	ใบงานที่ 2	ครั้งที่ 2
	หน่วยที่2 การตรวจวัดแรง (Force Measurement)	รวม 9 ชั่วโมง
เรื่องการวัดแรง		จำนวน 90 นาที
ชื่อ.....ชั้น ..... วันที่ ...../...../255.....		

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. เพื่อทำการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่อินพุทของทรานสดิวเซอร์กับแรงดันเอาท์พุท
3. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของตัวปรับสภาพสัญญาณที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง
4. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้นของระบบปรับสภาพสัญญาณในตัวทรานสดิวเซอร์
5. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของทรานสดิวเซอร์ที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียน เรียนจบแล้วสามารถ

1.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์แปลงความเครียดของวัสดุให้อยู่ในของแรงดันไฟฟ้า

1.2 เพื่อสามารถนำเอา Strain gauge ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1.3 เพื่อสามารถแปลงค่าของน้ำหนักให้อยู่ในรูปของความต้านทานได้

1.4 เพื่อสามารถแปลงค่าของน้ำหนักให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าได้

1.5 มีคุณธรรม จริยธรรม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 3 ½ หลัก (รุ่น MD-79/EV)
2. แหล่งจ่ายไฟ +/-12V
3. น้ำหนักมาตรฐาน

ทฤษฎี

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์บนพื้นฐานของการกระทำแบบอีราสติก (elastic)

* ชนิดของทรานสดิวเซอร์ได้แก่
    1. กับ extensometer ความต้านทาน
    2. กับ extensometer ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ
    3. Loadcell
* ย่านการวัด
* ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ
* ค่าสแตติกที่เกินพิกัดที่ยอมรับได้
* ย่านอุณหภูมิสะสม
* การสั่น การช็อก
* ความเป็นเชิงเส้น
* ความไว
* ความมีเสถียรภาพ
* ความมั่นคง

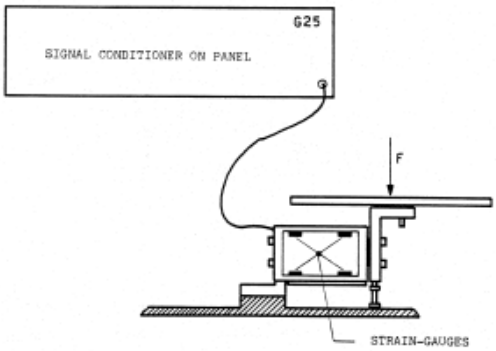
*ฮีทเตอร์รีริส

* แรงดันกระตุ้น
* F.S.O. (Eull Scale Output)
* ความไวต่อหน่วยแรง

* ค่าเอาท์พุทเต็มสเกลต่อหน่วยการกระตุ้น

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการทดลอง

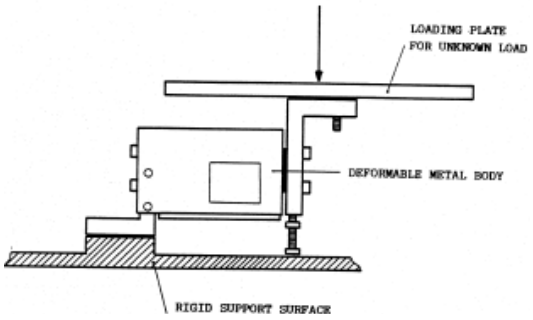
อุปกรณ์ทดลองเกี่ยวกับแรงประกอบด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ ทรานสดิวเซอร์วัดแรงและตัวปรับสภาพสัญญาณ ในส่วนนี้จะอธิบายโครงสร้างและการทำงานของแต่ละส่วนของชดทดลอง ดรป 2.1



รูป 2.1

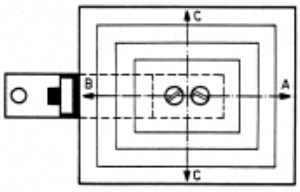
2.1 ทรานสดิวเซอร์วัดแรง

ตัวตรวจจับที่ใช้ในชุดทดลองเป็นโหลดเซล ที่ทำจาก extensometer ความต้านทานแรงจะกระทำต่อโครงสร้างทำให้เกิดการยืดหดตัว ดังรูปที่ 2.2



รูป 2.2

คุณภาพของการแปลงและแรงที่วัดได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่กว้างใหญ่ของการเชื่อมต่อระหว่างโหลดเซลกับพื้นผิวฐานรอง ตัวฐานรองเองจะต้องมีความแข็งแรงและราบเรียบ ที่สำคัญจะต้องมีขนาดพื้นที่กว้างขวางเพียงพอและไม่สามารถเลื่อนได้เมื่อรับแรง สกรูสองตัวที่อยู่ในแกนเดียวกันจะเป็นตำแหน่งที่มีความไวมากที่สุดต่อโหลดและเป็นตำแหน่งที่วัดได้ดีที่สุด ค่าความผิดพลาดต่ำสุด ดังรูป 2.3

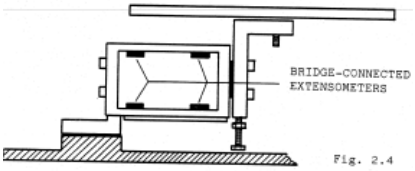


รูป 2.3

A	=	0.006%	fs/cm
B	=	0.005%	fs/cm
C	=	0.0002%	fs/cm

เมื่อ % fs/cm เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกลสำหรับระยะทางแต่ละเซนติเมตรระหว่างจุดที่รับโหลดและแกนของโหลดเซลที่รับโหลดค่านี้จะแสดงพื้นที่ที่ตัวตรวจจับจะทำ การวัดได้ เช่น สามารถใช้กับรูปร่างของโหลดสูงถึง 15x20 cm การให้น้ำหนักเกินพิกัดจะทำให้เสียหายได้ ควรใช้น้ำหนักประมาณ 0.5 – 2.0 kg ในกรณีที่เกิดการสั่น ช็อค หรือ น็อค แรงที่จ่ายให้กับมวลจะคูณด้วยความเร่ง (F = ma) และตัวตรวจจับอาจจะกำลังรับแรงเกินพิกัดได้ และในกรณีที่ของหล่นลงบนตัวตรวจจับจะทำให้ค่าเต็มสเกลสูงกว่าความเป็นจริงได้

Extensometer ความต้านทานสี่ตัวต่อเป็นวงจรบริดจ์ที่วัดการยืดหดตัวของโครงสร้างเมื่อรับโหลด ตำแหน่งของ extensometer แสดงให้ดูดังรูป 2.4 จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติในการประกอบเพื่อลดข้อผิดพลาด ตัวตรวจจับจะมีการชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติและจำกัดผลกระทบเนื่องมาจากสายไฟที่ต่อ



รูป 2.4

เพื่อที่จะรับประกันถึงความแน่นอนของตัวแปรทางไฟฟ้าและเสถียรภาพของการวัด extensometer สามารถป้องกันต่อความชื้นได้ขั้วต่อของตัวทรานสดิวเซอร์ตามมาตรฐานมีดังนี้

ขั้ว	สี	หน้าที่
1	แดง	+ ไฟเลี้ยง
4	ดำ	- ไฟเลี้ยง
2	เขียว	+ สัญญาณเอาท์พุท
3	เทา	- สัญญาณเอาท์พุท

สามารถทำการปรับเทียบระบบได้จากตัวปรับสภาพสัญญาณ

คุณลักษณะของโหลดเซลแสดงตามเอกสารข้อมูลหรือเอกสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผู้ผลิต รวมทั้งประกาศนียบัตร วิธีใช้และคุณลักษณะต่างๆ ของตัวทรานสดิวเซอร์

เอกสารหน้าแรกจะบอกรายละเอียดโดยทั่วๆ ไปและตัวแปรความผิดพลาดของพื้นที่รับโหลด

เอกสารหน้าที่สองจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่สำคัญหลักๆ ของตัวทรานสดิวเซอร์

คอลัมน์แรกจะเป็นย่านการวัด ในกรณี 0 – 20 kg

คอลัมน์ที่สองจะบอกความไว เช่น ค่าของสัญญาณเอาท์พุทที่โหลดเต็มสเกลสำหรับแรงดันไฟเลี้ยงแต่ละค่า ค่านี้คือ +/-2 mV/V

คอลัมน์ต่อไปจะบรรจุแรงดันที่ยอมรับได้สูงสุดสำหรับเลี้ยงวงจรบริดจ์ extensometer (18V AC หรือ DC) คอลัมน์ที่สี่จะแสดงย่านอุณหภูมิการทำงานประมาณ -40 ถึง +120°C

หมายเหตุ การชดเชยอุณหภูมิมีช่วงระหว่าง -10 ถึง +70°C คอลัมน์ต่อไปจะบอกความเป็นเชิงเส้นฮีทเตอร์รีซิสและความมั่นคงเช่น ความไวที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ

ทั้งสามคอลัมน์จะเหมือนกันทั้งสามชนิด 3-star , 2 star , industrial) ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในชุดทดลองเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้กันในวงการอุตสาหกรรม ความเป็นเชิงเส้น ฮีทเตอร์รีริสและความมั่นคง มีค่าเท่ากับ 0.3% ของค่าเต็มสเกล ความไวเทียบกับอุณหภูมิเป็น +/-0.3% ของค่าเต็มสเกลสำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1°C

เอกสารนี้แสดงข้อมูลที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะอื่นๆ เช่น ค่ารับโหลดเกิดพิกัด (150% ของค่าเต็มสเกล) และการทดสอบรับโหลดเกิดพิกัด (200% ของค่าเต็มสเกล) แรงดันเลี้ยงวงจรบริดจ์ (5-10V AC หรือ DC) และออฟเซท (1% ของค่าเต็มสเกล)

เอกสารหน้าที่สามจะทำการทดสอบและแสดงคุณลักษณะของโหลดเซล

- ย่านการวัด
- ความไว
- ความเป็นเชิงเส้นและฮีทเตอร์รีริส
- ความต้านทาน ของวงจรบริดจ์ (อินพุทและเอาท์พุท)
- อุณหภูมิการทำงานสูงสุด
- การปรับเทียบ

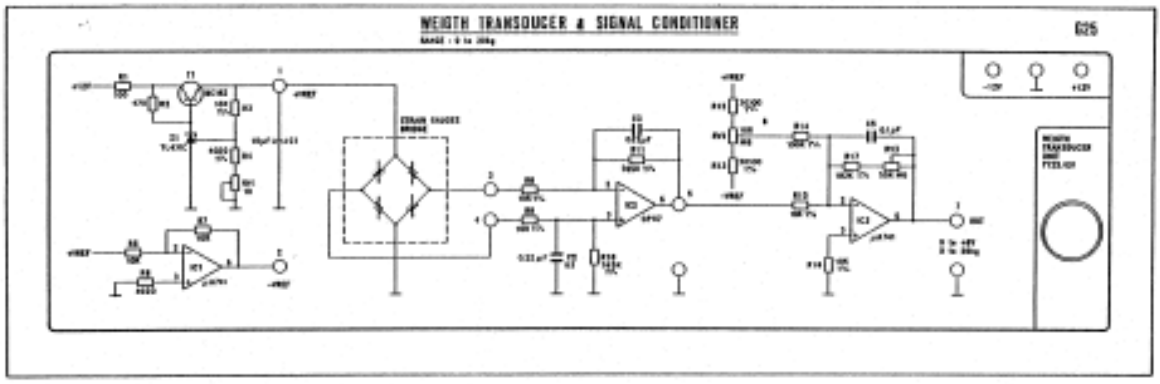
ข้อมูลที่แสดงในเอกสารข้อมูลจะใช้หาข้อจำกัดของตัวทรานสดิวเซอร์ ตัวอย่างเช่น ค่าความผิดพลาด + ฮีทเตอร์รีริส + ความมั่นคงโดยรวมแล้วเท่ากับ +/-60 กรัม การเปลี่ยนแปลงของค่าเต็มสเกลสำหรับที่ 50°C คือ 0.3kg

อัตรารับโหลด (R.C)	30kg
อัตราเอาท์พุท (R.O)	2mV/V
Creep	0.03%R.O/30 min
ความเป็นเชิงเส้น	0.02%R.O
ฮีทเตอร์รีริส	0.02%R.O
ความมั่นคง	0.02%R.O
การสร้างสมดุล	+/-5%R.O
ย่านการชดเชยอุณหภูมิ	10°V-70°C
ย่านอุณหภูมิ sate	-10°C-50°C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับเอาท์พุท	+/-0.012% LOAD /10°C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับการสร้างสมดุล	+/-0.04%R.O/10°C
ความต้านทานของขั้วอินพุท	430Ω+/-5% 350Ω+/-5%

ขั้วต่อไฟฟ้า	Φ 3mm x4 C x 40 cm
ความทนทานของฉนวน(ต่ำสุด) บริดจ์กับกราวน์ ชีลกับกราวน์	2000MΩ 1000MΩ
แรงดันกระตุ้น	12V
แรงดนกระตุ้นสูงสุด	20V
ย่านความปลอดภัย	150%R.C

2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ

ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับ โหลดเซล extensometer ความต้านทานมีความจำเป็นเพราะว่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ มีค่าต่ำมากตัวปรับสภาพสัญญาณจะต้องมีเกนขยายที่สูง ต้องมีการปรับออฟเซต และปรับเปลี่ยนเกนขยายได้เพื่อที่จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับแรงเหมาะสม วงจรเชื่อมต่อแสดงตามรูป 2.5 แรงดันกระตุ้น +Vref (8V) ได้จากแรงดันเร็กกลูเลท Z1 (TL431) วงจรรวม IC1 จะสร้าง –Vref (-8V) แรงดันอ้างอิงจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำที่สุด (สูงสุด 0.015% /°C) อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 50°C (ปกติอุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลง 20°C ถึง 70°C จะไปทำให้จำกัดย่านการวัด) เป็นสาเหตุทำให้แรงดันกระตุ้นเปลี่ยน 0.075V หรือเท่ากับ 7 ใน พันสามารถไม่คำนึงถึงได้



รูป 2.5

แรงดันกระตุ้นเร็กกูเลทจากตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 การอ่านค่าประกอบด้วยแอมป์ขยาย (แอมป์ขยาย IC2)ออปแอมป์ใช้เบอร์ OP07DP ที่มีแรงดันอินพุทออฟเซทเทียบกับอุณหภูมิต่ำ ตามเอกสารข้อมูลประมาณ 3μV/°C เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 50°C จะทำให้เรงดันอินพุทออฟเซทเท่ากับ 150 μV ขณะที่ 2mV เท่ากับ 1kg จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่ 75 กรัม สอดคล้องกับค่าความเป็นเชิงเส้นและค่าความผิดพลาดที่เกิดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวทรานสดิวเซอร์แอมป์ขยายมีเนเท่ากับ 36.5 สัญญาณเอาท์พุทจากแอมป์ผลต่าง (IC3 μA741) จะไปปรับสเกลและทำให้ยกเลิกออฟเซทของทานสดิวเซอร์ได้ สำหรับจุดประสงค์นี้แอมป์ขยายจะเร็กกูเลทด้วยตัวต้านทาน RV3 (เกนขยาย 5/9) และออฟเซทจะเปลี่ยนแปลงจาก -810 mV ถึง +1.2V ด้วยการปรับที่ตัวต้านทาน RV จะให้แรงดันเอาท์พุทเป็นอัตราส่วนกับแรงที่อัตราส่วน 400 mV = 1kg

หมายเหตุ แอมป์ขยายปรับสภาพสัญญาณจะมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน การที่มีวงจรกรองอยู่ด้วยจะไม่มีผลทำให้คุณภาพของระบบเสียไป ขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อตัวทรานสดิวเซอร์
ความถี่ cutoff ของวงจรกรองตั้งไว้ประมาณ 5 Hz

2.3 แรงตัวอย่าง

โหลดเซลจะทำการปรับเทียบหน่วยการวัดแรงที่ 1kg ของแรง = 0.9806 daN เมื่อ 0.9806 คือความเร่งโน้มถ่วงที่เมืองมิลาน ทรานสดิวเซอร์จะประกอบกับสปริงตามกฎของแรง (F=ma) โดย m คือ มวล a คือ ความเร่งโน้มถ่วงค่าความเร่งโน้มถ่วงนี้จะเปลี่ยนแปลงตามภูมิศาสตร์ตามตารางที่อยู่ข้างล่างนี้

VIENNA	980.960 m/sec^2	PARIS	980.943 m/sec^2
BRUSSELS	981.112 m/sec^2	GREENWISH	981.188 m/sec^2
COPENHAGEN	981.559 m/sec^2	MUNICH	980.733 m/sec^2
MILAN	980.569 m/sec^2	OSLO	981.927 m/sec^2
LENINGRAD	981.929 m/sec^2	BARCELONA	980.240 m/sec^2
POLE	983.217 m/sec^2	EQUATOR	978.039 m/sec^2

3. การทดลอง

การทดลองออกแบบมาเพื่อช่วยให้ทำความเข้าใจการทำงานของโหลดเซลและตัวปรับสภาพสัญญาณ แรงตัวอย่างได้จากน้ำหนักมาตรฐาน อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้มีดังนี้

3.1 การปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

ลำดับขั้นทดลอง

1.ต่อแหล่งจ่าย +/-12 โวลต์และ 0 โวลต์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ

2.ต่อโหลดโมดูลเข้ากับแผงทดลองด้วยสายไฟ

3.ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่จุดที่ 1 กับกราวน์

4.เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ

5.ปรับตัวต้านทาน RV1 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทได้เท่ากับ 8V ที่ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (ปรับแรงดันกระตุ้น)

6.ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับสัญญาณเอาท์พุท

7.ปรับตัวต้านทาน RV2 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ศูนย์ (ปรับค่าออฟเซตที่โหลดเซล)

8.วางน้ำหนักตัวอย่าง 20 kg บนโหลดเซล

9.ปรับตัวต้านทาน RV3 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 8V (ปรับสเกลของตัวปรับสภาพสัญญาณ)

ผลการปรับเทียบ.....

3.2 การวัดกราฟแรงดันเอาท์พุทเปรียบกับแรง

ลำดับขั้นทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

2. ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่เครื่องหมาย OUT

3.ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซล (อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาท์พุท

4. นำข้อมูลที่ได้จดลงในตารางที่ 3.1

และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาท์พุทอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

จำนวน	แรง (kg)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)

ตาราง 3.1

เขียนกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดจะได้จากลากเส้นให้ผ่านจุดทั้งหมดเท่าที่จะทำได้ลงในรูป 3.1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.1

3.3 การวาดเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดของทรานสดิวเซอร์

ลำดับขั้นทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

2. ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับเอาท์พุท

3. ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซล (อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาท์พุท

4. นำข้อมูลที่ได้จดลงในตารางที่ 3.2

และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาท์พุทอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

จำนวน	แรง (kg)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.2

เส้นตรงที่ดีที่สุดจะได้จากลากเส้นให้ผ่านจุดทั้งหมดเท่าที่จะทำได้ลงในรูป 3.2

3.4 การคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ

ลำดับขั้นทดลอง

1.ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

2.ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับเครื่องหมาย OUT หากราฟคุณลักษณะและวาดเส้นตรงที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3

3.สร้างเส้นตรงสองเส้นขนานกันให้ครอบคลุมข้อมูลทุกจุดบนกราฟลงในรูป 3.3

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.3

วาดเส้นตรงสองเส้นมีระยะห่างจากเส้นตรงที่ดีที่สุดเท่ากันและจะต้องครอบคลุมทุกจุดข้อมูล ลากเส้นตรงขนานกับแกน Y และหาค่าที่แรงดันที่เส้นนี้ตัดผ่านสองจุด ค่าความเป็นเชิงเส้นจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าเต็มสเกลดังนี้

+/- 1/8* $\frac{V2-V1}{F.S.O.}$ = ความเป็นเชิงเส้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.5

F.S.O คือ Full-Scale Output และสอดคล้องกับค่าเอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนเท่ากับระยะทางเต็มสเกลในกรณีนี้

F.S.O. = 8V ; แรง = 0 kg ; แรงดันเอาท์พุท = 0V ; สำหรับแรง = 20 kg = 8V

3.5 การหาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของโหลดเซลเปลี่ยนแปลง

ลำดับขั้นทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. วัดคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์และทรานสดิวเซอร์จากหัวข้อ 3.3
3. ทำเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้หลอดไส้
4. วาดข้อมูลลงในกราฟและคำนวณตามสมการข้างล่าง

(V1-V2) /F.S.O หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดย F.S.O. = 8V

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.6

3.6 การหาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของตัวปรับสภาพสัญญาณเปลี่ยนแปลง

ลำดับขั้นทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. วัดคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์และทรานสดิวเซอร์จากหัวข้อ 3.3
3. ทำเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้หลอดไส้

4. วาดข้อมูลลงในกราฟและคำนวณตามสมการข้างล่าง

(V1-V2) /F.S.O หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โดย F.S.O. = 8V

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูป 3.7

คำถาม

1. สัญญาณเอาท์พุทแบบอนาล็อกของทรานสดิวเซอร์น้ำหนักมีแรงดันในช่วงใด

.....

2. เมื่อไม่มีน้ำหนัก เอาท์พุทที่ได้เท่ากัน V

น้ำหนัก 20 kg เอาท์พุทเท่ากับ V