บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องไบโอโพเทนเชียลแอมพลิไฟเออร์ สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ได้ศึกษาถึงหลักการทำงาน และคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียลแอมพลิไฟเออร์ โดยนำเอาวงจรพื้นฐานของวงจรขยายอินตรูเมน มาออกแบบและปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกได้ศึกษาหลักการทำงานและคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ขั้นตอนที่สองได้จำลองสัญญาณ และทดลอง วงจรขยายอินสตรูเมนต่าง ๆ ขั้นตอนที่สาม ออกแบบและปรับปรุงวงจรขยายอินสตรูเมนให้เป็นวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ที่เพิ่มค่าอัตราการขจัดสัญญาณโหมดร่วม (CMRR) ให้สูงขึ้น สำหรับลดสัญญาณรบกวน และมีความสามารถในการกำจัดแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันครึ่งเซล (Half – cell potential) ซึ่งสามารถสรุปผลของงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 การกำจัดแรงดันไฟตรง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการกำจัดแรงดันไฟตรง 4 ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำจัดสัญญาณไฟตรง

ลำดับที่	วิธีกำจัดแรงดันไฟตรง	ระดับการกำจัดแรงดันไฟตรงอินพุท	เงื่อนไข	ผลกระทบต่อ CMRR
1.	วงจรอินทิเกรต	< + 66 mV > - 66 mV	Supply ±12 V, Vin 1 mV, 100 Hz, G = 46 dB	ทำให้ CMRR คงที่
2.	การเชื่อมโยงทางแสง	< + 8 mV > - 8 mV	Supply ±12 V, Vin 1 mV, 100 Hz, G = 74 dB	ทำให้ CMRR คงที่
3.	การต่อคาปาซิเตอร์เป็นภาคหน้า	< Supply voltage	Supply ±12 V, Vin 1 mV, 100 Hz, G = 60 dB	ทำให้ CMRR ไม่คงที่ และค่าลดลง
4.	การต่อคาปาซิเตอร์อนุกรมกับ Rg	< 2.5 V	Supply ±12 V, Vin 1 mV, 100 Hz, G = 46 dB	ทำให้ CMRR ไม่คงที่ และค่าลดลง

5.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟตรงนั้น งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีที่ 4 ในหัวข้อ 5.1 ส่วนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณโหมดร่วม งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเพิ่มค่า CMRR ให้กับวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ซึ่งวงจรสามารถเพิ่ม CMRR ได้ 115.03 เดซิเบล นอกจากนี้ยังได้ใช้วงจร DRL ช่วยในการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณโหมดร่วม

5.3 วงจรขยายความแตกต่าง (DA)

วงจรขยายความแตกต่าง ตามภาพประกอบ 3.4 นั้นค่า CMRR ของวงจร จะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานที่ใช้ (R3,R4,R5 และ R6) โดย CMRR จะมีค่าเป็นปฏิภาคผกผันกลับค่าความผิดพลาดของตัวต้านทาน ดังจะเห็นได้จากการทดลอง ซึ่งพบว่าถ้าตัวต้านทาน มีค่าผิดพลาดเปลี่ยนจาก 0.001% เป็น 10% จะทำให้ค่า CMRR ของวงจรลดลงเหลือ 24.25 % ส่วนการเพิ่มหรือลดค่าอัตราการขยายผลต่างจะทำให้ CMRR ของวงจรเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญน้อย

5.4 วงจรขยายอิสตรูเมนเตชัน

วงจรขยายอิสตรูเมนเตชัน ตามภาพประกอบ 3.5 ค่า CMRR ของวงจรนั้นพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีแรกพิจารณาเฉพาะภาคอินพุท พบว่าค่าความผิพลาดของตัวต้านทานค่าจะทำให้ค่า CMRR เปลี่ยนไปอย่างมี่นัยสำคัญน้อยและ CMRR จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราการขยายผลต่างของภาคอินพุท กรณีที่พิจารณาทั้งวงจรพบว่าการเพิ่มค่าอัตราการขยายผลต่าง จะทำให้ค่า CMRR ของวงจรเพิ่มขึ้นด้วย

5.5 วงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล

ค่า CMRR วงจรสามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่พิจารณาภาคอินพุทของวงจร ค่า CMRR จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าอัตราการขยายผลต่าง นั้นคือค่าอัตราการขยายความแตกต่างเพิ่มขึ้นค่า CMRR ก็จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานนั้นทำให้ CMRR เปลี่ยนแปลงโดยไม่มีนัยสำคัญ

กรณีที่พิจารณาทั้งวงจรค่า CMRR ของวงจรจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าอัตรากรขยายผลต่าง และเป็นปฏิภาคผกผันกับค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานของภาค

วงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ในงานวิจัยนี้ ผลการออกแบบและสร้างได้อัตราการขยายผลต่าง 60.17 เดซิเบล อัตราการขยายโหมดร่วม -54.86 dB อัตราการขจัดสัญญาณโหมดร่วม 115.03 dB ตอบสนองความถี่ 0.7 Hz –3 kHz และสามารถกำจัดแรงดันไฟตรง $\pm$ 3.2 V โดยวงจรใช้ไฟเลี้ยง $\pm$ 12 V แรงดันอินพุท 1 mV ความถี่ 100 Hz

5.6 บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.6.1. การเลือกใช้ออปแอมป์ในวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ในงานวิจัยนี้ควรเลือก A1 และ A2 จะต้องมีค่าอัตราการขยายแบบเปิดสูง มีค่า CMRR สูง และผลตอบสนองความถี่กว้างๆ ส่วนการเลือก A3, A4 และ A5 ควรเลือกที่มีแรงดันอินพุทออฟเซ็ตต่ำ ๆ และมีค่า CMRR สูง ๆ ซึ่งจะทำให้ CMRR ของวงจรสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้แนะนำให้เลือกออปแอมป์เป็นแบบ Dual Op-amp หรือ Quad Op-amp

5.6.2. วงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญเป็นออปแอมป์แล้วยังมีที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ ตัวต้านทาน และตัวต้านทานที่มีผลต่อ CMRR ของวงจรมากที่สุด คือ ตัวต้านทานที่ภาคเอาท์พุท ดังนั้นการเลือกใช้ตัวต้านทานจึงต้องให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด จะทำให้ CMRR ของวงจรเพิ่มขึ้น

5.6.3 เนื่องจากวงจรขยายสัญญาณไบโอโพเทนเชียล ประกอบด้วยภาคอินพุท และภาคเอาท์พุท ควรให้ภาคอินพุทมีอัตราการขยายผลต่างมาก ส่วนภาคเอาท์พุทควรให้มีอัตราการขยายผลต่างเท่ากับ 1 เพื่อป้องกันการอิ่มตัวของภาคเอาท์พุท

5.6.4. การประกอบวงจรควรทำบนแผ่นวงจรพิมพ์ และจัดวางตำแหน่งตัวต้านทานและออปแอมป์ให้ใกล้มากกันที่สุด เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากคลื่นความถี่วิทยุแพร่เข้ามาทางตัวนำและสายสัญญาณ การเชื่อมต่อส่วนต่างๆของวงจรควรใช้สายชีลด์ทั้งหมด และการต่อสายชีลด์ลัดวงจรลงกราวด์เข้ากับตัวกล่องเหล็ก

5.6.5. การแสดงผลรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของหัวใจ ในงานวิจัยนี้แสดงที่ออสซิลโลสโคป ดังนั้นควรพัฒนาโปรแกรมแสดงผลรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของหัวใจ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้สามารถวิเคราะห์ผลรูปคลื่นสัญญาณที่มีลักษณะผิดปกติได้ เพื่อช่วยให้แพทย์นำไปวินิจฉัยโรคต่อไปได้

5.6.6. เนื่องจากคลื่นสัญญาณไบโอโพเทนเชียลมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นในการวัดสัญญาณจึงมีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ส่วนหนึ่งมาจากตำแหน่งการติดอิเล็กโตรด และความสะอาดของผิวหนังบริเวณที่ติดอิเล็กโตรด ถ้าไม่สะอาดจะทำให้อิเล็กโตรดยึดกับผิวหนังไม่แน่น จะทำให้เกิดความต้านทาน และเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นเมื่อขยับตัว

5.6.7. การพัฒนางานวิจัยนี้ ต่อไปควรให้สามารถเลือกปรับอัตราการขยายผลต่าง เพื่อความสะดวก และแม่นยำในการวิเคราะห์สัญญาณของแพทย์

5.6.8 การตอบสนองความถี่ด้านต่ำของวงจรขึ้นอยู่กับค่าคาปาซิเตอร์ จะต้องเลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสม ถ้าคาซิเตอร์มีค่ามากจะทำให้ผลตอบสนองความถี่ด้านต่ำมีค่าต่ำลง แต่ผล

การตอบสนองของวงจรต่อสัญญาณจะช้า แต่ถ้าคาปาซิเตอร์มีค่าน้อยจะทำให้ผลตอบสนองความถี่ด้านต่ำสูงขึ้น และผลการตอบสนองของวงจรต่อสัญญาณจะเร็ว ดังนั้นการเลือกใช้คาปาซิเตอร์จึงควรเลือกให้เหมาะสมกับงาน