

บทที่ 7

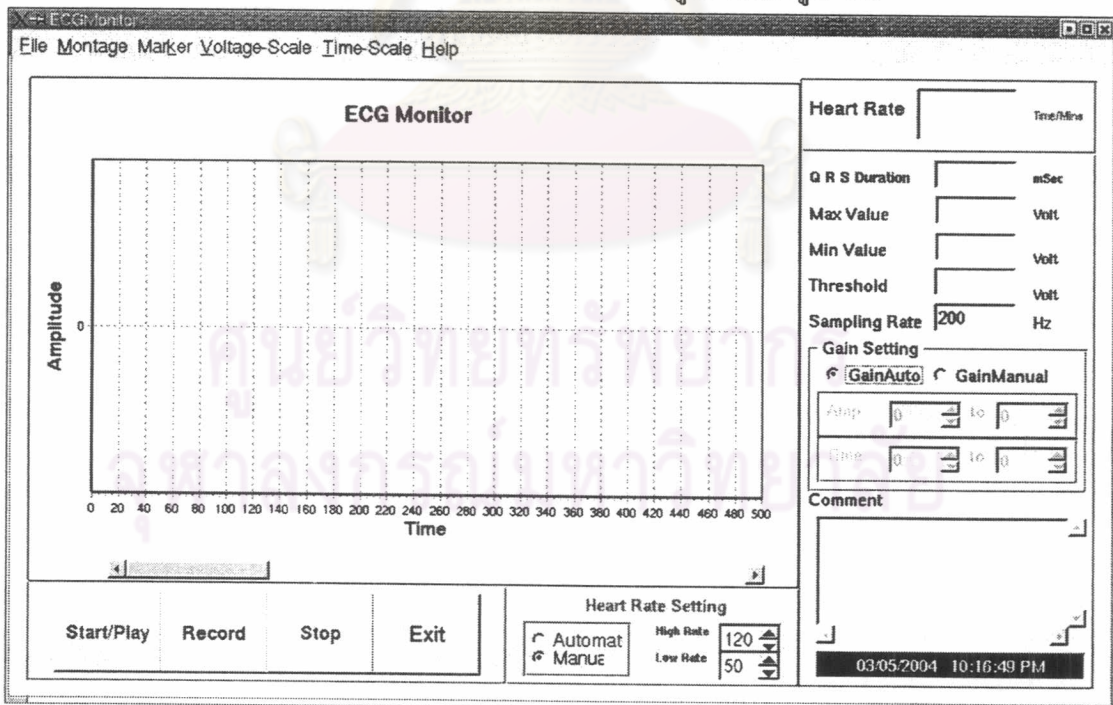
การทดสอบและประเมินผล

ในวิทยาลัยพณิชยการนำเสนองานโครงการเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยสามารถแบ่งการทดสอบเป็นส่วนใหญ่ๆได้ดังนี้

1. การทดสอบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน
2. การทดสอบวงจรรองความถี่และวงจรขยาย
3. การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
4. การทดสอบการอ่านค่าการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
5. การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
6. การทดสอบอัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็กกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
7. การทดสอบอัลกอริทึมกับผลการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
8. ประเมินผลการทดสอบ

7.1 การทดสอบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน

วิทยาลัยพณิชยการนำเสนองานการออกแบบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานดังรูป 7.1



รูปที่ 7.1 รูปโปรแกรม ECG Monitor

มีฟังก์ชันการใช้งานหลักๆดังนี้

1. Monitor แสดงผลกราฟของข้อมูล
2. Play มีเลือกการทำงาน 2 แบบคือ
 - 2.1 แสดงกราฟจากการอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูล
 - 2.2 แสดงกราฟจากการรับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม จะสั่งให้มีการเปิดพอร์ตอนุกรม และตั้งค่าเริ่มต้นให้กับพอร์ต
3. Record บันทึกข้อมูล
4. Stop หยุดการทำงานของฟังก์ชัน Play สั่งคำสั่งปิดพอร์ต
5. Exit ออกจากโปรแกรม
6. Heart Rate Setting ตั้งค่า High rate และ Low rate ให้กับการวิเคราะห์ข้อมูลถ้าไม่ได้ตั้งจะใช้ Default มีการทำงาน 2 โหมด
 - 6.1 Automatic ใช้ค่า Default ในการคำนวณวิเคราะห์ข้อมูล
 - 6.2 Manual ใช้ค่า ที่เปลี่ยนแปลงจากการตั้งค่า ในการคำนวณวิเคราะห์ข้อมูล
7. Gain Setting ปรับเปลี่ยนขนาดสเกล มี 2 โหมด
 - 7.1 Gain Auto สเกลปรับเปลี่ยนเองตามข้อมูล
 - 7.2 Gain Manual สเกลปรับเปลี่ยนเองตามการตั้งค่า
8. Sampling Setting เปลี่ยนค่าความถี่ sampling ได้ เพื่อการคำนวณ
9. Display Result

แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญดังนี้

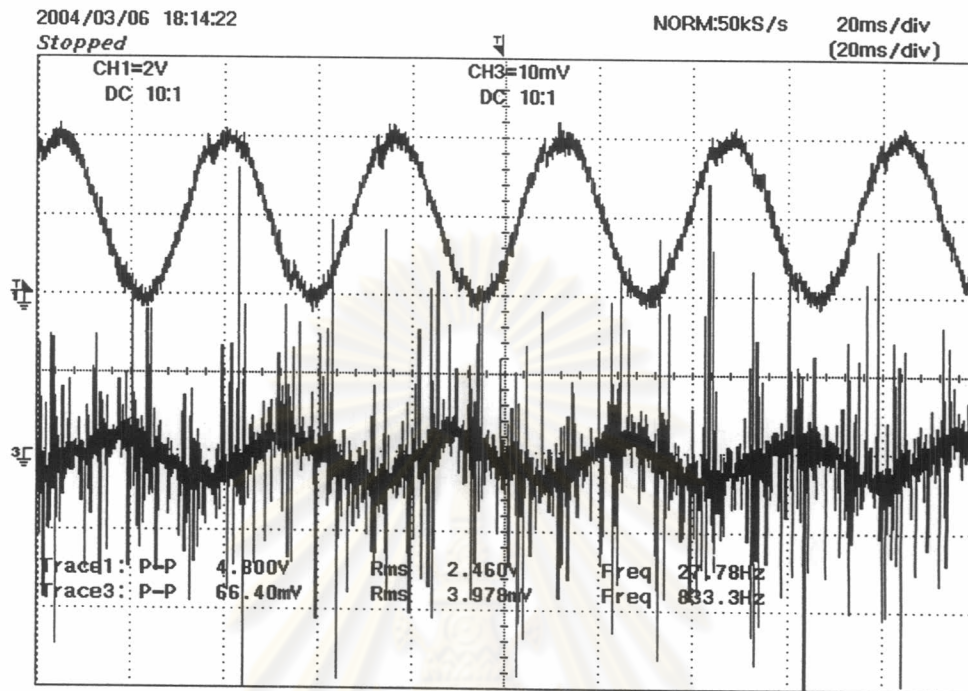
 - 8.1 Heart Rate อัตราการเต้นของหัวใจ
 - 8.2 QRS Duration ความกว้างของขอดคลื่นส่วนประกอบ QRS
 - 8.3 Comment แสดงผลการวิเคราะห์เมื่อผลการวิเคราะห์ของอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่ตั้งไว้

7.2 การทดสอบวงจรกรองความถี่และวงจรขยาย

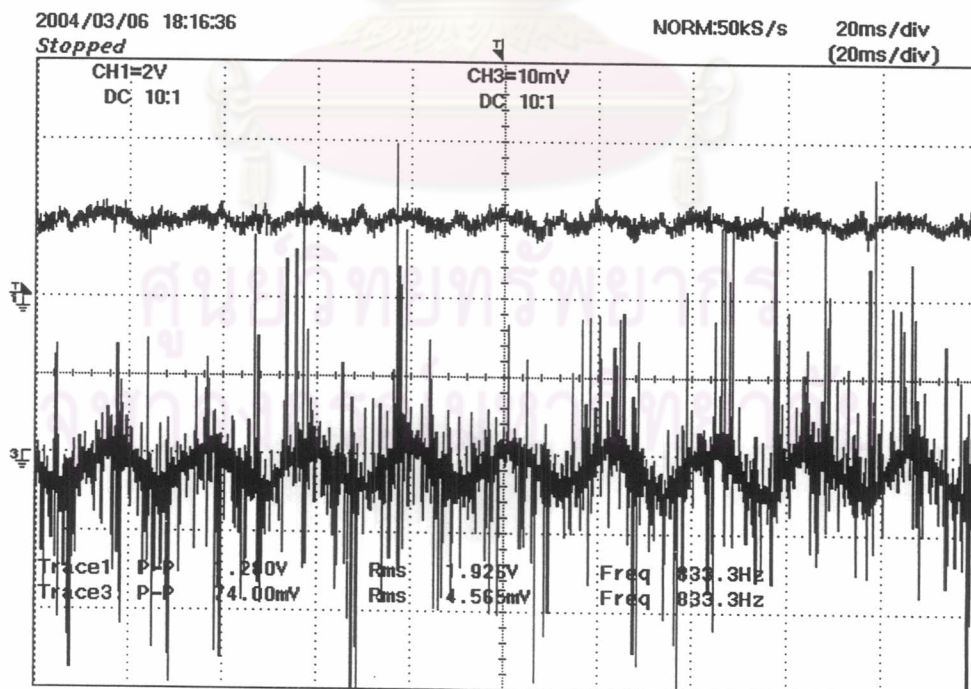
การทดสอบทำโดยจ่ายสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ที่ความถี่ต่างๆ ขนาดแอมพลิจูดไม่เกิน 5 mV เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยประมาณจะมีค่าไม่เกิน 5 mV แล้วปรับเปลี่ยนสัญญาณไปที่ความถี่ต่างๆ ได้ผลการทดสอบตามรูปที่ 7.1

หมายเหตุ การวัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

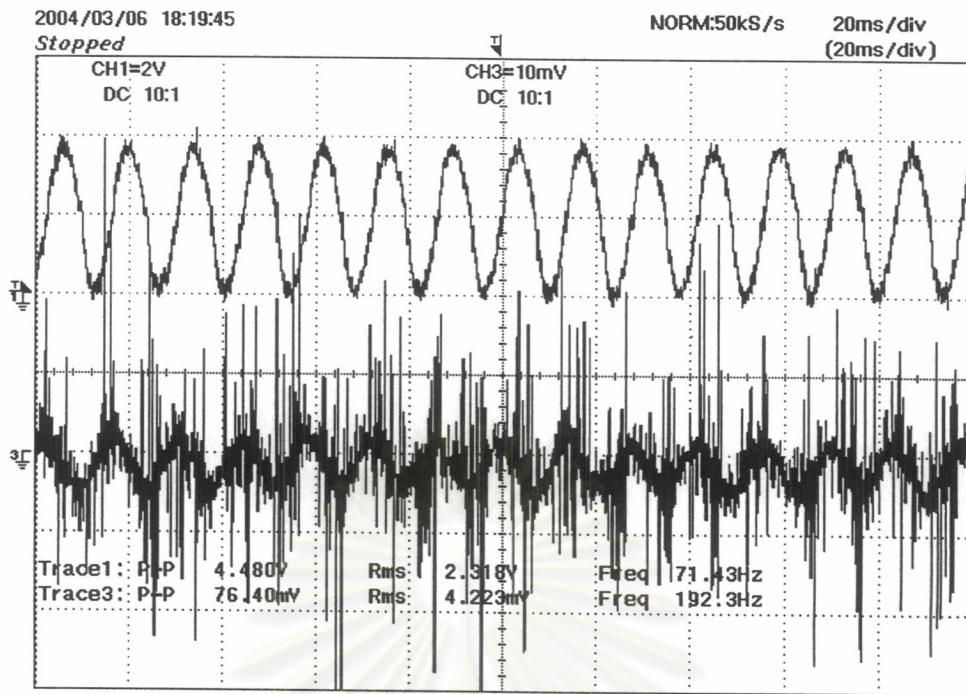
1. แชนแนล (Channel 1) วัดสัญญาณเอาต์พุต ใช้โพรบ (probe $\times 10$)
2. แชนแนล (Channel 3) วัดสัญญาณอินพุต ใช้โพรบ (probe $\times 10$)



ก) สัญญาณอินพุตวัดเทียบกับเอาต์พุตที่ความถี่ 27.70 เฮิรตซ์



ข) สัญญาณอินพุตวัดเทียบกับเอาต์พุตที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์



ง) สัญญาณอินพุตวัดเทียบกับเอาต์พุตที่ความถี่ 71.43 เฮิรตซ์

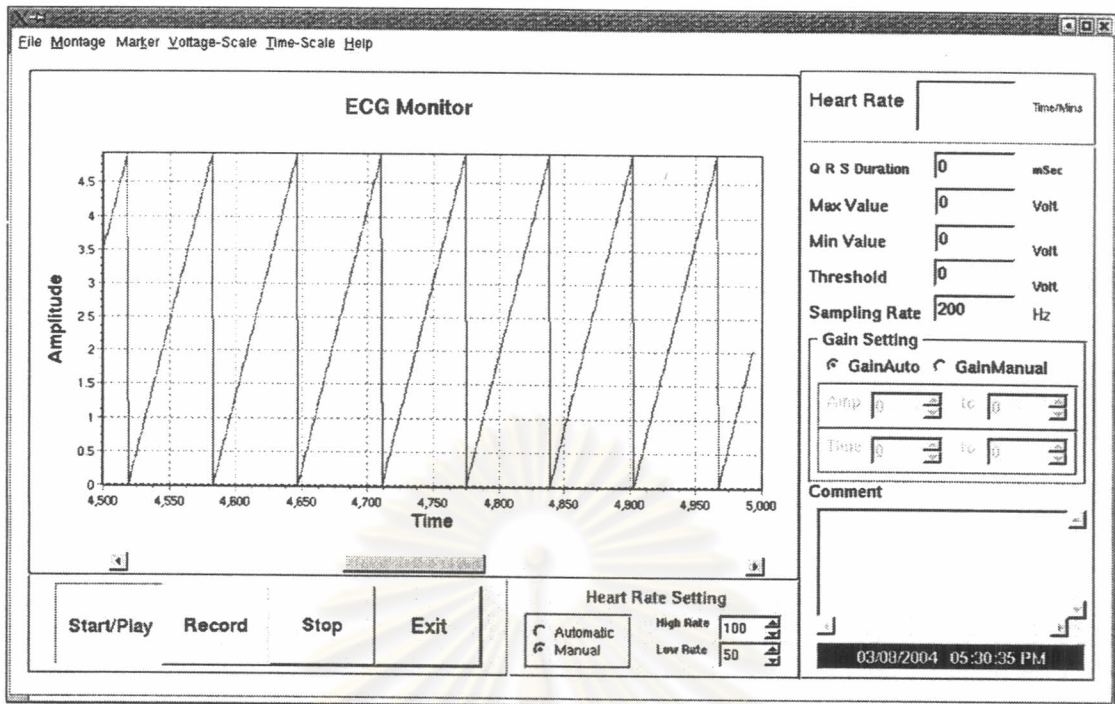
รูปที่ 7.2 รูปสัญญาณวัดเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต

7.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

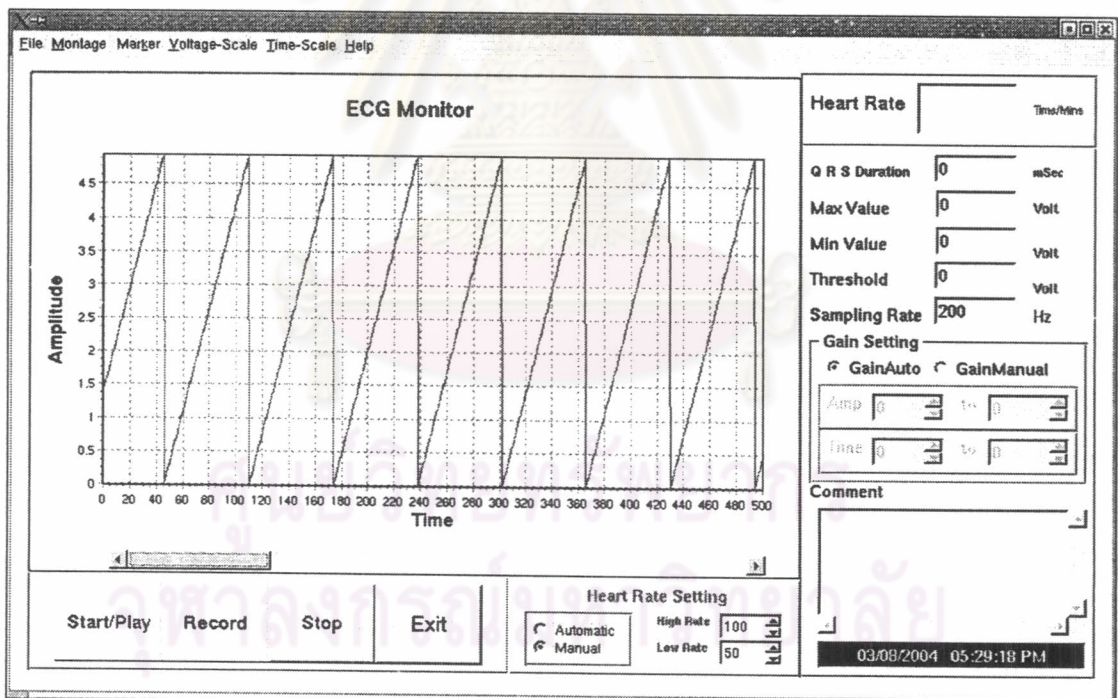
การทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมแอสเซมบลี ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณเป็นลักษณะพินเหลี่ยมจำนวน 10,000 จุดโดยใช้รหัสการส่งดั่งที่กล่าวจากบทข้างต้น ผลการทดสอบข้อมูลที่รับเข้ามาหลังจาก ใช้คำสั่งเปิดการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม ข้อมูลที่ส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ครบทุกจำนวน

การทดสอบได้ทดสอบ 2 วิธี

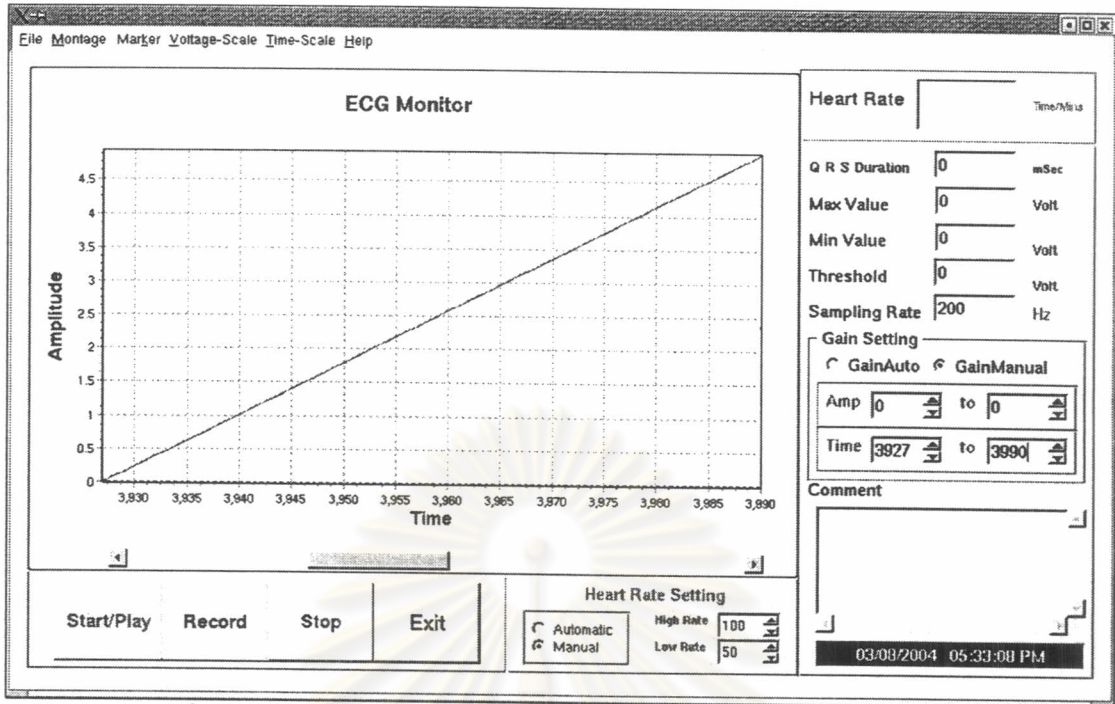
1. โปรแกรมทางวินโดว์รับข้อมูลการทดสอบเป็นรหัสแอสกี ผลการทดสอบแสดงทางภาคผนวก
2. โปรแกรมรับส่งที่เขียนขึ้นเพื่อใช้งานบนลินุกซ์ ผลการทดสอบดังรูปที่ 7.2



ก) ผลเมื่อใช้คำสั่งเปิดการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม



ข) ผลเมื่อใช้คำสั่งปิดการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม



ง) ผลเมื่อขยายสเกลด้านช่วงเวลาเพื่อนับจำนวนจุดที่ได้รับเข้ามาแต่ละรูปคลื่นฟันเลื่อย

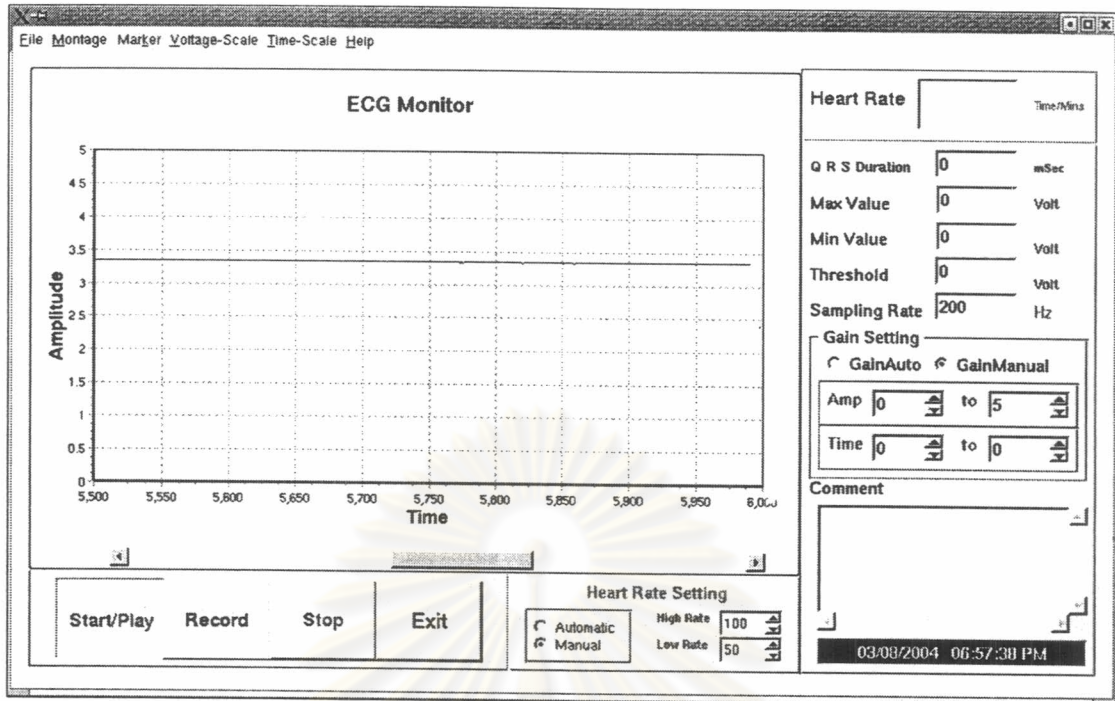
รูปที่ 7.3 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมบนหน้าจอ ECG Monitor

หมายเหตุ ผลการทดสอบข้อมูลเป็นค่าแอสกีอยู่ในหน้าผนวก

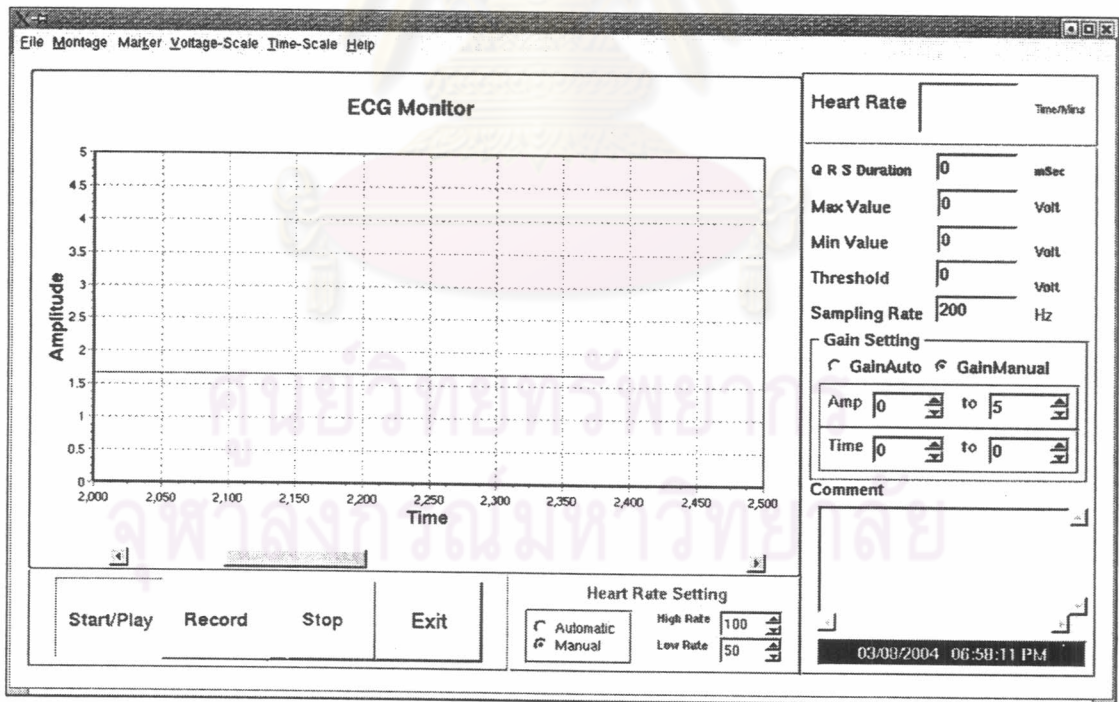
7.4 การทดสอบการอ่านค่าการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

การทดสอบโดยการจ่ายไฟตรง 0-5 โวลต์ เข้าอินพุตของ วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล ผลการทดสอบที่ได้ ผลลัพธ์มีการปรับเปลี่ยนไปตามแรงดันที่ป้อนได้อย่างถูกต้อง ตามรูปที่ 7.4

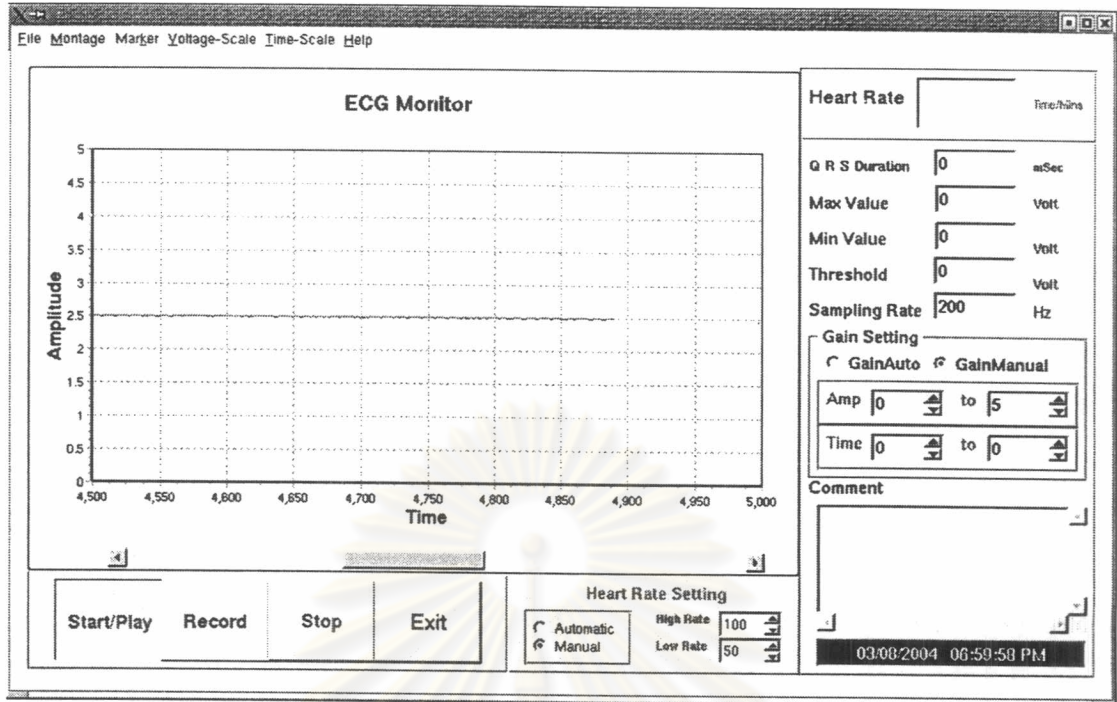
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ค่าระดับแรงดันไฟตรงเมื่อจ่ายไฟตรงระดับ $\frac{2}{3}$ ของ 5 โวลต์



ข) ค่าระดับแรงดันไฟตรงเมื่อจ่ายไฟตรงระดับ $\frac{1}{3}$ ของ 5 โวลต์



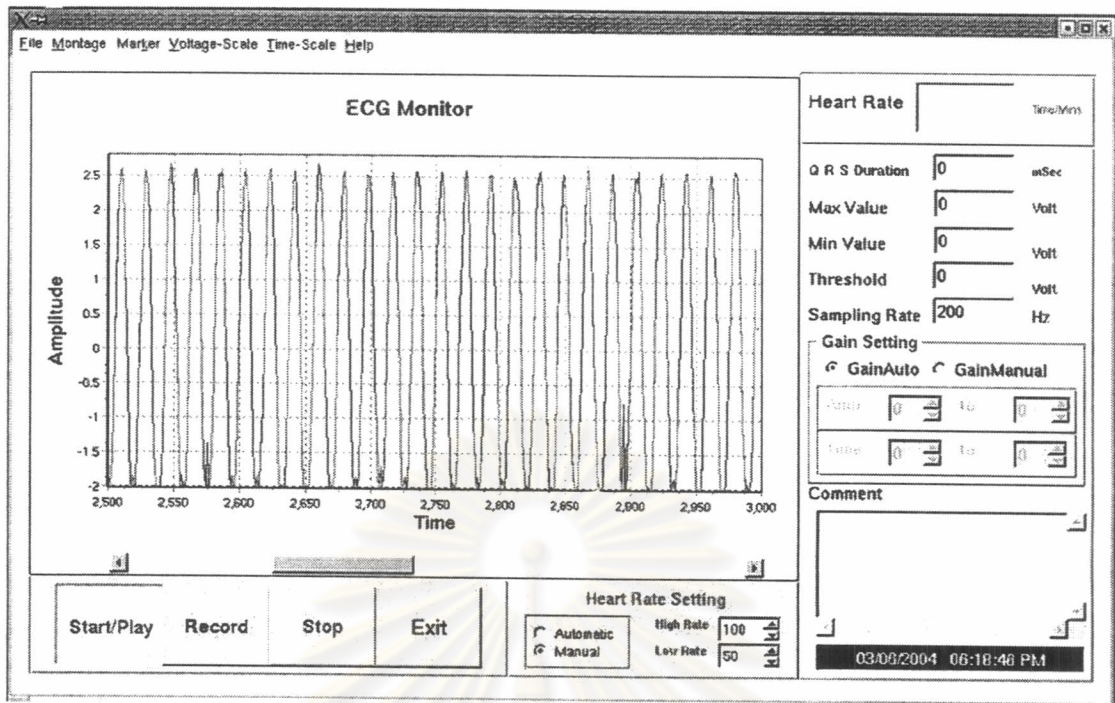
ก) ค่าระดับแรงดันไฟตรงเมื่อจ่ายไฟตรงระดับ $\frac{1}{4}$ ของ 5 โวลต์

รูปที่ 7.4 ผลการทำงานของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยการจ่ายอินพุตไฟตรง ที่ค่าต่างๆ เข้าอินพุตของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล แสดงผลการทดสอบบนจอ ECG Monitor

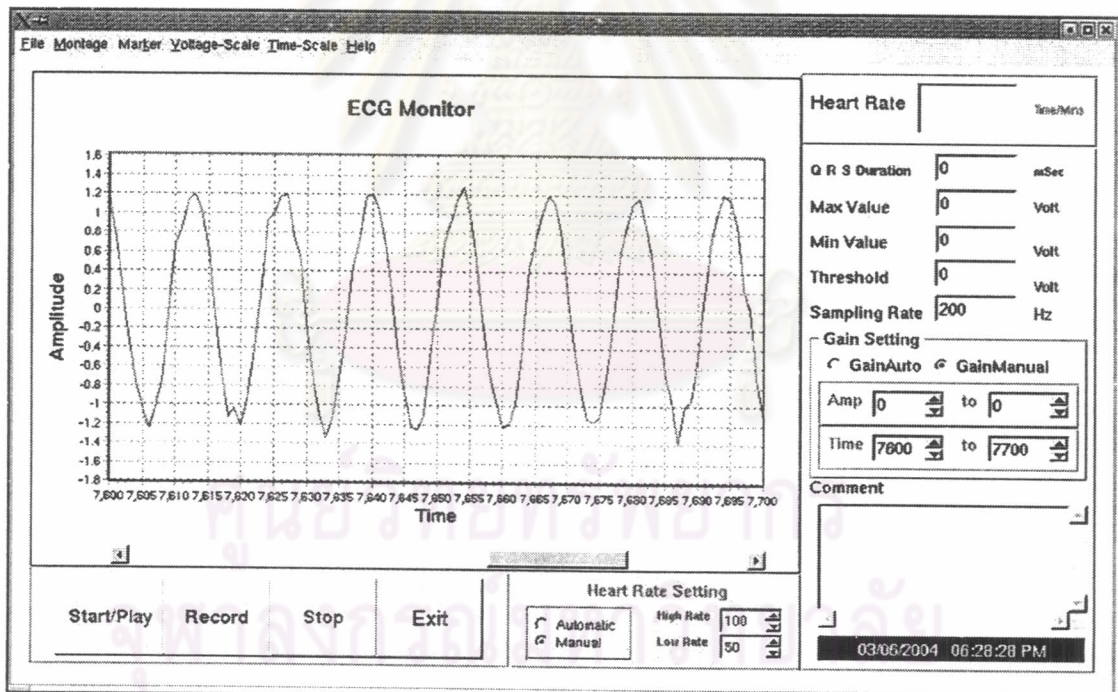
7.5 การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ทำโดยจ่ายสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ที่ความถี่ต่างๆ ผ่านวงจรกรองความถี่ผ่าน วงจรขยาย วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทาง พอร์ตอนุกรม แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ได้ผลการทดสอบตามรูปที่ 7.5

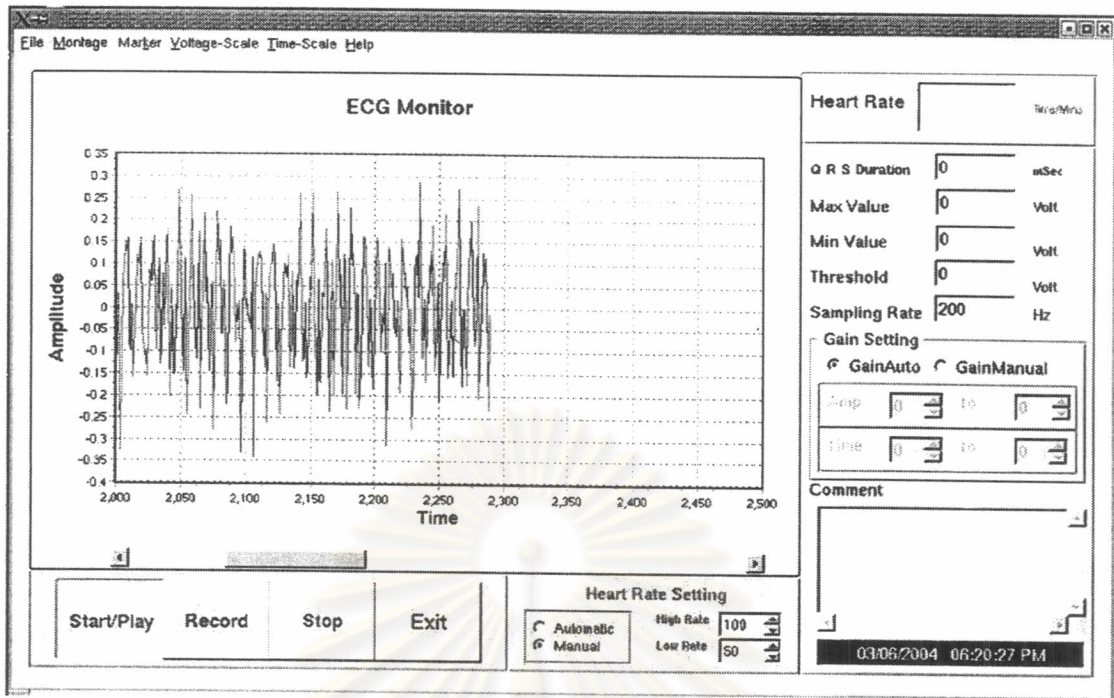
ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



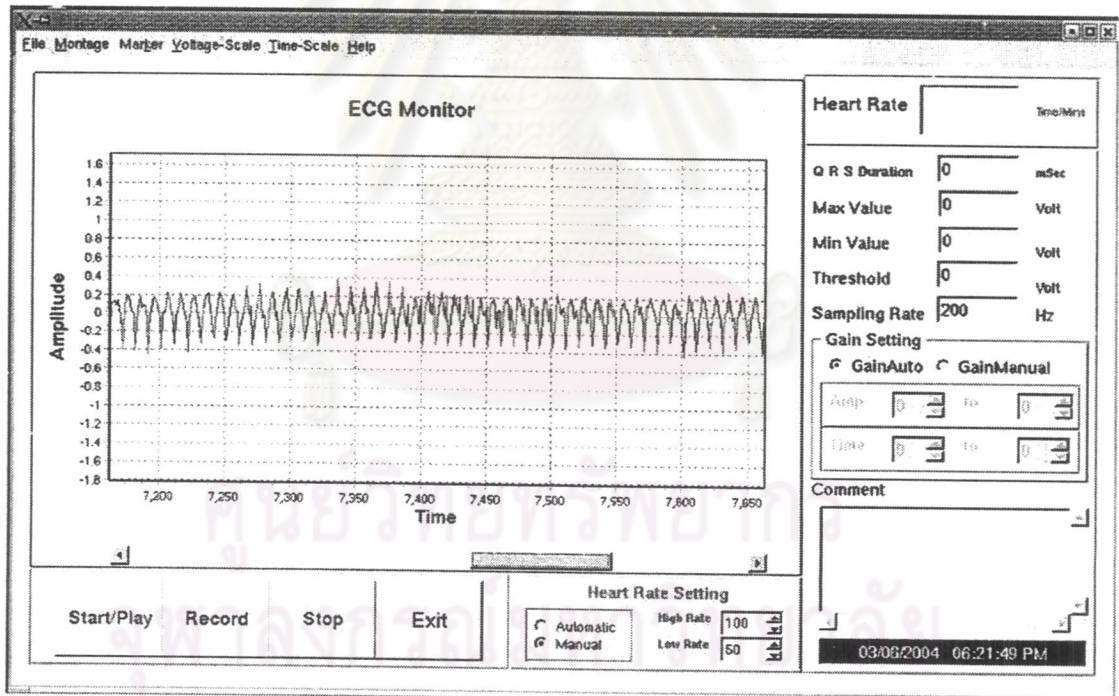
ก) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ ความถี่ประมาณ 30 เฮิร์ตซ์



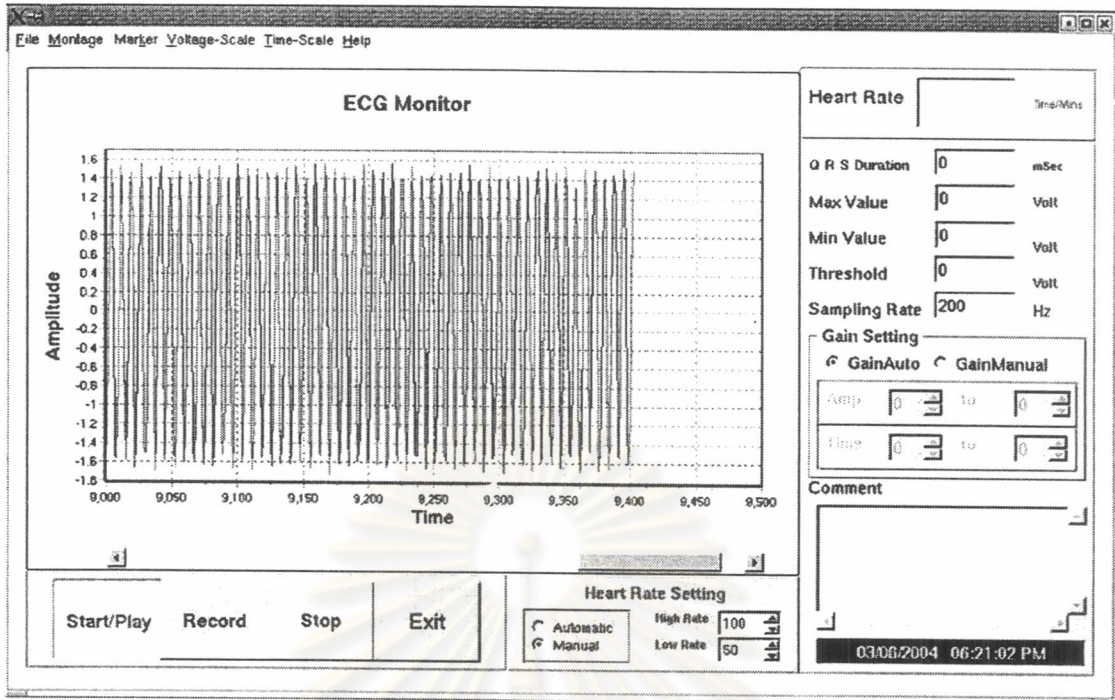
ข) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ความถี่ประมาณ 30 เฮิร์ตซ์ ขณะปิดพอร์ตหุ้ยรับสัญญาณ และขยายสเกลช่วงเวลา



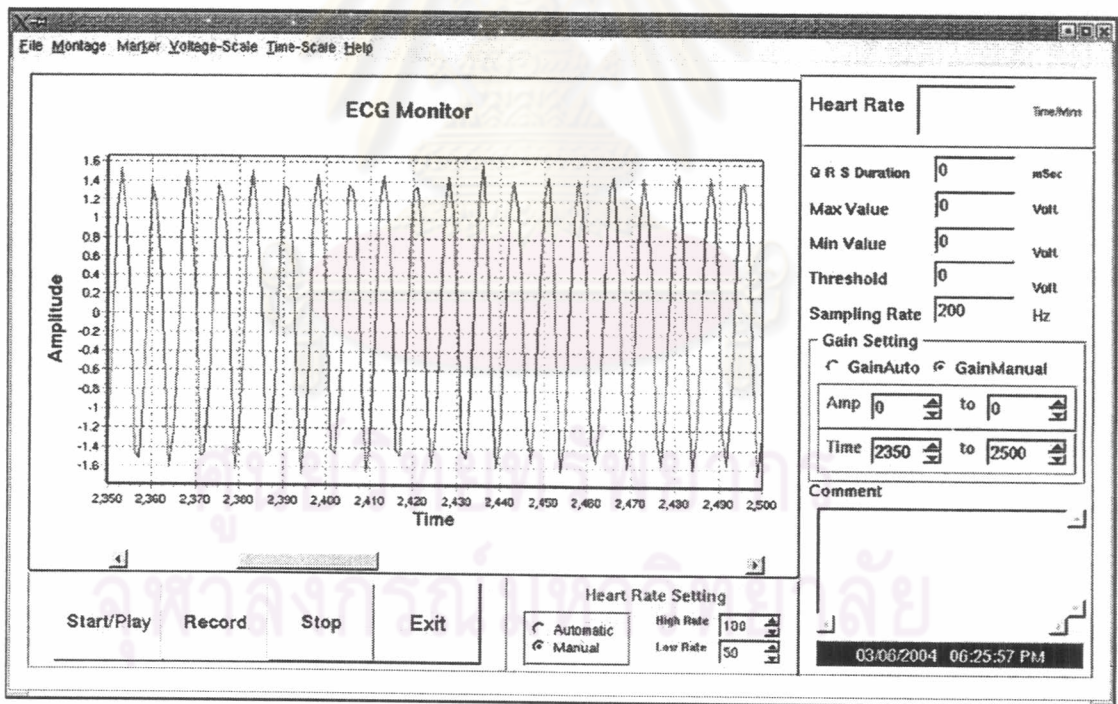
ค) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ ความถี่ประมาณ 50 เฮิรตซ์



ง) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ ความถี่ประมาณ 50 เฮิรตซ์ ขณะปิดพอร์ตหุขรับสัญญาณ



จ) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ ความถี่ประมาณ 70 เฮิรตซ์



ฉ) รูปสัญญาณบน ECG Monitor ที่รับสัญญาณอินพุตคลื่นไซน์ ความถี่ประมาณ 70 เฮิรตซ์ ขณะปิดพอร์ตหุ้ดรับสัญญาณ

รูปที่ 7.5 รูปสัญญาณคลื่นไซน์บนหน้าจอ ECG Monitor ที่ความถี่ต่างๆ โดยตัวสัญญาณจ่ายผ่านวงจรกรองความถี่ผ่าน วงจรขยาย วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทาง พอร์ตอนุกรม

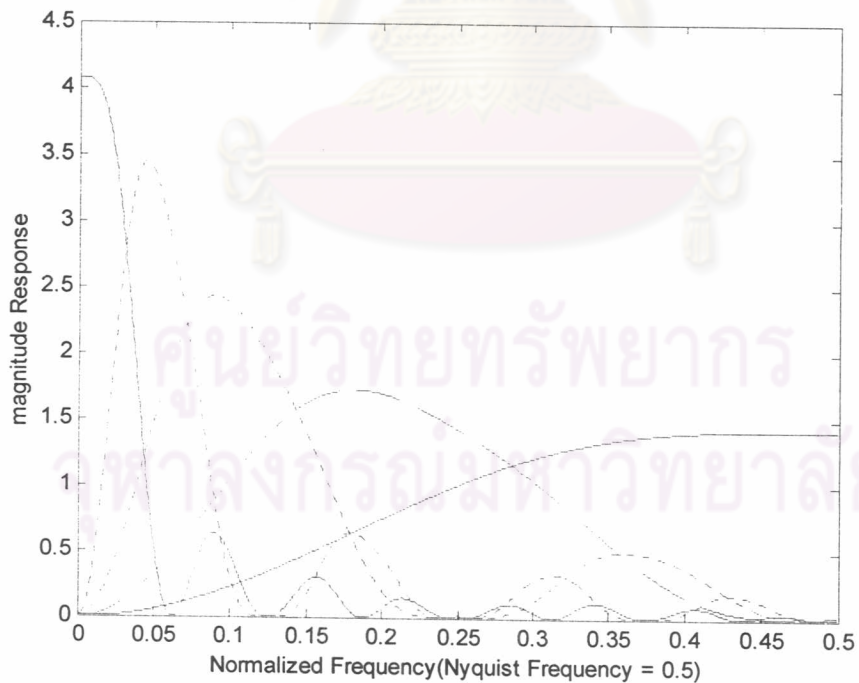
7.6 การทดสอบอัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ตกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

การทดลอง เลือกใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4 แยกความละเอียดในการแปลง 5 สเกล ช่วงความถี่หรือ ระดับ โดยในแต่ละระดับแสดงถึงองค์ประกอบความถี่ตามตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง สเกลช่วงความถี่กับค่าความถี่ ที่ใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4

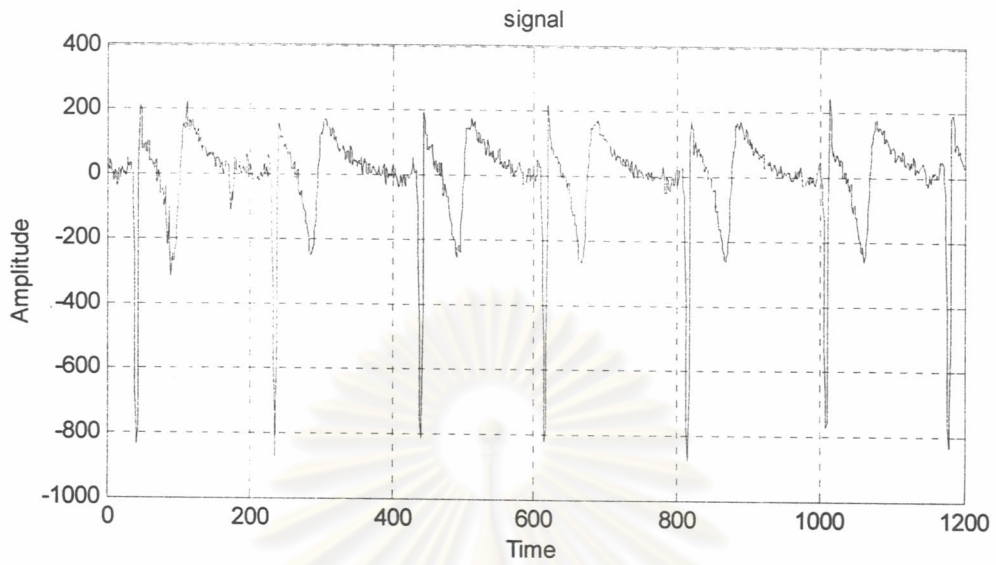
Scale	Frequency	Period
$Wf(2^1, t)$	66.6667	0.0150
$Wf(2^2, t)$	33.3333	0.0300
$Wf(2^3, t)$	16.6667	0.0600
$Wf(2^4, t)$	8.3333	0.1200
$Wf(2^5, t)$	4.1667	0.2400

จากตารางเราเลือกค่านวนช่วง $Wf(2^2, t)$, $Wf(2^3, t)$, $Wf(2^4, t)$ เป็นหลักเนื่องจากเป็นช่วงที่มีพลังงานเฉลี่ยอยู่มากที่สุด

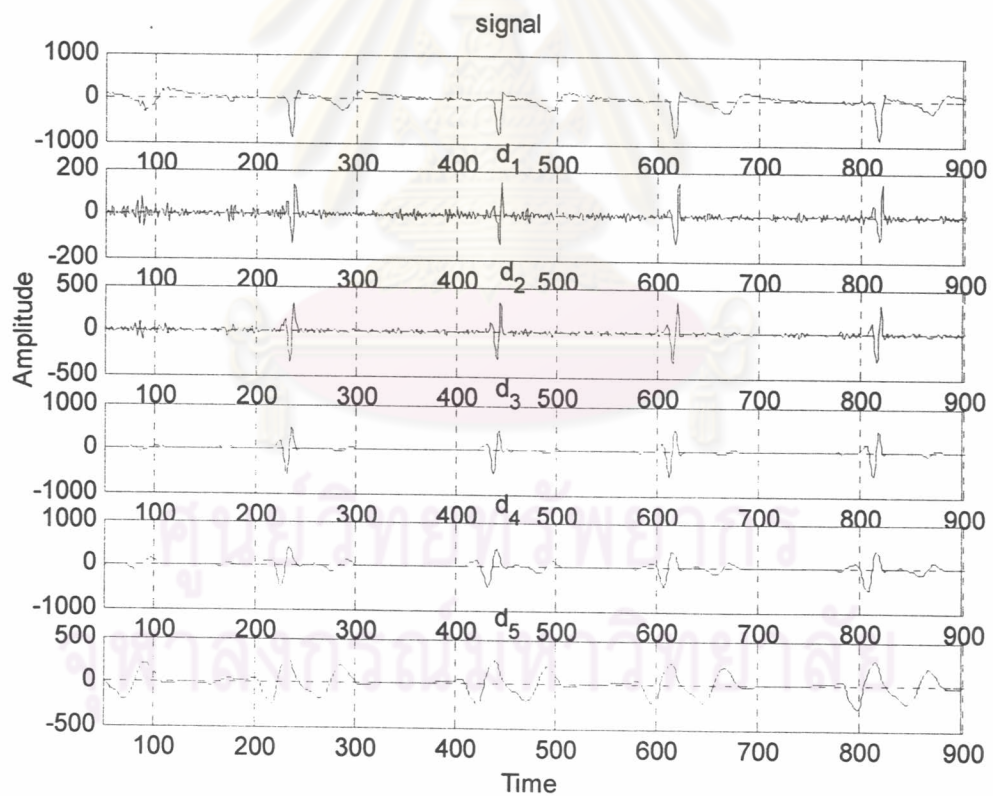


รูปที่ 7.6 ผลตอบสนองความถี่ของ Octave Band Analysis Filter Bank 5 ระดับ โดยใช้ตัวกรองแบบ Daubechies-4

ผลจากการแปลงเวฟเล็ตของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

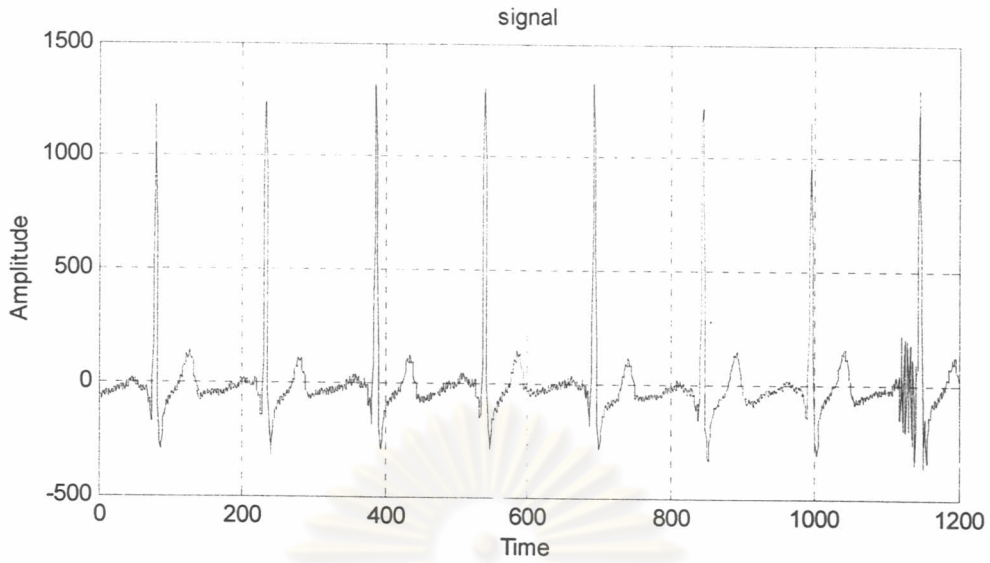


ก) รูปสัญญาณตัวอย่าง

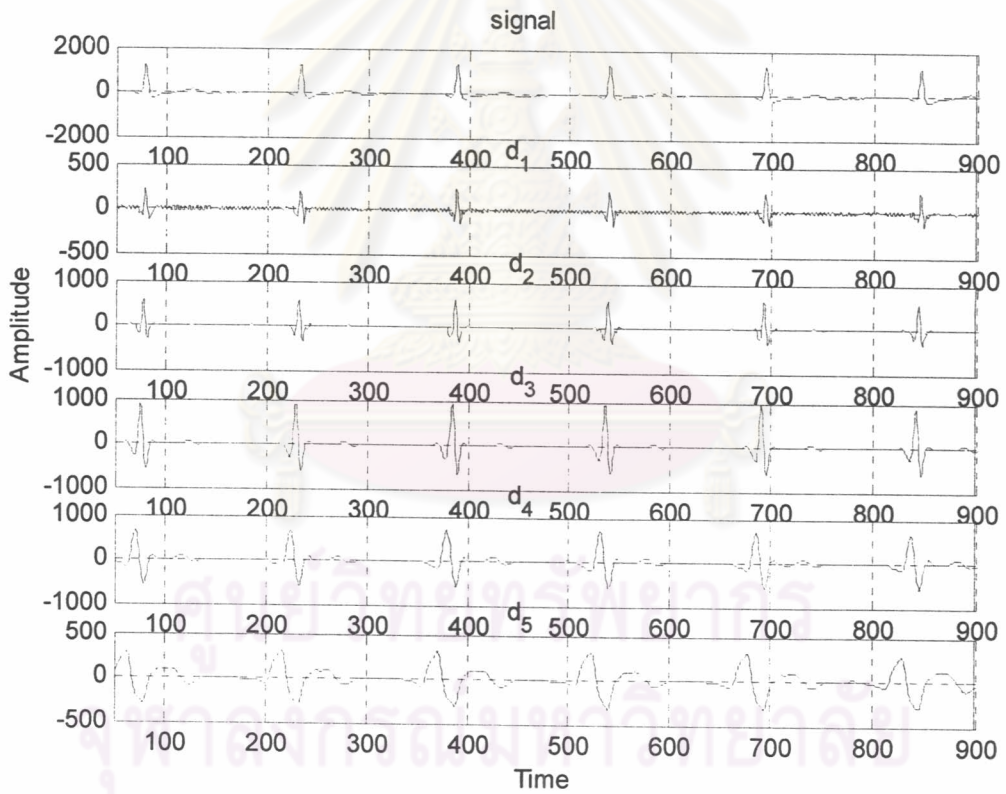


ข) รูปสัญญาณตัวอย่างกับการแปลงเวฟเล็ต

รูปที่ 7.7 ผลจากการแปลงเวฟเล็ตกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 โดยแตกความละเอียด 5 ระดับ



ก) รูปสัญญาณตัวอย่าง



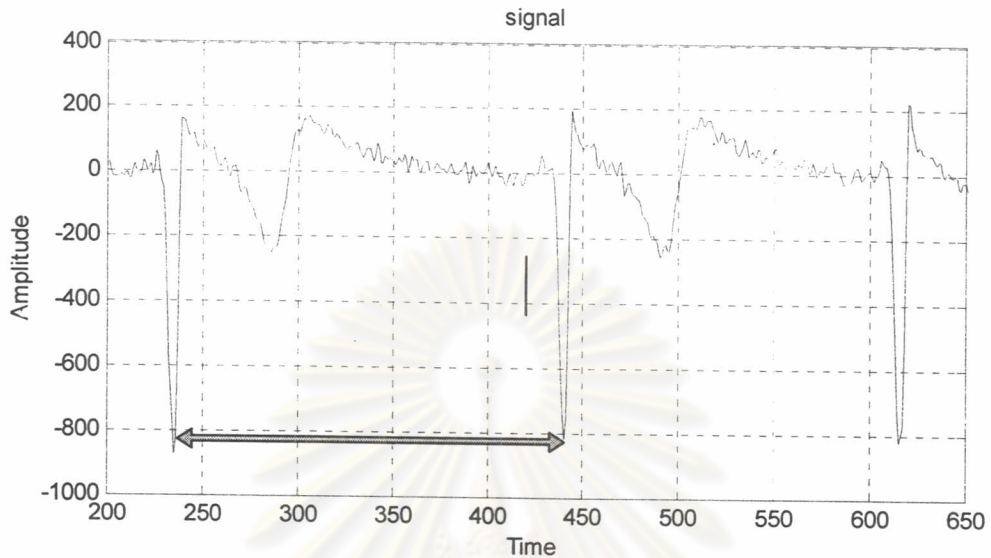
ข) รูปสัญญาณตัวอย่างกับการแปลงเวฟเล็ต

รูปที่ 7.8 ผลจากการแปลงเวฟเล็ตกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 โดยแตกความละเอียด 5 ระดับ

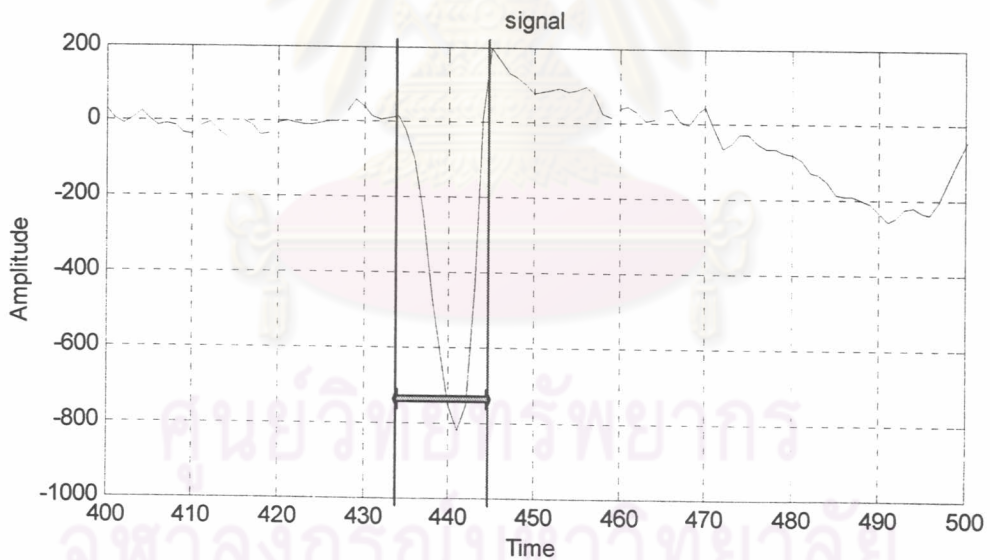
7.7 การทดสอบอัลกอริทึมกับผลการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

๑ ผลการวิเคราะห์จาก Matlab

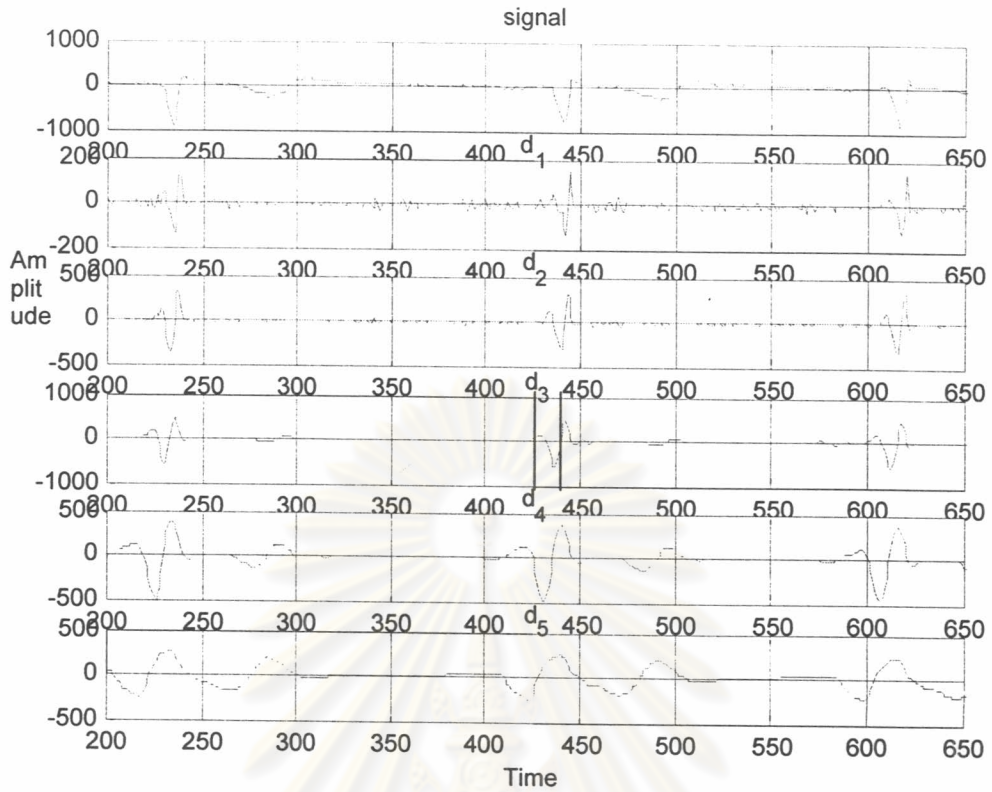
ผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 7.3 (เฉพาะ 5 รูปคลื่นแรก)



ก) รูปสัญญาณตัวอย่างกับช่วงระยะห่างของ ส่วนประกอบยอดคลื่น QRS (3 รูปคลื่น)



ข) รูปสัญญาณตัวอย่างกับช่วงความกว้างของ ส่วนประกอบยอดคลื่น QRS (1 รูปคลื่น)

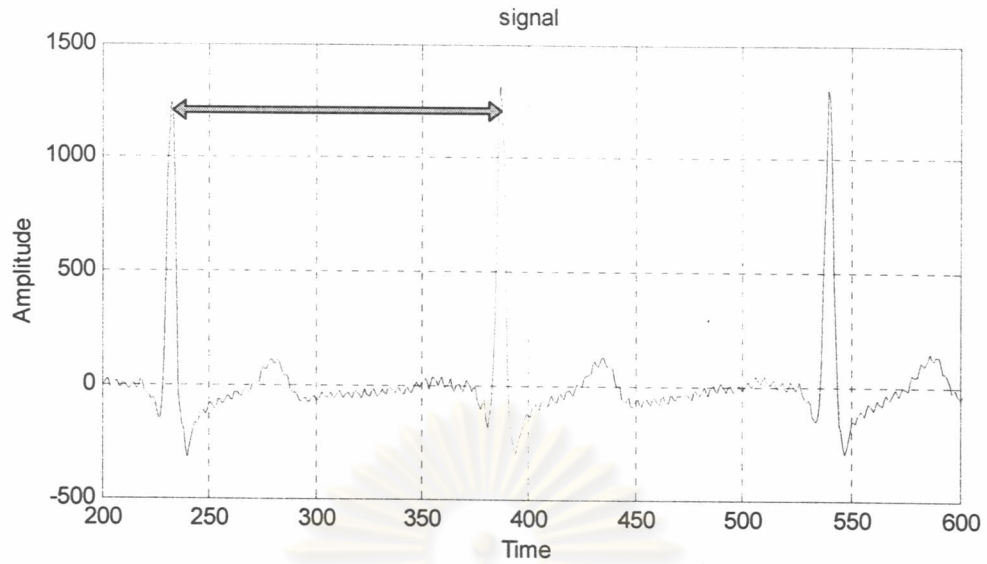


ค) ผลการวิเคราะห์คลื่นจากการแปลงเวฟเล็ต

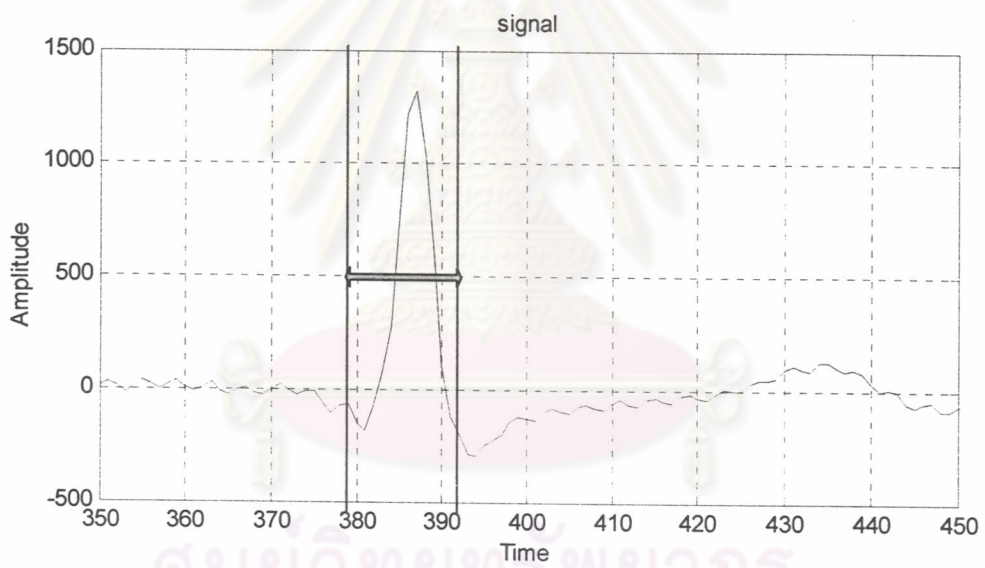
รูปที่ 7.9 ผลจากการแปลงเวฟเล็ตสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 กับการวิเคราะห์รูปคลื่น

ตารางที่ 7.2 ผลการคำนวณและวิเคราะห์หาค่า อัตราการเต้นของหัวใจและช่วงความกว้างของส่วนประกอบคลื่นส่วน QRS ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 1 จากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม บทโปรแกรม Matlab

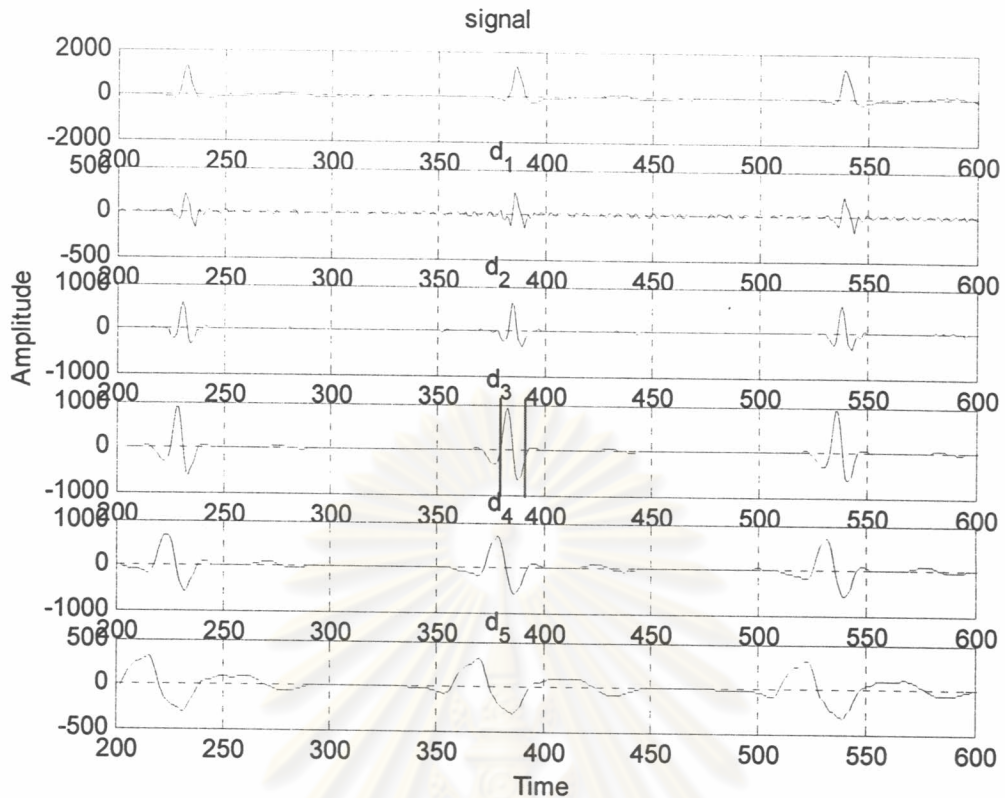
QRS	1	2	3	4	5
Distance		193	206	175	200
Heart Rate		62.1762	58.2524	68.5714	60.0000
QRS Duration	10	10	10	10	10



ก) รูปสัญญาณตัวอย่างกับช่วงระยะห่างของ ส่วนประกอบยอดคลื่น QRS (3 รูปคลื่น)



ข) รูปสัญญาณตัวอย่างกับช่วงความกว้างของ ส่วนประกอบยอดคลื่น QRS (1 รูปคลื่น)



ค) ผลการวิเคราะห์คลื่นจากการแปลงเวฟเล็ต

รูปที่ 7.10 ผลจากการแปลงเวฟเล็ตสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 กับการวิเคราะห์รูปคลื่น

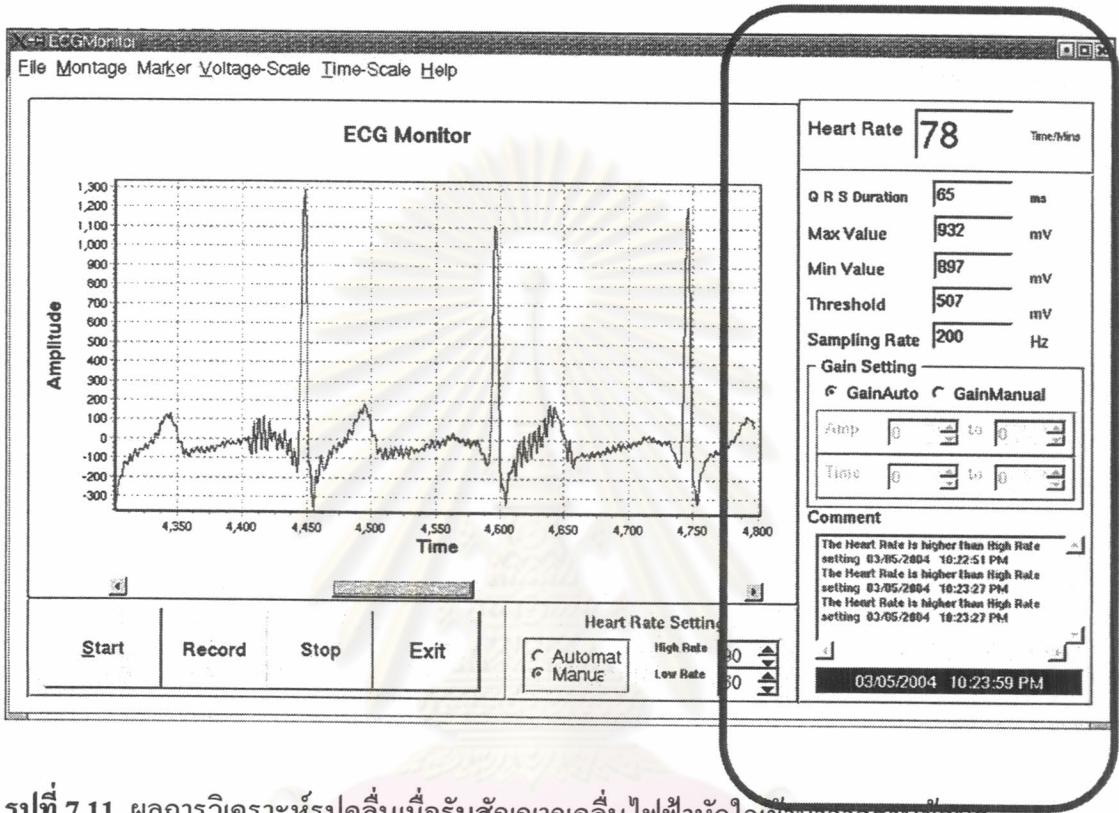
ตารางที่ 7.3 ผลการคำนวณและวิเคราะห์หาค่า อัตราการเต้นของหัวใจและช่วงความกว้างของ ส่วนประกอบคลื่นส่วน QRS ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างที่ 2 จากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมบทโปรแกรม Matlab

QRS	1	2	3	4	5
Distance		153	154	153	154
Heart Rate		78.4314	77.9221	78.4314	77.9221
QRS Duration	13	13	13	13	13

หมายเหตุ ผลการทดลองการแปลงและการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้านภาคผนวก

๑ ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมที่ออกแบบ

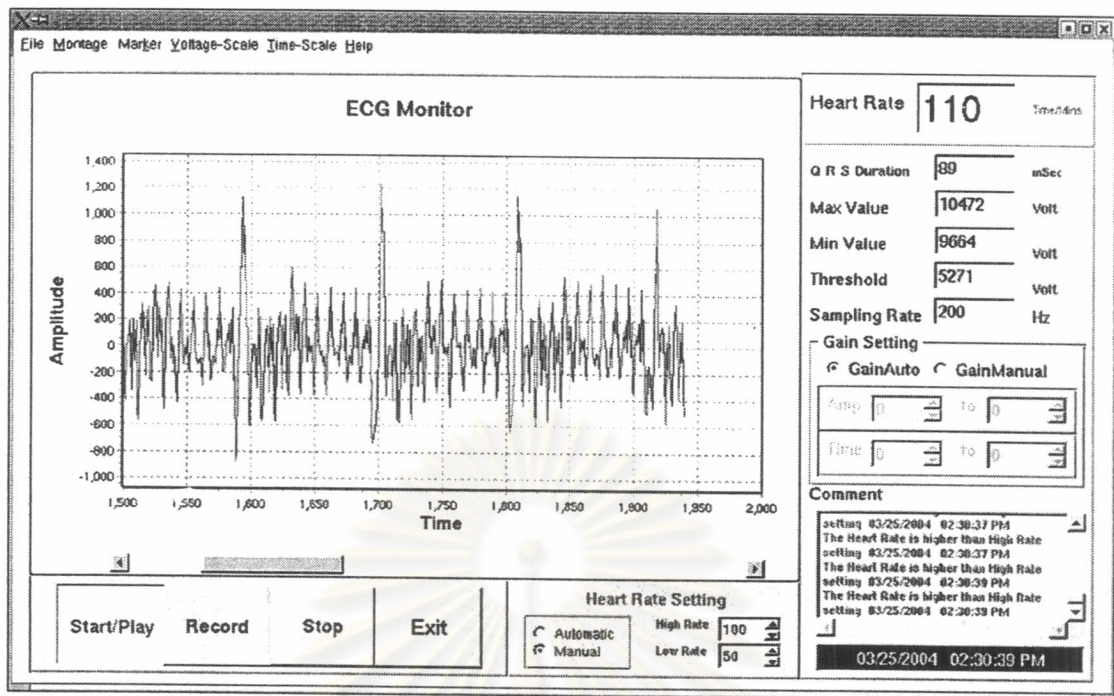
ทดสอบโดยการรัน โปรแกรมและอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูล (Data Base) และวิเคราะห์ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ดและอัลกอริทึมการตรวจจับหองค้ประกอบขอดคลื่นส่วน QRS



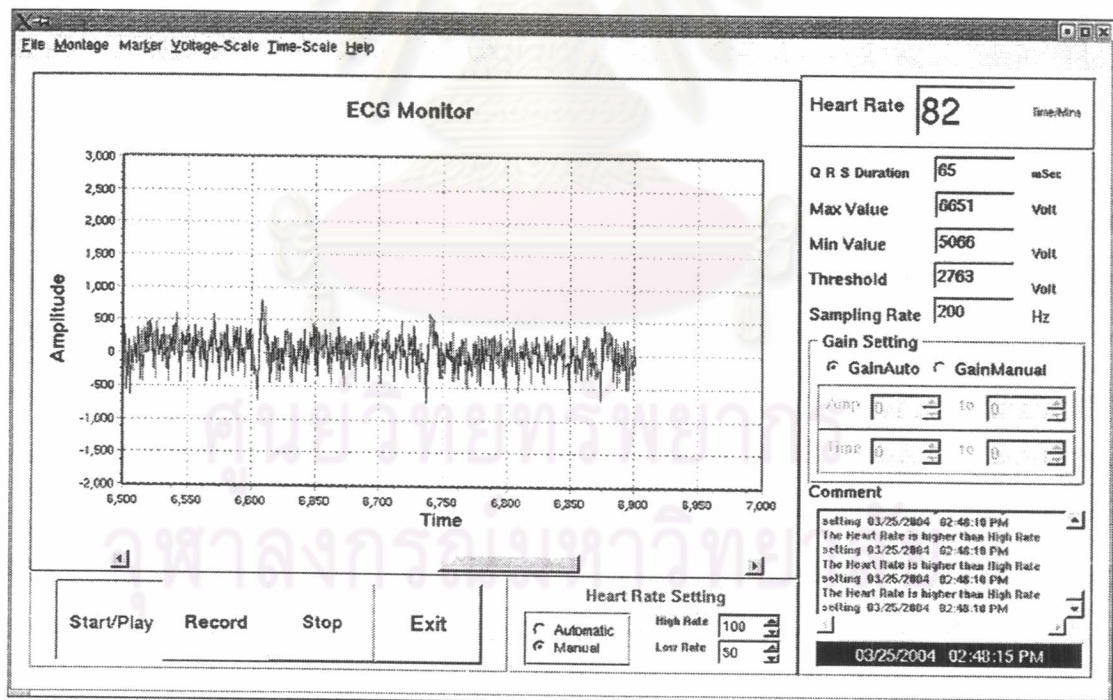
รูปที่ 7.11 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามาจกฐานข้อมูล

ทดสอบโดยการรัน โปรแกรมวัดคนไข้จริง รับข้อมูลโดยตรงจากเครื่องECG และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการแปลงเวฟเล็ดและอัลกอริทึมการตรวจจับหองค้ประกอบขอดคลื่นส่วน QRS

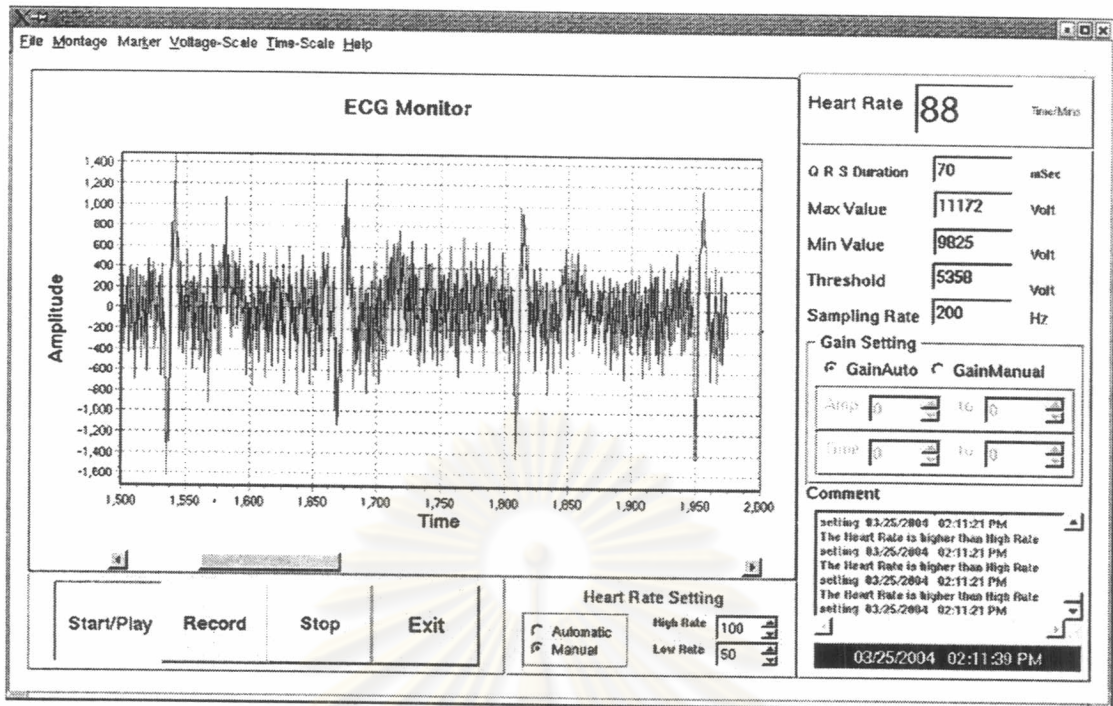
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.12 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามาจากคนไข้คนที่ 1



รูปที่ 7.13 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามาจากคนไข้คนที่ 2



รูปที่ 7.14 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นเมื่อรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ามาจากคนไข้คนที่ 3

7.8 ประเมินผลการทดสอบ

จากการทดสอบทั้งระบบฮาร์ดแวร์และโปรแกรม ECG Monitor ที่เขียนขึ้นมาในวิทยานิพนธ์นี้สามารถใช้งานเป็นเครื่อง ECG ได้ ทั้งการทดสอบการรับสัญญาณขนาดเล็ก กรองช่วงความถี่ผ่าน การแปลงข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิทัล การรับข้อมูล แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล สัญญาณที่รับเข้ามายังคงมีสัญญาณรบกวน 50 เฮิรตซ์รวมอยู่ แต่ยังคงวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ได้อย่างถูกต้องแต่ไม่ถึง 100 %

7.8.1 การประเมินผลอัลกอริทึมกับฐานข้อมูลมาตรฐาน

การประเมินผลทำโดยนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาตรฐานมาทดสอบกับอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 การตรวจจับองค์ประกอบขดคลื่น QRS และการแสดงผลการตรวจสอบอัตราการเต้นของหัวใจกับ MIT/BIH arrhythmia database ช่วง 5 นาทีแรก

Record	True Beats	QTP	QFN	QFP
100	371	371	0	0
101	342	342	0	0
102	366	332	34	0
103	355	354	1	0
104	372	354	18	0
105	417	414	3	0
106	331	298	33	0
107	353	347	6	0
118	365	362	3	0
119	326	295	31	0
200	433	433	0	0
201	442	442	0	0
202	265	263	2	0
203	499	416	83	0
205	455	452	3	0
208	518	449	69	0
209	486	487	0	1
210	446	419	27	0
212	463	463	0	0
214	383	368	15	0
215	568	564	4	0
217	363	363	0	0
219	381	368	13	0

หมายเหตุ

ตารางที่ 7.5 ความสัมพันธ์การทดสอบผลการตรวจจับองค์ประกอบยอคคลื่นส่วน QRS

	QRS	No QRS
Positive Result	QTP	QFP
Negative Result	QFN	QTN

QTP = QRS Complex True Positive มี QRS Complex แล้วตรวจจับพบ
 QTN = QRS Complex True Negative ไม่มี QRS Complex แล้วตรวจจับไม่พบ
 QFN = QRS Complex False Negative มี QRS Complex แล้วตรวจจับไม่พบ
 QFP = QRS Complex False Positive ไม่มี QRS Complex แล้วตรวจจับพบ

การประเมินผลอัลกอริทึม

$$\text{Sensitivity} : Se = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Se = \frac{8956}{8956 + 345} = \frac{8956}{9301} = 96.2907\%$$

$$\text{Positive Predictivity} : +P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$+P = \frac{8956}{8956 + 1} = 99.98\%$$