

อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

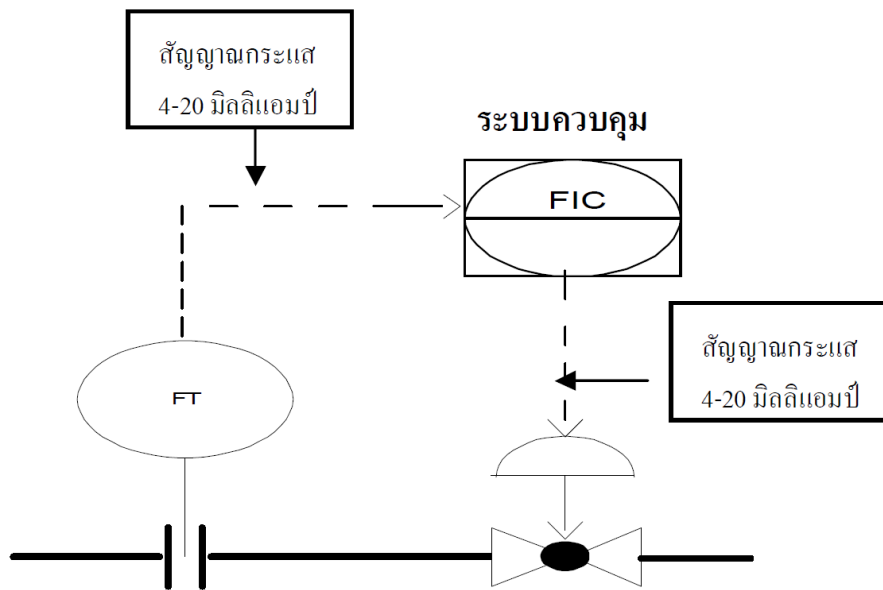
เป็นเวลานานมาแล้วที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20 mA Transmitters) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ ในการส่งผ่านข้อมูลและเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้งานส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่อยู่ในกระบวนการผลิตและระบบควบคุมที่อยู่ในห้องควบคุมกลาง (Center Control Room) ถึงแม้ในปัจจุบันได้มีการนำเสนอการส่งผ่านข้อมูลแบบใหม่ระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดและระบบควบคุม เพื่อพยายามผลักดันให้เป็นมาตรฐานการส่งผ่านข้อมูลแบบใหม่ในอนาคต ซึ่งยังคงต้องใช้เวลานานพอสมควร เช่น การส่งผ่านข้อมูลแบบดิจิทัลในรูปแบบต่างๆ หรือที่รู้จักกันในชื่อของ Field Bus เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีระบบควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัดอีกเป็นจำนวนมากที่ยังใช้ในการส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณกระแส (Current Loop) มาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนมากจะมีความเข้าใจการทำงานและการใช้งานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ เป็นอย่างดีและใช้งานกันมาเป็นเวลานานแล้ว ส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้งานส่วนมากจะมีความเข้าใจการเลือกใช้งานและติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ แต่ก็ยังคงมีคำถามเกี่ยวกับอุปกรณ์แบบนี้บ้าง เช่น ความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ แบบ 2 สาย, 3 สาย และ 4 สาย หรือมีข้อจำกัดในการใช้งานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ เป็นต้น

ในการควบคุมกระบวนการผลิต สามารถแสดงแผนภาพกระบวนการผลิตได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ อุปกรณ์การวัด (Signal Element), ระบบควบคุม (Control System) และวาล์วควบคุม (Control Valve) ในการควบคุมจะมีการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อุปกรณ์การวัดจะทำการแปลงตัวแปรจากกระบวนการผลิตไปเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ และส่งไปยังระบบควบคุม

ขั้นตอนที่ 2 ระบบควบคุมจะทำการประมวลผลและส่งออกพัลส์ออกเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ ไปยังวาล์วควบคุม

ขั้นตอนที่ 3 วาล์วควบคุมรับสัญญาณมาจากระบบควบคุมและจะเปลี่ยนเป็นการกระทำต่อตัวแปรกระบวนการโดยการปิดหรือเปิดวาล์วควบคุม เพื่อให้ตัวแปรกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ได้รับมาจากระบบควบคุม



รูปที่ 1 ระบบควบคุมบนแผนภาพกระบวนการผลิต

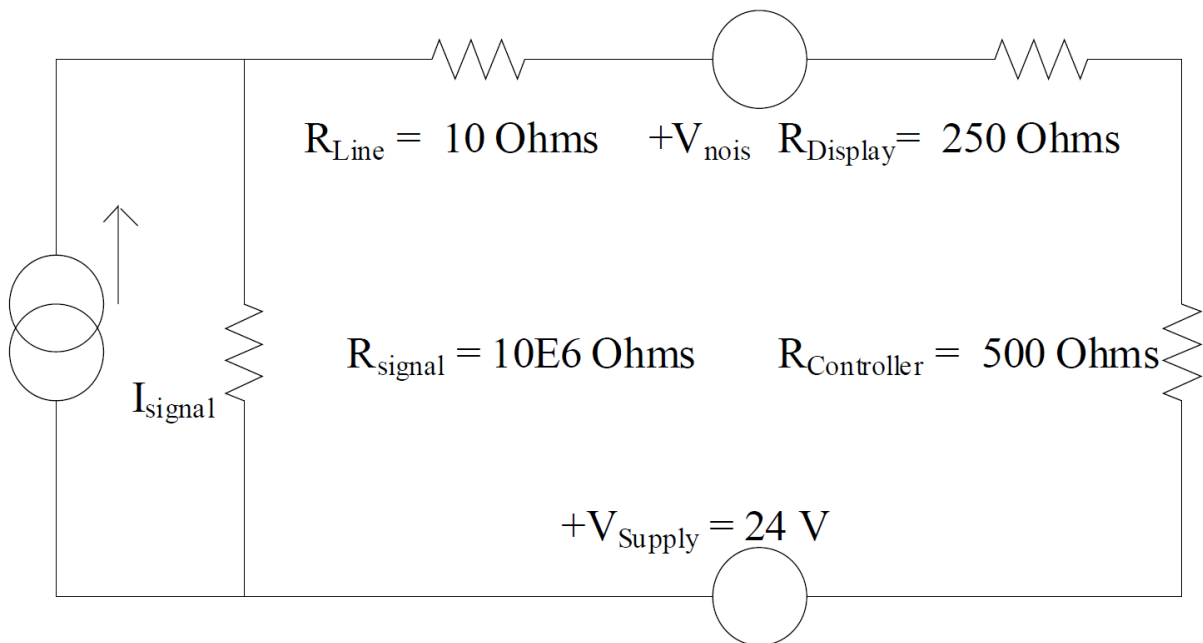
อุปกรณ์การวัดและวาล์วควบคุมของระบบควบคุมการผลิตจะถูกติดตั้งและถูกกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆของกระบวนการผลิตและส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณมาตรฐานแบบต่างๆ เป็นระยะทางไกลไปยังระบบควบคุมกลาง ในบางครั้งปัญหาหลักๆที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมก็จะได้พบได้ในการส่งผ่านข้อมูลเหล่านี้ การสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสามารถทำให้เชื่อถือได้โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์แบบชาญฉลาด (Smart) ในอุปกรณ์การวัดหรืออุปกรณ์ควบคุมซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ในอดีตที่ผ่านมาระบบการควบคุมแบบนิวแมติก (Pneumatic) ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการผลิตก่อนที่จะมีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งาน

ในระบบการควบคุมแบบนิวแมติกจะมีอุปกรณ์ต่างๆเหมือนกับระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Ratio Controller), ตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller) เป็นต้น โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะส่งผ่านสัญญาณความดันมาตรฐาน 3-15 psi ในช่วงปี 1950 ระบบคอมพิวเตอร์ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในการควบคุมกระบวนการผลิตมากขึ้น ดังนั้นเทคนิคในการส่งผ่านข้อมูลจึงถูกเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณความดันมาตรฐาน 3-15 psi ไปเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อให้เหมาะสมกับระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับในบทความนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดและมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ นอกจากนั้นยังแสดงข้อจำกัดต่างๆเพื่อเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้งาน

อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ สามารถเขียนเป็นวงจรกระแสอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีแหล่งจ่ายกระแสตามอุดมคติของนอร์ตันซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแส (I_{SIGNAL}) และความต้านทาน (R_{SIGNAL}) มีความต้านทานของสายสัญญาณ (R_{LINE}) และแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (N_{NOISE}) สำหรับใช้แทนสัญญาณรบกวนที่ถูกเหนี่ยวนำมาจากส่วนอื่นๆ สำหรับวงจรกระแสในรูปที่ 2 จะมีความต้านทาน (R_{LOAD}) ต่ออนุกรมกับวงจรกระแสนี้ 2 ค่า คือ ความต้านทานของชุดอินพุตของระบบควบคุม ($R_{\text{CONTROLLER}}$) และความต้านทานของชุดแสดงผล (R_{DISPLAY}) โดยวงจรนี้จะถูกจ่ายพลังงานด้วยแหล่งจ่ายแรงดันที่ 24 VDC

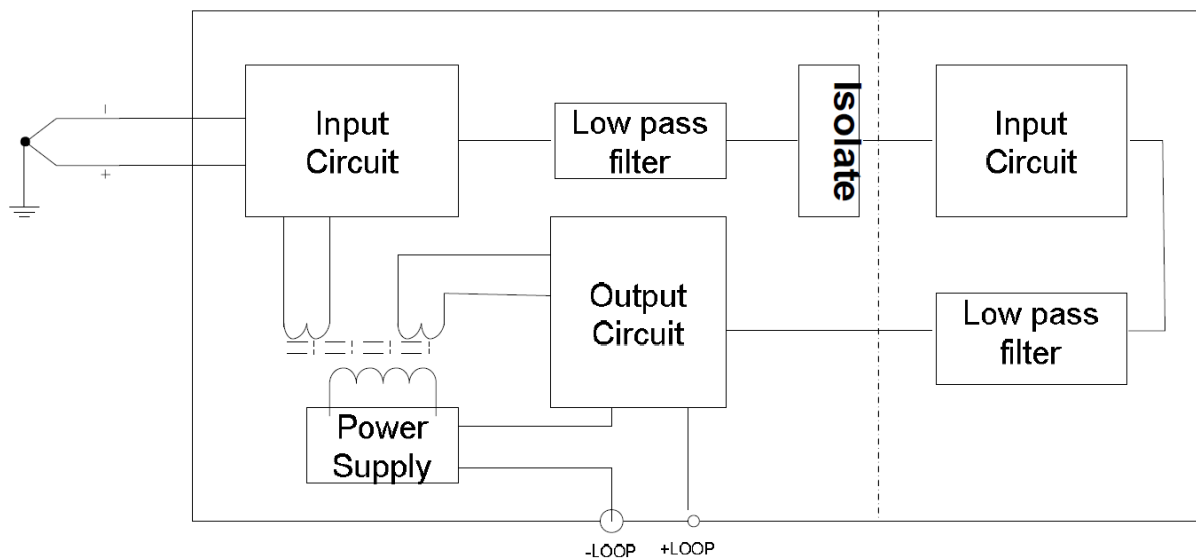


รูปที่ 2 วงจรกระแสอย่างง่าย

- ❖ สัญญาณแรงดันที่โหนดใดๆจะมีค่าเท่ากับ $(I_{\text{SIGNAL}}) * (R_{\text{LOAD}})$ ซึ่งจะเป็นอิสระต่อแหล่งจ่ายแรงดันและความต้านทานของสายไฟซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวได้ในการติดตั้ง
- ❖ สัญญาณรบกวนที่โหนดใดๆจะมีค่าลดลงด้วยตัวแปรดังนี้ $(R_{\text{LOAD}}) / (\text{SUM } R_{\text{LOAD}} + R_{\text{LINE}} + R_{\text{SIGNAL}})$ ดังตัวอย่างที่แสดงต่อไปนี้ เมื่อมีแรงดันสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเป็น 15 โวลต์ จะทำให้เกิดแรงดันที่อินพุตของชุดควบคุมเป็น 0.75 มิลลิโวลต์ 500 $(15 / 10\text{E}6 + 10 + 250 + 500)$ และสัญญาณแรงดันเต็มย่าน (Full Scale) ที่อินพุตของระบบจะมีค่าเป็น 10 โวลต์ $(20 \text{ มิลลิโวลต์} * 500 \text{ โอห์ม})$ และสัญญาณแรงดันจะมีค่ารบกวน 0.75 มิลลิโวลต์ จะทำให้เกิดความผิดพลาดที่อินพุตของระบบควบคุมเป็น 0.075 %

- ❖ สามารถต่อโหลดความต้านทานได้หลายตัวโดยการต่ออนุกรมเข้าไปกับวงจรกระแส เช่น ระบบควบคุม, ชุดแสดงผลหรือบันทึกข้อมูล เป็นต้น แต่เมื่อทำการต่อโหลดหลายตัวเข้าไปในวงจร จะเป็นผลทำให้แรงดันที่ขั้วของอุปกรณ์การวัดมีค่าลดลง จนเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์การวัดไม่สามารถทำงานได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 แรงดันที่ขั้วของอุปกรณ์การวัดที่สัญญาณกระแสเป็น 20 มิลลิแอมป์ จะมีค่าเท่ากับ $24 \text{ โวลต์} - 760 \text{ โอห์ม} \times 20 \text{ มิลลิแอมป์} = 24 - 15.2 = 8.8 \text{ โวลต์}$ ดังนั้นอุปกรณ์การวัดที่นำมาใช้งานจะต้องทำงานได้ที่แรงดันที่ขั้วต่ำสุด (Minimum Working Voltage) เป็น 8.8 โวลต์ เพราะไม่เช่นนั้นแล้วอุปกรณ์การวัดจะไม่สามารถทำงานได้ที่สัญญาณกระแสเต็มย่านการวัดหรือไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้เต็มย่านที่ต้องการ

ต่อไปนี้เป็น การแสดงตัวอย่างรายละเอียดของวงจรภายในพื้นฐานของอุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ดังแสดงในรูปที่ 3



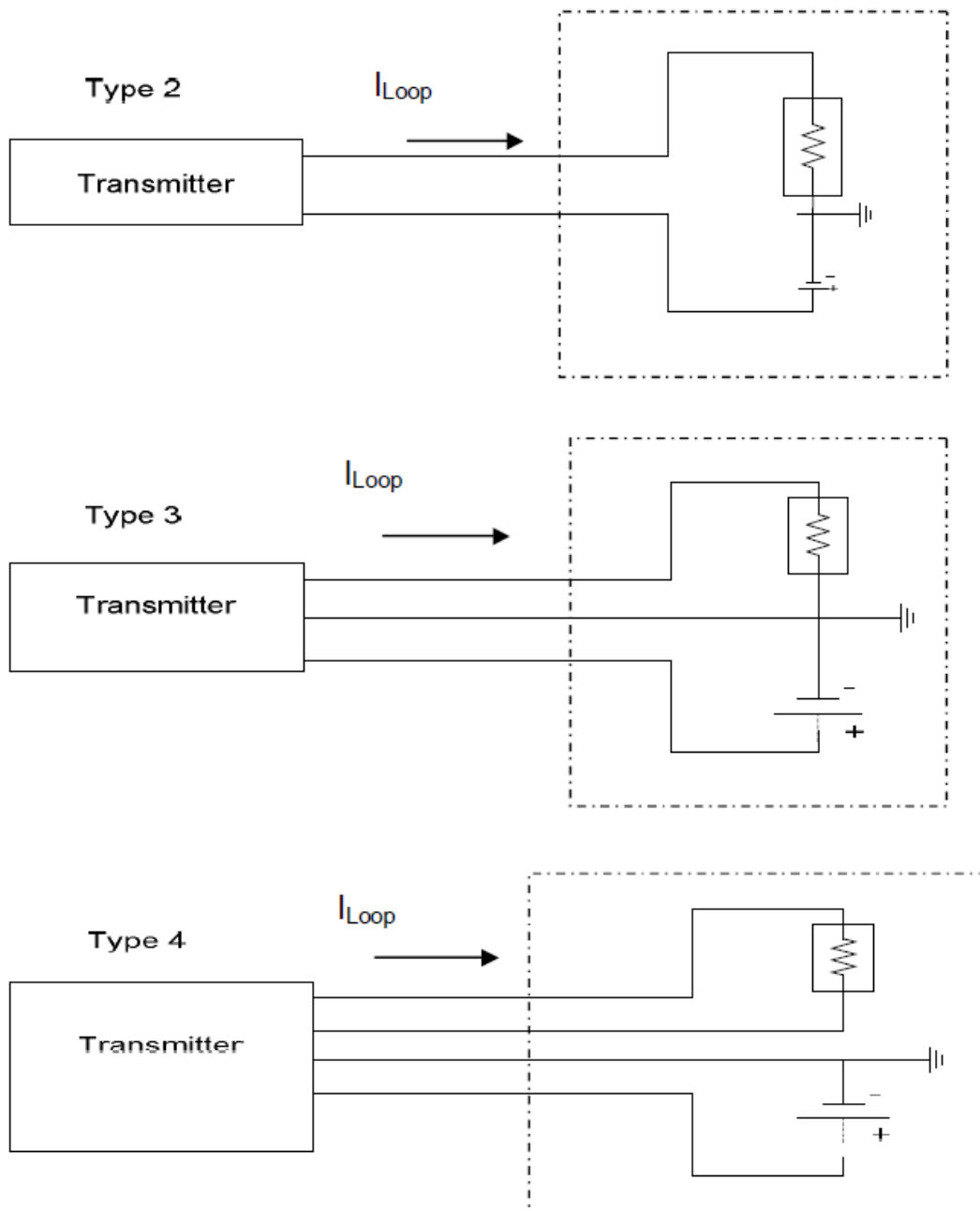
รูปที่ 3 วงจรภายในพื้นฐานของอุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

จากรูปที่ 3 สามารถแสดงรายละเอียดของวงจรภายในพื้นฐานของแต่ละส่วนได้ดังนี้

- ❖ วงจรอินพุตจะใช้ในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ เช่น เทอร์โมคัปเปิล, RTD, แหล่งกำเนิดสัญญาณแรงดันหรือกระแส เป็นต้น ในส่วนนี้จะมีวงจรในการปรับความเป็นเชิงเส้น (Linearization) และฟังก์ชันการคำนวณต่างๆ
- ❖ แหล่งจ่ายพลังงานจะใช้สำหรับจ่ายพลังงานที่ต้องการภายในอุปกรณ์
- ❖ วงจรเอาต์พุตจะใช้วงจรในการแปลงสัญญาณเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ 4-20 มิลลิแอมป์ ให้กับอุปกรณ์กระแสที่จุดเอาต์พุตของอุปกรณ์การวัด

มาตรฐานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

เนื่องจากการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีผู้ผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดประเภทนี้ เพื่อใช้เป็นการกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์เครื่องมือวัด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างสะดวกและสามารถนำไปทดแทนกันได้ มาตรฐาน ANSI/ISA-S 50.1-1982 ได้กำหนดมาตรฐานแบบนี้ได้เป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

1. อุปกรณ์ Type 2

เป็นอุปกรณ์กวนวัดแบบ 2 สาย โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากลูกระแส (Loop Powered) ดังนั้นแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับอุปกรณ์ประเภทนี้จะถูกติดตั้งรวมอยู่ที่ชุดรับสัญญาณและการต่อลงดินของสัญญาณจะอยู่ที่ชุดรับสัญญาณเช่นกัน อุปกรณ์เครื่องมือวัดโดยทั่วไปจะใช้มาตรฐานแบบนี้เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อกับระบบควบคุม

2. อุปกรณ์ Type 3

เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ 2 สาย โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากแหล่งจ่ายแรงดันที่แยกออกจากลูกระแสดังนั้นจึงต้องการสายเพิ่มอีก 1 เส้น สำหรับจ่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประเภทนี้แต่จะใช้การต่อลงดินของสัญญาณจะอยู่ที่จุดเดียวกัน อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบนี้จะพบได้บ่อยครั้งในอุปกรณ์ที่ตรวจจับก๊าซรั่วและเพลิงไหม้ เช่น Gas Detector, Flame Detector เป็นต้น

3. อุปกรณ์ Type 4

เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ 2 สาย โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากแหล่งจ่ายแรงดันที่แยกออกจากลูกระแสดังนั้นจึงต้องการสายเพิ่มอีก 1 คู่ สำหรับจ่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประเภทนี้ และจะใช้ในการต่อลงดินของสัญญาณกับแหล่งจ่ายแรงดันแยกออกจากกัน ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบนี้ เช่น Magnetic Flow Meter, Coriolis Flow Meter เป็นต้น ซึ่งชุดเซ็นเซอร์และชุดแปลงสัญญาณของอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องการแหล่งจ่ายพลังงานที่แยกออกจากกัน

การขั้วกระแสของอุปกรณ์

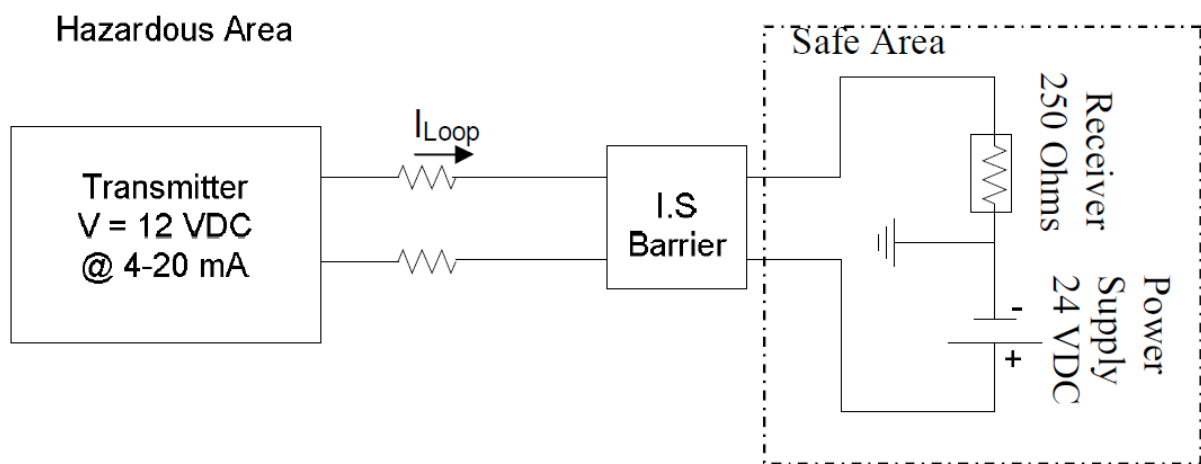
จากรายละเอียดต่างๆที่ได้แสดงมาในหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่าจะใช้อุปกรณ์ในการขั้วสัญญาณกระแสให้กับวงจร ดังนั้นเป้าหมายหลักในการนำไปใช้งานจะต้องออกแบบให้มีการตอบสนองต่อตัวแปรที่ต้องการวัดได้ตลอดย่าน รวมไปถึงการติดตั้งและการจ่ายสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ ด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่เพียงพอทุกย่านการวัด มาตรฐาน ISA S50.1 ได้กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องมือวัดสำหรับนำไปใช้งานกับโหลดความต้านทานที่ค่าแหล่งจ่ายแรงดันตามที่กำหนดแสดงในตารางที่ 1

Transmitter Class Suffix Classifications			
	H	L	U
Load Resistance (Ohms)	300	800	300 to 800
Minimum Supply Voltage	23 VDC	32.7 VDC	23 to 32.7 VDC

ตารางที่ 1 ค่าโหลดความต้านทานและค่าแหล่งจ่ายแรงดัน

จากตารางที่ 1 เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนกระแสทำให้ผู้ใช้งานสามารถแน่ใจได้ว่า อุปกรณ์ประเภทต่างๆจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันสามารถนำไปใช้งานทดแทนกันได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องและเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการขับสัญญาณกระแสของอุปกรณ์ ควรจะมีการพิจารณาความต้านทานโหลดในลูปกระแสของอุปกรณ์การวัดเมื่อมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ใดเข้าไปในลูปกระแส เช่น ถ้าเลือกการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตรายเป็นแบบ I.S. (Intrinsically Safe) ต้องมีการใส่ Barrier เข้าไปในวงจรกระแสหรือมีการเพิ่มเติมที่บริเวณกระบวนการ เป็นต้น

แสดงตัวอย่างการใส่ Barrier เข้าไปในลูปกระแสที่ต้องการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตรายเป็นแบบ I.S. (Intrinsically Safe) ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์การวัดแบบ I.S. (Intrinsically Safe)

จากรูปที่ 5 สามารถแสดงการหากระแสในลูปของอุปกรณ์การวัด เมื่อมีการเพิ่มเติม Barrier เข้าไปในลูปกระแสได้ดังนี้

ความต้านทานที่สามารถมีได้ในลูปนี้จะเท่ากับ

$$R_{\text{LOOP}} = 24 \text{ Volts} / 20 \text{ mA} = 1200 \text{ Ohms}$$

ความต้านทานก่อนใส่ Barrier เท่ากับ

$$R_{\text{TRANS}} = 12 \text{ Volts} / 20 \text{ mA} = 600 \text{ Ohms}$$

$$R_{\text{LOAD}} = 250 \text{ Ohms}$$

$$R_{\text{LINE}} = 10 \text{ Ohms}$$

ความต้านทานของ Barrier จะเท่ากับ

$$R_{\text{MAX}} = 1200 - (600 + 250 + 10) = 340 \text{ Ohms}$$

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานสูงสุดของ Barrier ที่จะใส่เข้าไปในลูปจะต้องมีค่าไม่มากกว่า 340 Ohms เพราะถ้าใช้ Barrier ที่มีค่าความต้านทานที่มากกว่านี้แล้วจะทำให้สัญญาณกระแสไม่สามารถไปถึงค่า 20 มิลลิแอมป์ได้เลย เพราะจะทำให้อุปกรณ์การวัดหยุดการทำงานก่อนเนื่องจากแรงดันที่ขั้วต่ำกว่า 12 โวลต์ ดังตัวอย่างเช่น

ถ้าความต้านทานของ Barrier ที่มีค่าเท่ากับ 400 โอห์ม กระแสสูงสุดของลูบจะเท่ากับ
 $24 \text{ Volts} / (860 \text{ Ohms} + 400 \text{ Ohms}) = 19.04 \text{ mA}$

จากรายละเอียดที่แสดงมาทั้งหมดข้างต้นเป็นการทำงานพื้นฐาน, ข้อจำกัดและมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งยังคงมีการใช้งานกันอีกต่อไป เนื่องจากมีความเชื่อมั่นในการทำงานได้สูง และมีการใช้งานกันมายาวนาน ถึงแม้ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารแบบดิจิทัลกำลังเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้น ซึ่งคงต้องใช้เวลาพอสมควรในการที่จะเข้ามาแทนที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ได้ทั้งหมด ทั้งในแง่ความเชื่อมั่นในการทำงานและการใช้งานทดแทนกันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต

เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือข่าวสารเพื่อการปรับตัวก้าวทันเทคโนโลยีอุตสาหกรรม INDUSTRIAL TECHNOLOGY REVIEW ปีที่ 10 ฉบับที่ 119, มกราคม 2547