	ใบงานที่ 3	ครั้งที่ 13
	หน่วยที่ 3 LVDT (Linear Variable Differential Transformer)	รวม 9 ชั่วโมง
เรื่อง ทรานสดิวเซอร์วัดตำแหน่ง(LVDT)		จำนวน 90 นาที
ชื่อ.....ชั้น ..... วันที่ ...../...../255.....		

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณให้ทำงานได้ถูกต้อง เมื่อระยะวัดเป็น 0 มม. จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตเป็น 0 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตเป็น +8 โวลต์เมื่อระยะที่วัดได้เท่ากับ 25 มม.
2. เพื่อวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของแกนของ LVDT กับแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ที่เทอร์มินอล 11
3. เพื่อวัดและลากเส้นหาความสัมพันธ์จากกราฟระหว่างระยะทางของแกนของ LVDT กับแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ที่เทอร์มินอล 11
4. เพื่อหาค่าความเป็นเชิงเส้นที่ได้จากคุณลักษณะการทำงานของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียน เรียนจบแล้วสามารถ

1.1 ปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณให้ทำงานได้ถูกต้อง เมื่อระยะวัดเป็น 0 มม. จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตเป็น 0 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตเป็น +8 โวลต์เมื่อระยะที่วัดได้เท่ากับ 25 มม.ได้

1.2 วัดหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของแกนของ LVDT กับแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ที่เทอร์มินอล 11 ได้

1.3 วัดและลากเส้นหาความสัมพันธ์จากกราฟระหว่างระยะทางของแกนของ LVDT กับแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ที่เทอร์มินอล 11 ได้

1.4 หาค่าความเป็นเชิงเส้นที่ได้จากคุณลักษณะการทำงานของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 3 ½ หลัก (รุ่น MD-79/EV)
2. แหล่งจ่ายไฟ +/-12V
3. เกจน์ (1/10 หรือ 1/20)
4. ออสซิลโลสโคปแบบ dual-trace

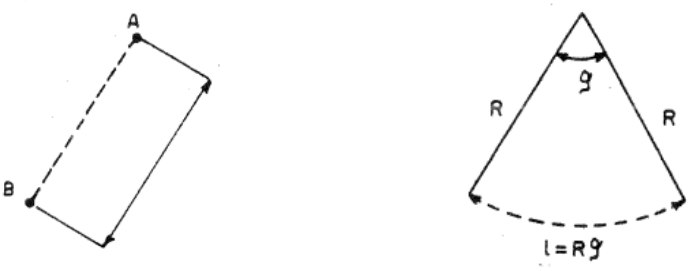
ทฤษฎี

หลักการวัดตำแหน่ง

ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดตำแหน่งประกอบด้วยการวัดความยาว และการวัดขนาดของมุมระหว่างวัตถุสองชิ้น ดังนั้นเราจะต้องหาค่าสองค่าด้วยกัน คือ 1 = R ϑ (เมื่อ ϑ มีหน่วยเป็นเรเดียน และ R เราทราบค่า)ความยาวของวัตถุและขนาดของมุมนั้นสามารถถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณทางไฟฟ้าได้โดยใช้เซนเซอร์ได้หลายแบบ ทรานสดิวเซอร์นั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากระบบหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกระบบหนึ่ง (เช่นระบบไฟฟ้า) โดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ ดังนั้นเราสามารถแบ่งทรานสดิวเซอร์ออกเป็นสามกลุ่มดังนี้

- ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าโดยไม่ใช้สนามแม่เหล็ก
- ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าโดยใช้สนามแม่เหล็ก
- ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้การสร้างรหัส

ทรานสดิวเซอร์ที่จะกล่าวถึงในคู่มือเล่มนี้นั้นจะเป็นทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1.1

1.1 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าโดยไม่ใช้สนามแม่เหล็ก ทรานสดิวเซอร์แบบนี้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้าได้โดยการใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า กลุ่มของทรานสดิวเซอร์แบบนี้ได้แก่ทรานสดิวเซอร์ตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถทำงานได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุเมื่อขนาดของแผ่นเพลทเปลี่ยนไปดังนี้

C = ϑ S/D

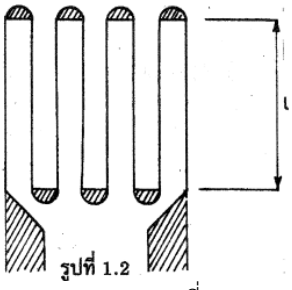
ถ้า S มีค่าแปรผันระหว่าง 1 ถึง ϑ ก็จะทำให้ทรานสดิวเซอร์นี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความจะได้อย่างเป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างของการใช้งานทรานสดิวเซอร์ประเภทนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางฟิสิกส์ได้แก่การวัดการสั่นสะเทือน (คล้ายกับหลักการสั่นสะเทือนของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน) หรืออุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับของของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้าในแทงค์

ทรานสดิวเซอร์แบบอื่น ๆ ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าได้แก่ค่าความต้านทานหรือโพเทนชิโอมิเตอร์ทรานสดิวเซอร์ มีหลักการทางฟิสิกส์คือการยอมให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมันอย่างจำกัดเมื่อขนาดเปลี่ยนไปดังนี้

R = ρ 1/S

ตัวอย่างของการใช้งานทรานสดิวเซอร์นี้จะตั้งอยู่บนหลักการของการนำไฟฟ้า ทรานสดิวเซอร์แบบปรับเลื่อนเชิงเส้นหรือแบบปรับหมุนเป็นทรานสดิวเซอร์ที่มีขนาดใหญ่แต่มีค่าความถูกต้องสูง จากลักษณะของวัสดุที่ใช้งานทรานสดิวเซอร์นี้สามารถแบ่งเป็นโพเทนชิโอมิเตอร์แบบ Slide-wire และโพเทชิโอมิเตอร์แบบแผ่นฟิล์ม (ซึ่งฟิล์มนี้อาจจะเป็นโลหะ, ตัวนำไฟฟ้าพลาสติกหรือซีเมนต์)



รูปที่ 1.2

รูปที่ 1.2

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าแบบอื่นๆ สำหรับการวัดตำแหน่งนั้นคือการใช้หลักการเปียซโซ ซึ่งค่าความต้านทานของวัสดุที่ใช้นั้นจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเกิดความเครียดดังนี้

ϑR = kϑ1 ρ/S

ทรานสดิวเซอร์นี้มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับสเตรนเกจน์ ซึ่งมันใช้ในการวัดความเครียดของผิววัสดุในทิศทางที่ต้องการ และมักนำไปใช้ในการวัดน้ำหนัก, แรง หรือแรงดันตามรูปที่ 1.2

1.2 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าโดยใช้สนามแม่เหล็ก ทรานสดิวเซอร์ประเภทนี้จะทำหน้าที่คล้ายกับมิเตอร์วัดปริมาณฟลักซ์ ΦC รอบๆ บริเวณปิด บริเวณหนึ่งที่กำหนดโดยลวดตัวนำไฟฟ้า การวัดนั้นจะประกอบด้วยการกำหนดค่าความต่างศักย์ที่วงจรไฟฟ้าสร้างขึ้นกับลวดตัวนำในสภาพที่วงจรเปิดจะเสมือนไม่มีโหลด การวัดจะเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์นิวแมน (Faraday-Newmann's law)

Ev = -dΦ/dt

ฟลักซ์ ΦC และลวดตัวนำนั้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันตามสมการต่อไปนี้

ΦC = Φg f(1)

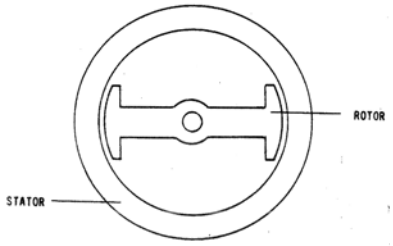
เมื่อ Φg คือฟลักซ์ทั่วๆ ไป (มีค่าคงที่) , 1 คือความยาวหรือมุม ϑ ที่ต้องการวัดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกในรูปของ ev

จากที่อธิบายการทำงานมาทั้งหมดนั้นทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีดังนี้

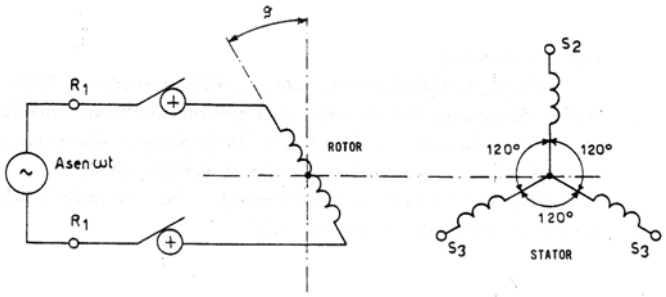
- ซิงโคร
- ซิงโครรีโซลเวอร์
- LVDT

1.1.1 ซิงโคร (Synchro) ซิงโครคืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีหลายแบบและสามารถใช้ได้ในงานหลายประเภท ซิงโครนั้นมักใช้ในการวัดมุมและเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีด้านปฐมภูมิซึ่งประกอบด้วย salient-pole โรเตอร์หนึ่งเฟส ส่วนทุติยภูมิ

จะประกอบด้วยขดลวดของสเตเตอร์ รูปที่ 1.3 แสดงภาพตัดขวาง (ในแนวตั้งฉาก) ของอุปกรณ์ชนิดนี้โดยไม่มีขดลวดทุติยภูมิประกอบด้วยขดลวด 3 ขดต่อกันแบบสตาร์ ทำให้แต่ละแกนทางไฟฟ้าห่างกัน 120 องศา รูปที่ 1.4 แสดงไดอะแกรมทางไฟฟ้าของซิงโคร



รูปที่ 1.3



รูปท 1.4

มุม ϑ ของโรเตอร์นั้นถูกวัดจากมุมทางไฟฟ้าของขดลวดที่จุดเทอร์มินอล S2 เพราะฉะนั้นจะต้องให้สัญญาณซายน์ที่มีขนาดคงที่และมีความถี่ ω ที่ด้านปฐมภูมิ ในการวัดในขณะที่ไม่มีโหลดคร่อมจุดกึ่งกลางกับเทอร์มินอลไดเทอร์มินอลหนึ่งของทุติยภูมิดังนี้

ev20 = Ev cos ϑ sin ωt

ev30 = Ev cos (120 - ϑ) sin ωt

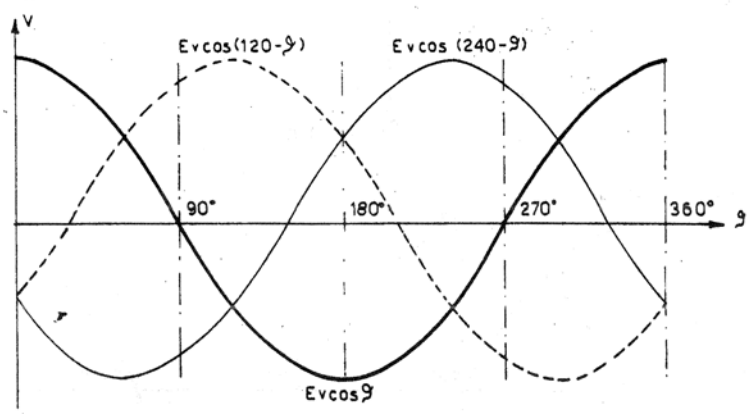
ev10° = Ev cos (240 - ϑ) sin ωt

รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของค่าของ Ev cos ϑ , Ev cos (120 - ϑ) และ Ev cos (240- ϑ) ตามมุม ϑ ของโรเตอร์ (ϑ มีค่าเป็นบวกเมื่อมุมทวนเข็มนาฬิกา) แรงดันที่ได้สามารถวัดได้ดังนี้

ev12 = ev10 – ev20 = √3 Ev sin (240 + ϑ) sin ωt

ev23 = ev20 – ev30 = √3 Ev sin (120 + ϑ) sin ωt

ev31 = ev30 – ev10 = √3 Ev sin ϑ sin ωt



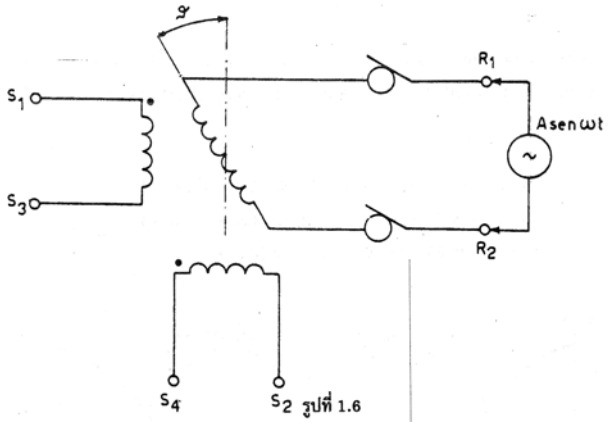
รูปที่ 1.5

ขนาดของมุมนั้นสามารถคำนวณหาได้จากแรงดันทั้งสามนี้

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจะมีความถี่มาตรฐานตั้งแต่ 50Hz ถึง 1000 Hz และมีค่าแรงดันตั้งแต่ 4 ถึง 115 Vrms

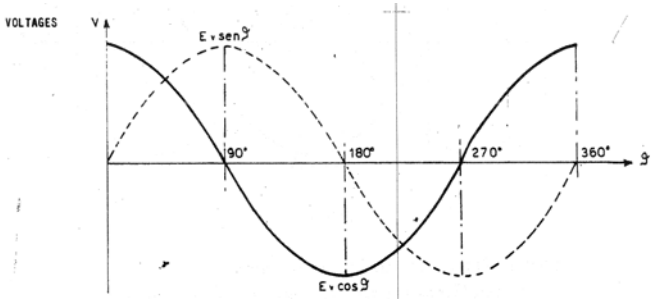
1.2.2 ซิงโครรีโซลเวอร์ (Synchro resolver)

ทรานสดิวเซอร์แบบนี้คล้ายกับซิงโคร โดยประกอบด้วยสเตเตอร์และโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่ ด้านทุติยภูมิจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ซึ่งมีมุมทางไฟฟ้าห่างกัน 90 องศา



รูปที่ 1.6 แสดงไดอะแกรมทางไฟฟ้าของซิงโครรีโซลเวอร์

มุมของโรเตอร์ ϑ จะถูกวัดตั้งแต่แกนไฟฟ้าของขดลวดที่ต่อกับเทอร์มินอล S1 และ S3 เพราะฉะนั้นเราจะต้องป้อนสัญญาณซายน์ที่มีขนาดคงที่และมีความถี่ ωที่ปฐมภูมิ (โรเตอร์)



รูปที่ 1.7

เราสามารถวัดแรงดันขณะไม่มีโหลดคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิได้ดังนี้

$$ev\ S_{1,3} = Ev\ \cos\ \vartheta\ \sin\ \omega t$$

$$ev\ S_{4,2} = Ev\ \sin\ \vartheta\ \sin\ \omega t$$

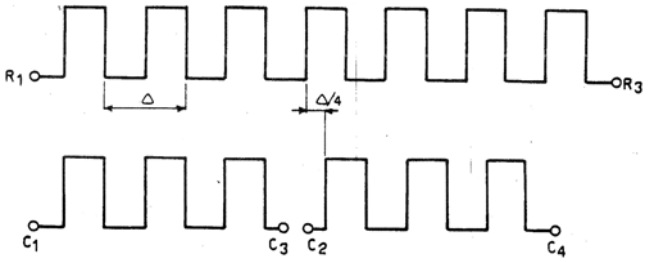
รูปที่ 1.7 แสดงกราฟของแรงดัน Ev cos ϑ และ Ev sin ϑ ตามมุม ϑ ของโรเตอร์ที่เปลี่ยนไป (ϑ มีค่าเป็นบวกเมื่อมุมทวนเข็มนาฬิกา) ซิงโครรีโซลเวอร์ที่ทำงานแบบนี้จะเรียกว่าตัวส่ง (transmitter) ซึ่งเราสามารถคำนวณหามุม ϑ ได้จากแรงดันที่วัดได้ทั้งสองนี้ แรงดันที่เหนี่ยวนำที่โรเตอร์มีค่าดังนี้

$$evR = Ev(\cos\ \vartheta\ \sin\ \vartheta - \sin\ \vartheta\ \cos\ \vartheta)\ \sin\ \omega t$$

เมื่อ ϑ คือขนาดของมุมโรเตอร์ของซิงโครรีโซลเวอร์

รีโซลเวอร์นั้นจะถูกใช้งานกับโรเตอร์ที่มีขดลวด 2 ขดบ่อย ๆ ซึ่งมีมุมทางไฟฟ้าห่างกัน 90 องศา แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระแสสลับจะมีความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 10kHz และมีแรงดันตั้งแต่ 4 ถึง 115 Vrms

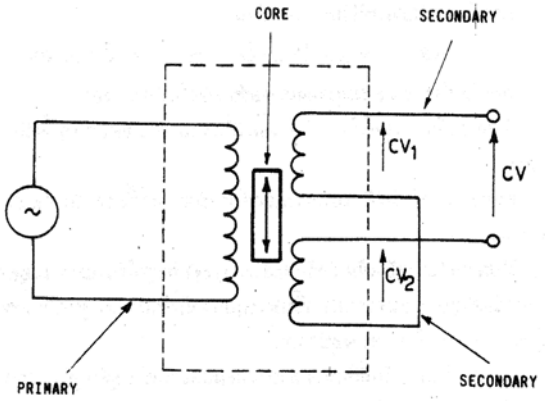
รีโซลเวอร์แบบเชิงเส้น (หรือ inductosyns) จะถูกใช้งานมากในอุตสาหกรรม ทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ของอุปกรณ์นี้จะถูกสร้างขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ รูปที่ 1.8 แสดงไดอะแกรมของโครงสร้างอุปกรณ์นี้ อุปกรณ์ที่ติดอยู่กับที่คือลวดตัวนำและมีขดลวดด้านทุติยภูมิหนึ่งขด ส่วนอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้เรียกว่าสไลเดอร์และมีขดลวดปฐมภูมิสองขด



รูปที่ 1.8

1.2.3 **LVDT**

อุปกรณ์ Linear **Differential** Transformer (LDT) หรือ Linear Variable Differential Transformer (LVDT) แสดงโครงสร้างการทำงานตามรูปที่ 1.9 ซึ่งเป็นวงจรของหม้อแปลงประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ (จ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ) และขดลวดด้านทุติยภูมิสองขด (ต่อกันในทิศทางตรงกันข้าม) โดยพันอยู่รอบแกนที่ไม่มีคุณสมบัติทางเฟอร์โรแมกเนติค และมีแกนเฟอร์โรแมกเนติคที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระอยู่ภายใน



รูปที่ 1.9

ถ้าแกนภายในนี้อยู่ในจุดสมมาตรแล้วจะทำให้ขดลวดทุติยภูมิทั้งสองสามารถเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากันในทางอุดมคติ เพราะฉะนั้นเมื่อขดลวดทั้งสองนี้ต่อกลับด้านกันก็จะทำให้แรงดันรวมของขดลวดทั้งสองมีค่าเท่ากับศูนย์

ในทางตรงกันข้ามถ้าแกนภายในไม่อยู่ในจุดกึ่งกลางเมื่อเทียบกับขดลวดทุติยภูมิทั้งสองจะทำให้ฟลั๊กซ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขดลวดทั้งสองนั้นมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิทั้งสองเหนี่ยวนำได้มีค่าไม่เท่ากัน จึงได้แรงดันรวมระหว่างขดลวดทั้งสองมีค่าไม่เท่ากับศูนย์

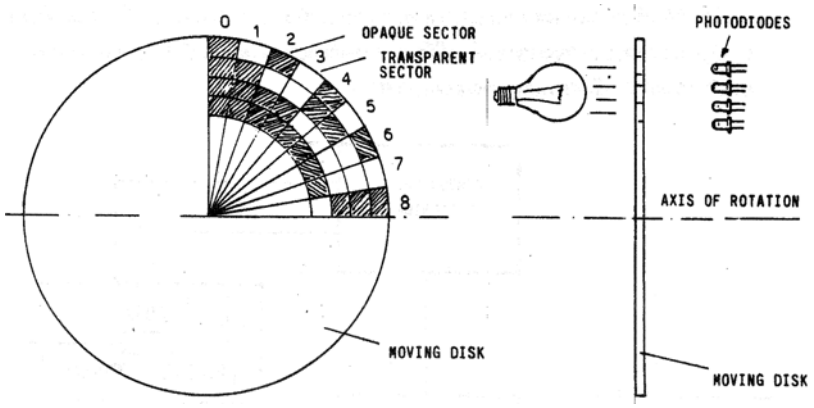
ระยะทางในการเคลื่อนที่เทียบกับแรงดันไฟฟ้ารวมที่ได้จากขดลวดทุติยภูมิทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงเส้น เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับด้านปฐมภูมิ

โดยปกติแล้วความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้นั้นจะมีค่าระหว่าง 50 Hz ถึง 10 kHz ในขณะที่ขนาดของแรงดันมีค่าไม่เกิน 50V ระยะทางที่ LDT สามารถวัดได้จะมีค่าต่ำสุดจาก 150 มม. ถึงมากที่สุดที่ 150 มม. (อีกด้านหนึ่ง) โดยมีค่าความถูกต้องในการวัดประมาณ 0.1%

1.3 ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้รหัส

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะเรียกว่า absolute encoder โดยให้เอาต์พุตในรูปของสัญญาณดิจิตอลในขณะที่ระยะทางหรือมุมที่วัดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทรานสดิวเซอร์แบบนี้ปกติจะกอบไปด้วยแผ่นจานที่หมุนได้ โดยมีการพิมพ์รหัสไว้บนแผ่นจานนี้ตามต้องการ การหมุนของแผ่นจานนี้จะสัมพันธ์กับมุมหรือระยะทางเป็นแบบเชิงเส้นการอ่านค่าที่วัดได้จากการวัดนั้นจะอ่านมาจากรหัสที่อ่านได้บนแผ่นจานที่เปลี่ยนไป ซึ่งโดยส่วนมากแล้วรหัสที่ได้นั้นเกิดจากแถบรหัสที่ทาบนแผ่นจานที่ใส (ดูรูปที่ 1.10)

ทรานสดิวเซอร์แบบนี้จะมีคุณสมบัติของการจัดระดับสัญญาณเพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการวัดเป็นสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุต



รูปที่ 1.10

1.4 **ตัวปรับสภาพสัญญาณที่ใช้ในทรานสดิวเซอร์วัดตำแหน่ง**

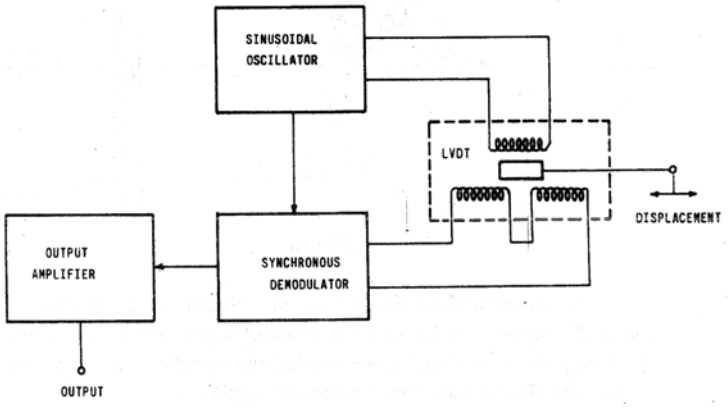
ตัวปรับสภาพสัญญาณที่ใช้ทรานสดิวเซอร์แบบตัวเก็บประจุจะมีความซับซ้อนมาก โดยวงจรจะประกอบด้วยออสซิลเลเตอร์แบบซอปเปอร์และดีมอดูเลเตอร์ (เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุต) สำหรับใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าของตัวเก็บประจุ

วงจรเชื่อมต่อของทรานสดิวเซอร์ด้วยหลักการเปียซโซนั้นประกอบด้วยวงจร instrumentation differential amplifier (ที่มีอัตราการขยายสูง ในกรณีที่ใช้สเตรนเกจน์) และวงจรสร้างแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ตัวปรับสภาพสัญญาณที่ใช้กับตัวต้านทานและโพเทชิโอมิเตอร์ทรานสดิวเซอร์นั้นจะเป็นวงจรที่ง่ายๆ และจะให้แรงดันเอาต์พุตที่ดีและสามารถอ่านได้ง่าย

วงจรเชื่อมต่อสำหรับทรานสดิวเซอร์แบบซิงโครและซิงโครรีโซลเวอร์จะมีความยุ่งยากมากโดยจะต้องทำการหามุม ϑ จากสัญญาณซายน์ 3 หรือ 2 สัญญาณที่ได้มาจากทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะต้องใช้วงจรคำนวณและจำเป็นต้องใช้วงจรแสดงผลแบบตัวเลขซึ่งมีความซับซ้อนมาก

ตัวปรับสภาพสัญญาณสำหรับ LVDT นั้นก็มีความยุ่งยากมากเช่นกัน ในความเป็นจริงแล้วจะต้องสร้างวงจรสร้างสัญญาณซายน์ (สำหรับจ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิ) , ดีมอดูเลเตอร์แบบซิงโครนัส (สำหรับการแปลงขนาดและเฟสของสัญญาณเอาต์พุทของ LVDT ให้เป็นระยะที่ต้องการทราบ) และภาคขยายสัญญาณเอาต์พุตที่มีวงจรกรองสัญญาณด้วย รูปที่ 1.11 แสดงไดอะแกรมการทำงานขอตัวปรับสภาพสัญญาณของ LVDT



รูปที่ 1.11

1.5 คุณสมบัติหลักของ LVDT

คุณสมบัติหลักที่ใช้ในการกำหนดลักษณะการนำไปใช้งานและคุณภาพของ LVDT คือ

- แรงดันอินพุต โดยปกติมักจะกำหนดเป็นค่า rms ของสัญญาณซายน์ สำหรับจ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิ
- ความถี่ของสัญญาณอินพุต คือ ความถี่ของสัญญาณอินพุตที่สามารถป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิได้
- ย่านการวัดที่เป็นเชิงเส้น คือระยะสูงสุดที่ทรานสดิวเซอร์สามารถวัดได้โดยค่าที่วัดได้ยังแปรผันเชิงเส้นกับระยะที่วัด
- อิมพีแดนซ์ของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ
- อุณหภูมิในการทำงาน

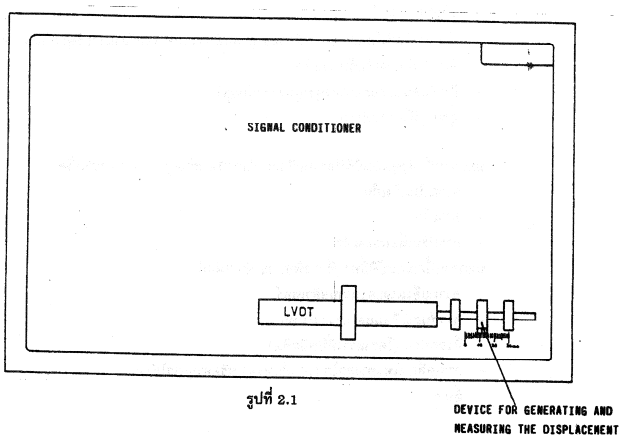
นอกจากนี้แล้วคุณสมบัติที่ทรานสดิวเซอร์ต้องมีสำหรับคุณภาพในการวัดคือ

- ความเป็นเชิงเส้น
- ความไว
- การปรับเลื่อนของเฟส

นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ที่ควรพิจารณาด้วยได้แก่

- ความแข็งแรงของทรานสดิวเซอร์
- การสั่นสะเทือนและการกระแทก
- สิ่งสกปรก (โครงสร้างที่ปิดมิดชิด)
- การเคลื่อนไหวทางกลไก (การสึกหรอ) หรืออายุการใช้งาน
- อื่นๆ

ชุดทดลองนี้คือชุดทดลองการวัดตำแหน่งด้วย LVDT ซึ่งติดตั้งอยู่บนแผงทดลองที่มีตัวปรับสภาพสัญญาณ, ทรานสดิวเซอร์ และอุปกรณ์สำหรับการวัดตำแหน่งอย่างง่าย

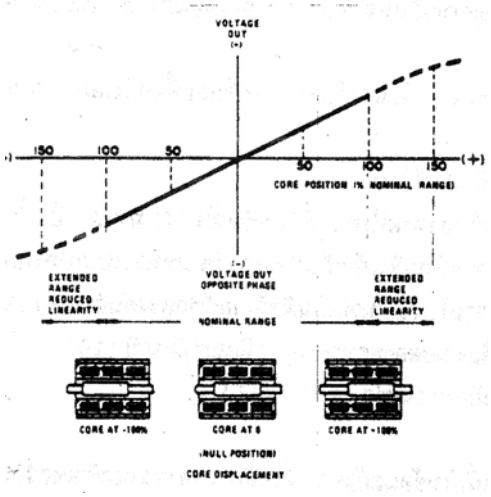


รูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1

2.1 LVDT

LDVT คือทรานสดิวเซอร์แบบไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนไหวทางกล โดยให้ผลการวัดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่แปรผันตามระยะของแกนที่เคลื่อนที่ได้จากคุณสมบัตินี้จึงได้ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย ซึ่งคุณสมบัติบางอย่างนั้นจะไม่มีในทรานสดิวเซอร์แบบอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัติหลักนั้นคือโครงสร้างการทำงานของ LVDT ที่มีแกนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่สัมผัสกับอะไร



รูปที่ 2.2 แสดงไดอะแกรมการทำงานและคุณลักษณะของ LVDT

โครงสร้างของ LVDT นั้นจะประกอบด้วยขดลดปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยวางเรียงกันอย่างสมมาตรรอบๆ แกนทรางกระบอก แกนแม่เหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายในแกนทรงกระบอกนี้ และเป็นทางผ่านของสนามแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิไปยังขดลวดทุติยภูมิ

เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับกำลังงานจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับภายนอก จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิทั้งสอง ซึ่งขดลวดทุติยภูมิทั้งสองนี้ต่อกันแบบอนุกรมแต่มีทิศทางตรงกันข้าม จึงทำให้ขั้วของแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นมานี้มีทิศตรงกันข้ามด้วย

เพราะฉะนั้นเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์จึงเกิดจากแรงดันของขดลวดทุติยภูมิทั้งสองรวมกัน และจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อแกนแม่เหล็กนี้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง แต่เมื่อแกนแม่เหล็กนี้เคลื่อนที่จากตำแหน่งกึ่งกลางจะทำให้ขดลวดทุติยภูมิด้านที่แกนแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า ส่วนขดลวดทุติยภูมิอีกด้านหนึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าได้น้อยกว่าจะทำให้แรงดันรวมระหว่างขดลวดทั้งสองมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทางการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็ก

อุปกรณ์ LVDT ที่ใช้ในแผงการทดลองนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัท Schaevitz ซึ่งเป็นรุ่น E500 โดยมีคุณลักษณะและคุณสมบัติการทำงานตามหน้า 19-20-21 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มาจากผู้ผลิต จากข้อมูลนี้จะทำให้เราสามารถเข้าใจลักษณะและการนำไปใช้งานของทรานสดิวเซอร์ตัวนี้ข้อมูลชุดแรกเป็นข้อมูลทางกลไก (1) และใบสั่งสินค้า (3) ซึ่งทั้งสองส่วนจะแสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (2) คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปคือแรงดันอินพุต (ปกติเป็นค่า rms) (4), ย่านความถี่ของสัญญาณอินพุต (5) และอุณหภูมิการทำงานของ ทรานสดิวเซอร์ที่สามารถใช้งานได้ (6)

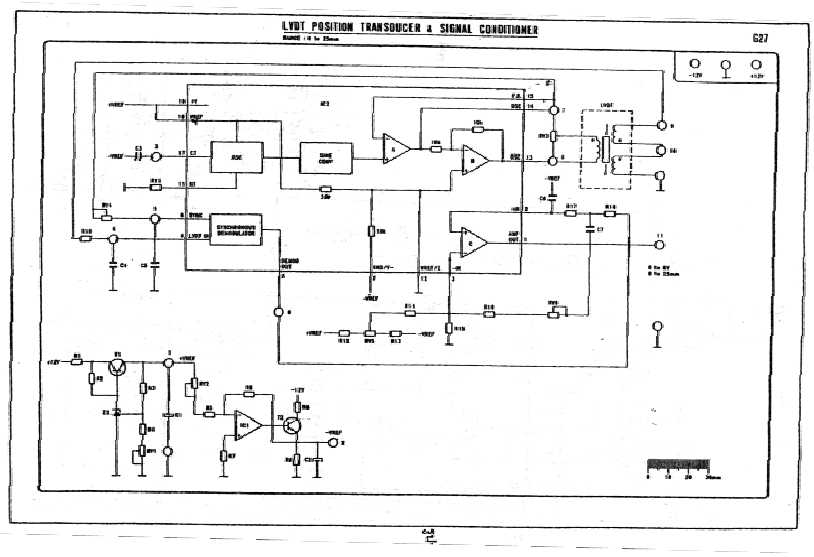
คุณสมบัติอื่นๆ คือแรงดันที่แกนเหล็กอยู่ที่จุดกึ่งกลาง, การทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทก

คุณสมบัติหลักมีดังนี้

- แรงดันเอาต์พุตในช่วงที่เป็นเชิงเส้น (7) มีหน่วยเป็นนิ้ว (1 นิ้วเท่ากับ 2.54 ซม.)
- ค่าความเป็นเชิงเส้นเต็มย่านการวัด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (8)
- ค่าความไว (มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ต่อแรงดันอินพุต) (9)
- อิมพีแดนซ์ของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (10)
- การเลื่อนของเฟส (องศา) (11)

นอกจากนั้นในข้อมูลยังบอกน้ำหนัก (ของทรานสดิวเซอร์และแกน) (12) และขนาดและมิติ (13) ข้อมูลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความถี่ที่ใช้ในการทำงานของ LVDT (14) ข้อมูลในชุดที่ 2 คือ รายงานการปรับแต่งและทดสอบของทรานสดิวเซอร์สำหรับใช้ในการออกแบบทำงาน ทรานสดิวเซอร์นี้จะติดตั้งอยู่บนแผงทดลองและมีแกนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งมีสเกลเป็นตัวบอกระยะไว้สำหรับเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก LVDT

2.2 ตัวปรับสภาพสัญญาณ



รูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมพร้อมแสดงค่าของอุปกรณ์แต่ละตัวของตัวปรับสภาพสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณเอาต์พุต

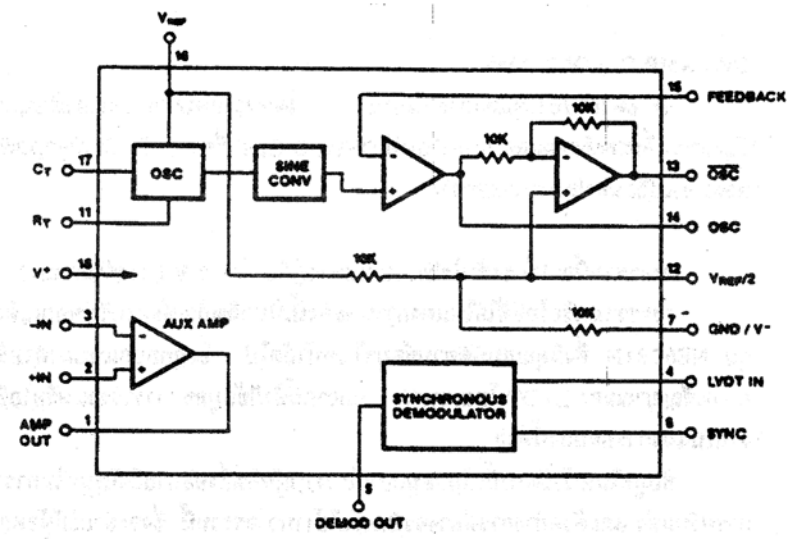
ตัวปรับสภาพสัญญาณของ LVDT นี้เป็นวงจรที่มีความซับซ้อนมาก โดยเป็นวงจรที่ต้องหาวัดค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันจากขดลวดทุติยภูมิทั้งสองและให้เอาต์พุต ออกมาเป็นค่าที่บ่งบอกระยะทางที่แกนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ ตัวปรับสภาพสัญญาณจะป้อนสัญญาณซายน์ที่มีความถี่ตามต้องการให้กับขดลวดปฐมภูมิของ LVDT ตัวทรานสดิวเซอร์จะเชื่อมต่อกับตัวปรับสภาพสัญญาณภายในแผงการทดลองเรียบร้อยแล้ว ในการทำงานนั้นจะต้องต่อแผงทดลองนี้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน +/- 12 โวลต์

2.2.1 แรงดันอ้างอิง

แรงดันอ้างอิงมีขนาด +8 โวลต์และ -8 โวลต์ ซึ่งใช้สำหรับตัวปรับสภาพสัญญาณ โดยวงจรที่สร้างแรงดันอ้างอิงนี้ประกอบด้วยตัวสร้างแรงดันอ้างอิง Z1 ซึ่งถูกไบแอสโดย R2, R3, R4 และ RV1 ทำให้ได้แรงดันขนาด 8 โวลต์ตกคร่อมระหว่างขาคาโธด (ซึ่งสามารถปรับค่าได้ที่ RV1) แรงดันนี้จะเสถียรภาพมากและไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แรงดันอ้างอิงเอาต์พุตนี้จะผ่านวงจรบัฟเฟอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ T1 ออปแอมป์ IC1 (ต่อกับ T2 สำหรับขยายกระแส) จะกลับแรงดัน +/8.00 โวลต์นี้ให้เป็นแรงดัน -8.00 โวลต์ที่สามารถปรับค่าได้โดย RV2

2.2.2 วงจรรวมสำหรับปรับสภาพสัญญาณของ LVDT (NE5521N)

วงจรรวมนี้จะให้สัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตที่มีค่าแปรผันตามระยะทางของแกนแม่เหล็กของทรานสดิวเซอร์ รูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมของวงจรรวมนี้ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5

OSC

ออสซิลเลเตอร์สำหรับสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งมีความถี่ตามค่าของตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 17 (CT) ตามสมการดังนี้

Fosc = 110 / CT CT มีหน่วยเป็น μF

SINE CONV

ประกอบด้วยโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณซายน์ที่มีความเพี้ยนต่ำ

OP AMP A และ B

เป็นตัวบัฟเฟอร์สัญญาณซายน์ที่มาจากภาค SINE CONV แล้วให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสตรงกันข้ามที่ขา 13 (OSC) และขา 14 (OSC) สัญญาณจากขา 13 และ 14 นี้จะป้อนให้กับขดลวดปฐมภูมิของ LVDT

SYNC DEMOD

เป็นตัวกรองสัญญาณแบบเต็มคลื่นโดยมีเฟสที่ซิงโครไนซ์ด้วยสัญญาณเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ขา 6 (SYNC) เพื่อทำให้ได้ค่าตำแหน่งของการวัดที่ถูกต้อง ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของขดลวดทุติยภูมิของ LVDT

OPA AMP C – OUT AMP

จะใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน โดยประกอบด้วยตัวกรองสัญญาณทำหน้าที่กำจัดสัญญาณคลื่นพาห์ออกและให้เอาต์พุตที่ DEMOD OUT ที่ขา 1 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องและมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง วงจรรวมนี้จะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคู่คือ +/-8V (แรงดันอ้างอิง) วงจรรวมหรือไอซีที่ใช้แผงการทดลองนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทซิกเนติค รุ่น NE5521N ซึ่งมีคุณสมบัติตามข้อมูลในหน้าถัดไป ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับใช้เป็นตัวปรับสภาพสัญญาณของ LVDT โดยเฉพาะ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลของวงจรรวมหรือไอซีเบอร์อื่นๆ ที่ใช้งานในแผงการทดลองนี้ด้วย

ข้อมูลในหน้าถัดไปนี้เป็นข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตซึ่งอธิบายถึงโหมดในการทำงาน การปรับแต่ง และตัวอย่างการต่อวงจรสำหรับใช้งานวงจรรวมนี้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถนำวงจรรวมนี้ไปใช้งานได้ง่ายดายยิ่งขึ้น

การทดลอง วีธีที่ดีที่สุดในการศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดตำแหน่งและตัวปรับสภาพสัญญาณนั้นคือการทดลอง ระยะมาตรฐาน (หรือตำแหน่ง) นั้นจะถูกวัดเป็นอัตราส่วน 1/20

3.1 การปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อเทอร์มินอล +/-12 V , 0 V กับแหล่งจ่ายไฟ
2. ต่อโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลวัดระหว่างจุด +8 V กับกราวด์
3. ปรับ RV1 ให้อ่านค่าจากมิเตอร์ได้ +8.00 V ที่จุดเทอร์มินอล +VREF และตรวจวัดที่แรงดัน -8V จากจุดเทอร์มินอล –VREF
3. ตรวจวัดสัญญาณสามเหลี่ยม (มีขนาด 4 Vpp ความถี่ประมาณ 2500 Hz) จากเทอร์มินอล 17
4. ทดสอบปรับเลื่อน LVDT ให้ไปด้านซ้ายและขวาสุด ปรับ RV3 เพื่อสร้างสัญญาณซายน์ขนาด 1 Vpp ที่เทอร์มินอล 4
5. ต่อแชนแนล A ของออสซิลโลสโคปกับเทอร์มินอล 4 และแชนแนล B กับเทอร์มินอล 5 ปรับ RV4 (ค่าความผิดพลาดของเฟส) เพื่อให้สัญญาณ 2 สัญญาณที่มีเฟสเดียวกัน ในกรณีที่แกนของ LVDT เลื่อนไปทางขวาสุด และมีเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา ในกรณีที่แกนของ LVDT เลื่อนไปทางซ้ายสุด
6. ตรวจวัดดูว่าสัญญาณที่วัดได้ที่จุดเทอร์มินอล 6 มีค่าเป็นลบเมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปทางซ้าย และมีค่าเป็นบวกเมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปทางขวา แรงดันที่อ่านได้จากมิเตอร์ควรมีค่าเปลี่ยนไป 0.5 โวลต์เมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปได้ 2.5 มม.
7. ตรวจดูว่าสัญญาณที่วัดได้ที่จุดเทอร์มินอล 6 มีค่าเป็นลบเมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปทางซ้าย และมีค่าเป็นบวกเมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปทางขวา แรงดันที่อ่านได้จากมิเตอร์ควรมีค่าเปลี่ยนไป 0.5 โวลต์เมื่อแกนของ LVDT เลื่อนไปได้ 2.5 มม.
8. ปรับแกนของ LVDT ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งเป็นค่าที่สเกลบนแผงทดลองอ่านได้ที่ 12.5 มม. แล้วตรวจวัดแรงดันที่เทอร์มินอล 6 ควรมีค่าเป็น 0 โวลต์ (ถ้าไม่ใช่ให้ปรับเลื่อนตัว LVDT)
9. เลื่อนแกนของ LVDT ไปที่ตำแหน่ง 0 มม. และปรับ RV5 ให้อ่านค่าแรงดันเอาต์พุตจากเทอร์มินอล 11 เป็น 0 โวลต์
10. ปรับเลื่อนแกนของ LVDT ไปที่ตำแหน่ง 25 มม. และปรับ RV6 ให้ได้แรงดันที่จุดเทอร์มินอล 11 เป็น +8 โวลต์

ผลการทดลอง.....

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกับแรงดัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณตามการทดลองที่ 3.1 ต่อโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลวัดระหว่างเอาต์พุตเทอร์มินอล 11 กับกราวด์
2. ปรับเลื่อนแกนของ LVDT ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลาง
3. อ่านระยะที่แกนของ LVDT เลื่อนไปจากสเกลในหน่วยมิลลิเมตร และอ่านค่าแรงดันที่วัดได้จากมิเตอร์
3. บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 3.1

N	L(mm)	Vout (volt)

ตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จาก LVDT

รูปที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ในแกนตั้ง และตัวปรับสภาพสัญญาณกับระยะของแกนของ LVDT (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร) ในแกนนอน โดยนำค่าที่ได้จากตารางที่ 3.1 มาวาดลงบนกราฟแล้วลากเส้นระหว่างจุดบนกราฟหาความสัมพันธ์โดยรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้นั้นจะเป็นแบบเชิงเส้น นั่นหมายความว่าระยะที่แกนของ LVDT เลื่อนไปก็จะทำให้แรงดันที่อ่านได้เปลี่ยนไปในขนาดเดียวกัน

3.3 การหาความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณตามการทดลองที่ 3.1

2. ต่อโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลวัดระหว่างเอาต์พุตเทอร์มินอล 11 กับกราวด์

3. อ่านระยะที่แกนของ LVDT เลื่อนไปจากสเกลในหน่วยมิลลิเมตร ทีละ 2 มม. จนสุดระยะที่ 25 มม. ในขณะเดียวกันก็อ่านค่าแรงดันที่วัดได้จากมิเตอร์ แล้วบันทึกค่าระยะทางและแรงดันที่อ่านได้ลงในตารางที่ 3.2

N	L(mm)	Vout (volt)

ตารางที่ 3.2

กราฟที่ได้จากการพล็อตค่าที่ได้จากตารางที่ 3.2 ซึ่งแทนความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จาก LVDT ในแกนตั้ง และตัวปรับสภาพสัญญาณกับระยะของแกนของ LVDT (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร) ในแกนนอน จากกราฟในรูปที่ 3.2 นำมาลากเส้นระหว่างจุดบนกราฟหาความสัมพันธ์โดยรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้นั้นจะเป็นแบบเชิงเส้น นั่นหมายความว่าระยะที่แกนของ LVDT เลื่อนไปก็จะทำให้แรงดันที่อ่านได้เปลี่ยนไปในขนาดเดียวกัน

รูปที่ 3.2 แสดงกราฟที่ได้จากการพล็อตค่าที่ได้จากตารางที่ 3.2

3.4 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์และตัวปรับสภาพสัญญาณ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับแต่งตัวปรับสภาพสัญญาณตามการทดลองที่ 3.1
2. วาดกราฟที่มีการลากเส้นหาความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับระยะที่วัดของทรานสดิวเซอร์ตามการทดลองที่ 3.3 ได้กราฟตามรูปที่ 3.3
3. วาดเส้นสองเส้นขนานกันกับเส้นที่ลากหาความสัมพันธ์ไว้แต่แรก โดยเส้นทั้งสองจะมีตำแหน่งห่างจากเส้นแรกเท่ากับจุดที่มีค่าห่างจากเส้นแรกในแนวตั้งฉากมากที่สุดทั้งสองด้าน
4. อ่านค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันของเส้นทั้งสองที่เพิ่งวาดใหม่จากจุดใดจุดหนึ่งบนแกนนอน

รูปที่ 3.3

5. จากค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันที่อ่านได้นั้นเราสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้นได้ตามสมการดังนี้

$$\pm \frac{1}{2} \frac{V_1 - V_2}{F.S.O} = \text{LINEARITY}$$

โดยปกติค่าที่ได้นี้จะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ ส่วน F.S.O คือ Full Scale Output คือแรงดันสูงสุดที่สามารถอ่านได้จากระยะสูงสุดที่สามารถวัดได้

คำถาม

1. LVDTคือ.....

.....

2. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกับแรงดันได้ผลเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....