

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวด จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ

วัชรไกร สนนุช^{1*}

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจปัญหาในการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการทดลองโดยการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาด 200 F 2.5 V จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ป้อนสัญญาณให้กับวงจรที่มีความถี่เท่ากับ 1 kHz และเมื่อต้องการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะปล่อยประจุให้กับความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ และการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ ผลการทดลองการชาร์จจากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.062287 V 0.083918 V 0.051667 V และ 0.069476 V ตามลำดับ ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 94.17

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด แรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: watcharakaisonnut@gmail.com

วันที่รับบทความ 17 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 ธันวาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 ธันวาคม 2568

Comparison of Supercapacitor Performance with Various Charging Voltages

Watcharakai Sonnut^{1*}

ABSTRACT

This project aimed to compare the energy storage and discharge characteristics of supercapacitors and find the efficiency of supercapacitors by charging with various voltages. This would help to solve the problem of charging supercapacitors to achieve maximum efficiency. The experimental method was to charge a 200 F 2.5 V supercapacitor using a function generator to feed a signal to the circuit at the same frequency of 1 kHz. When the supercapacitor needed to be discharged, it would be charged to a 1 ohm 5 Watt resistance and find the efficiency of the supercapacitor from charging and discharging. The experimental results of charging by feeding a voltage signal from charging with a triangle wave, sawtooth wave, square wave and sine wave voltage source showed that the charging time was 9,455 seconds. The supercapacitor voltages (V_{SC}) fed by each waveform were 0.924678 V, 1.282828 V, 1.057508 V and 0.041566 V respectively. The results of the discharge experiment (discharging) to a 1 ohm 5 Watt resistance load, the discharge time was 30 seconds. The supercapacitor voltage (V_{SC}) supplied to the resistance that starts to discharge are 0.062287 V, 0.083918 V, 0.051667 V and 0.069476 V respectively. A supercapacitor's highest efficiency was 98.45% when fed with a triangle signal, while its lowest efficiency was 94.17% when fed with a square signal.

Keywords: performance, supercapacitors, various charging voltages

¹ Electrical Technology Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

* Corresponding author e-mail: watcharakaisonnut@gmail.com

Received: Jul 17, 2025

Revised: Dec 23, 2025

Accepted: Dec 25, 2025

บทนำ

ปัจจุบันการเติบโตทางเทคโนโลยีที่รวดเร็วแบบก้าวกระโดดทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ ๆ จำเป็นต้องใช้พลังงานที่สูงขึ้นในการประมวลผล นอกจากนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์สำรองไฟฟ้าที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อยืดอายุการใช้งาน ทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน ปัจจุบันแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน แบตเตอรี่เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตของเราโดยไม่รู้ตัวจะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น แบตเตอรี่ไฟฉาย แบตเตอรี่ในรีโมทคอนโทรล แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แบตเตอรี่ในรถยนต์ และแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งแบตเตอรี่ยังถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย โดยแบตเตอรี่มีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์เพราะไม่ว่าจะเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใดก็ตาม หากต้องการจัดเก็บพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้ต่อไป จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีอุปกรณ์ทำหน้าที่เก็บพลังงานที่ได้ไว้ แบตเตอรี่จึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าของรถยนต์โดยมีหน้าที่ในการป้อนกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เพื่อให้ทำงานได้ เช่น มอเตอร์สตาร์ท ระบบจุดระเบิด ในขณะที่สตาร์ทเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้กับอุปกรณ์อำนวยความสะดวกหลาย ๆ อย่างด้วย เช่น ระบบไฟส่องสว่างวิทยุ เป็นต้น แบตเตอรี่ยังเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนารถยนต์ประหยัดพลังงานหรือรถไฟฟ้าระบบไฮบริด (Cao & Emadi, 2012)

การใช้แบตเตอรี่นั้นมีข้อจำกัดมากมายเพราะแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง แต่แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเองได้ เมื่อหมดจะต้องทำการประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าไปใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประจุพลังงานไฟฟ้านี้จะต้องใช้เวลาในการประจุที่นานในการประจุแต่ละครั้งโดยผลที่ได้รับจากการประจุนั้นจะไม่เต็มประสิทธิภาพ 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% โดยวิธีการประจุหรือชาร์จแบบช้า ยังมีวิธีการประจุหรือชาร์จแบบเร็วด้วยโดยที่การประจุแบบเร็วนี้ประสิทธิภาพที่ได้จะไม่ถึง 80% และทำให้อายุในการใช้งานสั้นลงด้วย ซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อน และปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการที่ใช้เวลาในการประจุและคายประจุในระยะเวลาที่นานเกินไปจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น และยังต้องทิ้งไว้ประมาณ 5-10 ชั่วโมง โดยเฉพาะในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ลูกใหม่ ทั้งนี้ก็เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และสำหรับแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ ถ้าใช้ไฟฟ้า

มากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้ เมื่อต้องทำการประจุพลังงาน ไฟฟ้าก็จะเป็นการเสียเวลาอย่างมากแทนประสิทธิภาพที่ได้มานั้นก็จะด้อยลงไปตามจำนวนครั้งที่ทำการประจุพลังงานใหม่แบตเตอรี่ที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน ก่อนที่จะนำไปใช้นั้นระดับของพลังงานที่ได้นั้น เมื่อนำมาใช้จะไม่เต็มประสิทธิภาพไม่เท่าเดิม เนื่องจากเกิดการคายประจุพลังงานในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการเก็บรักษาพลังงานในแบตเตอรี่ และในการเลือกใช้แบตเตอรี่ (Schroeder, Wittig & Fuchs, 2010) ให้ตรงตามระดับแรงดันหรือระดับกระแสที่ต้องการ ถ้าต้องการระดับแรงดันที่สูงขึ้นหรือระดับกระแสที่มากขึ้นจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่จำนวนมากกว่าหนึ่งลูก หรือแบตเตอรี่มีออกแบบมาเฉพาะทางซึ่งมีราคาสูงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้แรงดันและระดับกระแสด้วย แบตเตอรี่ยังจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุพลังงาน การคายประจุ และอุณหภูมิ (Jayalakshmi & Balasubramanian, 2008)

ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ในการประจุพลังงาน ไฟฟ้าด้วยสมบัติของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่สามารถประจุและคายประจุได้อย่างรวดเร็วนี้ จะนำมาใช้รวมกับการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ เพื่อลดระยะเวลาในการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ด้วย เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการประจุพลังงานที่สั้น (Bodnar & Redman-White, 2011) ทำให้การเกิดความร้อนซึ่งนำไปสู่การสูญเสียพลังงานน้อยลง และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรม การประจุและการคายประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ โดยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลการประจุ และการคายของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบประจุแบตเตอรี่และนำไปสู่ระบบประจุแบตเตอรี่แบบผสมผสานต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายกระแสชั่วคราวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

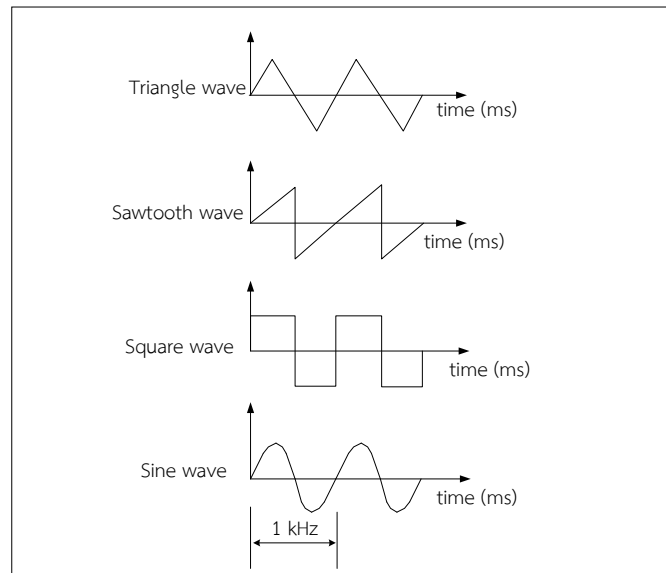
โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการเก็บและคายพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์จากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ ผู้จัดทำได้ดำเนินการและปฏิบัติตามขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. การออกแบบวงจรชาร์จและดิสชาร์จของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

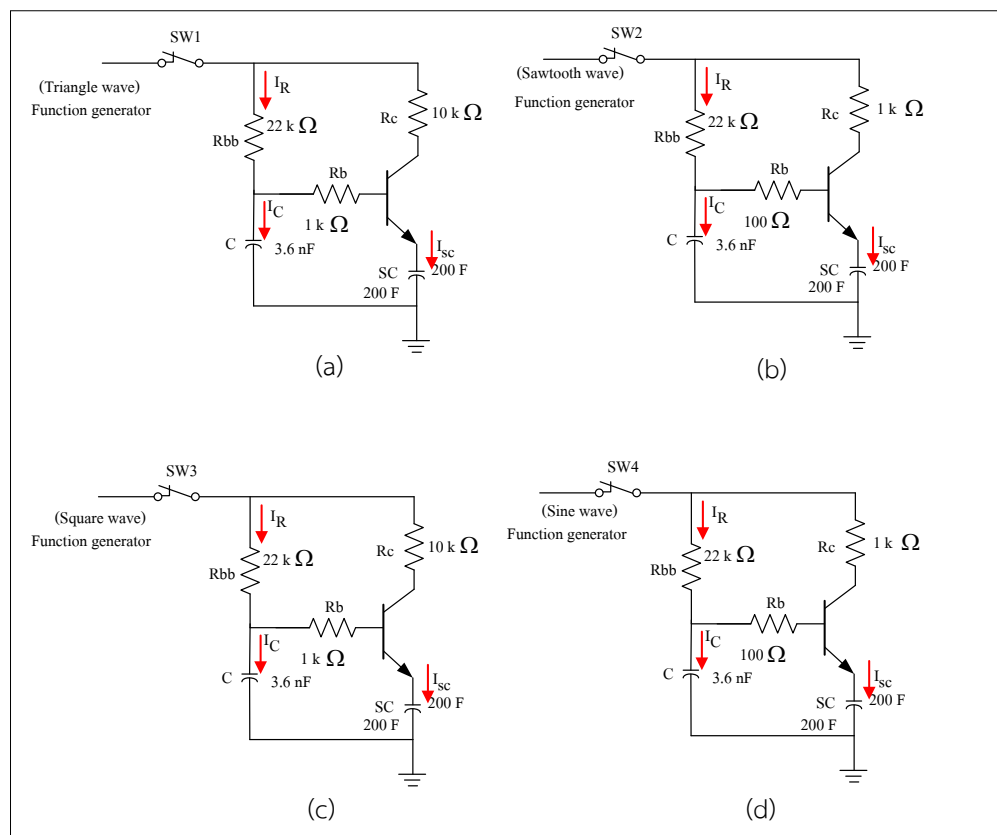
1.1 วงจรการชาร์จ

การทดลองการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาด 200 F 2.5 V (ELNA co., Ltd., 2011) จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ป้อนสัญญาณให้กับวงจรที่ความถี่เท่ากัน คือ 1 kHz ประกอบด้วย ป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle wave) ป้อนด้วยสัญญาณฟันเลื่อย

(sawtooth wave) ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave) และป้อนด้วยสัญญาณไซน์ (sine wave) หลังจากนั้นนำข้อมูลการชาร์จไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel



รูปที่ 1 สัญญาณต่าง ๆ ที่ป้อนให้กับวงจรที่มีความถี่เท่ากันคือ 1 kHz

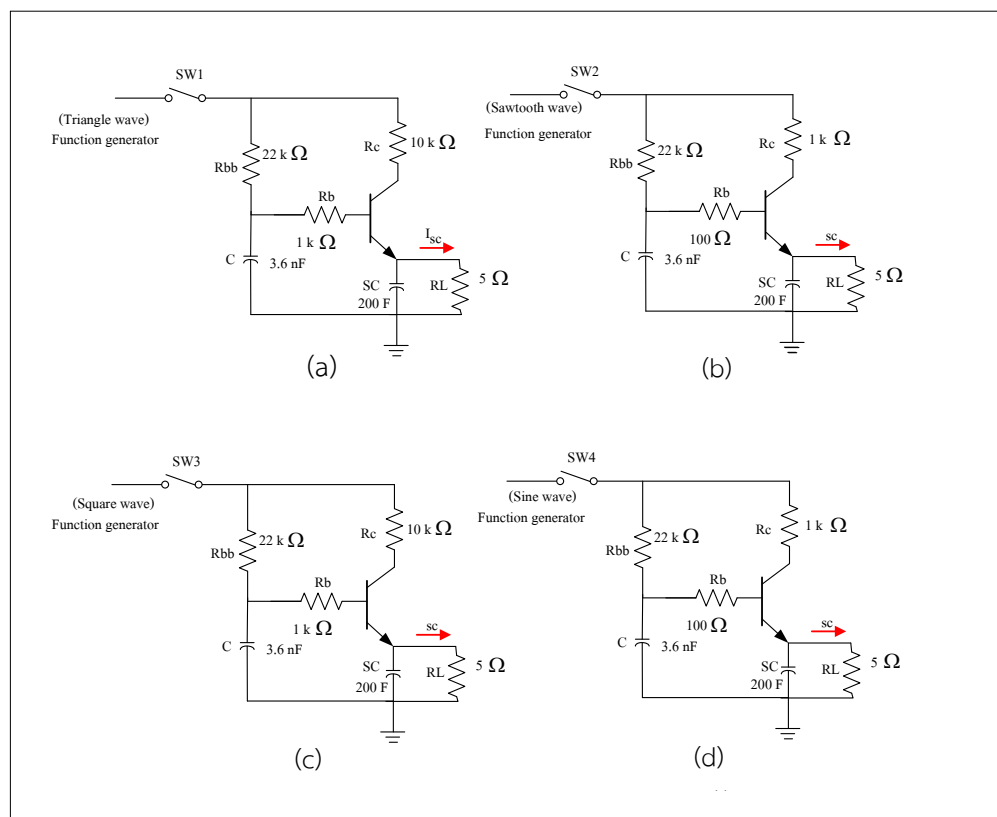


รูปที่ 2 วงจรชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดของแต่ละคลื่นสัญญาณ

การทำงานของวงจร เมื่อป้อนสัญญาณให้กับวงจร กระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์เป็นตัวทริกให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและเป็นเหมือนสวิตช์เปิดทำให้มีกระแส I_{sc} และทำให้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้รับการชาร์จหรืออัดประจุ

1.2 วงจรปล่อยประจุ

การทำงานของวงจรปล่อยประจุหรือคายประจุ จะทำภายหลังจากชาร์จประจุจนเต็มพิกัด เมื่อต้องการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดสวิตช์ 1-4 จะถูกเปิดและจะปล่อยประจุให้กับความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ ดังรูปที่ 3 จากนั้นนำข้อมูลการดิสชาร์จไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel



รูปที่ 3 วงจรปล่อยประจุตัวเก็บประจุยิ่งยวดของแต่ละแหล่งกำเนิดที่อิสระต่อกัน



รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ป้อนให้วงจรการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่อิสระต่อกัน

1.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การศึกษาพฤติกรรมการเก็บพลังงานของตัวเก็บประจุยิ่งยวดโดยใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องกำเนิดสัญญาณ แล้วนำพลังงานที่ได้ไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุยิ่งยวด หลังจากนั้นตัวเก็บพลังงานทั้งสองจะจ่ายพลังงานให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ และการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดนั้น ได้ดำเนินการ 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการเก็บประจุและคายประจุ

จากการศึกษาคุณลักษณะพฤติกรรมของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ได้ในห้องปฏิบัติการ และจากการเก็บข้อมูลการเก็บประจุ (charge) และคายประจุ (discharge) (Zubieta & Bonert, 2000) ของตัวเก็บประจุยิ่งยวดดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

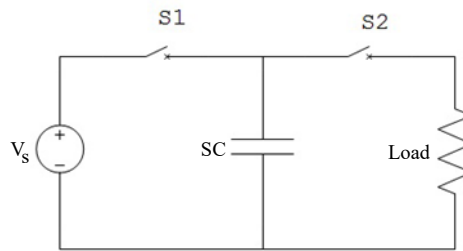
การทดลองเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

1) นำตัวเก็บประจุยิ่งยวดต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม ฟันเลื่อย สี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ และโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ โดยกำหนดแรงดันในการเก็บประจุที่ 1.5 โวลต์

2) ทำการอัดประจุโดยควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ S_1 รูปที่ 5 และหยุดการประจุเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุยิ่งยวดคงที่วัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะเก็บประจุ

3) เมื่อเก็บประจุจนแรงดันคงที่ ทำการคายประจุให้กับโหลด โดยควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ S_2 บันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะคายประจุ โดยหยุดการคายประจุ เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุยิ่งยวดเริ่มคงที่

4) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บประจุและคายประจุ ไปหาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ตามสมการที่ 4



รูปที่ 5 วงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

โครงการนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. หาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด จากสมการที่ 3 โดยนำข้อมูลแรงดันกระแสที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) มาเขียนกราฟ เพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงช่วงเก็บประจุและคายประจุเทียบกับเวลา โดยพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$W_c = \frac{1}{2} CV_c^2 \quad (1)$$

เมื่อ	W_c	คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	มีหน่วยเป็น จูล (J) หรือ วัตต์-วินาที
	C	คือ ความจุ	มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)
	V_c	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ	มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

พลังงานที่เกิดจากความต้านทานภายในตัวเก็บประจุยิ่งยวดและหาค่ากำลังสูญเสีย (power loss) ได้จาก

$$W_R = I^2 R t \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) สามารถนำมาหาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด} \quad (\eta) = \frac{W_c}{W_t} \quad (3)$$

$$\text{หรือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด} \quad (\eta) = \frac{W_c}{W_c + W_R} \quad (4)$$

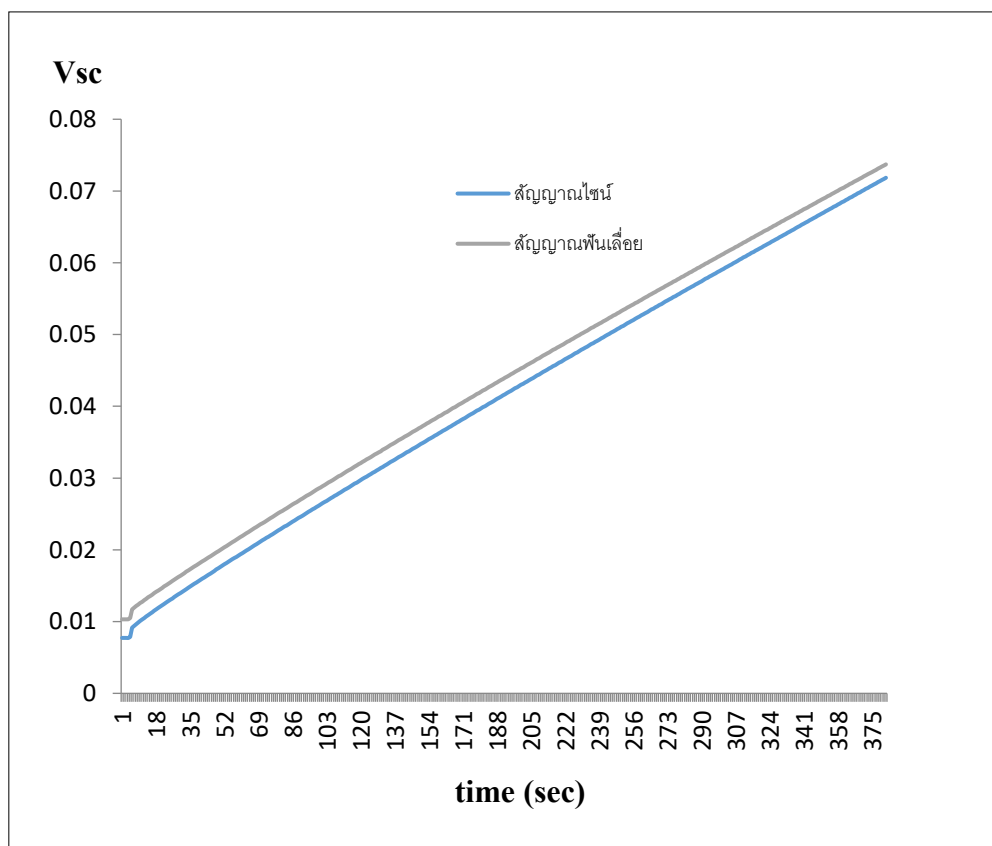
2. วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงการเก็บประจุและคายประจุเทียบกับเวลา โดยนำข้อมูลแรงดัน กระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) มาเขียนกราฟ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

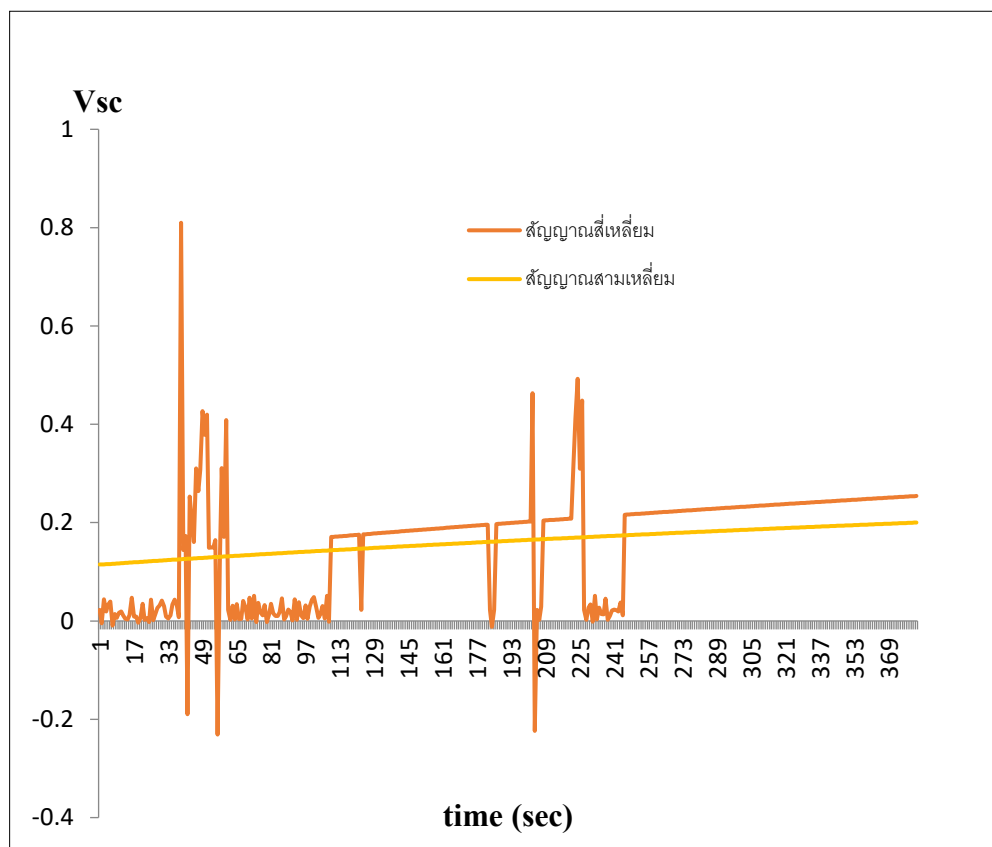
1. ผลการทดลองการชาร์จ

การทดลองจากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดัน รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดการเกิดของแรงดันไฟฟ้า V_{SC} แสดงดังรูปที่ 6

พลังงานที่ถูกใช้ไปในการชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุยิ่งยวด ซึ่งพบว่า ค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปมากที่สุด คือ การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม ตามด้วยการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณไซน์ และพลังงานที่ใช้น้อยสุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย



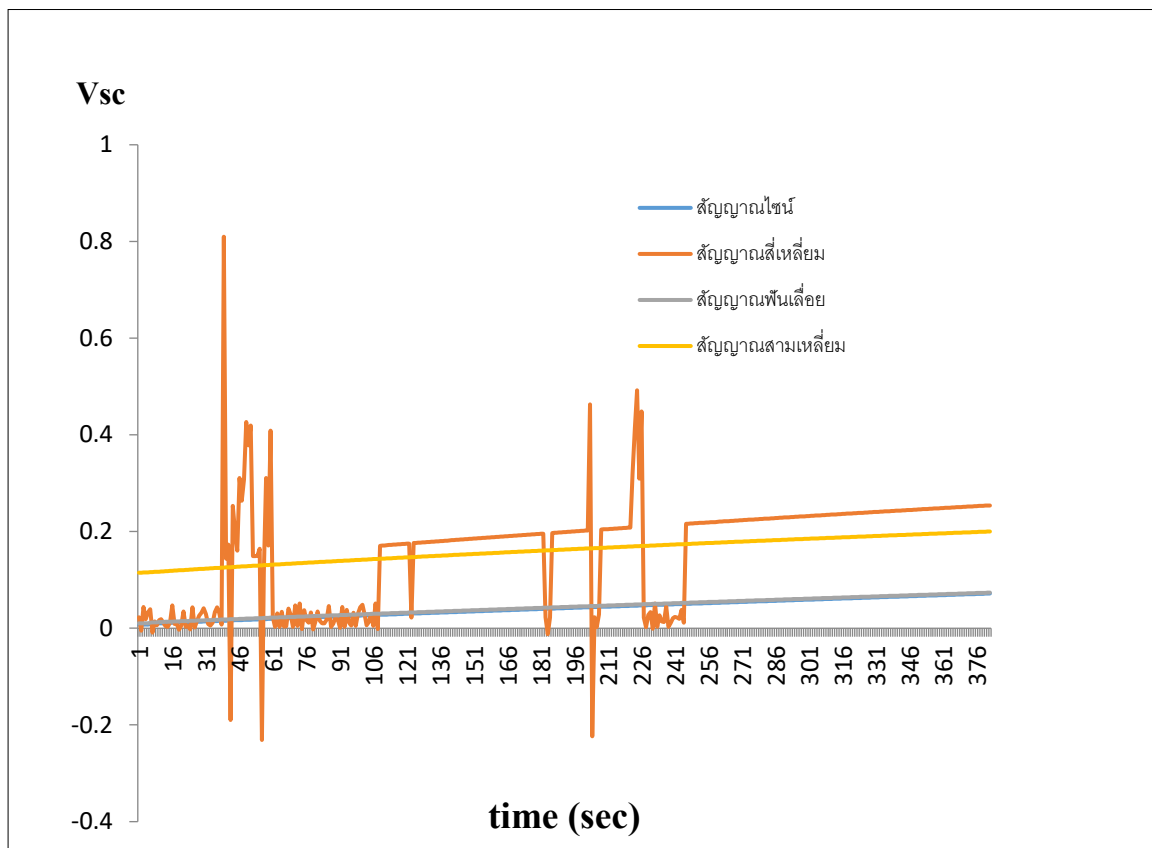
(a) เปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณฟันเลื่อย



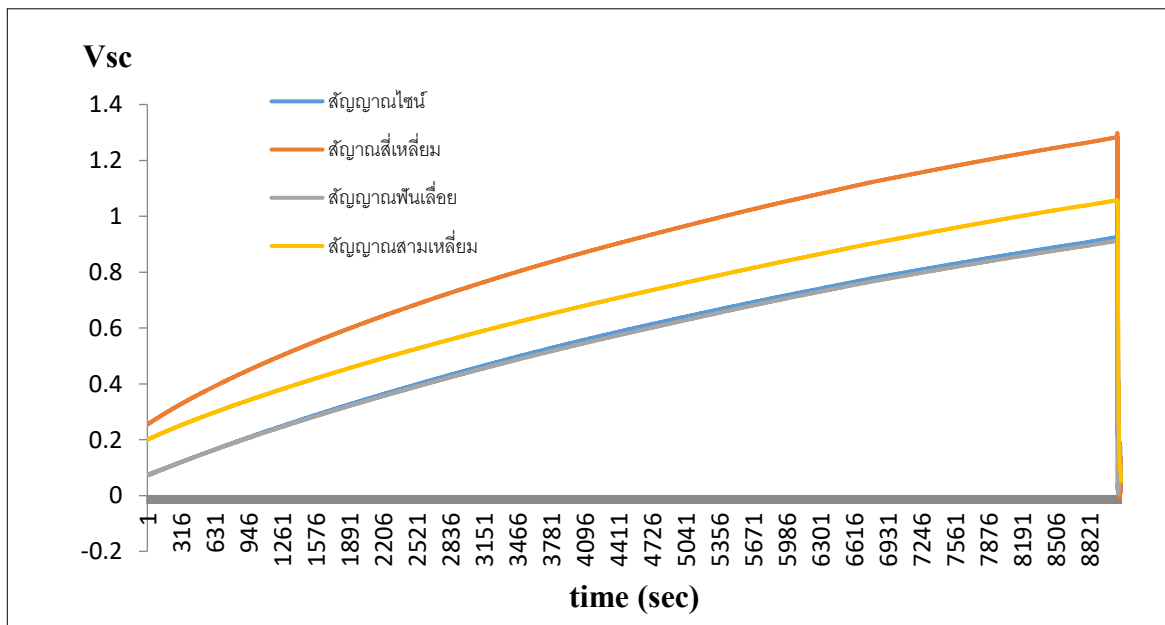
(b) เปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมกับสัญญาณสามเหลี่ยม

รูปที่ 6 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 0 ถึง 369 วินาที

แรงดันไฟฟ้า V_{sc} จากการป้อนด้วยสัญญาณไซน์ สัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณฟันเลื่อย และสัญญาณสามเหลี่ยม ช่วงเวลา 0 ถึง 376 วินาที จะพบว่า แรงดันไฟฟ้า V_{sc} ที่ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงแบบทรานเซียนช่วงเวลา 0 ถึง 244 วินาที เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 7 (a) แต่เมื่อเวลาชาร์จผ่านไป 244 วินาที แรงดันไฟฟ้า V_{sc} จะเริ่มเข้าสู่สถานะเอกซ์โพเนนเชียลแบบต่อเนื่องจนถึงพิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จ คือ 1.28 โวลต์ ดังรูปที่ 7 (b)



(a) เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 0 ถึง 376 วินาที



(b) เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงเวลา 376 ถึง 9469 วินาที

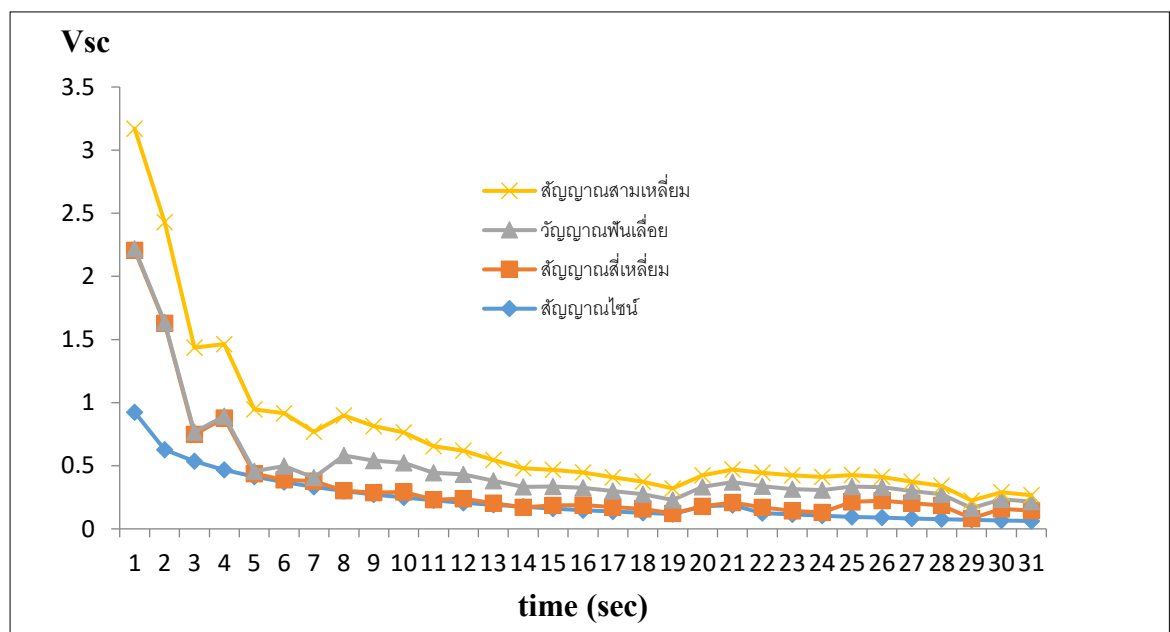
รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{sc} ช่วงชาร์จ

2. ผลการทดลองการคายประจุ

จากการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย และรูปคลื่นสัญญาณไซน์

ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{SC}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.051667 V 0.083918 V 0.069476 V และ 0.062287 V ตามลำดับ ส่วนการเกิดของแรงดันไฟฟ้า V_{SC} แสดงดังรูปที่ 8

พลังงานที่ถูกใช้ไปของตัวเก็บประจุยิ่งยวดในการปล่อยประจุให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ ซึ่งพบว่าค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปมากที่สุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม ตามด้วยการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณไซน์ การป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม และพลังงานที่ใช้น้อยที่สุดคือการป้อนด้วยรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อย ดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{SC} ช่วงปล่อยประจุ ใช้เวลา 0 ถึง 30 วินาที

3. ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์หาได้จากการชาร์จจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ โดยนำพลังงานที่ได้ในช่วงการชาร์จ และปล่อยประจุไปคำนวณหาประสิทธิภาพ (Jiang, Zhang & Jian, 2013)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นต่าง ๆ

พลังงาน	triangle wave	sawtooth wave	square wave	sine wave
W_c	72.86515	37.54007	39.49183	71.70438
W_R	1.15	1.15	1.15	1.15
W_t	74.01	38.69	40.64	72.85
$\eta\%$	98.45	97.03	94.17	98.43

จากผลการทดลองช่วงชาร์จและช่วงปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดแล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพจากการป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุด คือ การป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยมคิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุดคือป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมคิดเป็นร้อยละ 94.17

สรุปผล

จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าหลายรูปแบบ สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

ผลการทดลองการชาร์จ (charging) จากการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการชาร์จด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ เวลาที่ใช้ในการชาร์จ 9,455 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{sc}) ที่ป้อนด้วยแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ คือ 0.924678 V 1.282828 V 1.057508 V และ 0.041566 V ตามลำดับ ผลการทดลองการปล่อยประจุ (discharging) ให้กับโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 5 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการปล่อยประจุ 30 วินาที แรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (V_{sc}) ที่จ่ายให้กับความต้านทานที่เริ่มคายประจุ คือ 0.062287 V 0.083918 V 0.051667 V และ 0.069476 V ตามลำดับ ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากการป้อนด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นฟันเลื่อย รูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นไซน์ ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุดคือการป้อนด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 98.45 และประสิทธิภาพต่ำสุด คือป้อนด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม คิดเป็นร้อยละ 94.17

เอกสารอ้างอิง

- Cao, J. & Emadi, A. (2012). A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles. **IEEE TRANSACTIONS ON Power Electronics**, 27(1), 122-132.
- ELNA co., Ltd. (2011). **Electric Double Layer Capacitor**. from http://www.elna.co.jp/en/capacitor/double_layer/catalog/pdf/dlc_tecnote_e.pdf
- Jayalakshmi, M. & Balasubramanian, K. (2008). Simple capacitors to supercapacitors-an overview. **International Journal of Electrochemical Science**, 3, 1196-1217.
- Schroeder, J. C., Wittig, B. & Fuchs, F. W. (2010). High efficient battery backup system for lift trucks using interleaved-converter and increased EDLC voltage range. **IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, AZ, USA**, 2334-2339. from doi: 10.1109/IECON.2010.5675142.
- Zubieta, L. & Bonert, R. (2000). Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 36(1), 199-205.
- Bodnar, R. & Redman-White, W. (2011). A 250W/30A fast charger for ultracapacitors with direct mains connection, **20th European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), Linköping, Sweden**, 813-816. from doi: 10.1109/ECCTD.2011.6043835.
- Jiang, X., Zhang, J. & Jian, W. (2013). The analysis of ultracapacitor charging efficiency, **International Conference on Computational and Information Sciences, Shiyang, China**, 1198-1201. from doi: 10.1109/ICCIS.2013.317.