

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดลองบนโปรแกรมจำลองการทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ และการทดลองบนต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

1. การทดลองบนโปรแกรมจำลองการทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ (Adaptive Algorithm) วิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกโดยอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ และทำการเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data) และข้อมูลเสียงจริง (Actual Data)

2. การทดลองบนต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

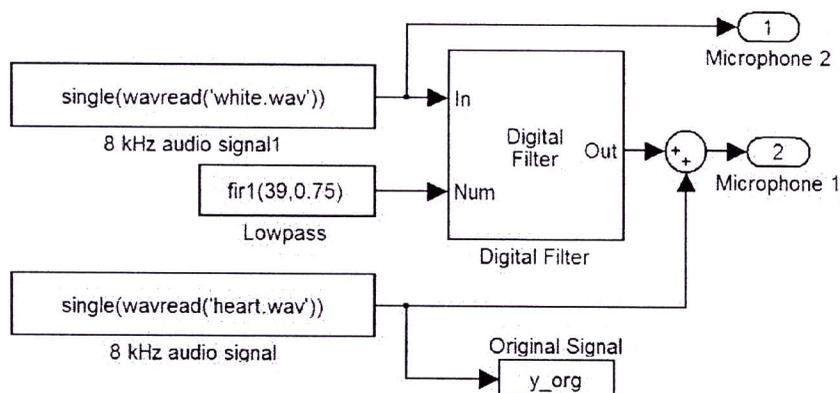
ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก โดยการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter)

3.2 โปรแกรมจำลองการทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม Simulink ใน MATLAB โดยใช้ Blocksets ในส่วนของการประมวลผลสัญญาณ เพื่อสร้างข้อมูลเสียงจำลอง และทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ (Adaptive Algorithm) 4 ชนิด คือ LMS (Least Mean Square), NLMS (Normalized Least Mean Square), S-LMS (Subband - Least Mean Square) และ S-NLMS (Subband - Normalized Least Mean Square)

1. โปรแกรมสร้างข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data)

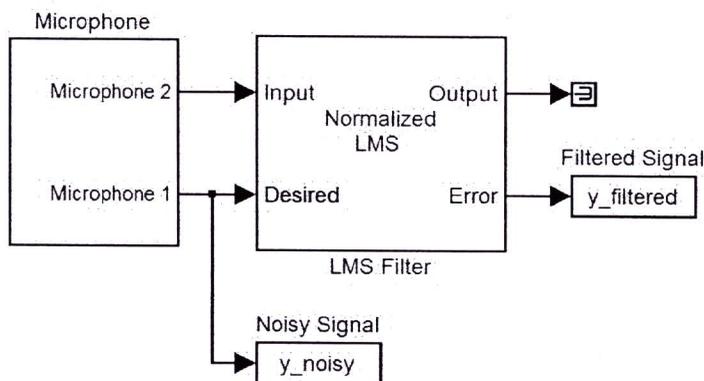
นำสัญญาณเสียงหัวใจมารวมกับสัญญาณเสียงรบกวนภายนอกที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 3000 Hz สัญญาณที่ได้ คือ สัญญาณเสียงของไมโครโฟนตัวที่ 1 ส่วนสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก คือ สัญญาณเสียงของไมโครโฟนตัวที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 โปรแกรมสร้างข้อมูลเสียงจำลอง

2. โปรแกรมทดสอบการทำงานของอัลกอริทึม LMS และ NLMS

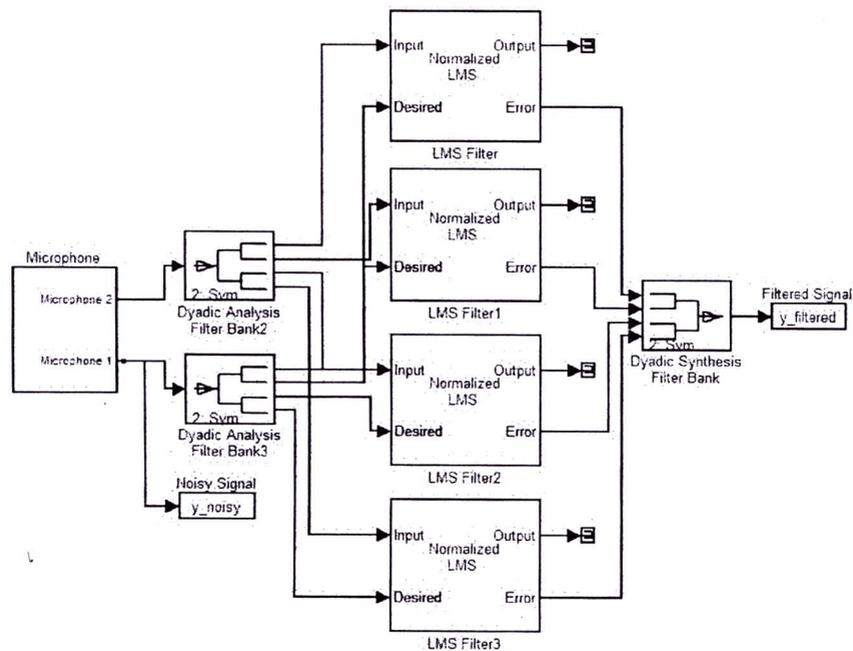
นำสัญญาณเสียงของไมโครโฟนตัวที่ 1 และ 2 มาเข้าบล็อก LMS Filter โดยให้เข้าในช่องสัญญาณที่ต้องการ (Desired) และ สัญญาณขาเข้า (Input) ตามลำดับ สัญญาณที่ได้ คือ สัญญาณความผิดพลาด (Error) หรือ สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 โปรแกรมทดสอบการทำงานของอัลกอริทึม LMS และ NLMS

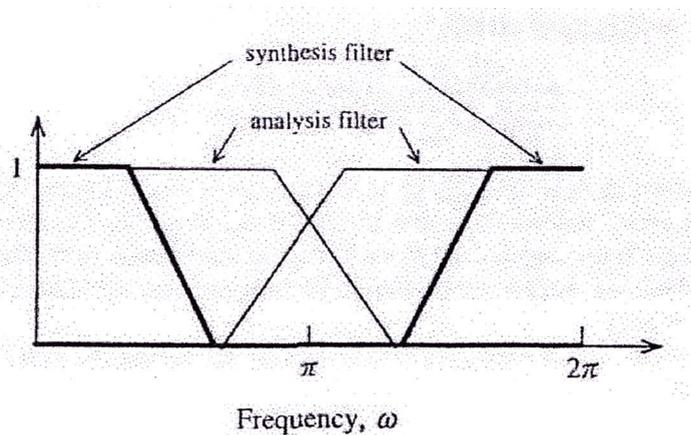
3. โปรแกรมทดสอบการทำงานของอัลกอริทึม S-LMS และ S-NLMS

นำสัญญาณเสียงของไมโครโฟนตัวที่ 1 และ 2 มาเข้าบล็อก Dyadic Analysis Filter Bank แบบ Symmetric เพื่อแยกย่านความถี่ย่อยของแต่ละสัญญาณออกเป็น 4 ย่าน นำสัญญาณแต่ละย่านของไมโครโฟนตัวที่ 1 และ 2 มาเข้าบล็อก LMS Filter โดยให้เข้าในช่อง สัญญาณที่ต้องการ (Desired) และ สัญญาณขาเข้า (Input) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสัญญาณความผิดพลาด (Error) ของแต่ละย่านมาเข้าบล็อก Dyadic Synthesis Filter Bank แบบ Symmetric เพื่อรวมย่านความถี่ย่อย สัญญาณที่ได้ คือ สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 โปรแกรมทดสอบการทำงานของอัลกอริทึม S-LMS และ S-NLMS

เนื่องจากสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกที่ได้นั้น มีเสียงผิดปกติซึ่งเกิดจากเอเลียตซึ่งระหว่างย่านความถี่ย่อย (Interband Aliasing) จึงต้องทำการออกแบบตัวกรองของ Dyadic Analysis Filter Bank และ Dyadic Synthesis Filter Bank เพื่อลดการเกิดเอเลียตซึ่งระหว่างย่านความถี่ย่อย ดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 ผลตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองเพื่อลดการเกิดเอเลียตซึ่งระหว่างย่าน [15]

เมื่อพิจารณา ค่าอัตราส่วนความซับซ้อนของการประมวลผล แบบเต็มย่าน ต่อ แบบแยกย่าน ดังแสดงในสมการที่ 20 โดยที่ M คือ จำนวนย่านความถี่ย่อย และ D คือ จำนวนเท่าในการลดอัตราสุ่ม เนื่องจากอัลกอริทึม S-LMS และ S-NLMS ทำการแยกย่านความถี่ย่อยออกเป็น 4 ย่าน จะได้ว่า $M = 4$ และ ทำการลดอัตราสุ่มเท่ากับจำนวนย่านความถี่ย่อย (Critical Sampling) จะได้ว่า $D = M = 4$ ดังนั้น ค่าอัตราส่วนความซับซ้อนของการประมวลผลของอัลกอริทึมแบบแยก

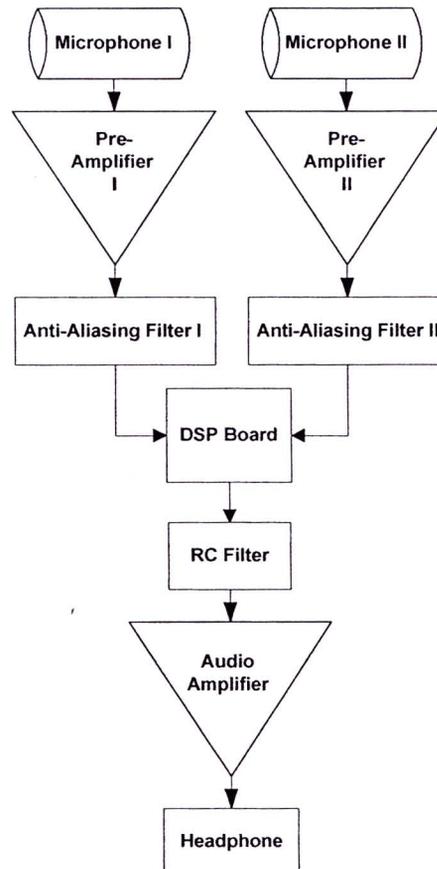
ย่าน ต่อ แบบเต็มย่าน มีค่าประมาณ 0.5 ซึ่งอัตราส่วนนี้ยังไม่รวมการประมวลผลในส่วนของตัวกรองที่ใช้ในการแยกย่านและรวมย่านความถี่ [15]

$$\frac{\text{Subband}}{\text{Fullband}} = \frac{2M}{D^2} \quad (20)$$

แม้ว่าการประมวลผลในส่วนของอัลกอริทึมแบบแยกย่านจะน้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาการประมวลผลในส่วนของตัวกรองที่ต้องใช้ในการแยกย่านและรวมย่านความถี่จะพบว่ามีความถี่สูงมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการลดภาระการประมวลผลในตัวประมวลผลซึ่งมีจำกัด ผู้ทำวิจัยจะเลือกใช้ อัลกอริทึมแบบเต็มย่านเท่านั้น ในต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

3.3 ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

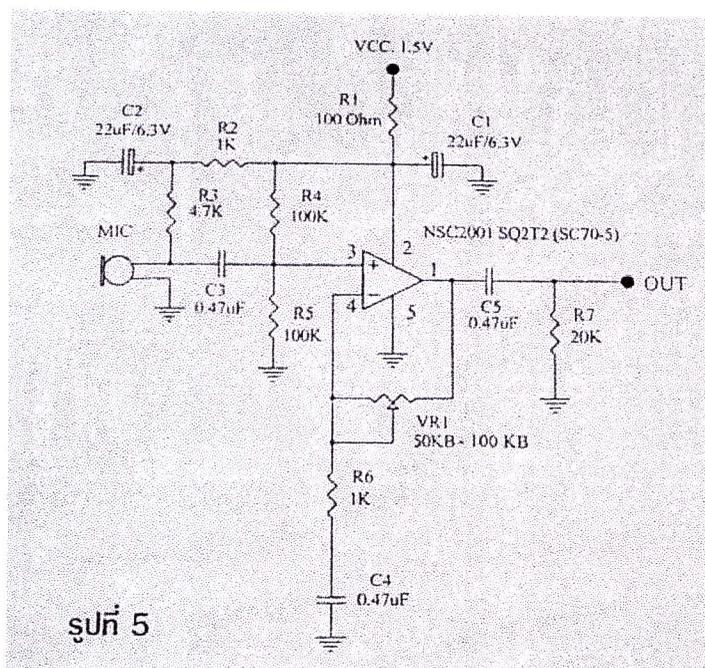
หลักการการทำงานของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะรับเสียงที่สนใจจะตรวจฟังผ่านทางไมโครโฟน นำมาผ่านเครื่องขยายเสียง เพื่อขยายเสียงให้ดังเพียงพอก่อนจะมาถึงผู้ตรวจฟัง แต่หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์มักจะมีปัญหาเสียงรบกวนภายนอกต่างๆ จึงควรทำการลดเสียงรบกวนภายนอก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจฟัง ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ มีส่วนประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 20 ดังนี้



รูปที่ 20 ส่วนประกอบหลักของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

1. Microphone

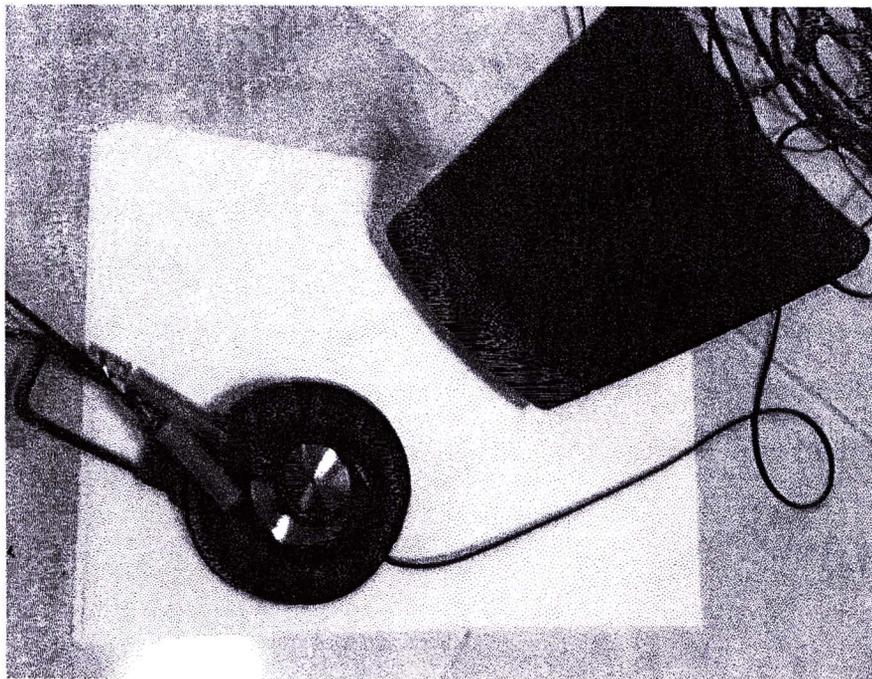
งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจร Microphone จำนวน 2 ตัว เบอร์ A06 ของบริษัท XYCON ทำงานที่แรงดัน 0.9–6.0 โวลต์ วงจรแสดงในรูปที่ 21 โดยไมโครโฟนตัวที่ 1 ทำหน้าที่รับเสียงจากอวัยวะที่ต้องการจะตรวจฟัง โดยนำไมโครโฟนสอดไว้ในท่อนำเสียงของหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้หูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม รุ่น 3M Littmann Classic II S.E. ซึ่งเป็นรุ่นที่นิสิต นักศึกษา แพทย์นิยมใช้กัน เนื่องจากให้คุณภาพเสียงอยู่ในเกณฑ์ดี และมีราคาไม่แพง แต่เลือกใช้ท่อยางแทนท่อนำเสียงของหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม เพราะไม่ต้องการตัดท่อนำเสียงของหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม ส่วนไมโครโฟนตัวที่ 2 ทำหน้าที่รับเสียงรบกวนภายนอก โดยสอดไว้ในท่อยางที่มีความยาวใกล้เคียงกับท่อยางของไมโครโฟนตัวที่ 1 เพื่อให้เสียงรบกวนภายนอกที่ไมโครโฟนทั้งสองตัวได้รับมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด



รูปที่ 5

รูปที่ 21 วงจร Microphone เบอร์ A06

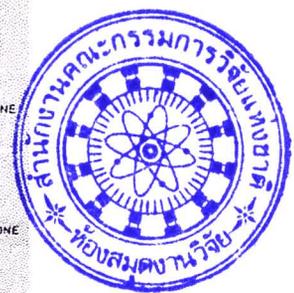
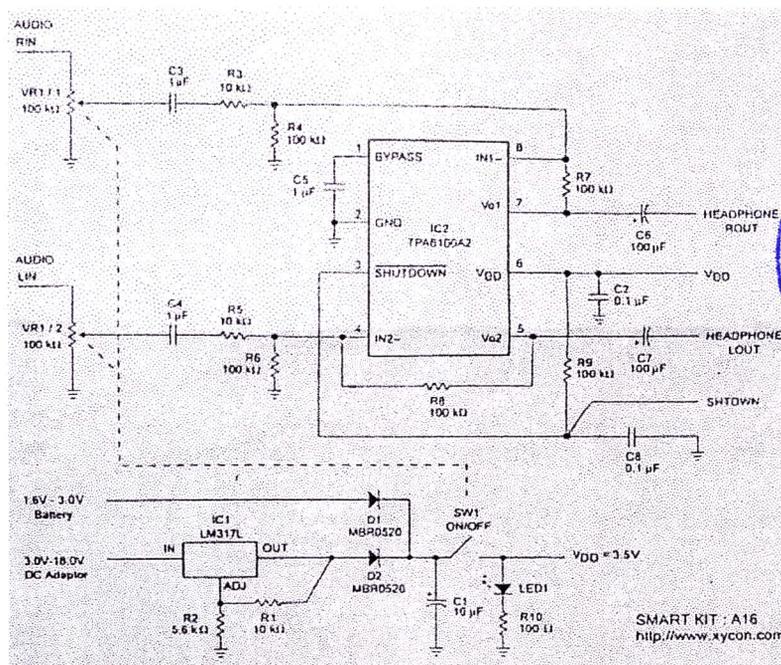
ข้อมูลเสียงจริง (Actual Data) ได้มาจากการอัดเสียงหัวใจในสถานะที่มีเสียงรบกวนภายนอก โดยการเล่นไฟล์เสียงหัวใจที่หูฟัง และเล่นไฟล์เสียงรบกวนภายนอกที่ลำโพง นำหัว Chestpiece ซึ่งมีไมโครโฟนตัวที่ 1 สอดอยู่ในท่อนำเสียง ไปวางไปบนหูฟังเพื่อรับเสียงหัวใจ และวางไมโครโฟนตัวที่ 2 ไว้ที่ตำแหน่งใกล้ๆ กัน เพื่อรับเสียงรบกวนภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 การอัดเสียงข้อมูลเสียงจริง

2. Pre Amplifier

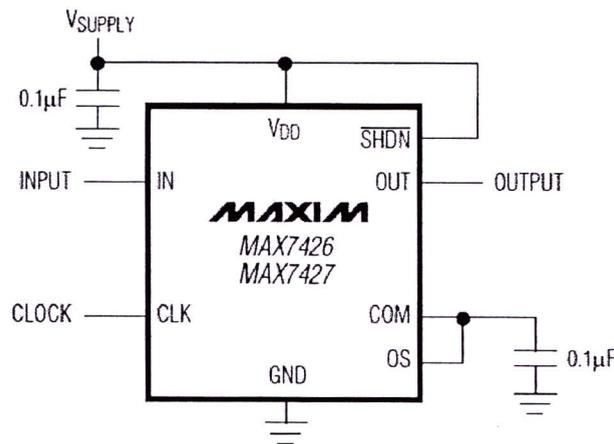
งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจร Amplifier จำนวน 2 ตัว เบอร์ A16 ของบริษัท XYCON ทำงานที่แรงดัน 3.0-18.0 โวลต์ วงจรแสดงในรูปที่ 23 ทำหน้าที่ขยายเสียงจากไมโครโฟนแต่ละตัวให้ดังเพียงพอเพื่อนำไปเข้าตัวประมวลผล



รูปที่ 23 วงจร Amplifier เบอร์ A16

3. Anti Aliasing Filter

งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจร 5th-Order Low Pass Filter จำนวน 2 ตัว เบอร์ MAX7427 ของบริษัท MAXIM ทำงานที่แรงดัน 3.0 โวลต์ วงจรแสดงในรูปที่ 24 ทำหน้าที่กรองเสียงความถี่สูงจากไมโครโฟนแต่ละตัวออกไป เพื่อป้องกันการเกิดเอเลียตซิง (Aliasing) ที่เกิดจากการใช้ค่าอัตราสุ่ม (Sampling Rate) น้อยเกินไป ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ได้มีความผิดเพี้ยน เนื่องจากงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าอัตราสุ่มที่ 8000 Hz จากทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ จะได้ว่าสัญญาณแอนะล็อกควรมีความถี่สูงสุดน้อยกว่า 4000 Hz จึงจำเป็นต้องกรองความถี่ที่สูงกว่านี้ออกไป โดยค่าความถี่ตัด (f_c) สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนขนาดของตัวเก็บประจุ (C) ระหว่างขา CLK กับ GND ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 21 และ 22 งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 47 pF จะได้ว่าความถี่ตัดอยู่ที่ประมาณ 3723 Hz



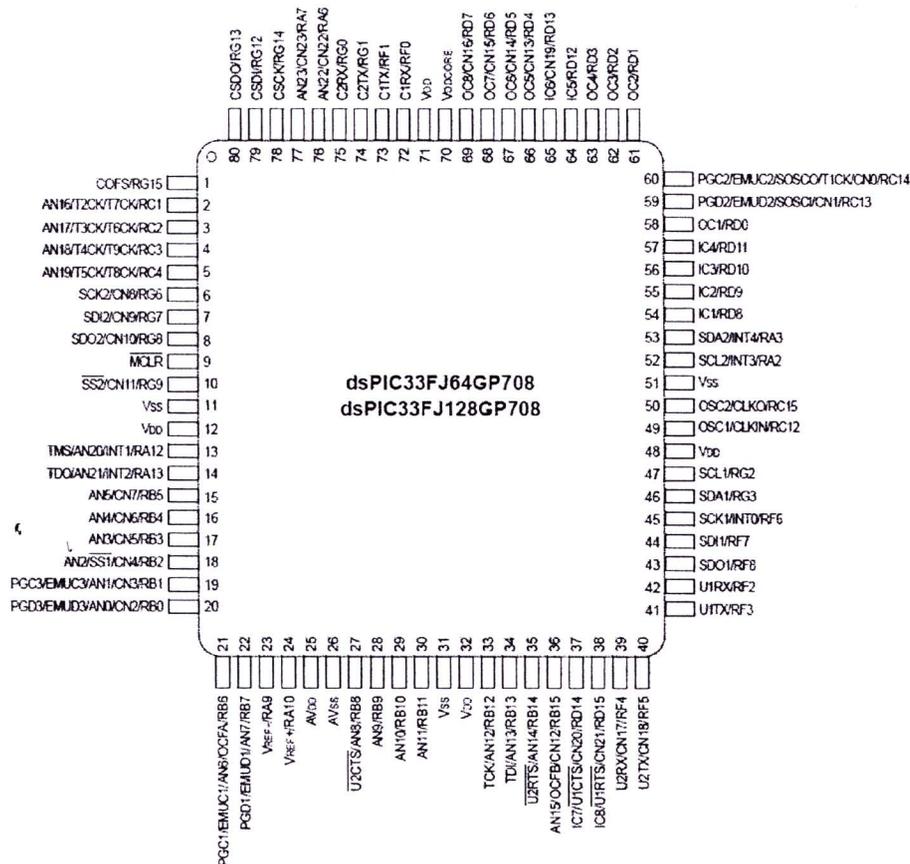
รูปที่ 24 วงจร Anti Aliasing Filter เบอร์ MAX7427 [16]

$$f_c = \frac{f_{CLK}}{100} \quad (21)$$

$$f_{CLK} (kHz) = \frac{17.5 \times 10^3}{C (pF)} \quad (22)$$

4. DSP Board

งานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ดประมวลผล ET-dsPIC33WEB V1.0 ของบริษัท ETT ที่ใช้ตัวประมวลผลขนาด 16 Bits เบอร์ dsPIC33FJ128GP708 ของบริษัท MICROCHIP ทำงานที่แรงดัน 3.0–3.6 โวลต์ ซึ่งมี Pin Diagrams ดังแสดงในรูปที่ 25 คุณสมบัติของ dsPIC ที่แตกต่างจาก PIC ทั่วไป คือ ความสามารถทางการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ทำให้มีสมรรถนะในการคำนวณสูงขึ้น แต่ยังคงความใช้งานง่าย และราคาต่ำของ PIC ไว้

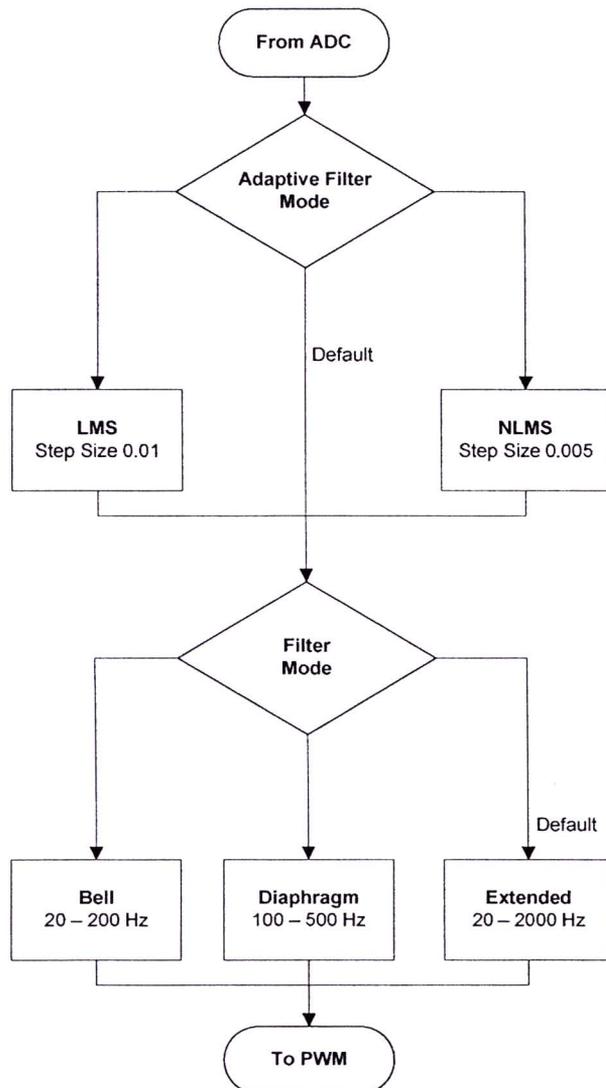


รูปที่ 25 Pin Diagrams ของตัวประมวลผล เบอร์ dsPIC33FJ128GP708 [17]

งานวิจัยนี้ใช้ภาษา C ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยให้ตัวประมวลผลใช้ความเร็วในการประมวลผล (F_{CY}) อยู่ที่ประมาณ 40 ล้านคำสั่งต่อวินาที (Million Instructions Per Second, MIPS) จะได้ว่าแต่ละคำสั่งใช้เวลาประมาณ $0.025 \mu s$ โดยตัวประมวลผลทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- 4.1. แปลงเสียงจากไมโครโฟนแต่ละตัว ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้โมดูล ADC ใช้การสุ่มสัญญาณพร้อมกัน (Simultaneous Sampling) และใช้เทคนิคการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access, DMA) เพื่อลดการทำงานของตัวประมวลผล โดยใช้ค่าอัตราการสุ่ม 8000 Hz ขนาด 10 Bits จะได้ว่า มีการสุ่มสัญญาณทุกๆ $125 \mu s$ และมีระดับของสัญญาณ 1024 บิต
- 4.2. ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เพื่อปรับปรุงสัญญาณเสียงให้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปตรวจฟัง โดยใช้ ตัวกรองแบบธรรมดา (Filter) และ ตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter) โดยมีขั้นตอนในการประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 26 เนื่องจากทำการประมวลผลสัญญาณเป็นเฟรม เฟรมละ 32 จุด จะได้ว่าแต่ละ

เฟรมใช้เวลาประมาณ 4 ms ดังนั้นเวลาที่ใช้การประมวลผลแต่ละเฟรมต้องไม่เกิน 4 ms เมื่อพิจารณาถึงความล่าช้าของสัญญาณ จะได้ว่า ต้องทำการเก็บสัญญาณใช้เวลา 1 เฟรม และ ประมวลผลสัญญาณใช้เวลาอีก 1 เฟรม ดังนั้นสัญญาณจะล่าช้าไป 2 เฟรม ซึ่งเมื่อคิดเป็นเวลาจะได้ประมาณ 8 ms

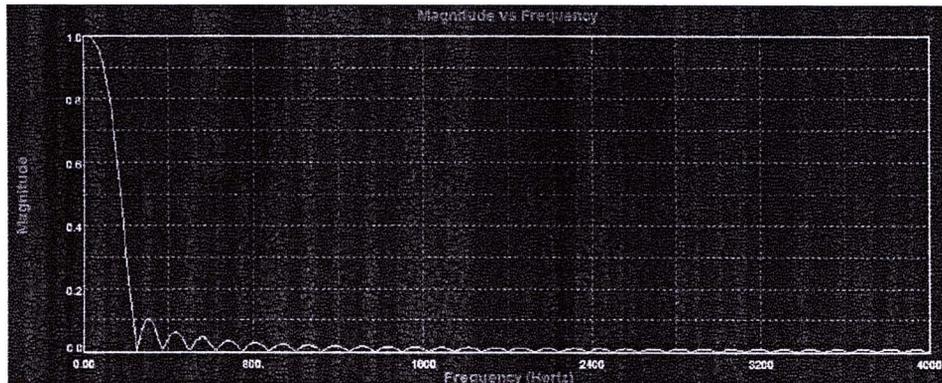


รูปที่ 26 ขั้นตอนการการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบ
อิเล็กทรอนิกส์

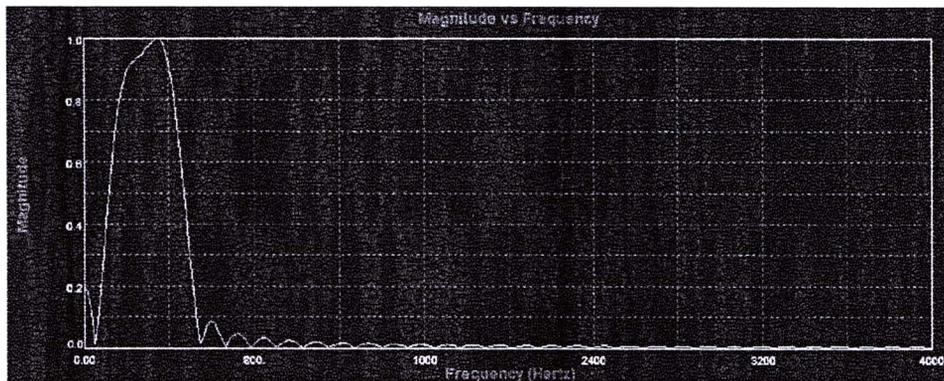
4.2.1. ตัวกรองธรรมดา (Filter) ทำการกรองความถี่เสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 1 ให้อยู่ในช่วงที่ใช้ตรวจฟัง โดยแบ่งช่วงความถี่ที่ใช้ในการตรวจฟังออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วง Bell จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 0-200 Hz ช่วง Diaphragm จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 100-500 Hz และช่วง Extended จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 0-2000 Hz ซึ่งมี

ผลตอบสนองทางความถี่ ดังแสดงในรูป 27 ถึง 29 โดยใช้ตัวกรองแบบ FIR หน้าต่างที่ใช้ คือ แบบ Kaiser และ ค่าอันดับที่ใช้ คือ 64

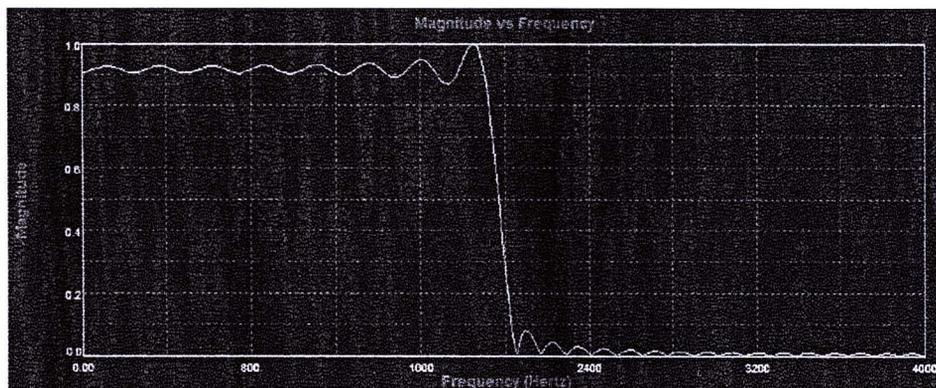
เมื่อพิจารณาจำนวนคำสั่งต่อการเรียกใช้ตัวกรองแต่ละครั้ง คือ $53+N(4+L)$ โดยที่ N คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละเฟรม และ L คือ ค่าอันดับ ซึ่งในที่นี้ใช้ $N = 32$ และ $L = 64$ จะได้ว่า จำนวนคำสั่งต่อการเรียกใช้ตัวกรองแต่ละครั้ง คือ 2229 คำสั่ง ดังนั้น การเรียกใช้ตัวกรองแต่ละครั้งใช้เวลาประมวลผลประมาณ $55.725 \mu s$



รูปที่ 27 ผลการตอบสนองความถี่ในช่วง Bell



รูปที่ 28 ผลการตอบสนองความถี่ในช่วง Diaphragm



รูปที่ 29 ผลการตอบสนองความถี่ในช่วง Extended

4.2.2. ตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter) ทำการลดเสียงรบกวนภายนอก โดยใช้อัลกอริทึม LMS และ NLMS ใช้ค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) และค่าอันดับ (Order) ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยค่า Step size ที่ใช้ คือ 0.01 และ 0.005 ตามลำดับ และ ค่า Order ที่ใช้ คือ 32

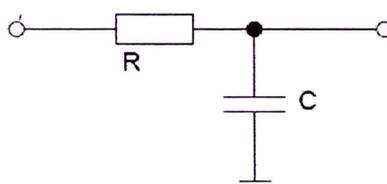
เนื่องจากจำนวนคำสั่งต่อการเรียกใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้แต่ละครั้ง สำหรับอัลกอริทึม LMS และ NLMS คือ $61 + N(13 + 5L)$ และ $66 + N(49 + 5L)$ ตามลำดับ ในที่นี้ใช้ $N = 32$ และ $L = 32$ จะได้ว่า จำนวนคำสั่งต่อการเรียกใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้แต่ละครั้ง คือ 5597 และ 6754 คำสั่ง ดังนั้น การเรียกใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้แต่ละครั้ง สำหรับอัลกอริทึม LMS และ NLMS ใช้เวลาประมวลผลประมาณ 139.925 และ 168.850 μs ตามลำดับ

4.3. แปลงเสียงซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยใช้เทคนิค Pulse Width Modulation (PWM) เนื่องจากตัวประมวลผลไม่มีโมดูล DAC โดยต้องการแทนข้อมูลขนาด 10 Bits สามารถคำนวณความถี่ของ PWM (F_{PWM}) ได้จากสมการที่ 23 จะได้ว่า Bits = 10 และ $F_{CY} = 40$ MHz ดังนั้น F_{PWM} มีค่าประมาณ 39 kHz

$$Bits = \frac{\log(F_{CY} / F_{PWM})}{\log 2} \quad (23)$$

5. RC Filter

งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจร 1th-Order RC Filter วงจรแสดงในรูปที่ 30 ทำหน้าที่กรองความถี่สูงออกไป เพื่อช่วยลดเสียงรบกวนที่เกิดจากวงจรไฟฟ้า และการใช้เทคนิค PWM [18] โดยสามารถคำนวณความถี่ตัด (f_c) ได้จากสมการที่ 24 งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 7.5 K Ω และ ตัวเก็บประจุขนาด 10 nF จะได้ว่าความถี่ตัดอยู่ที่ประมาณ 2122 Hz



รูปที่ 30 วงจร RC Filter

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (24)$$

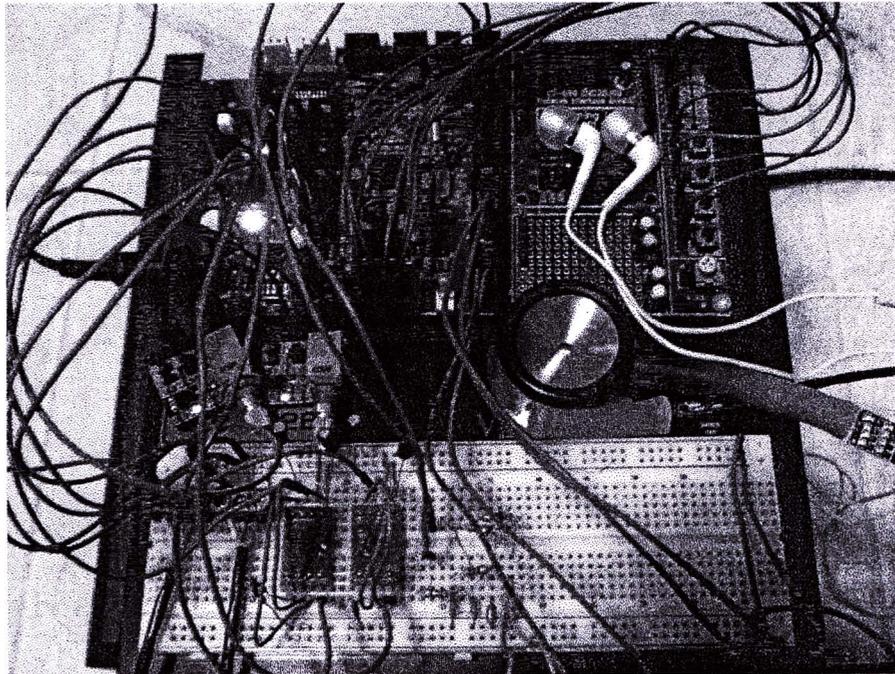
6. Audio Amplifier

งานวิจัยนี้เลือกใช้ชุดวงจร Amplifier เบอร์ A16 ของบริษัท XYCON ทำงานที่แรงดัน 3.0-18.0 โวลต์ ทำหน้าที่ขยายเสียงก่อนออกหูฟัง โดยสามารถปรับระดับความดังของเสียงได้

7. Headphone

งานวิจัยนี้เลือกใช้หูฟังเบอร์ MDR-E11LP ของบริษัท SONY ทำหน้าที่แสดงผลของเสียงที่สนใจจะตรวจฟังออกทางหูฟัง

ในขั้นตอนอุปกรณ์หลายส่วน ถูกต่อแยกออกมาจากบอร์ดประมวลผล โดยนำมาต่อบนบอร์ดทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 31 เพื่อสะดวกในการปรับปรุงและแก้ไขวงจร



รูปที่ 31 บอร์ดประมวลผล บอร์ดทดลอง และอุปกรณ์อื่นๆ