บทที่ 5

การทดสอบวงจรรวม

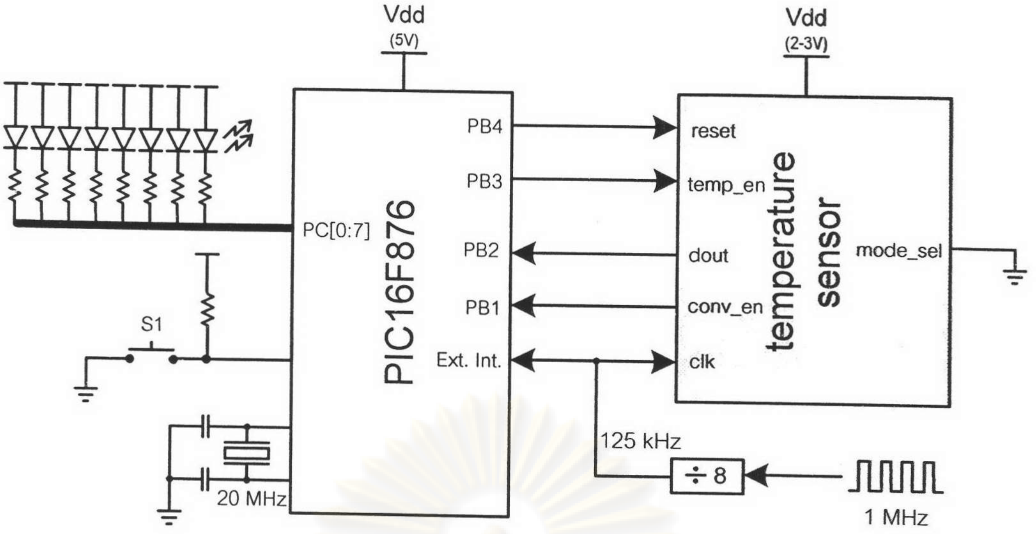
การทดสอบการทำงานของวงจรรวมนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ แบบแรก คือการทดสอบการทำงานของวงจรวัดอุณหภูมิซึ่งทำงานอย่างเป็นอิสระโดยตรง ซึ่งทำโดยการป้อนสัญญาณควบคุมเบื้องต้นทางแพดที่ได้กำหนดไว้ และวัดสัญญาณขาออกจากแพดโดยตรง แบบที่สอง คือทำการอ่านค่าอุณหภูมิของวงจรรวมซึ่งเชื่อมต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรรวม RFID เบอร์ SIC7960 ผ่านทางตัวอ่าน (Reader)

5.1 การทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิที่ทำงานเป็นอิสระ

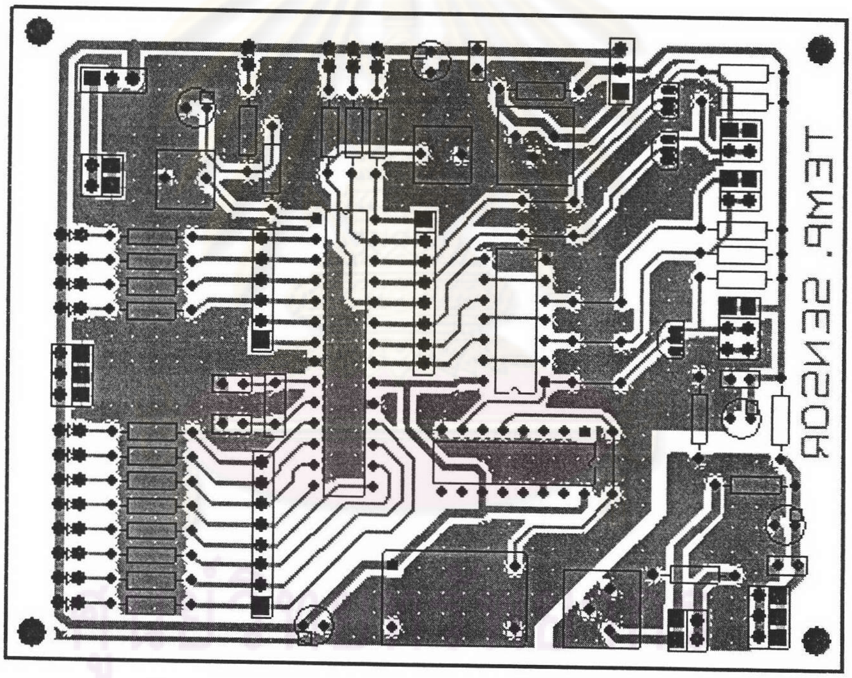
ระบบสำหรับการทดสอบวงจรรวมวัดอุณหภูมิโดยตรงเป็นดังรูปที่ 5-1 ส่วนประกอบหลัก คือไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรสำหรับวัดอุณหภูมิ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ป้อนคำสั่งไปยังวงจรรวมวัดอุณหภูมิ และรอรับผลการแปลงค่าโดยแสดงผลออกทางหลอดไฟ LED โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เลือกใช้เบอร์ PIC16F876 ของบริษัทไมโครชิป [25] เนื่องจากมีชุดคำสั่งที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและราคาไม่แพงมากนัก สัญญาณนาฬิกาสำหรับป้อนให้กับวงจรวัดอุณหภูมิและเป็นป้อนให้ขาอินเทอร์รัป (Interrupt) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างจากตัวออซซิลเลเตอร์ (Oscillator) ความถี่ 1 MHz ซึ่งถูกนำไปหารความถี่ให้เหลือความถี่ 125 kHz นอกจากนี้ยังมีส่วนของวงจรรวมเบอร์ LM317 ซึ่งเป็นวงจรคงค่าแรงดัน (ไม่ได้แสดงในรูป) ใช้แปลงแรงดันจาก 5 โวลต์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหลือแรงดันต่ำค่าตั้งแต่ 2 - 3 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับวงจรรวมสำหรับวัดอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ถูกออกแบบวงจรบนแผ่นพีซีบี (PCB, Printed Circuit Board) โดยมีลายเส้นดังรูปที่ 5-2

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับทำการวัดค่าคุณสมบัติอื่นๆ ได้แก่ มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล FLUKE 189 และเทอร์โมคัปเปิล (ไม่มีข้อมูล) โดยมีความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล HIOKI ใช้สำหรับวัดปริมาณกระแสที่ใช้ในวงจร ซึ่งให้ความละเอียดสูงสุด 0.01 μA และออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัล Tektronix TDS3014 ความละเอียดแกนตั้ง 8 บิตใช้สำหรับจับภาพสัญญาณขาออกจากวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-1 วงจรสำหรับทดสอบวงจรรวมวัดอุณหภูมิ



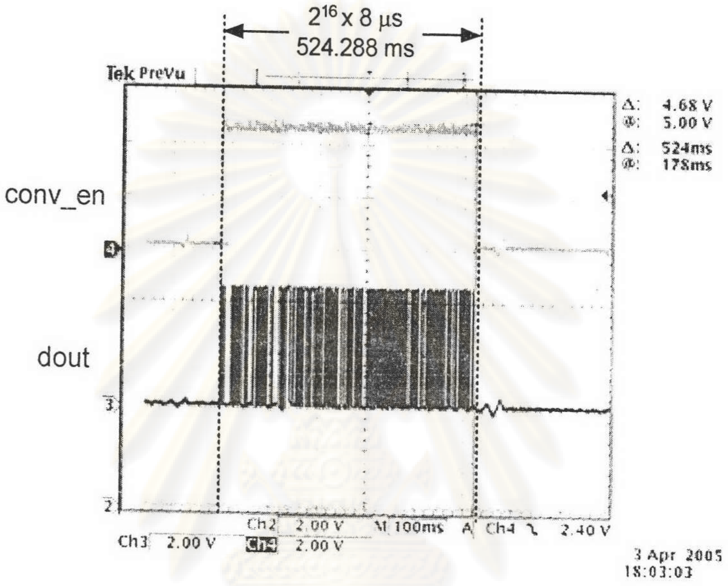
รูปที่ 5-2 ลายวงจรของแผ่นพีซีบีสำหรับทดสอบวงจรรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

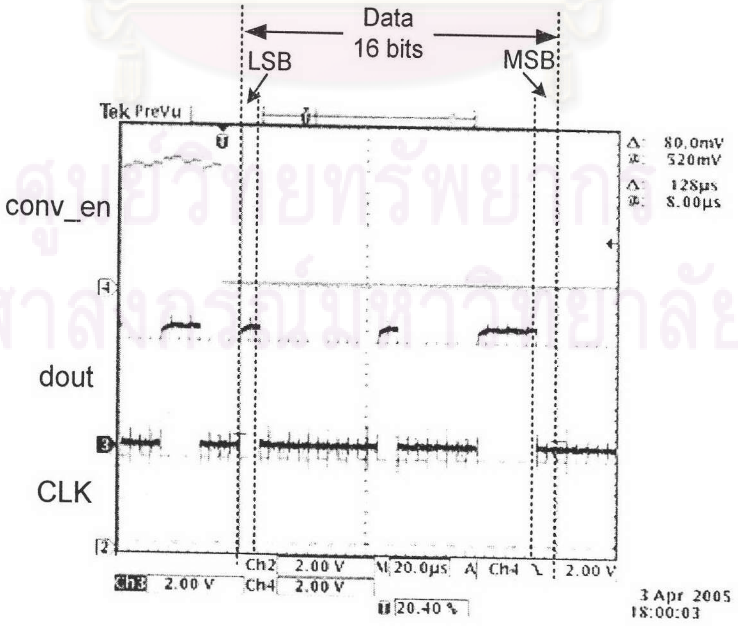
สำหรับการทดสอบวงจรรวมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบการทำงานของวงจรรวม และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าอุณหภูมิของวงจรรวม การทดสอบในขั้นตอนแรกจะทำโดยการใช้ออสซิลโลสโคปจับภาพสัญญาณขาออกจากตัววงจรรวม ซึ่งรายละเอียดของสัญญาณขาออกเป็นดังรูปที่ 5-3

รูปที่ 5-3 แสดงผลการทำงานเชิงเวลาของการแปลงค่าภายในวงจรรวม ซึ่งถูกกำหนดไว้เป็นเวลา 2^{16} คาบสัญญาณนาฬิกา คิดเป็นเวลา 524.288 ms ซึ่งสามารถวัดได้จากระยะเวลาที่

สัญญาณ conv_en เป็นตรรกสูง ซึ่งพบว่าทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบ และในระยะเวลาดังกล่าวก็จะมีสัญญาณพัลส์ขาออกของตัวแปลงถูกส่งออกมาด้วยเช่นเดียวกัน รูปที่ 5-4 แสดงช่วงของการส่งค่าสัญญาณขาออก 16 บิต ซึ่งถูกเลื่อนออกมาทีละบิต โดยให้บิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (LSB) ออกมาก่อน โดยที่จะเว้นว่างหลังจากสัญญาณ conv_en เปลี่ยนจากตรรกสูงเป็นต่ำ เป็นระยะเวลา 1 คาบสัญญาณนาฬิกาซึ่งผลจากรูปที่ 5-3 สามารถระบุได้ว่าวงจรมีขั้นตอนการทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 5-3 ลักษณะของสัญญาณ conv_en และ dout



รูปที่ 5-4 ลักษณะของสัญญาณ conv_en และ dout ในขณะทำการเลื่อนบิตข้อมูลออกมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากที่ทำการทดสอบว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบแล้ว ขั้นตอนไปคือการทดสอบความแม่นยำของการวัด โดยให้นำผลที่ได้จากการวงจรดังกล่าวมาคำนวณเป็นอุณหภูมิ แล้วเทียบกับค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ FLUKE 189 ซึ่งใช้งานร่วมกันเทอร์โมคัปเปิล โดยค่าดิจิทัลที่ทำการวัดนั้นจะถูกแปลงเป็นค่าอุณหภูมิตามสมการที่ 3-28 โดยทำความวิเคราะห์ความละเอียดเพียง 12 บิต

$$t = \left(48.61\times10^{-3}\right)\cdot\left(code\right) - 61.53$$

เมื่อ t คืออุณหภูมิองศาเซลเซียส code คือค่าของสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต

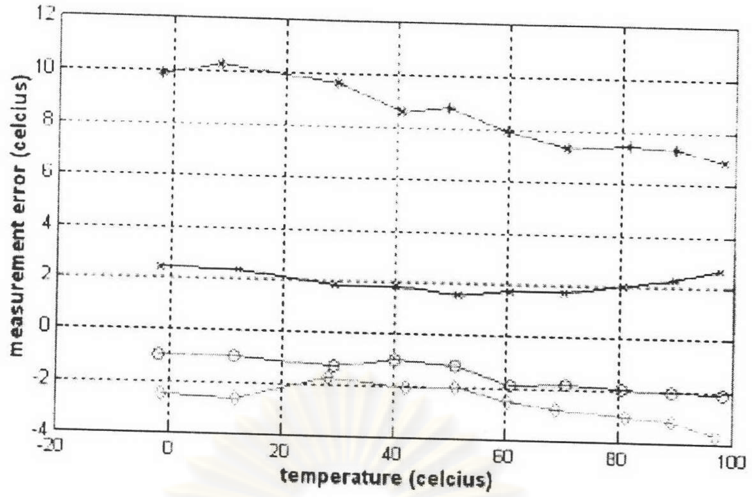
การทดสอบหาค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ ต้องทดสอบในสภาวะที่อุณหภูมินิ่งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการควบคุมจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สำหรับทำการควบคุมที่ราคาแพง ในการทดสอบนี้ ผู้ทดลองได้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆอย่างง่ายๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นได้บ้าง โดยทำการทดสอบวัดอุณหภูมิได้ในช่วงประมาณ -5 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยการวัดจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ทดสอบด้วยการนำวงจรรวมไว้ในเครื่องทำความเย็นควบคู่กับการใช้น้ำเป็นตัวควบคุม ที่อุณหภูมิห้องถึงประมาณ 50 องศาเซลเซียสทำการทดสอบโดยใช้ตู้อบ ในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสขึ้นไป ผู้ทดลองได้ทดสอบโดยการใช้น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้ากว่าอากาศ

โดยตัวอย่างผลการวัดค่าอุณหภูมิจากวงจรรวมจำนวน 4 ตัวเป็นตามตารางที่ 5-1 โดยใช้ระดับสัญญาณไฟเลี้ยง 2.4 โวลต์ ในการทำการทดลองวัดผลของอุณหภูมิแต่ละครั้งพบว่า ที่อุณหภูมิที่ถูกควบคุมได้ง่าย เช่นอุณหภูมิห้องหรือในเตาอบควบคุมอุณหภูมิ ค่าสัญญาณดิจิทัลขาออกที่วัดได้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงถึงบิตที่ 10 ขณะที่บิตที่มีความสำคัญต่ำลงไปจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาสัญญาณรบกวนภายในวงจร และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซึ่งไม่สามารถให้ควบคุมให้มีค่าคงที่จริงๆได้ โดยความผิดพลาดจากการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในรูปที่ 5-5 ซึ่งพบว่าวงจรรวมที่ทำการทดสอบมีความผิดพลาดในการวัดที่ออกมาจะมากน้อยแตกต่างกันออกไป โดยผลการวัดพบว่าวงจรรวมมีค่าความผิดพลาดสูงสุดได้ถึงประมาณ 10 องศาเซลเซียสในช่วงที่ทำการวัด ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการปรับเทียบก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

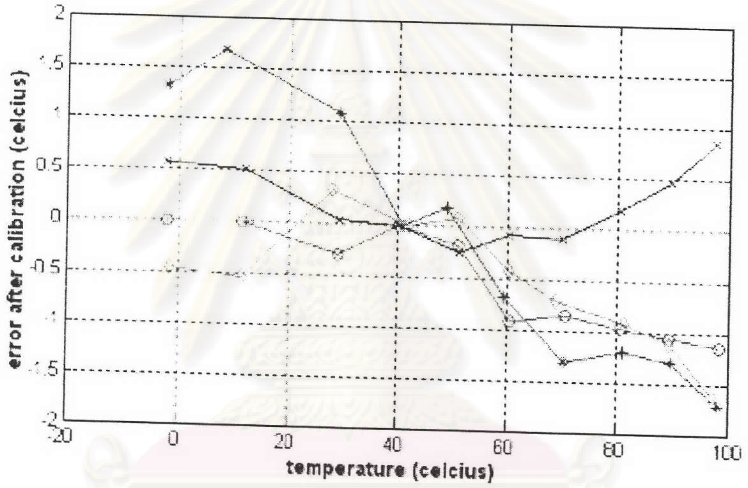
ตารางที่ 5-1 ผลการวัดอุณหภูมิโดยตรงจากวงจรรวมที่ทำงานเป็นอิสระ

ตัวที่ 1			ตัวที่ 2		
อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)
-2.1	7.83	9.93	-2.1	-3.10	-1.00
8.3	18.59	10.29	11.5	10.47	-1.03
29.4	39.09	9.69	29.2	27.90	-1.30
40.9	49.52	8.62	40.2	39.05	-1.05
49.1	57.90	9.80	51.0	49.81	-1.19
59.5	67.43	7.93	60.7	58.78	-1.92
70.5	77.81	7.31	70.7	68.84	-1.86
81.1	88.52	7.42	80.4	78.42	-1.98
89.6	96.92	7.32	89.2	87.14	-2.06
98.2	105.1	6.90	98.4	96.25	-2.15
ตัวที่ 3			ตัวที่ 4		
อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)
-2.0	0.40	2.40	-1.4	-3.94	-2.54
12.0	14.35	2.35	11.6	8.97	-2.63
29.4	31.27	1.87	28.3	26.54	-1.76
40.2	42.04	1.84	42.1	40.02	-2.08
51.3	52.88	1.58	51.0	49.00	-2.00
60.5	62.26	1.76	60.4	57.92	-2.48
70.1	71.84	1.74	68.9	66.13	-2.77
80.4	82.43	2.03	81.2	78.26	-2.94
89.5	921.80	2.30	89.4	86.19	-3.21
97.5	100.20	2.70	97.1	93.38	-3.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-5 ค่าความผิดพลาดของวงจรวัดอุณหภูมิเมื่อทำการวัดโดยตรงก่อนปรับเทียบ



รูปที่ 5-6 ค่าความผิดพลาดของวงจรวัดอุณหภูมิเมื่อทำการวัดโดยตรงหลังปรับเทียบแบบหนึ่งจุด

วิธีการปรับเทียบที่เลือกใช้คือ วิธีการปรับเทียบแบบดิจิทัลและทำการปรับเทียบแบบหนึ่งจุด ซึ่งทำให้ลดความผิดพลาดในรูปของออฟเซตออกไปได้ โดยถ้าปรับเทียบที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จะพบว่าสามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของวงจรรวมโดยรวมลดลงได้ ดังแสดงผลของความผิดพลาดหลังการปรับเทียบในรูปที่ 5-6 ทั้งนี้จะพบว่าค่าความผิดพลาดในบริเวณอุณหภูมิที่ทำการปรับเทียบจะน้อยกว่าอุณหภูมิที่แตกต่างจากจุดปรับเทียบมาก โดยในช่วงที่ทำการวัด จะเกิดความผิดพลาดในการวัดสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังมีการวัดผลของแรงดันไฟเลี้ยงต่อค่าที่ทำการวัด โดยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรรวมจากค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรรวมเบอร์ LM317 โดยเปรียบเทียบค่าการวัดกับค่าที่วัดได้ ณ แรงดันไฟเลี้ยง 2.4 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันไฟเลี้ยงภายในวงจรรวม RFID

ในสภาวะปกติของกระบวนการผลิต และวัดค่าปริมาณกระแสเฉลี่ยที่ไหลขณะวงจรทำงาน ซึ่งทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยจากวงจรรวมจำนวน 4 ตัว ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ผลการวัดอุณหภูมิและกระแสที่แรงดันไฟเลี้ยงต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟเลี้ยง (V)	กระแสไฟเฉลี่ย (μA)	ค่าที่แตกต่างไปจากค่าที่วัดได้ที่แรงดันไฟเลี้ยง 2.4 โวลต์ (°C)
-2.5	2	8.08	-0.43
	2.4	8.40	0
	3	8.86	0.46
27.0	2	8.27	-0.52
	2.4	8.52	0
	3	9.02	0.69
50.2	2	8.34	-0.67
	2.4	8.64	0
	3	9.40	0.81
79.9	2	8.12	-0.84
	2.4	8.36	0
	3	9.13	1.05
95.4	2	8.01	-0.98
	2.4	8.23	0
	3	8.87	1.34

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.2 พบว่าแรงดันไฟเลี้ยงส่งผลถึงค่าของสัญญาณขาออกที่ได้ โดยพบว่าเมื่อแรงดันมีค่าสูงขึ้นแล้ว ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ 1.5°C เมื่อเทียบกับการวัดที่แรงดัน 2.4 โวลต์ ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวัด ทั้งนี้เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวทรานซิสเตอร์ (channel length modulation) เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมระหว่างซอร์สกับเดรนของทรานซิสเตอร์ภายในวงจรรวมที่ได้ออกแบบเปลี่ยนแปลงไปได้ ส่งผลให้ปริมาณกระแสต่างๆที่ไหลในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ ดังสมการกระแสของทรานซิสเตอร์

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_{TH})^2\left[1+\lambda\left(V_{DS} - V_{DSAT}\right)\right] \quad (5\text{-}1)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

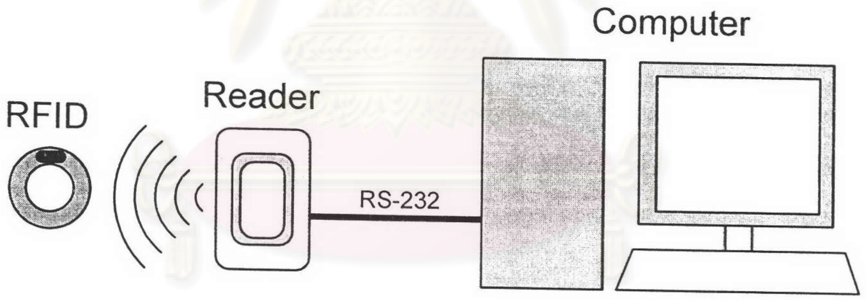
นอกจากนี้จากผลในตารางที่ 5-2 ยังพบว่าการที่แรงดันไฟเลี้ยงสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกระแสเฉลี่ยที่ใช้ในวงจรสูงขึ้น ซึ่งปัจจัยหลักเกิดจากกระแสเฉลี่ยภายในวงจรดิจิทัลสูงขึ้น ตามความสัมพันธ์ [26]

$$I_{ave,dig} = \frac{1}{2} \cdot C_{eq} \cdot f_{clk} \cdot V_{dd} \tag{5-2}$$

ซึ่งจากการผลการทดลอง อาจระบุได้ว่า วงจรวัดอุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำงานได้ในสภาวะแรงดันไฟเลี้ยง 2 ถึง 3 โวลต์ และมีปริมาณกระแสเฉลี่ยไม่เกิน 10 μA จึงสามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบ RFID ได้

5.2 การทดสอบวงจรรวมวัดอุณหภูมิที่ทำงานร่วมกับชิป RFID

การทดสอบในแบบนี้เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรวัดอุณหภูมิที่ออกแบบ ซึ่งถูกเชื่อมต่อเป็นส่วนหนึ่งกับชิป RFID เบอร์ SIC7960 โดยทำการอ่านค่าผ่านทางตัวอ่าน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย ชิป RFID ที่มีส่วนของวงจรวัดอุณหภูมิ ตัวอ่านและคอมพิวเตอร์ โดยระบบทดสอบเป็นดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 ระบบทดสอบการวัดอุณหภูมิซึ่งอยู่ภายในชิป RFID

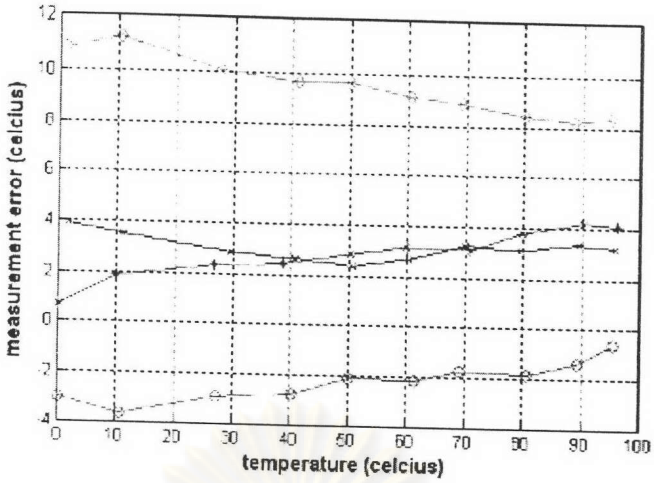
ในการทดสอบจะใช้น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยนำชิป RFID ห่อด้วยวัสดุกันน้ำแล้วใส่ลงในภาชนะที่บรรจุน้ำ การอ่านทำโดยป้อนคำสั่งพิเศษ (Op-Code) ผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งคำสั่งจะถูกส่งไปยังตัวอ่านผ่านทางพอร์ตอนุกรม (serial port) หลังจากนั้น ตัวอ่านจะรอรับค่าอุณหภูมิที่ได้แล้วส่งไปแสดงผลออกมาทางจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากการทดสอบ พบว่าที่อุณหภูมิที่ถูกควบคุมได้ง่าย เช่นอุณหภูมิห้องหรือในเตาอบควบคุมอุณหภูมิ ค่าสัญญาณดิจิทัลขาออกที่วัดได้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงถึงบิตที่ 8 ซึ่งแสดงว่าการวัดผ่านระบบ RFID จะให้ค่าความละเอียดในการวัดต่ำกว่าการวัดโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น ผลของสัญญาณรบกวนจากซับสเตรท (substrate noise) ซึ่งเกิดจากกระแสซึ่งไหลในซับสเตรท นอกจากนี้ยังมีผลของแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรซึ่งในขณะทำการวัดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากไฟเลี้ยงนี้ได้ถูกป้อน

ให้กับวงจรอื่นๆของชิปด้วย ซึ่งมีทั้งวงจรในส่วนของวงจรดิจิทัลและหน่วยความจำของชิป ตลอดจนวงจรในส่วนของส่วนเชื่อมต่อ (RF Interface) โดยค่าที่อ่านได้เป็นดังตารางที่ 5-3

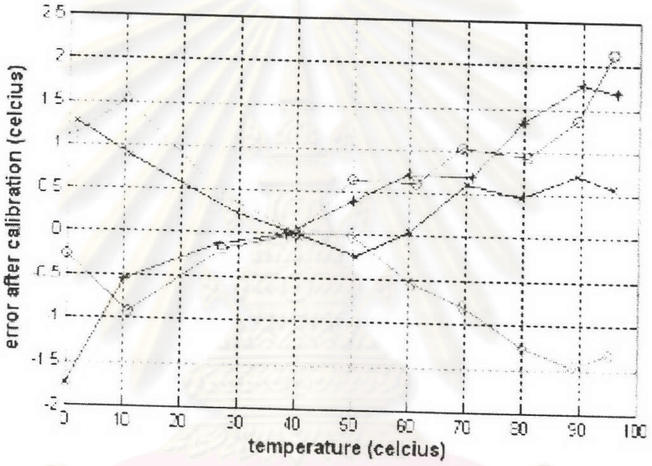
ตารางที่ 5-3 ผลการวัดอุณหภูมิของวงจรรวมวัดอุณหภูมิภายในชิป RFID

ตัวที่ 1			ตัวที่ 2		
อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)
0.0	0.70	0.70	0.0	-3.73	-3.73
10.0	11.89	1.89	10.6	6.98	-3.62
26.6	28.92	2.32	27.2	24.25	-2.95
38.5	40.94	2.44	40.3	37.54	-2.76
50.3	53.14	2.84	50.1	47.98	-2.12
59.8	62.96	3.16	61.3	59.15	-2.15
70.9	74.04	3.14	69.2	67.47	-1.73
79.8	83.57	3.77	80.8	78.97	-1.83
90.2	94.41	4.21	89.4	88.01	-1.39
96.2	100.32	4.12	95.5	94.87	-0.63
ตัวที่ 3			ตัวที่ 4		
อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	ความผิดพลาด (°C)
1.2	12.02	10.82	1.6	5.52	3.92
10.3	21.54	11.24	10.9	14.44	3.54
27.6	37.73	10.13	29.6	32.48	2.88
41.0	50.71	9.71	40.6	43.25	2.65
49.9	59.60	9.70	50.7	53.11	2.41
60.5	69.67	9.17	60.2	62.90	2.70
69.4	78.32	8.92	70.0	73.26	3.26
80.2	88.65	8.45	79.6	83.52	3.92
88.7	96.94	8.27	89.4	92.78	3.38
95.1	103.48	8.38	95.8	99.03	3.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-8 ค่าความผิดพลาดของวงจรวัดอุณหภูมิเมื่อทำการวัดผ่านชิป RFID



รูปที่ 5-9 ค่าความผิดพลาดของวงจรวัดอุณหภูมิเมื่อทำการวัดผ่านชิป RFID หลังปรับเทียบแบบหนึ่งจุด

ค่าความผิดพลาดจากการวัดจากตารางที่ 5-3 ถูกแสดงในรูปที่ 5-8 ซึ่งพบว่าค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดได้ ซึ่งอาจสูงถึง 12 องศาเซลเซียส โดยถ้าใช้การปรับเทียบแบบหนึ่งจุดที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความผิดพลาดจะลดลง โดยในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวัด 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส จะมีความผิดพลาดไม่เกิน 2.5 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าออฟเซตที่บวกหรือลบออกจากค่าที่วัดได้นั้น สามารถใช้โดยการเก็บลงในหน่วยความจำของชิป RFID แต่ละตัว

จากผลการทดสอบทั้งสองแบบ คือ การทดสอบวงจรอุณหภูมิโดยตรงผ่านทางแพดทดสอบและการทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิซึ่งอยู่ภายในชิป RFID พบว่า ค่าที่วัดได้จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น โดยเด่นชัดใน 2 ลักษณะ กล่าวคือ ความผิดพลาดของค่าออฟเซต และความผิดพลาดในเรื่องความไว (sensitivity) หรือความชันของเส้นความสัมพันธ์นั่นเอง โดยสาเหตุของความ

ผิดพลาดอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น ผลของความแปรปรวนในกระบวนการผลิต ความไม่เป็นเชิงเส้น ความผิดพลาดในการสะท้อนกระแส ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1

5.3 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของวงจรวัดอุณหภูมิที่ได้ออกแบบซึ่งแบ่งเป็น สองแบบ คือการทดสอบวงจรที่ทำงานโดยเป็นอิสระผ่านทางแพด และการทดสอบวงจรที่ทำงานร่วมกับชิป RFID

การทดสอบวงจรที่ทำงานโดยเป็นอิสระผ่านทางแพดนั้น ระบบการทดสอบจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F876 สำหรับการเชื่อมต่อกับวงจรรวมที่ได้ออกแบบ โดยจะแสดงผลข้อมูล 16 บิตออกทางหลอด LED โดยทำการทดสอบที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ 125 kHz

จากผลการทดสอบพบว่า วงจรที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามต้องการ โดยให้ความละเอียดในการวัดได้ 10 บิต หรือประมาณ 0.19 องศาเซลเซียสแต่ค่าอุณหภูมิที่วัดได้นั้นจะผิดพลาดเมื่อเทียบกับค่าจริง ซึ่งอาจสูงได้ถึง 10 องศาเซลเซียส จำเป็นจะต้องทำการเปรียบเทียบซึ่งวิธีที่นำเสนอคือวิธีปรับเทียบแบบดิจิทัลหนึ่งจุด ซึ่งหลังจากการปรับเทียบแล้วพบว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 2 องศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิประมาณ -10 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยวงจรใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 8.27 μA ในสภาวะอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส และแรงดันไฟเลี้ยง 2.4 โวลต์ คิดเป็นกำลังทางไฟฟ้าประมาณ 20.45 ไมโครวัตต์ ทั้งนี้ค่าที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นกับแรงดันไฟเลี้ยง โดยพบว่าเมื่อแรงดันสูงขึ้นค่าที่ได้จะสูงขึ้นด้วยโดยในช่วงของแรงดันไฟเลี้ยง 2 ถึง 3 โวลต์ ค่าที่อุณหภูมิวัดได้จะเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส

สำหรับการทดสอบวงจรที่ทำงานร่วมกับชิป RFID ระบบการทดสอบจะประกอบด้วยชิป RFID ซึ่งมีวงจรวัดอุณหภูมิอยู่ภายใน ตัวอ่าน และคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า วงจรที่ออกแบบสามารถทำงานร่วมกับชิป RFID ได้โดยให้ความละเอียดในการวัด 8 บิตหรือประมาณ 0.76 องศาเซลเซียสซึ่งน้อยกว่าการวัดโดยตรง เนื่องจากผลของสัญญาณรบกวน และแรงดันไฟเลี้ยงภายในชิป RFID โดยความผิดพลาดในการวัดหลังปรับเทียบแบบหนึ่งจุดจะมีค่าไม่เกิน 2.5 องศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิประมาณ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย