บทที่ 1

คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์

1.1 บทนำ

ทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ความหนาแน่น ความชื้น ความหนืด ความนำ น้ำหนัก แสง หรือเปลวไฟ ให้เป็นปริมาณไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส ความต้านทาน ความเหนี่ยวนำนำ ความจุ หรือความถี่ เป็นต้น ทรานส์ดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อ สัญญาณอินพุตอย่างรวดเร็ว แม่นยำ จะส่งผลทำให้การควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ประสบความสำเร็จ

คุณลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์ หมายถึง ความสามารถของทรานส์ดิวเซอร์ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงด้านอินพุต ได้ตรงตามคุณลักษณะของโรงงานผู้ผลิตเพียงใด คุณลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์ ได้มาจากการทดสอบทรานส์ดิวเซอร์ด้วยกระบวนการควบคุมคุณภาพของโรงงานหรือบริษัทผู้ผลิต ที่แสดงในรูปของตาราง หรือกราฟ คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์มี 2 ประเภท คือ คุณลักษณะแบบสถิต (Static specification) และคุณลักษณะแบบพลวัต (Dynamic specification คุณลักษณะทรานสดิวเซอร์ทั้งสองแบบมีรายละเอียดดังนี้

1.2 คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์แบบสถิต

คุณลักษณะทรานสดิวเซอร์แบบสถิต เป็นคุณลักษณะที่ได้จากการทดสอบทรานส์ดิวเซอร์ด้วยการป้อนสัญญาณอินพุตที่ทราบค่าให้กับทรานส์ดิวเซอร์ รอจนสัญญาณเอาต์พุตนิ่ง จากนั้นบันทึกสัญญาณเอาต์พุต และวิเคราะห์ข้อมูล การทดสอบทรานส์ดิวเซอร์เพื่อหาคุณลักษณะแบบสถิตมี 2 วิธี คือ วิธีแรกทดสอบทรานส์ดิวเซอร์ตามข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตในห้องควบคุมคุณภาพ และเป็นไปตามมาตรฐานของ NBS (National Bureau of Standard) วิธีที่สอง ทดสอบทรานส์ดิวเซอร์แบบไม่มีข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต ด้วยการป้อนสัญญาณอินพุตที่ทราบค่าให้กับ ทรานส์ดิวเซอร์ บันทึกสัญญาณเอาต์พุต และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ คุณลักษณะแบบสถิต ประกอบด้วย ความแม่น (Accuracy) ความละเอียด (Resolution) ความสามารถในการกระทำซ้ำ (Repeatability) ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) และฮีสเตอริซีส (Hysteresis) คุณลักษณะแบบสถิตมีรายละเอียด ดังนี้

1.2.1 ความแม่น หมายถึงความสามารถของทรานสดิวเซอร์ที่ให้ค่าเอาต์พุตใกล้เคียงกับค่าคุณสมบัติของผู้ผลิต หรือใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณเพียงใด แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Percent of error) ซึ่งความผิดพลาด ก็คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (True value) หรือค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณตามน้ำหนัก กับค่าเอาต์พุตจริง (Actual output) ที่ได้จากการทดสอบทรานส์ดิวเซอร์ หรือ

ความผิดพลาด = ค่าจริง – ค่าเอาต์พุตจากการทดสอบ (1.1)

ความแม่นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันแสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เอาต์พุตเต็มสเกล (Percent of the full scale output) หรือ %FSO และ ค่าเปอร์เซ็นต์จากการอ่าน (Percent of reading) หรือ % of Reading

เพื่อการศึกษา ของนักศึกษา วท.ทหารบก ภาคปกติ ปีการศึกษา ๒๕๖๑

ตัวอย่างที่ 1.1 การทดสอบโหลดเซลล์ด้วยน้ำหนัก 0 – 100 kg. เอาต์พุต 0 – 20 mV ข้อมูลที่ได้จากทดสอบแสดงในตารางที่ 1.1 จงเขียนกราฟการทดสอบ คำนวณค่าความผิดพลาด และความแม่น ที่น้ำหนัก 5 kg. เพิ่มน้ำหนัก

ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบโหลดเซลล์

น้ำหนัก	สัญญาณเอาต์พุต 0 – 20 mV	
0 – 100 kg.	เพิ่มน้ำหนัก (Increasing)	ลดน้ำหนัก (Decreasing)
0	0.08	0.06
5	0.45	0.88
10	1.02	2.04
15	1.71	3.10
20	2.55	4.18
25	3.43	5.13
30	4.48	6.04
35	5.50	7.02
40	6.53	8.06
45	7.64	9.35
50	8.70	10.52
55	9.85	11.80
60	11.01	12.94
65	12.40	13.86
70	13.32	14.82
75	14.35	15.71
80	15.40	16.84
85	16.48	17.92
90	17.66	18.70
95	18.90	19.51
100	19.93	20.02

วิธีทำ

1. เขียนกราฟกำหนดให้แกน X เป็นน้ำหนัก สเกล 0 – 100 kg. และแกน Y เป็นเอาต์พุต สเกล 0 – 20 mV จะได้กราฟการทดสอบแสดงในรูปที่ 1.1
2. ขั้นตอนการคำนวณค่าความผิดพลาด และค่าความแม่น มีรายละเอียด ดังนี้

2.1 คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก จากสมการที่ (1.2)

$$\text{แรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก} = \frac{\text{แรงดันเอาต์พุตเต็มสเกล}}{\text{โหลดสูงสุด}} \times \text{น้ำหนัก} \quad (1.2)$$

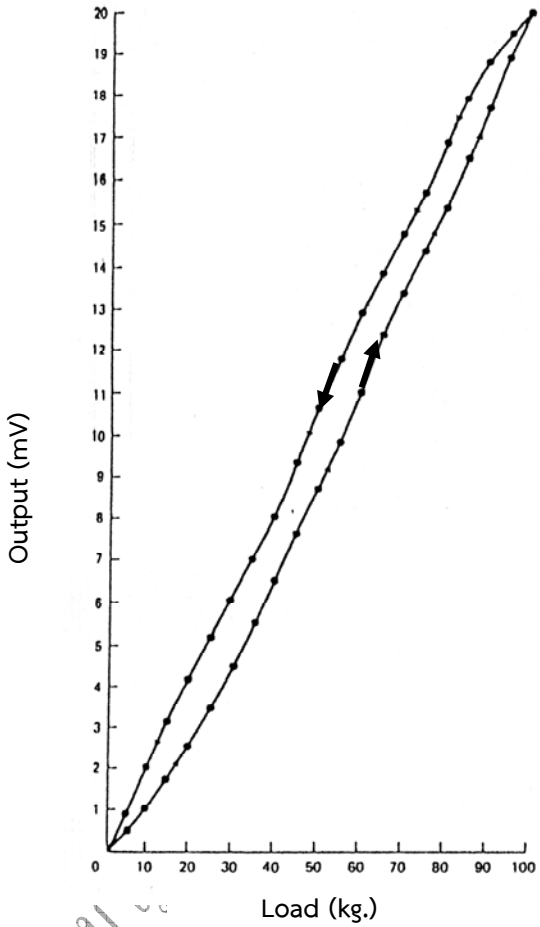
จากตารางที่ 1.1 ที่น้ำหนัก 5 kg. คำนวณแรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก

$$\text{แรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก} = \frac{20\,\text{mV}}{100\,\text{kg.}} \times 5\text{kg.} = 1\,\text{mV} \quad ☺$$

เพื่อการศึกษา สมาน สุขารมณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

2.2 คำนวณค่าความผิดพลาดที่น้ำหนัก 5 kg. (เพิ่มน้ำหนัก) แรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนักมีค่า 1 mV เอาต์พุตจากการทดสอบจากกตารางที่ 1.1 มีค่า 0.45 mV ดังนั้น

ค่าความผิดพลาด = 1 mV – 0.45 mV = 0.55 mV ☺



รูปที่ 1.1 กราฟการทดสอบโหลดเซลล์

ที่มา : Bolton. 1991 p 62

2.3 คำนวณค่าความแม่น น้ำหนัก 5 kg. (เพิ่มน้ำหนัก) ความผิดพลาด 0.55 mV เอาต์พุตเต็มสเกล 20 mV

2.3.1 เปอร์เซ็นต์เอาต์พุตเต็มสเกลคำนวณจากสมการ (1.3)

$$\%FSO = \frac{\text{Error} \times 100\%}{\text{Output full scale}} \qquad (1.3)$$

เมื่อ Output full scale คือ ค่าเอาต์พุตสูงสุด หรือเอาต์พุตเต็มสเกล ดังนั้น

$$\%FSO = \frac{0.55\,\text{mV} \times 100\%}{20\,\text{mV}} = 2.75\% \quad ☺$$

เพื่อการศึกษา สำนัก... มหาวิทยาลัยอุบลฯ

2.3.2 เปอร์เซ็นต์จากการอ่านคำนวณจากสมการ (1.4)

$$\%\ \ of\ \ reading = \frac{Error \times 100\%}{Vtrue} \qquad (1.4)$$

เมื่อ Vtrue คือแรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก ดังนั้น

$$\%\ \ of\ \ reading = \frac{0.55mV \times 100\%}{1mV} = 55\% \quad \ddot{\smile}$$

การคำนวณค่าความแม่นจำน้ำหนักอื่น ๆ ที่เหลือ คำนวณเหมือนน้ำหนัก 5 kg. (เพิ่มน้ำหนัก) ทุกประการ และค่าที่จากการคำนวณได้ทั้งหมด แสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ความแม่นของโหลดเซลล์จากตัวอย่างที่ 1.1

น้ำหนัก	เอาต์พุตตามน้ำหนัก	เอาต์พุตจริง	ความผิดพลาด	ความแม่น	
kg.	mV	mV	mV	%FSO	% of Reading
0	0	0.08	-0.08	-0.4	∞
5	1.00	0.45	0.55	2.75	55.00
10	2.00	1.02	0.98	4.90	49.00
15	3.00	1.71	1.29	6.45	43.00
20	4.00	2.55	1.45	7.25	36.25
25	5.00	3.43	1.57	7.85	31.40
30	6.00	4.48	1.52	7.60	25.33
35	7.00	5.50	1.50	7.50	21.43
40	8.00	6.53	1.47	7.35	18.37
45	9.00	7.64	1.36	6.80	15.11
50	10.00	8.70	1.30	6.50	13.00
55	11.00	9.85	1.15	5.75	10.45
60	12.00	11.01	0.99	4.95	8.25
65	13.00	12.40	0.60	3.00	2.77
70	14.00	13.32	0.68	3.40	4.85
75	15.00	14.35	0.65	3.25	4.33
80	16.00	15.40	0.60	3.00	3.75
85	17.00	16.48	0.52	2.60	3.06
90	18.00	17.66	0.34	1.70	1.89
95	19.00	18.90	0.10	0.50	0.53
100	20.00	19.93	0.07	0.35	0.35
100	20.00	20.02	-0.02	-0.10	-0.10
95	19.00	16.51	-0.51	-2.55	-2.68
90	18.00	18.70	-0.70	-3.50	-3.89
85	17.00	17.92	-0.92	-4.60	-5.41
80	16.00	16.84	-0.84	-4.20	-5.25
75	15.00	15.71	-0.71	-3.55	-4.73
70	14.00	14.82	-0.82	-4.10	-5.86
65	13.00	13.86	-0.86	-4.30	-6.62

เพื่อการศึกษา สนาม สุขุมพันธุ์ วท.ม. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)

น้ำหนัก	เอาต์พุตตามน้ำหนัก	เอาต์พุตจริง	ความผิดพลาด	ความแม่น	
kg.	mV	mV	mV	%FSO	% of Reading
60	12.00	12.94	-0.94	-4.70	-7.83
55	11.00	11.80	-0.80	-4.00	-5.82
50	10.00	10.52	-0.52	-2.60	-5.20
45	9.00	9.35	-0.35	-1.75	-3.89
40	8.00	8.06	-0.06	-0.30	-0.75
35	7.00	7.02	-0.02	-0.10	-0.29
30	6.00	6.04	-0.04	-0.20	-0.67
25	5.00	5.13	-0.13	-0.65	-2.60
20	4.00	4.18	-0.18	-0.90	-4.50
15	3.00	3.10	-0.10	-0.50	-16.67
10	2.00	2.04	-0.04	-0.20	-10.00
5	1.00	0.88	0.12	-0.60	60.00
0	0	0.06	-0.06	-0.30	-

ตารางที่ 1.2 ความแม่นแบบ %FSO กับ % of reading มีความแตกต่างกัน เช่น ที่น้ำหนัก 40 kg.(เพิ่มน้ำหนัก) ค่าความแม่นแบบ %FSO = 7.35 % ค่าความแม่นแบบ % of reading = 27.01 มีความแตกต่างกันอย่างมาก ดังนั้นผู้ใช้ควรระวังในการเลือกค่าความแม่นของทรานส์ดิวเซอร์ ที่เหมาะสม ว่าจะเลือกค่าใด ส่วนความแม่น แบบค่าอินพุตสัมบูรณ์ (Absolute terms of input) คำนวณจากตัวอย่างที่ 1.2

ตัวอย่างที่ 1.2 เอาต์พุตเต็มสเกลโหลดเซลล์มีค่า 20 mV ที่ 100 kg. ค่าความแม่นแบบเปอร์เซ็นต์เอาต์พุตเต็มสเกลมีค่า $\pm$ 7.85 % ความแม่นแบบค่าอินพุตสัมบูรณ์มีค่าเท่าไร?

วิธีทำ จากโจทย์ ความผิดพลาดมีค่า + 7.85% ของ 100 kg.
คำนวณความผิดพลาดจากสมการที่ (1.3)

$$7.85\%FSO = \frac{\text{Error} \times 100\%}{20\,\text{mV}}$$ หรือ ความผิดพลาดมีค่า = 1.57 mV ☺

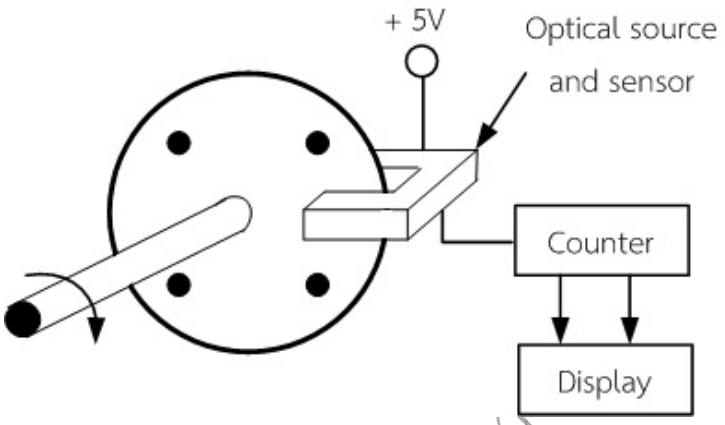
หมายความว่าเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองมีค่า + 7.85% ของ 20 mV หรือ + 1.57 mV

เปรียบเทียบค่าในตารางที่ 1.2 ที่น้ำหนัก 25 kg. (เพิ่มน้ำหนัก) ค่าจริง หรือค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่า 5.00 mV ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบมีค่า 3.43 mV และค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณมีค่า + 1.57 mV ดังนั้น ค่าเอาต์พุตที่อ่านได้มีค่าระหว่าง 3.43 + 1.57 = 5.00 mV หรือ 3.43 – 1.57 = 1.86 mV

ข้อควรระวังการคำนวณค่าความผิดพลาดแบบอินพุตสัมบูรณ์ จากความแม่นทั้งสองแบบที่คิดจากแรงดันเอาต์พุตเต็มสเกล และแรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนัก ไม่เช่นนั้นจะทำให้การคำนวณค่าความผิดพลาดแบบอินพุตสัมบูรณ์ผิดพลาดได้

เพื่อการศึกษาเท่านั้น ภาควิชาเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.2.2 ความละเอียด หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณด้านอินพุตของทรานส์ดิวเซอร์ที่น้อยที่สุด และทำให้สัญญาณเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 1.2 เป็นวงจรเข้ารหัสด้วยแสง (Optical encoder circuit) ที่จานหมุน เจาะรู 4 รู ห่างกัน 90° เมื่อจานหมุน ¼ รอบ รูที่เจาะไว้จะผ่านอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง เกิดสัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ ดังนั้นค่าความละเอียดของทรานส์ดิวเซอร์มีค่า 90° สำหรับค่าความละเอียดของทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีค่าระหว่าง 100 ถึง 1,000 พัลส์ต่อการหมุน 1 รอบ



รูปที่ 1.2 วงจรการเข้ารหัสด้วยแสง

ตัวนับ (Counter) ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม เป็นแบบแปลงสัญญาณแอนะลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล หรือ A/D และค่าความละเอียดของตัวนับขึ้นอยู่กับจำนวนบิต คำนวณได้จากสมการ (1.5)

$$\text{ความละเอียด} = 2^n \quad \text{เมื่อ n คือ จำนวนบิตของทรานส์ดิวเซอร์} \qquad (1.5)$$

ตัวอย่างที่ 1.3 ทรานสดิวเซอร์ที่มีความแม่น 0.2 % ค่าเต็มสเกล 100 ฟุต – ปอนด์ วัดค่าแรงบิดที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิก ต้องการความแม่น 0.1 ฟุต – ปอนด์ ได้หรือไม่ เมื่อแรงบิดที่จ่ายให้มอเตอร์ไฮดรอลิก มีค่าสูงสุด 20 ฟุต – ปอนด์

วิธีทำ จากโจทย์ทรานส์ดิวเซอร์มีค่าเต็มสเกล 100 ฟุต – ปอนด์ ความแม่น 0.2 %

ดังนั้น ความผิดพลาดมีค่า $0.2\%FSO = \dfrac{\text{Error} \times 100\%}{100 \quad \text{ฟุต} - \text{ปอนด์}}$ หรือ

ทรานส์ดิวเซอร์มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.2 ฟุต – ปอนด์

สรุป ทรานส์ดิวเซอร์นี้ไม่สามารถวัดแรงบิดที่แกนมอเตอร์ไฮดรอลิก ที่ต้องการความแม่น 0.1 ฟุต – ปอนด์ได้ ☺

ตัวอย่างที่ 1.4 ใบพัดบอกทิศทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ขับด้วยมอเตอร์เกียร์ ต้องการทราบตำแหน่งใบพัดหมุนในระยะ 2 ซม. จะต้องใช้ทรานส์ดิวเซอร์เข้ารหัสที่มีค่าความละเอียดเท่าใด

วิธีทำ เส้นรอบวงของใบพัดมีค่า = πd เมตร

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดมีค่า 2.5 เมตร

เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามใช้เพื่อการค้า

ดังนั้นเส้นรอบวงมีค่า = $3.414 \times 2.5 = 7.854$ เมตร

เทียบระยะส่วนโค้ง (Arc) กับความยาวเส้นรอบวงจาก

$$\frac{\text{arc}}{360^{\circ}} = \frac{2 \text{ ซม.}}{785.4 \text{ ซม.}}$$

หรือ มุมส่วนโค้งมีค่า = $\frac{360^{\circ} \times 2 \text{ ซม.}}{785.4 \text{ ซม.}} = 0.917^{\circ}$

ดังนั้น ทรานส์ดิวเซอร์เข้ารหัสจะต้องมีความละเอียด 0.917°

หรือ 1 รอบ จะได้สัญญาณพัลส์ $\frac{360^{\circ}}{0.917^{\circ}} = 392.6$ พัลส์ ☺

ตัวอย่างที่ 1.5 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่า 0 - 100°C ใช้ทรานส์ดิวเซอร์ 10 mV/$^{\circ}$C กับเครื่องแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ความละเอียด 1°C ที่ 5 โวลต์ วัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ได้หรือไม่

วิธีทำ ความละเอียดของเครื่องแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต มีค่า = 2^8 = 256 บิต และ 1 บิต เทียบกับแรงดัน 5 โวลต์เต็มสเกล

จะได้แรงดันต่อบิตต่อ $^{\circ}$C หรือ $\frac{5 \text{ V}}{256} = 19.5$ mV/$^{\circ}$C

จากโจทย์ ทรานส์ดิวเซอร์วัดอุณหภูมิ 1°C แรงดันเอาต์พุต 10 mV

ดังนั้น ทรานส์ดิวเซอร์ตัวนี้ไม่สามารถใช้กับเครื่องแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ได้ เนื่องจากค่าความละเอียดไม่พอ

จากโจทย์ อุณหภูมิสูงสุดมีค่า 100°C ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตเต็มสเกลของทรานส์ดิวเซอร์

มีค่า $\frac{10 \text{ mV}}{^{\circ}\text{C}} \times 100^{\circ}\text{C} = 1 \text{ V}$

แรงดันจากการคำนวณ 1 โวลต์ หมายถึง แรงดันสูงสุดของ A/D ขนาด 8 บิต ถ้าจะให้ A/D มีค่าตรงกับโจทย์ 5 V (ต้องขยายแรงดันเอาต์พุต 5 เท่า) ถึงจะทำให้ อุณหภูมิ 100°C มีค่าแรงดันเอาต์พุต 5 V

ที่ 1°C จะได้ แรงดันเอาต์พุตใหม่ = $1^{\circ}\text{C} \times \frac{10 \text{ mV}}{^{\circ}\text{C}} \times 5 = 50$ mV

จากการคำนวณ A/D มีค่าความละเอียด 19.5 mV/$^{\circ}$C เมื่อขยายย่านเอาต์พุต

ความละเอียดของทรานสดิวเซอร์มีค่า = $\frac{19.5 \text{mV} \times ^{\circ}\text{C}}{50 \text{mV}} = 0.39^{\circ}\text{C}$ ☺

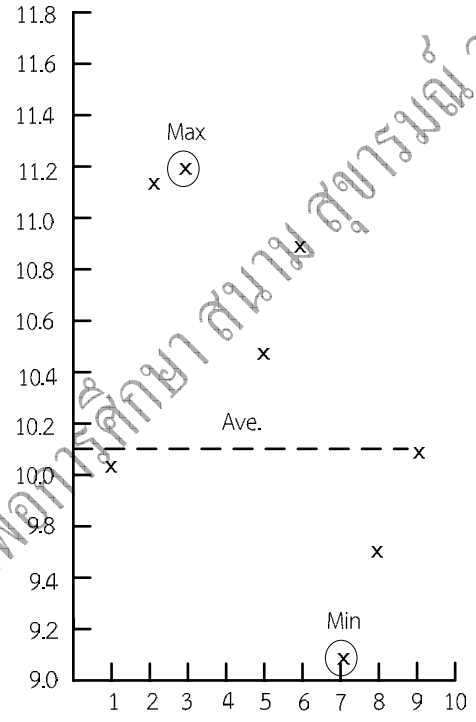
1.2.3 ความสามารถในการกระทำซ้ำ หมายถึง การป้อนน้ำหนักค่าเดียวหลาย ๆ ครั้งให้ทรานส์ดิวเซอร์ และทรานส์ดิวเซอร์ให้ค่าเอาต์พุตที่ค่าเดิม หรือใกล้เคียงค่าเดิมทุกครั้งรายละเอียดตัวอย่างการหาค่าความสามารถในการกระทำซ้ำของโหลดเซลล์ แสดงในตัวอย่างที่ 1.6

เพื่อการศึกษา สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

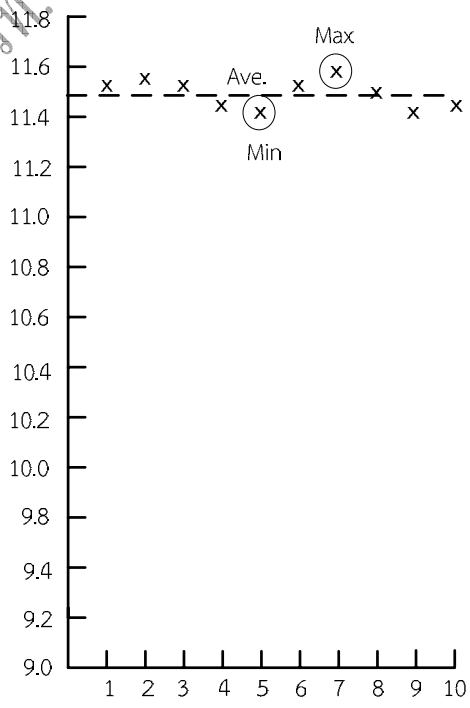
ตัวอย่างที่ 1.6 โหลดเซลล์ 0 – 100 kg. เอาต์พุต 0 – 20 mV ทดสอบด้วยน้ำหนัก 50 kg. จำนวน 10 ครั้ง ข้อมูลการทดสอบในตารางที่ 1.3 จงหาค่าความสามารถในการกระทำซ้ำ

ตารางที่ 1.3 การทดสอบความสามารถในการกระทำซ้ำ

จำนวนครั้ง	เอาต์พุตโหลดเซลล์ mV			หมายเหตุ
	A	B	C	
1	10.02	11.50	10.00	
2	10.96	11.53	10.03	
3	11.20	11.52	10.02	
4	9.39	11.47	9.93	
5	10.50	11.42	9.92	
6	10.94	11.51	10.01	
7	9.02	11.58	10.08	
8	9.47	11.50	10.00	
9	10.08	11.43	9.97	
10	9.32	11.48	9.98	
Maximum	**11.20**	**11.58**	**10.08**	**ค่ามากที่สุด**
Average	**10.09**	**11.49**	**9.99**	**ค่าเฉลี่ย**
Minimum	**9.02**	**11.42**	**9.92**	**ค่าน้อยที่สุด**

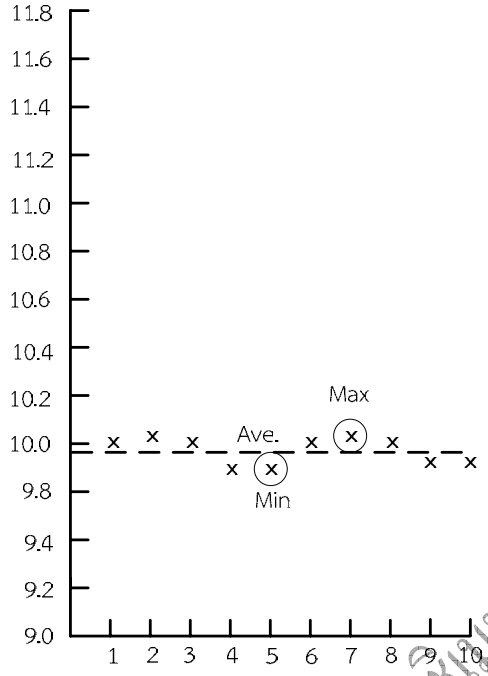


(ก) โหลดเซลล์ A



(ข) โหลดเซลล์ B

เพื่อการศึกษา สมาน สุขารมณ์ วท.ท. ทักษิณวิทยาเขตไชยอนุสรณ์



(ค) โหลดเซลล์ C

รูปที่ 1.3 การทดสอบความสามารถในการกระทำซ้ำโหลดเซลล์

วิธีทำ จงวิเคราะห์ความสามารถในการกระทำซ้ำ จากกราฟการทดสอบโหลดเซลล์ A, B และ C ด้วยน้ำหนัก 50 kg. จำนวน 10 ครั้ง แรงดันเอาต์พุตตามน้ำหนักมีค่า 10 mV

โหลดเซลล์ A

ค่าเฉลี่ยมีความแม่น แต่ความสามารถในการกระทำซ้ำไม่ดี เอาต์พุตกระจายไม่เหมาะกับการใช้งาน

โหลดเซลล์ B

ค่าเฉลี่ยห่างจากค่าจริง แต่มีความสามารถในการกระทำซ้ำ เอาต์พุตจับกลุ่มกัน ถือว่าเป็นโหลดเซลล์ที่ดี สามารถปรับแต่งค่าศูนย์ (Zero) และช่วง (Span)

โหลดเซลล์ C

ค่าเฉลี่ยมีความแม่น มีความสามารถในการกระทำซ้ำดี เอาต์พุตจับกลุ่ม เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

ความสามารถในการกระทำซ้ำคำนวณจากสูตร

$$\text{Repeatability} = \frac{\text{Maximum} - \text{Minimum}}{\text{Output full scale}} \times 100\% \qquad (1.6)$$

หรือ $$\text{Repeatability} = \frac{\text{Largest Deviation} - \text{Average}}{\text{Output full scale}} \times 100\% \qquad (1.7)$$

ค่า Largest Deviation คือ ค่าเอาต์พุตทรานส์ดิวเซอร์ที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (ระยะสั้น) มากที่สุด ทั้งค่าสูง และต่ำจากค่าเฉลี่ย

เพื่อการศึกษาเท่านั้น สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1.2.4 ฮีสเตอริซีส หมายถึงความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่ได้จากการลด และเพิ่มน้ำหนักที่มีค่ามากที่สุดที่น้ำหนักเดียวกัน เทียบกับแรงดันเอาต์พุตเต็มสเกล ค่าฮิสเตอริซีสนี้จะเกิดกับทรานส์ดิวเซอร์แบบทางกล ที่มีอุปกรณ์ภายในเป็นเฟือง หรือท่อ ค่าฮีสเตอริซีสคำนวณได้จากสมการที่ (1.8) โดยพิจารณาช่วงกว้างที่สุดของกราฟเอาต์พุต ทั้งด้านโหลดเพิ่ม และลดโหลด รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.4

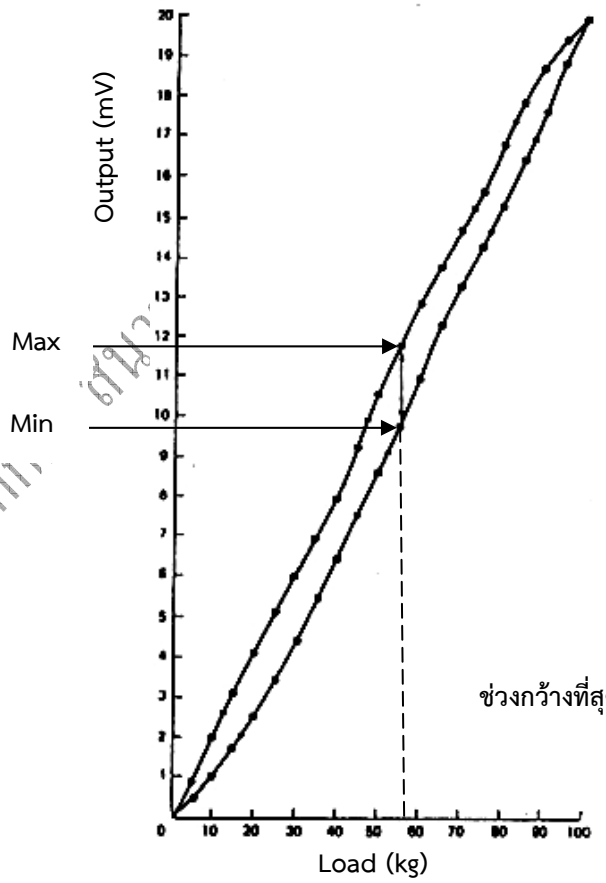
$$\%FSO \quad Hysteresis = \frac{Maximum - Minimum}{Output \quad full \quad scale} \times 100\% \qquad (1.8)$$

เมื่อ %FSO Hysteresis คือ คุณลักษะของทรานส์ดิวเซอร์ หน่วย %FSO
Maximum คือค่าเอาต์พุต ลดน้ำหนัก
Minimum คือค่าเอาต์พุต เพิ่มน้ำหนัก

จากรูปที่ 1.4 น้ำหนัก 57 kg. ช่วงกราฟกว้างที่สุด ดังนั้นฮีสเตอริซีส มีค่า

$$Hysteresis = \frac{11.80\,mV - 9.85\,mV}{20\,mV} \times 100\% = 9.75\%FSO$$ ☺

ค่าฮีสเตอริซีส ถ้ามีค่าสูง ช่องว่างของกราฟเอาต์พุตเพิ่มโหลด และลดโหลด ที่ค่าโหลดเดียวกัน จะห่างกันมาก ส่งผลทำให้เอาต์พุตเกิดความผิดพลาดมาก



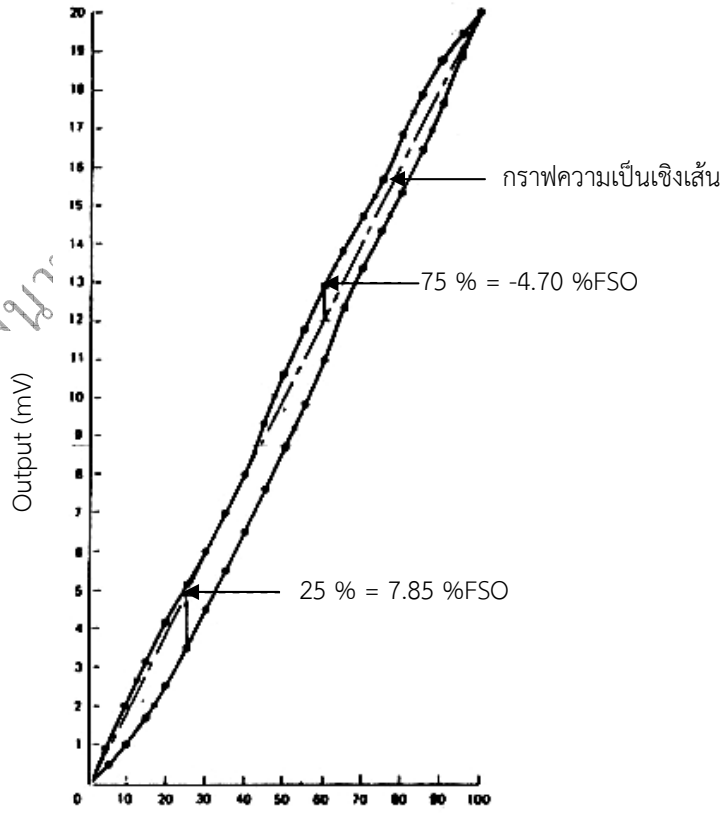
รูปที่ 1.4 ฮีสเตอริซีส
ที่มา : Bolton. 1991 p 70

1.2.5 ความเป็นเชิงเส้น เป็นคุณลักษณะแบบสถิต ที่อธิบายการตอบสนองของเอาต์พุตของทรานส์ดิวเซอร์แบบเพิ่มน้ำหนัก กับลดน้ำหนัก ที่น้ำหนักเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันเพียงใด ค่าความเชิงเส้นมีค่าน้อย แสดงว่าค่าเอาต์พุต ทั้งเพิ่มน้ำหนัก และลดน้ำหนักใกล้เคียงกัน ยิ่งค่าความเป็นเชิงเส้นมีค่าน้อยมากเท่าใด กราฟคุณลักษณะจะใกล้เคียงกราฟเส้นตรงมากขึ้นเท่านั้น (กราฟเพิ่มน้ำหนัก และกราฟลดน้ำหนักใกล้กัน) ความเป็นเชิงเส้นมี 3 แบบ คือ แบบจุดสุดท้าย (Endpoint linearity) แบบเส้นตรงอิสระ (Independent straight line linearity) และ แบบ Least squares (Least squares linearity) การเสนอความเป็นเชิงเส้น ของบริษัทผู้ผลิต อยู่ในรูปแบบ % เต็มสเกล เช่น + _____ % FSO และ - _____ %FSO

1.2.5.1 ความเป็นเชิงเส้นแบบจุดสุดท้าย รายละเอียด แสดงในรูปที่ 1.5 (ก) วิธีการหาค่าความเป็นเชิงเส้น จากกราฟในรูปที่ 1.5 ลากเส้นจากจุด 0 จนถึงจุดสุดท้ายของกราฟจะได้กราฟความเป็นเชิงเส้น จากนั้นคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้น โดยหาค่าความแตกต่างของเอาต์พุตที่ 75 % ของกราฟ และค่าต่ำสุดที่ 25 % ของกราฟลดน้ำหนัก กับกราฟความเป็นเชิงเส้น การคำนวณประยุกต์จากสมการที่ (1.8)

$$\text{ที่ } 75\ \%\ \text{Linearity} = \frac{12.00\,\text{mV} - 12.94\,\text{mV}}{20\,\text{mV}} \times 100\% = -4.70\,\%\text{FSO} \quad ☺$$

$$\text{ที่ } 25\ \%\ \text{Linearity} = \frac{5.00\,\text{mV} - 3.43\,\text{mV}}{20\,\text{mV}} \times 100\% = 7.85\,\%\text{FSO} \quad ☺$$



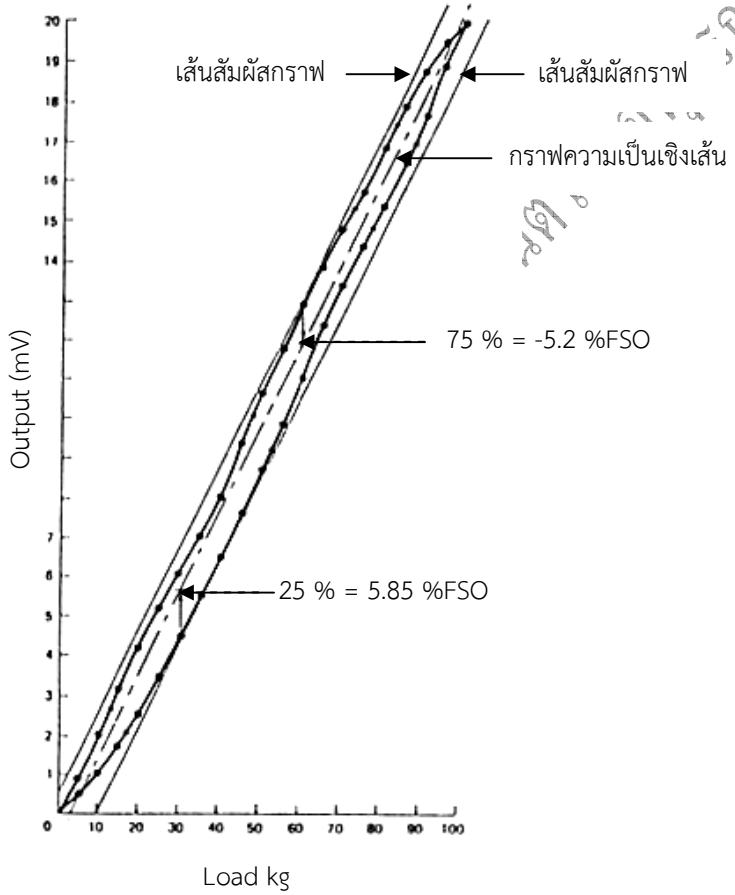
รูปที่ 1.5 ความเป็นเชิงเส้นแบบจุดสุดท้าย

ที่มา : Bolton. 1991 p 72

1.2.5.2 ความเป็นเชิงเส้นแบบเส้นตรงอิสระ รูปที่ 1.5 หาได้โดยลากเส้นตรงสัมผัสกราฟเพิ่มน้ำหนัก และลดน้ำหนัก ที่ความชันมากที่สุด 2 เส้น จากนั้นลากเส้นแบ่งครึ่งเส้นสัมผัสกราฟทั้ง 2 จะได้กราฟแทนความเป็นเชิงเส้น จากนั้นคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นแบบจุดสุดท้าย จะได้

$$\text{ที่ 75 \% Linearity} = \frac{11.90\,\text{mV} - 12.94\,\text{mV}}{20\,\text{mV}} \times 100\% = -5.2\,\%\text{FSO}$$ ☺

$$\text{ที่ 25 \% Linearity} = \frac{5.65\,\text{mV} - 4.84\,\text{mV}}{20\,\text{mV}} \times 100\% = 5.85\,\%\text{FSO}$$ ☺



รูปที่ 1.6 ความเป็นเชิงเส้นแบบเส้นตรงอิสระ

ที่มา : Bolton. 1991 p 72

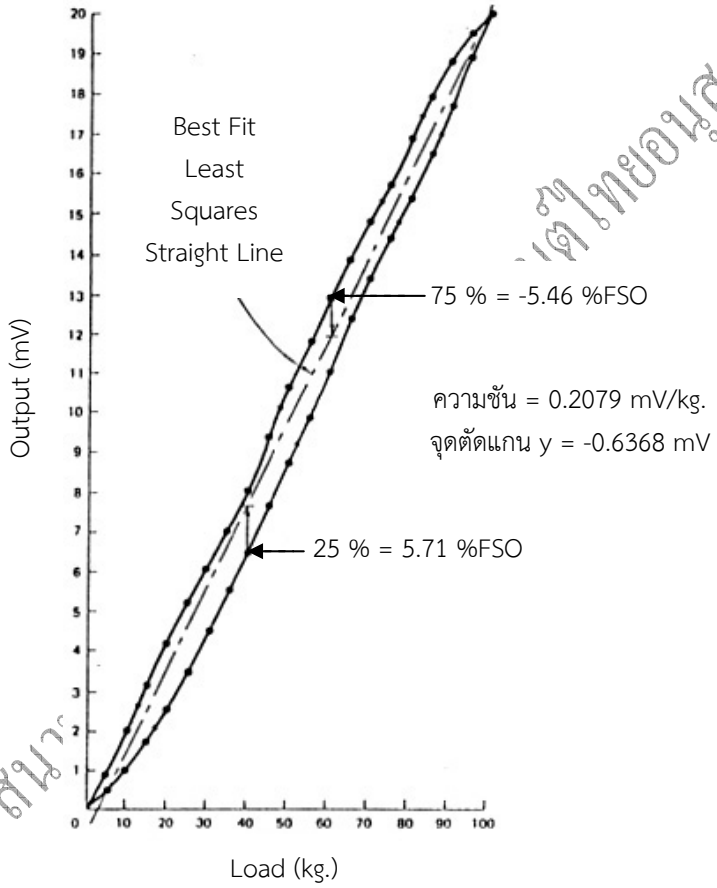
1.2.5.3 ความเป็นเชิงเส้นแบบ Least squares ใช้สูตรทางสถิติคำนวณค่าความชัน และจุดตัดแกน y จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทรานส์ดิวเซอร์ จะได้กราฟเส้นตรง (Best fit least square straight line) ที่มีความถูกต้องมากกว่า ความเป็นเชิงเส้นทั้งสองแบบดังที่ได้กล่าวมา ความชันแบบ Least Squares และจุดตัดแกน Y คำนวณจากสมการ (1.9) และ (1.10)

$$m = \frac{n\sum(xy) - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \qquad (1.9)$$

เพื่อการศึกษา

$$b = \frac{\sum y}{n} - m\frac{\sum x}{n} \qquad (1.10)$$

เมื่อ x = ค่าอินพุต หน่วย kg.
y = ค่าเอาต์พุต หน่วย mV
m = ค่าความชันกราฟ
b = จุดตัดแกน y
n = จำนวนข้อมูล (จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด)



รูปที่ 1.7 ความเป็นเชิงส้นแบบ Least squares straight line
ที่มา : Bolton. 1991 p 74

ตัวอย่างที่ 1.7 จากข้อมูลการทดสอบโหลดเซลล์ในตารางที่ 1.1 จงคำนวณ ค่า Least squares และเขียนกราฟความเป็นเชิงเส้น

วิธีทำ จากตารางที่ 1.1 จำนวนข้อมูลเพิ่มน้ำหนัก 21 ครั้ง และ ลดน้ำหนัก 21 ครั้ง ดังนั้น
n = 42 ครั้ง
x = น้ำหนักอินพุต เพิ่ม และลดน้ำหนัก
y = เอาต์พุต เพิ่ม และลดน้ำหนัก
แทนค่าในสมการที่ (1.9) และ (1.10) จะได้
m = 0.2079 mV/kg.

b = -0.6368 mV

ดังนั้น สมการของเส้นตรงมีค่า $v_{out} = \left(0.2079 \frac{mV}{kg.} \right) \times I_{input} - 0.638\,mV$ (1.11)

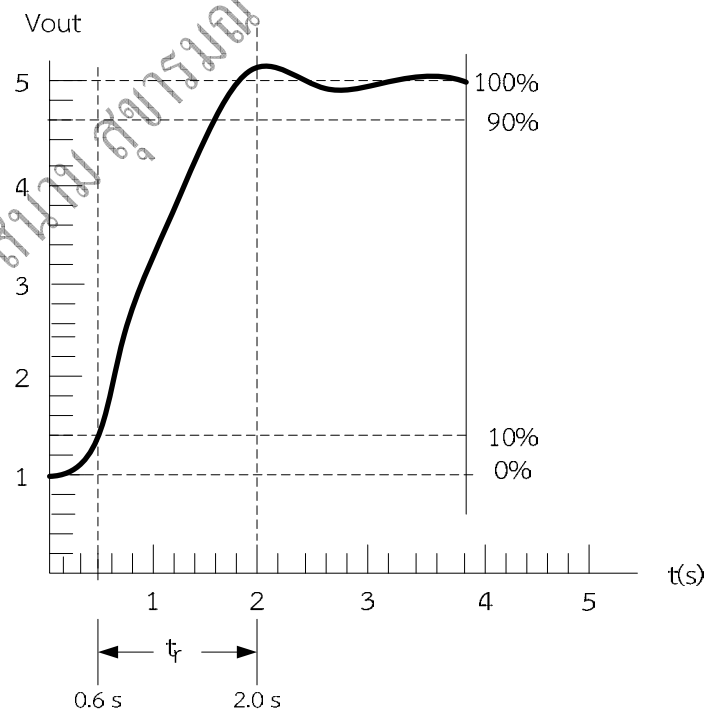
การเขียนกราฟ จุดตัดแกน y มีค่า – 0.6368 แสดงว่าเส้นตรงไม่ผ่านจุด 0 รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.7 สำหรับการคำนวณ หาช่วงกราฟด้านเพิ่มโหลด และลดโหลด ที่กว้างที่สุด และลากเส้นขนานกับแกน y ถึงเส้นตรง และคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้น เหมือนกับความเป็นเชิงเส้นทั้ง 2 แบบ ที่ได้กล่าวมา

1.3 คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์แบบพลวัต

คุณลักษณะทรานสดิวเซอร์แบบพลวัต หมายถึง ความสามารถของทรานส์ดิวเซอร์ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตได้อย่างรวดเร็วเพียงใด และมีลักษณะเป็นแบบใด ซึ่งต่างจากคุณลักษณะแบบสถิต ที่ไม่สนใจเรื่องเวลา คุณลักษณะแบบพลวัตแบ่งประเภทตามสัญญาณที่ป้อนด้านอินพุต 2 แบบ คือ สัญญาณแบบขั้น (Step) และแบบคลื่นไซน์ (Sinusoidal) คุณลักษณะแบบพลวัต ประกอบด้วย

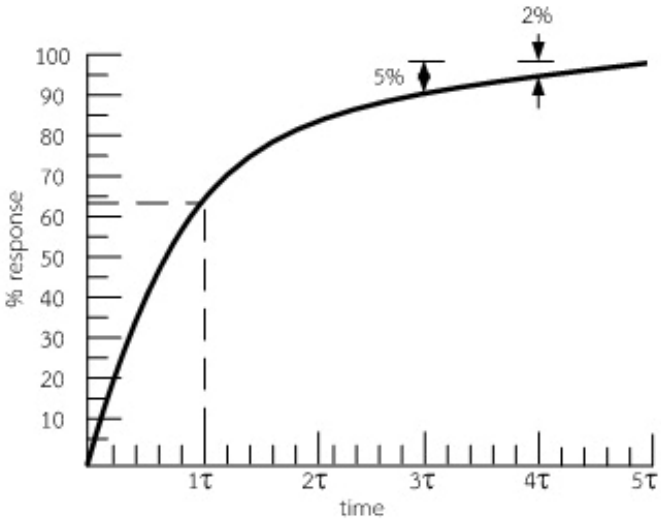
1.3.1 คุณลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์แบบพลวัต ที่ตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย

1.3.1.1 ช่วงเวลาขึ้น (Rise time) หรือ t_r หมายถึง ช่วงเวลาที่เอาต์พุตของทรานส์ดิวเซอร์เปลี่ยนแปลงจาก 10% ถึง 90 % รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 ช่วงเวลาขึ้น หรือ t_r มีค่า = 2.0 s – 0.6s 1.4 s

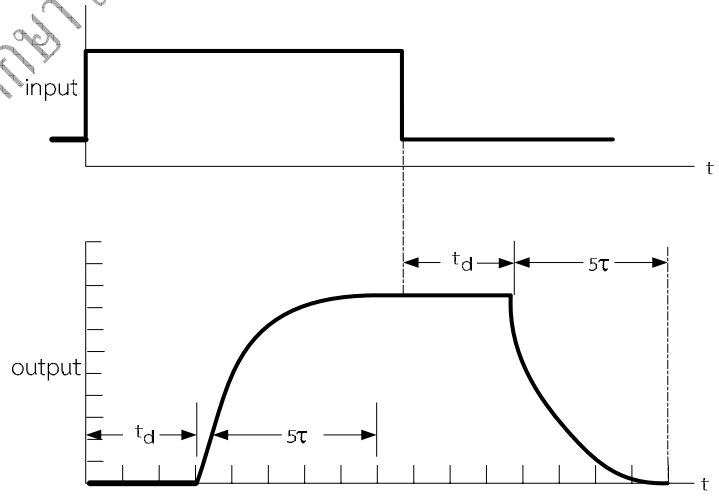
เพื่อการศึกษา สมพน สุขารมณ์ วท.ม. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.9 ค่าคงตัวทางเวลาในระบบอันดับหนึ่ง เอาต์พุตมีค่า 63.2% ใช้เวลา 1 τ

1.3.1.2 ค่าคงตัวทางเวลา (Time constant) หมายถึง ค่าเวลาที่เอาต์พุตของทรานส์ดิวเซอร์เปลี่ยนแปลง จาก 0 ถึง 63.2% รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.9 เป็นค่าคงตัวทางเวลาในระบบอันดับหนึ่ง (First order) สัญญาณอินพุตถึง 63.2 % ที่เวลา 1τ เมื่อเวลาผ่านไป 3τ การตอบสนองเหลือ 5% และที่ 4τ การตอบสนองเหลือ 2% และสัญญาณเอาต์พุตถึง 100% ที่เวลา 5τ ตามลำดับ

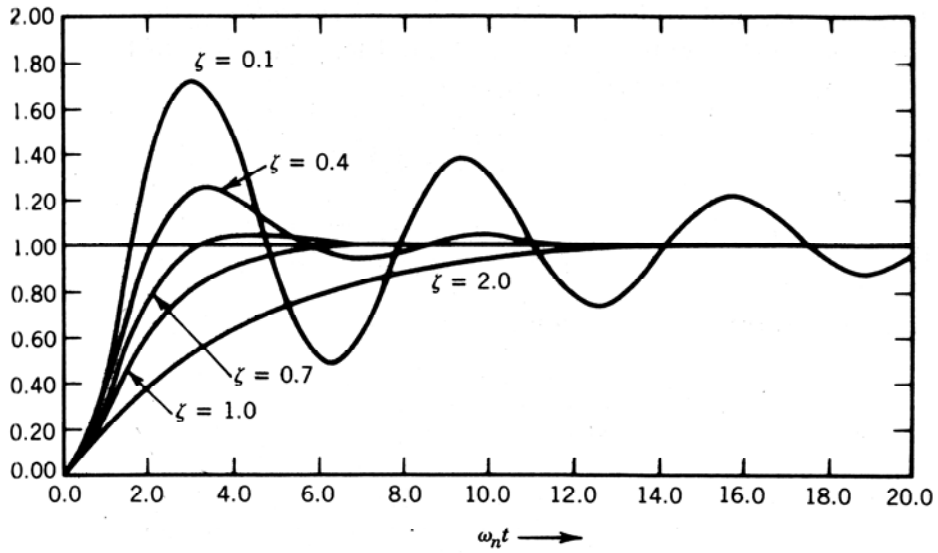
1.3.1.3 เวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead time) หรือ t_d หมายถึงค่าเวลาที่เอาต์พุตของทรานส์ดิวเซอร์ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณด้านอินพุต รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.10 สัญญาณเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงแบบเวลาไร้ผลตอบสนอง หรือ T_d และ ค่าคงตัวทางเวลา จากรูปอินพุตเปลี่ยนแปลงด้านบวกที่เวลา t = 0 เอาต์พุตยังไม่ตอบสนอง จนกว่าค่าเวลาไร้ผลตอบสนองจะหายไป จากนั้นทรานส์ดิวเซอร์ตอบสนองด้วยค่าคงตัวทางเวลา เมื่ออินพุตเปลี่ยนแปลงด้านลบเอาต์พุตยังไม่ตอบสนอง จนกว่าค่าไร้ผลตอบสนองจะหมดไป ทรานส์ดิวเซอร์ตอบสนองด้วยค่าคงตัวทางเวลา ตามลำดับ



รูปที่ 1.10 การตอบสนองแบบ เวลาไร้ผลตอบสนอง และ ค่าคงตัวทางเวลา ในระบบ อันดับหนึ่ง

เพื่อการศึกษา สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

1.3.1.4 การตอบสนองทางพลวัต (Dynamic response) ของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ระบบอันดับสอง กำหนดจากสัมประสิทธิ์การหน่วง (Damping coefficient) หรือ ซีตา ζ และ ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) หรือ ω_n ค่าทั้งสองกำหนดรูปร่างและการตอบสนองของระบบอันดับสอง ต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตแบบขั้น



รูปที่ 1.11 การตอบสนองของระบบอันดับสอง

ที่มา : Jame Rowland, 1998 p 161.

กราฟในรูปที่ 1.11 เหมือนกับกราฟในรูปที่ 1.12 โดยแกน Y เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเอาต์พุต แกน X เป็นค่าการตอบสนองของความถี่เรโซแนนซ์ กราฟแต่ละเส้นแสดงค่าการหน่วงที่ต่างกัน และมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

หน่วงเกิน (Over damped) เมื่อ $\zeta > 1$

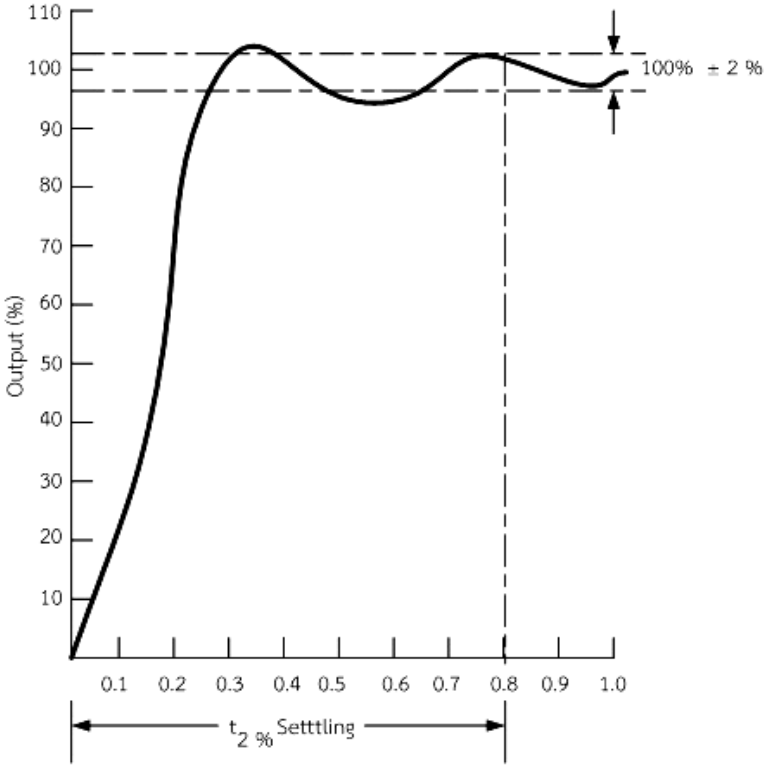
หน่วงวิกฤต (Critically damped) เมื่อ $\zeta = 1$

หน่วงต่ำกว่าวิกฤต (Under damped) เมื่อ $\zeta < 1$

สำหรับการพุ่งเกิน (Overshoot) จะเกิดกับทรานส์ดิวเซอร์ที่ตอบสนองแบบ หน่วงต่ำกว่าวิกฤต และคำนวณค่านี้ได้จากสมการ (1.12)

$$\%\text{Overshoot} = \frac{m_p - \text{Steady State}}{\text{Steady State}} \times 100\% \qquad (1.12)$$

1.3.1.5 ช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) หมายถึงช่วงเวลาที่เอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนแปลง และเข้าสู่ค่า 100% ด้วยค่า $\pm$ __ % เท่าใด รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.12 ค่าช่วงเวลาเข้าที่มีค่า $\pm$ 2 % หมายความว่าเมื่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นเปลี่ยนแปลง เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง จนถึงค่า 100 % ที่ความผิดพลาด $\pm$ 2 %



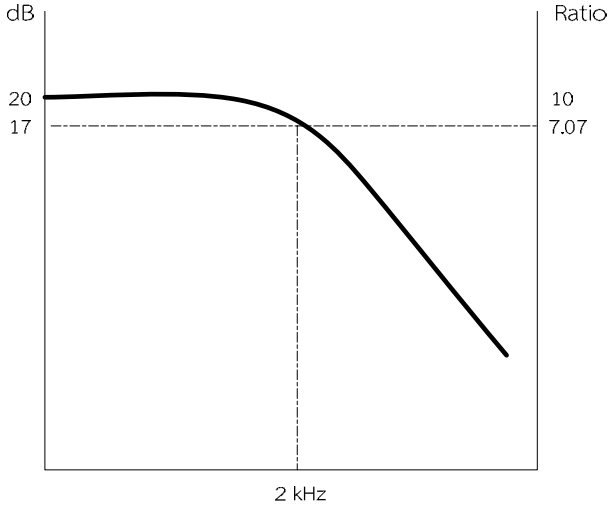
รูปที่ 1.12 ช่วงเวลาเข้าที่

1.3.2 ทรานส์ดิวเซอร์ที่ตอบสนองกับสัญญาณอินพุตแบบคลื่นไซน์ คือ การตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency response) และการตัดความถี่สูง (High frequency cutoff) สำหรับทรานส์ดิวเซอร์แบบเชิงเส้น เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตด้วยคลื่นไซน์ สัญญาณเอาต์พุตจะเป็นคลื่นไซน์ด้วย เมื่อความถี่ด้านอินพุตเพิ่มขึ้น ทรานส์ดิวเซอร์ก็จะยังคงตอบสนองต่อความการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็วด้วย ถ้าเอาต์พุตทรานส์ดิวเซอร์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงด้านอินพุตไม่ทันจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดเล็กลง ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มความถี่ด้านอินพุตก็ตาม สัญญาณเอาต์พุตจะตกลงอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าลดลง ขณะที่มีการเพิ่มความถี่ด้านอินพุต เรียกว่า การตอบสนองต่อความถี่ รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1.13

จากรูปที่ 1.13 แกนแนวดิ่ง เป็นค่าเกณฑ์ของทรานส์ดิวเซอร์ หรือคำนวณจาก

$$dB = 20 \log \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \qquad (1.13)$$

สำหรับกราฟแกน X ไม่เป็นเชิงเส้น เป็นสเกลลอการิธึม (Logarithmic) ทำให้แสดงค่าความถี่ได้สูง การตัดความถี่สูง หรือ f_h เกิดขึ้นเมื่อเกณฑ์ของทรานส์ดิวเซอร์ลดลงจากค่าความเกณฑ์ที่มีความเสถียร (ความถี่ต่ำ) ถึงค่า 0.707 สำหรับแกน Y แสดงค่าการตัดความถี่สูงเกิดขึ้น เมื่อเกณฑ์ของทรานส์ดิวเซอร์ลดลง -3 dB



รูปที่ 1.13 กราฟการตอบสนองเชิงความถี่

ตัวอย่างที่ 1.8 จากรูปที่ 1.13 เกณฑ์ความถี่ต่ำของทรานส์ดิวเซอร์มีค่า 20 dB และอัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 10 เมื่อเมื่อเกณฑ์ลดลง – 3 dB หรือ ค่าอัตราส่วนลดลงถึงค่า 7.07 จงหาค่าความถี่ที่ถูกตัด

วิธีทำ

ลากเส้นเชื่อมจากแกน db ที่ 17 dB และแกนอัตราส่วน 0.707 ได้จุดตัดจุดตัดกราฟเอาต์พุต จากจุดตัดลากเส้นขนานกับแกน db และ Ratio จะได้จุดตัดความถี่สูงที่ 2 kHz

การคำนวณค่าความถี่สูงที่ถูกตัด เมื่ออินพุตสัญญาณไซน์ให้กับทรานส์ดิวเซอร์ ด้วยค่าช่วงเวลาขึ้น จากสมการ

$$t_r = \frac{0.35}{f_h} \qquad (1.14)$$

เมื่อ t_r คือ ช่วงเวลาขึ้น

f_h คือ ค่าความถี่สูงที่ถูกตัด

1.4 บทสรุป

คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์ทั่วไป มี 2 แบบ คือ คุณลักษณะแบบสถิต และคุณลักษณะแบบพลวัต คุณลักษณะแบบสถิตได้จากการทดสอบทรานส์ดิวเซอร์จากโรงงานผู้ผลิต ด้วยการป้อนสัญญาณอินพุตที่ทราบค่า และรอให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าคงที่ เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากทรานส์ดิวเซอร์จริง ๆ และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ไปวิเคราะห์ คุณลักษณะแบบสถิต ประกอบด้วย ความแม่น ความสามารถในการกระทำซ้ำ ความเป็นเชิงเส้น หรือ ฮีสเตอริซีส เป็นต้น ส่วนคุณลักษณะแบบพลวัตได้จากการป้อนสัญญาณอินพุต แบบขั้น และแบบคลื่นไซน์ เข้าทรานส์ดิวเซอร์ จากนั้นสังเกตรูปแบบสัญญาณ และเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของสัญญาณด้านเอาต์พุต ตัวอย่างคุณลักษณะแบบพลวัต เช่น ค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง ค่าคงตัวทางเวลา ช่วงเวลาขึ้น หรือ การตอบสนองต่อเชิงความถี่ เป็นต้น

☺☺☺☺☺

เพื่อการศึกษา ของ คุณวารุณี ภาควิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

เรื่อง คุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์

---

1. ให้คำจำกัดความทรานส์ดิวเซอร์ได้อย่างถูกต้อง ?

1. ทรานส์ดิวเซอร์ ทำหน้าที่อะไร ? เข้าใจ
   ก. เปลี่ยนปริมาณฟิสิกส์ เปลี่ยนให้เป็นปริมาณสเกลาร์
   ข. เปลี่ยนปริมาณสเกลาร์ให้เป็นปริมาณเวกเตอร์
   ค. เปลี่ยนปริมาณฟิสิกส์ เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
   ง. เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นปริมาณฟิสิกส์
2. ข้อใด **ไม่ใช่** ปริมาณฟิสิกส์ ? เข้าใจ
   ก. Temperature ข. Level ค. Flow Rate ง. Pulse signal

2. อธิบายความแตกต่างของคุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์แบบสถิต ได้อย่างถูกต้อง ?

3. ข้อใดคือความผิดพลาด ? เข้าใจ
   ก. V_{true} – actual output ข. actual output – V_{true}
   ข. V_{true} – actual input ง. actual input – V_{true}
4. ลักษณะของการแปรผันของความแม่น (Accuracy) เป็นแบบใด ? เข้าใจ
   ก. แปรผันกับค่าเอาต์พุต ข. แปรผันตรงกับค่าอินพุต
   ค. แปรผันตรงกับค่าความผิดพลาด ง. แปรผกผันกับค่าความผิดพลาด
5. ความหมายของความละเอียด คือข้อใด ? เข้าใจ
   ก. การเปลี่ยนแปลงอินพุตมากที่สุด ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง
   ข. การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตมากที่สุด ทำให้อินพุตเปลี่ยนแปลง
   ค. การเปลี่ยนแปลงอินพุตน้อยที่สุด ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง
   ง. การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตมากที่สุด ทำให้อินพุตเปลี่ยนแปลง
6. ข้อใดกล่าวถึงความสามารถในการกระทำซ้ำได้ถูกต้องที่สุด ? วิเคราะห์
   ก. การป้อนอินพุต ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง
   ข. การป้อนอินพุตหลายครั้ง ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง
   ค. การป้อนอินพุต ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงด้วยค่าเดิม
   ง. การป้อนอินพุตหลายครั้ง ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงด้วยค่าเดิม
7. ค่าฮีสเตอร์รีซีส คือข้อใด ? เข้าใจ
   ก. (Increasing output – decreasing output)
   ข. (Decreasing output – increasing output)
   ค. (Decreasing output – increasing output)/output full scale
   ง. (Increasing output – decreasing output)/output full scale
8. ข้อใดกล่าวถึงคุณลักษณะของการกระทำซ้ำได้ถูกต้องที่สุด ? วิเคราะห์
   ก. เอาต์พุตหลายค่า ที่เกิดจากอินพุตค่าเดิม ข. เอาต์พุตหลายค่า เกิดจากอินพุตหลายค่า
   ค. ค่าอินพุต แปรผันตรงกับเอาต์พุต ง. ค่าอินพุต แปรผกผันกับเอาต์พุต

ตัวเลือกต่อไปนี้ใช้กับคำถามข้อที่ 9 – 10

ก. Endpoint linearity ข. Independent straight line linearity
ค. Least squares linearity ง. Mixture linearity

เพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม วท.ท่าศาลา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

9. เส้นสัมผัสกราฟคุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์ทั้งลด และเพิ่มน้ำหนัก? วิเคราะห์
10. ความเป็นเชิงเส้นข้อใดที่ต้องใช้วิธีการทางสถิติ ? วิเคราะห์

3. คำนวณค่าคุณลักษณะทรานส์ดิวเซอร์แบบสถิต ได้อย่างถูกต้อง

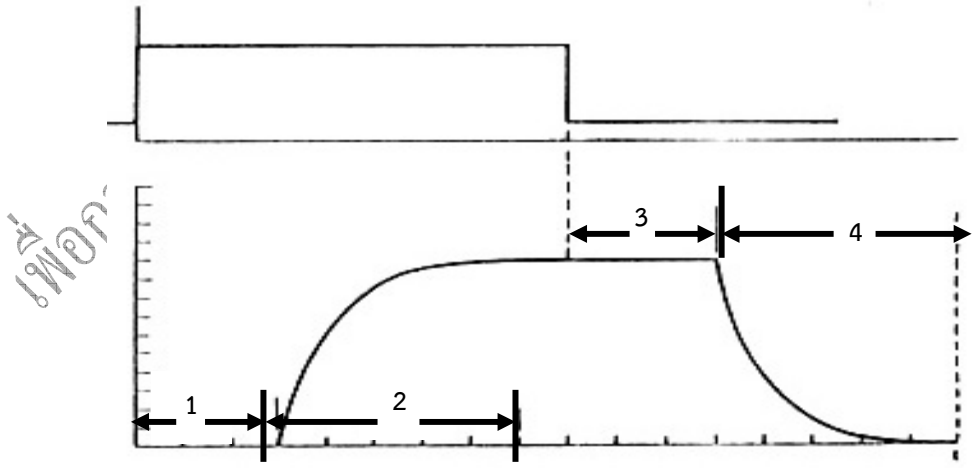
ตารางที่ 1.1 ผลการทดลองโหลดเซลล์

Load	Output 0 – 20 mV	
0 – 100 kg.	Increasing	Decreasing
40	6.53	8.06
45	7.64	9.35
50	8.70	10.52

11. จากตารางที่ 1.1 ที่โหลด 45 kg. แรงดันจากการคำนวณมีค่าเท่าไร? เข้าใจ
    ก. 8 mV ข. 9 mV ค. 10 V ง. 11 V
12. จากข้อมูลในข้อที่ 14 ความผิดพลาดจากการเพิ่มน้ำหนักมีค่าเท่าไร? เข้าใจ
    ก. 0.36 mV ข. 1.36 mV ค. 2.36 V ง. 3.36 V
13. จากข้อมูลในข้อที่ 11 และ 12 ค่าความแม่นแบบ % Reading มีค่าเท่าไร? เข้าใจ
    ก. 15.11 ข. 15.12 ค. 15.13 ง. 15.14
14. ตัวนับมีขนาด 16 บิต ค่าความละเอียดมีค่าเท่าไร ? เข้าใจ
    ก. 64.5 K ข. 65.5 K ค. 66.5 K ง. 67.5 K

4. อธิบายความแตกต่างคุณลักษณะทรานสดิวเซอร์ แบบพลวัต ได้อย่างถูกต้อง

15. ความหมายของค่าช่วงเวลาขึ้นคือข้อใด ? เข้าใจ
    ก. เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 10 % - 90 % ข. เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 15 % - 95 %
    ค. อินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 10 % - 100 % ง. อินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 15 % - 95 %
16. ความหมายของ 1τ คือ ข้อใด ? เข้าใจ
    ก. เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 0 % ถึง 63.1 % ข. เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 0 % ถึง 63.2 %
    ค. อินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 0 % ถึง 63.1 % ง. อินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 0 % ถึง 63.2 %



รูปประกอบคำถามข้อที่ 17 - 18

17. หมายเลข 3 คือค่าอะไร ? เข้าใจ
    ก. Dead Time ข. Time Constant ค. Rise Time ง. Settling Time
18. หมายเลข **2** คือค่าอะไร ? เข้าใจ
    ก. Dead Time ข. Time Constant ค. Rise Time ง. Settling Time

19. ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงอยู่ในระบบใด ? เข้าใจ

ก. First order ข. Second order

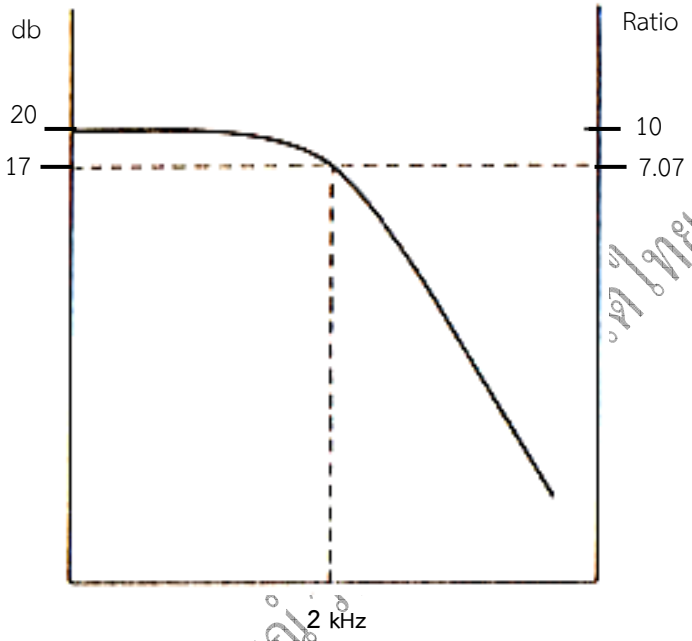
ค. Linear equation ง. ก. และ ข. ถูก

20. ค่า $\zeta > 1$ คุณลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์เป็นอย่างไร ? เข้าใจ

ก. Under damped ข. Critical damped

ค. Over damped ง. Medium damped

5. อธิบายการตอบสนองเชิงความถี่ ได้อย่างถูกต้อง



รูปประกอบคำถามข้อที่ 21 – 25

ตัวเลือกต่อไปนี้ใช้กับคำถามข้อที่ 21 – 25

ก. Step Signal ข. Sinusoidal

ค. Frequency Response ง. Saw tooth Signal

21. การทดสอบค่าเวลาไร้ผลตอบสนองใช้สัญญาณอะไร? เข้าใจ

22. การทดสอบค่าช่วงเวลาเข้าที่ใช้สัญญาณอะไร? เข้าใจ

6. เขียนรูปสัญญาณเอาต์พุตคุณลักษณะทรานสดิวเซอร์ แบบแบบพลวัต ได้อย่างถูกต้อง

23. จากรูป เรียกว่าคุณลักษณะแบบใด ? เข้าใจ

24. จากข้อที่ 23 สัญญาณทดสอบเป็นแบบใด ? เข้าใจ

25. จากรูป เมื่อความถี่สูงขึ้นส่งผลต่อสัญญาณเอาต์พุตอย่างไร ? เข้าใจ

ก. เพิ่มขึ้น ข. ลดลง ค. เพิ่ม และลดลง ง. ลด และเพิ่มขึ้น

☺☺☺☺☺

เฉลย

1. ค 2. ง 3. ก 4. ง 5. ค 6. ง 7. ง 8. ก 9. ข 10. ค 11. ข 12. ข 13. ก 14. ข 15. ก
16. ข 17. ก 18. ข 19. ข 20. ค 21. ก 22. ก 23. ค 24. ข 25. ข

☺☺☺☺☺

เพื่อการศึกษา สมาน สุขอนันต์ ม.ราชภัฏสุรินทร์