# บทที่ 5

# การทดสอบระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

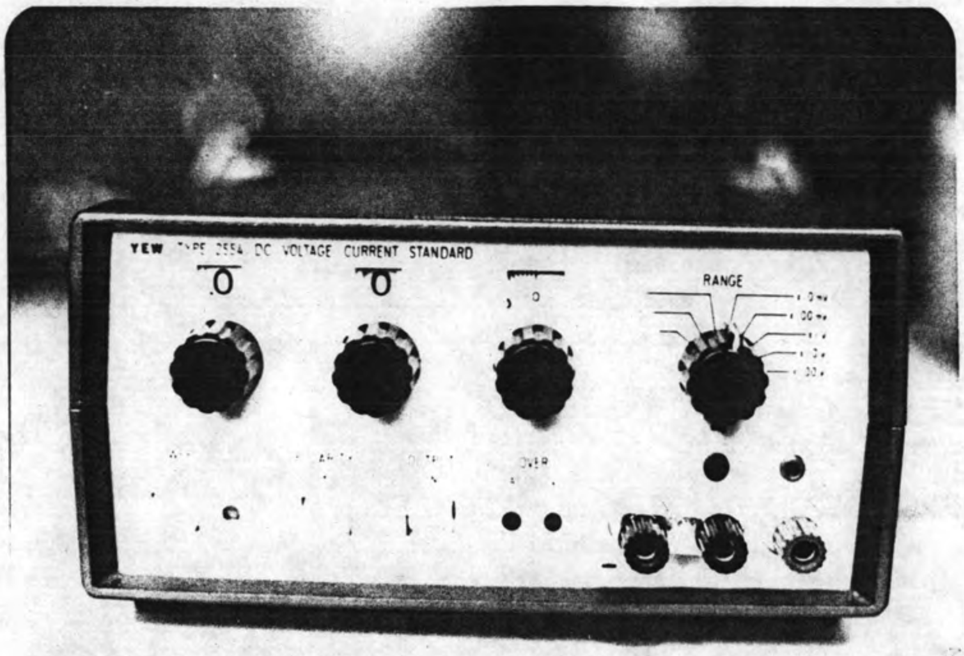
## 5.1 การทดสอบการวัดค่าข้อมูล

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ได้ทำแผงวงจรเลือกสัญญาณไว้ 2 ชนิด คือ แผงวงจรที่ใช้กับเทอร์โมคับเปิลชนิด CA และแผงวงจรที่ใช้กับกระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100 ซึ่งทรานสดิวเซอร์ทั้งสองชนิดนี้ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิทั้งคู่ การทดสอบจะใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณมาตรฐานป้อนเข้าสู่ระบบแทนทรานสดิวเซอร์ เพื่อทดสอบว่าระบบสามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำตามข้อกำหนดหรือไม่ จากนั้นจึงนำระบบไปทดสอบการใช้งานจริง โดยการต่อทรานสดิวเซอร์เข้ากับระบบ และนำไปวัดค่าอุณหภูมิจริงอีกครั้ง

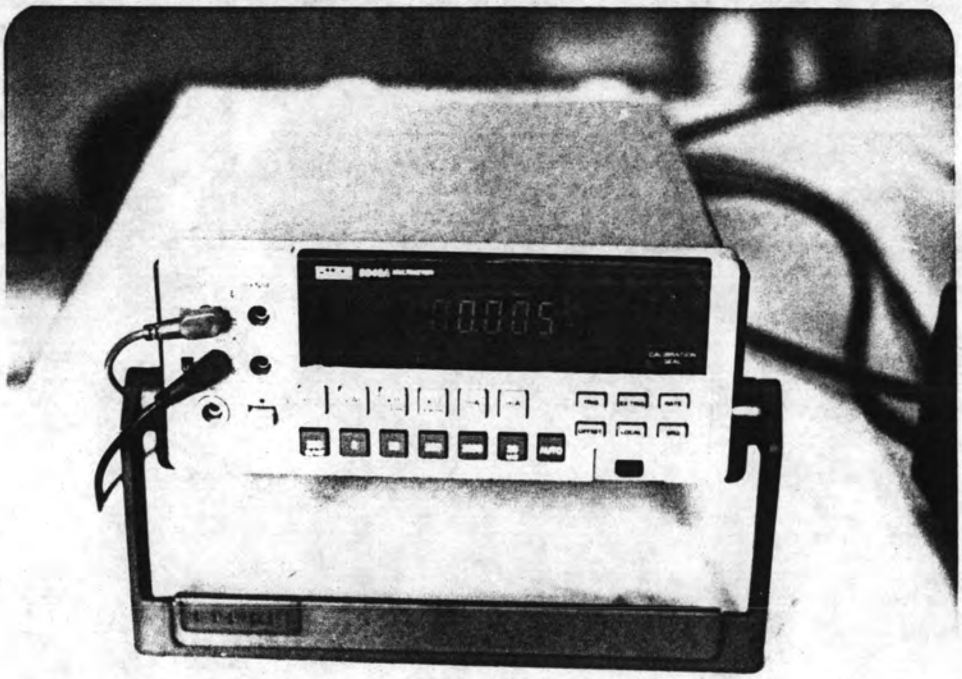
5.1.1 ทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิล สามารถแบ่งการปรับแต่งวงจรและทดสอบออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ก. ทดสอบการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เนื่องจากเทอร์โมคับเปิลให้สัญญาณออกเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังนั้นแผงวงจรนี้จึงสามารถใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั่วไปที่อยู่ในช่วงเดียวกันได้ อุณหภูมิที่ใช้วัดจะอยู่ในช่วง -200 °C ถึง 200 °C จากตารางมาตรฐานของเทอร์โมคับเปิลในภาคผนวก ก สำหรับเทอร์โมคับเปิลชนิด CA จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในช่วง -5.891 ถึง 8.137 mV ดังนั้นจะปรับวงจรขยายให้รับสัญญาณได้ในช่วง -10 ถึง 10 mV คือ เมื่อสัญญาณเข้าเป็น 10 mV ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกจะต้องแสดงค่าเป็น 20.00 mV เมื่อโปรแกรมเซ็ทรหัสชนิดของทรานสดิวเซอร์เป็น 2

การทดสอบการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณมาตรฐาน คือ DC VOLTAGE CURRENT STANDARD TYPE 2554 ของบริษัท YOKOGAWA ELECTRIC WORKS,LTD ดังแสดงในรูปที่ 5.1 มีความผิดพลาดไม่เกิน 0.01% การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระบบจะใช้เครื่องวัด คือ DIGITAL MULTIMETER TYPE 8810A ของบริษัท FLUKE ดังแสดงในรูปที่ 5.2 มีความแม่นยำในการวัด 0.01% การทดสอบจะทำโดยการป้อนแรงดันจาก -10 mV จนถึง




รูปที่ 5.1 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 5.2 แสดงเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

10 mV เปลี่ยนค่าครั้งละ 0.5 mV อ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดแรงดัน และจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกทุก ๆ ครั้ง ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถสรุปได้ว่า การวัดแรงดันโดยใช้ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดไม่เกิน 0.05% ซึ่งได้ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

ข. ทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณมาตรฐาน การทดสอบนี้จะต้องเซ็ทรหัสชนิดของทรานสดิวเซอร์เป็น 9 ค่าแรงดันที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์จะถูกผ่านเข้าไปในโปรแกรมการทำให้เป็นเชิงเส้นตรง เปลี่ยนค่าให้แสดงผลเป็นค่าของอุณหภูมิ การสร้างตารางสำหรับการทำให้เป็นเชิงเส้น จะสร้างจากตารางมาตรฐานของเทอร์โมคับเปิลในภาคผนวก ก ช่วงห่างของอุณหภูมิแต่ละจุดเท่ากับ 10 °C การคำนวนหาค่า A B C และ D ในโปรแกรมการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงในหัวข้อ 4.2.11 สามารถคำนวนตามตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 100 °C จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.095 mV และที่ 90 °C จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3.681 mV แต่เนื่องจากได้ปรับอัตราขยายของวงจรโดยสัญญาณเข้าเป็น 10 mV จะแสดงผลเป็น 20.00 mV ดังนั้นถ้า C = 100 °C จะได้

$$D = \frac{4.095 \text{ mV} \times 20 \text{ mV}}{10 \text{ mV}}$$

$$= 8.190 \text{ mV}$$

$$A = \frac{(4.095 \text{ mV} - 3.681 \text{ mv}) \times 20 \text{ mV}}{10 \text{ C} \times 10 \text{ mV}}$$

$$= 0.0828 \text{ mV/ C}$$

$$B = \frac{4.095 \text{ mV} \times 20 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} - 0.0828 \text{ mV/ C} \times 100 \text{ C}$$

$$= -0.090 \text{ mV}$$

จากตัวอย่างการคำนวน สามารถสร้างตารางการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงสำหรับการวัดอุณหภูมิในช่วง -200 °C ถึง 200 °C ดังแสดงในตารางที่ 5.1 การทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณมาตรฐานนี้ ไม่ต้องใช้การชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเนื่องจากไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดที่จุดอ้างอิง ดังนั้นจะเซ็ทค่าอุณหภุมิที่จุดอ้างอิงไว้ที่ 0 °C ทำการทดสอบโดยป้อนแรงดันค่าต่าง ๆ ตามตารางมาตรฐานของเทอร์โมคับเปิลจากค่า -200 °C ถึง 200 °C อ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัด และ

ตารางที่ 5.1 แสดงตารางการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงของ

เทอร์โมคับเปิลชนิด CA

| A<br>mV/ °C | B<br>mV | C<br>°C | D<br>mV |
|---|---|---|---|
| 0.0322 | -5.340 | -200 | -11.782 |
| 0.0360 | -4.620 | -190 | -11.460 |
| 0.0392 | -4.044 | -180 | -11.100 |
| 0.0416 | -3.466 | -170 | -10.708 |
| 0.0458 | -2.954 | -160 | -10.282 |
| 0.0486 | -2.534 | -150 | - 9.824 |
| 0.0518 | -2.086 | -140 | - 9.338 |
| 0.0544 | -1,748 | -130 | - 8.820 |
| 0.0572 | -1.412 | -120 | - 8.276 |
| 0.0598 | -1.126 | -110 | - 7.704 |
| 0.0612 | -0.886 | -100 | - 7.106 |
| 0.0644 | -0.688 | - 90 | - 6.484 |
| 0.0668 | -0.496 | - 80 | - 5.840 |
| 0.0686 | -0.370 | - 70 | - 5.172 |
| 0.0708 | -0.238 | - 60 | - 4.486 |
| 0.0724 | -0.158 | - 50 | - 3.778 |
| 0.0742 | -0.086 | - 40 | - 3.054 |
| 0.0758 | -0.038 | - 30 | - 2.312 |
| 0.0770 | -0.014 | - 20 | - 1.554 |
| 0.0784 | -0.000 | - 10 | - 0.784 |
| 0.0794 | 0.000 | 10 | 0.794 |
| 0.0802 | -0.008 | 20 | 1.596 |
| 0.0810 | -0.024 | 30 | 2.406 |
| 0.0816 | -0.042 | 40 | 3.222 |
| 0.0812 | -0.066 | 50 | 4.044 |
| 0.0828 | -0.096 | 60 | 4.872 |
| 0.0828 | -0.096 | 70 | 5.700 |
| 0.0832 | -0.124 | 80 | 6.532 |
| 0.0830 | -0.108 | 90 | 7.362 |
| 0.0828 | -0.090 | 100 | 8.190 |
| 0.0826 | -0.070 | 110 | 9.016 |
| 0.0822 | -0.026 | 120 | 9.838 |
| 0.0816 | 0.046 | 130 | 10.654 |
| 0.0812 | 0.098 | 140 | 11.466 |
| 0.0808 | 0.154 | 150 | 12.274 |
| 0.0804 | 0.214 | 160 | 13.078 |
| 0.0800 | 0.278 | 170 | 13.878 |
| 0.0798 | 0.312 | 180 | 14.676 |
| 0.0798 | 0.312 | 190 | 15.474 |
| 0.0800 | 0.274 | 200 | 16.274 |

จากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถสรุปได้ว่า การวัดอุณหภูมิโดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณมาตรฐานมีความผิดพลาดไม่เกิน 0.1% ของค่าสูงสุด ซึ่งได้ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

ค. ทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด CA การทดสอบนี้จะต้องใช้โปรแกรมการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง การสร้างตารางการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง จะหาได้จากการทดลองอย่างหยาบ ๆ เนื่องจากไม่สามารถหาอุปกรณ์ในการสร้างอุณหภูมิรายรอบที่มาตร-ฐานได้ การทดลองทำโดยการต่อเทอร์โมคับเปิลชนิด CA เข้าช่องสัญญาณช่องหนึ่ง โปรแกรมเซ็ทรหัสชนิดของทรานสดิวเซอร์เป็น 2 นำเทอร์โมคับเปิลจุ่มลงไปในอ่างน้ำแข็งซึ่งถือว่ามีอุณหภูมิเป็น 0 °C อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกได้ 2.48 mv และอ่านค่าอุณหภูมิรายรอบขณะนั้น โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ได้ 28 °C จากนั้นนำระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกไปอบในกล่องโดยใช้เตาไฟฟ้าจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 40 °C ให้ปิดเตาไฟฟ้าทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้อุณหภูมิภายในกล่องกระจายสม่ำเสมอ อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกได้ 3.46 mV และอ่านค่าอุณหภูมิบริเวณจุดอ้างอิงได้ 39 °C จากข้อมูลที่ได้จะถือความสัมพันธ์เชิงเส้นของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จุดอ้างอิงกับอุณหภูมิ จะเป็นเส้นตรงจาก 0 °C ถึง 28 °C และจาก 28 °C ถึง 39 °C การสร้างตารางชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง สามารถหาค่า A B C และ D ได้โดยให้ C = 39 °C จะได้

$$D = 3.46 \text{ mV}$$

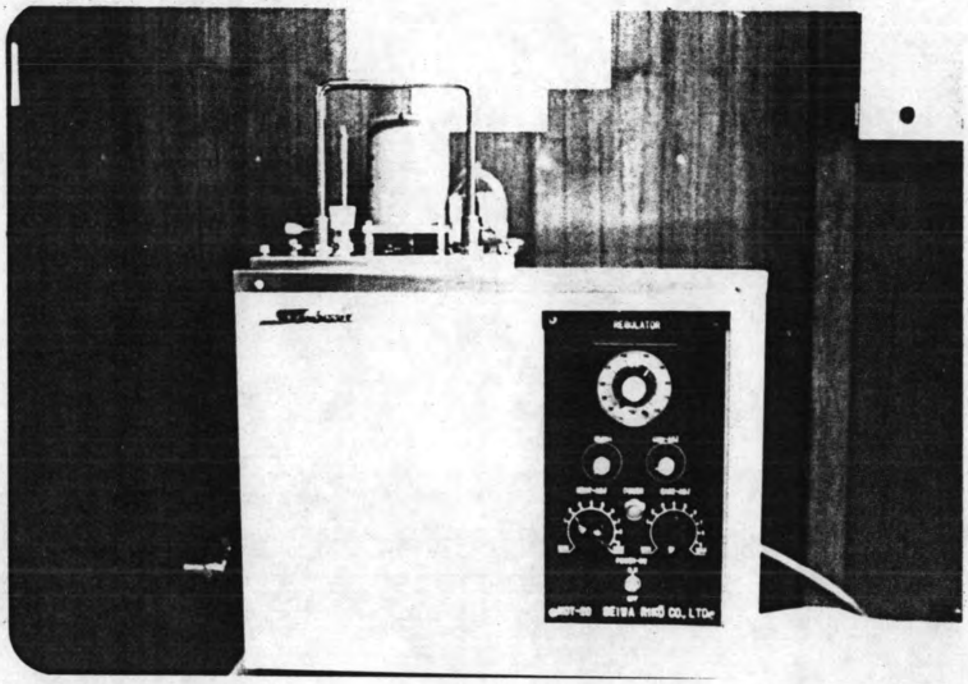
$$A = \frac{3.46\text{mV} - 2.48 \text{ mV}}{39^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}}$$

$$= 0.0891 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

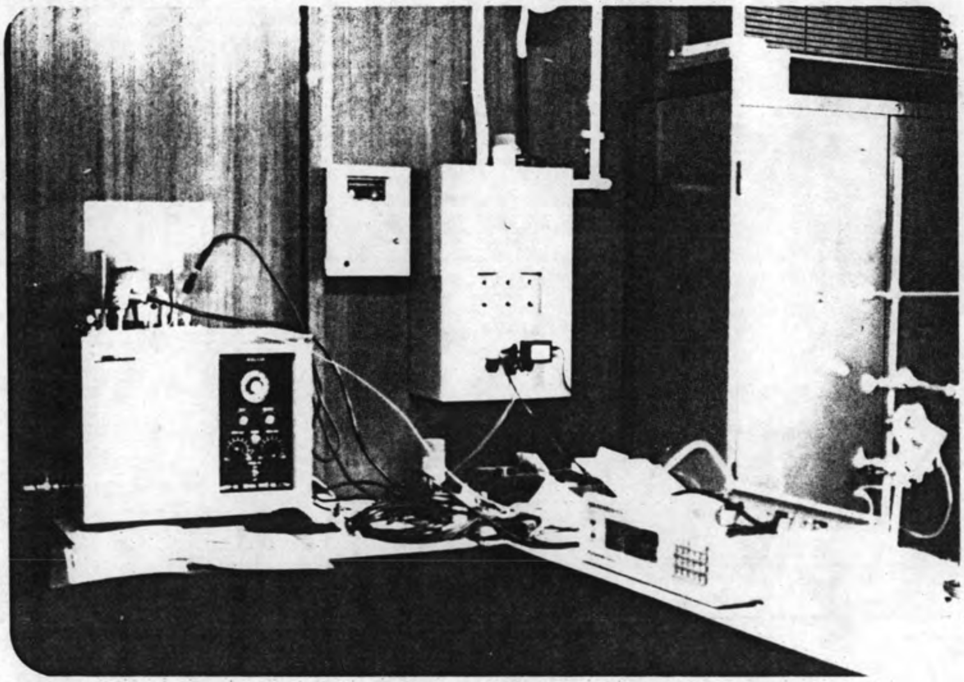
$$B = 3.46 \text{ mV} - 0.0891 \text{ mV}/^\circ\text{C} \times 39^\circ\text{C}$$

$$= -0.0149 \text{ mV}$$

จากการทดลองและคำนวน สามารถสร้างตารางการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 5.2 การทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด CA จะต้องใช้ OIL BATH สำหรับอุ่นน้ำมันให้ร้อน โดยใช้ OIL BATH TYPE NOT-20 ของบริษัท SEIWA RIKO CO,LTD ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เป็นเครื่องทดสอบ สามารถอุ่นน้ำมันได้ตั้งแต่ 50 °C ถึง 250 °C การทดสอบจะต้องต่อเทอร์โมคับเปิลเข้าที่ช่องสัญญาณหนึ่งและต่อกระเปาะความต้านทานเข้าที่ช่องสัญญาณ




รูปที่ 5.3 แสดง OIL BATH TYPE NOT-20

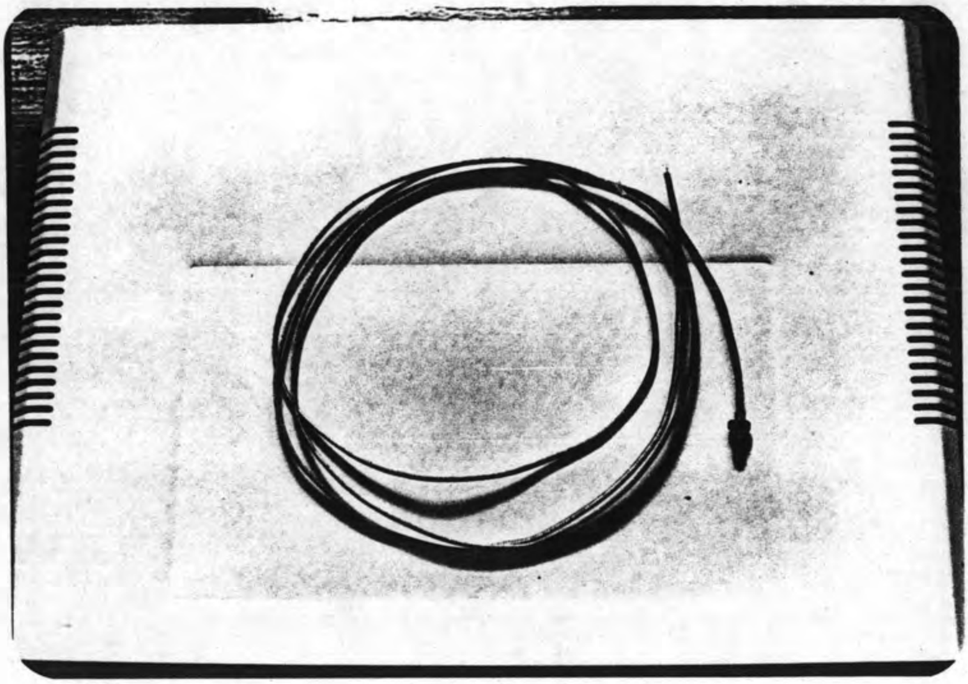


รูปที่ 5.4 แสดงการทดสอบการวัดอุณหภูมิจริงด้วยเทอร์โมคับเปิล
และกระเปาะความต้านทาน

ตารางที่ 5.2 แสดงตารางการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง
ของเทอร์โมคับเปิลชนิด CA

| A<br>mV/°C | B<br>mV | C<br>°C | D<br>mV |
|---|---|---|---|
| 0.0886 | 0.0000 | 28.0 | 2.48 |
| 0.0891 | -0.0149 | 39.0 | 3.46 |

อุณหภูมิที่จุดอ้างอิง นำเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว มีความละเอียด 0.1°C มาวัดที่ OIL BATH และที่จุดอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 5.4 จากนั้นเริ่มตั้ง OIL BATH อุ่นน้ำมันที่ 60°C เมื่ออุณหภูมิน้ำมันหยุดนิ่งแล้ว ให้อ่านค่าอุณหภูมิที่ OIL BATH อ่านค่าอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง และอ่านค่าอุณหภูมิจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก เมื่อบันทึกผลเรียบร้อยแล้ว ให้เพิ่มอุณหภูมิของ OIL BATH เป็น 80°C และทำการวัดค่าเช่นเดียวกัน จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 20°C จนถึง 180°C ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้มีความผิดพลาดเกินกว่า 0.1% ของ

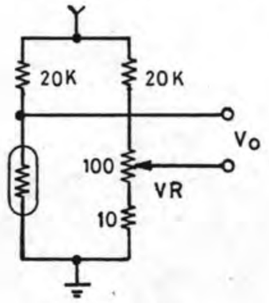


รูปที่ 5.5 แสดงเทอร์โมคับเปิลที่ใช้ในการทดสอบ

ค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากเทอร์โมคับเปิลที่ใช้เป็นของบริษัท OMRON รุ่น E52-CA1D ดังแสดงในรูปที่ 5.5 มีความผิดพลาดได้ถึง 0.75% และไม่สามารถหาเทอร์โมคับเปิลที่มีความผิดพลาดไม่เกิน 0.1% ในท้องตลาดได้ นอกจากนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดในการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเนื่องจากทดลองหาค่าอย่างหยาบ ๆ หรือความผิดพลาดจากการอ่านค่าเทอร์โมมิเตอร์อีกแห่งหนึ่ง

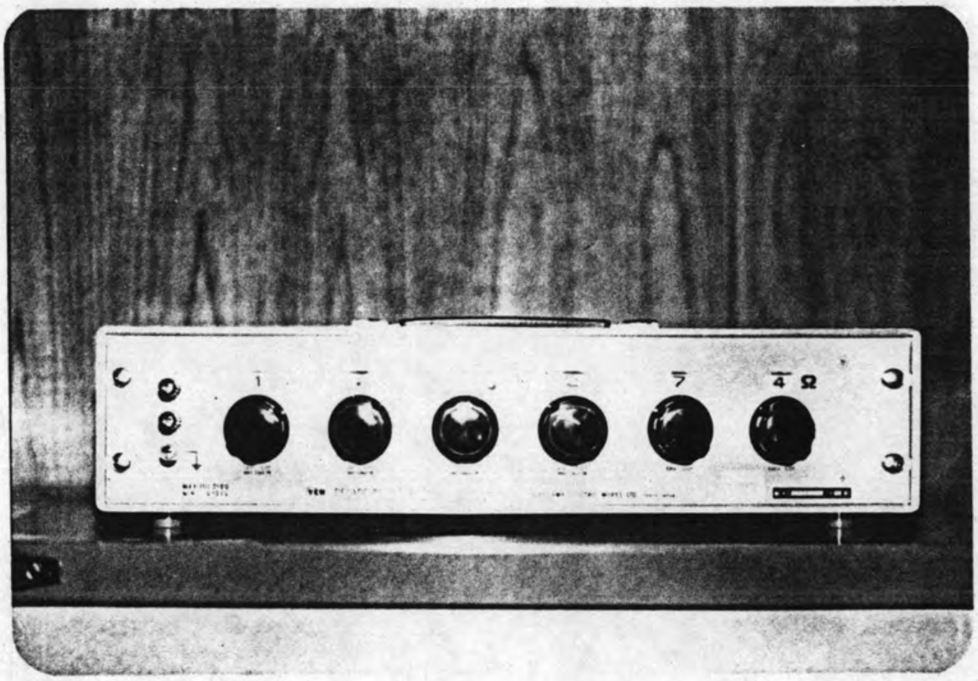
5.1.2 ทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยกระเปาะความต้านทาน สามารถแบ่งการปรับแต่งวงจรและทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ก. ทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากวงจรบริดจ์ไม่สมดุลย์ เนื่องจากกระเปาะความต้านทานให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องต่อวงจรสัญญาณเข้าเป็นวงจรบริดจ์โดยมีค่าต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ก่อนอื่นจะต้องปรับวงจรบริดจ์ให้สมดุลย์ก่อนโดยใช้ตัวความต้านทานมาตรฐานปรับค่าได้ DECADE RESISTANCE BOX TYPE 2793 ของบริษัท YOKOGAWA ELECTRIC WORKS,LTD ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ต่อเข้ากับวงจรบริดจ์และตั้งค่าไว้ที่ 100 โอห์ม และใช้เครื่องวัด คือ DIGITAL MULTIMETER TYPE 8840 A วัดค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรบริดจ์ ปรับค่า VR จนกระทั่งบริดจ์สมดุลย์ แรงดันที่วัดได้เป็นศูนย์




รูปที่ 5.6 แสดงวงจรบริดจ์ที่ใช้กับกระเปาะความต้านทาน

การวัดอุณหภูมิโดยใช้กระเปาะความต้านทานนี้ จะใช้อยู่ในช่วง -200 °C ถึง 200 °C จากตารางมาตรฐานของกระเปาะความต้านทานในภาคผนวก ก สำหรับกระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100 จะได้ความต้านทานอยู่ในช่วง 17.14 โอห์ม ถึง 177.13 โอห์ม การปรับอัตราขยายของวงจรขยาย ทำได้โดยการตั้งตัวความต้านทานมาตรฐานปรับค่าได้ไว้ที่ 177.13 โอห์ม และตั้งรหัสชนิดของทรานสดิวเซอร์เป็น 2 ปรับอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณจนกระทั่งระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกอ่านค่าได้ 20.00 mV



รูปที่ 5.7 แสดงตัวความต้านทานมาตรฐานปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ จะทดสอบการวัดแรงดัน เมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานไปตามตารางมาตรฐานโดยจะคำนวนจากวงจรดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.6 โดยหาค่าคงที่ K ดังนี้ คือ

$$20\ mV = \left(\frac{177.13}{20K + 177.13} = \frac{100}{20K + 100}\right) K$$

$$K = 5258.14$$

จากนั้นคำนวนหาค่าแรงดันที่เกิดขึ้นที่ค่าความต้านทานต่าง ๆ ดังแสดงตัวอย่าง เช่น

ที่ 100 °C ความต้านทานของกระเปาะความต้านทานเท่ากับ 139.16 โอห์ม จะได้แรงดันที่เกิดจากความไม่สมดุลย์ของวงจรบริดจ์ คือ

$$V = \left(\frac{139.16}{20K + 139.16} - \frac{100}{20K + 100}\right) \times 5258.14$$

$$= 10.1734\ mV$$

ที่ 90 °C ความต้านทานของกระเปาะความต้านทานเท่ากับ 135.30 โอห์ม จะได้แรงดันที่เกิดจากความไม่สมดุลย์ของวงจรบริดจ์ คือ

$$V = \left(\frac{135.30}{20K + 135.30} - \frac{100}{20K + 100}\right) \times 5258.14 \text{ mV}$$

$$= 9.1724 \text{ mV}$$

เมื่อคำนวนค่าแรงดันได้ครบแล้ว ทำการทดสอบโดยการปรับค่าตัวความต้านทานมาตร-ฐาน ตามตารางมาตรฐาน อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถสรุปได้ว่า ระบบสามารถวัดแรงดันจากวงจรบริดจ์ มีความผิดพลาดไม่เกิน 0.1% ของค่าสูงสุด ซึ่งได้ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

ข. ทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยใช้ตัวความต้านทานมาตรฐาน การทดสอบนี้จะต้องโปรแกรมเซทรหัสของทรานสดิวเซอร์เป็น 12 ค่าแรงดันที่อ่านได้จากวงจรบริดจ์จะถูกผ่านเข้าไปในโปรแกรมการทำให้เป็นเชิงเส้นตรง เปลี่ยนค่าให้แสดงผลเป็นค่าอุณหภูมิ การสร้างตารางมาตรฐาน จะต้องสร้างจากค่าที่คำนวนได้ในข้อ ก. โดยช่วงของอุณหภูมิแต่ละจุดเท่ากับ 10 °C คำนวนหาค่า A B C และ D ของโปรแกรมการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงดังตัวอย่างเช่น

จากข้อ ก. ที่ 100 °C คำนวนแรงดันได้ 10.173 mV

ที่ 90 °C คำนวนแรงดันได้ 9.172 mV

ถ้า C = 100 °C D = 10.173 mV

$$A = \frac{10.1734 \text{ mV} - 9.1724 \text{ mV}}{10\,^{\circ}\text{C}}$$

$$= 0.10010 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

$$B = 10.1734 \text{ mV} - 0.10010 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \times 100\,^{\circ}\text{C}$$

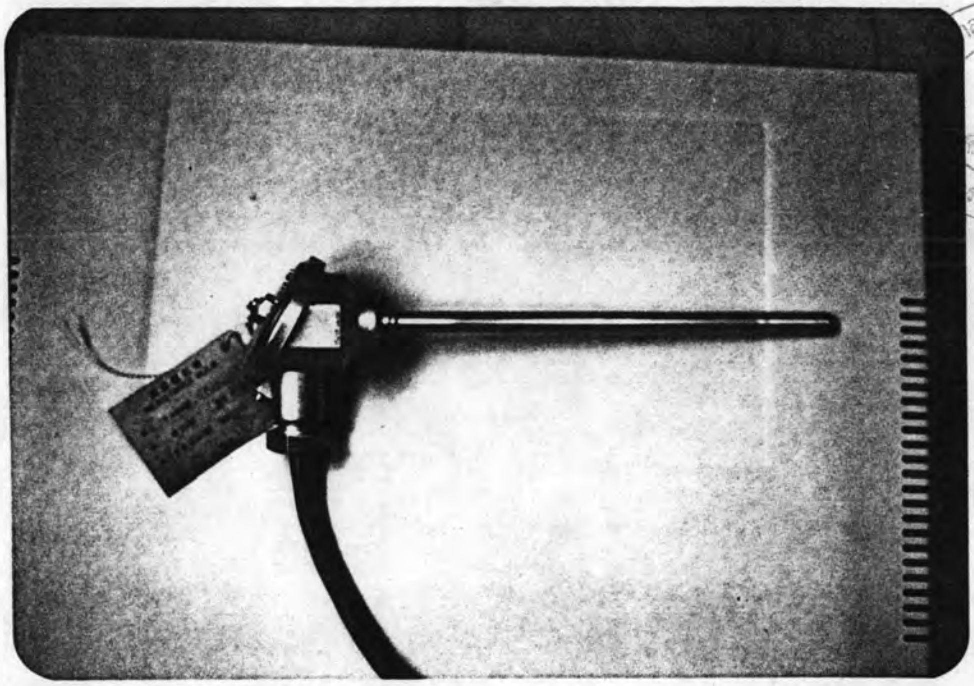
$$= 0.1634 \text{ mV}$$

จากตัวอย่างการคำนวน สามารถสร้างตารางการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงของกระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100 สำหรับวัดอุณหภูมิในช่วง -200 °C ถึง 200 °C ดังแสดงในตารางที่ 5.3 การทดสอบจะทำโดยการปรับค่าความต้านทานมาตรฐาน ตามค่าในตารางมาตรฐานของกระเปาะความต้านทาน จากค่า -200 °C ถึง 200 °C และอ่านค่าอุณหภูมิจากระบบเก็บขอ้มูลแบบอะนาลอก ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถสรุปได้ว่า การวัดอุณหภูมิโดยใช้ตัวความต้านทานมาตรฐานปรับค่าได้ มีความผิดพลาดไม่เกิน 0.1% ของค่าสูงสุด ซึ่งได้ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

ตารางที่ 5.3 แสดงตารางการทำให้เป็นเชิงเส้นตรงของ
กระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100

| R<br>ohm | A<br>mV/°C | B<br>mV | C<br>°C | D<br>mV |
|---|---|---|---|---|
| 17.14 | 0.11335 | -1.0125 | -200 | -21.6575 |
| 21.46 | 0.11384 | -1.1056 | -190 | -20.5240 |
| 25.80 | 0.11326 | -1.0012 | -180 | -19.3856 |
| 30.12 | 0.11268 | -0.9026 | -170 | -18.2530 |
| 34.42 | 0.11159 | -0.7282 | -160 | -17.1262 |
| 38.68 | 0.11076 | -0.6037 | -150 | -16.0103 |
| 42.91 | 0.10992 | -0.4861 | -140 | -14.9027 |
| 47.11 | 0.10936 | -0.4133 | -130 | -13.8035 |
| 51.29 | 0.10853 | -0.3137 | -120 | -12.7099 |
| 55.44 | 0.10796 | -0.2510 | -110 | -11.6246 |
| 59.57 | 0.10739 | -0.1940 | -100 | -10.5450 |
| 63.68 | 0.10682 | -0.1427 | - 90 | - 9.4711 |
| 67.77 | 0.10652 | -0.1187 | - 80 | - 8.4029 |
| 71.85 | 0.10596 | -0.0795 | - 70 | - 7.3377 |
| 75.91 | 0.10565 | -0.0609 | - 60 | - 6.2781 |
| 79.96 | 0.10509 | -0.0329 | - 50 | - 5.2216 |
| 83.99 | 0.10479 | -0.0209 | - 40 | - 4.1707 |
| 88.01 | 0.10448 | -0.0116 | - 30 | - 3.1228 |
| 92.02 | 0.10418 | -0.0056 | - 20 | - 2.0780 |
| 96.02 | 0.10362 | -0.0000 | - 10 | - 1.0362 |
| 103.97 | 0.10332 | 0.0000 | 10 | 1.0332 |
| 107.93 | 0.10301 | 0.0031 | 20 | 2.0633 |
| 111.88 | 0.10272 | 0.0089 | 30 | 3.0905 |
| 115.81 | 0.10216 | 0.0257 | 40 | 4.1121 |
| 119.73 | 0.10185 | 0.0381 | 50 | 5.1306 |
| 123.64 | 0.10156 | 0.0529 | 60 | 6.1462 |
| 127.54 | 0.10126 | 0.0706 | 70 | 7.1588 |
| 131.42 | 0.10070 | 0.1098 | 80 | 8.1658 |
| 135.30 | 0.10066 | 0.1130 | 90 | 9.1724 |
| 139.16 | 0.10010 | 0.1634 | 100 | 10.1734 |
| 143.01 | 0.09981 | 0.1924 | 110 | 11.1715 |
| 146.85 | 0.09951 | 0.2254 | 120 | 12.1666 |
| 150.67 | 0.09895 | 0.2926 | 130 | 13.1561 |
| 154.49 | 0.09892 | 0.2965 | 140 | 14.1453 |
| 158.29 | 0.09836 | 0.3749 | 150 | 15.1289 |
| 162.08 | 0.09806 | 0.4199 | 160 | 16.1095 |
| 165.86 | 0.09777 | 0.4663 | 170 | 17.0872 |
| 169.63 | 0.09747 | 0.5173 | 180 | 18.0619 |
| 173.38 | 0.09693 | 0.6145 | 190 | 19.0312 |
| 177.13 | 0.09688 | 0.6240 | 200 | 20.0000 |

ค. ทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยใช้กระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100 การทดสอบทำได้โดยต่อกระเปาะความต้านทานเข้ากับช่องสัญญาณหนึ่ง นำไปวัดอุณหภูมิใน OIL BATH ขั้นตอนการทดสอบโดยใช้ OIL BATH ทำเช่นเดียวกับการทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิล ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดเกินกว่า 0.1% ทั้งนี้เนื่องจากกระเปาะความต้านทานที่ใช้เป็นของบริษัท CHINO รุ่น MCN-11D ดังแสดงในรูปที่ 5.8 มีความผิดพลาดได้ถึง 0.15% นอกจากนี้อาจเกิดจากการอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์อีกแห่งหนึ่ง



รูปที่ 5.8 แสดงกระเปาะความต้านทานชนิด Pt-100 ที่ใช้ในการทดสอบ

5.2 การทดสอบความเร็วในการสแกนหัววัด

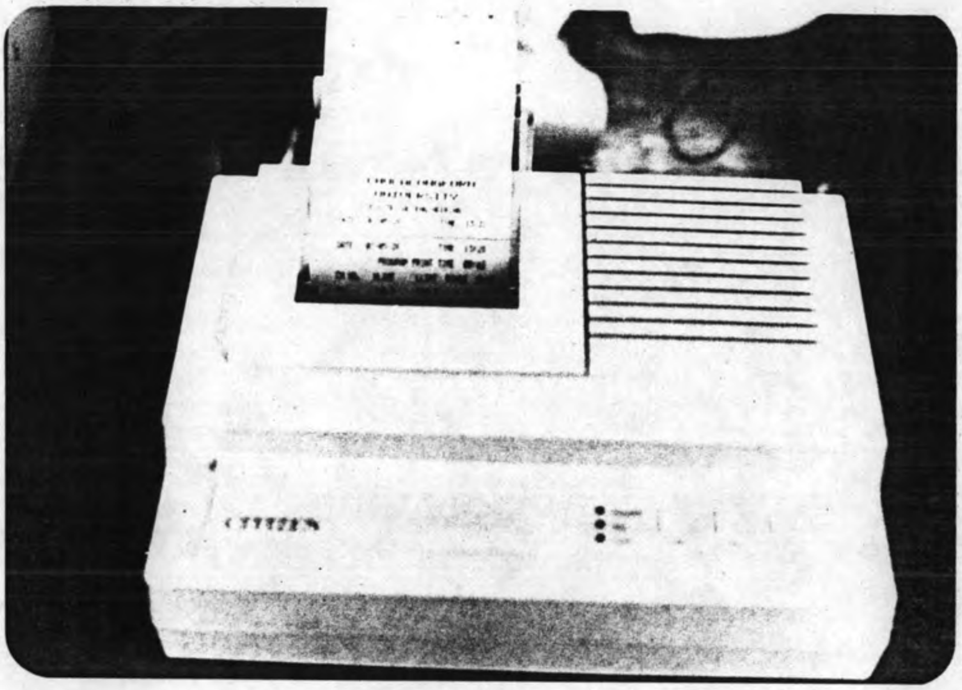
การทดสอบความเร็วในการสแกนหัววัด โดยทั่วไปจะทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณเข้าช่องสัญญาณต่าง ๆ ด้วยค่าสูงสุดของการวัดทุกช่องสัญญาณ จากนั้นจับเวลาการสแกนหัววัดจนครบรอบทุกช่องสัญญาณ ก็สามารถหาความเร็วในการสแกนหัววัดได้ แต่เนื่องจากการสร้างเครื่องต้นแบบได้สร้างแผงวงจรเลือกสัญญาณเพียง 2 แผงเท่านั้น การทดสอบวิธีนี้จึงไม่สามารถนำมาใช้

ได้ ดังนั้นการตรวจสอบเกี่ยวกับความเร็วในการเร็วในการสแกนหัววัด จะต้องใช้วิธีการตรวจหาเวลาของการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการทำโปรแกรม

จากการทดสอบในการสร้างและประกอบวงจรแล้ว จะได้ว่าการแปลงสัญญาณของหัววัดแต่ละตัวจะต้องใช้เวลา 0.080 วินาที และจะต้องเสียเวลาให้กับรีดรีเลย์ในการทำงานอีก .01 วินาที ดังนั้นจะต้องทดสอบหาเวลาที่เสียไปมากที่สุดในการทำโปรแกรม จากโปรแกรมการทำงานของระบบในหัวข้อ 4.1.5 หลังจากจบโปรแกรมย่อย ๆ แต่ละโปรแกรมจะมีการตรวจสอบสภาวะการอินเตอร์รัพท์จากภาคแปลงสัญญาณทุกครั้ง ดังนั้นเวลาที่เสียไปมากที่สุดจะเท่ากับโปรแกรมย่อยที่ยาวที่สุด ดังนั้นจะต้องตรวจหาเวลาของโปรแกรมย่อยต่าง ๆ การตรวจสอบอาจทำได้จากการ-คำนวน ซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากโปรแกรมแต่ละโปรแกรมจะมีความยาวมาก ดังนั้นจะตรวจสอบโดยการวัดช่วงเวลาแต่ละโปรแกรม จากวงจรในภาคเลือกสัญญาณจะเห็นว่า พอร์ทของ PIA 8255 จะยังมีเหลืออีกมาก ดังนั้นเราจะใช้พอร์ทเหล่านี้ในการทดสอบ โดยการเซทพอร์ทไว้ที่"1" เมื่อเริ่มโปรแกรมย่อย และเมื่อจบโปรแกรมก็จะเซทกลับเป็น"0" เมื่อเปิดเครื่องทำงาน และใช้ออสซิลโลสโคปจับดูที่พอร์ทนั้น และดูช่วงเวลาที่สัญญาณเป็น"1" ยาวที่สุดเท่าไร ก็จะได้เวลาที่สูงสุดในการทำโปรแกรมย่อยนั้น ผลการตรวจสอบในโปรแกรมที่สร้างขึ้น ได้โปรแกรมย่อยยาวที่สุดจะใช้เวลาสูงสุดเพียง 0.0012 วินาที เท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการสแกนหัววัดหนึ่งหัววัดนั้น จะใช้เวลาสูงสุด 0.0912 วินาที ซึ่งได้ตามข้อกำหนดที่ออกแบบไว้

## 5.3 การทดสอบการพิมพ์รายงาน

ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกที่สร้างขึ้น สามารถใช้กับเครื่องพิมพ์ทุกชนิดที่ใช้บัสเซน-ทรอนิคส์ เช่น เครื่องพิมพ์ที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป แต่รูปแบบการพิมพ์อาจแตกต่างกันไปแล้วแต่รหัสควบคุมของแต่ละเครื่อง ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมระบบนี้ได้ออกแบบใช้งานสำหรับเครื่องพิมพ์ CITIZEN TYPE iDP-560 ของบริษัท JAPAN CBM CORPORATION



รูปที่ 5.9 แสดงเครื่องพิมพ์ที่ใช้กับระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ชนิด 7x5 DOT MATRIX พิมพ์ได้ 40 ตัวอักษรต่อบรรทัด สามารถพิมพ์อักษรตัวใหญ่ขนาด 20 ตัวอักษรต่อบรรทัด นอกจากนี้ยังสามารถสั่งให้พิมพ์อักษรเป็นสีแดงได้

การทดสอบการพิมพ์รายงาน จะเริ่มตั้งแต่เปิดเครื่อง เครื่องพิมพ์จะพิมพ์หัวกระดาษ วัน เดือน ปี และเวลา ตามที่กำหนดไว้ เมื่อพิมพ์ข้อความเสร็จสิ้นให้โปรแกรมตั้งช่วงเวลาการพิมพ์ไว้ 3 นาที และโปรแกรมค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ จากนั้นกดปุ่ม PRINT ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกจะสั่งเครื่องพิมพ์ให้พิมพ์ค่าต่าง ๆ ที่โปรแกรมไว้ทั้งหมด ดังนั้นเราจะได้รายงานค่าที่ตั้งให้กับระบบไม่ต้องไปเลือกดูจากภาคแสดงผล เมื่อการพิมพ์เสร็จสิ้นลงให้กดปุ่ม PROG เปลี่ยนโมดการทำงานมาเป็น HOLD MODE เครื่องจะพิมพ์โมดใหม่พร้อมทั้งเวลาขณะที่กดปุ่มเพื่อเป็นรายงานให้ทราบว่ามีการเปลี่ยนโมดการทำงานของระบบเวลาใด ในโมดนี้ถ้ากดปุ่ม PRINT เครื่องพิมพ์จะพิมพ์ข้อมูลที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์ทุกช่องสัญญาณที่โปรแกรมเซ็ทค่าไว้ พร้อมทั้งช่องสัญญาณที่มีข้อมูลผิดปกติ

CHULALONGKORN
UNIVERSITY
ELECTRICAL ENGINEERING

DATE 03-05-28 TIME 13:48

DATE 03-05-28 TIME 13:50
PROGRAM PRINT TIME 00:03

| CH NO. | HLIMT | LLIMT | RANGE | UNIT |
|---|---|---|---|---|
| 001 | 199.9 | -199.9 | 9 | C |
| 002 | 199.9 | 50.0 | 9 | C |
| 003 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 004 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 005 | .0 | -199.9 | 9 | C |
| 006 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 007 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 008 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 009 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 010 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |
| 011 | 199.9 | 199.9 | 9 | C |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 222 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 223 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 224 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 225 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 226 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 227 | 1999 | 1999 | 0 | mV |
| 228 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 229 | 1999 | - 1999 | 0 | mV |
| 230 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 231 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 232 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 233 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 234 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 235 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 236 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 237 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 238 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 239 | 0 | 0 | 0 | mV |
| 240 | 1999 | - 1999 | 0 | mV |

HOLD TIME 13:52

DATE 03-05-28 TIME 13:53

| CH NO. | DATA | UNIT | CH NO. | DATA | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|
| 001 | 28.3 | C | 002 | 36.5 | C |
| 005 | 36.1 | C | 015 | 36.3 | C |

* UNDER LOW LIMIT
002 36.5 C
* OVER HIGH LIMIT
005 36.1 C
* OVER RANGE
NOT FOUND

RUN TIME 13:53

DATE 03-05-28 TIME 13:56

| CH NO. | DATA | UNIT | CH NO. | DATA | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|
| 001 | 28.4 | C | 002 | 36.2 | C |
| 005 | 36.2 | C | 015 | 36.2 | C |

* UNDER LOW LIMIT
002 36.2 C
* OVER HIGH LIMIT
005 36.2 C
* OVER RANGE
NOT FOUND

DATE 03-05-28 TIME 13:59

| CH NO. | DATA | UNIT | CH NO. | DATA | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|
| 001 | 28.4 | C | 002 | 36.2 | C |
| 005 | 36.6 | C | 015 | 36.3 | C |

* UNDER LOW LIMIT
002 36.2 C
* OVER HIGH LIMIT
005 36.6 C
* OVER RANGE
NOT FOUND

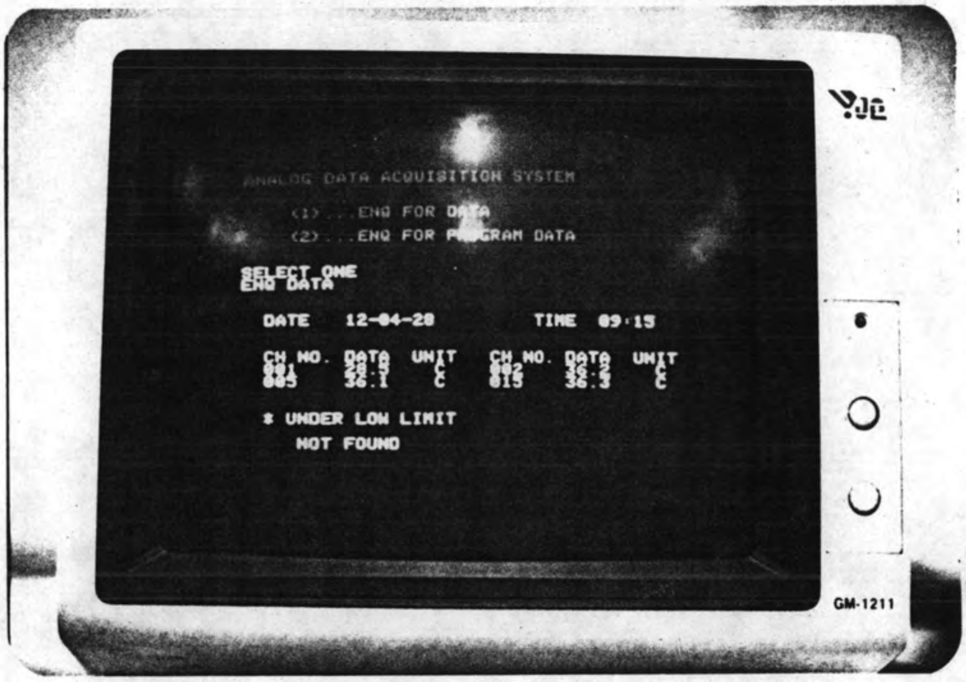
รูปที่ 5.10 แสดงการพิมพ์รายงานของระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก

ขณะที่อยู่ใน HOLD MODE ให้กดปุ่ม HOLD เพื่อเปลี่ยนไปยัง RUN MODE เครื่องพิมพ์จะพิมพ์โมดใหม่พร้อมทั้งเวลาเช่นกัน หลังจากที่เปลี่ยนมาที่โมดนี้ได้ 3 นาที ระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกจะสั่งเครื่องพิมพ์ให้พิมพ์รายงานเช่นเดียวกับที่พิมพ์ใน HOLD MODE และเมื่อครบเวลารอบต่อไปก็จะมีการพิมพ์รายงานอีกเช่นกัน โดยจะมีการพิมพ์รายงานออกทุก ๆ 3 นาที ผลการพิมพ์ตามขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วจะแสดงไว้ในรูปที่ 5.10

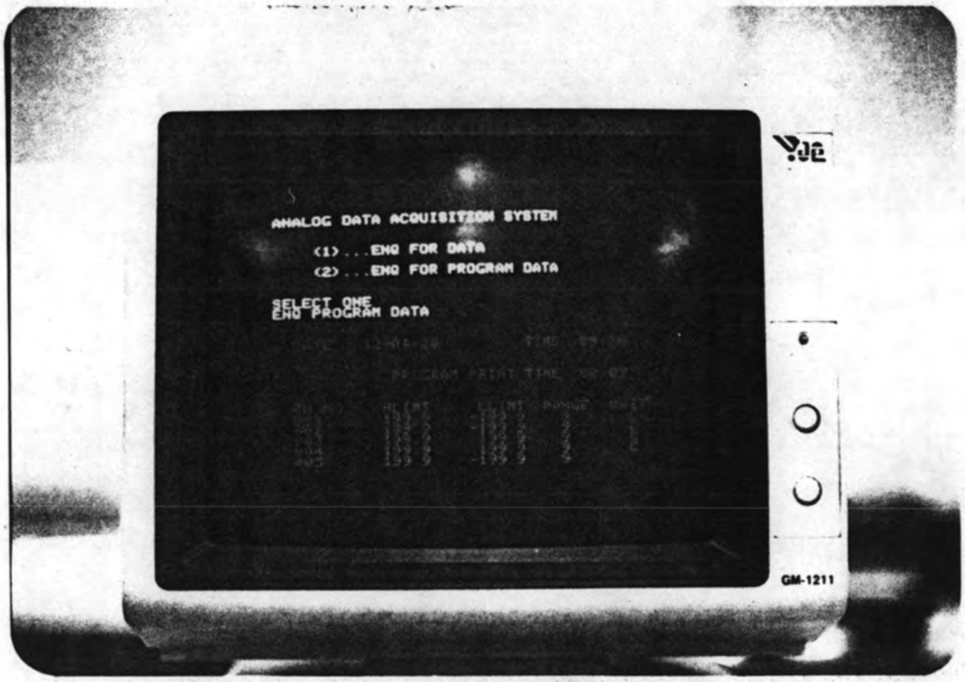
5. 4 การทดสอบการรับส่งข้อมูลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

การทดสอบการรับส่งข้อมูลกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องเขียนโปรแกรมให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการติดต่อกับระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก โดยจะเขียนเป็นโปรแกรมภาษาเบสิคสำหรับเรียกอ่านข้อมูลจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก แต่โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลจะเขียนเป็นภาษาเครื่อง และจะถูกเรียกใช้ในภาษาเบสิค โปรแกรมที่เป็นภาษาเครื่องจะเขียนเป็นภาษาแอสเซมบลีของ CPU 6502 และใช้โปรแกรม SC-MACRO ช่วยในการพัฒนาโปรแกรม โปรแกรมต่าง ๆ ที่เขียนขึ้นดังแสดงไว้ในภาคผนวก ง

รูปที่ 5.11 แสดงการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
กับระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอก




รูปที่ 5.12 แสดงข้อมูลเมื่อเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการ
ข้อมูลที่อ่านจากทรานสดิวเซอร์




รูปที่ 5.13 แสดงข้อมูลเมื่อเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการ
ข้อมูลที่เซทจากแป้นกดข้อมูล

ในการทดสอบจะใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ MEDFLY ต่อเข้ากับระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกทางคอนเนคเตอร์ SERIAL OUT ดังแสดงในรูปที่ 5.11 จากนั้นทำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมา RUN ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จะมีการแสดงผลบนจอ CRT ให้เลือกหัวข้อว่าต้องการข้อมูลที่อ่านจากทรานสดิวเซอร์ (ENQ FOR DATA) หรือข้อมูลที่เซ็ทจากแป้นกดข้อมูล (ENQ FOR PROGRAM DATA)

ถ้าต้องการข้อมูลที่อ่านจากทรานสดิวเซอร์ จะต้องกดปุ่ม "1" เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการรับข้อมูลจากระบบเก็บข้อมูลแบบอะนาลอกสักครู่หนึ่ง จากนั้นจึงแสดงผลข้อมูลบนจอ CRT ดังแสดงในรูปที่ 5.12 แต่ถ้าต้องการข้อมูลที่เซ็ทจากแป้นกดข้อมูล จะต้องกดปุ่ม "2" จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าระบบเก็บข้อมูลสามารถส่งข้อมูลมาแสดงผลบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีรูปแบบเช่นเดียวกับการส่งข้อมูลไปพิมพ์รายงาน