คู่มือ / ใบงาน

ITEM CODE NO. **ELT1 EN04/18**

(SENSORS & TRANSDUCERS TRAINING SYS)

ชุดทดลองทรานสดิวเซอร์วัดแรง

รุ่น G 25/EV

Electronics Technology Equipmentfor 7 technical College,

Department of Vocational Education (DOVE)

Ministry of Education

Kingdom of Thailand

under

OECF LOAN GREEMENT NO. TXIX - 6

CONTRACT NO. DOVE - OECF - T4WB4/97

SUMITOMO CORPORATION

TOKYO, JAPAN

COPYRIGHT RESERVED

1. ข้อมูลเกี่ยวกับทรานสดิวเซอร์วัดแรง

แรงสามารถวัดโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ได้หลายชนิด โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนขนาดของแรงที่กระทำต่อทรานสดิวเซอร์มาเป็นปริมาณทางไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์วัดแรงได้ตามหลักการทางกายภาพได้ 3 กลุ่มดังนี้

- ชนิดที่ใช้หลักการของกฎสแตติก
- ชนิดที่ใช้หลักการของกฎการยืดหยุ่น
- ชนิดที่ใช้หลักการของเปียซโซอิเล็กทริกซิตี้

ในส่วนนี้จะอธิบายรายละเอียดของทรานสดิวเซอร์ทั้งสามชนิดนี้

1.1 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้หลักการของกฎสแตติก

ถ้าเราสามารถสร้างแรงตัวอย่างได้ เราสามารถวัดแรงที่ไม่ทราบค่าได้โดยการประยุกต์กฎพื้นฐานทางกลได้ตามสมการนี้

$$\Sigma F - ma = 0$$

ระบบแรง ΣF (รวมทั้งแรงแอคตีฟและแรงปฏิกิริยากลับ)ใช้ความเร่ง 'a' และมวล 'm' กับแรงที่กระทำ หรือกล่าวอีกอย่างโดยใช้ความเร่งเชิงมุม dw/dt ของวัตถุกับโมเมนต์ของความเฉื่อยรอบแกนหมุนภายใต้การทำงานของระบบทอร์ค ΣM ในแกนเดียวกัน

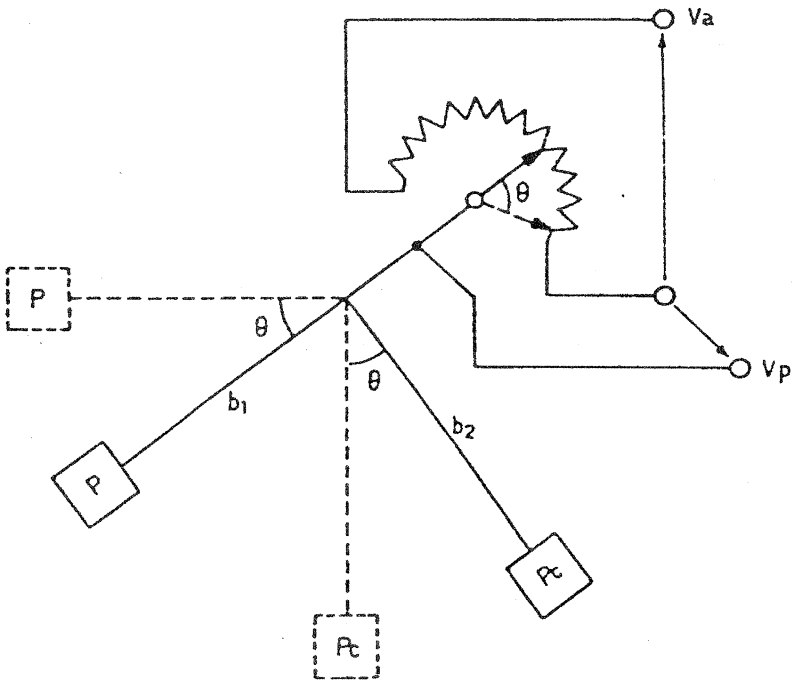
$$\Sigma M - J\, dw/dt = 0$$

ในระบบการวัดในโรงงาน ทรานสดิวเซอร์จะใช้กฎนี้เมื่อโหลดคงที่โดยเฉพาะความเร่งที่ปรากฏจะเป็นผลมาจากสภาวะทรานเซียลของขนาดที่ไม่ทราบได้ สำหรับจุดประสงค์ของคู่มือนี้ สภาวะทรานเซียลนี้จะไม่นำมาพิจารณาและจะสมมุติให้

$\Sigma F = 0$

$\Sigma M = 0$

ตัวอย่างของการประยุกต์นี้เป็นการสมดุลกันของน้ำหนักแบบอัตโนมัติ ดูรูป 1.11



รูป 1.1

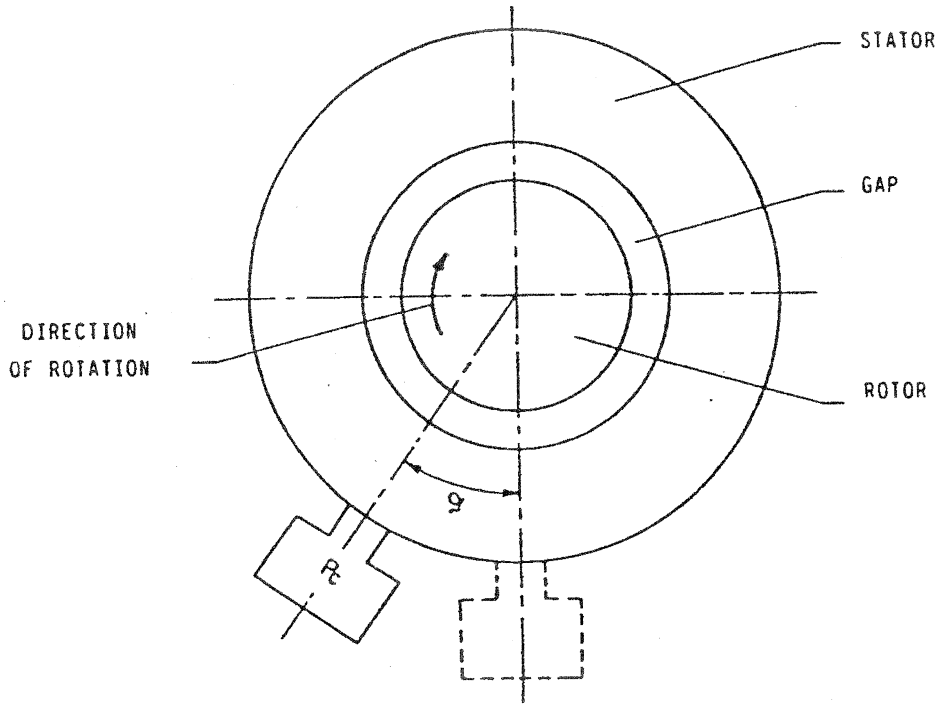
ถ้าน้ำหนักของทั้งสองข้างคือ น้ำหนักตัวอย่าง Pc และน้ำหนักที่ต้องการทราบค่า P จะได้สมการตามนี้

$$P = Pc\ (b2/b1)*\tan\theta$$

แรงดันจะเป็นอัตราส่วนกับมุม θ โดยอ่านค่าได้ที่โพเทนชิโอมิเตอร์ การสมดุลน้ำหนักจะเป็นการหมุนมุมของน้ำหนักที่มีคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในทางปฏิบัติคุณลักษณะความเป็นเชิงเส้นจะขึ้นกับฟังก์ชั่นการทำงานทางกล (เช่น คานงัด แรงกด ฯลฯ) หรือจะเรียกว่าการสมดุลแบบไดนาโมเมตริกก็ได้ ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการวัดทอร์คระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนความเร็วของการหมุนของโรเตอร์นั้นวัดได้จากพลังงานทางกลของมอเตอร์

รูป 1.2 แสดงไดอะแกรมของหลักการนี้ ซึ่งแตกต่างจากรูป 1.1 เฉพาะขนาดของทอร์คที่ไม่ทราบค่า c ที่ส่งจากโรเตอร์ไปยังสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า



รูป 1.2

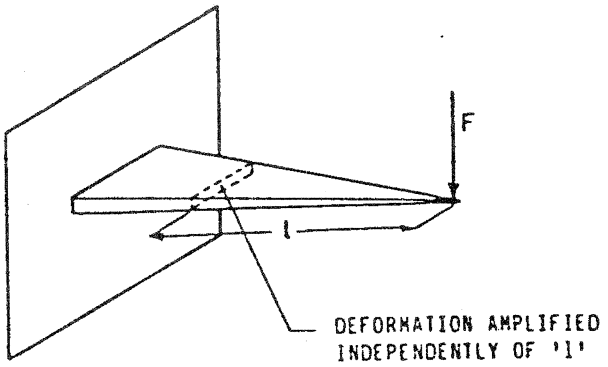
1.2 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้หลักการของกฎการยืดหยุ่น

พิจารณาปริซึมรูปโฮโมจีเนียสและไอโซทรอปิค ให้ด้านหนึ่งมีพื้นที่ 'A' วางอยู่บนพื้นที่มั่นคงขณะที่อีกด้าน มีแรง 'F' กระทำ วัตถุมีการเสียรูปและมีแรงกระทำ 'F' ในทิศทางกลับกันตามกฎของ Hooke จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดของการยืดหยุ่น
ในภาวะสมดุลเช่น F = Fr ความสูงของปริซึมจะเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซนต์ดังนี้

$$\varepsilon 1 = \delta L/L = F/EA = KF$$

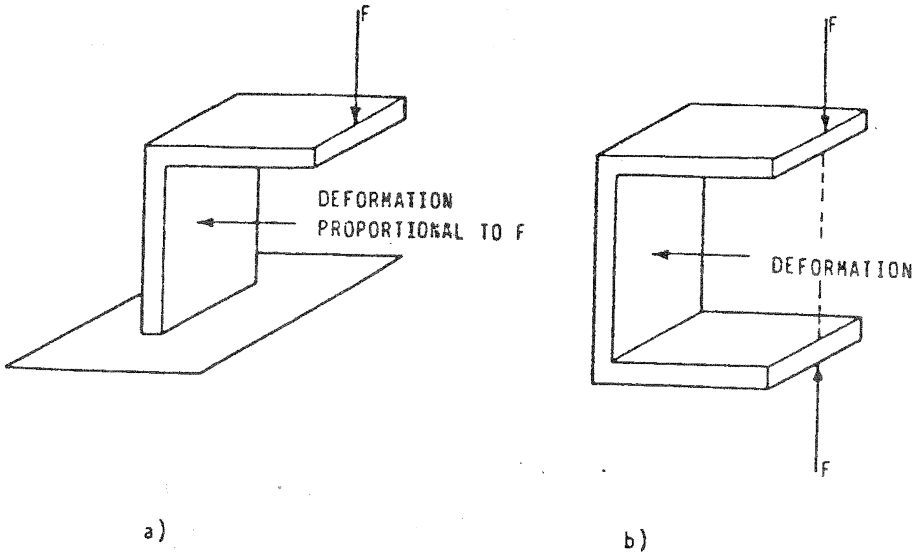
เมื่อ E คือมอดูลัสของความยืดหยุ่นของสสาร (Young's modulus) วัตถุต่างๆจะสอดคล้องกับกฎของ Hooke จึงสามารถทำเป็นตัวตรวจวัดระหว่างแรงที่กระทำและการหดตัวทางแนวนอนได้ ระวังการใช้แรงกระทำที่ไม่สูงเกินค่าที่จะทำให้เสียความเป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างของการใช้ตัวตรวจวัดกับแกนที่ตรึงไว้เช่นอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน ในการประยุกต์บางอย่างใช้กับวัตถุที่ยืดหดได้โดยให้พื้นที่เปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับระยะทางจากจุดที่ยึดไว้ รูป 1.5



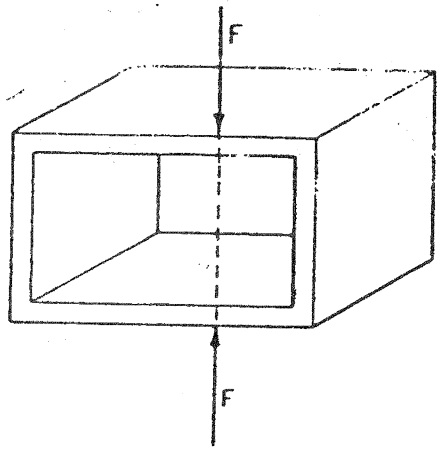
รูป 1.5

หรือให้แรงกระทำตามรูป 1.6a การเคลื่อนที่ที่คงที่บนส่วนของโครงสร้างที่ขนานกันกับทิศของแรงในพื้นผิว ดังนั้น ε_f จะเป็นค่าคงที่ เราจะสนใจการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ที่ถูกส่งออกมาโดยการใช้โครงสร้างที่แสดงในรูป 1.6 b



รูป 1.6

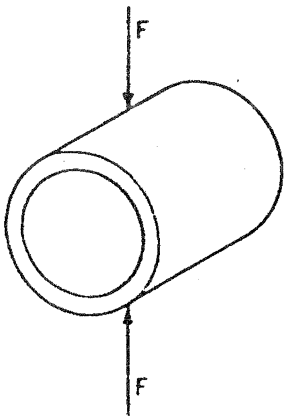
เพื่อทำให้การประยุกต์แรงง่ายขึ้น โครงสร้างแบบ ring ในรูปที่ 1.7



รูป 1.7

ในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของโครงสร้างเชิงมุมของรูปแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ความเค้นในกรณีของแรงที่แปรผัน

ปัญหานี้แก้ไขได้โดยโครงสร้างทรงกระบอกดังในรูปที่ 1.8 และโดยทั่วไปจะหมายถึงการพัฒนาต่อจากโครงสร้างแบบ ring



รูป 1.8

ต่อไปจะทำการวัดแรงอัดที่เกิดจากแรง ตัวตรวจจับที่จะศึกษากันมีดังนี้คือ

- ตัวสเตนเกจน์แบบความต้านทาน
- ตัวสเตนเกจน์แบบสารกึ่งตัวนำ

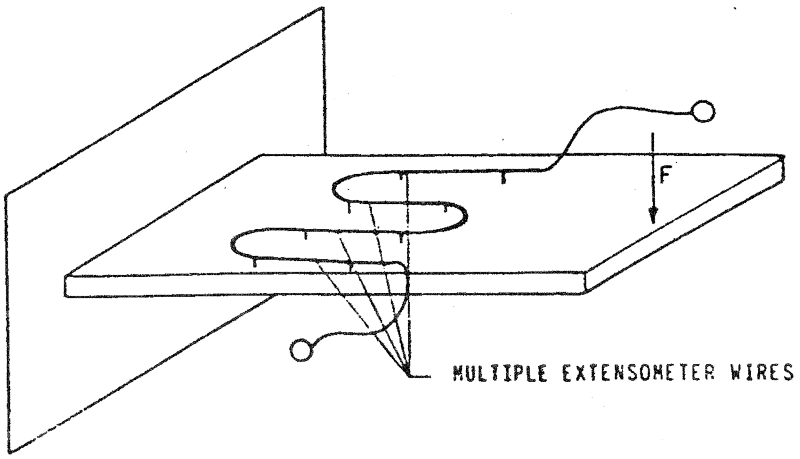
ทั้งสองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงอัดที่แปรผันกับความต้านทาน

1.2.1 ตัวตรวจวัดที่ใช้หลักการของความต้านทานแบบสเตรนเกจน์

ตัวตรวจจับเหล่านี้มีย่านการใช้งานที่กว้าง มีพื้นฐานมาจาก extensometers แต่สเตนเกจน์มีการใช้งานกว้างกว่ามาก

$$\delta R / R = \quad K \delta L / L$$

ค่าสัมประสิทธ์ K เรียกว่า ตัวแปรปรับเทียบ และจะมีค่าอยู่ระหว่าง -11 และ +4.5 สอดคล้องกับสสารที่ใช้ (นิเกล แมงกาเนส แพตตินัม ทังสเตน)
ง่ายที่จะประยุกต์หลักการวัดการเปลี่ยนแปลงในตัวต้านทานของสสารที่ทั้งสองจุดหัวท้ายถูกยึดในระยะทาง δL และจะได้ค่า δR ง่ายๆจากการวัด ขนาดสายจะมีขนาดเล็กมาก ดูรูป 1.9

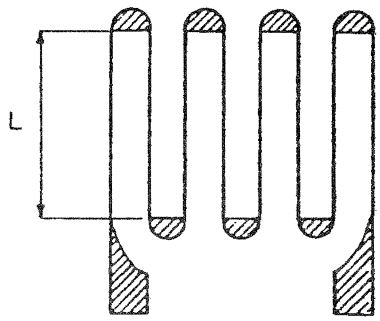


รูป 1.9

อย่างไรก็ตาม extensometer จะใช้วัดแรงอัดของพื้นผิวตามทิศทางที่ต้องการ ในกรณีนี้ระยะทาง L ระหว่างสองจุดไม่สามารถใช้ได้และยากในการติดตั้งสาย ปัญหานี้แก้ไขได้โดยใช้สายรูปร่างพิเศษ ดังรูปที่ 1.10

ในรูป ระยะทาง L วัดแรงอัด δL มาจากหลักการ extensometer

ส่วนที่โค้งที่มากกว่าส่วนที่ตรง ความต้านทานจะได้รับการยกเว้น



รูปที่ 1.10

ส่วนของสายที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจะมีความเรียบและมีความกว้างเป็นพิเศษทั้งนี้เพื่อที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟได้ ขนาดของ L จะเปลี่ยนแปลงจาก 2 ถึง 20 มิลลิเมตร โดยประมาณ

ในทรานสดิวเซอร์แรง extensometer จะถูกใช้ ติดกับอุปกรณ์ที่รับแรงกดและทำให้ขนาดเปลี่ยนแปลงไป

ข้อเสียประการหนึ่งของ extensometer คือจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ จะใช้ extensometer สองตัวโดยที่แต่ละตัวรับแรงกด และวัดผลต่างความต้านทานที่เกิดขึ้น การชดเชยอุณหภูมิของสเตนเกจน์จะต้องมีโดยการใช้สสารที่มีสัมประสิทธ์อุณหภูมิเท่ากันและตรงข้ามกับสัมประสิทธ์ของการแพร่ขยายความร้อน(ผลกระทบเหมือนกัน) ของสสารที่ถูกแรงกด

1.2.2 ตัวตรวจวัดที่ใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำแบบสเตรนเกจน์

เปียโซรีริสตีฟ การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทางไฟฟ้ากับปริมาตรของสารกึ่งตัวนำ ค่าของตัวแปร K จะต้องมีค่าที่ต่ำมาก และจะต้องสูงกว่า extensometer มาก(40 ถึง 200) ไม่มีปัญหาเกิดขึ้นเมื่อความละเอียดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดที่ทำเครื่องหมายไว้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

1.3 โหลดเซล

โหลดเซลมีพื้นฐานมาจาก extensometer วัดแรงที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม มันทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงหรือน้ำหนักให้กลายมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่บริดจ์ extensometer ในโหลดเซลจะมี extensometer ที่ใช้อยู่หลายตัวและต่อกันแบบบริดจ์ทั้งนี้จึงเหมาะรับแรงทางกล

โหลดเซลใช้สเตนเกจน์ความต้านทานที่มีอิมพีแดนท์ประมาณ 350 Ω และมีความไวที่เต็มสเกลประมาณ 2 mV/V หมายความว่าถ้าให้แรงดัน 10 V เลี้ยงกับ บริดจ์ extensometer แรงดันที่เอาท์พุทจะเปลี่ยนเป็น 20 mV เมื่อเต็มสเกล

โหลดเซลใช้สเตนเกจน์แบบสารกึ่งตัวนำซึ่งจะทำให้ความไวเพิ่มขึ้น โหลดเซลจะรับโหลดได้เต็มสเกลจากกิโลกรัมถึงเป็นพันตันซึ่งสามารถใช้งานจริงได้ในวงการอุตสาหกรรม

1.4 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้หลักการของเปียซโซอิเล็กทริกซิตี้

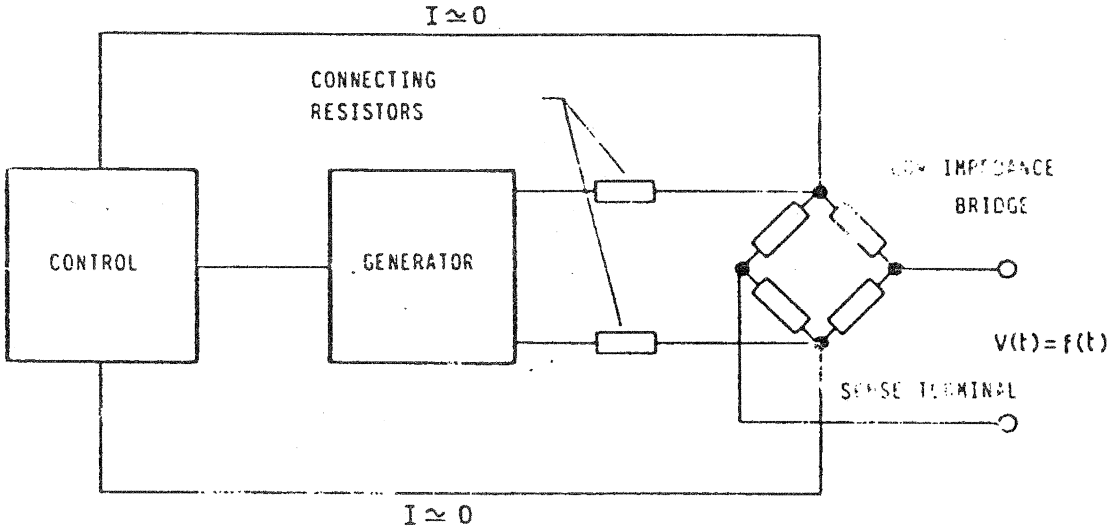
ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้เมื่อแรงที่จะวัดเป็นสถาวะไดนามิก(เช่น ค่าเปลี่ยนแปลงเทียบกับความถี่เป็น KHz) และมีพื้นฐานมาจากการค้นพบของ Pierre และ Jacques Curies ในปี 1880 เมื่อให้แรงกดลงบนสสาร สสารจะมีการเปลี่ยนแปลงประจุ อุปกรณ์เปียโซอิเลคทริกจะใช้ในการวัด(เช่น มิเตอร์วัดความเร่ง) สำหรับการวิเคราะห์การสั่น สารที่ใช้สร้างทรานสดิวเซอร์จะเป็นเซรามิก(สารสังเคราะห์) เช่น แบเรี่ยม ตะกั่ว ไตตาเนต

โดยทั่วไปจะใช้คริสตัลเป็น tourmaline , quartz และ Rochelle salt (Sodium potassium tartrate) ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยี quartz ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม

1.5 ตัวปรับสภาพสัญญาณที่ใช้กับทรานสดิวเซอร์วัดแรง

ระบบการเชื่อมต่อสำหรับทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่เป็น extensometer ความต้านทาน(โหลดเซล) จะต้องสามารถกระตุ้นสเตนเกจน์(แบบเดียวหรือบริดจ์)ที่แรงดันคงที่

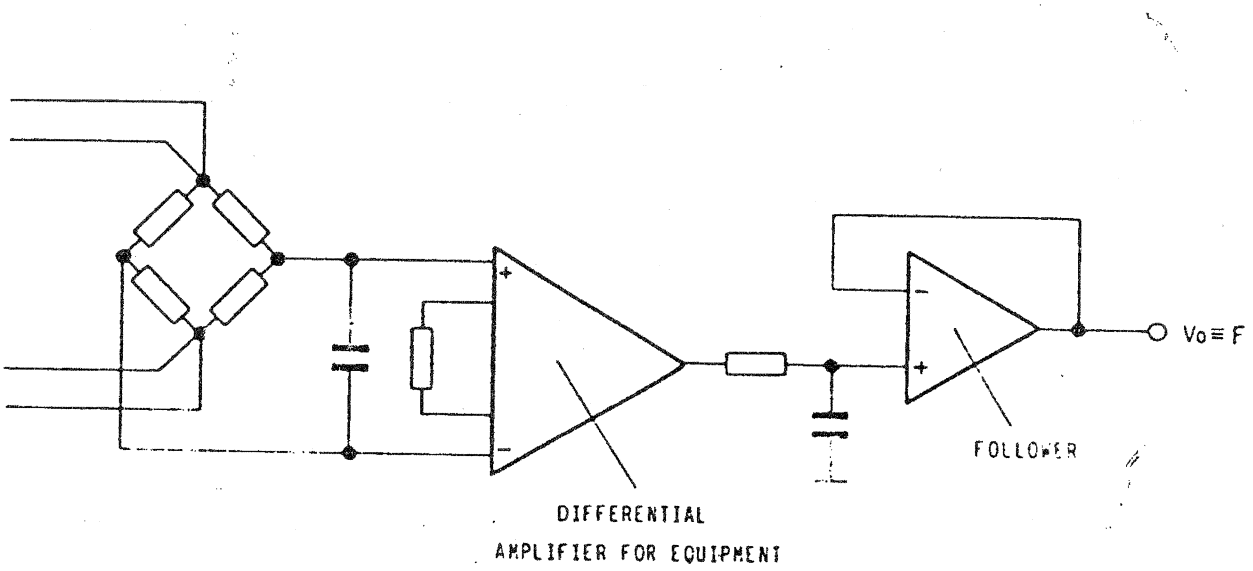
ในรูป ค่าความต้านทานของ extensometer หรือบริดจ์ ที่ ขั้ว sense จะเป็นที่สำหรับการวัดแรงดันที่คงที่(ดูรูป1.11)



รูป1.11

แรงดันเอาท์พุทของบริดจ์โดยปกติจะวัดด้วยแอมป์ขยายผลต่างสำหรับงานที่ต้องการเกนขยายสูง(ดูรูปที่ 1.12)

โดยปกติตัวตรวจจับที่ใช้ในการวัดแรงจะมีความเร็วไม่มากนักเพราะจะต้องมีวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ(มีเวลาหน่วง 5 วินาที) ทั้งนี้เพื่อลดสัญญาณรบกวน



รูป 1.12

การเลือกแอมป์ขยายผลต่างจะต้องเลือกที่มีแรงดันเลื่อนเทียบกับอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้(เช่น น้อยกว่า 5 $\mu V/^{\circ}C$)

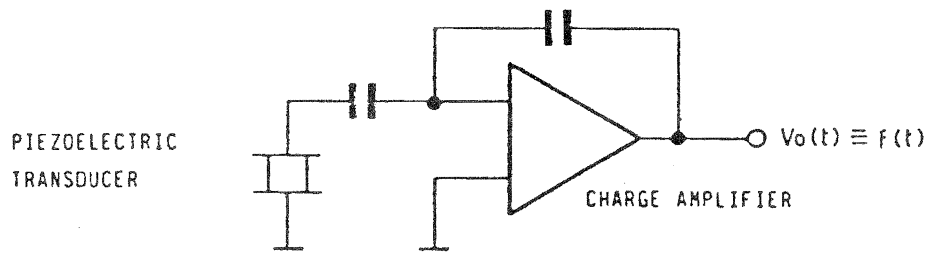
มีโพเทนชิโอมิเตอร์เอาไว้ใช้ปรับค่าแรงดันเอาท์พุทให้มีค่าเต็มสเกลที่ถูกต้อง(แอมป์ปรับเทียบ)

โหลดเซล(มีความเที่ยงตรงมากกว่า ทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่มีพื้นฐานมาจาก extensometer) ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมจะมีวงจรชดเชยอุณหภูมิด้วย

ทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่เป็นสารกึ่งตัวนำ extensometer จะให้สัญญาณเอาท์พุทที่สูงและไม่ต้องการระบบเชื่อมต่อที่ซับซ้อนเพื่อหนีปัญหาเรื่อง ออฟเซ็ทและสเกล

ความไวของความต้านทานแบบบริดจ์เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเมื่อต้องการการวัดที่ละเอียด

ระบบเชื่อมต่อของทรานสดิวเซอร์วัดแรงเปียโซอิเลคทริกประกอบด้วยแอมป์ขยายต่อกับตัวเก็บประจุดังรูป 1.13



รูป 1.13

1.6 ลักษณะของทรานสดิวเซอร์วัดแรง

คุณลักษณะทางกลของอุปกรณ์ที่มีการยืดหดตัวจะมีการข้อมูลที่เป็นพื้นฐานหลักต่างๆดังนี้

- ย่านการวัด จะบอกเป็นกิโลกรัม นิวตัน หรือ ตัน ย่านการวัดนี้ตัวตรวจจับจะทำการวัดค่าได้อย่างเที่ยงตรง อาจแบ่งย่านการวัดได้สองแบบคือ ขั้วเดียว(unipolar) หรือ ความเค้น และสองขั้ว (bipolar) หรือ ความเค้นและ tension
- ค่าสเตติกเกินพิกัดที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม นิวตัน หรือ ตัน จะบอกแรงที่สูงสุดที่ทรานสดิวเซอร์สามารถทนได้
- ย่านอุณหภูมิการทำงานมีหน่วยเป็น ^{o}C
- ย่านอุณหภูมิที่สะสมไว้มีหน่วยเป็น ^{o}C
- ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น ^{o}C ย่านอุณหภูมินี้จะบอกถึงความเที่ยงตรงของการวัด

เมื่อคำนึงถึงคุณภาพของการวัด คุณลักษณะที่เป็นพื้นฐานหลักมีดังนี้

- ความเป็นเชิงเส้น แสดงด้วยเปอร์เซนต์ของต่าเต็มสเกล ค่านี้จะบอกความผิดพลาดที่เกิดเนื่องจากความเบี่ยงเบนไปจากค่าที่แท้จริง
- ความไวหรือความละเอียด คือการเปลี่ยนแปลงค่าที่อินพุทที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่เอาท์พุท จะบอกเป็นสัญญาณเอาท์พุทต่อหน่วยของอินพุท
- ความมั่นคง แสดงด้วยเปอร์เซนต์ของต่าเต็มสเกล ค่าตัวแปรนี้จะชี้ถึงความสามารถของทรานสดิวเซอร์ในการสร้างสัญญาณเอาท์พุทเมื่อมีอินพุทปริมาณเท่ากันแต่ในเวลาที่ไม่เท่ากัน
- ฮีทเตอร์รีซิส นิยามด้วย ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างค่าที่อ่านได้สองค่าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ที่รับแรงเท่ากันแต่มีทิศตรงกันข้าม
- เสถียรภาพของความไวเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่น การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตัวแปรที่มีความสำคัญในระบบเชื่อมต่อ

- แรงดันกระตุ้น คือแรงดันที่ใช้เลี้ยงตัวทรานสดิวเซอร์

- แรงดันเอาท์พุท คือค่าแรงดันเต็มสเกลต่อหน่วยแรงดันที่เลี้ยงทรานสดิวเซอร์ ค่านี้แสดงด้วย mV/V หรือแสดงค่าเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์เป็น mV เมื่อแรงเต็มสเกลกระทำเป็นโวลต์
- F.S.O (Full Scale Output) คือผลต่างระหว่างแรงดันเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์ที่สอดคล้องกับค่าจำกัดของย่านแรง
- ความต้านทานของสเตนเกจน์หรือบริดจ์

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์บนพื้นฐานของการกระทำแบบอีราสติก(elastic)

* ชนิด

  กับ extensometer ความต้านทาน

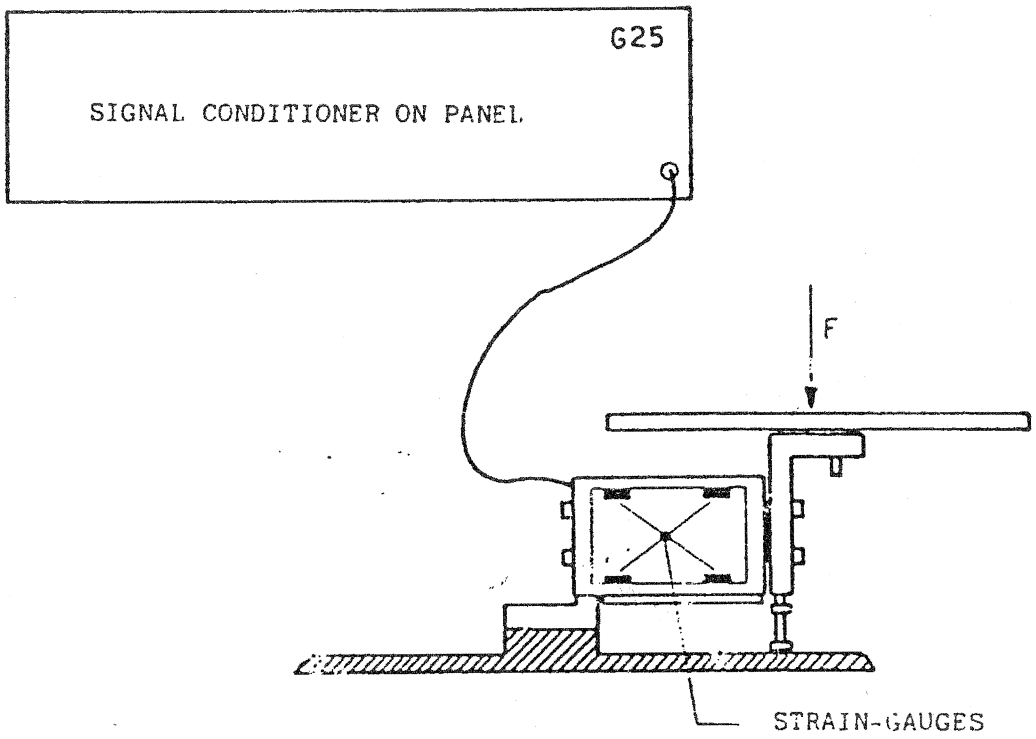
  กับ extensometer ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ

  โหลดเซล

* ย่านการวัด
* ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ
* ค่าสแตติกที่เกินพิกัดที่ยอมรับได้
* ย่านอุณหภูมิสะสม
* การสั่น การช็อก
* ความเป็นเชิงเส้น
* ความไว
* ความมีเสถียรภาพ
* ความมั่นคง
* ฮีทเตอร์รีริส
* แรงดันกระตุ้น
* F.S.O. (Full Scale Output)
* ความไวต่อหน่วยแรง
* ค่าเอาท์พุทเต็มสเกลต่อหน่วยการกระตุ้น

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการทดลอง

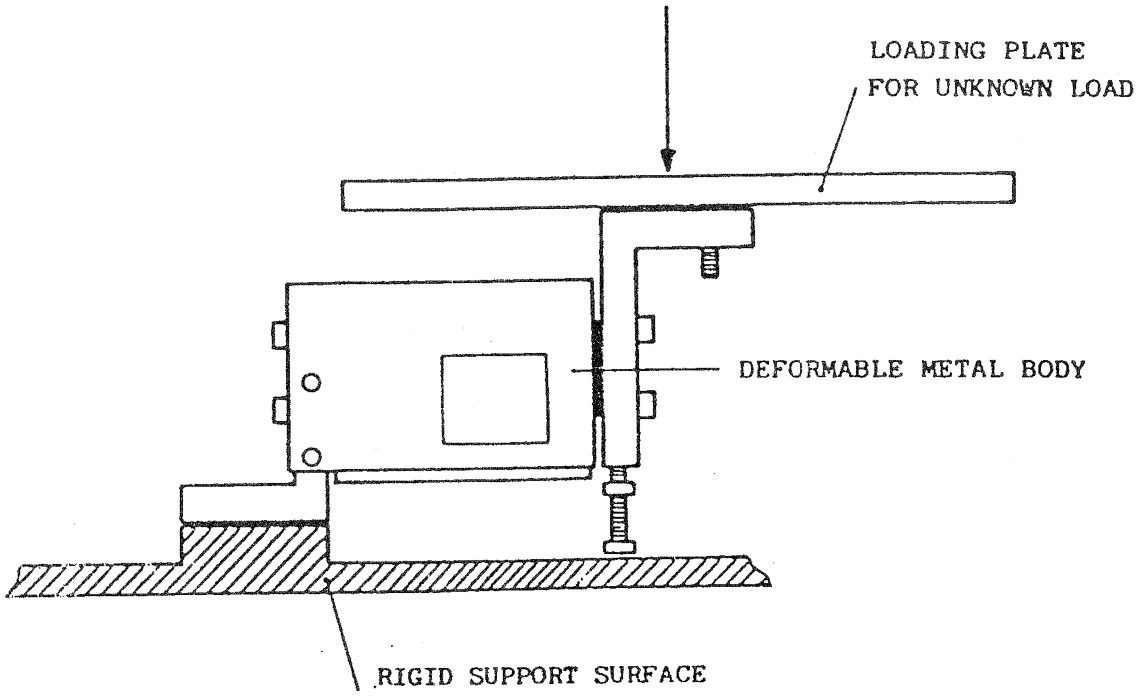
อุปกรณ์ทดลองเกี่ยวกับแรงประกอบด้วยสองส่ วนหลักๆคือทรานสดิวเซอร์วัดแรง และตัวปรับสภาพสัญญาณ ในส่วนนี้จะอธิบายโครงสร้างและการทำงานของแต่ละส่วนของชุดทดลอง ดูรูป 2.1



รูป 2.1

2.1 ทรานสดิวเซอร์วัดแรง

ตัวตรวจจับที่ใช้ในชุดทดลองเป็นโหลดเซล ที่ทำจาก extensometer ความต้านทาน แรงจะกระทำต่อโครงสร้างทำให้เกิดการยืดหดตัว ดังรูปที่ 2.2

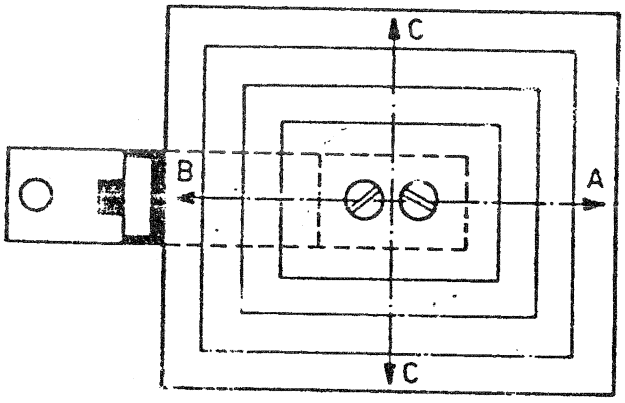


รูป 2.2

คุณภาพของการแปลงและแรงที่วัดได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่กว้างใหญ่ของการเชื่อมต่อระหว่างโหลดเซลกับพื้นผิวฐานรอง

ตัวฐานรองเองจะต้องมีความแข็งแรงและราบเรียบ ที่สำคัญจะต้องมีขนาดพื้นที่กว้างขวางเพียงพอและไม่สามารถเลื่อนได้เมื่อรับแรง

สกรูสองตัวที่อยู่ในแกนเดียวกันจะเป็นตำแหน่งที่มีความไวมากที่สุดต่อโหลด และเป็นตำแหน่งที่วัดได้ดีที่สุด 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 เป็นเปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกลสำหรับระยะทางแต่ละเซนติเมตรระหว่างจุดที่รับโหลดและแกนของโหลดเซลที่รับโหลด

ค่านี้จะแสดงพื้นที่ที่ตัวตรวจจับจะทำการวัดได้ 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

ตัวตรวจจับจะมีการชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติและกำจัดผลกระทบเนื่องมาจากสายไฟที่ต่อ

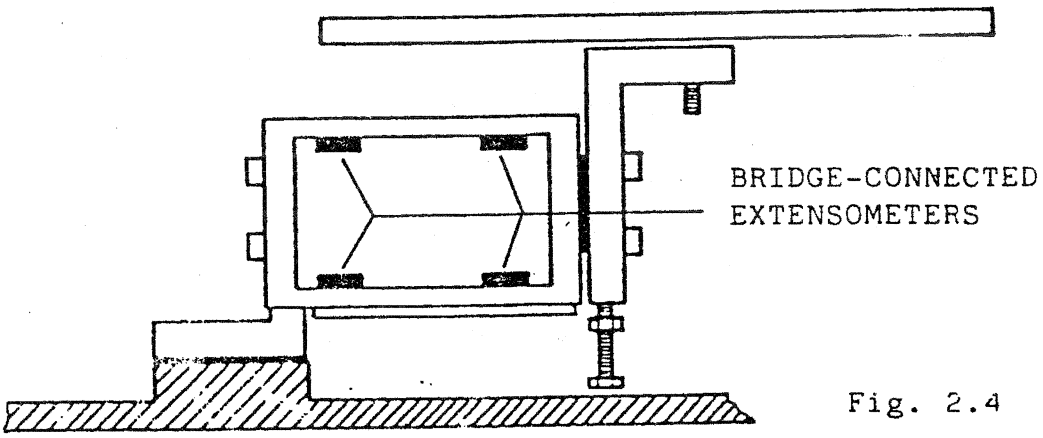


Fig. 2.4

รูป 2.4

เพื่อที่จะรับประกันถึงความแน่นอนของตัวแปรทางไฟฟ้าและเสถียรภาพของการวัด extensometer สามารถป้องกันต่อความชื้นได้

ขั้วต่อของตัวทรานสดิวเซอร์ตามมาตรฐานมีดังนี้

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

สามารถทำการปรับเทียบระบบได้จากตัวปรับสภาพสัญญาณ

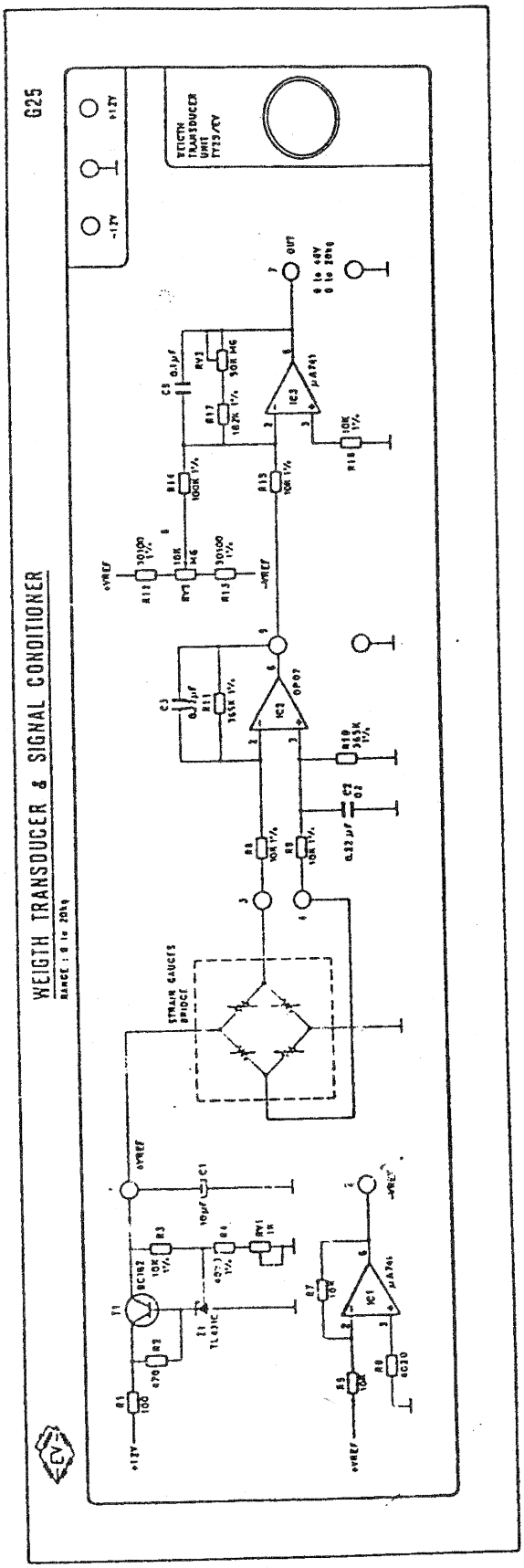
อัตรารับโหลด(R.C)	30 kg
อัตราเอาท์พุท(R.O)	2mV/V
Creep	0.03% R.O / 30 min
ความเป็นเชิงเส้น	0.02%R.O
ฮีทเตอร์รีริส	0.02%R.O
ความมั่นคง	0.02%R.O
การสร้างสมดุล	+/- 5% R.O
ย่านการชดเชยอุณหภูมิ	-10°C - 70°C
ย่านอุณหภูมิ sate	-10°C - 50°C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับเอาท์พุท	+/-0.012% LOAD / 10 °C
อุณหภูมิที่มีผลกระทบกับการสร้างสมดุล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

ขั้วต่อไฟฟ้า	ϕ 3mm x 4 C x 40 cm
ความทนทานของฉนวน(ต่ำสุด) บริดจ์กับกราวน์ ชีลกับกราวน์	 2000 MΩ 1000MΩ
แรงดันกระตุ้น	12V
แรงดันกระตุ้นสูงสุด	20V
ย่านความปลอดภัย	150% R.C

2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ

ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับทรานสดิวเตอร์วัดแรงกับ โหลดเซล extensometer ความต้านทานมีความจำเป็นเพราะว่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ มีค่าต่ำมาก ตัวปรับสภาพสัญญาณจะต้องมีเกนขยายที่สูง ต้องมีการปรับออฟเซต และปรับเปลี่ยนเกนขยายได้เพื่อที่จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับแรงเหมาะสม วงจรเชื่อมต่อแสดงตามรูป 2.5

แรงดันกระตุ้น +Vref (8V) ได้จากแรงดันเร็กกลูเลท Z1 (TL431) วงจรรวม IC1 จะสร้าง -Vref (-8V) แรงดันอ้างอิงจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำที่สุด (สูงสุด 0.015%/$^{\circ}$C) อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 50 $^{\circ}$C (ปกติอุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลง 20°C ถึง 70 $^{\circ}$C จะไปทำให้จำกัดย่านการวัด) เป็นสาเหตุทำให้แรงดันกระตุ้นเปลี่ยน 0.075V หรือเท่ากับ 7 ใน พัน สามารถไม่คำนึงถึงได้


G25
WEIGTH TRANSDUCER & SIGNAL CONDITIONER
+12V
-12V
OUT
STRAIN GAUGES BRIDGE
+VREF
-VREF
IC1
IC2
IC3
OP07
μA741
BC182
TL431C

รูป 2.5

แรงดันกระตุ้นเร็กกลูเรทจาก ตัวต้านทานปรับค่าได้ RV1 การอ่านค่า ประกอบด้วยแอมป์ขยาย(แอมป์ขยาย IC2) ออปแอมป์ใช้เบอร์ OP07DP ที่มีแรงดันอินพุทออฟเซทเทียบกับอุณหภูมิต่ำ ตามเอกสารข้อมูลประมาณ 3 $\mu V/^{\circ}C$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 50°C จะทำให้แรงดันอินพุทออฟเซทเท่ากับ 150 μV

ขณะที่ 2 mV เท่ากับ 1 kg จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่ 75 กรัม สอดคล้องกับค่าความเป็นเชิงเส้นและค่าความผิดพลาดที่เกิดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวทรานสดิวเซอร์ แอมป์ขยายมีเกนเท่ากับ 36.5 สัญญาณเอาท์พุทจากแอมป์ผลต่าง (IC3 μA741) จะไปปรับสเกลและทำให้ยกเลิกออฟเซทของทรานสดิวเซอร์ได้ สำหรับจุดประสงค์นี้แอมป์ขยายจะเร็กกลูเรทด้วยตัวต้านทาน RV3 (เกนขยาย 5/9) และออฟเซทจะเปลี่ยนแปลงจาก -810 mV ถึง +1.2 V ด้วยการปรับที่ตัวต้านทาน RV จะให้แรงดันเอาท์พุทเป็นอัตราส่วนกับแรงที่อัตราส่วน 400 mV = 1kg

หมายเหตุ แอมป์ขยายปรับสภาพสัญญาณจะมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อที่จะกำจัดสัญญาณรบกวน การที่มีวงจรกรองอยู่ด้วยจะไม่ผลทำให้คุณภาพของระบบเสียไป ขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อตัวทรานสดิวเซอร์

ความถี่ cutoff ของวงจรกรองตั้งไว้ประมาณ 5 Hz

2.3 แรงตัวอย่าง

โหลดเซลจะทำการปรับเทียบหน่วยการวัดแรงที่ 1 kg ของแรง = 0.9806 daN เมื่อ 0.9806 คือความเร่งโน้มถ่วงที่ เมืองมิลาน ทรานสดิวเซอร์จะประกอบกับสปริงตามกฎของแรง (F=ma) โดย m คือ มวล a คือ ความเร่งโน้มถ่วง ค่าความเร่งโน้มถ่วงนี้จะเปลี่ยนแปลงตามภูมิศาสตร์ตามตารางที่อยู่ข้างล่างนี้

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. แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดออกแบบมาเพื่อช่วยให้นักศึกษาทำความเข้าใจการทำงานของโหลดเซลและตัวปรับสภาพสัญญาณ แรงตัวอย่างได้จากน้ำหนักมาตรฐาน อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้มีดังนี้

- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ 3 ½ หลัก (รุ่น MD-79/EV)
- แหล่งจ่ายไฟ +/- 12 V
- น้ำหนักมาตรฐาน

3.1 การปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ

จุดประสงค์

เพื่อทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณเช่นปรับเทียบเมื่อไม่มีน้ำหนัก เอาท์พุทที่ได้เท่ากับศูนย์ และที่น้ำหนัก 20 kg สัญญาณเอาท์พุทเท่ากับ 8 V

เครื่องมือที่ต้องการ

- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

วิธีทดลอง

- ต่อแหล่งจ่าย +/- 12 โวลต์ และ 0 โวลต์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ
- ต่อโหลดโมดูลเข้ากับแผงทดลองด้วยสายไฟ
- ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่จุดที่ 1 กับกราวน์
- เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ
- ปรับตัวต้านทาน RV1 จนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทได้เท่ากับ 8 V ที่ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์(ปรับแรงดันกระตุ้น)

- ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับสัญญาณเอาท์พุท
- ปรับตัวต้านทาน RV2 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ ศูนย์(ปรับค่าออฟเซท ที่โหลดเซล)
- วางน้ำหนักตัวอย่าง 20 kg บนโหลดเซล
- ปรับตัวต้านทาน RV3 จนกระทั่งดิจิตอลโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 8 V (ปรับสเกลของตัวปรับสภาพสัญญาณ)

3.2 การวัดกราฟแรงดันเอาท์พุทเปรียบกับแรง

จุดประสงค์

เพื่อทำการแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่อินพุทของทรานสดิวเซอร์กับแรงดันเอาท์พุท

เครื่องมือที่ต้องการ

- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด 3 ½ หลัก

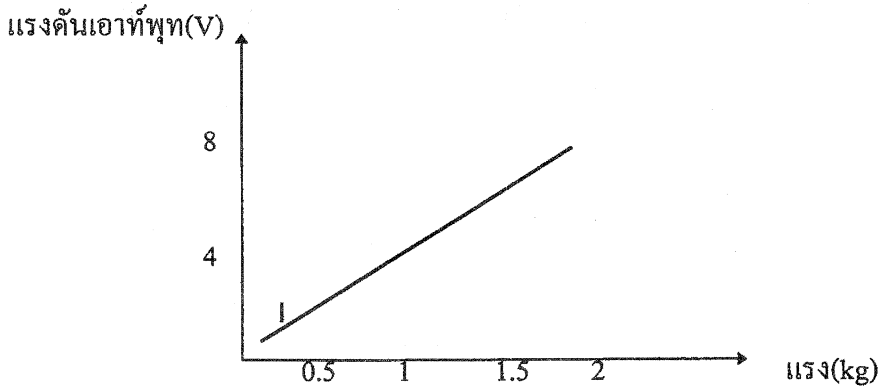
วิธีทดลอง

- ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
- ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่เครื่องหมาย OUT
- ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซล(อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาท์พุท
- นำข้อมูลที่ได้จดลงในตารางที่ 3.1

และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาท์พุทอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

จำนวน	แรง(kg)	แรงดันเอ๊าพุท(โวลต์)

ตาราง 3.1



รูป 3.1

3.3 การวาดเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดของทรานสดิวเซอร์

จุดประสงค์

เพื่อทำการแสดงกราฟของเส้นตรงที่ดีที่สุดจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ให้กับทรานสดิวเซอร์กับแรงดันที่ได้จากตัวปรับสภาพสัญญาณ

เครื่องมือที่ต้องการ

- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด 3 $\frac{1}{2}$ หลัก

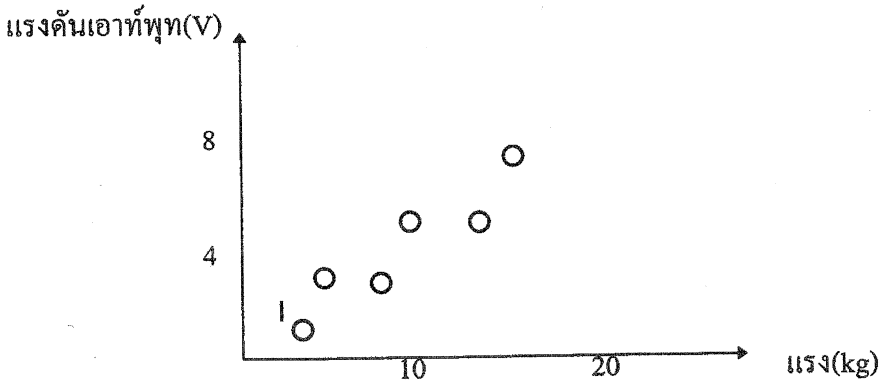
วิธีทดลอง

- ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
- ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับเอาท์พุท
- ให้น้ำหนักตัวอย่าง กับโหลดเซล(อยู่ในช่วง 10 kg) วัดแรงดันเอาท์พุท
- นำข้อมูลที่ได้จดลงในตารางที่ 3.2

และนำค่าที่ได้วาดกราฟโดยให้แรงอยู่แกน X และให้แรงดันเอาท์พุทอยู่แกน Y กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของตัวปรับสภาพสัญญาณ

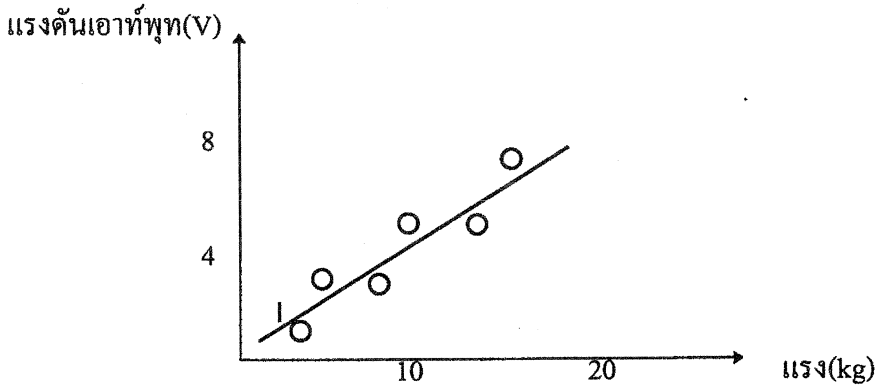
จำนวน	แรง(kg)	แรงดันเอ๊าพุท(โวลต์)

ตาราง 3.2



รูป 3.2

เส้นตรงที่ดีที่สุดจะได้จากลากเส้นให้ผ่านจุดทั้งหมดเท่าที่จะทำได้ รูป 3.3



รูป 3.3

3.4 การคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ

จุดประสงค์

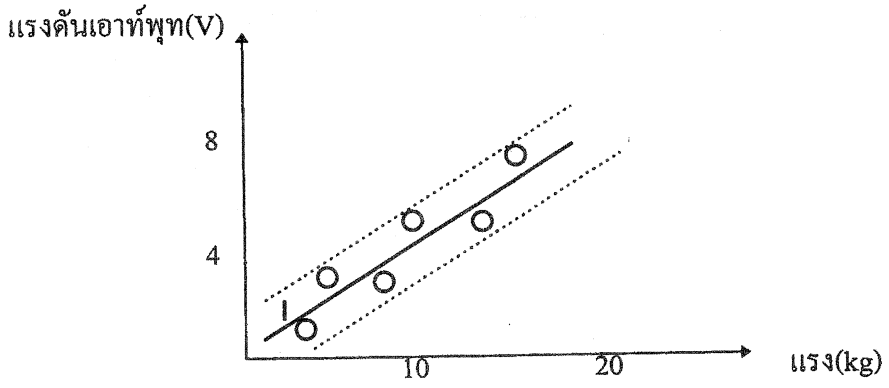
เพื่อทำการคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้นของระบบปรับสภาพสัญญาณในตัวทรานสดิวเซอร์

เครื่องมือที่ต้องการ

- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด 3 ½ หลัก

วิธีทดลอง

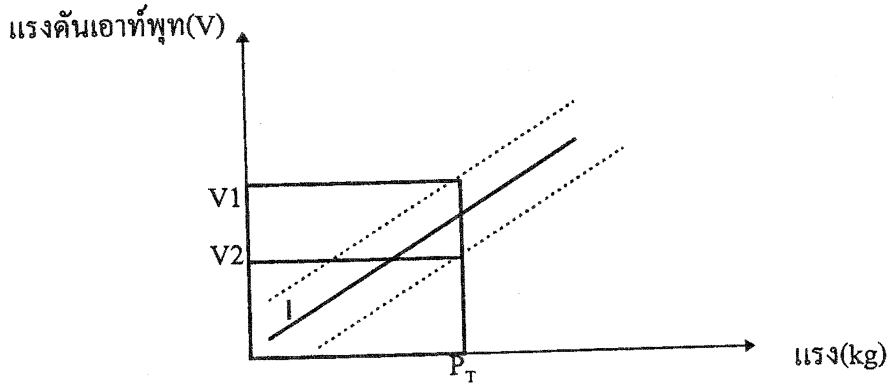
- ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
- ต่อดิจิตอลโวลต์มิเตอร์กับเครื่องหมาย OUT หากราฟคุณลักษณะและวาดเส้นตรงที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3
- สร้างเส้นตรงสองเส้นขนานกันให้ครอบคลุมข้อมูลทุกจุดบนกราฟ



รูป 3.4

วาดเส้นตรงสองเส้นมีระยะห่างจากเส้นตรงที่ดีที่สุดเท่ากันและจะต้องครอบคลุมทุกจุดข้อมูล ลากเส้นตรงขนานกับแกน y และหาค่าที่แรงดันที่เส้นนี้ตัดผ่านสองจุด ค่าความเป็นเชิงเส้นจะบอกเป็นเปอร์เซนต์เทียบกับค่าเต็มสเกลดังนี้

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



รูป 3.5

มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์

F.S.O คือ Full - Scale Output และสอดคล้องกับค่าเอ๊าพุทที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนเท่ากับระยะทางเต็มสเกล

ในกรณีนี้

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

3.5 การหาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของโหลดเซลเปลี่ยนแปลง

จุดประสงค์

เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของทรานสดิวเซอร์ที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

เครื่องมือที่ต้องการ

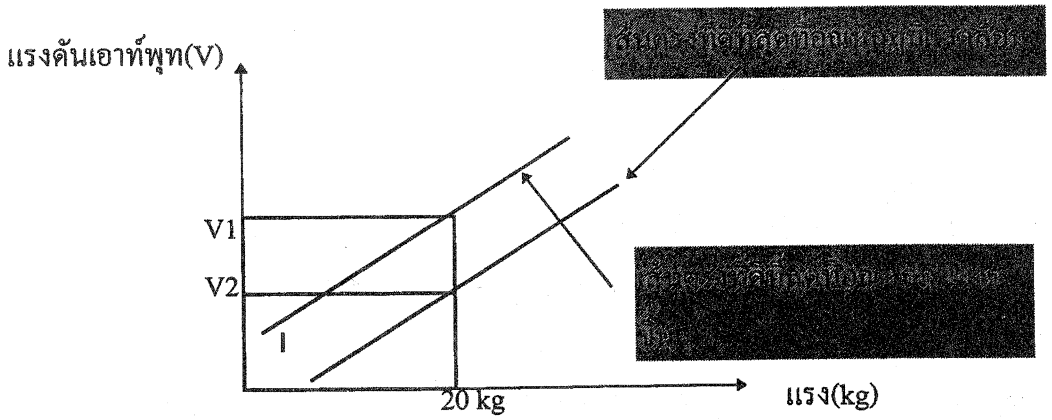
- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด 3 ½ หลัก

วิธีทดลอง

- ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
- วัดคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์และทรานสดิวเซอร์จากหัวข้อ 3.3
- ทำเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้หลอดไส้
- วาดข้อมูลลงในกราฟและคำนวณตามสมการข้างล่าง

(V1 - V2) / F.S.O หน่วยเป็นเปอร์เซนต์

โดย F.S.O. = 8 V



รูป 3.6

3.6 การหาค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของตัวปรับสภาพสัญญาณเปลี่ยนแปลง

จุดประสงค์

เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของตัวปรับสภาพสัญญาณที่เกิดจากวัดในอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง

เครื่องมือที่ต้องการ

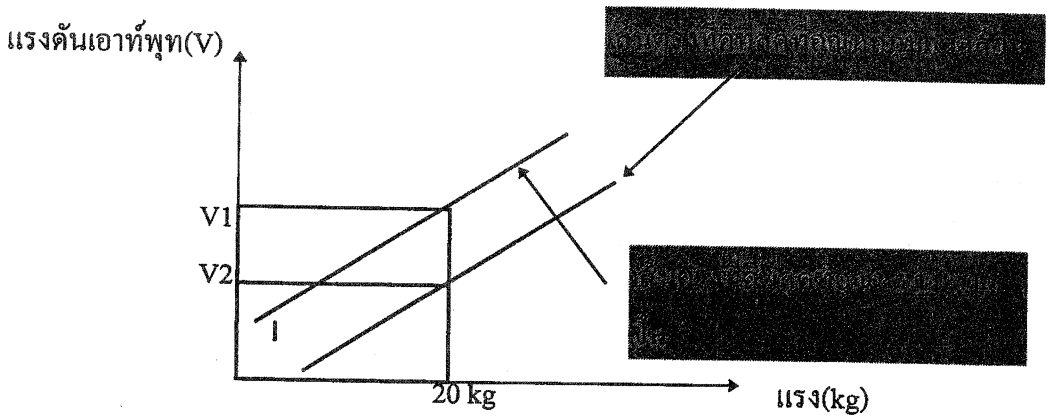
- ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด 3 ½ หลัก

วิธีทดลอง

- ทำการปรับเทียบตัวปรับสภาพสัญญาณ
- วัดคุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์และทรานสดิวเซอร์จากหัวข้อ 3.3
- ทำเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้หลอดไส้
- วาดข้อมูลลงในกราฟและคำนวณตามสมการข้างล่าง

(V1 - V2) / F.S.O หน่วยเป็นเปอร์เซนต์

โดย F.S.O. = 8 V



รูป 3.7

ภาคผนวก ก

1 การต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์

เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โมดลูทรานสดิวเซอร์ความดันจะต้องต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณ A/D โดยต่อเอาท์พุทจากโมดลู G25 เข้ากับอินพุทของตัวแปลงสัญญาณ A/D F03Aเพื่อทำการสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งไปให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่อไป

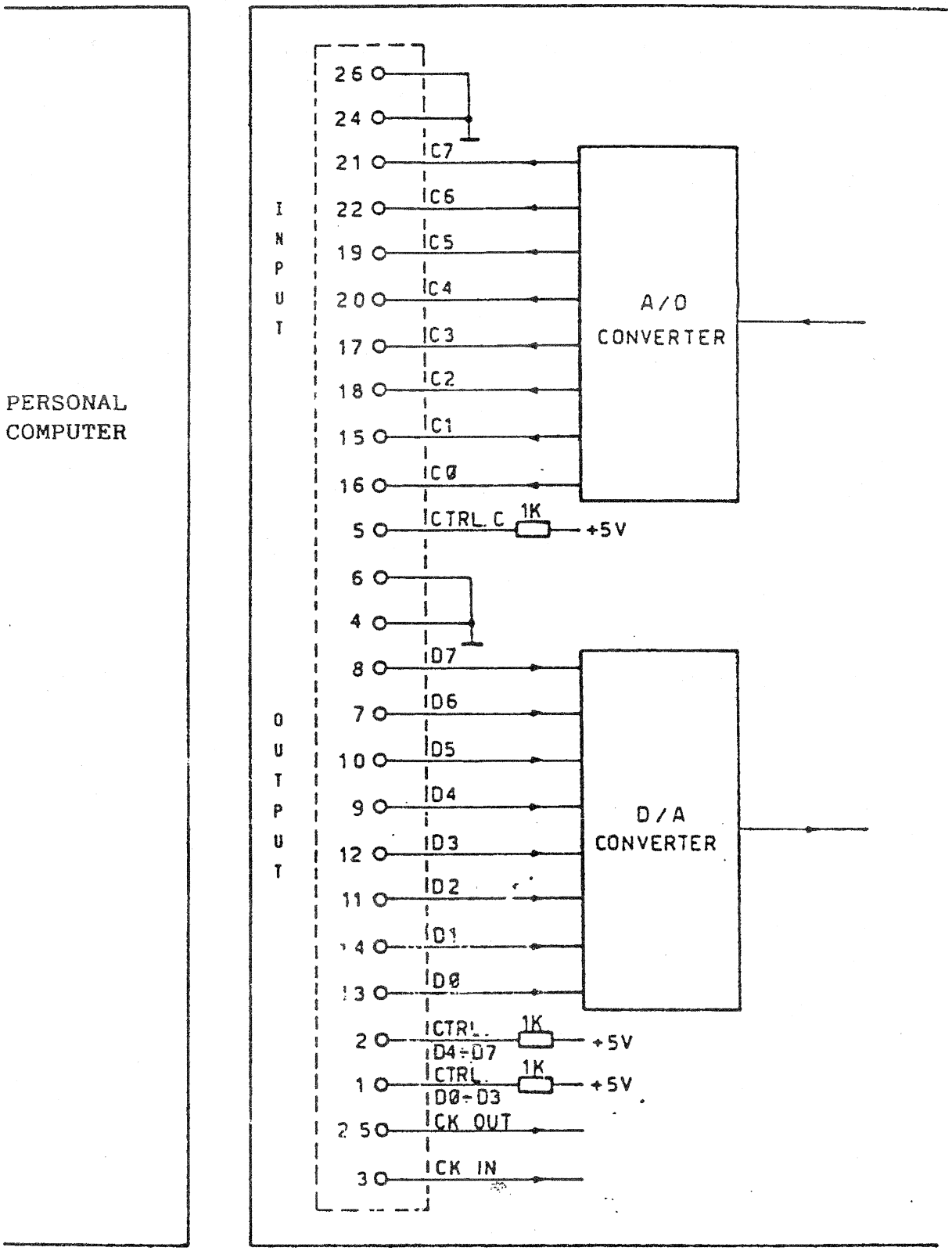
ใช้พอร์ท C ทดสอบ

2 โครงสร้างของการต่อ

หลังจากทำการต่อตามรายละเอียดต่างๆแล้ว พอร์ท C จะต้องต่อกับโมดูล F03A ซึ่งเป็นพอร์ทขนานรายละเอียดดูได้จากรูปที่ 1

- ข้อมูลจากตัวแปลงสัญญาณ A/D จะส่งออกไปผ่านพอร์ท C
- พอร์ท C จะต้องกำหนดให้เป็นอินพุท การควบคุมพอร์ท C ขึ้นอยู่กับสายควบคุมเส้นที่ 5 ซึ่งจะต้องตั้งให้เท่ากับ 1

ตารางที่สมบูรณ์ของรายละเอียดเกี่ยวกับพอร์ท ตำแหน่ง และความหมายของสัญญาณดูได้จากรูปที่ 2


PERSONAL
COMPUTER
INPUT
OUTPUT
26
24
21
22
19
20
17
18
15
16
5
6
4
8
7
10
9
12
11
14
13
2
1
25
3
IC7
IC6
IC5
IC4
IC3
IC2
IC1
IC0
CTRL C
1K
+5V
A/D
CONVERTER
D7
D6
D5
D4
D3
D2
D1
D0
CTRL
D4÷D7
CTRL
D0÷D3
CK OUT
CK IN
D/A
CONVERTER

รูป 1

พอร์ท	บิทสัญญาณ	ทิศทาง	ตำแหน่ง
C	C7 บิทที่ 7	อินพุท	ƐH302
	C6 บิทที่ 6		
	C5 บิทที่ 5		
	C4 บิทที่ 4		
	C3 บิทที่ 3		
	C2 บิทที่ 2		
	C1 บิทที่ 1		
	C0 บิทที่ 0		
	CTRL.C พอร์ท C ควบคุมทิศทาง		
	D7 บิทที่ 7	เอ๊าพุท	ƐH303
	D6 บิทที่ 6		
	D5 บิทที่ 5		
	D4 บิทที่ 4		
	D3 บิทที่ 3		
	D2 บิทที่ 2		
	D1 บิทที่ 1		
	D07 บิทที่ 0		
	CTRL.D4+D7 พอร์ท D ควบคุมทิศทาง บิท 0 + 3		
	CTRL.D0+D3 พอร์ท D ควบคุมทิศทาง บิท 0 + 3		
	CK-INPUT อินพุทสัญญาณนาฬิกา	อินพุท	
	CK-OUTPUT เอ๊าพุทสัญญาณนาฬิกา	เอ๊าพุท	

รูป 2