

	ใบงานที่ 1	ครั้งที่ 2
	หน่วยที่ 1 การตรวจวัดแรง (Force Measurement)	รวม 9 ชั่วโมง
เรื่องการวัดแรง		จำนวน 90 นาที
ชื่อ.....ชั้น.....วันที่...../...../25.....		

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวบ่งชี้สภาพสัญญาณ
2. เพื่อทำการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่อินพุตของทรานสดิวเซอร์กับแรงดันเอาต์พุต
3. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของตัวบ่งชี้สภาพสัญญาณที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง
4. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้นของระบบบ่งชี้สภาพสัญญาณในตัวทรานสดิวเซอร์
5. เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของทรานสดิวเซอร์ที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียน เรียนจบแล้วสามารถ

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของอุปกรณ์แปลงความเครียดของวัสดุให้อยู่ในของแรงดันไฟฟ้า
2. เพื่อสามารถนำเอา Strain gauge ไปประยุกต์ใช้งานได้ถูกต้อง
3. เพื่อสามารถแปลงค่าของสัญญาณให้อยู่ในรูปของความต้านทานได้
4. เพื่อสามารถแปลงค่าของสัญญาณให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าได้
5. มีคุณธรรม จริยธรรม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | | |
|------------------------|---|---------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟ +/-12V | 1 | เครื่อง |
| 3. น้ำหนักมาตรฐาน | | |

ทฤษฎี

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์บนพื้นฐานของการกระทำแบบอีลาสติก (elastic)

ชนิดของทรานสดิวเซอร์ได้แก่

1. extensometer ความต้านทาน
2. extensometer ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ
3. Loadcell

* ย่านการวัด

* ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ

* ค่าสแตติกที่เกินพิกัดที่ยอมรับได้

* ย่านอุณหภูมิสะสม

* การสั่นการช็อก

* ความเป็นเชิงเส้น

* ความไว

* ความมีเสถียรภาพ

* ความมั่นคง

* ฮีทเตอร์รีเซ็ต

* แรงดันกระตุ้น

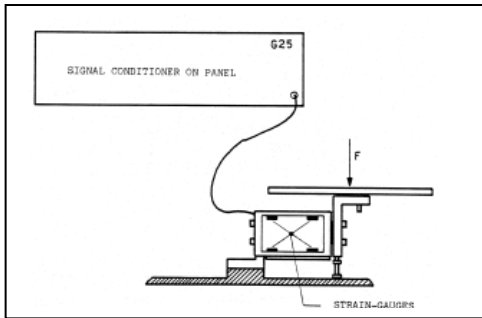
* F.S.O. (Full Scale Output)

* ความไวต่อหน่วยแรง

* ค่าเอาต์พุตเต็มสเกลต่อหน่วยการกระตุ้น

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการทดลอง

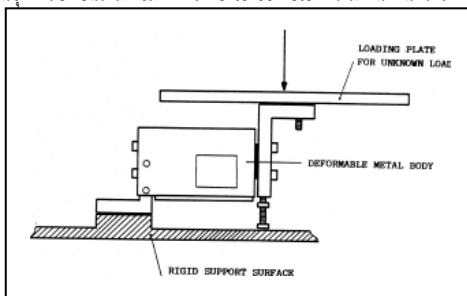
อุปกรณ์ทดลองเกี่ยวกับแรงประกอบด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ ทรานสดิวเซอร์วัดแรงและตัวรับสภาพสัญญาณ ในส่วนนี้จะอธิบายโครงสร้างและการทำงานของแต่ละส่วนของชุดทดลอง ดังรูป 1.1



รูปที่ 1.1

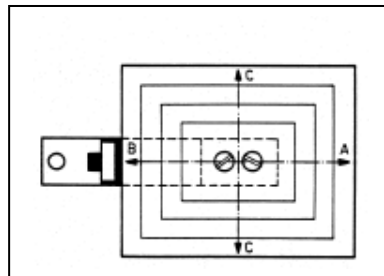
2.1 ทรานสดิวเซอร์วัดแรง

ตัวตรวจวัดที่ใช้ในชุดทดลองเป็นโหลดเซลล์ ที่ทำงาน extensometer ความต้านทานแรงจะกระทำต่อโครงสร้างทำให้เกิดการยืดหดตัวดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2

คุณภาพของการแปลงและแรงที่วัดได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่กว้างใหญ่ของการเชื่อมต่อระหว่างโหลดเซลล์กับพื้นผิวฐานรอง ตัวฐานรองเองจะต้องมีความแข็งแรงและราบเรียบที่สำคัญจะต้องมีขนาดพื้นที่ที่กว้างขวางเพียงพอและไม่สามารถเลื่อนไถ่เมื่อรับแรง สกรูสองตัวที่อยู่บนแกนเดียวกันจะเป็นตำแหน่งที่มีความไวมากที่สุดต่อโหลดและเป็นตำแหน่งที่วัดได้ดีที่สุดค่าความผิดพลาดค่าสุดท้ายดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3

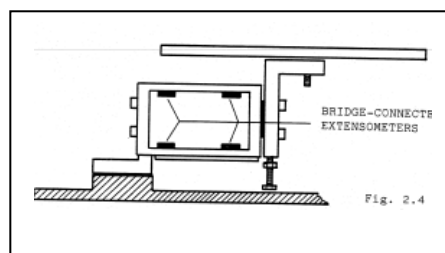
$$A = 0.006 \text{ \% fs/cm}$$

$$B = 0.005 \text{ \% fs/cm}$$

$$C = 0.0002 \text{ \% fs/cm}$$

เมื่อ $\% \text{ fs/cm}$ เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกลสำหรับระยะทางแต่ละเซนติเมตรระหว่างจุดที่รับโหลดและแกนของโหลดเซลล์ที่รับโหลดค่านี้จะแสดงพื้นที่ที่ตัวตรวจวัดจะทำการวัดได้ เช่น สามารถใช้กับรูปร่างของโหลดสูงถึง $15 \times 20 \text{ cm}$ การให้น้ำหนักเกินพิกัดจะทำให้เสียหายได้ ควร ใช้น้ำหนักประมาณ $0.5 - 2.0 \text{ kg}$ ในกรณีที่เกิดการสั่น ช็อค หรือ น็อค แรงที่จ่ายให้กับมวลจะคูณด้วยความเร่ง ($F = ma$) และตัวตรวจวัดอาจจะกำลังรับแรงเกินพิกัดได้และในกรณีที่ช่องหล่นบนตัวตรวจวัดจะทำให้ค่าเต็มสเกลสูงกว่าความเป็นจริงได้

Extensometer ความต้านทานสี่ตัวต่อเป็นวงจรบริดจ์ที่วัดการยืดหดตัวของโครงสร้างเมื่อรับโหลด ตำแหน่งของ extensometer แสดงในรูป 1.4 จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติในการประกอบเพื่อลดข้อผิดพลาด ตัวตรวจวัดจะมีการชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติและจำกัด ผลกระทบเนื่องมาจากสายไฟที่ต่อ



รูปที่ 1.4

เพื่อที่จะรับประกันถึงความแน่นอนของตัวแปรทางไฟฟ้าและเสถียรภาพของการวัด extensometer สามารถป้องกันต่อความชื้นได้ชั่วคราวของตัวทรานสดิวเซอร์ตามมาตรฐานนี้

ข้อ	สี	หน้าที่
1	แดง	+ ไฟเลี้ยง
4	ดำ	- ไฟเลี้ยง
2	เขียว	+ สัญญาณเอาต์พุต
3	เทา	- สัญญาณเอาต์พุต

สามารถทำการปรับเทียบระบบได้จากตัวปรับสภาพสัญญาณ

คุณลักษณะของโหลดเซลล์แสดงตามเอกสารข้อมูลหรือเอกสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผู้ผลิต รวมทั้งประกาศนียบัตร วิธีใช้และคุณลักษณะต่างๆ ของตัวทรานสดิวเซอร์

เอกสารหน้าแรกจะบอกรายละเอียดโดยทั่วๆ ไปและตัวแปรความผิดพลาดของพื้นที่รับโหลด

เอกสารหน้าที่สองจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะที่สำคัญหลักๆ ของตัวทรานสดิวเซอร์

คอลัมน์แรกจะเป็นย่านการวัด ในกรณี 0 – 20 kg

คอลัมน์ที่สองจะบอกความไว เช่น ค่าของสัญญาณเอาต์พุต โหลดเต็มสเกลสำหรับแรงดันไฟเลี้ยงแต่ละค่า คำนี้นี้คือ +/-2 mV/V

คอลัมน์ต่อไปจะบรรจุแรงดันที่ยอมรับได้สูงสุดสำหรับเล็งวงจรบริดจ์ extensometer (18V AC หรือ DC) คอลัมน์ที่สี่จะแสดงย่านอุณหภูมิการทำงานประมาณ -40 ถึง +120⁰C

หมายเหตุ การชดเชยอุณหภูมิมีช่วงระหว่าง -10 ถึง +70⁰C

คอลัมน์ต่อไปจะบอกความเป็นเชิงเส้นอีเทอร์ริซิสและความมั่นคงเช่น ความไวที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ

ทั้งสามคอลัมน์จะเหมือนกันทั้งสามชนิด 3-star , 2 star , industrial) ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในชุดทดลองเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้กันในการ อุตสาหกรรม ความเป็นเชิงเส้น อีเทอร์ริซิสและความมั่นคง มีค่าเท่ากับ

0.3%ของค่าเต็มสเกล ความไวเทียบกับอุณหภูมิเป็น +/-0.3% ของค่า เต็มสเกลสำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1⁰C

เอกสารนี้แสดงข้อมูลที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะอื่นๆ เช่น ค่ารับโหลดเกิดพิทัก (150% ของค่าเต็มสเกล) และการทดสอบรับโหลดเกิดพิทัก (200% ของค่าเต็มสเกล) แรงดันเล็งวงจรบริดจ์ (5-10V AC หรือ

DC) และออฟเซต (1% ของค่าเต็มสเกล)

เอกสารหน้าที่สามจะทำการทดสอบและแสดงคุณลักษณะของโหลดเซลล์

- ย่านการวัด
- ความไว
- ความเป็นเชิงเส้นและอีเทอร์ริซิส
- ความต้านทาน ของวงจรบริดจ์ (อินพุตและเอาต์พุต)
- อุณหภูมิการทำงานสูงสุด
- การปรับเทียบ

ข้อมูลที่แสดงในเอกสารข้อมูลจะใช้หาข้อจำกัดของตัวทรานสดิวเซอร์ ตัวอย่างเช่น ค่าความผิดพลาด + อีเทอร์ริซิส + ความมั่นคงโดยรวม แล้วเท่ากับ +/-60 กรัม การเปลี่ยนแปลงของค่าเต็มสเกลสำหรับที่

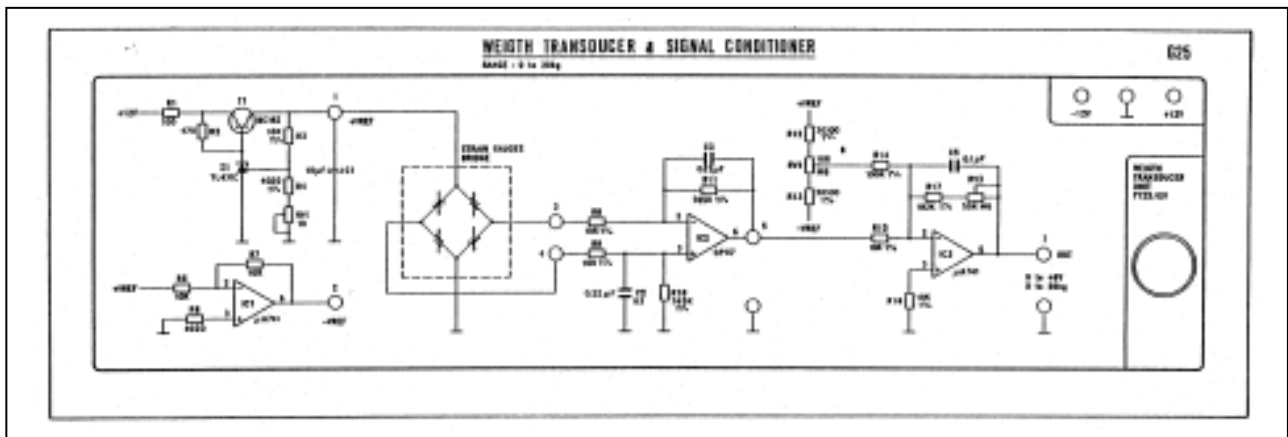
50⁰C คือ 0.3 kg

อัตรารับโหลด (R.C)	30kg
อัตราเอาต์พุต (R.O)	2mV/V
Creep	0.03%R.O/30 min
ความเป็นเชิงเส้น	0.02%R.O
อีเทอร์ริซิส	0.02%R.O
ความมั่นคง	0.02%R.O
การสร้างสมดุล	+/-5%R.O
ย่านการชดเชยอุณหภูมิ	10 ⁰ V-70 ⁰ C
ย่านอุณหภูมิ sate	-10 ⁰ C-50 ⁰ C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับเอาต์พุต	+/-0.012% LOAD /10 ⁰ C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับการสร้างสมดุล	+/-0.04%R.O/10 ⁰ C
ความต้านทานของขั้วอินพุต	430Ω+/-5% 350Ω+/-5%
ย่านอุณหภูมิ sate	-10 ⁰ C-50 ⁰ C

ข้อต่อไฟฟ้า	$\Phi 3\text{mm} \times 4 \text{ C} \times 40 \text{ cm}$
ความทนทานของฉนวน(ต่ำสุด)	2000M Ω
บริดจ์กับกราวด์ ชิลกับกราวด์	1000M Ω
แรงดันกระตุ้น	12V
แรงดันกระตุ้นสูงสุด	20V
ย่านความปลอดภัย	150%R.C

2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ

ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับโหลดเซลล์ extensometer ความต้านทานมีความจำเป็นเพราะว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากทรานสดิวเซอร์มีค่าต่ำมากตัวปรับสภาพสัญญาณจะต้องมีเกนขยายที่สูง ต้องมีการปรับออฟเซตและปรับเปลี่ยนเกนขยายได้เพื่อที่จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับแรงเหมาะสม วงจรเชื่อมต่อแสดงตามรูป 2.5 แรงดันกระตุ้น +Vref (8V) ได้จากแรงดันเร็กกูเลเตอร์ Z1 (TL431)วงจร รวม IC1 จะสร้าง -Vref (-8V) แรงดันอ้างอิงจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่ต่ำสุด (สูงสุด 0.015% / $^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 50 $^{\circ}\text{C}$ (ปกติอุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลง 20 $^{\circ}\text{C}$ ถึง 70 $^{\circ}\text{C}$ จะไปทำให้จากค่านานการวัด) เป็นสาเหตุทำให้แรงดันกระตุ้นเปลี่ยน 0.075V หรือเท่ากับ 7 ในพัน สามารถไม่คำนึงถึงได้



รูปที่ 1.5

แรงดันกระตุ้นเร็กกูเลเตอร์จากตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 การอ่านค่าประกอบด้วยแอมป์ขยาย (แอมป์ขยาย IC2)ออปแอมป์ซีเบอร์ OP07DP ที่มีแรงดันอินพุตออฟเซตเทียบกับอุณหภูมิที่ต่ำ ตามเอกสารข้อมูลประมาณ 3uV/ $^{\circ}\text{C}$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 50 $^{\circ}\text{C}$ จะทำให้แรงดันอินพุตออฟเซตเท่ากับ 150 uV ขณะที่ 2mV เท่ากับ 1kg จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่ 75 กรัมสอดคล้องกับค่าความเป็นเชิงเส้นและค่าความผิดพลาดที่เกิดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวทรานสดิวเซอร์แอมป์ขยายมีค่าเท่ากับ 36.5 สัญญาณเอาต์พุตจากแอมป์ผลต่าง (IC3 uA741) จะไปปรับสเกลและทำให้ยกเลิกออฟเซตของทรานสดิวเซอร์ได้ สำหรับจุดประสงค์นี้ แอมป์ขยายจะเร็กกูเลเตอร์ด้วยตัวต้านทาน RV3 (เกนขยาย 5/9) และออฟเซตจะเปลี่ยนแปลงจาก -810 mV ถึง +1.2V ด้วยการปรับที่ตัวต้านทาน RV จะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นอัตราส่วนกับแรงที่อัตราส่วน 400 mV = 1kg

หมายเหตุ แอมป์ขยายปรับสภาพสัญญาณจะมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน การที่มีวงจรกรองอยู่จะไม่มีผลทำให้คุณภาพของระบบเสียไป ขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อตัวทรานสดิวเซอร์ ความถี่ cutoff ของวงจรกรองตั้งไว้ประมาณ 5 Hz

2.3 แรงตัวอย่าง

โหลดเซลล์จะทำการปรับเทียบหน่วยการวัดแรงที่ 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	GREENWICH	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

การทดลองออกแบบมาเพื่อช่วยให้เข้าใจการทำงานของโหลดเซลล์และตัวปรับสภาพสัญญาณ แรงตัวอย่างได้จากน้ำหนักมาตรฐาน อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้มีดังนี้

3.1 การปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

ลำดับขั้นตอนทดลอง

- 1.ต่อแหล่งจ่าย ± 12 โวลต์และ 0 โวลต์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ
- 2.ต่อโหลดโมดูล G25 เข้ากับแผงทดลองด้วยสายไฟ
- 3.ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่จุดที่ 1 กับกราวด์
- 4.เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟ
- 5.ปรับตัวต้านทาน RV1 จนกระทั่งแรงดันเอาต์พุตได้เท่ากับ 8V ที่ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (ปรับแรงดันกระตุ้น)
- 6.ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับสัญญาณเอาต์พุต
- 7.ปรับตัวต้านทาน RV2 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ศูนย์ (ปรับค่าออฟเซตที่โหลดเซลล์)
- 8.วางน้ำหนักตัวอย่าง 20 kg บนโหลดเซลล์
- 9.ปรับตัวต้านทาน RV3 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 8V (ปรับสเกลของตัวปรับสภาพสัญญาณ)

ผลการปรับเทียบ.....

3.2 การวัดกราฟแรงดันเอาต์พุตเปรียบกับแรง

ลำดับขั้นตอนทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่เครื่องหมาย OUT
3. ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซลล์ (อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาต์พุต
4. นำข้อมูลที่ได้จดลงในตารางที่ 1.1 และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาต์พุตอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

ครั้งที่	แรง (kg)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)

ตารางที่ 1.1

5. ลากเส้นให้ผ่านจุดทั้งหมดลงในรูปที่ 1.1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.3 การวาดเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดของทรานสดิวเซอร์

ลำดับขั้นตอนทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับเอาต์พุต
3. ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซลล์ (อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาต์พุต
4. นำข้อมูลที่ได้อ้างอิงในตารางที่ 1.2

และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาต์พุตอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

5. ลากเส้นตรงที่ดีที่สุดได้จากลากเส้นให้ผ่านจุดทั้งหมดเท่าที่จะทำได้ในรูปที่ 1.1
6. การคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ โดยสร้างเส้นตรงสองเส้นขนานกันให้ครอบคลุมข้อมูลทุกจุดบนกราฟลงในรูปที่ 1.1
7. วาดเส้นตรงสองเส้นมีระยะห่างจากเส้นตรงที่ดีที่สุดเท่ากัน ลากเส้นตรงขนานกับแกน Y และหาค่าที่แรงดันที่เส้นนี้ตัดผ่านสองจุด ค่าความเป็นเชิงเส้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าเต็มสเกล ดังนี้

$$+/-1/2 * \frac{v_1 - v_2}{F.S.O} = \text{ความเป็นเชิงเส้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์}$$

F.S.O คือ Full-Scale Output และสอดคล้องกับค่าเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนเท่ากับระยะทางเต็มสเกลในกรณีนี้

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

3.5 การหาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของโหลดเซลล์เปลี่ยนแปลง

ลำดับขั้นตอนทดลอง

1. ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
2. วัดคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์หาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของตัวปรับสภาพสัญญาณเปลี่ยนแปลงจากหัวข้อ 3.2
3. ทำเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้โหลดเซลล์บันทึกใน ตารางที่ 1.2
4. วาดข้อมูลลงในกราฟรูปที่ 1.2 และคำนวณตามสมการข้างล่าง

$$+/-1/2 * \frac{v_1 - v_2}{F.S.O} = \text{ความเป็นเชิงเส้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์}$$

ครั้งที่	แรง (kg)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)

ตารางที่ 1.2

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รูปที่ 1.2

คำถาม

1. สัญญาณเอาต์พุตแบบอนาล็อกของทรานสดิวเซอร์น้ำหนักมีแรงดันในช่วงใด

.....

2. เมื่อไม่มีน้ำหนักเอาต์พุตที่ได้เท่ากับ V

3. น้ำหนัก 20 kg เอาต์พุตเท่ากับ V