



ดร.อภิรักษ์ รัตนฤมิต

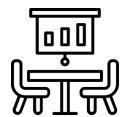
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

รองผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ติดต่อ



นัดพบ: อังคาร-พฤหัสบดี หรือตามที่นัดหมาย



ห้องรองผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้น 2 อาคาร 31



Line ID: Ruktory



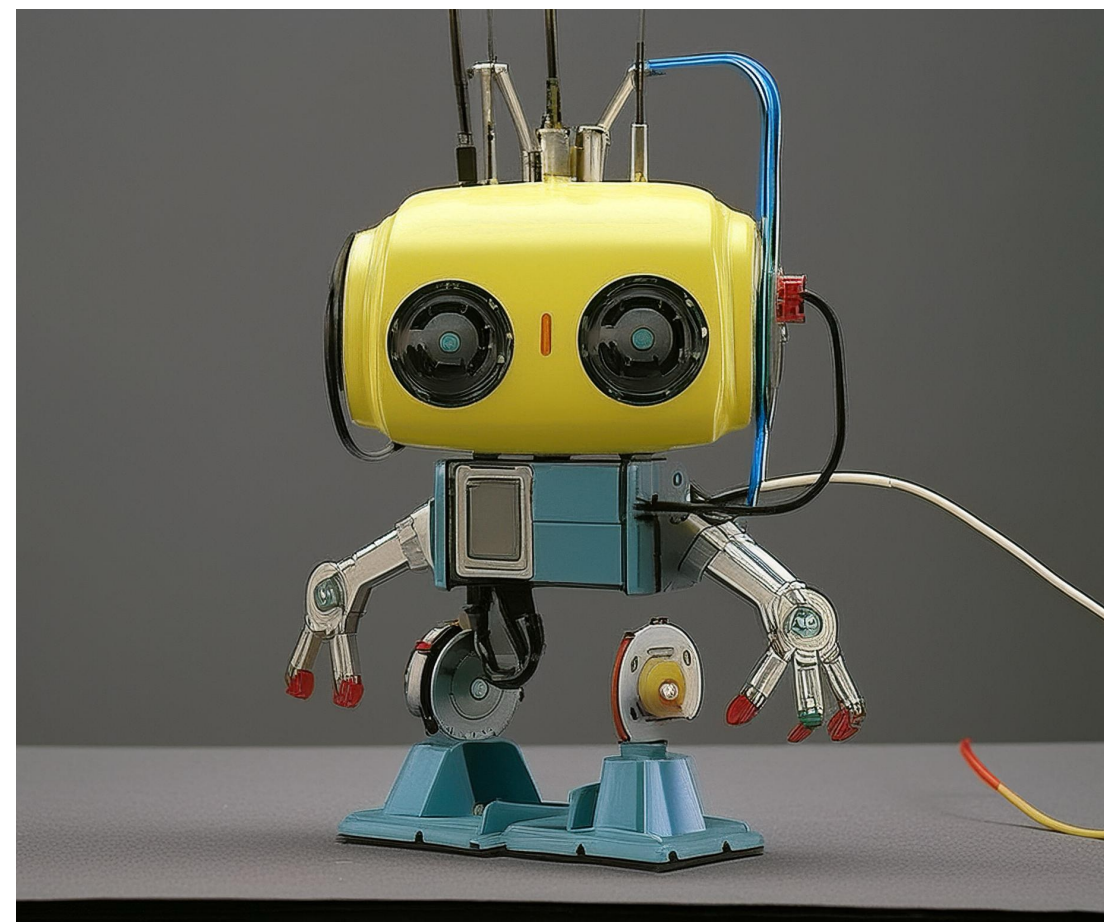
Website: https://elfit.ssru.ac.th/aphirak_th/



E-Mail: aphirak.th@ssru.ac.th



Phone: 0-2160-1226



RBE2001 เซนเซอร์และอุปกรณ์ขับเคลื่อน

Sensors and Actuator

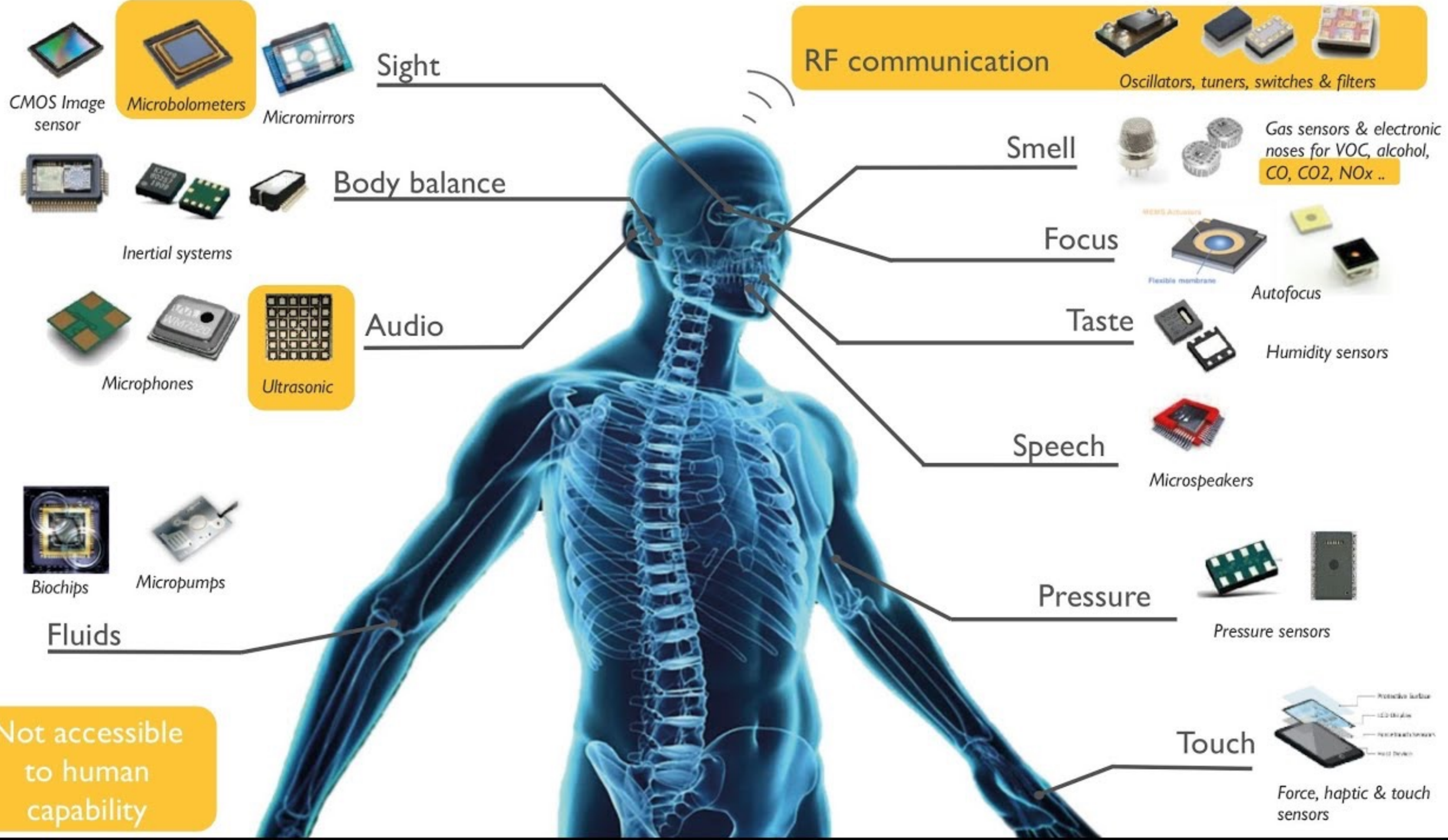
คำอธิบายรายวิชา

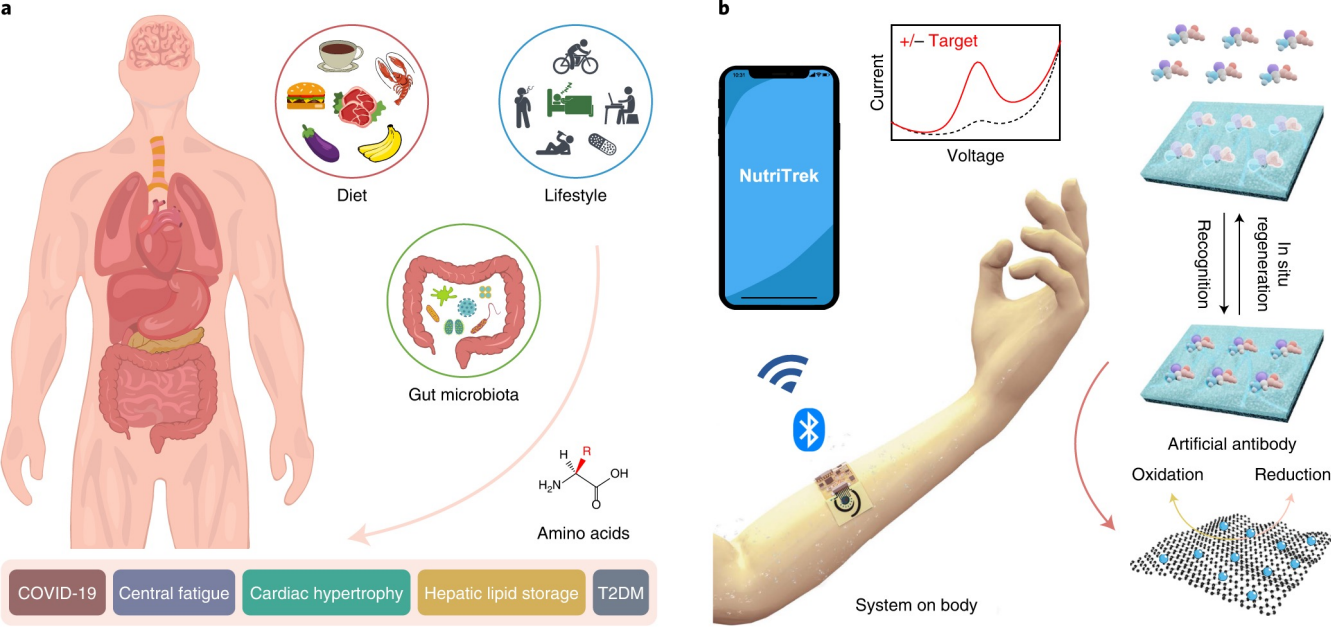
เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ การวัดอุณหภูมิ ระยะขจัด แรงกระทำทางกล ปริมาตร น้ำหนักและระดับของเหลว ความดันอากาศ การไหลและอัตราการไหล มอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ เซอร์โวมอเตอร์ และการประยุกต์ใช้งาน ในการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์

Sensors and transducers, measurement of temperature, displacement, mechanical force, volume, liquid weight and level, air pressure, flow and flow rate, dc and ac motors, servo motor, and actuator implementation for robots

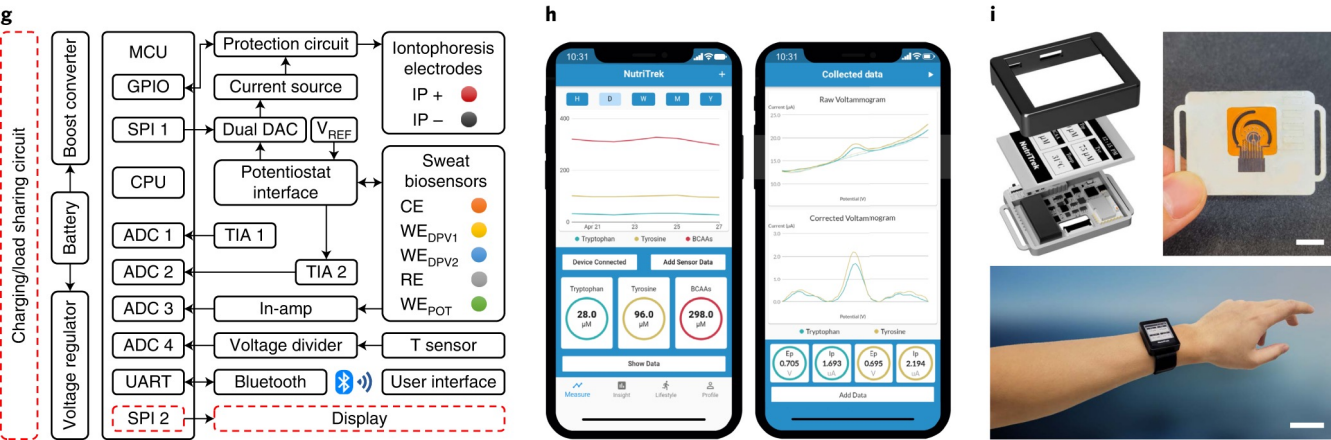
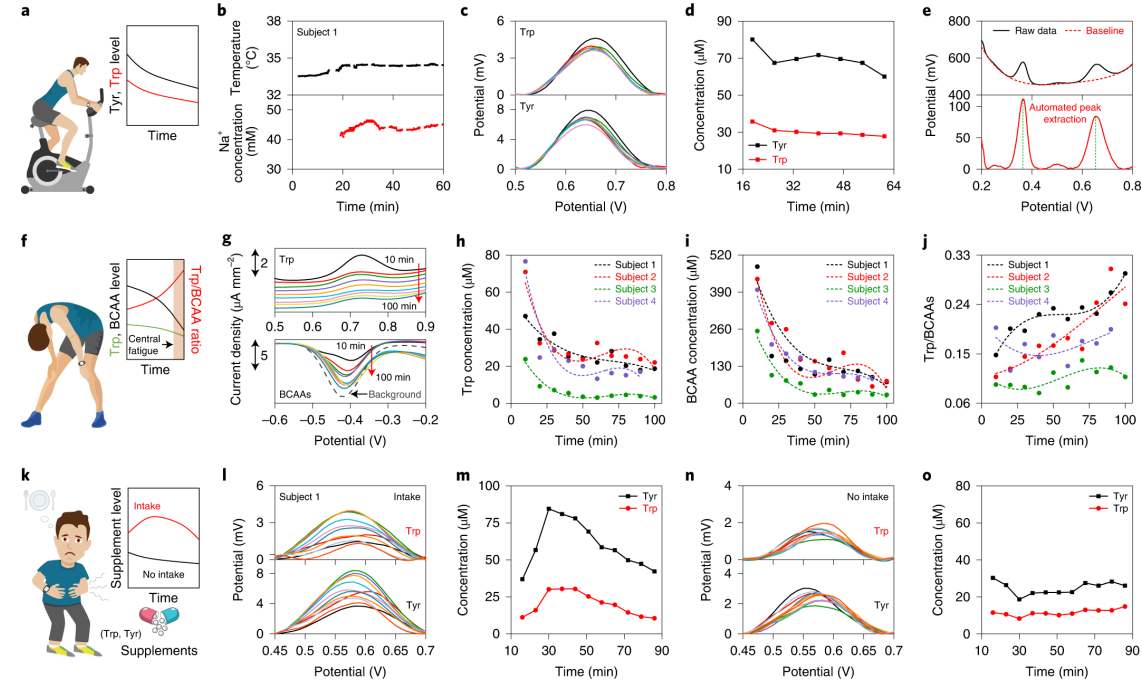
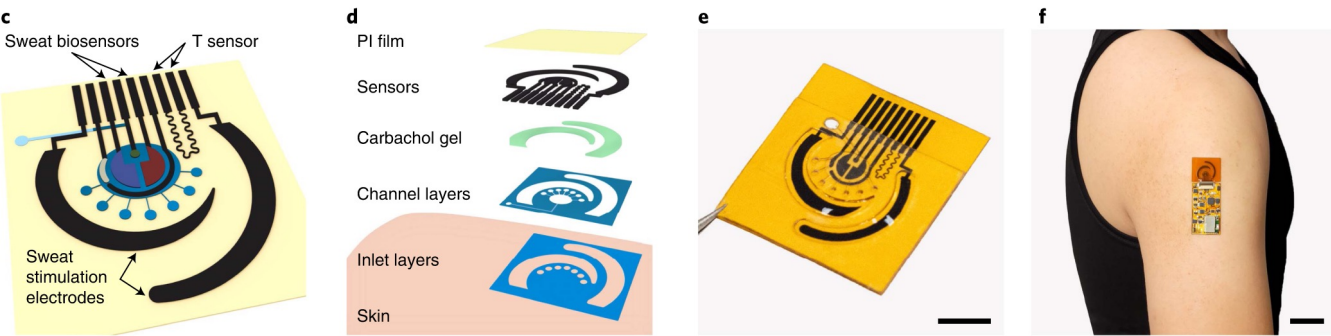
เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์

Sensor and Transducers





A wearable electrochemical biosensor for the monitoring of metabolites and nutrients



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

เซนเซอร์(sensor)

- ตรวจจับสัญญาณที่เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น ตำแหน่ง อุณหภูมิ แสง แสง
- จะส่งค่าที่วัดได้ ไปแปลงเป็นเป็นปริมาณทางไฟฟ้า เพื่อการวัด การประมวลผล และการควบคุม ต่อไป

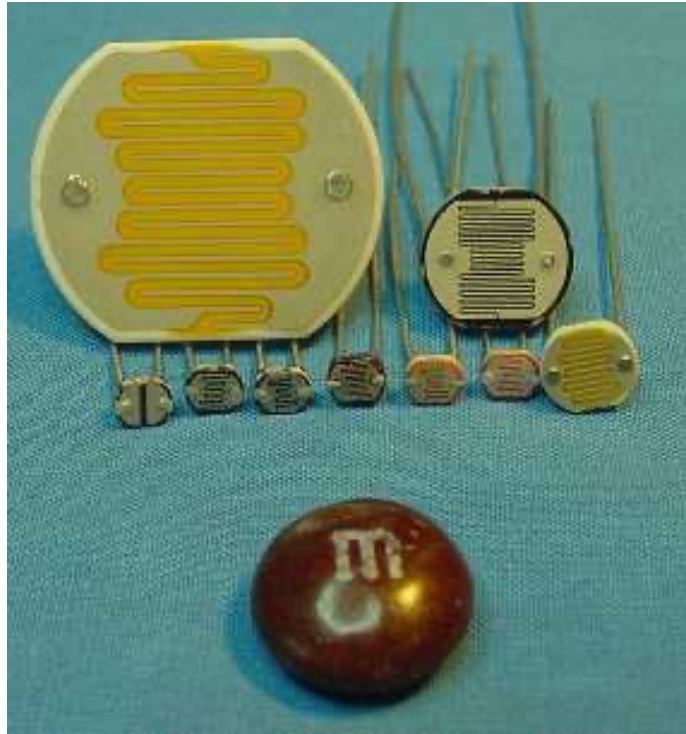
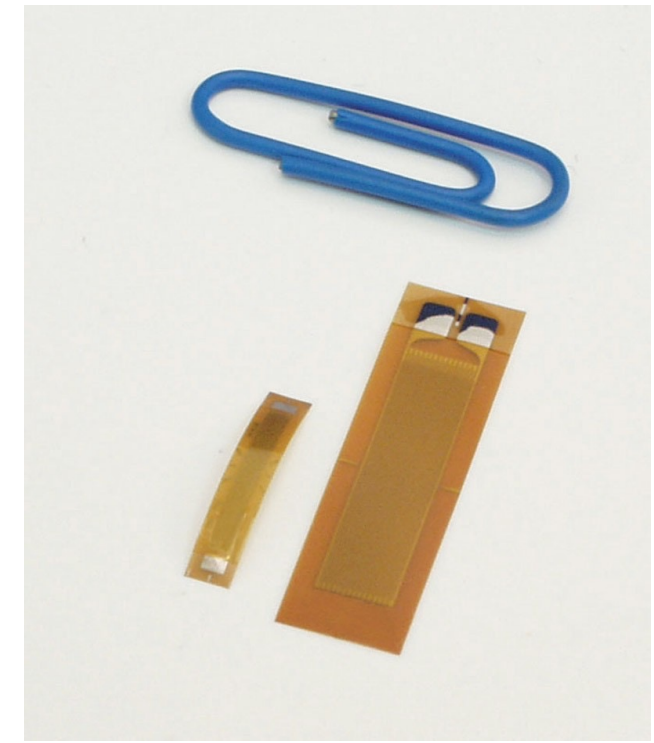
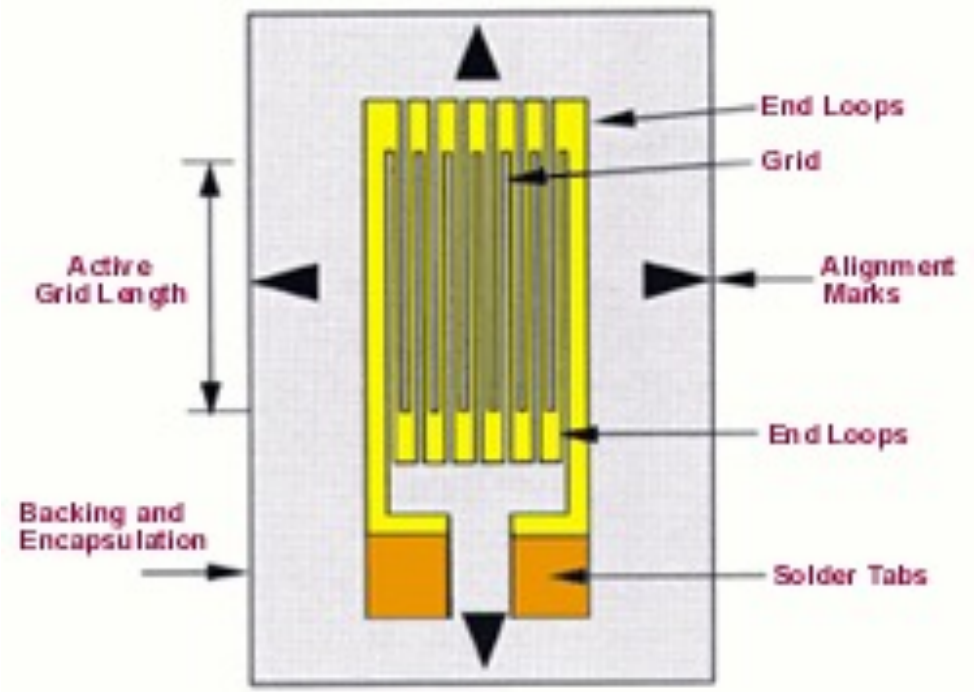


Photo resistor



Thermocouple & Thermistor

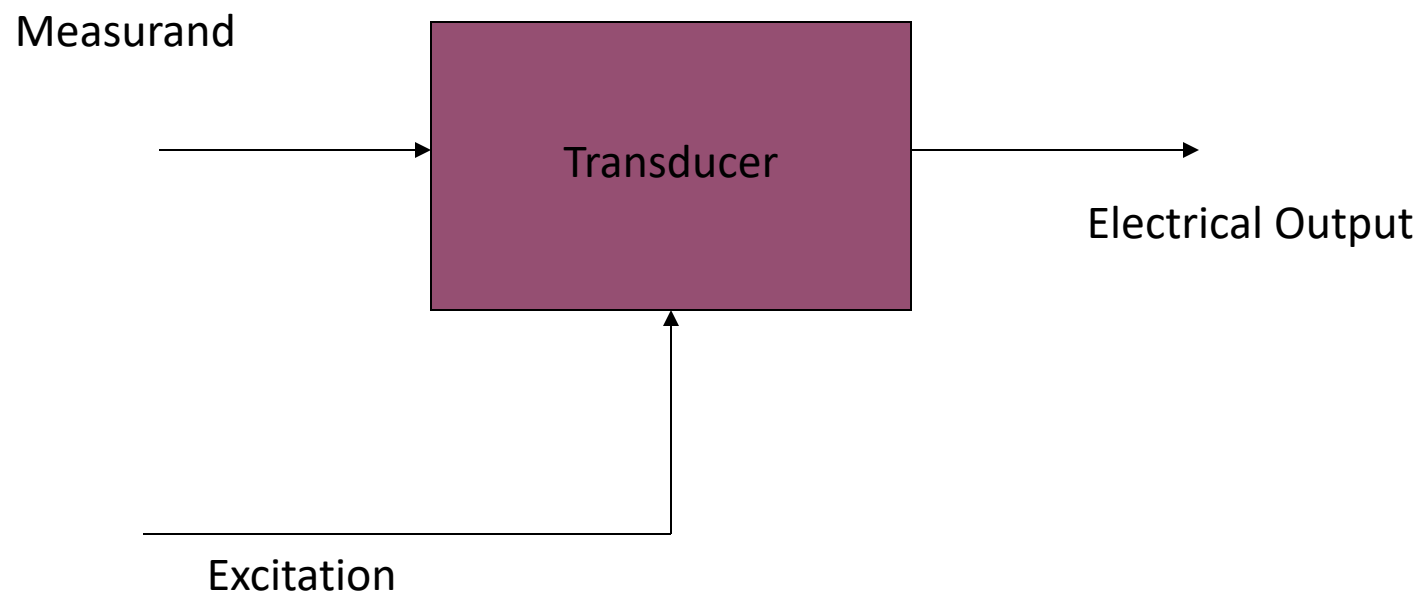


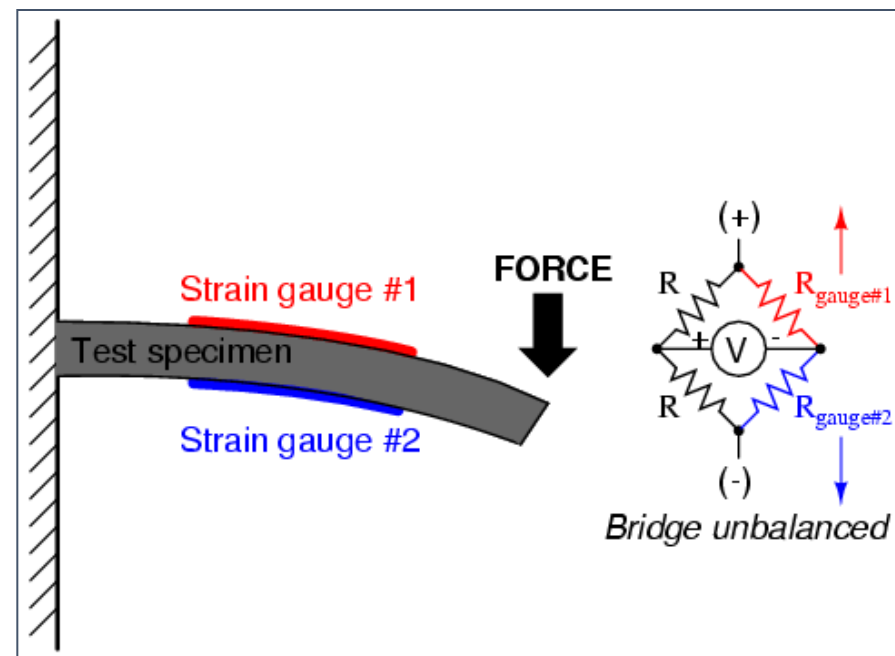
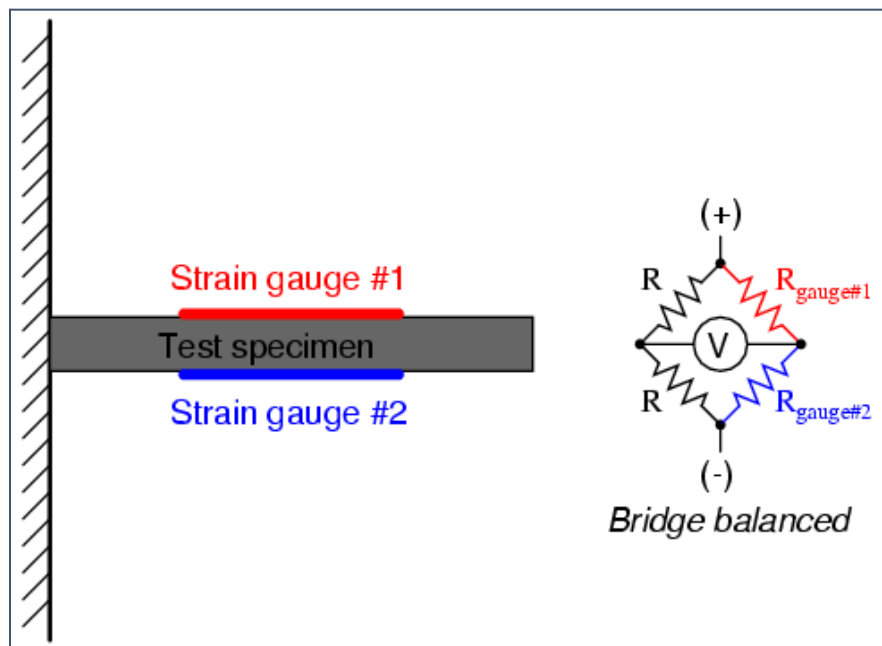
Strain Gauge

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

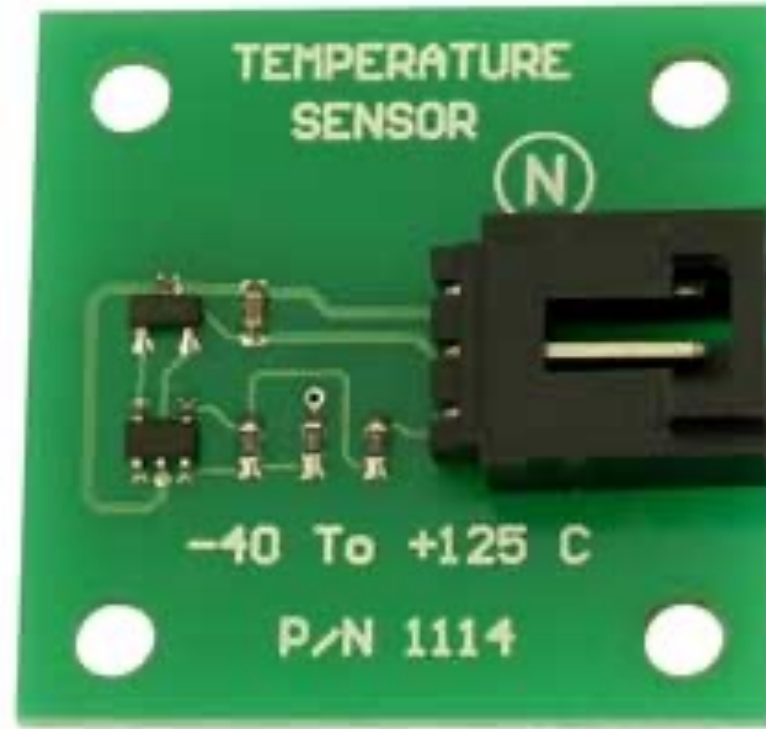
- อุปกรณ์ที่เปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่หมายถึง **การเปลี่ยนรูปปริมาณที่ไม่ใช่ปริมาณทางไฟฟ้า ไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้า**
- หน้าที่ของทรานสดิวเซอร์
 - ตรวจจับปริมาณที่ต้องการวัด
 - สร้างสัญญาณทางไฟฟ้า

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)





Loading Transducer by Strain Gauge



เครื่องวัดอุณหภูมิ

Temperature Transducer

หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล ✕

เทอร์มิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
<ul style="list-style-type: none"> ใช้ของเหลวบรรจุในหลอดแก้วปิด (Thermometer) 	Δ อุณหภูมิ \rightarrow เทอร์มิเตอร์ $\rightarrow \Delta$ การขยายตัวของของเหลว	ปรอท แอลกอฮอล์	-130 ถึง 315° C [-200 ถึง 600° F]
<ul style="list-style-type: none"> เปลี่ยนการขยายตัวเป็นความดัน (Filled Thermal) 	Δ อุณหภูมิ \rightarrow เทอร์มิเตอร์แบบ Filled Thermal $\rightarrow \Delta$ ความดัน $\rightarrow \Delta$ ปริมาตร	ปรอท แอลกอฮอล์	-185 ถึง 540° C [-300 ถึง 1000° F]
<ul style="list-style-type: none"> แบบแถบโลหะคู่ 	Δ อุณหภูมิ \rightarrow ตัววัด Bimetal $\rightarrow \Delta$ ระยะทาง	INVAR-Ni+ Fe+Cr.	-60 ถึง 425° C [-30 ถึง 800° F]

- หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสี ✓

เทอร์มิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
<ul style="list-style-type: none"> ออปติคัลไพโรมิเตอร์ 	ความเข้มของแสง \rightarrow เปรียบเทียบความเข้มของแสง \rightarrow ค่าอุณหภูมิ	-	> 700° C

- หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า

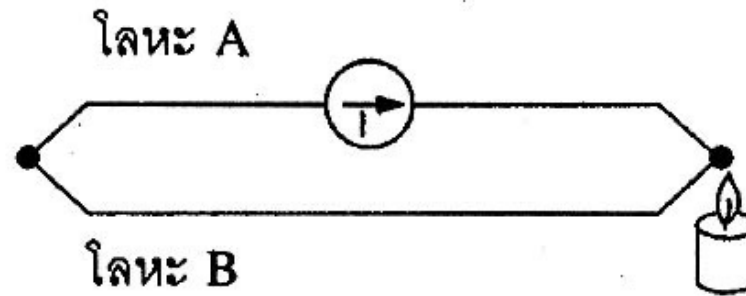
เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
เทอร์โมคัปเปิล	Δ อุณหภูมิ \rightarrow เทอร์โมคัปเปิล $\rightarrow \Delta$ แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แบบ B แบบ S แบบ R แบบ K แบบ E แบบ J แบบ T	600 ~ + 1,700 °C 0 ~ + 1,600 °C 0 ~ + 1,600 °C -200 ~ + 1,200 °C -200 ~ + 800 °C -200 ~ + 800 °C -200 ~ + 350 °C
อาร์ทีดี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

เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ

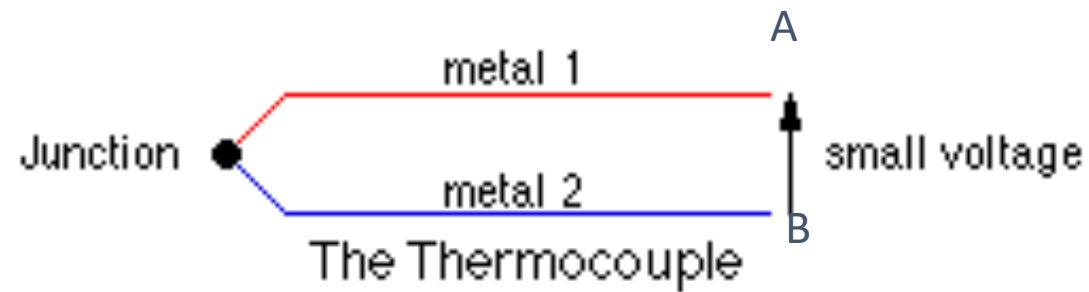
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
- อาร์ทีดี (RTD)
- เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple)

- เมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน
- ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสอง
- ถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียก **“ซีเบ็ค โวลเตจ (Seebeck Voltage)”**



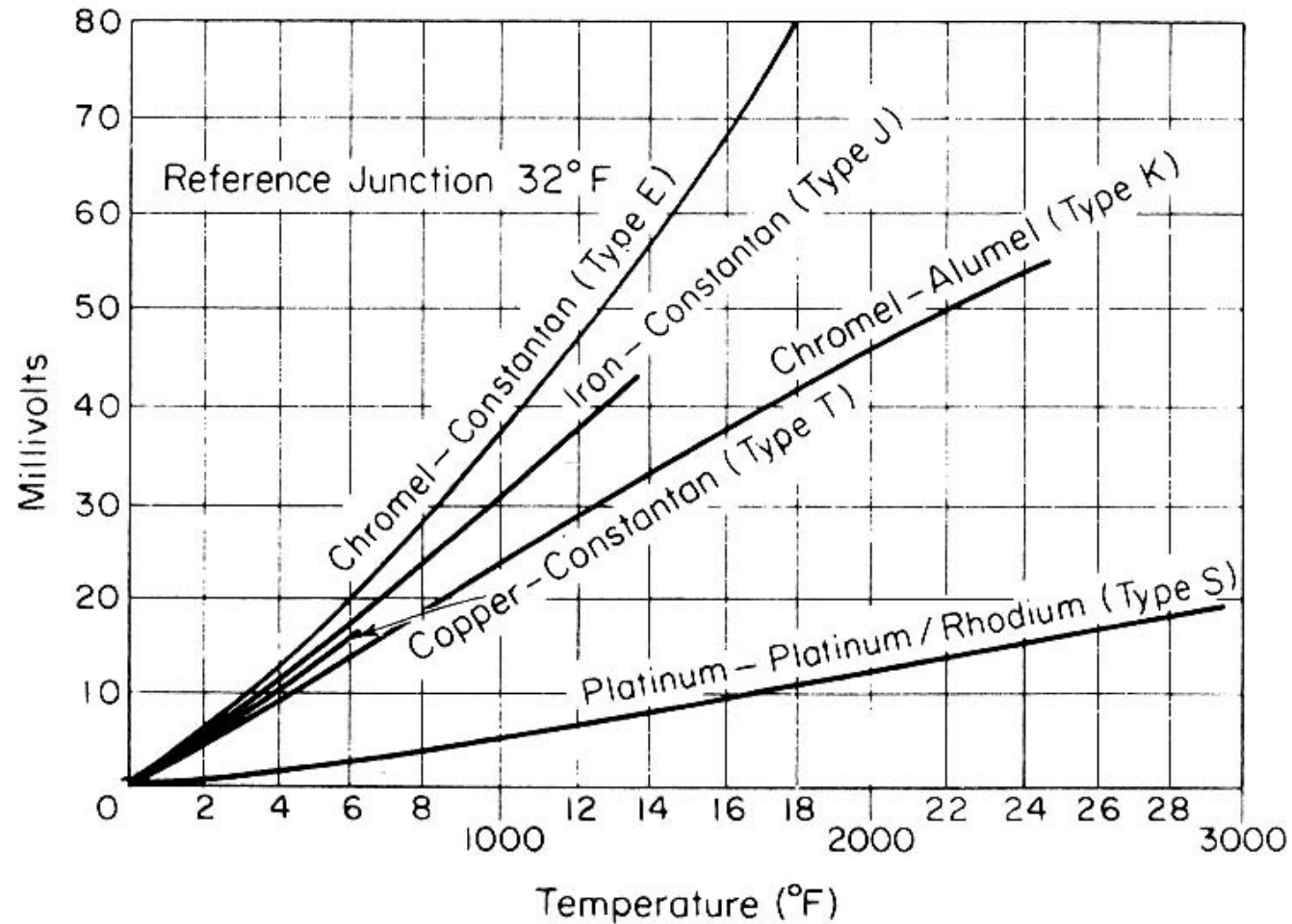
เมื่อเป็นวงจรปิดจะเกิดกระแสไหลวน เปลี่ยนแปลง
ไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง <



$$e_{AB} = aDT$$

Seebeck Voltage

การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

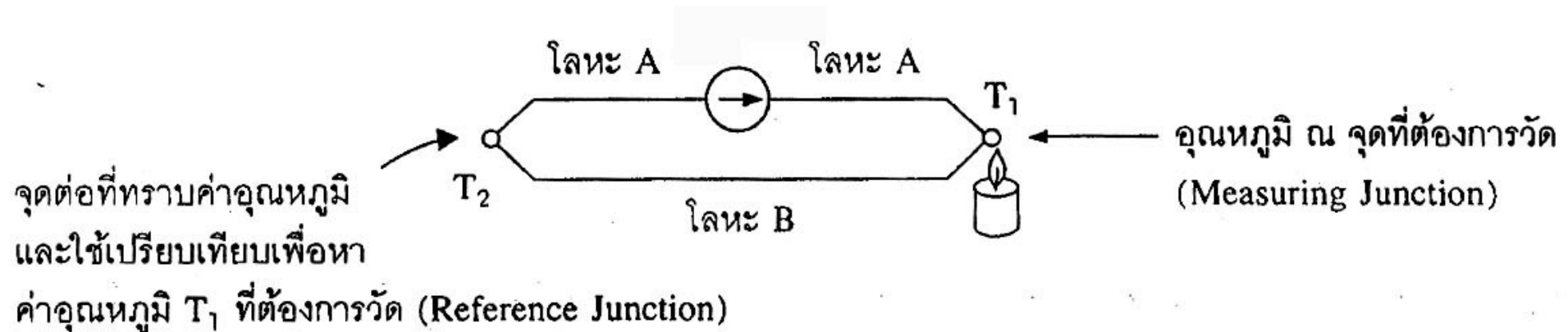


ไม่เป็นเชิงเส้นเล็กน้อย แล้วแต่ชนิดสารที่ใช้

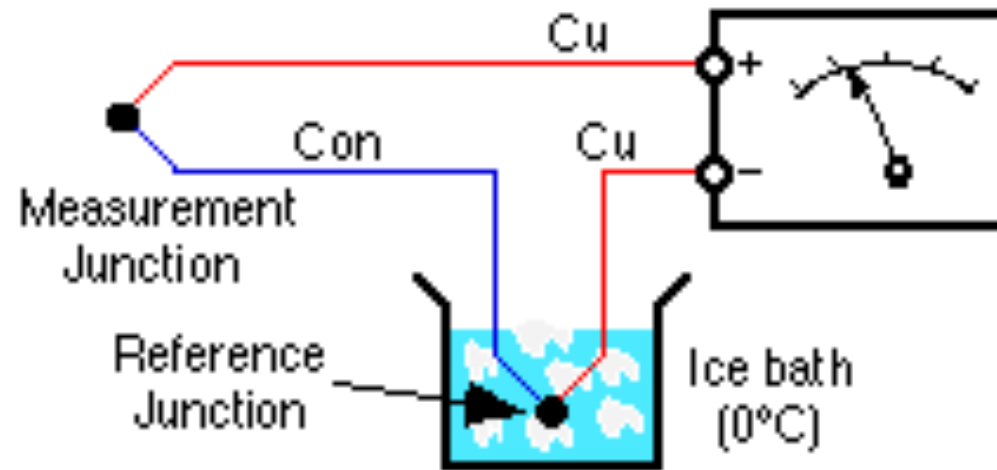
รอยต่ออ้างอิง (Reference Junction)

- จุดต่อจุดหนึ่ง ที่ทราบค่าของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานอยู่
- วิธีการรักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference Junction มี 2 แบบ

1. ใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์ รักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference ที่ 0°C
2. ใช้เทคนิคโวลติสสร้างจุด 0°C สำหรับเครื่องมือวัดทั่วไป

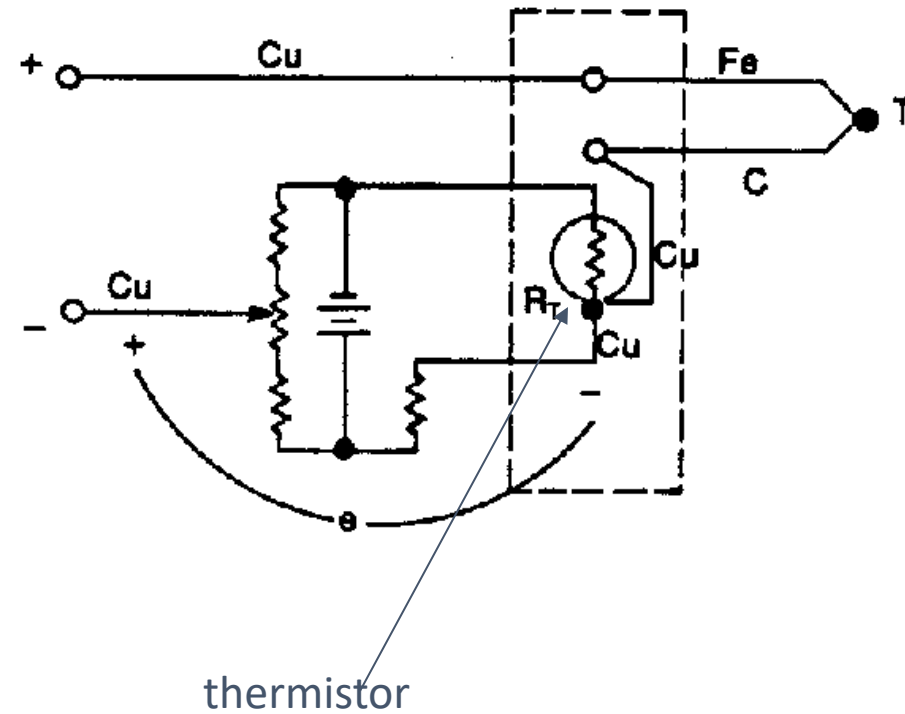
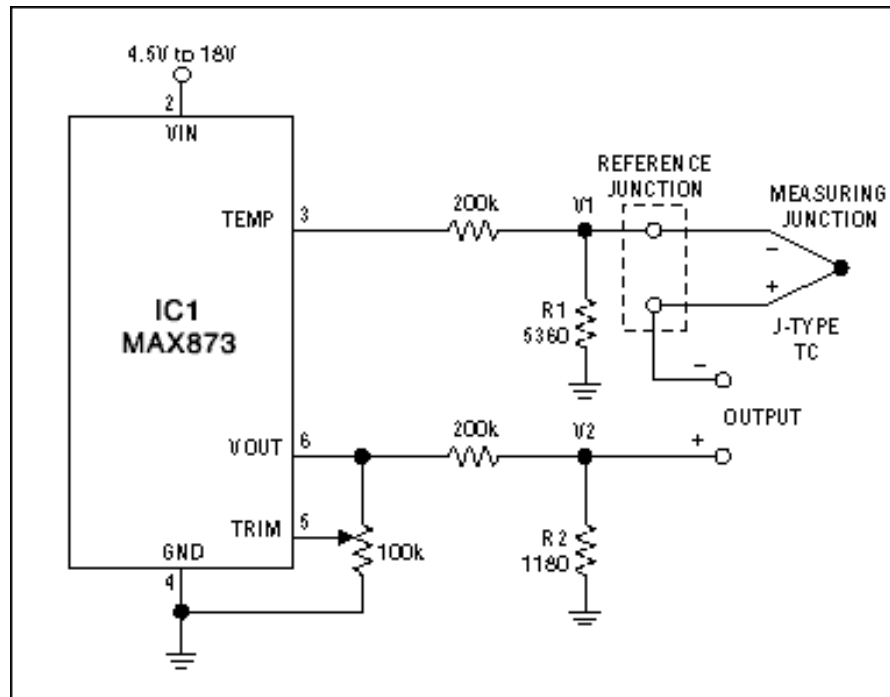


1. ใช้ น้ำแข็งบริสุทธิ์ รักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference ที่ 0°C



Traditional Thermocouple Measurement

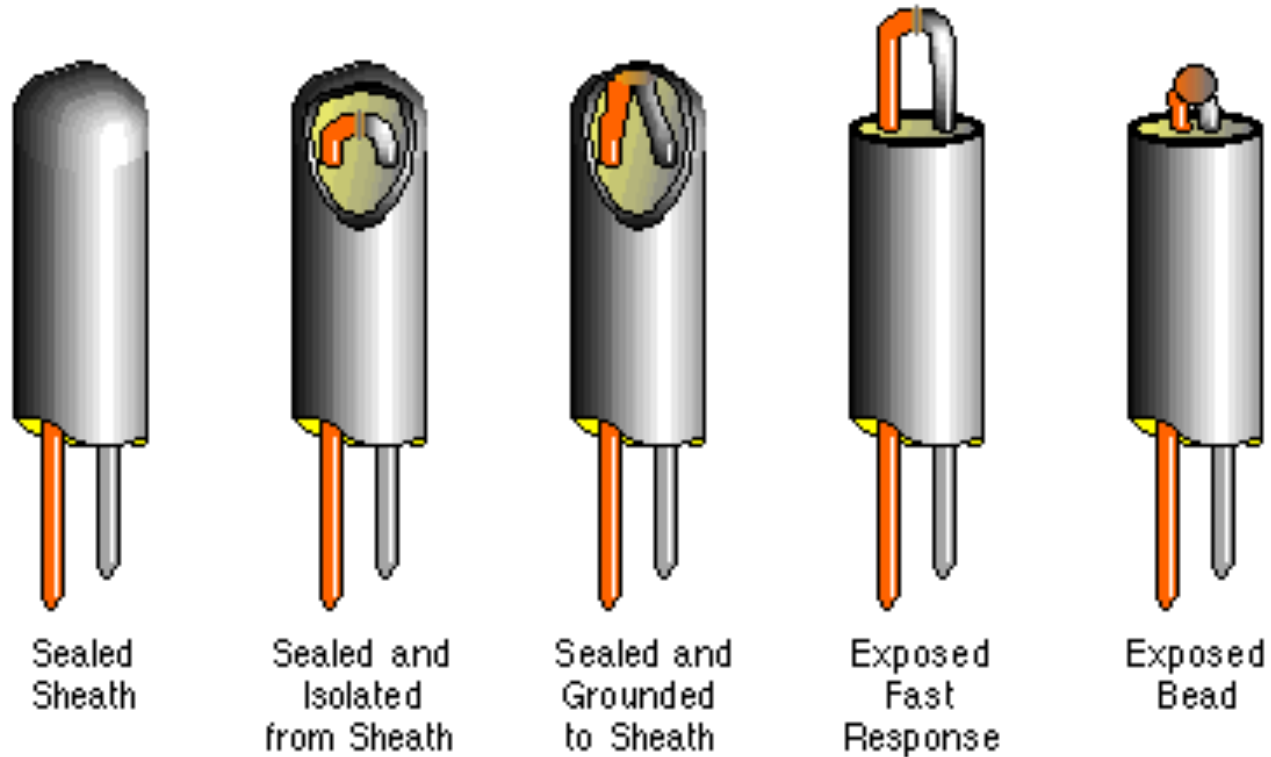
2. ใช้เทคโนโลยีสร้างจุด 0°C สำหรับเครื่องมือวัดทั่วไป



คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิล

- ส่วนผสมของโลหะที่ใช้ทำจะต้องไม่เปลี่ยนแปลง หรือสูญเสียธาตุส่วนผสมไปในเวลาอันรวดเร็ว
- ต้องให้แรงดันเอาต์พุตที่มีเสถียรภาพ (**Stable**) ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่ใช้
- มีความแข็งแรงและทนต่อสภาวะแวดล้อมในการใช้งานที่พิสูจน์ได้

ประเภทของเทอร์โมคัปเปิล

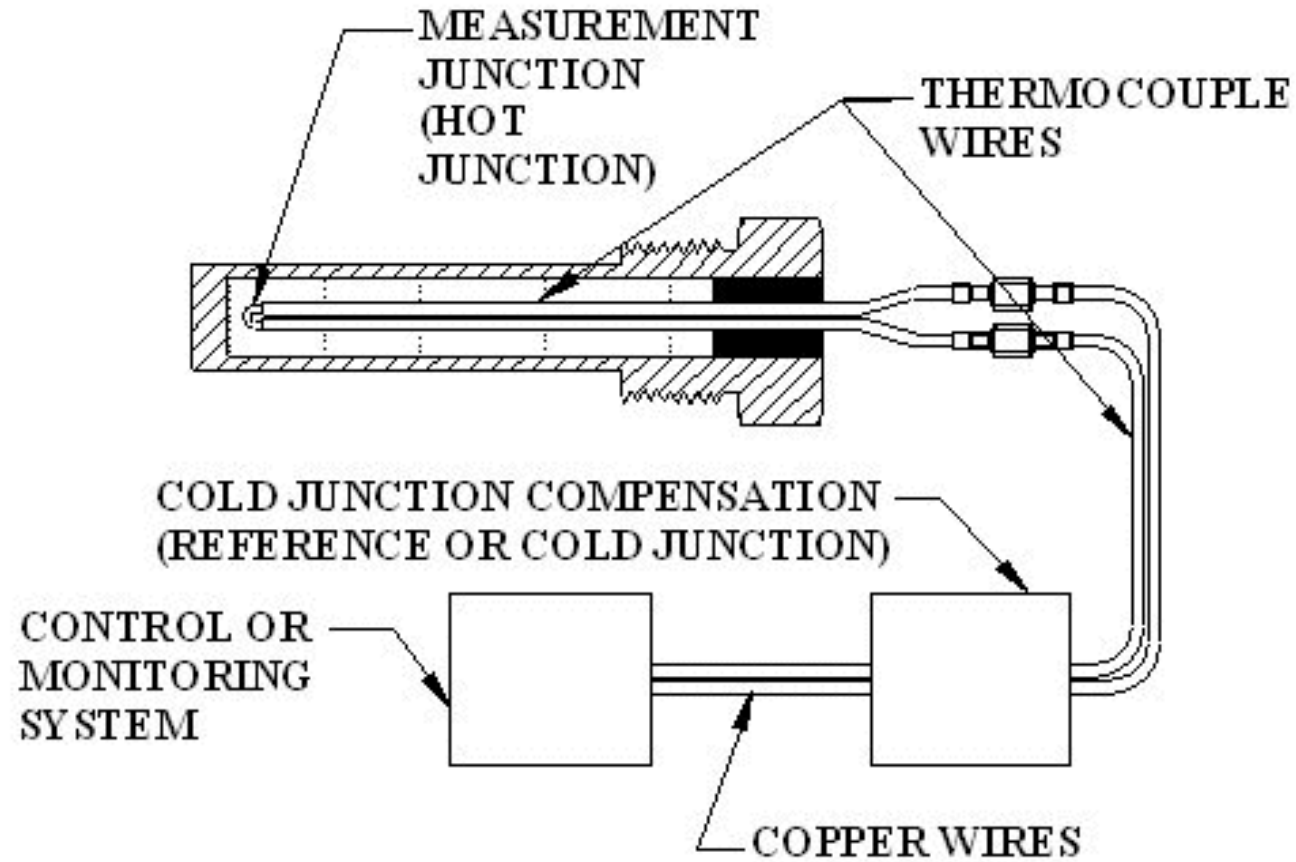


Thermocouple Sheath Options

<http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Thermocouple/Thermocouple.1>

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

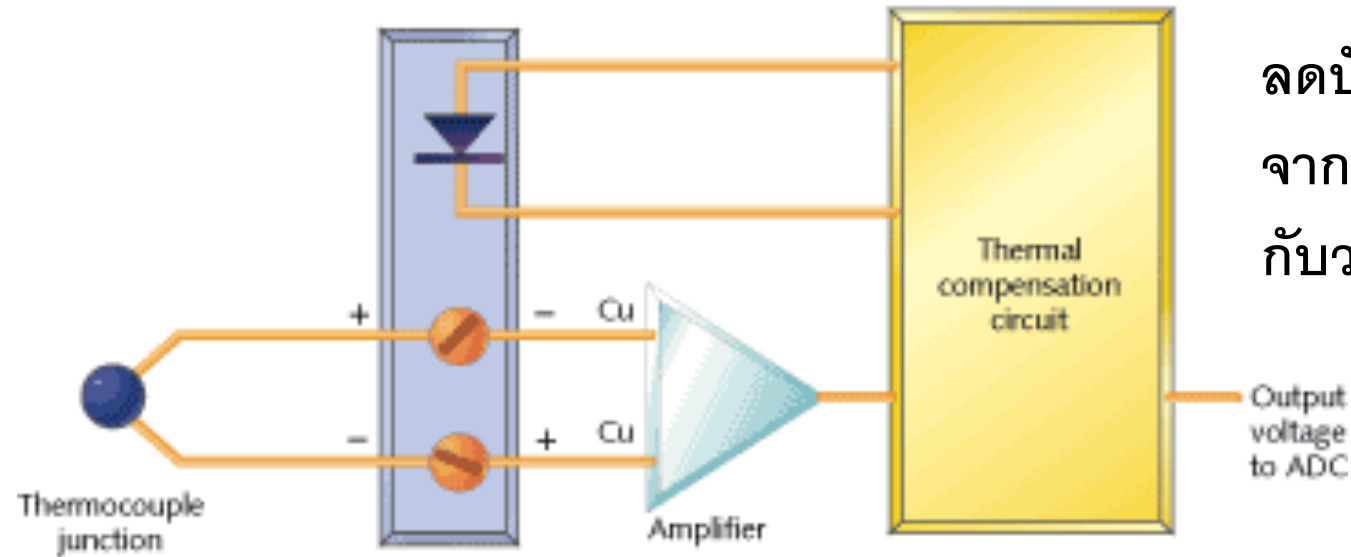
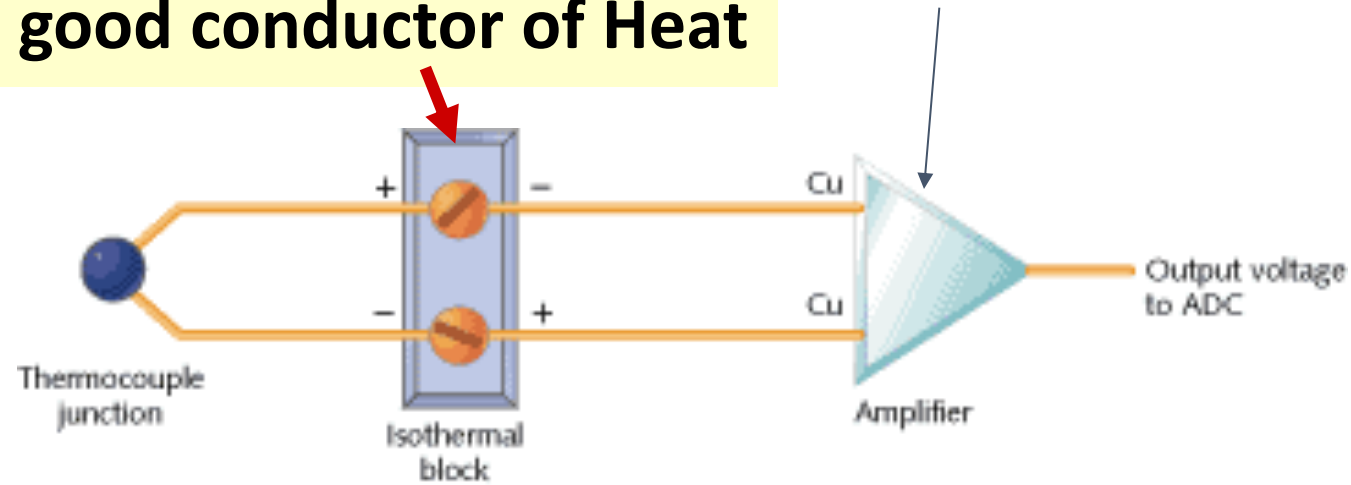


Poor Conductor of Electricity But a good conductor of Heat

ยัสัญญาณ



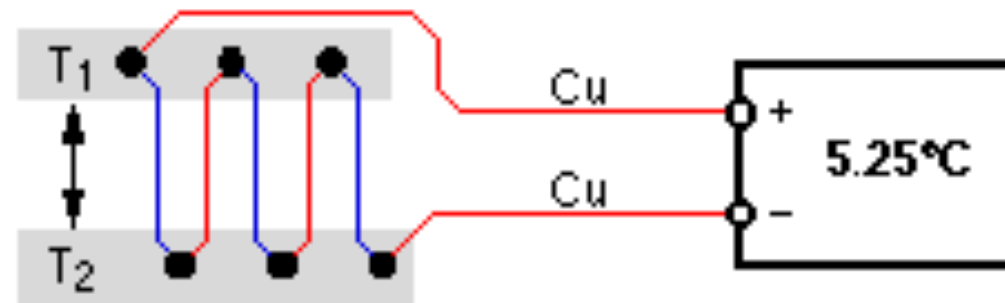
สาขาวิชา
วิศวกรรมหุ่นยนต์



ลดปัญหา
จากการต่อ
กับวงจรวัด

Isothermal
block

การใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดพื้นผิว (บริเวณ) ที่มีอุณหภูมิต่างกัน



The Thermopile for Measuring Temperature Difference

ค่าเอาต์พุตที่ได้ คือ ผลต่างของอุณหภูมิ $T_1 - T_2$

อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector, RTD)

- เส้นลวดโลหะที่สามารถใช้เป็นตัวกลางวัดอุณหภูมิได้
- สามารถใช้วัดได้ตั้งแต่จุดแข็งตัวของออกซิเจน (-182.92°C) ไปจนถึงจุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°C)

ความต้านทานในลวดโลหะ เป็นตามสมการดังนี้

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

หรือ

$$\frac{dR_t}{dT} = \alpha R_0$$

เมื่อ

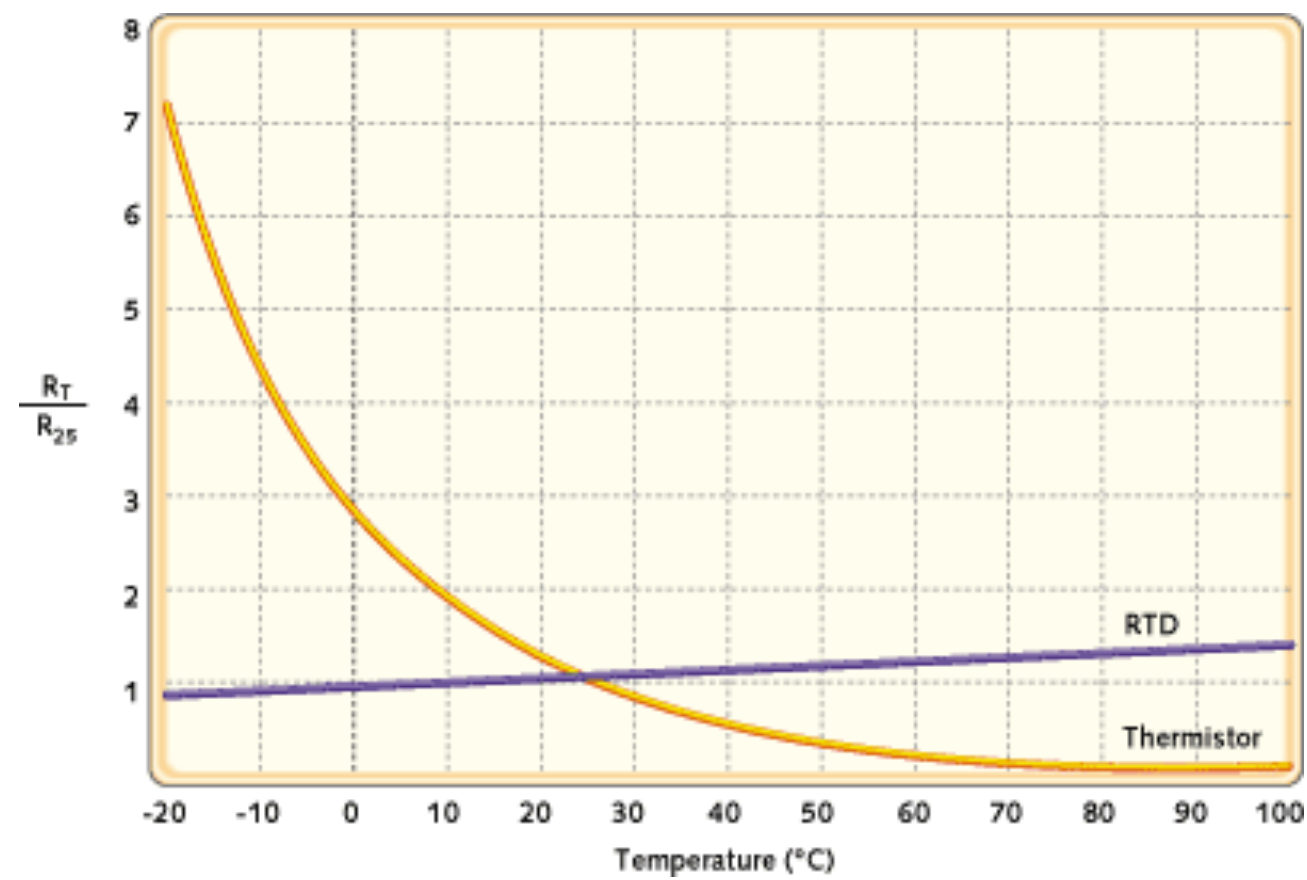
R_t - ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ $t^\circ\text{C}$

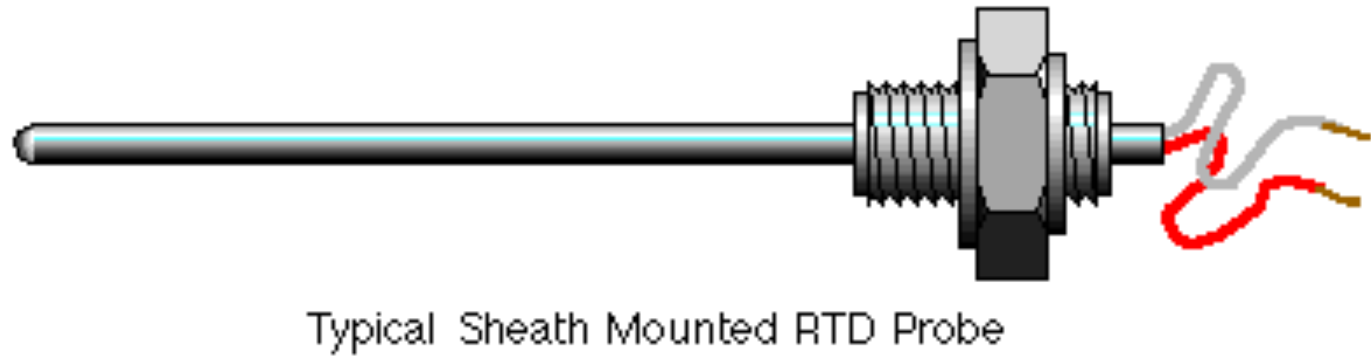
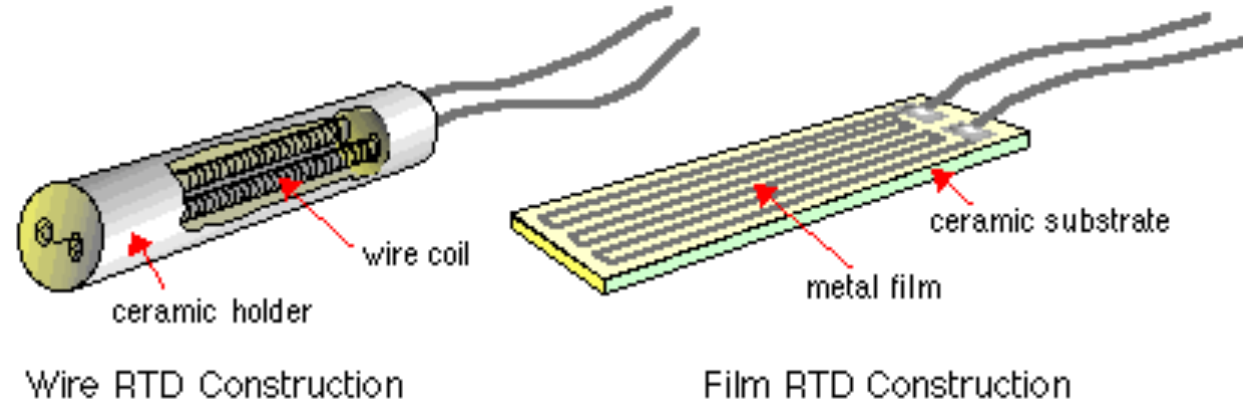
R_0 - ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0°C

α - สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1°C

$$(\Omega / \Omega / ^\circ\text{C})$$

(Temperature Coefficient of Resistance)







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

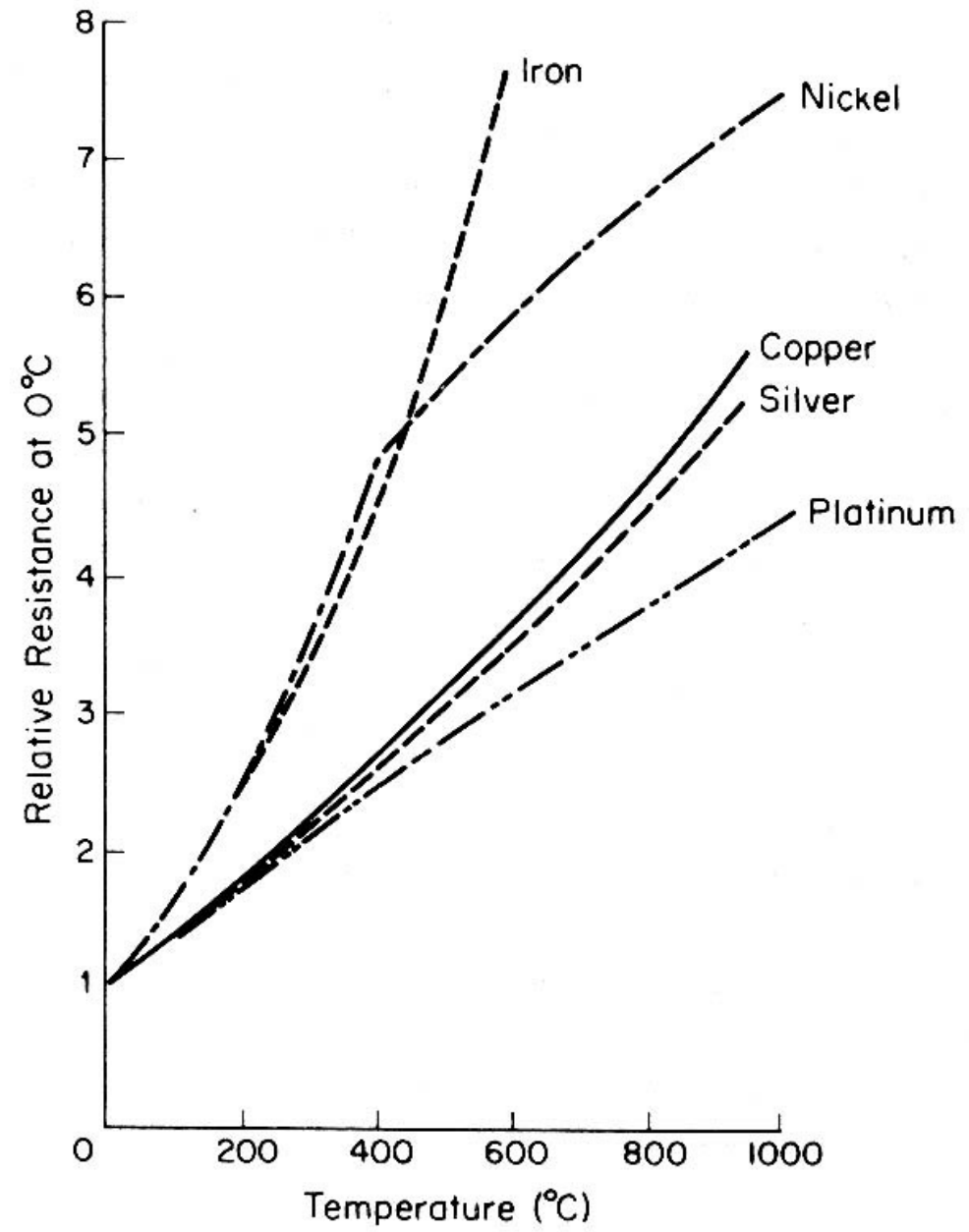
ประเภทของ RTD

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

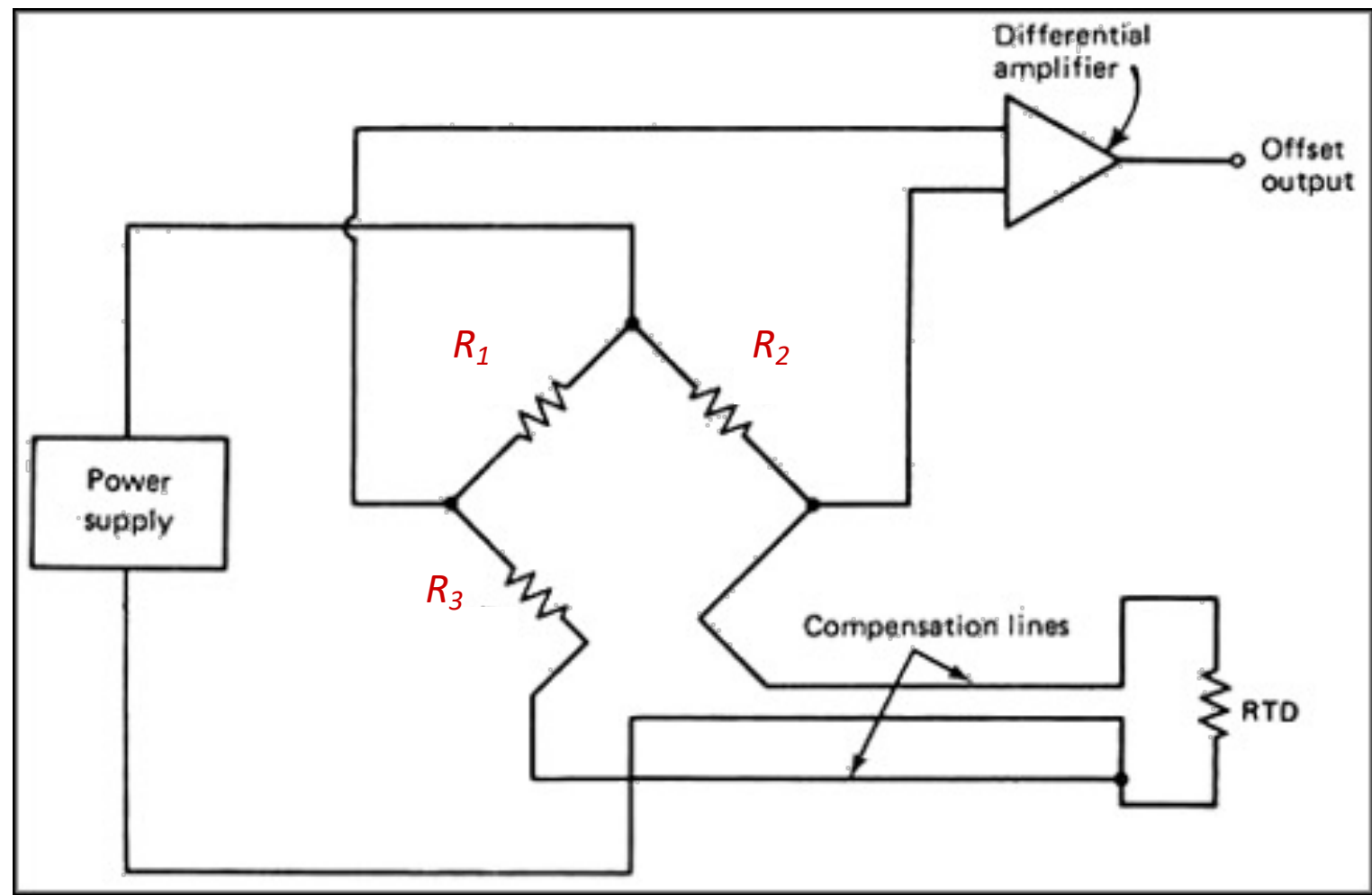
ระดับของ RTD

<http://www.capgo.com/Resources/Temperature/RTDs/RTD.h>

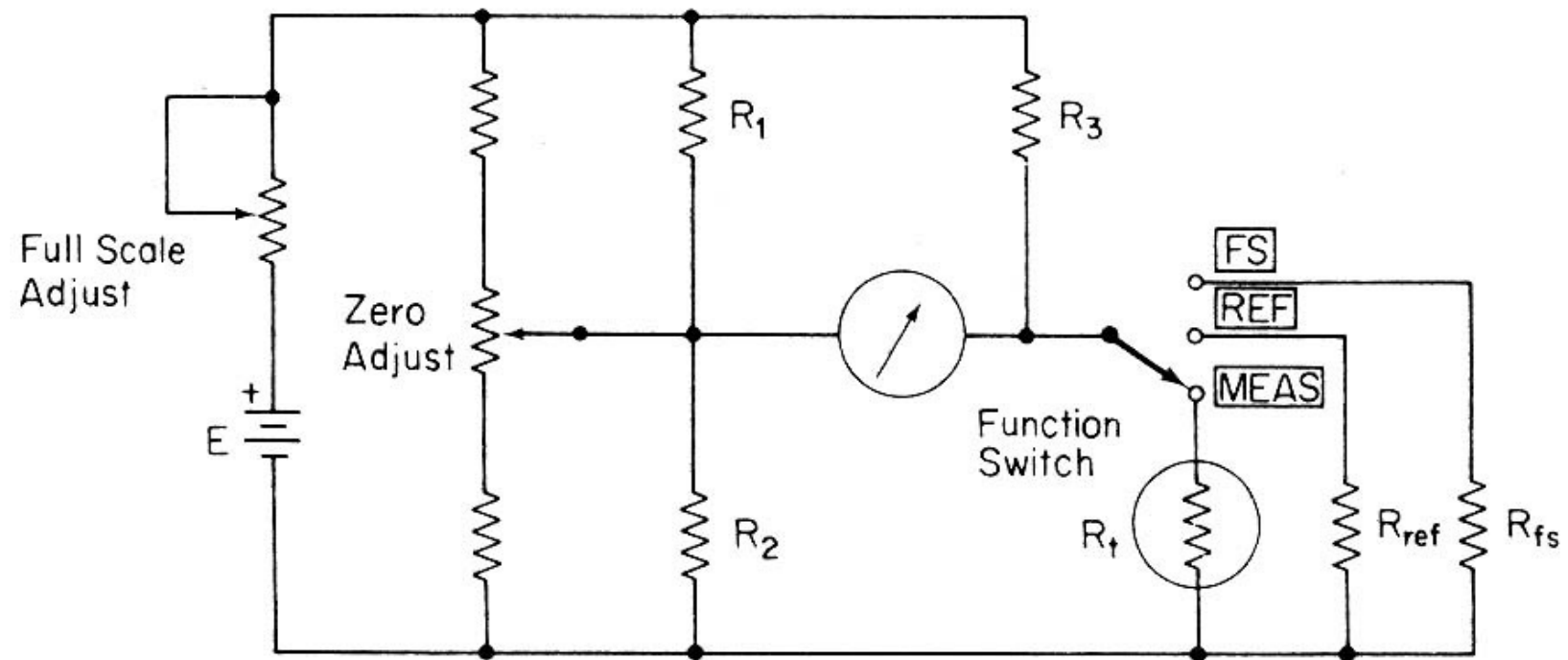
Tolerance Class	Tolerance Equation (°C)
Class A	$\pm (0.15 + 0.002 \cdot t)$
Class B	$\pm (0.30 + 0.005 \cdot t)$
Class C	$\pm (0.40 + 0.009 \cdot t)$
Class D	$\pm (0.60 + 0.0018 \cdot t)$

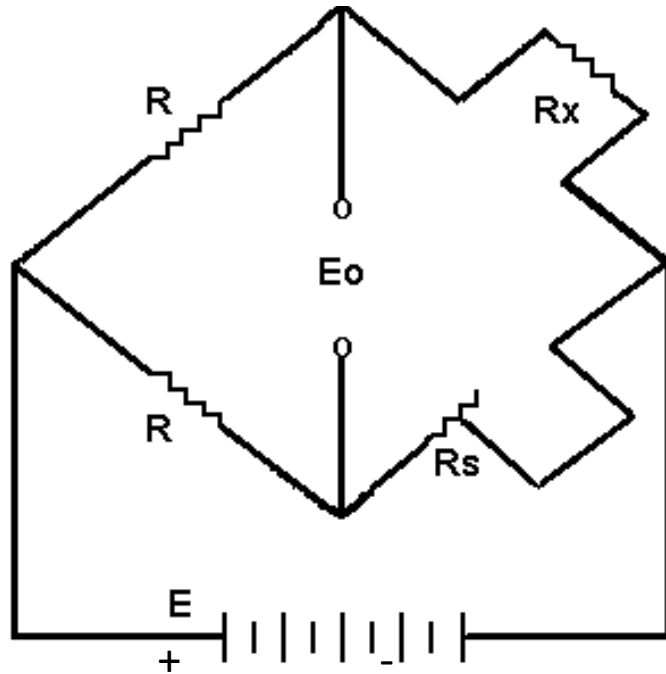


วงจรการต่อใช้งานของ RTD



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 R_x at lowest temperature which may be variable for zero set.)

- วงจรจะอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อ RTD อยู่ในอุณหภูมิ 0°C



กระแสไม่ไหลผ่านมิเตอร์ จะชี้ที่ 0°C

(0° Setting)

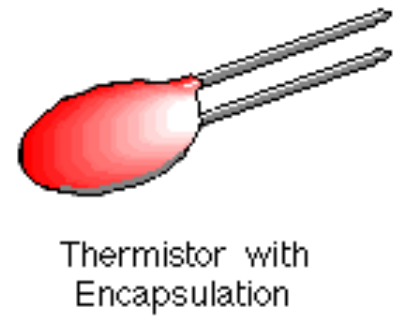
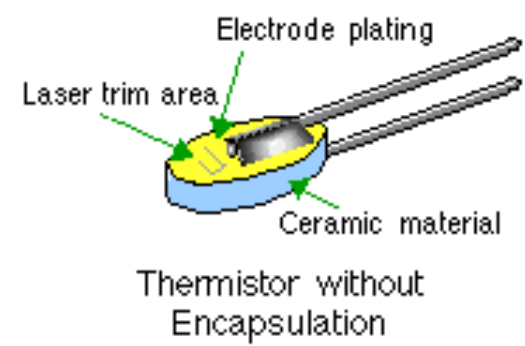
- ความผิดพลาดของการวัด จะเกิดจากความต้านทานของสาย

- ความยาวของสายตัวนำจาก RTD

- อุณหภูมิของสายตัวนำ

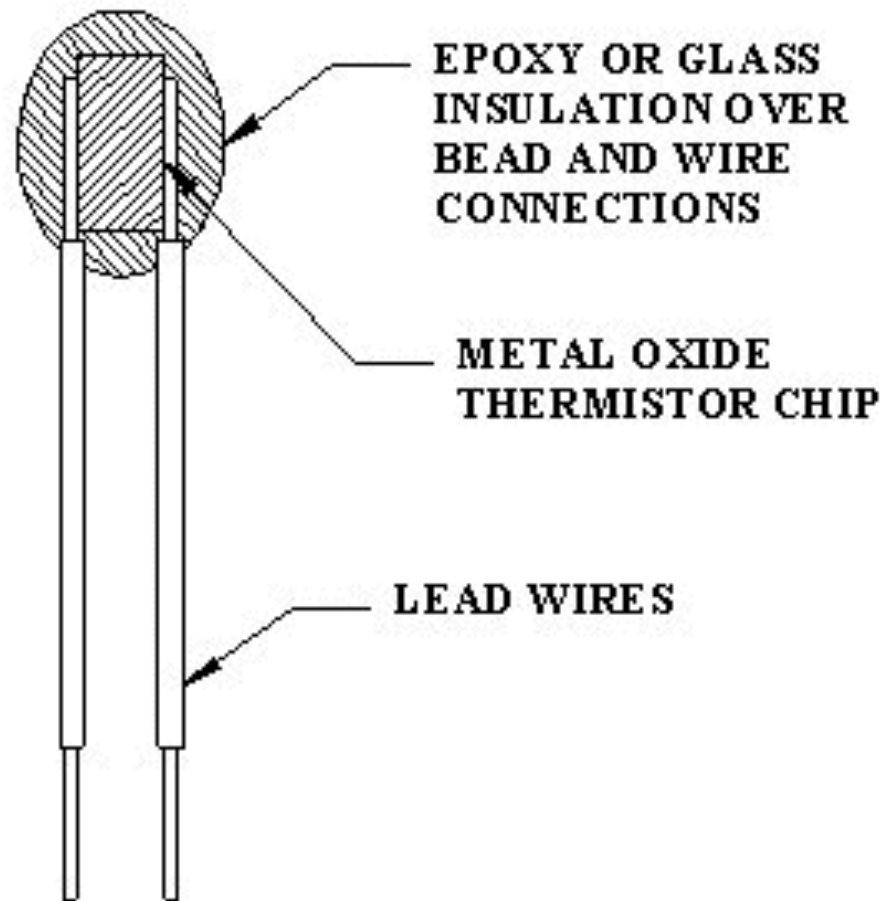
เทอร์มิสเตอร์ (Thermistors)

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



Thermister

ส่วนประกอบของเทอร์มิสเตอร์

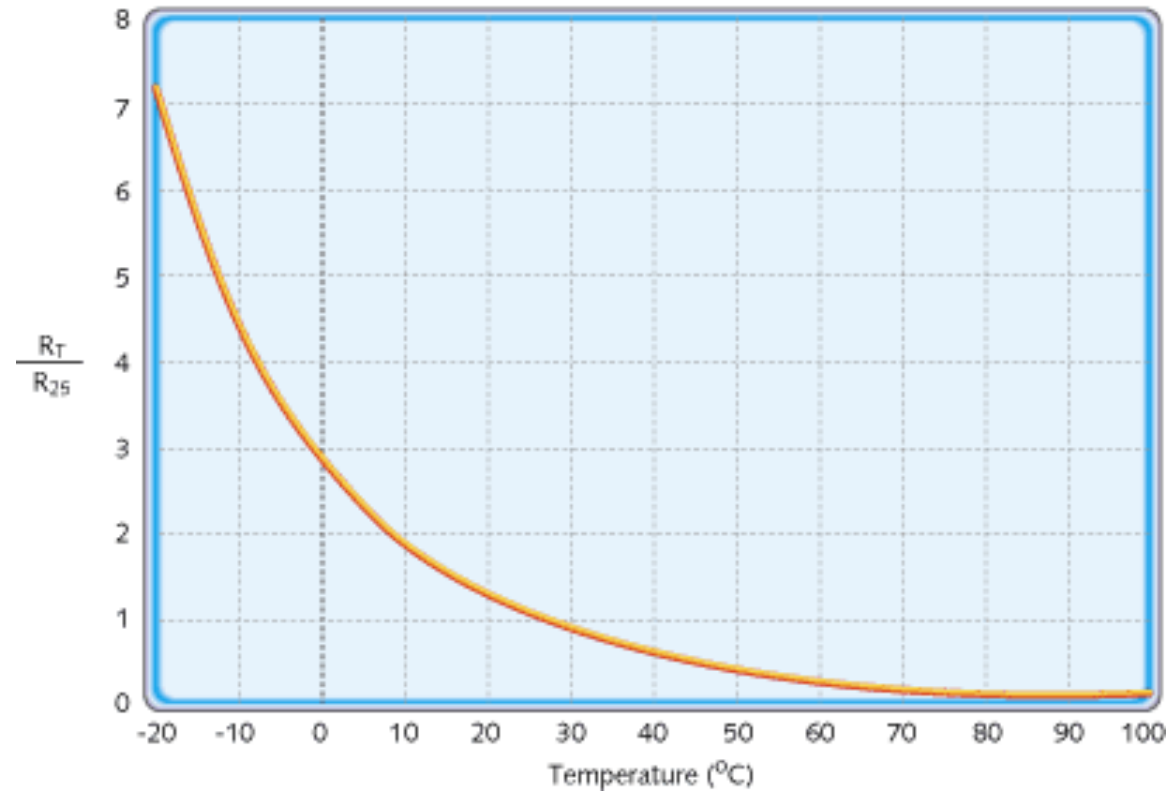


คุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์

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

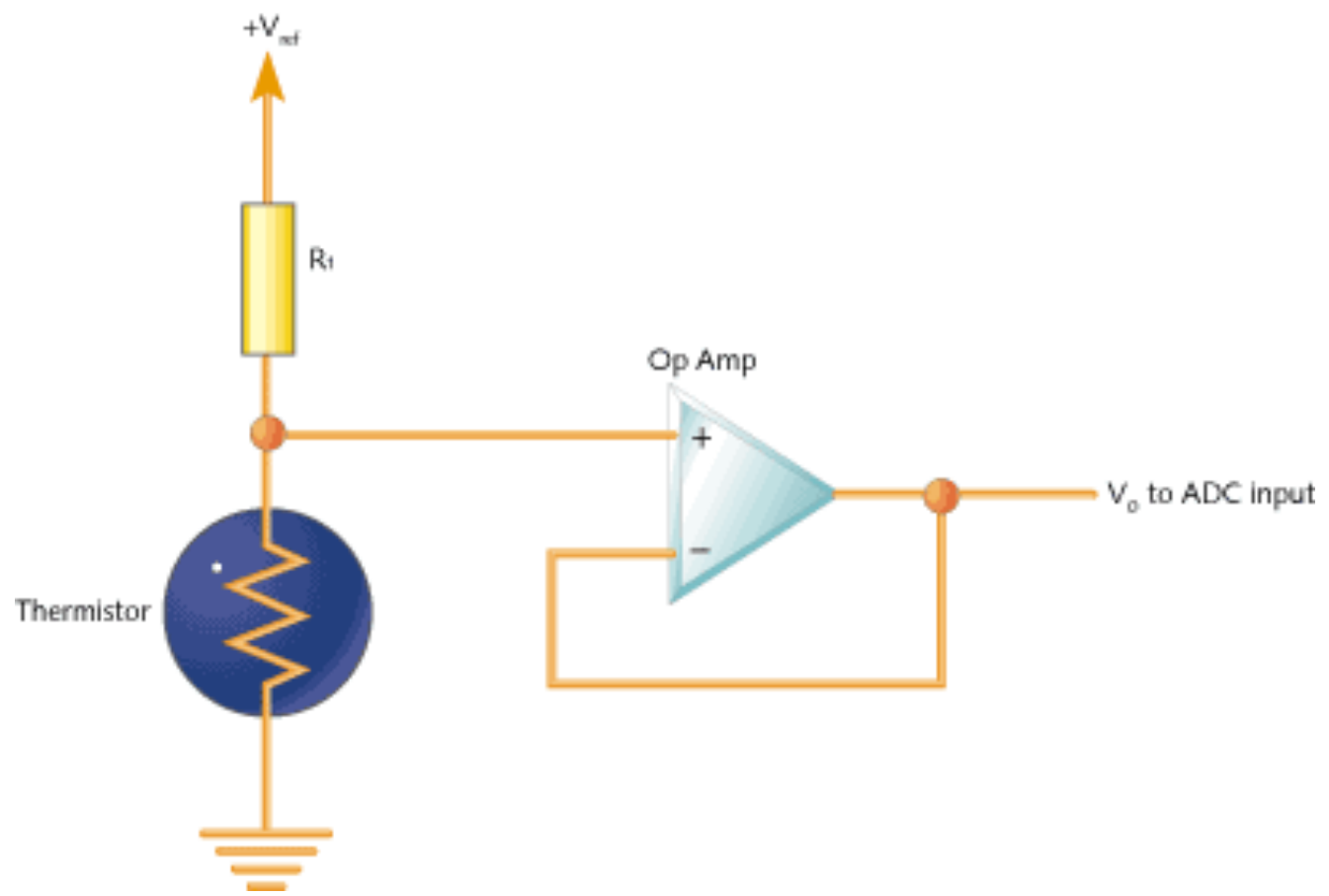
<http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Thermistor/Thermis>

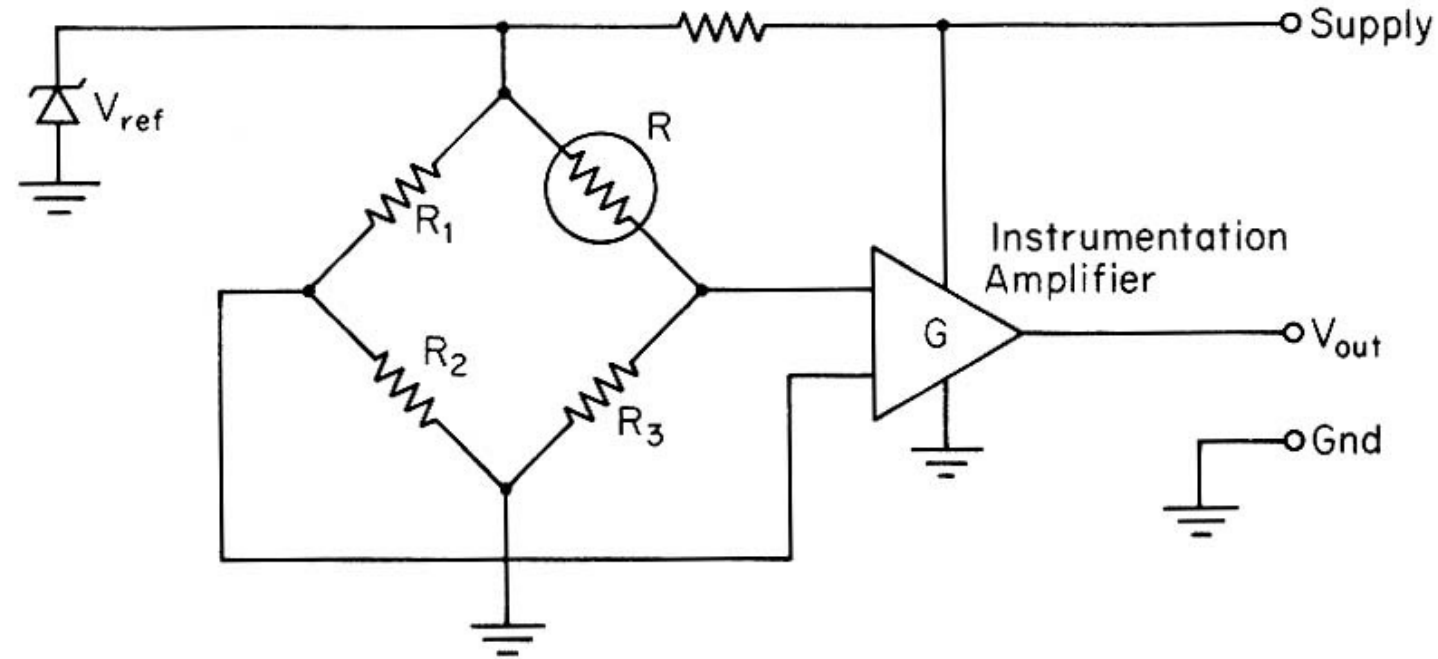
กราฟคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์



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

วงจรการต่อใช้งานของ Thermistor





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

Representative thermistors.

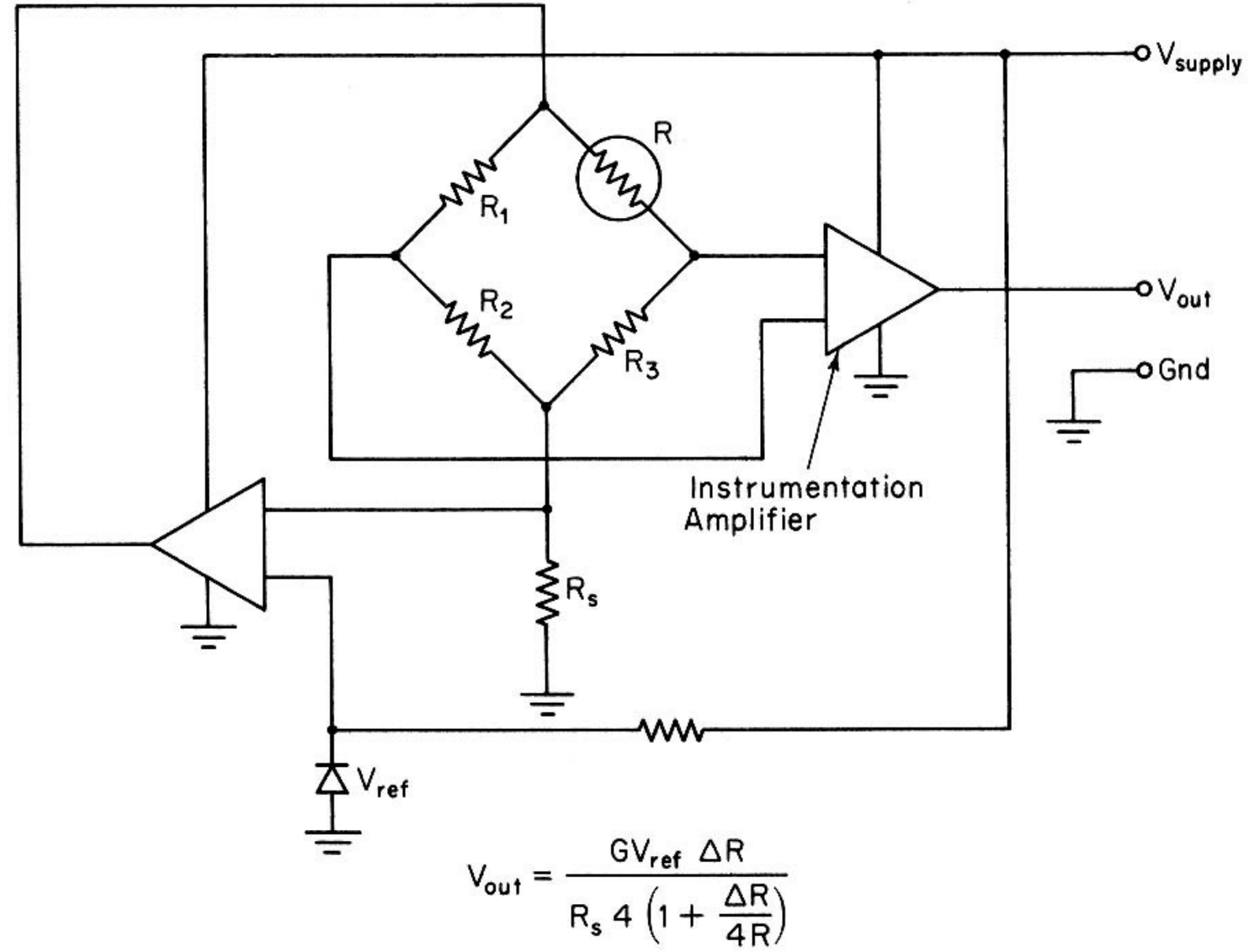
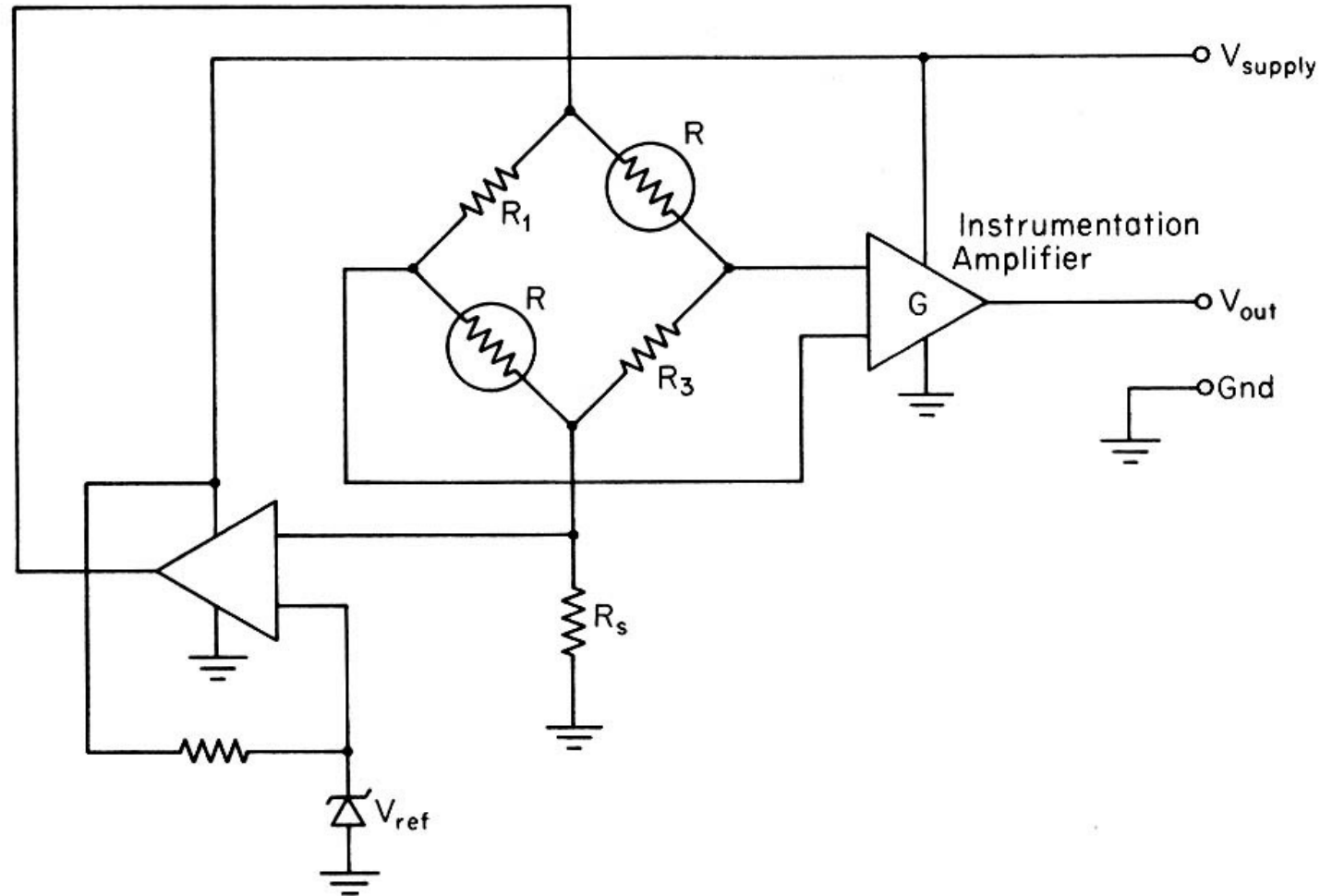


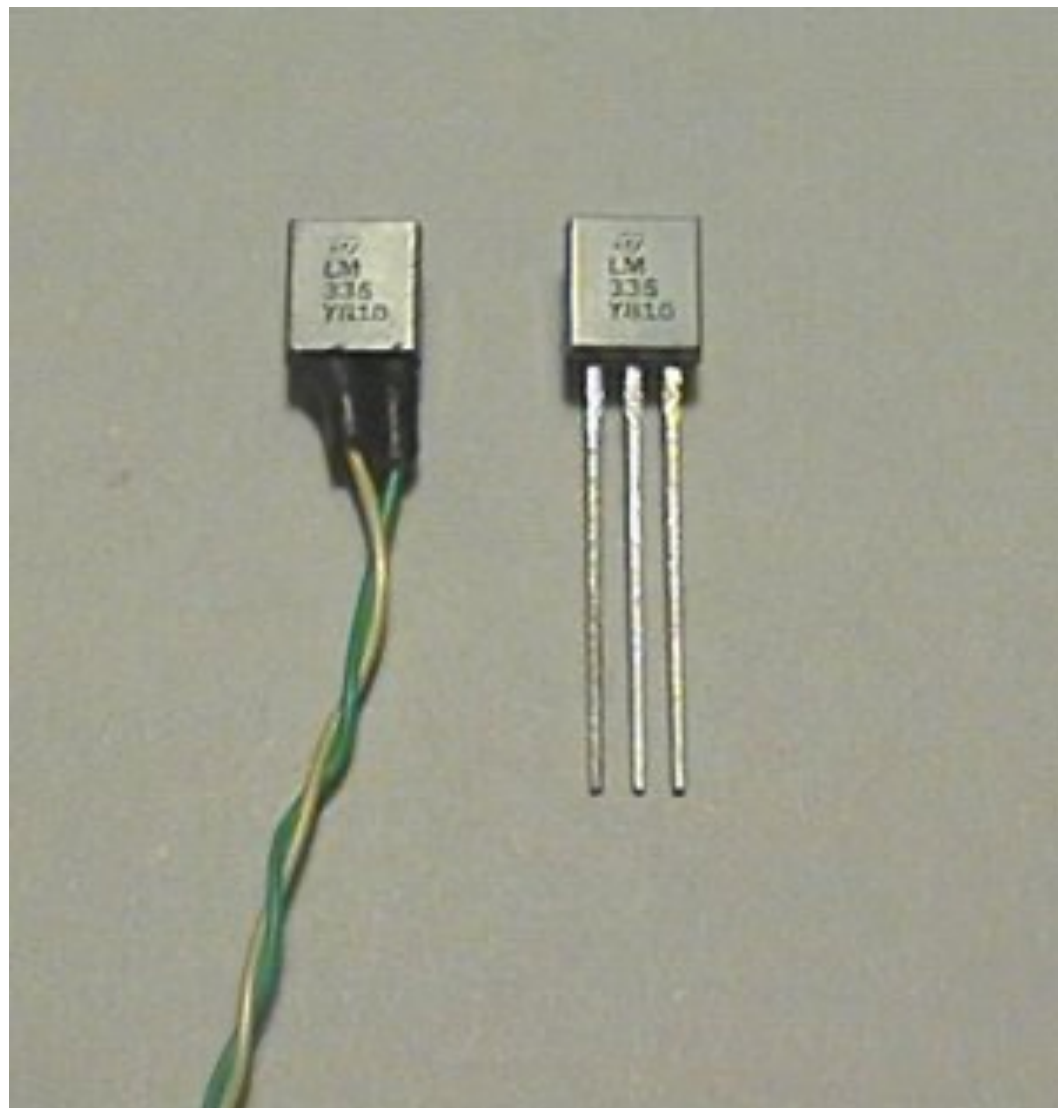
Figure 11-23 Wheatstone bridge powered from a constant current source.



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

Figure 11-24 Wheatstone bridge employing two RTDs.

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.

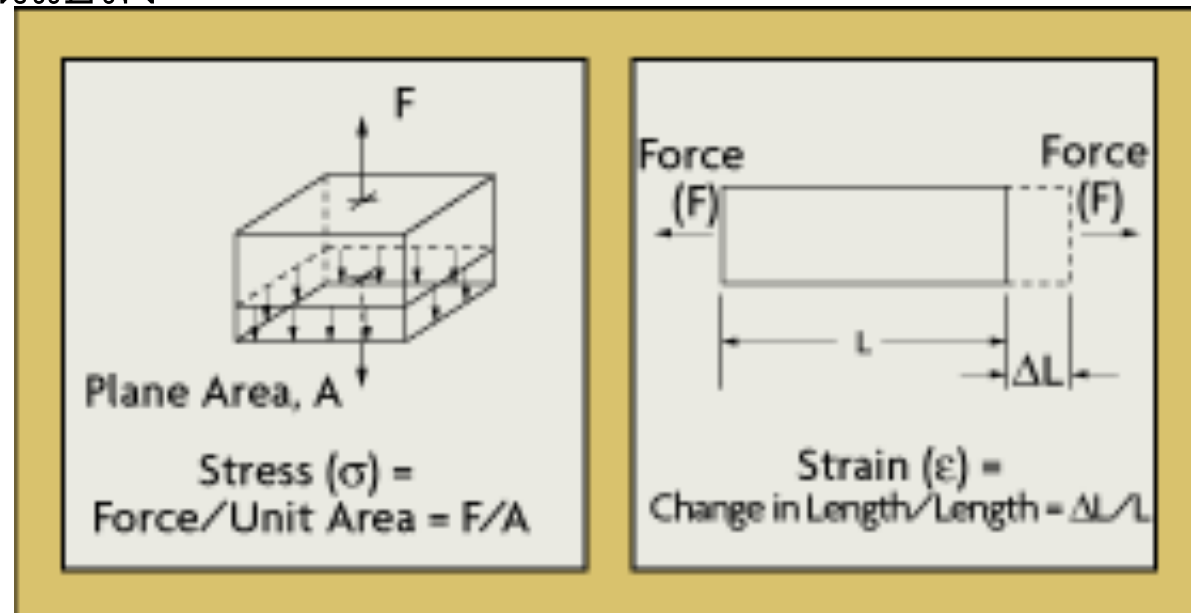
Temp. range:	–40 to +100 °C
Output voltage:	+10 mV/°K
Current range:	400 µA – 5 mA
Dynamic impedance:	0.5 Ω
Package:	T092



เครื่องวัดแรง
Force Transducer

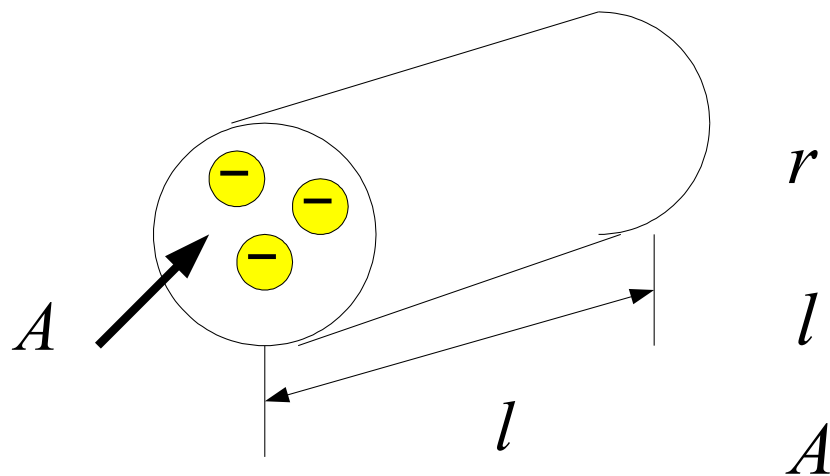
สเตรนเกจ (Strain Gauge Load Cell)

- เครื่องมือวัดแรง / ความดันโดยใช้ตัวสเตรนเกจ
- อาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวนำ เมื่อมีแรงมากระทำที่ตัวสเตรนเกจ แล้วความยาวของเส้นลวดตัวนำเปลี่ยนแปลง



ค่าความต้านทานของสายส่ง กระแสตรง

ที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ค่าความต้านทานของตัวนำ เมื่อมีกระแสตรงไหลผ่าน คือ



$$R_{dc} = \frac{r \rho l}{A}$$

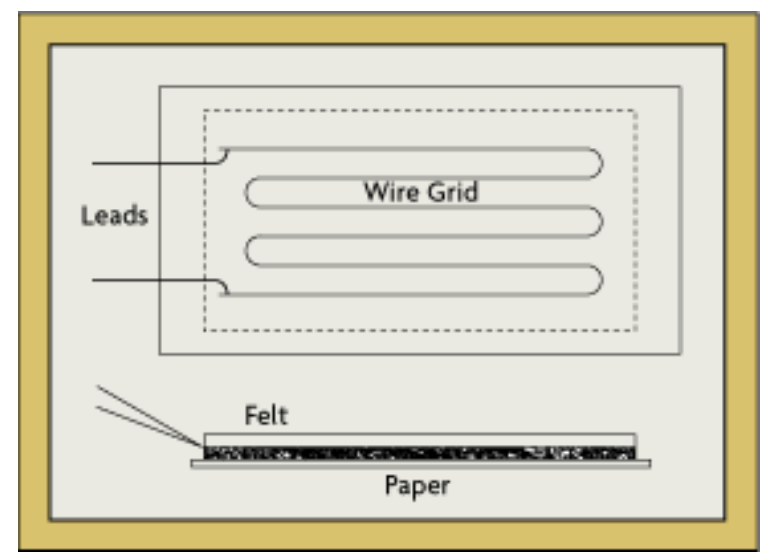
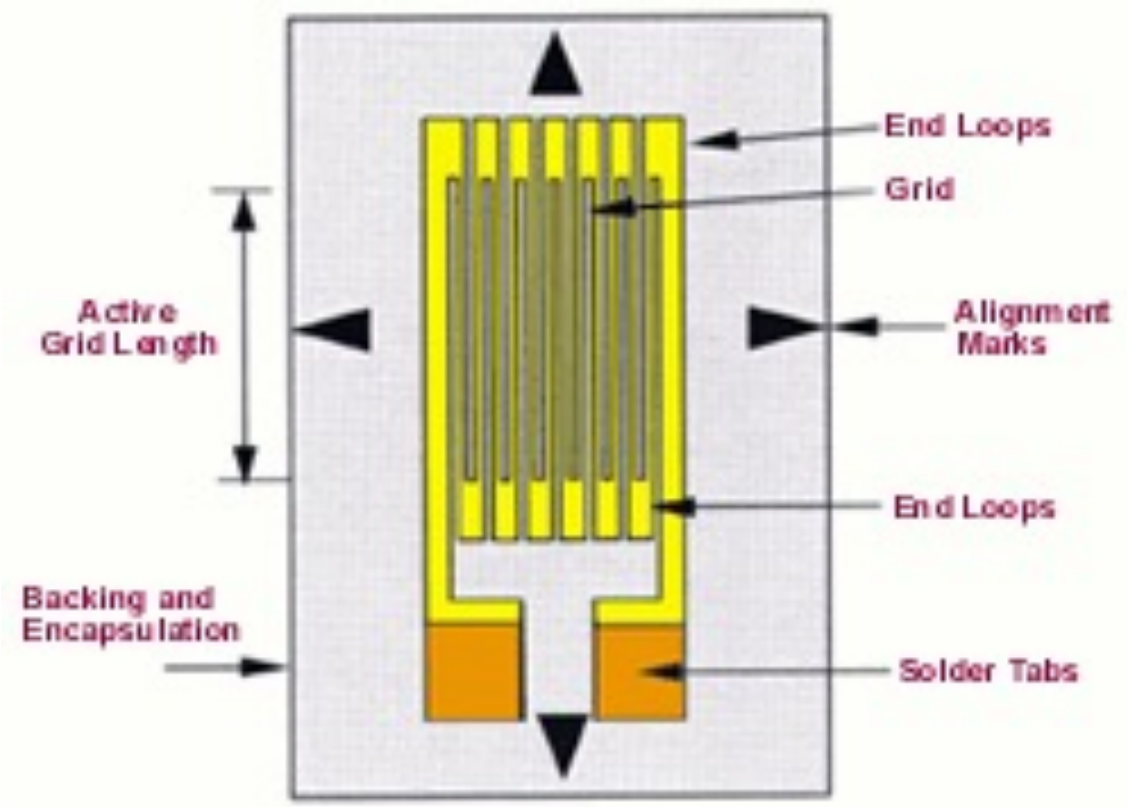
คือ ค่า **Resistivity** ของตัวนำ

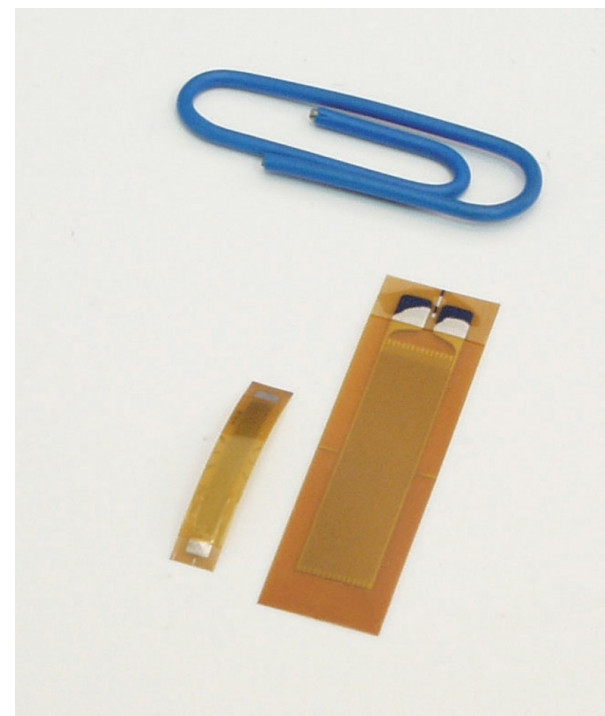
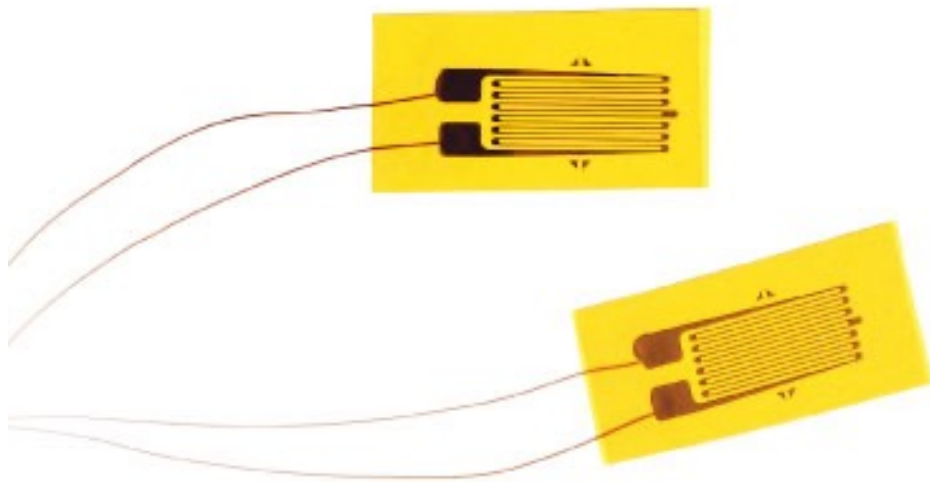
คือ ค่าความยาวของตัวนำ

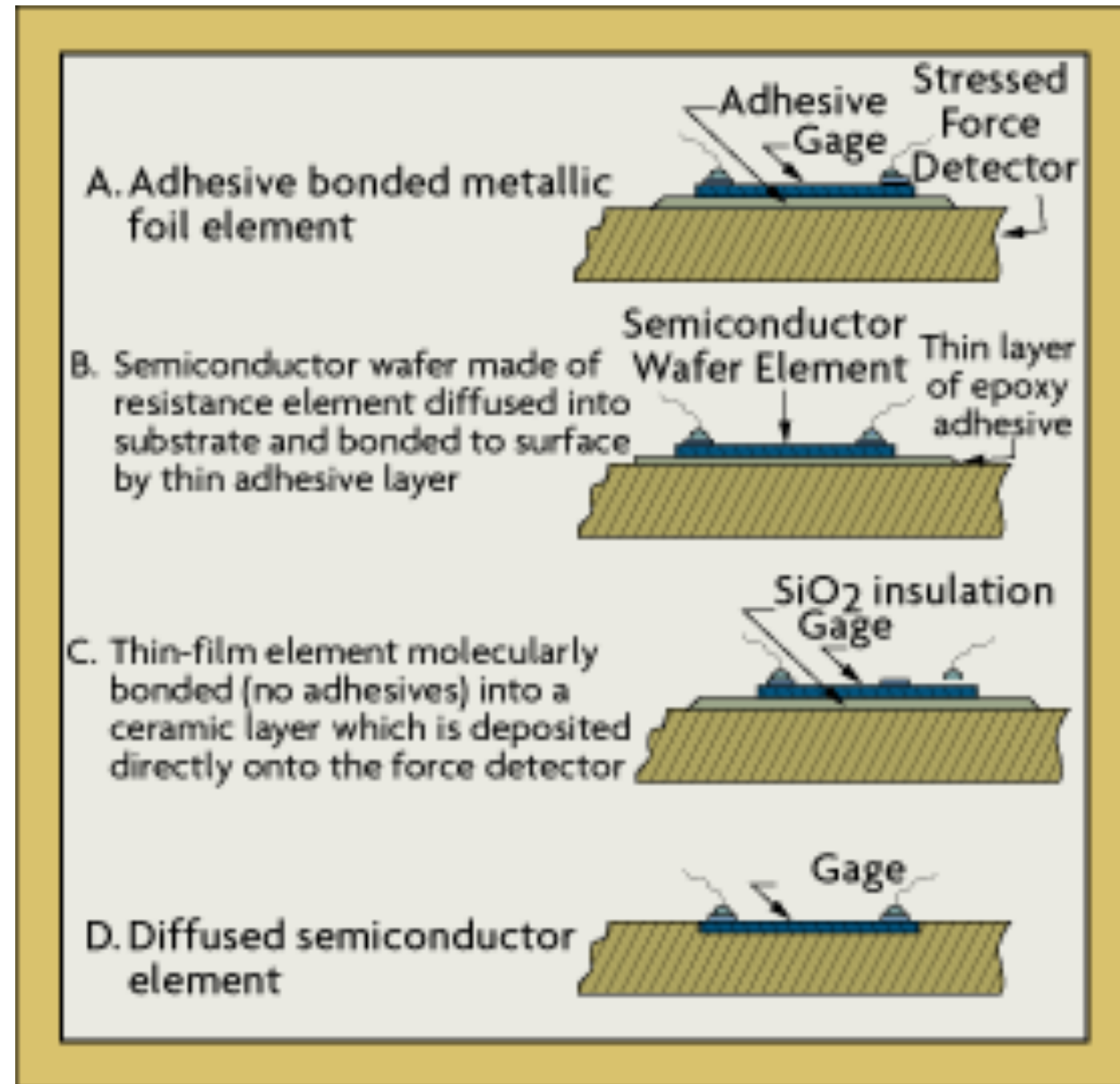
คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

★ ถ้า l เปลี่ยนแปลง ค่า R จะเปลี่ยนแปลงด้วย ★

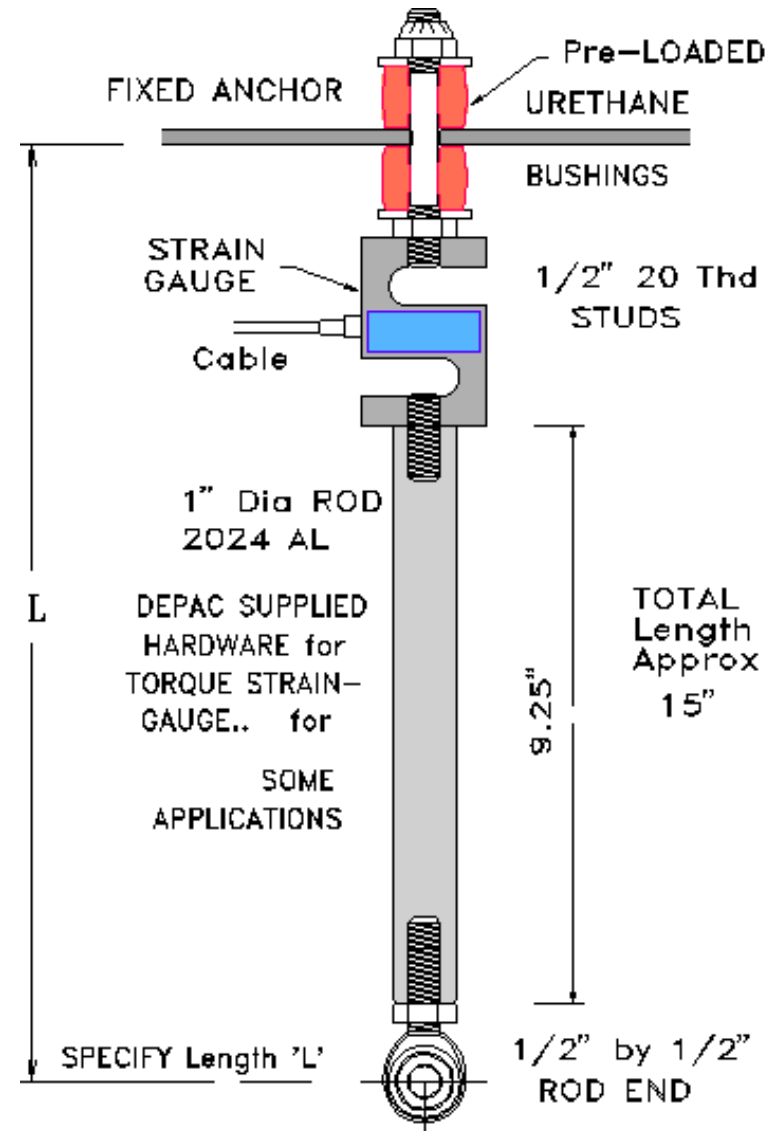
ส่วนประกอบของสเตรนเกจ

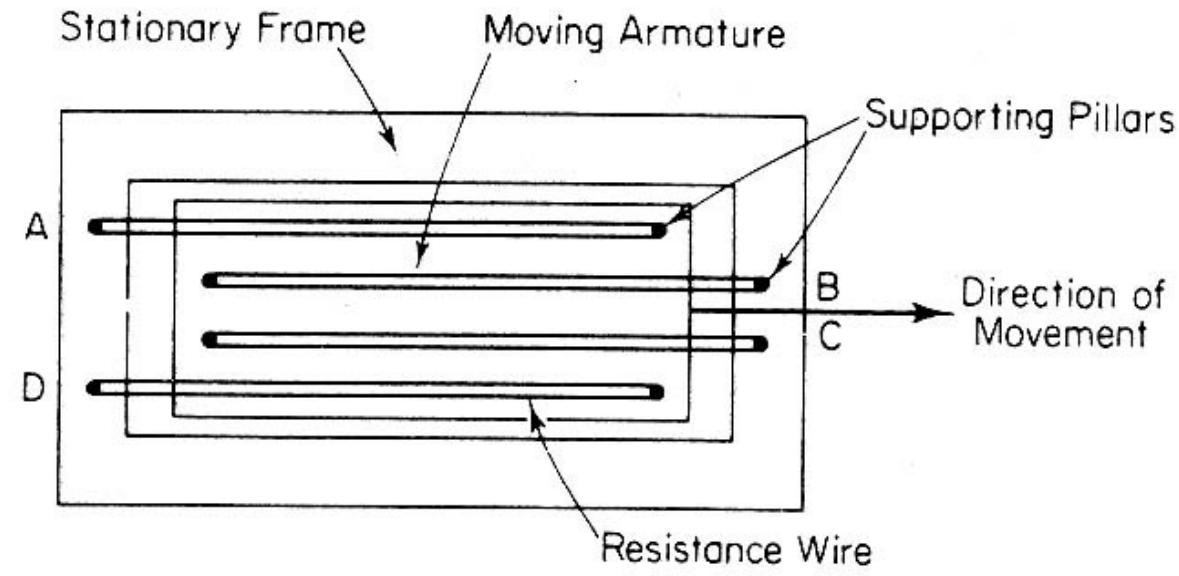




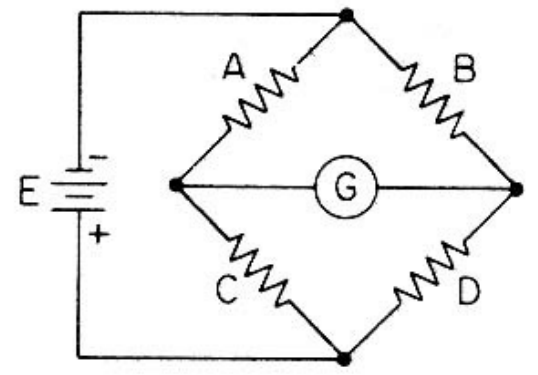


การประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจเพื่อหาค่าแรงดึง (น้ำหนัก)





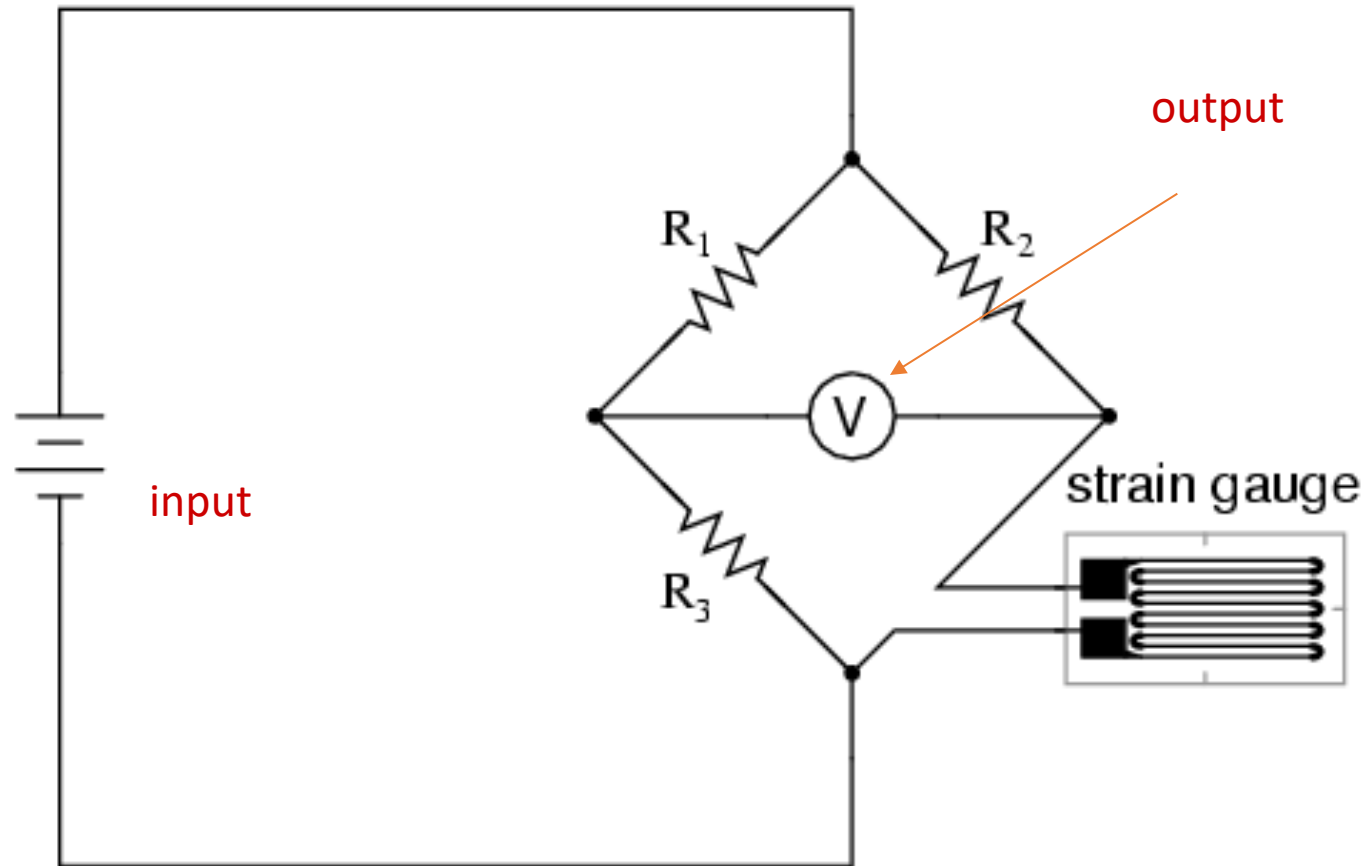
(a) Principle of construction



(b) Wheatstone bridge circuit

วงจรการต่อใช้งานของ Strain Gauge Load Cell

Quarter-bridge strain gauge circuit





เครื่องมือวัดแสง

Light Transducer

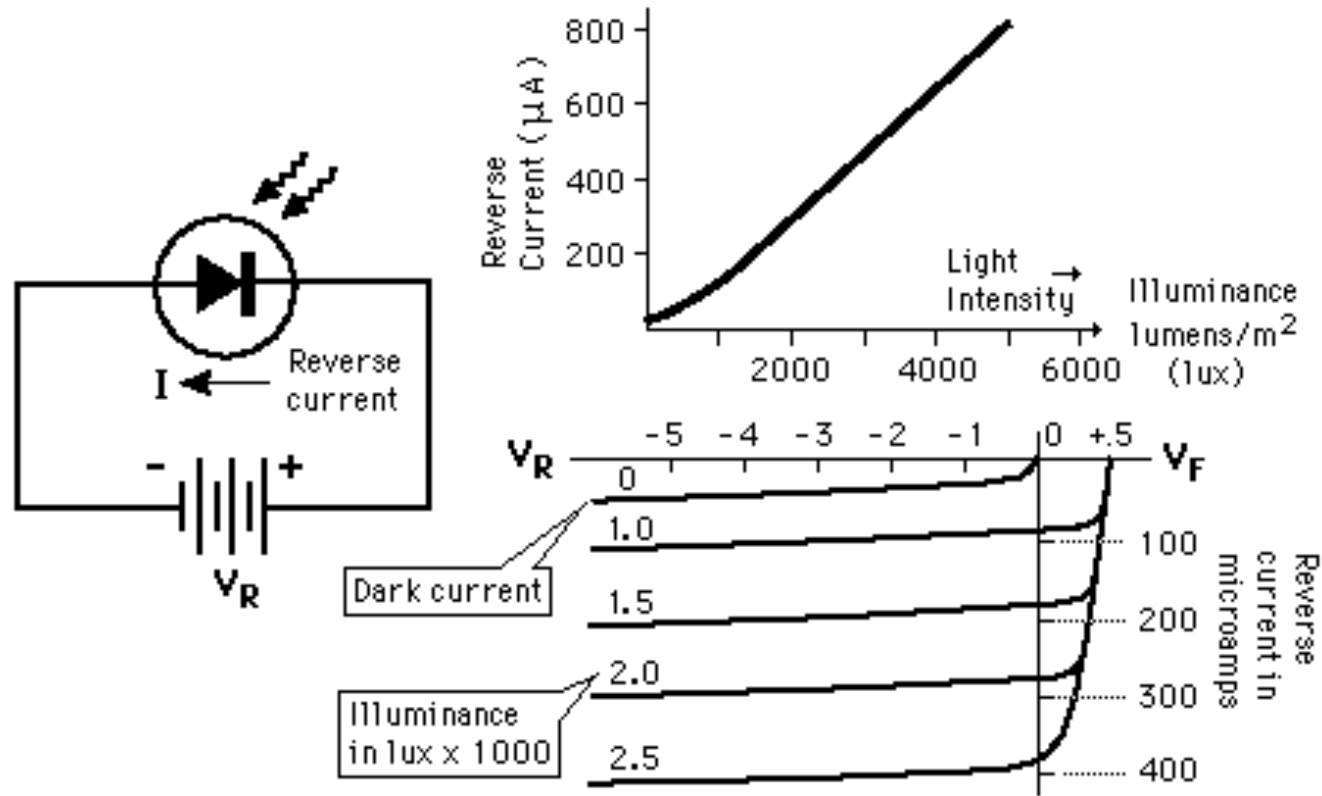
เซนเซอร์ตรวจจับแสงสว่าง

- Photo Diode
- Photo Resistance

Photo Diode

- เป็นการนำพลังงานจากแสง ในการให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ แทนการไบอัสจากแหล่งจ่าย
 - จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ จะแปรผันตรงกับความเข้มแสง
- เมื่อเพิ่มค่าความเข้มแสงถึงค่าหนึ่ง จะไม่มีการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนอีก → **ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region)**
- ขณะไม่มีแสงตกกระทบ จำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดนี้เรียกว่า “**กระแสมืด (dark current)**”

คุณลักษณะของโฟโตไดโอด



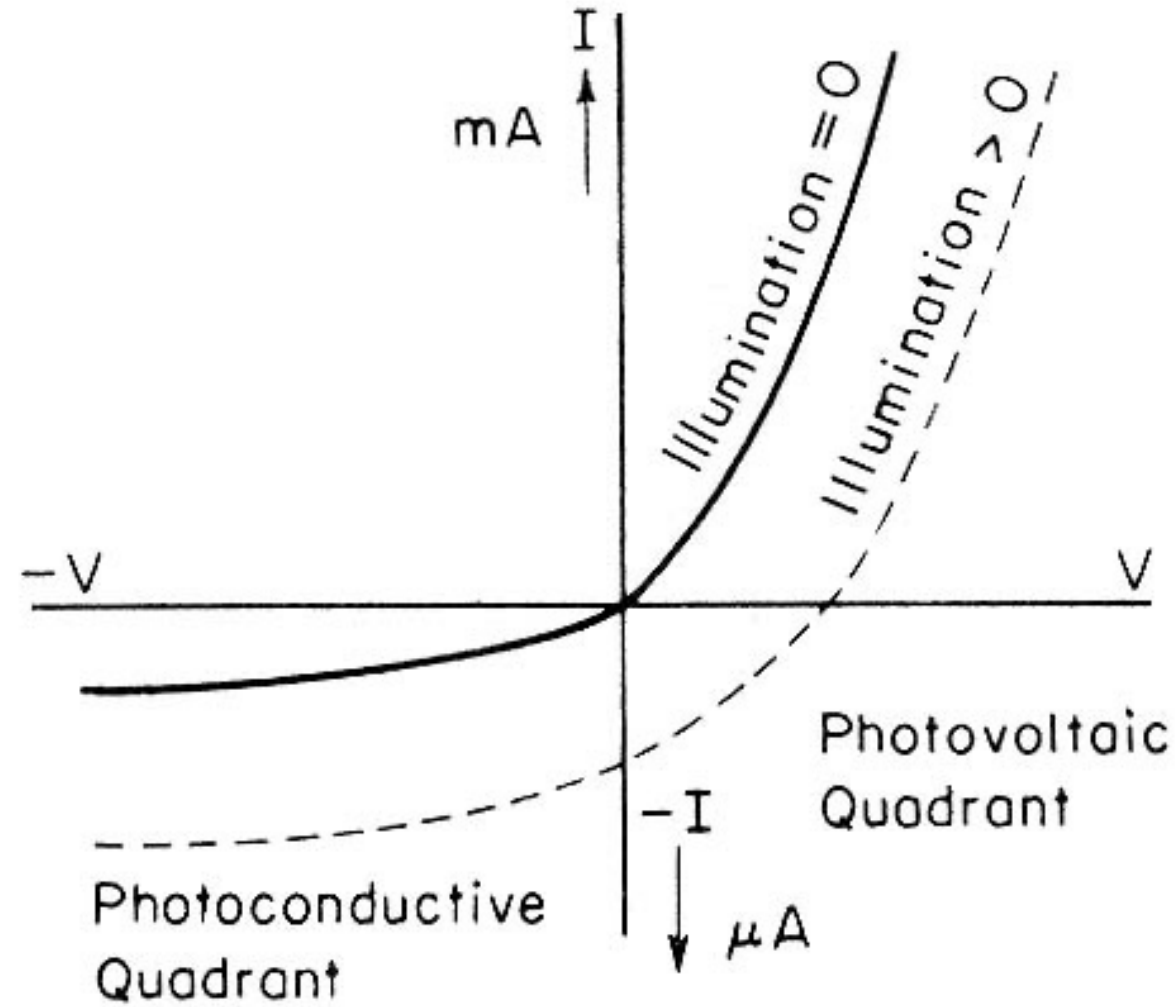
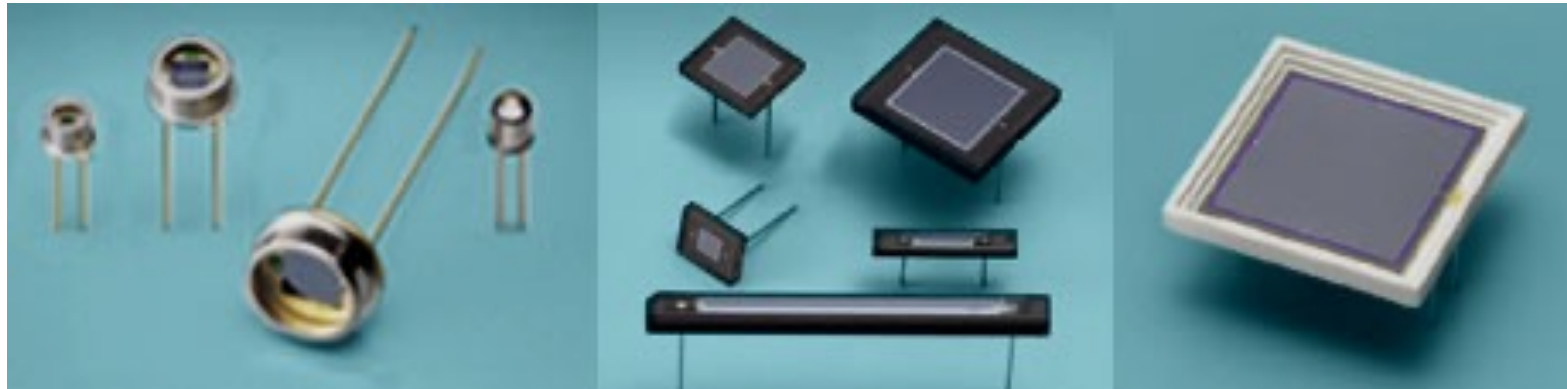
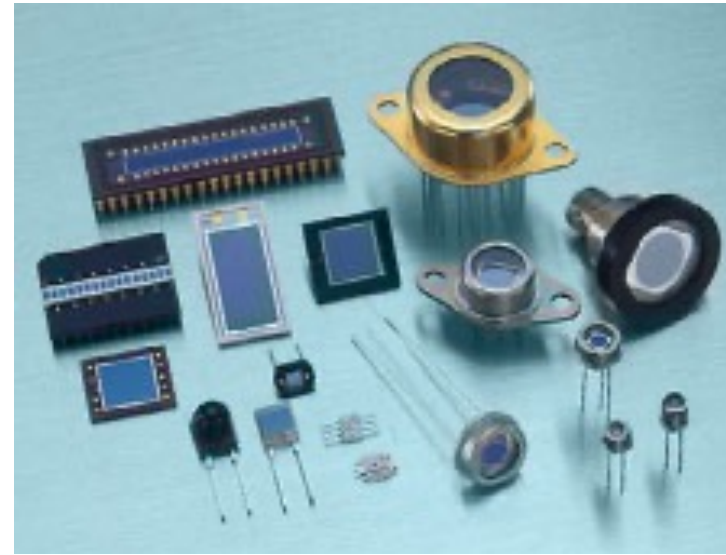
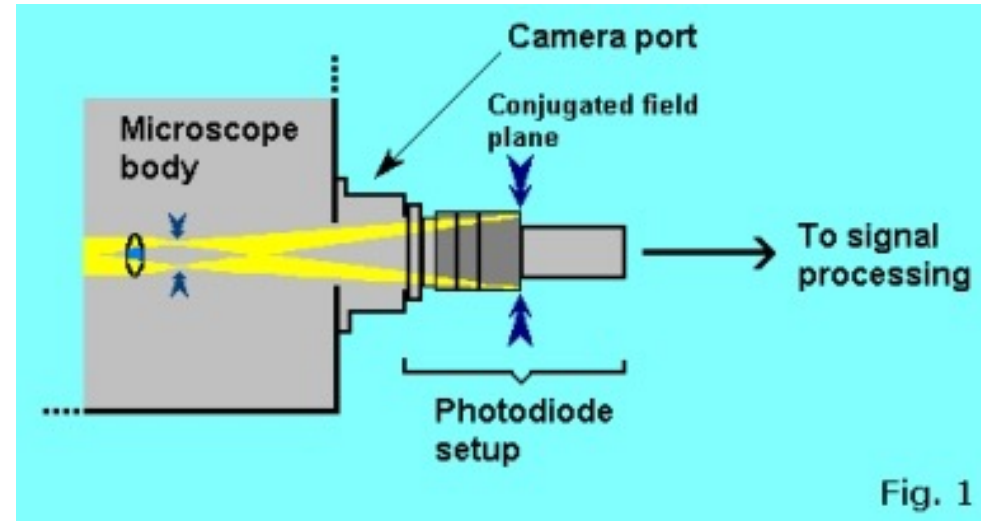


Figure 11-34 Current-voltage characteristics of a photojunction diode.



การประยุกต์ใช้งานโฟโต้ไดโอด

ตัววัดแสง
ในกล้องถ่ายรูป



วงจรการต่อใช้งานของ PhotoDiode

Photodiode photometer

Current-to-voltage photodiode photometer

A current-to-voltage configuration is used to measure the current flow generated by a silicon photodiode.

Differential input resistance = M Ω
Open-loop gain =

Differential input voltage = V
Percent of input current flowing into op amp =

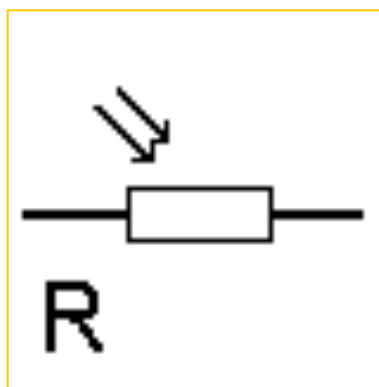
Note: All voltages are measured with respect to the power supply ground

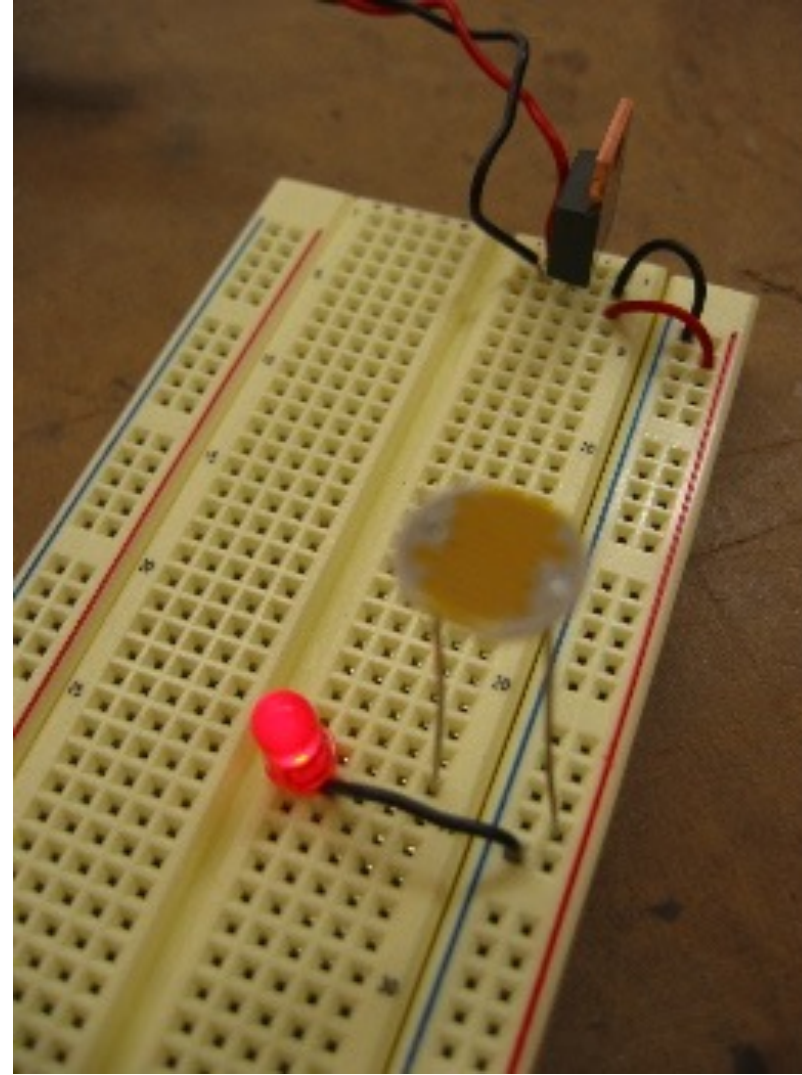
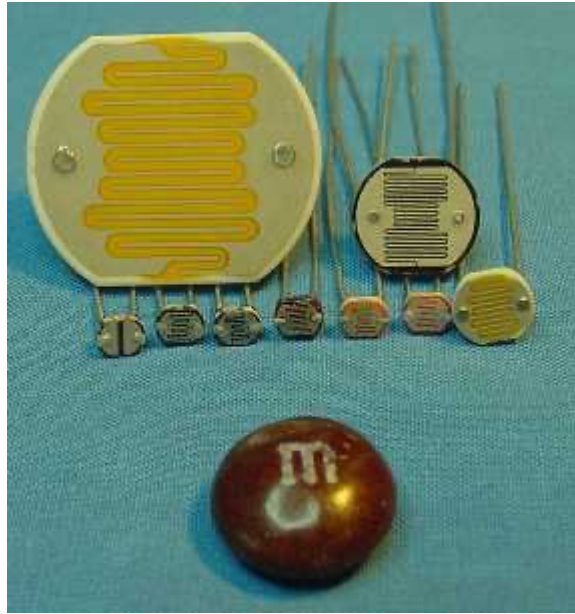
Light intensity

What do I do?
Explain
Author

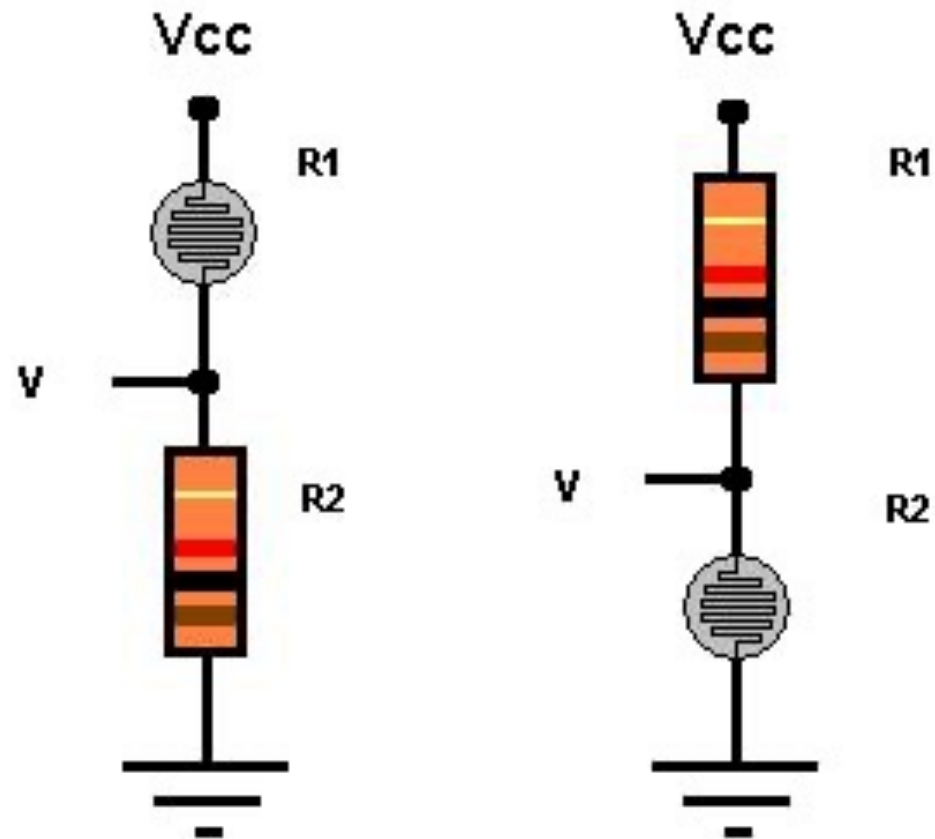
Photo Resistor/ Photo Conductive

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



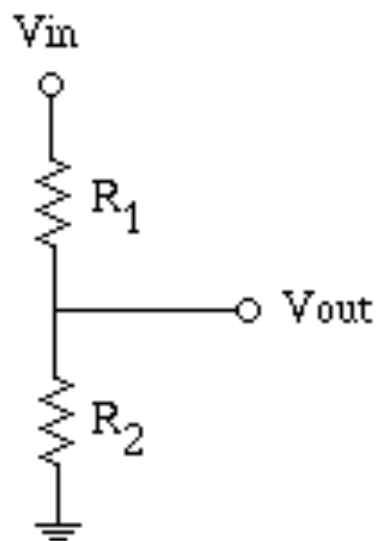


วงจรการต่อใช้งานของ **Photo Resistor**



Voltage Divider

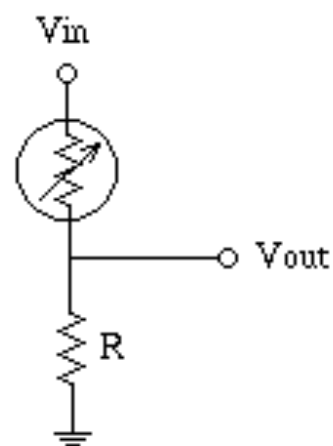
Voltage Divider



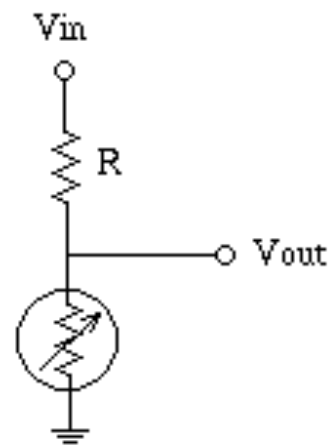
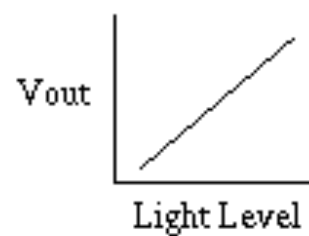
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Using Photoresistors

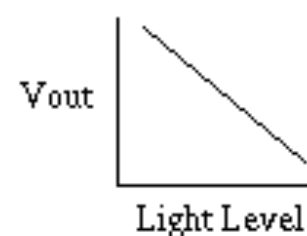
(The symbols with the circles are the photoresistors.)

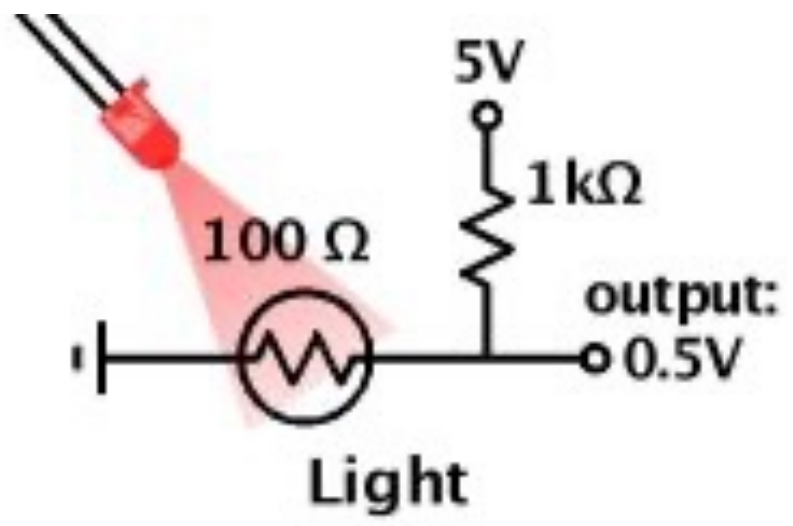
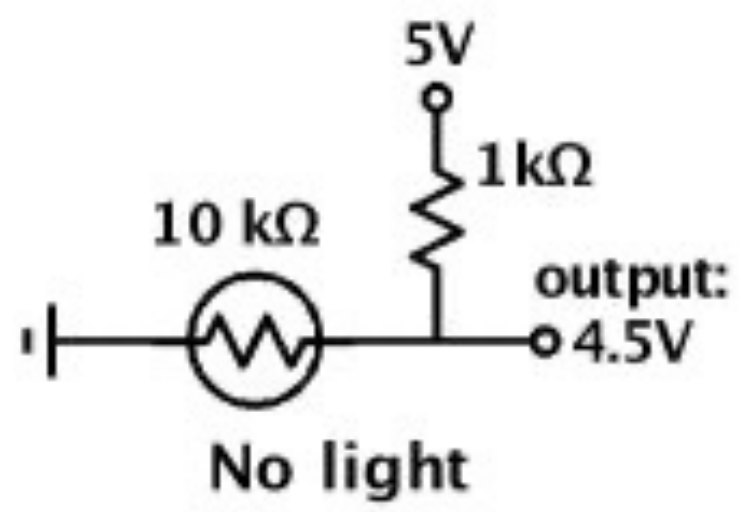


This circuit gives an output voltage that increases with the light level.

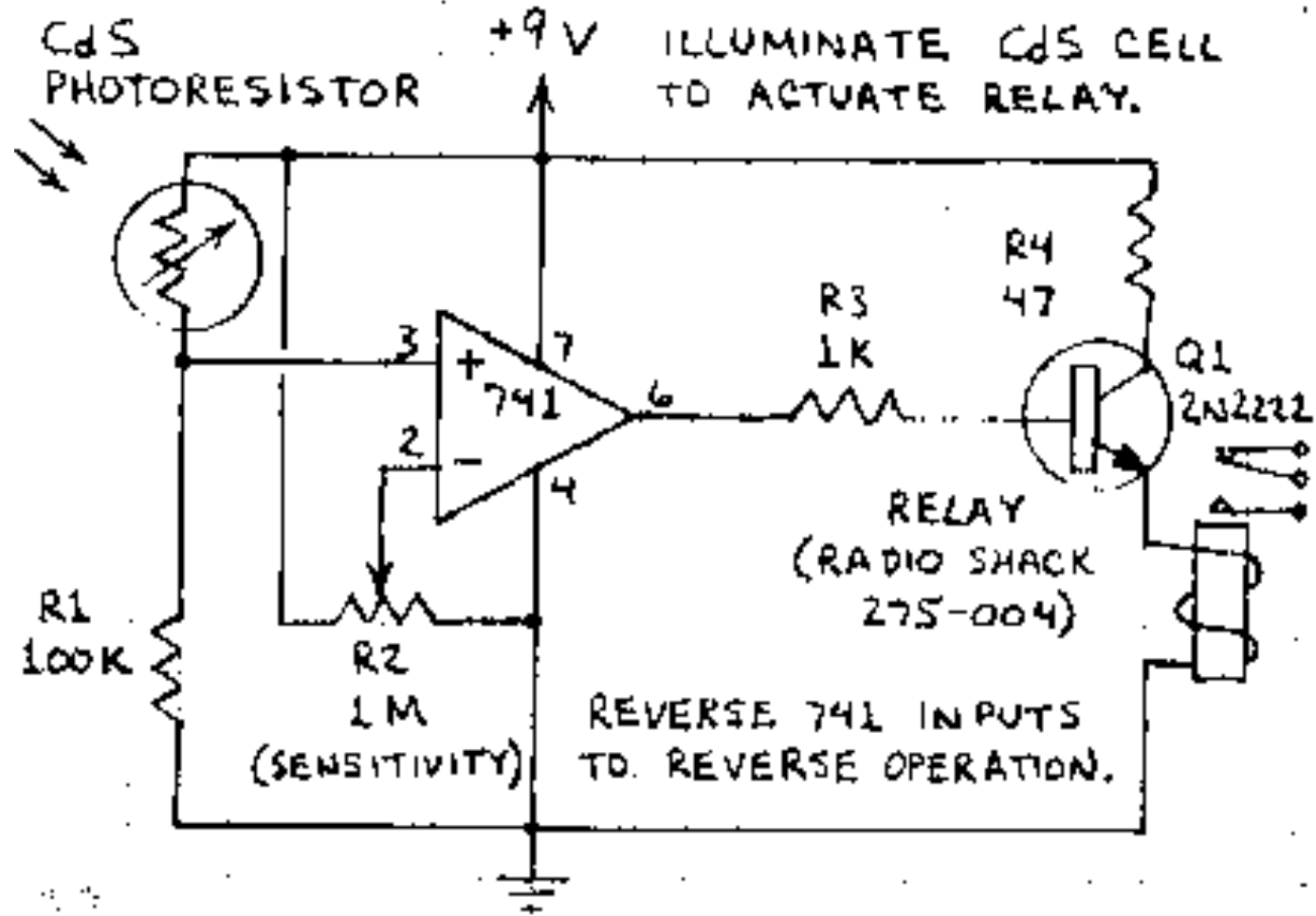


This circuit gives an output voltage that decreases with the light level.





PHOTORESISTOR:



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

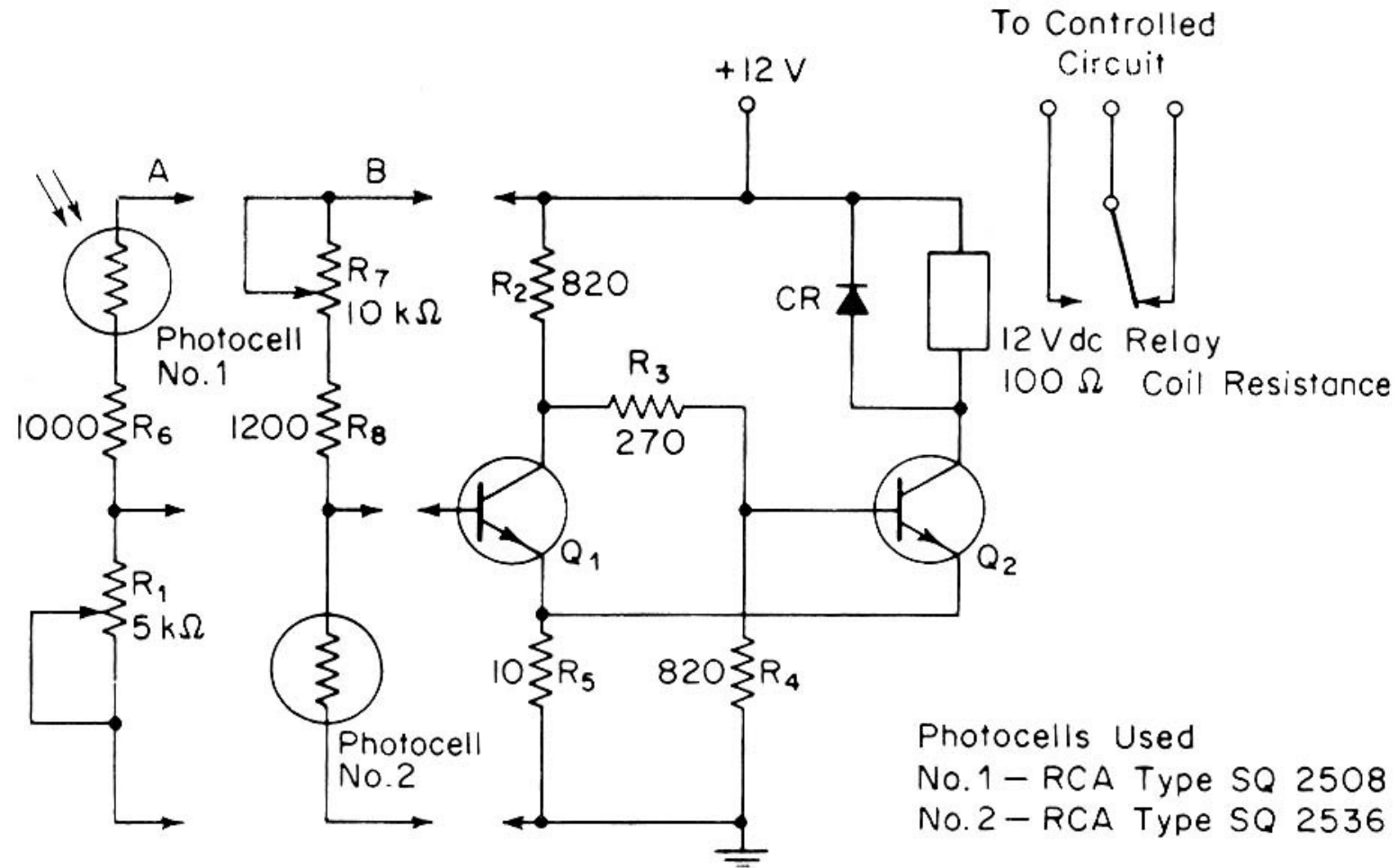


Figure 11-33 Twelve-volt photocell control circuit. (Courtesy of RCA, Electronic Components and Devices Division.)

สรุปเนื้อหาที่ควรรทราบ เกี่ยวกับเซนเซอร์

- **เซนเซอร์ (Sensors)**
 - เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าทางกายภาพหรือทางเคมีและแปลงค่าเหล่านั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้สิ่งที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้
- 1. เซนเซอร์วัดระยะทาง (Distance Sensors)**
 - ใช้ในการตรวจวัดระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับวัตถุ
 - ตัวอย่าง: Ultrasonic sensors, Infrared sensors, LIDAR
 - 2. เซนเซอร์วัดแรง (Force Sensors)**
 - ใช้ในการตรวจวัดแรงที่กระทำกับหุ่นยนต์
 - ตัวอย่าง: Strain gauges, Piezoelectric sensors
 - 3. เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometers)**
 - ใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของหุ่นยนต์
 - ตัวอย่าง: MEMS accelerometers

สรุปเนื้อหาที่ควรรทราบ เกี่ยวกับเซนเซอร์

4. เซนเซอร์วัดเซนเซอร์วัดการหมุน (Gyroscopes)

- ใช้ในการตรวจวัดการหมุนหรือการเปลี่ยนแปลงทิศทาง
- ตัวอย่าง: MEMS gyroscopes

5. แสง (Light Sensors)

- ใช้ในการตรวจวัดความเข้มของแสง
- ตัวอย่าง: Photodiodes, Phototransistors

6. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensors)

- ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือส่วนประกอบของหุ่นยนต์
- ตัวอย่าง: Thermocouples, Thermistors

สรุปเนื้อหาที่ควรรทราบ เกี่ยวกับทรานสดิวเซอร์

- **ทรานสดิวเซอร์ (Transducers)**

ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงรูปแบบของพลังงานหนึ่งเป็นพลังงานอีกแบบหนึ่ง

- 1. แอคทูเอเตอร์ (Actuators)**

- ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนไหวทางกลไก
- ตัวอย่าง: Electric motors, Hydraulic actuators, Pneumatic actuators

- 2. ลำโพง (Speakers)**

- ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นเสียง
- ตัวอย่าง: Piezoelectric speakers, Dynamic speakers

- 3. ฮีตเตอร์ (Heaters)**

- ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นความร้อน
- ตัวอย่าง: Resistive heaters

การนำไปใช้ในหุ่นยนต์

การนำทาง (Navigation): เซนเซอร์วัดระยะทางและ IMU (Inertial Measurement Units) ที่รวมเอา accelerometers และ gyroscopes ไว้ในตัวเดียว จะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถรู้ตำแหน่งและทิศทางได้

- **การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control):** แอคทูเอเตอร์จะทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดแรง เพื่อให้การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์มีความแม่นยำ
- **การรับรู้สิ่งแวดล้อม (Environmental Awareness):** เซนเซอร์วัดแสงและอุณหภูมิจะช่วยให้หุ่นยนต์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์

- **ความแม่นยำ (Accuracy):** ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
- **ความละเอียด (Resolution):** ความสามารถในการแยกแยะการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียด
- **ช่วงการวัด (Range):** ขอบเขตของค่าที่สามารถวัดได้
- **ความทนทาน (Durability):** ความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ
- **ขนาดและน้ำหนัก (Size and Weight):** ความเหมาะสมในการติดตั้งบนหุ่นยนต์

