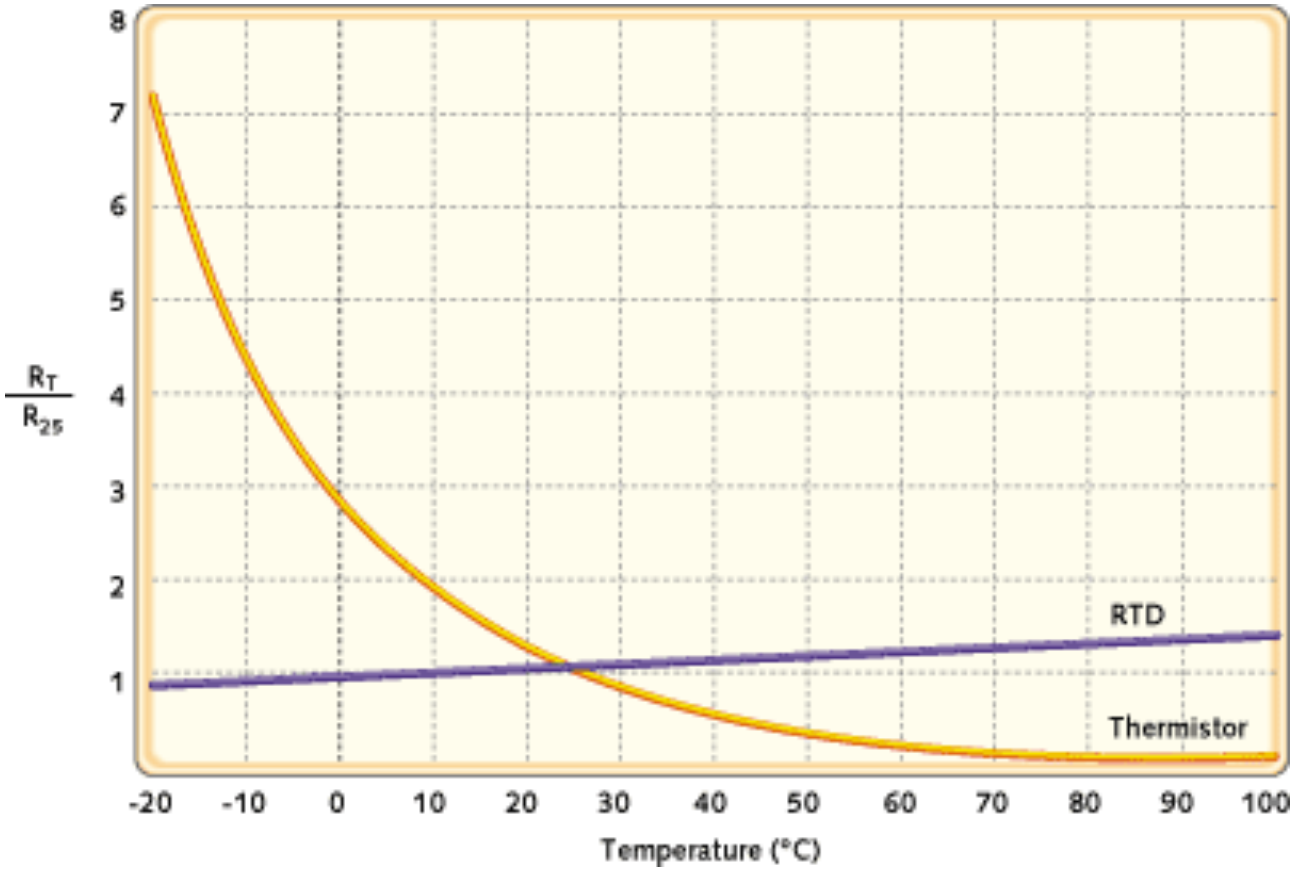
$$R_t = R_0(1+\alpha t)$$ หรือ $$\frac{dR_t}{dT} = \alpha R_0$$

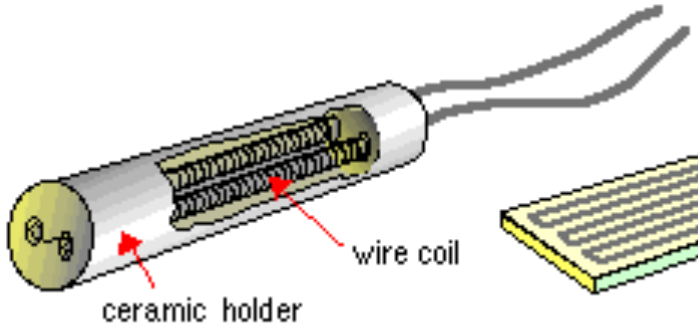
เมื่อ R_t - ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ t^oC

R_0 - ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0^oC

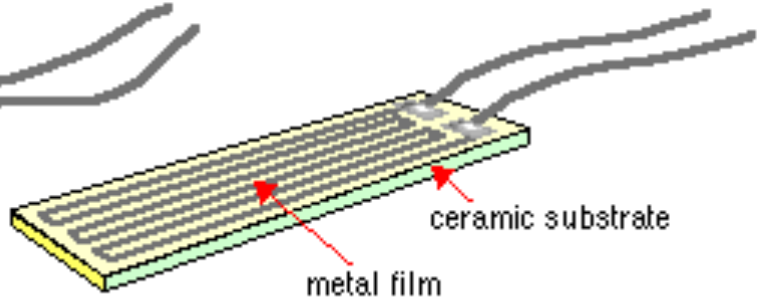
α - สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1^oC $(\Omega/\Omega/^\circ C)$

(Temperature Coefficient of Resistancd)


8
7
6
5
4
3
2
1
$\frac{R_T}{R_{25}}$
RTD
Thermistor
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Temperature (°C)

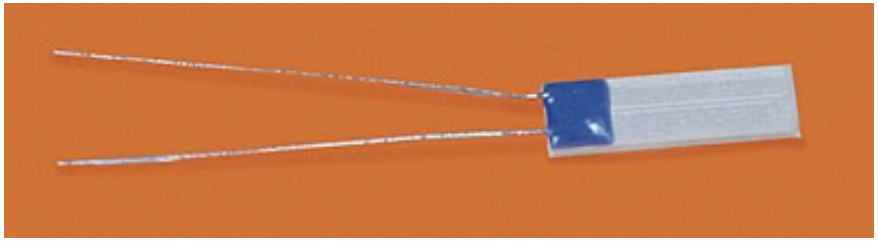


Wire RTD Construction



Film RTD Construction

Typical Sheath Mounted RTD Probe



http://www.omega.com/rtd.html

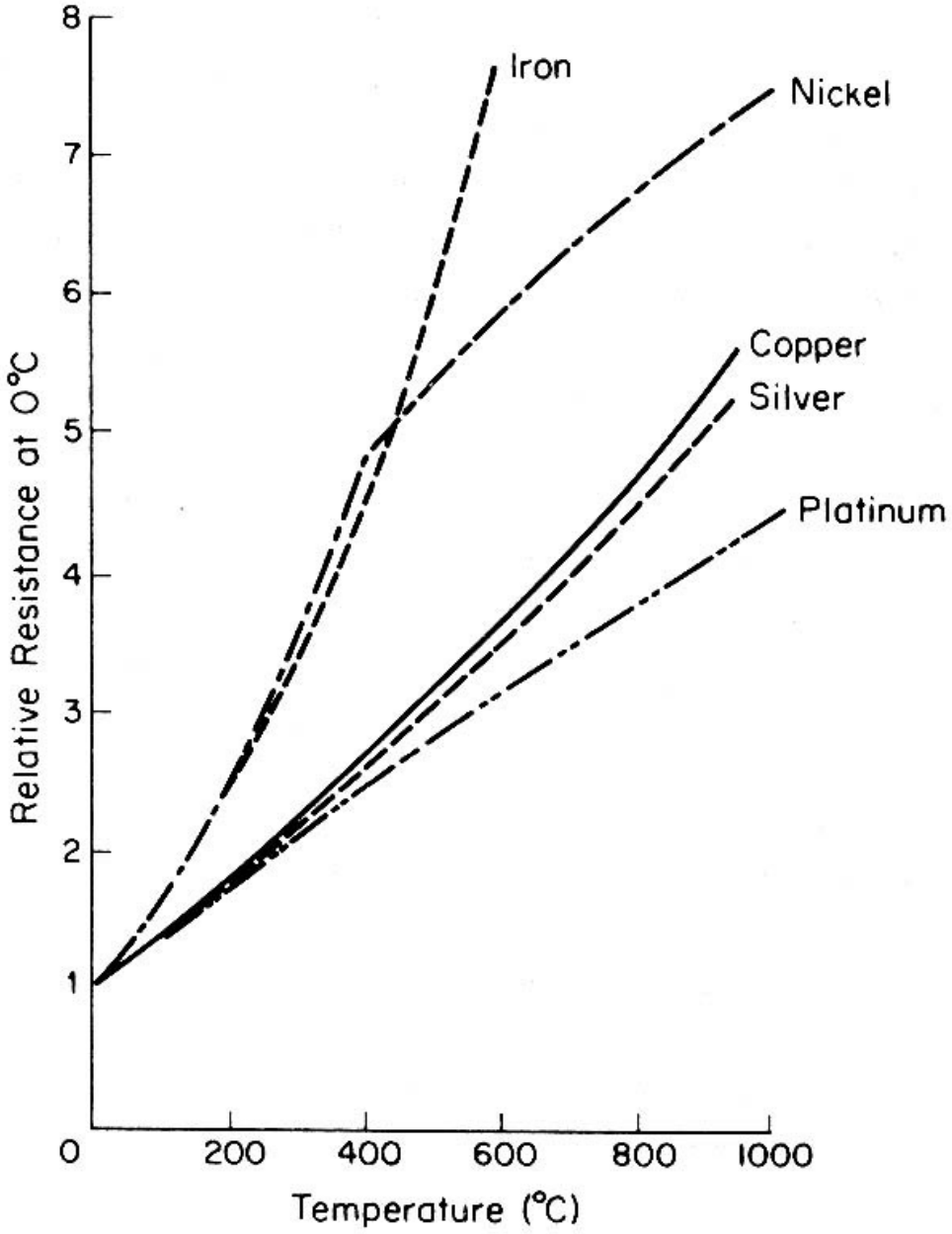
ประเภทของ RTD

Metal		Temperature Range	Alpha	Comments
Copper	Pt	-200°C to 260°C	0.00427	Low cost
Molybdenum	Mo	-200°C to 200°C	0.00300 0.00385	Lower cost alternative to platinum in the lower temperature ranges
Nickel	Ni	-80°C to 260°C	0.00672	Low cost, limited temperature range
Nickel - Iron	Ni-Fe	-200°C to 200°C	0.00518	Low cost
Platinum	Pt	-240°C to 660°C	0.00385 0.00392 0.00377	Good precision. Extend temperature range to 1000°C available

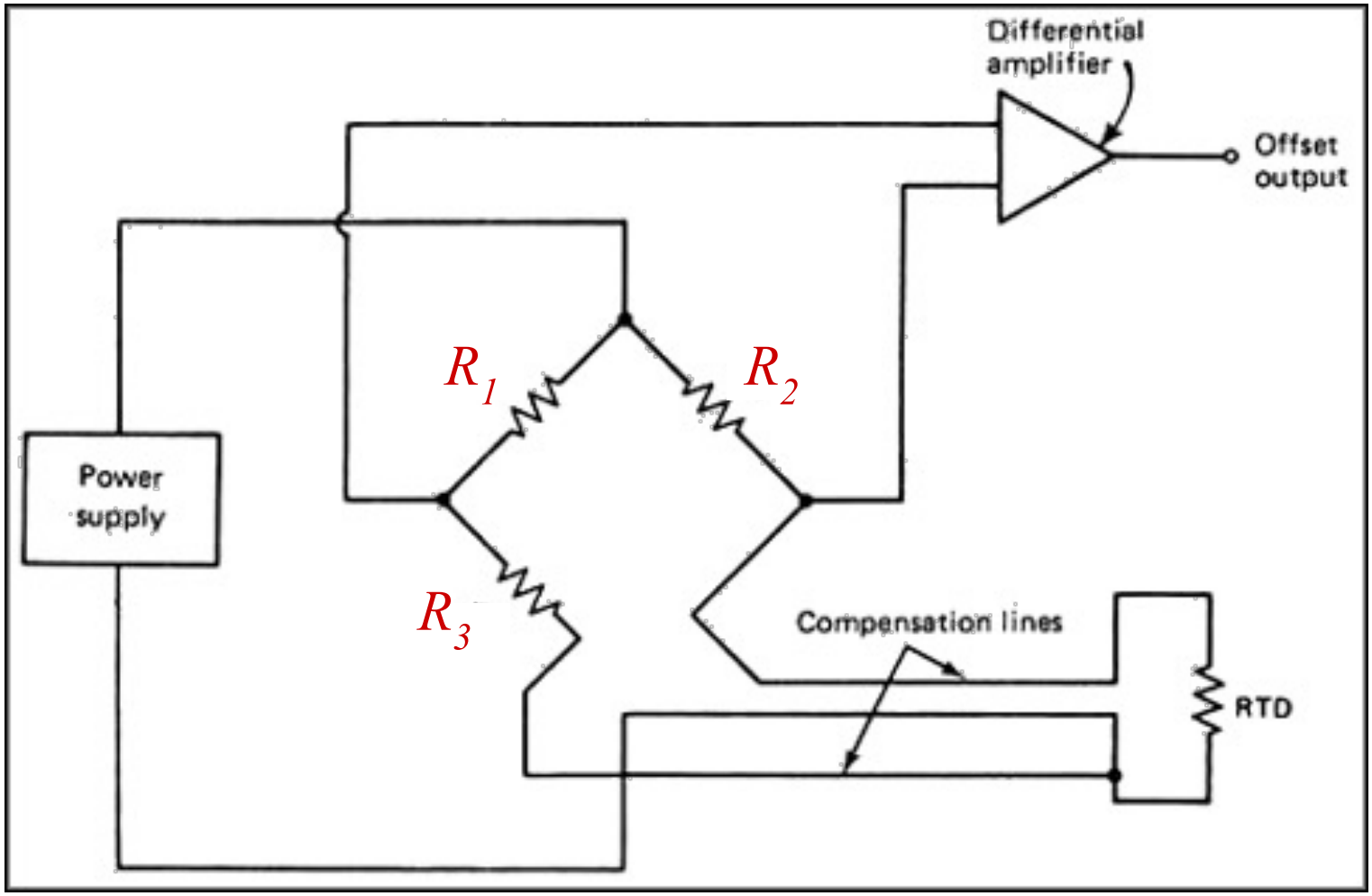
ระดับของ RTD

http://www.capgo.com/Resources/Temperature/RTDs/RTD.html

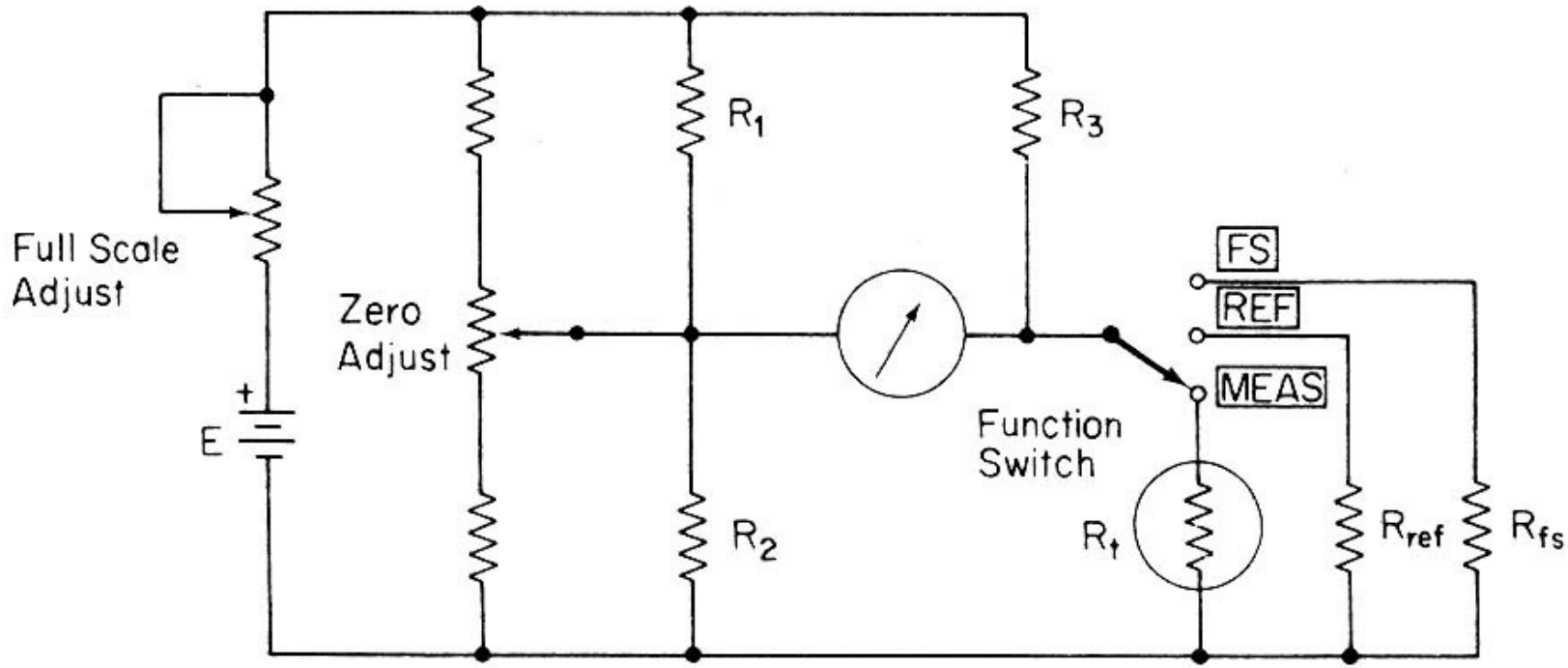
Tolerance Class	Tolerance Equation (°C)
Class A	± (0.15 + 0.002.|t|)
Class B	± (0.30 + 0.005. |t|)
Class C	± (0.40 + 0.009. |t|)
Class D	± (0.60 + 0.0018. |t|)

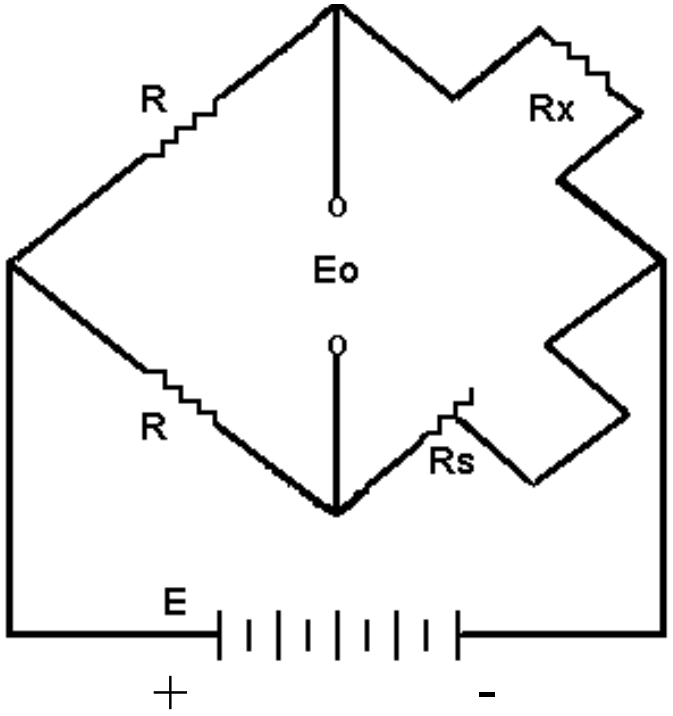

Iron
Nickel
Copper
Silver
Platinum
Relative Resistance at 0°C
Temperature (°C)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
200
400
600
800
1000

วงจรการต่อใช้งานของ RTD



Bridge Circuit with a RTD





$$\frac{E_0}{E} = \left(\frac{R_X}{R_X + R}\right) - \left(\frac{R_S}{R_S + R}\right)$$

เมื่อ R = Ratio Arms

R_x = Probe resistance (at temperature x)

R_s = Balancing arm (equal to Rx at lowest temperature which may be variable for zero set.)

• วงจรจะอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อ RTD อยู่ในอุณหภูมิ $0^{o}C$

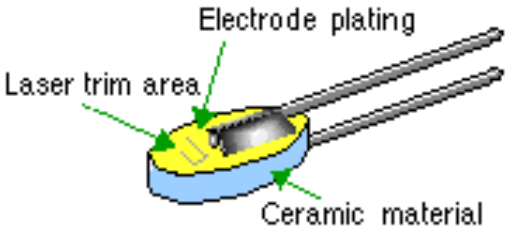
กระแสไม่ไหลผ่านมิเตอร์ จะชี้ที่ $0^{o}C$ (0^{o} Setting)

• ความผิดพลาดของการวัด จะเกิดจากความต้านทานของสาย

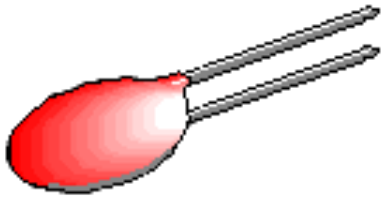
- ความยาวของสายตัวนำจาก RTD
- อุณหภูมิของสายตัวนำ

เทอร์มิสเตอร์ (Thermisters)

- อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเหมือน RTD
- ทำจากคาร์บอน และสารกึ่งตัวนำ เช่น นิกเกิลโคบอลต์ ไทเทเนียม ปกติทำจาก ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง
- มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง
- การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแปรผกผันกับ RTD คือ **ค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น**



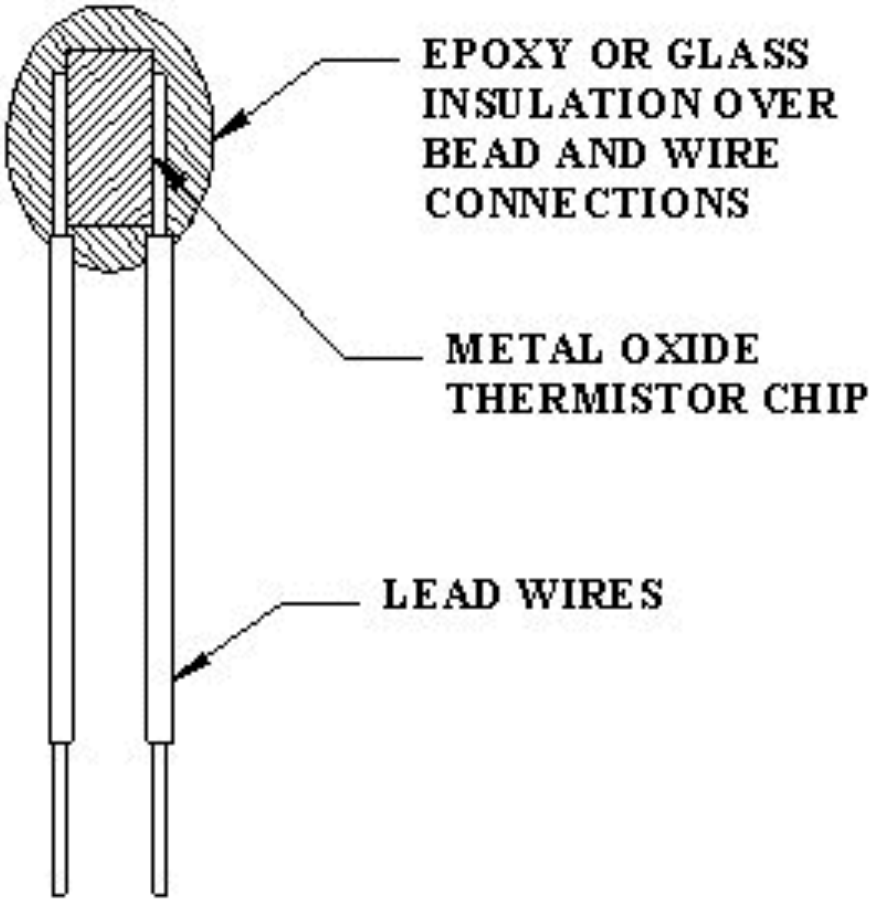
Thermistor without Encapsulation



Thermistor with Encapsulation

Thermister

ส่วนประกอบของเทอร์มิสเตอร์

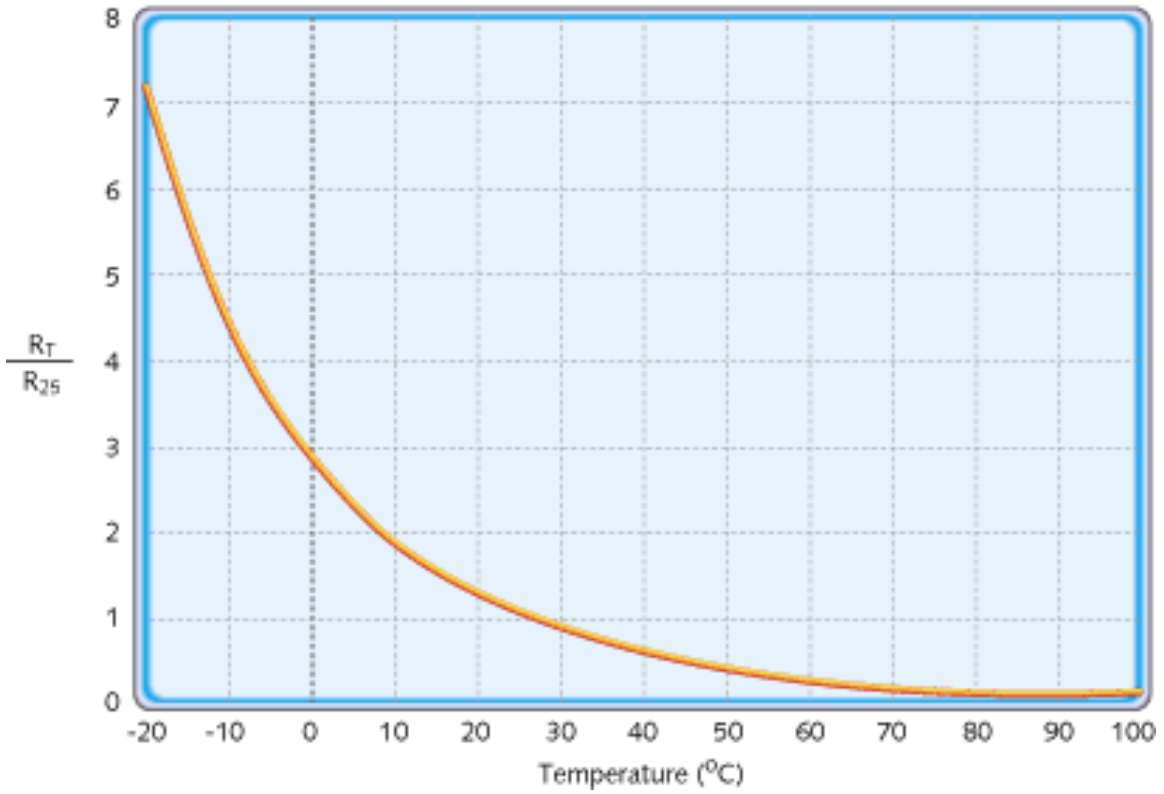


คุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์

Parameter	Specification
Resistance at 25°C	2252 ohms (100 to 1M available)
Measurement range	-80 to +120°C typical (250°C max.)
Interchangeability (tolerance)	±0.1 or ±0.2°C
Stability over 12 months	< 0.02°C at 25°C, < 0.25°C at 100°C
Time constant	< 1.0 seconds in oil, < 60 seconds in still air
self-heating	0.13 °C/mW in oil, 1.0 °C/mW in air
Coefficients (see Linearization below)	$a = 1.4733 \times 10^{-3}$, $b = 2.372 \times 10^{-3}$, $c = 1.074 \times 10^{-7}$
Dimensions	ellipsoid bead 2.5mm x 4mm

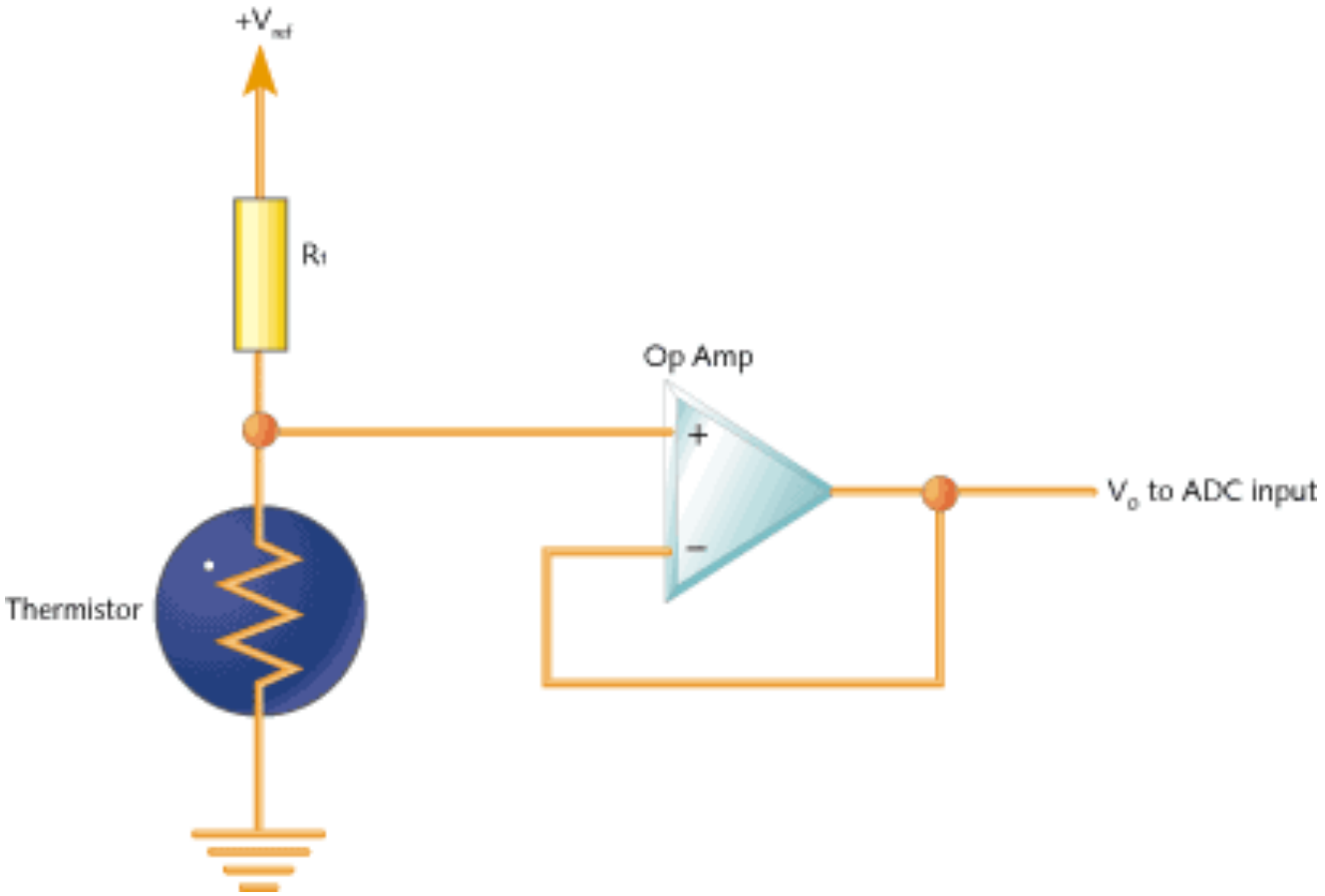
http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Thermistor/Thermistor.html

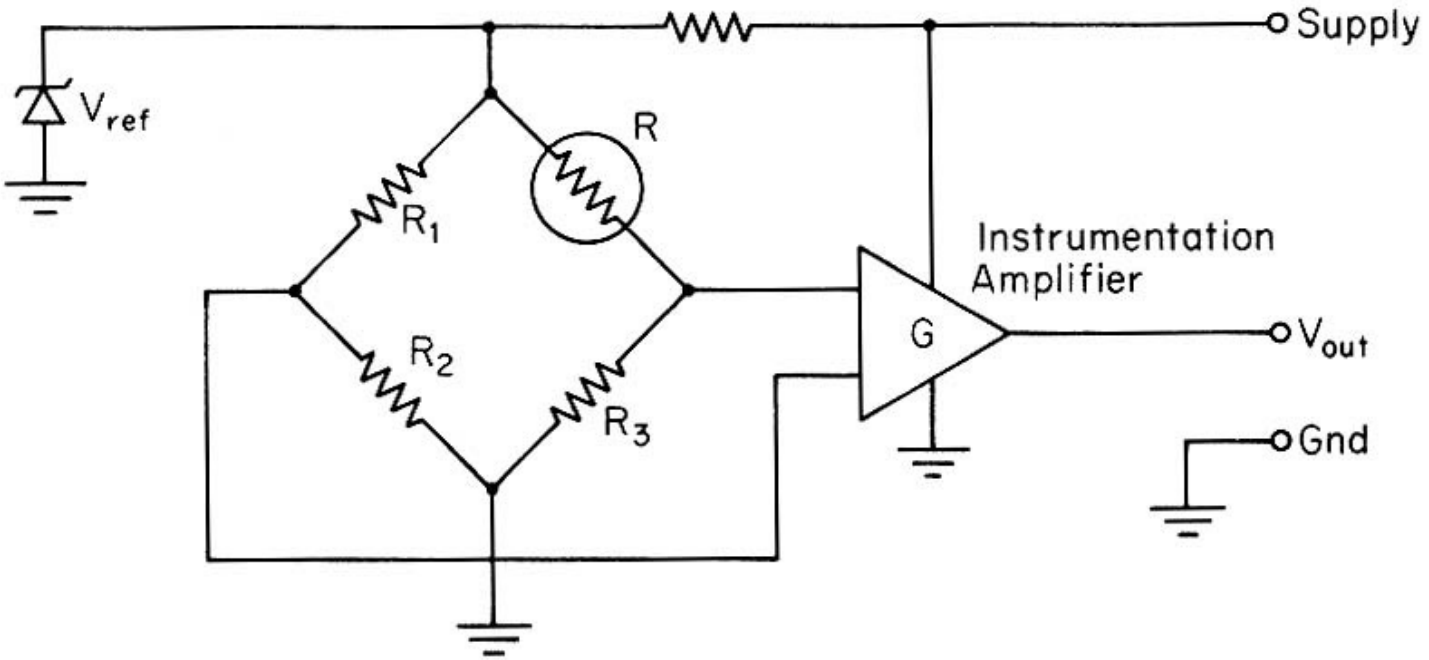
กราฟคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์



$$T = 1 / (a + b.ln(R) + c.ln(R)^3)$$

วงจรการต่อใช้งานของ Thermistor





$$V_{out} = \frac{GV_{ref}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)}{4\left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right)}$$

Representative thermistors.

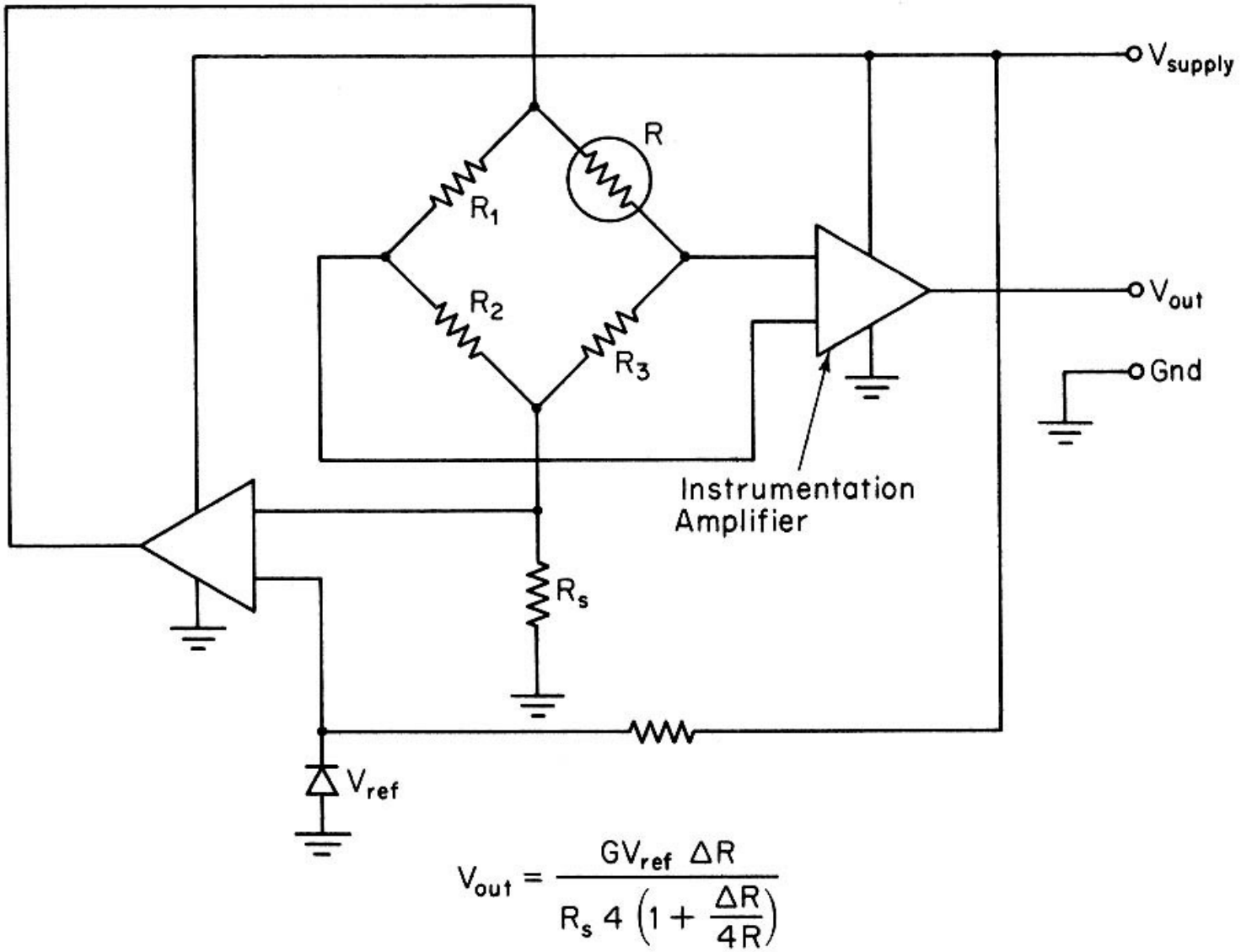
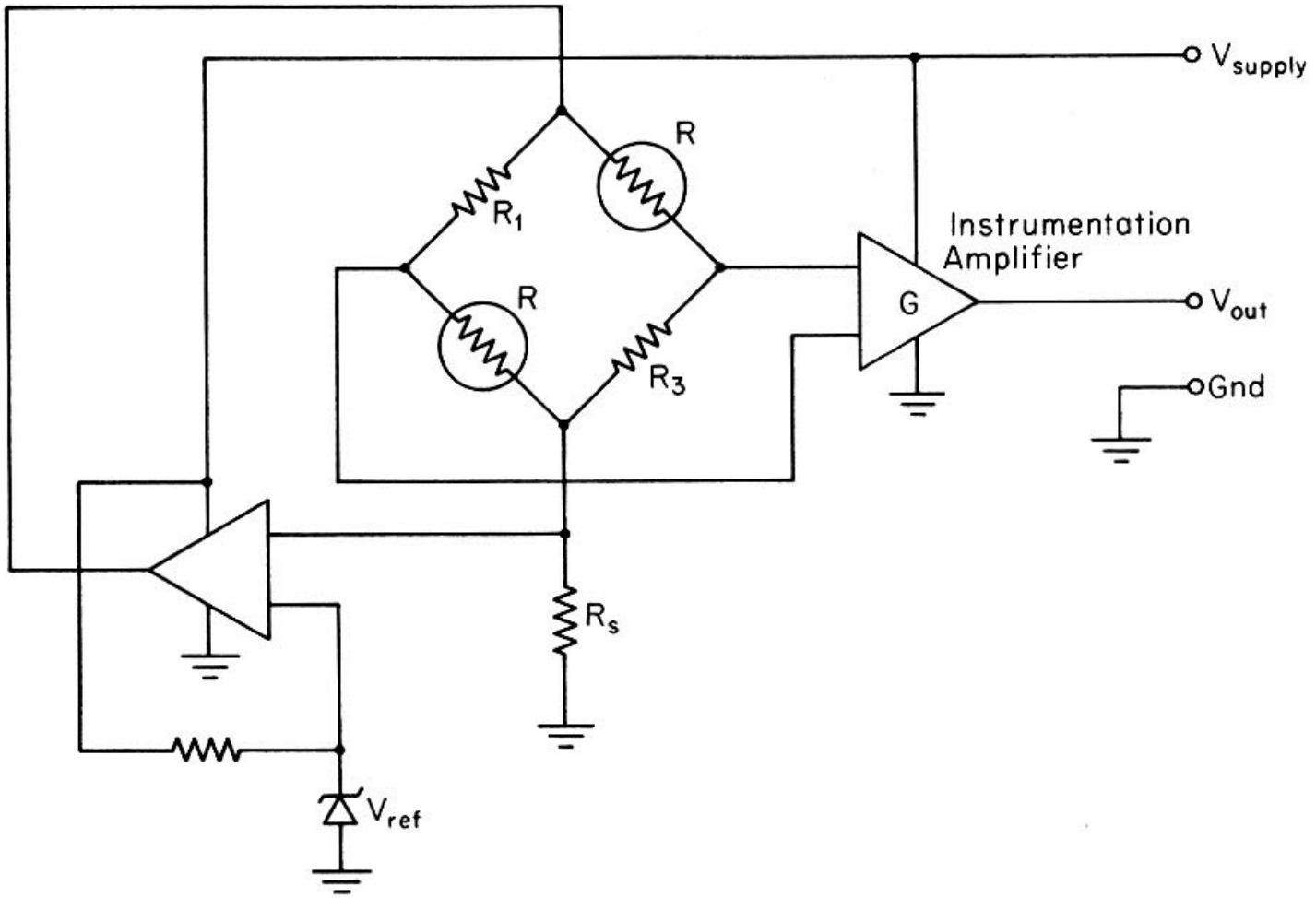


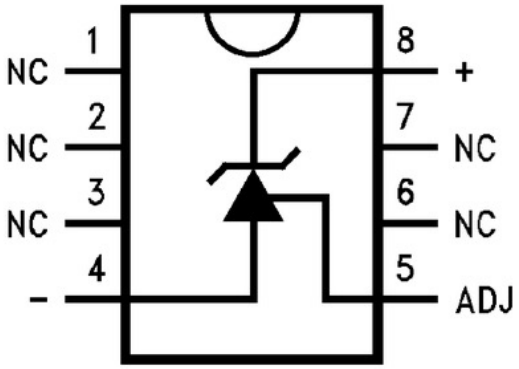
Figure 11-23 Wheatstone bridge powered from a constant current source.

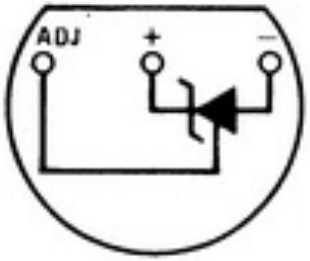


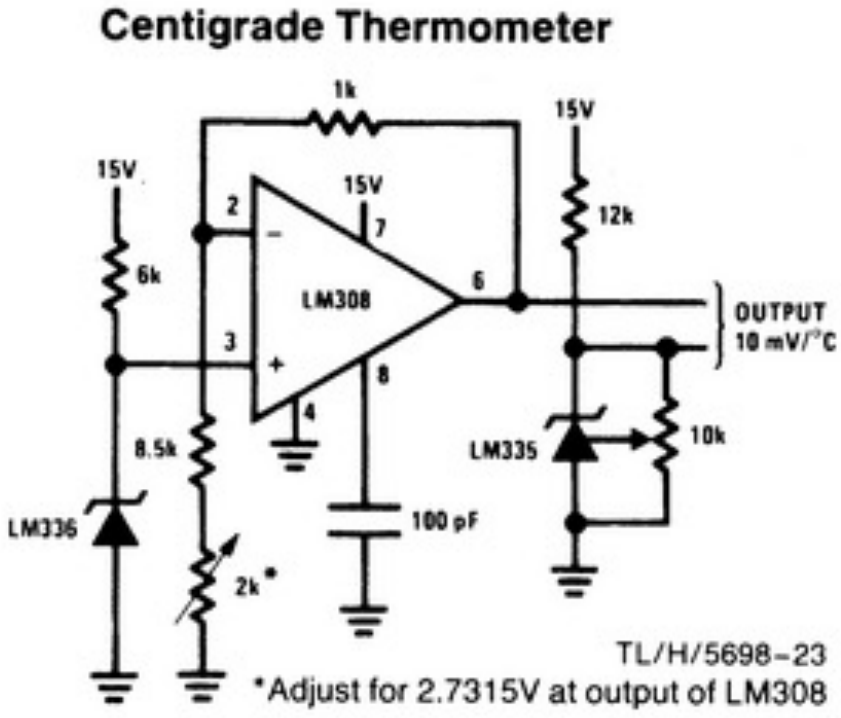
$$V_{out} = \frac{GV_{ref}}{2R_s} \Delta R$$

Figure 11-24 Wheatstone bridge employing two RTDs.

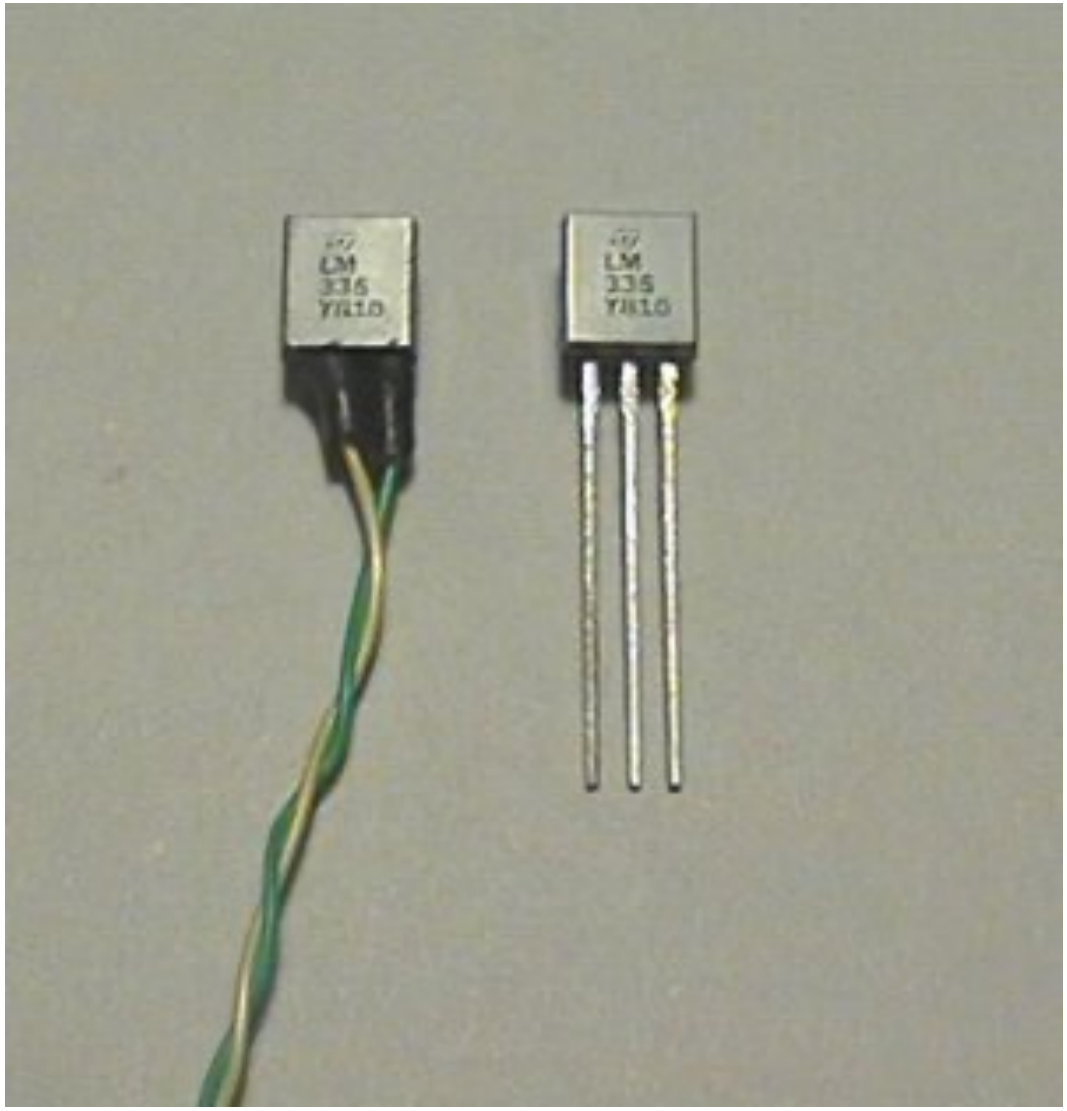
IC sensor สำหรับวัดอุณหภูมิ (LM 335)







LM 335



LM 335

Precision temperature sensor (K/◦C/◦F)
Mfr. ST Microelectronics

This circuit is, unlike similar circuits, linear in its characteristics over the entire temperature range. If it is calibrated at +25 ◦C, it will have an error of less than 1 ◦C (typ) over a temperature range of 100 ◦C. Otherwise easy to calibrate.

LM335

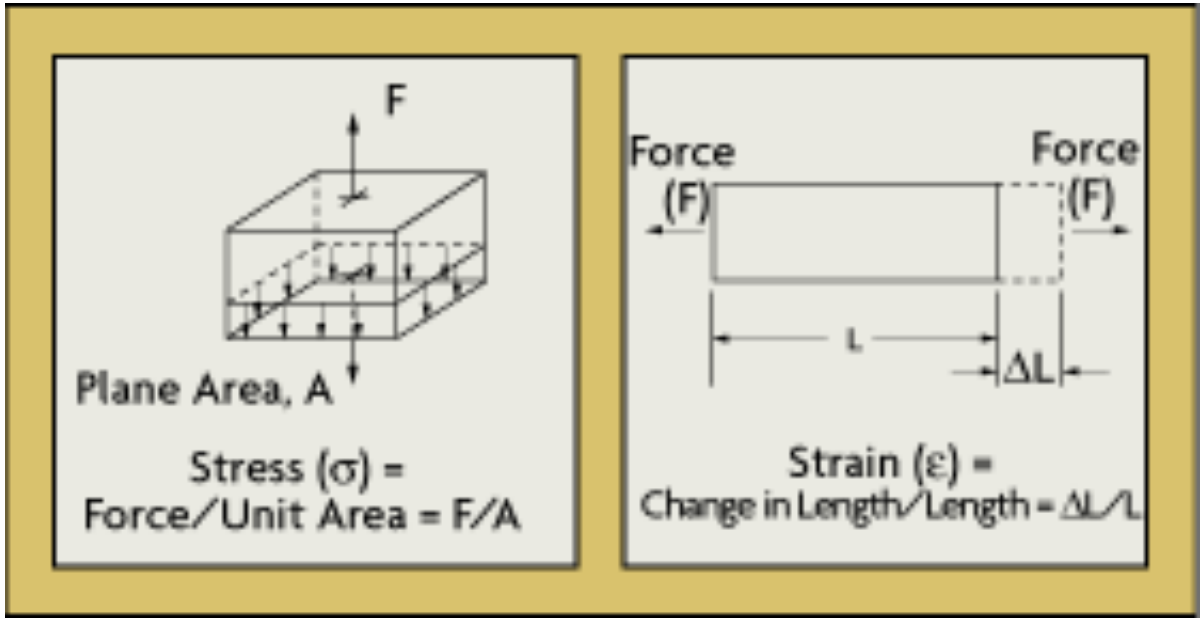
Temp. range:	**−40 to +100 ◦C**
Output voltage:	**+10 mV/◦K**
Current range:	**400 µA – 5 mA**
Dynamic impedance:	**0.5 Ω**
Package:	**TO92**

เครื่องมือวัดแรง

Force Transducer

สเตรนเกจ (Strain Gauge Load Cell)

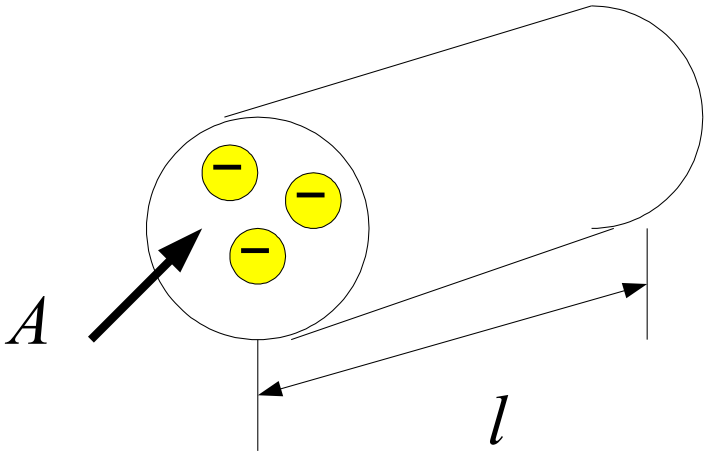
- เครื่องมือวัดแรง / ความดันโดยใช้ตัวสเตรนเกจ
- อาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านของตัวนำ เมื่อมีแรงมากระทำที่ตัวสเตรนเกจ แล้วความยาวของเส้นลวดตัวนำเปลี่ยนแปลง



ค่าความต้านทานของสายส่ง *กระแสตรง*

ที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ค่าความต้านทานของตัวนำ เมื่อมีกระแสตรงไหลผ่าน คือ

$$R_{dc} = \frac{r ¥ l}{A}$$



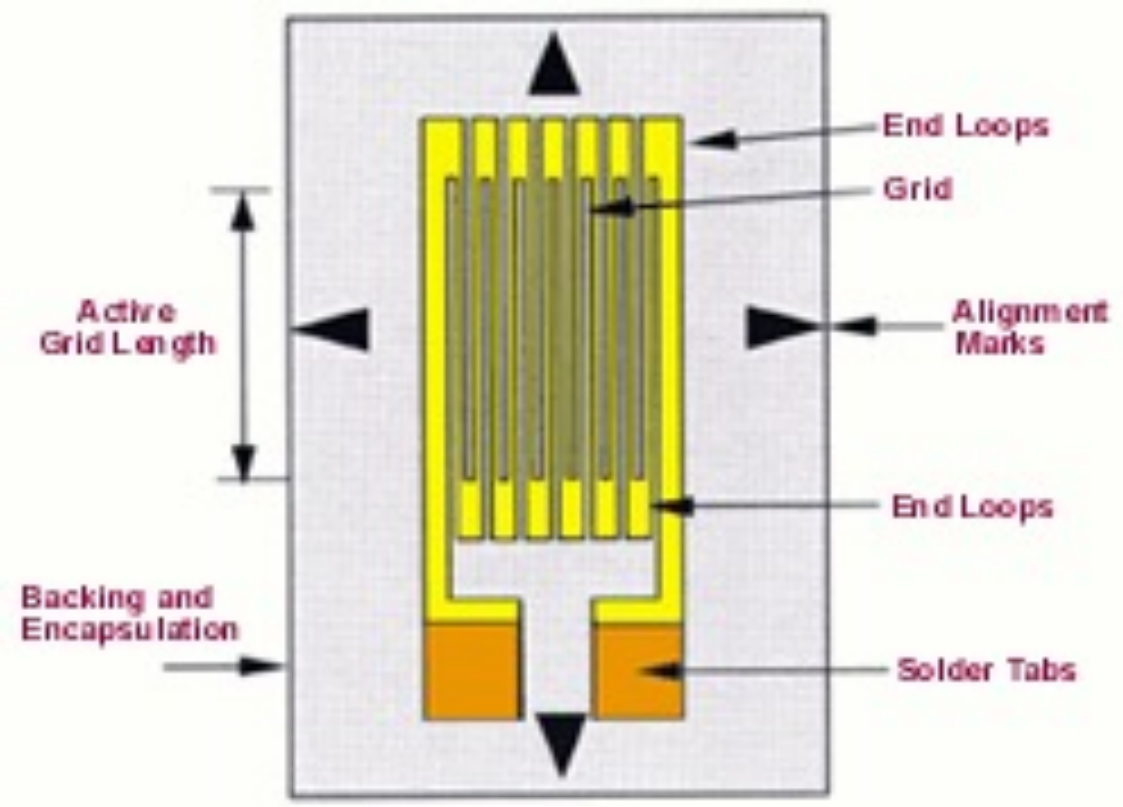
r คือ ค่า Resistivity ของตัวนำ

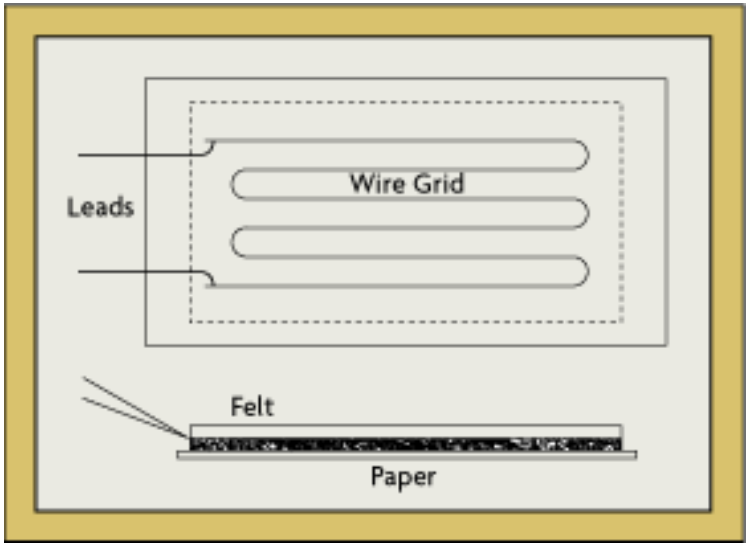
l คือ ค่าความยาวของตัวนำ

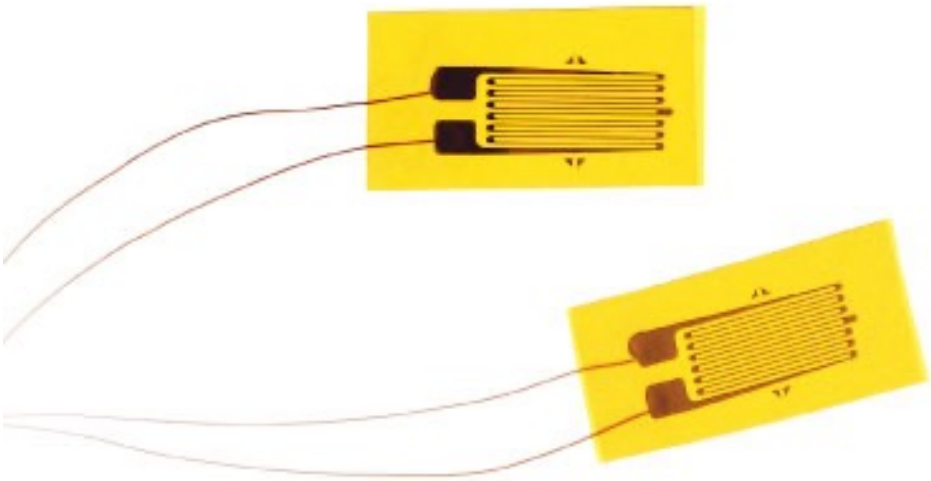
A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

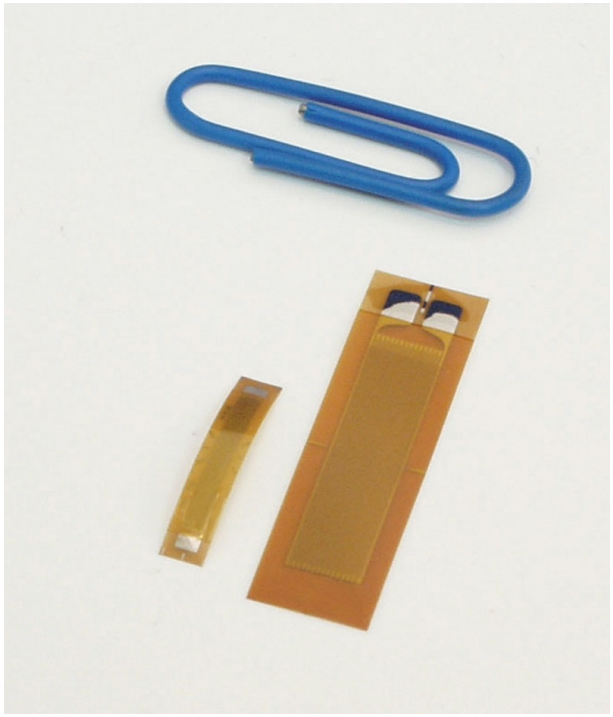
★ ถ้า l เปลี่ยนแปลง ค่า R จะเปลี่ยนแปลงด้วย ★

ส่วนประกอบของสเตรนเกจ

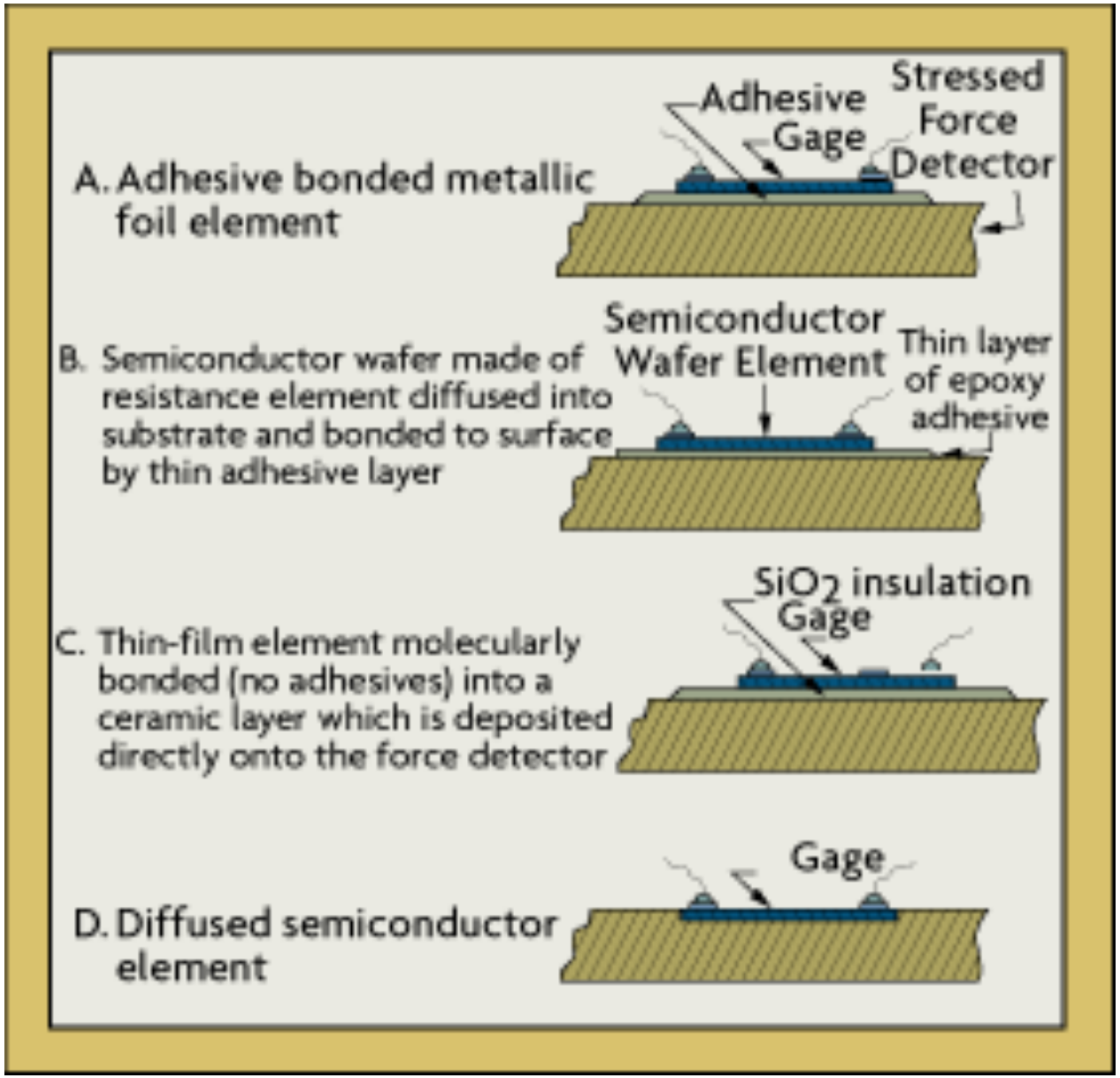




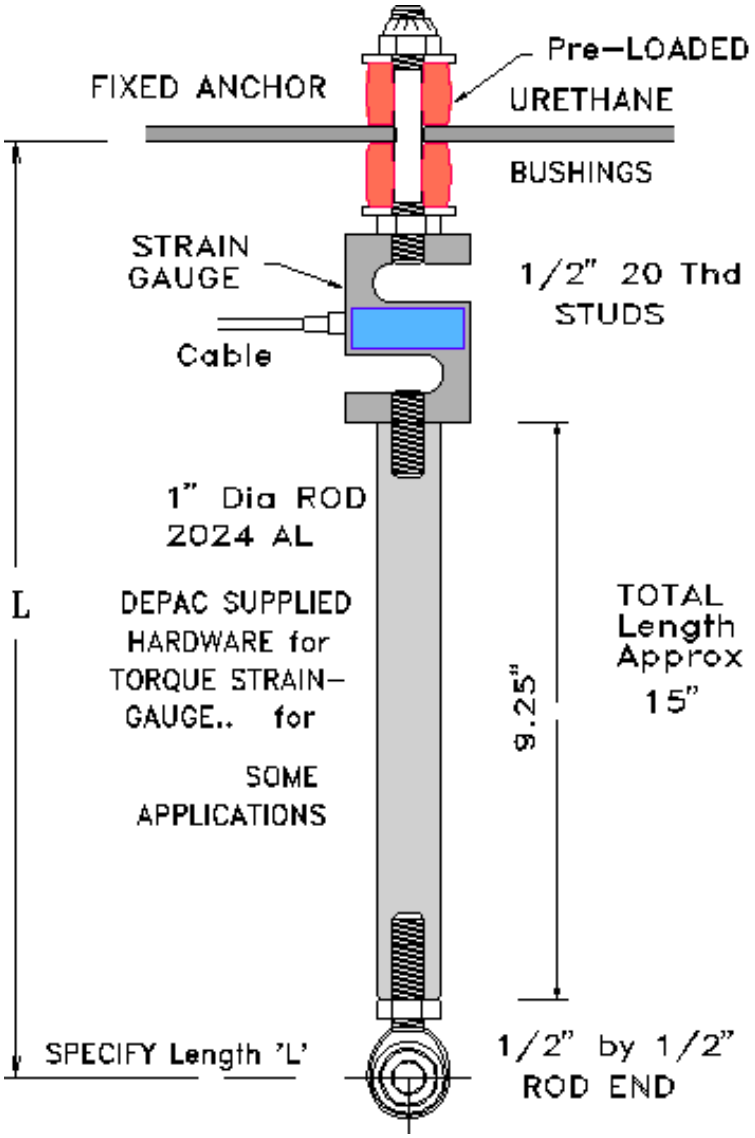


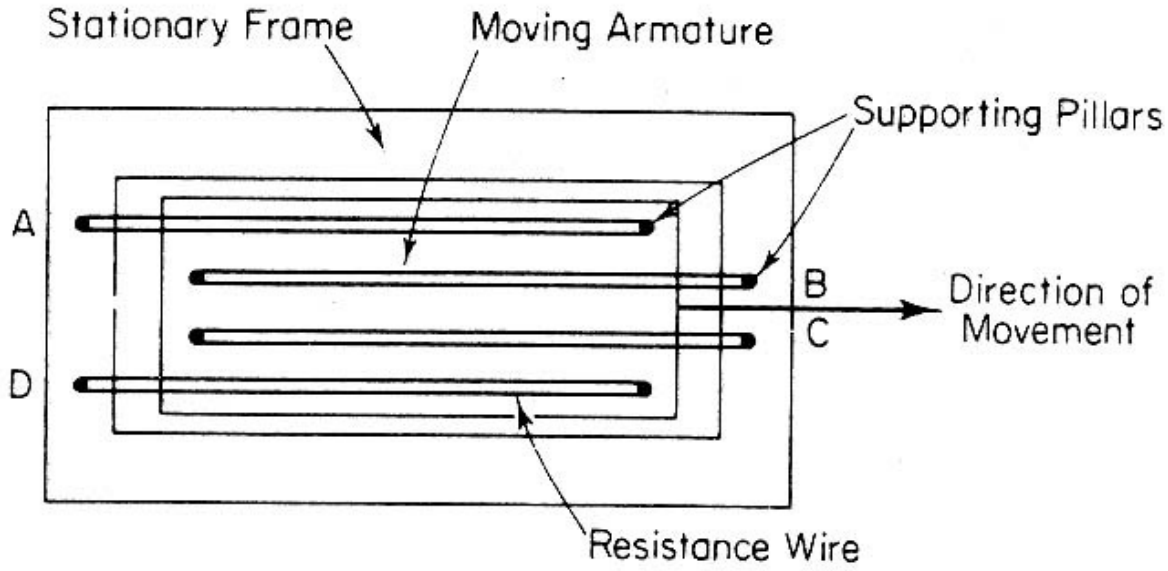


http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain.html

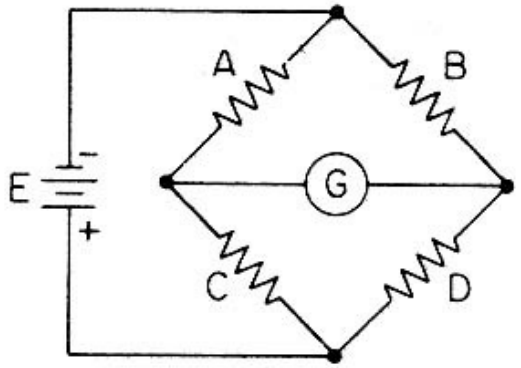


การประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจเพื่อหาค่าแรงดึง (น้ำหนัก)



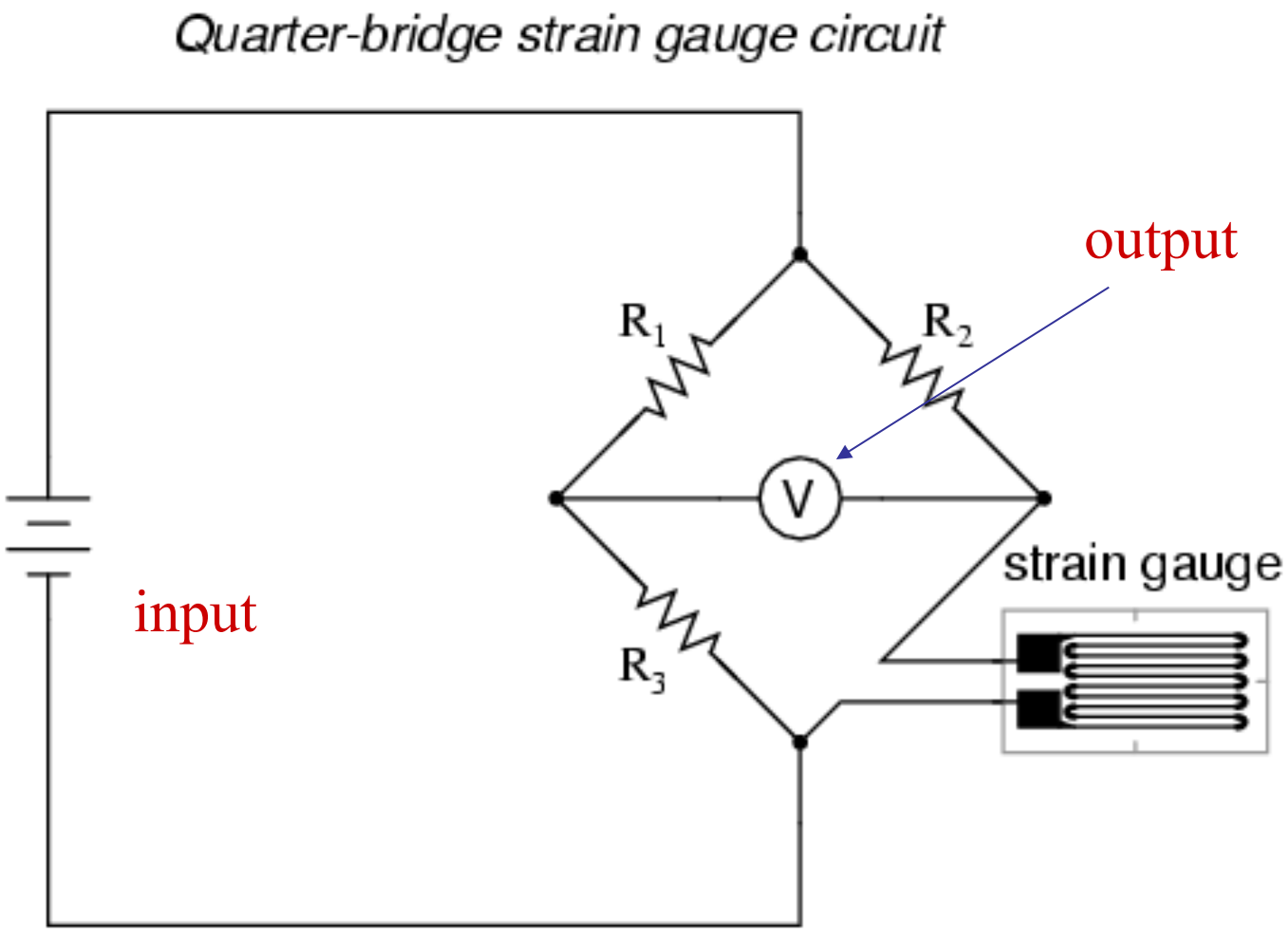


(a) Principle of construction



(b) Wheatstone bridge circuit

วงจรการต่อใช้งานของ Strain Gauge Load Cell



เครื่องมือวัดแสง

Light Transducer

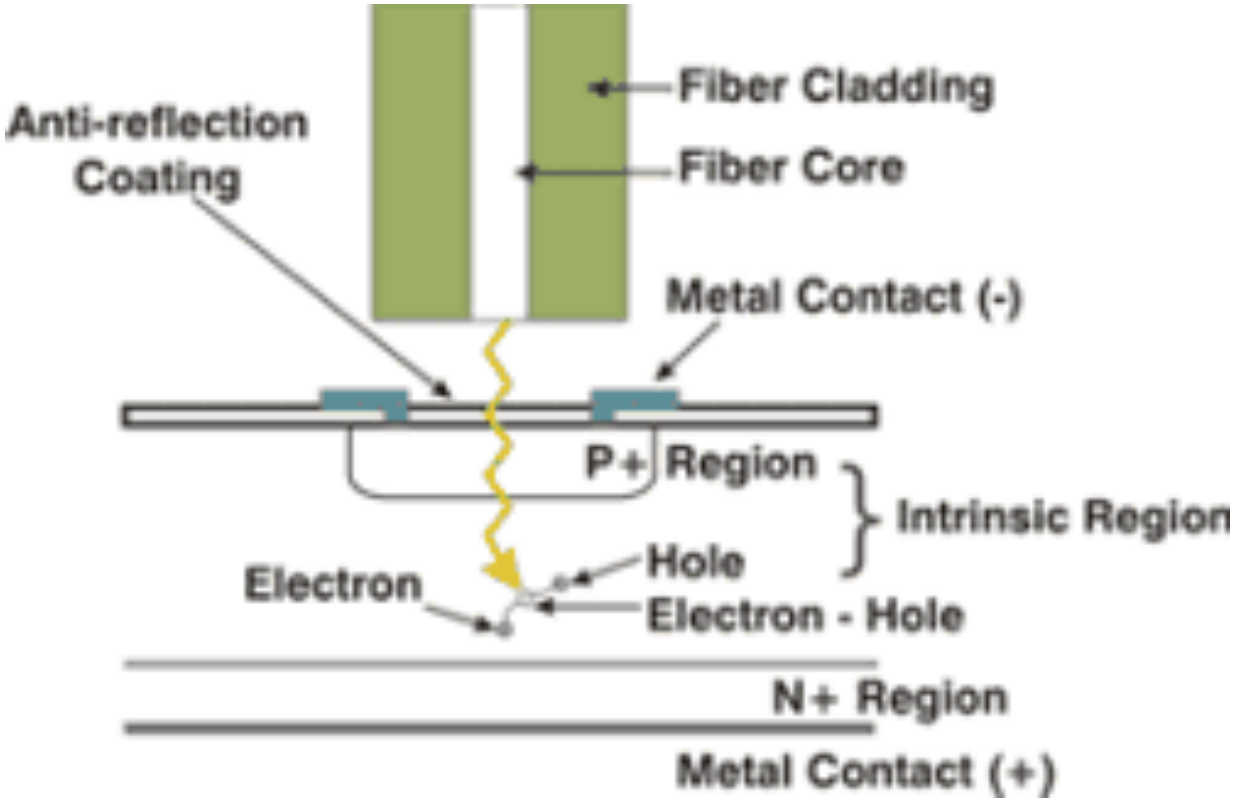
เซนเซอร์ตรวจจับแสงสว่าง

- Photo Diode
- Photo Resistance

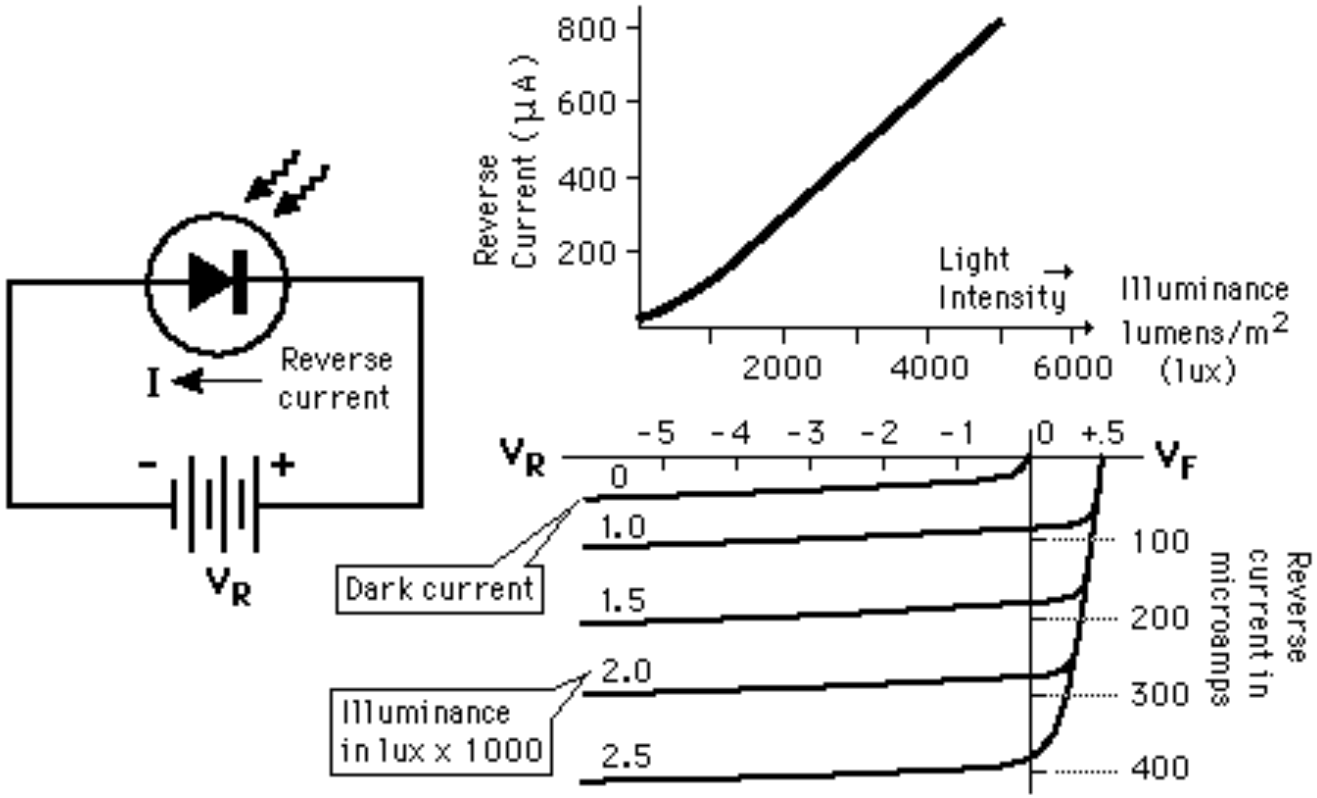
Photo Diode

- เป็นการใช้พลังงานจากแสง ในการให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ แทนการไบอัสจากแหล่งจ่าย
- จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จะแปรผันตรงกับความเข้มแสง
- เมื่อเพิ่มค่าความเข้มแสงถึงค่าหนึ่ง จะไม่มีการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนอีก → **ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region)**
- ขณะไม่มีแสงตกกระทบ จำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดนี้เรียกว่า **“กระแสมืด (dark current)”**

PIN PhotoDiode



คุณลักษณะของโฟโต้ไดโอด



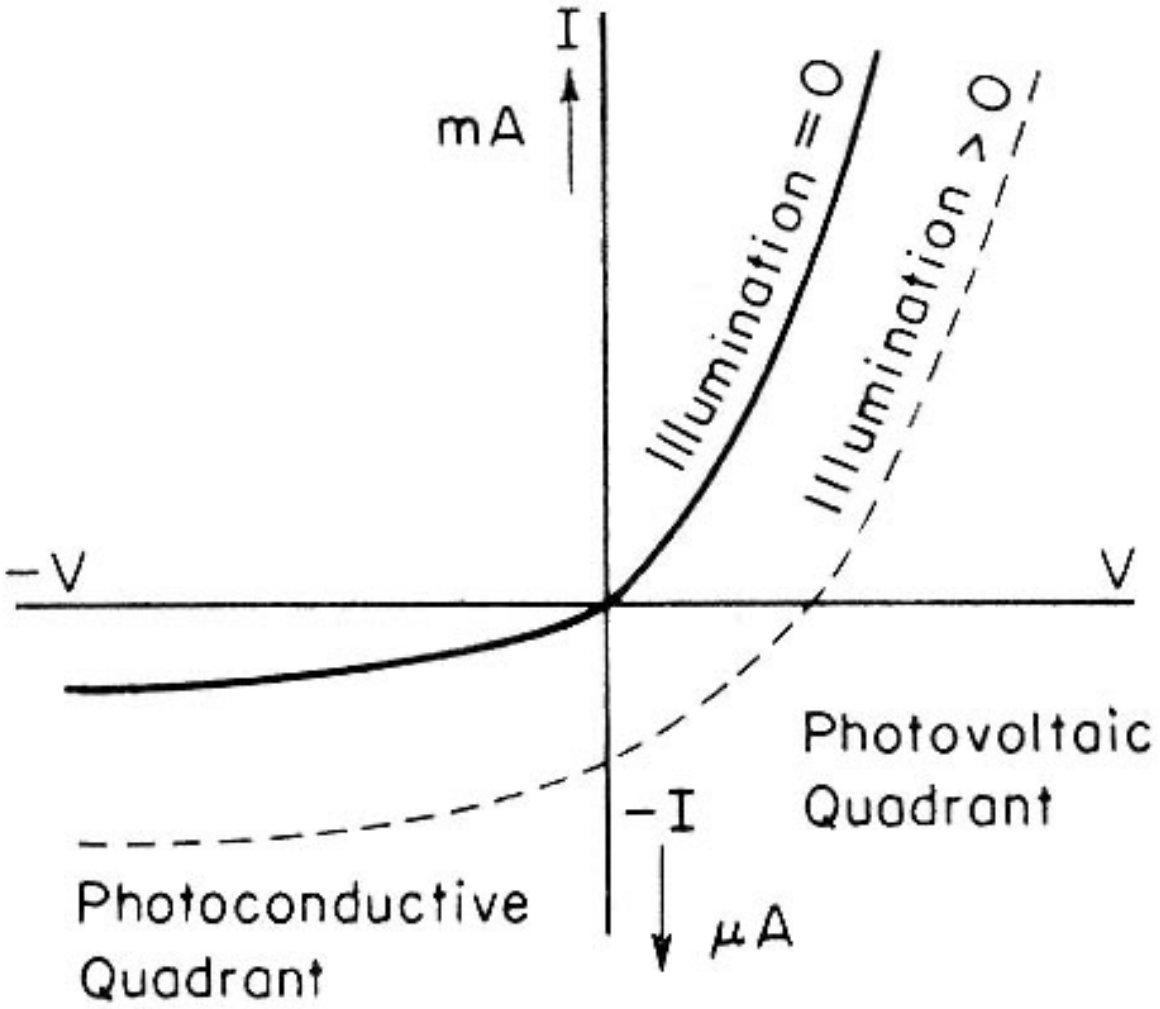
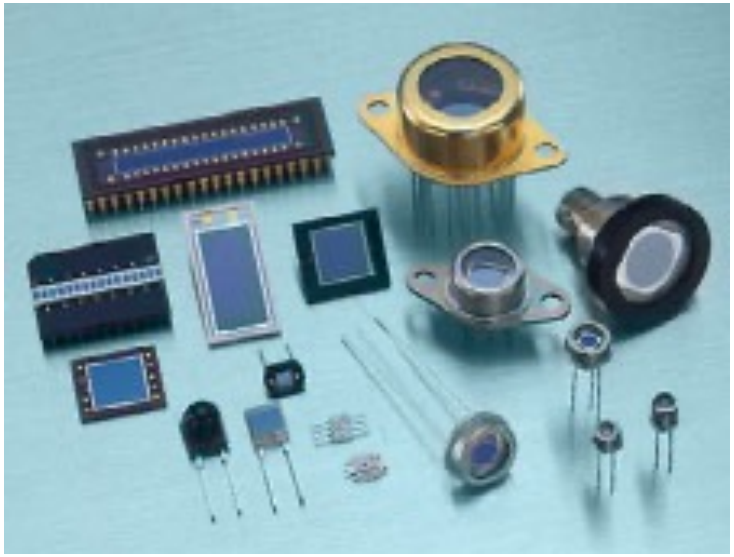
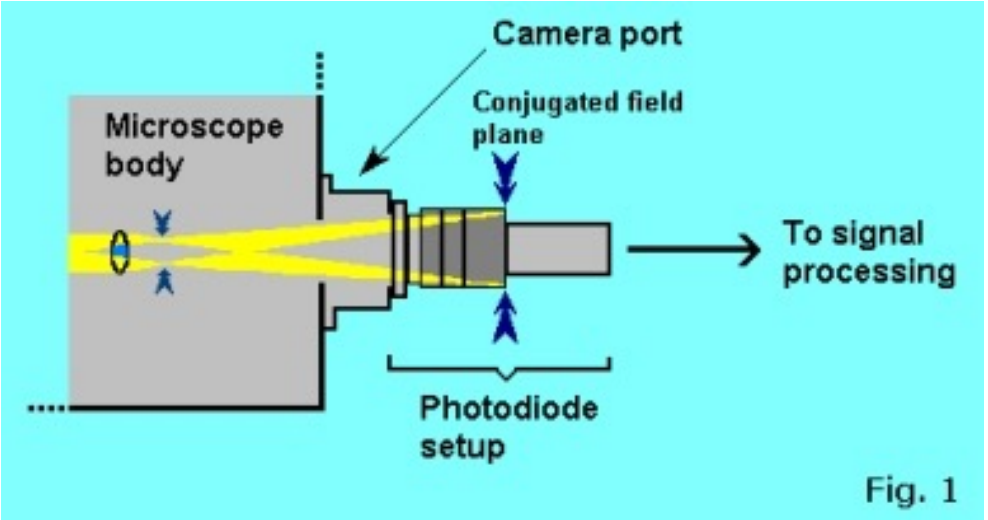


Figure 11-34 Current-voltage characteristics of a photojunction diode.



การประยุกต์ใช้งานโฟโต้ไดโอด

ตัววัดแสง
ในกล้องถ่ายรูป



วงจรการต่อใช้งานของ PhotoDiode

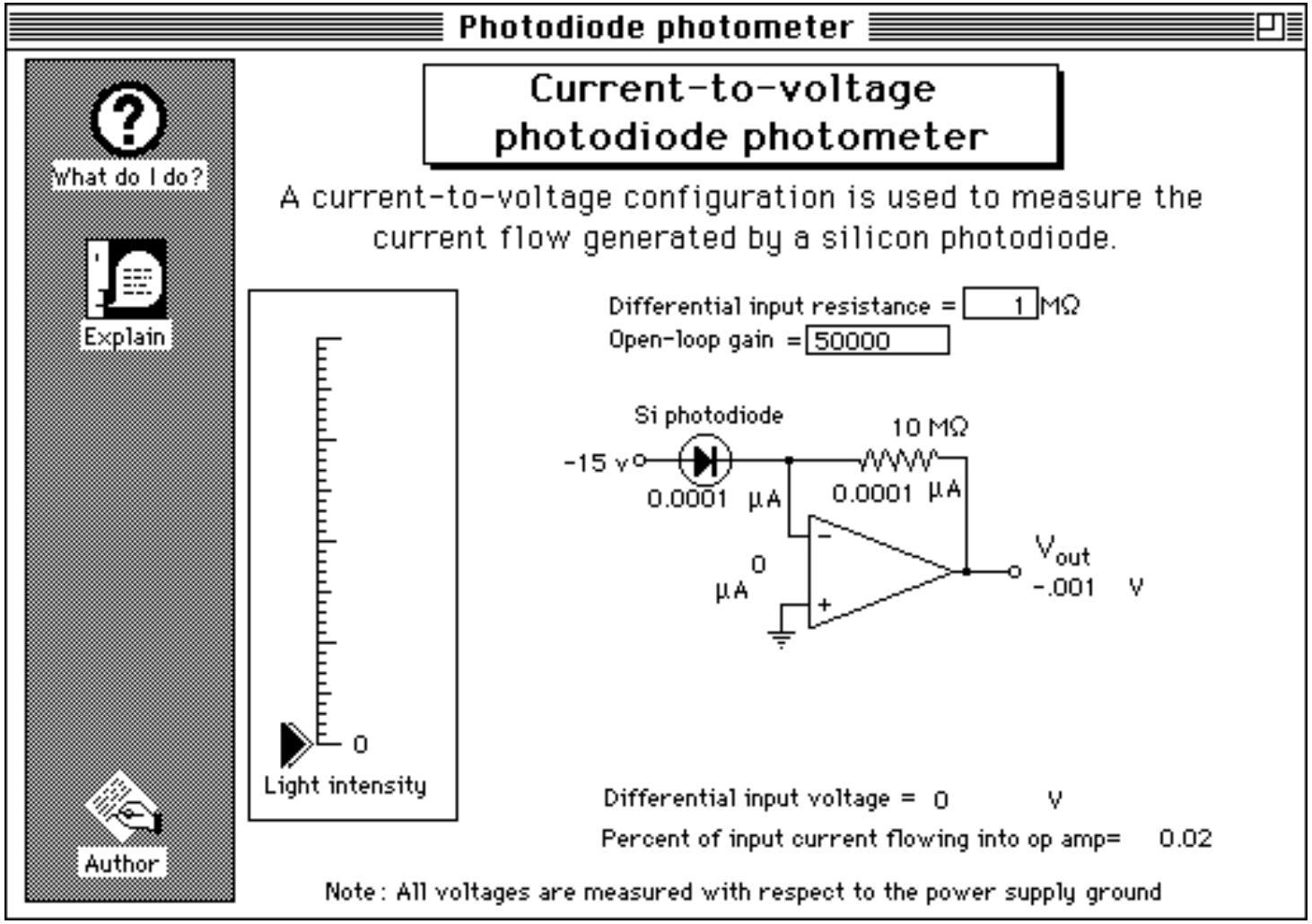
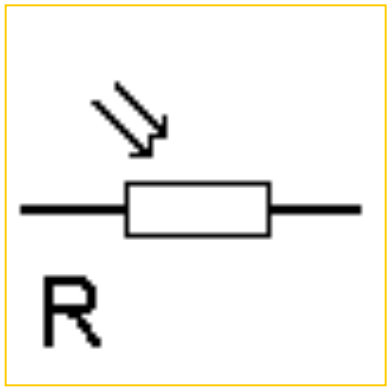
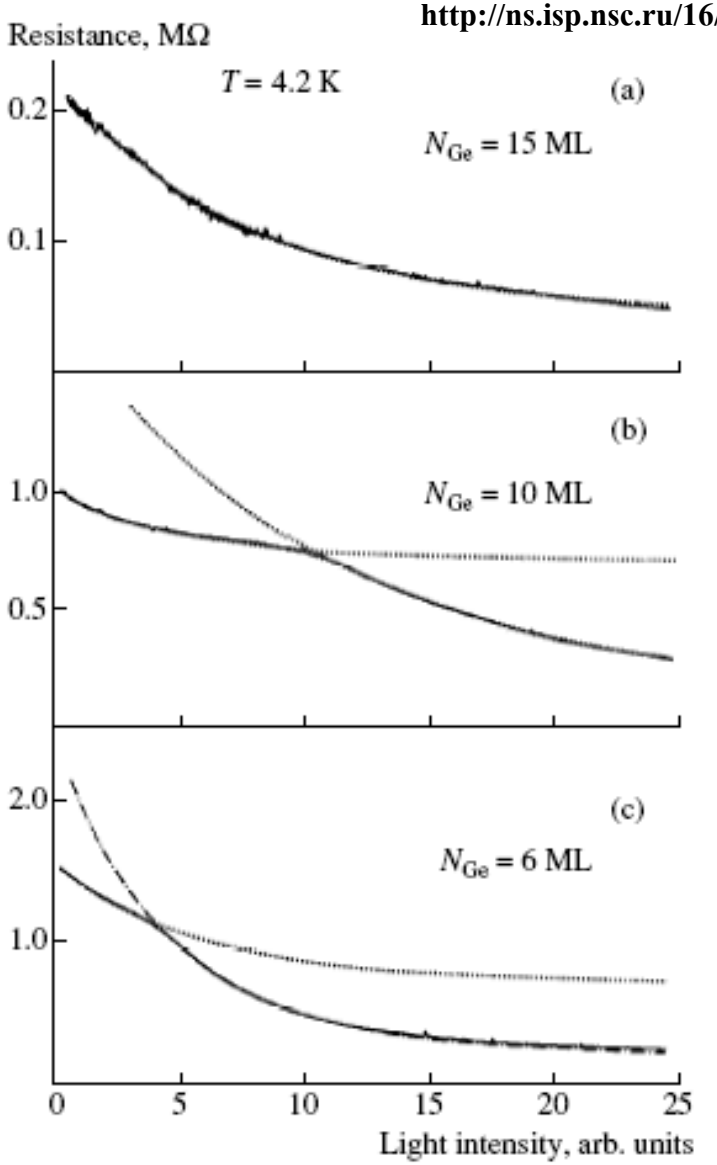


Photo Resistor/ Photo Conductive

- ความต้านทานในขดลวด จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสง
- สารที่ใช้ทำเป็นพวก semiconductor เช่น Si, Ge, CdS
- ความต้านทานจะแปรผกผันกับค่าความเข้มแสง



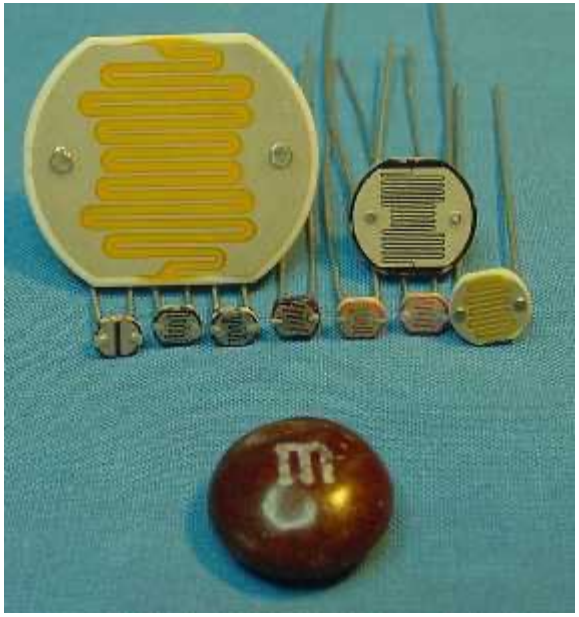
http://ns.isp.nsc.ru/16/Renew/pgs/Science/pdf/Shegai_Photoresistance%20of%20SiGe.pdf

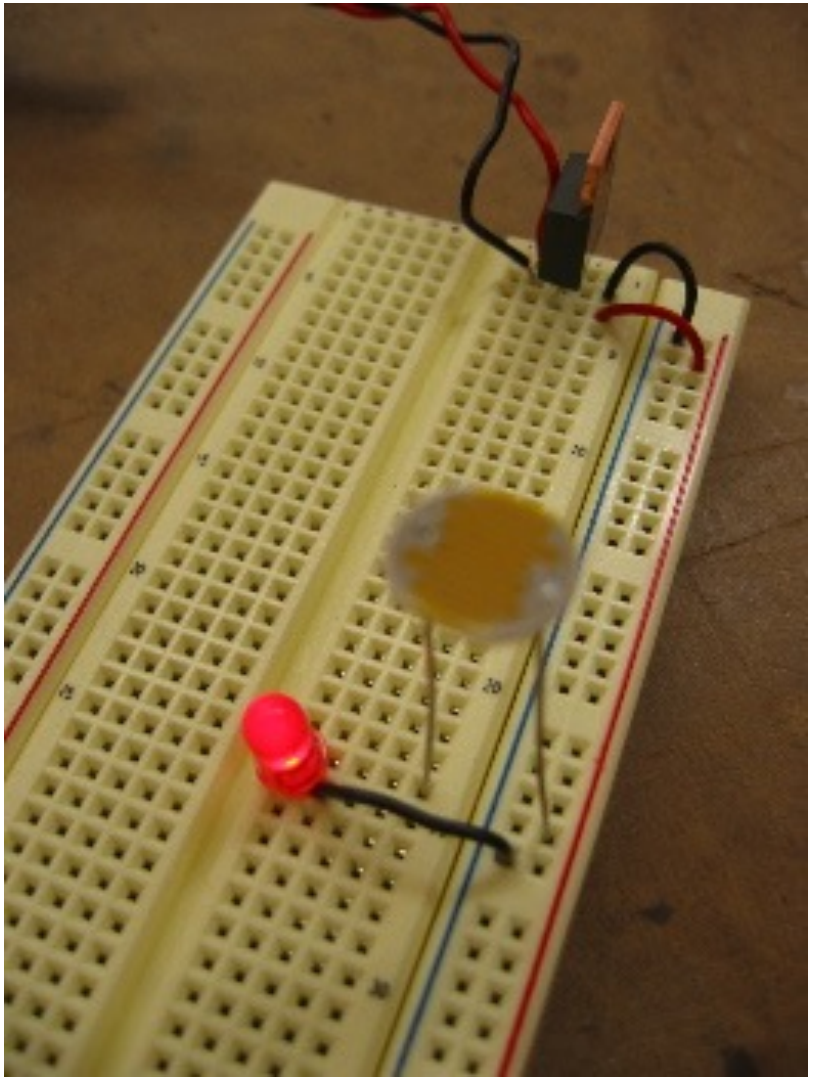


$$R = \Delta R_0 \exp\left(-I / I_0\right) + R\infty$$

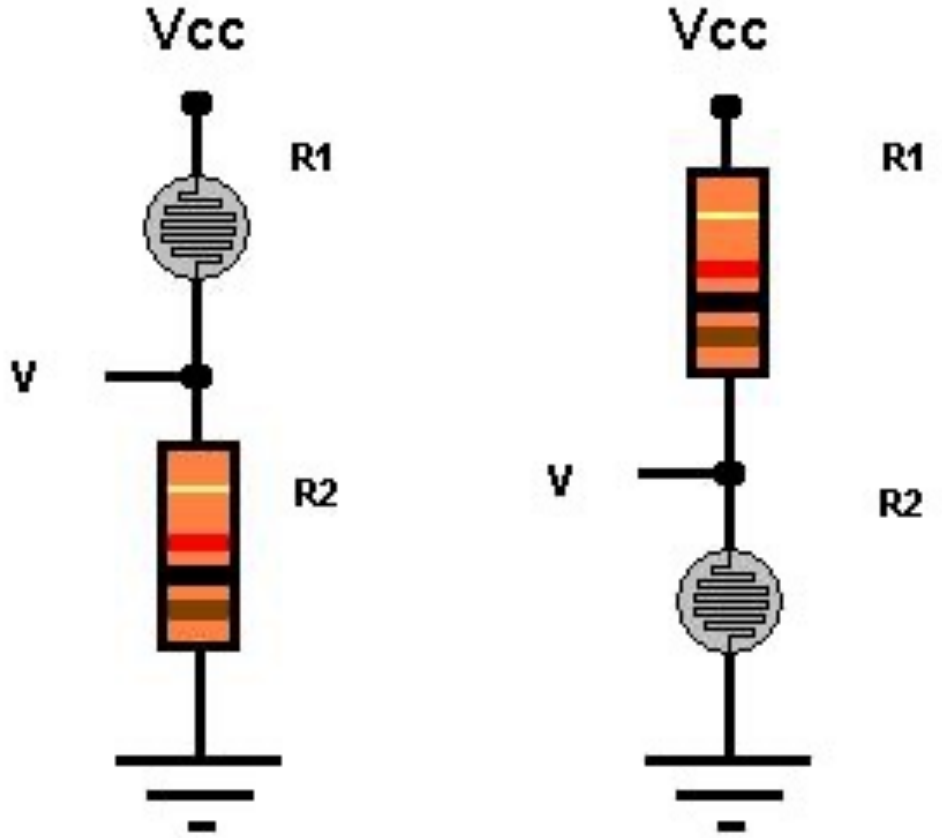
Here, $\Delta R_0 = R_0 - R_\infty$, R_0 is the resistance of the structure in the dark, R_∞ is the resistance of the structure for a fairly high light intensity (R_∞ is independent of the light intensity); and I_0 is the illumination intensity at which ΔR_0 decreases by e times. The magnitude of ΔR_0 is about 80% of that of R_0. As the current through the structure increases, an increase in I_0 and in the relative fraction of R_∞ is observed as a rule.

Si/Ge/Si



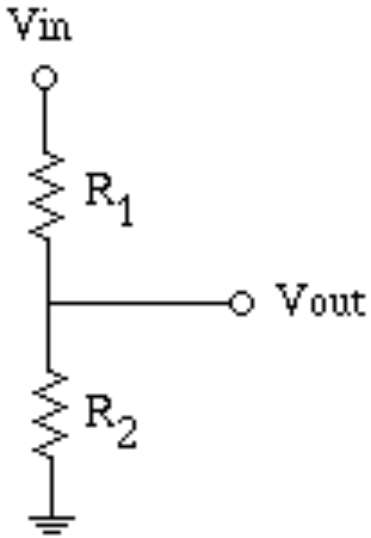


วงจรการต่อใช้งานของ Photo Resistor



Voltage Divider

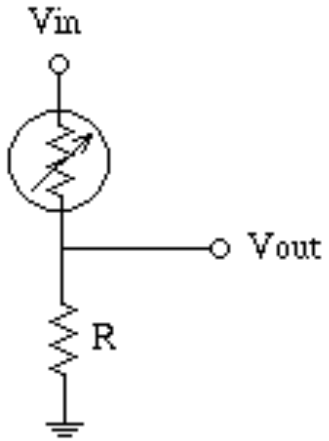
Voltage Divider



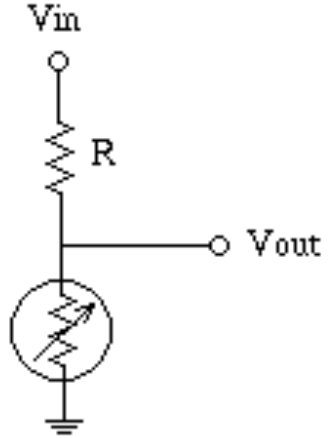
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Using Photoresistors

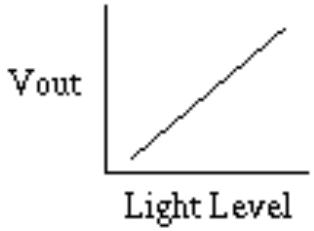
(The symbols with the circles are the photoresistors.)

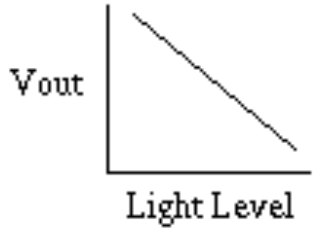


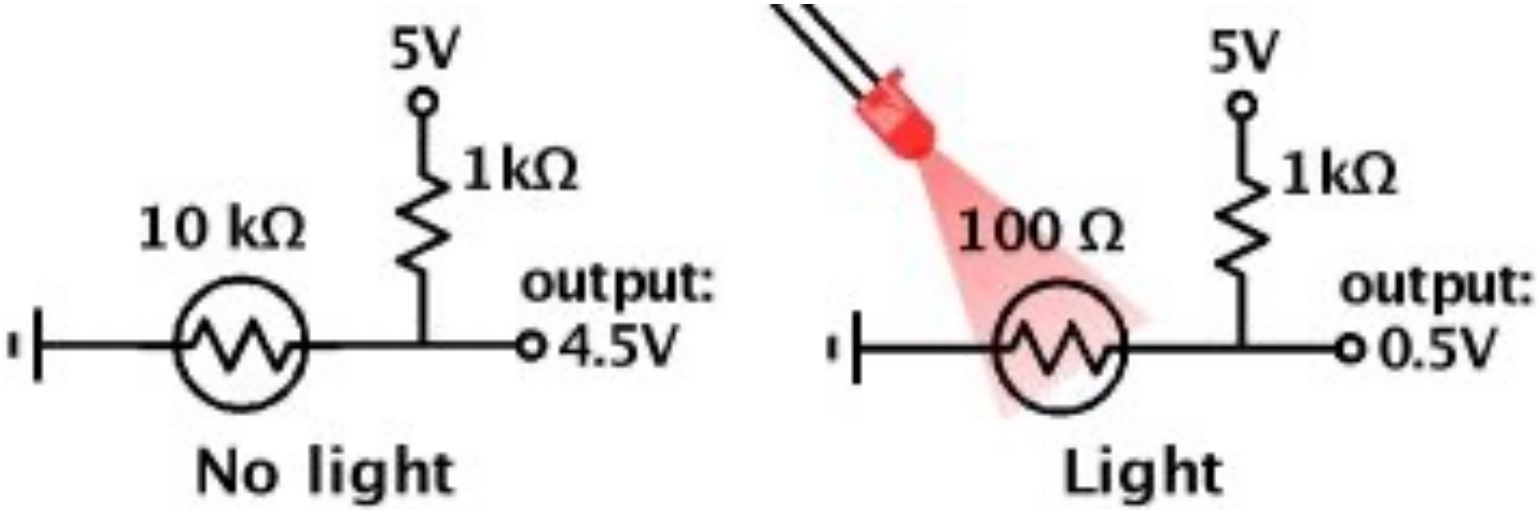
This circuit gives an output voltage that increases with the light level.



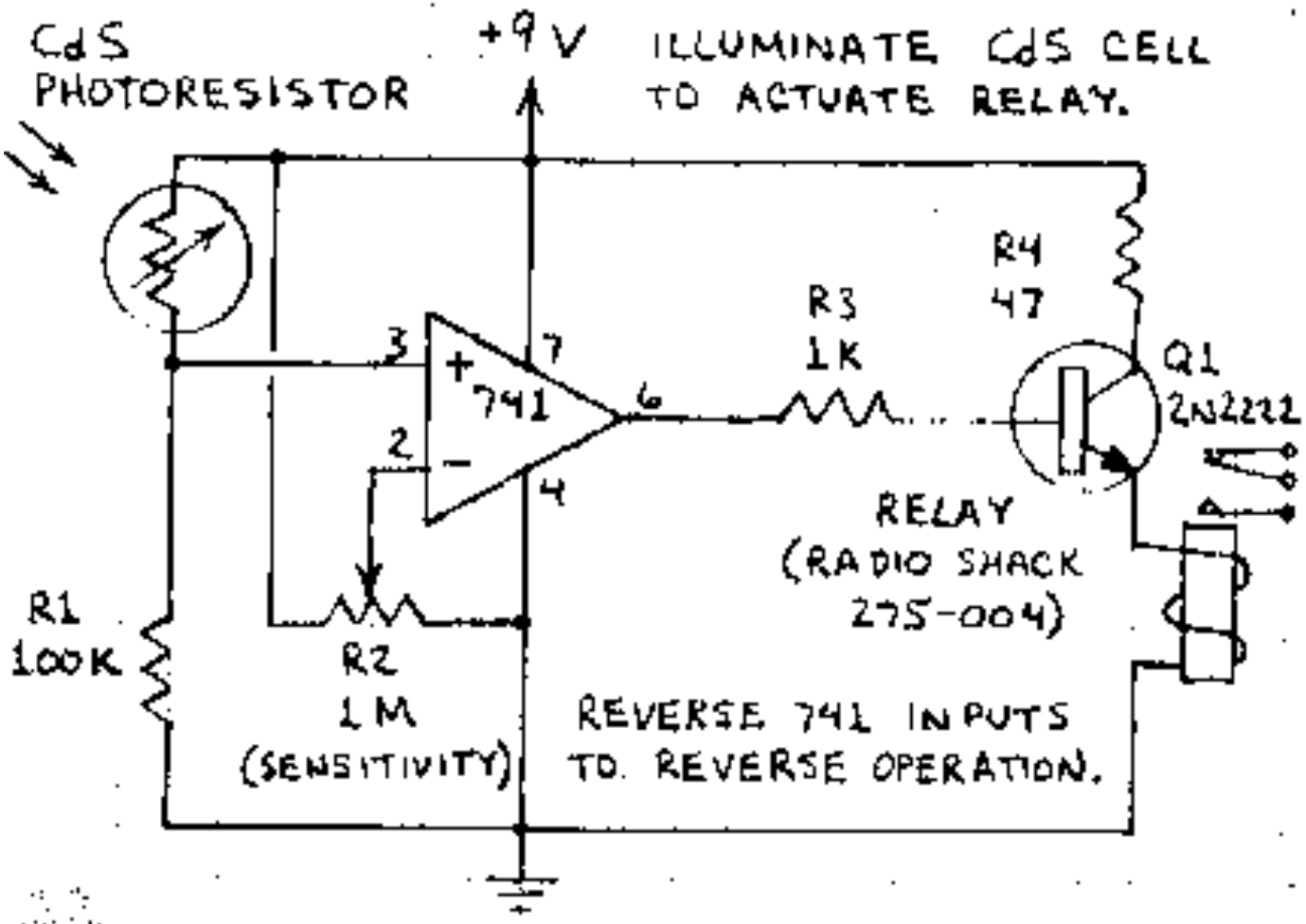
This circuit gives an output voltage that decreases with the light level.






5V
1kΩ
10 kΩ
output:
4.5V
No light
5V
1kΩ
100 Ω
output:
0.5V
Light

PHOTORESISTOR:



Source: Engineer's Mini-Notebook
Title: 555 Timer IC Ciruits
Author: Forrest M. Mims III

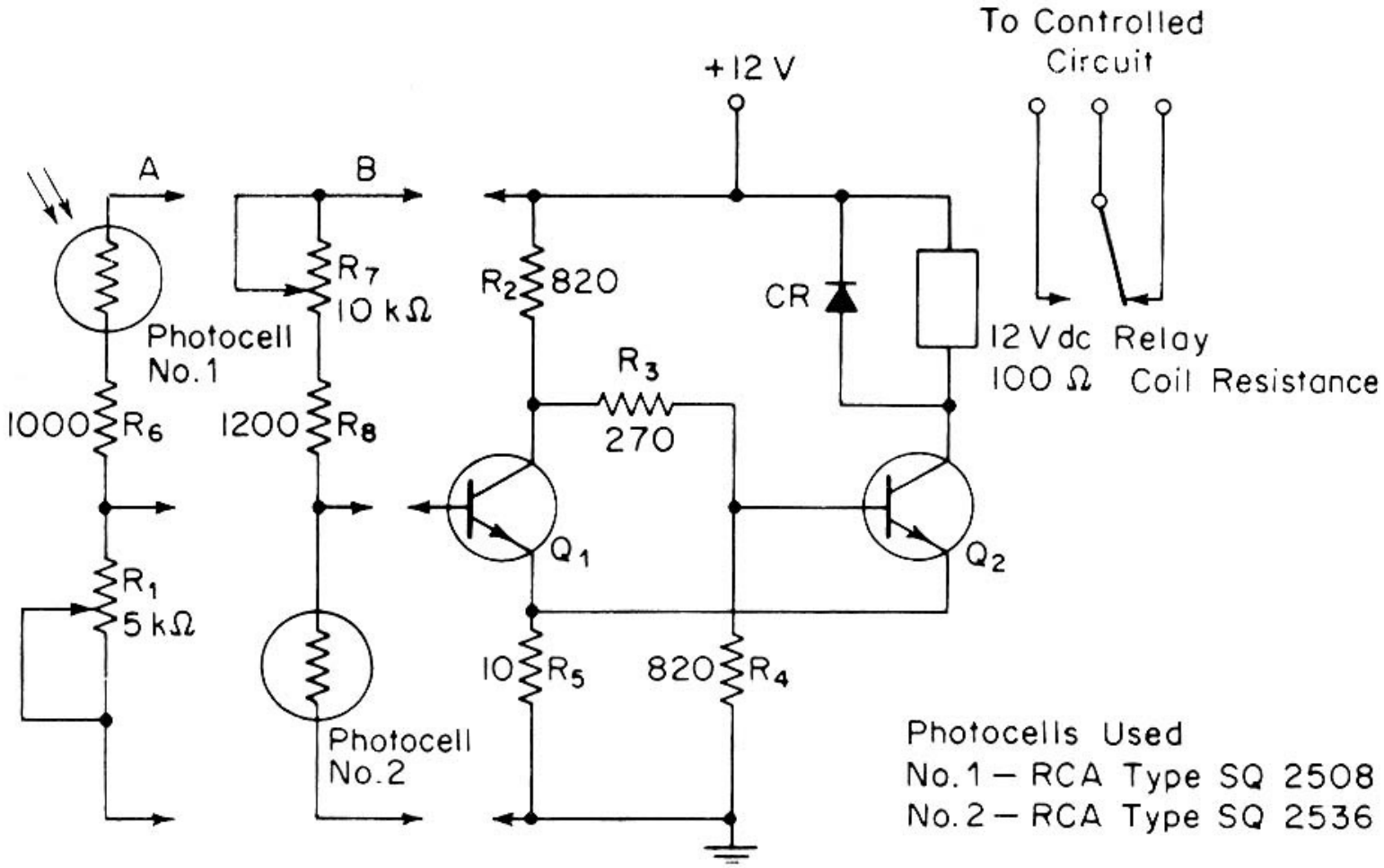


Figure 11-33 Twelve-volt photocell control circuit. (Courtesy of RCA, Electronic Components and Devices Division.)

END OF SECTION