

การสตาร์ทเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด A Starting of Internal Combustion Engine using Supercapacitor

อำภา สารศิริ¹ สุนัน หนองเหล็ก² และปณณภัทร ภูมิภาค³

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

²สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

³ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสตาร์ทเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวด โดยระบบดังกล่าว ประกอบด้วยโมดูลตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งสามารถใช้ทดแทนแบตเตอรี่ และใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ที่เสื่อมหรือหมด สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1500 ซีซี สำหรับค่าความประจุของระบบมีค่าเท่ากับ 58.33 ฟารัด โดยคำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่า 3000 ถึง 3800 จูล และกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 0.1 Ah จากผลทดสอบ พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ทั้งการใช้งานแบบทดแทนแบตเตอรี่ และร่วมกับแบตเตอรี่ที่เสื่อม ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้า 3500 จูล และ 2200 จูล ตามลำดับ ส่วนกระแสไฟฟ้าทั้งหมดจ่ายได้ 0.09 Ah และ 0.07 Ah ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวเก็บประจุยิ่งยวด เครื่องยนต์สันดาปภายใน แบตเตอรี่

Abstract

This paper presents a starting internal combustion engine using the supercapacitor system, which one consists of supercapacitor modules connected into a series format. The present system can be operated to use instead of the battery and coupled with the dead battery for 1500 cc internal combustion engine. The supercapacitor system's capacitance is 58.33 F, which can be calculated by the starting engine energy using the battery between 3000 J and 3800 J. And the total starting current has about 0.1 Ah. The testing results, one can start an internal combustion engine into replaced battery mode and into coupled with the dead battery mode that starting energy has about 3500 J and 2200 J, respectively. Additionally, the total starting current has about 0.09 A-h and 0.07 Ah, respectively.

Keywords: Supercapacitor, Internal Combustion Engine, Battery

1. ข้อมูลทั่วไป

แบตเตอรี่รถยนต์ เป็นอุปกรณ์ที่สะสม และจ่ายไฟฟ้าโดยปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า ให้กับระบบการสตาร์ท หรือไคร์สตาร์ท เพื่อทำให้เครื่องยนต์เริ่มทำงาน โดยทั่วไปจะนิยมใช้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

สำหรับใช้งานแบบ SLI (start, light, ignitor) ซึ่งการเลือกใช้งานควรจะต้องพิจารณาค่า CCA (cold cranking ampere) อัตราดังกล่าวจะเป็นการชี้บอกถึงความสามารถหรือประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเฉพาะเครื่องยนต์ ข้อดีของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ได้แก่ ประสิทธิภาพต่ำ ราคาแพง ความสามารถเก็บพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักมีค่าต่ำ และอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากการที่แบตเตอรี่ชาร์จแล้วจ่ายพลังงานบ่อย ๆ ด้วยพลังงานที่มาก ๆ (เนื่องจากเป็นกระบวนการทางเคมี) จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว และเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้มีงานวิจัย [1] นำเสนอการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine) เนื่องจากความสามารถเก็บพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของตัวเก็บประจุมีค่าสูง และมีอายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

ดังนั้น ในบทความนี้จึงได้นำเสนอการสตาร์ทเครื่องยนต์เบนซิน (gasoline engine) ขนาด 1,500 ซีซี หรือ 1.5 ลิตร โดยใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด โดยจะพิจารณาการใช้งาน 2 เงื่อนไข ได้แก่ กรณีที่ใช้ทดแทนแบตเตอรี่ และกรณีที่ใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่เสื่อมหรือหมด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตัวเก็บประจุยิ่งยวด หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวของประจุแบบสองชั้น (Electrochemical Double-Layer Capacitors, EDLCs) ประกอบด้วย วัสดุที่มีรูพรุน ทำหน้าที่เป็นตัวสะสมกระแสไฟฟ้าและสารอิเล็กโทรไลต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำประจุไฟฟ้าที่จะแทรกผ่านรูพรุนของวัสดุ และเมื่อพิจารณาตัวเก็บประจุยิ่งยวดในรูปแบบวงจรสมมูล จะประกอบด้วย ความจุ (C) ความต้านทานอนุกรมเทียบเท่า (ESR) และความต้านทานแบบขนาน (EPR) ซึ่งสามารถที่จะคำนวณหาคุณลักษณะของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าจำเพาะ (usable specific power, W/kg)

$$P_d = \frac{0.12V^2}{ESR_{DC} \times mass} \quad (1)$$

กำลังไฟฟ้าจำเพาะสูงสุด (impedance match specific power, W/kg)

$$P_{\max} = \frac{V^2}{4 \times ESR_{DC} \times mass} \quad (2)$$

พลังงานจำเพาะ (specific energy, Wh/kg)

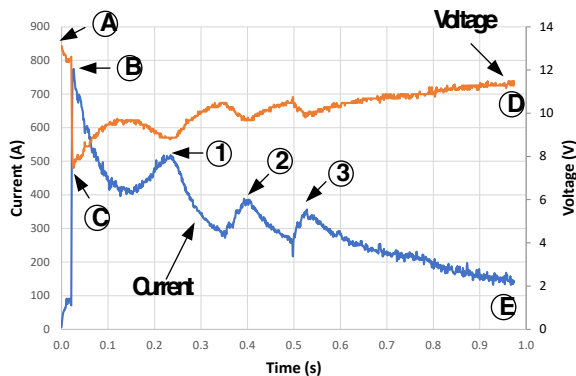
$$E_{\max} = \frac{1/2CV^2}{3600 \times mass} \quad (3)$$

พลังงานสะสม (storage energy, Wh)

$$E_{\text{stored}} = \frac{1/2CV^2}{3600} \quad (4)$$

2.2 การสแตร์ทรถยนต์

การสแตร์ทเครื่องยนต์ [2] ด้วยแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลา และกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในขณะที่เริ่มสแตร์ท ดังรายละเอียดรูปที่ 1 พบว่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ก่อนเริ่มสแตร์ทเครื่องยนต์ (ตำแหน่ง A) มีค่าเท่ากับ 12.8 V เมื่อได้สแตร์ทเครื่องยนต์ โดยป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์สแตร์ท พบว่ากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ป้อนให้กับมอเตอร์สแตร์ท (ตำแหน่ง B) มีค่าประมาณ 840 A ส่วนแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 7.6 V (ตำแหน่ง C) จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะลดลงเหลือประมาณ 400 A แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 9.8 V จากนั้นจะสังเกตพบว่ากระแสไฟฟ้ามีลักษณะเป็น pulse โดยค่าสูงสุดของแต่ละ pulse เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบน (ตำแหน่ง 1, 2 และ 3) เครื่องยนต์เริ่มมีการจุดระเบิด ความเร็วจะเพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเครื่องยนต์สแตร์ทติด ระบบจะตัดมอเตอร์สแตร์ทออกจากแบตเตอรี่ ซึ่งใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ 0.98 วินาที (ตำแหน่ง D และ E)



รูปที่ 1 แรงดันไฟฟ้ากับเวลา และกระแสไฟฟ้ากับเวลา ในขณะที่เริ่มสแตร์ท

3. การออกแบบระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดสำหรับสแตร์ทเครื่องยนต์

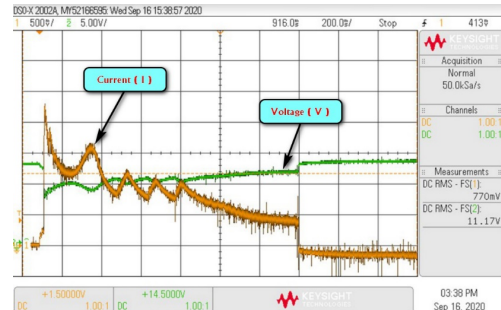
งานวิจัยนี้จะศึกษาและออกแบบ [3] ระบบการช่วยสแตร์ทรถยนต์ด้วยตัวเก็บประจุ มี 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดช่วยการสแตร์ทเครื่องยนต์ในกรณีที่ใช้ทดแทนแบตเตอรี่ของรถยนต์

กรณีที่ 2 เป็นระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดช่วยการสแตร์ทเครื่องยนต์ในกรณีที่แบตเตอรี่ของรถยนต์เสื่อมหรือหมด

3.1 การทดสอบเพื่อหาพลังงานสำหรับการสแตร์ทรถยนต์

รูปที่ 2 เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และสัญญาณกระแสไฟฟ้า ขณะที่สแตร์ทเครื่องยนต์ โดยได้ทำการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่าเวลาในการสแตร์ทอยู่ระหว่าง 0.9 และ 1.3 วินาที และมีกระแสสแตร์ทสูงสุดอยู่ระหว่าง 700 และ 770 A ซึ่งข้อมูลทั้งหมดแสดง ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จากการทดสอบสแตร์ทด้วยแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบสแตร์ทด้วยแบตเตอรี่

การทดสอบ	เวลาในการสแตร์ท (s)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (V)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)
ครั้งที่ 1	0.974	10.24	7.46	773
ครั้งที่ 2	1.313	10.12	7.19	770
ครั้งที่ 3	1.394	10.27	7.26	717

ข้อมูลกระแสที่ได้จากการทดสอบ นำมาคำนวณหากระแสไฟฟ้าทั้งหมด (I_{total}) ที่ใช้ในการสแตร์ทรถยนต์ ดังสมการที่ 5

$$I_{\text{total}} = \frac{I_{\text{avg}} \times t_{\text{start}}}{3600} = \frac{\sum_{n=2}^k \left[\frac{1}{2} (I_n + I_{n-1}) (t_n - t_{n-1}) \right]}{3600} \quad (5)$$

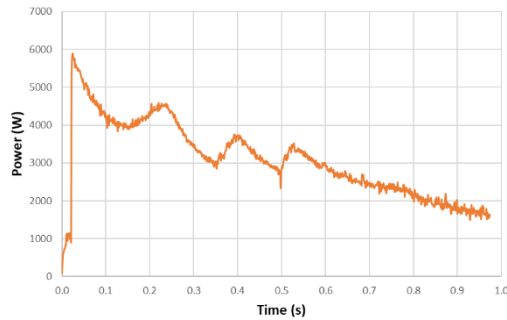
เมื่อกำหนดให้ t_{start} เป็นเวลาในการสแตร์ท k เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด ส่วน I_n และ t_n เป็นกระแสไฟฟ้า และเวลาที่ตำแหน่งข้อมูล n ตามลำดับ

จากนั้นนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (V_n) คูณกับข้อมูลกระแสไฟฟ้า (I_n) จะได้เป็นข้อมูลของกำลังไฟฟ้า (P_n) ที่ตำแหน่งข้อมูล n โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลา ดังรูปที่ 3 ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะสแตร์ทรถยนต์ และค่าพลังงานที่ใช้ในการสแตร์ทรถยนต์ ดังสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

$$P_{\max} = \text{MAX} [V_1 I_1, V_2 I_2, V_3 I_3, \dots, V_k I_k] \quad (6)$$

$$E_{\text{start}} = P_{\text{avg}} \times t_{\text{start}} = \sum_{n=2}^k \left[\frac{1}{2} (P_n + P_{n-1}) (t_n - t_{n-1}) \right] \quad (7)$$

ซึ่งพบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 5600 W พลังงานที่ใช้ในการสแตร์ทอยู่ระหว่าง 3000 ถึง 3800 J และกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการสแตร์ทมีค่าประมาณเท่ากับ 0.1 Ah แสดงข้อมูลตามตารางที่ 2



รูปที่ 3 กำลังไฟฟ้ากับเวลา ที่ได้จากทดสอบสตาร์ทด้วยแบตเตอรี่

ตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูงสุด พลังงาน และกระแสไฟฟ้าทั้งหมด ที่ได้จากทดสอบ

การทดสอบ	Maximum Power (W)	Energy (J)	Total Current (Ah)
ครั้งที่ 1	5899.07	3006.32	0.084471
ครั้งที่ 2	5526.62	3695.13	0.105454
ครั้งที่ 3	5515.16	3832.833	0.108126

3.2 การหาค่าตัวเก็บประจุยิ่งยวดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์

ค่าตัวเก็บประจุเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ตัวเก็บประจุสะสมหรือพลังงานที่ใช้สำหรับการสตาร์ท (E_{start}) และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ซึ่งได้จากการทดสอบการสตาร์ทรถยนต์โดยใช้แบตเตอรี่ โดยอ้างอิงข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากตารางที่ 1 พบว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการพิจารณา 2 แบบ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V_{avg}) และแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (V_{min}) ดังนั้นสามารถคำนวณค่าตัวเก็บประจุมากที่สุด (C_{max}) และค่าตัวเก็บประจุน้อยที่สุด (C_{min}) ได้จากสมการที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

$$C_{max} = \frac{2E_{start}}{V_{min}^2} \quad (8)$$

$$C_{min} = \frac{2E_{start}}{V_{avg}^2} \quad (9)$$

กรณีที่ 1 การหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับใช้ทดแทนแบตเตอรี่ของรถยนต์ ซึ่งอ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบการสตาร์ทรถยนต์ด้วยแบตเตอรี่ โดยแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย และแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด ได้จากตารางที่ 1 และพลังงานที่ใช้ในการสตาร์ท (E_{start}) ได้จากตารางที่ 2

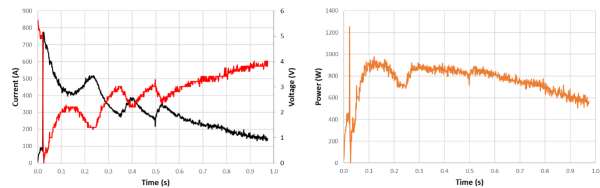
กรณีที่ 2 การหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่เสื่อมหรือหมด กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับแรงดันแบตเตอรี่ (12 V) ส่วนแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดได้จากผลต่างของแรงดันแบตเตอรี่กับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด จากตารางที่ 1 ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด พลังงานที่ใช้ในการสตาร์ท และกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการสตาร์ท แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3 และแสดงความสัมพันธ์ปริมาณทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 4

เมื่อคำนวณค่าตัวเก็บประจุมากที่สุดและค่าตัวเก็บประจุน้อยที่สุด ทั้งสองกรณี ด้วยสมการที่ 8 และ 9 ตามลำดับ พบว่าในกรณี

แรก ตัวเก็บประจุมีค่าอยู่ระหว่าง 41 F ถึง 72 F ส่วนกรณีที่ 2 ค่าอยู่ระหว่าง 10 F ถึง 89 F แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้งสองกรณี สามารถใช้ตัวเก็บประจุค่าเดียวกันได้ ซึ่งจะพิจารณาตัวเก็บประจุที่ได้จากกรณีแรก ดังนั้นตัวเก็บประจุควรมีค่าอยู่ระหว่าง 50 F ถึง 65 F

ตารางที่ 3 กำลังไฟฟ้าสูงสุด พลังงาน และกระแสไฟฟ้าทั้งหมด ในกรณีที่สอง

การทดสอบ	Maximum Power (W)	Energy (J)	Total Current (Ah)
ครั้งที่ 1	1249.98	736.02	0.08447015
ครั้งที่ 2	1199.45	963.94	0.10545213
ครั้งที่ 3	1368.91	1005.324	0.10812793



รูปที่ 4 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในกรณีที่สอง

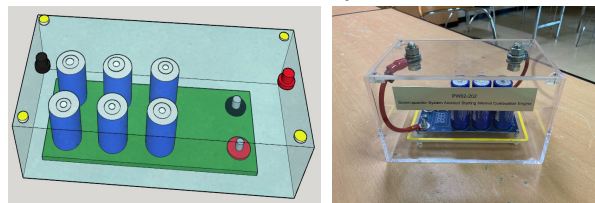
ตารางที่ 4 การออกแบบระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การทดสอบ	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
ครั้งที่ 1	41.75 F	57.34 F	10.22 F	71.41 F
ครั้งที่ 2	51.32 F	72.16 F	10.19 F	63.43 F
ครั้งที่ 3	53.23 F	72.74 F	13.96 F	89.49 F
เฉลี่ย	48.77 F	67.41 F	11.46 F	74.78 F

3.3 ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด

โดยทั่วไปไดชาร์จ หรือเครื่องปั่นไฟในรถยนต์ (alternator) จะผลิตแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 13.5 ถึง 14 V ดังนั้นระบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะต้องออกแบบให้ใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าได้อย่างน้อย 14 V และค่าเก็บประจุต้องอยู่ในช่วงที่ได้จากหัวข้อที่ 3.2

บทความนี้ เลือกใช้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดขนาด 2.7 V 350 F มีน้ำหนัก 60 กรัม ความต้านทานอนุกรมเทียบเท่า 3.2 มิลลิโอห์ม โดยนำตัวเก็บประจุ 6 ตัว มาต่ออนุกรม แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ต้นแบบระบบสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด

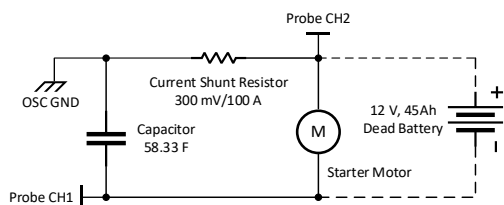
สามารถใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 16.2 V ค่าตัวเก็บประจุอยู่ที่ 58.33 F น้ำหนักรวมตัวเก็บประจุเท่ากับ 0.36 kg และความต้านทานอนุกรมเทียบเท่ารวมเท่ากับ 19.2 มิลลิโอห์ม และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะของระบบที่ได้ออกแบบสำหรับทั้งสองกรณี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ถึง 4 โดยแสดงข้อมูลต่างๆ ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดสอบสารถเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การใช้งาน	แรงดันไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าจำเพาะ	กำลังไฟฟ้าจำเพาะสูงสุด	พลังงานจำเพาะ	พลังงานสะสม
	(V)	(W/kg)	(W/kg)	(Wh/kg)	(Wh)
กรณีที่ 1	14	3,402.8	7,089.1	4.410	1.588
กรณีที่ 2	12	2,500	5,208.3	3.240	1.167

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด วัดข้อมูลด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป ร่วมกับโพรบวัดกระแส และโพรบวัดแรงดัน ตามวงจรการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 การทดสอบ ได้แก่ 1) การทดลองโดยใช้ตัวเก็บประจุทดแทนแบตเตอรี่ของรถยนต์ 2) การทดลองโดยใช้ตัวเก็บประจุร่วมกับแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่เสื่อมหรือหมด โดยแต่ละกรณีทำการทดสอบ 2 ครั้ง



ก) วงจรการทดสอบ



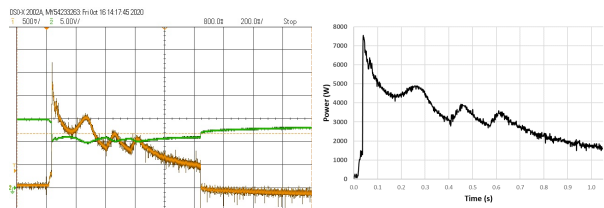
ข) การทดสอบสารถเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวดทั้งสองกรณี

รูปที่ 6 การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด

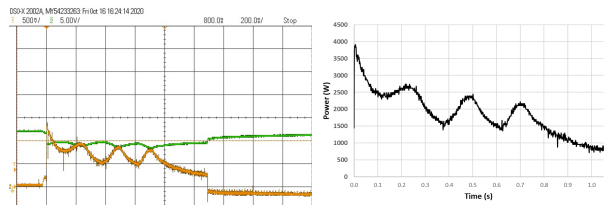
การทดสอบแรก แสดงผลการทดลอง ดังรูปที่ 7 พบว่าก่อนสตาร์ทรถยนต์ แรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 14.7 V เมื่อทำการสตาร์ทพบว่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 10 V กระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 750 A โดยเวลาในการสตาร์ท เท่ากับ 1.046 วินาที และกำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะสตาร์ทรถยนต์มีค่าเท่ากับ 7552.35 W

ส่วนการทดลองที่สอง ก่อนสตาร์ทเครื่องยนต์ แรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 12 V เมื่อทำการสตาร์ทพบว่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 9 V ส่วนกระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 440 A โดยเวลาในการสตาร์ท เท่ากับ 1.091 วินาที และกำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะสตาร์ทรถยนต์มีค่าเท่ากับ 3909.52 W แสดงดังรูปที่ 8

ปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด มีค่าประมาณ 0.1 Ah และ 0.065 Ah สำหรับกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นระบบตัวเก็บประจุที่ออกแบบ สามารถที่จะให้พลังงานไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ตามวัตถุประสงค์ สำหรับข้อมูลต่างๆ จากการทดสอบทั้งสองกรณี แสดงตามตารางที่ 6



รูปที่ 7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในการทดสอบกรณีที่ 1



รูปที่ 8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในการทดสอบกรณีที่ 2

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบสารถเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การทดสอบ	เวลา (s)	Average Voltage (V)	Maximum Power (W)	Energy (J)	Total Current (Ah)
กรณีที่ 1 การหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับใช้ทดแทนแบตเตอรี่					
ครั้งที่ 1	1.046	10.55	7552.35	3373.1	0.090299
ครั้งที่ 2	1.157	10.66	7888.8	3776.5	0.099729
กรณีที่ 2 การหาค่าตัวเก็บประจุสำหรับใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ที่เสื่อมหรือหมด					
ครั้งที่ 1	1.091	9.05	3909.52	2012.39	0.061939
ครั้งที่ 2	1.162	9.28	4246.38	2222.14	0.066576

5. สรุป

ระบบสารถเครื่องยนต์ด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่นำเสนอ สามารถที่จะนำไปใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ ขนาด 1500 ซีซี ให้เริ่มทำงานได้ทั้งกรณีที่ใช้ทดแทนแบตเตอรี่ และกรณีที่ใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่เสื่อมหรือหมด ตามวัตถุประสงค์การออกแบบ โดยให้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมด เพียงพอต่อการทำให้เครื่องยนต์เริ่มทำงานเท่านั้น สำหรับรถยนต์ที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมระบบต่างๆ ของรถยนต์ ควรจะต้องเพิ่มค่าเก็บประจุอีกประมาณ 3 ถึง 4 เท่า เพื่อให้มีพลังงานไฟฟ้าพอสำหรับป้อนให้กับระบบต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vivek Kumar Yadav, Navjot Bhardwaj, "Introduction to Supercapacitors and Supercapacitor Assisted Engine Starting System," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 8, pp. 583–588, August-2013.
- [2] Toshihiko Furukawa, "Capacitors for Internal Combustion Engine Starting with Green Technology DLCAP™," *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 3, pp. 233–237, 2009.
- [3] Petar J Grbovic, *Ultra-Capacitors in Power Conversion Systems : Analysis, Modeling and Design in Theory and Practice*, Wiley - IEEE Press, 2013