สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับหัวใจ	7
2.1.1 กายวิภาคของหัวใจ	7
2.1.2 เสียงเต้นหัวใจ	9
2.1.3 ตำแหน่งการฟังเสียงเต้นหัวใจ	12
2.1.4 การนำสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	13
2.1.5 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram)	14
2.1.6 การบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	15
2.1.6.1 Bipolar recording	15
2.1.6.2 Unipolar recording	16
2.1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเสียงเต้นหัวใจกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	17
2.2 ไมโครโฟน	18
2.2.1 คุณลักษณะโดยทั่วไปของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	18
2.3 วงจรขยายสัญญาณ	22
2.3.1 วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentations Amplifier)	24
2.4 การอินเตอร์เฟสพอร์ตขนานในโหมดการทำงานแบบ EPP	25
2.4.1 คุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์ของโหมดการทำงานแบบ EPP	26
2.4.2 พอร์ตที่ใช้ในการโปรแกรมพอร์ตขนานในโหมดการทำงานแบบ EPP	27
2.4.3 หลักการโต้ตอบ (Handshaking) ของโหมดการทำงานแบบ EPP	27
2.4.3.1 รอบการเขียนข้อมูล (Data write cycle)	28
2.4.3.2 รอบการเขียนแอดเดรส (Address write cycle)	28
2.4.3.3 รอบการอ่านข้อมูล (Data read cycle)	29
2.4.3.4 รอบการอ่านแอดแดรส (Address read cycle)	29
2.5 การมัลติเพล็กแบบแบ่งตามเวลา (Time Division Multiplex : TDM)	30
2.6 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)	31
2.7 Correlation	32
2.8 การกรองความถี่ (Filter)	32
2.8.1 การกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	32
2.8.2 การกรองผ่านความถี่สูง (High Pass Filter)	33
2.8.3 การกรองผ่านแถบความถี่ (Band Pass Filter)	33
2.8.4 การกรองหยุดแถบความถี่ (Band Stop Filter)	34
3. การออกแบบและการสร้าง	35
3.1 โครงสร้างอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ชนิด 8 ช่องสัญญาณ	35
3.2 การออกแบบหัวไมโครโฟน	36
3.2.1 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 1	36
3.2.2 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 2	37
3.2.3 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 3	37
3.2.4 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 4	38
3.2.5 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 5	38
3.2.6 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 6	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วงจรขยายเสียงเต้นหัวใจ 39

3.4 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 41

3.5 ฮาร์ดแวร์ควบคุมการบันทึกสัญญาณ 42

3.5.1 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 42

3.5.2 การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการบันทึกสัญญาณ 43

3.6 การออกแบบอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ชนิด 8 ช่องสัญญาณ 46

3.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งงาน แสดงผลสัญญาณและคำนวณ 47

3.8 การประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB 49

3.8.1 การออกแบบการกรองความถี่เสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 49

3.8.2 การออกแบบการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) 51

3.8.3 การออกแบบการ Cross correlation 51

3.8.4 การออกแบบการ Auto correlation 52

4. ผลการวิจัย 55

4.1 การทดสอบหัวไมโครโฟน 55

4.2 การบันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากผู้ป่วย 55

4.3 การประมวลผลข้อมูล 57

4.3.1 การกรองความถี่เสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 57

4.3.2 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) 59

4.3.3 Cross correlation 60

4.3.4 Auto correlation 65

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายและข้อเสนอแนะ 81

บรรณานุกรม 84

ภาคผนวก

ก ตำแหน่งของหัวไมโครโฟนและแสดงกราฟเสียงหัวใจของผู้ป่วย 87

ข โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการบันทึกสัญญาณ 107

ค โปรแกรมประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB 110

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ง บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4	124
ประวัติผู้เขียน	130

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2-1 ชื่อและหน้าที่ของสัญญาณในโหมดการทำงานแบบ EPP	26
2-2 พอร์ตที่ใช้ในการโปรแกรมพอร์ตขนานในโหมดการทำงานแบบ EPP	27
4-1 ผลของการประมวลผลด้วยวิธีการ Cross correlation แต่ละช่องสัญญาณ	64
4-2 ระยะห่างกันของ A_2 กับ P_2 5 ช่วงรอบการทำงานหัวใจทุกช่องสัญญาณ	79

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 ห้องของหัวใจ	8
2-2 ลิ้นหัวใจ	8
2-3 ลักษณะเสียง pan systolic murmur	10
2-4 ลักษณะเสียง Ejection systolic murmur	10
2-5 ลักษณะเสียง Diastolic blowing	11
2-6 ลักษณะเสียง diastolic rumble murmur	11
2-7 ลักษณะเสียง Continuouus murmur	11
2-8 ตำแหน่งต่าง ๆ บริเวณลิ้นหัวใจ	12
2-9 การนำสัญญาณไฟฟ้าในหัวใจ	14
2-10 ลักษณะสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	15
2-11 การต่อขั้วบันทึกแบบ bipolar limb lead	15
2-12 การต่อขั้วบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	16
2-13 การต่อขั้วอิเล็กโทรดแบบ Unipolar chest lead	17
2-14 ลักษณะเสียงที่ต่อเนื่องและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	18
2-15 ลักษณะโครงสร้างคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	18
2-16 การจัดวางอุปกรณ์เพื่อวัดแหล่งกำเนิดของเสียง	19
2-17 ระดับเสียงที่เปล่งออกจากลำโพงเมื่อป้อนวงจรขยายด้วยแรงดันคงที่	20
2-18 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดผลตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน	21
2-19 กราฟแสดงการตอบสนองของไมโครโฟนเมื่อให้ระดับเสียงที่ส่งเข้าไมโครโฟนคงที่	21
2-20 วงจรขยายความแตกต่าง	22
2-21 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentations Amplifier)	24
2-22 ลักษณะการโต้ตอบของรอบการเขียนข้อมูล	28
2-23 ลักษณะการโต้ตอบของรอบการเขียนแอดเดรส	29
2-24 ลักษณะการโต้ตอบของรอบการอ่านข้อมูล	29
2-25 ลักษณะการโต้ตอบของรอบการอ่านแอดเดรส	30
2-26 การส่งข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแต่ต่างกันที่ช่วงเวลา	31
2-27 การกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low pass Filter)	33

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2-28 การกรองผ่านความถี่สูง (High pass Filter)	33
2-29 การกรองผ่านแถบความถี่ (Band pass Filter)	34
2-30 การกรองหยุดแถบความถี่ (Band Stop Filter)	34
3-1 โครงสร้างอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	35
3-2 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 1	36
3-3 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 2	37
3-4 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 3	37
3-5 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 4	38
3-6 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 5	38
3-7 หัวไมโครโฟนรุ่นที่ 6	39
3-8 วงจรขยายเสียงเต้นของหัวใจขนาด 1 ช่องสัญญาณ	40
3-9 บอร์ดวงจรขยายเสียงเต้นของหัวใจขนาด 1 ช่องสัญญาณ	40
3-10 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	41
3-11 บอร์ดวงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	42
3-12 ขั้วบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	42
3-13 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	43
3-14 วงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการบันทึกสัญญาณ	44
3-15 แผนผังการทำงานโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการบันทึกสัญญาณ	45
3-16 ภายในอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	46
3-17 ภายด้านหน้าอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	46
3-18 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรเลอร์ทำงาน	47
3-19 หน้าต่างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งงาน	48
3-20 ผลตอบสนองแอมพลิจูดและผลตอบสนองเฟสของการกรองผ่านความถี่สูง	50
3-21 ผลตอบสนองแอมพลิจูดและผลตอบสนองเฟสของการกรองผ่านความถี่ต่ำ	50
3-22 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วกับสัญญาณซายน์ที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต	51
3-23 Cross correlation สัญญาณซายน์ที่มีความถี่เท่ากันมีเฟสเท่ากัน	52
3-24 Auto correlation สัญญาณซายน์ที่มีระยะห่างของสัญญาณช่วงเวลาหนึ่ง	53

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-25 Auto correlation สัญญาณซายน์ที่มีระยะห่างของสัญญาณใกล้กัน	54
3-26 Auto correlation สัญญาณซายน์ที่มีกลุ่มเดียว	54
4-1 ตำแหน่งของช่องสัญญาณที่ใช้ในการบันทึก	56
4-2 กราฟที่ได้จากการบันทึกจากอุปกรณ์บันทึกเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจชนิด 8 ช่องสัญญาณ	57
4-3 กราฟตัวอย่างก่อนผ่านกระบวนการกรองความถี่	58
4-4 กราฟตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการกรองความถี่	58
4-5 กราฟตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่คนปกติ	59
4-6 กราฟตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ผู้ป่วยอาการ VSD closing	60
4-7 กราฟของผู้ป่วยอาการ VAS post balloon valvuloplasty ที่มีเสียงชนิด to+fro murmur at ULSB, URSB	61
4-8 เลือกสัญญาณกราฟเสียง S_1 ช่วงเวลา 2.35 วินาที ถึงช่วงเวลา 2.45 วินาที	62
4-9 Cross correlation โดยให้ช่องสัญญาณ 2 เป็นช่องสัญญาณหลัก	62
4-10 Cross correlation โดยให้ช่องสัญญาณ 3 เป็นช่องสัญญาณหลัก	63
4-11 Cross correlation โดยให้ช่องสัญญาณ 4 เป็นช่องสัญญาณหลัก	63
4-12 Cross correlation โดยให้ช่องสัญญาณ 5 เป็นช่องสัญญาณหลัก	64
4-13 กราฟของผู้ป่วยอาการ Atrial septal defect 2° (ASD 2°)	66
4-14 กราฟเสียงเต้นหัวใจเสียง S_2 รอบการทำงานหัวใจช่วงที่ 1	66
4-15 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 2 (ช่วงที่ 1)	67
4-16 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 3 (ช่วงที่ 1)	67
4-17 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 4 (ช่วงที่ 1)	68
4-18 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 5 (ช่วงที่ 1)	68
4-19 กราฟเสียงเต้นหัวใจเสียง S_2 รอบการทำงานหัวใจช่วงที่ 2	69
4-20 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 2 (ช่วงที่ 2)	69
4-21 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 3 (ช่วงที่ 2)	70
4-22 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 4 (ช่วงที่ 2)	70
4-23 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 5 (ช่วงที่ 2)	71

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-24 กราฟเสียงเต้นหัวใจเสียง S_2 รอบการทำงานหัวใจช่วงที่ 3	71
4-25 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 2 (ช่วงที่ 3)	72
4-26 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 3 (ช่วงที่ 3)	72
4-27 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 4 (ช่วงที่ 3)	73
4-28 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 5 (ช่วงที่ 3)	73
4-29 กราฟเสียงเต้นหัวใจเสียง S_2 รอบการทำงานหัวใจช่วงที่ 4	74
4-30 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 2 (ช่วงที่ 4)	74
4-31 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 3 (ช่วงที่ 4)	75
4-32 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 4 (ช่วงที่ 4)	75
4-33 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 5 (ช่วงที่ 4)	76
4-34 กราฟเสียงเต้นหัวใจเสียง S_2 รอบการทำงานหัวใจช่วงที่ 5	76
4-35 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 2 (ช่วงที่ 5)	77
4-36 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 3 (ช่วงที่ 5)	77
4-37 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 4 (ช่วงที่ 5)	78
4-38 กราฟ Auto correlation วิเคราะห์เสียง S_2 ช่องสัญญาณที่ 5 (ช่วงที่ 5)	78

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

Ω	=	ohm
μA	=	micro amperes
μF	=	micro farad
μS	=	micro seconds
A	=	amperes
dB	=	decibels
Hz	=	hertz
kΩ	=	kilo ohm
kHz	=	kilo hertz
mΩ	=	mili ohm
mA	=	milli amperes
S	=	seconds
V	=	volts
EPP	=	Enhanced Parallel Port
TDM	=	Time Division Multiplexing
PCG	=	Phonocardiogram
ECG	=	Electrocardiogram