NU Science Journal 2007; 4(S1): 123 - 131

เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายโดยใช้ ADuC842

เกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์, ทัศวรรณ พุทธสกุล และอนุชา แก้วพูลสุข*

Wireless ECG Monitor Using ADuC842

Kriangsak Prompak, Tassawan Poottasakool and Anucha Kaewpoonsuk*
หน่วยวิจัยฟิสิกส์-อิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
* Corresponding author: E-mail: kaewpoonsuk5@Yahoo.com

บทคัดย่อ

ในโครงงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจสำหรับการแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีจุดเด่น 3 ประการได้แก่ การรับส่งข้อมูลเป็นแบบไร้สาย, การเลือกใช้ไมโครคอนเวอร์เตอร์ เบอร์ ADuC842 เป็นตัวประมวลผลหลักสำหรับการกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอล ทำให้สามารถลดจำนวนของวงจรในส่วนที่เป็นวงจรกรองแบบอนาลอกลงได้, และการอาศัยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจ และองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบให้กับผู้ใช้งาน ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ พบว่าสามารถทำงานได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยรูปสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีองค์ประกอบครบถ้วน และอัตราการเต้นของหัวใจที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับวิธีการวัดด้วยมือและจับเวลา

คำสำคัญ: เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ การรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย ADuC842

Abstract

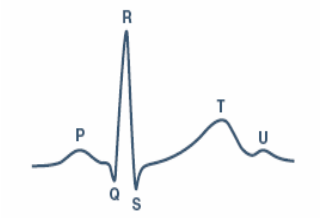
This research develops the Electro- cardiogram (ECG) measured instrument for computer displaying. This instrument has 3 dominant features such as, wireless data transfer, the digital noise filter by using the ADuC842 microconverter, which can reduce the number of the analog filter circuit, and the technique of digital data processing for analysis pulse rate and frequency composition of heart signal. The testing result shows that the performance of the instrument

corresponds to our objective. The profile of the heart signal is complete and the result of the pulse rate analysis is comparative to the result obtained from manual and counted time.

Keyword: ECG, Wireless Communication, ADuC842

บทนำ

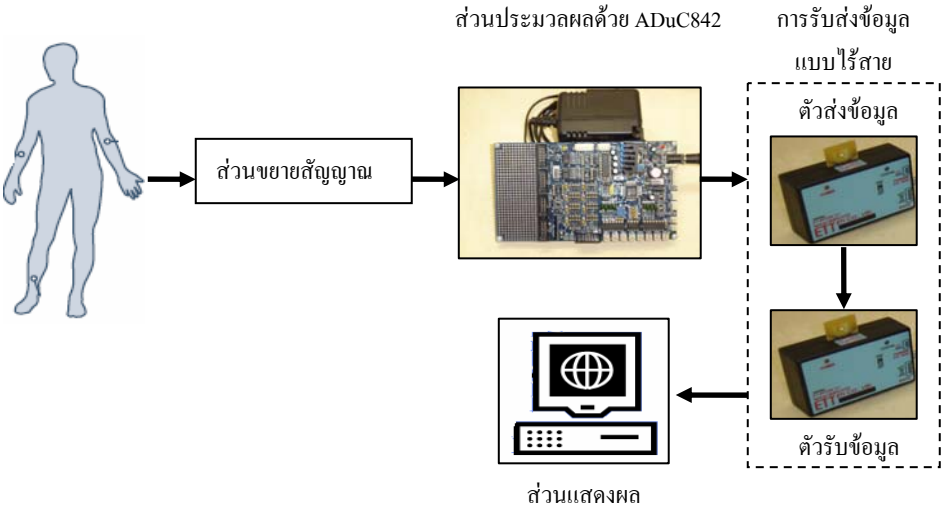
เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งมีประโยชน์สำหรับช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจและยังใช้สำหรับการติดตามอาการผู้ป่วย แม้ว่าที่ผ่านมาภายในประเทศไทยจะมีการนำเสนอการพัฒนาสร้างเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจจากสถาบันวิจัยหลายแห่ง (วสุ พันไพศาล, 2547; Hartmann, 2003) แต่ผลงานส่วนใหญ่จะเป็นการออกแบบให้ส่วนวัดและส่วนแสดงผลอยู่ใกล้กันโดยใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการ ติดต่อสื่อสาร ทำให้ต้องใช้แพทย์หรือพยาบาลมาติดตามผลการวัดด้วยตนเอง นอกจากนี้ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในส่วนที่เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวน ส่วนใหญ่มักเป็นการออกแบบโดยใช้วงจรกรองสัญญาณแบบอนาลอก ซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของการสร้างเครื่องมือ และยังมีผลต่อขนาดโดยรวมของวงจร ในโครงงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาสร้างเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายขึ้นเพื่อให้สามารถส่งผลการวัดไปแสดงผลยังห้องที่มีแพทย์หรือพยาบาลประจำการเฝ้าอยู่ตลอดเวลาได้ ซึ่งการส่งข้อมูลนี้จะเป็นแบบไร้สายทำให้สะดวกในกรณีที่ต้องการปรับเปลี่ยนห้อง หรือจุดแสดงผล นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจ และองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ เพื่อส่งไปแสดงผลโดยพร้อมกัน ทำให้การวินิจฉัยโรคและการเฝ้าติดตามอาการป่วยครอบคลุมขึ้น ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้นแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนคือ ส่วนวงจรขยายสัญญาณ, ส่วนประมวลผลสัญญาณโดยใช้ ADuC842, ส่วนการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย และส่วนแสดงผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ในการพัฒนาครั้งนี้ได้ใช้ไมโครคอนเวอร์เตอร์เบอร์ ADuC842 สำหรับการกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลเพื่อความประหยัดโดยสามารถลดจำนวนของวงจรในส่วนที่เป็นวงจรอนาลอกลงได้และใช้สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย สำหรับการติดตั้งอิเล็กโทรดได้ใช้วิธีติดตั้งแบบ 2 ลีด โดยการวัดศักดาไฟฟ้าที่แขนขวาเทียบกับศักดาไฟฟ้าที่แขนซ้าย และใช้ศักดาที่ขาขวาเป็นสัญญาณอ้างอิง โดยมีลักษณะสัญญาณไฟฟ้าหัวใจดังแสดงดังรูป 1



รูป 1 ลักษณะสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

หลักการทำงาน ส่วนประกอบ และวิธีการ

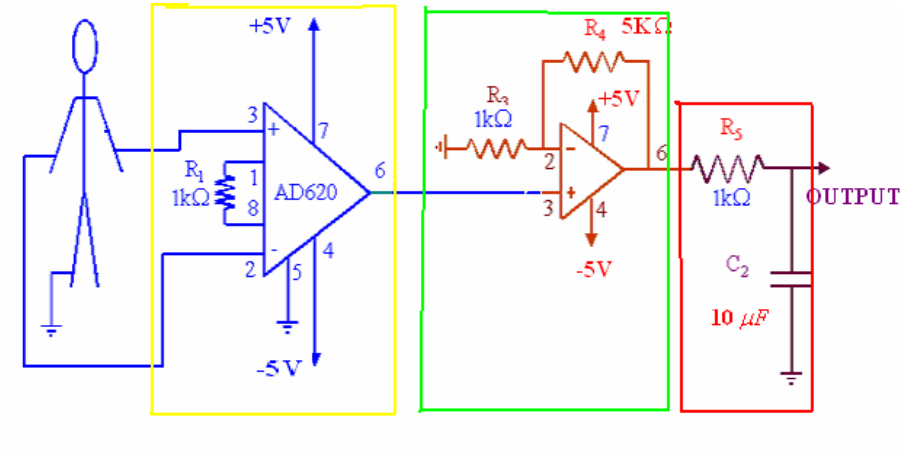
สำหรับการทำงานของเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้น สามารถแบ่งออกเป็นส่วนหลักๆ 4 ส่วนด้วยกันดังแสดงในรูป 2 ซึ่งสามารถแยกอธิบายการทำงานของแต่ละส่วนได้ดังนี้



รูป 2 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

ส่วนขยายสัญญาณ

ในส่วนนี้ใช้สำหรับการขยายผลต่างของสัญญาณที่ได้จากอิเล็กโทรด ซึ่งติดอยู่ที่แขนซ้ายและแขนขวาดังแสดงในรูป 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรประกอบด้วยวงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น, วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Hartmann, 2003) และวงจรกรองความถี่ต่ำแบบง่าย โดยในที่นี้ได้ออกแบบให้วงจรมีอัตราขยายรวมประมาณ 60 เท่า



วงจรอินสตรูเมนเตชั่น วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

รูป 3 วงจรส่วนการขยายสัญญาณ

ส่วนประมวลผลสัญญาณด้วย ADuC842

ADuC842 คือไมโครคอนเวอร์เตอร์ (Hartmann, 2003) ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 12 บิต ที่มีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลในตัว และสามารถทำงานแบบ 1 คำสั่งต่อ 1 Cycle ได้ ทำให้ ADuC842 มีความละเอียดและความเร็วในการทำงานสูงมาก

ผู้วิจัยได้อาศัยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล สำหรับสังเคราะห์ตัวกรองความถี่ 2 ตัว ตัวแรกเป็นตัวกรองแบบแถบความถี่ผ่าน (Butterworth band pass filter) (Philippel, 2000) ที่มีความถี่คัทออฟด้านต่ำอยู่ที่ 0.05 Hz และความถี่คัทออฟด้านสูงอยู่ที่ 100 Hz ตัวกรองตัวที่ สอง คือตัวกรองตัดความถี่เฉพาะช่วงออก (Notch filter) สำหรับตัดสัญญาณรบกวนจากไฟบ้าน 50 Hz ออก

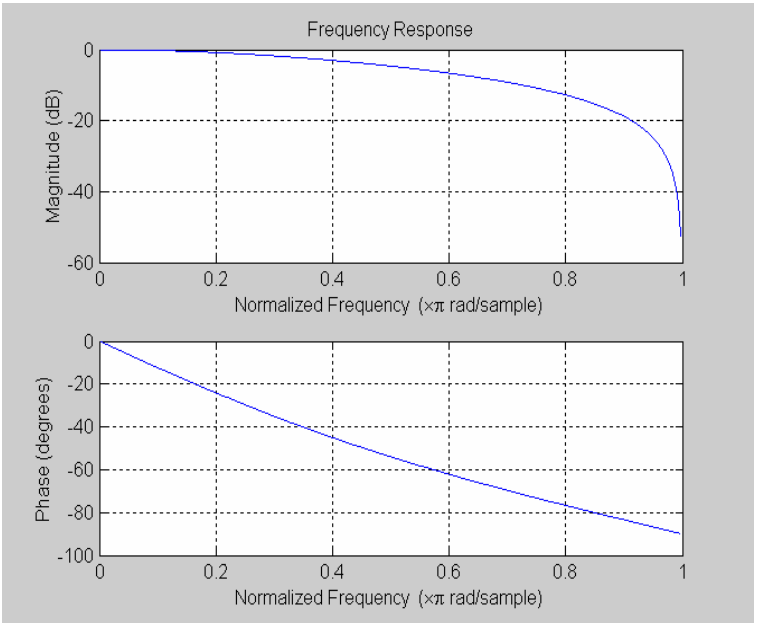
สมการกรองความถี่ที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นสมการผลต่างอันดับสองแบบ Infinite-impulse response (IIR) ใช้ความถี่ในการสุ่มสัญญาณเท่ากับ 500 Hz โดยตัวกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่านที่ได้มีฟังก์ชั่นส่งผ่านเป็น

$$H(z)=\frac{1-1.618Z^{-1}+Z^{-2}}{1-1.5164Z^{-1}+0.8783Z^{-2}} \qquad \ldots(1)$$

จากสมการที่ (1) เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการผลต่างจะได้

$$y(n) = x(n) - 1.618x(n-1) + x(n-2) + 1.5164y(n-1) - 0.8783y(n-2) \quad ...(2)$$

ซึ่งมีผลตอบสนองทางความถี่ดังรูป



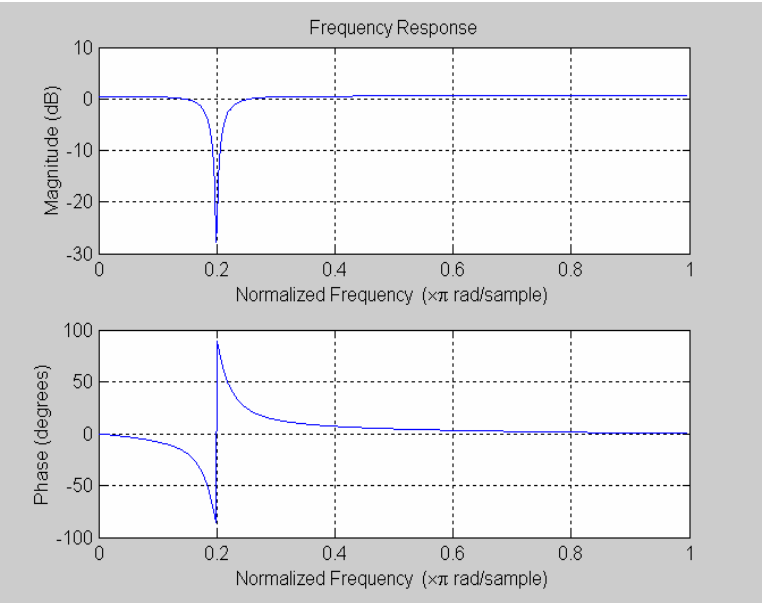
รูป 4 ผลตอบสนองทางความถี่และเฟสของวงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบแถบความถี่ผ่าน

สำหรับตัวกรองความถี่แบบดิจิตอลแบบตัดความถี่เฉพาะช่วง 50 Hz ออกจะได้ฟังก์ชั่นส่งผ่านคือ

$$H(z) = \frac{0.4206 - 0.4206Z^{-2}}{1 - 1.1582Z^{-1} + 0.1582Z^{-2}} \quad ....(3)$$

จากสมการที่ (3) เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการผลต่างจะได้

$$y(n) = 0.4206x(n) - 0.4206x(n-2) + 1.1582y(n-1) - 0.1582y(n-2) \quad ....(4)$$

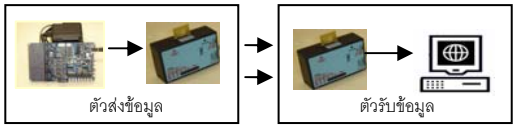


รูป 5 ผลตอบสนองทางความถี่และเฟสของวงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบกรองความถี่เฉพาะช่วง 50 Hz

จากสมการที่ได้สังเคราะห์ขึ้นในสมการที่ (2) และสมการที่ (4) นำมาเขียนเป็นโปรแกรมเพื่อบันทึกลงใน ADuC842 สำหรับใช้ ADuC842 เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอล นอกจากนี้ยังเขียนโปรแกรมสำหรับใช้ ADuC842 เพื่อการจัดเตรียมรูปแบบของข้อมูลเพื่อใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายในภาคต่อไป

ส่วนการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย

ในที่นี้ได้ใช้โมดูลรับส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่าน RF (Radio frequency) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนตัวส่งข้อมูลที่รับมาจาก ADuC842 ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 ส่วนย่อยที่สองคือตัวรับข้อมูล โดยจะนำข้อมูลที่รับได้ส่งให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลต่อไป



รูป 6 บล็อกไดอะแกรมสื่อสารอนุกรมแบบไร้สาย

ส่วนแสดงผลการวัดด้วยคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการแสดงผลการวัดโดยได้เขียนโปรแกรมจากโปรแกรมภาษา Visual Basic นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจและองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ โดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Discrete Fourier Transform (DFT) โดยอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) สามารถเขียนสมการได้เป็น

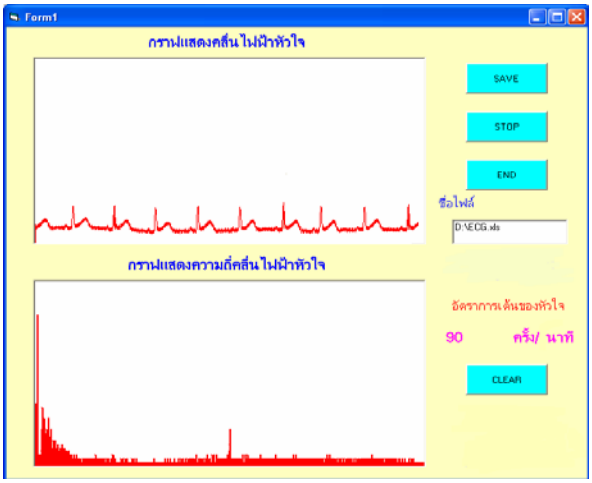
$$Heart-rate = \left(Harmonic\#* \frac{f_s}{N} \right) * 60 \qquad \ldots(5)$$

เมื่อ

$Hamonic\#$	คือ	ลำดับของความถี่มูลฐาน
f_s	คือ	ความถี่ของการส่งสัญญาณ
N	คือ	จำนวนข้อมูล

ผลการทดลอง

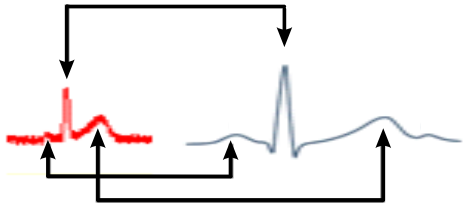
รูป 7 แสดงหน้าต่างแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้จากการทดลองวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ โดยด้านล่างแสดงองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจดังกล่าว ซึ่งในตัวอย่างนี้สามารถวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจได้เท่ากับ 90 ครั้งต่อนาที รูป 8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้กับรูปของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมาตรฐาน โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่วัดได้มีองค์ประกอบที่สำคัญครบตามรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมาตรฐาน ตาราง 1 แสดงผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดเบื้องต้น โดยทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจจากการใช้วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางความถี่เปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมนั่นคือวิธีการตรวจวัดด้วยมือเทียบกับเวลา ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ ตัวอย่าง โดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเท่ากับ 4 ครั้ง (ตัวอย่างที่ 8) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทำการวัด



รูป 7 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจและองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ

ตาราง 1 การวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการทดลองและวัดด้วยมือแล้วจับเวลา

คนที่	อัตราการเต้นจากการวัดด้วยมือและจับเวลา	อัตราการเต้นจากการทดลอง
1	60	59
2	70	73
3	80	79
4	80	78
5	90	92
6	90	92
7	60	63
8	90	94
9	70	67
10	80	82



รูป 8 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นและสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมาตรฐาน

สรุป

การพัฒนาสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจและอัตราการเต้นของหัวใจในเวลาเดียวกัน ในครั้งนี้ การแสดงผลกระทำผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของการรับส่งข้อมูลจากส่วนวัดไปยังส่วนแสดงผลเป็นการดำเนินการแบบไร้สาย จากผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นพบว่าเครื่องมือวัดที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากนี้การใช้ ADuC842 เป็นตัวช่วยสำหรับการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อการรับส่งและใช้สำหรับการกรองความถี่สัญญาณรบกวนแบบดิจิตอล ทำให้สามารถลดจำนวนของวงจรในส่วนที่เป็นอนาลอกลงได้รวมทั้งการแก้ไขปรับปรุงสามารถดำเนินการได้ง่ายกว่าการดำเนินการแบบอนาลอก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณท่านอาจารย์รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านคำปรึกษา วิธีการแก้ไขปัญหาระหว่างการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิจัยอย่างจริงจัง

เอกสารอ้างอิง

วสุ พันไพศาล. (2547). “การตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้นโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าหัวใจและคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจ”, วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร

Hartmann E. (2003). ECG Front-End Design is Simplifier with Microconverter. Analog Dialogue, *37*

Philippe D. J. (2000). Applied introduction to digital signal processing. 1st edition, Prentice Hall