

เครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล

นักศึกษาปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.บุญยิ่ง เจริญ

อาจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นเครื่องมือแพทย์ที่มีความสำคัญมากในสภาวะฉุกเฉินที่ต้องรีบให้การช่วยชีวิต ความเชื่อถือได้และความถูกต้องของพลังงานที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือแพทย์เหล่านี้จึงมีความสำคัญและจะต้องได้รับการตรวจสอบหรือปรับเทียบให้พร้อมที่จะทำงานได้อย่างถูกต้องตลอดเวลา เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่มีใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่ได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงพยาบาลที่อยู่ในส่วนภูมิภาค เนื่องจากเครื่องตรวจสอบหรือปรับเทียบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้ามีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้มีจำนวนจำกัด

เครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ออกแบบให้มีความถูกต้องสูง ใช้วัสดุภายในประเทศ มีราคาถูก สามารถจัดหาได้ตามโรงพยาบาลและสถานบริการสุขภาพทั่วไปได้ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ เครื่องต้นแบบของเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ตรวจสอบค่าพลังงาน กระแสสูงสุด แรงดันสูงสุด และช่วงเวลาของสัญญาณ สามารถบันทึกรูปร่างของสัญญาณที่ออกจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าได้ ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้นแบบคือ วงจรแบ่งแรงดัน วงจรขยายผลต่างของแรงดัน วงจรเลือกช่วงค่าพลังงาน วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตัล และไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ 80C535) ที่มีหน่วยความจำ 64 kbyte สามารถนำข้อมูลในหน่วยความจำส่งผ่านพอร์ตอนุกรม (RS 232C) เพื่อนำไปเก็บวิเคราะห์ และคำนวณค่าต่างๆ ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นได้รับการทดสอบการทำงานโดยวัดค่าพลังงาน 0-400 J ค่ากระแสสูงสุด ค่าแรงดันสูงสุด และช่วงเวลา ของเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่มีใช้ทั่วไปในโรงพยาบาลของรัฐบาล จำนวน 10 เครื่อง และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวัด คณะนักวิจัยได้ทำการทดสอบโดยการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า Bio-tek รุ่น QED-6 ที่ค่าพลังงานต่างๆ ผลการทดสอบปรากฏว่า เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถใช้วัดค่าต่างๆ ได้ตามต้องการและมีความคลาดเคลื่อนของการวัดไม่เกิน $\pm 2.5\%$ เมื่อเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิง

Defibrillator Tester

Worawat Sa-ngiumwibul

Mater Student

Electrical Engineering Department

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Dr.Boonying Chareanon

Lecturer

Electrical Engineering Department

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Abstract

This paper presents the design and implementation of a defibrillator tester which is used to verify defibrillators. A defibrillator is an important medical device used to apply electrical shock to the heart when heart failure occurs. These devices must be regularly calibrated for their accuracy and reliability of the released energy. In Thailand, particularly in the rural area, these devices have not been regularly calibrated because the lack of defibrillator testers or calibrators are expensive and must be imported.

The prototype defibrillator tester is designed to be highly accurate with low cost and used local materials, so that it can be supplied to most rural hospitals and medical service centers. The prototype can be used to measure released energy, peak current, peak voltage, and impulse time interval and can be stored in a memory unit including pulse waveforms. Main components of the prototype tester are voltage divider circuit, difference amplifier, energy level selector circuit, analog-to-digital converter, and a microcontroller (80C535) with 64 kbyte internal memory.

The stored data can be sent to a microcomputer through RS232C serial port to be further processed and analyzed.

The prototype has been tested for its functionality by measuring 0-400 J released energy, peak current, peak voltage, and impulse time interval of 10 defibrillators from many hospitals. The results showed that the prototype is functioning as required. To verify the prototype's accuracy, a defibrillator analyzer Bio-tek QED-6 is used as a reference. The results indicated that the error of measurement obtained from this prototype is within $\pm 2.5\%$ of those obtained from the reference tester.

บทนำ

ปัจจุบันนี้ประชากรไทยมีอัตราการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ปัญหาการเจ็บป่วยและเสียชีวิตมีมากขึ้น และพบว่าประมาณ 1 ใน 4 ของผู้เสียชีวิตสาเหตุเนื่องจากโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยในระยะเวลา 25 ปีที่ผ่านมา อัตราการตายด้วยโรคนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามรายงานของ World Health Statistic Annual 1990 และ 1991[1] จากรายงานของกระทรวงสาธารณสุข ระหว่างปี พ.ศ. 2536 ถึง 2540 พบว่า อัตราการเสียชีวิตด้วยโรคการไหลเวียนของเลือดผ่านปอดและหัวใจยังคงเป็นอันดับหนึ่งของสาเหตุการตายที่สำคัญอันดับแรก จากสถิติ[2] พบว่า ผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจจะมีอาการหัวใจเต้นผิดจังหวะ (arrhythmia) สาเหตุจากเวเนตริกูลาร์เต้นเร็วกว่าปกติ (ventricular Tachycardia) หรือเวเนตริกูลาร์ฟิบริลเลชัน (ventricular fibrillation) และผู้ป่วยประสบอุบัติเหตุทำให้หัวใจขาดเลือด ซึ่งเป็นสภาวะฉุกเฉินที่ต้องรีบให้การช่วยเหลือเนื่องจากหัวใจจะหยุดเต้นอย่างฉับพลัน นอกเหนือจากการให้ยาแล้ววิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้กันคือ การช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า (defibrillation)

จากสาเหตุข้างต้นดังที่กล่าวมาแล้วปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศไทยคือ เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า (defibrillator) ส่วนใหญ่ไม่ได้รับการตรวจสอบค่าพลังงาน เนื่องจากเครื่องตรวจสอบมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่มีอยู่เกือบทุกสถานพยาบาลทั่วไปแม้กระทั่งในโรงพยาบาลชุมชนที่ห่างไกล โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัญหาและพัฒนาเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้ ใช้งานง่ายในประเทศไทย ราคาถูก สามารถจัดหาได้ตามโรงพยาบาลและสถานบริการสุขภาพทั่วไปได้ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าคือ เครื่องเก็บประจุ โดยอาศัยตัวเก็บประจุ (C) และจะใช้งานโดยการคายประจุผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L) และความต้านทานทรวงอก (chest resistance) ของผู้ป่วย กระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นจะไหลผ่านขั้วไฟฟ้าอันหนึ่งขนาดพื้นที่ $60-80 \text{ cm}^2$ วาง ณ ตำแหน่งปลายยอดหัวใจ (apex of heart) ผ่านหัวใจแล้วกลับเข้าสู่ขั้วไฟฟ้าอีกอันหนึ่งที่ตำแหน่งกระดูกสันอก (sternum) เพื่อให้หัวใจกลับเต้นเป็นปกติ การใช้กระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปอาจทำอันตรายต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจหรือผิวหนังบริเวณที่วางขั้วไฟฟ้าได้ ดังนั้น จึงต้องใช้ขนาดพลังงานเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

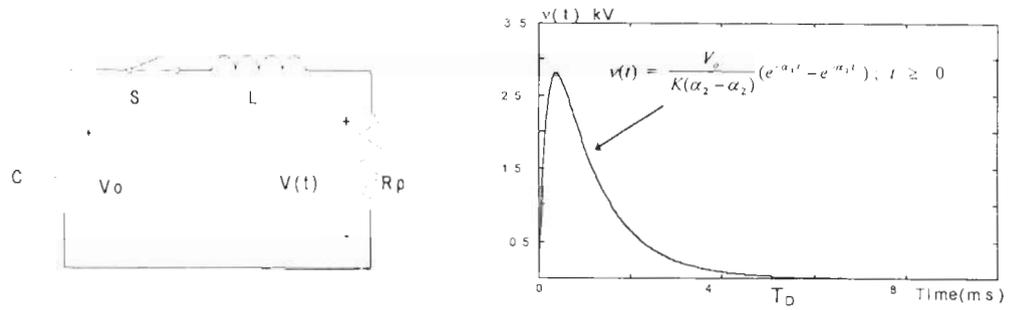
เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าได้มีการพัฒนาตั้งแต่ปี 1960 โดย Mirowski[3] และ Schuder[4] ซึ่งใช้งานครั้งแรกที่ Sinai Hospital ในปี 1970[5,6] และใช้กับผู้ป่วยครั้งแรกเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ในปี 1970[7] การปล่อยพลังงานของเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าในอดีตใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ปัจจุบันนิยมใช้ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการประจุแรงดัน (V_0) ไว้ในตัวเก็บประจุ ระดับพลังงานสูงสุดที่ผู้ป่วยจะได้รับจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าตัวเก็บประจุและแรงดันที่ประจุไว้ V_0

เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดตามลักษณะการใช้งานคือ

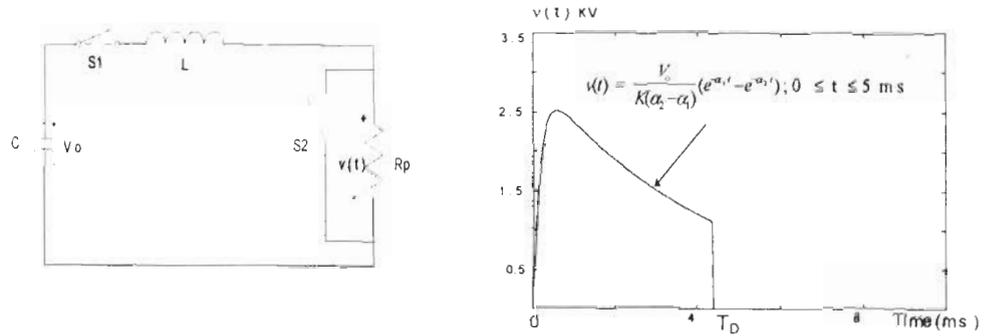
1. **ชนิดทำงานด้วยมือ** (manual defibrillator) เป็นชนิดที่มีใช้จำนวนมาก ผู้ใช้จะต้องกดปุ่มคายประจุด้วยตนเองเครื่องจึงจะทำงานได้ ในเครื่องรุ่นใหม่ ๆ จะมีจอภาพแสดงคลื่นหัวใจ ทำให้สามารถตรวจสอบจังหวะการเต้นของหัวใจได้
2. **ชนิดทำงานอัตโนมัติ** (automatic defibrillator) เป็นชนิดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตัวผู้ป่วยได้โดยอัตโนมัติทันทีที่คลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ โดยอาศัยระบบตรวจสอบคลื่นหัวใจโดยคอมพิวเตอร์ในตัวเครื่อง

ค่าพลังงานที่ใช้กระตุ้นจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 400 J มีช่วงเวลาที่ปล่อยพลังงาน (T_0) ประมาณ 4 ถึง 5 ms[8] พลังงานที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัญญาณพัลส์มีกระแสสูงสุดประมาณ 60 A ระดับแรงดันสูงสุดประมาณ 3 kV

รูปร่างของสัญญาณที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ Damped Sinusoidal Waveforms (DSW) ดังรูปที่ 1 และ Truncated Exponential Waveforms (TEW) ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน $50 \Omega (R_p)$ ที่เป็นค่าความต้านทานมาตรฐานใช้แทนความต้านทานทรวงอกของผู้ป่วยที่ออกจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า โดยมีสมการสำหรับแรงดัน $V(t)$ ตามสมการที่ 1[9]



รูปที่ 1 สัญญาณแรงดันที่ออกจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าชนิด DSW



รูปที่ 2 สัญญาณแรงดันที่ออกจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าชนิด TEW

$$V(t) = \frac{R_p V_o}{a_2 - a_1} (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}) \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } a_1, a_2 = \sqrt{\frac{R_p}{2L}} \pm \left(\frac{R_p}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}$$

ในปัจจุบันเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าส่วนใหญ่มักจะใช้สัญญาณแบบ DSW ที่ให้ผลตอบสนองแบบ over damped ($R_p > 2\sqrt{L/C}$) ที่ความต้านทานโหลด 50Ω [10]

การออกแบบเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

เครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติดังนี้

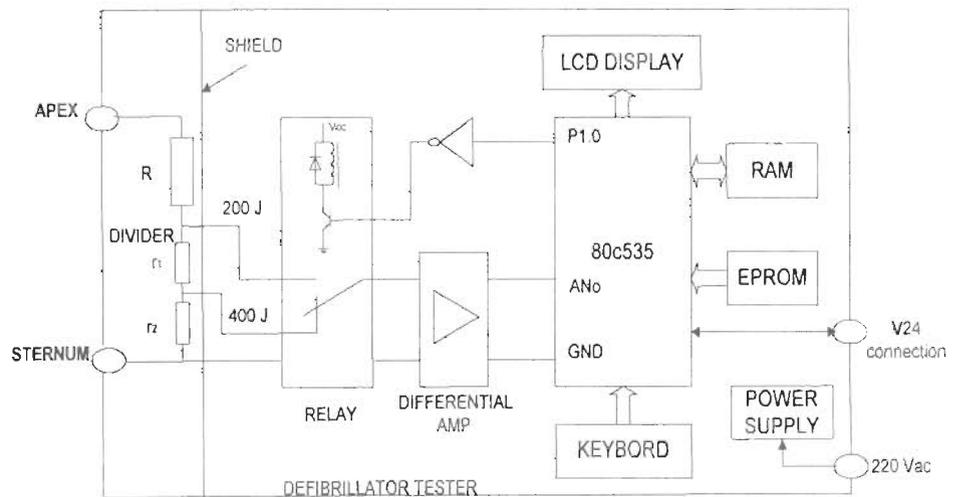
- วัดช่วงเวลาของสัญญาณที่ออกจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า
- เลือกช่วงของการวัดค่าพลังงานได้สองช่วงคือ 200 และ 400 J

- เก็บรูปร่างของสัญญาณเพื่อนำไปวิเคราะห์ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS 232C
- วัดค่าพลังงาน ค่าแรงดันสูงสุด และค่ากระแสสูงสุดได้โดยทดสอบเพียงครั้งเดียว

ส่วนประกอบของเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

ในการวัดค่าพลังงาน จะต้องทราบค่าแรงดัน $V(t)$ ค่าความต้านทานโหลด R_L และช่วงเวลา T_0 ค่าแรงดันอินพุตจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าจะป้อนผ่านวงจรแบ่งแรงดันซึ่งประกอบด้วยความต้านทานโหลดต่ออนุกรมกับความต้านทานตรวจจับ แรงดันตกคร่อมความต้านทานตรวจจับจะถูกส่งผ่านวงจรขยายผลต่างของแรงดันและถูกสุ่มตัวอย่างตามโปรแกรมควบคุมผ่านวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วยภาคการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตัล (A/D) ขนาด 8 บิต

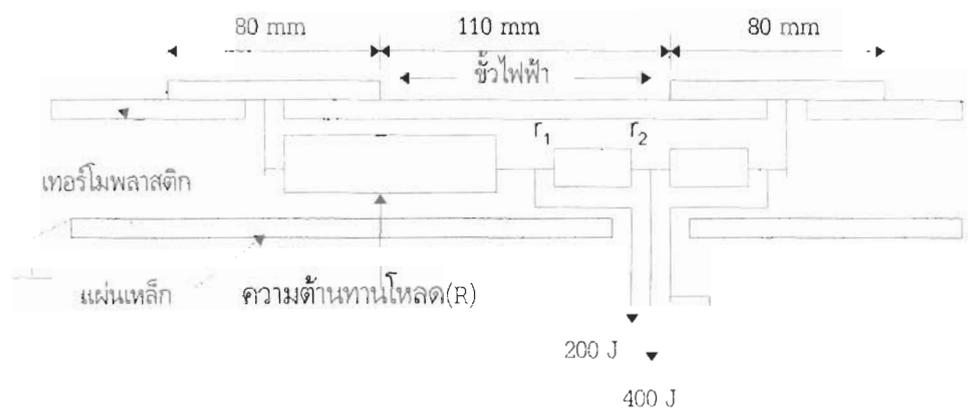
เพื่อลดผลความผิดพลาดจากควอนไทเซชันในการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตัลได้ออกแบบให้มีช่วงของการวัดค่าพลังงานสูงสุดสองช่วงคือ 200 J และ 400 J โดยการเลือกค่าความต้านทานตรวจจับสองค่าต่ออนุกรมกัน สัญญาณที่แปลงเป็นดิจิตัลแล้วจะถูกนำมาเก็บในหน่วยความจำภายในขนาด 64 kbyte ซึ่งสามารถส่งข้อมูลไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS 232C



รูปที่ 3 โครงสร้างของเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

รูปที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย

1. วงจรแบ่งแรงดัน เป็นวงจรที่ลดแรงดัน โดยมีอัตราส่วนในการแบ่งแรงดันสองค่า ออกแบบให้สามารถทนกำลังสูญเสียสูงสุด 1,500 W มีลักษณะทางกายภาพที่มีค่าพารามิตริกคาปาซิเตนซ์ และค่าพารามิตริกอินดักแตนซ์ต่ำ ประกอบด้วยความต้านทานต่ออนุกรม 3 ตัว คือ ความต้านทานโหลด (R) 50Ω และความต้านทานตรวจจับ (r_1) 0.075Ω และ (r_2) 0.03Ω จากการทดลองจ่ายพลังงานให้กับความต้านทานในวงจรนี้พบว่าค่าพลังงานในช่วง 0-500 J ทำให้อุณหภูมิของความต้านทานโหลดและความต้านทานตรวจจับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากผลการทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานโหลดและความต้านทานตรวจจับมีค่า $0.014 \Omega/^{\circ}C$ และ $0.0006 \Omega/^{\circ}C$ ตามลำดับ สามารถคำนวณได้ว่าค่าความต้านทานทั้งสองเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงพิจารณาเป็นค่าคงที่ได้



รูปที่ 4 แสดงขนาดและการติดตั้งขั้วไฟฟ้าและวงจรแบ่งแรงดัน

รูปที่ 4 แสดงขนาดและการติดตั้งขั้วไฟฟ้าและวงจรแบ่งแรงดันโดยมีรายละเอียด ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าคือ แผ่นโลหะสำหรับรับประจุไฟฟ้าจากเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า ซึ่งเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าจากผู้ผลิตต่างๆ ใช้ขั้วจ่ายประจุไฟฟ้าขนาดแตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะรับขั้วจ่ายไฟฟ้าขนาดต่างๆ ได้ นอกจากนี้ควรมีรูปร่างสมมาตรเพื่อกระจายความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าให้สมมาตร จากการสำรวจเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าตามสถานพยาบาลทั่วไปภายในประเทศไทยพบว่า ขนาดของขั้วที่ใหญ่ที่สุดคือ $75 \times 125 \text{ mm}^2$ ดังนั้น จึงออกแบบขั้วไฟฟ้าเป็น stainless steel ขนาด $80 \times 130 \text{ mm}^2$ ฉนวนที่ใช้ระหว่างขั้วทั้งสองเป็นเทอร์โมพลาสติกสามารถทน

ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด $20-35 \text{ kv/mm}$ ความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตร $10^{19} \Omega\text{-cm}$ เปอร์มิตติวิตีประมาณ 2.5 ที่ 20°C มีพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกต่ำและไม่ขึ้นกับความถี่[9] นอกจากนี้ยังได้ออกแบบให้มีการป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าต่อวงจรแรงต่ำ โดยใช้แผ่นเหล็กซึ่งมีค่าความนำไฟฟ้าสูงกั้นระหว่างอุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ

2. **วงจรเลือกช่วงพลังงาน** เป็นวงจรที่ใช้เลือกช่วงการวัดค่าพลังงานและอัตราส่วนของการแบ่งแรงดัน (η) ซึ่งถูกควบคุมด้วยโปรแกรมที่ส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ต P1.0 สถานะปกติตั้งไว้คือ 400 J ($\eta = r_2 / (R + r_1 + r_2)$) สามารถเปลี่ยนเป็น 200 J ($\eta = (r_1 + r_2) / (R + r_1 + r_2)$) ได้ โดยการส่งสถานะของบิต P1.0 มีสถานะเป็นลอจิก 0 ซึ่งจะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นลอจิก 1 โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เพิ่มกระแสขับขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขับรีเลย์
3. **วงจรรายผลต่างของแรงดัน** เป็นวงจรรายชนิดอินสตรูเมนต์เซ็นเซอร์ที่มีความต้านทานอินพุตสูงให้ออปแอมป์ เบอร์ CA3140 โดยออกแบบให้มีอัตราขยายเท่ากับ 1
4. **ไมโครคอนโทรลเลอร์** ใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C535 เป็นวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้า ที่มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด 8 บิต มีอัตราในการสุ่มตัวอย่างสูงสุด 40 ksamples/s และมีหน่วยความจำข้อมูล 64 kbyte

โปรแกรมควบคุมการทำงานและโปรแกรมการคำนวณ

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตัล และการนำข้อมูลในหน่วยความจำมาวิเคราะห์คำนวณหาค่าพลังงาน ค่าแรงดันสูงสุด ค่ากระแสสูงสุด และช่วงเวลาประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1. **โปรแกรมเลือกช่วงพลังงาน** โดยที่สถานะปกติจะกำหนดช่วงของการวัดไว้ที่ค่าพลังงานสูงคือ 400 J และเมื่อต้องการเปลี่ยนช่วงของการวัดค่าพลังงาน จะต้องเลือกผ่านเมนูไปสั่งการทำงานของรีเลย์ โดยส่งลอจิก 0 ผ่านไปยังพอร์ตควบคุม
2. **โปรแกรมควบคุมการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตัล** การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจากการสั่งให้ระบบตรวจสอบสัญญาณเข้าตลอดเวลาโดยในช่วงนี้จะไม่มีการเก็บบันทึกเข้าหน่วยความจำเมื่อตรวจพบว่ามีสัญญาณเข้ามาจึงจะเริ่มกระบวนการนำข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำจนกว่าจะสิ้นสุดสัญญาณและจะกลับไปเริ่มตรวจสอบสัญญาณที่จะเข้ามาใหม่

3. โปรแกรมการคำนวณ เป็นการนำค่าแรงดันที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาคำนวณหาช่วงเวลา แรงดันสูงสุด กระแสสูงสุด และพลังงานประกอบด้วยโปรแกรมย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้
- การคำนวณช่วงเวลา คือ การนำจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในหน่วยความจำคูณด้วย เวลาในการสุ่มตัวอย่างหนึ่งตัวอย่าง (conversion time) ค่าเวลาดังกล่าวได้ทำการทดสอบแล้วว่ามีความแม่นยำ สามารถนำมาใช้อ้างอิงได้
 - การคำนวณค่าแรงดันสูงสุด (V) คือ การหาค่าในหน่วยความจำที่มีค่ามากที่สุด (V_{max}) คูณด้วยค่าคงที่ ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนของการแบ่งแรงดัน และค่าแรงดัน สเต็มป์ ($V_s = 5V / 256$) ดังสมการที่ (2)

$$V = \frac{V_{max} V_s}{\eta} \quad (2)$$

- การคำนวณค่ากระแสสูงสุด (I) จะใช้กฎของโอห์ม โดยการนำค่าแรงดันสูงสุดหาร ด้วยผลรวมของความต้านทานทั้งหมด ดังสมการที่ (3)

$$I = \frac{V}{R + r_1 + r_2} \quad (3)$$

- การคำนวณค่าพลังงานคือ การหาพื้นที่ใต้กราฟระหว่างกำลังกับเวลาดังสมการที่ (4) หรือการหาผลรวมของพื้นที่ ซึ่งถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ภายใต้กราฟโดยหลักเกณฑ์ของ ซิมป์สัน ดังสมการที่ (5) ที่ให้ความถูกต้องมากกว่า[11] หลักเกณฑ์สี่เหลี่ยมผืนผ้า (Euler's Rule) และหลักเกณฑ์สี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal's Rule) ที่ประมาณ ค่าโดยการลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุด เนื่องจากหลักเกณฑ์ของซิมป์สันจะเชื่อม ระหว่างจุดสามจุด โดยโพลีโนเมียลดีกรีสอง

$$E = \int_{x_0}^{x_n} P(t) dt = \frac{1}{R+r} \int_{x_0}^{x_n} V^2(t) dt \quad (4)$$

$$E = \frac{\Delta t}{3} \left\{ P(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} P(x_{2i}) + 4 \sum_{i=2}^n P(x_{2i-1}) + P(x_n) \right\} \quad (5)$$

เมื่อ

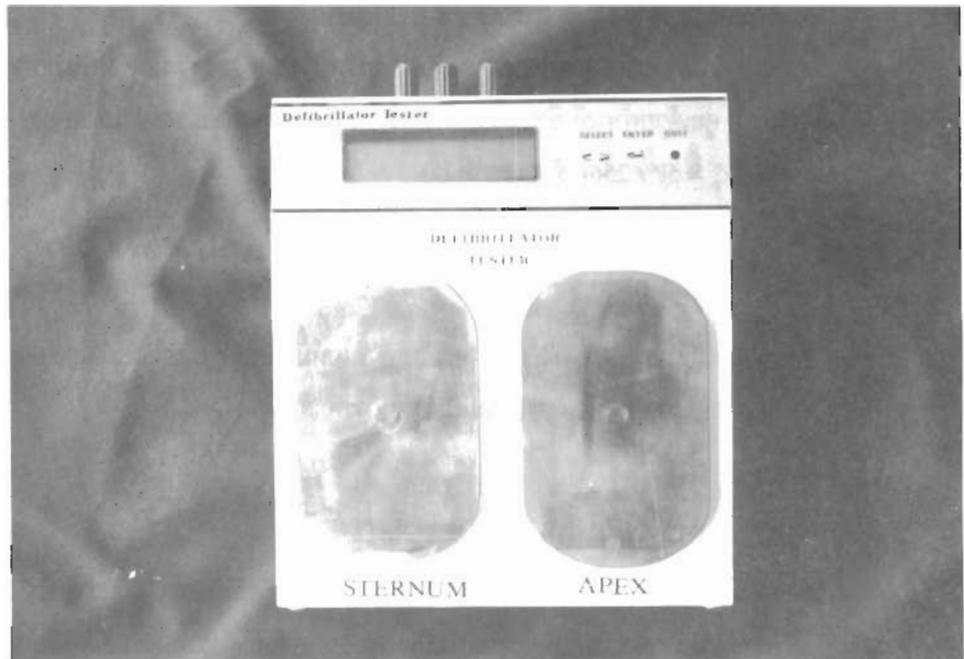
E คือ ค่าพลังงานในช่วง x_0 ถึง x_n

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

Δt คือช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณ $\Delta t = \frac{(x_0 - x_n)}{n}$

$P(x)$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งตัวอย่าง x , $P(x_i) = \frac{V^2(x_i)}{R+r}$

$V(x)$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานโหลดและความต้านทานตรวจจذب



รูปที่ 5 ดินแบบเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

รูปที่ 5 แสดงเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่สร้างขึ้นประกอบด้วย จอแสดงผลชนิดตัวอักษร 2 บรรทัด ปุ่มในการควบคุม 3 ปุ่ม คือ selector enter และ quit ขั้วไฟฟ้าสำหรับต่อเครื่องมือวัดสัญญาณที่ค่าพลังงาน 200 J และ 400 J พอร์ต RS 232C เชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ และขั้วไฟฟ้ารับพลังงานสองแผ่น

การทดสอบเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

การทดสอบการห้วงาน (รูปที่ 6) โดยวัดค่าพลังงาน 0-400 J ค่ากระแสสูงสุด ค่าแรงดันสูงสุด และช่วงเวลา ของเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าจากโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โรงพยาบาลประจำจังหวัดยโสธรและโรงพยาบาลชุมชนในจังหวัดยโสธร จำนวน 10 เครื่อง ตัวอย่างของผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 8 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นที่บันทึกด้วยเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่

สร้างขึ้นที่ค่าพลังงาน 300 J จากการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถใช้วัดค่าต่างๆ ได้ ตามต้องการ

การทดสอบความถูกต้องของการวัดทำได้โดยการทดสอบผลการวัดค่าพลังงาน ค่าแรงดันสูงสุด และค่ากระแสสูงสุด โดยใช้เครื่องต้นแบบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า (Defibrillator Analyzer) Bio-Tek รุ่น OED-6 ซึ่งผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าของผู้ผลิตรายหนึ่ง ได้ผลการทดสอบแสดงเป็นตารางในตารางที่ 2 และจากการทดลองนี้พบว่าค่าพลังงานที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 9(ก) จากการทดลองนี้พบว่าเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่นำมาทดสอบสามารถให้ค่าพลังงานถูกต้องตามที่เลือกได้ถึง 50 J เท่านั้น เมื่อปรับให้จ่ายพลังงานมากกว่านี้จะจ่ายพลังงานได้น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ดังจะเห็นจากรูปค่าพลังงานในช่วง 50-400 J ค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบทั้งสองจะต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดโดยผู้ผลิต ในกรณีนี้คือ +12% ของค่าพลังงานที่เลือก (เส้นประ) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุ เนื่องจากเครื่องที่นำมาทดสอบนี้มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี และผ่านการซ่อมบำรุงมาแล้ว



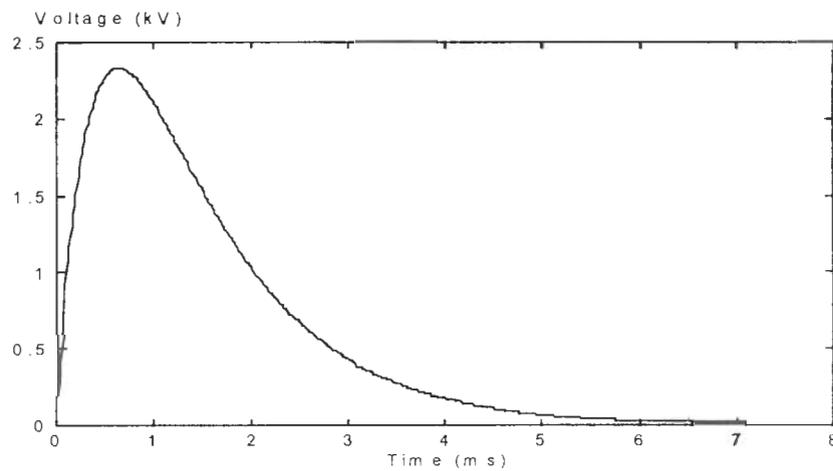
รูปที่ 6 วิธีการทดสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 9(ข) แสดงค่าความผิดพลาดของพลังงานสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าไม่เกิน +2.5% เมื่อเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิง ซึ่งเพียงพอสำหรับการตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่มีใช้งานทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องทดสอบทั้งสองสามารถวัดค่าแรงดันสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 10 และค่ากระแสสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 11 ได้ผลใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1

ตัวอย่างผลการทดสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

ทดสอบที่	ผลการทดลอง				
	ค่าพลังงาน (J)	ค่าพลังงานที่วัดได้ (J)	แรงดันสูงสุด (V)	กระแสสูงสุด (A)	ช่วงเวลา (μ S)
10	10	9	433	8	5604
20	20	19	605	12	5206
30	30	30	741	15	5125
50	50	50	967	19	5323
100	100	101	1356	28	5396
200	200	203	1925	39	5471
300	300	302	2316	45	5472
360	360	364	2569	48	5474



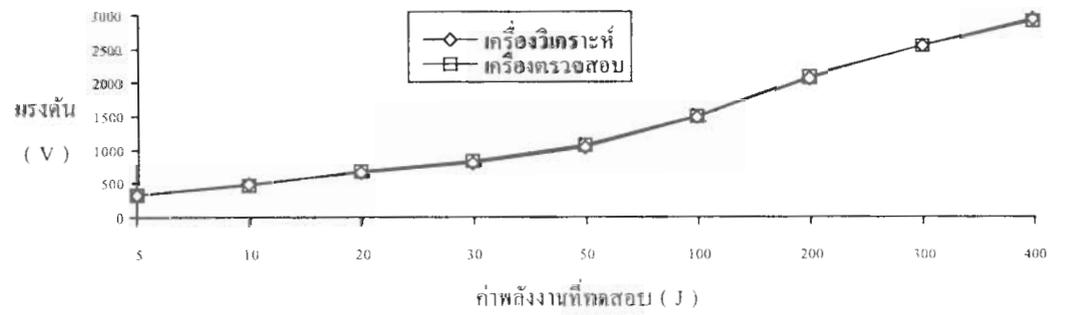
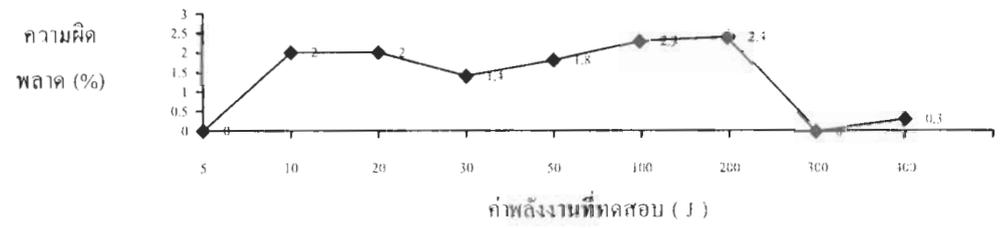
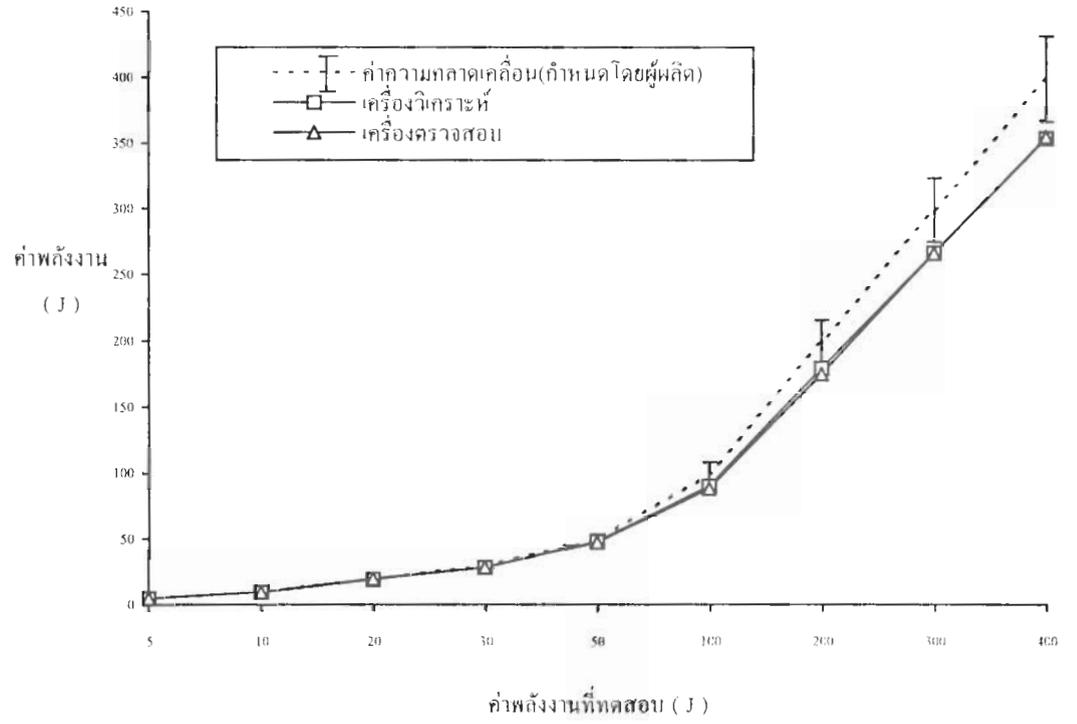
รูปที่ 7 รูปคลื่นที่บันทึกด้วยเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้าที่สร้างขึ้นที่ค่าพลังงาน 300 J

ตารางที่ 2

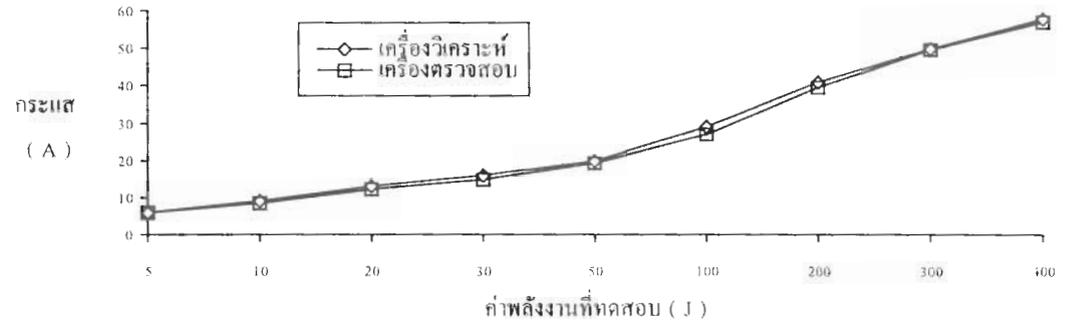
ผลการทดสอบเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า

ระดับ พลังงาน ที่ทดสอบ	ผลมาจากเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อคหัวใจด้วย ไฟฟ้า Bio-Tek QED-6				ผลจากเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อคหัวใจ ด้วยไฟฟ้าต้นแบบ			
	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	ช่วงเวลา	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	ช่วงเวลา
(J)	(J)	(V)	(A)	(μ S)	(J)	(V)	(A)	(μ S)
5	5	338	6	-	5.0	338.1	6.0	5694
10	9.9	488	9	-	9.0	475.2	8.5	6136
20	19.6	658	13	-	24.2	676.2	12.1	6344
30	28.8	803	16	-	28.4	831.6	14.8	6498
50	48.7	1042	20	-	47.8	1078.3	19.2	6560
100	90.8	1487	29	-	88.7	1507.8	26.9	6574
200	180.1	2084	41	-	175.6	2092.7	39.4	6467
300	267.5	2547	50	-	267.4	2547.7	49.9	6394
400	355.5	2947	58	-	356.5	2913.4	57.1	6108

หมายเหตุ - เครื่องรุ่นนี้ไม่สามารถวัดได้



รูปที่ 10 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันสูงสุดของเครื่องช็อคหัวใจด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 11 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสสูงสุดของเครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้า

สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบเครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติ

- วัดคาบเวลาของสัญญาณที่ออกจากเครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้า
- เลือกช่วงของการวัดค่าพลังงาน
- เก็บรูปร่างของสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS 232C
- วัดค่าพลังงาน 0-400 J ค่าแรงดันสูงสุด และค่ากระแสสูงสุดได้พร้อมกัน

สามารถใช้ตรวจสอบเครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้าโดยมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2.5\%$ ของพลังงานที่ปล่อยออกมาเมื่อเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เครื่องช็อกหัวใจด้วยไฟฟ้า (defibrillator analyzer) Bio-Tek รุ่น QED-6 ซึ่งผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาและมีราคาถูก สามารถจัดหาได้ตามโรงพยาบาลและสถานบริการสุขภาพทั่วไปได้ การพัฒนาต้นแบบของอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถผลิตขึ้นภายในประเทศจะเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งเหมาะสมกับสถานะเศรษฐกิจของประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โรงพยาบาลประจำจังหวัดยโสธร และโรงพยาบาลชุมชน

เอกสารอ้างอิง

1. วินัส ลีฟทกุล, "โรคหัวใจและหลอดเลือดในผู้สูงอายุ:ปัจจัยเสี่ยงและการป้องกัน", สารสภากาการพยาบาล, Vol. 11, No. 3, pp 39-47, กรกฎาคม-กันยายน 2539.
2. นพรัตน์ ธนะชัยพันธ์, "การบำบัดโรคหัวใจฉุกฉิน", เชียงใหม่, หน่วยวิชาการระบบหัวใจและหลอดเลือด, ภาควิชาอายุรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2538.
3. M. Mirowski, "**Standby automatic defibrillator**". Arch. Intern. Med., vol. 126., pp. 158-165, 1970.
4. J.C. Schuder et al., "**Experimental ventricular defibrillation with an automatic and completely implanted system**", Trans. Amer.Soc. Organs, vol. 16., pp. 207-112, 1970.
5. M.S. Langer, "**Considerations in the development of the automatic implantable defibrillator**", Med. Instrum., vol, 10., pp. 163-167, 1976.
6. M. Mirowski et al., "**Chronic animal and bench testing of the implantable automatic defibrillator**", in 6th World Symp. On Cardiac Pacing, Montreal, Oct. 1979.
7. M. Mirowski, "**Termination of malignant ventricular arrhythmias with an implanted automatic defibrillator in human beings**", New England J. Med., vol 303, pp. 322-330, 1980.
8. L.A. Geddes et al., "**Engineering and physiological considerations of direct capacitor discharge ventricular defibrillation**", Med. Biol. Eng., vol. 9, pp. 188-193, 1971.
9. สำรวย ลัทธิสะอาด, "**วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
10. J. Penny and G. Lindfield., "**Numerical Methods Using Matlab**", New York, Ellis HORWOOD, 1995.
11. K. Atkinson, "**Elementary Numerical Analysis**", New York, John Wiley & Sons, 1985.