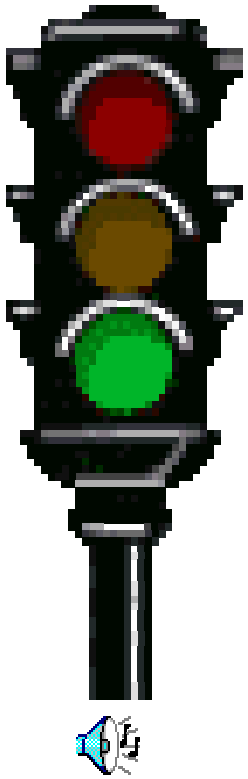
อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม



เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

(Sensor and Transducer)

โดย นายนิคม บัวไพจิตร แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคลำพูน

เซนเซอร์(Sensor) และทรานสดิวเซอร์(Transducer)

เซนเซอร์ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับค่าทางฟิสิกส์ เคมี และกายภาพ ต่าง ๆ แล้วเปลี่ยนเป็นค่าสัญญาณไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้งานวัดและควบคุมต่อไป **ทรานสดิวเซอร์** ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเซนเซอร์

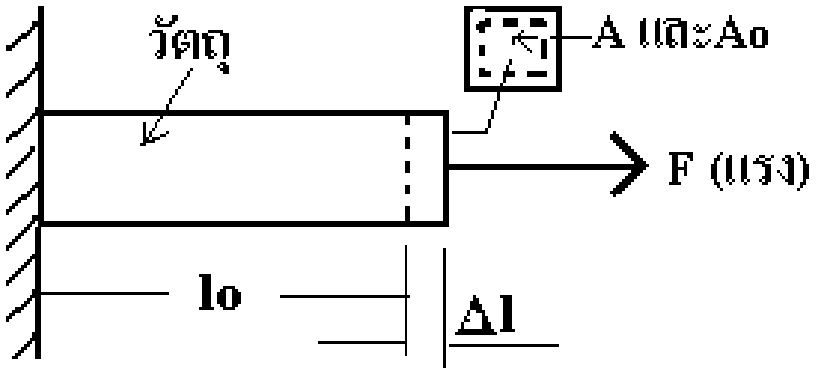
การแบ่งชนิดหรือประเภทของ เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

1. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก
2. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่
3. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหล
4. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดความดัน
5. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ
6. ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก

1. สแตรนเกจ (Strain Gauge)

เป็นอุปกรณ์ ที่ใช้สำหรับวัดความเครียดในชิ้นงาน (ซึ่งเกิดจากแรงทางกลที่มากระทำ ต่อวัตถุ)



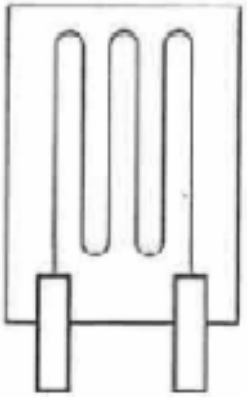
สมการที่สำคัญ :

$$R_o = \rho \frac{l_o}{A_o}$$

$$\Delta R \approx 2R_o \frac{\Delta l}{l_o}$$

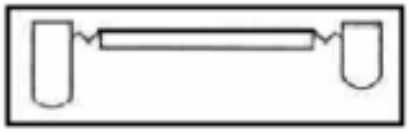
$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก (ต่อ)



Metal Wire
แบบเส้นลวด

Metal Foil
แบบฟอยล์



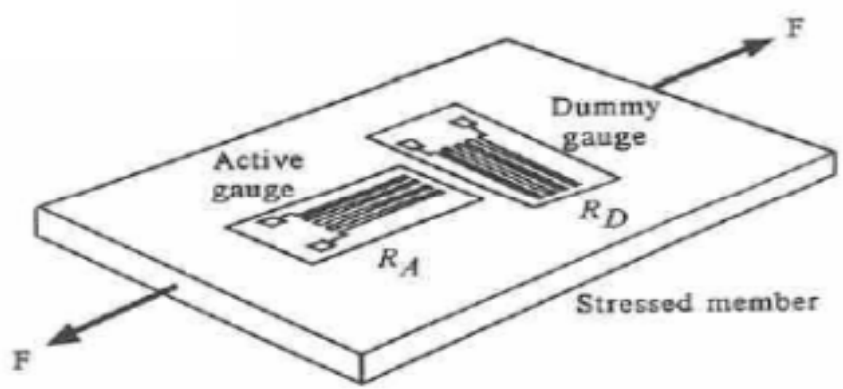
Semi Conductor
แบบสารกึ่งตัวนำ

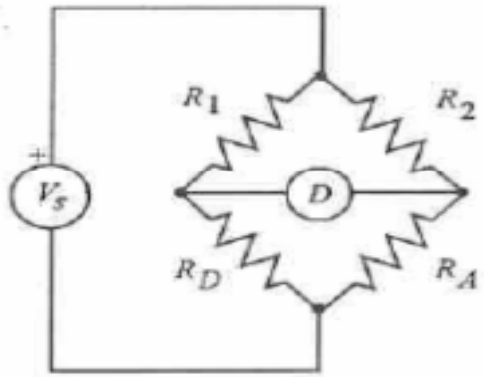
ค่าของเกจแฟคเตอร์ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 2 ถึง 5
ส่วนแบบเป็นโลหะผสม แบบคาร์บอนจะมีค่าสูงถึง 10
(ค่าที่สูงขึ้นหมายความว่าจะมีค่าความไวในการวัดสูงขึ้น)

ค่าความต้านทาน ของตัวสแตรนเกจ โดยทั่วไปจะมีค่า 60 120 240 350 1000 โอมห์ แต่ที่นิยมใช้มากคือ 120 โอมห์

วงจรการต่อใช้งาน สแตรนเกจ

แบบที่ 1 : ใช้ Active gauge 1 ตัว และ Dummy gauge 1 ตัว





สมการที่สำคัญ : เมื่อยังไม่ได้รับแรง กำหนดให้ $R_1 = R_2 = R_D = R$

$$R_A = R\left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right)$$

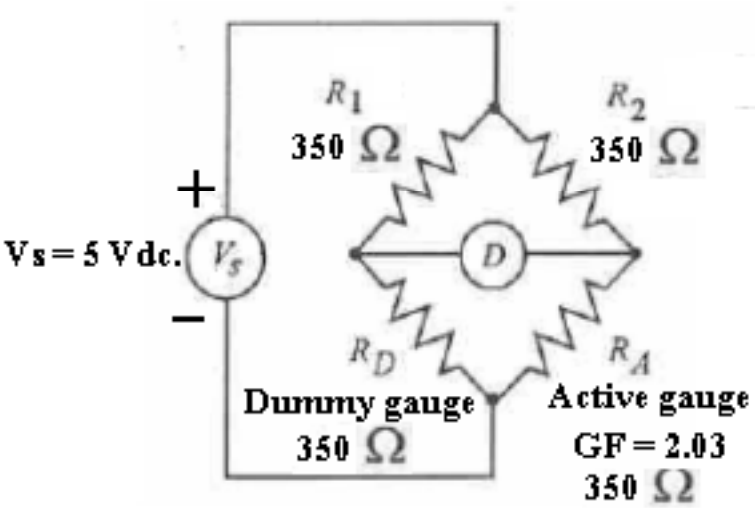
เมื่อบริดจ์สมดุล

$$V = V_S\left[\frac{R_D}{R_D + R_1} - \frac{R_A}{R_A + R_2}\right]$$

เมื่อมีแรงมากระทำและบริดจ์ไม่สมดุล

$$\Delta V = -\frac{V_S}{2}\left[\frac{\Delta R}{2R + \Delta R}\right] \approx -\frac{V_S}{4}\frac{\Delta R}{R} = -\frac{Vs}{4} GF \frac{\Delta l}{l}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก (ต่อ)



เมื่อมีแรงมากระทำแล้วมีผลให้ $\Delta l/l$ เปลี่ยนไป 1450 um/m

จงหาค่า แรงดันไฟฟ้า ΔV

วิเคราะห์การทำงานและคำนวนหาค่า :

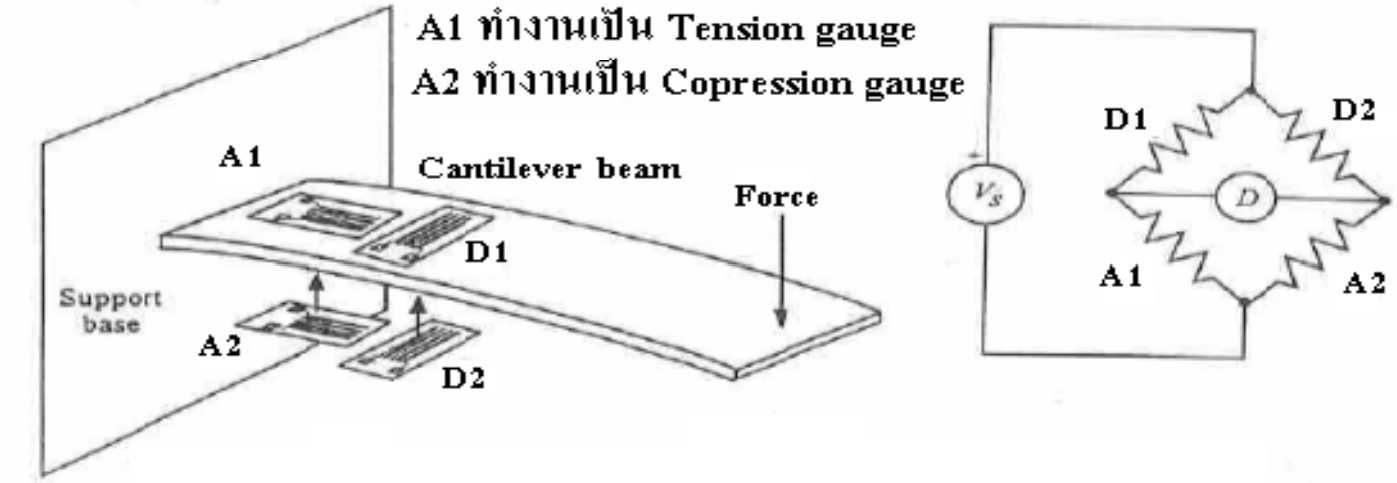
ขณะไม่มีแรงมากระทำ วงจรบริดจ์สมดุล $\Delta V = V = V_S\left[\frac{R_D}{R_D + R_1} - \frac{R_A}{R_A + R_2}\right] = 0.0$ V dc.

เมื่อมีแรงมากระทำ จากสมการ $\Delta V = -\frac{V_S}{2}\left[\frac{\Delta R}{2R + \Delta R}\right] \approx -\frac{V_S}{4}\frac{\Delta R}{R} = -\frac{Vs}{4} GF \frac{\Delta l}{l}$

แทนค่าสมการ $\Delta V = \frac{5.0}{4} \times 2.03 \times 1450 = 3679.37$ uV

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก (ต่อ)

แบบที่ 2 : ใช้ Active gauge 2 ตัว และ Dummy gauge 2 ตัว



สมการที่สำคัญ :

เมื่อบริดจ์สมดุล

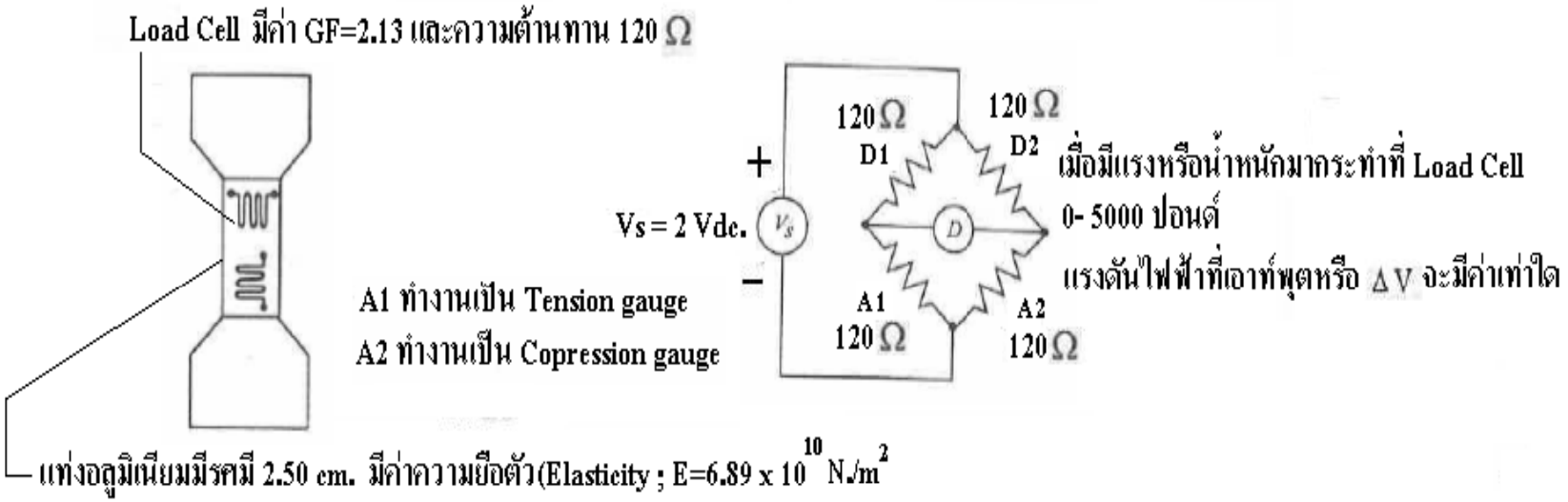
$$\Delta V = V = V_S\left[\frac{R_{A1}}{R_{A1}+R_{D1}} - \frac{R_{A2}}{R_{A2}+R_{D2}}\right] = 0.0\ \text{Vdc.}$$

เมื่อมีแรงมากระทำและบริดจ์ไม่สมดุล

$$\Delta V = -\frac{Vs}{2} GF \frac{\Delta l}{l}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก (ต่อ)

ตัวอย่าง การคำนวณเกี่ยวกับการใช้งานสแตรนเกจ



วิเคราะห์การทำงานและคำนวนหาค่า :

เปลี่ยนหน่วยแรงจาก lb เป็น N. (เมื่อ 1 lb = 4.448 N.)

ดังนั้น 5000 lb = (4.448).(5000) = 22240 N.

หาพื้นที่หน้าตัดของแท่งอลูมิเนียม $A = \pi r^2 = \pi (0.025\ m)^2 = 1.963 \times 10^{-3}\ m^2$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดแรงดันและน้ำหนัก (ต่อ)

จาก E ของอลูมิเนียม $= 6.89 \times 10^{10}\ N/m^2$ และ $E = \frac{Stress}{Strain} = \frac{F/A}{\Delta l / l}$

หาค่า $\Delta l/l$ จากสมการ $\Delta l/l = F/EA = (22240N)/(6.89\times10^{10}\ N./m.^2)(1.963\times10^{-3}\ m.^2)$

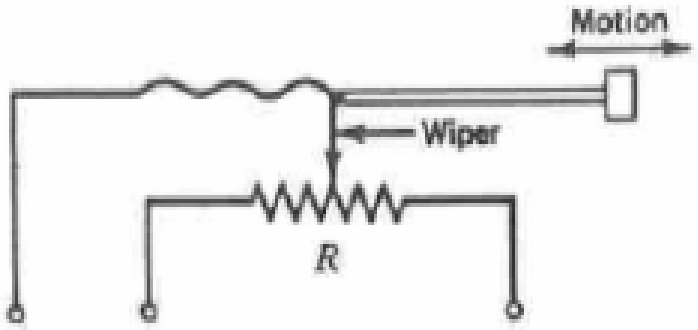
$$\Delta l/l = 1.644\times10^{-4} = 164.4\ \mu m./m.$$

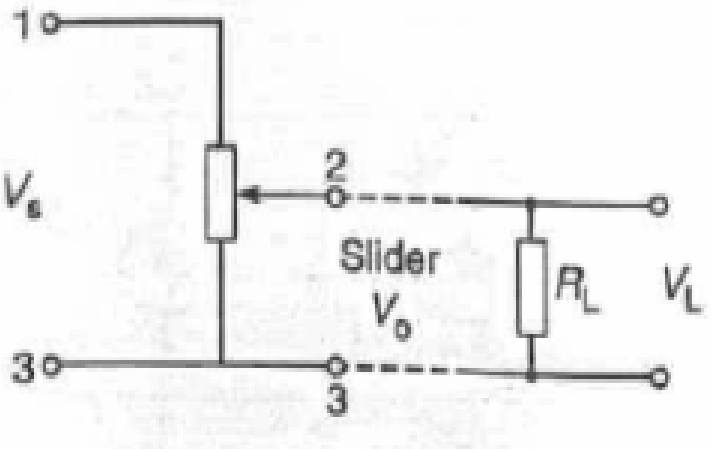
หาค่า ΔV จากสมการ $\Delta V = -\frac{Vs}{4} GF \frac{\Delta l}{l} = -\frac{2}{4}(2.13)(1.644\times10^{-4})$ $\Delta V = -175\ \mu V.$

ดังนั้นแรงดันที่จ่ายออกมาเนื่องจากแรง 0 - 5000 lb. มีค่าเป็น 0 - 175 μV.

1. โพเทนซิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

เป็นอุปกรณ์ ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน และหน้าสัมผัสที่เลื่อนไปมาได้ ในลักษณะเส้นตรงและเชิงมุม แล้วมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ไปของหน้าสัมผัสนั้น





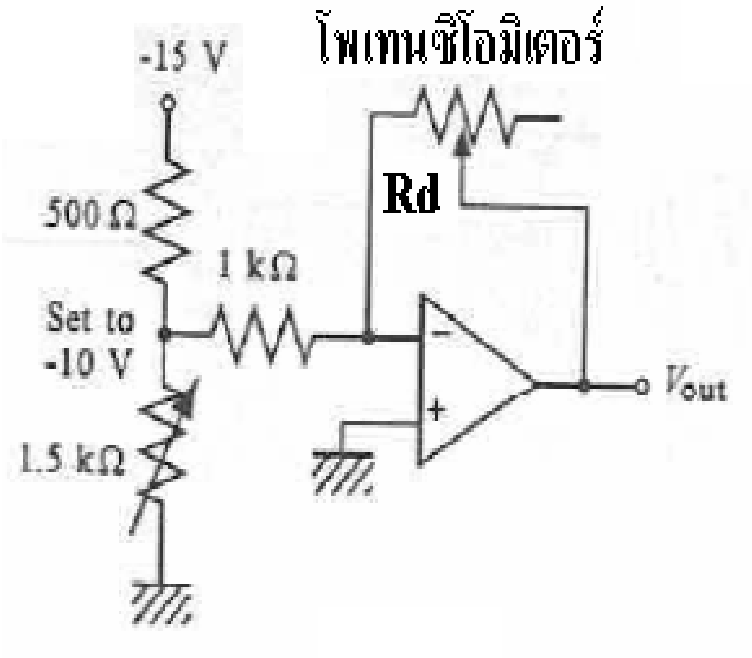
สมการที่สำคัญ :

$$R_o = \rho \frac{l_o}{A_o}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ตัวอย่าง : เมื่อใช้โพเทนซิโอมิเตอร์ ค่า 0 – 1000 โอมห์ เป็นตัวเซนเซอร์ในการวัดระยะการเคลื่อนที่จาก 0 – 10 m จงออกแบบวงจรที่สามารถให้มีค่าสัญญาณทางเอาท์พุต เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 – 10 Vdc.

แนวคิด : เลือกใช้ออปแอมป์ในการออกแบบวงจร



จาก $V_{out} = (R_f / R_i) . V_{in}$.

$V_{out} = (R_d / 1\,k)(-10\,V.)$

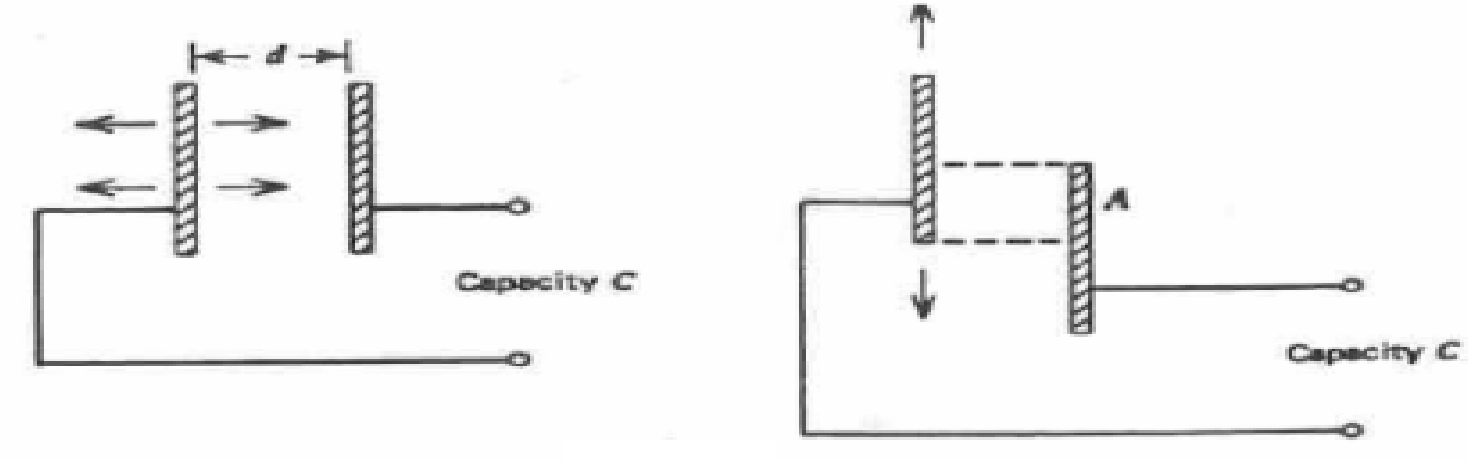
$V_{out} = 0.01\,R_d$

ดังนั้น เมื่อเลือกใช้ Rd จาก 0 - 10 k

จะได้แรงดันเอาท์พุตเปลี่ยนแปลง ระหว่าง 0 - 10 Vdc.

2. คาปาซิตีฟเซนเตอร์ (Capacitive Sensor)

คาปาซิตีฟเซนเตอร์ จะใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับคาปาซิเตอร์ หรือตัวเก็บประจุทั่ว ๆ ไป



สมการที่สำคัญ :

$$C = k\varepsilon_o(A/d)$$

k = ค่าคงที่ (Dielectric Constant)

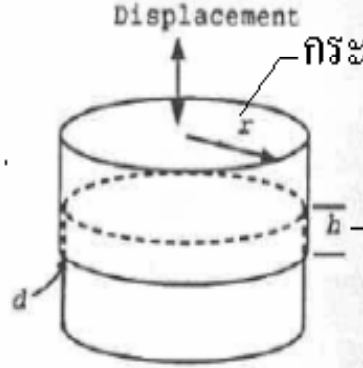
ε_o = Permittivity = 8.85 pF/m.

A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท

d = ระยะห่างระหว่างเพลท

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ตัวอย่าง : การคิดคำนวณเกี่ยวกับการใช้งาน คาปาซิตีฟเซนเซอร์



กระบอกมีค่ารัศมี (r) เป็น 2.5 cm.

จงหาค่าความจุ (C)

เมื่อปรับค่าความซ้อนทับกัน ระหว่าง

ทรงกระบอกทั้งสอง (h) ระหว่าง 1.0 - 2.0 Cm.

ใช้แผ่นพลาสติกหนา 1 mm

ที่มีค่า Dielectric เป็น 2.5

แนวคิด จากสมการ $C = k\varepsilon_o A/d$

เมื่อ A ในที่นี้ คือ พื้นที่ที่ทำให้เกิดค่าความจุ

$A = 2\pi rh$

$C = 2\pi k\varepsilon_o rh / d$

กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง

$dc/dh = 2\pi K\varepsilon_o(r/d)$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ตัวอย่าง : (ต่อ)

กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง

$$dc/dh = 2\pi K\varepsilon_o(r/d)$$

แทนค่าลงในสมการ

$$dc/dh = 2\pi (2.5)(8.85 \text{ pF./m.})(2.5 \times 10^{-2}) / (10^{-3})$$

$$= 3475 \text{ pF./m.}$$

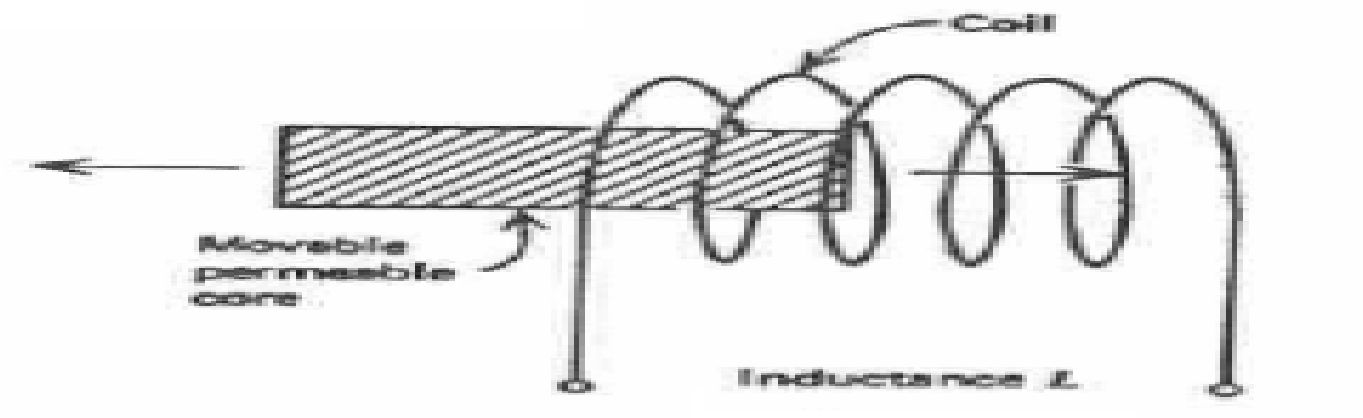
กรณีความสูงเป็น 1.0 cm.

$$C \text{ min} = (3475)(10^{-2}) = 34.75 \text{ pF.}$$

กรณีความสูงเป็น 2.0 cm.

$$C \text{ max} = (3475)(2 \times 10^{-2}) = 69.50 \text{ pF.}$$

3. อินดั๊กตีฟเซนเตอร์ (Inductive Sensor)

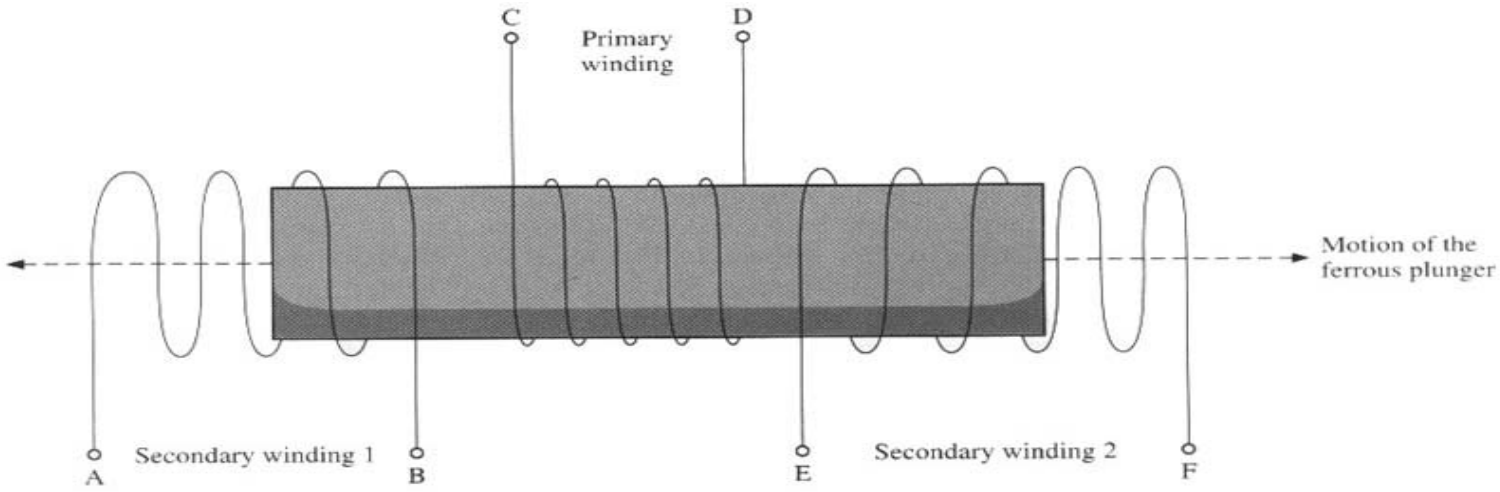


ตำแหน่งต่าง ๆในการเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะทำให้ค่าของความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน หลักการเช่นนี้ จะนำไปใช้ในการทำงานของอินดั๊กตีฟเซนเซอร์

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

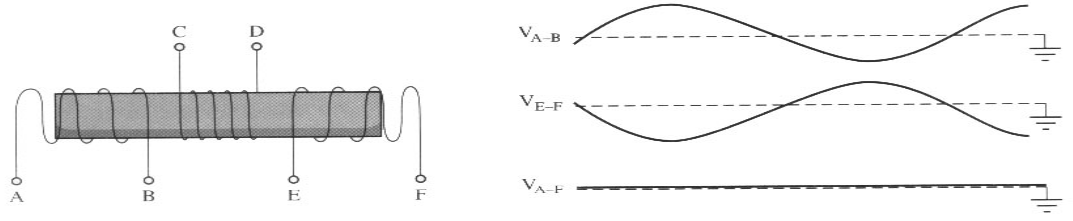
4. Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

เป็นตัวอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer) และการส่งถ่ายพลังงานระหว่างขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (Mutual coupling) โดยทั่วไป LVDT นิยมใช้เป็นตัวเซนเซอร์ หรือ ทรานสดิวเซอร์ ตำแหน่งของแกน (Moveable Magnatic Core)

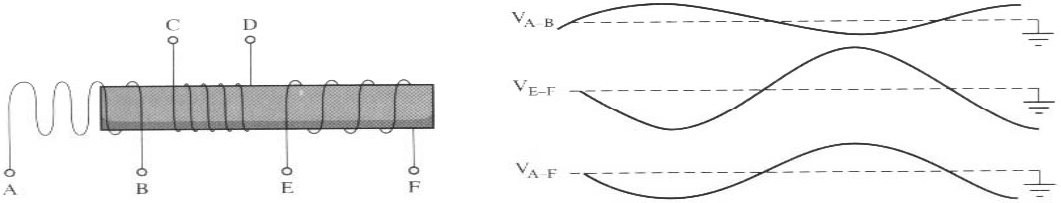


เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

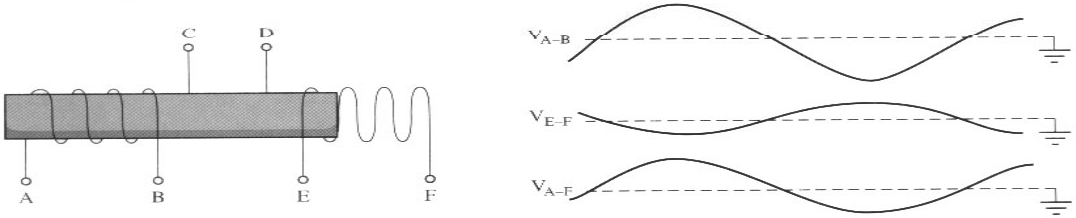
การทำงานของ LVDT



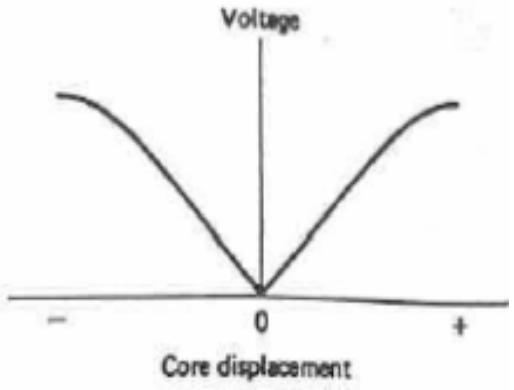
(a) LVDT condition with the ferrous core in the center position



(b) LVDT condition with the plunger moved to the right ($V_{E-F} > V_{A-B}$)

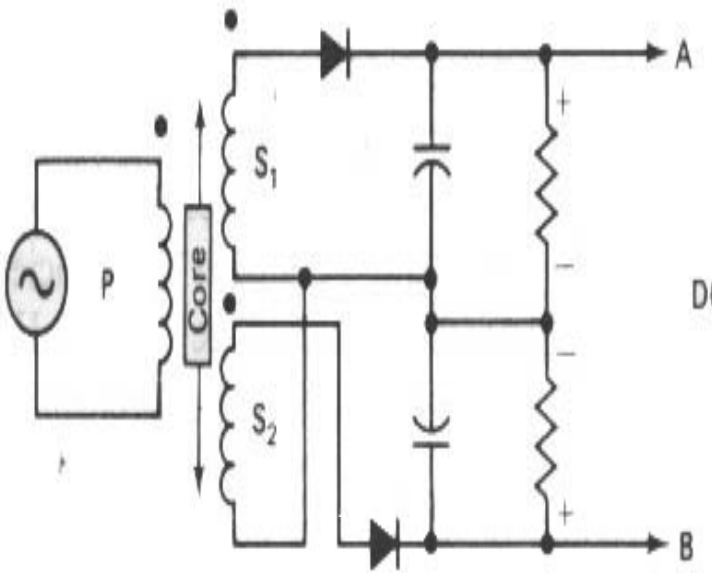


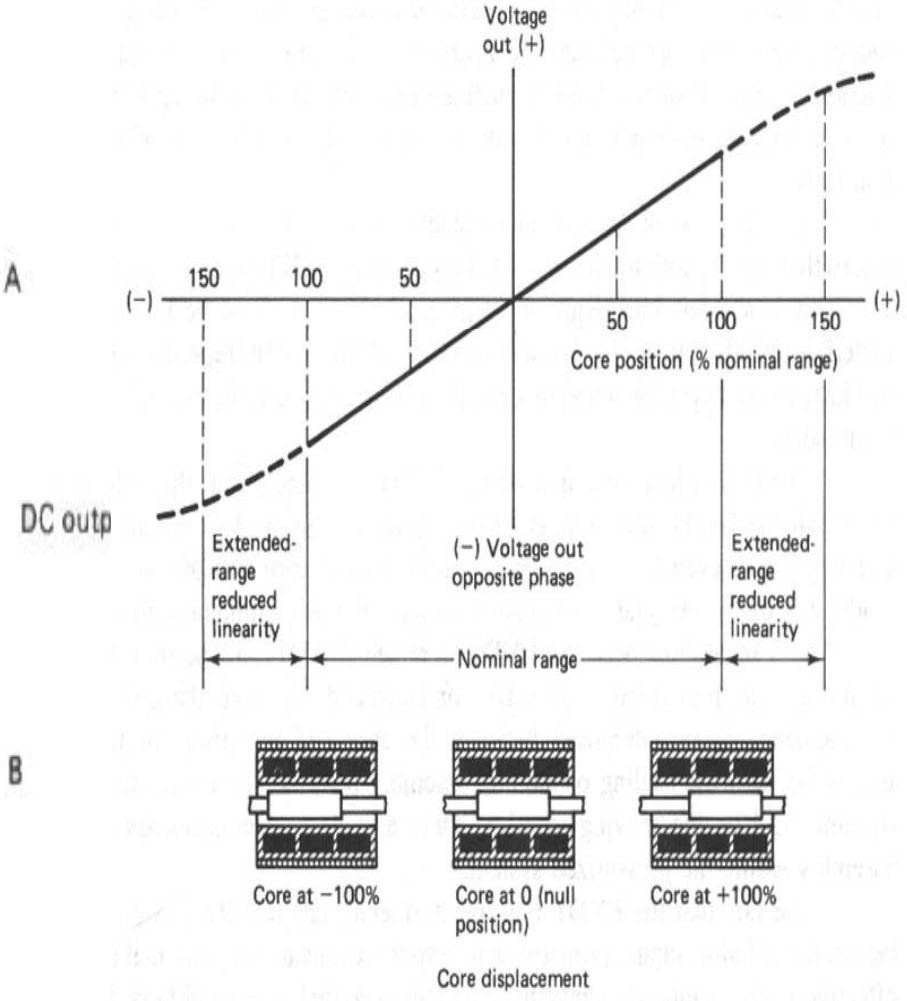
(c) LVDT condition with the plunger moved to the left ($V_{A-B} > V_{E-F}$)



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

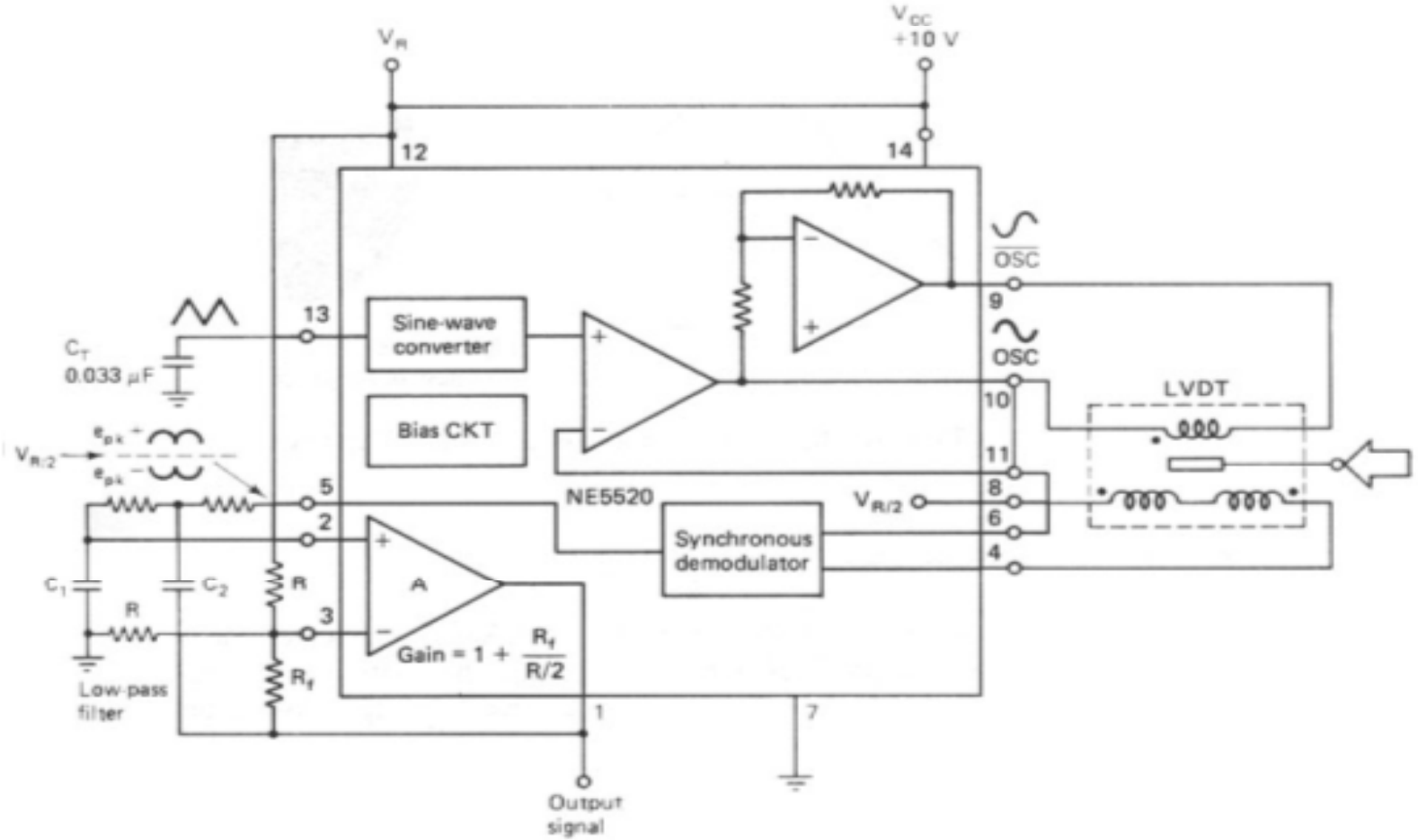
การทำงานของ LVDT





เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ตัวอย่างการต่อ LVDT instrumentation package #NE/SE5520 ร่วมกับ LVDT



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ตัวอย่าง :

LVDT ตัวหนึ่งมีระยะในการเคลื่อนที่เป็น 1.5 cm. มีความลิเนียร์ (Linearity) 0.3% สัญญาณที่ได้จาก LVDT ตัวนี้ เป็น 23.8 mV./ mm. หากนำ LVDT ตัวนี้มาใช้ในการตรวจจับการ เคลื่อนที่ซึ่งอยู่ในช่วง - 1.2 ถึง + 1.4 cm. แรงดันเอาท์พุทและค่าผิดพลาดในตำแหน่งที่ไม่ลิเนียร์ (Non-Linear) จะมีค่าเป็นเท่าไร

แนวคิด:แรงดันด้านเอาท์พุท

$$V(-1.2\ cm.) = (23.8\ mV./\ mm.)(-12\ mm.) = -285.6\ mV.$$

$$V(1.4\ cm.) = (23.8\ mV./\ mm.)(14\ mm.) = 333\ mV.$$

ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นทางด้านเอาท์พุท 0.3% หรือ 0.003

ดังนั้นที่แรงดัน 23.8 mV./mm. จะมีค่าผิดพลาดเป็น

$$(0.003)(23.8\ mV./mm.) = 0.0714\ mV./\ mm.$$

เพราะฉะนั้นค่าแรงดันที่วัดได้ (Vm) มีค่าอยู่ในช่วง Vm (+/-)0.0714 V.

การวัดการไหลของของเหลว : จำแนกเป็น 3 ลักษณะ

- $(Q = V/t)$ ปริมาตรของการไหล (Volume Flow Rate)

  มีหน่วยวัดเป็น gallon./min. , $m.^3$/min. , $ft.^3$/min.

- $(v = Q/A)$ ความเร็วของการไหล (Flow Velocity)

  คือ ปริมาตรของการไหลต่อพื้นที่หน้าตัดที่ของไหล ไหลผ่าน

  มีหน่วยวัดเป็น m./min. , ft./min.

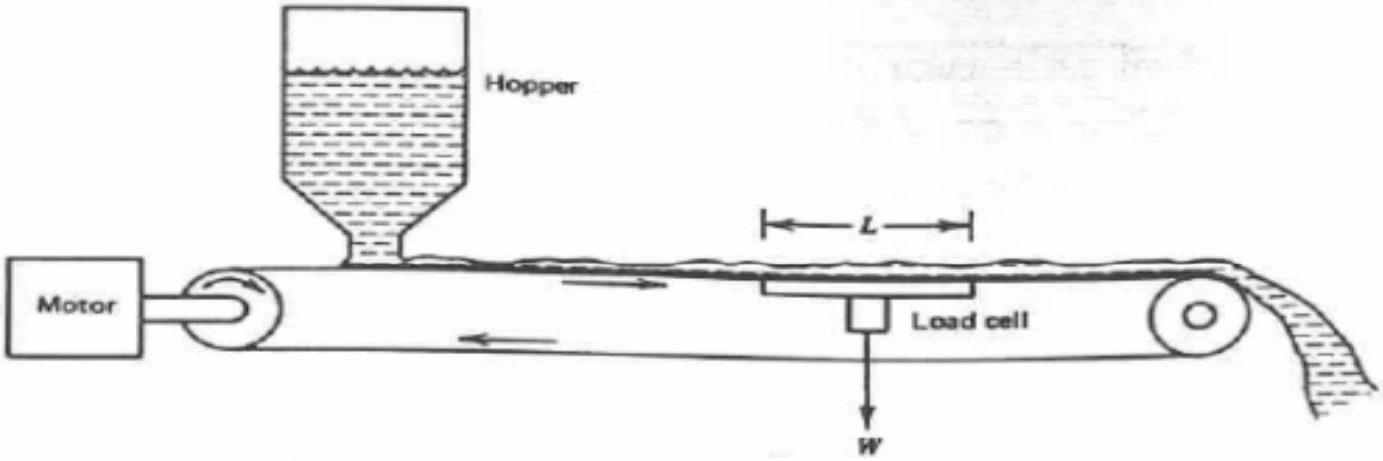
- $(F = \rho.Q)$ มวลหรือน้ำหนักของการไหล (Mass or Weight Flow Rate)

  มีหน่วยวัดเป็น Kg./min. , lb./min.

  เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของมวลหรือน้ำหนัก

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

ตัวอย่างการวัดการไหลบนสายพาน



ตัวอย่าง สายพานลำเลียงถ่านหินชุดหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 ft. / min. มีน้ำหนักเป็น 75 lb. ในช่วงการวัด 5.0 ft. จงคำนวณหาอัตราการไหลของถ่านหินบนสายพานลำเลียงนี้

แนวคิด จากสมการ $Q = WR/L$

$$Q = (75 \text{ lb.})(100 \text{ ft. / min.})$$

$$Q = 1500 \text{ lb. / min.}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

ตัวอย่าง น้ำถูกปั๊มเข้าไปในท่อที่มีขนาด 1.5 inch. ไหลด้วยความเร็ว 2.5 ft./s. จงคำนวณ หาปริมาตรและน้ำหนักในการไหลของน้ำ เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำเป็น 62.4 lb./ft.^{3}

แนวคิด จากสมการ $Q = vA$

$A = \pi d^2/4$

$d = (1.5 \text{ in.})(1/12 \text{ ft./in.}) = 0.125 \text{ ft.}$

$A = 0.0122 \text{ ft.}^2$

ดังนั้น $Q = (2.5 \text{ ft./s.})(60 \text{ s./min.})(0.122 \text{ ft}^2) = 1.8 \text{ ft}^3/\text{min.}$

และจากสมการ $F = \rho Q = (62.4 \text{ lb./ft.}^3)(1.8 \text{ ft.}^3/\text{min.}) = 112 \text{ lb./min.}$

หมายเหตุ

(F = อัตราการไหลของน้ำหนัก)

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

การวัดอัตราการไหล แบบจำกัดการไหล (Restriction Flow Sensor)

เป็นวิธีการวัดการไหลวิธีหนึ่งซึ่งวัดค่าแรงดันตกคร่อมตรงจุดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น โดยใส่ไว้ภายในท่อ ความเร็วที่ไหลผ่านจุดนี้จะเพิ่มขึ้น แต่ความดันจะลดต่ำลง

$Q = k\sqrt{\Delta P}$ เมื่อ Q = อัตราการไหล

K = ค่าคงที่สำหรับท่อและชนิดของของเหลว

ΔP = ความดันตกคร่อมตรงจุดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

การวัดอัตราการไหล แบบจำกัดการไหล (Restriction Flow Sensor)

เป็นวิธีการวัดการไหลวิธีหนึ่งซึ่งวัดค่าแรงดันตกคร่อมตรงจุดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น โดยใส่ไว้ภายในท่อ ความเร็วที่ไหลผ่านจุดนี้จะเพิ่มขึ้น แต่ความดันจะลดต่ำลง

$Q = k\sqrt{\Delta P}$ เมื่อ Q = อัตราการไหล

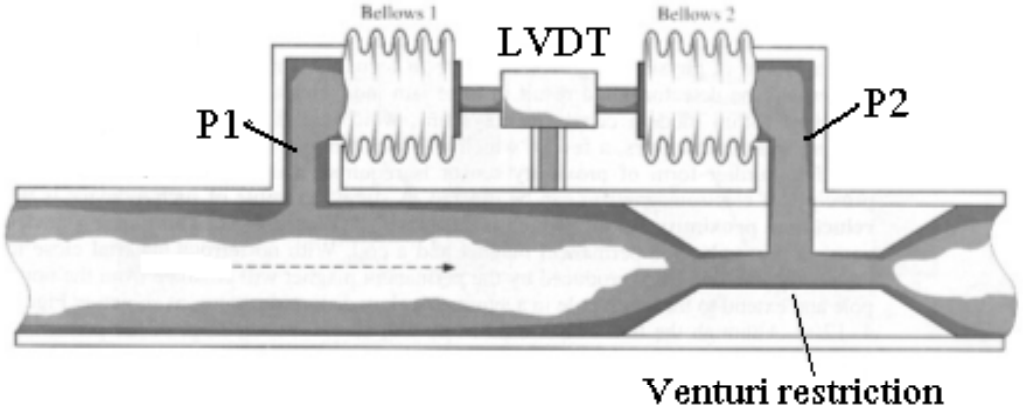
K = ค่าคงที่สำหรับท่อและชนิดของของเหลว

ΔP = ความดันตกคร่อมตรงจุดที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน

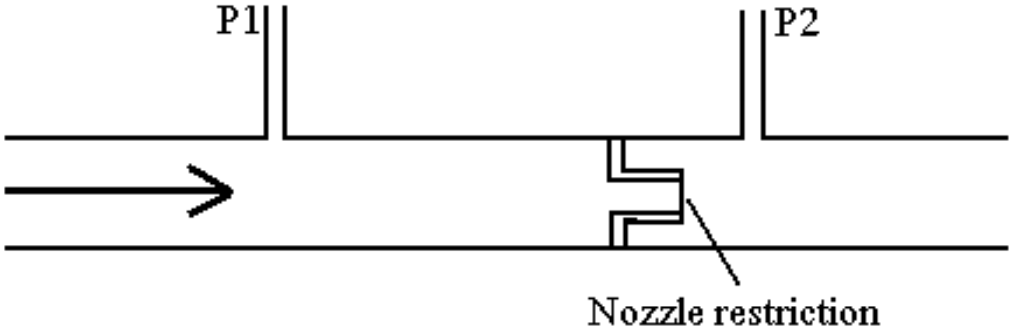
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

ตัวอย่างการวัดอัตราการไหล :

ดิฟเฟอเรนเชียลเพรสเซอร์ เซนเซอร์ (DP Cell)



ดิฟเฟอเรนเชียลเพรสเซอร์ เซนเซอร์ (DP Cell)



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

ตัวอย่าง อัตราการไหลถูกควบคุมให้อยู่ช่วง 20 - 150 gal. / min . การวัดการไหลจะใช้ Restriction plate ซึ่งมีค่า K = 119.5 gal./min./psi. การวัดความดันจะใช้ Bellow และ LVDT ซึ่งให้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุตเป็น 1.8 V. / psi. จงคำนวนหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอัตราการไหลตามที่กำหนด

แนวคิด จากสมการ $Q = k\sqrt{\Delta P}$ หรือ $\Delta P = (\frac{Q}{k})^2$

สำหรับอัตราการไหลที่ 20 gal./min

$$\Delta P = (20/119.5)^2 = 0.0280 \text{ psi.}$$

สำหรับอัตราการไหลที่ 150 gal./min.

$$\Delta P = (150/119.5)^2 = 1.5756 \text{ psi.}$$

เนื่องจากแรงดันด้านเอาท์พุทของ LVDT มีค่าเป็น 1.8 V./psi

สำหรับอัตราการไหลที่ 20 gal./min.

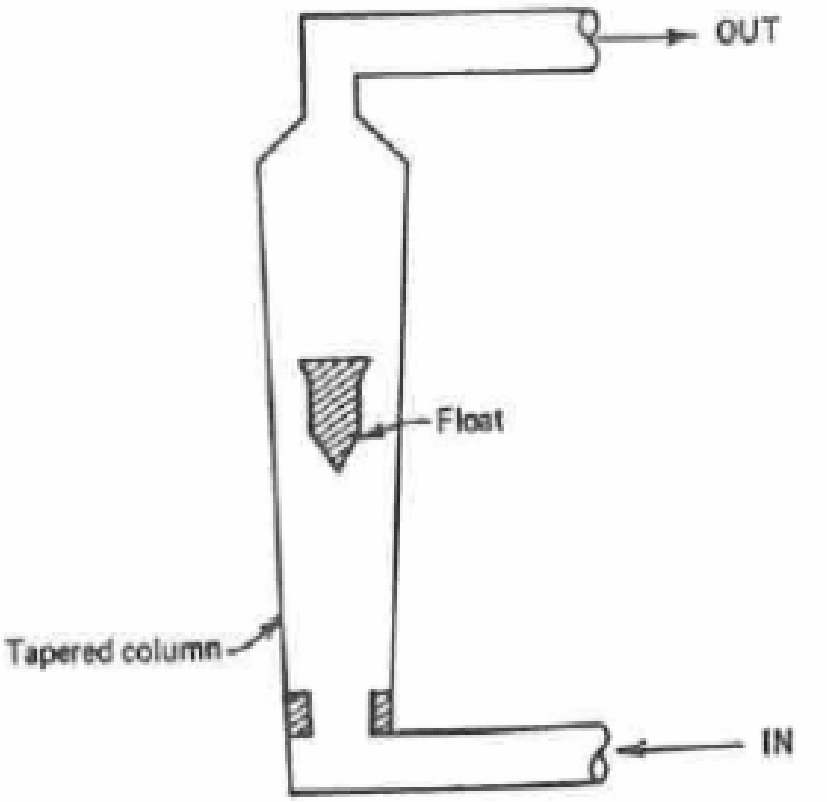
$$V = (0.0208)(1.8) = 0.0504 \text{ V.}$$

สำหรับอัตราการไหลที่ 150 gal./min.

$$V = (1.5756)(1.8) = 2.836 \text{ V.}$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

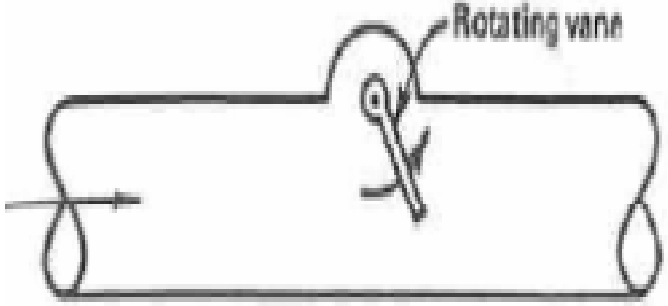
การวัดอัตราการไหล แบบกีดขวางการไหล (Obstruction Flow Sensor)



ในการใช้ Rota Meter ลูกลอยภายในห้องที่มีลักษณะแบบเรียว จะเลื่อนขึ้นลงได้ในแนวดิ่ง โดยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหลการเลื่อนขึ้นลงของลูกลอยจะทำให้เกิดความดันที่แตกต่างขึ้น เนื่องจากการถูกจำกัดการไหล วิธีการวัดแบบนี้สามารถใช้ได้ทั้งของเหลวและแก๊ส

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

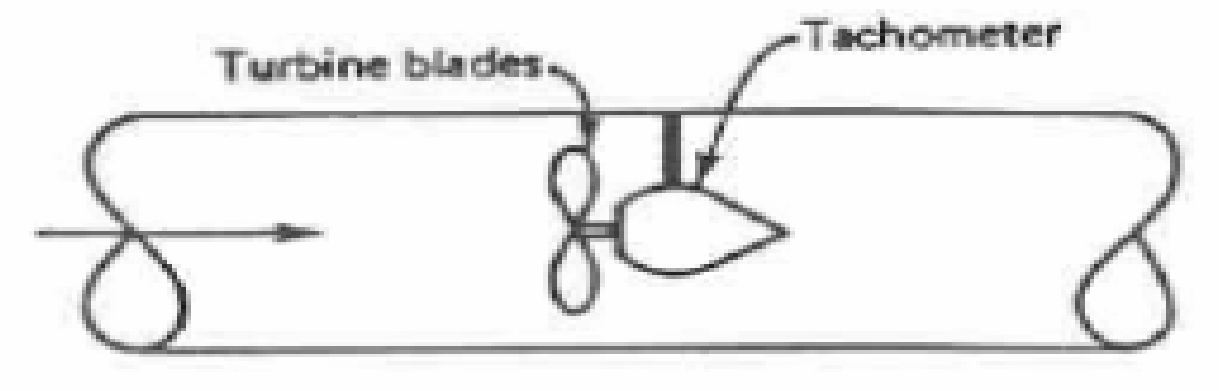
การวัดอัตราการไหล แบบกีดขวางการไหล (Obstruction Flow Sensor)



การวัดการไหลด้วยใบพัด (Moving Vane) ในกรณีที่อัตราการไหลมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ใบพัดยกตัวเปลี่ยนตำแหน่ง และหากนำแกนของใบพัดต่อเข้ากับเซนเซอร์ ที่ใช้ในการวัดมุม ซึ่งสามารถที่จะวัดอัตราการไหลได้ โดยทั้งนี้จะต้องมีการออกแบบหรือปรับค่าที่ได้ให้เป็นค่าของอัตราการไหล

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

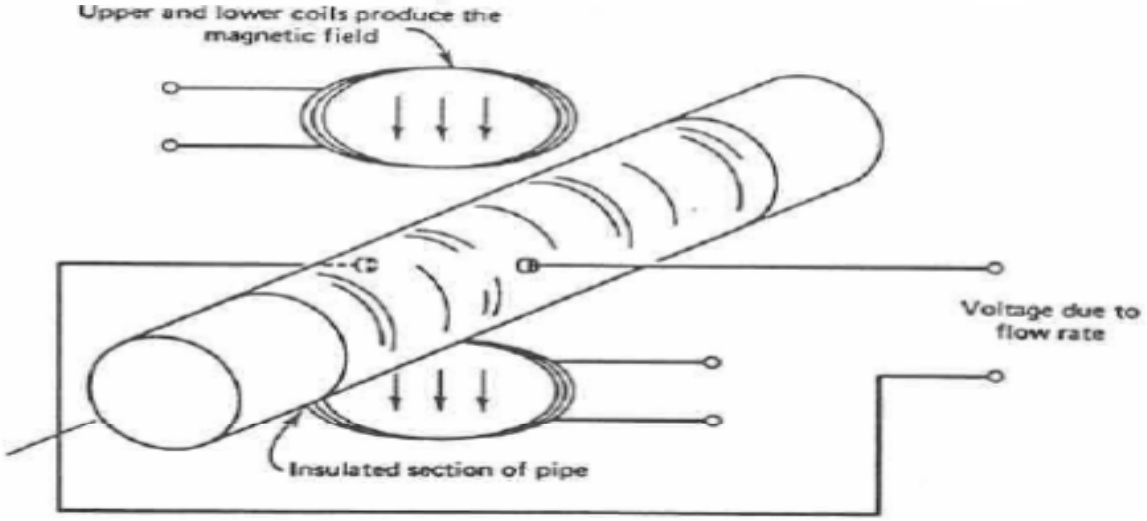
การวัดอัตราการไหล แบบกีดขวางการไหล (Obstruction Flow Sensor)



การวัดการไหลด้วยใบพัดหมุน (Turbine type) ความเร็วในการหมุนของใบพัด จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหล หากนำใบพัดนี้ไปติดกับอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า(Tachometer) ก็สามารถที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาได้

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดการไหลของของเหลว (ต่อ)

การวัดการไหลด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flow Meter)



การวัดการไหลด้วยวิธีนี้ของไหลจะต้อง เป็นตัวนำไฟฟ้า โดยหลักการทำงานจะเหมือนกับการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั่วไป กล่าวคือ ใช้ความเร็ว ของตัวนำตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่อยู่กับที่โดยจุดที่มีสนามแม่เหล็ก ท่อจะต้องเป็นฉนวนไฟฟ้า

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดความดัน

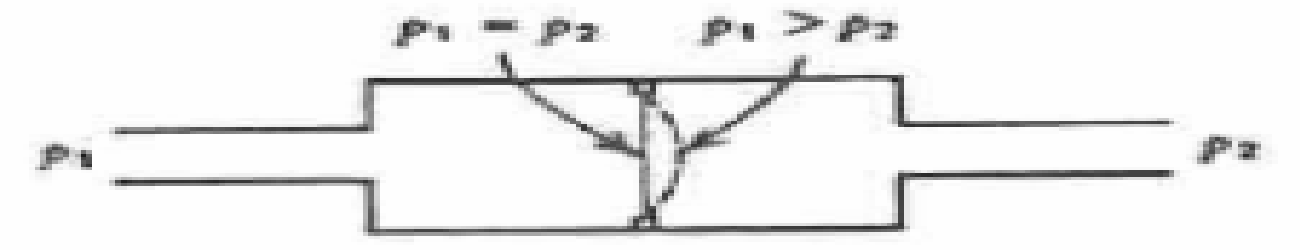
หลักการเบื้องต้นของความดัน คือ แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$P = F/A$$

เมื่อ P = ความดัน ($N./m.^2$, psi.)

F = แรง (N. , lb.)

A = พื้นที่หน้าตัดที่แรงกระทำ ($m.^2$, $in.^2$)

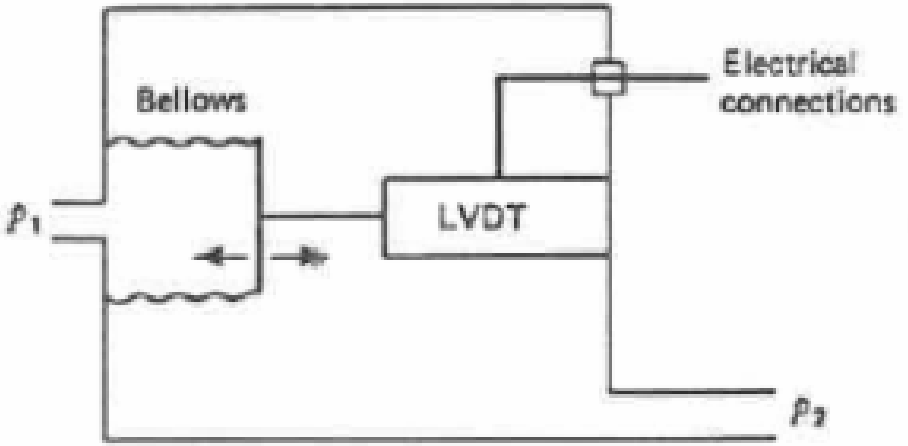


$$F = (\Delta P)(A)$$

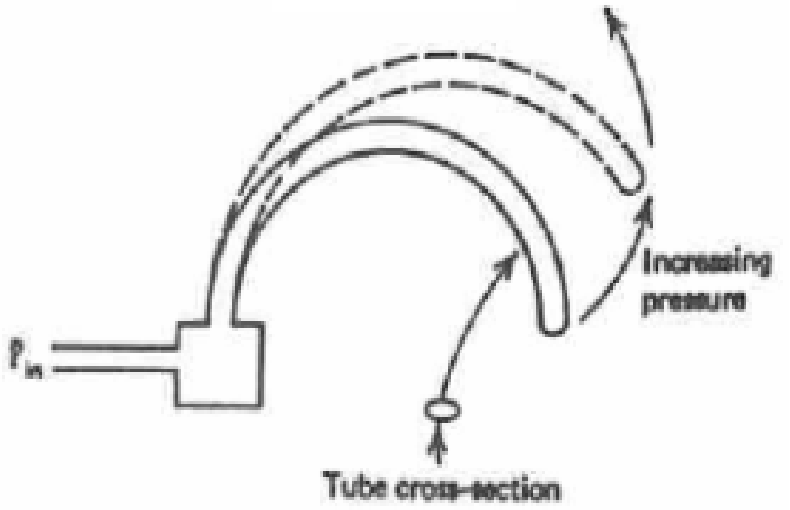
เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัด ($m.^2$)

$\Delta P = P_1 - P_2$ ความดันแตกต่าง ($N./m.^2$)

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดความดัน (ต่อ)

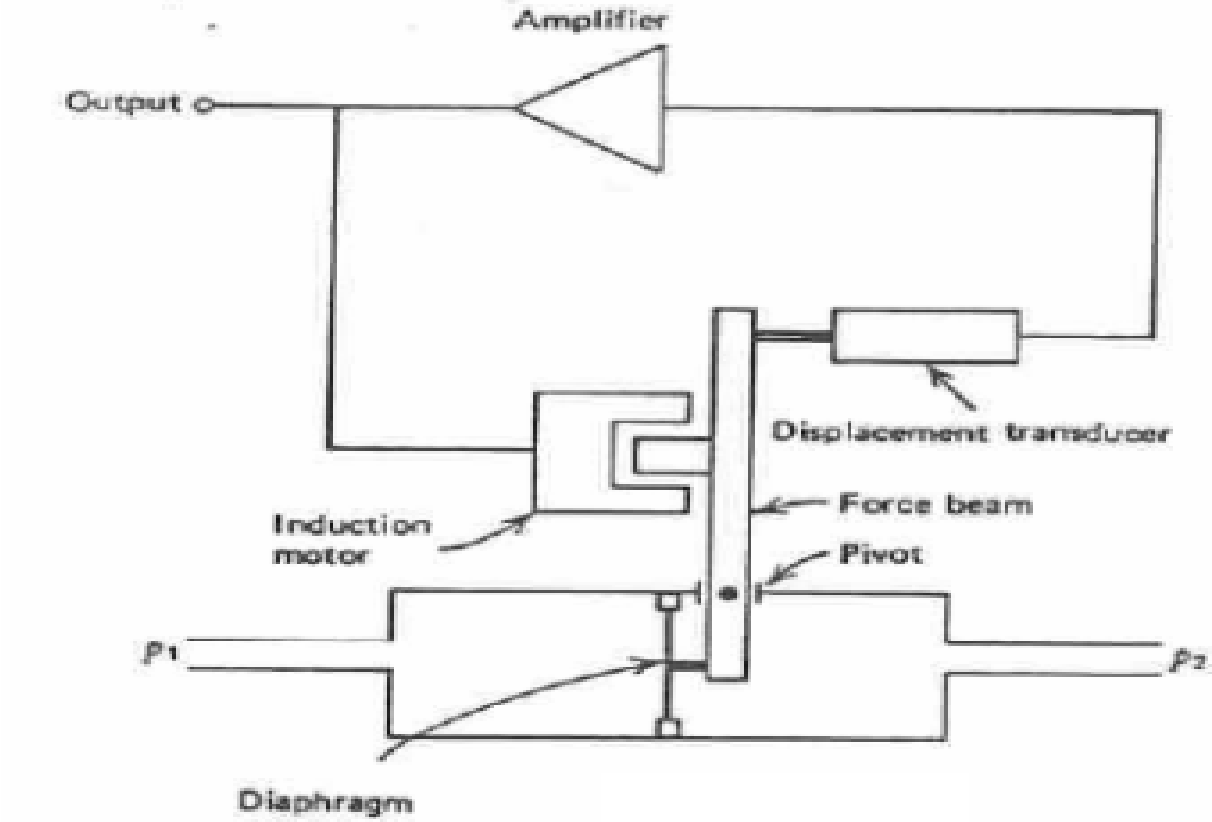


ในการตรวจวัดความดัน ที่ต้องการสัญญาณเป็นไฟฟ้าสามารถนำ LVDT มาต่อร่วมกับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งถูกทำเป็นกระเปาะ(Bellow)



การตรวจวัดความดันโดยโลหะก้านกลวง (Bourdon Tube) เมื่อมีความดันเข้ามาภายในโลหะก้านกลวง จะทำให้ก้านโลหะยืดตัวออก ซึ่งการยืดและหดตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของความดัน การ ตรวจวัดด้วยวิธีนี้ส่วนมากจะเป็นเกจวัด

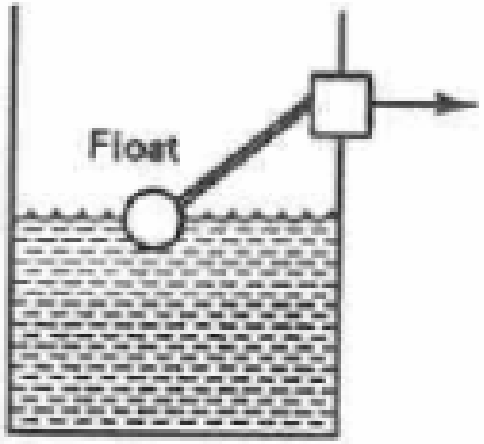
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดความดัน (ต่อ)



การตรวจวัดความดันด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะต้องมีการ เปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ เหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งในการเปลี่ยนค่าเหล่านั้นอาจใช้โพเทนชิโอ มิเตอร์ LVDT สเตรนเกจ ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ

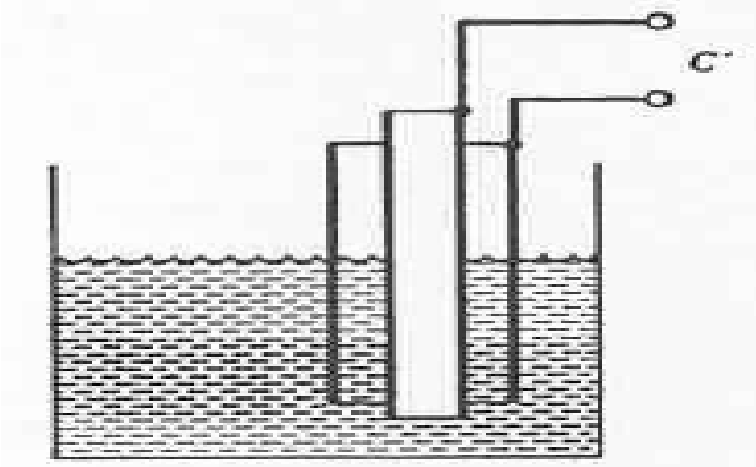
การตรวจวัดระดับด้วยวิธีการทางแมคคานิกส์



ตัวอย่างที่ธรรมดาที่สุดในการตรวจวัดระดับของเหลว ก็คือ **ลูกลอย** ซึ่งสามารถเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นลงได้โดยระดับของของเหลว ในกรณีที่นำมาใช้ในงานสามารถต่อแกนเข้ากับโพเทนชิโอมิเตอร์ หรือ LVDT ได้

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ (ต่อ)

การตรวจวัดระดับด้วยวิธีการทางไฟฟ้า



1. ใช้การนำไฟฟ้าของของเหลวหรือของแข็ง ในการเปลี่ยนค่า ความต้านทาน โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัด ใส่ลงไปในวัตถุเหล่านั้น

2. ใช้หลักการตัวเก็บประจุ กล่าวคือ ใช้โลหะทรงกระบอก 2 ชุด โดยมีช่องว่างระหว่างกัน เมื่อกำหนดให้ค่า Dielectric ของอากาศเป็นค่า คงที่ (ประมาณ 1) ส่วนค่าอื่นขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว เมื่อ ระดับของของเหลวเปลี่ยนไป จะทำให้ค่าของตัวเก็บประจุ เปลี่ยนแปลงไปด้วย

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ (ต่อ)

ตัวอย่าง ในการตรวจจับเอทิลแอลกอฮอล์ที่ระดับ 0 - 5 m. ใช้หลักการของตัวเก็บประจุใน การตรวจจับ โดยค่าคงที่ของเอทิลแอลกอฮอล์ K = 26 ระยะห่างระหว่างเพลททรงกระบอก d = 0.5 cm. รัศมี (r) โดยเฉลี่ย 5.75 cm. ให้คำนวณหาค่าความจุ (C)ที่เปลี่ยนไปจาก 0 - 5 m.

แนวคิด จากสมการ $C = K \varepsilon_o A/d$ เมื่อ $\varepsilon_o = 8.85$ pF./m.

$A = 2\pi rL = 2\pi(0.0575)(5)$

$A = 1.806$ m.^{2}

สำหรับอากาศ (K = 1)

$C = (1)(8.85)(1.806/0.005)$

$C = 3196$ pF. $= 0.0032$ µF.

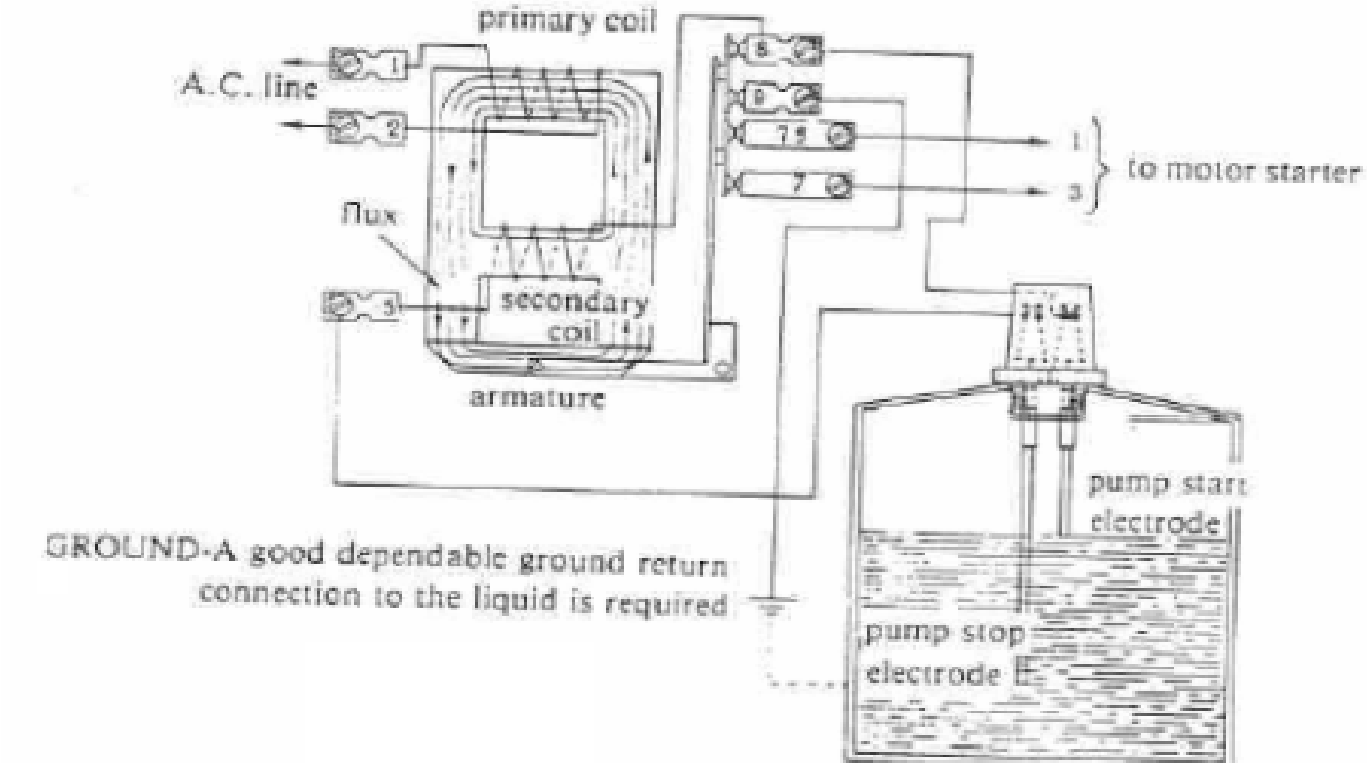
สำหรับเอทิลแอลกอฮอล์ (K = 26)

$C = (26)(8.85)(1.806/0.005)$

$C = 0.0832$ µF.

ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า C คือ 0.0032 - 0.0832 µF

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ (ต่อ)



สวิทช์ระดับแบบง่าย ๆ แบบที่ใช้ความนำไฟฟ้าของของเหลว ที่ต้องการวัดระดับ เหมาะสำหรับของเหลวที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูง เช่น น้ำประปา น้ำที่มีส่วนผสมของกรดด่าง เกลือ ฯลฯ

ข้อควรระวัง คือ แรงเคลื่อนของไฟฟ้าที่ใช้จะต้องต่ำกว่า 45 โวลท์

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ (ต่อ)

การตรวจวัดระดับด้วยความดัน

การตรวจวัดระดับของของเหลว หากทราบความหนาแน่นของของเหลว พื้นที่ของภาชนะ รวมทั้งความดันก็สามารถวัดระดับความสูงของของเหลวได้ตามสมการ

$$p = \rho gh$$

p	=	ความดัน (N/m^2 , Pa.)
ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว ($Kg./m^3$)
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 $m./s^2$)
h	=	ระดับความสูงของของเหลว (m.)

จากสมการจะเห็นว่า หากค่า ρ และ g คงที่ ค่าความดัน P และความสูงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดระดับ (ต่อ)

ตัวอย่าง ถังน้ำใบหนึ่งมีความดันที่ก้นถังเป็น 20 Kpa เมื่อน้ำมีความหนาแน่นเป็น 10^3 Kg./m.^{3} อยากทราบว่าน้ำในถังใบนี้มีความสูงจากก้นถังเป็นเท่าใด

แนวคิด จากสมการ $p = \rho gh$

เพราะฉะนั้น $h = P/\rho g$

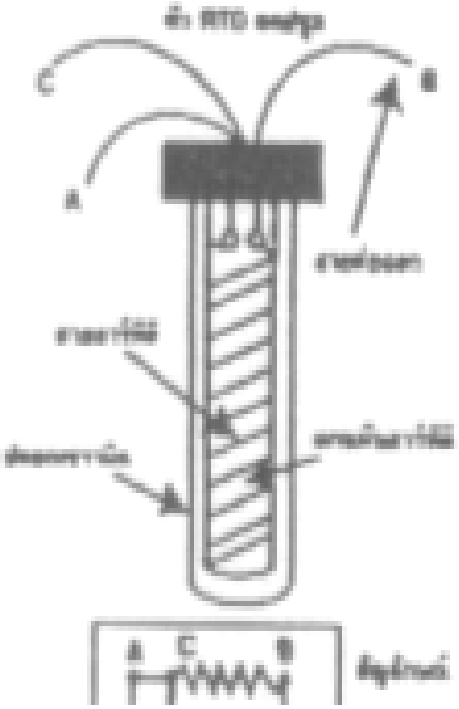
$h = (20 \times 1000) / (1000)(9.8)$

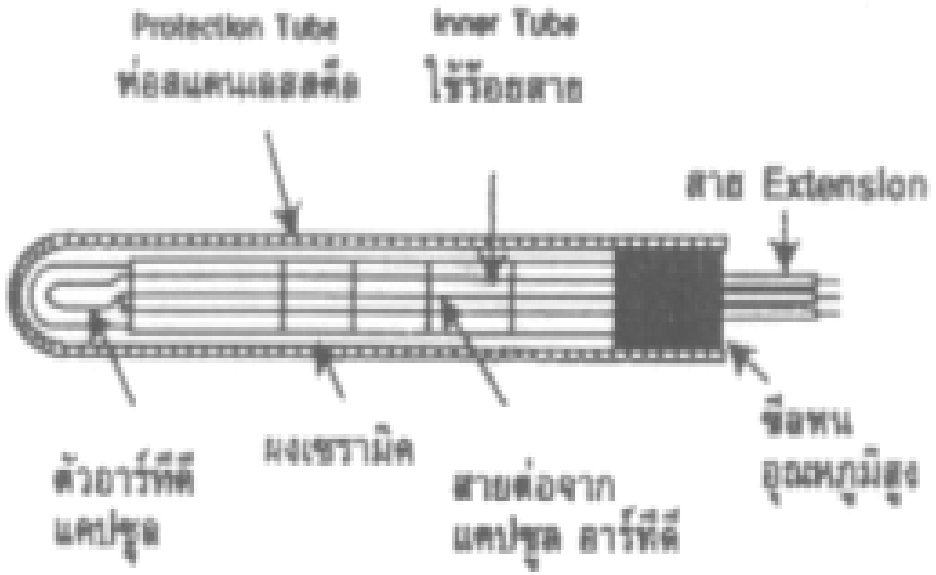
$h = 2.04$ m.

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ

1. RTD (Resistance Temperature Detectors)

เป็นอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในจำพวก positive-Coefficients เช่น พลาตินั่ม nickel และ Copper, tempeo

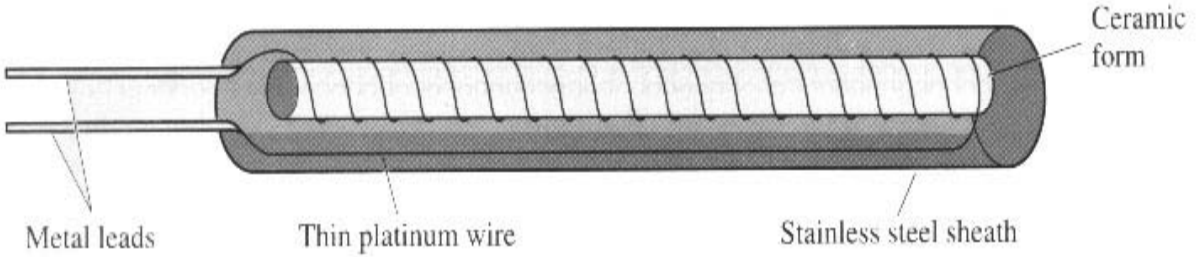


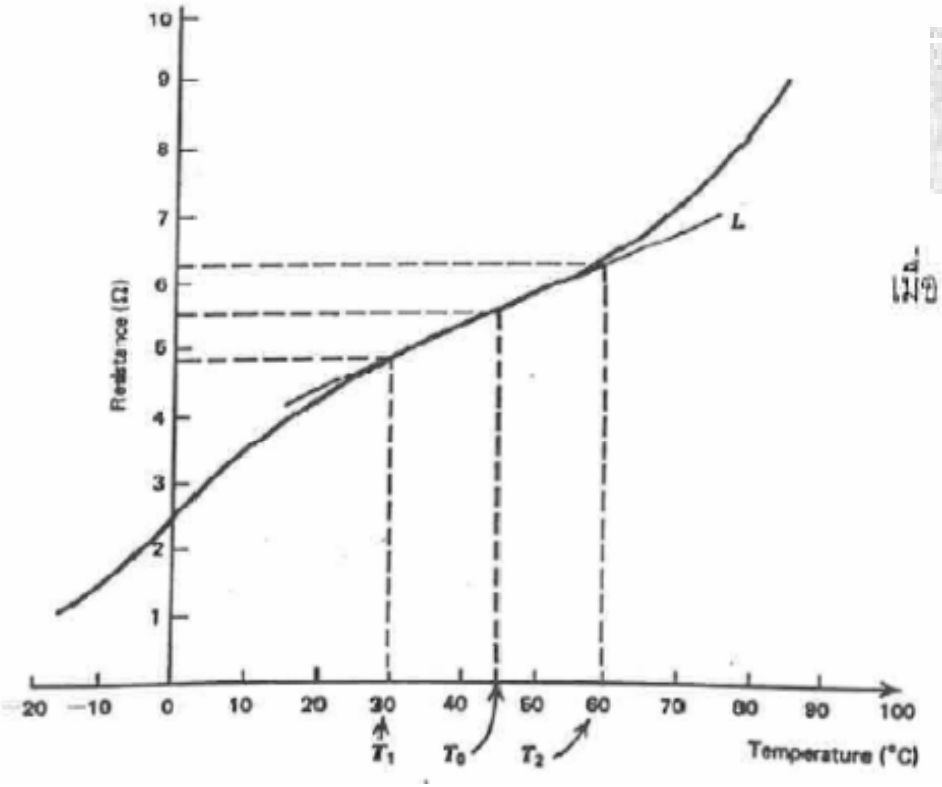


โครงสร้างพื้นฐานของ RTD

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ

1. RTD (Resistance Temperature Detectors)





$$R(T) = R(To)\,(1 + \alpha o \Delta T)$$

เมื่อ R(T) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T

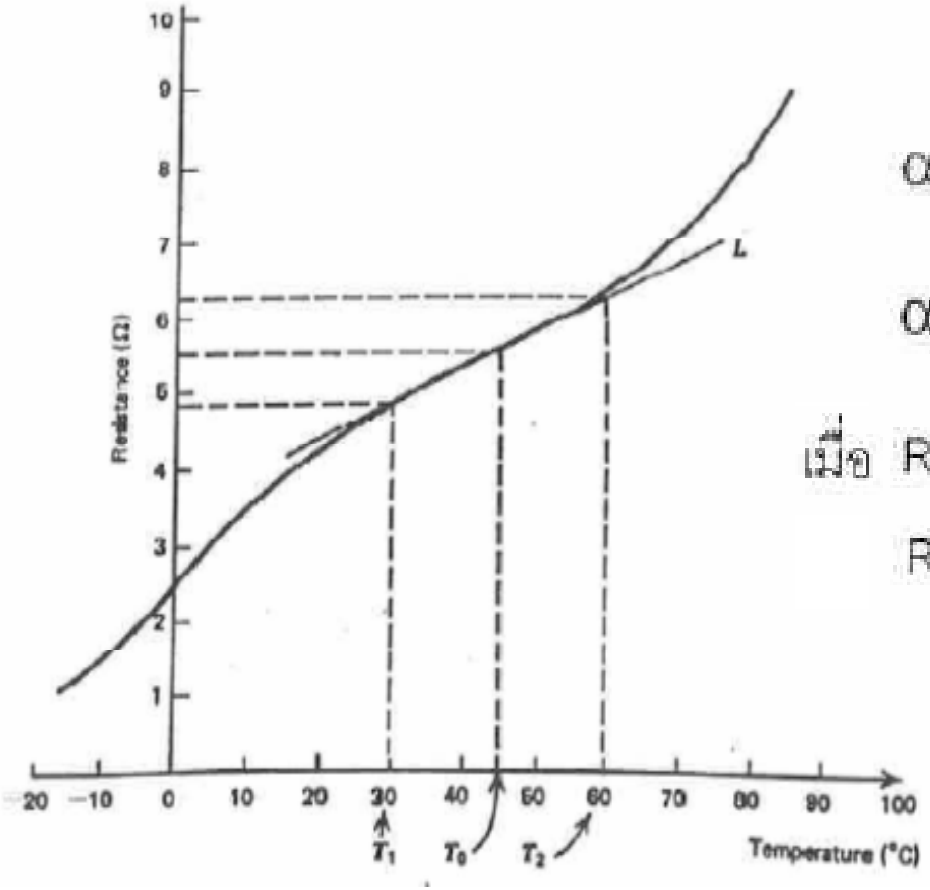
R(To) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ To

$\Delta T = T - To$

αo = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ To

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ค่าของ α_o สามารถหาค่าได้จากค่าความต้านทานและอุณหภูมิ



$$\alpha o = 1/R(To) \times (\text{Slope ที่ } To)$$

$$\alpha o = 1/R(To) \cdot (R_2 - R_1 / T_2 - T_1)$$

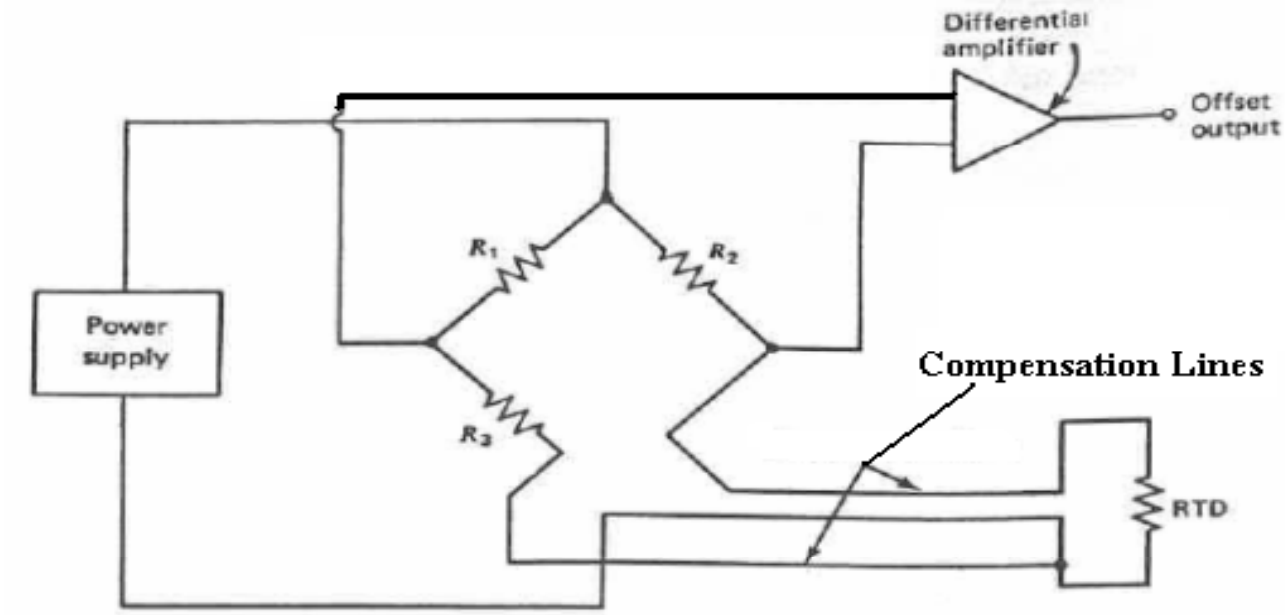
เมื่อ R_1 = ค่าความต้านทานที่ T_1

R_2 = ค่าความต้านทานที่ T_2

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

วงจร RTD แบบมาตรฐาน 3 สาย ต่อเข้าวงจร บริดจ์มีขนาดความยาวเท่ากัน และอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด

เพื่อ ชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจาก การลากสายตัวนำยาว



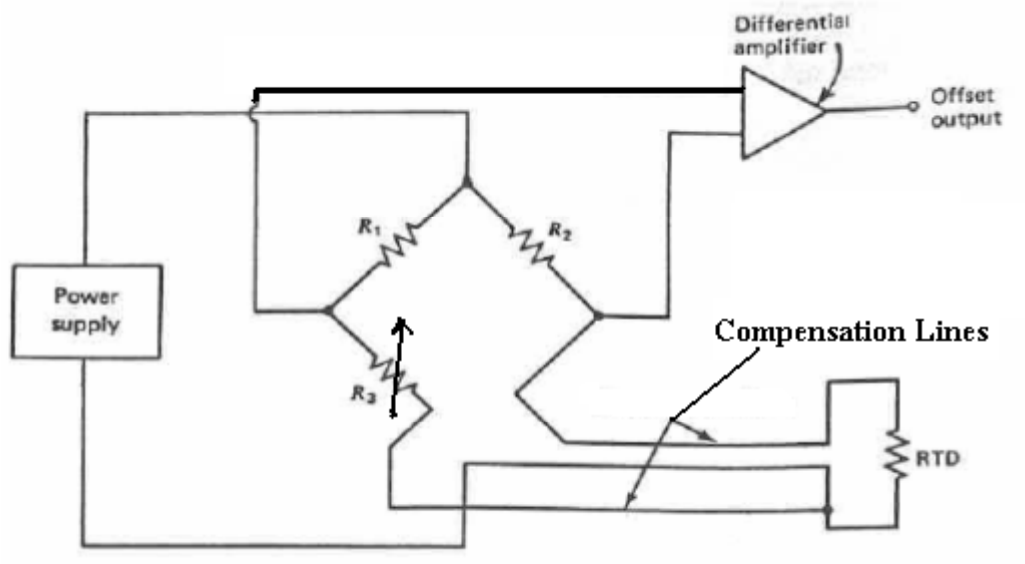
ความร้อนขึ้นในตัว RTD ซึ่งมีค่าเท่ากับ I^2R พลังงานความร้อนแสดงได้ดังสมการ $\Delta T = P / P_D$

เมื่อ ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนในตัว RTD ($^{\circ}C$)

P = พลังงานความร้อนใน RTD จากวงจร (W.)

P_D = พลังงานความร้อนคงที่ของ RTD (W.)

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)



ตัวอย่าง RTD ตัวหนึ่งมี $\alpha_0 = 0.005 / {}^{\circ}C$ ความต้านทาน = 500 Ω และมีค่า P_D เท่า กับ 30 mW/ °C ที่อุณหภูมิ 20 °C เมื่อ RTD ตัวนี้ถูกนำมาต่อร่วมกับวงจรบริดจ์ $R_1 = R_2 = 500\ \Omega$ และ R_3 สามารถปรับค่าความต้านได้ เพื่อให้บริดจ์สมดุล ถ้าแหล่งจ่ายเป็น 10 V. และ RTD ติดตั้งในที่ที่มีอุณหภูมิ 0 °C จงหาค่า R_3 ที่ทำให้บริดจ์สมดุล

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

แนวคิด

หาค่าความต้านของ RTD ที่อุณหภูมิ 0 °C โดยปราศจากความร้อนภายในตัวเอง

$$R(T) = Ro(1 + \alpha o \Delta T)$$

$$R = 500\,[\,1 + 0.005\,(0 - 20)\,]$$

$$R = 450\ \Omega$$

หากำลังความร้อนที่เกิดขึ้นใน RTD จากวงจรขณะที่มีความต้านทาน 450 Ω

$$P = I^2R$$

เมื่อกระแสที่ไหลผ่าน RTD มีค่าเท่ากับ

$$I = 10 / (500 + 450) = 0.011\ A.$$

เพราะฉะนั้นกำลังความร้อนที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น

$$P = (0.011)^2\,(450) = 0.054\ W.$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

$$\Delta T = P / P_0$$

$$\Delta T = 0.054/0.030 = 1.8\ ^{\circ}C$$

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิที่ติดตั้ง RTD ที่ 0 °C ในความเป็นจริงจะมีค่าเท่ากับ 1.8 °C

เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน RTD เอง ความต้านทานของ RTD ที่ได้คือ

$$R = 500\,[1 + 0.005\,(1.8 - 20)\,]$$

$$R = 454.5\ \Omega$$

การที่บริดจ์จะสมดุลได้ R_3 จะต้องมีค่าเท่ากับ 454.5 Ω

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่าง RTD ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

Types of RTD,	Temperature Range ^{0}C	Resistance Coefficient $\Omega/^{0}C$
Platinum	-184 to 815	0.0039
Nickel	-73 to 149	0.0067
Copper	-51 to 149	0.0042
Tungsten	-73 to 276	0.0045

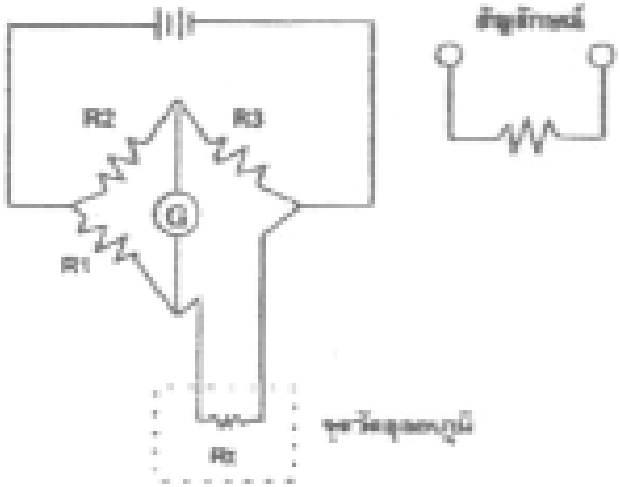
การพิจารณาค่า Resistance Coefficient [Ω / ^{0}C] α

เป็นค่าที่แสดงใช้ถึงการเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ ตัวอย่าง เช่น RTD ชนิด Platinum มีค่าความต้านทาน 100 Ω ที่ 0 ^{0}C มีค่า $\alpha = 0.0039$ จะได้การเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ 1 องศาคือ $0.0039 \times 100\ \Omega = 0.39\ \Omega / {}^{0}C$

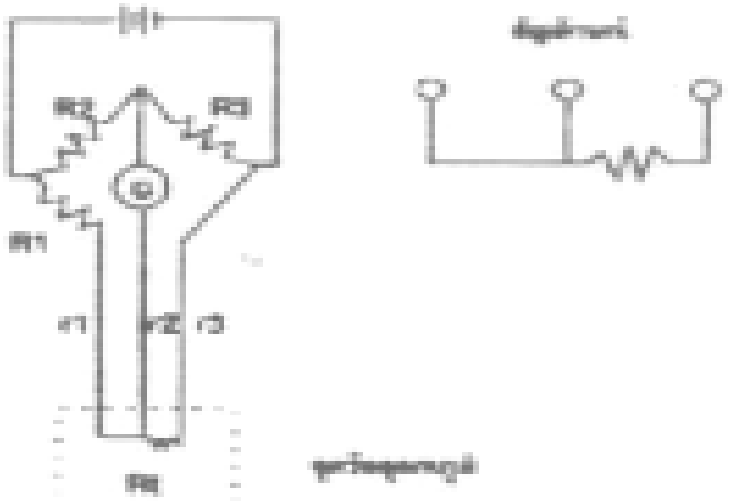
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่าง RTD ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

■ อาร์ทีดี 2 สาย



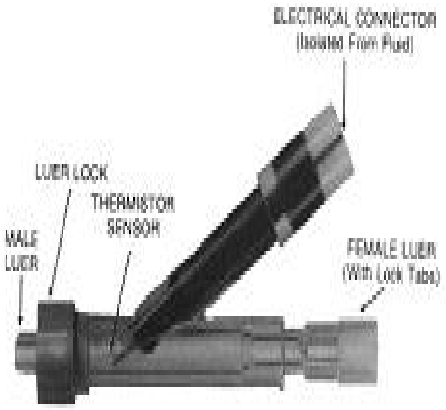
■ อาร์ทีดี 3 สาย

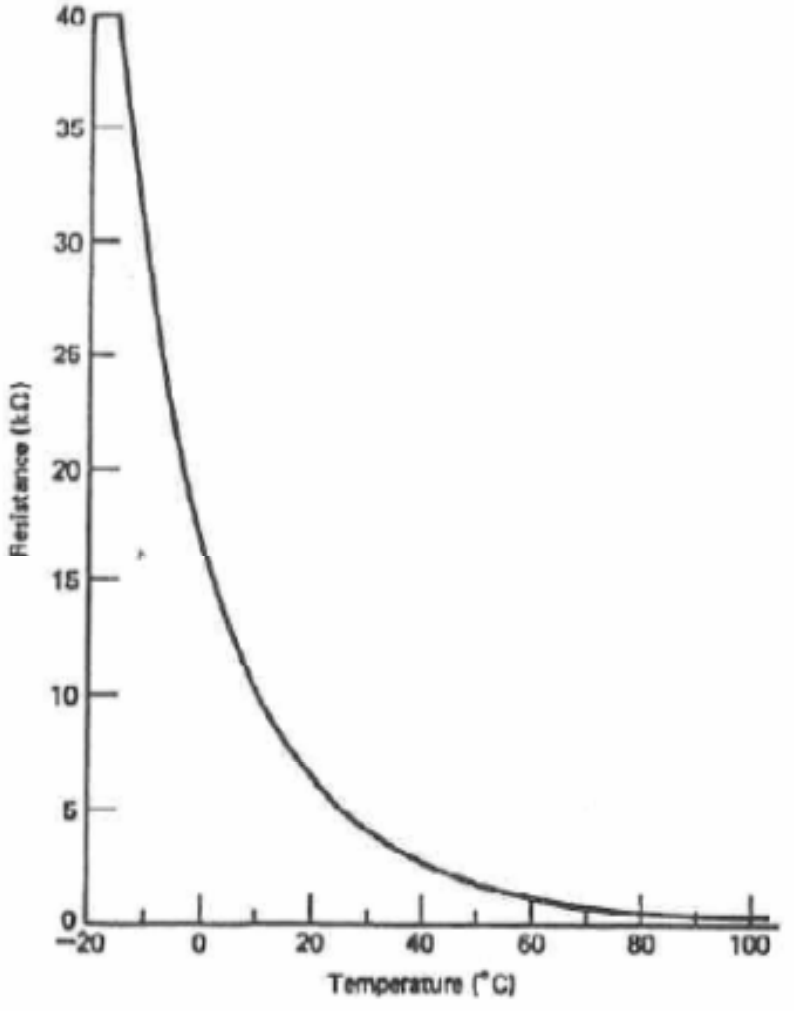


อาร์ทีดีแบบที่ใช้กันมากคือ Platinum 100 โอห์ม (Pt 100)

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

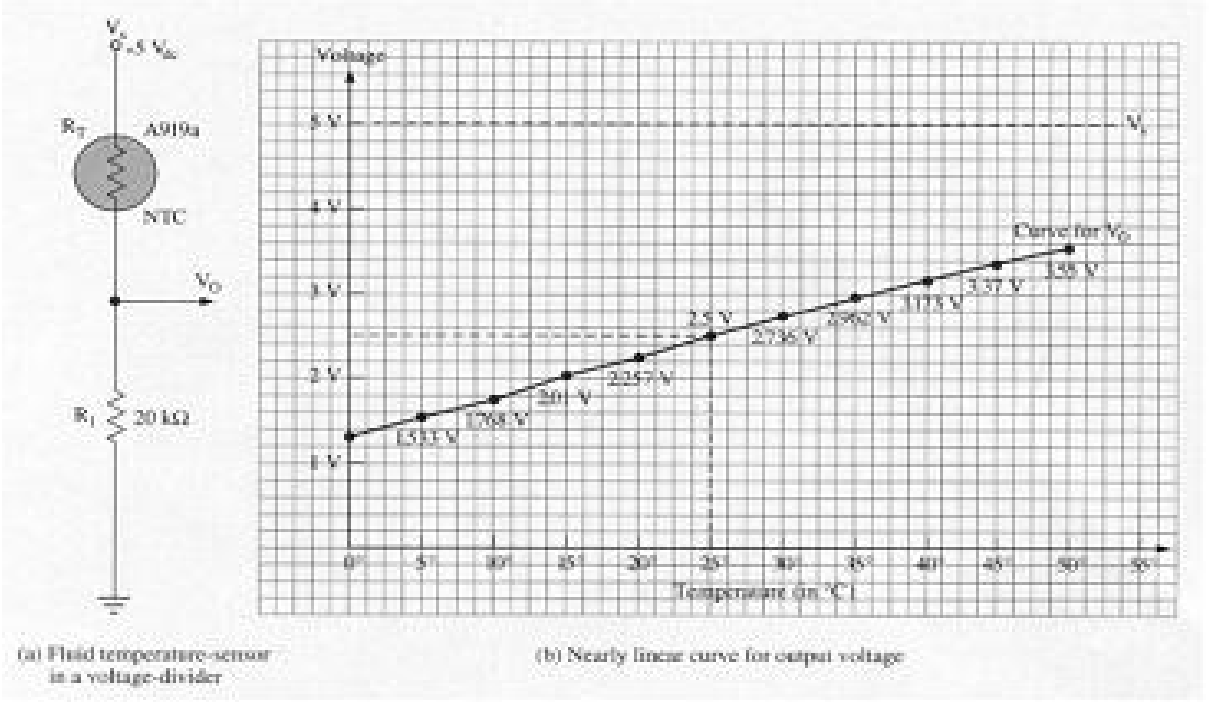
2. เทอร์มิสเตอร์ (Thermister)





เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างการทำงานของวงจรเทอร์มิสเตอร์ในวงจรแบ่งแรงดัน



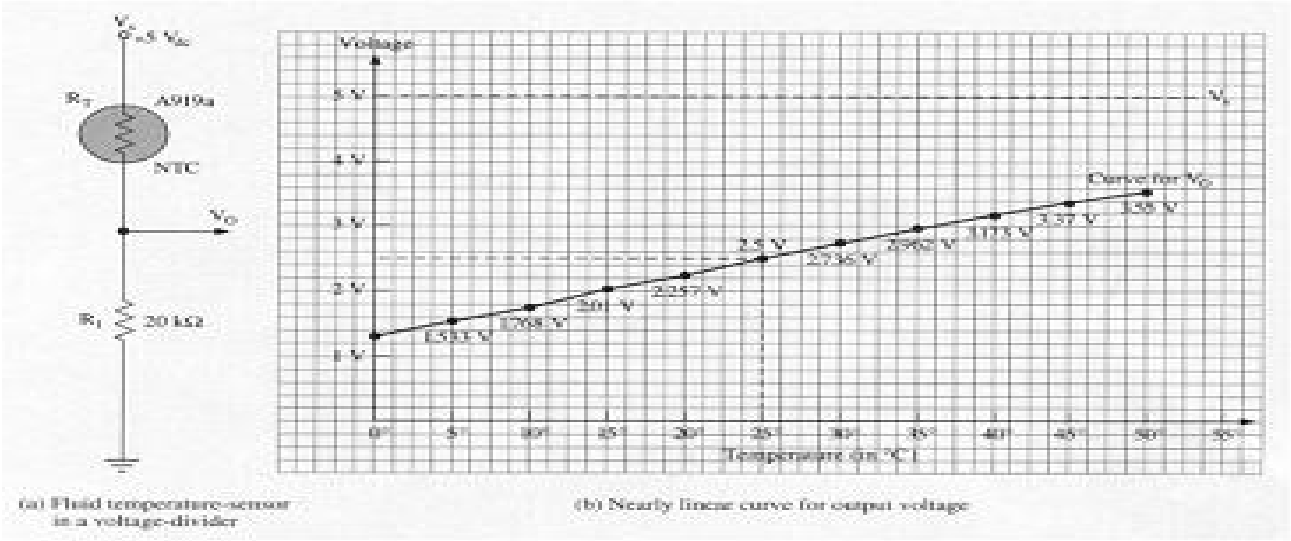
(a) Fluid temperature-sensor in a voltage-divider

(b) Nearly linear curve for output voltage

เมื่อคิดที่ อุณหภูมิ 0 องศา (ค่า Rt = 56.34 kOhms)

$$Vo = Vs\frac{R1}{R1+Rt} = 5V\frac{20k\Omega}{20k\Omega+56.34k\Omega} \cong 1.31V$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)



เมื่อคิดที่ อุณหภูมิ 5 องศา (ค่า Rt = 45.23 kOhms)

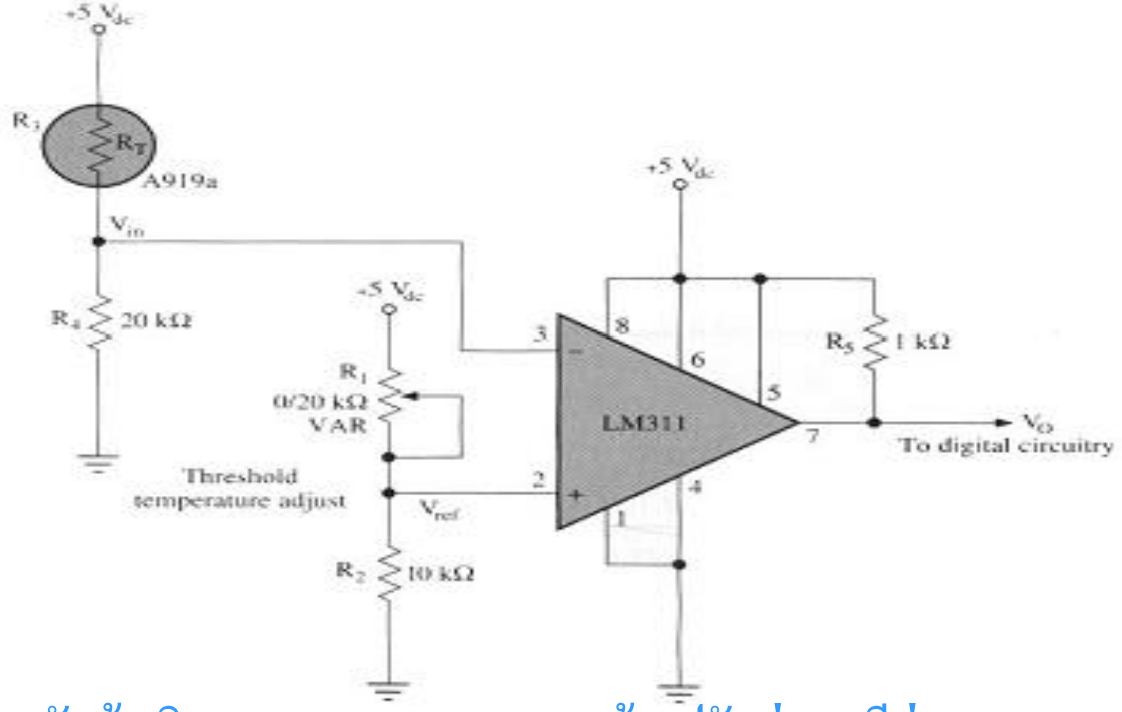
$$Vo = Vs\frac{R1}{R1+Rt} = 5V\frac{20k\Omega}{20k\Omega+45.23k\Omega} \cong 1.533V$$

เมื่อคิดที่ อุณหภูมิ 40 องศา (ค่า Rt = 11.511 kOhms)

$$Vo = Vs\frac{R1}{R1+Rt} = 5V\frac{20k\Omega}{20k\Omega+11.511k\Omega} \cong 3.173V$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างวงจรตรวจจับอุณหภูมิสูงเกินกำหนด

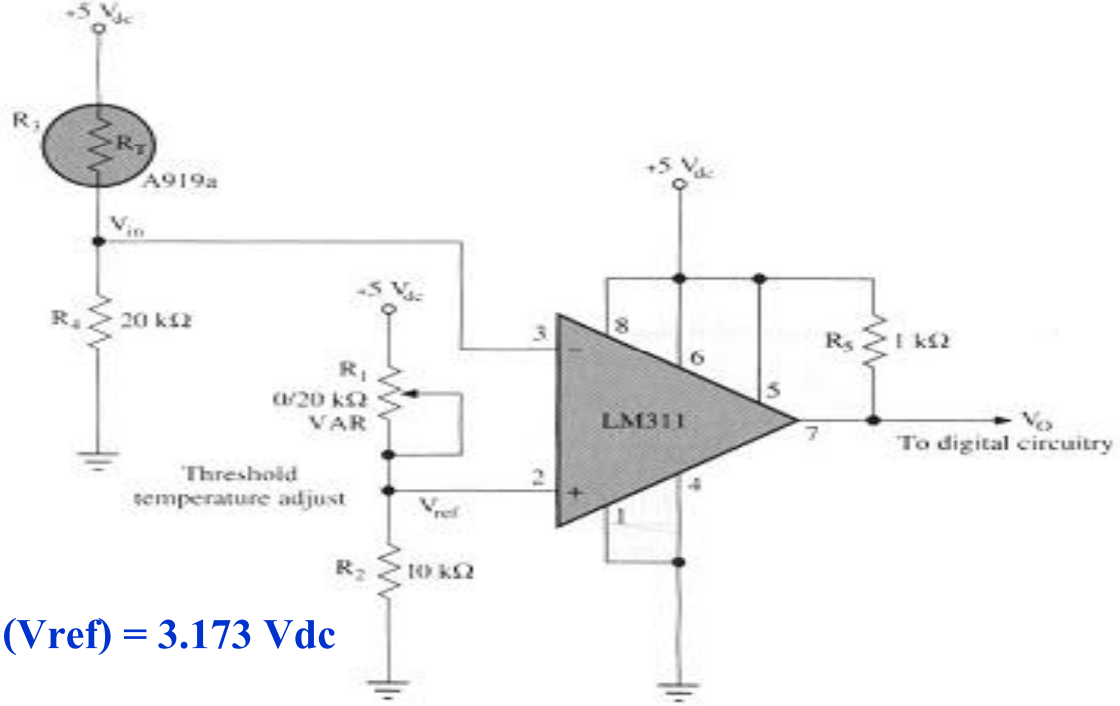


เมื่อต้องการแรงดันอ้างอิง(Vref) = 3.173 Vdc จะต้องปรับค่า R1มีค่าตามสมการ

$$Vref = \frac{R2}{R1+R2}Vs \qquad R1 = (\frac{R2}{Vref}Vs) - R2 = (\frac{10k\Omega}{3.173V}5V) - 10k\Omega \cong 5.758k\Omega$$

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างวงจรตรวจจับอุณหภูมิสูงเกินกำหนด



แรงดันอ้างอิง(Vref) = 3.173 Vdc

ดังนั้น - เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาแรงดันที่ขา 3 ของ LM311 จะต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง

(Vref)แรงดันเอาท์พุต(Output Voltage “Vo”) จะมีค่าประมาณ 5 Vdc

- เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาแรงดันที่ขา 3 ของ LM311 จะสูงกว่าแรงดันอ้างอิง

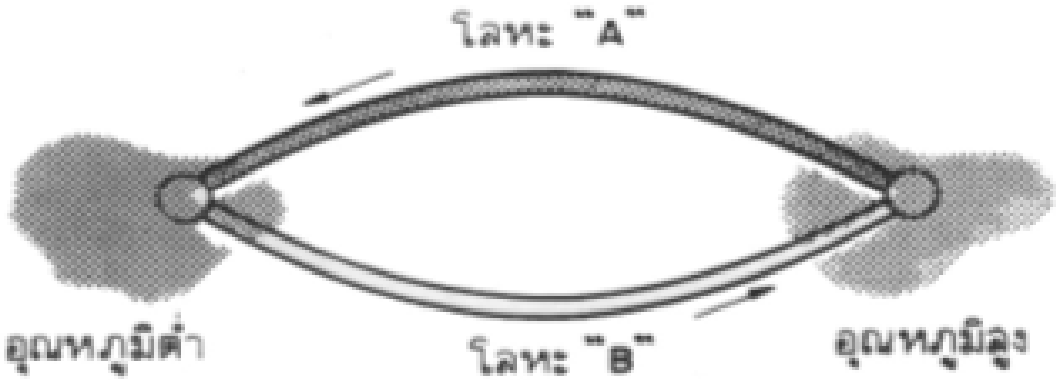
(Vref)แรงดันเอาท์พุต(Output Voltage “Vo”) จะมีค่าประมาณ 0 Vdc

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

3. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

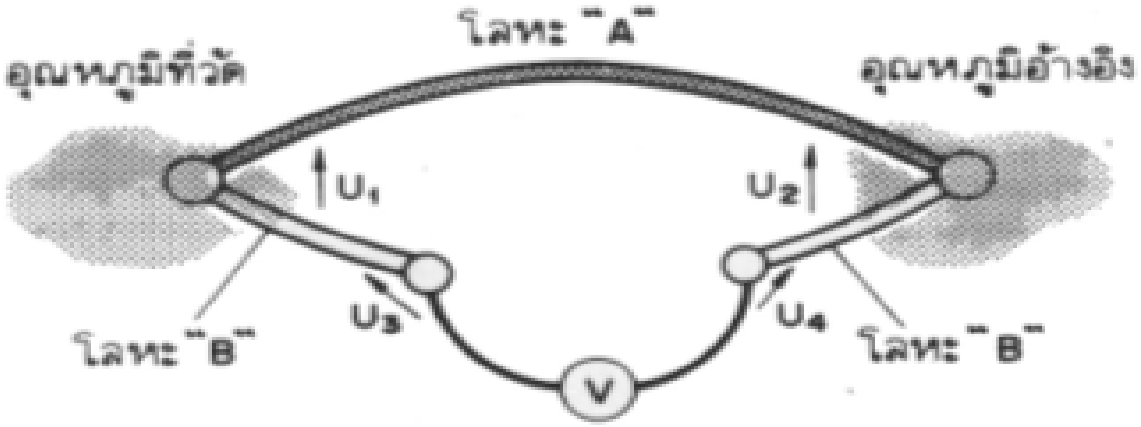
เทอร์โมคัปเปิล เป็นตัวอุปกรณ์ที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นที่เอาท์พุต (Output) เมื่อตัวมันได้รับความร้อนที่บริเวณจุดต่อระหว่างโลหะสองชนิด

Seebeck Effect : **1.** ถ้าให้ความร้อนที่ ปลายจุดต่อร่วมข้างหนึ่ง(Hot junction)ของเส้นลวดโลหะสองชนิด โดยที่ปลายจุดต่ออีกด้านหนึ่งมีอุณหภูมิปกติจะทำให้เกิด กระแสไฟฟ้าไหลในวงจร และเปลี่ยนแปลงไปตามค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายจุดต่อทั้ง สองด้าน



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

Seebeck Effect : 2. ถ้านำปลายของโลหะสองชนิดมาต่อเชื่อมกันโดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นวงจรเปิดแล้ว เมื่อให้ความร้อนที่จุดต่อเชื่อมก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ที่ขั้วทั้งสองของจุดปลายเปิดวงจร ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าอุณหภูมิที่ให้



$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B)\alpha T$$

$$\varepsilon = \alpha (T_2 - T_1)$$

เมื่อ ε = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (V.)

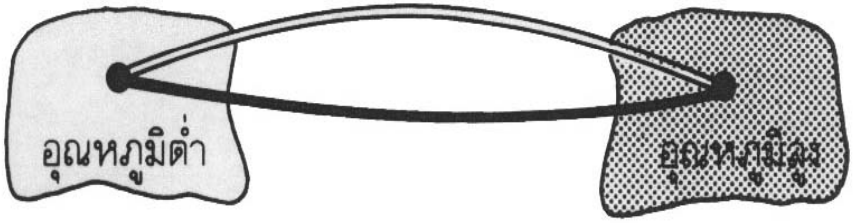
T_1, T_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ (K)

Q_A, Q_B = ค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะสองชนิด

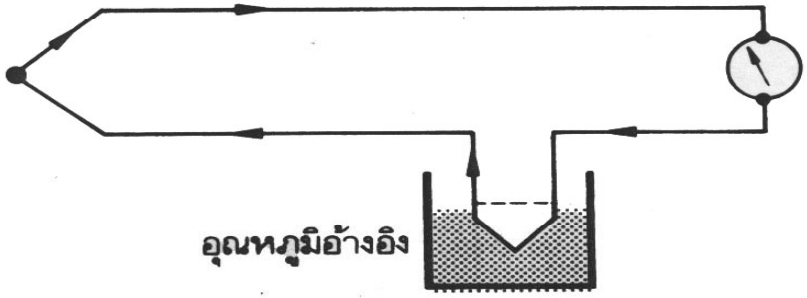
α = ค่าคงที่ (V/k)

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

กฎของวงจรโลหะชนิดเดียว (Law of the Homogeneous Circuit) :



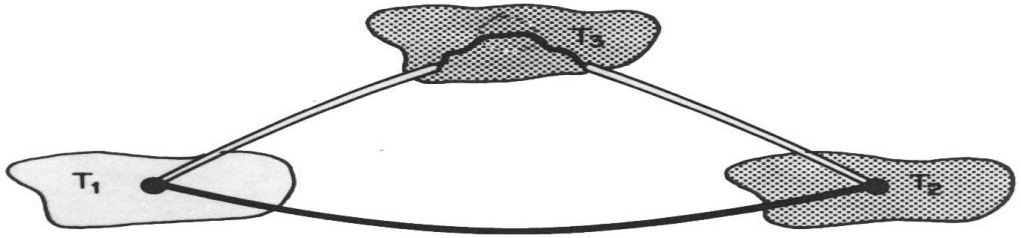
1. ในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่ปลายจุดต่อทั้งสองด้าน



2. ในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน จะเกิดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรได้
   เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่ปลายจุดต่อทั้งสองด้าน

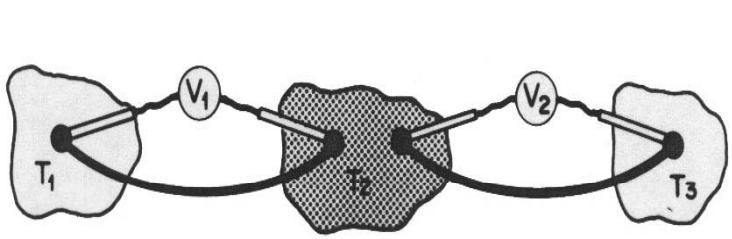
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

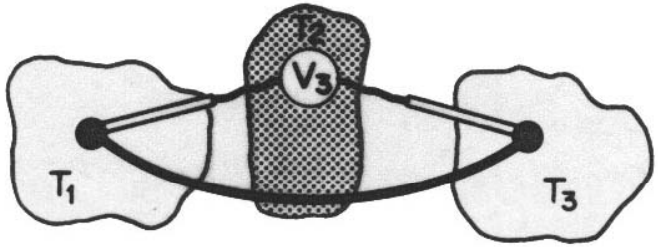
กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals) :



ในวงจรเทอร์โมคัปเปิล เมื่อมีโลหะแทรกอยู่ระหว่างส่วนใดส่วนหนึ่งของวงจร หากจุดต่อของโลหะทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันแล้ว โลหะแทรกนี้จะไม่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจร

กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediat Temperature) :

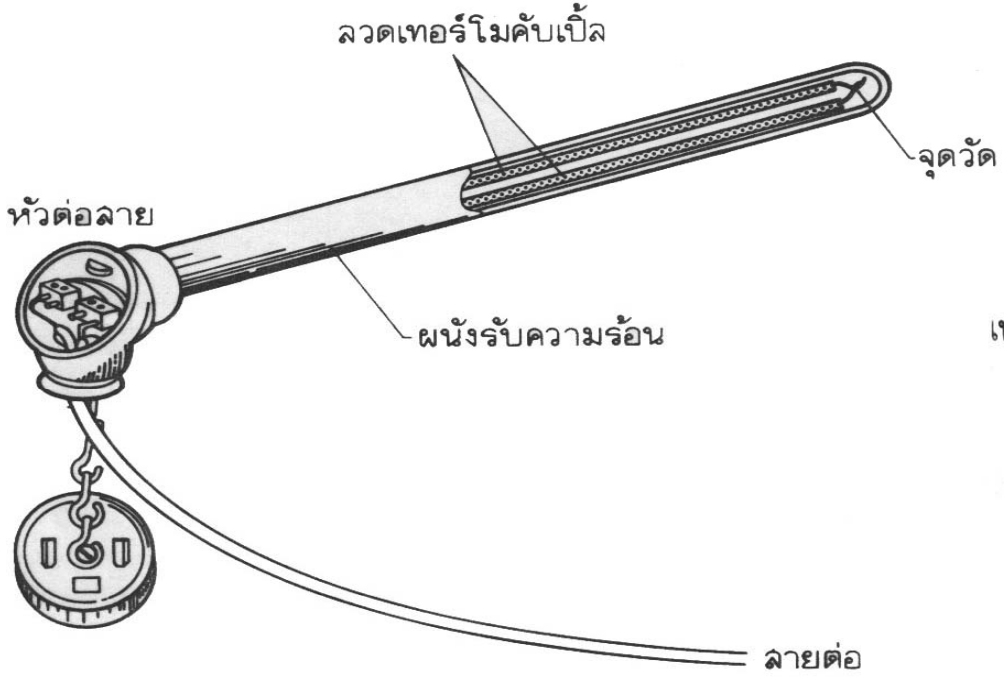


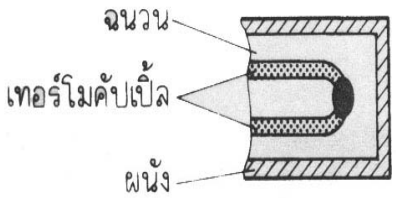


แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงดันไฟฟ้าของเทอโมคัปเปิลชุดนั้น

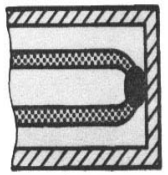
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

โครงสร้าง และส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล ที่ใช้ในทางปฏิบัติ :





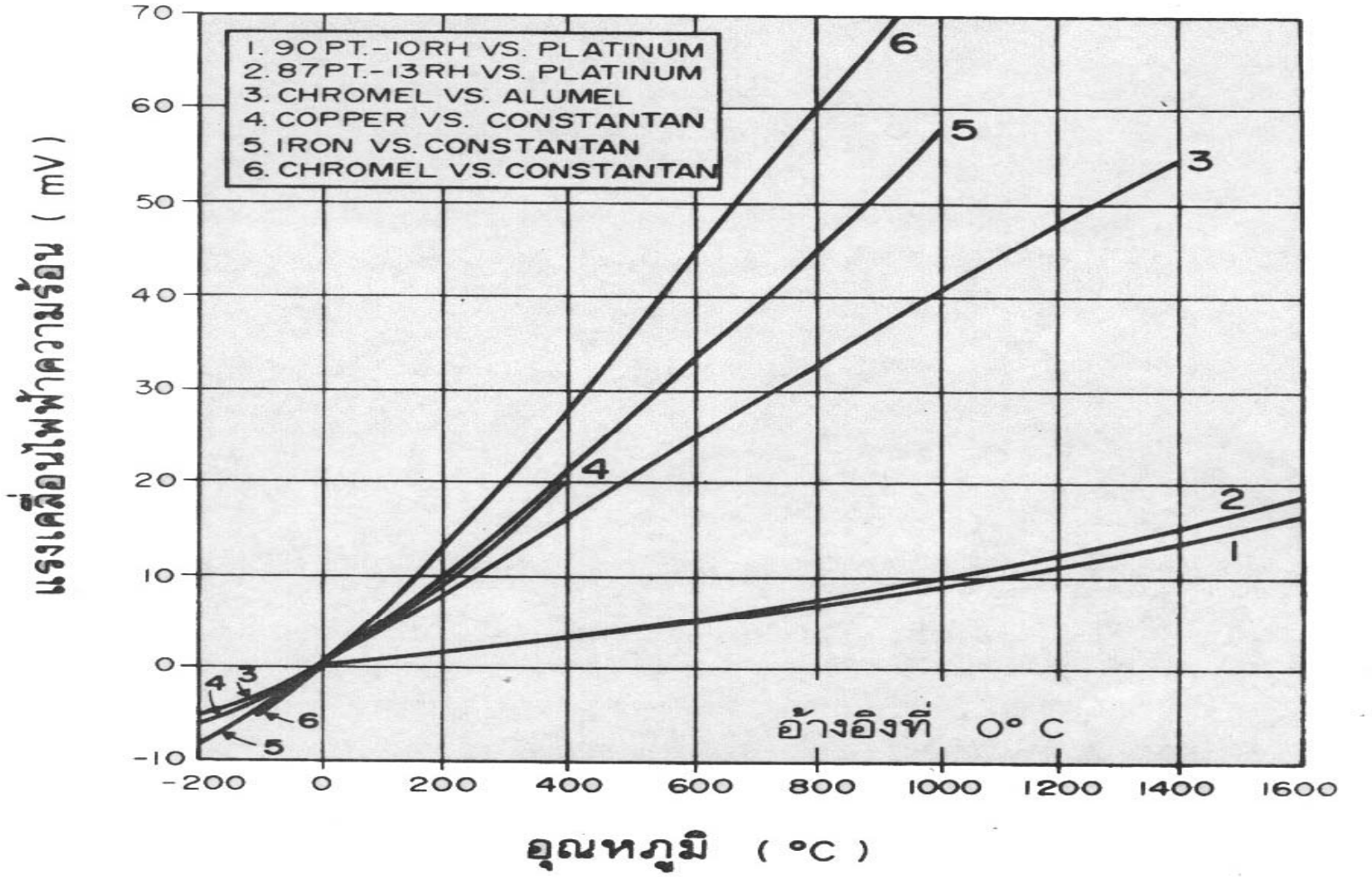
แบบแยกกราวน์



แบบกราวน์

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ลักษณะสมบัติพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล :



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

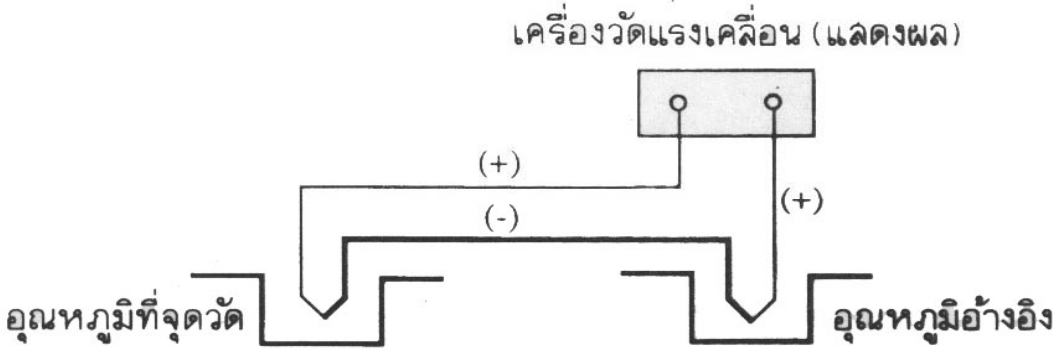
ตาราง แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน		แรงดันไฟฟ้าที่ได้ mV.
		°C	°F	
B	พลาตินัม - 30% โรเดียม			0 to 13.814
	พลาตินัม - 6% โรเดียม	0 to 1820	32 to 3310	0 to 13.814
R	พลาตินัม-13% โรเดียม			
	พลาตินัม	- 50 to 1768	- 60 to 3210	- 02.26 to 21.108
S	พลาตินัม - 10%โรเดียม			
	พลาตินัม	- 50 to 1768	- 60 to 3210	- 0.236 to 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	- 210 to 760	- 350 to 1400	- 8.096 to 42.922
K	โครเมล/อลูเมล	- 210 to 1372	- 450 to 2500	- 6.458 to 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	- 270 to 400	- 450 to 750	- 6.258 to 20.869
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	- 270 to 1000	- 450 to 1830	- 9.835 to 76.358
แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

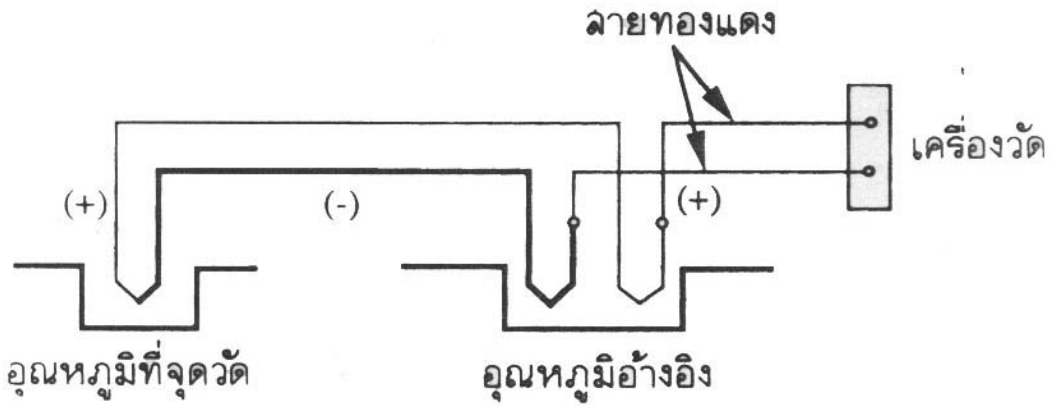
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างวงจรการต่อวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล :

1. ไม่ใช้สายต่อ ในกรณีที่จุดตรวจวัดอยู่ใกล้ กับตัวเครื่องวัด



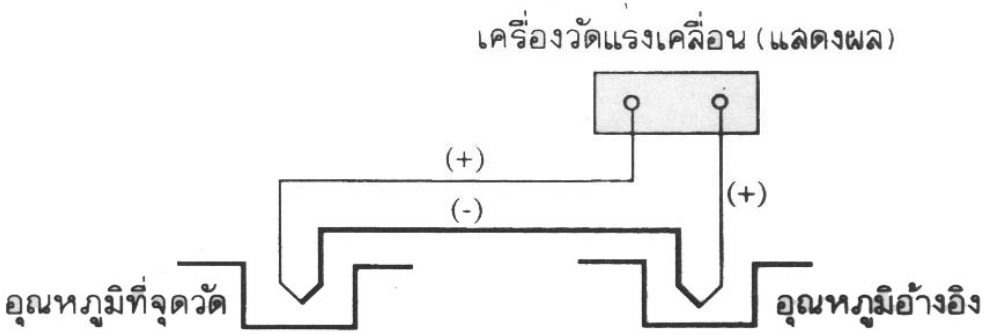
2. ใช้สายต่อทองแดง ในกรณีที่จุดตรวจวัดอยู่ห่างจากตัวเครื่องวัดไม่มาก



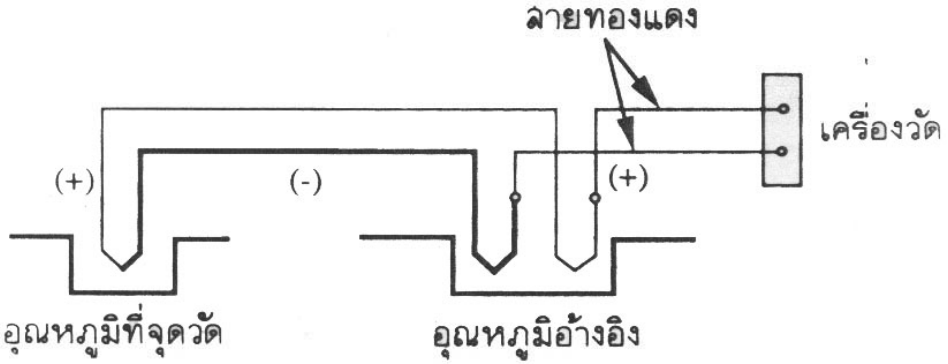
เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างวงจรการต่อวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล :

1. ไม่ใช้สายต่อ ในกรณีที่จุดตรวจวัดอยู่ใกล้ กับตัวเครื่องวัด



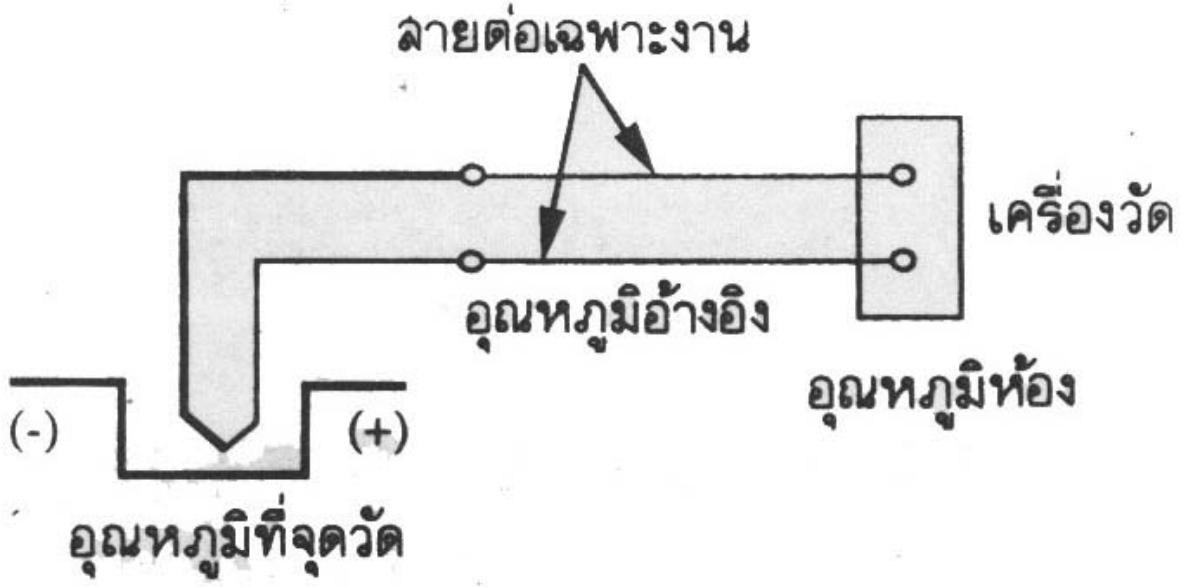
2. ใช้สายต่อทองแดง ในกรณีที่จุดตรวจวัดอยู่ห่างจากตัวเครื่องวัดไม่มาก



เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ประเภทที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ (ต่อ)

ตัวอย่างวงจรการต่อวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล :

3. ใช้สายต่อเฉพาะ(Extension wire) ในกรณีที่จุดตรวจวัดอยู่ห่างจากตัวเครื่องวัดมาก ๆ

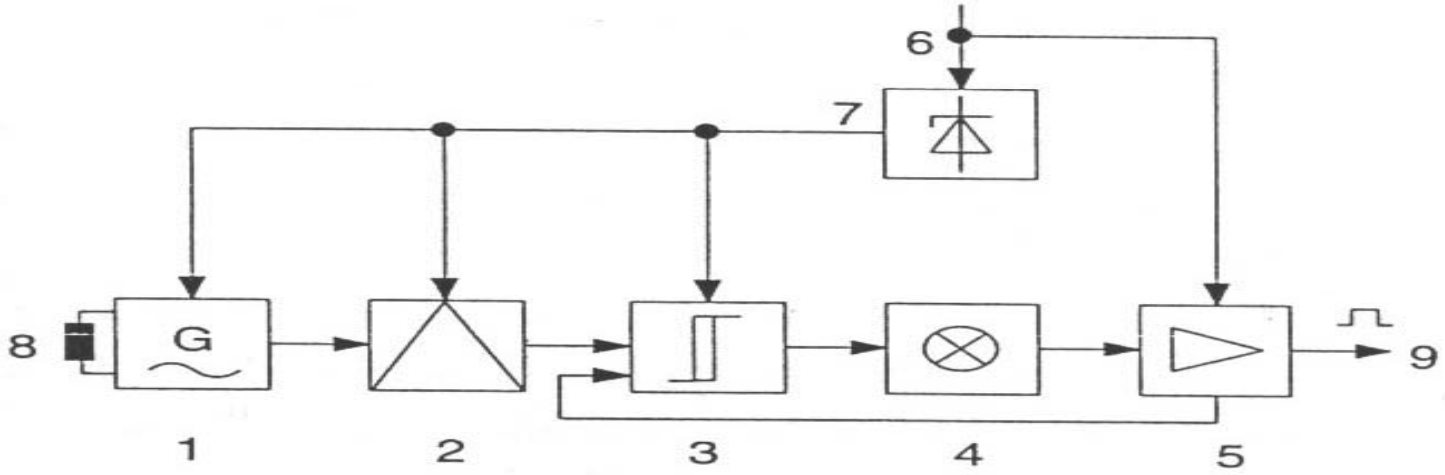


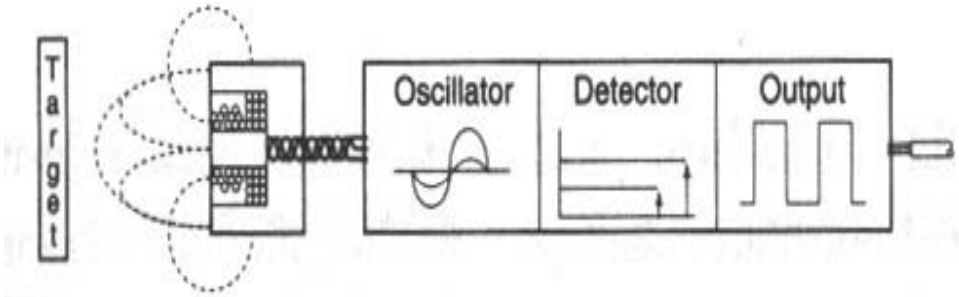
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ กลุ่มหนึ่งที่ทำงาโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน หรือสิ่งที่จะตรวจวัด (โดยทั่วไปจะพบใช้งานเป็นสวิตช์ แบบไม่ต้องสัมผัส)

1. ชนิดเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

จะใช้ตรวจจับวัตถุพวกโลหะหรือวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า



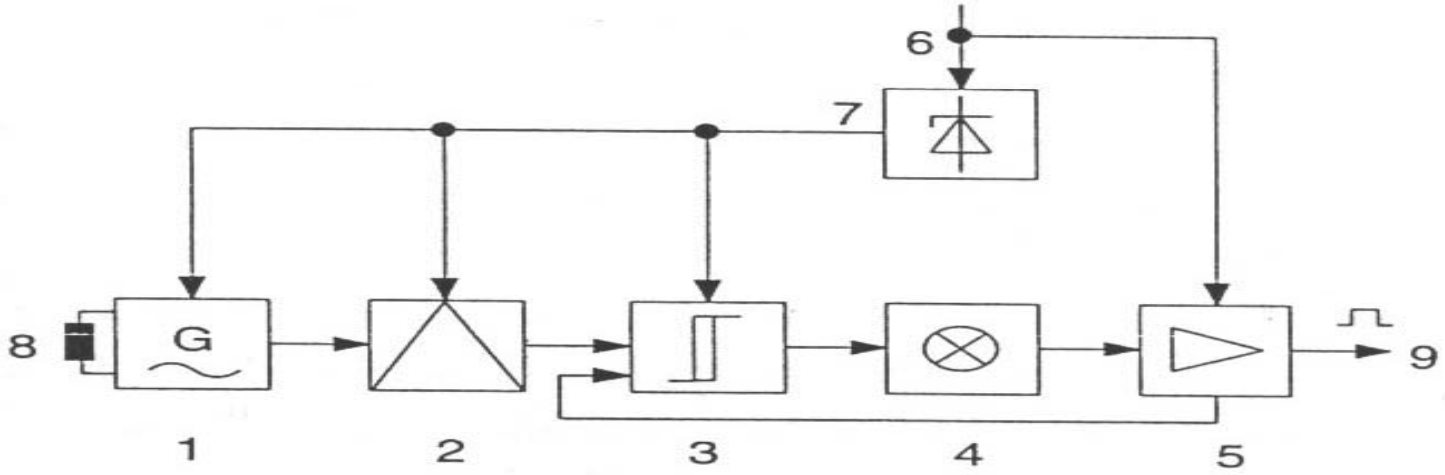


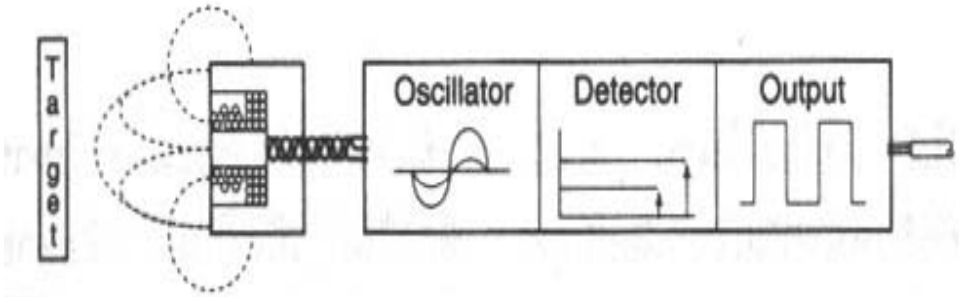
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ กลุ่มหนึ่งที่ทำงาโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน หรือสิ่งที่จะตรวจวัด (โดยทั่วไปจะพบใช้งานเป็นสวิตช์ แบบไม่ต้องสัมผัส)

1. ชนิดเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

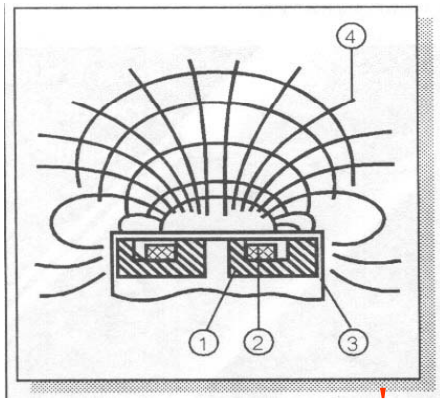
จะใช้ตรวจจับวัตถุพวกโลหะหรือวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า





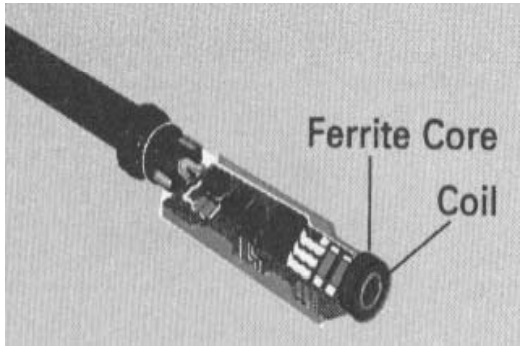
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

ส่วนหัวตรวจจับของ Inductive Proximity Switch :

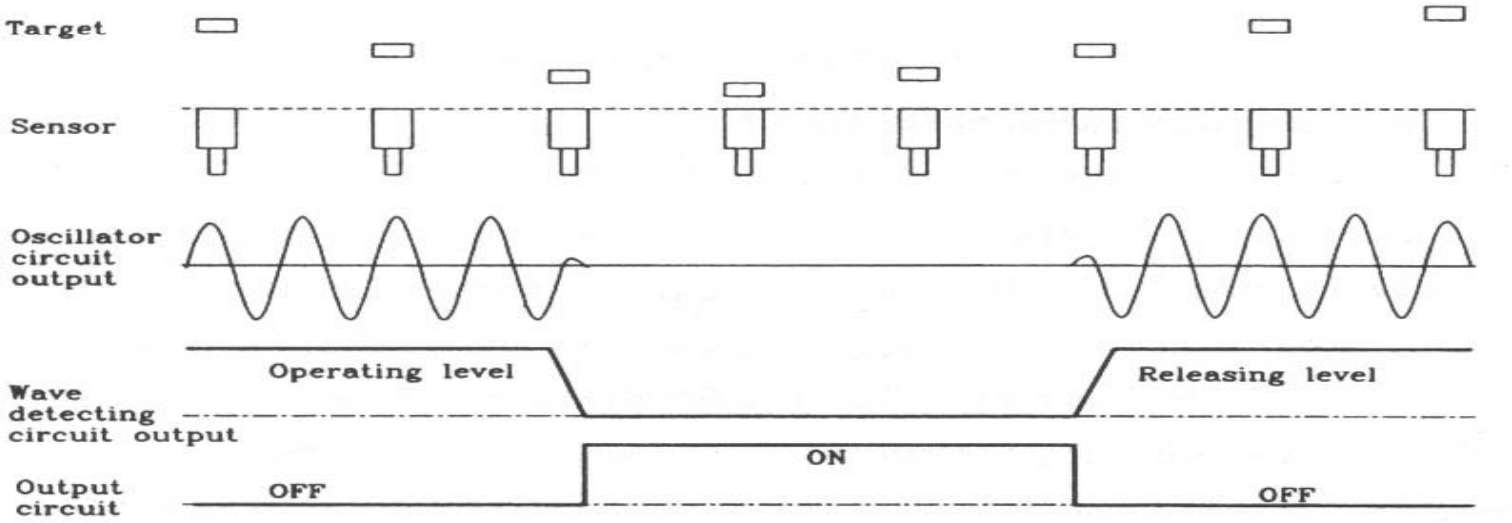


รูปแสดงภาพตัดขวางส่วนหัว (ส่วนตรวจจับ) ของพร็อกซิมิตี้สวิทช์ และลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1. แกนเฟอไรท์
2. ขดลวดคอยล์
3. ตัวเรือน
4. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า



สภาวะการทำงานที่หัวตรวจจับ Inductive Proximity Switch :

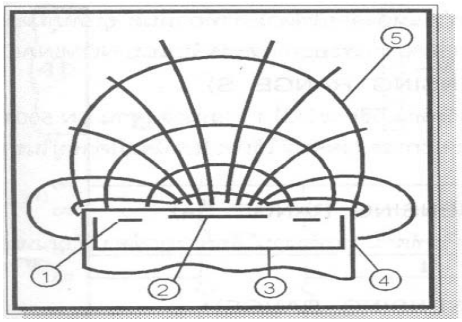


พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

2. ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)

จะใช้ตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะ อโลหะและของเหลวทุกชนิด

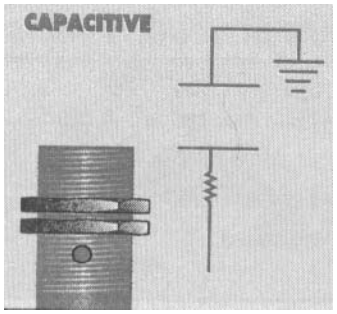
ส่วนหัวตรวจจับของ Capacitive Proximity Switch :



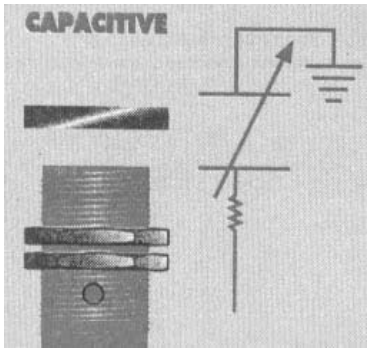
รูปแสดงภาพตัดขวางส่วนหัว (ส่วนตรวจจับ) ของพร็อกซิมิตี้สวิทช์ และลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็ก

1. ACTIVE ELECTRODE
2. อีเลคโทรดชดเชย
3. EARTH ELECTRODE
4. ตัวเรือน
5. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การทำงานของ Capacitive Proximity Switch



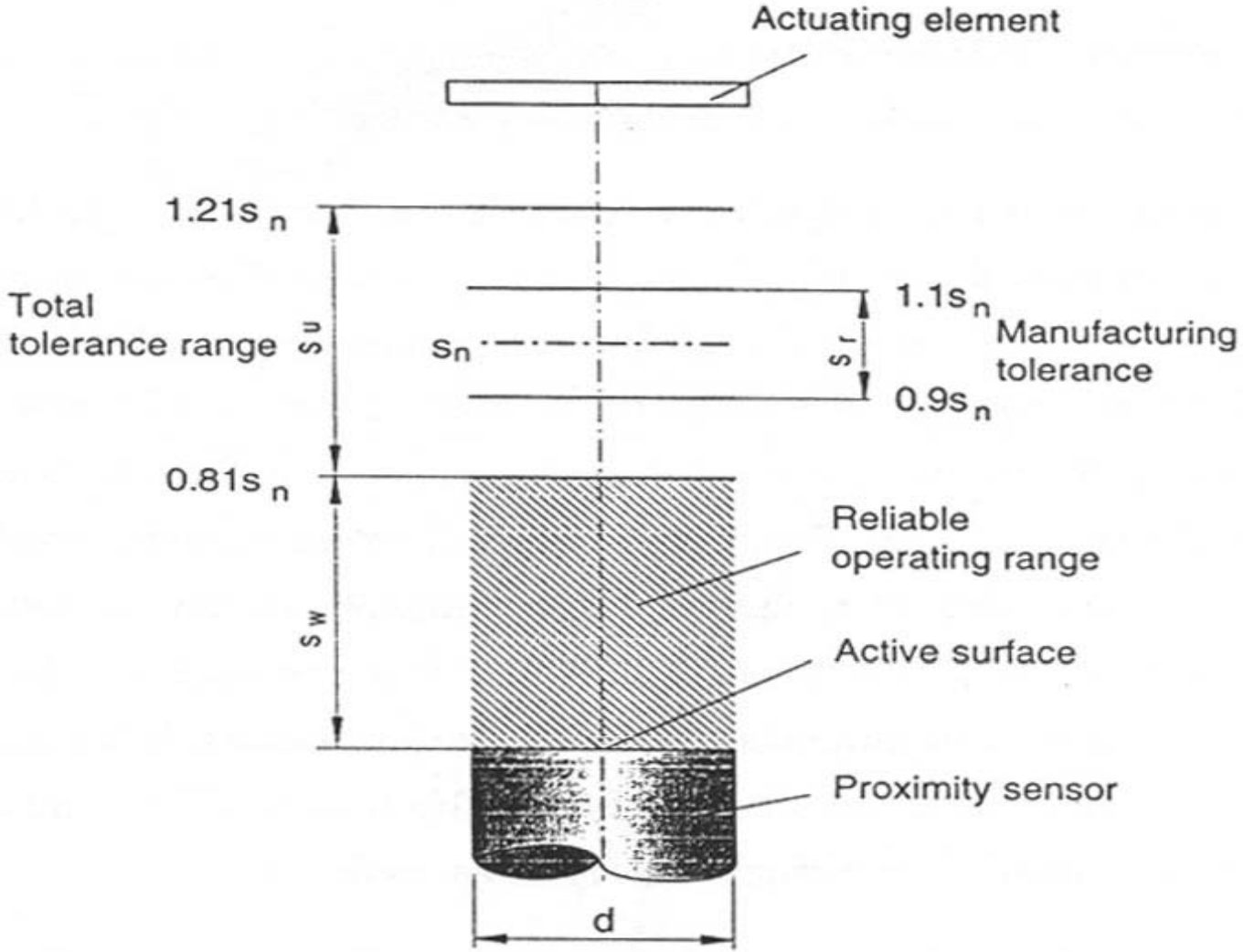
ค่าของ Capacitance จะมีค่าต่ำ วงจรจะยังไม่ Oscillate



ค่าของ Capacitance จะมีค่าสูงขึ้น วงจรจะเริ่ม Oscillate เมื่อมีวัตถุเป้าหมายปรากฏอยู่ (เข้ามาใกล้)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

คุณลักษณะสมบัติพื้นฐาน(รายละเอียดทางเทคนิค) ของ Proximity Switch :



พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

คุณลักษณะสมบัติพื้นฐาน(รายละเอียดทางเทคนิค) ของ Proximity Switch :

1. ระยะการตรวจจับ (Sensing Range) คือระยะที่เมื่อมีแผ่นโลหะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้(ด้านหน้า) แล้วมีผลทำให้วงจรภาคเอาท์พุทของ Proximity Switch เกิดการเปลี่ยนแปลง ON – OFF Circuit

2. ระยะการตรวจจับทั่วไป (Normal Sensing ; Sn) คือค่าระยะตรวจจับตามคุณลัษณะโดยไม่คิดผลคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิต และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า

3. ระยะการตรวจจับจริง (Real Sensing Range ; Sr) คือ ระยะตรวจจับ ตามเงื่อนไขของอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนด ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 90 % ถึง 110 % ของ ระยะการตรวจจับทั่วไป (Normal Sensing ; Sn)

4. ระยะตรวจจับที่ใช้ประโยชน์ (Useful Sensing ; Su) คือ ระยะตรวจจับ ตามเงื่อนไขของอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนด ตามมาตรฐาน EN 50010 ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 81 % ถึง 121 % ของ ระยะการตรวจจับทั่วไป (Normal Sensing ; Sn)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

5. ระยะตรวจจับในการทำงาน(Working Sensing Range ; Sw)คือระยะใด ๆ ที่ Proximity Switch สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ที่อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนด

6. ค่าชดเชยระยะที่ถูกต้อง(Correction Factors) จากระยะการตรวจจับทั่วไป (Normal Sensing ; Sn) จะเป็นระยะที่ใช้กับแผ่นเหล็กอ่อน(Mild Steel) แต่เมื่อใดที่ใช้ตรวจจับวัตถุอื่น ระยะการตรวจจับต้องเปลี่ยนไปตามค่า Correction Factor ดังนี้

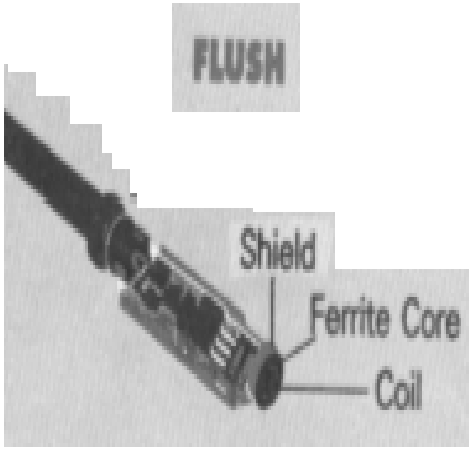
Mild Steel	1.0
Stainless Steel	0.7
Aluminum	0.4
Copper	0.2

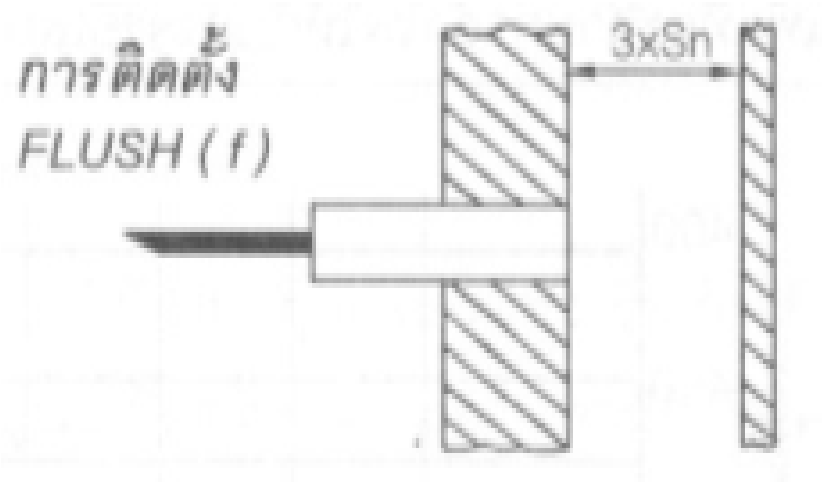
7. ค่าความสามารถในการกระทำซ้ำ (Repeatability) เป็นความสามารถการทำงานติดต่อกันสองครั้ง ภายใต้สภาวะที่กำหนดของ EURO- NORN

8. ค่าฮิสเตอร์รีซีสของการตัดต่อ (Switching Hysteresis) คือระยะความแตกต่างระหว่างการทำงาน ON และหยุดทำงาน OFF ของ Proximity Switch เมื่อนำแผ่นโลหะทดสอบเลื่อนเข้า และเลื่อนออก ที่บริเวณระยะตรวจจับ ของ Proximity Switch

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

1. การติดตั้ง Proximity switches รูปทรงกระบอก ชนิด FLUSH



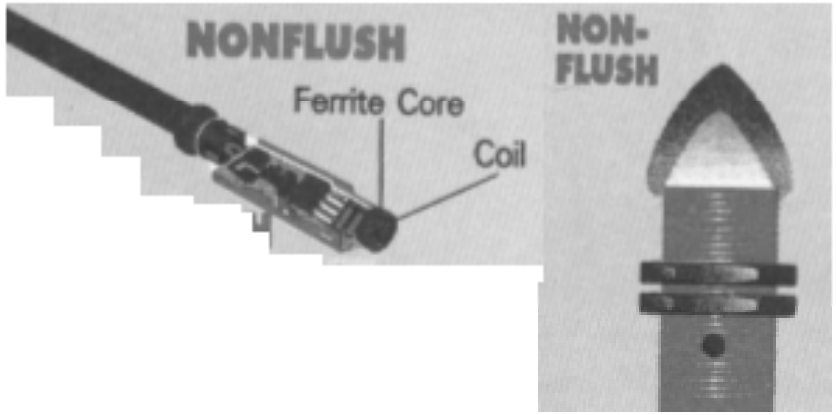


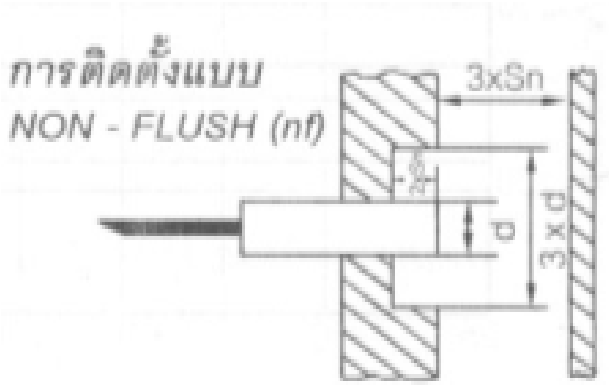
- สามารถติดตั้งให้ด้านหน้าส่วนตรวจจับเสมอกับโลหะที่ยึดได้

- 3 x Sn คือด้านตรงข้าม Proximity switches ไม่ควรมีโลหะอื่นอยู่ใกล้กว่า 3 เท่าของระยะตรวจจับ

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

2. การติดตั้ง Proximity switches รูปทรงกระบอก ชนิด NON - FLUSH



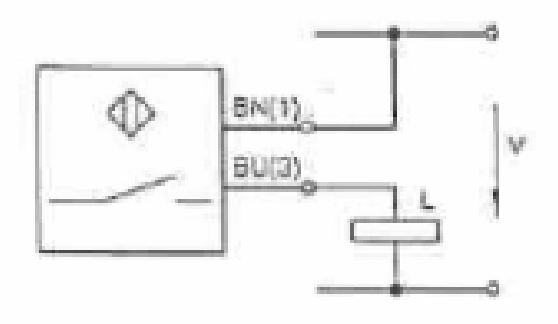


- จะต้องมีช่องว่าง บริเวณส่วนตรวจจับ
- d คือ ขนาดเส้นผ่าคูนย์กลางของ Proximity switches
- Sn คือระยะตรวจจับ Nominal
- 2 x Sn คือส่วนปลายของหัวตรวจจับ จะต้องสูงจากโลหะเป็น 2 เท่าของระยะตรวจจับ
- 3 x Sn คือส่วนปลายของหัวตรวจจับ จะต้องไม่มีโลหะอื่นอยู่ใกล้กว่า 3 เท่าของระยะเส้นผ่าศูนย์กลางของ Proximity switches

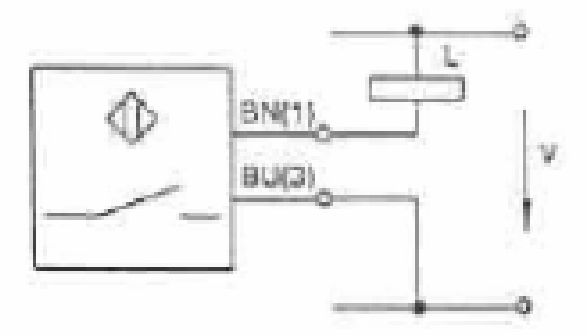
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับการต่อใช้งาน

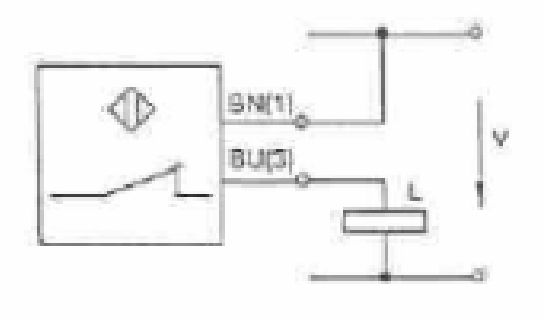
เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น



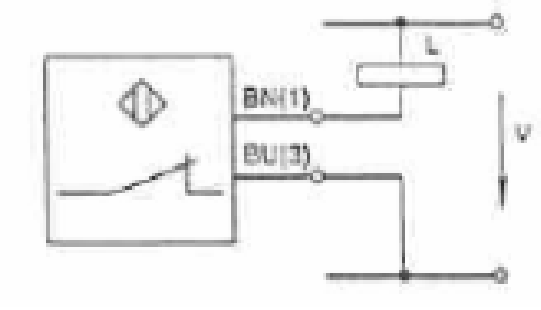
แบบ NO Positive Switching



แบบ NO Nagative Switching



แบบ NC Positive Switching



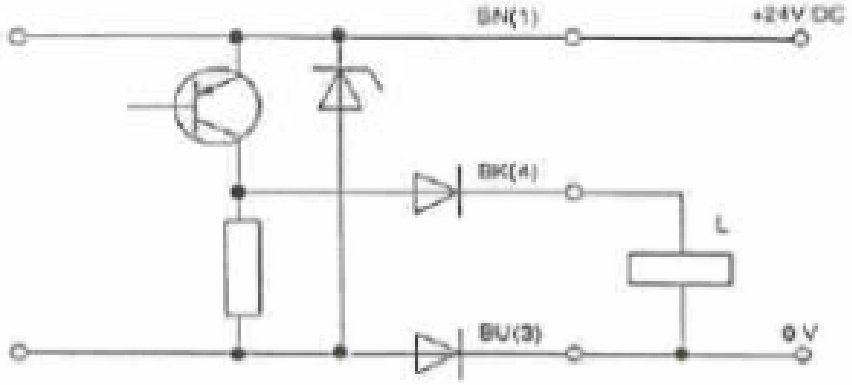
แบบ NC Nagative Switching

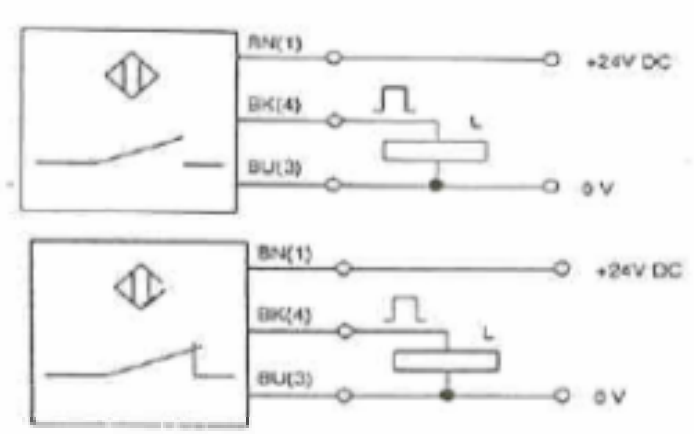
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับการต่อใช้งาน

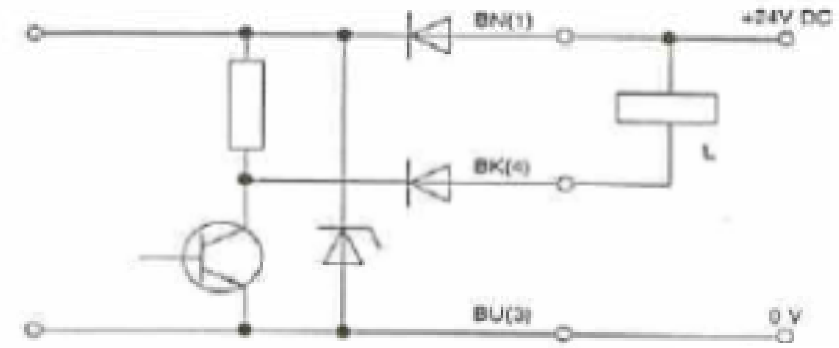
เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 3 เส้น

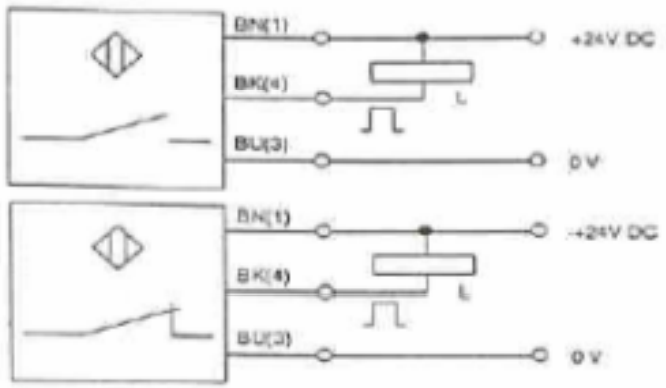
เอาท์พุทต่อใช้งานแบบ PNP :





เอาท์พุทต่อใช้งานแบบ NPN :

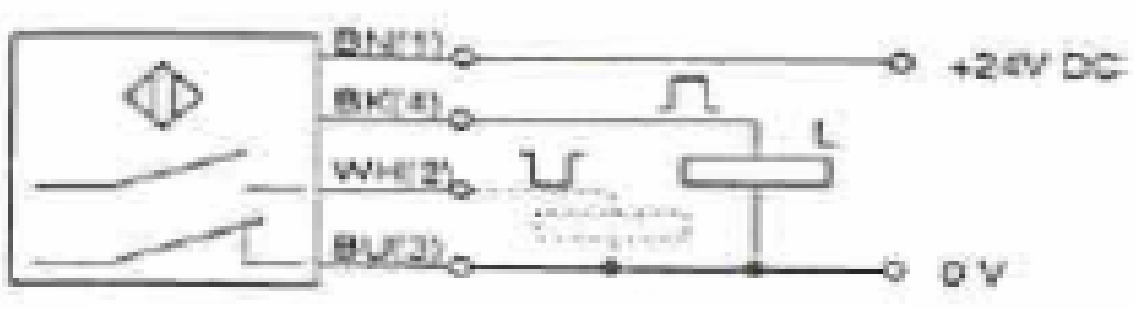




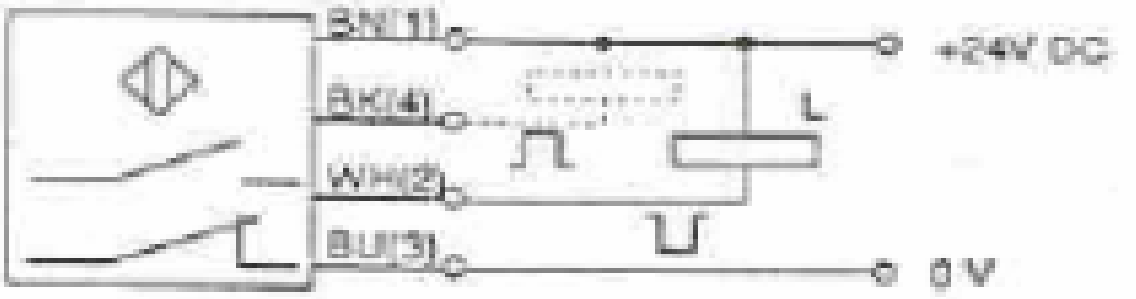
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับการต่อใช้งาน

เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 4 เส้น



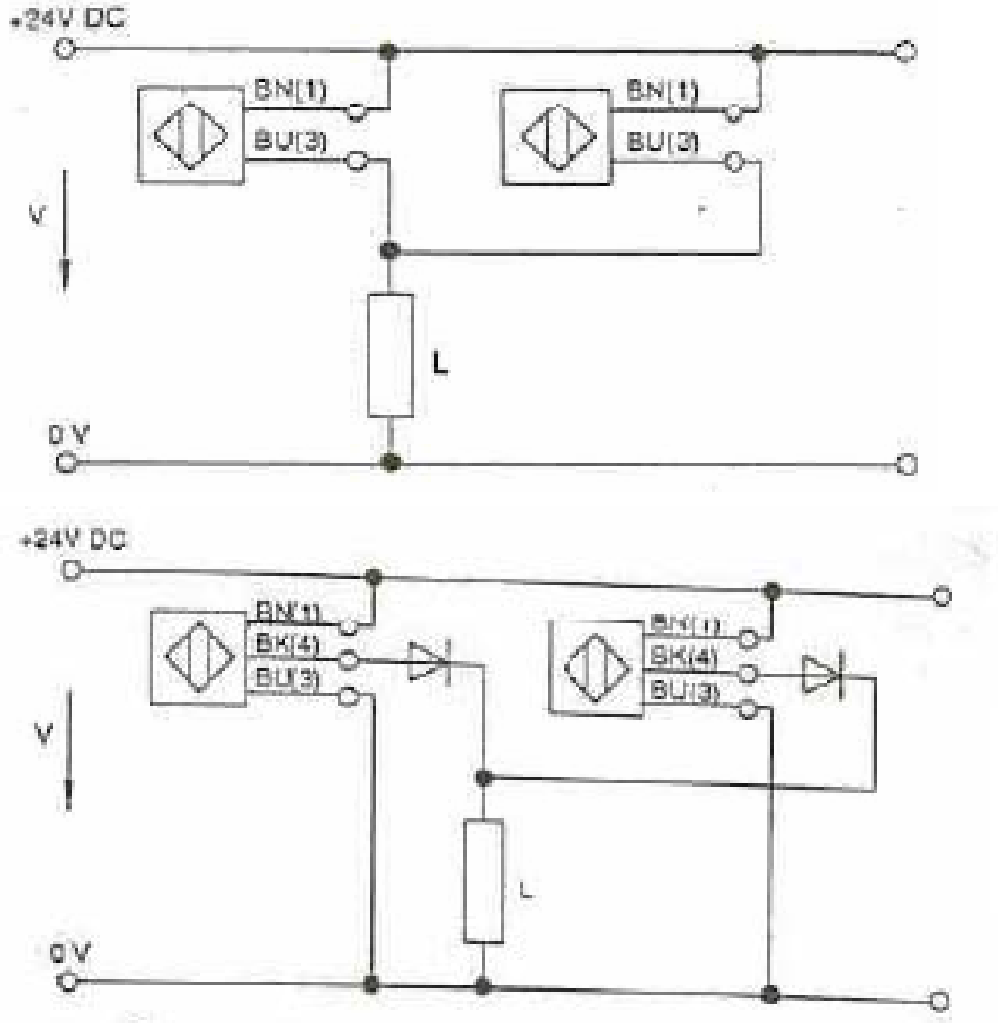
PNP normally open/normally closed contacts



NPN normally open/normally closed contacts

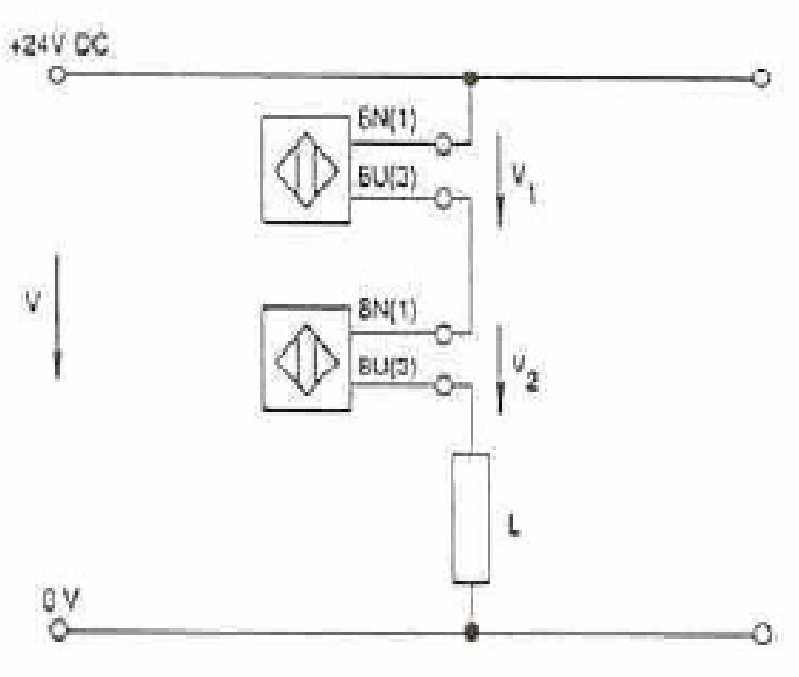
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

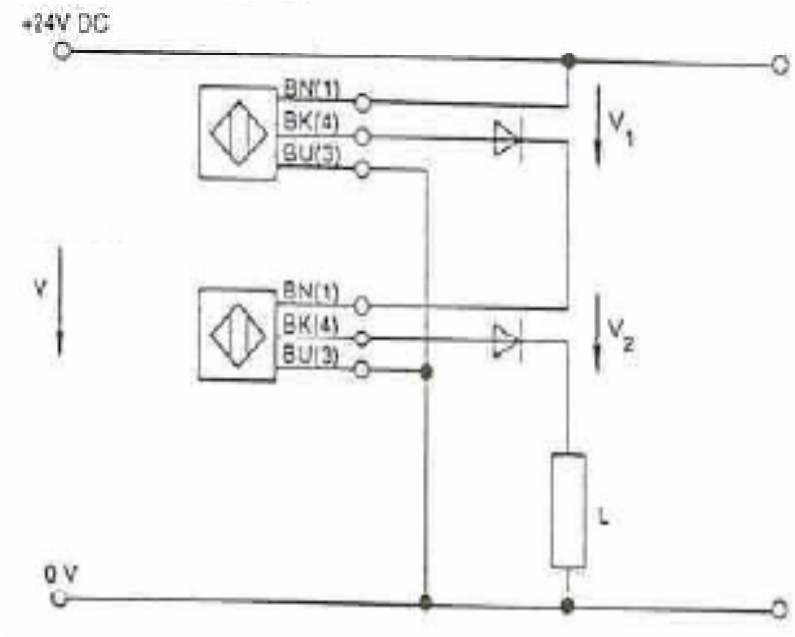
การต่อตัวเซนเซอร์ใช้งานร่วมกันแบบขนาน



พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

การต่อตัวเซนเซอร์ใช้งานร่วมกันแบบอนุกรม

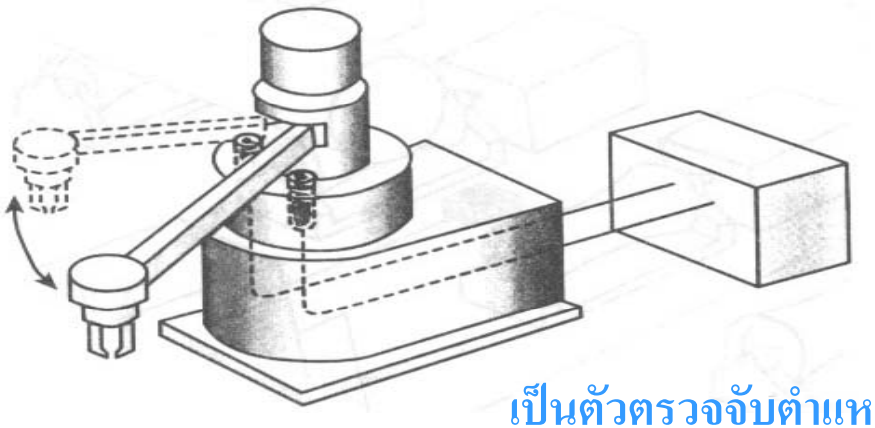




หมายเหตุ : ต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ตัวเซนเซอร์แต่ละตัวด้วย

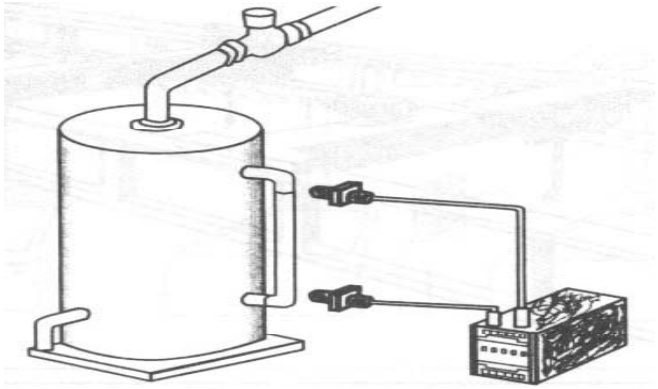
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor)

ตัวอย่าง การใช้ Inductive Proximity Switch

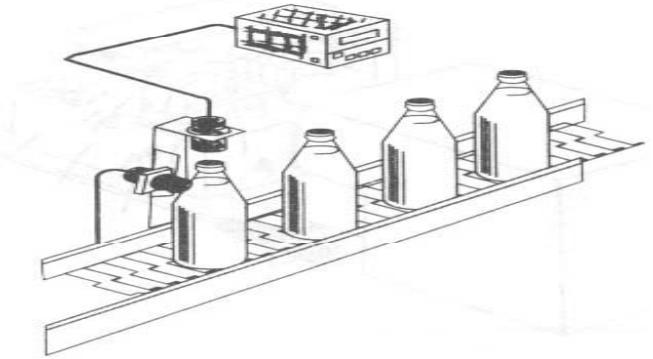


เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งแขนหุ่นยนต์

ตัวอย่าง การใช้ Capacitive Proximity Switch



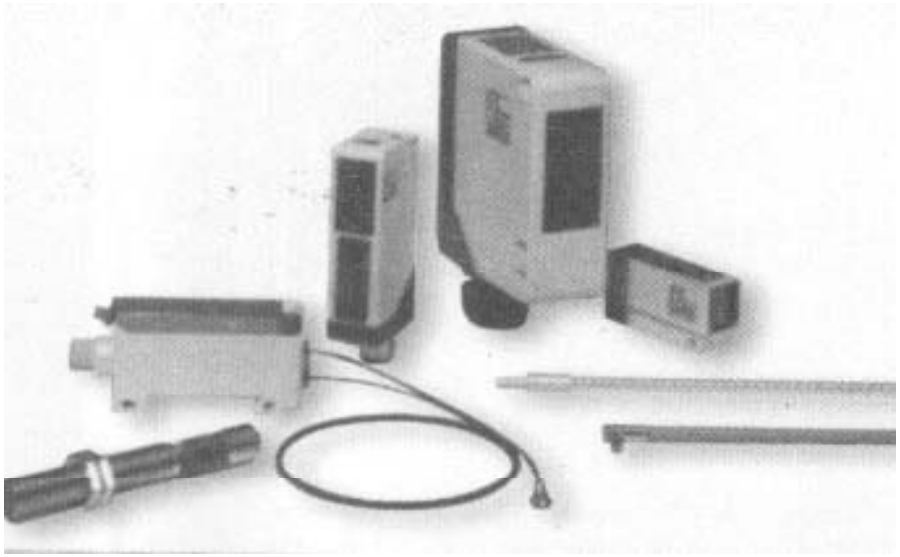
เป็นตัวตรวจระดับของเหลวในถัง(Tank)

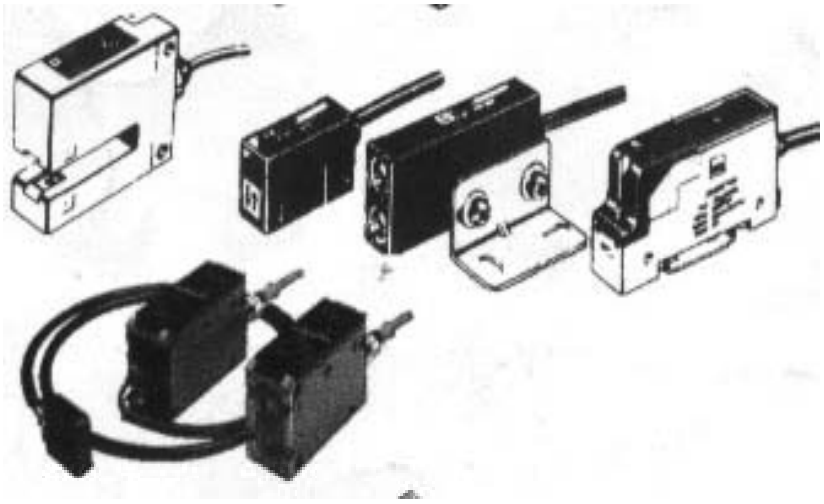


ตรวจสอบการบรรจุของเหลวในขวด

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

สวิตช์ลำแสง เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ เซนเซอร์(Sensor) หรือตรวจจับวัตถุที่เข้ามาในบริเวณระยะตรวจจับ โดยตัวมันจะทำงานเปิด – ปิด (On – Off) หรือส่งสัญญาณออกมาที่วงจรภาคเอาท์พุต (Output Circuit)





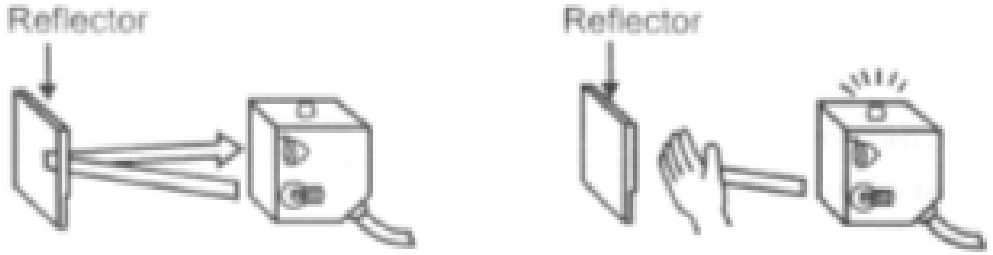
สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

ประเภทของ สวิตช์ลำแสง แบ่งตามวิธีการตรวจจับ

1. แบบThru – Beam Type

ตัวรับ-ตัวส่ง แยกกันอยู่คนละฟาก การตรวจจับโดยให้วัตถุที่จะตรวจจับเคลื่อนที่ผ่านระหว่างกลางระหว่างตัวรับ –ตัวส่ง

2. แบบ Retro - Reflective Type



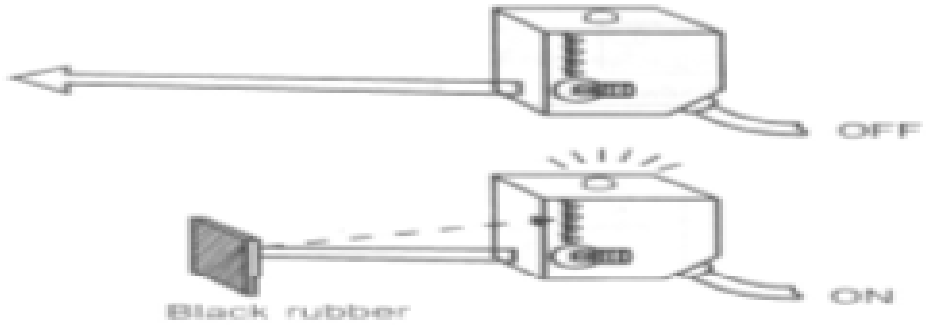
ตัวรับ- ตัวส่ง อยู่รวมกันภายในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสง(Refector) ช่วยในการทำงาน การตรวจจับโดยให้วัตถุที่จะตรวจจับเคลื่อนที่ผ่านระหว่าง ตัวสวิตช์ลำแสง (Beam Sensors) กับแผ่นสะท้อน(Refector)

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

3. แบบ Diffuse - Reflective Type

ตัวรับ- ตัวส่ง อยู่รวมกันภายในตัวเดียวกัน และใช้วิธีส่งแสงไปสะท้อนกลับที่ตัววัตถุโดยตรง

4. แบบ Limited - Distance Diffuse Reflective Type

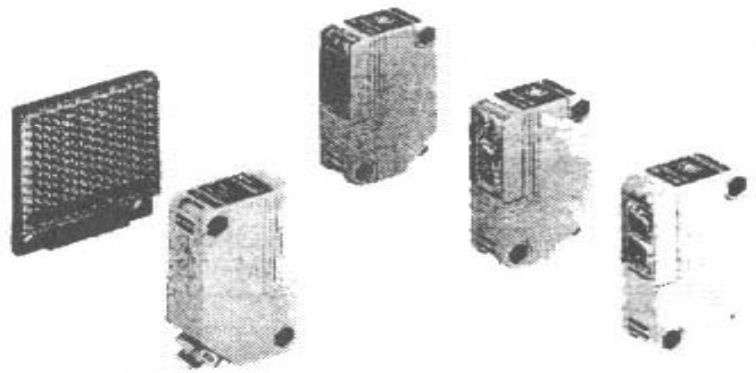


ตัวรับ- ตัวส่ง อยู่รวมกันภายในตัวเดียวกัน และใช้วิธีส่งแสงไปสะท้อนกลับที่ตัววัตถุโดยตรง เช่นเดียวกับแบบ Diffuse - Reflective Type แต่สามารถจำกัดระยะตรวจจับที่แน่นอนได้

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

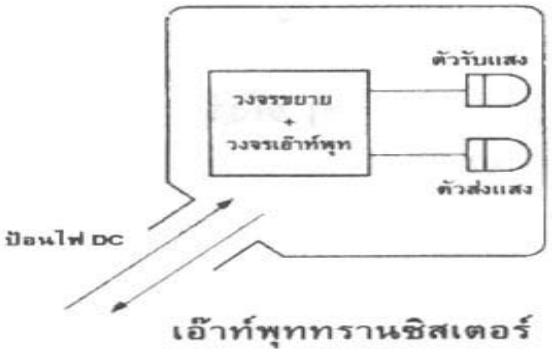
ประเภทของ สวิตช์ลำแสง แบ่งตามโครงสร้าง

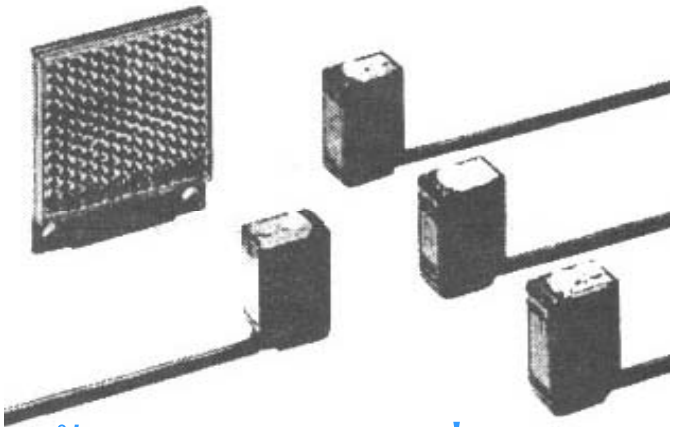
1. แบบ Multi - Voltage Type



ตัวส่งลำแสง (Projector) และตัวรับแสง (Detector) อยู่ร่วมกัน

2. แบบ Amplifier Built – In Type

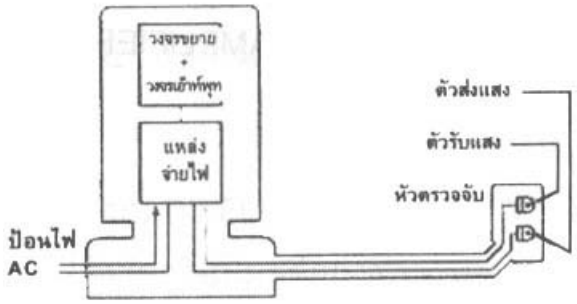




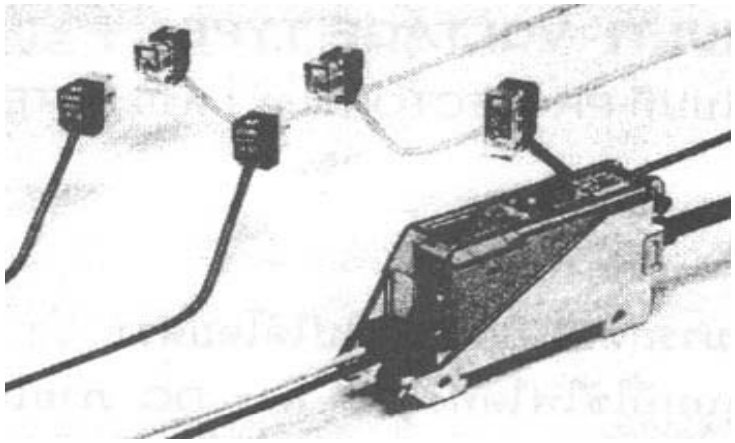
ตัวส่งลำแสง และตัวรับแสง อยู่ร่วมกัน และเรียกว่าภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ส่วนภาค Power Supply แยกออกไปต่างหาก

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

3. แบบ Amplifier Separated Type

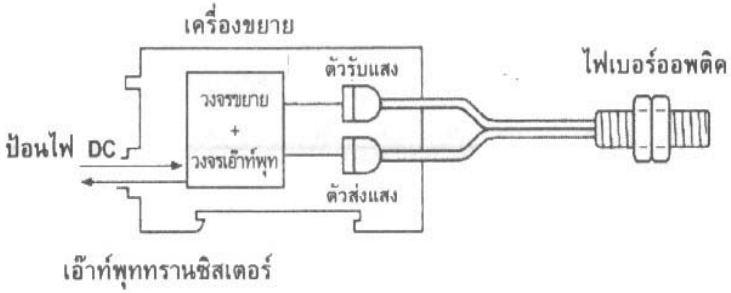


เอ้าท์พุทรีเลย์คอนแทค

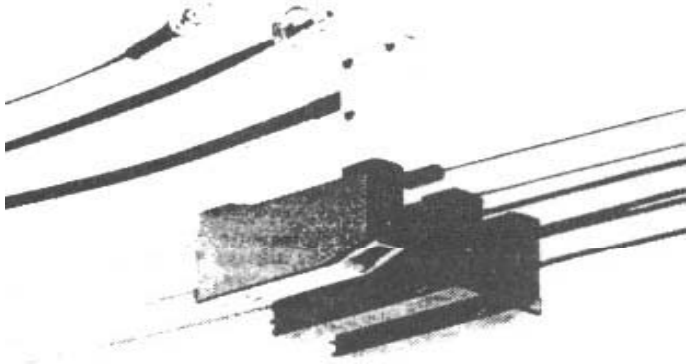


ตัวส่งลำแสง และตัวรับแสง แยกออกจาก ภาคขยายสัญญาณ และภาค Power Supply

4. แบบ Fiber Optical Type



เอ้าท์พุททรานซิสเตอร์

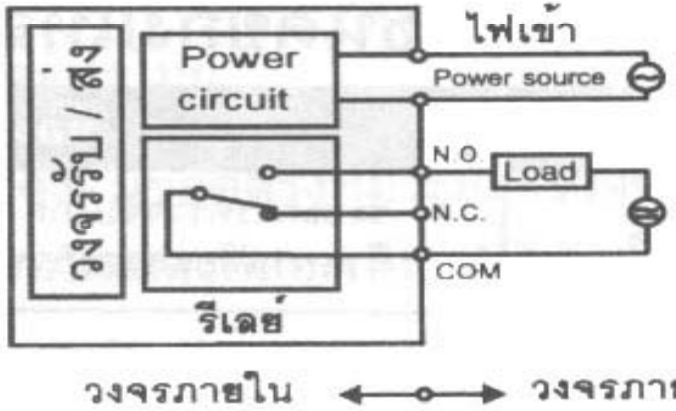


มีโครงสร้างคล้ายกับแบบ Built – In Amplifier Type แต่ตัว Projector และ Detector จะส่งและรับแสงผ่านสายไฟเบอร์ออพติค(Fiber Optical Cable)

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

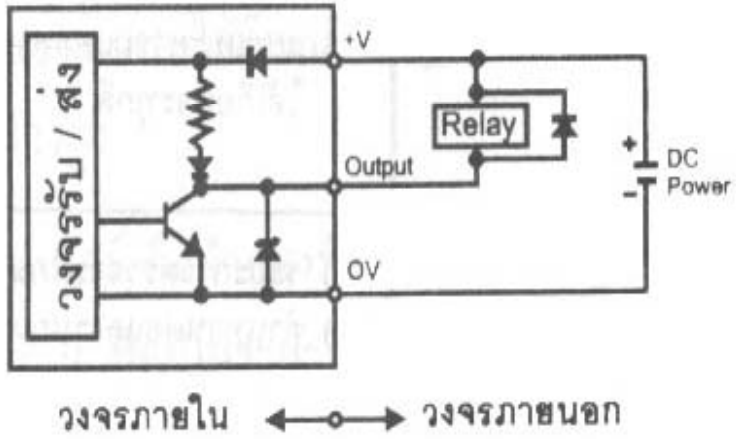
ประเภทของ สวิตช์ลำแสง แบ่งตามชนิดของภาคเอาท์พุต(Output Circuit)

1. แบบ Relay Contact Output



ภาคเอาท์พุทเป็น Relay จึงสามารถต่อกับโหลด (Load) ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ(AC)ได้

2. แบบ NPN Transistor with Pull – Up Resistor

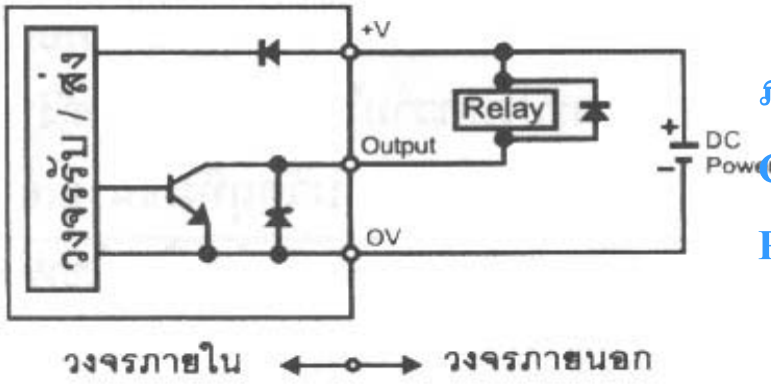


ภาคเอาท์พุตเป็น NPN Transistor และมี Pull – Up Resistor จึงไม่สามารถต่อสัญญาณเข้ากับ IC แบบ TTL ได้

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

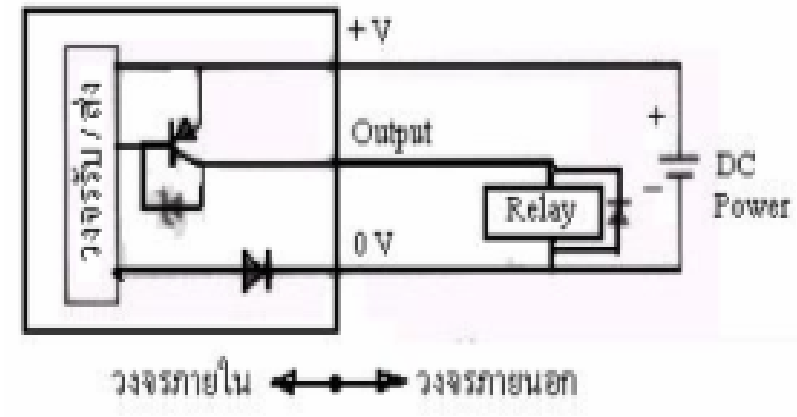
ประเภทของ สวิตช์ลำแสง แบ่งตามชนิดของภาคเอาท์พุต(Output Circuit)

3. แบบ NPN Transistor Open Collector



ภาคเอาท์พุทเป็น NPN Transistor Open Collector จึงสามารถต่อสัญญาณเข้ากับ Relay , PLC , IC แบบ TTL ได้

4. แบบ PNP Transistor



เอาท์พุทเป็น PNP Transistor จึง
ารถต่อสัญญาณเข้ากับ วงจรที่รับ
ญาณที่รับสัญญาณอินพุต(Input) เป็น
องแรงดันได้ แต่จะไม่สามารถต่อเข้ากับ
ร IC แบบ TTL ได้

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

ประเภทของ สวิตช์ลำแสง แบ่งตามชนิดของแหล่งกำเนิดแสง

1. แบบแสงอินฟราเรด(Infrared)

เป็นแบบที่ลำแสงใช้ LED แบบอินฟราเรด(Infrared) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 910 – 950 nm. มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จึงมีระยะการตรวจจับไกล สามารถส่งทะลุวัตถุบางชนิดได้ แต่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้

2. แบบแสงสีแดง

เป็นแบบที่ลำแสงใช้ LED แบบแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 660 nm. จึงมีระยะการตรวจจับอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง สามารถมองเห็นลำแสงได้ด้วยตาเปล่า และสามารถแยกความแตกต่างของสีบาง เช่นสีดำ สีน้ำเงิน หรือสีเขียวบนพื้นสีขาวได้ และมีข้อจำกัดของโทนสี

3. แบบแสงสีเขียว

เป็นแบบที่ลำแสงใช้ LED แบบแสงสีเขียว ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 560 nm จึงมีระยะการตรวจจับอยู่ในเกณฑ์ต่ำ(ใกล้มาก) สามารถมองเห็นลำแสงได้ด้วยตาเปล่า และสามารถแยกความแตกต่างของสีบางสี ที่ แสงสีแดงไม่อาจแยกได้ เช่นสีแดงบนพื้นสีขาวได้

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

4. แบบแสงสีขาว

เป็นแบบที่ลำแสงใช้ หลอดมีไส้หรือ LED สีเขียว สีแดงและสีน้ำเงินรวมเข้าด้วยกัน จึงมีระยะการตรวจจับอยู่ในระยะใกล้ สามารถมองเห็นลำแสงได้ด้วยตาเปล่า และสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ทุกเฉดสี

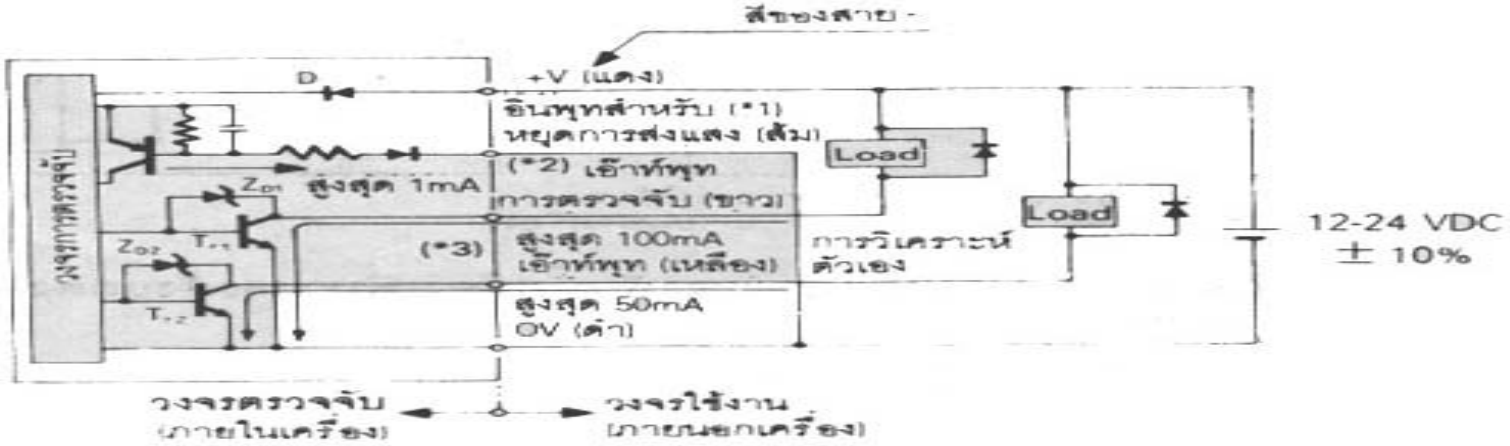
5. แบบแสงเลเซอร์(Laser)

เป็นแบบที่ลำแสงใช้ แสงเลเซอร์(Laser)ที่วิ่งเป็นลำตรงตลอด(ไม่กระจาย) จึงมีระยะการตรวจจับได้ระยะไกล มีความ แม่นยำในการตรวจจับสูง และสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ละเอียดมาก

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน

- **ชนิดเอ้าท์พุทแบบ ทรานซิสเตอร์ NPN**
- **ไดอะแกรมอินพุท/เอ้าท์พุท**



(*1) : อินพุทสำหรับหยุดการส่งแสงไม่มีในรุ่น RX-LS200 และแบบแยกตัวรับส่ง

(*2) : เอ้าท์พุทการตรวจจับไม่มีในตัวส่งของตัวตรวจจับแบบแยกตัวรับส่ง

(*3) : เอ้าท์พุทการวิเคราะห์ตัวเองไม่มีในตัวส่งของรุ่น RX-LS 200 และแบบแยกตัวรับส่ง [ยกเว้น RX3-M10 (-C5)]

D : ไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับ

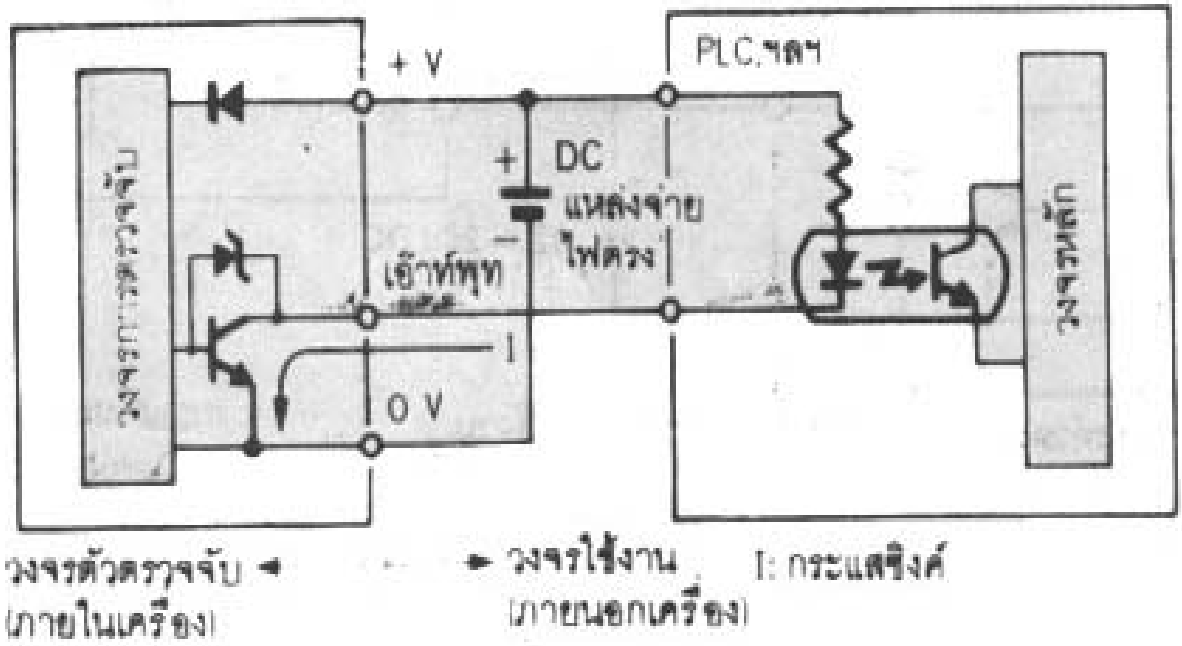
ZD1,ZD2 : ซีเนอร์ไดโอดลดแรงดันกระชาก

Tr1,Tr2 : ทรานซิสเตอร์เอ้าท์พุทชนิด NPN

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน(ต่อ)

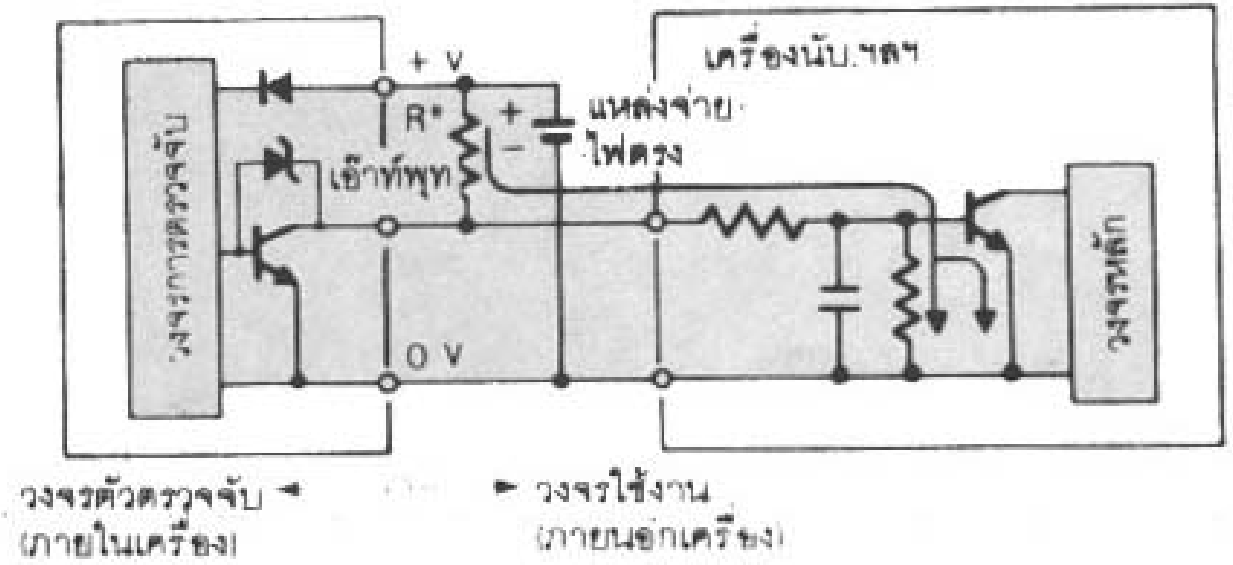
● ตัวอย่างการต่อของการใช้กระแสขับโหลด (PLC,เครื่องนับ,ตัวเชื่อมต่อทางแสง)



สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

● ตัวอย่างการต่อของการใช้แรงดันขับโหลด (ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทาน Pull-up)

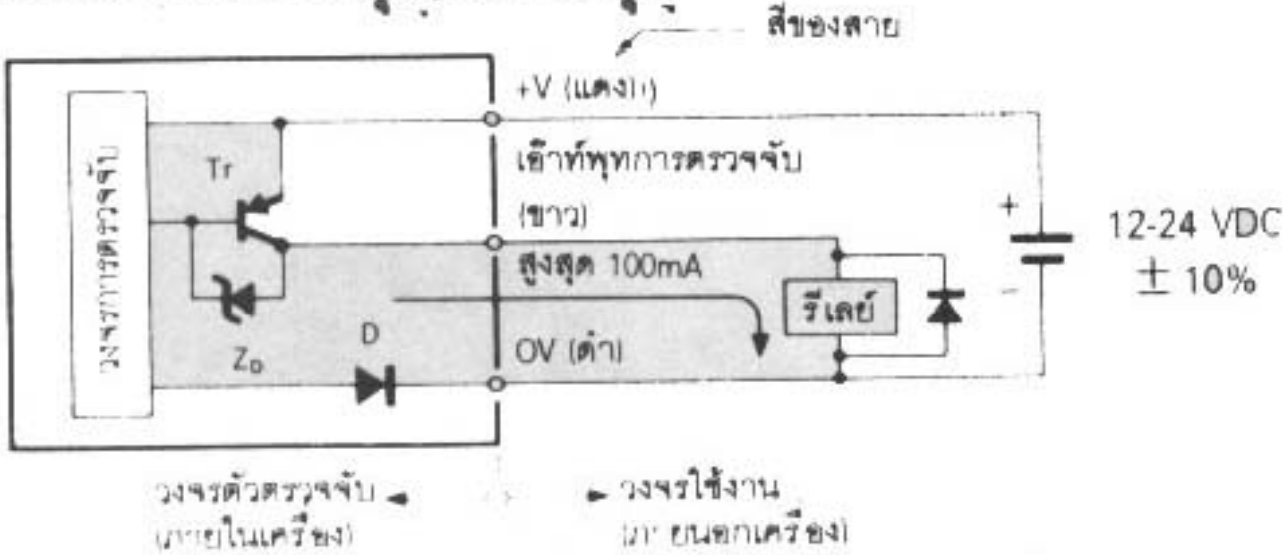


(*) วงจรข้างบนนี้ต้องใช้ตัวต้านทาน pull-up "R"

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

- **แบบเอ๊าท์พุททรานซิสเตอร์ PNP**
- **ไดอะแกรมอินพุท/เอ๊าท์พุท**



D : ไดโอดป้องกันการกลับขั้ว

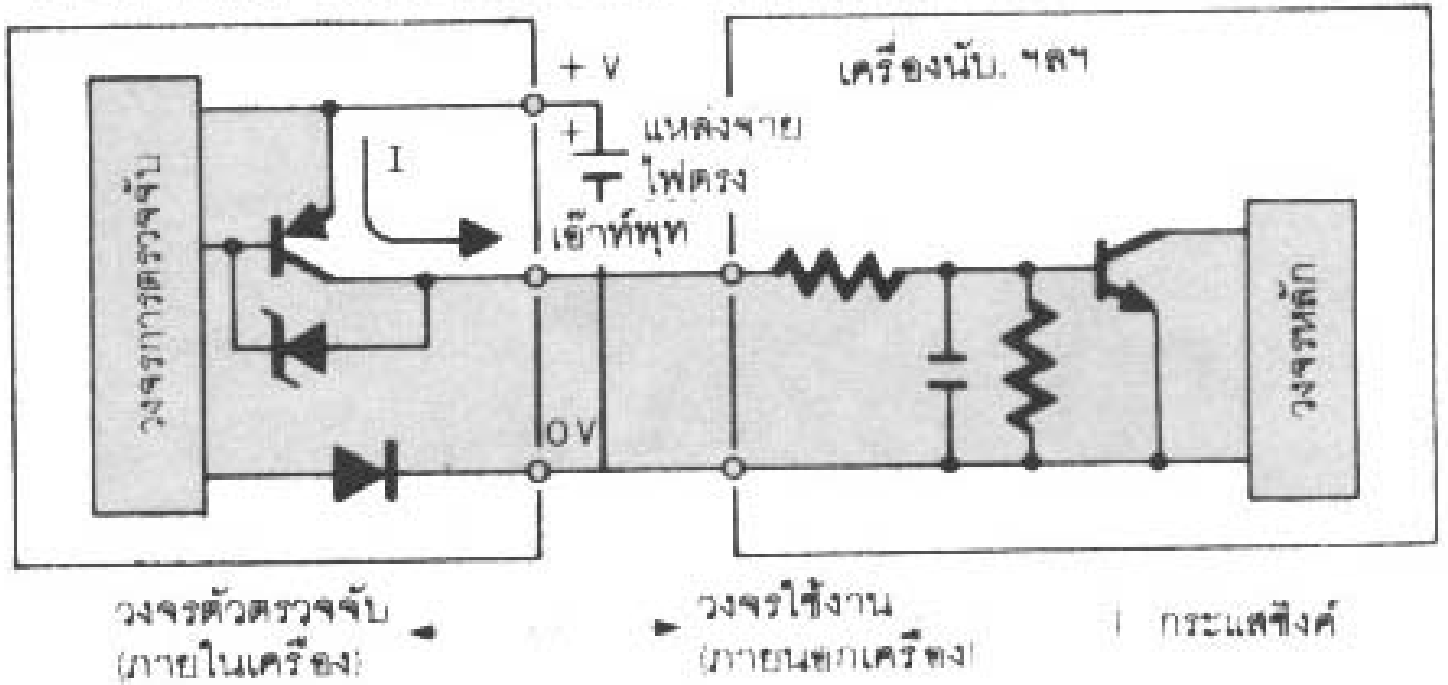
ZD : ซีเนอร์ไดโอดลดแรงดันกระชาก

Tr : ทรานซิสเตอร์เอ๊าท์พุท PNP

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

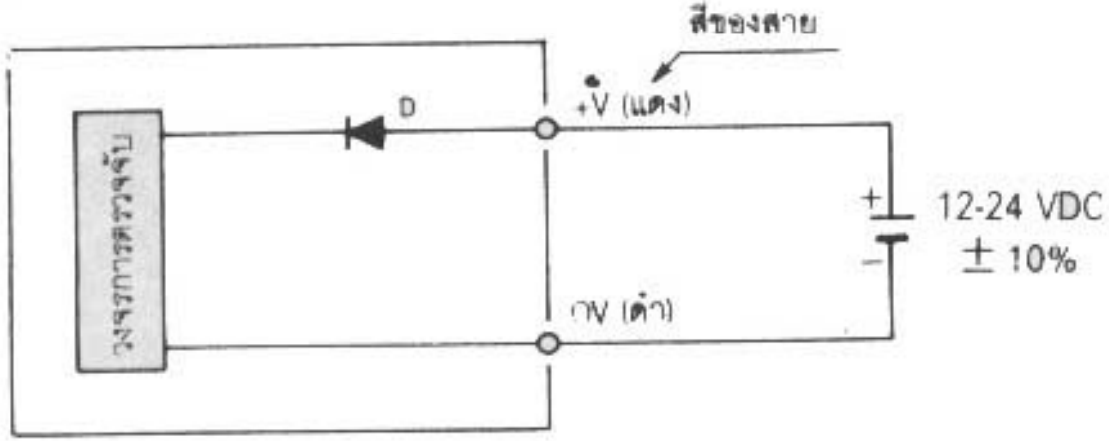
● การต่อสายอย่างเหมาะสมของการใช้แรงดันขับโหลด (ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทาน Pull-up)



สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

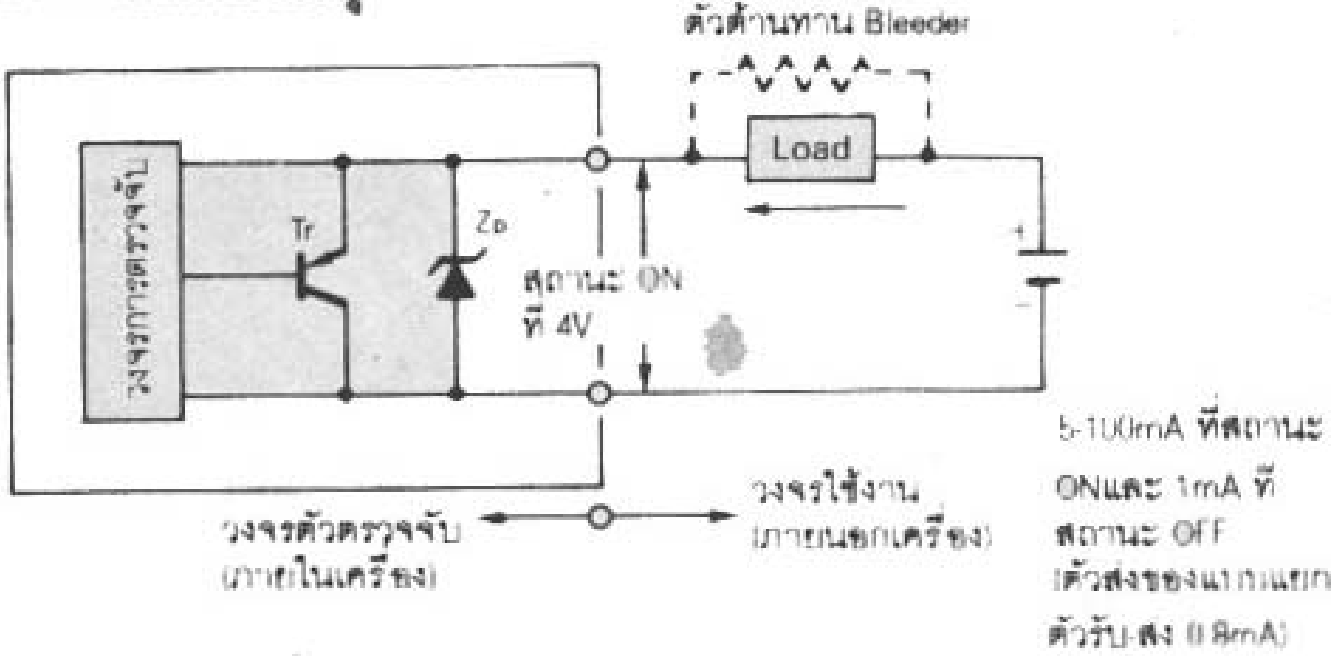
- แบบ DC VOLT 2 สาย
- ไดอะแกรมอินพุท/เอ้าท์พุท
- ตัวส่งแสงของแบบตัวรับ-ส่งแสง



สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

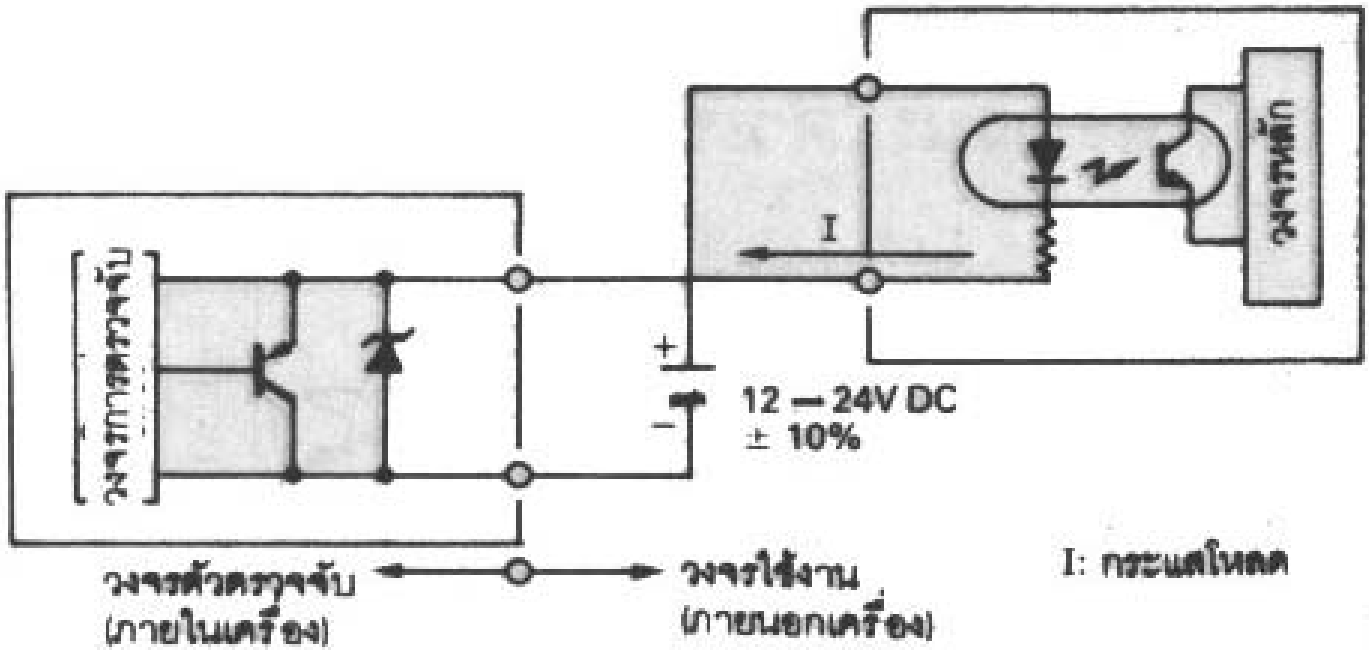
● **ตัวส่งของแบบแยกตัวรับ-ส่ง,แบบสะท้อนกับแผ่นสะท้อน, แบบสะท้อนกับวัตถุ**



สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน (ต่อ)

● ตัวอย่างของการต่อโดยใช้กระแสในการขับโหลด
(รีเลย์,PLC,ตัวเชื่อมต่อทางแสง PHOTO-COUPLER)

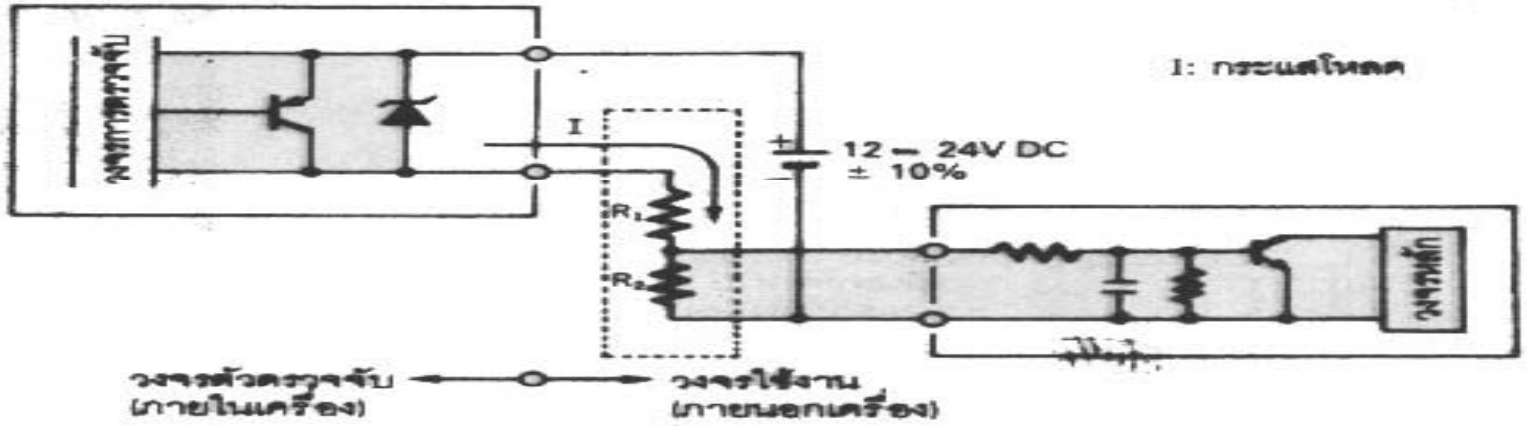


สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

โครงสร้างพื้นฐานภาคเอาท์พุต(Output Circuit) และตัวอย่างการต่อใช้งาน

(ต่อ)

● ตัวอย่างของการต่อโดยใช้แรงดันในการขับโหลด (PLC,เครื่องนับ,วงจรลอจิก)



*1 : สำหรับการขับโหลดด้วยแรงดันนั้นต้องเพิ่มวงจรดังแสดงในเส้นประด้วย

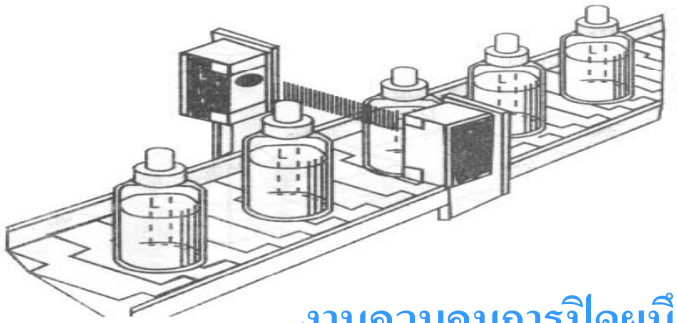
$$R1 = \frac{Vcc - V1 - V3\ (\text{แรงดันตกค้าง})}{I}$$

$$R2 < \frac{V1}{1\ mA\ (\text{การกินกระแสของตัวตรวจจับ})}$$

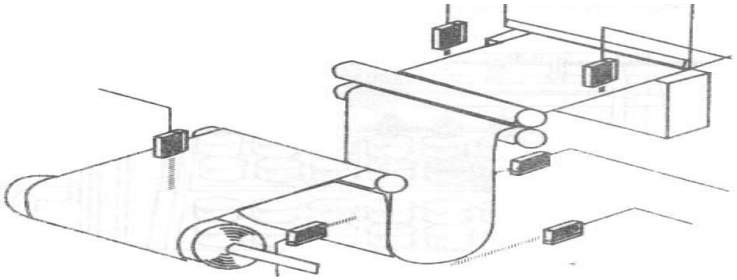
Vcc : แหล่งจ่ายกำลัง
V1 : แรงดันการทำงานของโหลด
I : กระแสโหลด

สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)

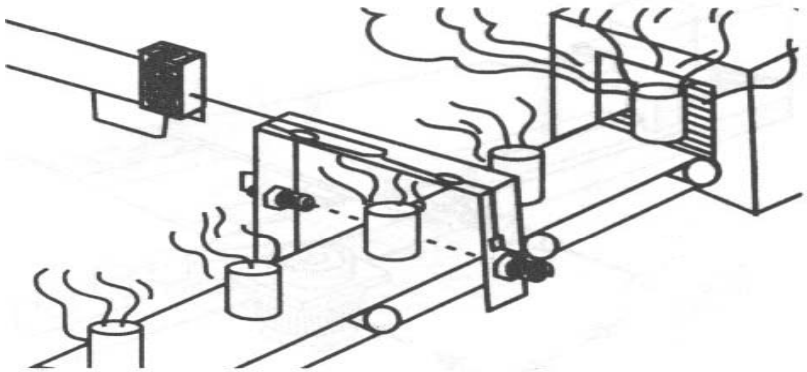
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน สวิตช์ลำแสง (Beam Sensor)



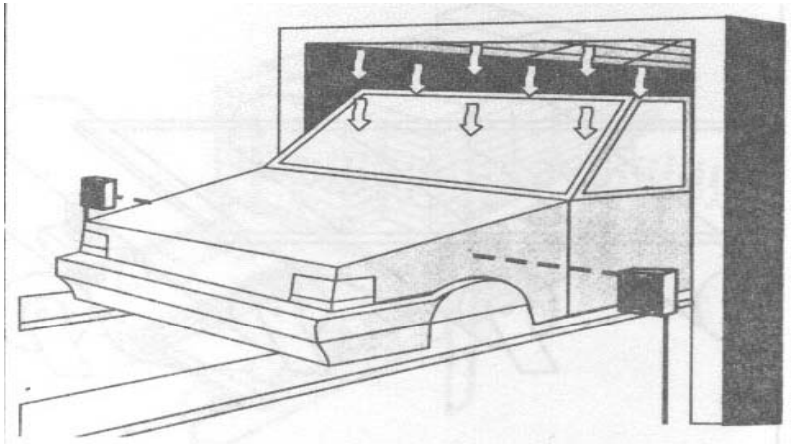
งานควบคุมการปิดผนึก



งานควบคุมการม้วนกระดาษ



งานตรวจจับวัตถุร้อนในกระบนการผลิต



กำหนดตำแหน่งในงานพ่นสีรถยนต์

สัญญา

ครูนิคม บัวไพจิตร