สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ

SENSORS AND TRANSDUCER DEMONSTRATOR

ชื่อนักศึกษา

1. นางสาวนงนุช	เปรมจิตร์	รหัสประจำตัว	41031508
2. นายบัณฑิต	จิมจิ๋ว	รหัสประจำตัว	41031510
3. นางสาวรัตนา	คุ้มทรัพย์	รหัสประจำตัว	41031525
4. นายสุรศักดิ์	ศรีไพโรจน์	รหัสประจำตัว	41031535

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....
2. อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ	.....
3. อาจารย์อำพล	ทองระอา	.....
4. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....
5. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เวลา 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 23 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37172
วัน, เดือน, ปี 5 ก.ย. 2543

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ

SENSORS AND TRANSDUCER DEMONSTRATOR

นางสาวนงนุช เปรมจิตร์

นายบัณฑิต ฉิมจิ๋ว

นางสาวรัตนา คุ้มทรัพย์

นายสุรศักดิ์ ศรีไพโรจน์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ

SENSORS AND TRANSDUCER DEMONSTRATOR

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณในชุดปฏิบัติการทดลองได้อย่างถูกต้อง
2. เพื่อออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณได้
3. เพื่อสร้างชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณได้
4. เพื่อนำชุดทดลองไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณได้อย่างชำนาญ
2. สามารถออกแบบชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ
3. สามารถสร้างชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณได้
4. สามารถนำชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณไปใช้ประกอบการเรียนการสอน
5. ได้ทักษะจากการปฏิบัติงาน และแก้ไขปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ
นักศึกษา	นางสาวนงนุช เปรมจิตร์
	นายบัณฑิต ฉิมจิ๋ว
	นางสาวรัตนา คุ้มทรัพย์
	นายสุรศักดิ์ ศรีไพโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ ชุดทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ส่วนที่สามเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งเป็นชุดทดลองและสาธิตให้เข้าใจถึงหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรม ชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์และในการควบคุมงานขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Sensor and Transducer Demonstrator
Students	Miss Nongnooch Premchit
	Mr.Bunthid Chimjiew
	Miss Rattana Khumsub
	Mr.Surasak Sripirote
Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Co-Advisor	Mr.Amornchai Chaichana
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	1999

ABSTRACT

This thesis presents a desingning and inplementation of Sensor and Transducer Demonstrator. The project can be devided into three parts ; Proximity test bed , Temperature sensing test bed , Strain and stress test bed. The project helps the user to easier understand the principle of instrumentation and process control. The project can be applied for transmission with computer and use in the small controlling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี, อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมทั้งยังให้คำแนะนำแนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางการแก้ไขปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา และมารดาที่เป็นผู้ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 วัตถุประสงค์ของการวัด	4
2.3 ชนิด และวิธีการวัด	4
2.4 ระบบการวัดโดยทั่วไป	5
2.5 เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์	6
2.6 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์	6
2.7 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์	7
2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด	38
2.9 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	54
2.10 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง	75
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	82
3.1 การออกแบบและการสร้างชุดควบคุม	82
3.2 การออกแบบและการสร้างชุด Proximity Test Bed	92
3.3 การออกแบบและการสร้างชุด Strain and Stress Test Bed	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การออกแบบและการสร้างชุด Temperature Sensing Test Bed	95
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	96
4.1 การทดลองการทำงานของ Magnetic Reed Switch	96
4.2 การทดลองการทำงานของ Inductive Proximity Detector	98
4.3 การทดลองการทำงานของ Capacitive Proximity Detector	99
4.4 การทดลองการทำงานของ Optical Transmissive	100
4.5 การทดลองการทำงานของ Photo Resistor	102
4.6 การทดลองการทำงานของ RTD	103
4.7 การทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์	105
4.8 การทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	106
4.9 การทดลองการทำงานของโหลดเซลล์	107
4.10 การทดลองการทำงานของสเตรนเกจ	109
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	109
5.1 บทสรุป	109
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำโครงงาน	111
5.3 แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	112
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	113
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	119
ภาคผนวก ค รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์	125
ภาคผนวก ง ใบงานการทดลอง	135
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้ชุดทดลอง	183
บรรณานุกรม	192
ประวัติผู้แต่ง	193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก	8
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง	12
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด	15
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ	16
ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง	17
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของค่าคูณตัวประกอบ (Factor) ของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง ในการตรวจจับชิ้นงานประเภทต่างๆ	17
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่าคูณตัวประกอบ (Factor) ของวัตถุตัวกลางชนิดต่างๆ	24
ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของวัตถุที่นำมาทำสเตรนเกจ	42
ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของแฟลทโหลดเซลล์	54
ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิมาตราต่างๆ	55
ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของ RTD ที่ทำมาจากโลหะประเภทต่างๆ	59
ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตราฐานชนิดต่างๆ	69
ตารางที่ 2.13 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป	73
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Reed Switch	97
ตารางที่4.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Inductive Proximity Detector	99
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Capacitive Proximity Detector	100
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Optical Transmissive	102
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Photo Resistor	103
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ RTD	104
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของเทอร์มิสเตอร์	106
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	107
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของโหลดเซลล์	108
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของสเตรนเกจ	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการวัด	3
รูปที่ 2.2 การวัดเพื่อการควบคุม	4
รูปที่ 2.3 ระบบการวัดโดยทั่วไป	5
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการทำงานของรีดสวิตช์	10
รูปที่ 2.5 ผลของทิศทางสนามแม่เหล็กต่อรีดสวิตช์	10
รูปที่ 2.6 วิธีการรับส่งแสงโดยทั่วไป	13
รูปที่ 2.7 วิธีการรับส่งแสงแบบพัลซ์	13
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสง	14
รูปที่ 2.9 เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด	15
รูปที่ 2.10 เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ	16
รูปที่ 2.11 เซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง	16
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการใช้แสงใยแก้วร่วมกับเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง	18
รูปที่ 2.13 การทำงานของตัวรับและตัวส่ง	20
รูปที่ 2.14 วิธีการสลับตำแหน่งของตัวรับและตัวส่ง	21
รูปที่ 2.15 คุณสมบัติของแสงที่ย่านการตรวจจับของเซนเซอร์	21
รูปที่ 2.16 การติดตั้งเซนเซอร์บนชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว	22
รูปที่ 2.17 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ	23
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ	25
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ	26
รูปที่ 2.20 แสดงรายละเอียดหรือข้อมูลด้านเทคนิค	27
รูปที่ 2.21 เซนเซอร์เหนี่ยวนำแบบทำงานทางเดียว	29
รูปที่ 2.22 การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงกระบอกแบบฝัง	30
รูปที่ 2.23 การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงกระบอกแบบไม่ฝัง	30
รูปที่ 2.24 การติดตั้งเซนเซอร์แบบไม่ฝังในลักษณะต่างๆ	31
รูปที่ 2.25 การติดตั้งแบบฝัง	32
รูปที่ 2.26 เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.27 เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ PNP	34
รูปที่ 2.28 เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ NPN	34
รูปที่ 2.29 เซนเซอร์มีสายสัญญาณ 4 เส้น	34
รูปที่ 2.30 ต่อเซนเซอร์อนุกรมกัน	36
รูปที่ 2.31 การต่อเซนเซอร์ขนานกัน	37
รูปที่ 2.32 สเตรนเกจรูปแบบต่างๆ	39
รูปที่ 2.33 ตัวอย่างสเตรนเกจสารกึ่งตัวนำ	43
รูปที่ 2.34 โหลดเซลล์แบบลิ้งค์	45
รูปที่ 2.35 โหลดเซลล์แบบคาน (Beam- Type Cell)	48
รูปที่ 2.36 โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Call)	50
รูปที่ 2.37 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน (Shear-Web-Type Load Call)	53
รูปที่ 2.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	56
รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน RTD	58
รูปที่ 2.40 การต่อใช้งาน RTD	60
รูปที่ 2.41 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่างๆ	61
รูปที่ 2.42 กราฟแสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับ RTD	62
รูปที่ 2.43 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์	63
รูปที่ 2.44 ตัวอย่างเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่างๆ	64
รูปที่ 2.45 ลวดโลหะต่างชนิดกันมาต่อปลายเข้าด้วยกัน	65
รูปที่ 2.46 จุดต่ออุณหภูมิที่ต่างกัน	65
รูปที่ 2.47 การต่อลวดโลหะที่ต่างชนิดกัน	66
รูปที่ 2.48 การต่อแท่งโลหะที่จุดต่ออุณหภูมิต่างๆ	67
รูปที่ 2.49 ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิล	68
รูปที่ 2.50 การต่อเส้นลวด 3 เส้นในวงจรของเทอร์โมคัปเปิล	69
รูปที่ 2.51 การสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีก 2 เส้น	70
รูปที่ 2.52 การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามและจุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.53 การขยายกล่องแยกอุณหภูมิโดยรวมอุณหภูมิอ้างอิงเข้าด้วยกัน	72
รูปที่ 2.54 หลักการของชุด IC ที่นำมาใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล	72
รูปที่ 2.55 ระบบสายบิด	73
รูปที่ 2.56 อิเล็กตรอนเลื่อนระดับพลังงาน	75
รูปที่ 2.57 โครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยแสง	76
รูปที่ 2.58 โครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่งของโฟโต้รีซีสเตอร์	76
รูปที่ 2.59 กราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความเข้มของแสง	77
รูปที่ 2.60 การต่อใช้งานและคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอด	78
รูปที่ 2.61 โครงสร้างและการประยุกต์ใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์	79
รูปที่ 2.62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมขา C และ E	79
รูปที่ 2.63 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์	80
รูปที่ 2.64 โครงสร้างและหลักการทำงาน	81
รูปที่ 3.1 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง	82
รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	83
รูปที่ 3.3 แสดงแผงด้านหน้าของชุดแหล่งจ่ายแรงดัน	84
รูปที่ 3.4 วงจรขยาย	84
รูปที่ 3.5 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรขยาย	85
รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อขาไอซีของวงจรนับ	85
รูปที่ 3.7 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรนับ	86
รูปที่ 3.8 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ชดเชยอุณหภูมิ	87
รูปที่ 3.9 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรบริดจ์สมดุลย์	88
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการจัดขาใช้งานตัวไมโครคอนโทรลเลอร์	91
รูปที่ 3.11 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรขับมอเตอร์	91
รูปที่ 3.12 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง Proximity Test Bed	92
รูปที่ 3.13 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง Strain and Stress Test Bed	94
รูปที่ 3.14 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง Temperature Sensing Test Bed	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.1 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Reed Switch	97
รูปที่ 4.2 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Inductive Proximity Detector	98
รูปที่ 4.3 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Capacitive Proximity Detector	100
รูปที่ 4.4 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Optical Transmissive	101
รูปที่ 4.5 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Photo Resistor	103
รูปที่ 4.6 การต่อแผงทดลองการทำงานของ RTD	104
รูปที่ 4.7 การต่อแผงทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์	105
รูปที่ 4.8 การต่อแผงทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	107
รูปที่ 4.9 การต่อแผงทดลองการทำงานของโหลดเซลล์	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

การวัดมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากการวัดสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของสิ่งต่างๆ มนุษย์จึงนำวิธีการวัดมาเพื่อดัดแปลงหรือพยายามควบคุมธรรมชาติให้เอื้ออำนวยต่อชีวิตความเป็นอยู่ รวมถึงกระบวนการควบคุมการผลิต สิ่งเหล่านี้ต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดทั้งด้านคุณภาพ ปริมาณ และความปลอดภัย ผลที่ได้จากการวัดนำมาจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมก็ทำนองเดียวกัน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบหรือวัดค่าเพื่อได้มาซึ่งความรู้ และเพื่อการควบคุมพฤติกรรมของกระบวนการนั้นๆ ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด หากเราคิดจะเปรียบเทียบขั้นตอนรวมทั้งความยากง่ายแล้ว กระบวนการตรวจสอบหรือวัดค่าทางอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้ง่ายกว่าทางสังคมมากนัก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากค่าพารามิเตอร์หรือค่าตัวแปรต่างๆ ที่ค่อนข้างตายตัวนั่นเอง

ดังที่ทราบในข้างต้นแล้วว่า การวัดนั้นเป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขาและวัตถุประสงค์ของการวัดนั้นก็เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ และเพื่อการควบคุม นอกจากนั้นระบบการวัดทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน และส่วนที่มีความสำคัญและเป็นส่วนสำคัญของการวัดก็คือ เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์มีความสำคัญอย่างมากในการวัด ทางคณะจึงได้สร้างชุดปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ขึ้นมาเนื่องจากยังมีอยู่น้อยมากในทางปัจจุบัน

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

โดยชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณเป็นชุดทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรานสดิวเซอร์ แบบต่างๆในการตรวจจับวัตถุซึ่งทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีด้วยกัน 10 แบบ ชุดปฏิบัติการทดลองนี้สามารถใช้ได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยมีขอบเขตของการใช้งานดังนี้

1) สามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นแม่เหล็กและวัตถุอื่นๆได้

2) สามารถตรวจนับโลหะและวัตถุที่เป็นแม่เหล็กได้

3) สามารถนำสัญญาณที่ได้จาก Photo-Transmissive ไปใช้วัดอัตราเร็วของการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สามารถวัดอุณหภูมิได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล, RTD, และเทอร์มิสเตอร์

5) สามารถวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 เป็นส่วนเริ่มต้นเนื้อหา ซึ่งกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ วัตถุประสงค์ของโครงงาน

บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นหรือทฤษฎีและหลักการ เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่จำเป็นในการสร้างชุดปฏิบัติการทดลอง ซึ่งมีโครงสร้างและหลักการทำงานของ Magnteic Reed Switch , Capacitive Proximity Sensor , Optical Transducer , Inductive Proximity Sensor , Thermocouple , RTD , Strain Gauge และ Load Cell

บทที่ 3 การออกแบบ เป็นวิธีการออกแบบวงจร จัดโครงสร้างการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของวงจรเป็นผลสำเร็จ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ประกอบด้วยการใช้ Reed Switch ในการนับวัตถุที่เป็นแม่เหล็ก การใช้ Capacitance Proximity Sensor ตรวจจับวัตถุที่ทำให้เกิดค่า Capacity เมื่อผ่านเข้าใกล้ Probe การใช้ Inductive Proximity Sensorในการตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะ การใช้ Optical Sensor และ Optical Reflective Sensor ในการตรวจจับวัตถุ การใช้สัญญาณที่ได้จาก Photo-Transmissive นำไปใช้วัดอัตราเร็วของการผลิต การใช้เทอร์โมคัปเปิล, RTD, เทอร์มิสเตอร์ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และการใช้ Load Cell กับ Strain Gauge ในการวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง เป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เทียบกับทฤษฎี และเสนอแนวทางแก้ไขหรือพัฒนาโครงงานในโอกาสต่อไป

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายละเอียดของอุปกรณ์

ภาคผนวก ง ใบงานการทดลอง

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

การวัด (Measurement) เป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา การวัดเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ในความเป็นจริงแล้วได้มีการพัฒนารูปแบบและหลักการของการวัดขึ้นมาจากอดีตพร้อมๆ กับวิวัฒนาการของมนุษย์ที่มีการค้นพบหรือศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ เพื่อดัดแปลงหรือพยายามควบคุมธรรมชาติให้เอื้ออำนวยต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ รวมไปถึงกระบวนการควบคุมการผลิตในงานอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้ไม่ว่าจะมองในด้านคุณภาพ ปริมาณหรือความสะดวกปลอดภัย จะต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดและถูกต้องเป็นพื้นฐาน ไม่ว่ากระบวนการที่ได้กล่าวถึงนั้นจะง่ายหรือสลับซับซ้อนเพียงใดก็ตาม

รูปที่ 2.1 หลักการวัด

รูปแบบของการวัดในทางปฏิบัติ ก็คือ การเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มาตรฐานจะเป็นตัวแทนทางกายภาพของหน่วย (unit) ของการวัดที่ใช้ ซึ่งก็คือ ขนาดมาตรฐานของคุณสมบัติโดยทั่วไป ในทางวิทยาศาสตร์กายภาพ ค่าตัวเลขที่ให้แก่ค่าที่วัดจะแสดงอัตราส่วนของขนาดของคุณสมบัติต่อมาตรฐานซึ่งถือว่าเป็นหนึ่ง ดังนั้นมาตรฐานจะต้องมีคุณสมบัติเดียวกับคุณสมบัติของวัตถุที่จะวัด นอกจากนั้นมาตรฐานนี้จะต้องเป็นที่ยอมรับโดยผู้คนในวงการเดียวกันอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัตถุประสงค์ของการวัด

2.2.1 การวัดได้มาซึ่งความรู้

จะเห็นได้ว่าความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวกับโลกทางกายภาพนั้น เราได้รับโดยผ่านขั้นตอนทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งความรู้ดังกล่าวจะแทนคุณสมบัติของวัตถุหรือเหตุการณ์ที่ถูกวัด หากมีการรวบรวม จัดลำดับหมวดหมู่ก็สามารถที่จะทำการทดลองครั้งแล้วครั้งเล่าได้ ความเข้าใจและมั่นใจจะทำให้เกิดผลที่แสดงในรูปกฎทางวิทยาศาสตร์

2.2.2 การวัดเพื่อการควบคุม

การวัดจะช่วยในการควบคุมระบบ ซึ่งในกรณีนี้จะต้องทำการวัดในลักษณะซ้ำๆ หรือบ่อยครั้งโดยอัตโนมัติ ระบบดังกล่าวได้เพิ่มจำนวนของการใช้ ตั้งแต่การควบคุมกระบวนการและควบคุมการผลิตเครื่องจักรกลจนถึงเครื่องใช้ภายในบ้าน เราจะพบว่าในสายงานการผลิตสมัยใหม่จะใช้อุปกรณ์การวัดจำนวนมากขึ้นตามลำดับ

รูปที่ 2.2 การวัดเพื่อการควบคุม

2.3 ชนิด และวิธีการวัด

แม้ว่าการวัดทุกชนิดจะกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าที่ต้องการวัดกับมาตรฐานที่ได้มีการนิยามไว้ แต่มันก็มีหลายวิธีของการกระทำการเปรียบเทียบดังกล่าว เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่ต้องการจากการวัด นอกจากนั้นการที่เรานิยามคำที่เกี่ยวกับวิธีทำการวัดจะช่วยให้เราสามารถสื่อสารแนวคิดโดยใช้คำที่ยอมรับกันโดยทั่วไป การวัดสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดด้วยกัน คือ

2.3.1 การวัดโดยตรง (Direct Comparison)

เป็นวิธีที่เราจะได้ค่าจากการวัดโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณเพิ่มเติมเพียงแต่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เราต้องการวัดกับปริมาณอื่นที่เราต้องการวัดจริง ค่าที่ต้องการก็จะได้ทันทีในรูปข้อมูลดิบ

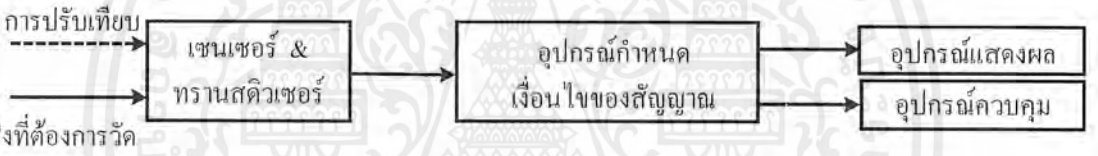
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวัดโดยทางอ้อม (Indirect Comparison)

เป็นวิธีที่เราจะได้ค่าโดยผ่านตัวกลางที่มีหน่วยที่แตกต่างกันออกไปซึ่งเชื่อมต่อกันในบางลักษณะ ตัวอย่างเช่น วิธีการวัดระยะโดยใช้เวลาการเคลื่อนที่ของพัลซ์เป็นวิธีทางอ้อม เพราะว่าจะต้องมีการคำนวณหาระยะทางจากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลซ์กับการเคลื่อนที่ มีข้อสังเกตอยู่อย่างหนึ่งของการวัดทางอ้อมก็คือ ผลลัพธ์สุดท้ายนั้นได้มาจากผลของการวัดโดยตรงหลายๆ ปริมาณ

2.4 ระบบการวัดโดยทั่วไป

ระบบการวัดโดยทั่วไปส่วนใหญ่ในงานอุตสาหกรรมจะใช้วิธีการวัดทางอ้อมและมักจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ใช้ในการตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน ส่วนที่ใช้กำหนดเงื่อนไขของสัญญาณ และส่วนที่ใช้ในการนำเสนอ



รูปที่ 2.3 ระบบการวัดโดยทั่วไป

2.4.1 อุปกรณ์ตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงาน (Sensor and Transducer)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนแรกของระบบการวัดโดยทั่วไป โดยจะมีหน้าที่วัดคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของสิ่งที่ต้องการตรวจวัด แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของพลังงานหรือสัญญาณที่ส่วนต่อไป ซึ่งในที่นี้ก็คือส่วนที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณสามารถตอบสนองได้ ตัวอย่างเช่น เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งถือว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน (อุณหภูมิ) ให้อยู่ในรูปของพลังงานหรือสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เป็นต้น

2.4.2 อุปกรณ์กำหนดเงื่อนไขสัญญาณ (Signal Conditioner)

ข้อมูลหรือสัญญาณจากส่วนแรกจะถูกส่งมาที่นี่ เพื่อทำการปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณก่อนที่จะส่งไปให้กับส่วนที่สามต่อไป การปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณเป็นอย่างไร เช่น หากสัญญาณที่มาจากส่วนแรกมีสัญญาณรบกวน หรือ สัญญาณมีระดับต่ำเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป ในส่วนนี้ก็จะกำจัดสัญญาณรบกวน หรือหากสัญญาณมีระดับต่ำในส่วนนี้ก็จะทำการขยายสัญญาณให้มีระดับเพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

2.5 เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ (Sensor and Transducer)

ดังที่เราทราบในขั้นต้นแล้วว่า การวัดนั้นเป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา และวัตถุประสงค์ของการวัดนั้นก็เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ และเพื่อการควบคุม นอกจากนั้นระบบการวัดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน และส่วนที่มีความสำคัญและเป็นส่วนแรกของระบบการวัดก็คือ เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ หรือวัดค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณ หากถามว่าเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์มีความแตกต่างกันหรือไม่ คำว่า เซนเซอร์ จะใช้กับอุปกรณ์ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับค่าหรือปริมาณของสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยอาจเป็นสัญญาณชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ส่วนคำว่า ทรานสดิวเซอร์ ก็คือ เซนเซอร์ อย่างไรก็ตาม ในระบบการวัดอาจใช้ทรานสดิวเซอร์เพิ่มเข้าไปในเซนเซอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการ และหากมีคนกล่าวว่า เซนเซอร์ ก็คือ ทรานสดิวเซอร์ ก็ถือว่าไม่ผิด

2.6 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้กันอยู่ในงานอุตสาหกรรมมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน แต่ทั้งนี้เราอาจอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้ในการแบ่ง

2.6.1 แบ่งตามความต้องการพลังงาน

แอคตีฟทรานสดิวเซอร์ (Active Transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถปลดปล่อยพลังงานได้ เช่น เทอร์โมคัปเปิล เมื่อได้รับพลังงานความร้อน จะสามารถปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้เอง เป็นต้น

2.6.2 แบ่งตามลักษณะและกลไกการทำงาน

1) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Variable Resistance Transducer)

2) การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ (Variable Inductance Transducer)

3) การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Variable Capacitance Transducer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 แบ่งตามการใช้งานว่าจะอยู่ตรงส่วนใดของระบบ

1) อินพุตทรานสดิวเซอร์ เป็นทรานสดิวเซอร์ที่เป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งทางด้านอินพุทของระบบเครื่องมือ เช่น ไมโครโฟน ถือได้ว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ของระบบเครื่องขยายเสียง เป็นต้น

2) เอาต์พุต ทรานสดิวเซอร์ เป็นทรานสดิวเซอร์ที่เป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งทางด้านเอาต์พุตของระบบเครื่องมือ เช่น ลำโพง ถือได้ว่าเป็นเอาต์พุตทรานสดิวเซอร์ของระบบเครื่องขยายเสียง เป็นต้น

2.6.4 แบ่งตามชนิดของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

1) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

2) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล

3) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

4) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

2.6.5 แบ่งตามชนิดของสัญญาณที่ใช้

1) แอนะล็อกทรานสดิวเซอร์ (Analog Transducer) ทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณเป็นแบบต่อเนื่อง

2) ไบนารี่ทรานสดิวเซอร์ (Binary Transducer) ทรานสดิวเซอร์แบบนี้จะให้สัญญาณเป็นแบบ เปิด-ปิด (On-Off) หรือทำงานกับไม่ทำงาน

3) ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์ (Digital Transducer) ทรานสดิวเซอร์ประเภทนี้จะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบดิจิตอล

2.7 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถทำงานโดยที่ไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก โดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และสัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ ขนาดและรูปร่าง นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณไปให้ตัวนับนับจำนวนของชิ้นงานได้ รวมไปถึงการนำไปใช้งานด้านความปลอดภัยไม่ว่าจะเป็นในโรงงานหรือตามที่พักอาศัย อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้กับงานควบคุมเสียเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์มาใช้ในกระบวนการผลิตแทนสวิตช์แบบกลไกแล้วจะไม่ทำให้เกิดการสึกหรอ หรือแตกหักใด ๆ ทั้งสิ้น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บรรจุอยู่ภายในจะถูกซีลไว้อย่างสมบูรณ์ จึงสามารถป้องกันฝุ่นละออง และความชื้นได้ รวมทั้งรับประกันความเชื่อถือได้ จึงเป็นเหตุผลให้ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก

คุณสมบัติ	สวิตช์แบบกลไก	พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์
1. การชำรุดเนื่องจากการถูกสัมผัสหรือถูกกระแทก	มีเพราะจะต้องสัมผัสหรือกระแทกให้สวิตช์ทำงาน	ไม่มีเพราะทำงานโดยไม่ต้องสัมผัส
2. ความทนทาน	มีอายุการใช้งานจำกัดเนื่องจากเป็นกลไก หน้าสัมผัสมีการสึกหรอได้ในขณะทำงานหรืออาจเกิดการอาร์คขึ้นได้เป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอได้เร็วขึ้น	ความทนทานสูงเนื่อง จากภายในนั้นมีส่วนเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ และไม่เกิดการอาร์คในขณะที่ทำงาน
3. ความเร็วในการทำงาน	ต่ำเนื่องจากเป็นกลไก	สูงเนื่องจากเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
4. ความเที่ยงตรง	การเลื่อนของจุดทำงาน (สัญญาณ)มีค่าปานกลางและเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ตำแหน่งในการทำงานมีความเที่ยงตรงไม่ดีนัก	การเลื่อนของจุดทำงาน (สัญญาณ)มีค่าต่ำทำให้ตำแหน่งที่ตรวจจับมีความเที่ยงตรงสูง
5. กระแสโหลด	เป็นหน้าสัมผัสออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสโหลดสูง ๆ ได้	เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงจ่ายกระแสโหลดได้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก

คุณสมบัติ	สวิตช์แบบกลไก	พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์
6. การติดตั้ง	จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมชิ้นส่วนกลไกให้มากดตัวสวิทช์เช่น กระเดื่อง ลูกเบี้ยว เป็นต้น	ทำได้ง่ายไม่จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมใดๆ เพียงแต่ติดตั้งเข้าไปตรงจุดที่ต้องการตรวจจับเท่านั้น
7.ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม	เนื่องจากมีกลไกที่จะต้องถ่ายทอดแรงไปกดหน้าสัมผัสจึงจำเป็นต้องมีซีลด์ยางที่แกนซึ่งมีโอกาสเสื่อมสภาพและเป็นเหตุให้ฝุ่นละอองหรือน้ำเข้าไปภายในได้	ดีมาก เพราะถูกซีลด์ด้วยตัวเรือนพลาสติก หรือโลหะไว้ทั้งหมดและส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในถูกห่อหุ้มไว้ด้วย Epoxy Resin จึงสามารถป้องกันฝุ่นละอองและน้ำได้

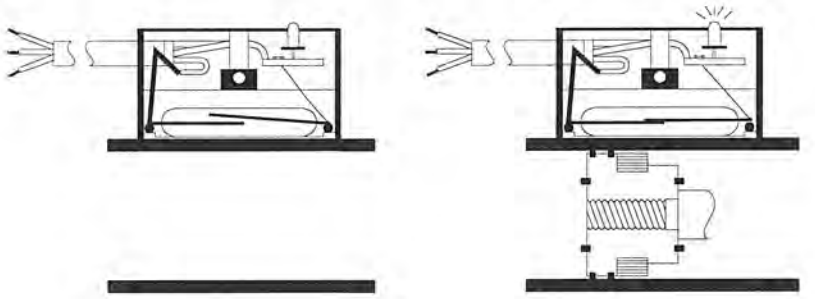
2.7.1 รีดสวิตช์ (Reed Switch)

รีดสวิตช์ คือ แม็กเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วจะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open : NO) สวิตช์นี้จะทำงานโดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งอาจจะเป็นแม่เหล็กถาวร หรือแม่เหล็กไฟฟ้าได้ แผ่นหน้าสัมผัสจะทำพมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก (Ferromagnetic) เช่น เหล็กผสมนิเกิลและติดตั้งภายในกระเปราะแก้วเล็กๆ ที่มีการเติมก๊าซเฉื่อยเพื่อทำให้การตัดต่อการส่งกระแสไฟฟ้าทำงานได้เร็วยิ่งขึ้น

1) โครงสร้างและหลักการทำงาน

ในรูปที่ 2.4 ต่อไปนี้จะแสดงตัวอย่างการทำงานของรีดสวิตช์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ทำงานหรือกระบอกสูบของระบบนิวเมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



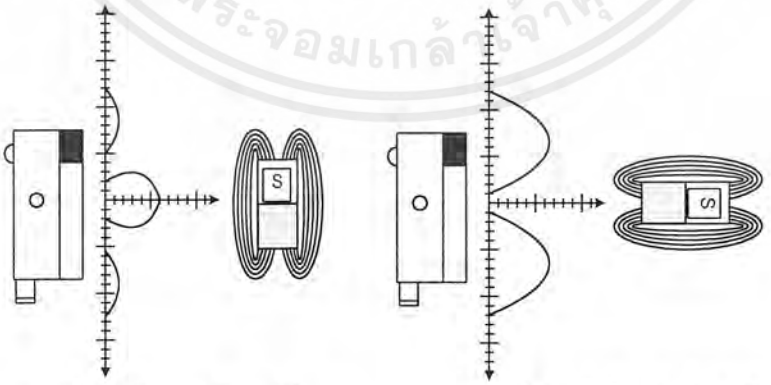
(ก)
สภาวะปกติของรีดสวิตช์

(ข)
รีดสวิตช์เมื่อมีแม่เหล็กตัดผ่าน

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการทำงานของรีดสวิทช์

หลักการทำงานในรูปที่ 2.4 (ก) เป็นการแสดงสภาวะปกติของรีดสวิตช์ในขณะที่ลูกสูบที่มีแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่ ไม่ได้เคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ ในสภาวะเช่นนี้หน้าสัมผัสจะเปิดวงจร แต่เมื่อไรก็ตามที่ลูกสูบเคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4 (ข) สนามแม่เหล็กจากลูกสูบก็จะส่งผลให้หน้าสัมผัสต่อถึงกันหรือปิดวงจร

ทิศทางของสนามแม่เหล็กในอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติกส์หรือไฮดรอลิกส์นั้น ได้มีการออกแบบและถูกกำหนดให้มีผลต่อการทำงานสูงสุดไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว แต่หากเราคิดจะออกแบบและนำไปติดตั้งร่วมกับสนามแม่เหล็กจากแหล่งอื่น จะต้องระมัดระวังและพิจารณาให้ดี เนื่องจากจะมีผลต่อการทำงานของรีดสวิตช์ ผลของทิศทางสนามแม่เหล็กต่อการทำงานของรีดสวิตช์แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ต่อไปนี้



(ก) ขั้วแม่เหล็กขนานกับรีดสวิตช์

(ข) ขั้วแม่เหล็กตั้งฉากกับรีดสวิตช์

รูปที่ 2.5 ผลของทิศทางสนามแม่เหล็กต่อรีดสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.5 (ก) จะเป็นการแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวรซึ่งขั้วแม่เหล็กจะขนานกับรีดสวิตช์ โอกาสที่หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์จะต่อถึงกันได้มากที่สุดก็คือตำแหน่งตรงกลาง ส่วนรูปที่ 2.5 (ข) การเคลื่อนที่ของขั้วแม่เหล็กจะตั้งฉากกับตัวรีดสวิตช์ การติดตั้งในลักษณะเช่นนี้จะส่งผลให้หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์ต่อถึงกันถึงสองครั้ง

2.7.2 เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor and Transducer)

ในงานบางลักษณะที่เราต้องการการตรวจจับชิ้นงานที่มีระยะห่างจากตัวเซนเซอร์ค่อนข้างมากซึ่งอาจมีค่าเป็นเมตร ถามว่าแล้วเราควรเลือกใช้เซนเซอร์ชนิดไหนกันดี แนวทางหนึ่งก็คือการใช้เซนเซอร์ชนิดใช้แสงในการตรวจจับ หากถามต่อว่าแล้วเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำและชนิดเก็บประจุไม่สามารถใช้ได้หรือ คำตอบก็คือ เซนเซอร์ทั้งสองแบบที่ผ่านมามีระยะการตรวจจับสูงสุดประมาณ 50 มิลลิเมตร หรือ อย่างมากไม่เกิน 100 มิลลิเมตร หากต้องการระยะการตรวจจับที่มากกว่านี้ก็จะทำให้มีขนาดที่ใหญ่ เพื่อทำให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลกระทบกับระบบอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

นอกจากมีคุณลักษณะเด่นในเรื่องของระยะการตรวจจับที่ไกลแล้ว เซนเซอร์แบบนี้ยังมีข้อดีอยู่อีกหลายประการด้วยกัน คือ สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท ความเร็วในการตรวจจับสูง มีรุ่นที่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจจับวัตถุในบริเวณที่เซนเซอร์แบบทั่วไปไม่สามารถใช้งานได้ เช่น บริเวณที่มีเนื้อที่ติดตั้งจำกัด บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กๆ เป็นต้น

1) ชนิดของตัวรับแสงและตัวส่งแสง

เซนเซอร์ชนิดใช้แสงประกอบด้วยส่วนที่สำคัญอยู่ด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ ตัวส่งแสงและตัวรับแสง ลักษณะของการตรวจจับนั้นเกิดขึ้นจากการที่ลำแสงจากตัวส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือ ถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ และมีผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงสภาวะของสัญญาณเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งาน

1.1) ตัวรับแสง จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โฟโต้ไดโอด (Photo Diode) หรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงและแปลงสัญญาณทางไฟฟ้า

1.2) ตัวกำเนิดแสง มีหลายประเภทด้วยกัน

1.2.1) หลอดแบบมีไส้ เป็นเซนเซอร์รุ่นเก่าที่เคยใช้กัน มีข้อเสียตรงที่ขาดง่ายและมีขนาดใหญ่ใช้พลังมาก ซึ่งปัจจุบันก็ยังพอมีใช้อยู่โดยใช้กับงานเฉพาะอย่าง

1.2.2) หลอด LED (Light Emitting Diode) เป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดแสงที่มีขนาดเล็ก มีความทนทานสูง นิยมใช้กันมากในเซนเซอร์รุ่นใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3) LED แบบอินฟาเรด (Infrared) จะเป็นแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 660 นาโนเมตร ให้ความเข้มของแสงปานกลาง เซนเซอร์ที่ใช้แสงสีแดงจะสามารถตรวจจับเครื่องหมาย (mark) สีดำ น้ำเงิน บนพื้นสีขาวได้

1.2.4) LED แบบแสงสีเขียว เป็นแสงที่ตาคนมองเห็น มีความยาวคลื่นประมาณ 560 นาโนเมตร ให้ความเข้มของแสงต่ำ เซนเซอร์ที่ใช้แสงสีเขียวจะมีระยะการตรวจจับใกล้ แต่สามารถตรวจจับเครื่องหมาย (mark) สีแดงบนพื้นสีขาวได้

1.2.5) LED แบบแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์ (Light Amplification by Stimulated of Radiation) เป็นแสงที่ถูกขยายออกโดยการกระตุ้นให้แผ่ออก โดยปกติแล้วแสงที่เราเห็นโดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นแสงจากหลอดไฟ แสงจากดวงอาทิตย์ จะแผ่แสงที่กระจายออกมารอบจุดกำเนิด มีหลายความถี่หรือหลายสี แต่เลเซอร์จะมีคุณสมบัติให้แสงสีเดียว มีสีเดียวและเฟสเดียว ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้เลเซอร์เป็นแสงที่มีความเข้มสูง แสงเลเซอร์จะมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.01 มิลลิเมตร หรืออยู่ในความถี่ช่วงประมาณ 10 เฮิรตซ์ ปกติทั่วไปแล้วจะเป็นลำแสงสีแดง

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง

แหล่งกำเนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
1. แสงอินฟราเรด	ระยะการตรวจจับไกล ต้านทานต่อแสงรบกวน	ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้
2. แสงสีแดง	ระยะตรวจจับอยู่ระหว่างแสงอินฟราเรดกับแสงสีเขียว ตามองเห็น สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีดำ น้ำเงินหรือเขียวบนพื้นสีขาวได้	แสงจากภายนอกรบกวนได้ง่าย เครื่องหมายสีแดงบนพื้นขาวไม่สามารถตรวจจับได้ ระยะการตรวจจับสั้นที่สุด
3. แสงสีเขียว	สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีแดงบนพื้นขาวได้ ตามองเห็น	ไม่สามารถตรวจจับเครื่องหมายสีเขียวบนพื้นสีขาวได้
4. แสงสีขาว	แยกแยะความแตกต่างของสีได้เกือบทุกสี	แสงจากภายนอกรบกวนการทำงานได้ง่าย อายุการใช้งานของหลอดไฟมีขีดจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตามชนิดของแสง

แหล่งกำเนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
5. แสงเลเซอร์	ระยะการตรวจจับไกลสุด สามารถตรวจจับชิ้นงานหรือวัตถุชิ้นเล็กๆ	เป็นอันตรายต่อสายตา

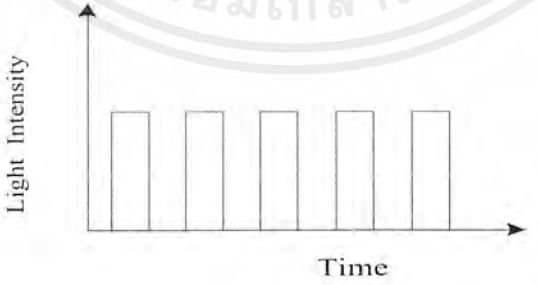
2) เทคนิคในการรับส่งแสง

2.1) วิธีการรับส่งแสงแบบทั่วไป

รูปที่ 2.6 วิธีการรับส่งแสงแบบทั่วไป

เป็นวิธีที่ตัวส่งแสงส่งลำแสงเป็นไปอย่างต่อเนื่องเป็นปกติเหมือนกับแสงตามธรรมชาติ วิธีนี้ ระยะการตรวจจับจะไม่ไกลนัดและอาจถูกแสงจากภายนอกรบกวนได้ง่าย

2.2) วิธีการรับส่งแบบพัลซ์



รูปที่ 2.7 วิธีการรับส่งแบบพัลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวิธีที่ตัวส่งแสง จะส่งลำแสงเป็นจังหวะสม่ำเสมอด้วยอัตราความถี่ที่สูง และที่ส่วนตัวรับก็จะถูกออกแบบมาสำหรับรับสัญญาณนี้โดยเฉพาะ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ระยะการตรวจจับทำได้ไกลและต้านทานแสงรบกวนจากภายนอก

3) โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสง

โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสงโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญแสดงดังรูปที่ 2.8 กล่าวคือ ประกอบด้วย

① วงจรกำเนิดคลื่นหรือพัลซ์ความถี่

② แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ LED

③ อุปกรณ์รับแสง โดยส่วนมากจะใช้โฟโต้ไดโอดหรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์

④ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Preamplifier)

⑤ อุปกรณ์เปรียบเทียบสัญญาณจากแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ และสัญญาณจากตัวรับแสง

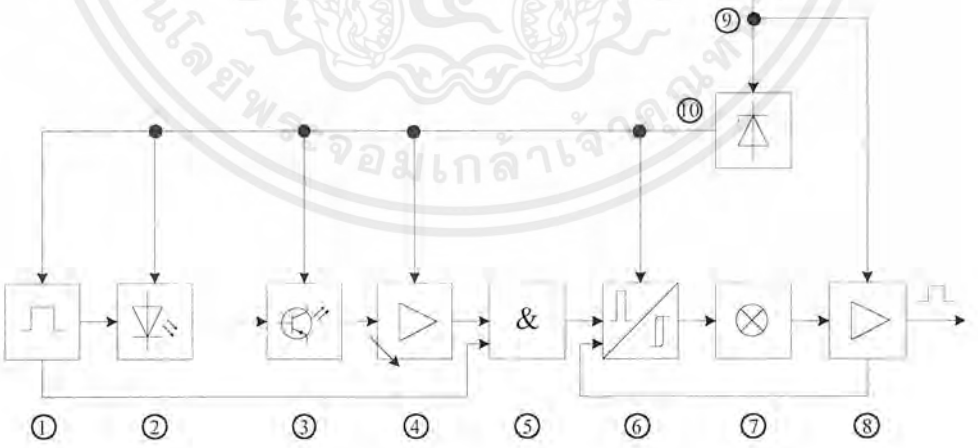
⑥ อุปกรณ์แยกแยะสัญญาณให้ทำงานหรือไม่ทำงาน

⑦ หลอดไฟแสดงการทำงาน

⑧ เอาต์พุตและวงจรป้องกัน

⑨ แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอก

⑩ วงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่

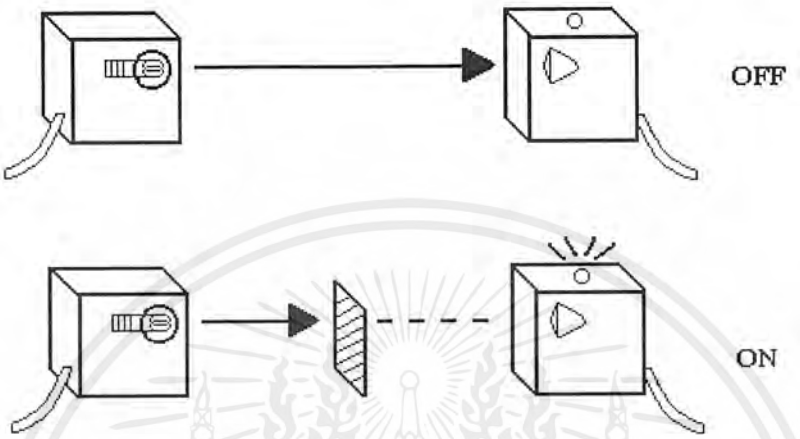


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด

เซนเซอร์แบบนี้จะแยกตัวส่งและตัวรับสัญญาณออกจากกัน และให้วัตถุที่ต้องการตรวจจับเคลื่อนที่ผ่านระหว่างกลาง



รูปที่ 2.9 เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด

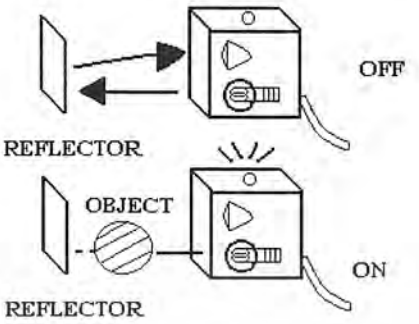
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระยะการตรวจจับไกล 2. ความแม่นยำค่อนข้างสูง 3. สีและผิวของวัตถุไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน	1. ใช้เนื้อที่ในการติดตั้ง 2. ต้องจ่ายไฟทั้งตัวส่งและตัวรับ 3. ไม่สามารถตรวจจับวัตถุโปร่งแสงได้

5) เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ (Retro – Reflective Sensor)

เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับนี้จะรวมตัวส่งแสงและตัวรับแสงไว้ภายในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) สะท้อนแสงกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



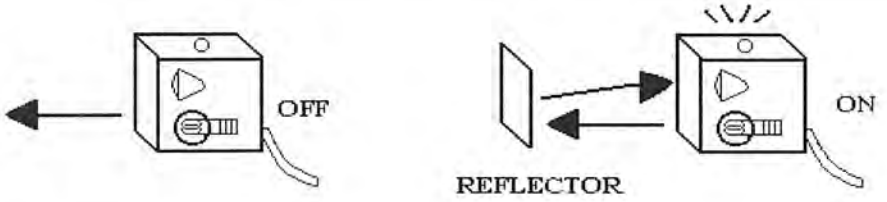
รูปที่ 2.10 เซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบลำแสงสะท้อนกลับ

ข้อดี	ข้อเสีย
1.ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบลำแสงผ่านตลอด 2.ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการเดินสายไฟต่ำกว่า 3. การปรับแต่งทำได้ง่าย	1. จำเป็นต้องใช้แผ่นสะท้อนแสงแบบพิเศษ 2. ความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าแบบลำแสงผ่านตลอด 3. อาจมีปัญหาในกรณีตรวจจับวัตถุที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงใกล้เคียงกับแผ่นสะท้อนแสง

6) เซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง (Diffuse – Reflective Sensor)

เซนเซอร์ประเภทนี้ ตัวส่งและตัวรับสัญญาณแสงจะอยู่ภายในตัวเดียวกัน แล้วใช้วัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นตัวสะท้อนแสงกลับ



รูปที่ 2.11 เซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย 2. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเดินสายต่ำ 3. ไม่ต้องมีการปรับแต่งทิศทางลำแสง	1. ระยะการตรวจจับน้อยกว่าทั้งสองแบบที่ผ่านมา 2. ความสามารถในการตรวจจับขึ้นอยู่กับสีและสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงที่ผิวของวัตถุหรือชิ้นงาน

ดังที่ทราบว่าเซนเซอร์แบบนี้ ระยะทางที่ใช้ในการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวชิ้นงาน และตารางต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างของค่าคูณตัวประกอบ (factor) ของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรงในการตรวจจับชิ้นงานประเภทต่างๆ

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของค่าคูณตัวประกอบ (Factor) ของเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรงในการตรวจจับชิ้นงานประเภทต่างๆ

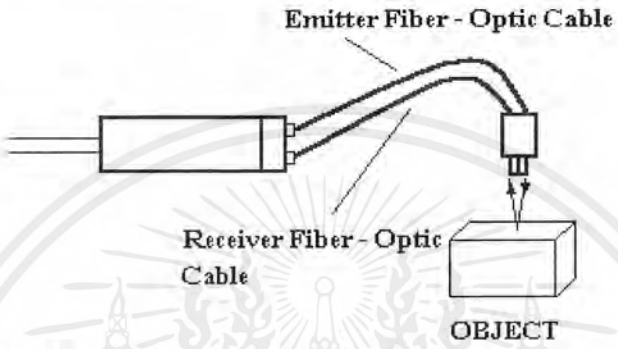
ชนิดของวัตถุ	ค่าคูณตัวประกอบ (factor)
กระดาษแข็งสีขาว	1.0
โพลีสธีลีนสีขาว	1.0…1.2
โลหะที่สะท้อนแสงได้	1.2…2.0
ไม้หยาบ	0.4…0.8
ฝ้ายสีขาว	0.5…0.8
กระดาษแข็งสีดำ	0.1
กระดาษแข็งสีดำสะท้อนแสงได้	0.3
PVC สีเทา	0.4…0.8

ในงานบางประเภทไม่สามารถที่จะติดตั้งตัวเซนเซอร์ได้ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากไม่มีพื้นที่ในการติดตั้ง หรือพื้นที่เหล่านั้นอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ตัวเซนเซอร์ หรือเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำและแน่นอนในการตรวจจับค่อนข้างสูง สายไฟเบอร์ออพติกหรือสายใยแก้ว จึงได้ถูกเอามาใช้เพื่อสนองตอบความต้องการดังกล่าว การทำงานของสายใยแก้วอยู่บนพื้นฐานของผลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37172

ของการสะท้อนแสงภายในสาย โดยในที่นี้ส่วนมากจะใช้เป็นสายเดี่ยว ซึ่งภายนอกจะหุ้มด้วยวัสดุจำพวกพลาสติก หรือโลหะที่ทนอุณหภูมิสูง และสามารถโค้งงอได้

การนำสายใยแก้วมาใช้กับเซนเซอร์ชนิดใช้แสงนี้ ส่วนมากจะใช้กับเซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอดและแบบตรวจจับโดยตรง ซึ่งทั้งสองแบบนี้อาจอยู่ในรูปแบบทรงกระบอกหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมก็ได้ รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการใช้สายใยแก้วร่วมกับเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการใช้สายใยแก้วร่วมกับเซนเซอร์แบบตรวจจับโดยตรง

2.7.3 หลักการเลือกใช้เซนเซอร์ชนิดใช้แสงให้เหมาะสมกับงาน

เนื่องจากเซนเซอร์ชนิดใช้แสงนั้นมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละแบบก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปดังกล่าวข้างต้น ในการเลือกใช้งานเซนเซอร์ประเภทนี้นั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบรายละเอียดคุณสมบัติบางประการของตัวเซนเซอร์ รวมทั้งลักษณะของงานที่จะนำไปใช้งาน เพื่อที่จะสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมที่สุด หัวข้อที่สำคัญที่ควรพิจารณามีดังต่อไปนี้

1) ขนาดรูปร่างของวัตถุที่จะตรวจจับ

1.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ขนาดเล็กสุดของวัตถุที่เซนเซอร์ประเภทนี้จะสามารถตรวจจับได้นั้น ประมาณว่ามีค่าใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ที่ติดอยู่ที่ด้านหน้าของตัวเซนเซอร์นั้นแต่ถ้าจำเป็นต้องการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า ก็อาจจะต้องใช้หน้ากากบังลำแสงเข้าช่วย แต่ก็จะมีผลทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง

1.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ให้ระมัดระวังเกี่ยวกับย่านการตรวจจับของเซนเซอร์แบบนี้ เพราะมันจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของวัตถุที่ถูกตรวจจับ ถ้าเลื่อนเซนเซอร์เข้าไปใกล้ตัววัตถุมากขึ้นหรือปับความไวของเซนเซอร์ให้มากขึ้น จะทำให้เซนเซอร์นั้นสามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กลงได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่ให้เซนเซอร์ตรวจจับฉากหลังของวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ชนิดของวัตถุที่จะตรวจจับ

2.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ใช้กับวัตถุได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุโปร่งใส เช่น พลาสติกใส กระจกใส ขวดใส เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงวัตถุที่มีลักษณะเป็นโครงแสงลอดผ่านได้

2.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุนั้นดูดซับแสงได้ เช่น วัตถุวีดำด้าน หรือวัตถุที่มีผิวขรุขระ หรือวางเป็นมุมเอียง เพราะบางที่อาจจะทำให้ลำแสงจากตัวส่งส่งไปกระทบกับวัตถุแล้วแสงจะหักเหไม่สะท้อนกลับมายังตัวรับแสงได้

3) สีและผิวของวัตถุที่จะตรวจจับ

3.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด ความสามารถในการตรวจจับไม่ขึ้นอยู่กับสีหรือผิวของวัตถุที่จะตรวจจับ

3.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ถ้าวัตถุที่ตรวจจับนั้นสะท้อนแสงได้ไม่ดี มีสีดำด้านหรือโปร่งใสมาก จะต้องพิจารณาให้ดีในการเลือกใช้เซนเซอร์แบบนี้ เพราะวัตถุดังกล่าวจะทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง หรืออาจตรวจจับไม่ได้เลยก็เป็นได้

4) ตำแหน่งที่จะตรวจจับ

4.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด วัตถุจะถูกตรวจจับได้ ไม่ว่าจะตัดผ่านลำแสงในทิศทางหรือตำแหน่งระยะใดๆ ระหว่างตัวรับและตัวส่งแสง

4.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง ให้ระมัดระวังในการเลือกใช้เซนเซอร์แบบนี้ เพราะพื้นที่ในการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งระยะที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสลำแสง

5) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตรวจจับ

ปัจจุบันนี้เซนเซอร์ชนิดใช้แสงส่วนใหญ่จะมีการตอบสนองได้เร็วถึง 1/1000 วินาที หรือ 1 มิลลิวินาที ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่เร็วได้ แต่เพื่อความแน่ใจควรใช้สูตรต่อไปนี้เพื่อการคำนวณหาความเร็วสูงสุดของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เมื่อจะใช้งานกับเซนเซอร์รุ่นนั้นๆ

$$v \leq \frac{w-2d}{T} \qquad (2.1)$$

โดยที่ v = ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m / s)

W = ขนาดความกว้างของวัตถุ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = เวลาในการตอบสนองของเซนเซอร์รุ่นที่พิจารณา (s)

A = ขนาดความกว้างต่ำสุดของวัตถุที่เซนเซอร์รุ่นที่พิจารณาสามารถจับได้ (m)

และในกรณีที่ต่อเซนเซอร์เข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PLC) หากสัญญาณที่เซนเซอร์ตรวจจับได้นั้นสั้นเกินไปจนอุปกรณ์ควบคุมรับไม่ทัน ให้ใช้เซนเซอร์ที่มีตัวตั้งเวลารวมอยู่ด้วย (Timer แบบ off delay)

6) สภาพแวดล้อมในบริเวณที่จะใช้งาน

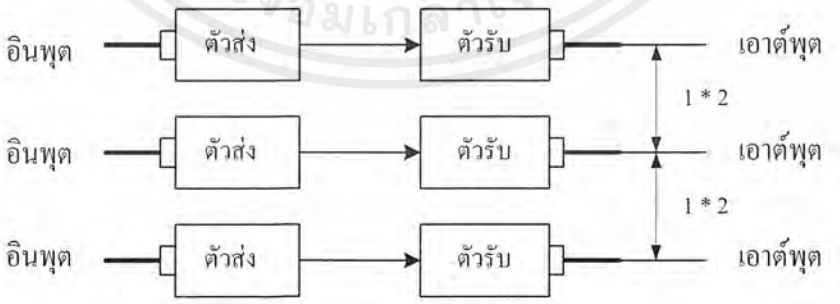
ควรเอาใจใส่ในการเลือกเซนเซอร์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละออง น้ำ และโดยทั่วไปแล้วเซนเซอร์แต่ละรุ่นจะมีมาตราฐานในการป้องกันอยู่ เช่น IP67 ป้องกันการสัมผัสชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในอย่างสมบูรณ์ ป้องกันฝุ่นละออง และป้องกันน้ำเข้าได้ เป็นต้น

7) ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ที่อยู่ใกล้กัน

ยิ่งระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ชนิดใช้แสงมีน้อยเพียงใด โอกาสที่จะเกิดการรบกวนกันก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

7.1) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบลำแสงผ่านตลอด

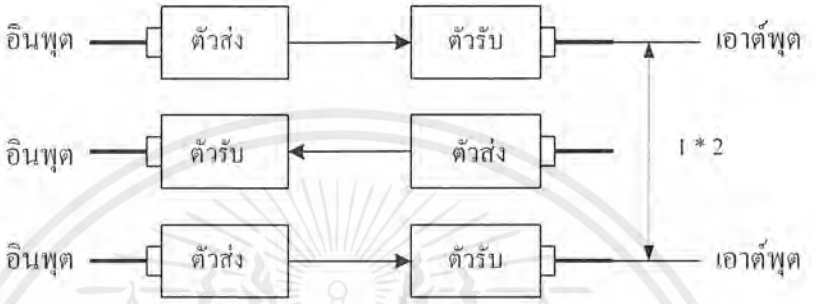
ดังที่ทราบกันแล้วว่าเซนเซอร์แบบนี้นั้น ลำแสงจะวิ่งผ่านเลนส์จากตัวส่งมายังตัวรับ ซึ่งอย่างไรก็ตามลำแสงจากตัวส่งไม่ได้ถูกบีบเป็นลำตรงเข้ามายังตัวรับเสียเลยทีเดียว (ยกเว้นหากเป็นแสงเลเซอร์) แต่มันจะกระจายออกเป็นมุมที่กว้าง ผลที่ตามมาก็คือ หากมีเซนเซอร์ตัวอื่น ๆ ติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวก็อาจจะทำให้เกิดการรบกวนกันได้ เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าวจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์แต่ละชุดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 การทำงานของตัวรับและตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

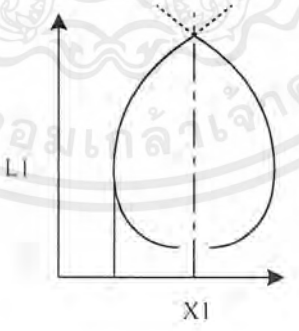
โดยที่ I = รัศมีลำแสงของเซนเซอร์แต่ละรุ่นซึ่งสามารถดูได้จากช่องกราฟในคู่มือของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ นอกจากนั้น อาจใช้วิธีการสลับตำแหน่งของตัวรับและตัวส่งของเซนเซอร์ชุดที่อยู่ติดกันก็ได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วิธีการสลับตำแหน่งของตัวรับและตัวส่ง

7.2) กรณีเซนเซอร์เป็นแบบตรวจจับโดยตรง

จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแสงของย่านการตรวจจับของเซนเซอร์รุ่นนั้นๆ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการรบกวนกันเองได้ ในการพิจารณาคุณสมบัติของแสงจะต้องพิจารณาจากระยะ X1 และ L1 โดยจะต้องกำหนดให้เซนเซอร์ที่อยู่ใกล้กันต้องมีระยะห่างอย่างน้อย 2 เท่าของระยะ X1



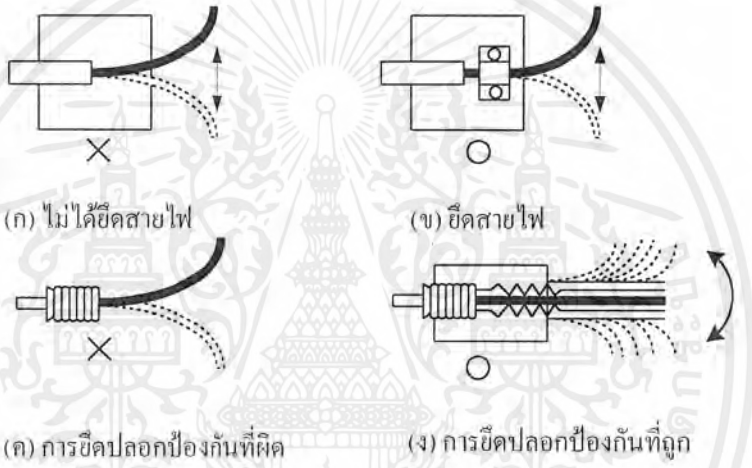
รูปที่ 2.15 คุณสมบัติของแสงของย่านการตรวจจับของเซนเซอร์

เมื่อ X1 คือ รัศมีของลำแสงตัดกันซึ่งดูได้จากช่องกราฟในคู่มือเซนเซอร์แต่ละรุ่น และในกรณีที่ต้องติดตั้งเซนเซอร์ประเภทนี้หันหน้าเข้าหากัน ต้องพยายามให้แนวลำแสงของแต่ละตัวตัดกันเป็นมุม อย่าให้อยู่ในแนวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) การติดตั้งเซนเซอร์บนชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว

โดยทั่วไปแล้วจะไม่นิยมติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้แสงบนชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว แต่ถ้าหากมีความจำเป็นจริง ๆ จะต้องพิจารณาดูให้แน่ใจว่าเมื่อติดตั้งไปแล้ว จะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้างของเซนเซอร์ ตลอดจนสายไฟที่เป็นส่วนสำคัญ โดยส่วนมากสายไฟของตัวเซนเซอร์มักจะชำรุดตรงบริเวณที่สายไฟต่อเข้ากับตัวเซนเซอร์ ดังนั้นจึงควรมีการยึดสายไฟบริเวณดังกล่าวไม่ให้มีการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการใช้สายใยแก้วที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยๆ ควรจะใส่ปลอกป้องกันไว้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง



รูปที่ 2.16 การติดตั้งเซนเซอร์บนชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว

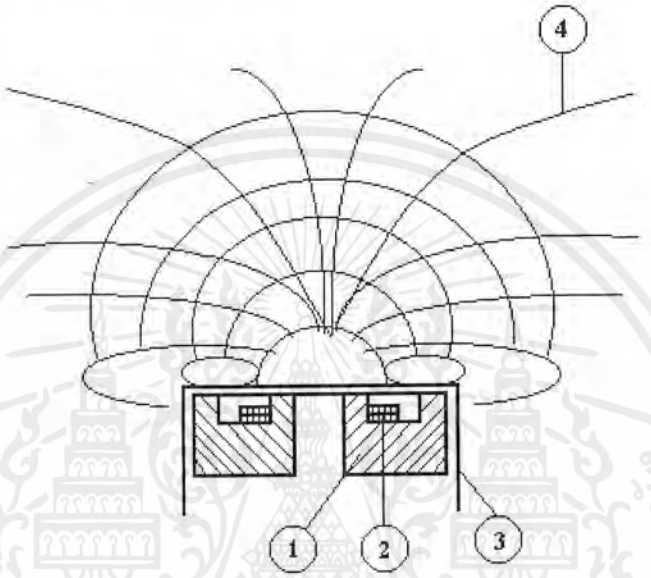
2.7.4 เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Proximity Sensor and Transducer)

เมื่อเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ ตรวจจับได้เฉพาะชิ้นงานหรือวัตถุที่เป็นโลหะแล้ว หากชิ้นงานที่ต้องการตรวจจับไม่ได้เป็นชิ้นงานจะทำอย่างไร พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ยังมีอีกหลายชนิดและชนิดหนึ่งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการได้ก็คือ เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ หรือทางภาษาด้านเทคนิค เรียกว่า "คาปาซิตีฟเซนเซอร์" เป็นเซนเซอร์ที่วัดการเปลี่ยนแปลงค่าของความจุ (Capacitance)

เซนเซอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างทั้งภายในและภายนอกคล้ายกับเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ซึ่งเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุชนิดหนึ่งเข้ามาใกล้สนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคาปาซิเตอร์ สนามไฟฟ้าที่บริเวณส่วนตรวจจับของตัวเซนเซอร์กำเนิดขึ้นโดยใช้ Active Electrode และ Earth Electrode นอกจากนี้ยังมีอิเล็กโทรดชดเชย ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันและชดเชยผลของความชื้น ที่ด้านหน้าของบริเวณตรวจจับถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณนี้ ค่าความจุของวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็จะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.17 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ

เซนเซอร์ชนิดนี้จะทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าที่บริเวณด้านหน้าของส่วนตรวจจับจะคล้ายคลึงกับเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ กล่าวคือ เมื่อมีวัตถุใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณสนามไฟฟ้านี้ก็จะทำให้ค่าความจุของวงจรกำเนิดคลื่นความถี่มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าระยะทางระหว่างตัวกลางหรือวัตถุกับด้านหน้าของบริเวณของส่วนตรวจจับ ค่าคงที่ของตัวกลาง (Dielectric Constant) รวมทั้งขนาดและตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ สามารถตรวจจับวัตถุตัวกลางได้ทั้งที่เป็นโลหะและไม่ได้เป็นโลหะ สภาวะการทำงาน (On) และไม่ทำงาน (Off) นั้นเกิดจากการแยกแยะสภาวะของวงจรกำเนิดคลื่นว่ามีการออสซิลเลทหรือไม่ ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำนั่นเอง ระยะการตรวจจับมาตรฐานของเซนเซอร์แบบนี้หาได้โดยการใช้แผ่นดลหะเป็นวัตถุกลาง เมื่อตัวกลางเป็นวัตถุชนิดอื่น ระยะทางก็จะแตกต่างกันออกไป โดยคูณด้วยค่าตัวประกอบ (Factor) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่าตัวประกอบ (Factor) ของวัตถุตัวกลางชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุ	ค่าตัวประกอบ
โลหะทุกชนิด	1.0
น้ำ	1.0
แก้ว	0.3 ... 0.5
พลาสติก	0.3 ... 0.6
กระดาษแข็ง	0.3 ... 0.5
ไม้ (ขึ้นอยู่กับความชื้น)	0.2 ... 0.7
น้ำมัน	0.1 ... 0.3

ตัวปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ของเซนเซอร์ชนิดเก็บประจุมีไว้สำหรับการปรับแต่งความไวของระยะการตรวจจับ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการปรับแต่งความไวของระยะการตรวจจับ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการปรับแต่งไม่ให้วัตถุบางอย่างที่ขวางกั้นอยู่หน้าวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ตัวอย่างเช่น การตรวจจับน้ำที่อยู่ในภาชนะบรรจุ ตรวจจับขวดในกล่องกระดาษ เป็นต้น

2.7.5 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ หรือเรียกกันทางภาษาเทคนิคว่า อินดั๊กตีฟเซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงานหรือวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำจะประกอบไปด้วย

① วงจรกำเนิดคลื่นความถี่สูง (Oscillator)

② วงจรหรือส่วนของการประมวลผล (Evaluation)

③ วงจรแยกแยะสภาวะและสั่งงาน (Trigger)

④ หลอดไฟแสดงสภาวะในการทำงาน (Status Display)

⑤ วงจรขยายสัญญาณและป้องกันด้านเอาต์พุต (Output With Protective Circuit)

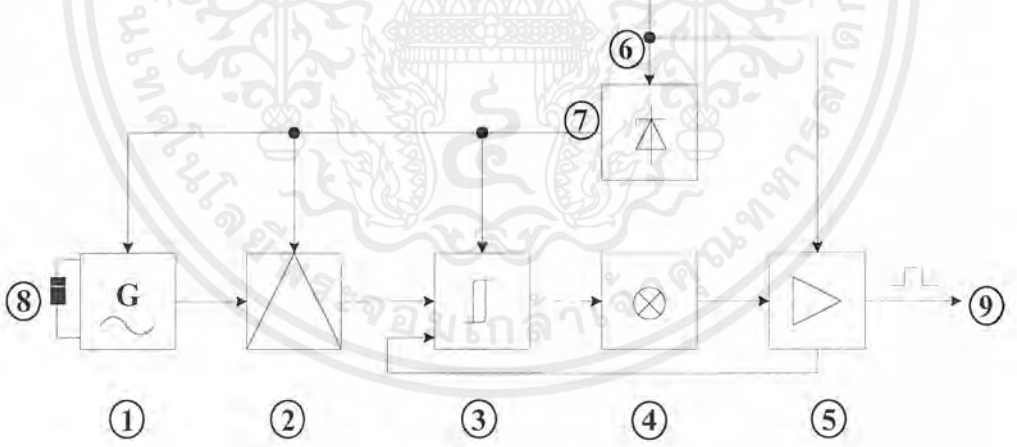
⑥ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก (External Voltage)

⑦ วงจรรักษาระดับแรงดันภายในให้คงที่(Iinternal Constant Voltage Supply)

⑧ ส่วนหรือพื้นที่ ที่ใช้ในการตรวจจับซึ่งมีขดลวดอยู่ภายใน (Active Zone ; coil)

⑨ เอาต์พุตของเซนเซอร์ ซึ่งในที่นี้จะเป็นแบบทำงานหรือไม่ทำงาน (On-Off)

จากส่วนประกอบหลักดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 ต่อไปนี้



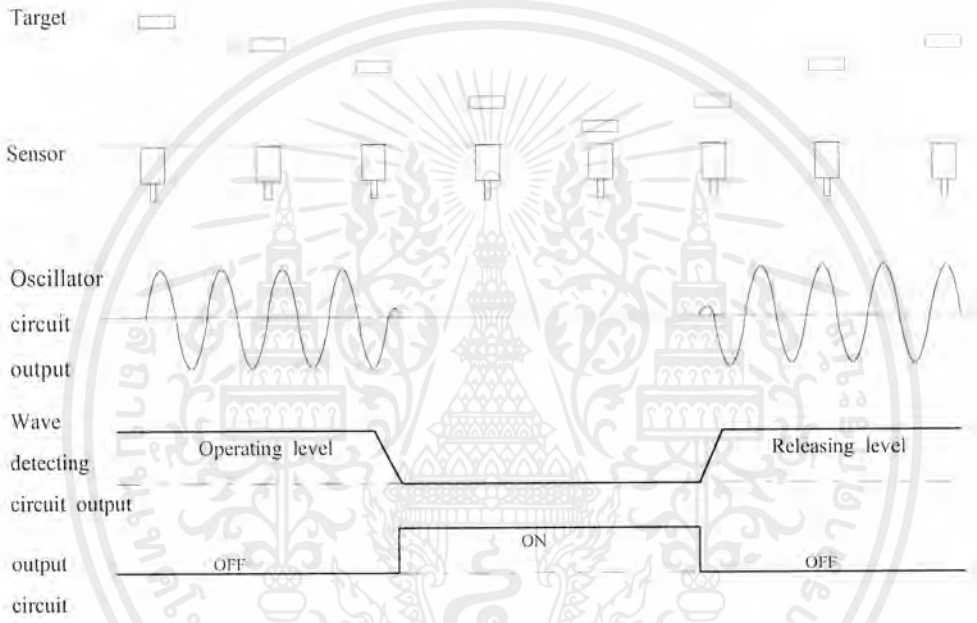
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

2) หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ที่บริเวณส่วนหัว (8) ของเซนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กซึ่งมีความถี่สูงโดยได้รับสัญญาณมาจากวงจรกำเนิดความถี่ (1) ในกรณีที่มีวัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กสามารถส่งไปถึง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการหน่วงออสซิลเลท (Oscillate) ลดลงไป หรือบางทีหรืออาจถึงจุดที่หยุดการออสซิลเลท และเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็เริ่มต้นการออสซิลเลทใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวในข้างต้นจะถูกแยกแยะได้ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายใน (2) และ (3) หลังจากนั้นก็จะส่งผลไปยังเอาต์พุต (5) ว่าให้ทำงานหรือไม่ทำงาน โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเอาต์พุตว่าเป็นแบบไหน เพื่อเป็นการลดจินตนาการในการทำความเข้าใจการทำงานของเซนเซอร์ชนิดนี้จึงขอแสดงด้วยรูปที่ 2.19 ต่อไปนี้



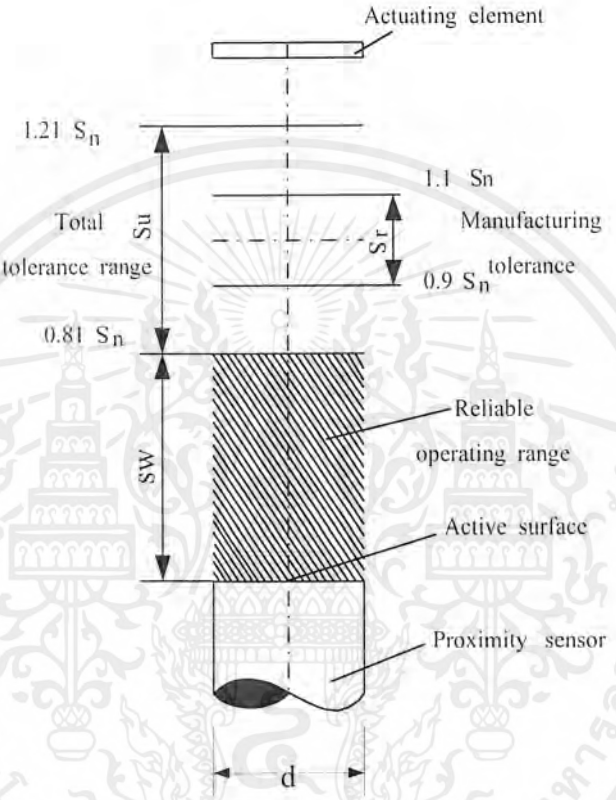
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ระยะการตรวจจับมาตรฐานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำนั้น หาได้โดยการใช้แผ่นเหล็กอ่อน (Mild Steel) เป็นวัตถุนำ หากวัตถุที่ต้องการตรวจจับเป็นโลหะชนิดอื่น เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง เป็นต้น ระยะการตรวจจับก็จะน้อยลง ทั้งนี้เราสามารถหาค่าได้โดยการเอาค่าตัวประกอบ (Factor) คูณด้วยระยะตรวจจับมาตรฐาน ตัวอย่าง เช่น ค่าประกอบของเหล็กอ่อน เท่ากับ 1 ทองเหลืองเท่ากับ 0.35 ทองแดงเท่ากับ 0.25 ดังนั้น หากระยะตรวจจับมาตรฐาน (เหล็กอ่อน) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร เมื่อนำไปตรวจจับทองเหลืองก็จะเป็น 3.5 และทองแดงเป็น 2.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) รายละเอียดทางเทคนิค

ในการนำเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำมาใช้งานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบรายละเอียดหรือข้อมูลทางด้านเทคนิค ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์และประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด



รูปที่ 2.20 แสดงรายละเอียดหรือข้อมูลทางด้านเทคนิค

3.1) ระยะการตรวจจับ (Sensing Range) คือ ระยะที่เมื่อแผ่นโลหะที่ตรวจจับเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ด้านหน้าของส่วนตรวจจับ แล้วมีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เปิด (On) เป็น ปิด (Off) หรือ ปิด (Off) เป็น เปิด (On)

3.2) ระยะการตรวจจับทั่วไป (Norminal Sensing Range ; Sn) คือ ค่าระยะตามคุณลักษณะโดยไม่คำนึงถึงผลคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตในแต่ละตัว หรือผลกระทบจากภายนอก เช่น อุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) ระยะการตรวจจับจริง (Real Sensing Range ; Sr) คือ ระยะการตรวจจับ ซึ่งวัดค่าได้โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าตามค่าที่กำหนด อุณหภูมิที่กำหนด ระยะการตรวจจับจริงจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 90 % ถึง 110% ของระยะการตรวจจับแบบทั่วไป

3.4) ระยะการตรวจจับที่ใช้ประโยชน์ (Useful Sensing Range ; Su) ระยะการตรวจจับซึ่งวัดตามวิธีการที่หนึ่งตามมาตรฐาน EN 50010 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ และอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ระยะการตรวจจับที่ใช้ประโยชน์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 81% ถึง 121% ของระยะการตรวจจับแบบทั่วไป

3.5) ระยะตรวจจับในการทำงาน (Working Sensing Range ; Sw) ระยะใดๆ ที่เซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ที่อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

3.6) ค่าในการชดเชยระยะที่ถูกต้อง ระยะทั่วไปของเซนเซอร์สามารถจะตรวจจับวัตถุได้ตามระยะตรวจจับที่กำหนดได้โดยใช้แผ่นเหล็กอ่อน (Mild Steel) เป็นวัตถุสำหรับถูกตรวจจับ การใช้แผ่นโลหะที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดไว้ จะทำให้ระยะตรวจจับสั้นลง เช่นเดียวกัน ถ้าแผ่นโลหะนั้นมีผิวโค้งก็จะมีผลต่อการตรวจจับด้วย และระยะการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงไปถ้าวัตถุที่ตรวจจับเป็นประเภทอื่น ซึ่งจะทราบได้ว่าระยะการตรวจจับเป็นเท่าไร โดยคูณระยะมาตรฐานด้วยค่าตัวประกอบ ที่ระบุไว้ในตารางคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละรุ่น การใช้เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำตรวจจับโลหะแผ่นบางๆ นั้นอาจทำให้ระยะการตรวจจับน้อยกว่าระยะการตรวจจับของแผ่นโลหะที่หนาปกติได้ กรณีนี้ขึ้นอยู่กับว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถทะลุผ่านแผ่นโลหะบางนั้นไปได้มากน้อยเพียงใด ถ้าความหนาแน่นของแผ่นโลหะนั้นน้อยกว่าระยะที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถทะลุผ่านไปได้จะทำให้แผ่นโลหะนั้นเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะนั้นมีค่าต่ำลงกว่าค่าปกติ จากผลที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ระยะการตรวจจับลดลงไปด้วย

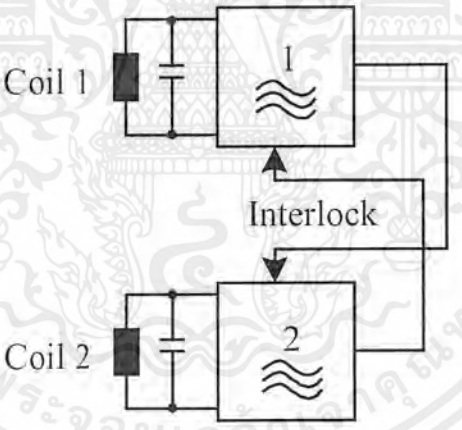
3.7) ค่าความสามารถในการกระทำซ้ำ (Repeatability) สามารถหาได้โดย การวัดสองครั้งติดต่อกันภายใต้สภาวะที่กำหนดของ EURO – NORM ซึ่งเซนเซอร์ที่ดีควรมีระยะที่เท่ากัน

3.8) ค่าฮีสเตอร์รีซีสของการตัดต่อ (Switching Hysteresis) คือระยะความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์ทำงาน (On) กับหยุดทำงาน (Off) เมื่อนำแผ่นโลหะที่ใช้ทดสอบเลื่อนเข้ามาใกล้หรือถอยห่างออกจากบริเวณด้านหน้าส่วนตรวจจับของเซนเซอร์ ค่าฮีสเตอร์รีซีสจะมีค่าเป็นเปอร์เซนต์ของระยะตรวจจับจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เซนเซอร์เหนี่ยวนำแบบทำงานทางเดียว

ทำไมจึงมีเซนเซอร์ทำงานทางเดียว เหตุผลก็คือ ในงานบางลักษณะเราไม่สามารถที่จะใช้เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำธรรมดาได้ ตัวอย่างเช่น เราต้องการนับการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบของกระบอกสูบอันหนึ่ง (โดยที่เราต้องการนับเพียงทิศทางการเคลื่อนที่ออกทิศทางเดียวเท่านั้น) หากถามต่อว่า แล้วเซนเซอร์แบบนี้แตกต่างจากแบบธรรมดาอย่างไร ก็พอจะตอบได้ว่า เซนเซอร์แบบนี้จะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด วงจรสร้างความถี่ทั้งสองตัวจะถูกล็อกซึ่งกันและกันทางอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้มีเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่ทำงานในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีวัตถุซึ่งเป็นโลหะผ่านพื้นที่ตรวจจับทำให้การลดทอนสัญญาณของชุดกำเนิดความถี่เรียงตามลำดับ ความแตกต่างของกระแสในขดลวดจะเป็นตัวกำเนิดทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ



รูปที่ 2.21 เซนเซอร์เหนี่ยวนำแบบทำงานทางเดียว

2.7.6 การติดตั้งเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำและชนิดเก็บประจุ

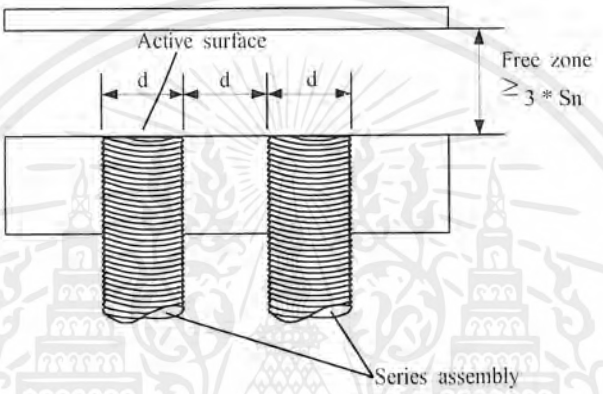
การติดตั้งเซนเซอร์ประเภทดังกล่าวโดยทั่วไปสามารถกระทำได้ 2 ลักษณะด้วยกันคือ แบบฝัง (Flush) และแบบติดตั้งภายนอกหรือไม่ฝัง (Non-Flush) โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและการเลือกรุ่น การติดตั้งแบบฝัง (Flush) สามารถติดตั้งให้ตัวเซนเซอร์ทั้งตัวฝังอยู่ในโลหะโดยผิวด้านหน้าหรือบริเวณตรวจจับอยู่เสมอกันกับแผ่นผิวโลหะที่ยึดติดอยู่ได้ การติดตั้งแบบไม่ฝัง (Non-flush) การติดตั้งแบบนี้สามารถฝังตัวเซนเซอร์กับโลหะได้เฉพาะส่วนกลางจนถึงส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัง และจะต้องให้บริเวณรอบๆ ส่วนตรวจจับมีพื้นที่ว่างเว้นไว้ส่วนหนึ่ง และเมื่อจะติดตั้งเซนเซอร์หลายๆ ตัวไว้ใกล้ๆ กันหรือติดตั้งตรงข้ามกันจะต้องคำนึงถึงระยะห่างของแต่ละตัวด้วย

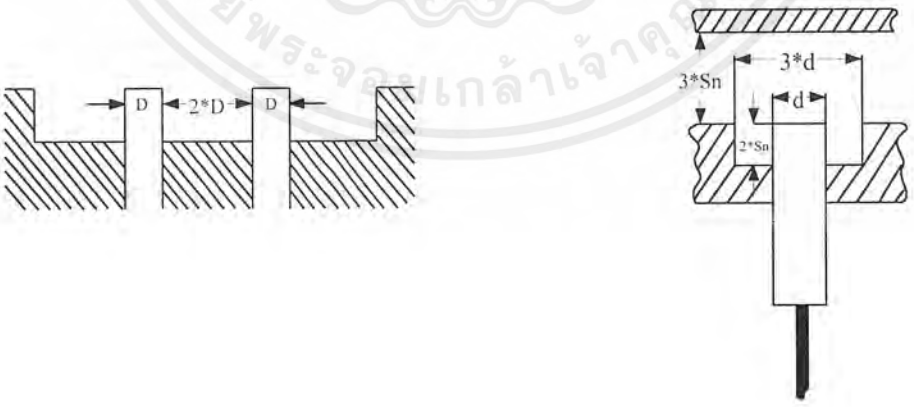
1) การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงกระบอก

1.1) การติดตั้งแบบฝัง (Flush) สามารถติดตั้งให้ด้านหน้าส่วนตรวจจับเสมอกับโลหะที่ยึดได้โดยด้านตรงข้ามของเซนเซอร์ไม่ควรมีโลหะอื่นอยู่ใกล้กว่า 3 เท่าของระยะตรวจจับ และในกรณีที่ติดตั้งเซนเซอร์หลายๆ ตัว ระยะห่างของแต่ละตัวควรมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงกระบอกแบบฝัง

1.2) การติดตั้งแบบไม่ฝัง (Non-Flush)



รูปที่ 2.23 การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงกระบอกแบบไม่ฝัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์

2*Sn = ส่วนปลายของหัวตรวจจับจะต้องสูงจากโลหะเป็น 2 เท่าของระยะตรวจจับ

3*Sn = ส่วนปลายของหัวตรวจจับไม่ควรมีโลหะอื่นอยู่ใกล้กว่า 3 เท่าของระยะตรวจจับ

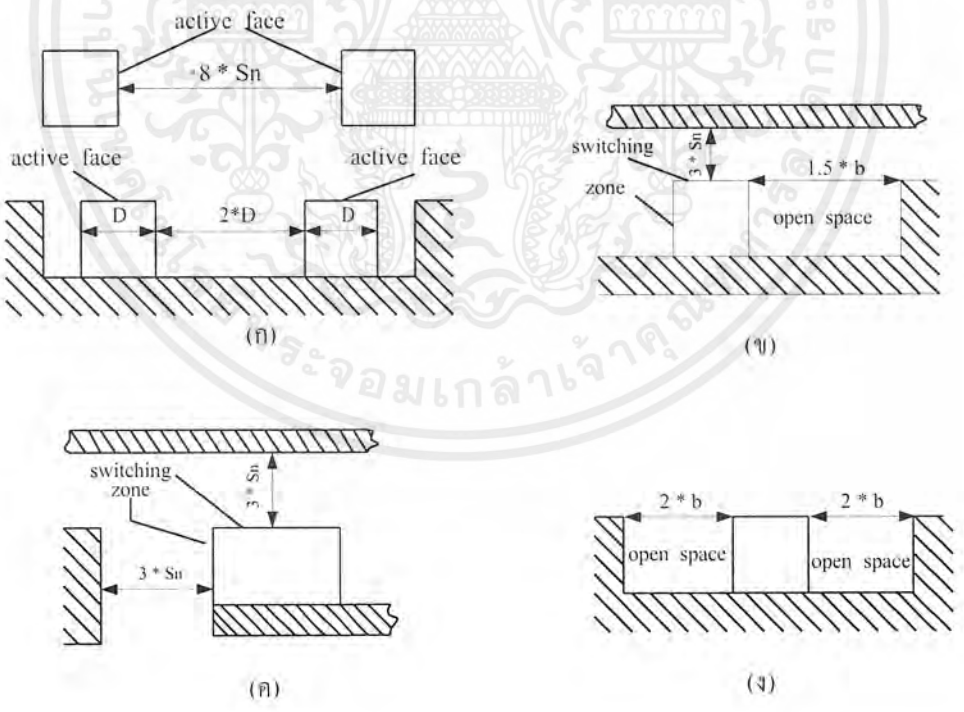
3*d = ระยะห่างทั้งสองด้านของเซนเซอร์ควรมีระยะมากกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์

2*d = การติดตั้งเซนเซอร์ 2 ตัวไว้ใกล้กันควรมีระยะห่างเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์

2) การติดตั้งเซนเซอร์รูปทรงสี่เหลี่ยม

เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน EURO (EN 50026) ในการติดตั้งยึดข้ากับโลหะทั้งในแบบฝัง และแบบไม่ฝัง จะต้องระมัดระวังในสิ่งต่อไปนี้

2.1) การติดตั้งแบบไม่ฝัง (Non-Flush)



รูปที่ 2.24 การติดตั้งเซนเซอร์แบบไม่ฝังในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งตรงข้ามกันต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 8 เท่าของระยะตรวจจับกรณีติดตั้งเซนเซอร์ในแนวเดียวกันต้องมีระยะห่างเป็น 2 เท่าของความกว้างของตัวเซนเซอร์

เมื่อกำหนดให้

b = ความกว้างของตัวเซนเซอร์

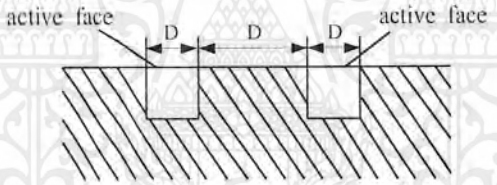
Sn = ระยะการตรวจจับของตัวเซนเซอร์

1.5 * b = ด้านข้างของตัวเซนเซอร์จะต้องมีระยะห่างจากวัตถุเป็น 1.5 เท่าของความกว้างของตัวเซนเซอร์

3 * Sn = ด้านบนและด้านตรงข้ามของตัวเซนเซอร์ไม่ควรมีโลหะอื่นอยู่ใกล้กว่า 3 เท่าของระยะการตรวจจับ

2 * b = หากมีวัตถุอยู่ทั้ง 2 ด้าน ควรมีระยะห่างเป็น 2 เท่าของความกว้างของตัวเซนเซอร์

2.2) การติดตั้งแบบฝัง (Flush)



รูปที่ 2.25 การติดตั้งแบบฝัง

การติดตั้งแบบฝัง (Flush) ในแนวเดียวกันต้องมีระยะห่างเป็น 1 เท่าของความกว้างของตัวเซนเซอร์

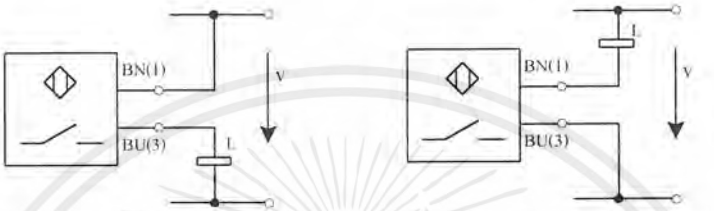
2.7.7 เซนเซอร์กับการต่อใช้งาน

ในการนำพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ประเภทต่างๆ ที่กล่าวในข้างต้นไปประยุกต์ใช้งานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกและพิจารณาในเรื่องของลักษณะงานที่จะนำไปใช้งาน ชนิดและระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งความสามารถในการจ่ายกระแสให้กับโหลดหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาต่อร่วมกับเซนเซอร์ ซึ่งในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะเซนเซอร์ที่ให้สัญญาณแบบทำงานหรือไม่ทำงาน (On-Off)

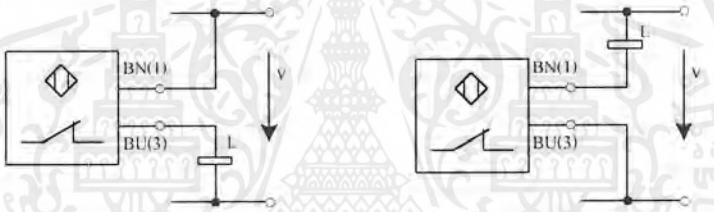
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น

เซนเซอร์แบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะตามสัญญาณไฟที่ใช้ คือแบบที่ใช้กับไฟกระแสตรงและแบบที่ใช้กับไฟกระแสสลับ นอกจากนี้ในแต่ละกลุ่มยังมีการแบ่งย่อยออกเป็นปกติทำงาน (NC) กับปกติไม่ทำงาน (NO) การต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับเซนเซอร์ประเภทนี้สามารถกระทำได้โดยการต่ออนุกรมเข้ากับสายเส้นใดเส้นหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.26



(ก) เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น ปกติเปิด



(ข) เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น ปกติปิด

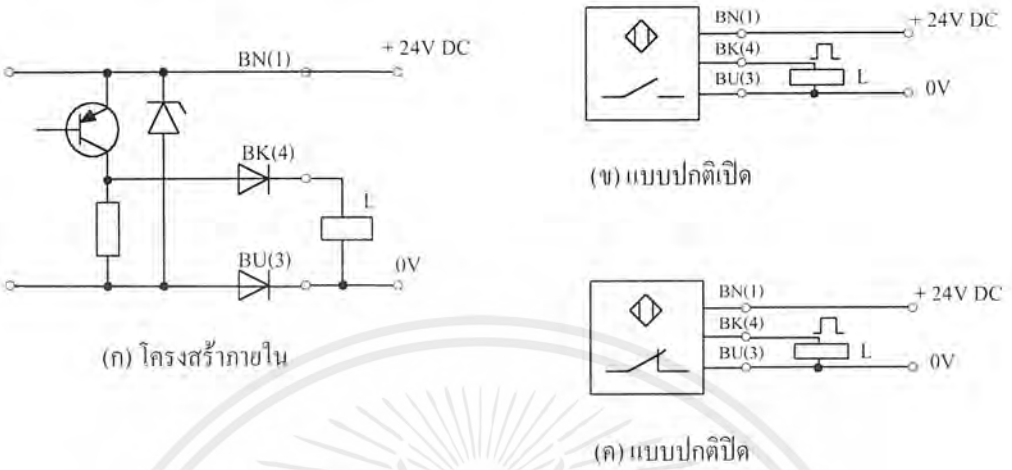
รูปที่ 2.26 เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 2 เส้น

2) เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 3 เส้น

เซนเซอร์แบบนี้ส่วนใหญ่ใช้กับไฟกระแสตรง มีทั้งแบบปกติทำงานและปกติไม่ทำงาน นอกจากนี้สายสัญญาณที่จะต่อเข้ากับโหลดหรืออุปกรณ์ต่างๆ ก็มีให้เลือกทั้งที่เป็นไฟบวกหรือไฟลบ เซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 3 เส้นโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ประเภทด้วยกันคือแบบ NPN และ PNP ซึ่งแบ่งตามชนิดของทรานซิสเตอร์ที่เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่อยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

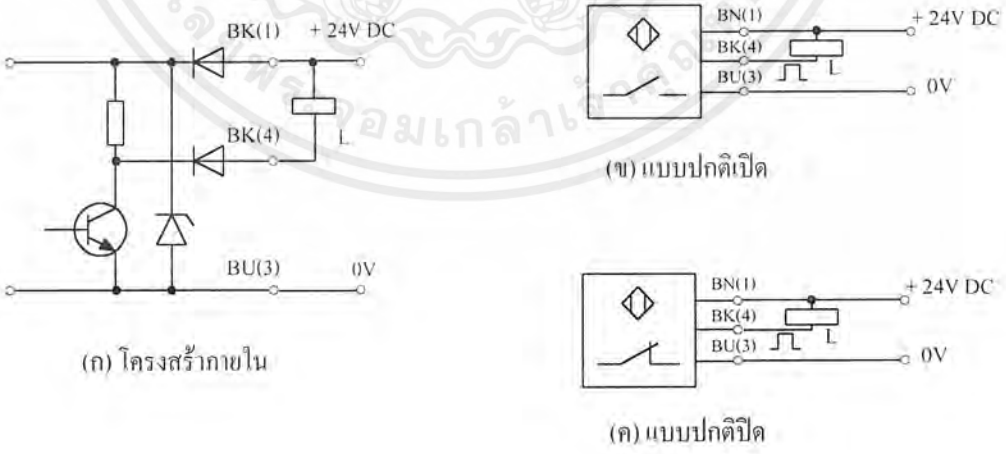
2.1) เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ PNP



รูปที่ 2.27 เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ PNP

จากรูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างภายในภาคเอาต์พุตซึ่งจะมีทรานซิสเตอร์แบบ PNP ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับสั่งให้ทำงานหรือไม่ทำงาน เซนเซอร์ไดโอดที่ต่อคร่อมอยู่ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ จะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายให้คงที่ ไดโอดที่สายสัญญาณหมายเลข 3 หรือขั้วลบทำหน้าที่ป้องกันการต่อผิดขั้ว ส่วนไดโอดที่สายสัญญาณหมายเลข 4 หรือสัญญาณเอาต์พุตจะทำหน้าที่ป้องกันกระแสย้อนกลับซึ่งเนื่องมาจากการต่อโหลด

2.2) เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ NPN



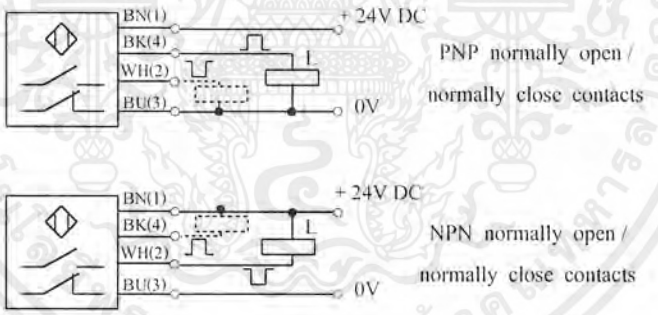
รูปที่ 2.28 เอาต์พุตต่อใช้งานแบบ NPN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 3 เส้นมี 2 ประเภท คือ PNP และ NPN แล้วจะเลือกแบบไหนไปใช้งานดี ในการเลือกไปใช้งานนั้นถ้าหากโหลดเป็นอุปกรณ์พวก รีเลย์ หลอดไฟ โซลินอยด์ ฯลฯ จะเลือกแบบไหนไปใช้งานก็ได้เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายกัน แต่หากนำสัญญาณที่ได้ไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ควบคุม เช่น PLC ต้องพิจารณาให้ดีเนื่องจากอุปกรณ์เหล่านั้นมีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีการระบุเอาไว้ว่าจะใช้เอาต์พุตเซนเซอร์ประเภทไหน ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่า จะเลือกเอาต์พุตเซนเซอร์แบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมเป็นสำคัญ

3) เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 4 เส้น

ในบางครั้งเพื่อความประหยัด หรือลดพื้นที่ในการติดตั้ง หรือความต้องการสัญญาณมากกว่าหนึ่งสัญญาณ ณ. จุดที่ต้องการตรวจจับเพียงจุดเดียว ความต้องการต่างๆ เหล่านี้สามารถตอบสนองได้ด้วย เซนเซอร์เพียงตัวเดียวที่มีสายสัญญาณที่มี 4 เส้น นั่นคือ จะมีสายสัญญาณเอาต์พุตปกติทำงาน (NC) และปกติไม่ทำงาน (NO) รวมอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งมีทั้งแบบ PNP และ NPN แสดงดังรูป 2.29

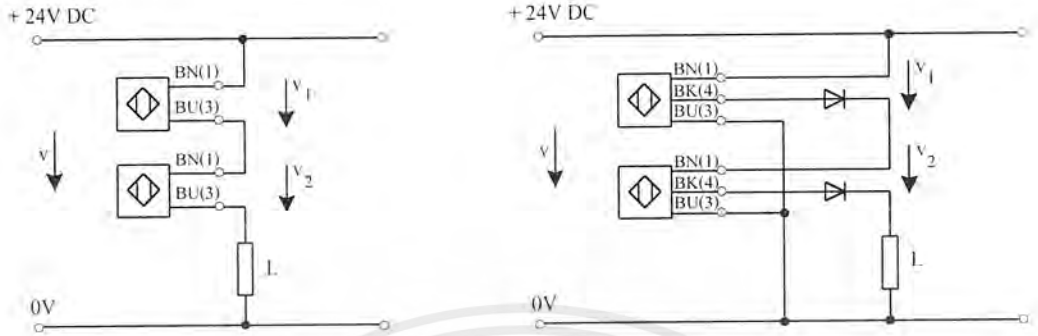


รูปที่ 2.29 เซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ 4 เส้น

4) การต่อเซนเซอร์อนุกรมกัน

สำหรับงานบางลักษณะที่ต้องการฟังก์ชั่นการทำงานเป็นลอจิกแอนด์ (AND) ตัวอย่างเช่น มีเซนเซอร์อยู่ 2 ตัว ที่ใช้ในการตรวจสอบรูปร่างของชิ้นงาน โหลดจะทำงานก็ต่อเมื่อเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวต้องทำงานเท่านั้น จากวัตถุประสงค์ดังกล่าวเราสามารถที่จะนำเซนเซอร์ 2 ตัวนั้นมาต่ออนุกรมกันได้ นอกจากนั้นการต่อเซนเซอร์ในลักษณะดังกล่าว หากเรานำสายสัญญาณมาต่อเข้ากับ PLC ก็จะสามารถที่จะประหยัดหน่วยอินพุทของ PLC ได้อีกด้วย รูปที่ 2.30 แสดงการต่อเซนเซอร์ 2 ตัวอนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 การต่อเซนเซอร์อนุกรมกัน

4.1) การต่ออนุกรมเซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 2 เส้น

โดยปกติจะไม่แนะนำให้ต่อเซนเซอร์แบบนี้อนุกรมกัน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า แรงดันตกคร่อมที่ตัวเซนเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของเซนเซอร์ ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีค่าน้อยกว่าที่ควร

$$V_L = V_S - V_D \tag{2.2}$$

โดยที่ V_L = แรงดันไฟฟ้าที่โหลด (V)

V_S = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V)

V_D = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่เซนเซอร์แต่ละตัวรวมกัน (V)

ถ้าโหลดหรืออุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วมเป็นพวกขดลวดในขณะที่เปลี่ยนสภาวะ on / off จะมีความแตกต่างของเฟสเกิดขึ้นด้วย ในการใช้งานจึงต้องคำนึงถึงมุมเฟสในการ on / off ด้วย แล้วควรจะต่อเซนเซอร์อนุกรมกันไม่เกิน 2 ถึง 3 ตัว

4.2) การต่ออนุกรมเซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 3 เส้น

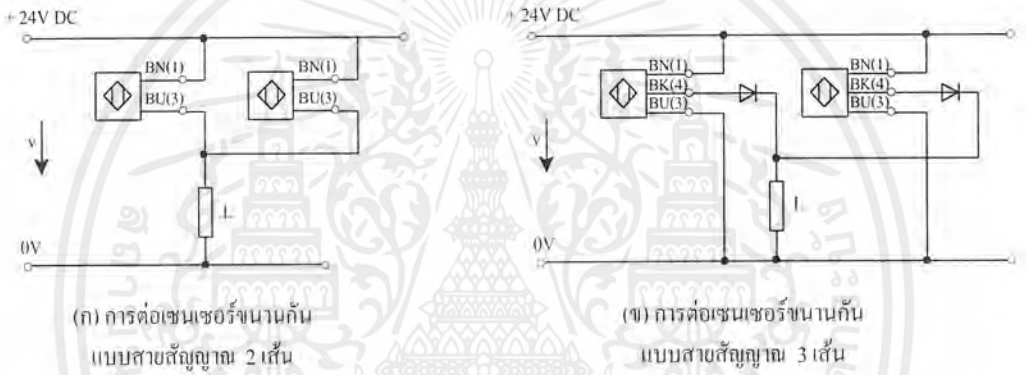
การต่ออนุกรมกันของเซนเซอร์ประเภทนี้ จะมีแรงดันตกคร่อมเซนเซอร์แต่ละตัวประมาณ 1 ถึง 2.5 โวลท์ จะต้องระวังว่าผลรวมของแรงดันตกคร่อมที่เซนเซอร์ที่ต่ออนุกรมกันนั้น จะทำให้แรงดันตกคร่อมโหลดลดลง ซึ่งจะต้องพิจารณาว่าแรงดันที่ตกคร่อมที่เหลือนั้นจะยังคงทำให้ดหลดทำงานตามปกติหรือไม่ รวมทั้งในเรื่องของกระแสก็จะต้องพิจารณาด้วยว่า เซนเซอร์ตัวแรกจะสามารถจ่ายกระแสเอาต์พุตได้เพียงพอที่จะไปเลี้ยงเซนเซอร์ตัวอื่นๆ ที่เหลือ และโหลดได้หรือไม่ เนื่องจากลักษณะการต่ออนุกรมของเซนเซอร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาวะพร้อมกันเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด on หรือ off นั้นโหลดจะถูกหน่วงการทำงานให้ช้าลงไป (บางครั้งมาก กว่า 100 mS) เมื่อต้องคำนึงถึงปัญหาดังกล่าวจึงควรต่อเซนเซอร์แบบ 3 สาย อนุกรมกันสูงสุดไม่เกิน 5 ถึง 10 ตัว

5) การต่อเซนเซอร์ขนานกัน

ในทำนองเดียวกันเมื่อเซนเซอร์สามารถนำมาต่อแบบอนุกรมกันเพื่อสร้างฟังชั่นแอนด์ (AND) ได้ การต่อเซนเซอร์แบบขนานกันเพื่อสร้างฟังชั่นออร์ (OR) ก็ย่อมที่จะสามารถกระทำได้เช่นเดียวกัน



(ก) การต่อเซนเซอร์ขนานกัน แบบสายสัญญาณ 2 เส้น

(ข) การต่อเซนเซอร์ขนานกัน แบบสายสัญญาณ 3 เส้น

รูปที่ 2.31 การต่อเซนเซอร์ขนานกัน

5.1) การต่อขนานของเซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 2 เส้น

ให้สังเกตว่ากระแสรั่วไหล (Leakage Current) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อต่อเซนเซอร์แบบ 2 สาย ขนานกัน จึงต้องคำนึงถึงผลรวมของกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัวซึ่งจะต้องให้มีค่าต่ำกว่ากระแสที่ทำให้โหลดทำงาน (Holding Current) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต่อเซนเซอร์เข้ากับ PLC อีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ เมื่อเซนเซอร์มีสภาวะเป็น on แรงดันไฟเลี้ยงที่ตกคร่อมเซนเซอร์ที่เซนเซอร์ตัวอื่นๆ ที่ต่อขนานอยู่ จะมีค่าลดลง ซึ่งมีผลทำให้มันอาจจะแสดงสภาวะที่ไม่ถูกต้องได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้เราควรจะต่อเซนเซอร์แบบ 2 สายขนานกันไม่เกิน 5 ถึง 10 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2) การต่อขนานของเซนเซอร์แบบสายสัญญาณ 3 เส้น

สามารถต่อเซนเซอร์แบบ 3 สายขนานกันได้ไม่เกิน 20 ถึง 30 ตัว สิ่งที่จะต้องระวังมีเพียงเรื่องเดียว คือ ผลรวมของกระแสรั่วไหลในขณะที่มีสภาวะ off แต่อย่างไรก็ตามกระแสรั่วไหลของเซนเซอร์แบบ 3 สาย จะมีค่าที่ต่ำมากจึงสามารถต่อขนานกันเป็นจำนวนมากได้นั่นเอง ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งของการต่อเซนเซอร์แบบขนานกันก็คือว่า หากเซนเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานก็จะมีกระแสไหลย้อนกลับเข้าไปยังเอาต์พุตของเซนเซอร์ตัวที่เหลือ ดังนั้นจึงใส่ไดโอดไว้เพื่อเป็นการป้องกันดังกล่าว

2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด

จากทฤษฎีที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อโลหะนั้นถูกกระทำภายใต้โหลด เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้ในการวัดความเครียด จนกระทั่งปลายยุค ค.ศ. 1930 ได้มีการวัดความเครียดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช้เส้นลวดโลหะขนาดเล็กมาขดรวมกันเป็นกลุ่ม (Boned Metallic Wire Strain Gauge) หรือเรียกว่า สเตรนเกจโลหะ (Metallic Strain Gauge) ต่อมาในยุคค.ศ. 1950 ในช่วงของการค้นคว้าทางด้านสารกึ่งตัวนำ ได้มีการพัฒนาวัสดุสารกึ่งตัวนำมาใช้ทดแทนเส้นลวดสารกึ่งโลหะในการผลิตเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ รวมทั้งให้สามารถใช้ได้กับงานหลายประเภทมากขึ้น สเตรนเกจ ไม่เพียงแต่สามารถนำมาใช้วัดค่าความเครียดสำหรับค่าความเค้นเท่านั้น แต่ยังสามารถนำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดค่าอื่นๆ ได้อีก เช่น โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดแรงหรือน้ำหนัก ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความดัน ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดแรงบิด เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้สเตรนเกจซึ่งเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถพบเห็นได้ในโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ดังนั้นการศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติ การนำไปใช้งาน และชนิดของสเตรนเกจจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญ

2.8.1 สเตรนเกจโลหะ (Metallic Strain Gauge)

เส้นโลหะตัวนำเส้นเดียวไม่สามารถนำมาใช้ทำเป็นสเตรนเกจได้ เนื่องจากปัจจัยของความต้านทานรวมของเกจ และพื้นที่ที่ใช้ในการรับแรง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพื่อความยาวของตัวนำและลดขนาดพื้นที่ของเกจ เส้นโลหะตัวนำของสเตรนเกจจึงได้ถูกผลิตให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง (โดยมีขนาดประมาณ 0.001นิ้ว) และสามารถขดรวมเป็นกลุ่มได้ ขดลวดนี้จะมีชื่อเรียกว่า กริด (Grid) สำหรับสเตรนเกจแบบนี้กระบวนการในการผลิตที่นิยมใช้ก็คือ กระบวนการที่คล้ายกับการถ่ายภาพ (Photoetching Process) ทั้งนี้ก็เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถผลิตกริดที่มีรูปร่างและขนาดหลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายตามความต้องการจากเส้นโลหะที่มีขนาดเล็กๆได้ ส่วนหัวและส่วนปลายของขดลวดตัวนำจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าเรียกว่าจุดเชื่อม (Solder Tab)

รูปที่ 2.32 สเตรนเกจรูปแบบต่างๆ

เนื่องจากกริด(Grid) ภายในสเตรนเกจมีคุณสมบัติเปราะบางและง่ายต่อการชำรุดหรือเสียหาย ดังนั้นในกระบวนการผลิตจะมีการนำแผ่นพลาสติกบางๆมาใช้เป็นพื้นรองและตัวนำพา โดยมีการทำเครื่องหมายที่กึ่งกลางของตัวนำเกจเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและยังทำหน้าที่เป็นฉนวนให้กับเกจและวัสดุที่จะนำไปติดตั้งได้อีกด้วย วัสดุที่นำมาใช้เป็นพื้นรองมีอยู่หลายชนิดด้วยกันโดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ ตัวอย่างเช่น polyamide plastic ใช้กับงานทั่วไป epoxy ใช้กับงานที่ต้องการความแม่นยำและความเป็นเชิงเส้นสูง glass-reinforced epoxy ใช้กับงานที่มีความเครียดสูงและอุณหภูมิสูง(ประมาณ 400°C) ถ้าในงานที่มีอุณหภูมิสูงมากๆพื้นรองสามารถเอาออกได้ในขณะติดตั้งแล้วใช้กาวเซรามิกทาเพื่อให้รักษาโครงร่างของกริด รวมทั้งความเป็นฉนวนของกริดกับผิวงานที่จะติดตั้ง

1) หลักการทำงานของสเตรนเกจ

จากคำนิยามของ ความเครียด ที่ได้กล่าวถึงตอนต้น ถ้าวัสดุซึ่งเป็นโลหะที่นำมาใช้เป็นตัวนำพาไฟฟ้าจะนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของตัวนำ จากสมการความต้านทานของตัวนำที่ว่า

$$R = \rho\frac{l}{A} = \rho\frac{l}{CD^2} \qquad (2.3)$$

โดยที่ ρ = สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำนั้นๆ

l = ความยาวของตัวนำ

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำซึ่งมีค่าเท่ากับ CD^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า C ในที่นี้หมายถึงสัดส่วนคงที่ เช่น ถ้าเป็นวงกลม $C = \pi/4$ หรือถ้าเป็นสี่เหลี่ยม $C = 1$ เป็นต้น

ส่วน D นั้นหมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

เมื่อมีแรงกระทำต่อโลหะตัวนำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลขึ้นกับโลหะนั้น โดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียลของสมการที่ 2.3 ได้ว่า

$$dR = \frac{CD^2(ld\rho + \rho dl) - 2C\rho lDdD}{CD^2} \tag{2.4}$$

$$dR = \frac{1}{CD^2}\left[(ld\rho + \rho dl) - 2\rho l\frac{dD}{D}\right] \tag{2.5}$$

หารสมการที่ 2.5 ด้วยสมการที่ 2.3

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - 2\frac{dD/D}{D} + \frac{d\rho}{\rho} \tag{2.6}$$

หรืออาจจะเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{dR/R}{dl/l} = 1 - 2\frac{dD/D}{dl/l} + \frac{d\upsilon/\rho}{dl/l} \tag{2.7}$$

เมื่อ dl/l = ความเครียดในแนวแกน (εa = Axial Strain)

dD/D = ความเครียดด้านข้าง (εl = Lateral Strain)

หากถามว่าแล้วความเครียดในแนวแกนกับความเครียดด้านข้าง คืออะไรแล้วต่างกันอย่างไร คำตอบก็คือว่า ในตอนแรกที่เราพูดถึงความเครียดเราจะกล่าวถึงแต่เพียงการเปลี่ยนแปลงความยาว (dl/l) ที่เกิดขึ้นในแนวแรงเท่านั้นซึ่งก็คือ ความเครียดในแนวแกน (Axial Strain) นั่นเอง แต่ในความจริงแล้วยังมีความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (dD/D) ของตัวนำที่เรียกว่าเป็นความเครียดด้านข้าง (Lataral Strain) รวมอยู่ด้วย และโดยทั่วไปจะมีค่าเป็นลบทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเส้นผ่านศูนย์กลางจะเล็กลงเมื่อมีแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนระหว่างความเครียดด้านข้างกับความเครียดในแนวแกนจะเรียกว่า Poisson's ratioซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Poisson's ratio} = \upsilon = -\frac{dD/D}{dl/l} \tag{2.8}$$

หากเรานำสมการที่ 2.8 เข้าไปแทนในสมการที่ 2.7 ก็จะได้ว่า

$$\frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2\upsilon + \frac{d\rho/\rho}{dl/l} \tag{2.9}$$

2) เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor ; GF)

ในการพิจารณาคุณสมบัติของสเตรนเกจ ตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญก็คือ เกจแฟคเตอร์ ตัวแปรนี้จะเป็นตัวที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานในตัวสเตรนเกจ โดยส่วนมากค่าเกจแฟคเตอร์จะถูกระบุมาให้จากโรงงานผู้ผลิต เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา เกจแฟคเตอร์ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$GF = \frac{dR/R}{dl/l} \tag{2.10}$$

เมื่อค่าเกจแฟคเตอร์คือ จำนวนของความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียด ดังนั้นมันก็มีความหมายเหมือนกับสมการที่ 2.7 และ 2.9 นั่นเอง กล่าวคือ

$$GF = \frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2\upsilon + \frac{d\rho/\rho}{dl/l} \tag{2.11}$$

จากสมการที่ 2.7 เราก็พบว่าค่าเกจแฟคเตอร์จะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ Poisson's ratio เป็นสำคัญ นอกจากนั้นค่าของเกจแฟคเตอร์ยังเป็นตัวบอกความไวของเกจอีกด้วย กล่าวคือเกจแฟคเตอร์ที่มีค่าสูงจะหมายถึงว่าเกจนั้นจะมีความไวในการเปลี่ยนแปลงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของวัตถุที่นำมาทำเป็นสเตรนเกจ

Grid Material	Composition	Approx. GF	Approx. Resistivity μΩ. Cm	Approx. Temp. Coefficient Of Resistance (μ/ °C)
1. Nichrom	80%Ni;20%Cr	2.0	108	400
2. Constantan	45%Ni;55%Cu	2.0	49	11
3. Isoelectric	36%Ni;8%Cr; 0.5%Mo;Fe remainder	3.5	112	470
4. Karma	74%Ni;20%Cr; 3%Al;3%Fe	2.4	130	18
5. Manganin	4%Ni;12%Mn; 84%Cu	0.47	48	11
6. Platinum-Iridium	95%Pt;5%Ir	5.1	24	1250
7. Monel	67%Ni;33%Cu	1.9	42	2000
8. Nickel		-12	7.8	6000
9.Platinum		4.8	10	3000

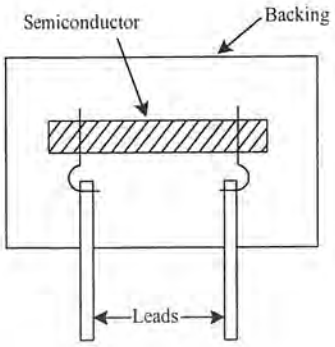
3) ผลจากอุณหภูมิ (Temperature Effect)

เนื่องจากสเตรนเกจแบบนี้ทำมาจากเส้นลวดโลหะ ดังนั้นอุณหภูมิภายนอกอาจจะส่งผลต่อค่าความต้านทานรวมของสเตรนเกจ ดังที่เราทราบกันมาแล้ว

2.8.2 สเตรนเกจสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Strain Gauge)

สเตรนเกจชนิดนี้ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ โดยที่สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเมื่ออยู่ภายใต้โหลดเช่นเดียวกับสารตัวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการวัดความเครียดได้ โดยปกติสารกึ่งตัวนำที่ใช้จะเป็น ซิลิกอน ซึ่งอยู่ในรูปของผลึก ในการผลิตผลึกซิลิกอนจะถูกนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆ และนำไปขึ้นรูปเพื่อผลิตสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างสเตรนเกจสารกึ่งตัวนำ

หลักการทำงาน สภาพต้านไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของสารกึ่งตัวนำ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\rho = 1 / eN\mu \qquad (2.12)$$

โดยที่ ρ = สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของสารกึ่งตัวนำ

e = ประจุไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการเจือปน

N = จำนวนของพาหะนำประจุ (Carrier) โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการเจือปน

μ = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุซึ่งขึ้นอยู่กับความเครียดและความสำคัญของแกนผลึก

จากสมการเราจะพบว่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่าของ e N และ μ เมื่อสเตรนเกจอยู่ภายใต้ความเครียดจะทำให้ค่าของ μ เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่าความต้านทานมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นอกจากนั้นค่าของ e และ N ก็ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของการเจือปนเช่นกัน นั่นหมายความว่า สภาพต้านทานทางไฟฟ้าก็จะขึ้นอยู่กับการเจือปน ดังนั้นสเตรนเกจสารกึ่งตัวนำจะสามารถกำหนดคุณสมบัติได้โดยการเจือปนมาเป็นตัวกำหนด จากโครงสร้างและ หลักการทำงานดังกล่าว ทำให้ค่าเกจแฟคเตอร์ของสเตรนเกจแบบนี้มีค่าที่สูงกว่าสเตรนเกจโลหะ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปเกจแฟคเตอร์ของสเตรนเกจสารกึ่งตัวนำจะมีค่าอยู่ในช่วง -50 ถึง -200 ดังนั้นความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็น 25 ถึง 100 เท่าของสเตรนเกจโลหะ เกจแฟคเตอร์ที่มีค่าสูงดังกล่าวนี้มีโอกาสที่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นสูงตามไปด้วย ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องพิจารณาเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 โหลดเซลล์ (Load Cell)

หนึ่งในการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญของสเตรนเกจ ก็คือ การนำสเตรนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะหลังจากนั้นก็นำแท่งโลหะนี้ไปวัดแรงหรือน้ำหนัก ซึ่งหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้ ก็คือ โหลดเซลล์ นั่นเอง โดยทั่วไปอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกปรับเทียบ (Calibrate) ด้วยแรงหรือน้ำหนักโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โหลดเซลล์ที่มีใช้อยู่ในงานอุตสาหกรรมสามารถวัดแรงได้สูงถึง 5 เมกกะนิวตัน หรือประมาณ 10^6 ปอนด์ (lb)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้สำหรับเปลี่ยนแรงทางกายภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

แรงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

1) แรงจลน์ เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำบนข้อมูลหุ่นยนต์เนื่องจากความเร่งของมวลของวัตถุในระหว่างการบังคับให้เคลื่อนที่

2) แรงสถิต เป็นแรงที่กระทำบนวัตถุโดยไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำโดย คริปเปอร์ (Qripper) ของหุ่นยนต์บนผิดของวัตถุในระหว่างการจัดการกับวัตถุ

การวัดแรงทั่ว ๆ ไปทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกายภาพของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งแรงเป็นตัวการทำให้เกิดขึ้น

ส่วนประกอบยืดหยุ่นที่ใช้ในการวัดแรง (Elastic Elements For Force Measurements) ส่วนยืดหยุ่นที่นิยมใช้สำหรับการแสดงขนาดของแรงที่กระทำโดยผ่านการวัดการกระจัด เช่น

1) สปริงในกรณีแรงจะหาได้จาก

$$P = ky \tag{2.13}$$

เมื่อ k = ค่าคงตัวของสปริง

y = ระยะกระจัดจากจุดสมดุล

$$P = (AE/L) \times Y \tag{2.14}$$

2) แท่งวัสดุ แรงที่วัดได้จะเป็นตามสมการ

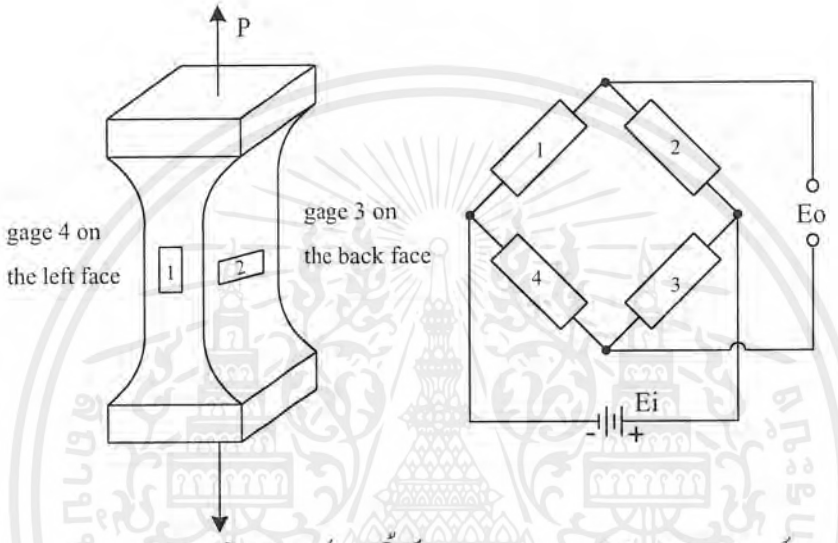
$$P = (3AE/L^3) \times Y \tag{2.15}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัด E = ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ L = ความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คานยื่น (CANTILEVER BEAM) การเบนไปของปลายคาน สัมพันธ์กับแรง P ที่กระทำ โดย เมื่อ I = โมเมนต์ของความเฉื่อยของคานรอบแกนที่ผ่านศูนย์กลางในทิศทางของการเบน นอกจากนี้ ยังมีริงค์ (Ring) และเว็บ (Webs) ซึ่งเป็นส่วนยืดหยุ่นที่ใช้ทำทรานสดิวเซอร์ การแบ่งโหลดเซลล์เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1) โหลดเซลล์แบบลิ้งค์ (Link-Type Load Cell)



(ก) โหลดเซลล์แบบลิ้งค์ (ข) วงจรสมมูลย์

รูปที่ 2.34 โหลดเซลล์แบบลิ้งค์

โหลดเซลล์แบบลิ้งค์อย่างง่าย ประกอบด้วยลิ้งค์และเกจความเครียด 4 อัน ดังแสดงในรูปที่ 2.38 ภาระ P สามารถนับไปได้ทั้งภาระแรงดึง (Tensile Load) หรือ ภาระแรงอัด (Compressive Load) เกจความเครียด 2 อัน ยึดติดกับลิ้งค์ในแนวแกน และอีก 2 อันในแนวขวางกับแกน

เกจความเครียดทั้ง 4 จะต่อเป็นวงจรวีทสโทนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) โดยเกจที่อยู่ในแกนต่ออยู่ในแนวแกนต่ออยู่ในแกน 1 และ 3 ส่วน เกจที่อยู่แนวขวางต่ออยู่กับแกน 2 และ 4 ดังรูปที่ 2.38 เมื่อภาระ P กระทำต่อลิ้งค์ความเครียดตามแนวแกน และตามแนวขวางจะเกิดขึ้นในลิ้งค์และสัมพันธ์กับภาระตามสมการ

$$\varepsilon_a = P/AE$$
$$\varepsilon_t = -\upsilon P/AE \qquad (2.16)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของลิ้งค์

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำลิ้งค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

υ = อัตราส่วนปัวซองของวัสดุที่ใช้ทำลิ้งค์

การตอบสนองของเกจต่อโหลด P ที่กระทำเป็นไปตามสมการ

$$\Delta R_1/R_1 = \Delta R_3/R_3 = S_g\varepsilon_4 = S_g P/AE$$
$$\Delta R_2/R_2 = \Delta R_4/R_4 = S_g\varepsilon_t = -\upsilon S_g P/AE \quad (2.17)$$

ถ้าหากว่าเกจความเครียดทั้ง 4 ตัวบนลิ้งค์เหมือนกันทุกประการ แรงดัน V_0 จาก วีทสโทนบริดจ์ หาได้จากการแทนค่าสมการ (2.17) ลงในสมการ

$$v_0 = \frac{r}{(1+r)^2}\left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4}\right]v_s \quad (2.18)$$

จะได้

$$V_0 = \frac{S_g P(1+\upsilon)}{2AE}v_S \quad (2.19)$$

$$P = \frac{2AE}{S_g(1+\upsilon)v_S} = Cv_0 \quad (2.20)$$

หรือ สมการ (2-20) แสดงว่า ภาระ P เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันออก V_0 และค่าคงตัวสัดส่วนหรือค่าคงตัวปรับเทียบ คือ

$$C = \frac{2AE}{S_g(1+\upsilon)v_S} \quad (2.21)$$

เมื่อ C = ค่าคงตัวเปรียบเทียบ

ความไวของโหลดเซลล์วีทสโทนบริดจ์คอมบิเนชัน (Load Cell-Wheatstone Bridge Combination) คือ

$$S = \frac{V_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{S_g(1+\upsilon)}{2AE}v_S \quad (2.22)$$

จากสมการ (2-22) ข้างบนแสดงว่า ความไวของโหลดเซลล์ขึ้นอยู่กับ พื้นที่หน้าตัดของลิ้งค์ (A) โมดูลัส ของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำลิ้งค์ (E) เกจแฟกเตอร์ (Gage Factor), S_g และแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\max} = S_g A \tag{2.23}$$

ที่จ่ายให้กับ B บริดจ์ (V_s) ช่วง (Range) ของแรงที่ให้กับโหลดเซลล์แบบลิ้งค์หาได้จาก พื้นที่หน้าตัดของลิ้งค์และ ความล้า S_r ของวัสดุที่ใช้ทำลิ้งค์โดย

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด (Maximum Load) $(V_0/V_s)_{MAX}$ สำหรับโหลดเซลล์แบบลิ้งค์หาได้จากการแทนสมการข้างบน ลงใน (2-19) จะได้

$$\left[\frac{V_0}{V_S}\right]_{\max} = \frac{S_g S_r (1+\upsilon)}{2E} \tag{2.24}$$

โหลดเซลล์แบบลิ้งค์เกือบทั้งหมด กำหนดค่าเต็มสเกลของภาระ ($P = P_{MAX}$) ที่ (V_0/V_s) = 3mV/V ด้วยค่าเต็มสเกลเฉพาะของอัตราส่วนแรงดัน (V_0/V_s) นี้ ภาระ Pบนโหลดเซลล์จะหาได้จาก

$$P = \frac{V_0/V_S}{(V_0/V_S)} P_{\max} \tag{2.25}$$

2) โหลดเซลล์แบบคาน (Beam-Type Load Cell)

โหลดเซลล์แบบคานใช้วัดภาระในกรณีที่ใช้โหลดเซลล์แบบลิ้งค์ไม่ได้ รูปที่ 2.39 (ก) เป็นคานยื่น (cantilever Beam) ซึ่งมีเกจความเครียด 2 อันติดอยู่ที่ผิวด้านล่าง (ทั้งหมดติดอยู่ในแนวขนานกับแกนของคาน) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนยืดหยุ่นและเซนเซอร์สำหรับเซลล์ชนิดนี้ คือ เกจซึ่งต่อกันเป็นวงจรวีทสโทนบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.39 (ข)

ภาระ P ทำให้เกิดโมเมนต์ $M = P_X$ ที่ตำแหน่ง X ทำให้ได้ผลลัพธ์

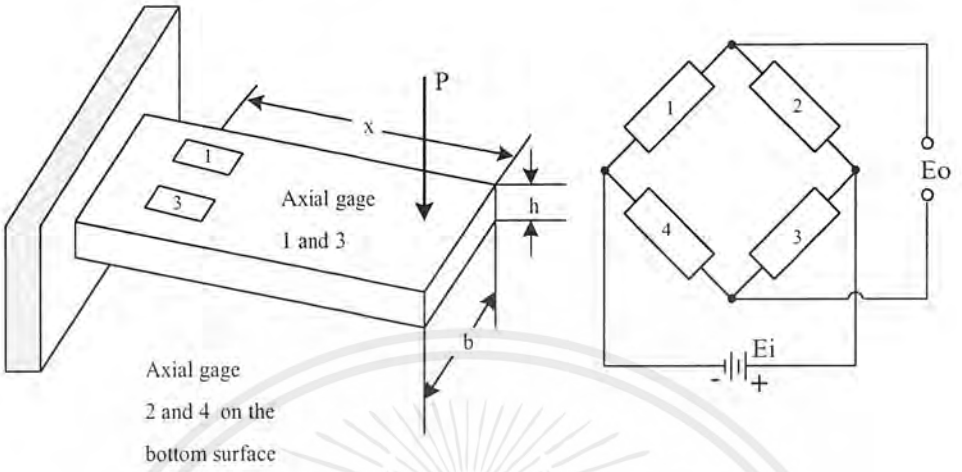
$$\varepsilon_3 = -\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\varepsilon_1 = \frac{\sigma M}{Ebh^2} = \frac{6p_x}{Ebj^2} \tag{2.26}$$

เมื่อ b คือ ความกว้างของหน้าตัดของคาน

h คือ ความหนาของหน้าตัดของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองของเกจความเครียดหาได้จากสมการ $R/R = S_g$ และสมการ (2.26) ดังนั้น



(ก) โหลดเซลล์แบบคาน (ข) วงจรสมมูลย์

รูปที่ 2.35 โหลดเซลล์แบบคาน (Beam-Type Load Cell)

$$\Delta R_1/R_1 = -\Delta R_2/R_2 = \Delta R_3/R_3 = \Delta R_4/R_4 = \frac{\sigma S_g P_r}{Ebh^2} \qquad (2.27)$$

แรงดันออก V_0 จากวีทสโทนบริดจ์ซึ่งเป็นผลจากการกระทำของภาระ P หาได้โดยแทนสมการ (2.27) ลงในสมการ

$$v_0 = \frac{r}{(1+r)^2}\left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4}\right] v_S$$

และสมมติว่าเกจความเครียดทั้ง 4 เหมือนกันทุกประการ จะได้

$$v_0 = \frac{\sigma S_g P_s V_S}{Ebh^2} \qquad (2.28)$$

หรือ

$$P = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_S} v_0 = C v_0 \qquad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2-29) แสดงว่า ภาระ P เป็นสัดส่วนกับแรงดันออก V_0 และค่าคงตัวสัดส่วนหรือค่าคงตัวปรับเทียบ (Calibration Constant) C คือ

$$C = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_S} \tag{2.30}$$

ความไวของการรวมระหว่างโหดเซลล์กับวีทสโทนบริดจ์กำหนดโดยสมการ $S= V_0 /P$ ดังนั้น

$$S = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{\sigma S_g X v_S}{Ebh^2} \tag{2.31}$$

จากสมการ (2-31) ข้างต้นแสดงว่าความไวของโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของคาน (b, h) โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้คำคาน (E) ตำแหน่งของภาระเทียบกับเกจ (X) เกจแฟกเตอร์ (S_g) และแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรบริดจ์ (V_s) ช่วงของโหลด ที่ใช้กับโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของคานตำแหน่งที่ภาระกระทำ และความล้าของวัสดุที่ใช้ทำคาน ถ้าสมมติว่าเกจติดที่ตำแหน่งใกล้กับตัวรองรับ (Bearm Support) จะได้

$M_{gage} = M_{MAX}$ และ

$$P_{max} = \frac{S_f bh^2}{\sigma X} \tag{2.32}$$

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด $(V_0/V_s)_{MAX}$ หาได้จากการแทนสมการ P_{MAX} ลงในสมการ (2.28) ดังนั้น

$$\left(V_0 / V_S\right)_{max} = S_g S_f / E \tag{2.33}$$

โหลดเซลล์แบบคานที่มีขายในท้องตลาดมีอัตราส่วนแรงดัน (V_0/V_s) ที่ภาระเต็มสเกลระหว่าง 4 และ 5 mV/V

3) โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Cell)

ส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบวงแหวนมีพรูวิ่งค์ริงค์ (Proving Ring) เป็นส่วนยืดหยุ่น และมีเซนเซอร์ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเกจความเครียดและ LVDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใช้ LVDT วัดการกระจัดอันเนื่องมาจากการอัดหรือดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด กับภาระ P จะเป็นไปตามสมการ (โดยประมาณ)

$$\delta = 1.79\,PR^3/Ewt^3 \tag{2.34}$$

เมื่อ E คือ ค่าโมดูลัสที่ใช้ทำวงแหวน

w คือ ความหนา

t คือ ความหนาของวงแหวน

แรงดันออก V_0 ของ LVDT สามารถแสดงโดยสมการ

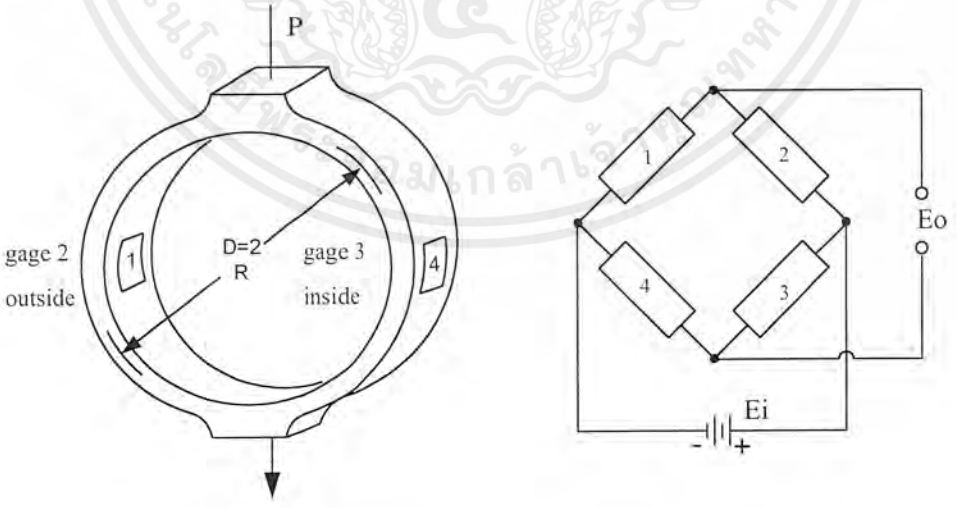
$$v_0 = S\delta v_S \tag{2.35}$$

เมื่อ S คือ ความไวของ LVDT

v_S คือ แรงดันที่ป้อนเข้าขดลวดปฐมภูมิของ LVDT

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก V_0และภาระ P หาได้จาก แทนสมการ (2-34) ลงในสมการ (2.35) ได้

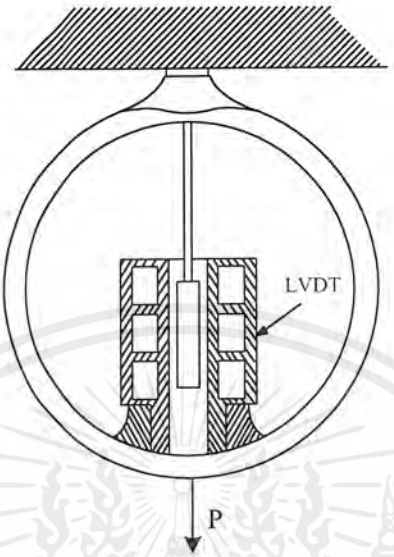
$$v_0 = 1.79\frac{SPR^3}{Ewt^3}v_S \tag{2.36}$$



(ก) โหลดเซลล์แบบวงแหวน (ข) วงจรสมมูลย์

รูปที่ 2.36 โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) โครงสร้างภายใน

รูปที่ 2.36 (ต่อ) โหลดเซลล์แบบวงแหวน (Ring-Type Load Cell)

$$P = 0.56\frac{Ewt^3}{SR^3 v_S} v_0 = CV_0 \tag{2.37}$$

หรือ

$$C = 0.56\frac{Ewt^3}{SR^3 v_S} \tag{2.38}$$

โดย เมื่อ C คือ ค่าตัวปรับเทียบความไวของริงค์แอลวีดีทีคอมบิเนชัน (RING-LVDT Combination)S_t คือ

$$St = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = 1.79\frac{SR^3}{Ewt^3} v_S \tag{2.39}$$

ช่วงภาระ ของโหลดเซลล์แบบวงแหวนถูกควบคุมด้วยความแข็งแรงของวัสดุ ถ้าโหลดเซลล์ใช้วัดโหลดที่กระทำเป็นจังหวะ (Cyclic Load) ความล้า (Fatigue) S_f เป็นสิ่งสำคัญที่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาความเค้นสูงสุดในชิ้นส่วนวงแหวนอยู่ที่ผิดด้านในของวงแหวนตรงที่เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งฉากกับแนวโหลดค่าประมาณของความเค้นที่ตำแหน่งนี้คือ

$$\sigma_\theta = 1.09\frac{PR}{Wt^2} \tag{2.40}$$

จากสมการ (2.40) สำหรับการวัดโหลดที่กระทำเป็นจังหวะจะได้

$$P_{\max} = 0.92\frac{Wt^{12}}{R}Sf \tag{2.41}$$

อัตราส่วนแรงดันที่โหลดสูงสุด $(V_0/V_s)_{MAX}$ จะเป็น

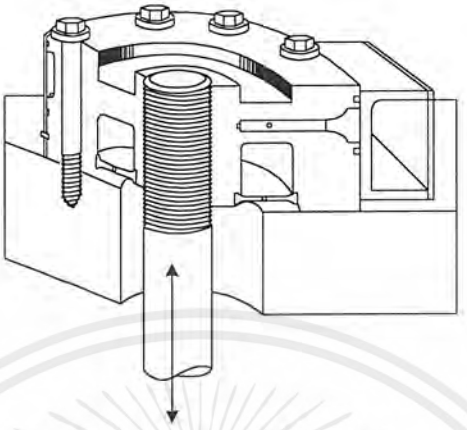
$$\left(\frac{v_0}{v_S}\right) = 1.64\frac{SR^2}{Et}Sf \tag{2.42}$$

ถ้ารูปอัตราส่วนแรงดันเต็มสเกล (V_0/V_s) และ ภาระสูงสุด P_{MAX} สำหรับโหลดเซลล์เฉพาะสามารถกำหนดโหลดที่สอดคล้องกับ V_0 ที่ถูกวัดโดยสมการ

$$P = \frac{\left(\frac{v_0}{v_S}\right)}{\left(\frac{v_0}{v_S}\right)}P\max \tag{2.43}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน (Shear-Web-Type Load Cell)



รูปที่ 2.37 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน (Shear-Web-Type Load Cell)

โหลดเซลล์ชนิดนี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแฟลทโหลดเซลล์ (Flat Load Cell) มีประโยชน์สำหรับการใช้งานเมื่อที่ว่างในแนวโหลดกระทำมีจำกัด

โหลดเซลล์แบบแรงเฉือนประกอบด้วยอินเนอร์โหลดดิ้งค์ฮับ (Inner Loading Hub) และเฮ้าท์เตอร์ซัพพอร์ตติ้งค์แฟรงค์ (Outer Supporting Flange) ซึ่งต่อกันด้วยเชียร์เว็บ (Shear Web)

ดังรูปที่ 2.41 เกจความเครียดแบบเชียร์ติดตั้งอยู่ในรูเล็ก ๆ ที่ถูกเจาะเข้าไปในเชียร์เว็บ แฟลทโหลดเซลล์มีขนาดกระทัดรัดสามารถใช้ได้กับการประยุกต์แบบเคลื่อนที่(Dynamics Application) โดยเฉพาะเมื่อต้องการวัดโหลดในขณะที่ทำการสั่นมีความถี่สูงฟอสคาปาซิตี้ (Force Capacity) ที่วัดโดยใช้แปลทโหลดเซลล์หาได้จากการวัดความถี่ธรรมชาติของโหลดเซลล์

$$f_n = 3.13\left(\frac{k}{(W_{c+}W_x)}\right) \qquad (2.44)$$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ธรรมชาติของทรานสดิวเซอร์(Hz)

k คือ ค่าคงตัวของสปริง หรือสทิฟเนส (Stiffness) ของโหลดเซลล์ (lb/in)

w_c คือ น้ำหนักประสิทธิผลของส่วนแอคทีฟของโหลดเซลล์ (lb)

w_x คือ น้ำหนักภายนอกที่ติดกับฮับ (lb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่า f_n แล้วนำมาเทียบในตารางคุณสมบัติของแฟลทโหลดเซลล์ (Mechanical Properties Of Flat Load Cells)

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของแฟลทโหลดเซลล์

ความจุแรง(P) (Ib)	K(Ib/in)	We(Ib)	f_n(kHz)
250	920,000	0.028	18.0
1,000	1,220,000	0.023	22.8
5,000	6,600,000	0.135	22.0
10,000	8,500,000	0.340	15.7

ความถี่ธรรมชาติที่แสดงในตาราง คำนวณภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีน้ำหนักภายนอก (w_x) ติดกับโหลดเซลล์

2.9 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

กระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วมักจะมีเงื่อนไขหรือสถานะการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอ ตัวอย่าง เช่น ถ้าแผ่นเหล็กเย็นจนเกินไปก็จะทำให้การปรับแต่งขึ้นรูปทำได้ยาก หรือถ้ากระบวนการทางเคมีอยู่ในสภาพที่ร้อนมากจนเกินไปก็อาจจะทำให้ระเบิดขึ้นได้ เป็นต้น ดังนั้นจึงพอจะกล่าวได้ว่าการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากสิ่งหนึ่งของตัวแปรในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ความร้อนและอุณหภูมิ (Heat And Temperature) เรามักใช้คำทั้งสองร่วมกันเสมอๆ จนอาจทำให้เข้าใจว่าสองคำนี้มีความหมายเหมือนกัน ถึงแม้ความเป็นจริงมันจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดก็ตาม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าเราจะใช้สองคำนี้ทดแทนกันได้ อุณหภูมิเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของอะตอมและโมเลกุลของวัตถุ แต่ความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งไม่ได้เป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุนั้นๆ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดการสั่นไหวเคลื่อนที่ได้เร็วยิ่งขึ้น พลังงานจลน์ของมันก็จะมากขึ้นด้วย วัตถุนั้นก็จะร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ผลของความร้อนประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดก็คือ เมื่อความร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่วัตถุใดก็ตามจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้นสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันก็คือ **ฟาห์เรนไฮต์** ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Gabriel Daniel Farenheit มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32 °F และจุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 212°F **เซลเซียส** ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเนชื่อ Ander Celsius มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 0° C และจุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 100°C ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดของอุณหภูมิแบบฟาห์เรนไฮต์และแบบเซลเซียสสามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T°F = (9/5)(T°C) + 32 \quad (2.45)$$

$$T°C = (5/9)(T°F - 32) \quad (2.46)$$

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวสก็อตชื่อ William Thomson , Lord Kelvin โดยขนาดองศาที่ศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute zero) จะเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ ณ. อุณหภูมินี้ทุกๆ โมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งหมด ศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ -273.15 °C

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิมาตราต่างๆ

จุดเปรียบเทียบ	อุณหภูมิ		
	°K	°F	°C
จุดศูนย์สัมบูรณ์	0	-459.6	-273.15
จุดเยือกแข็งของน้ำ	273.15	32	0
จุดเดือดของน้ำ	373.15	212	100

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมินั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะสาร คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอนและสามารถพิสูจน์ได้ซึ่งหลักการที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์ แถบโลหะคู่(bimetallic element)

2) อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซหรือไอ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบความดัน

3) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี เทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

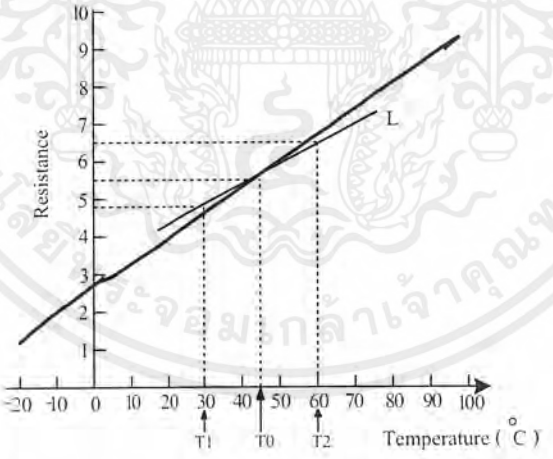
4) อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงหรือการแผ่รังสี เช่น ไพโรมิเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

5) อาศัยหลักการโดยวิธีการทางเคมี เช่น ใช้วิธีการเปลี่ยนรังสีของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากหลักการในการตรวจวัดอุณหภูมิในหลาย ๆ วิธีดังกล่าว การตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า จะถูกนิยมนำมาใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปต่อร่วมกับวงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแสดงผลในเชิงตัวเลข หรือควบคุมระบบกระบวนการตามที่ต้องการ ดังนั้นในที่นี้จึงขอกล่าวถึงเพียงกลุ่มของอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสำคัญ

2.9.1 อาร์ทีดี (RTD)

RTD เป็นคำที่ย่อมาจาก Resistance Temperature Detector หรือความหมายในภาษาไทยก็คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หากถามว่าแล้วการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอย่างไร คำตอบก็คือ ค่าความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ

จากกราฟในรูปที่ 2.42 หากเราต้องการหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ ก็สามารถทำได้โดยกำหนดจุดบนกราฟแล้วทำการลากเส้นก็จะได้ค่าความต้านทาน ณ. จุดที่อุณหภูมินั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้วิธีคำนวณกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากหากย่านการวัดอุณหภูมิมีช่วงกว้างมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไม่มีกราฟที่ให้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว หรือหากถ้ามีก็จะขาดซึ่งความละเอียด สมการที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานแสดงได้ดังนี้

$$R(T) = R(T_0)\left[1 + \alpha_0 \Delta T\right] \tag{2.47}$$

โดยที่ R(T) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T ใดๆ

$R(T_0)$ = ความต้านทานที่อุหภูมิ T_0 หรืออุณหภูมิอ้างอิง

ΔT = $T - T_0$

α_0 = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ T_0

ค่าของ α_0 สามารถหาค่าได้จากค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

α_0 = $1/R(T_0) \times$ (slopeที่ T_0)

= $1/R(T_0) \times \left[(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1)\right]$

เมื่อ R_1 = ค่าความต้านทานที่ T_1

R_2 = ค่าความต้านทานที่ T_2

(ให้พิจารณาค่าต่างๆในรูปที่ 2.38)

ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน (α) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำ RTD เช่น พลาตินัม 0.0039 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ จากย่านอุณหภูมิ $0^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ นิเกิล 0.0067 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ ทองแดง 0.0038 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ และในทางปฏิบัติค่าของ α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงจะแปรผันไม่เป็นเส้นตรงในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าที่แน่นอนสามารถกระทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$R(T) = R(T_0)\left[1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2\right] \tag{2.48}$$

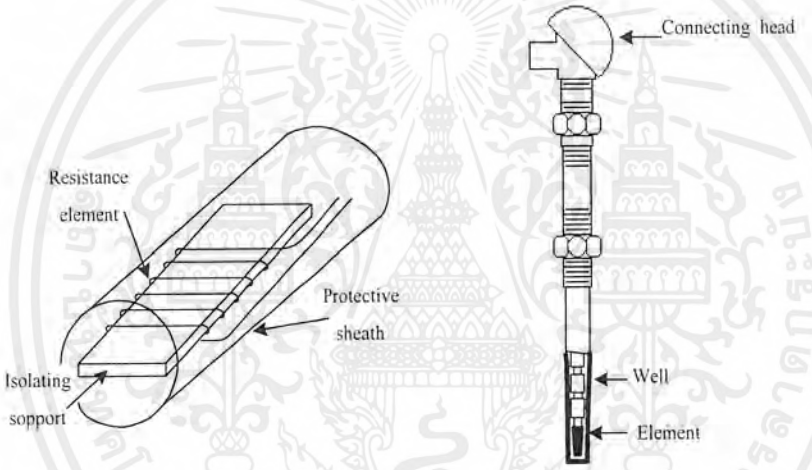
ค่า α_1 และ α_2 เป็นค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งในทางปฏิบัติในการนำไปใช้งานค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิต RTD เป็นผู้กำหนดมาให้

1) โครงสร้างของ RTD

RTD ทำด้วยโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ ลวดโลหะดังกล่าวนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนแกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตRTD ก็คือ ขณะใช้งานขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน ได้ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก เมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อเย็นตัวลงจะหดตัว พร้อมกันนี้ แกนที่ใช้พันขดลวดก็จะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่สัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดเขาจะทำกันในขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการรอบความร้อนคลายความเครียด (Strain) ที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง RTDโดยทั่วไปจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (Sheath) ฉนวนที่ใช้ก็จะเป็นพวกแม็กนีเซียมออกไซด์ หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรงจะอยู่ตรงส่วนปลาย ซึ่งอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว



รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน RTD

RTD โดยทั่วไปแล้วจะทำมาจากโลหะที่มีความต้านทานสูง ตัวอย่างเช่น พลาตินัม ทองแดง นิเกิล สำหรับทังสเตนจะใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่ต้องการย่านวัดสูงๆ แต่เนื่องจากมันเปราะและแตกง่ายจึงทำให้ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน ส่วนโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำ RTD และให้ผลในการตอบสนองค่อนข้างเป็นเส้นตรงก็คือ พลาตินัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 แสดงคุณสมบัติของ RTD ที่ทำมาจากโลหะประเภทต่างๆ

ชนิดของโลหะ	กระเปาะที่บรรจุ (case)	ย่านอุณหภูมิ °C	ความต้านทาน Ω	ค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณ $(\alpha)\ \Omega/\Omega/^{\circ}C$
พลาตินัม (ห้องทดลอง)	แก้ว	-190 ถึง 540	25 ที่ 0°C	0.0039
พลาตินัม	สแตนเลส	-200 ถึง 125	25 ที่ 0°C	0.0039
(อุตสาหกรรม)	เหล็ก	-18 ถึง 540	25 ที่ 0°C	0.0039
พลาตินัม (แบบแผ่นฟิล์ม)	เซรามิก	-50 ถึง 600	1000 ที่ 0°C	0.0039
โรเดียม –เหล็ก	อลูมินาและแก้ว	-272 ถึง200	26 ที่ 0°C	0.0037
	ทองเหลือง	-75 ถึง 120	10 ที่ 25°C	0.0038
ทองแดง นิเกิล	ทองเหลือง	0 ถึง 120	100 ที่ 20°C	0.0067

2) การใช้งาน RTD

ในการที่จะนำ RTD ไปใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มีกระแสจำนวนหนึ่งสร้างความร้อนขึ้นในตัว RTD ซึ่งมีค่าเท่ากับ I^2R จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำกัดค่ากระแสจำนวนนี้ไม่ให้มีค่าสูงเกินไป โดยปกติ RTD แบบพลาตินัมจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้น 1/2°C ต่อค่ากระแสเลี้ยง 1 mA ในบรรยากาศปกติที่ไม่มีการถ่ายเท แต่ในสภาวะการใช้งานที่จะต้องจุ่มลงในของเหลว ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะกระจายออกสู่ของเหลวทำให้ค่าผิดพลาดนี้ต่ำลง ซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ความหนาแน่นของตัวกลาง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความร้อนนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta T = P / P_D \qquad (2.49)$$

โดยที่ ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนในตัว

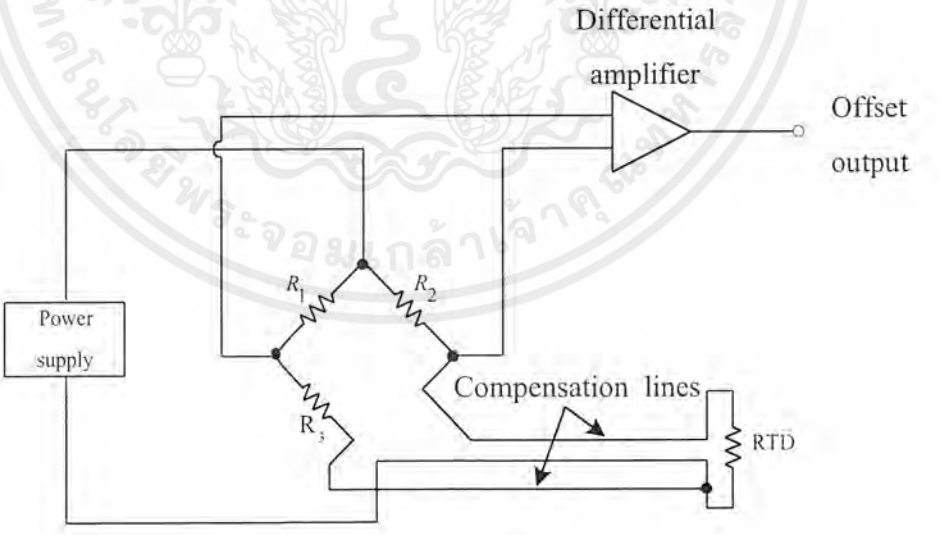
P = กำลังความร้อนใน RTD จากวงจร (W)

P_D = กำลังความร้อนสูยเสียคงที่ของ RTD (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังความร้อนสูญเสียคงที่ (Dissipation Constant) เป็นข้อมูลเฉพาะของ RTD แต่ละชนิด ซึ่งตัวเลขนี้จะสัมพันธ์กับกำลังที่ทำให้อุณหภูมิของ RTD เพิ่มขึ้น 1 องศา ตัวอย่างเช่น 25 mW/°C หมายถึง กำลังของความร้อนซึ่งเนื่องมาจาก I^2R เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นใน RTD เท่ากับ 25 mW โดยมีความร้อนเป็น 1°C ซึ่งค่ากำลังความร้อนคงที่นี้ได้มาจากการกำหนดให้ RTD อยู่ภายใต้สองเงื่อนไข ก็คือ อยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกและอ่างน้ำมันที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลานั่นเอง

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของ RTD ก็คือ วงจรบริดจ์ RTD จะติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการตรวจจับอุณหภูมิ ตัวต้านทานที่เหลืออีก 3 ตัว ที่จะใช้ต้องเป็นแบบที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเปลี่ยนต้องต่ำมากๆ และในการใช้งาน RTD ร่วมกับวงจรบริดจ์นี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาสายที่ต่อระหว่าง RTD กับวงจรบริดจ์มากเป็นพิเศษ กล่าวคือ หากสายที่ใช้ต่อเป็นสายที่ยาวจะทำให้มีผลต่ออุณหภูมิ และค่าความต้านทานที่จะเกิดขึ้นกับวงจรทำให้ผลของการวัดผิดพลาดไป จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อชดเชยค่าผิดพลาด ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่การต่อวงจร RTD แบบ 3 สาย เป็นแบบมาตรฐานที่มีผู้นิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้สายตัวนำทั้งสามจะต้องมีขนาดและความยาวเท่ากัน รวมทั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด ซึ่งการต่อวงจร RTD แบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์นี้สามารถแสดงได้ด้วยรูป 2.40 ต่อไปนี้

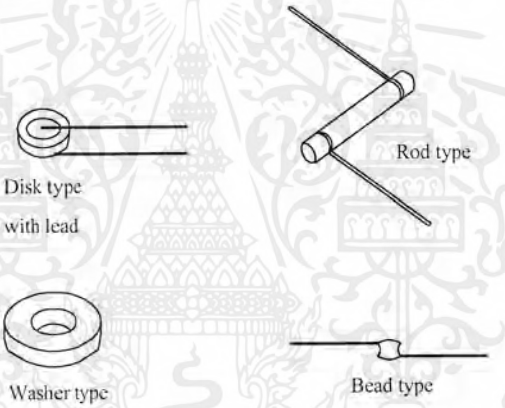


รูปที่ 2.40 การต่อใช้งาน RTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 เทอร์มิสเตอร์ (Thermister)

เทอร์มิสเตอร์ ก็เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเช่นเดียวกับ RTD แต่เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากคาร์บอนและสารกึ่งตัวนำ เช่น ออกไซด์ของโลหะนิเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง เยอมาเนียม แมกนีเซียมและไทเทเนียม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง และ ออกไซด์ของนิเกิลกับทองแดง สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าที่สูง ตัวอย่างเช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 Ω เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1°C เท่านั้น แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์แตกต่างจาก RTD ก็คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะกลับกันกับ RTD หรือกล่าวง่ายๆ ก็คือ ค่าความต้านทานจะลดลงเนื่องอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทั้งนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั่นเอง



รูปที่ 2.41 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

การที่เทอร์มิสเตอร์มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงนี่เอง ทำให้ย่านการวัดอุณหภูมิแคบ โดยทั่วไปจะใช้ในย่านที่ต่ำกว่า 100°C แต่ก็มีบางแบบเหมือนกันที่สามารถวัดได้ถึง 450°C อย่างไรก็ตาม ในย่านที่อุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ดี แต่ต้องระวังในเรื่องความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ให้ดี เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นเส้นตรงมากนัก จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้งานเอาเฉพาะในบางช่วงที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R(T) = R_0 \exp\left[\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \tag{2.50}$$

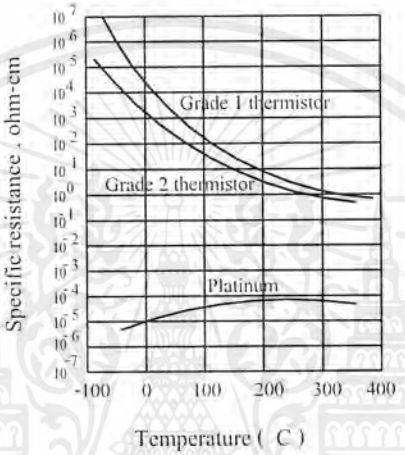
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ R(T) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ Tใดๆ

R_0 = ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง T_0

β = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

ค่า β นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดหรือเกรดซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของเทอร์มิสเตอร์แต่ละแบบใน รูปที่ 2.42 เป็นการแสดงคุณสมบัติของ เทอร์มิสเตอร์ เปรียบเทียบกับ RTD ชนิดที่ทำมาจาก พลาตินัม



รูปที่ 2.42 กราฟแสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับ RTD

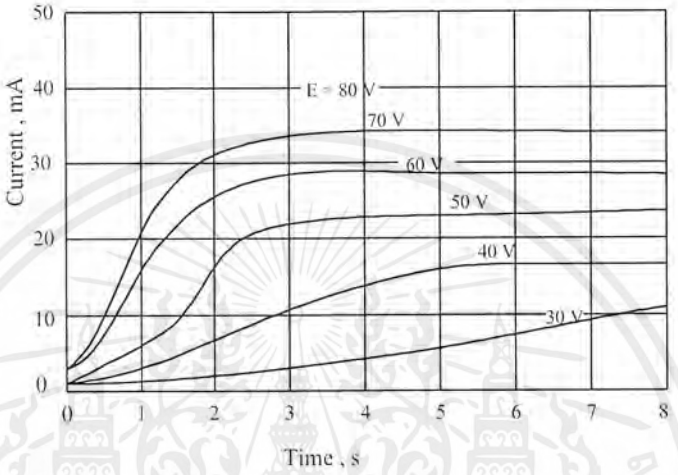
เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ตัวมันจะเพิ่มขึ้น ตามกระแสไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมาถึงจุดๆ หนึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมนี้จะลดลงในขณะที่ กระแสก็ยังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

สาเหตุอันนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ที่มีความต้านทานเป็นลบนั่นเอง ถ้า แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าน้อยกระแสก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นความร้อน ที่เกิดขึ้นจากกระแสนี้ก็ยังมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงตาม อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้นได้ ภายใต้สภาวะเช่นนี้กระแสจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟ ฟ้าตามกฎของโอห์ม

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงขึ้นกระแสก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้เกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์สูงเกินกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมใน ขณะนั้น และค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง ซึ่งผลอันนี้จะทำให้กระแสไหลมากขึ้น และความต้านทานก็ยังคงลดลงไปเรื่อยๆ ค่ากระแสนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Dissipation) ของเทอร์มิสเตอร์เท่ากับพลังงานหรือกำลังที่ป้อนให้ภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิที่คงที่ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเป็นฟังชั่นกับพลังงานที่สิ้นเปลืองไปภายในตัวของมันเอง และหมายถึงว่าจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของมันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม



รูปที่ 2.43 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์

ในรูปที่ 2.43 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์ กล่าวคือ กระแสจะมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ด้วย เมื่อเกิดความร้อนในขึ้นในเทอร์มิสเตอร์ มันจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งที่จะทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้นและกระแสก็จะมีค่าคงที่ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้ถือได้ว่า เป็นเวลาที่ใช้ในการตอบสนองนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลานี้จะแปรผันไปตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้

เนื่องจากสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูง การใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อร่วมกับวงจรบริดจ์เหมือน RTD นั้น ทำให้เราสามารถอ่านค่าได้ละเอียดมากในช่วงอุณหภูมิแคบๆ โดยสามารถสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแม้เพียง $0.005^{\circ}C$ เท่านั้น ดังนั้นวงจรการวัดโดยทั่วไปจึงหันมาใช้ วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และสายที่ใช้ต่อจากเทอร์มิสเตอร์มายังวงจรก็ไม่มีส่วนสร้างความผิดพลาดในการวัดเหมือนกับ RTD จากการทดลองใช้สายทองแดงขนาดเบอร์ 18 ยาว 400 ฟุต ณ. อุณหภูมิบรรยากาศ $25^{\circ}C$ จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดเพียง $0.05^{\circ}C$ เท่านั้น

นอกจากการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยตรงแล้ว เรายังสามารถนำมาใช้เป็นตัวชดเชยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ให้ทำงานถูกต้องอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าอุณหภูมิของ

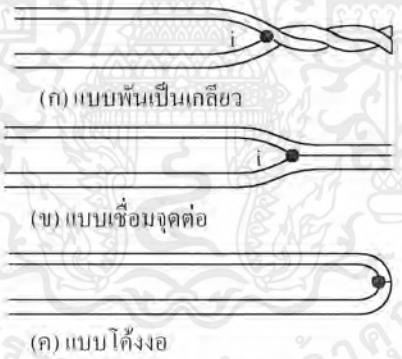
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม นอกจากนั้นในวงจรอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล ก็ยังมีการเอาเทอร์มิสเตอร์มาใช้วัดอุณหภูมิอ้างอิงอีกด้วย

2.9.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

หนึ่งในหลายๆวิธีของการวัดอุณหภูมิในงานทางด้านวิทยาศาสตร์ และงานทางด้านอุตสาหกรรมก็คือ การใช้ผลของเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลจัดได้ว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถสร้างหรือผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง (Active Transducer) ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้โดยตรงกับเครื่องมือวัดหรือบันทึกอุณหภูมิ รวมทั้งเครื่องควบคุมต่างๆ เทอร์โมคัปเปิลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะถูกนำไปต่อใช้งาน ปลายของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่า Hot Junction ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเรียกว่า Cold Junction ซึ่งเป็นปลายด้านที่ต่อใช้งานเมื่อจุดต่อ Hot Junction ได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ที่จุด Cold Junction

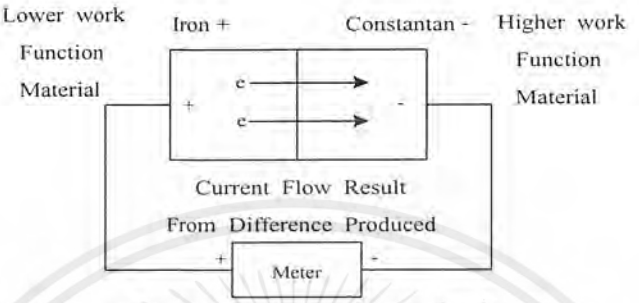


รูปที่ 2.44 ตัวอย่างเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่างๆ

โลหะที่ใช้ประกอบกันเป็นเทอร์โคัปเปิลนั้นส่วนมากจะได้แก่ เหล็ก-คอนสแตนแตน โครเมล-อลูเมล พลาตินัม/โรเดียม-พลาตินัม และทองแดง-คอนสแตนแตน โดยชื่อของโลหะตัวแรกจะเป็นขั้วบวกทางไฟฟ้าส่วนโลหะชนิดหลังจะเป็นขั้วลบ พฤติกรรมที่ปรากฏของเทอร์โมคัปเปิลนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยผลการทดลองของ ซีเบ็ค (Seebeck Effect) เพลเทียร์ (Peltier Effect) และทอมสัน (Thomson Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

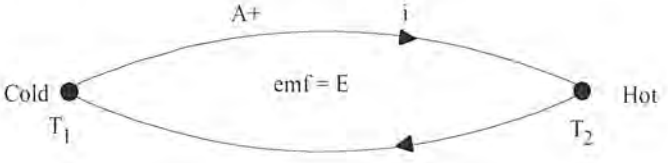
Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เป็นผู้ค้นพบอุปกรณ์ที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (Thermo-Electric) ขึ้นเป็นครั้งแรกโดยไม่คาดคิดมาก่อนในเวลานั้น



เขาได้นำลวดโลหะต่างชนิดกันมาต่อปลายเข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 2.45

รูปที่ 2.45 ลวดโลหะต่างชนิดกันมาต่อปลายเข้าด้วยกัน

Seebeck ได้อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองว่า ถ้าให้ความร้อนที่ปลายข้างหนึ่งของเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันที่ติดกันอยู่ กระแสที่ไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง Hot Junction กับ Cold Junction ซึ่งการไหลของกระแสเหล่านี้เกิดจากความปั่นป่วนของอิเล็กตรอนตรงจุดที่สัมผัสหรือได้รับความร้อน ซึ่งวัตถุที่ใช้นั้นจะต้องเป็นวัตถุที่มีแถบพลังงานไม่เท่ากัน ในที่นี้จะขอเรียกใหม่ว่า ฟังก์ชั่นการทำงาน วัตถุที่มีฟังก์ชั่นการทำงานที่ต่ำกว่า (Lower Work Function Material) จะให้อิเล็กตรอนได้เร็วกว่าวัตถุที่มีฟังชั่นการทำงานที่สูงกว่า (Higher Work Function Material) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอิเล็กตรอนก็จะถูกปล่อยออกจากวัตถุที่มีฟังก์ชั่นการทำงานที่ต่ำกว่า ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดขั้วบวกขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิคงที่จำนวนอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาก็จะมีจำนวนที่คงที่และกระแสจะไหลสม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาก็จะมากขึ้นกระแสก็จะไหลมากขึ้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.46

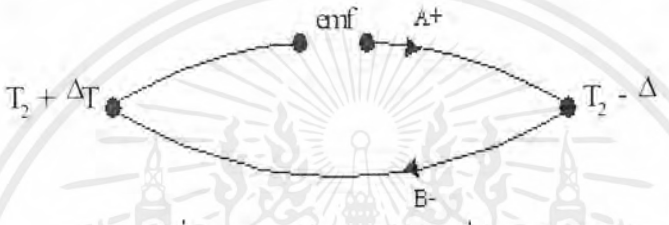


รูปที่ 2.46 จุดต่ออุณหภูมิที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะยังคงไหลอยู่ตลอดเวลาตราบเท่าที่จุดต่อทั้งสองยังมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของกระแสเหล่านี้ คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (Seebeck Thermal emf.)

Jean C.A. Peltier ได้ค้นพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของเส้นลวดต่างชนิดกัน ที่ปลายข้างหนึ่งจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ปลายข้างหนึ่งอุณหภูมิจะลดลง กล่าวคือ ถ้ากระแสไหลผ่านจุดต่อในทิศทางหนึ่งความร้อนจะถูกซึบซับเอาไว้ และความร้อนจะถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่กระแสไหลไปอีกทางหนึ่ง รูปที่ 2.47 แสดงผลการทดลองของ Peltier

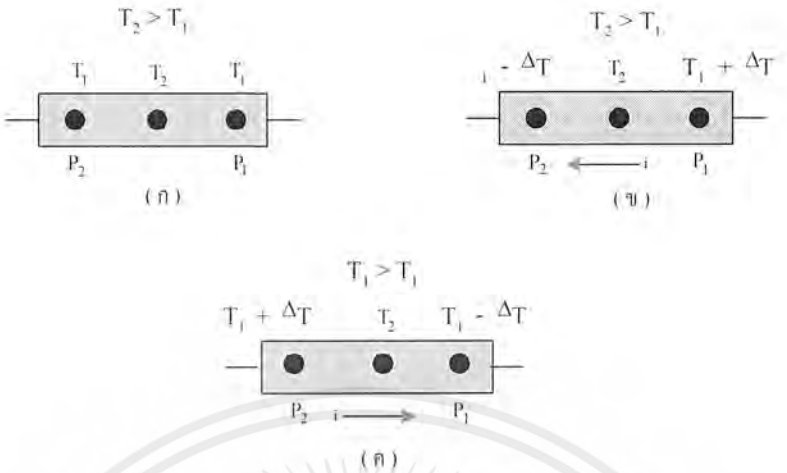


รูปที่ 2.47 การต่อลวดโลหะที่ต่างชนิดกัน

ตัวอย่างเช่น ในกรณีของเทอร์โมคัปเปิลแบบ เหล็ก-คอนสแตนแตน ความร้อนจะถูกซึมซับไว้ในขณะกระแสไหลผ่าน เหล็ก-คอนสแตนแตน ในทิศทางของคอนสแตนแตนไปยังเหล็ก เหล็กจะเป็นขั้วบวกทางไฟฟ้าเมื่อเทียบกับคอนสแตนแตน ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นหรือลดลงเมื่อประจุไฟฟ้าหนึ่งคูลอมบ์ตกคร่อมตรงจุดเชื่อมต่อนั้น เรียกว่าผลของ Peltier

Thomson นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษพบว่า เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันภายในเส้นลวดเส้นเดียวกัน ก็สามารถที่จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้ เขาพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านเส้นลวดทองแดงซึ่งมีอุณหภูมิแต่ละจุดไม่เท่ากัน ที่จุด P ใดๆ ความร้อนจะลดลงถ้ากระแสที่ไหลผ่านนั้นไหลไปในทิศทางเดียวกันกับการไหลของความร้อน (กระแสจาก Hot Junction ไปยัง Cold Junction) แต่ถ้ากระแสไหลไปในทิศทางตรงข้ามแล้วที่จุด P จะมีความร้อนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 การต่อแท่งโลหะที่จุดต่ออุณหภูมิต่างๆ

ในรูปที่ 2.48 (ก) เป็นแท่งโลหะที่ตรงจุดกึ่งกลางถูกทำให้มีอุณหภูมิ T_2 และที่จุด P_1 และ P_2 นั้นจะมีอุณหภูมิเป็น T_1 เท่ากัน โดยอุณหภูมิ T_2 มีค่ามากกว่าอุณหภูมิ T_1 เมื่อป้อนกระแสจากภายนอกให้แท่งโลหะในทิศทางตามรูป (ข) อุณหภูมิที่จุด P_1 และ P_2 จะเปลี่ยนเป็น $T_1 + \Delta T$ และ $T_1 - \Delta T$ ตามลำดับ แต่เมื่อมีกระแสไหลผ่านในทิศทางตรงกันข้ามอุณหภูมิที่จุด P_1 และ P_1 จะกลายเป็น $T_1 - \Delta T$ และ $T_1 + \Delta T$ ตามลำดับเช่นกันดังแสดงในรูป (ค)

ผลจากการทดลองของ Thomson นั้นต่างจากผลการทดลองของ Peltier ตรงที่ว่าผลอันนี้เกิดขึ้นในตัวนำชนิดเดียวกันแทนที่จะเป็นที่จุดเชื่อมต่อของตัวนำต่างชนิด ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของ Seebeck ก็คือ ผลรวมของปรากฏการณ์ที่ได้จากแรงดันไฟฟ้า Peltier ที่จุดเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า Thomson บนเส้นลวดที่ต่างกันทั้งสองเส้น ถ้าให้ E เป็นแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล หรือแรงดันไฟฟ้าของ Seebeck แล้วเราจะได้ว่า

$$E = c(T_1 - T_2) + K(T_1^2 - T_2^2) \tag{2.51}$$

โดยที่ c , k = ค่าคงที่ของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

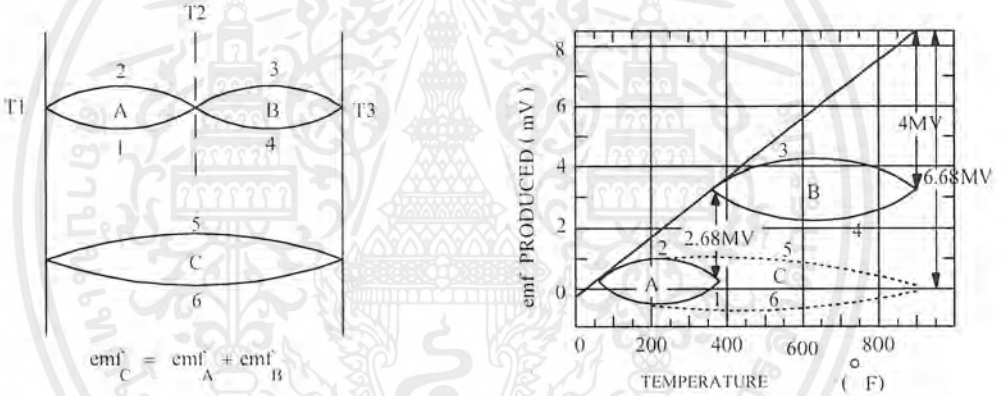
T_1 = อุณหภูมิของจุดที่ใช้ในการวัดค่า (Hot Junction)

T_2 = อุณหภูมิของจุดอ้างอิง (Cold Junction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีจุดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิลที่ควรจะกล่าวถึงอีก 2 กฎ คือ อุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature) และกฎของโลหะแทรก(Law of Intermediate Metals)

1) กฎของอุณหภูมิแทรก กล่าวไว้ว่า ถ้าโลหะต่างกัน 2 ชนิดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า E_1 ขึ้นเมื่อจุดเชื่อมต่อมีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 และ T_2 และเกิดแรงดันไฟฟ้า E_2 เมื่อจุดเชื่อมต่อมีค่าอุณหภูมิเป็น T_2 และ T_3 ตามลำดับแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อจุดเชื่อมต่อทั้งสองมีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 และ T_3 จะมีค่าเท่ากับ $E_1 + E_2$ ผลของกฎอันนี้ก็หมายถึงว่า ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิล 2 ชุด โดยที่เทอร์โมคัปเปิลชุดหนึ่งมีค่าอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อเป็น T_2 และ T_3 นั้น จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดเดียวที่มีอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อเป็น T_1 และ T_3 ในรูปที่ 2.49 แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้

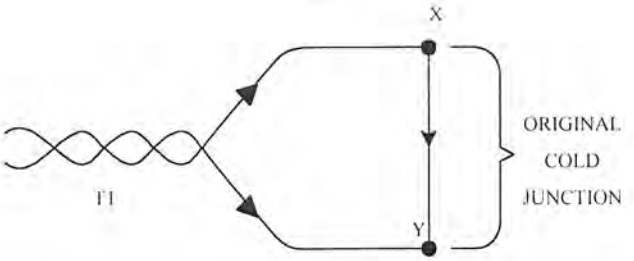


(ก) กฎของอุณหภูมิแทรก (ข) กราฟแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้า

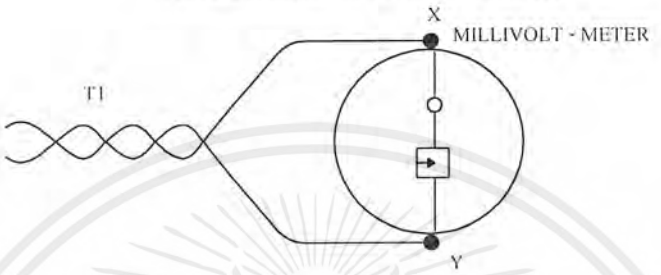
รูปที่ 2.49 ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิล

2) กฎของโลหะแทรก กล่าวไว้ว่า ถ้านำเส้นลวดชนิดที่สามเข้ามาต่อในวงจรของเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Cold Junction ดังแสดงในรูปที่ 2.50 (ก) แล้ว แรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลจะไม่เปลี่ยนแปลงไป และจุดเชื่อมต่อใหม่ X และ Y นั้นก็มีอุณหภูมิเดิม ในทางปฏิบัติแล้วกฎนี้มีความสำคัญมาก เพราะหมายถึงความสามารถที่จะนำเอาอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า หรือสายตัวนำที่จะต่อเข้ากับวงจรควบคุมที่จุด Cold Junction ได้โดยไม่ทำให้ค่าแรงดันของวงจรเปลี่ยนแปลงไป รูปที่ 2.50 (ข) แสดงถึงการนำเอามิลลิโวลต์มิเตอร์มาต่อเพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ADDITIONAL OF A THIRD WIRE XY



(ข) ADDITION OF A MILLIVOLTMETER

รูปที่ 2.50 การต่อเส้นลวด 3 เส้นในวงจรของเทอร์โมคัปเปิล

ตารางที่ 2.12 แสดงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่างๆ

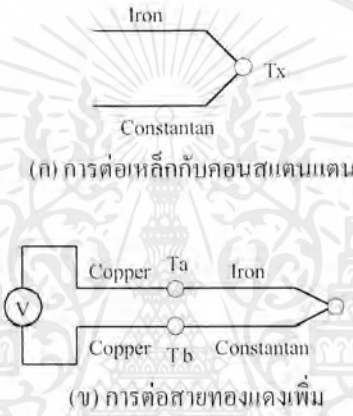
แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิ ใช้งาน		แรงดันไฟฟ้าที่ได้ mV
		°C	°F	
B	พลาตินัม -30% โรเดียม			-6.458 to 54.875
	พลาตินัม -6% โรเดียม	0 to 1820	32 to 3310	-6.258 to 20.869
R	พลาตินัม -13% โรเดียม			-9.835 to 76.358
	พลาตินัม	-50 to 1768	-60 to 3210	
S	พลาตินัม -10% โรเดียม			
	พลาตินัม	-50 to 1768	-60 to 3210	-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 76.35

3) การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล RTD และเทอร์มิสเตอร์จะวัดอุณหภูมิสัมบูรณ์แต่เทอร์โมคัปเปิลจะวัดเพียงอุณหภูมิสัมพัทธ์เท่านั้น การวัดอุณหภูมิสัมพัทธ์ ก็คือ การวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆ แล้วต้องมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่ทราบค่า ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิสองจุด

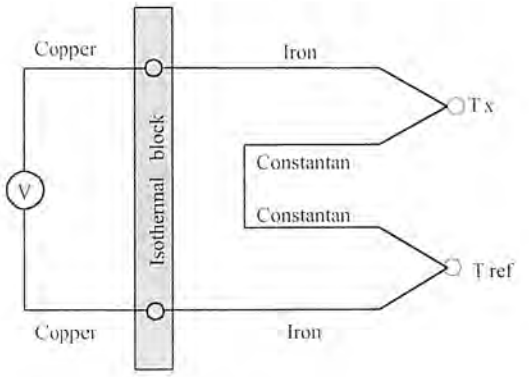
หากเราใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด J ซึ่งประกอบด้วยเส้นลวดเส้นหนึ่งที่ทำมาจากเหล็ก (Iiron) และอีกเส้นหนึ่งทำมาจาก คอนสแตนแตน (Constantan) เมื่อเราต่อเทอร์โมคัปเปิลชุดดังกล่าวนี้เข้ากับโวลท์มิเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุม สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเราต่อสายทองแดง ก็คือ เป็นการสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีกสองเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.51 ซึ่งแต่ละเส้นย่อมมีผลกับแรงดันไฟฟ้าของวงจร เท่ากับว่าตอนนี้มีเทอร์โมคัปเปิลอยู่สามเส้นพร้อมอุณหภูมิที่ไม่รู้ค่าอีกสามจุด



รูปที่ 2.51 การสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีก 2 เส้น

วิธีการดั้งเดิมในการแก้ปัญหาก็คือ การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามและจุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.52 ในตัวอย่างนี้เทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามคือจุดต่อทองแดง-เหล็ก (Copper-Iron) อีกอันหนึ่งเพื่อให้คู่กับจุดต่อทองแดง-เหล็ก ที่เกิดขึ้นเมื่อต่อลวดทองแดงเข้ากับลวดเหล็กของเทอร์โมคัปเปิล ที่แท้จริงแล้วจุดต่อทั้งสองนี้จะลบล้างซึ่งกันและกันอย่างมี ประสิทธิภาพ ถ้ามันถูกแยกให้อยู่ในกล่องที่อยู่แยกต่างหาก (Isothermal Block)โดยมีอุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



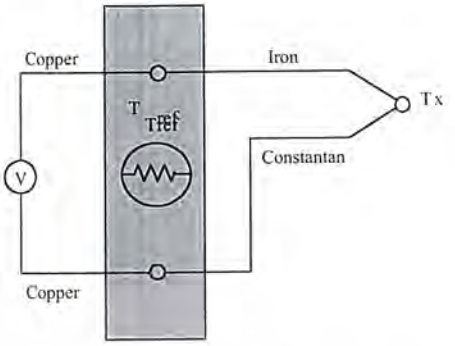
รูปที่ 2.52 การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามและจุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิ

เพราะฉะนั้นในขณะนี้จะมีจุดต่อเพียงสองจุด จุดต่อแรกมาจากเทอร์โมคัปเปิล (Tx) และจุดต่ออ้างอิง (Tref) เป็นจุดที่ถูกสร้างขึ้นมา และหากเราทราบค่าอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงนี้ก็สามารถที่จะคำนวณหาอุณหภูมิ (Tx) ที่จุดวัดได้

เนื่องจากจุดอ้างอิงที่อุณหภูมิที่ใช้งานได้มีน้อยมากและมักมีราคาแพง จุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำที่อุณหภูมิ 0°C และ 100°C ดูจะเป็นเพียงทางออกที่ง่ายที่สุด วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดอุณหภูมิ Tref หรือ อุณหภูมิอ้างอิง ก็คือ การวางจุดต่อในอ่างน้ำแข็ง วิธีการใช้อ่างน้ำแข็งแม้จะให้ผลการวัดที่เที่ยงตรงก็จริง แต่ก็ไม่ใช่วิธีที่สะดวกที่สุด

เพื่อให้กระบวนการทุกอย่างง่ายที่สุด คือ ตัดอ่างน้ำแข็งออกไป แล้ววัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสัมบูรณ์ เช่น RTD หรือ เทอร์มิสเตอร์ และชดเชยผลการวัดด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ความจำเป็นในการบังคับให้อุณหภูมิอ้างอิงเป็นศูนย์ก็หมดไป ขั้นตอนถัดไปก็คือการกำจัดเทอร์โมคัปเปิลตัวที่สอง (ในรูปที่ 2.52) โดยการขยายกล่องแยกอุณหภูมิ (Isothermal Block) ให้รวมอุณหภูมิอ้างอิงเข้าไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.53 ทำให้สามารถตั้งอุณหภูมิของกล่องเป็นอุณหภูมิอ้างอิง Tref (เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองที่อยู่ในกล่องยังคงหักล้างซึ่งกันและกัน) ณ. จุดนี้การหาค่าอุณหภูมิอ้างอิง Tref จึงเป็นเพียงเรื่องของการวัดอุณหภูมิและกล่องแยกอุณหภูมิด้วย RTD หรืออุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์อื่นๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



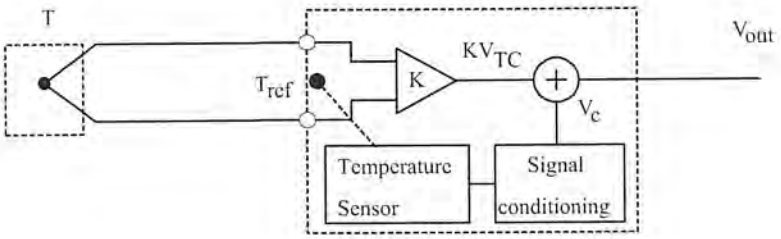
รูปที่ 2.53 การขยายกล่องแยกอุณหภูมิโดยรวมอุณหภูมิอ้างอิงเข้าด้วยกัน

Tref หรือ อุณหภูมิอ้างอิงเป็นหนึ่งในสองปริมาณที่ต้องการเพื่อใช้คำนวณหาค่า Tx ส่วนอีกค่าหนึ่งที่ต้องทราบคือ แรงดัน (E) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยโวลต์มิเตอร์จากสมการ

$$E = c(Tx - Tref) + k(Tx^2 - Tref^2) \qquad (2.52)$$

เมื่อ c และ k คือค่าคงที่ของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด (หรืออาจใช้ตารางมาตรฐานของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดก็ได้) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ค่า c และ k รวมทั้งแรงดันเอาทพุทที่ได้มักจะเป็นตัวเลขน้อยๆ ทำให้เป็นการยากที่จะวัดค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์และการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ได้อย่างถูกต้อง

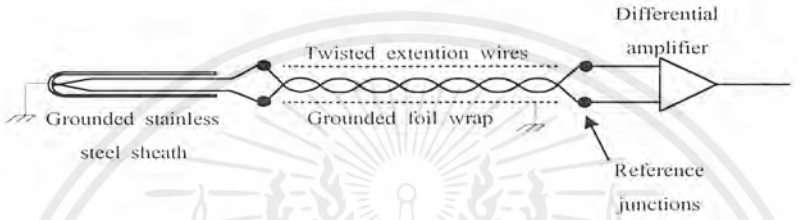
นอกจากนั้นในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาวงจรชดเชยอุณหภูมิอ้างอิงที่อยู่ในรูปของ IC มาใช้แทนกล่องอุณหภูมิอ้างอิง (Isothermal Block) กันมากขึ้น เนื่องจากความสะดวกและง่ายในการใช้งาน โดยชุด IC ดังกล่าวจะถูกออกแบบมาใช้เฉพาะกับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด รูปที่ 2.54 แสดงหลักการของชุด IC ที่นำมาใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 2.54 หลักการของชุด IC ที่นำมาใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อย ด้วยเหตุนี้นี่เองที่ทำให้สัญญาณไฟฟ้าเข้ามามีผลกับความเที่ยงตรงของการวัดอุณหภูมิ การลดการเหนี่ยวนำกับแม่เหล็กและไฟฟ้าสถิตย์โดยใช้ระบบสายบิด (Twisted-Pair) แสดงดังรูปที่ 2.55 ควรใช้สายไฟให้มีความยาวน้อยที่สุดและอยู่ให้ห่างจากบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูง จะช่วยให้ปัญหาสัญญาณรบกวนบรรเทาเบาบางลงไปได้บ้าง แต่ถึงอย่างไรก็ดีจำเป็นต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถใช้กับสัญญาณระดับต่ำ ๆ ได้โดยไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนภายในควบคู่กันไปด้วย



รูปที่ 2.55 ระบบสายบิด

2.9.4 การเลือกอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิตัวไหนที่ดีที่สุดสำหรับการวัดในทุกสถานการณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ถึงคุณสมบัติในการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดดังกล่าวมาแล้วในข้างต้น ตารางที่ แสดงถึงองค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณา เช่น ประสิทธิภาพ การใช้งาน ความสะดวก รวมทั้งราคา เป็นต้น

ตารางที่ 2.13 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันโดยส่วนใหญ่

ข้อเปรียบเทียบ	อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ		
	เทอร์โมคัปเปิล	RTD	เทอร์มิสเตอร์
ข้อดี	ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน ทนทาน มีราคาถูก ช่วงอุณหภูมิกว้าง	คงที่ที่สุด เที่ยงตรงที่สุด เป็นเชิงเส้นมากกว่าเทอร์โมคัปเปิล	ให้เอาต์พุตสูง เร็ว เป็นการวัดแบบ 2 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 (ต่อ) การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันโดยส่วนใหญ่

ข้อเปรียบเทียบ	อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ		
	เทอร์โมคัปเปิล	RTD	เทอร์มิสเตอร์
ข้อเสีย	ไม่เป็นเชิงเส้น ให้แรงดันต่ำ ต้องการค่าอ้างอิง มีความคงที่น้อยที่สุด มีความไวต่ำที่สุด	มีราคาแพง ช้า ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย กำเนิดความร้อนขึ้นมา	ไม่เป็นเชิงเส้น ช่วงอุณหภูมิจำกัด บอบบาง ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก กำเนิดความร้อนขึ้นมา

1) เทอร์โมคัปเปิล เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมมากที่สุด เนื่องมาจากให้ช่วงหรือย่านการวัดที่กว้าง และมีโครงสร้างที่ทนทานกว่าชนิดอื่นๆ นอกจากนั้นยังไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอกรวมทั้งมีราคาถูก แต่ก็มีข้อเสียอยู่หลายประการด้วยกัน คือ ไม่เป็นเชิงเส้น ให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ มีความคงที่และให้ความไวต่ำสุด

2) RTD ทำงานบนหลักการที่ว่า ค่าความต้านทานของโลหะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัด พลาตินัมจัดเป็น RTD ที่ดีที่สุด โดยให้ผลของการวัดที่เที่ยงตรงและคงที่ที่สุดถึง 500°C ที่มีราคาถูกอาจใช้นิเกิลหรือนิเกิลอัลลอยด์แต่ค่าที่ได้ไม่คงที่หรือเป็นเส้นตรงเหมือนพลาตินัม ข้อเสียของ RTD คือ มีราคาสูงและอีกอย่างหนึ่งก็คือมันสร้างความร้อนออกมา เนื่องจากในการใช้งานจำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งแน่นอนย่อมทำให้เกิดความร้อนและทำให้ค่าที่วัดผิดพลาดได้ ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของ RTD ก็คือ RTD มีความต้านทานต่ำซึ่งมีผลกระทบกับวิธีที่จะใช้มันวัดอุณหภูมิ ความต้านทานของสายที่ใช้ต่อเข้ากับ RTD จึงมีผลอย่างมากกับผลของการวัด

3) เทอร์มิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งทำมาจากสารกึ่งตัวนำเซรามิก ทำให้ค่าความต้านทานสูงกว่า RTD ดังนั้น ข้อผิดพลาดจากสายที่ต่อสำหรับการวัดจึงไม่มีผลเท่าใดมากนัก ทำให้การวัดมีความละเอียดสูง และลดผลจากค่าความต้านทานของสายไปด้วยนอกจากนั้นมวลความร้อนที่ต่ำมากของเทอร์มิสเตอร์ ยังทำให้โหลดความร้อนของอุปกรณ์ที่ทำการวัดมีค่าน้อยที่สุดด้วย อย่างไรก็ตาม มวลความร้อนที่ต่ำก็มีข้อเสีย คือ ทำให้มีแนวโน้มของการกำเนิดความร้อนสูงขึ้นจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการวัด ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งก็คือ เทอร์มิสเตอร์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้งานในบางช่วงที่เป็นเชิงเส้นเพื่อให้ผลการวัดที่ใช้งานได้

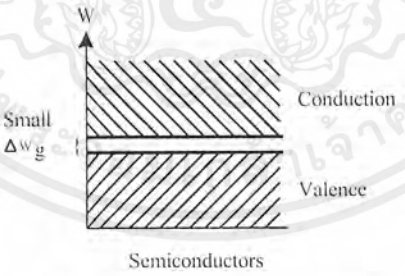
2.10 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (Photo Detector)

อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกันโดยในที่นี้จะขอแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน กล่าวคือ ประเภทที่เปลี่ยนแปลงค่าความนำแสง (Photo Conductive) ประเภทที่สร้างแรงดันไฟฟ้าโดยใช้แสง (Photo Voltaic) และประเภทส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยแสง (Photo Emissive)

2.10.1 อุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความนำ (Photo Conductive Detector)

หนึ่งในหลายๆ แบบของอุปกรณ์ตรวจจับทางแสงที่ธรรมดาที่สุด ก็คือ การใช้หลักการที่ว่าจะเปลี่ยนแปลงค่าความนำ (Conductivity) ของสารกึ่งตัวนำด้วยความเข้มของการส่องแสง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความนำนี้จะปรากฏอยู่ในรูปของความต้านทาน

1) โฟโต้รีซิสเตอร์ (Photo Resistor) ในสารกึ่งตัวนำของอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง โฟตอนจะถูกดึงดูดและปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากวาเลนซ์ (Valence) ไปยังแถบความนำ (Conduction Band) จำนวนอิเล็กตรอนมากมายเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยเข้าไปยังแถบความนำ ทำให้ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำลดลงโดยที่ค่าความต้านทานดังกล่าวนี้จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของแสง



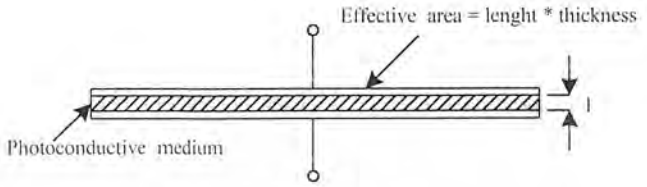
รูปที่ 2.56 อิเล็กตรอนเลื่อนระดับพลังงาน

จากรูปที่ 2.56 เมื่อสารกึ่งตัวนำได้รับแสงเป็นเหตุให้อิเล็กตรอนเลื่อนระดับพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้าได้ โดยผ่านแถบช่องว่างพลังงาน

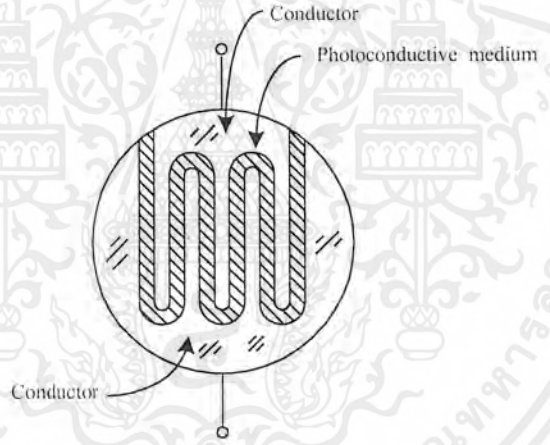
1.1) โครงสร้างของเซลล์ (Cell Structure) สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดที่ธรรมดาที่สุดที่นำมาใช้ทำอุปกรณ์ตรวจจับประเภทนี้ก็คือ แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ซึ่งมีแถบช่องว่างพลังงานเป็น 2.42 eV และแคดเมียมซิลิไฟด์ (CdSe) มีแถบช่องว่างพลังงานเป็น 1.74 eV เหตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดนี้ก็เพราะว่าสภาพปกติที่ไม่ได้รับแสงค่าแถบพลังงานช่องว่างจะมีค่าสูงมาก ซึ่งจะเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานมีค่าที่สูงตามไปด้วย



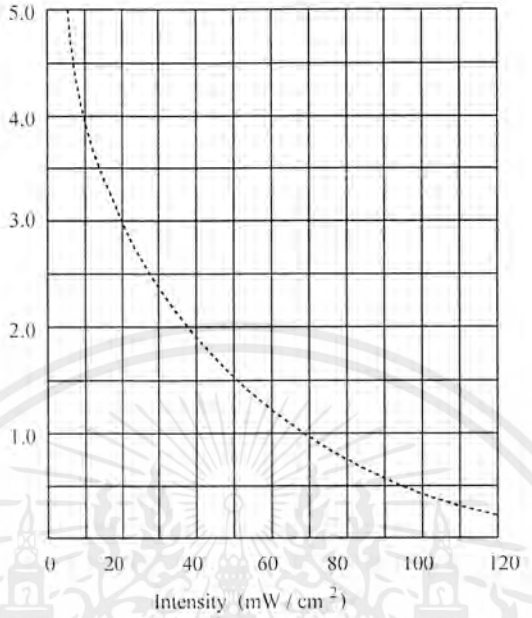
รูปที่ 2.57 โครงสร้างของเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยแสง



รูปที่ 2.58 โครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่งของโฟโต้รีซีสเตอร์

นอกเหนือจากแสงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานโดยตรงแล้ว รูปแบบโครงสร้างก็ยังมีผลต่อค่าความต้านทานด้วยเช่นกัน จากสมการพื้นฐานที่ว่า $R = \rho l / A$ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ได้รับนั้นส่วนมากจะไม่เป็นเชิงเส้น โดยความต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มของแสงมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 2.59 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของแสง โดยในที่นี้กำหนดให้ความยาวของคลื่นแสง (λ) เป็น $0.5\mu m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

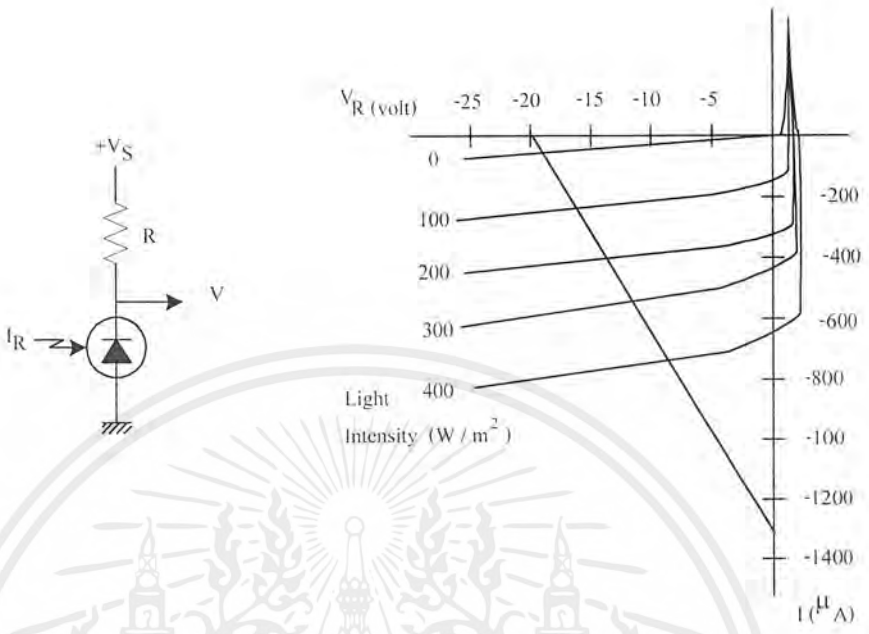


รูปที่ 2.59 กราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความเข้มของแสง

การควบคุมความไวเกี่ยวกับแสงที่อยู่ในสภาพปกติสามารถกระทำได้โดยต่อโฟโต้รีซิสเตอร์เข้ากับวงจรบริดจ์แล้วปรับวงจรให้มีค่าเป็นศูนย์ วงจรออปแอมป์จะใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าความต้านทานของโฟโต้รีซิสเตอร์ให้เป็นกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งอย่างที่เราทราบกันแล้วว่าโฟโต้รีซิสเตอร์ก็เหมือนกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตัวมันเอง (Power Dissipation) ส่วนหนึ่ง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 500 mW ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างของโฟโต้รีซิสเตอร์รุ่นนั้นๆ ด้วย

2) โฟโต้ไดโอด (Photo Diode) หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด ก็คือ การเคลื่อนที่ของโฟตอนเข้าไปชนกับรอยต่อ PN ทำให้กระแสมีทิศทางตรงข้าม (Reverse Current) กับแรงดัน ซึ่งกระแสดังกล่าวนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นโฟโต้ไดโอดจะถูกต่อใช้งานในลักษณะที่ขั้วต่อจะตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของกระแสในวงจร (Reverse - Bias) ดังแสดงในรูปที่ 2.60 (ก) ส่วนในรูปที่ 2.60 (ข) นั้นแสดงคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอดซึ่งเส้นโหลด (Load Line) ที่ลากระหว่างแรงดันกับกระแสจะใช้สำหรับการหาค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดกับกระแสบนฟังก์ชั่นของความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



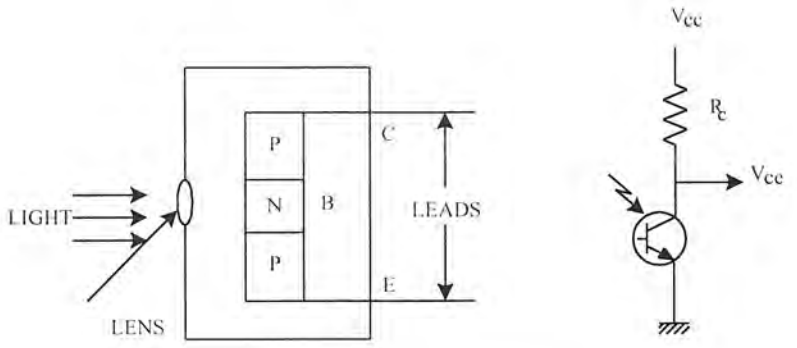
(ก) ลักษณะของไดโอดที่ต่อตรงข้ามของกระแสในวงจร (ข) กราฟคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอด

รูปที่ 2.60 การต่อใช้งานและคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอด

ข้อดีประการหนึ่งของโฟโต้ไดโอด ก็คือ เวลาที่ใช้ในการตอบสนองเร็วซึ่งมีค่าอยู่ในย่านนาโนวินาที โดยทั่วไปโฟโต้ไดโอดจะมีขนาดเล็กเหมือนกับไดโอดที่นยมใช้กันอยู่ทั่วไป ดังนั้นจึงต้องมีเลนส์ที่ใช้สำหรับโฟกัสแสงให้ตกลงยังรอยต่อ PN ซึ่งโดยทั่วไปเลนซ์ดังกล่าวจะอยู่บนตัว (Case)

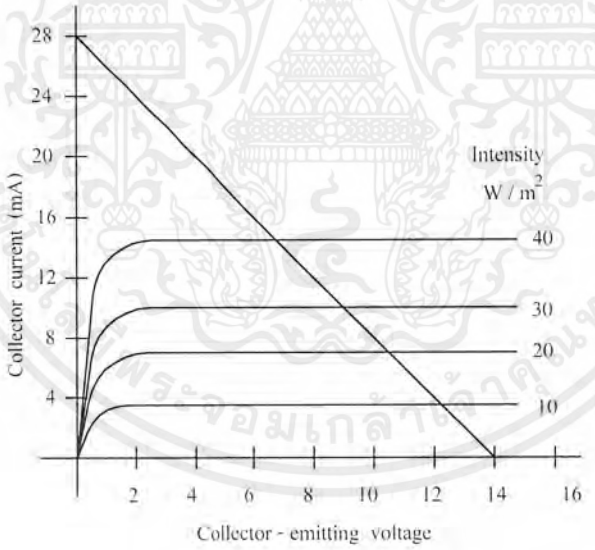
3) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (PhotoTransistor) เซนเซอร์แบบนี้เป็นการขยายหลักการของโฟโต้ไดโอด กล่าวคือ ความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบนรอยต่อระหว่างขา C และ B ของทรานซิสเตอร์ทำให้เหมือนกับว่ามีกระแสไหลในขา B ดังนั้นจึงไม่จำเป็นจะต้องต่อกระแสเข้าที่ขานี้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดการขยายกระแสระหว่างขา C และ E ของทรานซิสเตอร์ รูปที่ 2.61 แสดงโครงสร้างและการประยุกต์ใช้งานโดยการต่อขา E ของทรานซิสเตอร์ลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.61 โครงสร้างและการประยุกต์ใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์

รูปที่ 2.62 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมที่ขา C และ E กับกระแสที่ไหลผ่านที่ขา C ของทรานซิสเตอร์เมื่อได้รับความเข้มแสงที่ค่าต่างๆ

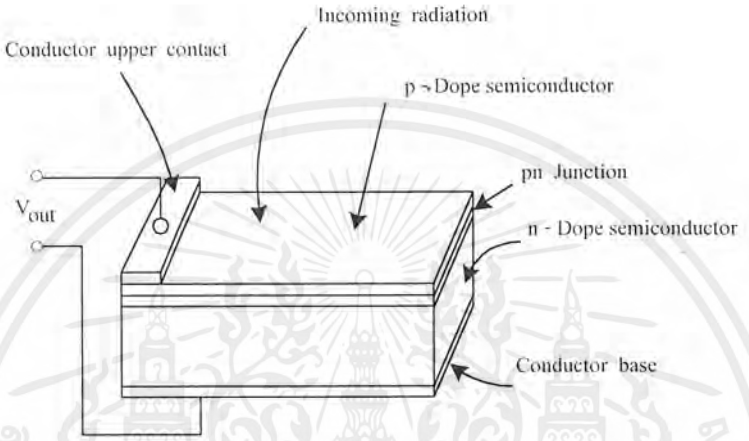


รูปที่ 2.62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมขา C และ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 อุปกรณ์ตรวจจับแสงที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เอง (Photovoltaic Detector)

อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงที่ได้รับ หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานทางแสงเป็นพลังงานทางไฟฟ้านั่นเอง โดยทั่วไปเรียกว่า โซลาร์เซลล์



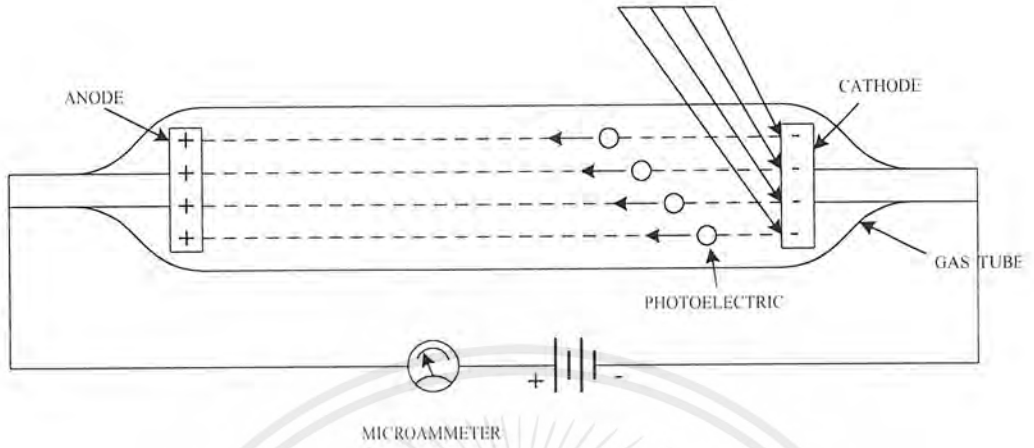
รูปที่ 2.63 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์

จากรูปที่ 2.62 เราจะเห็นว่าเซลล์มีโครงสร้างที่คล้ายกับไดโอดกล่าวคือ จะมีการใช้รอยต่อ PN ที่อยู่ระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N แสงจากภายนอกกระตุ้นโฟตอนของเซลล์ผ่านไปยังสารกึ่งตัวนำบางๆ ที่อยู่ด้านบนและถูกดูดกลืนด้วยอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N เป็นเหตุให้เกิดการจัดตัวของอิเล็กตรอนและโฮล และที่รอยต่อ PN จะเป็นตัวแยกอิเล็ตรอนและโฮลเหล่านี้ออกจากกันทำให้เกิดเป็นความต่างศักย์ขึ้นโดยที่ด้านบนจะเป็นขั้วบวกและด้านล่างเป็นขั้วลบ

2.10.3 อุปกรณ์ตรวจจับชนิดใช้แสงกระตุ้นการส่งจ่ายกระแส (Photo Emissive Detector)

โครงสร้างของอุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยหลอดแก้วที่ภายในบรรจุก๊าซหรือเป็นสูญญากาศพร้อมกับแผ่นโลหะสองแผ่น คือ ขั้วลบ (Cathode) ทำจากวัตถุซึ่งเป็นตัวรับแสงและเป็นตัวที่จะส่งอิเล็กตรอนให้กับขั้วบวก (Anode) แหล่งจ่ายกำลังภายนอกที่จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ชนิดนี้จะต้องต่อขั้วที่ตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.64 โครงสร้างและหลักการทำงาน

อุปกรณ์นี้จะไม่นำกระแสหากไม่ได้รับแสงที่ขั้วลบโดยจะมีค่าความต้านทานภายในหลอดแก้วอยู่ที่ 1^{11} ถึง 10^{12} โอห์ม ซึ่งเหมือนกับการปิดวงจร แต่หากมีแสงจากภายนอกมากระทบกับผิวหน้าของขั้วลบจะเป็นเหตุให้เกิดการกระตุ้นของโฟตอน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่หลุดออกจากขั้วลบและอิเล็กตรอนเหล่านี้จะผ่านไปยังขั้วบวกครบวงจร

ปัจจุบันอุปกรณ์ชนิดนี้อาจไม่นิยมใช้งานมากนักสาเหตุก็เนื่องมาจากขนาดของตัวมันเอง โดยทั้งนี้จะใช้โฟโต้ไดโอดหรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

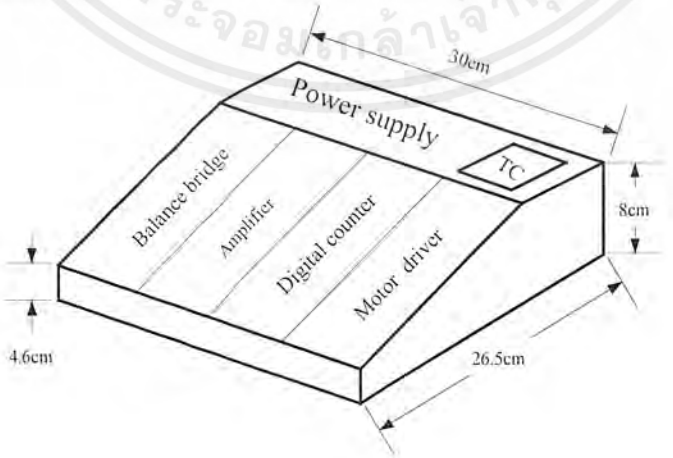
บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 บทนำ

ชุดปฏิบัติการทดลองเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์เป็นชุดทดลองและสาธิตให้เข้าใจถึงหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยชุดควบคุม 1 ชุด และชุดทดลองอีก 3 ชุด คือ ชุดที่หนึ่งเรียกว่า Proximity Test Bed เป็นชุดทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ ในการตรวจจับวัตถุ โดยทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีด้วยกัน 6 แบบ วางเรียงอยู่รอบๆ จานหมุน ซึ่งเราจำลองคล้ายกับมีวัตถุมาผ่านทรานสดิวเซอร์ ชุดที่สองเรียกว่า Strain and Stress Test Bed ที่ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับการตรวจวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ ชุดที่สามเรียกว่า Temperature Sensing Test Bed ใช้ทดลองเกี่ยวกับระบบการวัดและควบคุมอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่า ในชุดทดลองนี้เริ่มต้นตั้งแต่การแปลงสัญญาณโดยผ่านทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ การนำสัญญาณที่ได้มาปรับแต่งเพื่อใช้แสดงผลหรือควบคุมระบบ

3.2 การออกแบบและการสร้างชุดควบคุม

ชุดควบคุมจะประกอบขึ้นด้วยโครงเหล็กและมีขนาดดังรูปที่ 3.1 เราจะทำการติดตั้งแผงวงจรไว้ภายในกล่องเหล็กนี้ โดยชุดควบคุมประกอบไปด้วย วงจรจ่ายแรงดัน วงจรนับ วงจรขยาย วงจรขับมอเตอร์ วงจรบริดจ์สมดุลย์ และวงจรควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.1 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง

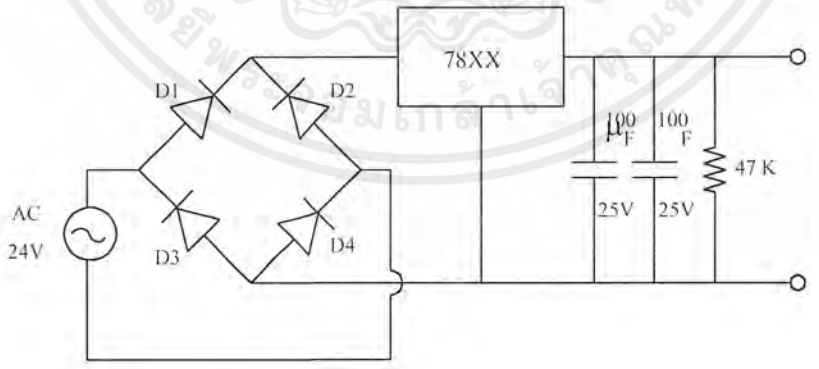
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจรจ่ายแรงดัน (Power Supply)

แหล่งจ่ายแรงดันเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง โดยจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรชุดทดลองต่างๆในชุดควบคุม ซึ่งวงจรทดลองแต่ละส่วนในชุดควบคุมก็ต้องการแรงดันขนาดที่แตกต่างออกไป คือ ในชุดวีทสโตนบริดจ์ต้องการแรงดันขนาด 6 โวลท์, ชุดขยายแบบกลับเฟสต้องการแรงดันขนาด 15 โวลท์, ชุดวงจรนับต้องการแรงดันขนาด 5 โวลท์, และชุดขับมอเตอร์ต้องการขนาด 5 ถึง 6 โวลท์ ในการออกแบบจึงต้องทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันให้มีขนาดตั้งแต่ 0 ถึง -15 โวลท์ และ 0 ถึง 24 โวลท์ เพื่อความสะดวกในการสร้างจึงใช้ไอซีเบอร์ 78XX ซึ่งเป็นไอซีเรกกูเลตที่สามารถปรับย่านแรงดันที่กว้างและให้เสถียรภาพของแรงดันได้ดี โดยมีเบอร์ต่างๆ ที่ใช้ดังนี้คือ

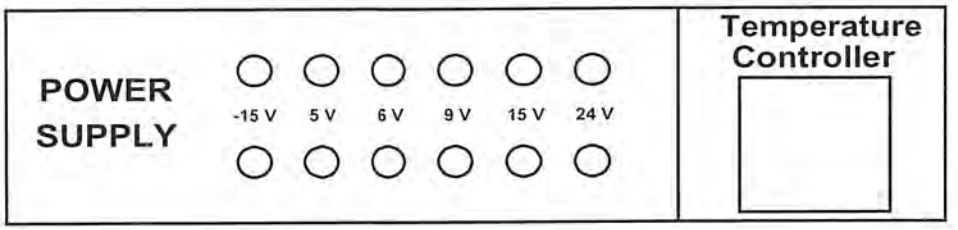
7805 ให้แรงดันขนาด 5 โวลท์
7806 ให้แรงดันขนาด 6 โวลท์
7809 ให้แรงดันขนาด 9 โวลท์
7815 ให้แรงดันขนาด 15 โวลท์
7915 ให้แรงดันขนาด -15 โวลท์
7824 ให้แรงดันขนาด 24 โวลท์

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรพื้นฐานของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน โดยมีรายละเอียดของวงจรดังนี้ คือ ไอซี 78XX เป็นไอซีที่ใช้สำหรับจำกัดแรงดันตามที่เราต้องการ, ต่อตัวต้านทานไว้เพื่อแบ่งแรงดัน, และคาปาซิเตอร์ก็ใช้เป็นตัวกรองเอาต์พุตที่ออกมาให้เรียบ



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

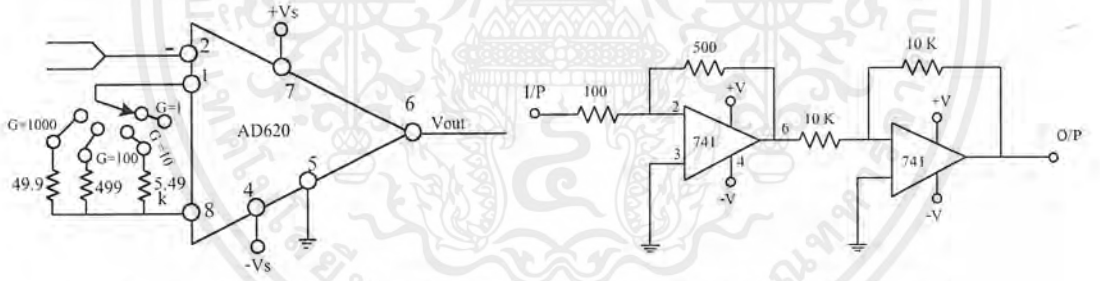
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงแผงด้านหน้าของชุดแหล่งจ่ายแรงดัน

3.2.2 วงจรขยาย (Amplifier)

วงจรขยายที่ใช้ในชุดควบคุม เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส หรือ เรียกว่าอินเวอร์ติ้งแอมป์ โดยทั่วไปวงจรขยายจะเป็นวงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณอินพุทที่มีขนาดน้อยๆ มาเป็นเอาต์พุตที่มีขนาดสูงกว่าเดิม ซึ่งชุดวงจรขยายในชุดควบคุมนี้จะใช้ขยายสัญญาณอินพุตที่ได้มาจากเทอร์โมคัปเปิลที่ให้เอาต์พุตออกมาน้อยมาก (เป็นมิลลิโวลท์) จึงใช้วงจรขยายแบบอินเวอร์ติ้งที่มีลักษณะของการขยายเป็นเส้นตรง นั่นคือ อัตราส่วนของเอาต์พุตต่ออินพุตคงที่เสมอ

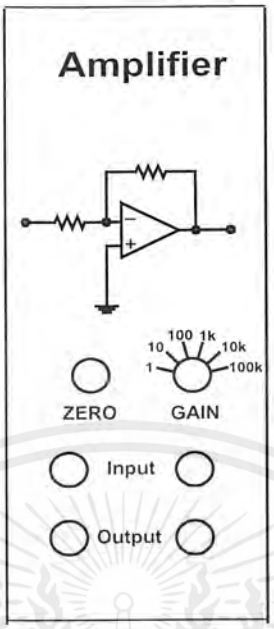


(ก) วงจรขยายของชุดควบคุม (ข) วงจรขยาย 1 และ 2

รูปที่ 3.4 วงจรขยาย

การทำงานของวงจรภาคขยายจะมีสัญญาณอินพุตที่ขา 2 ซึ่งจะมีตัวต้านทานต่ออยู่ และเอาต์พุตออกที่ขา 6 และมีตัวต้านทานต่อไว้เพื่อกำหนดขนาดเอาต์พุตให้ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ

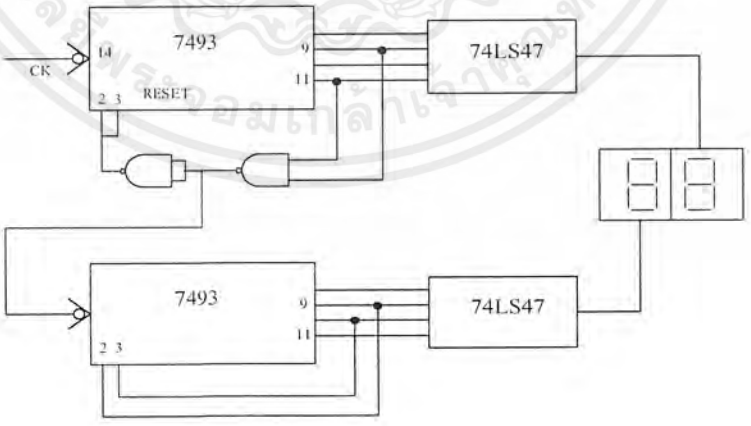
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรขยาย

3.2.3 วงจรนับ (Digital Counter)

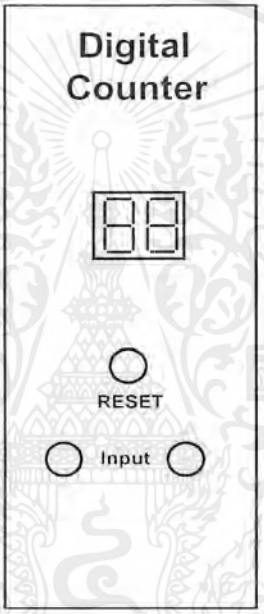
เป็นวงจรที่ใช้ประโยชน์เพื่อการนับ ในชุดทดลองนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74LS93 ซึ่งเป็นไอซี Counter แบบอะซิงโคนัส และใช้ไอซีเบอร์ 74LS47 สำหรับเป็นตัวถอดรหัสจาก BCD Code ให้เป็น 7 Segment (Decoder 4 to 8 line) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อขาไอซีของวงจรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรคือ เมื่อมีสัญญาณอินพุทที่เป็น clock pulse ป้อนเข้ามาที่ขา 14 ซึ่งเป็นขาอินพุทของไอซี 7493 ตัวที่ 1 ก็จะทำให้ไอซีนี้เริ่มต้นการนับและก็จะให้เอาต์พุตออกมาที่ขา 9 และ 10 เป็น BCD Code จากนั้นก็จะถูกส่งต่อไปยังไอซี 74LS47 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงรหัสจาก BCD Code ออกแสดงผลทาง 7 Segment ที่หลักหน่วย และส่วนหนึ่งของเอาต์พุตก็จะถูกส่งเข้าไอซีเบอร์ 7400 เพื่อเป็นสัญญาณ clock pulse ให้กับไอซี 7493 ตัวที่ 2 จากนั้นก็จะถูกส่งต่อไปยังไอซี 74LS47 ตัวที่ 2 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงรหัสจาก BCD Code ออกแสดงผลทาง 7 Segment ที่หลักสิบต่อไป ส่วนที่ขา 2 และ 3 ก็เป็นขา Reset



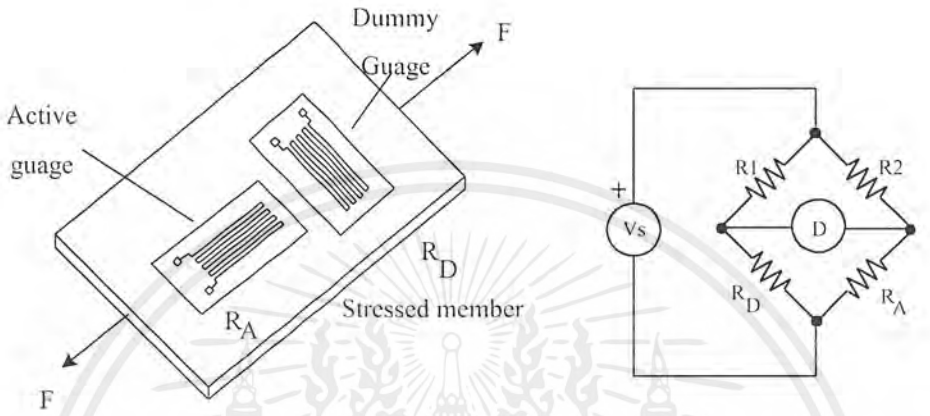
รูปที่ 3.7 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรนับ

3.2.4 วงจรบริดจ์สมดุลย์ (Balance Bridge)

เนื่องจากสเตรนเกจนั้นอาศัยหลักการที่ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะเป็นไปตามความเครียด ดังนั้นเกจจะต้องนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานน้อยๆ ได้ ค่าของ dR จะหาได้จากการวัดค่าของความต้านทานเดิม R และวัดค่าความต้านทานของเกจเมื่อมีแรงมากระทำ ในที่นี้สมมุติให้เป็น R_1 จากนั้นนำค่าที่ได้มาหักลบกัน อย่างไรก็ตาม ค่าความแตกต่างระหว่าง R และ R_1 นั้นก็คือ dR จะต้องมีความเที่ยงตรงถึง 1/1000 ของ 1% โดยทั่วไป dR จะมีค่าประมาณ 0.008 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงจรบริดจ์เข้ามาช่วยในการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว นอกจากนั้นในการใช้งานสเตรนเกจ อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าความต้านทานจึงจำเป็นที่จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ในการชดเชยอุณหภูมิจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมือนกับสเตรนเกจที่ใช้ในการตรวจวัด (Active Gauge) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้สเตรนเกจอีกชุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า เกจชดเชย (Dummy gauge) โดยติดตั้งให้ไม่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดความเครียด แสดงดังรูปที่ 3.8



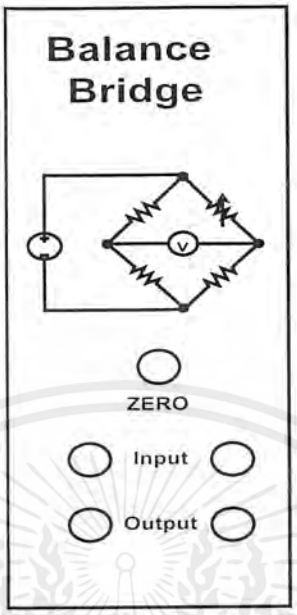
(ก) การวางเกจชดเชย (ข) วงจรสมมูลย์

รูปที่ 3.8 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ชดเชยอุณหภูมิ

ในรูปแบบอื่นของการประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจ ก็คือ การใช้สเตรนเกจติดไว้ทั้ง 2 ด้านของวงจรบริดจ์ และเป็นที่แน่นอนว่าเมื่อมีการใช้สเตรนเกจ 2 ตัวก็ย่อมที่จะมีอุปกรณ์ชดเชยอุณหภูมิ 2 ตัวด้วยเช่นกัน ข้อดีของการประยุกต์ใช้งานแบบนี้ก็คือ ความไว (Sensitive) ในการตรวจจับก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วย และแรงดันที่ได้จากวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$dV = -\frac{Vs}{2} \; GF \; \frac{dl}{l} \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรบริดจ์สมดุลย์

3.2.5 วงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver)

ในวงจรขับมอเตอร์ของชุดทดลองนี้เราใช้มอเตอร์แบบสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ถือว่าเป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะเคลื่อนที่เป็นสเต็ปซึ่งอาจจะเป็น สเต็ปๆ ละ 1.8, 5 และ 7.5 องศา ขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์ ส่วนใหญ่สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะใช้ในงานควบคุมระบบดิจิตอล เช่น เครื่องพิมพ์, เครื่องพล็อตเตอร์, เครื่องขับแผ่นดิสก์ตลอดจนอุปกรณ์ในงานอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม หรือ เครื่องมือวัดและระบบควบคุมอื่นๆ

สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

โรเตอร์ เป็นส่วนที่หมุนได้ จะเป็นแม่เหล็กถาวรและอื่นๆ อีกส่วนหนึ่ง คือ สเตเตอร์ เป็นส่วนที่อยู่กับที่ จะเป็นขดลวดหลายๆ ขด

1) ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เราสามารถแบ่งสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตามพื้นฐานได้ 3 ชนิด คือ

1.1) ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable reluctance : VR) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง จะทำให้ความถูกต้องของตำแหน่งและการทำงานได้ไม่ดี เราสามารถทดสอบเพื่อให้ทราบว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้ได้ง่ายมาก โดยใช้มือหมุนที่เพลาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ ซึ่งจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กจะทำให้หมุนได้โดยไม่ติดขัดแตกต่างจากชนิดอื่น คือ เมื่อทำการอนุกรมจะรู้สึกขัดๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ชนิดนี้มีโรเตอร์เป็นขั้วทำจากเหล็กแผ่นบางอัดซ้อนกัน(Laminate) มุมเฟสแต่ละสเต็ปทำได้ 1.5 องศา , 7.5 องศา , 1.8 องศา และ 1.45 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 2 ชนิดอื่นแล้ว สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ มีแรงบิดที่ต่ำและการหน่วงภายในต่ำ และในสภาวะที่ไม่มีการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก จะไม่มีแรงบิดยึดเหนี่ยว

1.2) ชนิดไฮบริด (Hybidge) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในเครื่องคอมพิวเตอร์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้ มีโครงสร้างภายใน คือ สเตเตอร์เป็นชนิดวาริเอเบิลรีลักซ์แตนซ์ ส่วนโรเตอร์เป็นชนิดเพอร์มาเนนต์แม็กเน็ต นำมาประกอบเข้าด้วยกัน ทำให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีแรงยึดหน่วงสูงมีแรงบิด ดึง และผลักดี และยังคงทำงานได้ดีแม้ว่าจะมีจำนวนสเต็ปต่อรอบในการหมุนสูง มอเตอร์ชนิดนี้ได้รวมเอามอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ที่โรเตอร์มีลักษณะเป็นเหล็กอ่อน อย่างไรก็ตามได้เพิ่มการกระตุ้นสนามแม่เหล็กด้วยวงแหวนโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ตัวสเตเตอร์ทำจากเหล็กอ่อนเป็นแผ่นบางอัดซ้อนกัน มุมแต่ละสเต็ปสามารถทำให้มีขนาดเล็กมากได้ เช่น 1.8 องศา , 0.75 องศา และ 0.36 องศา คุณสมบัติทางเทคนิคของมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดได้รวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของมอเตอร์ชนิดนี้

1.3) ชนิดเพอร์มาเนนต์แม็กเนต (Permanent magnet :PM) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ มีความถูกต้องต่อตำแหน่งเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น มอเตอร์เหล่านี้ง่ายต่อการออกแบบราคาถูกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความเหมาะสมกับงานควบคุมด้วยระยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ มอเตอร์มีมุมสเต็ปที่สูงมีแรงบิดยึดและแรงบิดขณะหมุนสูง และมีการหน่วงที่ดี มุมสเต็ปที่ใช้งาน คือ 15 องศา และ 7.5 องศา

2) การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนไปทีละสเต็ป ทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดทีละขดบนสเตเตอร์ซึ่งจะต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียล การป้อนพัลซ์กระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถทำได้ 3 รูปแบบ คือ

2.1) แบบเวฟ (Wave) เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวดแต่ละขดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ทีละขดเรียงลำดับกันได้ ลักษณะการขับแบบนี้จะทำให้แรงบิดน้อย

2.2) แบบ 2 เฟส (Two Phase) มีลักษณะคล้ายกับแบบเวฟ แต่แบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟขึ้นอยู่กับ ทิศทางของการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มที่จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ คือ ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น

2.3) แบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นแบบที่ได้จากการผสมระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟสเพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดจากแรงดึงของขดลวด 2 ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งจึงมีมากขึ้น ที่สำคัญการกระตุ้นแบบนี้จะต้องทำการหมุน 2 สเต็ปจึงเท่ากับ 1 สเต็ปของ 2 แบบแรก ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องใช้เหมือนกับแบบ 2 เฟส

3) การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์

3.1) คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.1) หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต

3.1.2) หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Program Memory)

3.1.3) หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Data Memory) ขนาด 64 กิโลไบต์

3.1.4) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบต์

3.1.5) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์

3.1.6) หน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์

3.1.7) มีพอร์ตอินพุต และเอาต์พุต แบบขนานจำนวน 4 พอร์ต (32 บิต) แยกกันอย่างอิสระ

3.1.8) มีวงจรนับ และจับเวลา ขนาด 16 บิต 2 ชุด ทำงานได้ 4 โหมด

3.1.9) มีพอร์ตการสื่อสารอนุกรม รับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน สามารถเลือกรูปแบบการส่งได้ 4 รูปแบบ

3.1.10) รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง กระโดทำงานตอบสนองได้ถึง 5 ตำแหน่ง

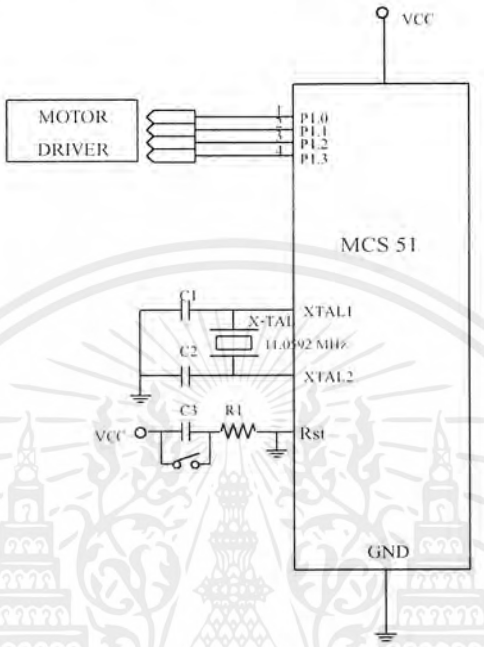
3.1.11) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

3.1.12) นำข้อมูลมา AND. OR หรือทำ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ แบบ 1 บิต

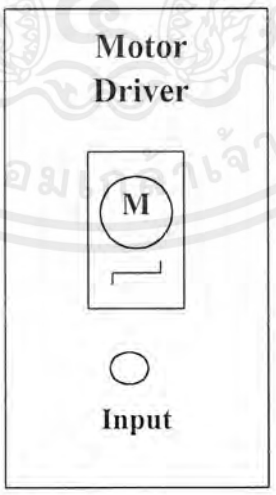
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) การต่อขาใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทดลอง

สำหรับชุดการทดลองนี้ได้กำหนดให้ใช้พอร์ต 1 เป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์ ซึ่งมีลักษณะการจัดขาเป็นดังรูปที่ 3.10



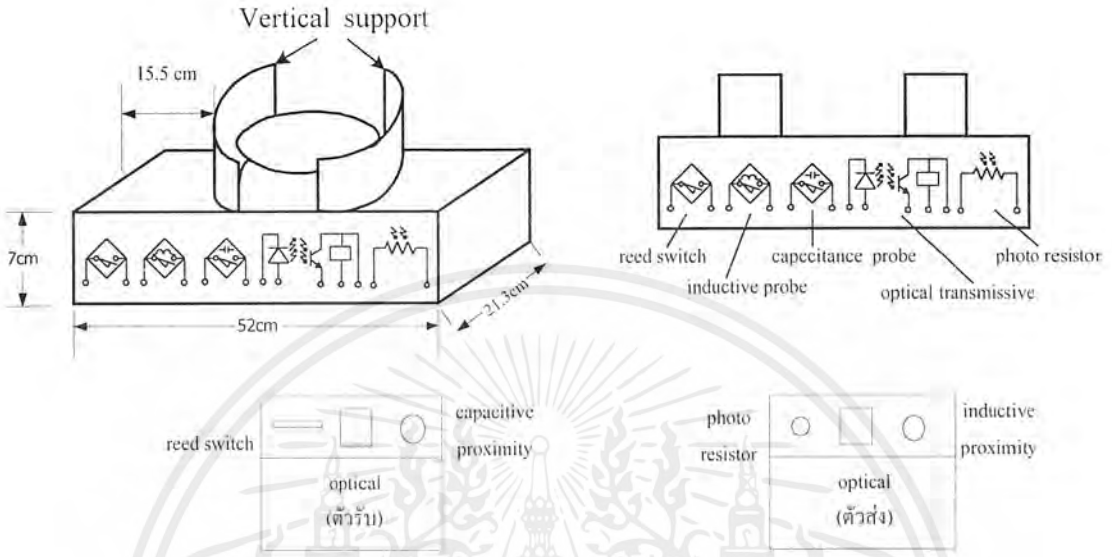
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการจัดขาใช้งานตัวไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.11 แสดงแผงด้านหน้าของวงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบและการสร้าง ชุด Proximity Test Bed



รูปที่ 3.12 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง

จากรูป Proximity Test Bed จะประกอบขึ้นด้วยโครงเหล็กซึ่งมีขนาดดังรูป 3.12 และยังประกอบด้วย Vertical Support จะทำด้วยแผ่นเหล็กครึ่งวงกลม 2 อันโค้งเข้าหากันติดตั้งอยู่รอบๆ จานหมุน โดยที่ Vertical Support จะมีอุปกรณ์เซนเซอร์ติดตั้งอยู่โดยรอบ ส่วนประกอบที่สำคัญของ ชุดทดลองนี้ มีดังนี้

1) จานหมุน (Turntable) หมุนที่ความเร็วคงที่ 0.56 รอบ ต่อวินาที พื้นผิวที่เหนือขึ้นไปของจานหมุนถูกปกคลุมด้วย Velcro วัตถุทดลองจะวางอยู่บริเวณนี้ ไม่ควรนำจานหมุนไปใช้กับความดันที่มากเกินไป ทั้งนี้อาจจะทำให้จานหมุนผิดรูปได้

2) รีดสวิตช์ ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะถูกติดตั้งให้ขนานกับส่วนที่ปกคลุมจานหมุน ซึ่งทำด้วยหลอดแก้ว ภายในมีแผ่น Goal-Plated Steel 2 แผ่นติดอยู่ ซึ่งโดยปกติแผ่นทั้ง 2 นี้จะอยู่ในลักษณะ Open Contact แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กมาใกล้หลอดแก้วก็จะทำให้แผ่น Goal-Plated Steel ติดกันอยู่ในลักษณะ Close Contact และเมื่อสนามแม่เหล็กหมดไป แผ่นเพลททั้ง 2 ก็จะจากออกจากกันอีกครั้งหนึ่ง

3) Inductive Proximity อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร มีขดลวดไฟฟ้าพันอยู่รอบบรรจุอยู่ในกล่องโลหะถูกติดตั้งอยู่บริเวณส่วนของจานหมุนเช่นกัน ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเมื่อใดก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำออกจากคอล์ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Capacitive Proximity อุปกรณ์นี้รับรู้ถึงการปรากฏของวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำ เหล็กและวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก สามารถเก็บประจุจนเต็มได้ด้วยตัวเอง มีตัวขยายและโซลิทสเตทเอาต์พุตประกอบอยู่ภายใน กำลังงานในการขับทรานสดิวเซอร์ได้มาจากชุดควบคุม ในวงจรจะทำการตรวจหาและเปลี่ยนค่า คาปาซิแตนซ์กับสวิทช์ที่เอาต์พุต เมื่อวัตถุทดลองเคลื่อนที่ผ่านไปการลดค่าในคาปาซิแตนซ์ก็จะกลับมายังเอาต์พุตในสภาวะปกติ คาปาซิแตนซ์โพรบจะมีโพเทนชิโอมิเตอร์สำหรับปรับเปลี่ยนค่าความไว และ LED แสดงสถานะ เมื่อวัตถุทดลองถูกรับรู้

5) Optical Proximity Detector มีระบบ Photo Sensing อยู่ 2 แบบที่ใช้บนชุดทดลองนี้ แบบแรกเป็นแบบ Photo Transmissive ซึ่งมีตัวกำเนิดแสงส่งข้ามจานหมุนไปยังตัวรับแสงที่อยู่ตรงข้าม และเมื่อมีวัตถุมาบังแสงก็จะทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตออกจากตัวรับแสง แบบที่สองคือแบบPhoto Reflective ซึ่งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะอยู่ด้านเดียวกันและอาศัยตัววัตถุเป็นตัวสะท้อนแสงจากตัวกำเนิดแสงมายังตัวรับแสงเพื่อที่จะได้สัญญาณเอาต์พุตและเป็นการตัดการรบกวนจากแสงภายนอก

6) Photo Resistor ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความนำในสารกึ่งตัวนำด้วยความเข้มของการส่องแสงซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความนำนี้จะปรากฏอยู่ในรูปของค่าความต้านทาน

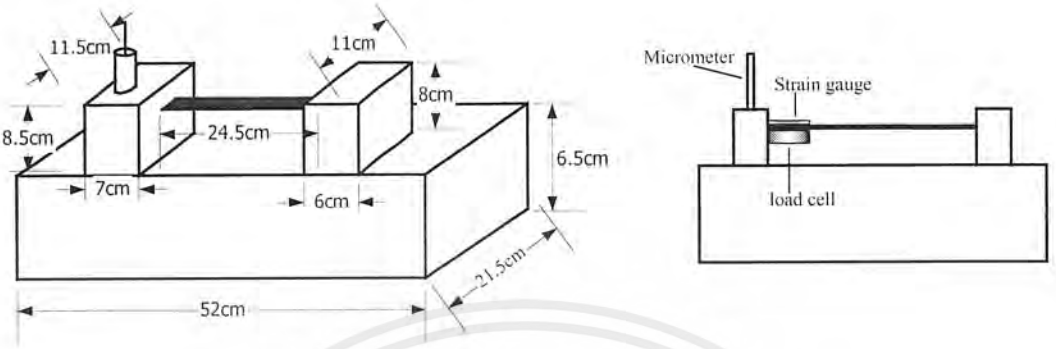
7) วัตถุที่ใช้ในการทดลอง มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ

1. เหล็ก
2. แม่เหล็ก
3. ทองเหลือง
4. พลาสติก
5. ไม้

วัตถุเหล่านี้อาจจะแยกกันหรือรวมกันเพื่อที่จะยอมให้ตัวเซนเซอร์สามารถตรวจหาวัตถุเหล่านี้ได้ ผู้ใช้สามารถกำหนดว่าจะใช้วัตถุชนิดไหนในการทดลองแต่ละอันได้ด้วยตัวเอง อย่างเช่น อาจจะใช้แก้ว กระดาษ และยางก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบและการสร้าง ชุด Strain and Stress Test Bed

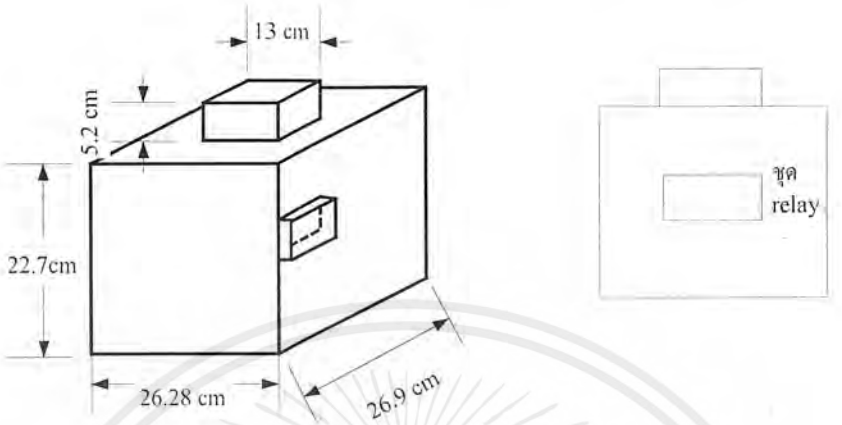


รูปที่ 3.13 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง

ในชุดปฏิบัติการการทดลองนี้เราจะใช้ Loadcell และ Strain Gauge เป็นตัววัดความเค้นและความเครียดของวัตถุที่อยู่บนคานเหล็ก โดยเราจะใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัวสร้างแรงที่พยายามทำให้วัตถุเปลี่ยนขนาดหรือรูปร่างไปจากเดิม เมื่อเราหมุนตัวไมโครมิเตอร์จะทำให้เกิดแรงส่งผลให้สปริงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้น ความเครียดของวัตถุจะส่งผลให้ Loadcell และ Strain Gauge ทราบค่าการเปลี่ยนแปลงความเครียดและน้ำหนัก และวัดผลออกมาเป็นโวลท์ จากรูป 3.13 โครงสร้างของส่วน Strain and Stress Test Bed ทำขึ้นด้วยเหล็กและมีคานเหล็กสำหรับติดตั้ง Strain Gauge และ Loadcell โดยทำการติดตั้งไว้ด้านล่างของคานเหล็ก ปลายด้านหนึ่งของคานเหล็กจะถูกยึดติดอยู่กับที่และให้อีกด้านหนึ่งเป็นด้านที่รับแรง นอกจากนี้คานเหล็กยังเชื่อมต่อกับสปริง ส่วนบนของคานเหล็กที่ติดอยู่กับสปริงนั้นเราจะทำการติดตั้งไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบและการสร้างชุด Temperature Sensing Test Bed



รูปที่ 3.14 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง

ในชุดปฏิบัติการการทดลองชุดนี้แสดงให้เห็นถึงการวัดและควบคุมอุณหภูมิสูงๆ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยกัน 3 แบบ คือ RTD เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลจะแปลงจากความร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่วน RTD และเทอร์มิสเตอร์จะแปลงความร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน จากรูป 3.14 แสดงโครงสร้างของชุด Temperature Sensing Test Bed ซึ่งประกอบไปด้วย ขดลวดความร้อนไฟฟ้าใส่อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมคล้ายเตาอบ ขดลวดความร้อนไฟฟ้านี้สามารถควบคุมได้โดยตรงหรือผ่านตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) ซึ่งจะสามารถทำให้สาธิตการควบคุมอุณหภูมิได้ทั้งแบบ ON / OFF และแบบ PID เมื่อเราสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นโดยใช้ขดลวดความร้อนแล้ว อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิต่างๆ คือ RTD เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์โมคัปเปิล ก็จะปรากฏสัญญาณออกมาเพื่อให้ทราบค่า ทั้งนี้ต้องผ่านอุปกรณ์ชุดควบคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถจะใช้เป็นชุดปฏิบัติการทดลองในการเรียนการสอนของวิชา เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ซึ่งรายละเอียดของใบงาน จะเป็นการแสดงคุณสมบัติและการนำอุปกรณ์พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ไปใช้ในการตรวจจับวัตถุชนิดต่างๆ และแปลงสัญญาณการตรวจจับออกมาทางเอาต์พุตได้ตามต้องการ แล้วยังได้นำอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิไปใช้ในการวัดและควบคุมอุณหภูมิสูงๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและน้ำหนักก็ถูกนำมาใช้เพื่อให้ทราบหลักการของการวัดได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น ซึ่งในบทนี้จะเป็นการทดลองการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ โดยจะทำการทดลองการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ การต่อวงจรการใช้งานตามรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตามที่ใบงานการทดลองกำหนดไว้ การทดลองมีดังนี้

4.1 การทดลองการทำงานของ Magnetic Reed Switch

การทดลองการทำงานของ Magnetic Reed Switch นี้ เป็นการทดลองแสดงให้เห็นการใช้ Magnetic Reed Switch ในการนับวัตถุที่เป็นแม่เหล็ก

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ Magnetic Reed Switch เข้ากับจุดต่อของ Digital Counter

2) ต่อ Motor Driver เข้ากับชุด Proximity Test Bed

3) วางวัตถุทดลองลงบนจานหมุนให้ใกล้ Reed Switch มากที่สุด

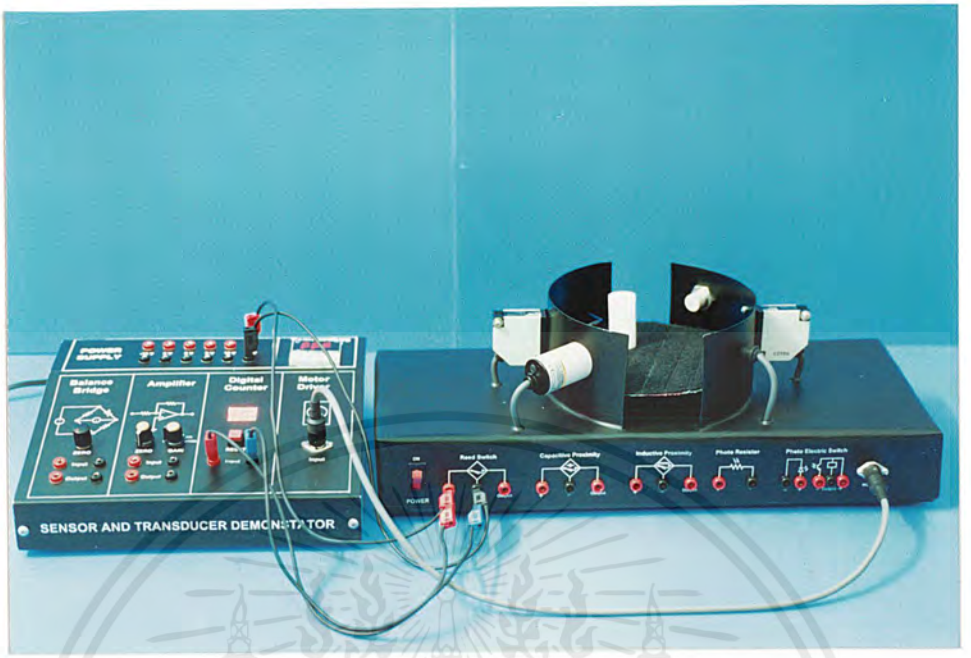
4) กดปุ่ม On ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้จานหมุนๆ จำนวน 5 รอบ

5) เคลื่อนย้ายวัตถุทดลองออกห่างจาก Reed Switch และเลื่อนกลับเข้ามาพร้อมสังเกตการทำงานของ Digital Counter

7) ใช้ตัวอย่างวัตถุทดลองแบบอื่น ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึง 5

8) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Reed Switch

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Reed Switch

ชนิดของวัตถุทดลอง	จำนวนครั้งของ Digital Counter
เหล็ก	0
แม่เหล็ก	5
ทองเหลือง	0
พลาสติก	0
ไม้	0

ผลการทดลองของ Reed Switch คือ เมื่อมีวัตถุที่เป็นแม่เหล็กเข้าใกล้ Reed Switch จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่งผลให้ Digital Counter สามารถนับผลของการตรวจจับวัตถุที่เป็นแม่เหล็กของ Reed Switch ได้ แต่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการทำงานของ Inductive Proximity Detector

การทดลองการทำงานของ Inductive Proximity Detector นี้ เป็นการแสดงการตรวจนับโลหะและแม่เหล็ก

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ Inductive Proximity Detector เข้ากับ Digital Counter

2) ต่อ Motor Driver เข้ากับชุด Proximity Test Bed

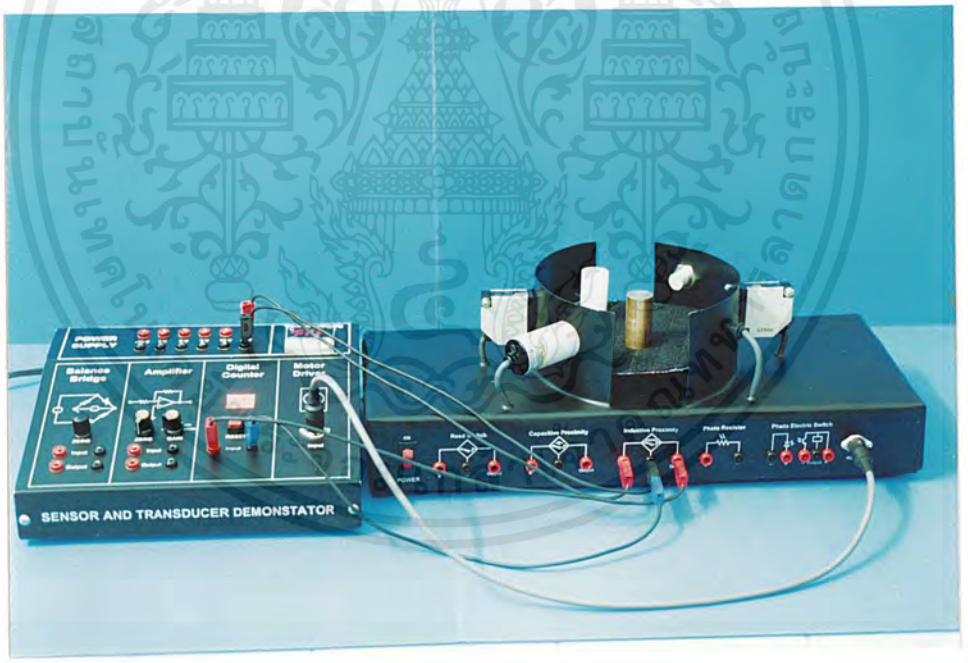
3) วางวัตถุทดลองโลหะลงบนจานหมุน อย่าให้แตะทรานสดิวเซอร์ที่อยู่รอบๆ

4) กดปุ่ม On ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้จานหมุนๆ จำนวน 5 รอบ

5) สังเกตการทำงานของ Digital Counter

6) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึง 5 โดยใช้วัตถุทดลองชนิดอื่น

7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Inductive Proximity Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Inductive Proximity Detector

ชนิดของวัตถุทดลอง	จำนวนครั้งของ Digital Counter
เหล็ก	5
แม่เหล็ก	5
ทองเหลือง	5
พลาสติก	0
ไม้	0

ผลการทดลองของ Inductive Proximity Detector คือ เมื่อวัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะและแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านทรานสดิวเซอร์ ทำให้เกิด Electrical Pulse ออกจากขดลวดของ Inductive Proximity Detector ทำให้ Digital Counter สามารถนับการตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะและแม่เหล็กได้แต่ไม่สามารถนับการตรวจจับวัตถุที่เป็นอโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นได้

4.3 การทดลองการทำงานของ Capacitive Proximity Detector

การทดลองการทำงานของ Capacitive Proximity Detector นี้ แสดงให้เห็นถึงการตรวจจับวัตถุทุกชนิดที่ทำให้เกิดค่า Capacity เมื่อผ่านเข้าใกล้โพรบ

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ Capacitive Proximity Detector เข้ากับ Digital Counter

2) ต่อ Motor Driver เข้ากับชุด Proximity Test Bed

3) วางวัตถุทดลองโลหะลงบนจานหมุน ให้ใกล้ Capacitance Probe มากที่สุด แต่อย่าให้สัมผัสโดน

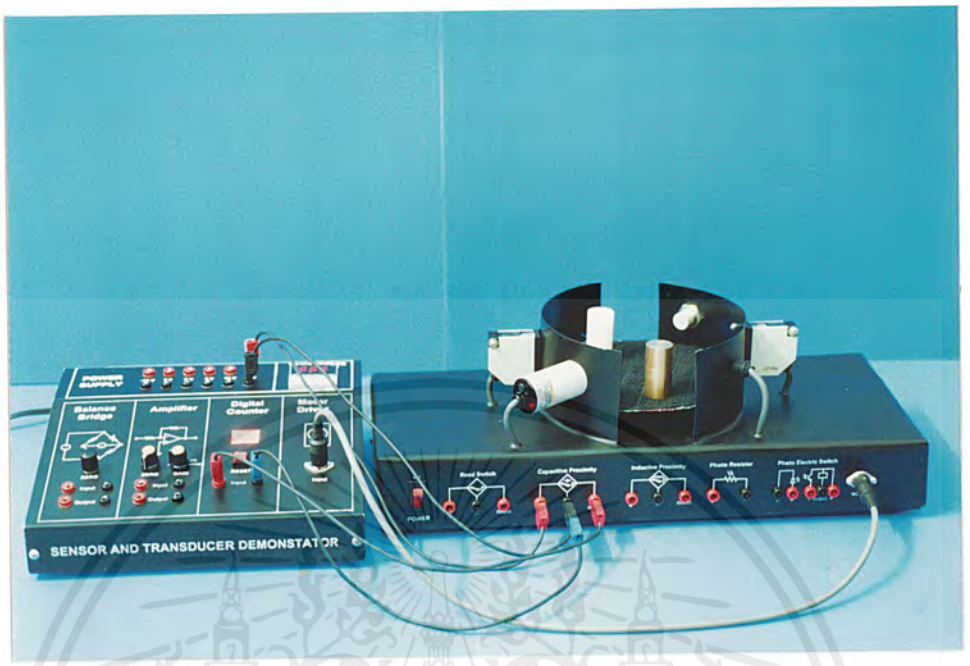
4) กดปุ่ม On ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้จานหมุนๆ จำนวน 5 รอบ

5) สังเกตการทำงานของ Digital Counter

6) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึง 5 โดยใช้วัตถุทดลองชนิดอื่น

7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Capacitive Proximity Detector

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Capacitive Proximity Detector

ชนิดของวัตถุทดลอง	จำนวนครั้งของ Digital Counter
เหล็ก	5
พลาสติก	5
ทองเหลือง	5
ไม้	5
แม่เหล็ก	5

ผลการทดลองของ Capacitive Proximity Detector คือ สามารถตรวจจับวัตถุตัวกลางได้ทั้งที่เป็นโลหะและไม่ได้เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจจับระดับของของเหลวในภาชนะบรรจุด้วย

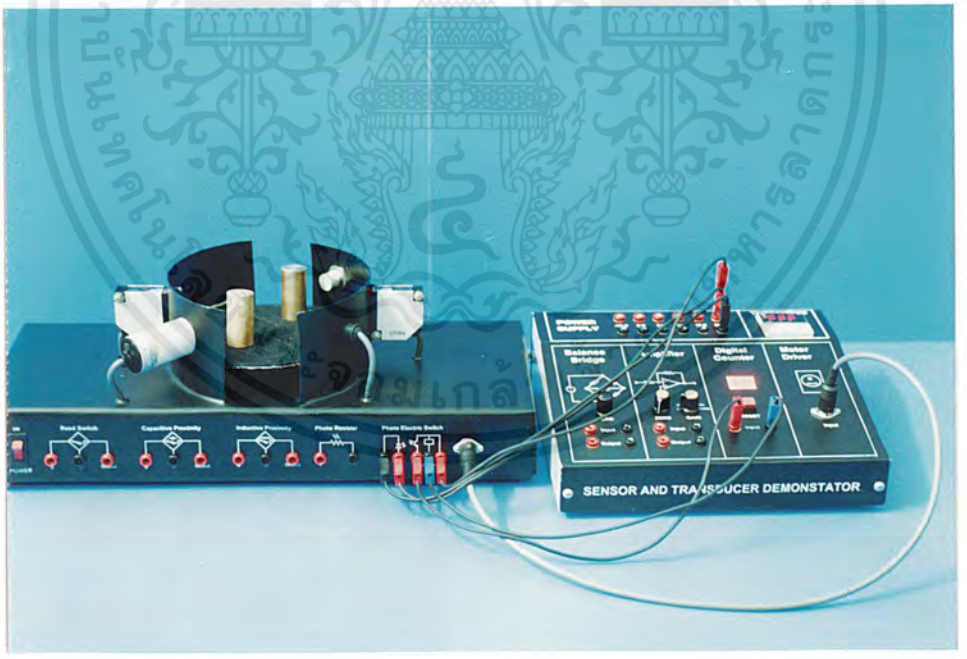
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการทำงานของ Optical Transmissive

การทดลองการทำงานของ Optical Transmissive นี้ แสดงให้เห็นถึงการตรวจจับวัตถุชนิดทึบแสงและโปร่งแสงที่มีคุณสมบัติต่างกัน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อ Optical Transmissive เข้ากับ Digital Counter
2. ต่อ Motor Driver เข้ากับชุด Proximity test Bed
3. วางวัตถุทดลองโลหะลงบนจานหมุน ให้ใกล้ตัวรับแสงมากที่สุด แต่อย่าให้สัมผัสโดน
4. กดปุ่ม On ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้จานหมุนๆ จำนวน 5 รอบ
5. สังเกตการทำงานของ Digital counter
6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึง 5 โดยใช้วัตถุทดลองชนิดอื่น
7. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Optical Transmissive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ Optical Transmissive

ชนิดของวัตถุทดลอง	จำนวนครั้งของ Digital counter
เหล็ก	5
แม่เหล็ก	5
ทองเหลือง	5
ไม้หยาบ	5

ผลการทดลองของ Optical Transmissive คือ สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด ยกเว้นวัตถุโปร่งแสง โดยที่สีและผิวของวัตถุไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน

4.5 การทดลองการทำงานของ Photo Resistor

การทดลองการทำงานของ Photo Resistor นี้ แสดงการตรวจจับวัตถุโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำด้วยความเข้มของแสงที่มากระทบ

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ Photo Resistor เข้ากับ Digital Counter

2) ต่อ Motor Driver เข้ากับชุด Proximity Test Bed

3) วางวัตถุทดลองโลหะลงบนจานหมุน ให้ใกล้ตัวรับแสงมากที่สุด แต่อย่าให้สัมผัสโดน

4) กดปุ่ม On ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้จานหมุนๆ จำนวน 5 รอบ

5) สังเกตุการทำงานของ Digital Counter

6) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 ถึง 5 โดยใช้วัตถุทดลองชนิดอื่น

7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 การต่อแผงทดลองการทำงานของ Photo Resistor

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทำงานของ Photo Resistor

ชนิดของวัตถุทดลอง	จำนวนครั้งของ Digital Counter
แก้ว	5
ทองเหลือง	5
โลหะสะท้อนแสงได้	5
พลาสติก	5

ผลการทดลองของ Photo Resistor คือ สามารถตรวจจับวัตถุทุกชนิดได้โดยอาศัยความเข้มของแสงในตัววัตถุที่มากระทบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขึ้น ความต้านทานที่วัดได้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ

4.6 การทดลองการทำงานของ RTD

การทดลองการทำงานของ RTD นี้ เป็นการแสดงการวัดและควบคุมอุณหภูมิในย่านต่างๆ โดยนำตัว RTD มาต่อกับวงจรขยาย เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในตัว RTD ได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ สาย CA ของ Temperature Controller เข้ากับตัว Heater

2) กด Power On ของชุดควบคุม จะปรากฏอุณหภูมิขณะนั้นที่หน้าจอของ Temperature Controller

3) ตั้ง Setpoint ให้ได้ 100 °C

4) เลือก Select คอล์ยเพียงชุดใดชุดหนึ่ง จากนั้นวาง RTD ลงใน Heater

5) กด Power On ของ Heater

6)ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่ 4.6

7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.6

รูปที่ 4.6 การต่อแผงทดลองการทำงานของ RTD

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการทำงานของ RTD

อุณหภูมิ (°C)	0	10	20	30	40	50
ค่าความต้านทาน (Ω)	0	3.5	4.2	4.8	5.2	5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการทำงานของ RTD คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานของ RTDจะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่ให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย มีความคงที่ เที่ยงตรง และความเป็นเชิงเส้นในการวัด

4.7 การทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

การทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์นี้ แสดงให้เห็นถึงการตรวจจับและควบคุมอุณหภูมิสูงโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ วัดอุณหภูมิและอ่านเอาต์พุตเป็นค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ สาย CA ของ Temperature Controller เข้ากับตัว Heater
2) กด Power On ของชุดควบคุมจะปรากฏอุณหภูมิขณะนั้นที่หน้าจอของ Temperature Controller
3) ตั้ง Setpoint ให้ได้ 100 °C
4) เลือก Select คอล์ยเพียงชุดใดชุดหนึ่ง วางเทอร์มิสเตอร์ ลงใน Heater
5) กด Power On ของ Heater
6) ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆของเทอร์มิสเตอร์ ตามตารางที่ 4.7
7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.7

รูปที่ 4.7 การต่อแผงทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

Temparature Controller Reading(°C)	30	40	50	60	70	80	90
Meter Reading(Ω)	0	50	80	100	130	160	180

ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยค่าความต้านทานจะสูงกว่า RTD เทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ช่วงอุณหภูมิจำกัดแต่ให้เอาพุตที่สูง และความไวสูง

4.8 การทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

การทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล เป็นการทดลองใช้เทอร์โมคัปเปิลที่สามารถสร้างหรือผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง เราสามารถต่อตรงกับเครื่องมือวัดหรือบันทึกอุณหภูมิรวมทั้งเครื่องควบคุมต่างๆ ในการทดลองจะดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เทอร์โมคัปเปิล

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อ สาย CA ของ Temperature Controller เข้ากับตัว Heater
2) กด Power On ของชุดควบคุม ของชุดควบคุมจะปรากฏอุณหภูมิขณะนั้นที่หน้าจอของ Temperature Controller
3) ตั้ง Setpoint ให้ได้ 100 °C
4) เลือก Select คอล์ยเพียงชุดใดชุดหนึ่ง วางเทอร์โมคัปเปิล ลงใน Heater
5) กด Power On ของ Heater
6) ใช้มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่ 4.8
7) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 การต่อแผงทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

Temparature Controller Reading(°C)	30	40	50	60	70	80	90
Meter Reading (mV)	0	42	51	60	72	82	92

ผลการทดลองของเทอร์โมคัปเปิล คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมคัปเปิล การวัดไม่เป็นเชิงเส้นมีความคงที่น้อยและความไวต่ำ แต่สามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างได้

4.9 การทดลองการทำงานของโหลดเซลล์

การทดลองการทำงานของโหลดเซลล์ เป็นการตรวจจับความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ โดยในการทดลองเราจะใช้ไมโครมิเตอร์ในการสร้างแรงให้เกิดขึ้น จะสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของโหลดเซลล์ เมื่อหมุนไมโครมิเตอร์ในตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

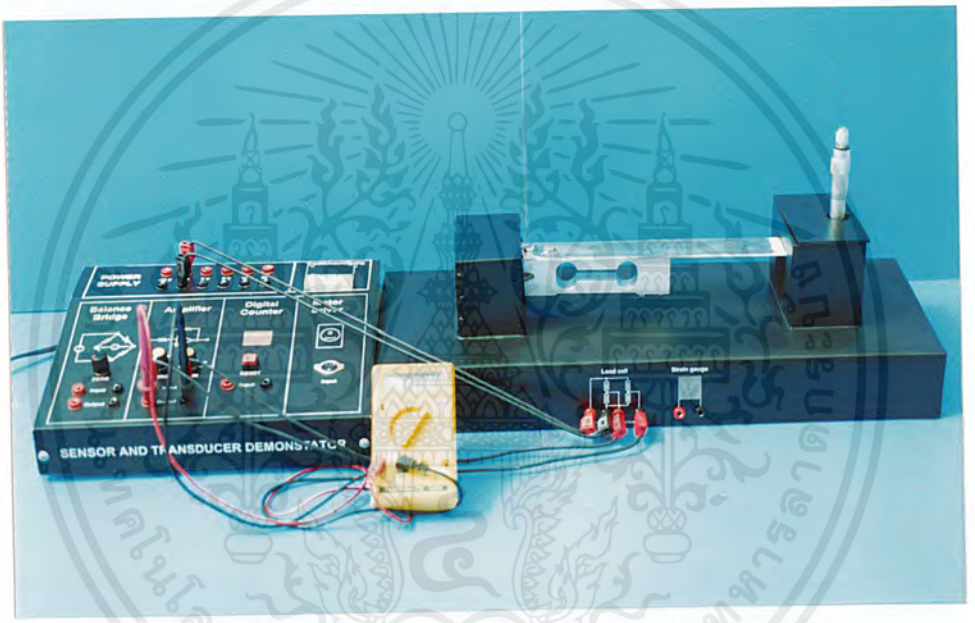
ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อโหลดเซลล์เข้ากับวงจรขยาย เพื่อทำการขยายสัญญาณให้อ่านได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้ Gain ในการขยายเท่ากับ 1000

2) หมุนไมโครมิเตอร์และสังเกตุการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตามระยะของการหมุน ดังค่าตามตารางที่ 4.9

3)ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่เกิดขึ้นตามระยะการเปลี่ยนแปลงของไมโครมิเตอร์ที่เอาต์พุตของวงจรขยาย

4) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การต่อแผงทดลองการทำงานของโหลดเซลล์

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการทำงานของโหลดเซลล์

ระยะการหมุนไมโครมิเ ตอร์ (mm)	ความต้านทานที่วัดได้ (Ω)
0	0
5	0.45
10	0.8
15	1.25
20	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของโหลดเซลล์คือ เมื่อมีแรงมากระทำให้เกิดความเครียดจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามแรงที่มากระทำ

4.10 การทดลองการทำงานของสเตรนเกจ

การทดลองการทำงานของสเตรนเกจ คือการนำสเตรนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะ หลังจากนั้นก็นำแท่งโลหะนี้ไปใช้ในการตรวจวัดแรงหรือน้ำหนัก โดยในการทดลองจะนำสเตรนเกจเข้าวงจรบริดจ์สมดุลย์ และวงจรขยาย

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อสเตรนเกจเข้ากับวงจรบริดจ์สมดุลย์
2) ต่อเอาต์พุตของวงจรบริดจ์สมดุลย์
3) กดปุ่ม Power On ของชุดควบคุม
4) หมุนไมโครมิเตอร์เพื่อสร้างแรงให้เกิดขึ้น ดังค่าตามตารางที่1
5) ใช้มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามระยะการเปลี่ยนแปลงของไมโครมิเตอร์ที่เอาต์พุตของวงจรขยาย
6) วัดความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเครียดที่เ อาต์พุตของวงจรบริดจ์สมดุลย์
7) บันทึกผลการทดลองตามตารางที่ 4.10

รูปที่ 4.10 การต่อแผงทดลองการทำงานของสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการทำงานของสเตรนเกจ

ระยะการหมุนไมโครมิเตอร์(mm.)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (V)	ความต้านทานที่วัดได้ (Ω)
5		
10		
15		
20		
25		

หมายเหตุ ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากไม่สามารถติดตั้งสเตรนเกจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

การจัดทำชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ จะเน้นในเรื่องการทดลองคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณพร็อกซิมิตี้ อุปกรณ์วัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และการนำสัญญาณที่ได้มาปรับแต่งเพื่อใช้แสดงผลหรือควบคุมระบบตลอดจนการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งถือเป็นชุดทดลองที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้จริง โดยสอดคล้องกับวิชาเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ของภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ในการจัดทำชุดทดลองนี้มีขอบเขตเพื่อสร้างชุดทดลอง 3 ชุด พร้อมกับมีใบงานประกอบชุดทดลอง 1 ชุดซึ่งจะมีความสอดคล้องกับชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้น โดยมีแผนการดำเนินงานรวม 5 เดือน เริ่มจากการกำหนดเนื้อหาเพื่อกำหนดขอบเขตของหัวข้อเรื่องและวัตถุประสงค์ซึ่งจะพิจารณาตามหลักสูตรของภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม และออกแบบส่วนประกอบต่างๆ และจัดสร้างชุดทดลอง ซึ่งแต่ละส่วนประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า, วงจรนับ วงจรขับมอเตอร์, วงจรบริดจ์สมดุลย์, วงจรขยาย, วงจรควบคุมอุณหภูมิ, ชุดทดลองพร็อกซิมิตี้,ชุดทดลองตรวจวัดความเครียดและน้ำหนัก, ชุดตรวจวัดอุณหภูมิแล้วจากนั้นจึงได้จัดทำใบงานการทดลองทั้งหมด 10 ใบงาน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทดลอง

จากการทดสอบการทำงานส่วนต่างๆ และผลการทดลองวงจรต่างๆ ตามใบงานที่ใช้ประกอบกับชุดทดลองนี้ ผลที่ได้พบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและสัญญาณต่างๆที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริง เหมาะที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์หรือวิชาอื่นๆที่มีความเกี่ยวข้องกันกับชุดทดลองนี้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการจัดสร้างชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้

5.2.1 ปัญหา

1) อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณที่ใช้ในชุดทดลองหาซื้อได้ยากและมีราคาแพงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ขาดข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ

3) อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณมีสัญญาณรบกวนทำให้การวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้

5.2.2 แนวทางแก้ไข

1) ควรศึกษาคู่มือเกี่ยวกับอุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจากแหล่งข้อมูลและจากผู้มีประสบการณ์ให้มากที่สุด

2) พยายามหาแหล่งของถูกแต่มีคุณภาพ

3) ต่อ C Filter เพิ่มขึ้นในวงจรเพื่อช่วยให้เกิดความราบเรียบของสัญญาณวัด

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

1) ควรสร้างชุดทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ เพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาของวิชาเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

2) ในส่วนของชุดควบคุมควรเพิ่มวงจรนับอีกหนึ่งวงจรเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงในการวัดและความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทดลองได้

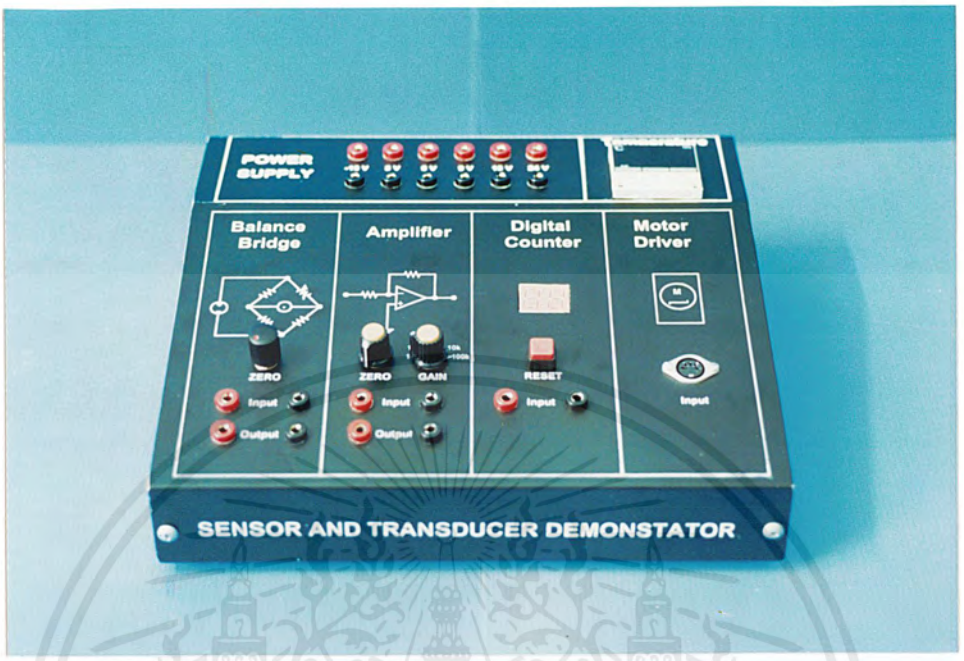
3) เครื่องมือวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าบางตัวจะมีย่านในการวัดที่สูงทำให้การอ่านค่าที่ได้จากการวัดเกิดความคลาดเคลื่อนไปควรจะทำการเปลี่ยนย่านของเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับค่าที่ต้องการจะวัด

4) ในส่วนของ Heater จะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากพอสมควร ซึ่งควรจะลดน้ำหนักของ Heater โดยใช้ขดลวดความร้อนที่มีขนาดเล็กกว่าแต่ให้ความร้อนได้มาก

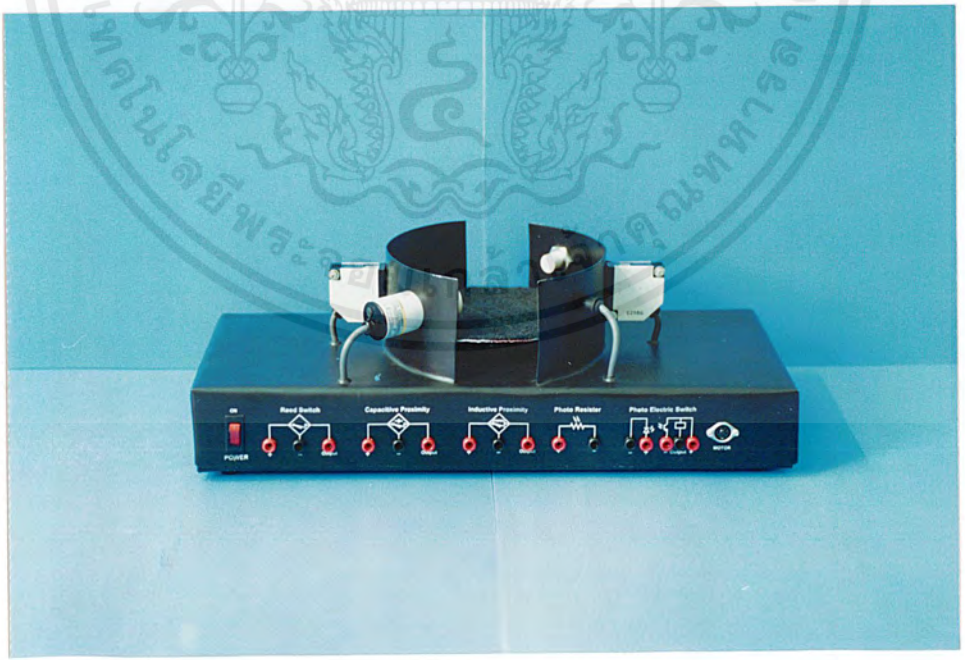
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

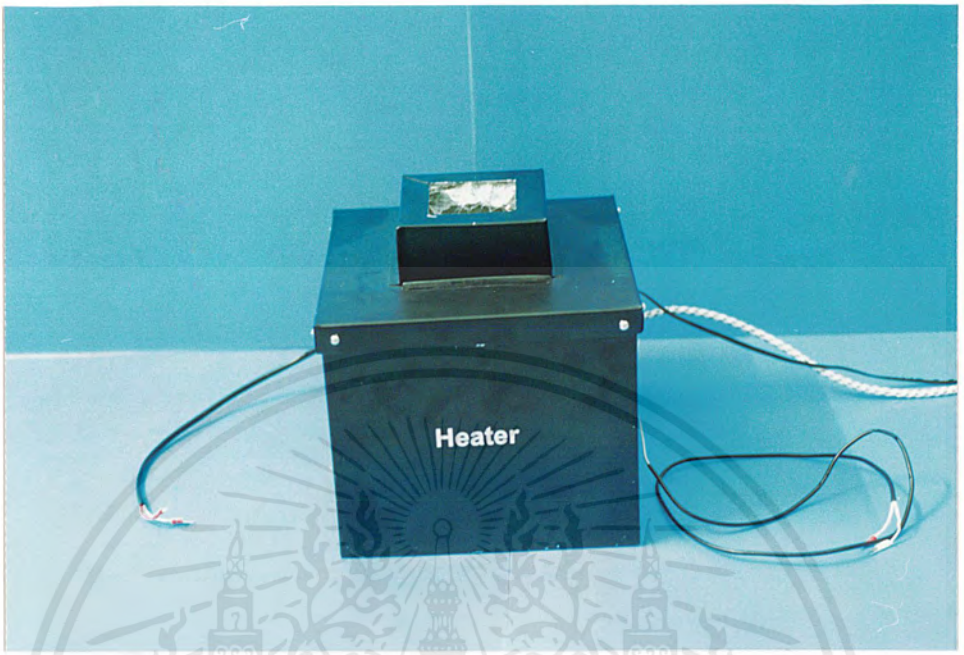


รูปที่ ก.1 ชุดควบคุม

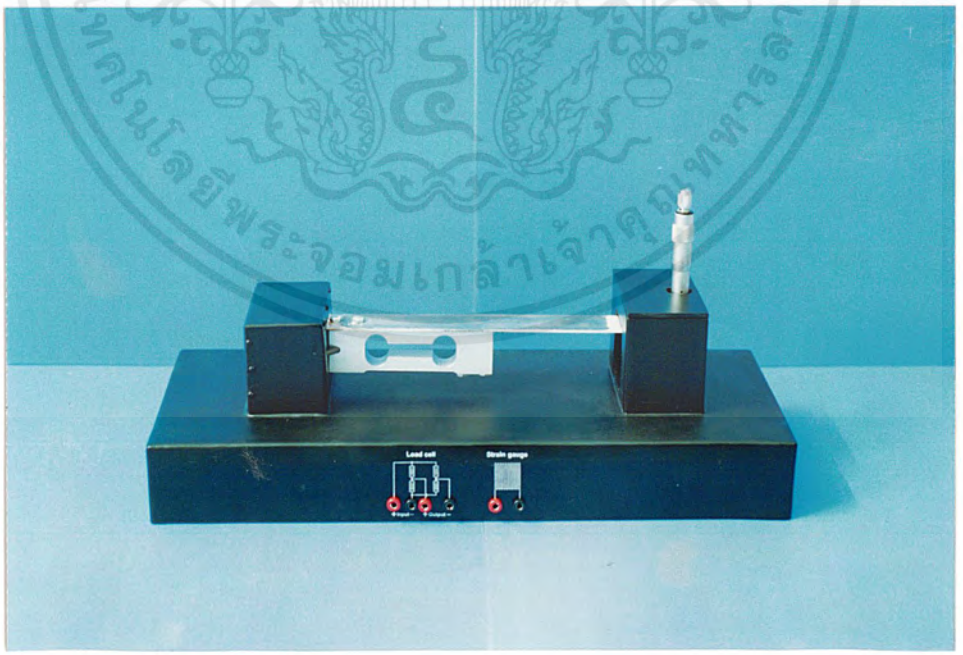


รูปที่ ก.2 Proximity Test Bed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

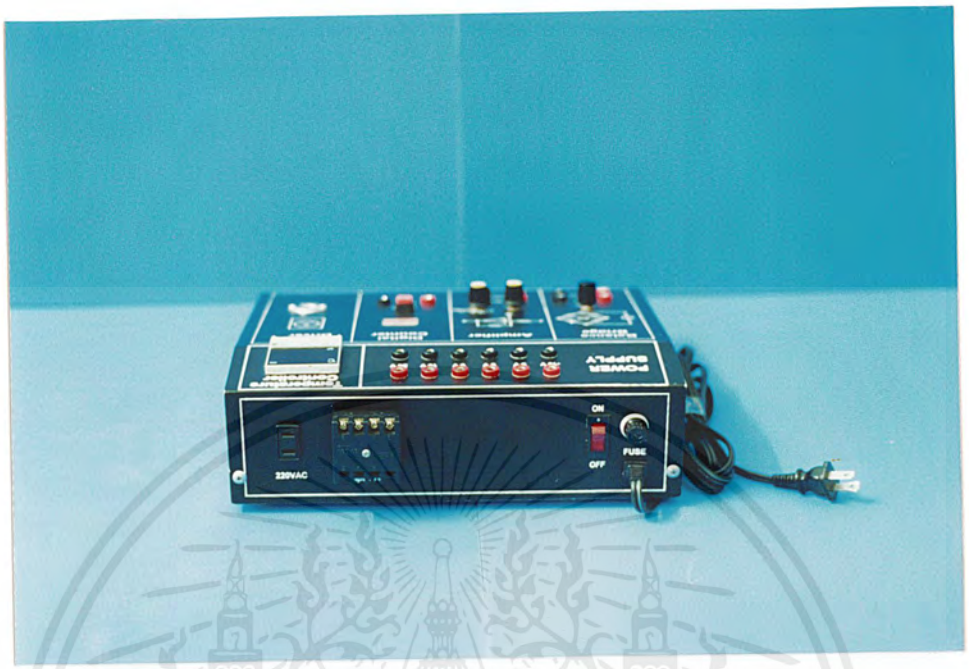


รูปที่ ก. 3 ชุด Temperature Sensing Test Bed

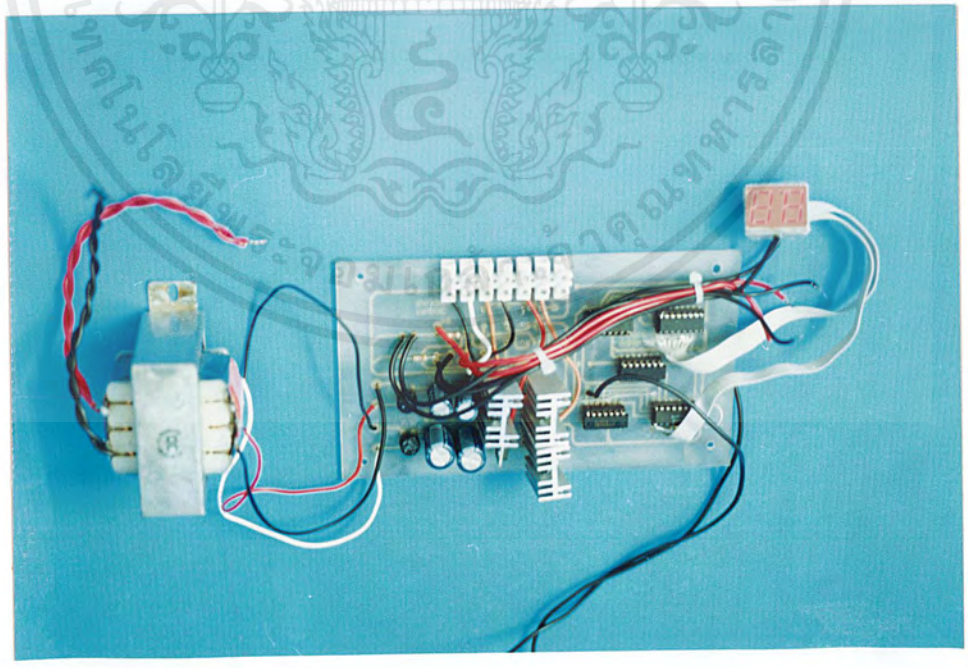


รูปที่ ก.4 ชุด Strain and Stress Test Bed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

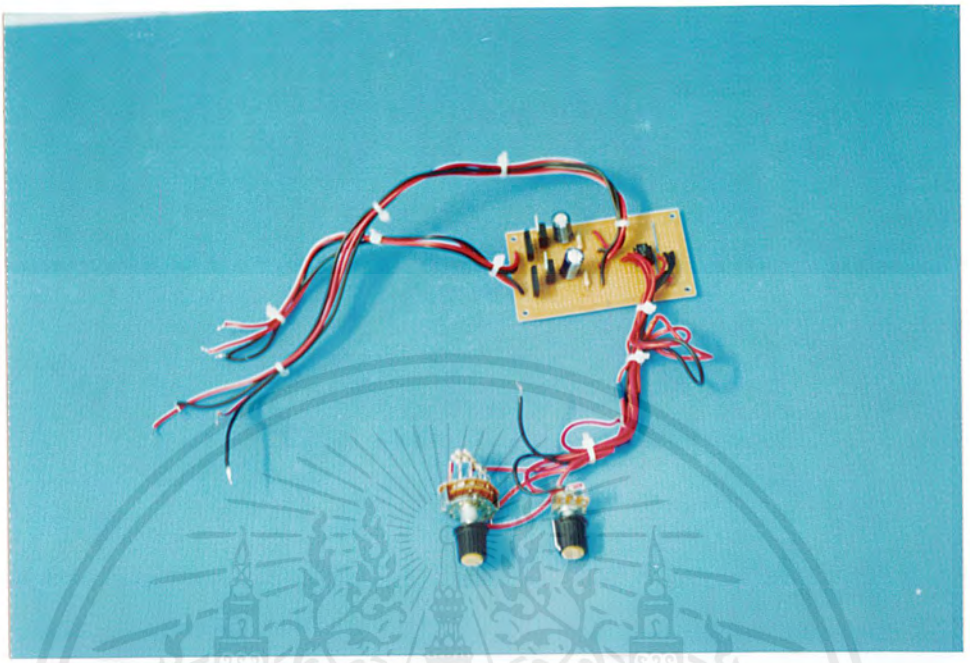


รูปที่ ก.5 จุดต่อ Temperature Controller และ Power On – Off

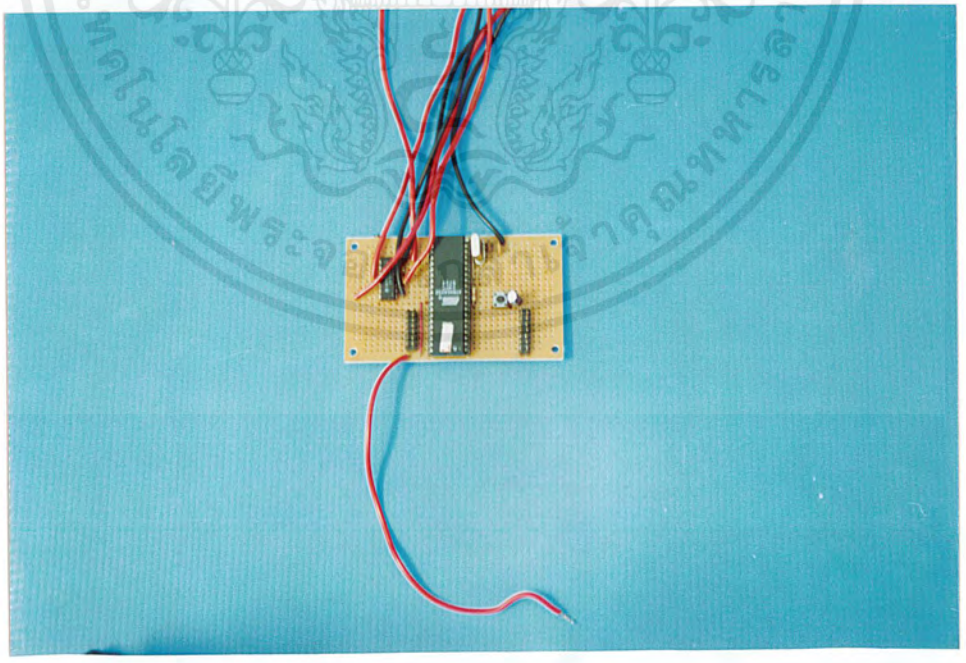


รูปที่ ก.6 การวางอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดันและวงจรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

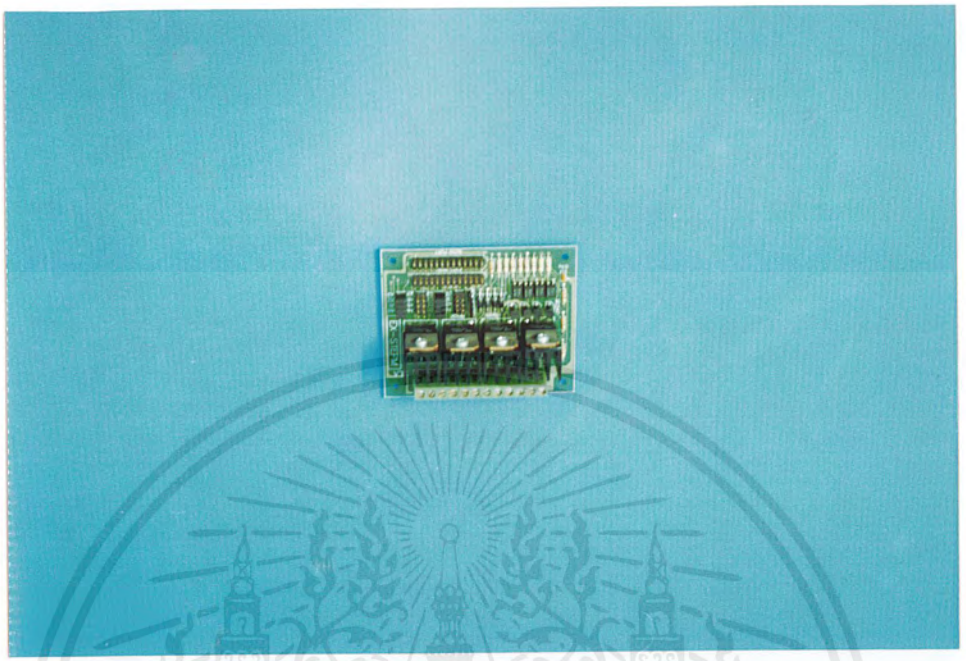


รูปที่ ก.7 การวางอุปกรณ์ของวงจรขยาย

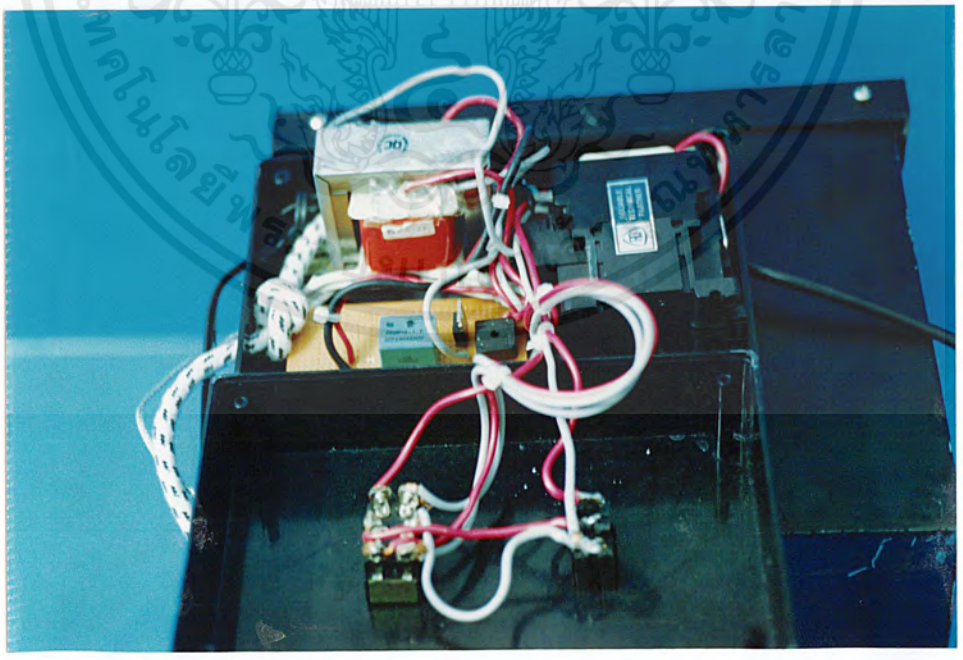


รูปที่ ก.8 การวางอุปกรณของวงจรไมโครคอรโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 การวางอุปกรณ์ของวงจรขับมอเตอร์

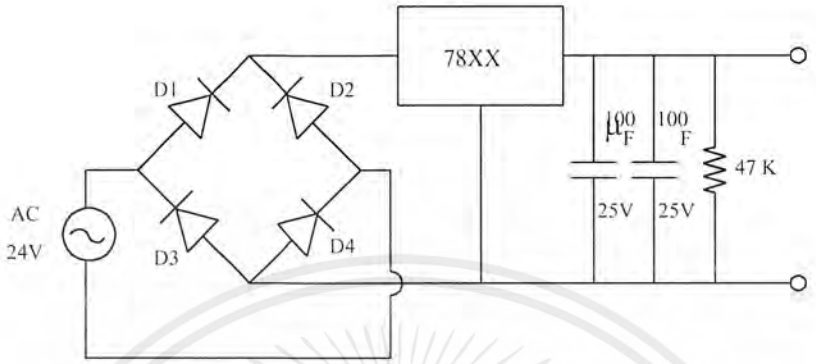


รูปที่ ก.10 การวางอุปกรณ์ของชุดคอล์ยรีเลย์

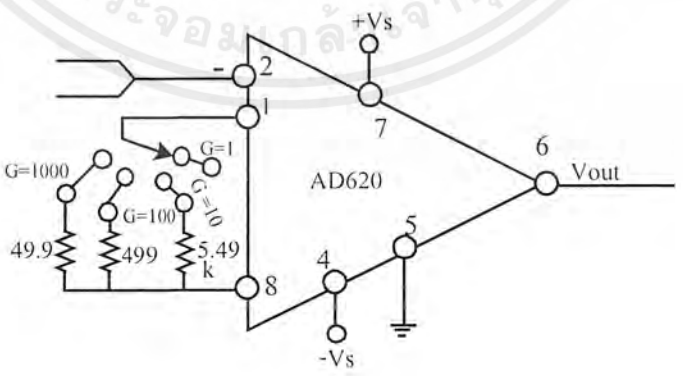
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

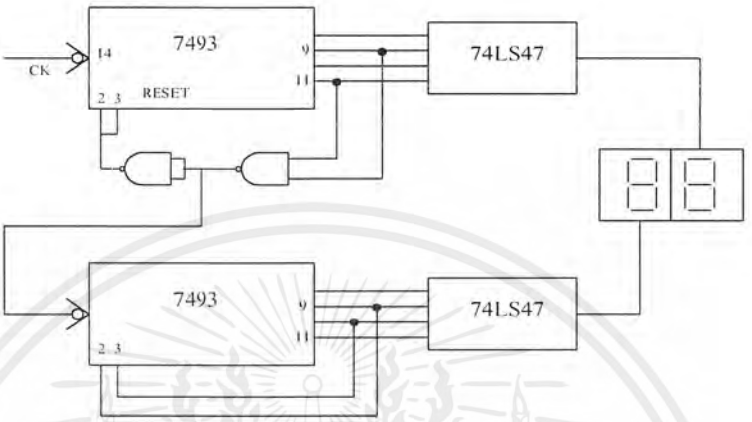


รูปที่ ข.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

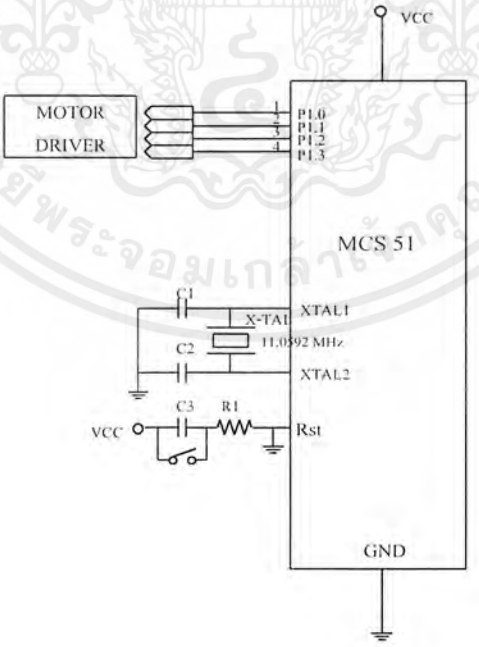


รูปที่ ข.2 วงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

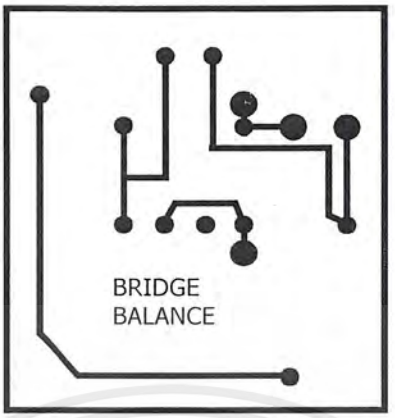


รูปที่ ข.3 วงจรนับ

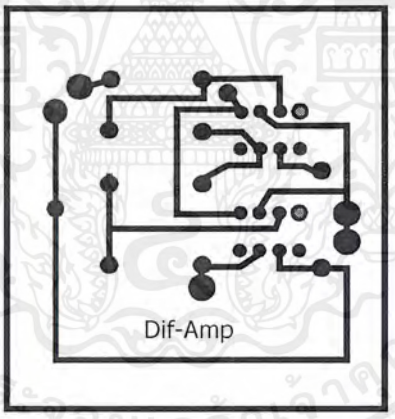


รูปที่ ข.4 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

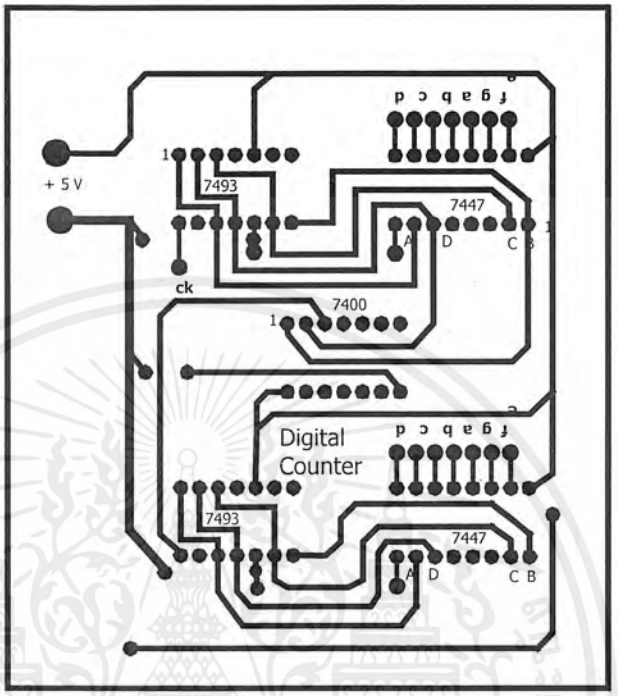


รูปที่ ข.5 ลายวงจรพิมพ์ของชุดบริดจ์สมดุลย์

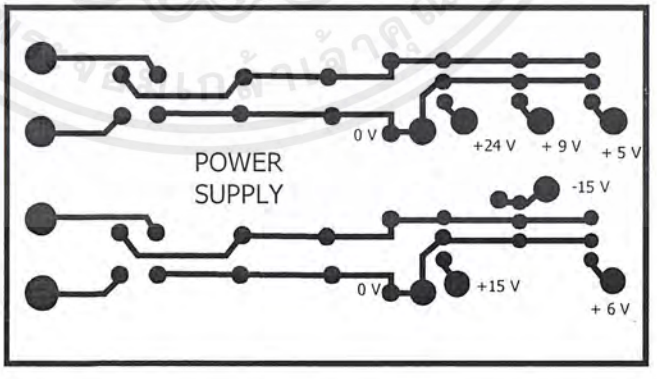


รูปที่ ข.6 ลายวงจรพิมพ์ของชุดขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

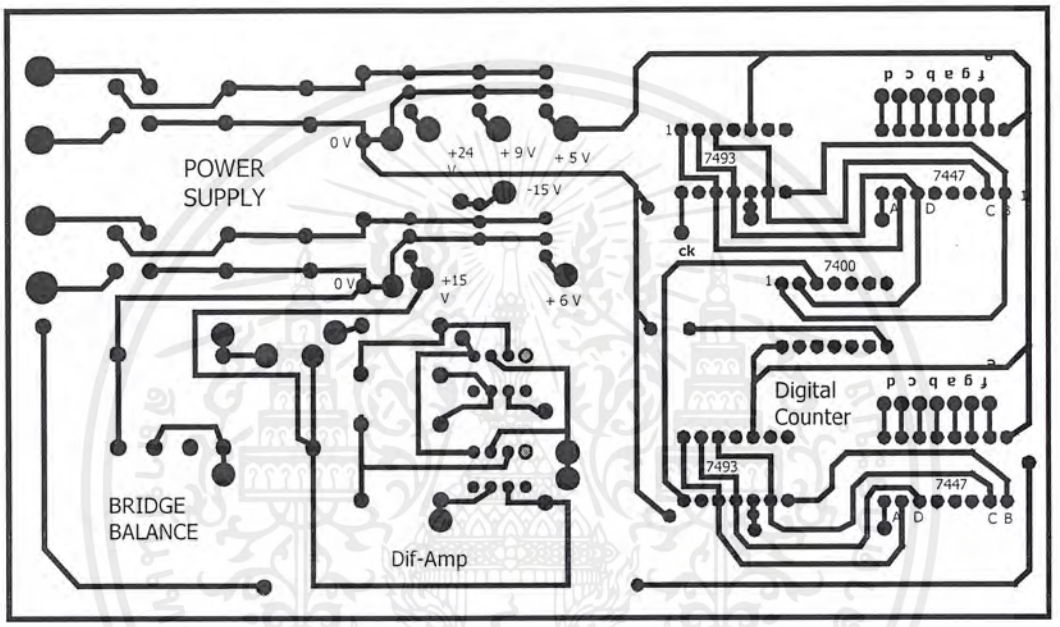


รูปที่ ข.7 ลายวงจรพิมพ์ของชุดวงจรนับ



รูปที่ ข.8 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 ลายวงจรพิมพ์ของชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photoelectric Sensors
Rectangular Type

General Specifications

	TRANSISTOR OUTPUT (E4/E5)	RELAY OUTPUT (UK/UKT)
Housing Material	Crastin (with PMMA Lens)	
Short Circuit and Overload Protection	YES	N/A
LED Indicators	Yellow: Switch Status Red: Alignment/Signal Strength	
Switching Frequency	300Hz	25Hz max.
Timing Functions	NO	Type "UK": NONE Type "UKT": 1. One-Shot 3. Off Delay 2. On Delay 4. Std. Operation
Switching Output	NPN (Type E4) or PNP (Type E5) Transistor	SPST Relay
Signal Strength Alarm Output	NPN (Type E4) or PNP (Type E5) Transistor	NONE
Ambient Light Resistance	10,000 LUX (7500 LUX Halogen)	

Technical Specifications

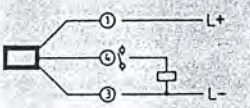
	TRANSISTOR OUTPUT (E4/E5)	RELAY OUTPUT (UK/UKT)
Supply Voltage	10-30VDC	24-240VAC 12-240VDC
Load Current	≤200mA	DC Contact Rating: 30V/3A AC Contact Rating 240V/3A
Current/Power Consumption	≤35mA	3VA
Leakage Current	Negligible	N/A
Voltage Drop	≤3VDC	N/A
Response Time	1.5ms	20ms
Protection (IEC)	IP66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Capacitive Sensors

Plastic Housing • Terminal Chamber • Also For Liquids

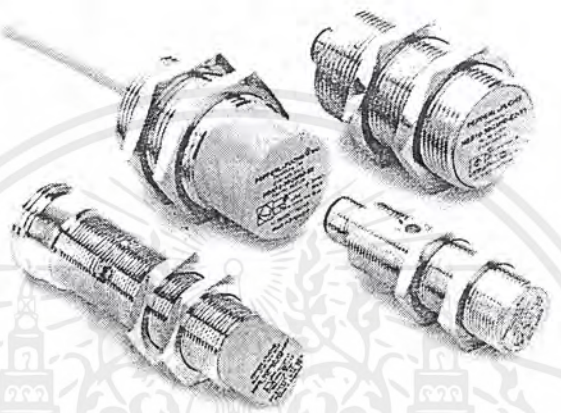
Technical Data

Part No.	IFC 15-300-10YPL
Rated operating distance s_n:	15 mm, not embeddable (see page I-5)
Output function:	N.O. (make)
Number of terminals:	3
Voltage range U_b:	10 . . . 48 VDC PNP output
Ripple of supply voltage:	≤ 5 % (DIN 41755)
Load current I_a:	max. 200 mA
No-load supply current:	approx. 10 mA (24 V)
Voltage drop, loaded, U_d:	approx. 3.5 V (200 mA)
Protection circuit:	against wrong polarity connection and industrial transients, short-circuit protected for approx. 5 min.
Test target:	30 x 30 x 1 mm St 37 (carbon steel)
Effective operating distance s_r:	adjustable, depending on material[2]) examples see page I-5 (fig. 5)
Usable operating distance s_u:	$s_r \pm 15$ % at 0 . . . + 65° C
Hysteresis H:	1 . . . 15 % s_r referenced to steel
Ambient temperature range:	– 25° C . . . + 65° C
Housing protection class:	IP 65 (IEC 529/DIN 40 050)
Housing material:	thermoplastic glass-fibre reinforced (PBTP), 2 nuts[2]) thermoplastic (PA 12) washer rubber
Connection:	tightening torque for nuts max. 200 Ncm (18 in.lbs.) terminal chamber with screw terminals for max. 1.5 mm², with cable entry Pg 9
Wiring diagram:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inductive Sensors

Cylindrical ● 2 - Wire AC



General Specifications

	NJ-Series	NB-Series
Housing Material	303 Stainless Steel	Nickel-Plated Brass or Crastin
Short Circuit and Overload Protection	NO	
LED Indicators	Yellow-Switch Status	Green-Power Yellow-Switch Status
Switch Output	Thyristor Normally Open (Type WS) Normally Closed (Type WO)	

Technical Specifications

	NJ-Series	NB-Series
Supply Voltage	20-250VAC	
Load Current	5-200mA	
Current Consumption	≤1.7mA	
Voltage Drop	≤5VAC	
Leakage Current	≤1.2mA	
Repeatability	≤.01mm	
Switching Hysteresis	≈5%	
Protection (IEC)	IP67	

FM Non-Incendive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inductive Sensors

Rectangular Type ● 3 - Wire DC

General Specifications

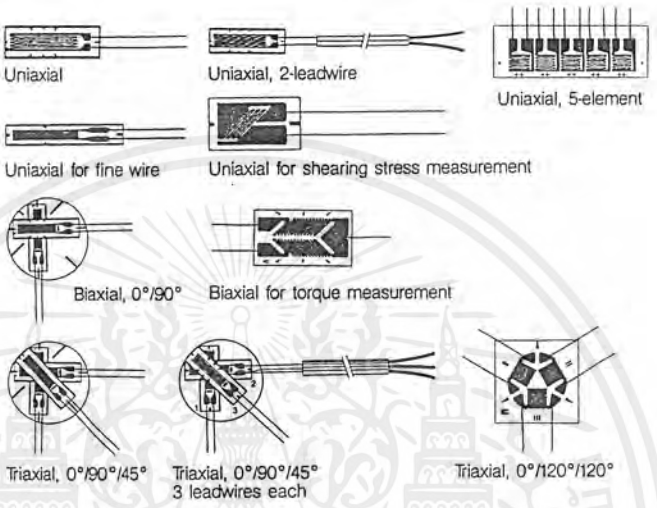
	F-Type Housing Style	
	F7	F9, F10, F11, F29
Housing Material	Crastin	
Short Circuit and Overload Protection	NO	YES
Reverse Polarity Protection	YES	
Switch Status LED	YES (Yellow)	
Switching Output	NPN (Type E0) or PNP (Type E2) Normally Open Transistor	

Technical Specifications

	F-Type Housing Style		
	F7	F9, F10, F11	F29
Supply Voltage	10-30VDC		
Load Current	≤50mA	≤150mA	≤100mA
Current Consumption	≤15mA		
Voltage Drop	≤.3VDC	≤2VDC	
Leakage Current	≤10μA		
Repeatability	≤.01mm		
Switching Hysteresis	≈5%		
Protection (IEC)	IP67		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Strain Gage



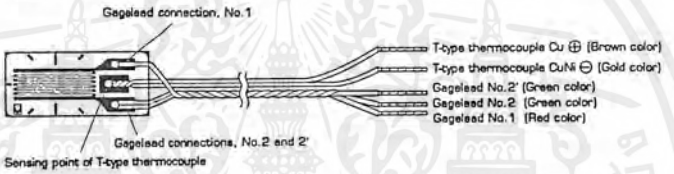
KFG General-Purpose Foil Strain Gages

- Improved working efficiency, thanks to the extra thin carrier matrix, and accordingly high flexibility
- All models come with leadwires as required.
- Improved characteristics.....
  Operating temperature range:
  −190 to +120°C
  (when bonded with CC-33A)
  Compensated temperature range:
  +10 to +100°C ($\pm 1.8 \times 10^{-6}$ strain/°C)
  Self-temperature-compensation at room temperatures:
  $\pm 1.0 \times 10^{-6}$ strain/°C, Strain limit up to 5%
- Improved humidity resistance
- Gage length: 0.2, 0.3, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20 and 30mm
- Gage Patterns: Uniaxial, biaxial, triaxial, quadraxial, uniaxial 5-element
- Applicable linear expansion coefficients:
  11, 16, 23, 27 $\times 10^{-6}$ strain/°C
- Leadwires: Polyester-copper wire (2 to 100cm long). vinyl-coated (15cm to 30m long)
- Adhesives: Cyanoacrylate CC-33A
- Models available for specific applications: General-purpose uniaxial, stress analysis, torque measurement, fine line wire, shearing stress, intensive stress measurement (uniaxial 5-element)
- Resistance: 60, 120, 350, 500 and 1000 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KFGT Foil Strain Gages with Temperature Sensor

- Strain gage and T-type thermocouple in one package
- Effective for strain measurement on materials having changing or varied temperatures
- Highly accurate compensation is possible for thermally-induced apparent strain.
- Gage lengths: 2, 5mm
- Pattern: Uniaxial only
- Leadwire: 1m long
- Applicable linear expansion coefficients: 11, 16, 23, 27 x10^{-6} strain/°C
- Operating temperature range: −10 to +120°C
- Resistance: 120Ω



KCH Foil Strain Gages with Protector

- Most suitable for weight measurement of tank and hopper as well as dead weight of truck
- Easy installation with the adhesive and stud bolts
- Moisture- and waterproof structure
- Gage lengths: 2, 5mm
- Pattern: Uniaxial, biaxial (0°/90°), triaxial (0°/90°/45°), bridge (for bending and shearing stress measurement)
- Applicable linear expansion coefficient: None
- Resistance: 350Ω
- Shielded vinyl-insulation wire 10m long

KCH-5A-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load Cells

LC-V Small-Sized Compression Load Cells

- Small and lightweight design allows installation in a limited space.
- Rated load: 5 to 20tf (49.03 to 196.1kN)
- Safe overload rating: 150%
- Rated output: 2.5mV/V
- Non-linearity: ±0.05%RO
- Hysteresis: ±0.05%RO
- Fatigue life: 10^7 times min.

LC-N Small-Sized Compression Load Cells

- Stainless steel structure
- Small, lightweight and economically priced
- Rated load: 50kgf to 2tf (490.3N to 19.61kN)
- Safe overload rating: 200%
- Rated output: 2mV/V
- Non-linearity: ±0.15%RO
- Hysteresis: ±0.1%RO
- Dimensions: ϕ50 x 25mm
- Weight: Approx. 250g

LTZ-A High-Accuracy Tension Load Cells

- Simple structure for easy handling and maintenance
- Rated load: 50kgf to 2tf (490.3N to 19.61kN)
- Safe overload rating: 150%
- Rated output: 3mV/V
- Non-linearity: ±0.03 to ±0.05%RO
- Hysteresis: ±0.03 to ±0.05%RO
- Use of a patch allows compression load measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LUB-B Beam Type Load Cells

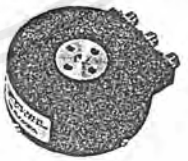
- Small, lightweight and economically priced
- Stainless steel structure (for bellows only on models of 5 to 50kgf)
- Easy installation to tank and conveyor
- Rated load: 5kgf to 2tf (49.03N to 19.61kN)
- Safe overload rating: 150%
- Rated output: 2mV/V
- Non-linearity: ±0.03%RO (±0.05%RO with 100kgf to 2tf)

LVS-A Miniature Force Transducers

- Can measure ultra-low load with high accuracy.
- Rated load: 5gf to 2kgf (0.04903 to 19.61N)
- Safe overload rating: 120%
- Rated output: 1.5mV/V
- Non-linearity: ±0.5%RO
- Hysteresis: ±0.5%RO
- Weight: Approx. 50g
- Load direction is perpendicular to the mounting base.

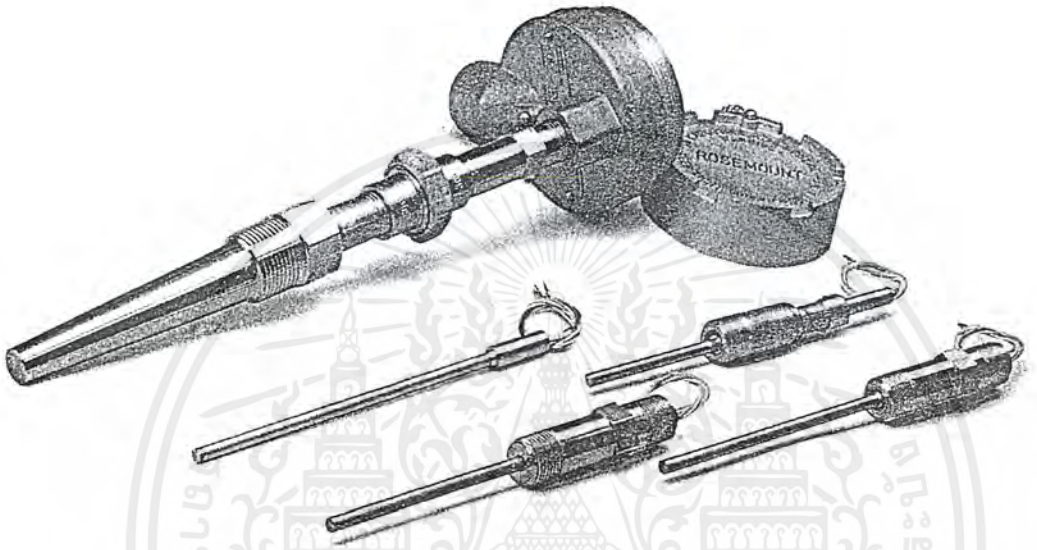
LSM-BS 3-Component Force Transducers

- Small, lightweight and easy to install
- Rated load: 5, 10, 20 or 50kgf (49.03, 98.07, 196.1 or 490.3N) for all of Fx, Fy and Fz
- Safe overload rating: 150%
- Rated output: 0.5mV/V
- Non-linearity: ±0.5%RO
- Hysteresis: ±0.5%RO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature Sensors
RTD& Thermocouple



SERIES 58C PLATINUM RTD

Rosemount Series 58C sensors are available in 12-, 24-, 36-, and 48-inch ⊗ lengths and may be shortened to any desired length with an ordinary tubing cutter. This cut-to-fit feature eliminates the need to stock a large selection of sensors in many specific lengths. Table 2-5shows interchangeability of the Series 58C Sensor.

TABLE 2-5. Series 58C Interchangeability (Accuracy).

±0.55 °C	(±0.99 °F)	at	–50 °C	(–58 °F)
±0.30 °C	(±0.54 °F)	at	0 °C	(32 °F)
±0.80 °C	(±1.44 °F)	at	100 °C	(212 °F)
±1.30 °C	(±2.34 °F)	at	200 °C	(392 °F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

Reed Switch Proximity detector

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาอธิบายการทำงานของ Reed Switch Proximity Detector ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาทราบถึงชนิดของวัตถุที่สามารถทำการตรวจจับโดยใช้ Reed Switch Proximity Detector ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Digital Counter 1 ชุด
2. Proximity Test Bed 1 ชุด
3. Power Supply 1 ชุด
4. วัตถุทดลอง

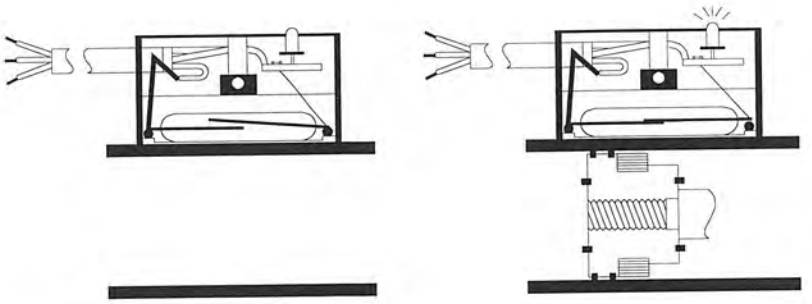
ทฤษฎีเบื้องต้น

รีดสวิตช์ คือ แม็กเนติกเซนเซอร์ที่ทำด้วยหลอดแก้ว ภายในมีแผ่น Goal- Plated Steel 2 แผ่น มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส โดยปกติทั่วไปแล้วจะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open ; NO) สวิตช์นี้จะทำงานโดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งอาจจะเป็นแม่เหล็กถาวร หรือแม่เหล็กไฟฟ้าได้ แผ่นหน้าสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก (Ferromagnetic) เช่น เหล็กผสมนิเกิลและติดตั้งภายในกระเปราะแก้วเล็กๆ ที่มีการเติมก๊าซเฉื่อยเพื่อทำให้การตัดต่อการส่งกระแสไฟฟ้าทำงานได้เร็วยิ่งขึ้น

1) โครงสร้างและหลักการทำงาน

ในรูปที่ 1 จะแสดงตัวอย่างการทำงานของรีดสวิตช์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ทำงานหรือกระบอกสูบของระบบนิวเมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



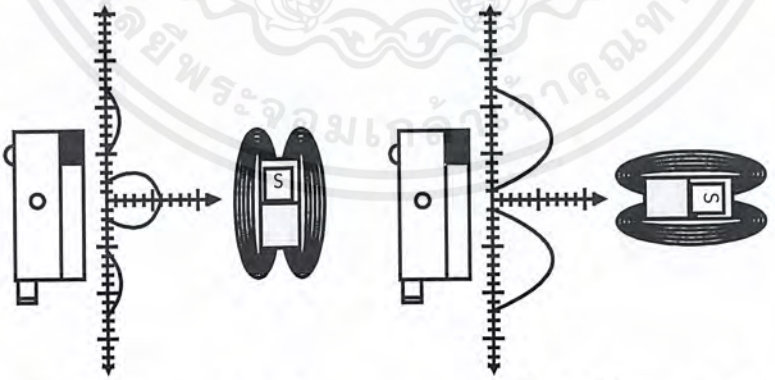
(ก)
สภาวะปกติของรีดสวิตช์

(ข)
รีดสวิตช์เมื่อมีแม่เหล็กตัดผ่าน

รูปที่ 1 ตัวอย่างการทำงานของรีดสวิทช์

หลักการทำงานในรูปที่ 1 ก เป็นการแสดงสภาวะปกติของรีดสวิตช์ในขณะที่ลูกสูบที่มีแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่ ไม่ได้เคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ ในสภาวะเช่นนี้หน้าสัมผัสจะเปิดวงจร แต่เมื่อไรก็ตามที่ลูกสูบเคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 ข สนามแม่เหล็กจากลูกสูบก็จะส่งผลให้หน้าสัมผัสต่อถึงกันหรือปิดวงจร

ทิศทางของสนามแม่เหล็กในอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติกส์หรือไฮดรอลิกส์นั้น ได้มีการออกแบบและถูกกำหนดให้มีผลต่อการทำงานสูงสุดไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว แต่หากเราคิดจะออกแบบและนำไปติดตั้งร่วมกับสนามแม่เหล็กจากแหล่งอื่น จะต้องระมัดระวังและพิจารณาให้ดี เนื่องจากจะมีผลต่อการทำงานของรีดสวิตช์ ผลของทิศทางสนามแม่เหล็กต่อการทำงานของรีดสวิตช์แสดงได้ดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้



(ก) ขั้วแม่เหล็กขนานกับรีดสวิตช์

(ข) ขั้วแม่เหล็กตั้งฉากกับรีดสวิตช์

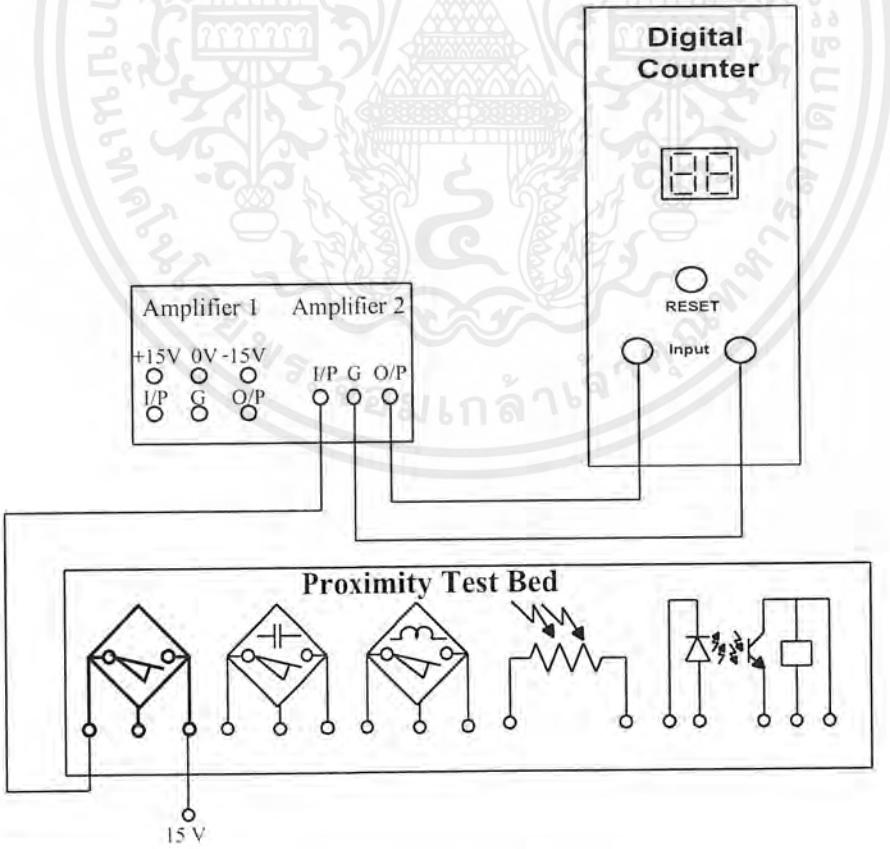
รูปที่ 2 ผลของทิศทางสนามแม่เหล็กต่อรีดสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2 สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ ภาพ (ก) จะเป็นการแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวรซึ่งขั้วแม่เหล็กจะขนานกับรีดสวิตช์ โอกาสที่หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์จะต่อถึงกันได้มากที่สุดก็คือตำแหน่งตรงกลาง ส่วนภาพ (ข) การเคลื่อนที่ของขั้วแม่เหล็กจะตั้งฉากกับตัวรีดสวิตช์ การติดตั้งในลักษณะเช่นนี้จะส่งผลให้หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์ต่อถึงกัน 2 ครั้ง

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3 ป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้า 24 VDC ให้แก่ Reed Switch
2) วางตัวอย่างแม่เหล็กลงบน Turntable ให้ชิด Reed Switch มากที่สุด
3) เพิ่ม Balanced D.C. Supply ให้ได้ 5 โวลต์
4) เลื่อนแม่เหล็กออกห่างจาก reed switch และเลื่อนกลับเข้ามา พร้อมสังเกตการทำงานของ Digital Counter
5) ใช้ตัวอย่างวัสดุที่กำหนดในตารางทำการทดลองซ้ำในข้อ 2 ถึงข้อ 5 และบันทึกผลลงในตาราง (โดยบันทึกว่า วัตถุใดบ้างที่สามารถทำให้รีดสวิทช์ทำงานได้ในแต่ละรอบ)



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

จำนวนรอบ	ชนิดของวัตถุ				
	ไม้	พลาสติก	ทองเหลือง	เหล็ก	แม่เหล็ก

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของรีดสวิทช์
2. จากการทดลองวัตถุที่สามารถทำให้รีดสวิทช์ตรวจจับได้ คือ
3. เมื่อเลื่อนวัตถุที่เป็นแม่เหล็กและเหล็กเข้าใกล้รีดสวิทช์ จะมีผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

Inductive Proximity Switch

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงหลักการทำงานของ Inductive Proximity Switch
2. เพื่อให้นักศึกษาได้รู้ถึงชนิดของวัตถุที่สามารถทำการตรวจจับโดยใช้ Inductive Proximity Switch ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาได้รู้ถึงระยะการตรวจจับของ Inductive Proximity Switch ที่มีต่อโลหะชนิดต่างๆ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Proximity Test Bed 1 ชุด
2. Power Supply 1 ชุด
3. Digital Counter 1 ชุด
4. วัตถุทดลอง

ทฤษฎีเบื้องต้น

เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ หรือเรียกกันทางภาษาเทคนิคว่า อินดั๊กตีฟเซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงานหรือวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น

Inductive Proximity Switch ประกอบด้วยแท่งแม่เหล็กถาวรมีขดลวดไฟฟ้าพันอยู่รอบบรรจุในกล่องโลหะ ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเมื่อใดก็จะเกิดไฟฟ้า (EMF) ออกจากคอล์ยตามกฎของ Faraday จำนวน Flux ที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรนั้นขึ้นอยู่กับ Reluctance ของวงจรแม่เหล็ก ซึ่งถ้าค่า Reluctance เปลี่ยนจะทำให้ค่า Flux เปลี่ยน ส่งผลให้เกิดกระแส EMF ขึ้นในคอล์ยที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นแม่เหล็กผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเพิ่มชั่วขณะซึ่งจะได้ Electrical Pulse ออกจากคอล์ยส่วนการผ่านครั้งที่ 2 ของแม่เหล็กนั้นอาจทำให้ Flux เพิ่มหรือลดขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขั้วแม่เหล็กทั้งสอง และ Electrical Pulse จะเกิดเมื่อ Flux เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำจะประกอบไปด้วย

(1) วงจรกำเนิดคลื่นความถี่สูง (Oscillator)

(2) วงจรหรือส่วนของการประมวลผล (Evaluation)

(3) วงจรแยกแยะสภาวะและสั่งงาน (Trigger)

(4) หลอดไฟแสดงสภาวะในการทำงาน (Status Display)

(5) วงจรขยายสัญญาณและป้องกันด้านเอาต์พุต (Output With Protective Circuit)

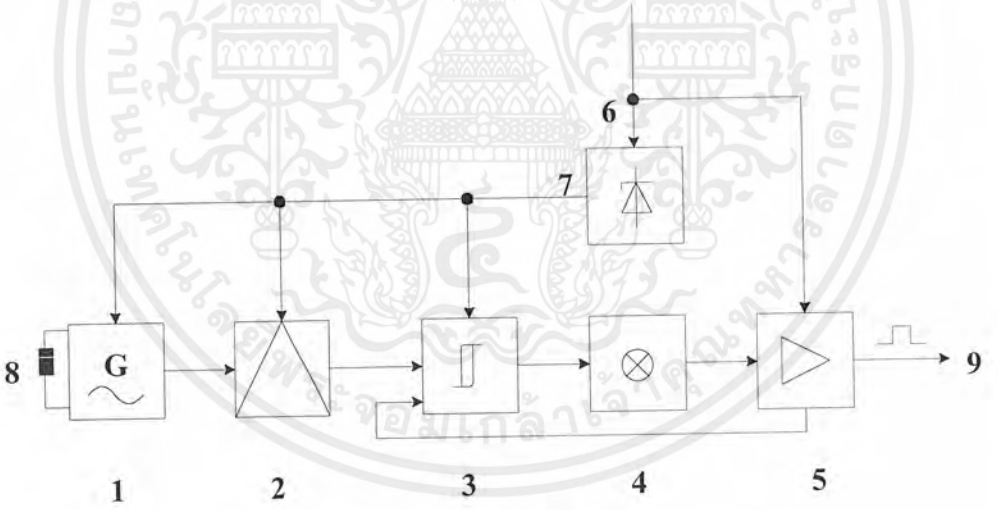
(6) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก (External Voltage)

(7) วงจรรักษาระดับแรงดันภายในให้คงที่(Iinternal Constant Voltage Supply)

(8) ส่วนหรือพื้นที่ ที่ใช้ในการตรวจจับซึ่งมีขดลวดอยู่ภายใน (Active Zone ; coil)

(9) เอาต์พุตของเซนเซอร์ ซึ่งในที่นี้จะเป็นแบบทำงานหรือไม่ทำงาน (On-Off)

จากส่วนประกอบหลักดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ต่อไปนี้



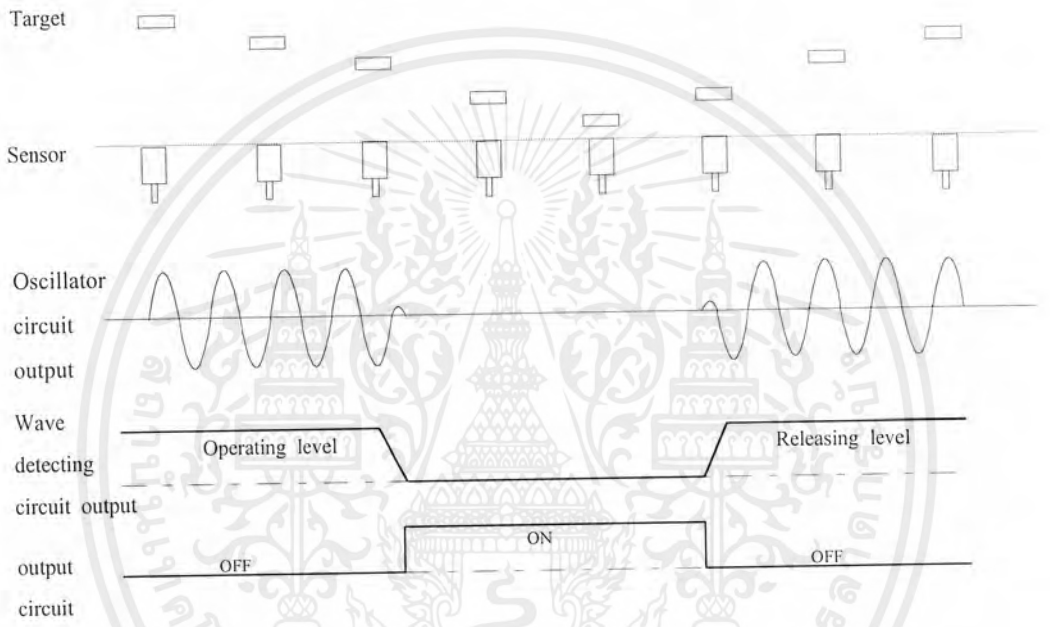
รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

2) หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ที่บริเวณส่วนหัว (8) ของเซนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กซึ่งมีความถี่สูงโดยได้รับสัญญาณมาจากวงจรกำเนิดความถี่ (1) ในกรณีที่มีวัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กสามารถส่งไปถึง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการหน่วงออสซิลเลท (Oscillate) ลดลงไป หรือบางทีหรืออาจถึงจุดที่หยุดการออสซิลเลทและเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็เริ่มต้นการออสซิลเลทใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวในข้างต้นจะถูกแยกแยะได้ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายใน (2) และ (3) หลังจากนั้นก็จะส่งผลไปยังเอาต์พุต (5) ว่าให้ทำงานหรือไม่ทำงาน โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเอาต์พุตว่าเป็นแบบไหน เพื่อเป็นการลดจินตนาการในการทำความเข้าใจการทำงานของเซนเซอร์ชนิดนี้จึงขอแสดงด้วยรูปที่ 2 ต่อไปนี้



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ลำดับขั้นการทดลอง

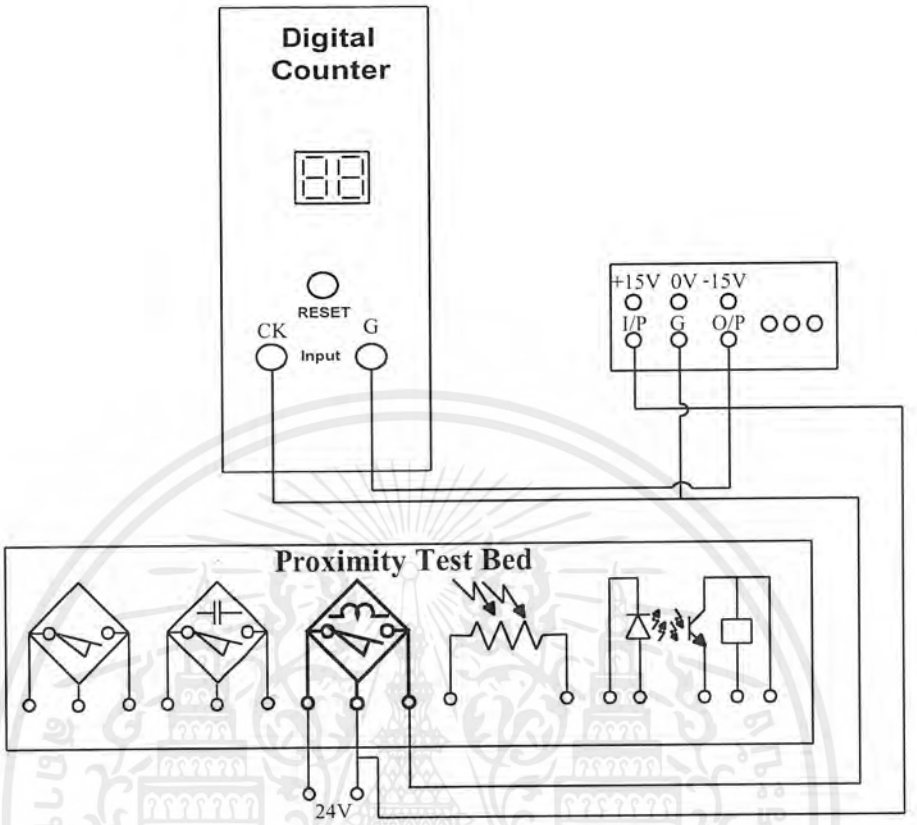
1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3 ป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้า 24 VDC ให้แก่ Inductive Proximity Switch

2) วางตัวอย่างโลหะทดลองลงบน Turntable อย่าให้แตะ Transducer ที่อยู่รอบๆ เลื่อนตัวอย่างเข้าออกจาก Inductive Proximity Transducer พร้อมกับสังเกต Digital Counter

3) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 โดยใช้วัตถุทดลองตามตารางที่ 1 บันทึกผลที่ได้

4) เทียบเปอร์เซนต์ความแตกต่างของระยะการตรวจจับระหว่างเหล็กกับโลหะชนิดอื่นโดยคิดเทียบระยะของเหล็กเป็น 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุทดลอง	ระยะที่ sensor เริ่มทำงาน(mm)	%
เหล็ก		
แม่เหล็ก		
พลาสติก		
ทองเหลือง		
ไม้		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. Inductive Proximity Switch มีหลักการทำงานอย่างไร
2. จากการทดลองวัตถุที่สามารถทำให้ Inductive Proximity Switch ตรวจจับได้คือวัตถุใด และเพราะเหตุใด
3. จากการทดลองข้อ 3 และ 4 มีผลเป็นอย่างไรและเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

Capacitive Proximity Detector

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของ Capacitive Proximity ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาได้รู้ถึงชนิดของวัตถุที่สามารถทำการตรวจจับโดยใช้ Capacitive Proximity ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาได้รู้ถึงระยะการตรวจจับของ Capacitive Proximity ที่มีต่อโลหะชนิดต่างๆ ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

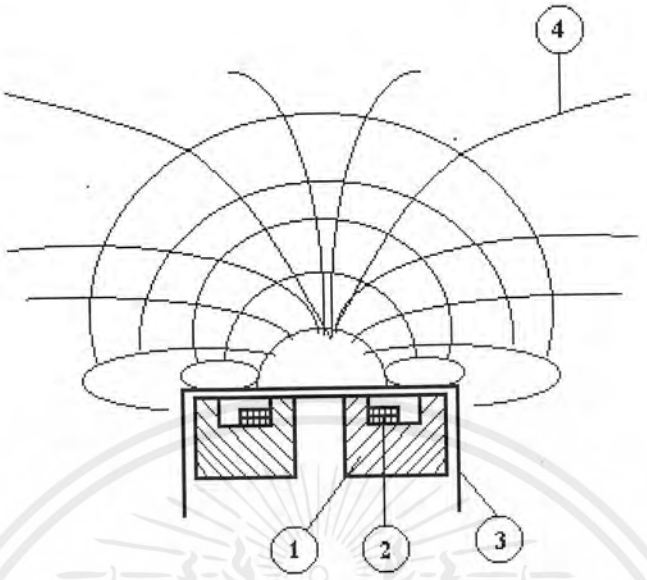
1. Proximity test bed 1 ชุด
2. Digital counter 1 ชุด
3. Power supply 1 ชุด
4. วัตถุทดลองที่เป็นโลหะและอโลหะชนิดต่างๆ

ทฤษฎีเบื้องต้น

Capacitive Proximity เป็นอุปกรณ์ตรวจจับที่ทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นแยกห่างกันโดยอากาศ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณส่วนตรวจจับ เมื่อมีวัตถุเข้ามาในบริเวณตรวจจับของตัว Sensor ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า ค่าความจุจะมากขึ้นตามหลักการของตัวเก็บประจุ จึงทำให้เกิดการตรวจจับวัตถุได้

เซนเซอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างทั้งภายในและภายนอกคล้ายกับเซนเซอร์แบบเหนียวนำ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ซึ่งเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุชนิดหนึ่งเข้ามาใกล้สนามไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ สนามไฟฟ้าที่บริเวณส่วนตรวจจับของตัวเซนเซอร์กำเนิดขึ้นโดยใช้ Active Electrode และ Earth Electrode นอกจากนี้ยังมีอิเล็กโทรดชดเชย ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันและชดเชยผลของความชื้น ที่ด้านหน้าของบริเวณตรวจจับถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณนี้ ค่าความจุของวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็จะเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



① Earth electrode
② Active electrode
③ ตัวเรือน
④ สนามไฟฟ้า

รูปที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ

เซนเซอร์ชนิดนี้จะทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าที่บริเวณด้านหน้าของส่วนตรวจจับจะคล้ายคลึงกับเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ กล่าวคือ เมื่อมีวัตถุใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณสนามไฟฟ้านี้ก็จะทำให้ค่าความจุของวงจรกำเนิดคลื่นความถี่มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าระยะทางระหว่างตัวกลางหรือวัตถุกับด้านหน้าของบริเวณของส่วนตรวจจับ ค่าคงที่ของตัวกลาง (Dielectric Constant) รวมทั้งขนาดและตัวกลาง

เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ สามารถตรวจจับวัตถุตัวกลางได้ทั้งที่เป็นโลหะและไม่ได้เป็นโลหะ สภาวะการทำงาน (On) และไม่ทำงาน (Off) นั้นเกิดจากการแยกแยะสภาวะของวงจรกำเนิดคลื่นว่ามีการออสซิลเลทหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

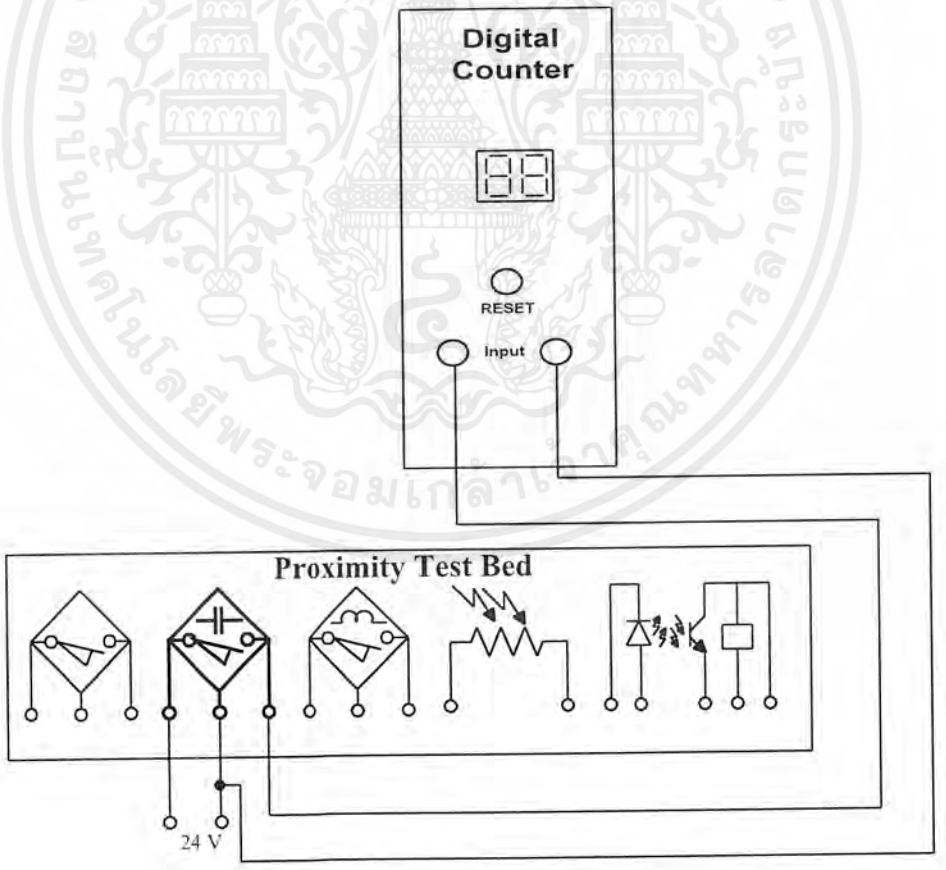
1) ต่อวงจรตามรูปที่ 2 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 24 VDC ให้แก่ Capacitive Proximity

2) วางตัวอย่างโลหะลงบน Turntable ให้ใกล้ Capacitance Probe มากที่สุด แต่อย่าให้สัมผัสโดน

3) กดปุ่ม Power On ของเครื่องทั้งหมด

4) ค่อยๆเลื่อนวัตถุทดลองที่เป็นโลหะและอโลหะเข้าไปหาตัว Sensor อย่างช้าๆแล้วสังเกตผลเอาท์พุทที่ตัว Sensor แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตาราง

5) ใช้วัตถุทดลองต่างๆ (ตามที่กำหนดไว้ในตาราง) ค่อยๆเลื่อนเข้าหาตัว Sensor จนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุตที่ตัว Sensor สังเกตการทำงานของ Counter แล้วบันทึกผลลงในตาราง



รูปที่ 2 การต่อวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุทดลอง	สภาวะเอาท์พุท ON หรือ OFF
โลหะ	
อโลหะ	

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุทดลอง	ระยะที่ sensor เริ่มทำงาน (mm.)	จำนวนครั้งที่นับได้
โลหะทุกชนิด		
เหล็ก		
พลาสติก		
แม่เหล็ก		
ไม้		

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. Capacitive Proximity Switch มีหลักการทำงานเป็นอย่างไร
2. จากการทดลอง วัตถุชนิดใดที่ Capacitive Proximity Switch ตรวจจับไม่ได้ เพราะอะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

Optical Transmissive Proximity Detector

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Optical Transmissive Proximity Detector ได้

2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกคุณสมบัติของวัตถุที่สามารถตรวจจับโดยใช้ Optical Transmissive Proximity Detector ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Proximity Test Bed 1 ชุด
2. Digital Counter 1 ชุด
3. Power Supply
3. วัตถุทดลอง

ทฤษฎีเบื้องต้น

Optical Transmissive Proximity เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้แสงในการทำงานเพื่อการตรวจจับวัตถุ มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ตัวรับแสงและตัวส่งแสง โดยตัวรับแสงส่วนใหญ่จะเป็นหลอด LED และตัวรับแสงจะเป็น Photo transistor หรือ Photo diode

โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสงโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญแสดงดังรูปที่ 1 กล่าวคือ ประกอบด้วย

(1) วงจรกำเนิดคลื่นหรือพัลซ์ความถี่

(2) แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ LED

(3) อุปกรณ์รับแสง โดยส่วนมากจะใช้โฟโต้ไดโอดหรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์

(4) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Preamplifier)

(5) อุปกรณ์เปรียบเทียบสัญญาณจากแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ และสัญญาณจากตัวรับแสง (logic operation)

(6) อุปกรณ์แยกแยะสัญญาณให้ทำงานหรือไม่ทำงาน

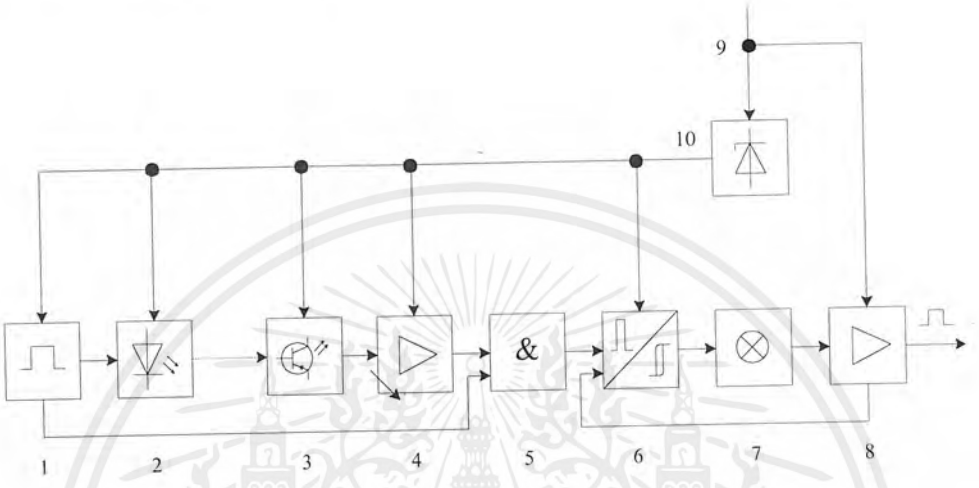
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) หลอดไฟแสดงการทำงาน

(8) เอาต์พุตและวงจรป้องกัน

(9) แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอก

(10)วงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดลำแสง

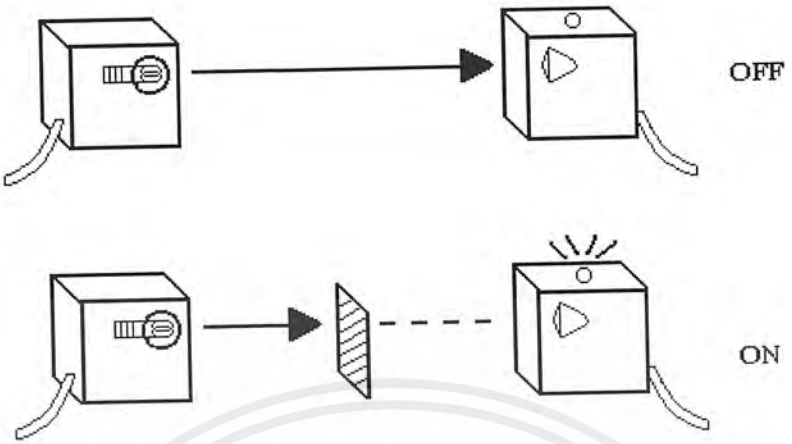
หลักการทำงานนั้นเกิดขึ้นจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสงที่ส่งไปยังตัวรับแสงนั้นถูกกั้นขวางด้วยวัตถุ ทำให้ตัวรับแสงไม่ได้รับแสงจึงทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวเซนเซอร์ทำการแปลงค่าของสภาวะออกมาเป็นสัญญาณเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

โดยมีสภาวะการทำงาน 2 สภาวะ คือ

1. สภาวะ light หรือ สว่าง คือ สภาวะที่ตัวรับแสงได้รับแสงที่ส่งมาจากตัวส่ง

2. สภาวะ dark หรือ มืด คือ สภาวะที่ตัวรับแสงไม่ได้รับแสงที่ส่งมาจากตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 เซนเซอร์แบบลำแสงผ่านตลอด

ซึ่งในการใช้งานจริง สามารถเลือกโหมดการทำงานตามสภาวะดังกล่าวได้ คือ แบบ light on และ dark on ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการใช้งานในแต่ละประเภท

ในการตรวจจับวัตถุนั้น ขนาดและชนิดของวัตถุก็มีผลต่อการตรวจจับด้วยซึ่งเซนเซอร์ชนิดนี้ไม่สามารถตรวจจับวัตถุโปร่งแสงได้

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3 ป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 24 VDC ให้แก่ Optical Transmissive Proximity

2) วางตัวอย่างวัตถุลงบน Turntable ให้ใกล้ตัวรับแสงมากที่สุด กดปุ่ม Power On

3) สังเกตุสภาวะเอาต์พุตของเซนเซอร์ขณะที่ยังไม่มีวัตถุมาบังแสงและบันทึกผลในตารางที่ 1

4) ใช้วัตถุทดลองที่เป็นชนิดทึบแสงและโปร่งแสงเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสงระหว่างตัวส่งและตัวรับ แล้วสังเกตุสภาวะเอาต์พุตและบันทึกผลลงในตารางที่ 1

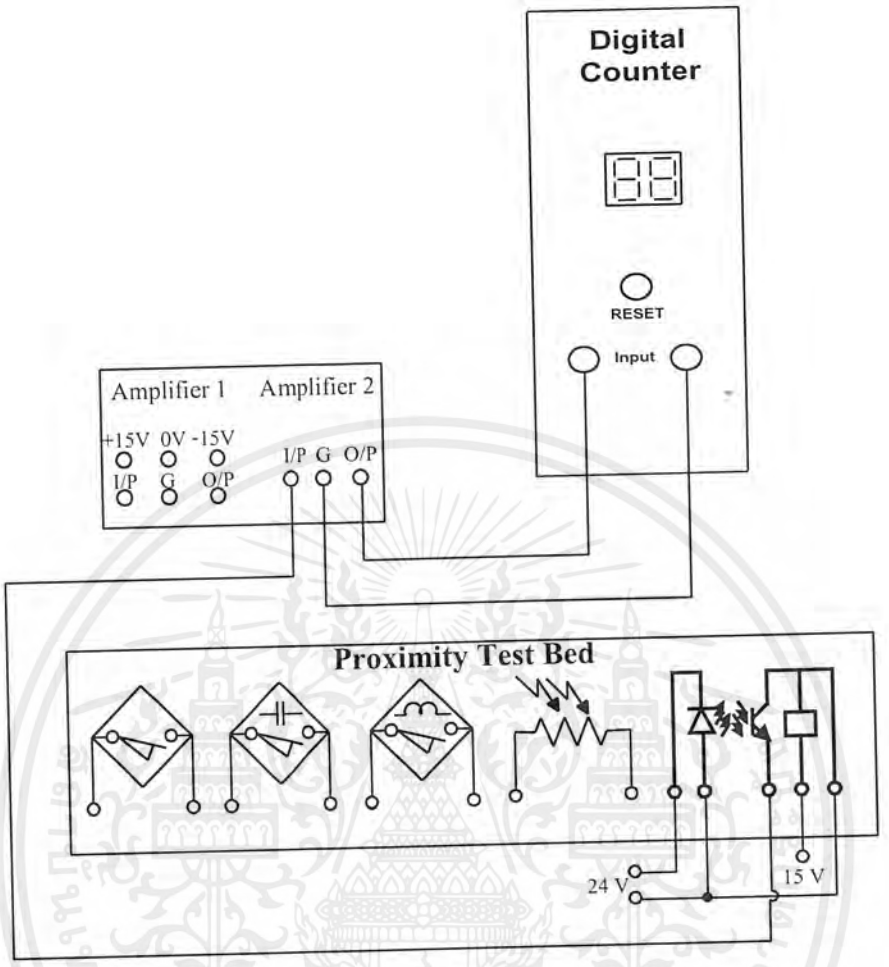
5) ทดลองใช้วัตถุชนิดต่างๆ ตามตาราง สังเกตุการทำงานของ Counter

6) ปรับ Set Level จนกระทั่ง Counter ทำงานเมื่อวัตถุผ่านทุกครั้ง

7) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 5 และ 6 โดยใช้วัตถุตัวอย่างชนิดต่างๆ

8) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุ	สภาวะเอาต์พุต
ไม่มีวัตถุผ่าน	
มีวัตถุทึบแสงผ่าน	
มีวัตถุโปร่งแสงผ่าน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุ	จำนวนครั้งที่นับได้
พลาสติก	
ทองเหลือง	
แม่เหล็ก	
ไม้	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. หลักการทำงานของ Optical Transmissive Proximity Switch เป็นอย่างไร
2. วัตถุที่สามารถทำให้ Optical Transmissive Proximity Switch ตรวจจับได้และตรวจจับไม่ได้ต้องมีคุณสมบัติอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

Photo Resistor

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของโฟโต้รีซีสเตอร์ได้

2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกถึงคุณลักษณะของวัตถุทดลองที่โฟโต้รีซีสเตอร์สามารถตรวจจับได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

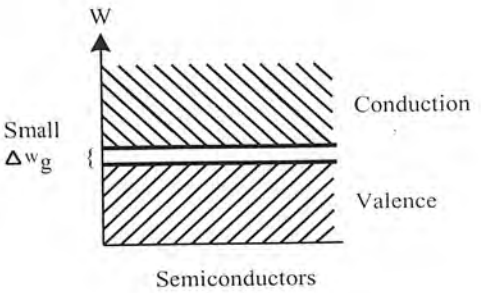
1. Proximity test bed 1 ชุด
2. Digital Counter 1 ชุด
3. Power Supply 1 ชุด
4. วัตถุทดลอง

ทฤษฎีเบื้องต้น

โฟโต้รีซีสเตอร์ใช้หลักการที่ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความนำ (Conductivity) ของสารกึ่งตัวนำด้วยความเข้มของการส่องแสง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความนำนี้จะปรากฏอยู่ในรูปของความต้านทาน

ในสารกึ่งตัวนำของอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง โฟตอนจะถูกดึงดูดและปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากวาเลนซ์ (Valence) ไปยังแถบความนำ (Donduction Band) จำนวนอิเล็กตรอนมากมายเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยเข้าไปยังแถบความนำ ทำให้ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำลดลง โดยที่ค่าความต้านทานดังกล่าวนี้จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของแสง

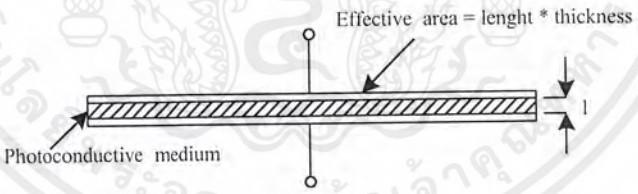
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 อิเล็กตรอนเลื่อนระดับพลังงาน

จากรูปที่ 1 เมื่อสารกึ่งตัวนำได้รับแสงเป็นเหตุให้อิเล็กตรอนเลื่อนระดับพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้าได้ โดยผ่านแถบช่องว่างพลังงาน

1.1) โครงสร้างของเซลล์ (Cell Structure) สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดที่ธรรมดาที่สุดที่นำมาใช้ทำอุปกรณ์ตรวจจับประเภทนี้ก็คือ แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ซึ่งมีแถบช่องว่างพลังงานเป็น 2.42 eV และแคดเมียมซิลิไฟด์ (CdSe) มีแถบช่องว่างพลังงานเป็น 1.74 eV เหตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดนี้ก็เพราะว่าสภาพปกติที่ไม่ได้รับแสงค่าแถบพลังงานช่องว่างจะมีค่าสูงมาก ซึ่งจะเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานมีค่าที่สูงตามไปด้วย

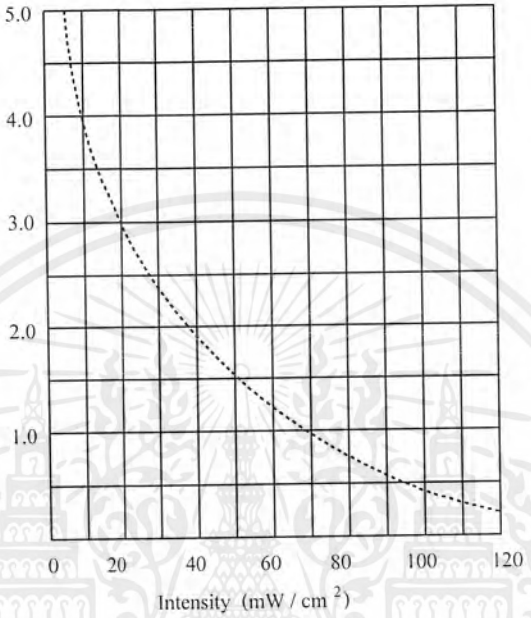


รูปที่ 2 โครงสร้างของเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยแสง

นอกเหนือจากแสงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานโดยตรงแล้ว รูปแบบโครงสร้างก็ยังมีผลต่อค่าความต้านทานด้วยเช่นกัน จากสมการพื้นฐานที่ว่า $R = \rho l / A$ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ได้รับนั้นส่วนมากจะไม่เป็นเชิงเส้น โดยความต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มของแสงมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ ง.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของแสง โดยในที่นี้กำหนดให้ความยาวของคลื่นแสง (λ) เป็น 0.5μm



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความเข้มของแสง

การควบคุมความไวเกี่ยวกับแสงที่อยู่ในสภาพปกติสามารถกระทำได้โดยต่อ โฟโต้รีซิสเตอร์เข้ากับวงจรบริดจ์แล้วปรับวงจรให้มีค่าเป็นศูนย์ วงจรออปแอมป์จะใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าความต้านทานของโฟโต้รีซิสเตอร์ให้เป็นกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่ง อย่างที่เราทราบกันแล้วว่าโฟโต้รีซิสเตอร์ก็เหมือนกับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตัวมันเอง (Power Dissipation) ส่วนหนึ่ง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 500 mW ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างของโฟโต้รีซิสเตอร์รุ่นนั้นๆ ด้วย

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 4

2) จ่ายไฟ 5 V ให้แก่โฟโต้รีซิสเตอร์

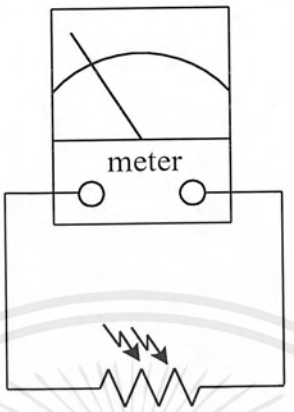
3) วางวัตถุทดลองบนจานหมุนให้ใกล้กับตัววัดมากที่สุด

4) กดปุ่ม Power On ของชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่เอาต์พุตของโฟโต้รีซิสเตอร์

6) ทดลองใช้วัตถุต่างๆ ตามตาราง แล้วบันทึกผลในตารางที่ 1



รูปที่ ง.15 การต่อวงจรทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ชนิดของวัตถุ	Meter Reading (Ω)
ทองเหลือง	
เหล็ก	
ไม้	
พลาสติก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโฟโต้รีซิสเตอร์
2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงของวัตถุแต่ละชนิดกับค่าความต้านทานเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
การตรวจวัดอุณหภูมิด้วย RTD

วัตถุประสงค์

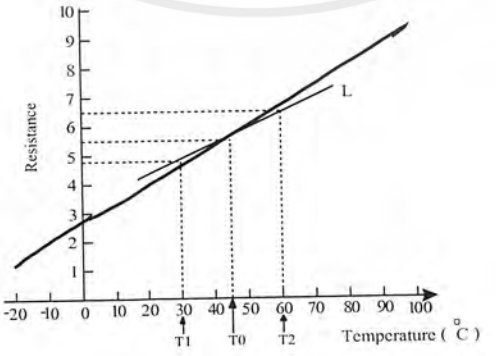
1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวัดและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ RTD ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ RTD ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถคำนวณค่าความต้านทานของ RTD ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเปิดตารางสอบเทียบค่า RTD กับอุณหภูมิได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Temperature Sensing Test Bed 1 ชุด
2. Temperature Controller 1 ชุด
3. Heater 1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

RTD เป็นคำที่ย่อมาจาก Resistance Temperature Detector หรือความหมายในภาษาไทยก็คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ค่าความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 1 หากเราต้องการหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ ก็สามารถทำได้โดยกำหนดจุดบนกราฟแล้วทำการลากเส้นก็จะได้ค่าความต้านทาน ณ. จุดที่อุณหภูมินั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้วิธีคำนวณกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากหากย่านการวัดอุณหภูมิมีช่วงกว้างมากๆ จะไม่มีกราฟที่ให้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว หรือหากถ้ามีก็จะขาดซึ่งความละเอียด สมการที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานแสดงได้ดังนี้

$$R(T) = R(T_0)\left[1 + \alpha_0 \Delta T\right] \qquad (1)$$

โดยที่ R(T) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T ใดๆ

$R(T_0)$ = ความต้านทานที่อุหภูมิ T_0 หรืออุณหภูมิอ้างอิง

$\Delta T = T - T_0$

α_0 = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ T_0

ค่าของ α_0 สามารถหาค่าได้จากค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

$$\alpha_0 = 1/R(T_0) \times (\text{slope ที่ } T_0)$$

$$= 1/R(T_0) \times \left[(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1)\right]$$

เมื่อ R_1 = ค่าความต้านทานที่ T_1

R_2 = ค่าความต้านทานที่ T_2

(ให้พิจารณาค่าต่างๆในรูปที่ 1)

ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน (α) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำ RTD เช่น พลาตินัม 0.0039 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ จากย่านอุณหภูมิ $0^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ นิเกิล 0.0067 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ ทองแดง 0.0038 $\Omega/\Omega/^{\circ}C$ และในทางปฏิบัติค่าของ α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงจะแปรผันไม่เป็นเส้นตรงในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าที่แน่นอนสามารถกระทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

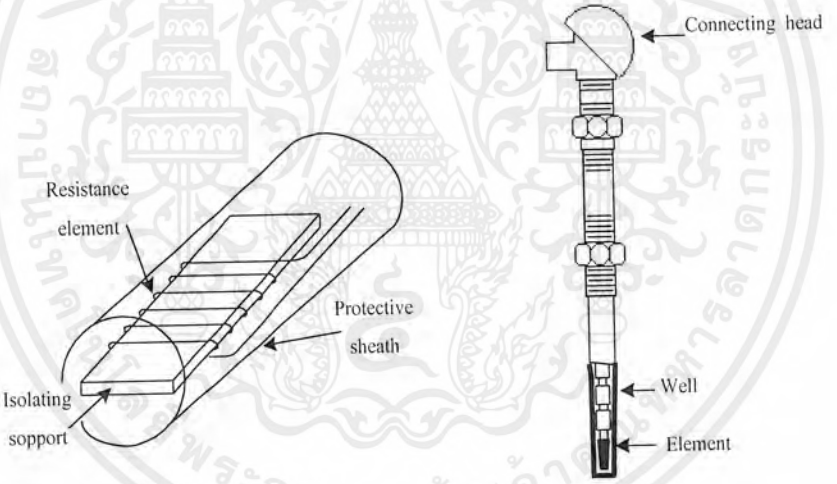
$$R(T) = R(T_0)\left[1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2\right] \qquad (2)$$

ค่า α_1 และ α_2 เป็นค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งในทางปฏิบัติในการนำไปใช้งานค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิต RTD เป็นผู้กำหนดมาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โครงสร้างของ RTD

RTD ทำด้วยโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะดังกล่าวนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนแกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิตRTD ก็คือ ขณะใช้งานขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน ได้ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก เมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อเย็นตัวลงจะหดตัว พร้อมกันนี้แกนที่ใช้พันขดลวดก็จะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่สัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดเขาจะทำกันในขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการรอบความร้อนคลายความเครียด (Strain) ที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง RTDโดยทั่วไปจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (Sheath) ฉนวนที่ใช้ก็จะเป็นพวกแม็กนีเซียมออกไซด์ หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรงจะอยู่ตรงส่วนปลาย ซึ่งอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน RTD

RTD โดยทั่วไปแล้วจะทำมาจากโลหะที่มีความต้านทานสูง ตัวอย่างเช่น พลาตินัม ทองแดง นิเกิล สำหรับทังสเตนจะใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่ต้องการย่านวัดสูงๆ แต่เนื่องจากมันเปราะและแตกง่ายจึงทำให้ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน ส่วนโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำ RTD และให้ผลในการตอบสนองค่อนข้างเป็นเส้นตรงก็คือ พลาตินัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3

2) กดปุ่ม Power On ที่ Mainframe ตั้ง Set point ให้ได้ 100°C

3) เลือก Select Coil 1 หรือ 2 เพียงชุดเดียว ใส่ RTD ลงใน Heater

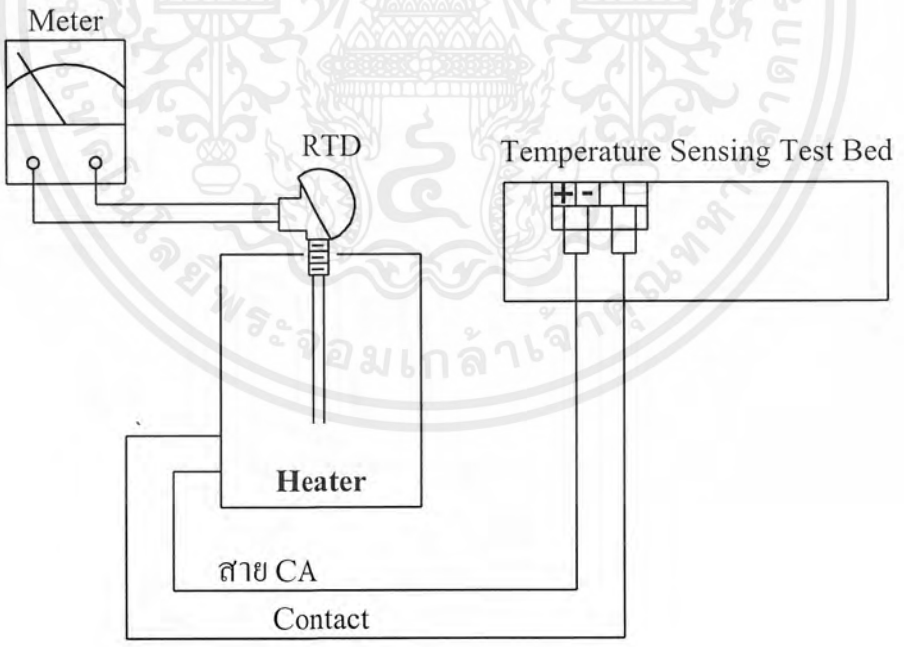
4) กดปุ่ม On ที่ Heater อ่านค่าอุณหภูมิจากตัวควบคุมอุณหภูมิ

5) ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่ RTD ที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตาราง

6) บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 1

7) นำค่าจากตารางมาคำนวณตามสูตร $R(T) = R(T_0)[1+\alpha_0 \Delta T]$ แล้วนำผลจากการคำนวณและผลจากการทดลองไปเปรียบเทียบกับตารางสอบเทียบค่า RTD แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 2

8) นำค่าที่ได้จากตารางที่ 2 มาเขียนกราฟและเปรียบเทียบกราฟที่ได้แต่ละเส้นว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	0	10	20	30	40	50
ค่าความต้านทาน (Ω)						

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	0	10	20	30	40	50
ค่าความต้านทานจากการทดลอง						
ค่าความต้านทานจากการคำนวณ						
ค่าความต้านทานจากการเปิดตาราง						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของ RTD
2. จากตารางที่ 2 จงเขียนกราฟของผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7

Thermocouple Temperature Sensing

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Thermocouple ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

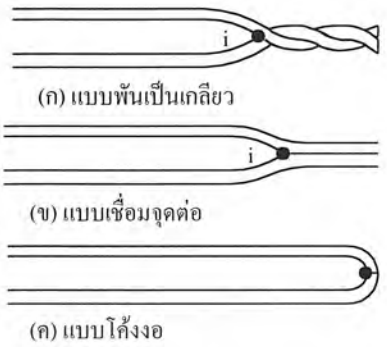
1. Temperature Sensing Test Bed 1 ชุด
2. Heater 1 ชุด
3. Temperature Controller 1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

เทอร์โมคัปเปิลจัดได้ว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถสร้างหรือผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง (Active Transducer) ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้โดยตรงกับเครื่องมือวัดหรือบันทึกอุณหภูมิ รวมทั้งเครื่องควบคุมต่างๆ เทอร์โมคัปเปิลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะถูกนำไปต่อใช้งาน ปลายของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่า Hot Junction ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเรียกว่า Cold Junction ซึ่งเป็นปลายด้านที่ต่อใช้งานเมื่อจุดต่อ Hot Junction ได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ที่จุด Cold Junction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



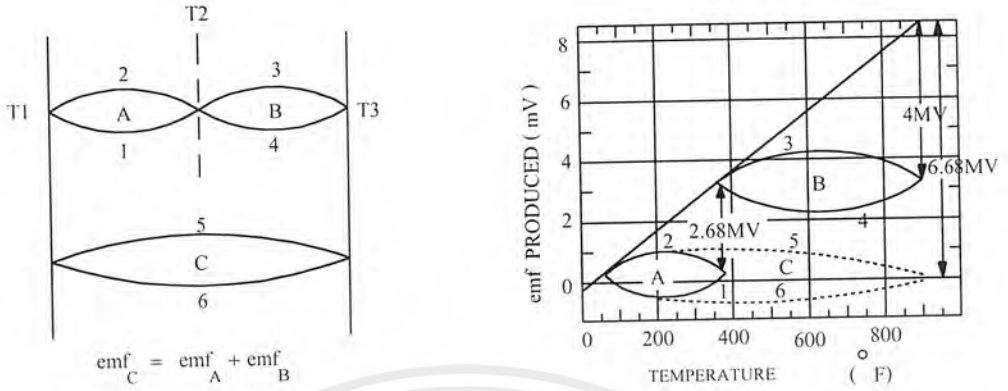
รูปที่ 1 ตัวอย่างเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่างๆ

โลหะที่ใช้ประกอบกันเป็นเทอร์โคัปเปิลนั้นส่วนมากจะได้แก่ เหล็ก-คอนสแตนแตน โครเมล-อลูเมล พลาตินัม/โรเดียม-พลาตินัม และทองแดง-คอนสแตนแตน โดยชื่อของโลหะตัวแรกจะเป็นขั้วบวกทางไฟฟ้าส่วนโลหะชนิดหลังจะเป็นขั้วลบ

นอกจากนี้ยังมีจุดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิลที่ควรจะกล่าวถึงอีก 2 กฎ คือ อุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature) และกฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals)

1) กฎของอุณหภูมิแทรก กล่าวไว้ว่า ถ้าโลหะต่างกัน 2 ชนิดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า E_1 ขึ้นเมื่อจุดเชื่อมต่อมีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 และ T_2 และเกิดแรงดันไฟฟ้า E_2 เมื่อจุดเชื่อมต่อมีค่าอุณหภูมิเป็น T_2 และ T_3 ตามลำดับแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อจุดเชื่อมต่อทั้งสองมีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 และ T_3 จะมีค่าเท่ากับ $E_1 + E_2$ ผลของกฎอันนี้ก็หมายถึงว่า ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิล 2 ชุด โดยที่เทอร์โมคัปเปิลชุดหนึ่งมีค่าอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อเป็น T_2 และ T_3 นั้น จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดเดียวที่มีอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อเป็น T_1 และ T_3 ในรูปที่ 2 แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กฎของอุณหภูมิแทรก (ข) กราฟแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้า

รูปที่ 2 ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิล

2) กฎของโลหะแทรก กล่าวไว้ว่า ถ้านำเส้นลวดชนิดที่สามเข้ามาต่อในวงจรของเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Cold Junction ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) แล้ว แรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลจะไม่เปลี่ยนแปลงไป และจุดเชื่อมต่อใหม่ X และ Y นั้นก็มีอุณหภูมิเดิม ในทางปฏิบัติแล้วกฎนี้มีความสำคัญมาก เพราะหมายถึงความสามารถที่จะนำเอาอุปกรณ์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า หรือสายตัวนำที่จะต่อเข้ากับวงจรควบคุมที่จุด Cold Junction ได้โดยไม่ทำให้ค่าแรงดันของวงจรเปลี่ยนแปลงไป รูปที่ 2 (ข) แสดงถึงการนำเอามิลลิโวลต์มิเตอร์มาต่อเพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้า

Thermocouple นั้นออกแบบมาให้เหมาะสมในอุตสาหกรรมและภายในบ้าน อีกทั้งยังสามารถต่อสายวัดไปได้ไกลๆ หรือต่อ Thermocouple อนุกรมเพื่อที่จะได้สัญญาณ Output มากๆ อีกด้วย

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3

2) กดปุ่ม Power On ที่ Mainframe ตั้ง Set point ให้ได้ 100°C

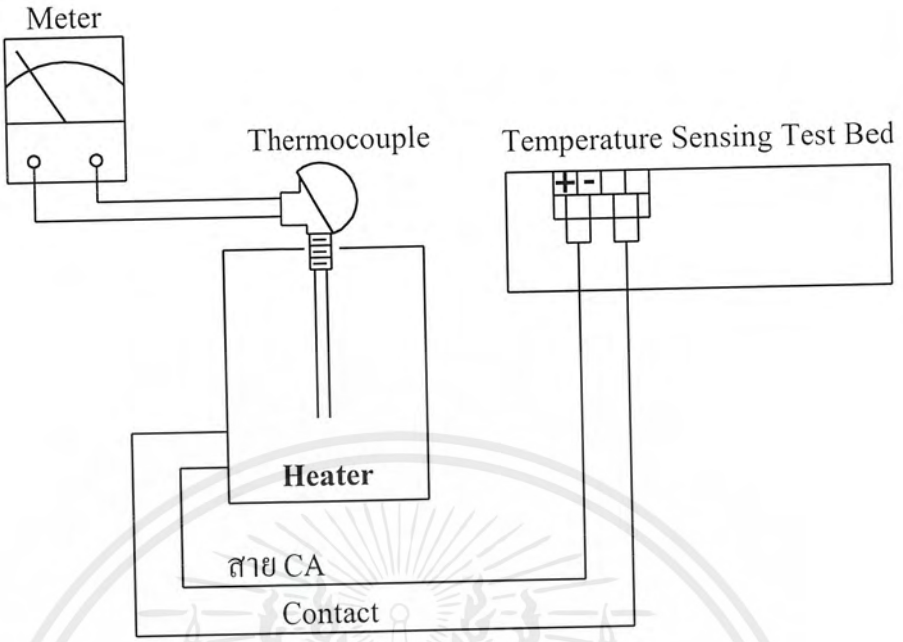
3) เลือก Select Coil 1 หรือ 2 เพียงชุดเดียว ใส่ เทอร์โมคัปเปิลลงใน Heater

4) กดปุ่ม On ที่ Heater อ่านค่าอุณหภูมิจากตัวควบคุมอุณหภูมิ

5) ใช้มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิล ที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่1

6) บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

Temperature Controller Reading (°C)	Thermocouple Reading (mV)
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล
2. จงบอกข้อดีข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิล
3. ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดคือชนิดใด จงอธิบายคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 8

Thermister Temperature Sensor

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของเทอร์มิสเตอร์ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถทำการวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์ได้

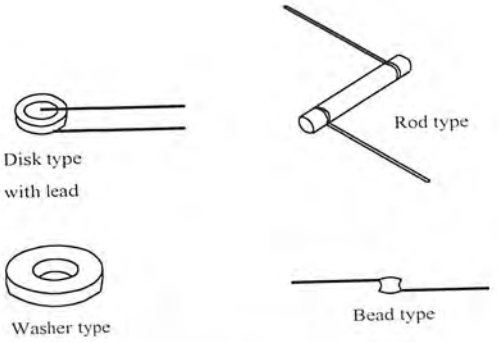
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Heater	1 ชุด
2. Temperature Controller	1 ชุด
3. Temperature Sensing Test Bed	1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

เทอร์มิสเตอร์ ก็เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเช่นเดียวกับ RTD แต่เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากคาร์บอนและสารกึ่งตัวนำ เช่น ออกไซด์ของโลหะ นิเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง เยอมาเนียม แมกนีเซียมและไทเตนียม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง และ ออกไซด์ของนิเกิลกับทองแดง สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มีสเตอร์จะมีค่าที่สูง ตัวอย่างเช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 Ω เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1°C เท่านั้น แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์แตกต่างจาก RTD ก็คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะกลับกันกับ RTD หรือกล่าวง่ายๆ ก็คือ ค่าความต้านทานจะลดลงเนื่องอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทั้งนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

การที่เทอร์มิสเตอร์มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงนี่เอง ทำให้ย่านการวัดอุณหภูมิแคบ โดยทั่วไปจะใช้ในย่านที่ต่ำกว่า 100°C แต่ก็มีบางแบบเหมือนกันที่สามารถวัดได้ถึง 450°C อย่างไรก็ตาม ในย่านที่อุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ดี แต่ต้องระวังในเรื่องความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ให้ดี เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นเส้นตรงมากนัก จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้งานเอาเฉพาะในบางช่วงที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R(T) = R_0 \exp\left[\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \qquad (1)$$

โดยที่ R(T) = ความต้านทานที่อุณหภูมิ Tใดๆ

R_0 = ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง T_0

β = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

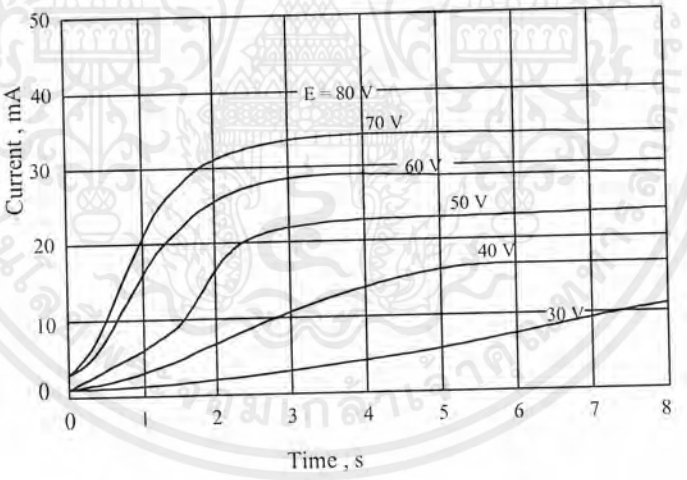
ค่า β นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดหรือเกรดซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของเทอร์มิสเตอร์แต่ละแบบ

เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ตัวมันจะเพิ่มขึ้นตามกระแสไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมาถึงจุดๆ หนึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมนี้จะลดลงในขณะที่กระแสก็ยังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุอันนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ที่มีความต้านทานเป็นลบนั่นเอง ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าน้อยกระแสก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสนี้ก็ยังมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้นได้ ภายใต้สภาวะเช่นนี้กระแสจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงขึ้นกระแสก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้เกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์สูงเกินกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น และค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง ซึ่งผลอันนี้จะทำให้กระแสไหลมากขึ้นและความต้านทานก็ยังคงลดลงไปเรื่อยๆ ค่ากระแสนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสูญเสีย (Dissipation) ของเทอร์มิสเตอร์เท่ากับพลังงานหรือกำลังที่ป้อนให้ภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิที่คงที่ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเป็นฟังชั่นกับพลังงานที่สิ้นเปลืองไปภายในตัวของมันเอง และหมายถึงว่าจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของมันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม



รูปที่ 2 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์

ในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์ กล่าวคือ กระแสจะมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ด้วย เมื่อเกิดความร้อนในขึ้นในเทอร์มิสเตอร์ มันจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งที่จะทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้นและกระแสก็จะมีค่าคงที่ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้ถือได้ว่า เป็นเวลาที่ใช้ในการตอบสนองนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลานี้จะแปรผันไปตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยตรงแล้ว เรายังสามารถนำมาใช้เป็นตัวชดเชยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ให้ทำงานถูกต้องอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าอุณหภูมิของบรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม นอกจากนั้นในวงจรอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล ก็ยังมีการเอาเทอร์มิสเตอร์มาใช้วัดอุณหภูมิอ้างอิงอีกด้วย

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 3

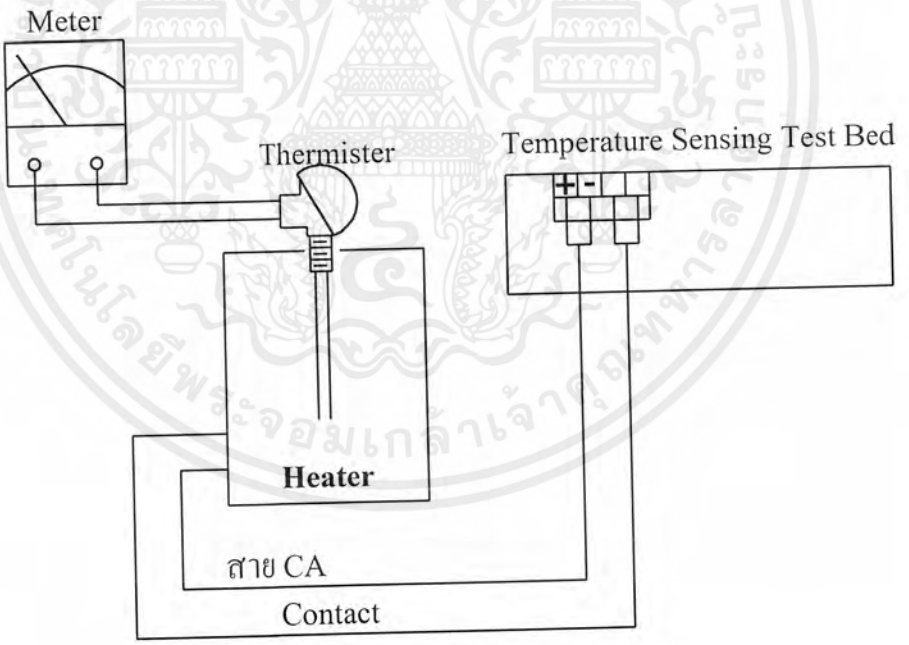
2) กดปุ่ม Power On ที่ Mainframe ตั้ง Set Point ให้ได้ 100°C

3) เลือก Select Coil 1 หรือ 2 เพียงชุดเดียว ใส่ เทอร์มิสเตอร์ลงใน Heater

4) กดปุ่ม On ที่ Heater อ่านค่าอุณหภูมิจากตัวควบคุมอุณหภูมิ

5) ใช้มิเตอร์วัดความต้านทานจากเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่ 1

6) บันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 การต่อวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

Temperature Controller Reading (° C)	Meter Reading (Ω)
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของเทอร์มิสเตอร์
2. จงบอกข้อดีข้อเสียของเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 9

Load Cell

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถรู้จักหลักการทำงานของโหลดเซลล์ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำโหลดเซลล์ไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Strain and stress test bed 1 ชุด
2. วงจรขยาย 1 ชุด
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

หนึ่งในการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญของสเตรนเกจ ก็คือ การนำสเตรนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะ หลังจากนั้นก็นำแท่งโลหะนี้ไปใช้ในการตรวจวัดแรงหรือน้ำหนัก ซึ่งหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้ ก็คือ โหลดเซลล์ นั่นเอง โดยทั่วไปอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกเปรียบเทียบ (Calibrate) ด้วยแรงหรือน้ำหนักโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โหลดเซลล์ที่มีใช้อยู่ในงานอุตสาหกรรมวัดแรงได้สูงถึง 5 เมกกะนิวตัน (MN) หรือประมาณ 10^6 ปอนด์ (lb)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้สำหรับเปลี่ยนแรงทางกายภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

แรงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

1. แรงจลน์ เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำบนข้อมูลหุ่นยนต์เนื่องจากความเร่งของมวลของวัตถุในระหว่างการบังคับให้เคลื่อนที่

2. แรงสถิต เป็นแรงที่กระทำบนวัตถุโดยไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เช่น แรงที่กระทำโดยคริปเปอร์ (Qripper) ของหุ่นยนต์บนผิดของวัตถุในระหว่างการจัดการกับวัตถุ

การวัดแรงทั่ว ๆ ไปทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกายภาพของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งแรงเป็นตัวการทำให้เกิดขึ้น

ส่วนประกอบยืดหยุ่นที่ใช้ในการวัดแรง (Elastic Elements For Force Measurements) ส่วนยืดหยุ่นที่นิยมใช้สำหรับการแสดงขนาดของแรงที่กระทำโดยผ่านการวัดการกระจัด เช่น

1. สปริงในกรณีแรงจะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = ky \quad (1)$$

เมื่อ k = ค่าคงตัวของสปริง

y = ระยะกระจัดจากจุดสมดุล

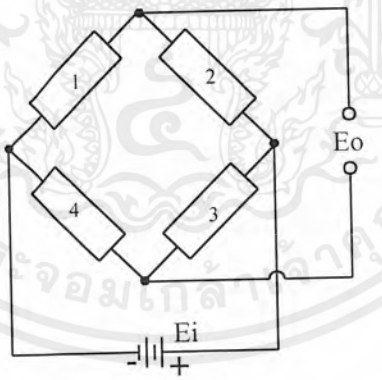
$$P = (AE/L) \times Y \quad (2)$$

2. แท่งวัสดุ แรงที่วัดได้จะเป็นตามสมการ

$$P = (3AE/L^3) \times Y \quad (3)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัด E = ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ L = ความยาว

3. คานยื่น (CANTILEVER BEAM) การเบนไปของปลายคาน สัมพันธ์กับแรง P ที่กระทำ โดย เมื่อ I = โมเมนต์ของความเฉื่อยของคานรอบแกนที่ผ่านศูนย์กลางในทิศทางของการเบน



รูปที่ 1 วงจรสมมูลย์ของโหลดเซลล์

นอกจากนี้ ยังมีริงค์ (Ring) และเว็บ (Webs) ซึ่งเป็นส่วนยืดหยุ่นที่ใช้ทำทรานสดิวเซอร์ เมื่อโหลดเซลล์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะทำให้โหลดเซลล์นำกระแส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโหลดเซลล์จะทำให้ค่าความต่านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นเอาท์พุทก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย โดยปกติแล้วจะพบว่า เรามักนิยมนำโหลดเซลล์ไปใช้งานร่วมกับวงจรบริดจ์เริ่มต้นที่สภาวะสมดุลย์ ดังนั้น ถ้ามีแรงมากระทำกับวัตถุก็จะทำให้โหลดเซลล์เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ดังนั้นเราจึงสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาท์พุทที่ได้เป็นแรงดันไปต่อ Voltmeter เราจึงสามารถเปลี่ยนสเกลของ Voltmeter ให้เป็นมวลของวัตถุได้ หรือเราสามารถนำโหลดเซลล์ไปสร้างเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักได้

ลำดับขั้นการทดลอง

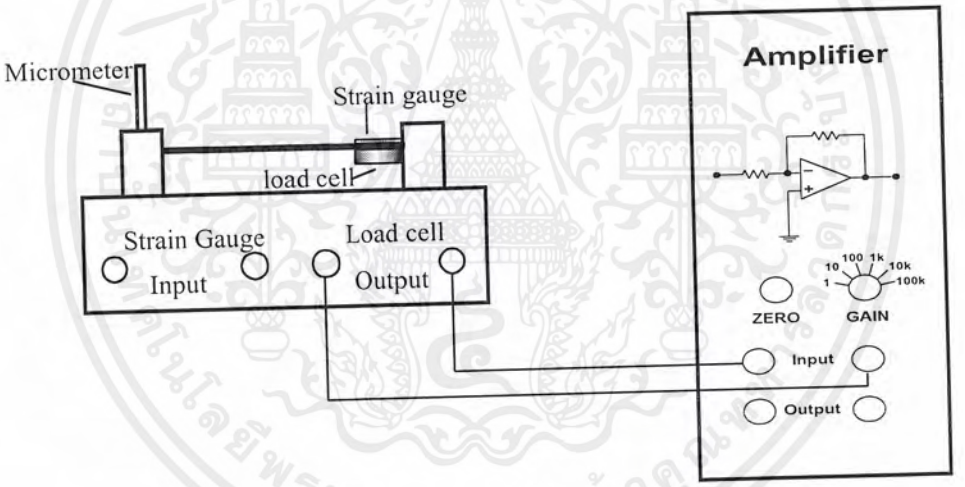
1) ต่อวงจรตามรูปที่ 2

2) กดปุ่ม Power on ของชุดควบคุม

3) หมุนไมโครมิเตอร์เพื่อสร้างแรงให้เกิดขึ้น ดังค่าตามตารางที่ 1

4)ใช้มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามระยะการเปลี่ยนแปลงของไมโครมิเตอร์ที่เอาต์พุตของ วงจรขยาย

5) บันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 การต่อวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ระยะการหมุนไมโครมิเตอร์(mm.)	5	10	15	20	25
แรงเคลื่อนไฟฟ้า(V)					

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของโหลดเซลล์
2. เราสามารถที่จะนำโหลดเซลล์ไปประยุกต์ใช้ในงานใดบ้าง ยกตัวอย่างมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 10

สเตรนเกจ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถรู้จักหลักการทำงานของสเตรนเกจได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำสเตรนเกจไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับสเตรนเกจได้

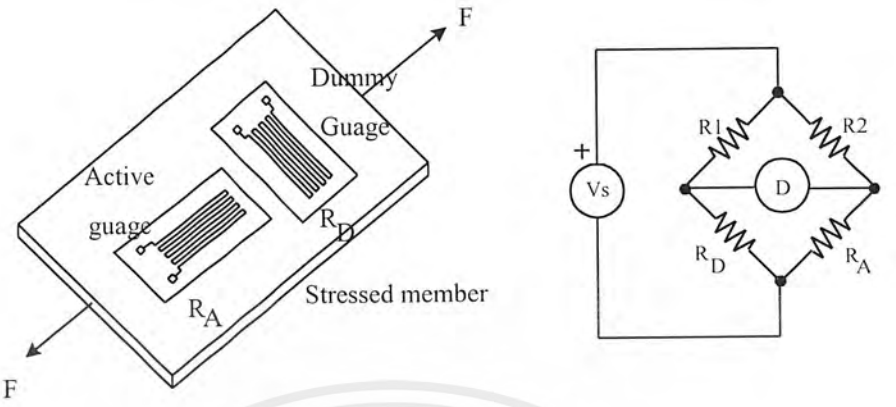
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Strain and Stress Test Bed 1 ชุด
2. วงจรบริดจ์สมดุลย์ 1 ชุด
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 ชุด
4. วงจรขยาย 1 ชุด

ทฤษฎีเบื้องต้น

เนื่องจากสเตรนเกจนั้นอาศัยหลักการที่ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะเป็นไปตามความเครียด ดังนั้นเกจจะต้องนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานน้อยๆ ได้ ค่าของ dR จะหาได้จากการวัดค่าของความต้านทานเดิม R และวัดค่าความต้านทานของเกจเมื่อมีแรงมากระทำ ในที่นี้สมมุติให้เป็น R_1 จากนั้นนำค่าที่ได้มาหักลบกัน อย่างไรก็ตาม ค่าความแตกต่างระหว่าง R และ R_1 นั้นก็คือ dR จะต้องมีความเที่ยงตรงถึง 1/1000 ของ 1% โดยทั่วไป dR จะมีค่าประมาณ 0.008 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงจรบริดจ์เข้ามาช่วยในการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว นอกจากนั้นในการใช้งานสเตรนเกจ อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าความต้านทานจึงจำเป็นที่จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการชดเชยอุณหภูมิจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมือนกับสเตรนเกจที่ใช้ในการตรวจวัด (Active Gauge) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้สเตรนเกจอีกชุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า เกจชดเชย (Dummy Gauge) โดยติดตั้งให้ไม่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดความเครียด แสดงดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 การต่อเกจชดเชยอุณหภูมิ

ในรูปแบบอื่นของการประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจ ก็คือ การใช้สเตรนเกจติดไว้ทั้ง 2 ด้านของวงจรบริดจ์ และเป็นที่แน่นอนว่าเมื่อมีการใช้สเตรนเกจ 2 ตัวก็ย่อมที่จะมีอุปกรณ์ชดเชยอุณหภูมิ 2 ตัวด้วยเช่นกัน ข้อดีของการประยุกต์ใช้งานแบบนี้ก็คือ ความไว (Sensitive) ในการตรวจจับก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วย และแรงดันที่ได้จากวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$dV = -\frac{Vs}{2} \; GF \; \frac{dl}{l} \qquad (1)$$

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 2

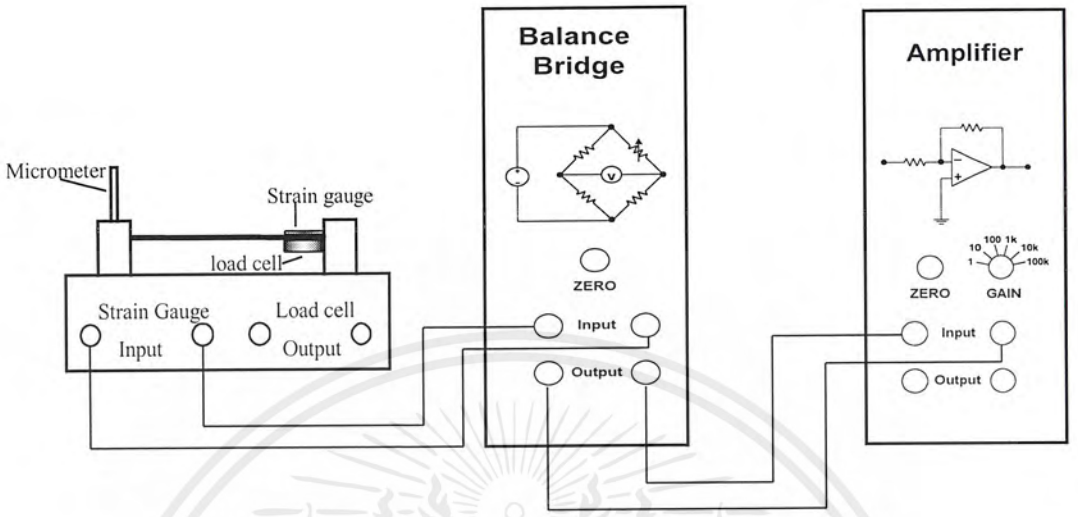
2) กดปุ่ม Power on ของชุด Mainframe

3) หมุนไมโครมิเตอร์เพื่อสร้างแรงให้เกิดขึ้น ดังค่าตามตารางที่ 1

4)ใช้มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามระยะการเปลี่ยนแปลงของไมโครมิเตอร์ที่เอาต์พุตของ วงจรขยาย

5) บันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 การต่อวงจรทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

ระยะการหมุนไมโครมิเตอร์(mm.)	5	10	15	20	25
แรงเคลื่อนไฟฟ้า(V)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของสเตรนเกจ
2. เรานำวงจรบริดจ์มาใช้ร่วมกับสเตรนเกจเพื่ออะไร
3. เมื่อหมุนไมโครมิเตอร์เพิ่มขึ้นมีผลอย่างไรกับสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือ
การใช้ชุดปฏิบัติการทดลอง
อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ และแปลงสัญญาณ

ชุดทดลองอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและแปลงสัญญาณ (Sersors and Transducer Demonstrator) เป็นชุดทดลองและสาธิตให้เข้าใจถึงหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรมประกอบด้วยแผงวงจรควบคุม 1 ชุด และชุดทดลองอีก 3 ชุด ซึ่งชุดทดลองนี้มีความสมบูรณ์ในตัวเองคือ ไม่ต้องใช้เครื่องวัดภายนอกช่วยเลยเพราะระบบตัวแผงควบคุม มีชุดเครื่องมือวัดประกอบอยู่แล้ว

1. การใช้แผงทดลองชุดควบคุม

1.1) รายละเอียดของอุปกรณ์

เครื่องมือวัดและเครื่องกำหนดสัญญาณที่ติดบนชุดควบคุมนั้น ประกอบด้วย

1) ชุด DC Power Supply สามารถเลือกค่าใช้งานได้ตั้งแต่ –15 โวลต์ จนถึง +24 โวลต์ พร้อมทั้งมีระบบป้องกันการลัดวงจร

2) วงจรนับ สามารถนับค่าได้ถึง 99 ค่า

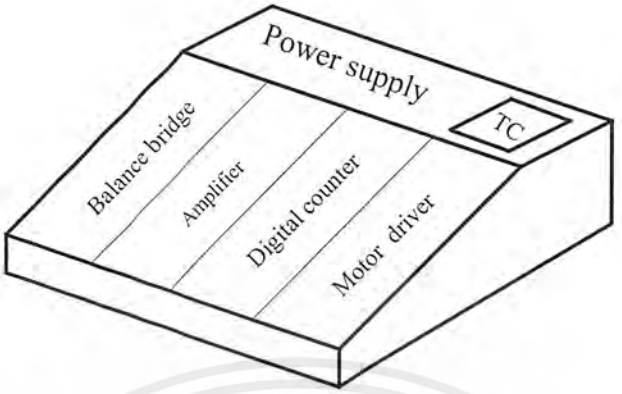
3) วงจรบริดจ์ ถูกนำมาใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและน้ำหนัก โดยนำมาต่อเข้ากับสเตรนเกจเพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานน้อยๆ ได้

4) ตัวควบคุมอุณหภูมิ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 0 องศา ถึง 399 องศา และตั้ง Set Point ในการทำงานได้

5) วงจรขยาย ประกอบด้วยวงจรขยายในชุดควบคุมที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับทั่วไป ยกเว้นอุปกรณ์ตรวจจับทางแสงที่ต้องใช้วงจรขยาย 1 และ 2

6) วงจรขับมอเตอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการหมุนเพื่อบังคับจานหมุน

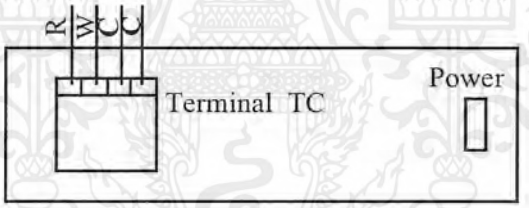
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 โครงสร้างของชุดควบคุม

1.2) การใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ และPower Supply

1) ในตัวควบคุมอุณหภูมิ ต้องต่อสายให้ถูกต้อง ดังรูปที่ จ.2 ก่อนมีการใช้งานทุกครั้ง



รูปที่ จ.2 การต่อสายใช้งาน

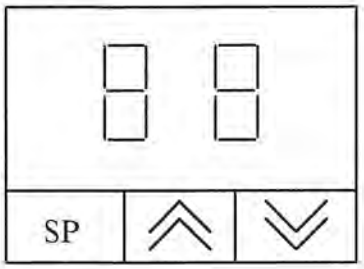
โดยที่ R คือ จุดต่อของสายสัญญาณบวก

W คือ จุดต่อของสายสัญญาณลบ

C คือ จุดต่อของสาย Contact

2) การตั้งค่า Setpoint ในตัวควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทำให้ขดลวดหยุดการทำงานเมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ทำได้โดยจากรูปที่ จ.3 กด SP แล้วเลื่อนลูกศรขึ้นลงบันทึกตัวเลขที่ต้องการ จากนั้นกด SP อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 การตั้งค่า Setpoint

3) เมื่อกด Power On หน้าปัดของ Temperatune Controller จะแสดงอุณหภูมิขณะนั้น

4) กดสวิทซ์ On และ Off เพื่อทำหน้าที่ปิดและเปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยสวิทซ์ที่ใช้เป็นสวิทซ์แบบ Pushbutton มี No และ Nc อยู่ภายในตัวเดียวกัน สวิทซ์ On จะทำหน้าที่เปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและสวิทช์ Off จะทำหน้าที่ปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

1.3) การใช้วงจรนับ

1)มีเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนซึ่งพัลส์เดินทางไปที่อินพุท ที่ความถี่ต่ำเอาต์พุตจะผันแปรไปทุกเวลาในการนับของตัวนับที่ให้พัลส์มากกว่า 50 mVp-p

2) Seven Segment ใช้แสดงจำนวนในการนับมีด้วยกัน 2 หลัก

3) Reset ปุ่มกดเพื่อตั้งค่าในการทำงานใหม่

4) Input จุดต่ออินพุตเพื่อนำค่าป้อนให้กับวงจรนับ อินพุตอาจได้มาจากอุปกรณ์ที่ทำการตรวจจับวัตถุ

1.4) การใช้งานของวงจรขยาย

1) ปุ่ม Set Zero สามารถควบคุมให้เป็นการกำจัด Offset ได้ด้วย ในการสั่ง Set Zero จำเป็นต้องช๊อตจุดต่ออินพุตไปถึงจุดกราวด์ และหลังจากนั้นก็ทำการปรับค่า Set Zero ดังนั้นเอาต์พุตจากตัวขยายจะเป็นศูนย์

2) Gain สำหรับปรับค่าย่านการวัดได้ตามต้องการ

3)ปุ่มสำหรับป้อนอินพุตให้กับตัวขยาย อินพุตที่ป้อนให้จะได้มาจากอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

4) Output เมื่อต้องการทราบค่าในการทำการขยาย เอาต์พุตจะต่อออกมาเพื่อให้ทราบค่า

1.5) การต่อใช้งานวงจร Motor Driver ต่อเอาต์พุตออกไปใช้งานได้เลย

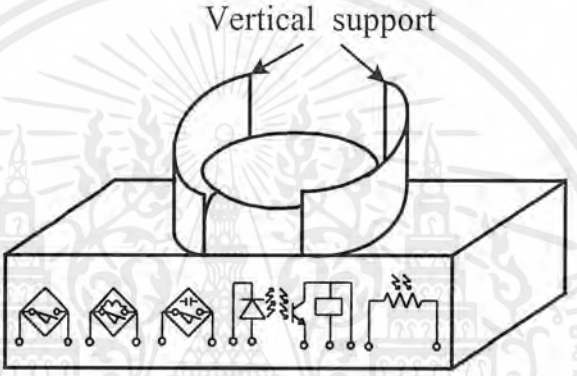
1.6) การต่อใช้งานวงจรบริดจ์ ต่อเอาต์พุตออกไปใช้งานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้ชุดทดลอง Proximity Test Bed

1.1) รายละเอียดของอุปกรณ์

ชุดทดลอง Proximity Test Bed เป็นชุดทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆในการตรวจจับวัตถุซึ่งทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีอยู่ด้วยกัน 5 แบบวางเรียงอยู่รอบๆจานกลมซึ่งเราจำลองคล้ายกับมีวัตถุมาผ่านทรานสดิวเซอร์ ดังรูปที่ จ.4



รูปที่ จ.4 โครงสร้างของชุดทดลอง Proximity Test Bed

ส่วนประกอบที่สำคัญในชุดทดลองนี้ประกอบด้วย

1) จานหมุน (turntable) หมุนที่ความเร็วคงที่ 0.56 รอบ ต่อวินาที พื้นผิวที่เหนือขึ้นไปของจานหมุนถูกปกคลุมด้วย velcro วัตถุทดลองจะวางอยู่บริเวณนี้ ไม่ควรนำจานหมุนไปใช้กับความดันที่มากเกินไป ทั้งนี้อาจจะทำให้จานหมุนผิดรูปได้

2) รีดสวิตช์ ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะถูกติดตั้งให้ขนานกับส่วนที่ปกคลุมจานหมุน ซึ่งทำด้วยหลอดแก้ว ภายในมีแผ่น goal-plated steel 2 แผ่นติดอยู่ ซึ่งโดยปกติแผ่นทั้ง 2 นี้จะอยู่ในลักษณะ open contact แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กมาใกล้หลอดแก้วก็จะทำให้แผ่น goal-plated steel ติดกันอยู่ในลักษณะ close contact และเมื่อสนามแม่เหล็กหมดไป แผ่นเพลททั้ง 2 ก็จะจากออกจากกันอีกครั้งหนึ่ง

3) Inductive Proximity อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร มีขดลวดไฟฟ้าพันอยู่รอบบรรจุอยู่ในกล่องโลหะถูกติดตั้งอยู่บริเวณส่วนของจานหมุนเช่นกัน ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเมื่อใดก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำออกจากคอล์ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Capacitive Proximity อุปกรณ์นี้รับรู้ถึงการปรากฏของวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำ เหล็กและวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก สามารถเก็บประจุจนเต็มได้ด้วยตัวเอง มีตัวขยายและโซลิทสเตทเอาต์พุต

5) Optical Transmissive ซึ่งมีตัวกำเนิดแสงส่งข้ามจานหมุนไปยังตัวรับแสงที่อยู่ตรงข้าม และเมื่อมีวัตถุมาบังแสงก็จะทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตออกจากตัวรับแสง

6)Photo Resistor ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความนำในสารกึ่งตัวนำด้วยความเข้าของการส่องแสงซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความนำนี้จะปรากฏอยู่ในรูปของค่าความต้านทาน

1.2) การต่อใช้งาน

1) ต้องต่อ Motor Driver กับชุด Proximity Test Bed ทุกครั้ง เพื่อให้จานหมุนเคลื่อนที่โดยวางวัตถุทดลองบนจานหมุนก่อนที่จะกด Power On

2) การจ่ายแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับตัวอุปกรณ์ที่ขาอินพุต มีรายละเอียดดังนี้

Reed Switch	ใช้ไฟฟ้า	5	โวลต์
Capacitive Proximity	ใช้ไฟฟ้า	24	โวลต์
Inductive Proximity	ใช้ไฟฟ้า	24	โวลต์
Optical Transmissive	ใช้ไฟฟ้า	24	โวลต์
Photo Resistor	ใช้ไฟฟ้า	5	โวลต์

3)อุปกรณ์ทุกตัวจะต่อเอาต์พุตให้เข้ากับวงจรนับเพื่อทำการนับสัญญาณการตรวจจับจากอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

4. การใช้ชุดทดลอง Temperature Sensing Test Bed

1.1) รายละเอียดของอุปกรณ์

การใช้ชุดทดลอง Temperature Sensing Test Bed เป็นชุดทดลองที่แสดงให้เห็นการวัดและควบคุมอุณหภูมิสูง ซึ่งบนชุดทดลองนี้จะประกอบไปด้วย

1) ขดลวดความร้อนไฟฟ้าใส่อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมคล้ายเตาอบจำนวน 4 ขด

2) ช่องใส่ตัวตรวจจับ อยู่บริเวณด้านบนของกล่องที่เปิดช่องว่างไว้

3) พัดลมที่ช่วยระบายความร้อนในเตาอบ

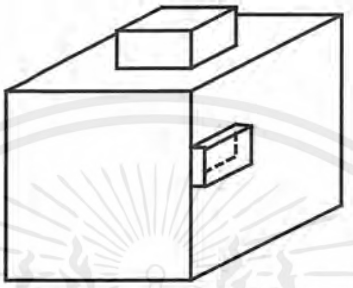
4) Heater จะมีฉนวนกันความร้อนปิดอยู่โดยรอบ ยกเว้นด้านหน้าเพื่อที่จะให้เห็นการทำงานของอุปกรณ์ภายในได้

5) Select Coil สำหรับเลือกชุดขดลวดให้ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) อุปกรณ์ตรวจจับ มีดังนี้

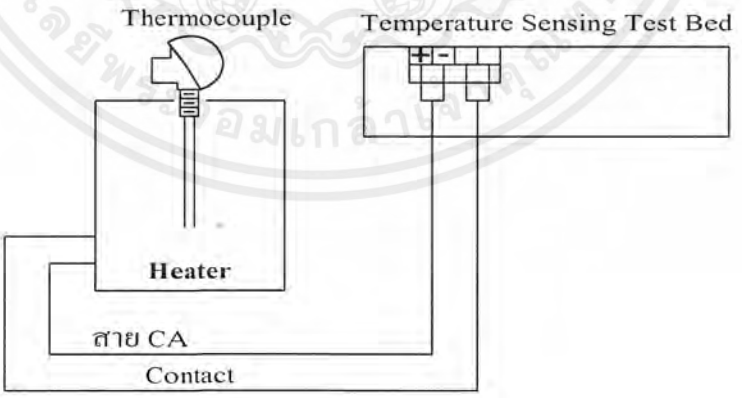
1. เทอร์โมคัปเปิล
2. เทอร์มิสเตอร์
3. RTD



รูปที่ จ.5 โครงสร้างของชุดทดลอง Temperature Sensing Test Bed

1.2) การต่อใช้งาน

1) เชื่อมสาย CA และสาย Coil Contact ของ Temperatune Controller ไปยัง Heater ดังรูปที่ จ.6



รูปที่ จ.6 การเชื่อมสายของ Temperatune Controller ไปยัง Heater

2) สามารถเลือกชุดขดลวดความร้อนได้โดย โยกปุ่ม Select Coil 1 หรือ 2 โดยเลือกให้ขดลวดทำงานได้เพียงชุดเดียว ไม่สามารถเลือกได้พร้อมกันทั้ง 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อวางอุปกรณ์ตรวจวัดใน Heater แล้ว จากนั้นทำการกด Power On เพื่อให้ Heater ทำงาน

4) เมื่อหยุดการทำงานของ Heater แล้ว ตัว Temperatune Controller ยังทำการอ่านค่าอุณหภูมิอยู่ เนื่องจากยังมีความร้อนภายในเตาอบ อุณหภูมิจะสูงกว่าที่ตั้งไว้ 20 ° C

5) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถเย็นลงด้วยการรอเวลาหรือใช้พัดลมช่วยในการเป่า

6) ห้ามหยิบอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยมือเปล่าในขณะทำการทดลอง เนื่องจากมีความร้อนสูง

4. การใช้ชุดทดลอง Strain and Stress Test Bed

1.1) รายละเอียดของอุปกรณ์

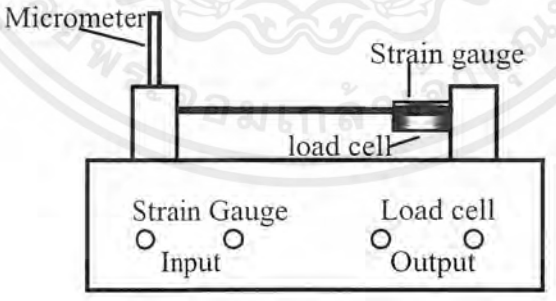
ชุดทดลอง Strain and Stress Test Bed แสดงให้เห็นถึงการตรวจวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1) ไมโครมิเตอร์ สำหรับสร้างแรงให้เกิดขึ้น ทำการหมุน 1 รอบเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

2) สปริง จะสามารถยืดและหดตัวตามแรงที่มากระทำ ทำให้เกิดความเครียด

3) โหลดเซลล์ ใช้ในการวัดความเครียดและน้ำหนักของวัตถุ ติดตั้งอยู่กับแท่งโลหะ อุปกรณ์นี้จะถูกปรับเทียบด้วยแรงหรือน้ำหนักโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

4)สเตรนเกจชนิดนี้ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ โดยที่สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเมื่ออยู่ภายใต้โหลด ติดตั้งอยู่กับแท่งโลหะ



รูปที่ จ.7 โครงสร้างของชุดทดลอง Strain and Stress Test Bed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) การต่อใช้งาน

1) ต่อโหลดเซลล์เข้ากับวงจรขยายของชุดควบคุม

2)สเตรนจะต้องนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานน้อยๆได้ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรบริดจ์เข้ามาช่วยในการตรวจวัด จากนั้นต่อวงจรบริดจ์เข้ากับวงจรขยายอีกครั้งหนึ่ง

3) หมุนไมโครมิเตอร์ 2 รอบเท่ากับ 1 มิลลิเมตร

4) หมุนไมโครมิเตอร์ สังเกตการทำงานของ ตรวจวัดความเครียด และน้ำหนักของวัตถุ ด้วยการใช้มิเตอร์วัดความต้านทานที่เอาต์พุตของวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

พรจิต ประทุมสุวรรณ. **เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม:เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์.** กรุงเทพฯ : เรือนแก้ว. ม.ป.ป. , 2537

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2540

บริษัทแสงชัยมิเตอร์จำกัด. **การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ

พรจิต ประทุมสุวรรณ. **ทฤษฎีและการใช้งาน PC/PLC.** กรุงเทพฯ :เรือนแก้วการพิมพ์ , 2536

Doebelin ,Ernest O. **Measurement System Application and Design.** Fourth Edition. New york : McGraw-Hill Inc. ,1990

Usher , M.J. and Keating D.A. **Sensors and Transducers**. Second Edition. London:Macmillan Press Ltd. , 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวนงนุช เปรมจิตร์
วันเดือนปีเกิด	26 พฤษภาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	175/7 ถ. สุขุมวิท ต. สัตหีบ อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	175/7 ถ. สุขุมวิท ต. สัตหีบ อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี
โทรศัพท์	(038) 736353

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนเซนต์โยเซฟระยอง จังหวัดระยอง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเซนต์โยเซฟระยอง จังหวัดระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ทุนที่ได้รับ	ทุนยกเว้นหน่วยกิต
คติพจน์	ชีวิตต้องดำเนินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายบัณฑิต ฉิมจิ๋ว
วันเดือนปีเกิด	20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	9/11 หมู่ 1 ต. หนองปรือ อ. บางละมุง จ. ชลบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	9/11 หมู่ 1 ต. หนองปรือ อ. บางละมุง จ. ชลบุรี
โทรศัพท์	(038) 756176

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนอักษรศึกษา จังหวัดชลบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ทุนที่ได้รับ	ทุนยกเว้นหน่วยกิต
คติพจน์	อย่าคิดว่าทำไม่ได้ ถ้ายังไม่ได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวรัตนา คุ้มทรัพย์
วันเดือนปีเกิด	7 มิถุนายน พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	70/1 หมู่ 7 ต. ห้วยใหญ่ อ. บางละมุง จ. ชลบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	70/1 หมู่ 7 ต. ห้วยใหญ่ อ. บางละมุง จ. ชลบุรี
โทรศัพท์	(038) 238009

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนราษฎร์ประดิษฐ์วิทยา จังหวัดชลบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสัตหีบวิทยาคม จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ทุนที่ได้รับ	ทุนยกเว้นหน่วยกิต
คติพจน์	จงหวังให้สูงสุด แต่อย่าหยุดเมื่อสิ้นหวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสุรศักดิ์ ศรีไพโรจน์
วันเดือนปีเกิด	14 กันยายน พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
ภูมิลำเนาเดิม	208/1 หมู่ 7 ต. บ้านฉาง อ. บ้านฉาง จ. ระยอง
ที่อยู่ปัจจุบัน	208/1 หมู่ 7 ต. บ้านฉาง อ. บ้านฉาง จ. ระยอง
โทรศัพท์	(038) 603609

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบ้านฉาง จังหวัดระยอง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ทุนที่ได้รับ	ทุนกู้ยืมรัฐบาล
คติพจน์	ความแน่นอนคือความไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้