

สารบัญ

กล่าวนำ 1

วงจรไฟฟ้าและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเบื้องต้น 1

ปฏิบัติที่ 1 การต่อวงจรตาม line diagram เบื้องต้น 6

Control Relay 8

Proximity Sensor 12

Inductive Proximity Sensor 13

Capacitive Proximity Sensor 19

Photoelectric Proximity Sensors 22

Wiring of Transistor Sensor 25

Comparision of Proximity Switch 27

ปฏิบัติการที่ 2 การต่อ transistor sensor และ relay 29

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า 30

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ 32

Switch, Relay and Sensor

กล่าวนำ

ระบบอัตโนมัติ สำหรับภาคอุตสาหกรรมถือว่าไม่ได้เป็นสิ่งใหม่ของประเทศไทยเราแล้ว เนื่องจากเราได้มีการใช้กระบวนการผลิตอัตโนมัติในภาคอุตสาหกรรมมานานกว่า 10 ปีแล้ว เพียงแต่ว่าในยุคต้นนั้นยังไม่มีที่แพร่หลายและเครื่องจักรที่ใช้ มักจะเป็นเครื่องจักรที่นำเข้า อีกทั้งระบบอัตโนมัติสำหรับภาคอุตสาหกรรมนั้น มีความละเอียดและแม่นยำสูงและราคาแพง จึงถือเป็นเรื่องที่ไกลตัวสำหรับนักศึกษาในระบบการศึกษาทั่วไป ซึ่งมักจะพบเห็นชุดทดลองเฉพาะแบบและสร้างขึ้นเพื่อการเรียนการสอน ไม่ได้ทำขึ้นเพื่อใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม

สำหรับเอกสารชุดนี้จะเป็นการสร้างพื้นฐานการเข้าใจระบบอัตโนมัติ สำหรับภาคอุตสาหกรรม โดยในส่วนแรกจะเป็นการกล่าวถึง สวิตช์ รีเลย์และเซนเซอร์ตรวจจับเบื้องต้น ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นการกล่าวมาถึงลักษณะ หน้าที่ และการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อเข้าใจถึงอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่เป็น input ให้กับระบบควบคุมต่อไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากนักศึกษาส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมการผลิตและวิศวกรรมยานยนต์ อาจไม่ค่อยเคยกับการต่อวงจรไฟฟ้า เอกสารนี้จึงขอทบทวนในเรื่องวงจรไฟฟ้าและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเบื้องต้นก่อน

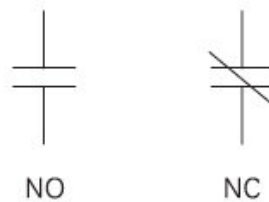
วงจรไฟฟ้าและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเบื้องต้น

สำหรับวงจرفิฟฟ้านั้น จะประกอบด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ มากมาย ขึ้นกับงานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับเอกสารฉบับนี้ จะเน้นเรื่องการศึกษาการใช้งานของวงจرفิฟฟ้า สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ จึงจะมีส่วนประกอบที่สำคัญในการใช้เฉพาะวงจรพื้นฐาน เช่น contact coil relay เป็นต้น ซึ่งสามารถที่จะจัดแบ่ง เป็นหัวข้อย่อยๆ ได้ดังนี้

Contact Symbol

อุปกรณ์มากมายจะต้องใช้งานร่วมกับหน้าสัมผัส (contacts) เพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ผ่านหรือไม่ให้ผ่านอุปกรณ์นั้น สำหรับหน้าสัมผัสนี้จะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟในวงจรให้เดินได้ครบวงจร หรือเราเรียกว่า หน้าสัมผัสปิด (close contact) และนำสัมผัส ที่ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ โดยทำการเปิดวงจรซึ่งลักษณะนี้หน้าสัมผัสจะเป็นหน้าสัมผัสเปิด (open contact) ดังนั้นหน้าสัมผัสที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีสองแบบคือ

- แบบปกติเปิด (normally open, NO) คือหน้าสัมผัสเมื่อเราไม่ได้กระตุ้นสภาวะการทำงานของสวิตช์ หรือในสภาวะปกติของหน้าสัมผัส หน้าสัมผัสจะทำการเปิดวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้สภาวะปกติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจร สำหรับสัญลักษณ์ของหน้าสัมผัส จะเป็นตามรูปที่ 1(a)
- แบบปกติปิด normally closed (NC) คือหน้าสัมผัสเมื่อเราไม่ได้กระตุ้นสภาวะการทำงานของสวิตช์ หรือในสภาวะปกติของหน้าสัมผัส หน้าสัมผัสจะทำการปิดวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้สภาวะปกติจะมีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจร สำหรับสัญลักษณ์ของหน้าสัมผัส จะเป็นตามรูปที่ 1(b)

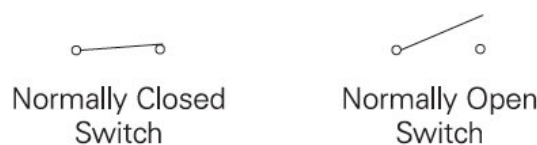


รูปที่ 1 สัญลักษณ์หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (NO) และปกติปิด (NC)

ซึ่งสัญลักษณ์หน้าสัมผัสนี้จะใช้อย่างต่อเนื่องในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ PLC ซึ่งเราจะได้ศึกษาต่อไป

Switch

สวิตช์หลากหลายแบบจะใช้ในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นเชิงกล (mechanical switch) และเป็นแบบไฟฟ้า เช่น relay เป็นต้น ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป อย่างไรก็ตาม สวิตช์นั้นก็จะเหมือนกับหน้าสัมผัสอยู่อย่างหนึ่งคือจะมีลักษณะเป็นได้ทั้งแบบปกติเปิดและปกติปิด นั่นคือเราจะต้องมีการกระตุ้นสวิตช์เพื่อให้มันเปลี่ยนสถานะไปแล้ว การที่จะเปลี่ยนสถานะของมันใหม่ จำเป็นที่จะต้องมีการกระตุ้นสวิตช์อีกครั้งหนึ่ง สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนสวิตช์จะมีหลายแบบ ในรูปที่ 2 แสดงสัญลักษณ์ของสวิตช์ ทัวไป ซึ่งได้แสดงทั้งแบบปกติเปิด และ ปกติปิด

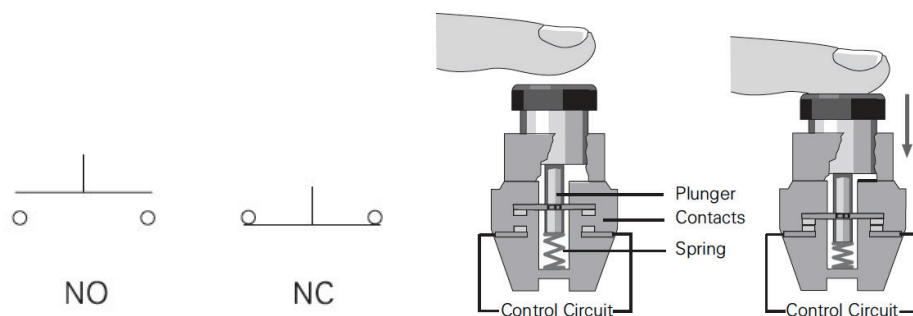


รูปที่ 2 สัญลักษณ์ของสวิตช์

สำหรับสวิตช์จะมี mechanical action อยู่หลายแบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับการสร้าง ซึ่งรายละเอียดไม่ได้กล่าวถึงในเอกสารนี้

Push Button

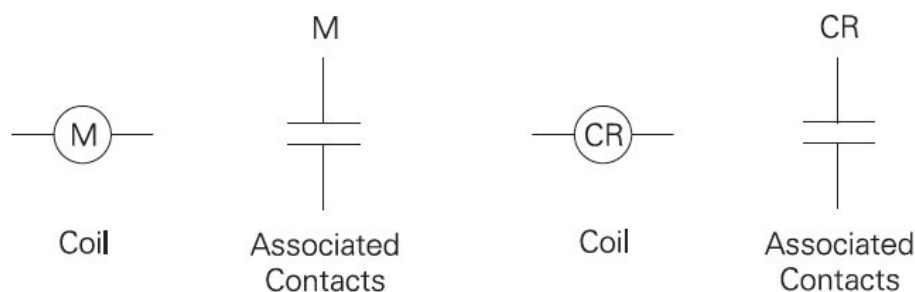
สำหรับปุ่มกดนี้จะต่างจากสวิตช์อยู่ที่ ปุ่มกดนี้จะเกิดการเปลี่ยนสถานะไปจากสถานะปกติเมื่อมีการกระตุ้นแต่จะคงสภาพการเปลี่ยนไปก็ต่อเมื่อการกระตุ้นนั้นยังคงกระทำต่อไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อการกระตุ้นนั้นหยุดลง สถานะของหน้าสัมผัสของปุ่มกดก็จะกลับสู่สภาพปกติทันที ไม่ต้องรอการกระตุ้นอีกครั้งเหมือน ที่สวิตช์ สำหรับปุ่มกดนี้จะมีสัญลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัญลักษณ์ของ push button และการทำงานของ NO push button

Coil

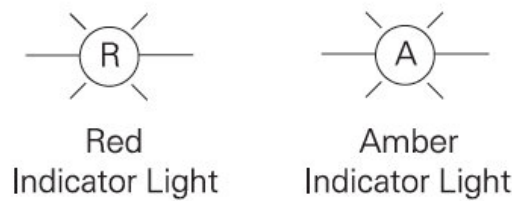
การทำงานของอุปกรณ์ที่เปิดปิดหน้าสัมผัส โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) เช่น relay, starters, contactors เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ที่ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานเราจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอยล์ (coil) สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคอยล์นิยมที่จะใช้สัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม และจะมีตัวหนังสือกำกับอยู่ภายในวงกลมนั้น เช่นตัวอักษร M จะแทน motor starter หรือ CR จะแทน control relay เป็นต้น หรือบางครั้งแทนที่จะใช้ตัวอักษรกำกับ เราก็จะใช้หมายเลขกำกับแทนเพื่อกำหนดเป็นหมายเลขคอยล์แทน ซึ่งมักจะใช้ในกรณีที่มีอุปกรณ์ประเภทนั้นต่อเชื่อมอยู่หลายอัน สำหรับสัญลักษณ์ของคอยล์ได้แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สัญลักษณ์ของ coil และ contact ที่เกี่ยวข้องกับ coil

Indicator Light

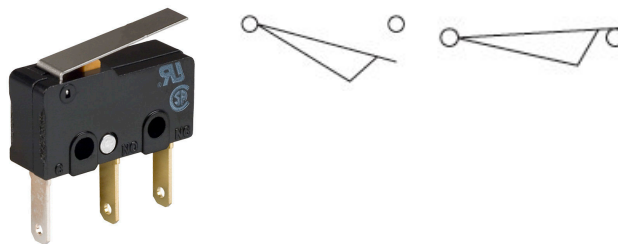
ไฟแสดงผล (indicator light) หรือบางครั้งเรียก pilot light ซึ่งจะเป็นหลอดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แสดงสถานะของวงจรในขณะนั้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณไฟสีแดงแทนสภาพการทำงานผิดปกติของวงจร หรืออุปกรณ์ ไฟสีเขียวเป็นไฟเตือนความผิดปกติ หรือไฟสีเขียวแสดงสภาพการทำงานปกติ เป็นต้น สำหรับสัญลักษณ์ของ indicator light จะเป็นวงกลมและมีเส้นรัศมี สำหรับตัวอักษรที่อยู่กลางวงกลมจะหมายถึงสีของหลอดไฟ เช่น R แทน red, A แทน amber เป็นต้น ดังที่แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัญลักษณ์ของ indicator light และการกำหนดสีหลอดไฟ

Limit Switch

สำหรับ limit switch จะเป็นสวิตช์ประเภทหนึ่งที่มีหลักการทำงานคล้าย push button ที่นิยมใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุหรืออุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ สวิตช์นี้มักจะมีขนาดเล็กและใช้งานอยู่ทั่วไปในระบบควบคุมอัตโนมัติ และสวิตช์ประเภทนี้มักจะมีขาให้เลือกที่เราจะใช้ขาที่เป็นแบบ NO หรือ NC ได้ ในรูปที่ 6 แสดงรูปและสัญลักษณ์ของ limit switch

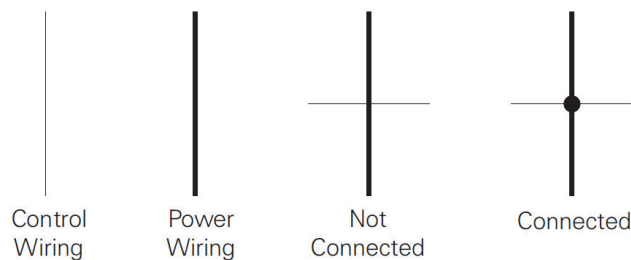


รูปที่ 6 รูปและสัญลักษณ์ของ limit switch

เนื่องจากในทางไฟฟ้ายังมีอุปกรณ์อื่นๆ อีกหลายอย่างมากที่เราอาจจำเป็นต้องใช้ในการเขียนวงจรการทำงาน ดังนั้นสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ท้ายเอกสารนี้

Line Diagram

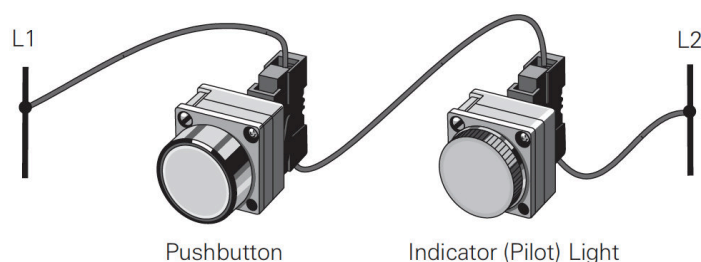
เป็นการเขียนแผนผังการทำงานของวงจรไฟฟ้า ซึ่งการเขียน line diagram นี้เป็นการสื่อสารระหว่างช่างหรือวิศวกร ที่ทำการออกแบบ ต่อเชื่อม หรือซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยการเขียน line diagram นี้ก็จะเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการต่อสายไฟต่อไป สำหรับสัญลักษณ์ของสายไฟแบบต่างๆ จะเป็นไปตามรูปที่ 7 ต่อไปนี้



รูปที่ 7 สายไฟที่ใช้ในการควบคุมแบบต่างๆ

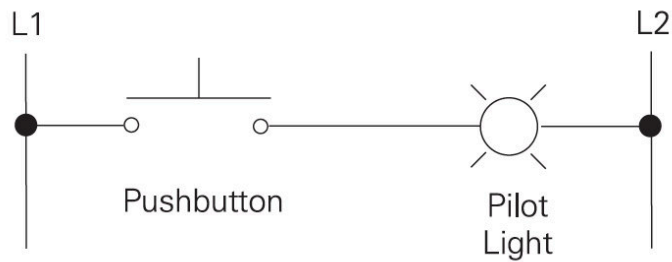
ในรูปที่ 7 ที่แสดงข้างบนนี้ จากซ้ายไปขวา จะเป็นสายสัญญาณควบคุม สายไฟฟ้ากำลังสูง สายไฟใน diagram ที่วางทับกันแต่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน และรูปสุดท้ายจะเป็นสายไฟใน diagram ที่เขียนตัดกันและสายทั้งสองจะเชื่อมต่อกันที่จุดตัด

สำหรับตัวอย่างการเขียน line diagram เราขอสมมุติว่าเราต้องการเขียนแผนผังสำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้า โดยมีสวิตช์แบบ push button หนึ่งตัว และจะใช้ควบคุม indicator light อีกหนึ่งอัน ดังที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การต่อสวิตช์เพื่อควบคุมไฟแสดงผล

ซึ่งถ้าหากเราต้องการเขียนเป็นแผนผังวงจรควบคุมเราจะสามารถเขียนได้ตามรูปที่ 9 ซึ่งในแผนภาพสัญลักษณ์ L1 และ L2 จะเป็น power line และหลอดไฟ indicator light จะติดก็ต่อเมื่อมีการกระตุ้น push button สวิตช์

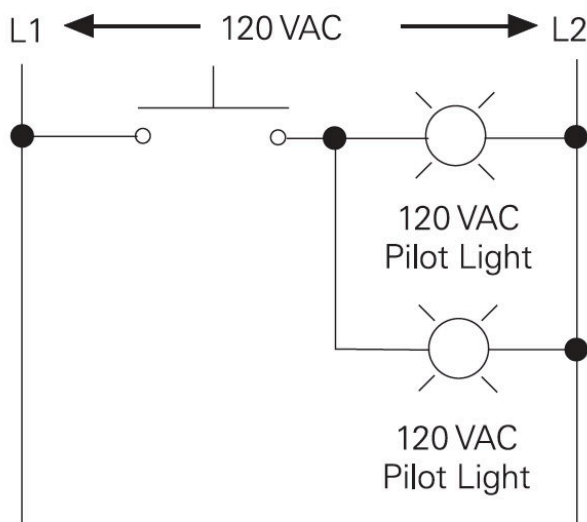


รูปที่ 9 line diagram ของวงจรในรูปที่ 8

ปฏิบัติที่ 1 การต่อวงจรตาม line diagram เบื้องต้น

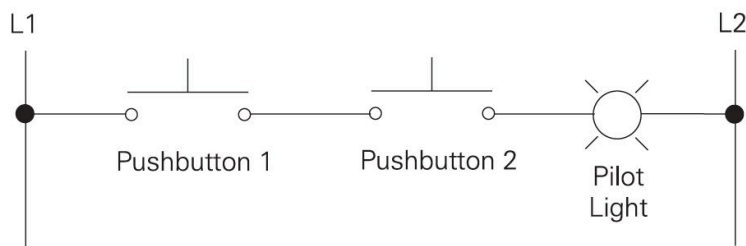
สำหรับปฏิบัติการณ์ที่ 1 นี้จะเป็นการต่อสายไฟ สวิตช์ประเภทต่างๆ และหลอดไฟ ตามที่แผนผังต่อไปนี้กำหนด และในแต่ละแผนผังได้กำหนดเวลาที่เหมาะสมที่จะต่อวงจรเหล่านั้นไว้ด้วย

การปฏิบัติการณ์ที่ 1.1 การต่อ load แบบขนาน (5 นาที)

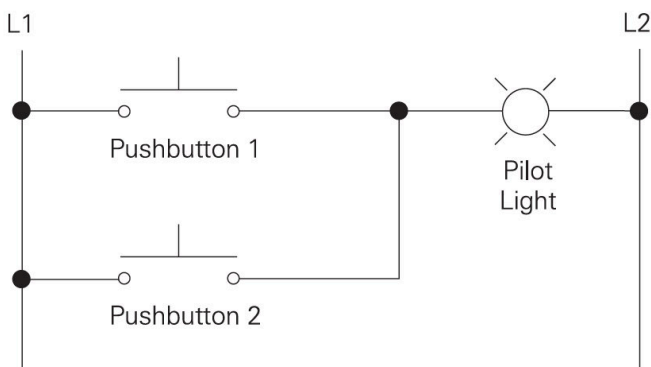


หมายเหตุ เราจะไม่นิยมต่อ load แบบอนุกรมเพราะจะทำให้ความต้านทานในวงจรเพิ่มขึ้น ยังผลให้กระแสมีค่าสูงขึ้นด้วย

การปฏิบัติการที่ 1. 2 การต่อสวิตช์แบบ AND (5 นาที)

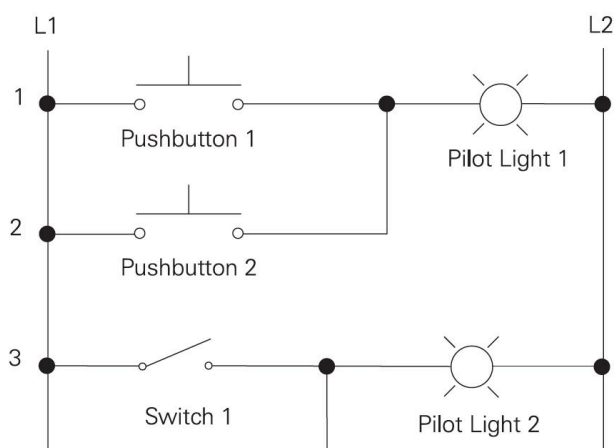


การปฏิบัติการที่ 1. 3 การต่อสวิตช์แบบ OR (5 นาที)



การปฏิบัติการที่ 1. 4 การสายไฟหลายเส้น (5 นาที)

ในกรณีที่สายไฟที่ใช้มีหลายเส้น จะเป็นการสะดวกกว่าที่เราจะกำหนดลำดับของเส้นสายไฟลงไปในแผนผังด้วย ดังการปฏิบัติการตามผังวงจรต่อไปนี้

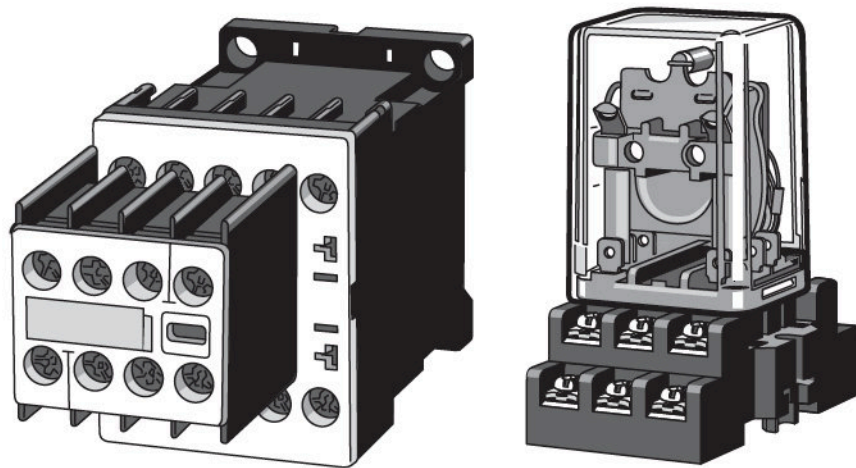


Control Relay

Control relays เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างกว้างขวางในวงจรควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการเปิดปิดอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับรีเลย์ในความหมายเบื้องต้นคืออุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ใช้ไฟแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันต่ำไปเปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้ากำลังสูงกว่า สำหรับรีเลย์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมจะแบ่งเป็นสองแบบใหญ่ๆ คือ

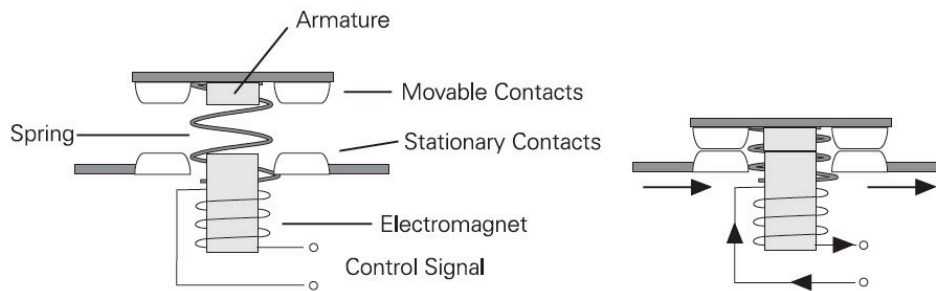
Electromechanical Relay จะใช้วงจรไฟฟ้าแรงต่ำไปสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น จากนั้นสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะไปเหนี่ยวนำให้หน้าสัมผัสของวงจรอีกวงจรหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพขึ้น

Solid State Relay แทนที่จะใช้ไฟฟ้าไปสร้างสนามแม่เหล็กแบบ electrical relay รีเลย์ประเภทนี้จะใช้วงจรทรานซิสเตอร์ในการควบคุมการทำงานแทน ซึ่งรีเลย์ประเภทนี้จะไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ซึ่งถือเป็นข้อดี แต่ข้อเสียคือวงจรที่รีเลย์นี้ไปตัดหรือต่อวงจรนั้น กำลังไฟฟ้าจะไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ electromechanical relay ซึ่งแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 Electromechanical Relay

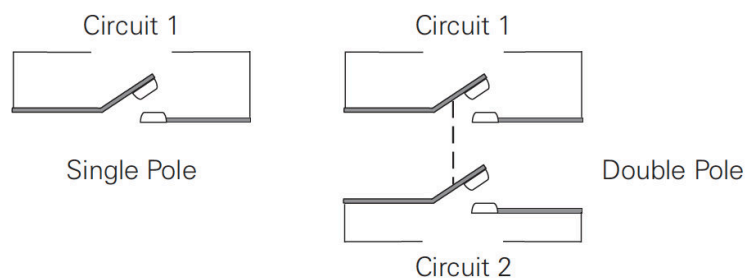
สำหรับลักษณะการทำงานของ electromechanical relay ก็เหมือนหน้าสัมผัสทั่วๆ ไปคือจะมีทั้งแบบ NC และ NO ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ หรือในบางกรณีผู้ผลิตก็จะทำการจัดสร้างรีเลย์ขึ้นมา มีขาทั้งสองแบบอยู่ภายในชุดเดียวกัน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะเลือกใช้ได้ตามที่ต้องการ ส่วนลักษณะของโครงสร้างภายในของรีเลย์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงโครงสร้างการทำงานของรีเลย์แบบหน้าสัมผัสแบบ NO



รูปที่ 11 โครงสร้างของ NO Electromechanical Relay

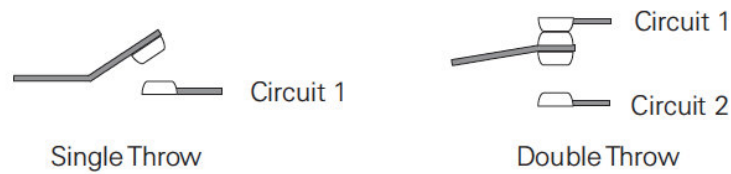
หากเราพิจารณาสวิตช์หรือรีเลย์ประเภทต่างๆ โดยรายละเอียดแล้ว จะพบว่ามีรายละเอียดของรีเลย์แตกต่างกันออกไป สำหรับนิยามศัพท์ที่ใช้กับลักษณะของหน้าสัมผัสของ relay จะมีดังนี้

Pole: จำนวน pole ของรีเลย์จะหมายถึงจำนวนของวงจรที่แยกออกไปแต่ละวงจรที่รีเลย์นั้นสามารถที่จะควบคุมได้ ถ้ารีเลย์นั้นควบคุมได้หนึ่งวงจรก็จะเรียกว่า single pole แต่ถ้าเป็นสองวงจรก็จะเรียกว่า double pole เป็นต้น ลักษณะของ single pole และ double pole แสดงในรูปที่ 12 โดยทั่วไปรีเลย์ที่ใช้ควบคุมจะมีหลาย pole แต่ผู้ใช้จะเลือกว่าจะใช้ทุก pole หรือไม่



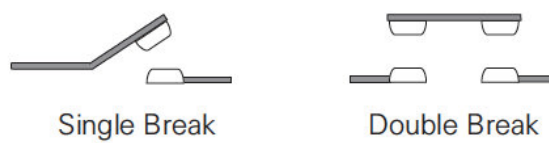
รูปที่ 12 Single Pole และ Double Pole Relay

Throw: จำนวน throw ของรีเลย์ จะหมายถึงจำนวนหน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสำหรับแต่ละ pole ของรีเลย์นั้น รูปที่ 13 แสดง single throw และ double throw ของรีเลย์ จะเห็นว่า double throw นั้นผู้ใช้สามารถที่จะเลือกหน้าสัมผัสที่เป็นทั้งแบบ NO และ NC ได้ ซึ่งทำให้เราสามารถควบคุมวงจรได้ทั้งสองแบบแล้วแต่ความต้องการ



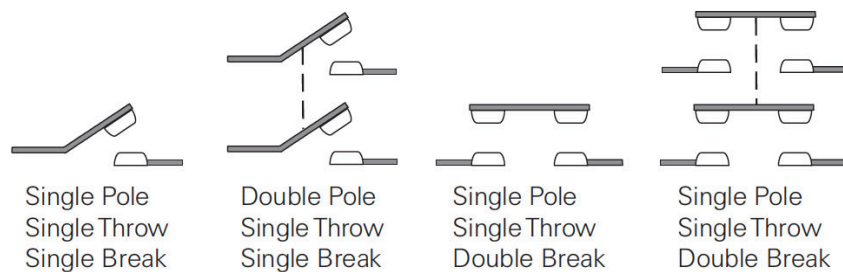
รูปที่ 13 ลักษณะของรีเลย์แบบ Single Throw และ Double Throw

Break: จำนวน break ของรีเลย์ จะหมายถึงจำนวนหน้าสัมผัสที่แยกออกจากกันสำหรับวงจรแต่ละวงจรที่รีเลย์นั้นควบคุมอยู่ ไม่จะเป็นหน้าสัมผัสแบบ NO หรือ NC ก็ตาม ดังที่แสดงในรูปที่ 14

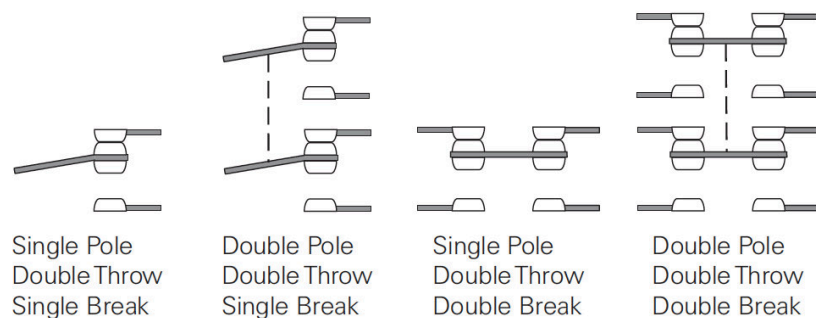


รูปที่ 14 แสดงจำนวน Brake ของรีเลย์

สำหรับรีเลย์ที่มีรายละเอียดของ pole, throw และ brake ในรูปแบบและลักษณะต่างๆ ที่มักพบเห็นได้ทั่วไป ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 15



รูปที่ 15 (a) ลักษณะของ relay แบบต่างๆ

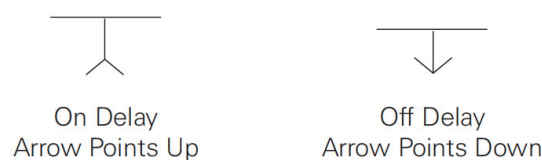


รูปที่ 15 (b) ลักษณะของ relay แบบต่างๆ (ต่อ)

ในกรณีที่เรต้องการความถี่ในการเปิดปิดวงจรที่สูง หรือต้องการทำงานที่เงียบหรือถ้าเราต้องการให้ไม่เกิดประกายไฟขึ้นในระหว่างที่หน้าสัมผัสเข้าสัมผัสกัน การใช้อุปกรณ์ประเภท electromechanical switching อาจไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของรีเลย์ประเภทนี้ เราอาจจะใช้รีเลย์ประเภท solid-state แทน ซึ่งรีเลย์แบบนี้จะทำงานที่เงียบกว่าและความถี่ในการเปิดปิดจะสูงกว่าด้วย ข้อเสียคือกำลังไฟที่รีเลย์ประเภทนี้ทนได้มักไม่สูงนักเมื่อเทียบกับ electromechanical relay

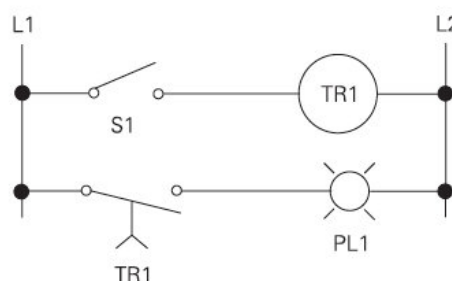
Timing Relay

รีเลย์พิเศษประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กันคือรีเลย์ที่สามารถตั้งเวลาได้ รีเลย์ประเภทนี้เราสามารถเลือกที่จะให้ทำงานหลังจากที่ได้รับคำสั่งให้ทำงานไปช่วงเวลาหนึ่งที่เรากำหนดไปได้ หรืออาจตั้งเวลาเป็นการตัดหน้าสัมผัสได้ โดยทั่วไปชนิดของรีเลย์ที่ติดตั้งเวลาได้จะมีสองแบบคือ On Delay Timing และอีกประเภทหนึ่งคือ Off Delay Timing ซึ่งทั้งสองแบบจะมีใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 16



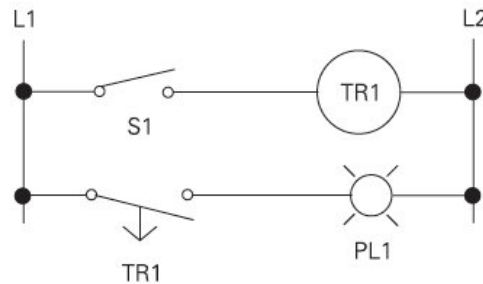
รูปที่ 16 สัญลักษณ์ของ On Delay และ Off Relay Timing Relay

การทำงานของรีเลย์ทั้งสองประเภทจะแตกต่างกัน สำหรับตัวอย่างของ ON Delay Timing Relay จะขอยกตัวอย่างตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 17 ในรูปสวิตช์ S1 จะต่อเข้ากับ coil ของรีเลย์ ตั้งเวลาหมายเลข 1 (TR1) และเราสมมุติว่าเราตั้งเวลารีเลย์ TR1 นี้ไว้เป็นเวลา 5 วินาที



รูปที่ 17 แผนภาพการต่อวงจรของ ON Delay Timing Relay

จากรูปที่ 17 หลังจากที่เรากระตุ้นสวิตช์ S1 จะทำให้ไฟเข้าสู่ coil TR1 และทำให้รีเลย์นี้เริ่มจับเวลา หลังจากที่เราทำการจับเวลาครบ 5 วินาทีตามที่ตั้งไว้ รีเลย์ TR1 ก็จะเริ่มทำงาน และทำให้ไฟแสดงผล PL1 ติดขึ้น ซึ่งเป็นการหน่วงเวลาการติดของไฟหลังได้รับสัญญาณให้ไฟติด 5 วินาที ตามที่ตั้งเวลาไว้ และเมื่อเรากระตุ้นให้สวิตช์ S1 เปิดวงจรอีกครั้ง ไฟที่ไปเลี้ยง coil TR1 จะขาดไป ทำให้หน้าสัมผัส TR1 เปลี่ยนสภาพการทำงานและทำให้หลอดไฟ PL1 ดับลงไปที่นั่นที่ นั่นคือไฟจะดับพร้อมการยกสวิตช์ S1 ออก โดยไม่มีการหน่วงเวลาในตอนปิดสวิตช์



รูปที่ 18 เป็นการแสดงรีเลย์ตั้งเวลาแบบ Off Relay Timing Relay

ในรูปที่ 18 เป็นการแสดงรีเลย์ตั้งเวลาแบบ Off Relay Timing Relay ซึ่งจากแผนภาพถ้าเรากระตุ้นสวิตช์ S1 จะทำให้มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ TR1 และเนื่องจากเป็น Off Delay จะทำให้ หน้าสัมผัส TR1 ติดทันที ยังผลให้ไฟ PL1 จะติดขึ้นทันที แต่หากหลังจากที่ไฟติดแล้วถ้าเรายกสวิตช์ S1 ออก เป็นการตัดไฟไปเลี้ยงคอยล์ TR1 ซึ่งทำให้รีเลย์เริ่มนับเวลา ถ้าเราตั้งเวลารีเลย์นี้ไว้ 5 วินาที หลังจากครบเวลาแล้วหน้าสัมผัสจะแยกออกทำให้ไฟ PL1 ดับ นั่นคือการหน่วงเวลาในช่วงการปิดหรือ Off Delay

Proximity Sensor

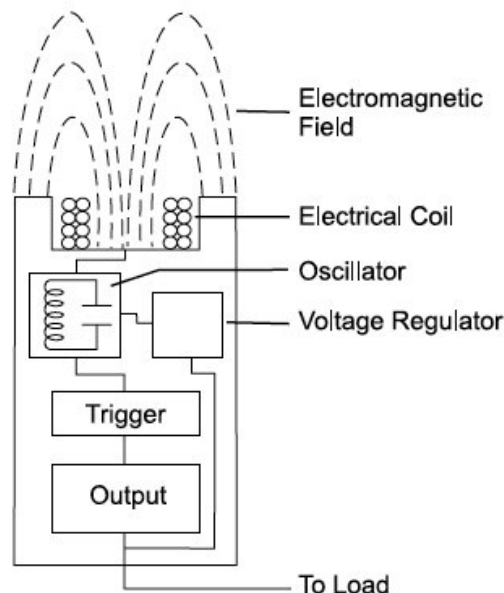
Proximity Sensor หรือ Proximity Switch เป็นอุปกรณ์การตรวจจับว่ามีวัตถุอยู่ใกล้กับบริเวณที่เราติดตั้ง sensor ไว้หรือไม่ โดยทั่วไป sensor ประเภทนี้จะไม่มีการสัมผัสกับวัตถุที่มันตรวจจับโดยตรง แต่ proximity sensor จะอาศัยหลักการอื่นในการตรวจจับ โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับวัตถุโดยตรง สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป proximity sensor จะด้วยกันหลายแบบ แต่สำหรับที่จะกล่าวถึงในปฏิบัติการนี้จะมีด้วยกัน 3 ประเภทด้วยกัน ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. Inductive Proximity Sensor
2. Capacitive Proximity Sensor
3. Photoelectric Proximity Sensor

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Inductive Proximity Sensor

การทำงานของ sensor ประเภทนี้จะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ (inductive) ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อใช้ตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะหรือวัตถุที่สามารถดูดกลืนสนามแม่เหล็กได้นั่นเอง สำหรับองค์ประกอบคร่าวๆ ของ sensor แบบนี้แสดงในรูปที่ 19

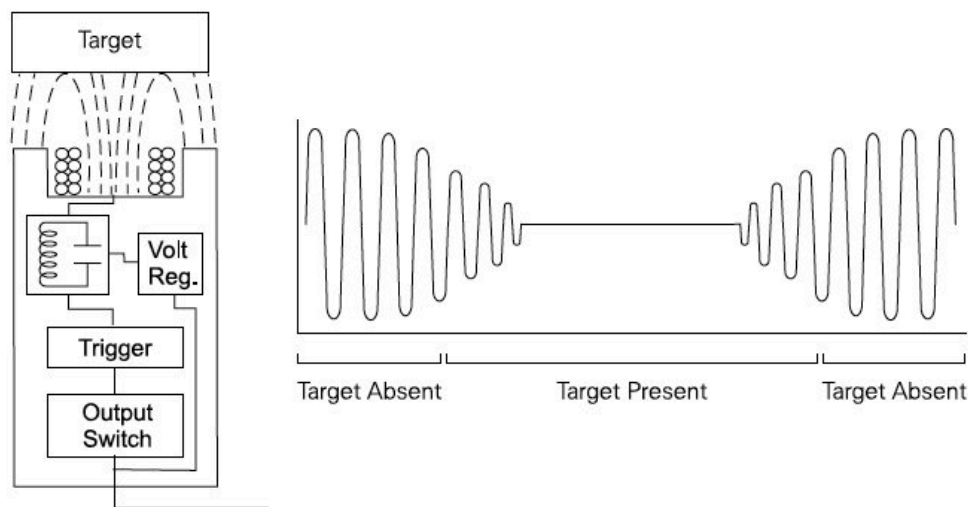


รูปที่ 19 ส่วนประกอบของ Inductive Proximity Sensor

หลักการทำงานของ sensor แบบนี้ จะใช้หลักการของ Eddy Current Killed Oscillator (ECKO) ซึ่ง sensor จะประกอบด้วยส่วนประกอบสี่ส่วนคือ coil, oscillator, trigger circuit และ output โดยหน้าที่ของ oscillator จะเป็นวงจรที่สร้างความถี่วิทยุขึ้น ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นจาก coil ที่ถูกกระตุ้นด้วยการทำงานของ oscillator โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะกระจายออกไปด้านหน้าของ sensor และสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นยังทำหน้าที่เป็น feedback ให้กับ oscillator อีกด้วย

เมื่อมีวัตถุที่เป็นโลหะผ่านเข้ามาใกล้สนามแม่เหล็ก กระแสไฟจะถูกดูดกลืนเข้าสู่วัตถุนั้น ทำให้เกิดภาระกรรมขึ้นกับ sensor และทำให้ขนาดของสนามแม่เหล็กที่ sensor สร้างขึ้นมีขนาดเล็กลง ยิ่งวัตถุเข้ามาใกล้ sensor มากขึ้นเท่าใด eddy currents ที่ไหลไปสู่วัตถุก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการสร้างภาระกรรมให้ oscillator มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่ง oscillator จะหยุดทำงานเนื่องจากมี eddy current มากเกินไป และเมื่อ oscillator หยุดทำงาน trigger circuit จะกระตุ้นไปที่ output ทำให้มีสัญญาณออกไปจาก sensor ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของสวิทช์ใน sensor ให้เปลี่ยนเป็นเปิดหรือปิดต่อไป สำหรับลักษณะของการสร้างสนามแม่เหล็กและการตรวจจับจะเป็น

ตามรูปที่ 20 หลังจากทีวัตถุเคลื่อนที่ออกไป oscillator ก็จะไม่เกิดภาระกรรมมากเกินไปอีกต่อไป มันจึงเริ่มทำงานและสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาที่ด้านหน้าของ sensor อีกครั้งหนึ่ง

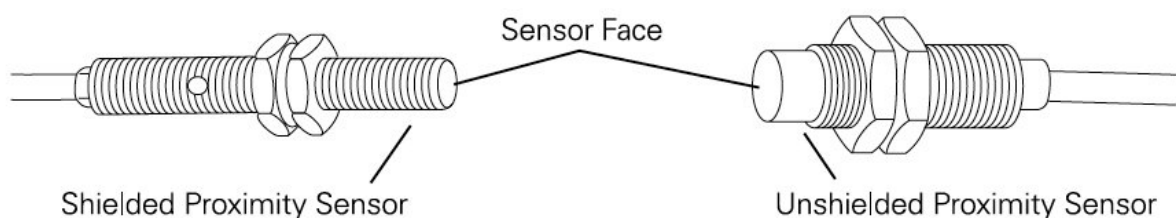


รูปที่ 20 การทำงานของ inductive proximity sensor

สำหรับ sensor ประเภทนี้จะใช้ไฟกระแสตรงในการกระตุ้นการทำงาน โดยทั่วไป sensor ประเภทนี้จะใช้ไฟฟ้าที่ใช้มีความต่างศักย์อยู่ในช่วง 10 ถึง 30 volt แต่เราก็จะสามารถเห็นบางประเภทที่ใช้ความต่างศักย์สูงกว่านี้ได้เช่นกัน ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้

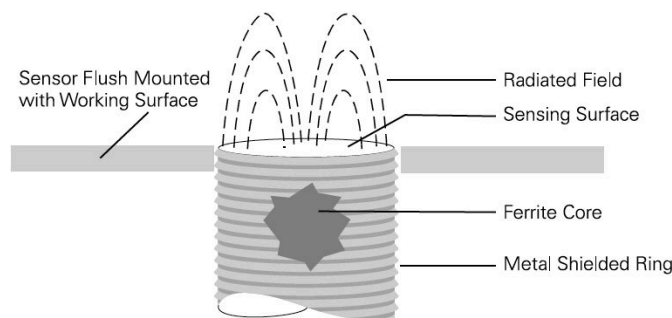
Shielding

Proximity sensors จะมีแกนกลางเป็นแกนเหล็กแล้วพันด้วยขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ด้านหน้าของ sensor ซึ่งที่ปลายหัว sensor นี้จะสามารถจัดสนามแม่เหล็กได้ 2 แบบคือแบบ shielded หรือ unshielded สำหรับหัว sensor ที่เป็นแบบ unshielded โดยปกติจะได้ระยะการตรวจจับที่ไกลกว่าแบบที่ shielded ซึ่งลักษณะที่ปลาย sensor แสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 ปลาย Proximity Sensor แบบ Shielded และแบบ Unshielded

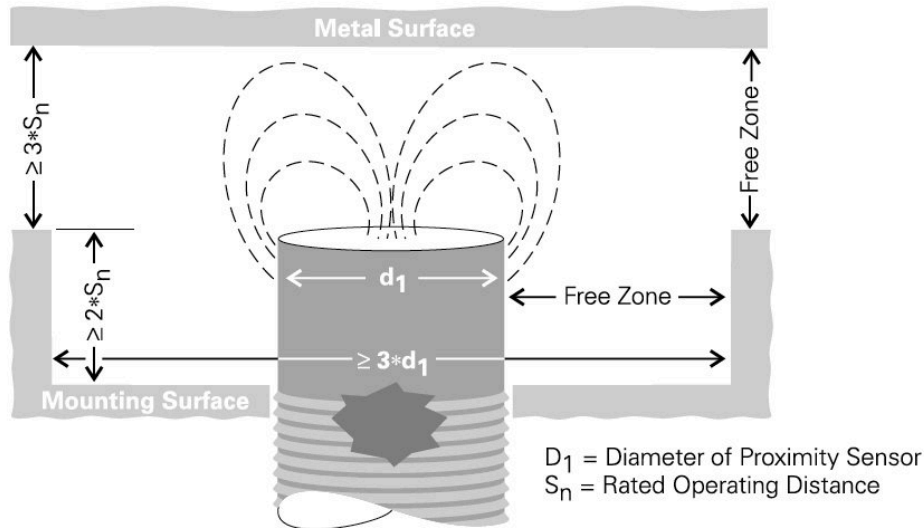
ลักษณะของ Shielded Proximity Sensor นั้นสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะถูกป้องกันไม่ให้แพร่กระจายไปในทุกทิศทางรอบหน้า sensor แต่มันจะถูกบีบให้ปล่อยสนามแม่เหล็กออกไปในทิศทางที่ตรงกับหน้าตัดของ sensor เท่านั้น การป้องกันสนามแม่เหล็กกระจายไปด้านข้างสามารถทำได้ด้วยการใส่แหวนโลหะไว้รอบๆ ด้านข้างของแกนเหล็กที่สร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่กระจายมาด้านข้างถูกโลหะนี้ดูดกลืนไป เหลือเพียงสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาทางด้านหน้าเท่านั้น ซึ่งทำให้ sensor ประเภทนี้สามารถติดตั้งโดยการฝังลงไปเสมอกับผนังที่ทำด้วยโลหะได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 การติดตั้งและลักษณะสนามแม่เหล็กของ Shileded Proximity Sensor

สำหรับระยะตรวจจับที่ sensor จะตรวจจับได้ ขึ้นอยู่กับบริษัทและรุ่นที่ผู้ผลิตจัดทำขึ้น ระยะที่กำหนดนี้ทางผู้ผลิตจะวัดจากวัตถุที่มีชนิดและขนาดที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะกล่าวต่อไป สำหรับผนังที่อยู่ตรงข้ามถ้าเป็นโลหะควรจะมีระยะห่างออกไปไม่น้อยกว่าสามเท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน (Norminal Sensing Distanced, S_n)

สำหรับ unshielded proximity sensor จะไม่มี metal ring กั้นอยู่ที่ปลายทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกระจายอยู่ด้านข้างด้วย ทำให้ unshielded sensors ไม่สามารถที่จะติดตั้งฝังลงไปผนังหรือที่รองรับได้ ต้องมีระยะห่างออกไป ดังที่แสดงในรูปที่ 23 ซึ่งในรูปจะแสดงถึงระยะที่ต้องเว้นว่างไว้ โดยวัดเทียบกับระยะตรวจจับมาตรฐานของ sensor และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้า sensor



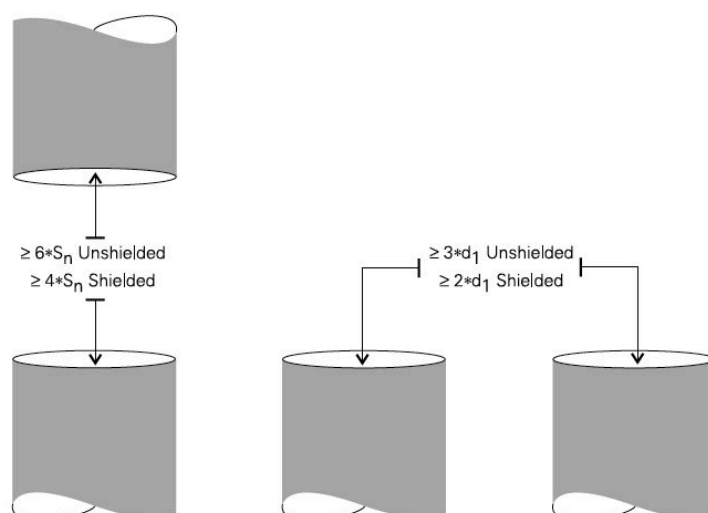
รูปที่ 23 ลักษณะการทำงานและการติดตั้ง Unshielded Proximity Sensor

Mounting Multiple Sensors

เมื่อมีการติดตั้ง sensor หลายตัวใกล้กัน เราจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการติดตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้นามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจาก sensor แต่ละตัวรบกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งอาจจะนำมาถึงการตรวจจับที่ผิดพลาดได้ สำหรับข้อแนะนำในการติดตั้ง sensor หลายตัวมีหลักสำคัญดังนี้

- เมื่อวาง shielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้า sensor ควรจะวางห่างกันไม่น้อยกว่า 4 เท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน
- เมื่อวาง unshielded sensor สองตัวตรงข้ามกัน ระยะห่างระหว่างหน้า sensor ควรจะวางห่างกันไม่น้อยกว่า 6 เท่าของระยะตรวจจับมาตรฐาน
- เมื่อวาง shielded sensor สองตัวไว้เคียงข้างกัน ระยะห่างระหว่าง sensor ควรจะวางห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้า sensor
- เมื่อวาง unshielded sensor สองตัวไว้เคียงข้างกัน ระยะห่างระหว่าง sensor ควรจะวางห่างกันไม่น้อยกว่า 3 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้า sensor

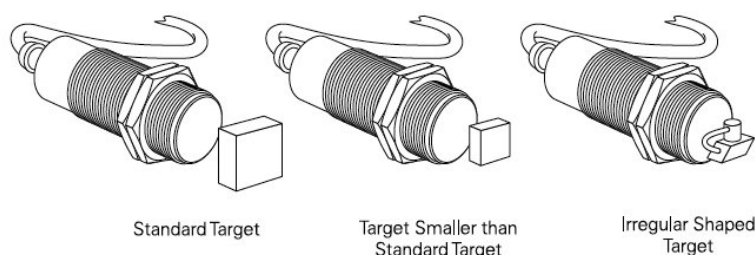
ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 24 อย่างไรก็ตามสำหรับการติดตั้งในการทำงานจริงขอให้ผู้อ่านรายละเอียดและคำแนะนำของผู้ผลิตแต่ละรายอีกครั้งหนึ่ง เพราะข้อมูลที่ให้ข้างบนนี้ถือเป็นข้อมูลที่ใช้ทั่วไป ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดของ sensor ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับ sensor บางประเภทหรือของผู้ผลิตบางราย เพราะอาจมีการสร้าง sensor ขึ้นมาเป็นกรณีพิเศษสำหรับงานบางประเภท



รูปที่ 24 การกำหนดระยะห่างเมื่อวาง Proximity Sensor หลายตัวไว้ใกล้กัน

Standard Target

ในการทำการหาค่าระยะตรวจจับมาตรฐาน เราจะต้องใช้วัตถุที่ตรวจจับทำจากวัสดุและมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน สำหรับวัตถุเป้าหมายมาตรฐาน จะทำจาก mild steel ที่มีความหนา 1 mm (0.04") และมีหน้าตัดที่เรียบตรง และมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้า sensor สำหรับวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือรูปทรงแตกต่างไปจะมีระยะตรวจจับต่ำกว่าระยะมาตรฐาน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 25 อย่างไรก็ตามวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุมาตรฐานจะไม่เปลี่ยนแปลงระยะของการตรวจจับไปจากระยะมาตรฐาน



รูปที่ 25 ขนาดและลักษณะของวัตถุเป้าหมายจะมีผลต่อระยะตรวจจับจริง

สำหรับการคำนวณระยะตรวจจับของวัตถุที่เปลี่ยนไป จะสามารถคำนวณได้จากการเลือกค่า coorection factor ดังที่แสดงในตารางในรูปที่ 26 โดยค่า coorection factor นี้จะใช้คูณค่าระยะตรวจจับมาตรฐาน เพื่อให้ได้ระยะที่ถูกต้องเมื่อขนาดของเป้าหมายลดลงไป

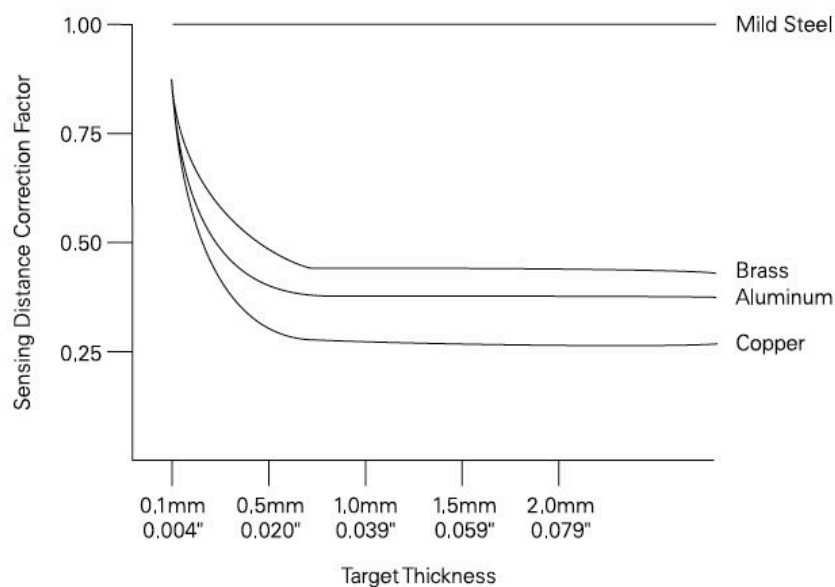
Size of Target Compared to Standard Target	Correction Factor	
	Shielded	Unshielded
25%	0.56	0.50
50%	0.83	0.73
75%	0.92	0.90
100%	1.00	1.00

รูปที่ 26 ตารางแสดงค่า correction factor สำหรับวัตถุเป้าหมายที่มีขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน

ค่าที่ใช้ในตารางนี้ ถือว่าเป็นการประมาณระยะตรวจจับอย่างคร่าวๆ ระยะที่ตรวจจับได้จริง เราแนะนำให้ทำการทดสอบก่อนการใช้งาน เพื่อความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง

Target Thickness

ความหนาของวัตถุที่ตรวจจับจะเป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่ทำให้ระยะตรวจจับเปลี่ยนไป แม้ว่าสำหรับ mild steel นั้นความหนาไม่มีผลต่อระยะตรวจจับ แต่โลหะอื่น เช่น ทองเหลือง ทองแดง หรือ aluminum ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “skin effect” และระยะตรวจจับมาตรฐานจะลดลงเมื่อความหนาของวัตถุที่ตรวจจับหนามากขึ้น สำหรับค่า correction factor ที่แนะนำให้ใช้จะเป็นไปตามกราฟในรูปที่ 27



รูปที่ 27 กราฟแสดง Correction Factor เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐานของวัสดุต่างๆ

สำหรับชนิดของวัตถุที่เปลี่ยนไปจากวัตถุมาตรฐานก็จะเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ระยะตรวจจับนั้นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราสามารถปรับแปลงค่าระยะตรวจจับมาตรฐานด้วย correction factor เมื่อชนิดของโลหะเปลี่ยนแปลงไป ตามตารางในรูปที่ 28

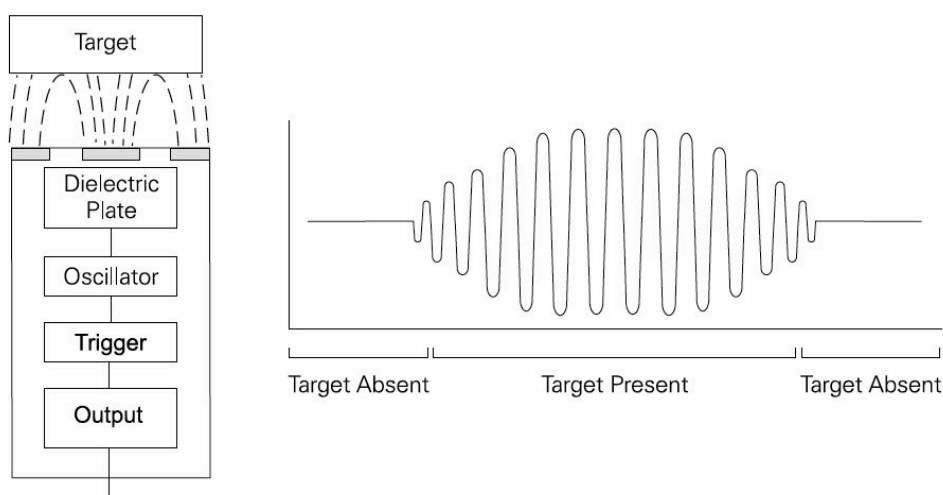
Material	Correction Factor	
	Shielded	Unshielded
Mild Steel, Carbon	1.00	1.00
Aluminum Foil	0.90	1.00
300 Series Stainless Steel	0.70	0.08
Brass	0.40	0.50
Aluminum	0.35	0.45
Copper	0.30	0.40

รูปที่ 28 ตารางแสดงค่า correction factor สำหรับวัตถุเป้าหมายที่เป็นโลหะชนิดต่างออกไป

Capacitive Proximity Sensor

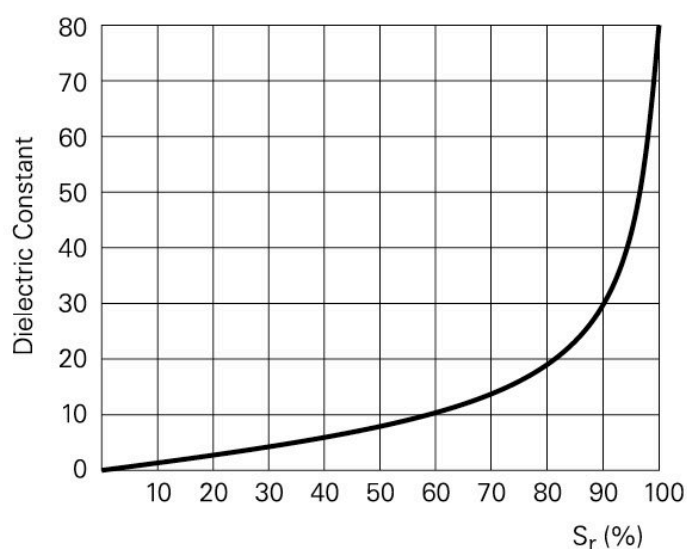
Capacitive proximity sensors จะมีรูปร่างและลักษณะการตรวจจับคล้ายกับ inductive proximity sensors โดยข้อแตกต่างหลักของ sensor ทั้งสองแบบนี้ก็คือ capacitive proximity sensor จะสร้าง สนามไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic) มาแทนที่จะเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้ capacitive proximity sensor นี้สามารถที่จะตรวจจับวัตถุที่เป็นทั้งโลหะและโลหะได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีเปรียบของเซนเซอร์ประเภทนี้

หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบนี้ จะเริ่มจากที่หน้าเซนเซอร์ จะประกอบด้วยทรงกระบอกสองชิ้นที่วางมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ทำหน้าที่เป็น unwound electrodes capacitor และสร้างสนามไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นรอบๆ หน้าเซนเซอร์ เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ประจุไฟฟ้าที่อยู่ใน capacitor จะกระจายออกไปเกาะที่วัตถุทำให้จำนวนประจุในสนามลดลงและยังผลให้ความจุไฟฟ้าใน oscillating circuit เปลี่ยนไป และจะกระตุ้นให้ oscillator ทำงานขึ้นมา จากนั้นการทำงานของ oscillator จะถูกตรวจจับและเมื่อช่วงกว้างสัญญาณจาก oscillator สูงถึงจุดที่กำหนด trigger circuit จะทำหน้าที่สั่งการให้วงจร output ทำงานและเปลี่ยนสภาพของเซนเซอร์ไป หลังจากนั้นถ้าหากวัตถุเคลื่อนที่ออกไป ความจุไฟฟ้าใน oscillator จะกลับขึ้นมาสูงขึ้นอีกครั้ง และการกระตุ้นจะลดลงทำให้ oscillator หยุดทำงาน trigger circuit ก็จะทำหน้าที่สั่งการให้วงจร output อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เซนเซอร์สวิตช์กลับสู่สภาพปกติ ซึ่งส่วนประกอบของวงจรและลักษณะการกระตุ้นเซนเซอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 29



รูปที่ 29 ส่วนประกอบและการทำงานของ Capacitive Proximity Sensor

สำหรับวัสดุที่ใช้หาระยะตรวจจับมาตรฐานของเซนเซอร์ ความสามารถในการดูดกลืนประจุไฟฟ้าของวัตถุจะขึ้นกับชนิดของวัตถุ และเรากำหนดให้คุณสมบัติที่เรียก Dielectric Constant เป็นคุณสมบัติด้านนี้ของวัตถุ นอกเหนือจากนั้นเราได้กำหนดให้อากาศ มีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 1 สำหรับในการตรวจสอบการทำงานของ capacitive proximity sensor เรานิยมที่ใช้น้ำเป็นวัตถุมาตรฐาน และจากการทดสอบเราพบว่าน้ำมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 80 สำหรับวัตถุที่มีค่า dielectric constant สูงก็ยิ่งจะเป็นการง่ายในการตรวจสอบว่ามีวัตถุนั้นอยู่ใกล้หรือไม่ กราฟที่แสดงในรูปที่ 30 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระยะตรวจจับมาตรฐาน (S_r) ไปตามค่า dielectric constant ที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า dielectric constant กับร้อยละการเปลี่ยนแปลงระยะวัด

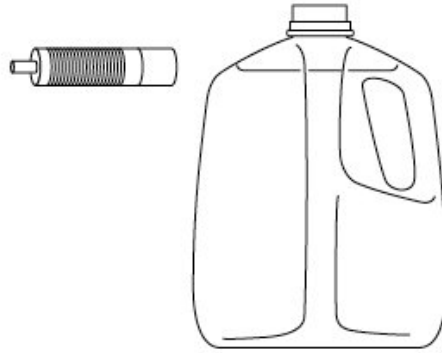
สำหรับในรูปที่ 31 เป็นรูปแสดงตารางค่า dielectric constant ของวัสดุแบบต่างๆ ตัวอย่างการใช้ตารางและกราฟนี้เช่น เซนเซอร์ตัวหนึ่งกำหนดให้มีระยะตรวจจับมาตรฐานเท่ากับ 10 cm ถ้าเราต้องการทราบว่าหากนำมาตรวจจับ alcohol จะมีระยะตรวจจับอยู่ที่เท่าใด

Material	Dielectric Constant	Material	Dielectric Constant
Alcohol	25.8	Polyamide	5
Araldite	3.6	Polyethylene	2.3
Bakelite	3.6	Polypropylene	2.3
Glass	5	Polystyrene	3
Mica	6	Polyvinyl Chloride	2.9
Hard Rubber	4	Porcelain	4.4
Paper-Based Laminate	4.5	Pressboard	4
Wood	2.7	Silica Glass	3.7
Cable Casting Compound	2.5	Silica Sand	4.5
Air, Vacuum	1	Silicone Rubber	2.8
Marble	8	Teflon	2
Oil-Impregnated Paper	4	Turpentine Oil	2.2
Paper	2.3	Transformer Oil	2.2
Paraffin	2.2	Water	80
Petroleum	2.2	Soft Rubber	2.5
Plexiglas	3.2	Celluloid	3

รูปที่ 31 รูปแสดงค่า dielectric constant ของวัสดุประเภทต่างๆ

อันดับแรกเราจะหาค่า dielectric constant ของ alcohol จากตารางในรูปที่ 31 ก่อน ซึ่งพบว่ามียค่าเท่ากับ 25.8 จากนั้นเราจะนำค่านี้ไปอ่านกับกราฟในรูปที่ 30 ซึ่งเราจะได้อ่านค่ามาประมาณ 85% ของระยะตรวจจับมาตรฐาน และเนื่องจากเซนเซอร์นี้มีระยะตรวจจับมาตรฐานเท่ากับ 10 cm จึงทำให้เซนเซอร์นี้เมื่อนำมาตรวจจับ alcohol จะมีระยะตรวจจับเท่ากับ 8.5 cm โดยประมาณ

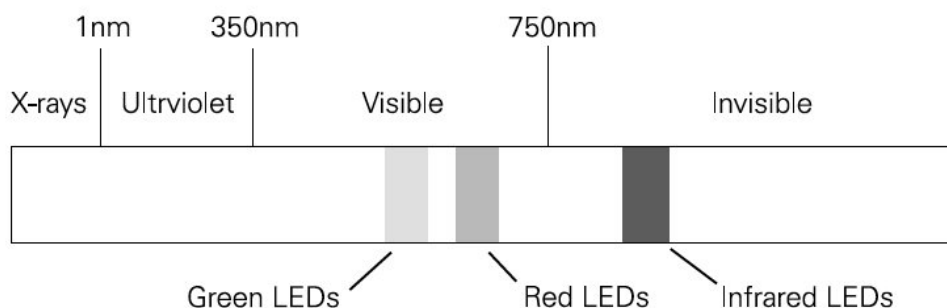
เนื่องจาก sensor นี้จะตรวจจับได้ทั้งโลหะและอโลหะ เพื่อความสะดวกในการติดตั้งเราจึงมักจะพบว่า sensor ประเภทนี้เป็นแบบ shielded sensor เป็นส่วนใหญ่ และสิ่งที่เรามักพบการใช้ sensor แบบนี้อีกอย่างแพร่หลาย ก็คือการใช้ตรวจจับระดับน้ำในถังบรรจุ เพราะโดยทั่วไปแล้วค่า dielectric ของน้ำจะสูงกว่าค่า dielectric ของวัสดุที่ใช้ทำถังบรรจุ้มันอยู่มาก จึงเหมือนกับว่า sensor นี้มองทะลุถึงเก็บเข้าไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 32 ซึ่งเป็นการตรวจจับปริมาณน้ำในถังว่าสูงถึงระดับที่ต้องการหรือไม่



รูปที่ 32 การใช้ capacitive proximity sensor ตรวจจกระดับน้ำในถังเก็บ

Photoelectric Proximity Sensors

Photoelectric Proximity Sensors เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจสอบวัตถุอีกประเภทหนึ่งที่เรานิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง หลักการทำงานของมันก็คือนำการปรากฏของวัตถุด้วยการที่วัตถุตัดผ่านลำแสงหรือสะท้อนแสงที่สร้างขึ้นจากเซนเซอร์นี้ ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์นี้จะมีสองส่วนคือ ส่วนที่กำเนิดแสง Transistor หรือ Emitter ซึ่งอาจจะสร้างแสงในย่านที่ตาเรามองเห็นได้ จนถึงบางรุ่นที่ใช้แสง infrared ข้อสำคัญก็คือแสงที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นแสงความถี่เดียว เพื่อให้แตกต่างจากแสงที่อยู่รอบๆ ตัวเรา จากนั้นแสงจะถูกส่งไปที่ตัวรับแสง Receiver ซึ่งตัวรับแสงจะทำหน้าที่แยกว่ามีแสงจากแหล่งกำเนิดมาตกกระทบหรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสั่งการทำงานของวงจร output ในเซนเซอร์ต่อไป โดยทั่วไป อุปกรณ์ใน Receiver จะเป็น photodiode หรือ phototransistor ซึ่งจะมีการเปิดหรือปิดวงจรตามที่มีแสงตกกระทบ อุปกรณ์นี้ สำหรับแสงที่ใช้ในเซนเซอร์ประเภทนี้มักจะส่งออกจาก transistor ออกเป็นสัญญาณ pulsed ที่ความถี่ประมาณ 5 and 30 KHz และแสงที่ใช้มักจะมีค่าความถี่เดียวตามที่บอกไปแล้ว โดยแสงที่ใช้นิยมให้ Light-emitting diode (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและสีของแสงก็จะเป็นตัวกำหนดความถี่หรือความยาวของแสงด้วย ตามที่แสดงในรูปที่ 33

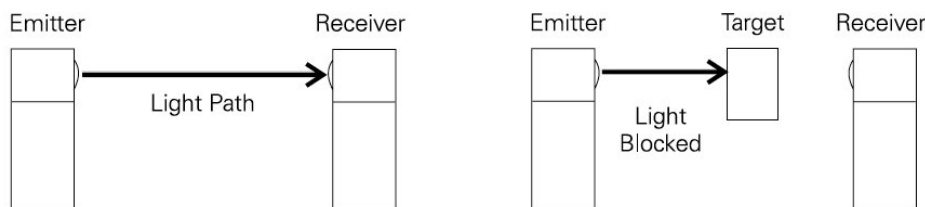


รูปที่ 33 ความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ใน Photoelectric Sensor

Scanning Method

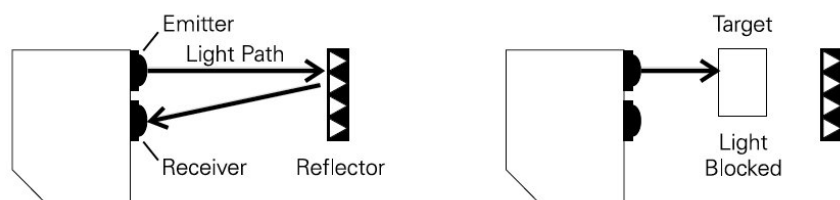
การตรวจจับวัตถุของ photoelectric ที่นิยมใช้มีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม ความสะดวกในการติดตั้ง หรือชนิดของวัสดุที่ตรวจจับ โดยมีการแบ่งการติดตั้งออกเป็น 3 แบบ ใหญ่ๆ คือ แบบแรกเป็นแบบ Thru-beam Scan แบบที่สองเป็นแบบ Reflective Scan และแบบสุดท้ายเป็นแบบ Diffusive Scan ซึ่งทั้งสามแบบจะมีรายละเอียดดังนี้

การตรวจจับแบบ Thru-beam Scan การตรวจจับแบบนี้ Emitter และ Receiver จะอยู่คนละด้านกัน โดยสภาวะปกติแสงจาก Transistor จะตกกระทบ Receiver ตลอดเวลา เมื่อวัตถุที่ต้องการตรวจจับเคลื่อนที่มาตัดลำแสง แสงที่ตกกระทบ receiver จะหายไป และทำให้ sensor ตรวจจับการมาของวัตถุได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 34



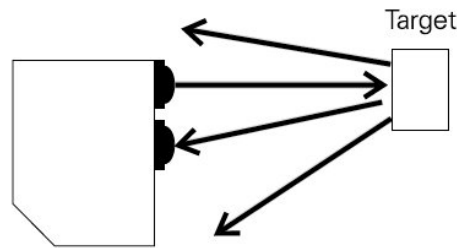
รูปที่ 34 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Thru-Beam

การตรวจจับแบบ Reflective Scan การติดตั้งแบบนี้ Emitter จะอยู่ด้านเดียวกันกับ Receiver โดย Emitter จะยิงแสงไปกระทบกับตัวสะท้อน (Reflector) และสะท้อนกลับมากกระทบที่ Receiver เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง แสงก็จะไม่สามารถสะท้อนกลับไปตกกระทบที่ Receiver ได้ ทำให้เซนเซอร์สามารถรับรู้ได้ว่ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาตัดลำแสง การติดตั้งประเภทนี้แสดงในรูปที่ 35 ข้อสำคัญของการติดตั้งประเภทนี้ วัตถุที่ตัดลำแสงควรเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสูงและสะท้อนแสงต่ำ เพื่อไม่ให้วัตถุสะท้อนแสงกลับไปตกกระทบที่ receiver ทำให้เซนเซอร์เกิดการเข้าใจผิดว่าไม่มีวัตถุมาขวางลำแสงได้ แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องติดตั้งอาจจะมีการใช้อุปกรณ์กรองแสงแบบต่างๆ เข้ามาช่วย ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้



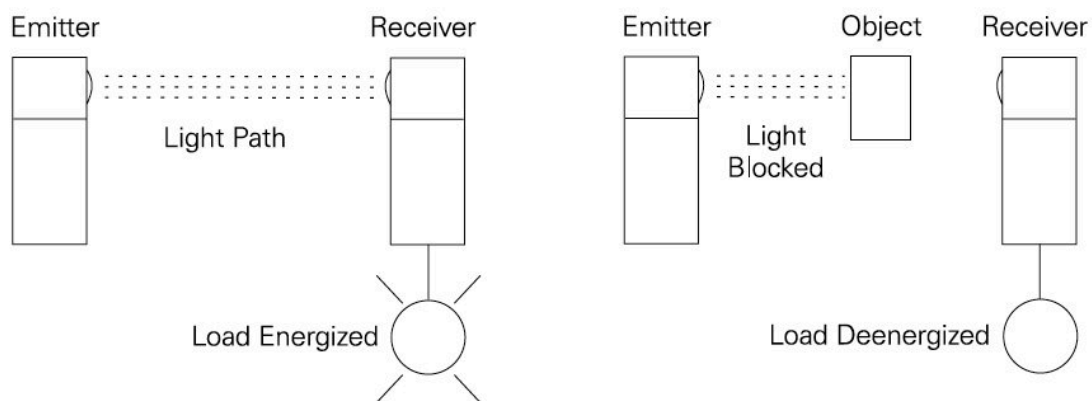
รูปที่ 35 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Reflective Scan

การตรวจจับแบบ **Diffuse Scan** วิธีการนี้ Emitter และ Receiver จะวางอยู่ติดกันเหมือนวิธีที่ผ่านมาแต่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสงที่ฝั่งตรงข้าม ซึ่งจะทำให้ไม่มีแสงตกกระทบบที่ Receiver เมื่อไม่มีวัตถุผ่านมา และเมื่อมีวัตถุที่ผิวมันพอสมควรผ่านมา มันจะทำหน้าที่สะท้อนแสงบางส่วนกลับไปตกกระทบบที่ receiver ทำให้เซนเซอร์ทราบว่ามีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณนั้น การติดตั้งประเภทนี้แสดงในรูปที่ 36 ข้อสำคัญของการตรวจจับแบบนี้ วัตถุควรจะสามารถสะท้อนแสงได้ดีระดับหนึ่งเพื่อให้แสงที่สะท้อนกลับไปตกกระทบบที่ตัวรับแสงมีความเข้มสูงพอที่เซนเซอร์จะตรวจจับได้

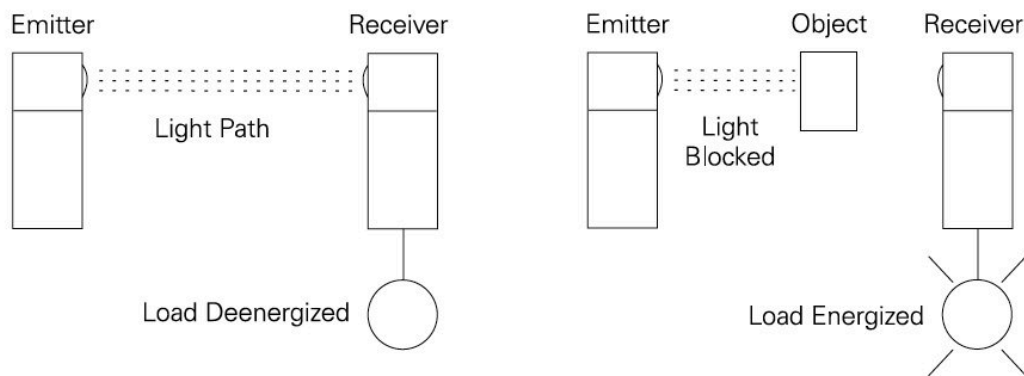


รูปที่ 36 การติดตั้ง Photoelectric Sensor แบบ Diffusive Scan

นอกเหนือจากวิธีการตรวจจับแล้ว เซนเซอร์ประเภทนี้ยังมีลักษณะการทำงานอีกแบบหนึ่งคือ การกำหนดว่าถ้ามีแสงมาตกกระทบบที่ตัวรับแล้วจะให้เซนเซอร์นี้ทำงานหรือไม่ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ Light ON และ Dark On โดยแบบ light on นี้หากมีแสงมาตกกระทบบที่ตัวรับ เซนเซอร์นี้จะทำงานหรือส่งสัญญาณออกมา ส่วนแบบ dark on นี้ หากไม่มีแสงมาตกกระทบบที่ตัวรับ แสงเซนเซอร์นี้ก็จะมีสถานะเป็น on โดยทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 37 (a) และ (b)



รูปที่ 37(a) Photoelectric Proximity Sesor แบบ Light ON ติดตั้งแบบ Thru-Beam



รูปที่ 37(b) Photoelectric Proximity Sensor แบบ Dark ON ติดตั้งแบบ Thru-Beam

Fiber Optic

ในหลายกรณีเราจำเป็นต้องมีการใช้ Fiber Optic เป็นอุปกรณ์การนำส่งแสงออกจาก emitter หรือไปสู่ receiver เนื่องจากเราไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ส่งและรับแสงลงไปในบริเวณที่ต้องการตรวจจับได้อาจเป็นเพราะเนื้อที่จำกัดหรือสภาพข้อจำกัดอื่นๆ การใช้ใยนำแสงนี้จะช่วยให้การติดตั้งอุปกรณ์นี้ง่ายขึ้น เพราะใยนำแสงนี้จะมีความอ่อนตัวสูงสะดวกที่จะเดินสายใยนำแสงไปกับอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับใยนำแสงจะมีสองแบบหลักๆ คือ แบบใยแก้วนำแสง (Glass Fiber Cable) ซึ่งมักจะใช้กับการนำส่ง infrared และแบบใยพลาสติกนำแสง (Plastic Fiber Cable) ซึ่งมักจะใช้กับแสงในย่านความถี่ที่เรามองเห็นได้ และเมื่อใช้สายใยนำแสงนี้จึงทำให้ผู้ผลิตหลายรายเรียกเซนเซอร์ประเภทนี้ว่า Fiber Optic Sensor สำหรับรายละเอียดของใยนำแสงจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้

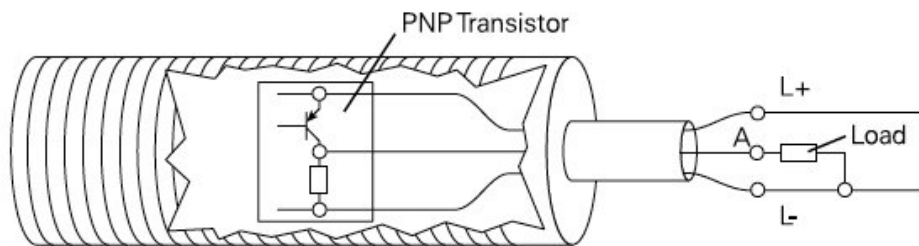
Wiring of Transistor Sensor

Proximity Sensor ที่เราได้กล่าวถึงมาแล้วทั้งสามประเภท โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีสวิตช์แบบ transistor แทนที่จะเป็น mechanical switch ดังนั้น sensor เหล่านี้จึงแบ่งเป็นสองกลุ่มเหมือนกับ transistor ทั่วไปนั่นคือแบ่งเป็นแบบ PNP (sourcing) หรือ NPN (sinking) ตาม output switching ของ transistor ที่ใช้ และสายไฟที่ออกจากเซนเซอร์นี้จะมีสามเส้นด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยสายไฟสีมาตรฐานสามสีคือ สีน้ำตาลจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ บวก สายสีน้ำเงินจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ลบ และสายสีดำจะเป็นสายสัญญาณที่ออกจากสวิตช์ของเซนเซอร์

สำหรับ PNP sensor นั้น load จะต้องต่อกับ output ของเซนเซอร์และขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟ เนื่องจาก PNP transistor จะ switche ให้ load รับสัญญาณเป็นขั้วบวกของแหล่งจ่าย

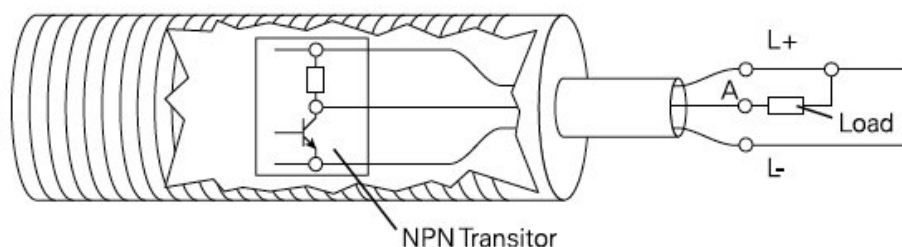
Industrial Automation Laboratory: Switch, Relay and Sensor

ไฟ ดังนั้นเมื่อ sensor ON ขึ้นมา transistor จะทำให้ไฟไหลผ่าน load ได้ครบวงจร ซึ่งทำให้ switch แบบนี้เรียกอีกแบบหนึ่งว่า current sourcing เนื่องจาก sensor จะทำหน้าที่จ่ายไฟให้อุปกรณ์ ตามที่แสดงในรูปที่ 38 ซึ่งในรูปสาย L+ จะเป็นแหล่งไฟบวก ส่วนสาย L- จะเป็นแหล่งไฟลบ และสายสัญญาณ A



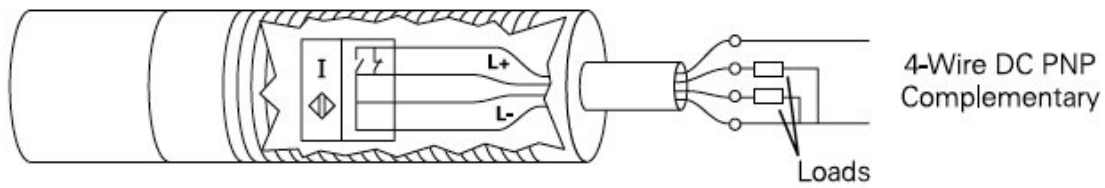
รูปที่ 38 การต่อสายไฟของ PNP Sensor

ส่วน NPN sensor นั้น load จะต้องต่อกับ output ของเซนเซอร์และขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟ เนื่องจาก NPN transistor จะ switch ให้ load รับสัญญาณเป็นขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อ sensor ON ขึ้นมา transistor จะทำให้ไฟไหลผ่าน load ได้ครบวงจร ซึ่งทำให้ switch แบบนี้เรียกอีกแบบหนึ่งว่า current sinking เนื่องจาก sensor จะทำหน้าที่เป็น ground ให้อุปกรณ์ ตามที่แสดงในรูปที่ 39 และสายไฟก็จะเป็นเหมือนที่ผ่านมา



รูปที่ 39 การต่อสายไฟของ NPN Sensor

อย่างไรก็ตามเราอาจจะพบเห็นเซนเซอร์ที่มีมากกว่า 3 สายคือมี 4 สาย โดยสายที่เพิ่มขึ้นมาอีกสายหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณ โดยสายหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณแบบปกติเปิดและอีกสายหนึ่งจะเป็นสายแบบปกติปิด ตามที่แสดงในรูปที่ 40



รูปที่ 40 การต่อสายสำหรับ transistor sensor ที่มี 4 สาย

สำหรับรายละเอียดการต่อสายและการนำเซนเซอร์ทั้งสามประเภทนี้ไปใช้งาน จะปรากฏในภาคผนวกของเอกสารนี้

Comparison of Proximity Switch

ในเอกสารนี้เราได้ศึกษาถึงการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตไว้ 4 ประเภทคือ limit switch, inductive proximity sensor, capacitive proximity sensor และ photoelectric proximity sensor ซึ่งแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเราต้องเลือกใช้ sensor เหล่านี้ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ นั้น สิ่งที่เราจะต้องพิจารณาในการเลือกเซนเซอร์ที่สำคัญก็เช่น สภาพสิ่งแวดล้อม เช่นความสะอาดรอบข้าง อุณหภูมิที่ทำงาน ความชื้นและสภาพอากาศอื่นๆ วัตถุที่จะตรวจจับ ความเร็วหรือความถี่ในการตรวจจับ วัตถุที่จะตรวจจับ เป็นต้น ในหัวข้อนี้เราจะเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเซนเซอร์แต่ละแบบ

Limit Switch ข้อดีของเซนเซอร์ประเภทนี้คือ สามารถรองรับกระแสที่ผ่านสวิตช์ได้สูงมาก ทำให้สามารถใช้ตัดต่อวงจรเพื่อการขับเคลื่อนอุปกรณ์ได้โดยตรง ไม่ต้องอาศัยรีเลย์ เป็นเซนเซอร์ที่คุ้นเคยไม่ได้ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ทำให้มีราคาถูกและหาได้ง่าย ส่วนข้อเสียก็คือเซนเซอร์นี้จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุที่ตรวจจับ อาจทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้งหรือใช้งานบางประเภท การตอบสนองช้ากว่าเซนเซอร์อื่นเนื่องจากเป็นอุปกรณ์เชิงกล มีการกระชากไฟในช่วงหน้าสัมผัสตัดหรือต่อวงจร เป็นไปได้ที่จะเกิดประกายไฟในระหว่างทำงาน ส่วนการประยุกต์ใช้นั้นนิยมใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของชุดอุปกรณ์ หรือตรวจสอบว่ากลไกเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งที่ต้องการแล้วหรือไม่ และบางครั้งจะใช้เป็นสวิตช์ป้องกันการเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัย เป็นต้น

Inductive Proximity Sensor ข้อดีของเซนเซอร์ประเภทนี้คือสามารถทำงานในสภาพที่ปนเปื้อนฝุ่นละอองได้ดี และเพราะการตรวจจับจะตรวจจับโลหะเท่านั้นทำให้มีความน่าเชื่อถือสูง อายุการใช้งานยาวนาน ติดตั้งง่าย ส่วนข้อด้อยของเซนเซอร์ประเภทนี้คือ จะตรวจจับได้เฉพาะโลหะเท่านั้นไม่สามารถตรวจจับวัตถุอย่างอื่นได้ อีกทั้งมีระยะการตรวจจับที่ไม่ไกลมากนัก ทำให้การประยุกต์ใช้

งานจริง มักจะใช้ในการตรวจจับชิ้นส่วนเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ในเครื่องจักร ในกรณีที่ไม่ต้องการให้มีการสัมผัสโดยตรงเป็นต้น

Capacitive Proximity Sensor ข้อดีของเซนเซอร์ประเภทนี้คือสามารถที่จะตรวจจับวัตถุได้ทุกประเภท ทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ อีกทั้งมีความสามารถที่จะตรวจจับวัตถุที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ได้ เหมือนกับสามารถมองเห็นทะลุบรรจุภัณฑ์ได้ ส่วนข้อด้อยสำคัญของเซนเซอร์ประเภทนี้ก็คือจะอ่อนไหวต่อสถานะแวดล้อมมาก อาจส่งสัญญาณผิดพลาดได้หากสถานะแวดล้อมเซนเซอร์เปลี่ยนแปลงไป เช่นมีฝุ่นมากในบริเวณที่เซนเซอร์อยู่

Photoelectric Proximity Sensor ข้อดีของของเซนเซอร์ประเภทนี้ข้อดีคือสามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกประเภท อายุการใช้งานได้ยาวนาน มีระยะการตรวจจับที่ไกลที่สุดในบรรดาเซนเซอร์ที่กล่าวมา และมีเวลาในการตอบสนองดีที่สุด จึงเหมาะที่จะใช้ตรวจจับที่มีความถี่ในการตรวจจับสูงเช่นใช้ในการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม ข้อด้อยของเซนเซอร์นี้คือต้องระวังเรื่องความสะอาดของ lens ของเซนเซอร์ มีข้อจำกัดในการตรวจสอบวัตถุโปร่งใสและวัตถุที่มีสีแตกต่างกันมากเพราะการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงในแต่ละสีจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นอาจมีความยุ่งยากในการตรวจสอบวัตถุที่มีหลากหลายสี

สำหรับในภาคผนวกของเอกสารนี้จะสรุปและยกตัวอย่างการนำเซนเซอร์แต่ละแบบไปใช้งานและคำแนะนำในการเลือกใช้ประเภทของเซนเซอร์ที่เหมาะสมไว้ด้วย

ปฏิบัติการที่ 2 การต่อ transistor sensor และ relay

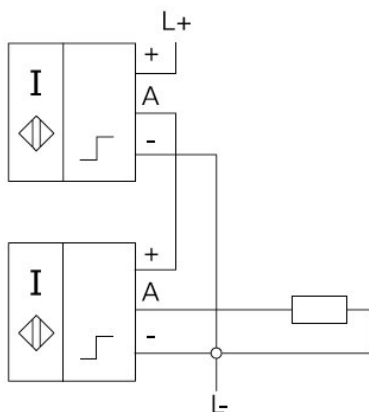
ปฏิบัติการที่ 2.1 การบ่งชนิดของ sensor

(5 นาที)

การทดลองนี้นักศึกษาจะได้รับแจก sensor กลุ่มละ 2 แบบ ให้ใช้ multimeter และแหล่งจ่ายไฟ 5 - 24 V ให้นักศึกษาบ่งบอกว่า sensor นี้เป็นแบบ NPN หรือ PNP และจากนั้นให้ต่อ sensor แต่ละตัวผ่าน relay เพื่อเปิดปิดหลอดไฟที่แจกให้

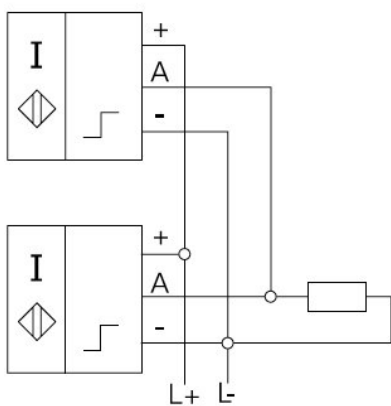
ปฏิบัติการที่ 2.2 การต่อ transistor sensor แบบอนุกรม (5 นาที)

จงต่อ sensor 2 ตัวตามแผนผังสายไฟต่อไปนี้



ปฏิบัติการที่ 2.3 การต่อ transistor sensor แบบขนาน (5 นาที)

จงต่อ sensor 2 ตัวตามแผนผังสายไฟต่อไปนี้



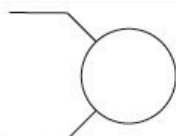
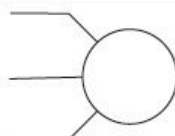
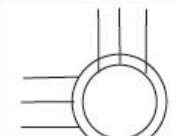

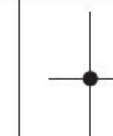


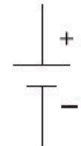



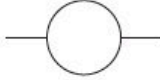

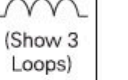

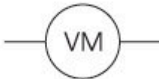


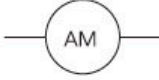
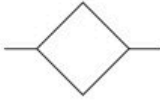
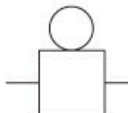
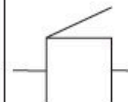
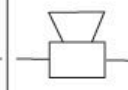



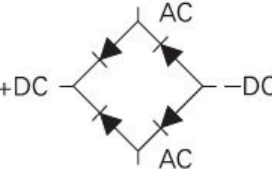



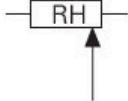






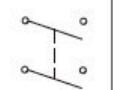
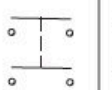
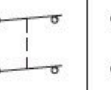
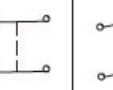
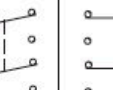
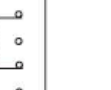
ปฏิบัติการที่ 2.4 การต่อ Switch, Relay และ Sensor ตามแผนผัง (15 นาที)

ปฏิบัติการนี้นักศึกษาจะได้รับ wiring diagram ให้นักศึกษาต่ออุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นไปตามที่กำหนดและทดสอบการทำงานของระบบ

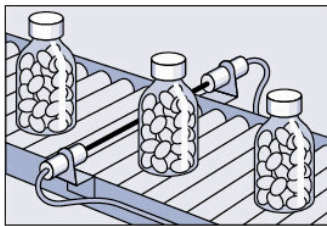
ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า

Switches								
Disconnect		Circuit Interrupter		Circuit Breaker W/Thermal O.L.		Circuit Breaker W/Magnetic O.L.		
Limit Switches		Foot Switches	Pressure and Vacuum Switches		Liquid Level Switches			
Normally Open	Normally Closed	NO	NC	NO	NC	NO		
Held Closed	Held Open	NC	Temperature Actuated Switches		Flow Switches (Air, Water, Etc.)			
Speed (Plugging)		Anti-Plug	Selector					
			2 Position		3 Position		2 Pos. Sel. Pushbutton	

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า (ต่อ)

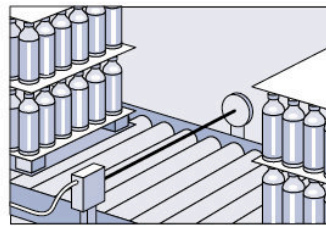
AC Motors				Schematic Wiring				Battery
Single Phase	Three-Phase Squirrel Cage	Wound Rotor	Not Connected	Connected	Power	Control		
								
DC Motors				Meter	Meter Shunt	Wiring Terminal	Connections Mechanical	
Armature	Shunt Field	Series Field	Comm. or Compens. Field	Indicate Type by Letter				
								
Annunciator	Bell	Buzzer	Horn Siren, Etc.		Capacitors			
					Fixed	Adjustable		
								
Resistors				Half Wave Rectifier	Full Wave Rectifier		Fuse	
Fixed	Heating Element	Adj. By Fixed Taps	Rheostat Pot Or Adj. Tap				Power or Control	
								
Supplementary Contact Symbols					Terms			
SPST NO		SPST NC		SPDT				
Single Break	Double Break	Single Break	Double Break	Single Break	Double Break			
								
DPST 2 NO		DPST 2 NC		DPDT				
Single Break	Double Break	Single Break	Double Break	Single Break	Double Break			
								
						SPST	Single-Pole Single-Throw	
						SPDT	Single-Pole Double-Throw	
						DPST	Double-Pole Single-Throw	
						DPDT	Double-Pole Double-Throw	
						NO	Normally Open	
						NC	Normally Closed	

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์



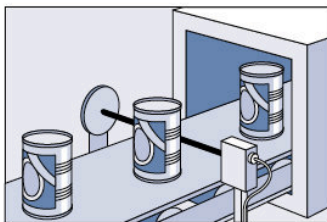
Application
Verifying Objects in
Clear Bottles

Sensor
M12 Thru Beam



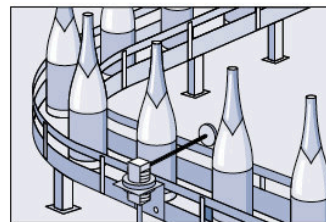
Application
Flow of Pallets
Carrying Bottles

Sensor
K40 Retroreflective



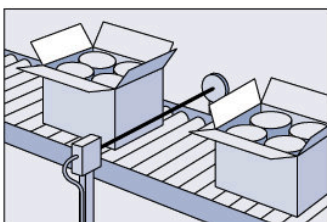
Application
Counting Cans

Sensor
K50 Polarized
Retroreflective



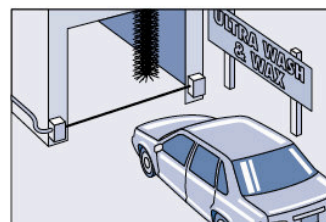
Application
Counting Bottles

Sensor
SL18 Retroreflective



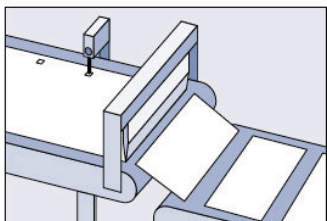
Application
Counting Cartons

Sensor
K65 Retroreflective



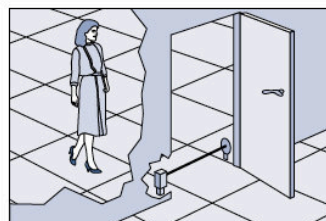
Application
Car Wash

Sensor
SL Thru Beam



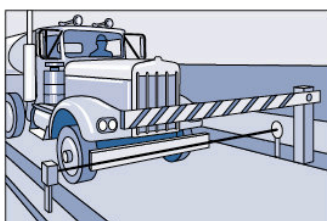
Application
Reading Reference
Marks for Trimming

Sensor
C80 Mark Sensor



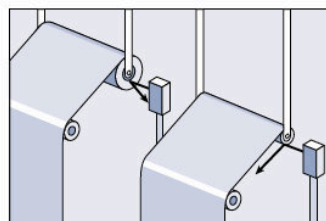
Application
Detecting Persons

Sensor
K50 Retroreflective



Application
Controlling Parking
Gate

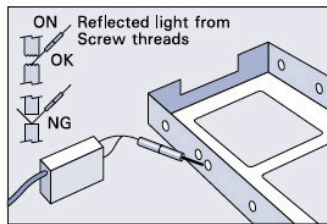
Sensor
SL Retroreflective



Application
End of Roll Detection

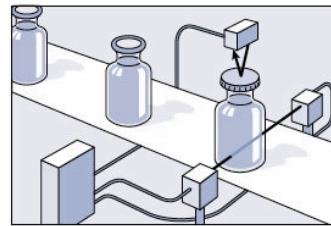
Sensor
K31 Diffuse

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ (ต่อ)



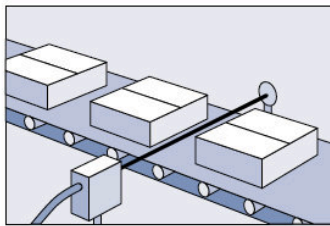
Application
Detecting Tab Threads

Sensor
KL40 Fiber Optic



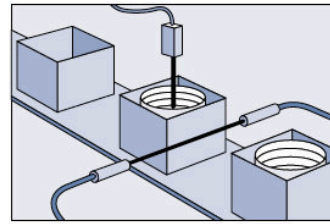
Application
Detecting Caps on Bottles

Sensor
K20 Diffuse with Background Suppression and K31 Thru Beam



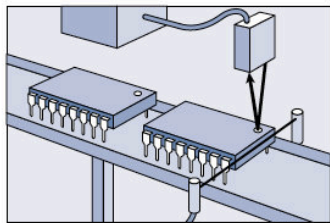
Application
Counting Packages

Sensor
K80 Retroreflective



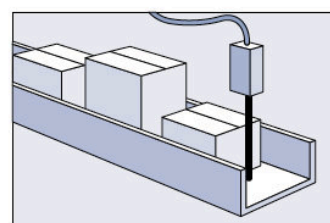
Application
Detecting Components Inside Metal Can

Sensor
K50 Background Suppression



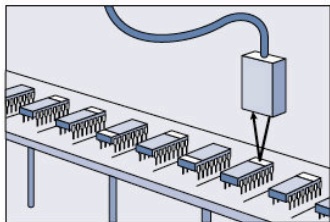
Application
Determining Orientation of IC Chip

Sensor
L50 Laser with Background Suppression



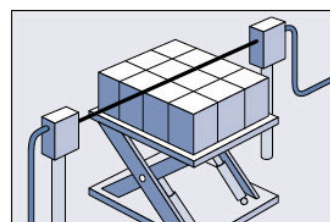
Application
Detecting Items of Varying Heights

Sensor
K80 Background Suppression



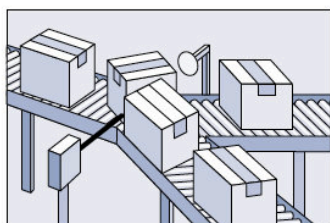
Application
Detecting Orientation of IC Chip

Sensor
Color Mark or Fiber Optic



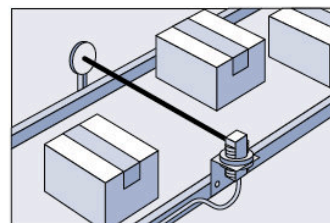
Application
Controlling Height of a Stack

Sensor
SL Thru Beam



Application
Detecting Jams on a Conveyor

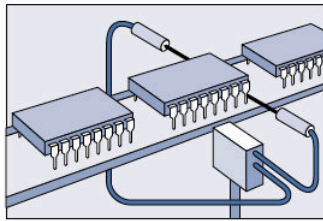
Sensor
K50 Retroreflective



Application
Counting Boxes Anywhere on a Conveyor

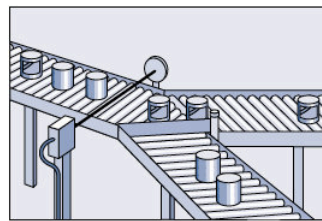
Sensor
SL18 Right Angle Retroreflective

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ (ต่อ)



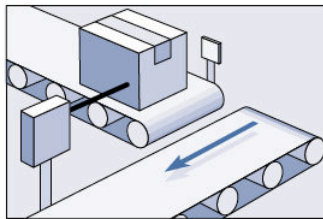
Application
Counting IC Chip Pins

Sensor
KL40 Fiber Optic



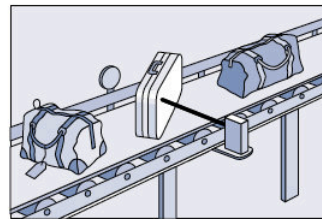
Application
Batch counting and
Diverting Cans
Without Labels

Sensor
K40 Polarized



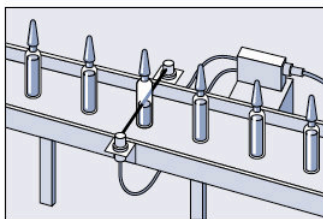
Application
Detecting Presence of
Object to Start a
Conveyor

Sensor
K35 Retroreflective



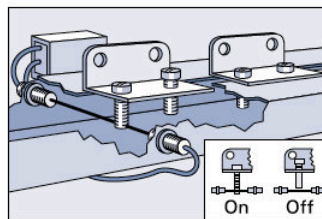
Application
Detecting Reflective
Objects

Sensor
K80 Polarized
Retroreflective



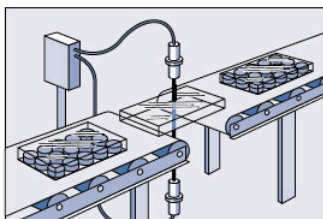
Application
Verifying Liquid in Vials

Sensor
K35 Fiber Optic



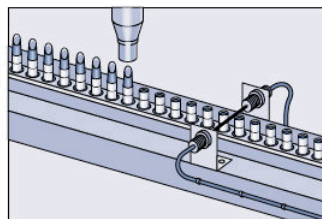
Application
Verifying Screws are
Correctly Seated

Sensor
KL40 Fiber Optic



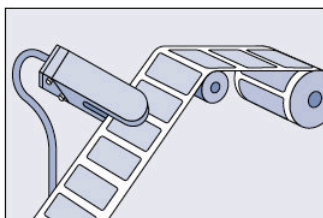
Application
Verifying Cakes are
Present in Transparent
Package

Sensor
KL40 Fiber Optic



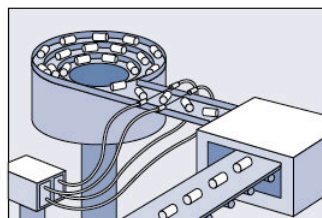
Application
Verifying Lipstick
Height Before Capping

Sensor
M5 or M12 Thru Beam



Application
Detecting Labels with
Transparent
Background

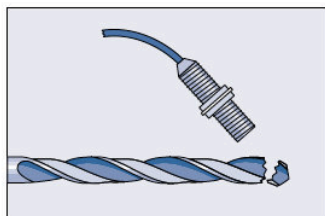
Sensor
G20 Slot Sensor



Application
Monitoring Objects as
they Exit Vibration
Bowl

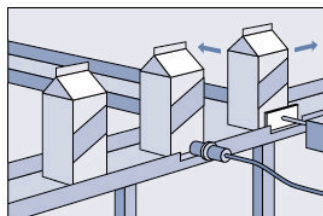
Sensor
K35 Fiber Optic

ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ (ต่อ)



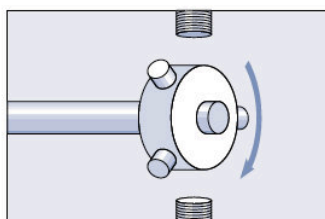
Application
Detecting the
Presence of a Broken
Drill Bit

Sensor
12 mm Normal
Requirements



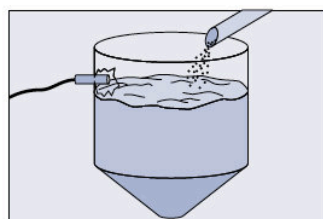
Application
Detecting Milk in
Cartons

Sensor
Capacitive



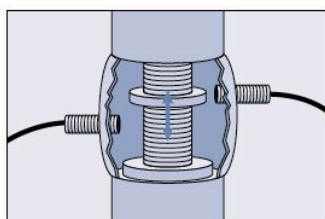
Application
Detecting Presence of
Set Screws on Hub for
Speed or Direction
Control

Sensor
30mm Shorty



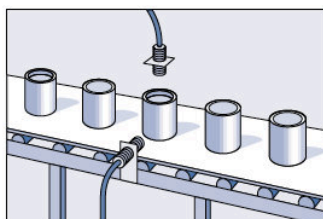
Application
Controlling Fill level of
solids in a bin

Sensor
Capacitive



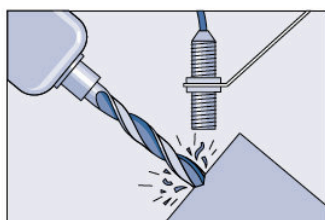
Application
Detecting Full Open or
Closed Valve Position

Sensor
12mm or 18mm Extra
Duty



Application
Detecting Presence of
Can and Lid

Sensor
30mm Normal
Requirements or
UBERO, 18mm
Normal Requirements
Gating Sensor



Application
Detecting Broken Bit
on Milling Machine

Sensor
18 mm