บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบวงจรรวมสำหรับวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล โดยสามารถวัดได้ในช่วง -40 ถึง 120 องศาเซลเซียส ความละเอียดขนาด 8 บิต และมีความผิดพลาดไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส สามารถทำงานได้ที่แรงดัน 2 ถึง 3.3 โวลต์ กินกระแสไฟไม่เกิน 20 ไมโครแอมป์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบ RFID ได้ การออกแบบใช้เทคโนโลยีซีมอส 0.35 ไมโครเมตร ของบริษัทชาร์ตเตอร์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์

วงจรทั้งหมดแบ่งออกได้เป็นสามส่วนได้แก่ ส่วนของวงจรวัดอุณหภูมิและสร้างกระแสอ้างอิง การทำงานใช้หลักการของแรงดันผลต่างช่องว่างพลังงาน ในการสร้างกระแสซึ่งมีค่าแปรผันตามอุณหภูมิ และใช้หลักการช่องว่างพลังงานในการสร้างกระแสอ้างอิง นอกจากนี้ยังทำหน้าสร้างกระแสสำหรับไบแอสส่วนอื่นๆด้วย ส่วนที่สองคือ ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิกมาเดลต้าอันดับหนึ่ง จะรับสัญญาณกระแสจากวงจรวัดอุณหภูมิแล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต ส่วนที่สามได้แก่ วงจรควบคุมภาคดิจิทัลซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด ตลอดจนทำหน้าที่เป็นวงจรกรองผ่านต่ำแบบดิจิทัลของตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิกมาเดลต้า วงจรที่ได้ออกแบบดังกล่าวนั้นสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของวงจรรวม RFID ได้

การออกแบบวงจรทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ โดยเน้นเรื่องของการประหยัดกำลังไฟฟ้า สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือวิเคราะห์ถึงความไม่เป็นอุดมคติต่างๆ ในวงจรซึ่งพบว่า ผลของแรงดันตกคร่อมเบสอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ซึ่งเป็นความแปรปรวนระหว่างแผ่นเวเฟอร์ที่ทำการผลิตจะส่งผลต่อความผิดพลาดของค่าที่ทำการวัดมากที่สุด ดังนั้นก่อนที่นำวงจรรวมวัดอุณหภูมิที่ออกแบบไปใช้งานควรจะมีการนำไปปรับเทียบก่อน โดยวิธีการที่เลือกใช้คือ ปรับเทียบด้วยวิธีดิจิทัลโดยการปรับเทียบหนึ่งจุด

วงจรวัดอุณหภูมิและสร้างกระแสอ้างอิงนั้น จะให้สัญญาณขาออกในรูปของกระแสโดยการทำงานจะถูกควบคุมโดยสัญญาณดิจิทัลจากวงจร ขณะที่ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือออปแอมป์ซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงจรขยายขั้นเดียวแบบสะท้อนกระแส วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันแบบพลวัต สวิตช์สำหรับการป้อนกลับและควบคุมการทำงาน วงจร

ควบคุมภาคดิจิทัลนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ วงจรสร้างสัญญาณควบคุมและวงจรนับ ซึ่งทั้งสองส่วนนั้นสร้างในลักษณะวงจรซิงโครนัส (synchronous circuit)

การวาดลายวงจรรวมต้นแบบแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือวงจรแอนะล็อกซึ่งประกอบวัดอุณหภูมิและตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ลายวงจรจะวาดด้วยมือ ขณะที่วงจรอีกส่วนคือ วงจรควบคุมภาคดิจิทัลจะถูกวาดด้วยโปรแกรมช่วยในการสร้างลายอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงเอาส่วนทั้งหมดมารวมกัน และทำการวาดเชื่อมต่อด้วยมือ วงจรที่ได้ออกแบบประกอบด้วยแพดสำหรับทำการทดสอบทั้งหมด 9 แพด โดยวงจรที่วาดทั้งหมดมีขนาดรวมแพดประมาณ 0.4 mm^2

ผลการทดสอบวงจรรวมสำหรับวัดอุณหภูมิพบว่า วงจรรวมมีขั้นตอนการทำงานถูกต้อง กินกำลังไฟเฉลี่ยประมาณ 20.45 ไมโครวัตต์ ที่สภาวะแรงดันไฟเลี้ยง 2.4 โวลต์และที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และให้ความละเอียดในการวัด 10 บิต หรือประมาณ 0.19 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้งานร่วมกับชิป RFID พบว่าสามารถทำงานร่วมกับระบบ RFID ได้ แต่ความละเอียดในการแปลงจะลดลงเหลือเพียง 8 บิต หรือประมาณ 0.76 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของสัญญาณรบกวนจากซับสเตรทและระดับแรงดันไฟเลี้ยงภายในชิป RFID ที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ค่าที่วัดได้นั้นมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้สูงถึง 10 องศาเซลเซียส จึงจำเป็นจะต้องมีการปรับเทียบก่อนใช้งาน ซึ่งหลังจากปรับเทียบด้วยวิธีดิจิทัลแบบหนึ่งจุดพบว่า ความผิดพลาดสูงสุดจะลดลงเหลือไม่เกิน 2.5 องศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิประมาณ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบวงจรรวมวัดอุณหภูมิ และการนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตเป็นดังนี้

1. ส่วนของวงจรวัดอุณหภูมินั้น ค่าแรงดันออฟเซตออปแอมป์และความไม่เข้าคู่ของทรานซิสเตอร์ในการสร้างกระแสที่แปรผันตามแรงดันเบสอิมิตเตอร์และกระแสพีแทตอาจทำให้ค่าที่วัดผิดพลาดได้ ซึ่งสามารถทำการปรับปรุงได้โดยอาศัยเทคนิคชอปเปอร์ (Chopper Technique) [27, 28]

2. ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ให้ความละเอียดสูงสุดเพียง 10 บิต ดังนั้นอาจจะลดจำนวนเวลาในการแปลงค่าจาก 2^{16} คาบสัญญาณนาฬิกาให้ลดน้อยลงเพลือเพียง 2^{14} คาบสัญญาณนาฬิกาเพื่อลดเวลาในการแปลงค่าแต่ละครั้ง

3. ในการทดสอบโดยการวัดอุณหภูมินั้น อาจจะหาเครื่องมือที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดี โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เพื่อให้ค่าที่ทำการวัดถูกต้องมากยิ่งขึ้น และหาเครื่องมือที่สามารถให้ช่วงการทดสอบได้มากตามที่กำหนดคือ -40 ถึง 120 องศาเซลเซียส

4. จุดที่เลือกในการปรับเทียบอุณหภูมิแต่ละครั้ง อาจจะคำนึงถึงช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจริง เนื่องจากการปรับเทียบแบบหนึ่งจุด ค่าความผิดพลาดจะมีค่ายิ่งน้อย เมื่ออุณหภูมิที่วัดอยู่ใกล้อุณหภูมิที่ปรับเทียบ

5. วงจรปรับเทียบที่ออกแบบ ควรจะพัฒนาให้ส่วนของวงจรปรับเทียบแบบดิจิทัลอยู่รวมภายในวงจรรวม เพื่อเป็นการสะดวกในการนำไปใช้งานภายหลัง

6. ปรับปรุงวิธีการปรับเทียบวงจรให้ดีขึ้น โดยอาจใช้วิธีปรับเทียบดิจิทัลแบบสองจุดดังที่กล่าวถึงในหัวข้อการปรับเทียบ หรือใช้วิธีการปรับเทียบแบบเชิงเส้นเป็นช่วงๆ (piecewise linear calibration) เพื่อลดผลความผิดพลาดในการวัดตลอดช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย