

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ตรวจจับคลื่น QRS ในเวลาจริง



นายมานะ รวมกิจธรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

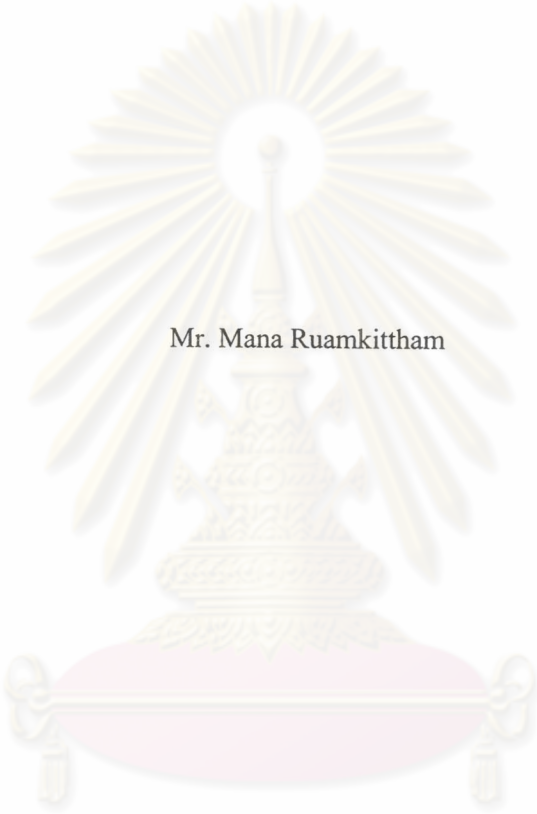
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4851-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A REAL-TIME QRS WAVE DETECTION ELECTROCARDIOGRAM



Mr. Mana Ruamkittham

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4851-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ตรวจจับคลื่น QRS ในเวลาจริง  
โดย นายมานะ รวมกิจกรรม  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจ็ดกุล โสภานิตย์  
อาจารย์ที่ปรึกษา(ร่วม) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ทนายท คีสุคจิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ฉิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจ็ดกุล โสภานิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา(ร่วม)  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ทนายท คีสุคจิต)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์)

มานะ รวมกิจกรรม : เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ตรวจจับคลื่น QRS ในเวลาจริง. (A REAL-TIME QRS WAVE DETECTION ELECTROCARDIOGRAM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. เจตกุล โสภานิตย์ อ. ที่ปรึกษาร่วม ผศ.นพ. ทายาท ดิสุจิต จำนวนหน้า 100 หน้า. ISBN 974-17-4851-7.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการงานเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมโครงการนี้มุ่งเน้นประเด็นของการวิเคราะห์รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นประเด็นหลัก โดยอาศัยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณของการแปลงเวฟเลต และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเข้าช่วยในการวิเคราะห์รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เนื่องจากการแปลงเวฟเลตได้รับการยอมรับถึงประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์และประมวลผลพื้นฐานของสัญญาณได้ เช่น สามารถหาค่าตำแหน่งขององค์ประกอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจส่วน QRS จากนั้นคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจ พร้อมทั้งบอกค่าความกว้างขององค์ประกอบรูปคลื่นส่วน QRS ได้ โดยขอบเขตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ด้วยวิธีดังกล่าวกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 1 ช่องสัญญาณ เพื่อเป็นพื้นฐานในการสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและในการพัฒนาต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า ..... ลายมือชื่อนิติศ ..... มานะ รวมกิจกรรม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ปีการศึกษา ..... 2546 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## 4470469721: MAJOR POWER ELECTRONICS

KEY WORD: ELECTROCARDIOGRAM(ECG)/ HEART RATE/ QRS DURATION/  
WAVELET/ SINGULARITY

MANA RUAMKITTHAM: A REAL-TIME QRS WAVE DETECTION  
ELECTROCARDIOGRAM THESIS ADVISOR : ASST.PROF. CHERDKUL  
SOPAVANIT, THESIS COADVISOR : ASST.PROF DOCTOR TAYARD  
DESUDCHIT, 100 pp. ISBN 974-17-4851-7.

The main goal of the described thesis was to build the instrument for electrocardiogram (ECG) which concentrates on analyzing the ECG signal by applying a personal computer with hardware interfacing via a serial port communication. Implementation of wavelet transformation and related theory are used for detection and processing. Due to qualification of wavelet transforms is a very promising technique for non-stationary signal and time-frequency analysis, the wavelet transforms' feature can be used to distinguish ECG waves from serious noise, artifacts, baseline drift and detect QRS complex. It is able to find the position of QRS complex, calculate the heart rate and QRS duration. This thesis implement for electrocardiogram (ECG) 1 lead to be based to develop the electrocardiogram instruments in the future.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ELECTRICAL ENGINEERING Student's signature Mana Ruamkittham  
Field of study ELECTRICAL ENGINEERING Advisor's signature [Signature]  
Academic year 2003 Co-advisor's signature [Signature]

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจิดกุล โสภานิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ทายาท ดีสุดจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ อาจารย์ นายแพทย์ อภิชัย คงพัฒนาโยธิน ผู้ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย ตลอดจนรุ่นพี่ห้องปฏิบัติการวิจัย อิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการพัฒนางานวิจัย รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบัน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดา และญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษา และเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตโครงการวิทยานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ.....	4
2.1 การกำเนิดและแบบจำลองของแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ.....	4
2.2 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ.....	5
2.2.1 การวัดเพื่อการวินิจฉัยคนไข้ข้างเตียงแบบมาตรฐาน.....	6
2.2.1.1 วิธีการวัดแบบ Standard Limb Lead.....	6
2.2.1.2 วิธีการวัดแบบ Augmented Limb Lead.....	7
2.2.1.3 วิธีการวัดแบบ Unipolar Chest Lead.....	11
2.2.2 การวัดเพื่อการมอนิเตอร์.....	12
2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	12
3. ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	14
3.1 เครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	14
3.1.1 ขั้ววัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจจากผิวหนัง.....	14
3.1.2 วงจรวัดสัญญาณไฟฟ้า.....	15
3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	16
3.3 ส่วนประกอบของวงจรเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3.1	วงจรรขยายผลต่าง .....17
3.3.2	วงจรรขยายไม่กลับเฟส.....17
3.3.3	วงจรรกรองความถี่ต่ำ อันดับ 1.....18
3.3.4	วงจรรกรองความถี่สูง.....18
3.3.5	วงจรรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ธ อันดับ 2.....18
3.3.6	วงจรรนอที่ชฟิวเตอร์.....19
3.4	วงจรรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล .....20
3.5	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....22
4.	ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต.....24
4.1	ทฤษฎีการแปลงของสัญญาณ.....24
4.2	การวิเคราะห์แบบมัลติเรโซลูชัน.....26
4.3	อนุกรมเวฟเล็ต.....29
4.4	การวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลาเต็มหน่วยด้วยทฤษฎีเวฟเล็ต.....29
4.5	การแปลงเวฟเล็ตเต็มหน่วย.....30
4.6	การแปลงเวฟเล็ตเต็มหน่วย.....32
4.7	ตระกูลของออโธโนมัลเวฟเล็ต.....34
4.8	ผลตอบสนองเมื่อความถี่ของ Octave Band Wavelet Filter Bank.....35
5.	การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....39
5.1	หลักการตรวจจับองค์ประกอบของรูปคลื่นส่วน QRS.....39
5.2	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกับการแปลงเวฟเล็ต.....40
5.3	การพิจารณาและกฎการตัดสินใจ.....44
5.3.1	ขั้นตอนหลักของอัลกอริทึมในการตรวจจับองค์ประกอบของรูปคลื่นส่วน QRS.....45
5.3.2	ขั้นตอนหลักของอัลกอริทึมในการหาค่าความกว้างขององค์ประกอบของรูปคลื่นส่วน QRS.....46
6.	การประยุกต์ใช้งานกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....47
6.1	ระบบปฏิบัติการลินุกซ์.....47
6.1.1	พื้นฐานของระบบปฏิบัติการลินุกซ์.....47



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
6.1.2	คุณสมบัติของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่สนับสนุนการทำงานของโปรแกรมเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	47
6.2	พื้นฐานการสื่อสารข้อมูลอนุกรม.....	49
6.2.1	การสื่อสารแบบไม่ประสานเวลา.....	49
6.2.2	การสื่อสารแบบประสานเวลา.....	49
6.3	หน่วยควบคุมการติดต่อสื่อสาร.....	50
6.4	การสื่อสารด้วยมาตรฐาน RS – 232.....	54
6.5	การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้งานส่วนการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	56
7.	การทดสอบและประเมินผล.....	58
7.1	การทดสอบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน.....	58
7.2	การทดสอบวงจรกรองความถี่และวงจรถยาย.....	59
7.3	การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม.....	61
7.4	การทดสอบการอ่านค่าการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล.....	63
7.5	การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	65
7.6	การทดสอบอัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ดกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	69
7.7	การทดสอบอัลกอริทึมกับผลการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	72
7.8	ประเมินผลการทดสอบ.....	78
8.	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	81
	รายการอ้างอิง.....	83
	ภาคผนวก.....	85
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	100

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	เงื่อนไขของช่องอินพุตทั้ง 2 ช่อง.....	22
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง สเกลช่วงความถี่กับค่าความถี่.....	44
6.1	ตัวบ่งชี้ (flag) ในการกำหนดการทำงานให้กับพอร์ตอนุกรม.....	50
6.2	คุณสมบัติของตัวบ่งชี้ (flag) c_cflag.....	52
6.3	รายละเอียดสายสัญญาณของจุดเชื่อมต่อทั้งแบบ DB-9 และ DB-25.....	54
6.4	ลักษณะของระดับสัญญาณ.....	55
7.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สเกลช่วงความถี่กับค่าความถี่ ใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4.....	69
7.2	ผลการคำนวณและวิเคราะห์หาค่า อัตราการเดินของหัวใจ และช่วงความกว้างของส่วนประกอบคลื่นส่วน QRS ของ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 จากการประยุกต์ใช้ อัลกอริทึมบทโปรแกรม Matlab.....	73
7.3	ผลการคำนวณและวิเคราะห์หาค่า อัตราการเดินของหัวใจ และช่วงความกว้างของส่วนประกอบคลื่นส่วน QRS ของ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 จากการประยุกต์ใช้ อัลกอริทึมบทโปรแกรม Matlab.....	75
7.4	การตรวจจับองค์ประกอบยอดคลื่น QRS และการแสดงผล การตรวจสอบอัตราการเดินของหัวใจกับ MIT/BIH arrhythmia database ช่วง 5 นาทีแรก.....	79
7.5	ความสัมพันธ์การทดสอบผลการตรวจจับองค์ประกอบยอดคลื่นส่วน QRS.....	80

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 สามเหลี่ยมด้านเท่าของไอน์โรเฟ่นและการฉายเวกเตอร์ของไอน์โรเฟ่น ลงบนแต่ละด้านของสามเหลี่ยม.....	4
2.2 วิธีพื้นฐานในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากผิวหนังในตำแหน่งของ II Lead โดยประมาณ.....	5
2.3 แบบจำลองแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ Standard Limb Lead.....	6
2.4 วิธีการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ Standard Limb Lead.....	7
2.5 แบบจำลองการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ Augmented Limb Lead aVL.....	7
2.6 เวกเตอร์ของ aVL Lead ที่หาได้จากเวกเตอร์ของ I Lead และ III Lead.....	8
2.7 ทิศทางและขนาดของเวกเตอร์แบบ Standard และ Augmented Limb Lead.....	9
2.8 ตัวอย่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แบบ Standard และ Augmented Limb Lead.....	10
2.9 วิธีวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ Augmented Limb Lead .....	11
2.10 วิธีการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ Unipolar Chest Lead.....	11
2.11 ตำแหน่งการติดขั้ววัดควบบนหน้าอกของวิธีการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แบบ Unipolar Chest Lead V1 ถึง V6.....	11
2.12 ตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าหัวใจแบบ Unipolar Chest Lead V1 ถึง V6 และตำแหน่งการติดขั้ววัดควบบนหน้าอกโดยมองตัดขวางของลำตัว.....	12
2.13 ลักษณะสัญญาณไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ.....	13
2.14 ช่วงความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจสำหรับการประยุกต์ใช้งานแบบต่างๆ.....	13
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ.....	16
3.2 วงจรขยายผลต่าง.....	17
3.3 กราฟคุณสมบัติของไอซี INA 114.....	17
3.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....	18
3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำ.....	18
3.6 วงจรกรองความถี่สูง.....	18
3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำ แบบ บัคเตอร์เวิร์ธ.....	19

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.8 วงจรนอกรีตพีวเตอร์.....	20
3.9 รูปแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของวงจร นอกรีตพีวเตอร์.....	20
3.10 รูปแสดงเวลาการทำงานของการสื่อสารข้อมูลของ LTC1298.....	21
3.11 รูปแสดงรูปแบบของ Input Data Word.....	22
4.1 Two-Channel Analysis Filter Bank ที่ใช้ในการคำนวณ $c_j(n)$ และ $d_j(n)$ จาก $c_{j+1}(n)$ .....	32
4.2 การแปลงเวฟเล็ทเต็มหน่วย $L$ ระดับในรูปของ Octave Band Analysis Filter Bank.....	32
4.3 Two-Channel Synthesis Filter Bank ที่ใช้ในการคำนวณ $\hat{c}_{j+1}(n)$ และ $\hat{c}_j(n)$ จาก $\hat{d}_j(n)$ .....	33
4.4 การแปลงเวฟเล็ทเต็มหน่วย $L$ ระดับในรูปของ Octave Band Synthesis Filter Bank.....	34
4.5 รูปแบบสมมูลย์ของ Octave Band Analysis Filter Bank 1 ระดับ.....	35
4.6 ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_a(n)$ และ $g_a(n)$ แบบ Daubechies-4.....	36
4.7 รูปแบบสมมูลย์ของ Octave Band Analysis Filter Bank 2 ระดับ.....	36
4.8 ผลตอบสนองความถี่ของ Octave Band Analysis Filter Bank 2 โดยใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4.....	37
4.9 รูปแบบสมมูลย์ของ Octave Band Analysis Filter Bank 3 ระดับ.....	38
4.10 ผลตอบสนองความถี่ของ Octave Band Analysis Filter Bank 3 ระดับ โดยใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4.....	38
5.1 โครงสร้างทั่วไปของการตรวจจับองค์ประกอบของรูปคลื่นส่วน QRS.....	40
5.2 ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดของสัญญาณใน 1 มิตี.....	42
5.3 ตัวอย่างลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจกับผลของการแปลงเวฟเล็ท 4 ระดับ.....	43
6.1 รูปแบบการสื่อสารแบบไม่ประสานเวลา.....	49
6.2 รูปแบบการสื่อสารแบบประสานเวลา.....	49
6.3 ขั้นตอนของกิจกรรมเมื่อมีการเรียกใช้พอร์ตอนุกรม .....	53

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
6.4 จุดเชื่อมต่อแบบ DB-9 และ DB-25.....	54
6.5 ระดับสัญญาณของภาครับและภาคส่ง.....	56
6.6 รหัสการส่งข้อมูล 16 บิต .....	57
7.1 รูปโปรแกรม ECG Monitor.....	58
7.2 รูปสัญญาณวัดเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต.....	61
7.3 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมบนหน้าจอ ECG Monitor.....	63
7.4 ผลการทำงานของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยการจ่าย อินพุตไฟตรง ที่ค่าต่างๆ เข้าอินพุตของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล แสดงผลการทดสอบบนจอ ECG Monitor.....	65
7.5 รูปสัญญาณคลื่นไซน์บนหน้าจอ ECG Monitor ที่ความถี่ต่างๆ โดยตัวสัญญาณจ่ายผ่านวงจรกรองความถี่ผ่าน วงจรขยาย วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทาง พอร์ตอนุกรม.....	68
7.6 ผลตอบสนองความถี่ของ Octave Band Analysis Filter Bank 5 ระดับ โดยใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4.....	69
7.7 ผลจากการแปลงเวฟเล็ดกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 โดยแตกความละเอียด 5 ระดับ.....	70
7.8 ผลจากการแปลงเวฟเล็ดกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 โดยแตกความละเอียด 5 ระดับ.....	71
7.9 ผลจากการแปลงเวฟเล็ดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 กับการวิเคราะห์รูปคลื่น.....	73
7.10 ผลจากการแปลงเวฟเล็ดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 กับการวิเคราะห์รูปคลื่น.....	75
7.11 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามา จากฐานข้อมูล.....	76
7.12 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามา จากคนไข้คนที่ 1.....	77

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
7.13 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามา จากคนไข้คนที่ 2.....	77
7.14 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามา จากคนไข้คนที่ 3.....	78



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย