

การศึกษาการเก็บประจุและการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

Study of the Charging and Discharging of Supercapacitor with Battery by Using Photovoltaic Energy as a Power Source

กิตติ กอบัวแก้ว¹ และประสิทธิ์ ภูสมมา^{2*}

Kitti Korbuakaew¹ and Prasit Phoosomma^{2*}

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี^{1,2*}

Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University^{1,2*}

E-Mail: prasit.p@dru.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพฤติกรรมการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ 2) หาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ในการเก็บประจุและปล่อยประจุ และ 3) หาประสิทธิผลการส่องสว่าง กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาดพิกัด 75F, 15V เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เซลล์แสงอาทิตย์ หลอดแอลอีดี เครื่องบันทึกข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัยพบว่า 1) พฤติกรรมการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่สามารถประจุที่ปริมาณกระแสสูงได้ แต่แรงดันไฟฟ้าไม่ควรเกินพิกัด การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสจะเป็นแบบทันทีทันใด (Transient) เวลาที่ใช้ในการประจุจะขึ้นกับปริมาณของกระแส ยิ่งกระแสสูงเวลาที่ใช้เก็บพลังงานจนเต็มจะเร็วมาก 2) ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่ในการเก็บประจุและปล่อยประจุ พบว่าเมื่อต่อรวมตัวเก็บประจุยิ่งยวด แบตเตอรี่ เซลล์แสงอาทิตย์ ใช้เวลาเก็บประจุ 2 ชั่วโมง 48 นาที และหลังจากดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ ปล่อยประจุให้กับหลอดแอลอีดี ได้นาน 11 ชั่วโมง 13 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับ 93.18% โดยสามารถให้แสงสว่างป้ายมหาวิทยาลัยได้ตลอดทั้งคืน

คำสำคัญ : การเก็บประจุและการปล่อยประจุ, พลังงานแสงอาทิตย์, ตัวเก็บประจุยิ่งยวด, แหล่งกำเนิดพลังงาน

ABSTRACT

The purpose of this study were to 1) study about how the supercapacitor and battery work when being charged and discharged, 2) analyze the supercapacitor and battery efficiency in relation to charge and discharge, and 3) determine the luminescent efficiency. The sample group was 75F, 15V, supercapacitor. The research instruments consisted of supercapacitor, lead-acid battery, solar cell, LED lamp, data logger. Arithmetic mean was utilized to analyze the data.

The findings showed that 1) the supercapacitors and batteries can be charged at a high currents to modify their charge and discharge behavior. However; the voltage must not be higher than the rating. Changes in voltage and current are transient. The amount of current used determined how long it took to charge a capacitor. The time was taken to fully store energy decreases with increasing current, 2) the effectiveness of using batteries and supercapacitors together for charging and discharging was shown that charging time for super capacitors, batteries, and solar cells was spent two hours and forty-eight minutes. Additionally, the supercapacitors and batteries discharge energy

to LED for eleven hours and thirteen minutes. Also, the SC connected batt's efficiency was 93.18 %, which can be illuminated batteries the university sign all night.

Keywords : Charging and discharging, Photovoltaic, Supercapacitors, Power source

บทนำ

ตัวเก็บประจุยิ่งยวดหรือตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงหรือตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวของประจุแบบสองชั้น (Electrochemical double-layer capacitors, EDLCs) หรืออัลตราคาปาซิเตอร์ (Ultracapacitor) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor, SC) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ในการประจุพลังงานไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่สามารถเก็บประจุ (Charge) และปล่อยประจุ (Discharge) ได้อย่างรวดเร็ว [1-2] จะนำมาใช้ร่วมกับการเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแบตเตอรี่เพื่อลดระยะเวลาในการเก็บประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บประจุของแบตเตอรี่ด้วย เนื่องจากตัวเก็บประจุยิ่งยวดใช้ระยะเวลาในการเก็บประจุเร็วกว่าแบตเตอรี่ทำให้การเกิดความร้อนสะสมต่ำการสูญเสียพลังงานลดลงและเมื่อนำมาต่อเข้ากับแบตเตอรี่จะทำให้การเก็บประจุได้เร็วและยังช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานขึ้น ในการส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เดิมที่ส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัยด้วยระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง แต่เนื่องจากบางวันในช่วงเวลากลางคืนระบบไฟฟ้าดับทำให้ไม่สามารถมองเห็นป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีได้ และสำหรับการใช้แบตเตอรี่เพียงลำพังเพื่อให้แสงสว่างป้ายมหาวิทยาลัย จะใช้เวลาเก็บประจุ (Charge) นาน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของแต่ละวัน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ต่อร่วมกันสำหรับการประยุกต์ใช้งานส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี มุ่งเน้นทำการศึกษาการเก็บประจุจากพลังงานแสงอาทิตย์และการปล่อยประจุให้กับไฟส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัย เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบการเก็บประจุอย่างมีประสิทธิภาพและการทดแทนแบตเตอรี่ รวมทั้งนำไปสู่การส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีอย่างมีประสิทธิภาพตลอดทั้งคืนต่อไป

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่
- 1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ในการเก็บประจุและปล่อยประจุ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาการเก็บประจุและการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ที่ผู้วิจัยศึกษาและควรกล่าวถึงมีดังนี้

Farshid N, Ebrahim F, Mehdi A, and Zahra K. [1] งานวิจัยเรื่อง “Online condition monitoring and fault detection of large supercapacitor banks in electric vehicle applications” ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการใช้ขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า (EV) โดยกล่าวถึงกระบวนการเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด แสดงให้เห็นค่าความต้านทานอนุกรมภายในเทียบเท่า (ESR) และความจุสองชั้น นอกจากนี้มีการตรวจสอบสภาพและการตรวจจับข้อผิดพลาดของตัวเก็บประจุยิ่งยวด สำหรับเงื่อนไขการตรวจสอบอัลกอริทึม RELS ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ปัจจัยการใช้เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ด้านอายุบนพื้นฐานของสัญญาณตกค้างที่กำหนดเป็นความแตกต่าง ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

Judy M. Amanor-Boadu, Mohamed A. Abouzied, and Edgar Sánchez-Sinencio [2] งานวิจัยเรื่อง An Efficient and Fast Li-ion Battery Charging System Using Energy Harvesting or Conventional Sources. ได้นำเสนอ ระบบการชาร์จแบตเตอรี่แบบหลายอินพุตที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการชาร์จของแบตเตอรี่

ลิเทียมไอออน (Li-ion) เครื่องชาร์จแบบพัลส์, ตัวแปลง dc-dc แบบ step-down และตัวควบคุมเครื่องชาร์จแบบพัลส์ช่วยให้การชาร์จผ่านตัวรับติดผนังหรือระบบเก็บพลังงานใช้เทคนิคการชาร์จที่เพิ่มประสิทธิภาพการชาร์จแบบเตอรี Li-ion ตัวควบคุมทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบพลังงานและเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับการชาร์จทั้งผ่านระบบจัดเก็บพลังงาน ผลการทดลองตรวจสอบว่าเครื่องชาร์จแบบพัลส์ที่เสนอลดเวลาในการชาร์จ 100 mAh และแบบเตอรี Li-ion 45 mAh ตามลำดับ 37.35% และ 15.56% และปรับปรุงประสิทธิภาพการชาร์จได้ 3.15% และ 3.27% เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการชาร์จแรงดันกระแสคงที่มาตรฐาน (CC-CV) ตัวแปลง step-down dc-dc มีประสิทธิภาพสูงสุด 90% และการทำงานของตัวควบคุมพลังงานได้รับการตรวจสอบโดยการชาร์จแบบเตอรีผ่านทางเทอร์โมอิเล็กทริก

Rahul Chakole, M.V. Palandurkar and M.M. Renge. [3] งานวิจัยเรื่อง Energy Management of Supercapacitor with DC-DC Converter. ได้นำเสนอประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดโดยใช้วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์รักษาแรงดันเอาต์พุตคงที่ ด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB Simulink และการทดลองการค้นหาค่าโดยใช้ Digital Signal Controller (DSC) แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืนแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ดังนั้นระบบการจัดเก็บพลังงานได้กลายเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีข้อได้เปรียบในการแข่งขันเหนือแบตเตอรี่เช่นความหนาแน่นพลังงานสูงและการชาร์จอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์มีประโยชน์คือให้ประสิทธิภาพที่ดีและราคาที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังช่วยให้ได้ระดับพลังงานสูงและการลดลงของกระแสกระเพื่อม

Adnan Rafi Al Tahtawi and Arief Syaichu Rohman. [4] งานวิจัยเรื่อง Simple Supercapacitor Charging Scheme in Electrical Car Simulator by Using Direct Current Machines. ได้นำเสนอรูปแบบการชาร์จที่ได้รับการออกแบบในระหว่างการเบรกและชะลอเบรกในรถยนต์ไฟฟ้า รูปแบบการชาร์จที่ออกแบบมาของตัวเก็บประจุยิ่งยวดนั้นจะถูกนำไปใช้และทดสอบในรถยนต์ไฟฟ้าจำลอง ตัวจำลองถูกสร้างขึ้นครั้งแรกตามตัวจำลองที่เผยแพร่ก่อนหน้านี้ซึ่งรู้จักกันในชื่อ Proto drive ส่วนประกอบหลักของเครื่องจำลองคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสองตัว (DCMs) พร้อมแกนหมุนที่เชื่อมโยง แบบแผนได้รับการทดสอบในเครื่องจำลองโดยใช้สามรูปแบบของถนนที่ออกแบบนั้นคือ เนินเขาหนึ่งเนิน สองเนิน และรูปร่างของถนนรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวเก็บประจุยิ่งยวดนั้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของมุมลาดเอียงของรูปแบบถนน ตัวเก็บประจุยิ่งยวดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานสูงกว่าตัวเก็บประจุปกติ นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการชาร์จและดิสชาร์จประจุที่รวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่น ๆ เนื่องจากข้อได้เปรียบนี้แล้วตัวเก็บประจุยิ่งยวดมักถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานเพิ่มเติมในรถยนต์ไฟฟ้า ในระหว่างการเบรกตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามารถชาร์จและดิสชาร์จพลังงานไฟฟ้าได้เร็วขึ้น

Jiang X, Zhang J, and Jian W. [6] งานวิจัยเรื่อง “The Analysis of Ultracapacitor Charging Efficiency” ได้นำเสนอทฤษฎีการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวด ให้มีประสิทธิภาพการชาร์จของกระแสและแรงดันคงที่ การศึกษาประสิทธิภาพการชาร์จ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น วิธีการชาร์จที่แตกต่างกันของ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด เป็นการทดสอบที่กระแสค่าต่างกัน โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบความสมบูรณ์ มีการยืนยันความจริงโดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบและวิเคราะห์จากทฤษฎี สุดท้ายจะได้วิธีการชาร์จที่ดีที่สุดสำหรับ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด การดำเนินศึกษารายละเอียดการชาร์จตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพียงหนึ่งตัว ผลที่ได้สามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ชาร์จและเพิ่มเติมการชาร์จในหลักการพื้นฐานการต่ออนุกรมและขนานสำหรับงานวิจัย ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีการชาร์จหลายวิธี เช่น ชาร์จพลังงานคงที่ การชาร์จแบบพัลส์ และอื่น ๆ มีวิธีการชาร์จมากมายที่จะได้รับการศึกษาการทำงานในอนาคต

Bodnar R., Redman W., and White W. [7] งานวิจัยเรื่อง “A 250W/30A Fast Charger for Ultracapacitors with Direct Mains Connection” ได้นำเสนอรูปแบบการชาร์จอย่างรวดเร็วและขนาดกะทัดรัดของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ต่อตรงกับแหล่งจ่าย 230VAC เครื่องชาร์จจะได้เอาพุตออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะช่วยชดเชยสำหรับการเหนี่ยวนำและพฤติกรรมอื่น ๆ ที่ไม่เหมาะสมในตัวเก็บประจุยิ่งยวด ที่ความถี่กลางและความถี่สูง ซึ่ง

เปลี่ยนแปลงความถี่สวิตชิงได้ในช่วงกว้างนี้จะช่วยให้วงจรปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (0 - 16.2V) และความผันผวนของระบบไฟฟ้าหลัก ด้วยเหตุนี้จะช่วยลดการสูญเสียได้มากกว่าการทำงานของเครื่องชาร์จทั่วไปและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

จากรายงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าตัวเก็บประจุยิ่งยวดให้ความหนาแน่นพลังงานสูง และสามารถชาร์จพลังงานได้ในเวลาที่รวดเร็ว ชาร์จด้วยปริมาณกระแสสูง ๆ ได้ ซึ่งแบตเตอรี่ไม่สามารถทำได้ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการใช้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดี สำหรับไฟส่องป้ายมหาวิทยาลัยในช่วงเวลากลางคืน โดยที่ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีวัฏจักรการใช้งานได้มากกว่าหนึ่งล้านวัฏจักร [9]

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทดลองการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดทดลองการเก็บประจุและปล่อยประจุ โดยต่อตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่และทดลองจ่ายพลังงาน (ปล่อยประจุ) ให้กับหลอดแอลอีดีโดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1.1 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด ศึกษาการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดยี่ห้อ ELNA [4] รุ่น DYNACAP 2.5V, 200F จำนวน 6 ตัว ต่ออนุกรมจะได้ขนาดพิกัด 33.33 F, 15V ดังภาพที่ 1(ก) และรุ่น DYNACAP 2.5V, 250F จำนวน 6 ตัว ต่ออนุกรมได้ขนาดพิกัด 41.66 F, 15V ดังภาพที่ 1(ข) นำมาต่อขนานกันได้ขนาดพิกัด ความจุรวมเป็น 75F, 15V จำนวน 1 ชุด ดังภาพที่ 1(ค) ซึ่งมีรอบการใช้งาน 10 ปี หรือ 1,000,000 วัฏจักร [9]



(ก) ขนาดพิกัด 33.33F, 15V



(ข) ขนาดพิกัด 41.66F, 15V



(ค) ขนาดพิกัด 75F, 15V

ภาพที่ 1 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

1.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Sealed Lead Acid Battery) ขนาด 12V, 42Ah แรงดันประจุสูงสุด 14.4-14.8V แรงดันต่ำสุด 9.6 V อายุการใช้งาน 2-3 ปี หรือ 500-600 วัฏจักร

1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ เลือกใช้เป็นชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ C-Si) เลือกใช้ยี่ห้อ SUNTECH ขนาดกำลังไฟฟ้า 100W กระแส 5.55A แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 18V ต่อขนานกัน 2 แผง ติดตั้งชั้นดาดฟ้าอาคาร 1 ชั้น 15

1.4 หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode : LEDs) ขนาด 10W, 12V จำนวน 6 หลอดรวมเป็น 60W

1.5 เครื่องบันทึกข้อมูลหรืออุปกรณ์เก็บข้อมูลยี่ห้อ AGILENT 34970a BENCHLINK DATA LOGGER ใช้ในการบันทึกค่าแรงดันและกระแส การวัดกระแสจะวัดผ่านตัวต้านทานชั๊นท์ (Shunt Resistor) มีค่าความต้านทาน 0.001 Ω

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

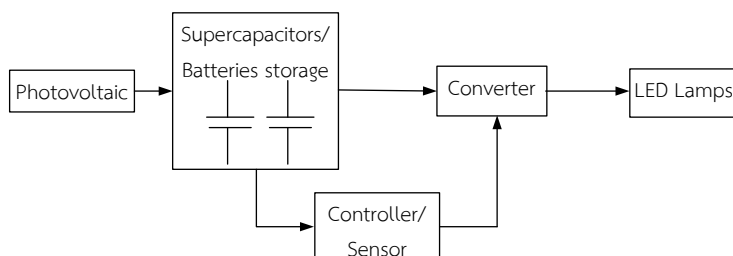
2.1 ประชากร ได้แก่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดยี่ห้อ ELNA

2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดรุ่น DYNACAP 2.5V, 200F จำนวน 6 ตัว ต่ออนุกรมได้ขนาดพิกัด 33.33 F, 15V และรุ่น DYNACAP 2.5V, 250F จำนวน 6 ตัว ต่ออนุกรมจะได้ขนาดพิกัด 41.66 F, 15V นำทั้งสองรุ่นมาต่อขนานกันจะได้ขนาดพิกัดความจุเป็น 75F, 15V

3. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมการเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน แล้วนำพลังงานที่ได้ไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่ หลังจากนั้นในช่วงเวลากลางคืนตัวเก็บพลังงานทั้งสองจะจ่ายพลังงานให้กับหลอดแอลอีดีเพื่อให้แสงสว่างไฟส่องป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ได้ดำเนินการทดลองดังนี้

3.1 ทดลองต่อรวมตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ รับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และหลอดแอลอีดี การทดลองใช้งานจริงโดยติดตั้งที่ชั้นบน อาคาร 1 ชั้น 15 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี โดยต่อร่วมกันระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวดและหลอดแอลอีดีการทดลองได้ทำตามขั้นตอนดังภาพที่ 2

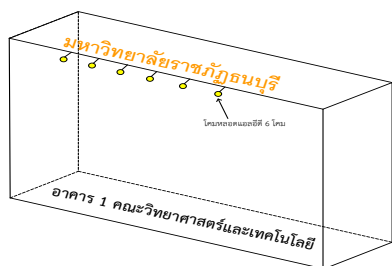


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่

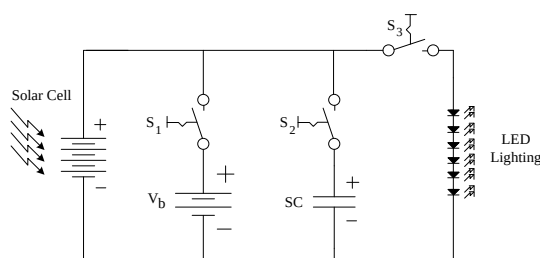
3.2 ติดตั้งตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ เซลล์แสงอาทิตย์ และหลอดแอลอีดี ชั้นดาดฟ้าอาคาร 1 ชั้น 15 ดังภาพที่ 3

3.3 การเก็บประจุโดยควบคุมการทำงานด้วยสวิตช์ S_1 และ S_2 และหยุดการประจุเมื่อแรงดันที่ขั้วตัวเก็บประจุยิ่งยวดเริ่มคงที่ วัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะเก็บประจุ ดังภาพที่ 4

3.4 การปล่อยประจุให้กับหลอดแอลอีดี โดยช่วงเวลากลางคืนไฟได้สวิตช์ (S_3) ต่อกับหลอดแอลอีดี บันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะปล่อยประจุ และวัดค่าปริมาณการส่องสว่างบริเวณป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ดังภาพที่ 4 โดยหยุดทดลองการปล่อยประจุเมื่อแรงดันที่หลอดแอลอีดีไม่สามารถให้แสงสว่างได้



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 4 วงจรสมมูล

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง เช่น กระแส แรงดัน และพลังงานไฟฟ้า

ผลการวิจัย

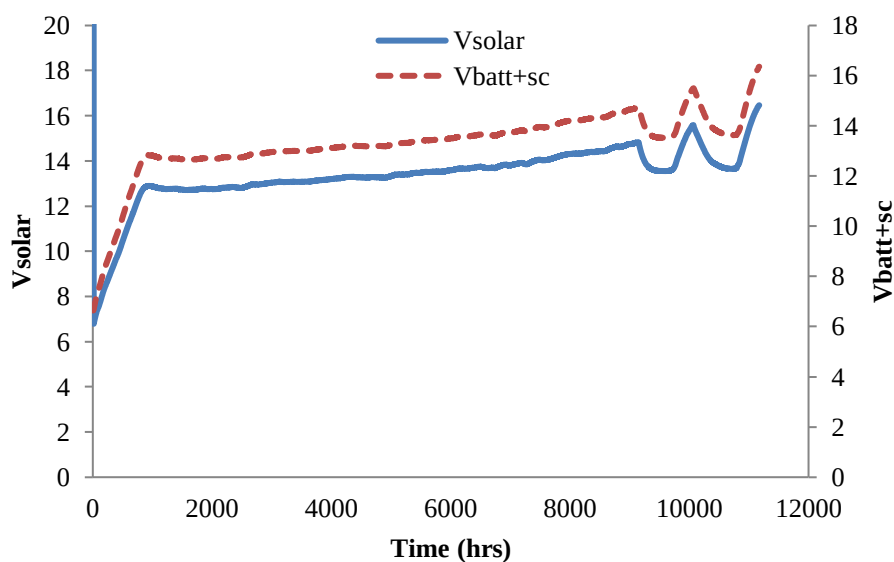
1. พฤติกรรมการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่

การต่อร่วมตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ เซลล์แสงอาทิตย์ และโคมพลอตแอลอีดี สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

1.1 พฤติกรรมการเก็บประจุ โดยต่อร่วมตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มแรกแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าสูงถึง 20.55V และเมื่อต่อตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่เข้าไป ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุยิ่งยวดเป็น 6.79V แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ 6.68V ตามภาพที่ 5 ส่วนกระแสเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดช่วงแรกจะเกิดแบบทันทีทันใด (Transient) แต่กระแสเก็บประจุของแบตเตอรี่จะเกิดแบบค่าคงที่ ตามภาพที่ 6 เวลาที่ใช้เก็บประจุจนเต็มพิกัดคือ 2 ชั่วโมง 48 นาที

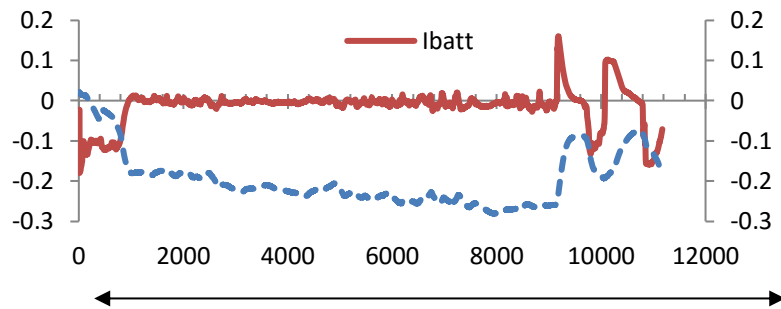
ตารางที่ 1 การเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดร่วมกับแบตเตอรี่

	V _{solar} (V)	V _{sc} (V)	V _{batt} (V)	I _{sc} (A)	I _{batt} (A)	t _{charge} (sec)	W _{s(sc)} (Joule)	W _{s(batt)} (Joule)
max	20.55	15.58	15.49	2.09	16.02	10083	1,239,152.17	42,994.85
min	6.79	6.79	6.68	-28.04	-17.99	0		
av	13.37	13.27	13.27	-19.28	16.02	-		



รับพลังงาน

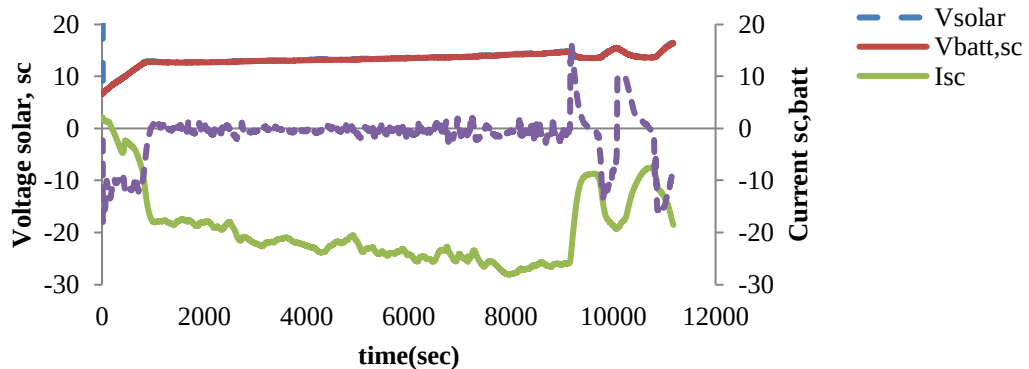
ภาพที่ 5 แรงดันช่วงเก็บประจุของตัวเก็บประจุกับแบตเตอรี่



รับพลังงาน

ภาพที่ 6 กระแสช่วงเก็บประจุของตัวเก็บประจุกับแบตเตอรี่

จากภาพที่ 6 กระแสช่วงเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ ซึ่งกระแสตัวเก็บประจุยิ่งยวดช่วงแรกจะเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดแล้วลดลงเป็นค่าลบหมายถึงเป็นตัวจ่ายพลังงาน ในขณะที่กระแสของแบตเตอรี่จะเป็นค่าบวกซึ่งหมายถึงเป็นตัวรับพลังงานจากตัวเก็บประจุยิ่งยวด



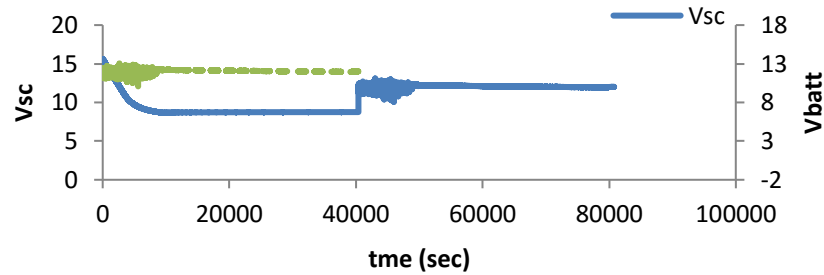
รับพลังงาน

ภาพที่ 7 กระแสและแรงดันช่วงเก็บประจุของตัวเก็บประจุกับแบตเตอรี่

1.2 การปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ ให้กับหลอดแอลอีดี โดยช่วงเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่จะมีค่าใกล้เคียงจนเกือบเท่ากันและแรงดันไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ใช้งานดังตารางที่ 2 และภาพที่ 8

ตารางที่ 2 ตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ปล่อยประจุให้กับหลอดแอลอีดี

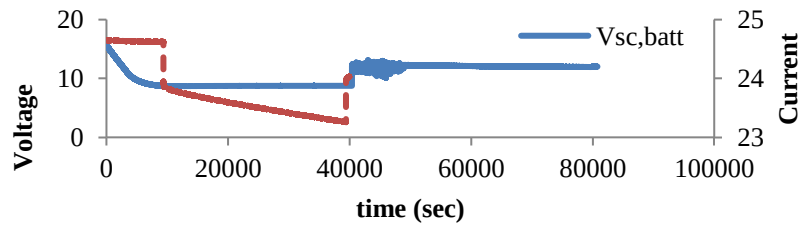
	V_{sc} (V)	V_{batt} (V)	I_{sc} (A)	I_{batt} (A)	t_{charge} (sec)	P (Watt)	$W_s(sc)$ (Joule)	$W_s(batt)$ (Joule)
max	15.59	13.07	2.09	16.02	40412	60.77	4,240,208.89	130,766.23
min	8.67	12.05	-28.04	-17.99	0	54.09		
av	9.21	10.07	-19.28	16.02	-	56.63		



ปล่อยพลังงาน

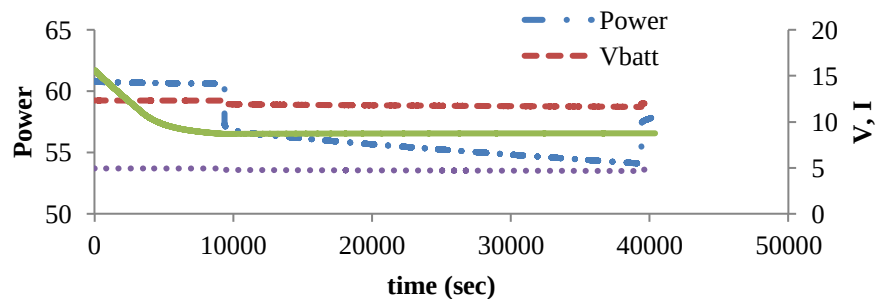
ภาพที่ 8 แรงดันที่ขั้วของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ช่วงปล่อยประจุให้หลอดแอลอีดี

จากภาพที่ 8 ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีค่าการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Stored Energy) ต่ำกว่าแบตเตอรี่ แต่ในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉพาะ (Specific Power) สูงกว่าแบตเตอรี่ นอกจากนี้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดยังมีวัฏจักร (Cycle) หรือรอบการใช้งานที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกเป็นระยะเวลานานโดยไม่เสื่อมประสิทธิภาพ



ปล่อยพลังงาน

ภาพที่ 9 แรงดันและกระแสปล่อยประจุให้หลอดแอลอีดี



ปล่อยพลังงาน

ภาพที่ 10 แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าช่วงปล่อยประจุให้หลอดแอลอีดี

2. ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ในการเก็บประจุและปล่อยประจุ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพในการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดพบว่ามีประสิทธิภาพสูง โดยพลังงานที่ใช้ในการเก็บประจุจะไม่แตกต่างมากนักเมื่อเทียบกับพลังงานในการปล่อยประจุที่เวลาเท่ากันและความแตกต่างของพลังงานด้านอินพุตกับพลังงานด้านเอาต์พุต

$$\text{ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ (}\eta\text{)} = \frac{W_c}{W_t} = \frac{W_c}{W_c + W_R} \quad (1)$$

$$\text{ความต้านทานอนุกรมภายใน (ESR)} = \frac{V_f - V_{\min}}{I_d} \quad (2)$$

$$\text{พลังงานสูญเสียที่เกิดจาก ESR : } W_R = (I^2)(R)(t) \quad (3)$$

จากภาพที่ 10 การจ่ายพลังงานหรือปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ให้กับหลอดแอลอีดี จะลดลงแบบเชิงเส้นช่วงเวลา 0 ถึง 3367 วินาที จากแรงดัน 15.59V ลดลงถึง 11.12V จากนั้นแรงดันจะลดลงอย่างช้า ๆ ช่วงเวลา 3367 ถึง 40412 วินาที จากแรงดัน 11.12V ลดลงเหลือ 8.75V ใช้เวลา 37045 วินาที หรือ 10 ชั่วโมง 17 นาที รวมเวลาในการปล่อยประจุ 40412 วินาที หรือ 11 ชั่วโมง 13 นาที ทำให้ได้ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดต่อรวมกับแบตเตอรี่เท่ากับ 93.18%

3. ประสิทธิภาพการส่องสว่าง

ประสิทธิภาพการส่องสว่าง [10] ดังสมการที่ (5) สำหรับไฟส่องป้ายมหาวิทยาลัยจากการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ให้หลอดแอลอีดีสปอตไลท์ (Spotlight LED) 10W, 12V จำนวน 6 ดวง โคม ทดลอง วัดปริมาณการส่องสว่าง (E) ดังสมการที่ (4) ได้กำหนดจุดที่วัดปริมาณแสงตกกระทบมากหรือน้อยที่สุด พบว่า ปริมาณการส่องสว่างที่ตำแหน่ง B มีปริมาณแสงสว่างมากที่สุดเท่ากับ 144 lux ที่ตำแหน่ง C ปริมาณแสงสว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 44 lux ปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ย 91.16 lux

$$\text{ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิว (E)} = \frac{I \times \cos \theta}{d^2} \quad (4)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (}\eta\text{)} = \frac{\text{Lumen}}{\text{watt}} \quad (5)$$



ภาพที่ 11 กำหนดจุดวัดปริมาณการส่องสว่างป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ตารางที่ 3 ปริมาณการส่องสว่างตามตำแหน่งที่กำหนด

ตำแหน่งวัดการส่องสว่าง	A	B	C	D	E	F
ปริมาณการส่องสว่าง (lux)	80	144	44	52	75	152

ตารางที่ 4 แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าช่วงปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่

ค่า	V _{solar} (Volt)	V _{sc} (Volt)	V _{batt} (Volt)	I _{sc} (Amp)	I _{batt} (Amp)	t _{charge} (sec)	P (Watt)
สูงสุด	-	15.59	13.07	2.09	16.02	40412	60.77
ต่ำสุด	-	8.67	12.05	-28.04	-17.99	0	54.09
เฉลี่ย	-	9.21	10.07	-19.28	16.02	-	56.63

จากตารางที่ 4 พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด 15.59V กำลังไฟฟ้า 60.77W โดยมีค่าเฉลี่ย 9.21V กำลังไฟฟ้า 56.63W

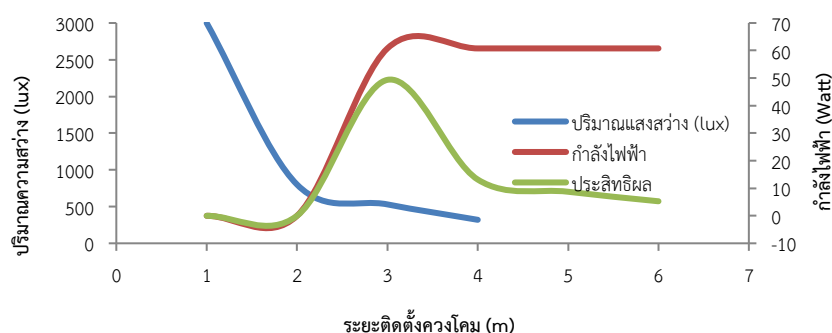


ภาพที่ 12 ป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีช่วงกลางคืน (22.00 น.)

ตารางที่ 5 ปริมาณการส่องสว่างตามระยะห่างที่ติดตั้งหลอดแอลอีดี

ระยะติดตั้งดวงโคม (meters)	ปริมาณแสงสว่าง (lux)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ประสิทธิภาพ (%)
0.5	3000	60.77	49.36
1.0	800	60.77	13.16
1.5	530	60.77	8.72
2.0	320	60.77	5.26

จากตารางที่ 5 ปริมาณส่องสว่างของหลอดสปอร์ตไลท์แอลอีดี 10W,12V จำนวน 6 หลอดที่ระยะห่าง 0.5m มีปริมาณแสงสว่างสูงสุด 3000 lux กำลังไฟฟ้า 60.77W ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 49.36% และที่ระยะห่าง 2.0 m ปริมาณแสง 320 lux กำลังไฟฟ้า 60.77W ได้ประสิทธิภาพ 5.26% มีปริมาณแสงสว่างต่ำสุดและเป็นไปตามกฎการส่องสว่างที่เมื่อระยะทางยิ่งไกลปริมาณแสงสว่างจะลดลงและความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า ปริมาณความสว่าง และประสิทธิภาพของดวงโคมการให้แสงสว่างป้ายมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี โดยการปล่อยพลังงานจากตัวเก็บประจุยิ่งยวด ซึ่งมีข้อดีคือเวลาที่ใช้ในการเก็บพลังงานจะเร็วกว่าแบตเตอรี่เพียงลำพังถึง 70% ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กำลังไฟฟ้า และปริมาณแสงสว่าง

การอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาพฤติกรรมการเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ที่สามารถเก็บประจุที่กระแสสูงได้ กระแสของตัวเก็บประจุยิ่งยวดช่วงแรกจะเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดแล้วลดลงเป็นค่าลบหมายถึงเป็นตัวจ่ายพลังงาน ในขณะที่กระแสของแบตเตอรี่จะเป็นค่าบวกซึ่งหมายถึงเป็นตัวรับพลังงานจากตัวเก็บประจุยิ่งยวด ขณะเดียวกันกระแสเก็บประจุของแบตเตอรี่จะเกิดแบบคงที่ เวลาที่ใช้เก็บประจุจนเต็มพิกัดจะใช้เวลาเร็วกว่าการชาร์จแบตเตอรี่เพียงลำพัง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Xuehuan Jiang และคณะ [6] การปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ ให้กับหลอดแอลอีดี โดยช่วงเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่จะมีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ปล่อยประจุให้กับหลอดแอลอีดี

2. ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการเก็บประจุและปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงถึง 93.18% โดยพลังงานที่ใช้ในการเก็บประจุจะไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับพลังงานในการปล่อยประจุที่เวลาเท่ากัน การจ่ายพลังงานหรือปล่อยประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ให้กับหลอดแอลอีดีจะลดลงแบบเชิงเส้น จากนั้นแรงดันจะลดลงอย่างช้า ๆ รวมเวลาในการปล่อยประจุ 11 ชั่วโมง 13 นาที ซึ่งสามารถให้แสงสว่างป้ายมหาวิทยาลัยได้ตลอดทั้งคืน

3. ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยตัวเก็บประจุยิ่งยวดต่อร่วมกับแบตเตอรี่ จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้หลอดสปอร์ตไลท์แอลอีดี 60W, 12V พบว่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุด 49.36% ที่ระยะติดตั้งดวงโคม 0.5 m ซึ่งเป็นไปตามกฎการส่องสว่าง กฎของโคไซน์แลมเบิร์ต [10] เมื่อระยะทางยิ่งไกลประมาณแสงสว่างจะลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

- 1.1 การเก็บประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามารถประจุที่กระแสสูง ๆ ได้ แต่แรงดันไฟฟ้าไม่ควรเกินพิกัด
- 1.2 เมื่อต่อร่วมตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ สามารถประจุที่กระแสสูงได้ แต่เมื่อประจุจนเต็มแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ไม่ควรเกินพิกัดที่กำหนด

2. การวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 เนื่องจากตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีค่าความต้านทานภายในทำให้เมื่อประจุแรงดันเต็มพิกัดจำเป็นต้องมีวงจรสำหรับปลดโหลดออกจากระบบ
- 2.2 ควรสร้างวงจรแบบลำดับขั้นการทำงาน (Sequence) ระหว่างตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่ให้สลับกันทำงาน โดยเริ่มจากตัวเก็บประจุยิ่งยวดก่อนแล้วตามด้วยแบตเตอรี่
- 2.3 ควรศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ระยะเวลาคืนทุนของตัวเก็บประจุยิ่งยวดกับแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับการให้แสงสว่างจากการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Farshid N, Ebrahim F, Mehdi A, and Zahra K. (2017). Online condition monitoring and fault detection of large supercapacitor banks in electric vehicle applications. *IET Electrical Systems in Transportation*, 7(4), 318-326.
- [2] Judy M. Amanor-Boadu, Mohamed A. Abouzied, and Edgar Sánchez-Sinencio. (2018). An Efficient and Fast Li-ion Battery Charging System Using Energy Harvesting or Conventional Sources. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 65(9), 7383-7394.
- [3] Rahul Chakole, M.V. Palandurkar and M.M. Renge. (2016, July). *Energy Management of Supercapacitor with DC-DC Converter*. 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2016), Delhi, India. 4-6.

- [4] Adnan Rafi Al Tahtawi, Arief Syaichu Rohman. (2015, Aug 10-11). *Simple Supercapacitor Charging Scheme in Electrical Car Simulator by Using Direct Current Machines*. The 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics. Bali, Indonesia.
- [5] Jia H., Mu Y., and Qi Y. (2014). A statistical model to determine the capacity of battery-supercapacitor hybrid energy storage system in autonomous microgrid. *Int J Electr Power Energy Syst*, 54, 516-524.
- [6] Jiang X, Zhang J, and Jian W. (2013, Jun). *The Analysis of Ultracapacitor Charging Efficiency*. International Conference on Computational and Information Sciences, Shiyang China. 1198-1201.
- [7] Bodnar R., Redman W., and White W. (2011, Aug). *A 250 W/30A fast charger for ultracapacitors with direct mains connection*. 20th European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD 2011, Linköping, Sweden. 29-31.
- [8] J. Cao and A. Emadi. (2012). A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Power Electron*, 27(1), 122–132.
- [9] ELNA co.,Ltd. Electric Double Layer Capacitor. [http://www.capacitor/double layer/catalog/pdf/dlc_tecnote_e.pdf](http://www.capacitor/double%20layer/catalog/pdf/dlc_tecnote_e.pdf).
- [10] *Laws of Illumination*. <https://www.electrical4u.com/laws-of-illumination/>