บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

จากการสร้างและพัฒนาอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลข ตลอดจนการนำไปทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณต่าง ๆ ทางไฟฟ้านั้น อาจสรุปได้เป็น 2 ประเด็นใหญ่ ๆ คือ

5.1.1 การออกแบบวงจรและสร้างอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลข

หลักที่สำคัญในการออกแบบและสร้างอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขเพื่อให้มีความเที่ยงตรงสูงนั้น พอจะสรุปได้ดังนี้

1. IC ที่ใช้ในวงจรพรี-แอมป์ จะต้องใช้เบอร์ที่มีคุณภาพดีมาก ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญเป็นอันดับแรกคือ ต้องมีความต้านทานทางอินพุทสูง (สูงกว่า 10^{10} Ω) และ มีค่ากระแสไฟเลี้ยงทางอินพุทต่ำ (ต่ำกว่า 200 pA.)

2. ต้องเลือกใช้ IC ที่ใช้กระแสไฟเลี้ยงวงจรภายในต่ำ เพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสูง

3. ต้องเลือกใช้ DVM ที่มีความเที่ยงตรงสูง

4. R_{ref} และ C_{ref} ที่จะต้องมีคุณภาพดีและมีความเที่ยงตรงสูง

5. จะต้องมีระบบป้องกันสัญญาณรบกวนอย่างดี ซึ่งนอกจากจะหมายถึงการออกแบบวงจรแล้ว ยังรวมถึงการออกแบบลายวงจรพิมพ์ การเลือกใช้แผ่นปรินท์ และการเลือกใช้สายอินพุทซึ่งจะต้องเป็นสายชีลด์ เป็นต้น

6. อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดจะต้องมีความเสถียรสูง และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อย

5.1.2 ผลการทดลอง

จากการนำอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้ไปทำการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าต่าง ๆ โดยเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องมือวัดซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันว่ามีคุณภาพดี พอจะสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ในการทดลองวัดศักย์ไฟฟ้า ซึ่งแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.2.1 นั้น จะเห็นได้ว่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้ง 3 เครื่องมีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าใกล้เคียงกับศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณด้วยโดยที่ผลจากการคำนวณจะมีค่ามากกว่าผลจากการทดลองเล็กน้อย

เหตุที่ผลจากการคำนวณมีค่ามากกว่าผลจากการทดลอง เนื่องจากจะมีศักย์ไฟฟ้าตกคล่อมตามสายไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจรที่ใช้วัดเล็กน้อย ซึ่งในทางทฤษฎีถือว่าปริมาณดังกล่าวมีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิดในการคำนวณ จึงถือได้ว่าผลจากการวัดที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีทุกประการ

สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า ในรูป 4.6 นั้น จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณและการทดลองทับกันพอดีทั้ง 4 เส้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีขีดจำกัดในการแบ่งสเกล คือไม่สามารถแบ่งสเกลได้ละเอียดไปกว่านี้ แต่อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าความชันของกราฟดังกล่าวก็คือค่าความต้านทานที่ใช้นั่นเอง

2. การทดลองวัดกระแสไฟฟ้า อาจแบ่งการสรุปผลในแต่ละช่วงสเกลดังนี้

ในช่วงสเกล $\pm$ 1999 x 10^{-6} แอมแปร์ ซึ่งแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.3.1 และรูป 4.10 นั้น จะเห็นได้ว่า ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้ง 3 เครื่องมีค่าใกล้เคียงกันมาก และใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วย

สำหรับช่วงสเกล $\pm$ 1999 x 10^{-8} แอมแปร์ ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 4.3.2 และรูป 4.11 นั้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้ง 3 เครื่องมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐานนั้นอ่านได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 เท่านั้น เนื่องจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 เครื่องดังกล่าวอ่านค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดได้ในสเกลของ μA เท่านั้น แต่อย่างไรก็ดีกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้สามารถอ่านค่าได้ละเอียด และใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณมาก

ส่วนช่วงสเกล $\pm$ 1999 x 10^{-10} แอมแปร์นั้น เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐานไม่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าในช่วงต่ำเช่นนี้ได้ จึงทำการทดลองโดยใช้อิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้น แล้วนำผลที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.3.3 และรูป 4.1 - 2 จะเห็นได้ว่าค่าที่อ่านได้จากอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมาก สำหรับความแตกต่างของปริมาณทั้งสองอาจเนื่องจากความละเอียดในการวัดของโวลต์มิเตอร์ที่ใช้ซึ่งวัดได้ละเอียดเพียงทศนิยม 1 ตำแหน่งเท่านั้น กล่าวคือ แม้ว่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงเพียง 0.01 mV (คือถ้าอ่านได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2) ก็จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้ไม่น้อย

จากผลการทดลองทั้ง 3 ช่วงสเกล จะเห็นได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่ามากกว่า กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดเล็กน้อย เนื่องจากเหตุผลในทำนองเดียวกับการทดลองวัดศักย์ไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ดี จะเห็นได้ว่าความชันของกราฟทั้ง 4 เส้นคือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานที่ใช้นั่นเอง

3. การทดลองวัดประจุไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดลองนี้ไม่สามารถวัดประจุไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองวัดประจุไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นแล้วนำผลที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.4.2 - 4.4.3 และรูป 4.16 - 4.17 จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมาก และความชันของกราฟทั้ง 2 เส้นก็คือค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้นั่นเอง

ในการทดลองดังกล่าว ใช้วิธีเปลี่ยนปริมาณประจุไฟฟ้าที่ต้องการวัดโดยการเปลี่ยนค่า V_{ref} ดังนั้นสำหรับการทดลองในช่วงสเกลหนึ่งจะใช้ตัวเก็บประจุซึ่งมีค่าคงที่เพียงตัวเดียว เหตุที่ใช้วิธีนี้ก็เพื่อความสะดวกในการทดลองเนื่องจากถ้าใช้วิธีเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุนอกจากจะไม่สะดวกต่อการทดลองแล้วยังอาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาดเนื่องจากการอ่านค่า C ได้

จากผลการทดลองวัดศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้ สามารถวัดปริมาณต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นมาตรฐานและใกล้เคียงกับผลการคำนวณมาก จึงอาจถือได้ว่าอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้มีความสามารถในการทำงานสูง เป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. IC ที่ใช้เป็นเบอร์ที่มีคุณภาพสูงที่สุดเท่าที่หาซื้อได้ในประเทศ

2. ค่าของ R_{ref} และ C_{ref} ที่ใช้เป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน (ไม่ได้ใช้ค่าตามที่บริษัทผู้ผลิตแสดงไว้)

3. การสร้างลายวงจรพิมพ์บนแผ่นปรินท์ การบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ตลอดจนการเดินสายภายในเครื่อง แม้ว่าจะใช้วิธีการแบบธรรมดาและไม่มีเครื่องมือพิเศษแต่เป็นการทำเพียง 1 ชิ้น จึงสามารถทำได้ดีพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับที่ผลิตจากบริษัท ซึ่งผลิตเป็นจำนวนมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ในการเลือกใช้เฉพาะอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในประเทศเท่านั้น ดังนั้นขีดความสามารถของอิเล็กโตรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้จึงถูกจำกัดด้วยเหตุผลดังกล่าว สำหรับการพัฒนาอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขในขั้นต่อไปอาจทำได้ดังนี้

1. เลือกใช้ IC เบอร์ที่มีความสามารถในการทำงานสูงกว่าเบอร์ LH0022CH ที่ใช้อยู่ จะทำให้สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าได้ต่ำกว่านี้ เช่น ใช้ IC เบอร์ LH0042CH และเบอร์ LH0052CH เป็นต้น

2. การออกแบบลายวงจรพิมพ์ควรให้สั้นกว่านี้

3. ควรใช้กล่องที่สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ เช่น ใช้กล่องโลหะ

4. กรณีที่จะใช้ไฟบ้านในการจ่ายศักย์ไฟฟ้า จะต้องใช้วงจรกรองกระแสอย่างดี และควรแยกกล่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้อยู่คนละกล่องกับอิเล็กโตรมิเตอร์

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังสามารถนำอิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดตัวเลขที่สร้างขึ้นนี้ไปวัดค่าความต้านทานสูง ๆ ได้อีกด้วย