เครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

Lead Acid Battery Performance Tester

รัชต มั่งมีชัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพ 10530

E-mail: r_mangmeechai@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เสนอการออกแบบเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ทำงานเป็นวงรอบได้แก่การประจุแบตเตอรี่และทำการคายประจุแบตเตอรี่ และหยุดการทดสอบเมื่อความจุแบตเตอรี่น้อยกว่า 80% ของพิกัดแบตเตอรี่ เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ประกอบด้วย เครื่องประจุแบตเตอรี่กระแสคงที่ 40A เครื่องคายประะจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ 13.7V, 3A และ อิเล็กทรอนิกส์โหลด 38A และเครื่องบันทึกข้อมูล จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องทดสอบสามารถวนรอบ การประจุ การคายประจุแบตเตอรี่ได้ และหยุดการทดสอบได้เมื่อความจุแบตเตอรี่น้อยกว่า 80% ของพิกัดแบตเตอรี่ และคำนวณความจุของแบตเตอรี่ทดสอบได้ทุกรอบการทดสอบ

Abstract

This paper presents the design of lead acid battery performance tester. The battery tester operates in cycles by charging battery and discharging battery. The test will terminate when the capacity of the test battery less than 80% of the nominal capacity of battery. Battery tester consists of a 12V 40A constant current charger, a constant voltage 13.7V 3A charger, a 38A electronic load, and a data recorder. The results show that the battery tester can operating in cycles by charging battery and discharging battery and terminate the test when the capacity of test battery less than 80% of the nominal capacity of battery and can calculate capacity of battery every test cycle.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้งานรถไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เช่น โรงพยาบาล สนามกอล์ฟ โรงเรียน รีสอร์ท ฯลฯ ราคารถไฟฟ้าในท้องตลาดปัจจุบันยังคงมีราคาสูง เนื่องจากแบตเตอรี่ราคาแพง และแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานประมาณ 2-3 ปี ซึ่งเป็นอุปกรณ์สิ้นเปลืองที่มีอายุการใช้งานสั้น ในการเลือกแบตเตอรี่มาใช้งานจึงต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นสำคัญ ดังนั้นผู้ผลิตต้องสามารถระบุอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพื่อรับประกันอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้กับลูกค้า และส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อรถไฟฟ้าของผู้บริโภคด้วย อายุการใช้งานแบตเตอรี่หาได้โดย นับจำนวนรอบการทดสอบ

แบตเตอรี่ (1 รอบประกอบด้วย การประจุและคายประจุแบตเตอรี่) เมื่อค่าความจุแบตเตอรี่น้อยกว่า 80% จะได้จำนวนรอบการทดสอบแบตเตอรี่ใบนั้น ๆ การทดสอบแบบ Manual โดยบุคคล ในการทดสอบแบตเตอรี่แต่ละก้อน ต้องทำการทดสอบประจุและคายประจุหลายร้อยรอบจึงจะทำให้ค่าความจุของแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่า 80% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งต้องใช้เวลานาน ปัจจุบันเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่มีการสร้างและใช้งานแล้ว เช่น

- บริษัท BITRODE HEADQUARTERS รุ่น HD-CD-12-30-400 สามารถทดสอบแบตเตอรี่ได้สูงสุดจำนวน 12 ลูก ราคานำเข้า 1,600,000 บาทต่อเครื่อง (ไม่รวมค่าติดตั้ง) ผลิตโดยประเทศเยอรมัน [1]

- บริษัท Kraft Powercon India Private Limited รุ่น JF 330-50-12-CD.PC สามารถทดสอบแบตเตอรี่ได้สูงสุดจำนวน 12 ลูก ราคานำเข้า 1,300,000 บาทต่อเครื่อง (ไม่รวมค่าติดตั้ง) ผลิตโดยประเทศอินเดีย [2]

- บริษัท เพอร์เฟ็คท์ไทย อีเลคทริค จำกัด รุ่น CH-34030 สามารถทดสอบแบตเตอรี่ได้สูงสุดจำนวน 12 ลูก ราคาประมาณ 150,000 - 200,000 บาทต่อเครื่อง (ไม่รวมค่าติดตั้ง) ผลิตโดยประเทศไทย [3]

จากปริญญานิพนธ์ปี 2560 [4] ได้ทำเครื่องประจุ เครื่องคายประจุแบตเตอรี่ และระบบ Data Acquisition แต่พบว่าระบบทั้งหมดยังไม่สามารถทำงานร่วมกันเป็นระบบอัตโนมัติได้ จึงทำการพัฒนาโครงงานเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ให้มีความสามารถทำงานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่สำหรับผู้ผลิตและผู้ขายแบตเตอรี่

เครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ที่จัดทำนี้มีพิกัด Input 220-240VAC, Output 40A,12VDC โดยมีการประจุสองระบบ และหนึ่งระบบคายประจุ ความสามารถของเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่นี้ทำงานเป็นระบบอัตโนมัติสามารถเก็บข้อมูล และสามารถคำนวณความจุของแบตเตอรี่ได้เมื่อความจุของแบตเตอรี่น้อยกว่า 80% ของพิกัดแบตเตอรี่ ระบบจะสิ้นสุดการทดสอบโดยอัตโนมัติ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าและจ่ายพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ใช่อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้า และแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปพลังงานเคมี อาจประกอบด้วยเซลล์เพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่า สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง แต่จะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่เสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดีหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้งาน การบำรุงรักษา การประจุไฟฟ้า และอุณหภูมิ ฯลฯ ปัจจุบันมีแบตเตอรี่หลากหลายชนิดหลากหลายยี่ห้อในการเลือกใช้งาน

2.1 การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ [5]

เป็นการประจุแบตเตอรี่ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่ขั้นตอนนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุให้มีความจุประมาณ 80 % ของความจุที่พิกัด เมื่อแรงดันไฟฟ้าถึงแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

ของแบตเตอรี่ เครื่องประจุแบตเตอรี่จะเปลี่ยนวิธีการประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ระหว่างการประจุแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะลดลงต่อเนื่อง การประจุจะสิ้นสุดเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงถึงระดับที่กำหนด ปริมาณกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ จะอ้างอิงตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตแบตเตอรี่

จากรูปที่ 1 ตัวอย่าง ข้อมูลผู้ผลิต แบตเตอรี่ 12V 24Ah@20hr [6] หมายถึง แบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้า 12V ความจุ (C) 24Ah

กระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ $0.1CA$

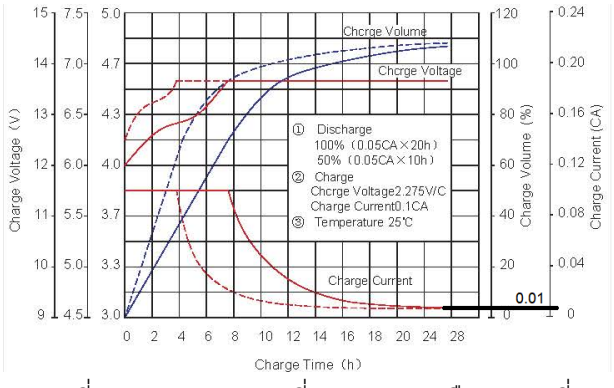
$$0.1\times 24 = 2.4 \text{ A}$$

แรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ใช้ประจุแบตเตอรี่ 2.275 V/Cell แบตเตอรี่ 12V มี 6 เซล

$$2.275\times 6 = 13.65 \text{ V}$$

หยุดการประจุแบตเตอรี่เมื่อกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า $0.01\,CA$

$$0.01\times 24 = 0.24 \text{ A}$$



รูปที่ 1 การประจุแบตเตอรี่ตามเอกสารคู่มือแบตเตอรี่

2.2 วิธีการคายประจุแบตเตอรี่ [5]

ค่าความจุของแบตเตอรี่ (C) สามารถหาได้โดยการทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด มีค่าความจุแปรผัน กับ ปริมาณกระแสไฟฟ้าในการคายประจุ ระยะเวลาในการคายประจุ และ แรงดันหยุดคายประจุ (Cut off Voltage)

ตัวอย่าง ข้อมูลผู้ผลิต แบตเตอรี่ 12V 24Ah@20hr [6] หมายถึง แบตเตอรี่มีความจุ (C) 24Ah ที่การคายประจุด้วยกระแสคงที่เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง ที่แรงดันหยุดคายประจุ 1.75 V/Cell

ปริมาณกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ใช้คายประจุแบตเตอรี่ให้หมดในเวลา 20 ชั่วโมง $0.05C$ A หรือ $\frac{C}{20}$ A

ดังรูปที่ 2

$$0.05\times 24 = 1.2 \text{ A}$$

แบตเตอรี่ 12V มี 6 เซล แรงดันหยุดคายประจุ

$$1.75\times 6 = 10.5 \text{ V}$$

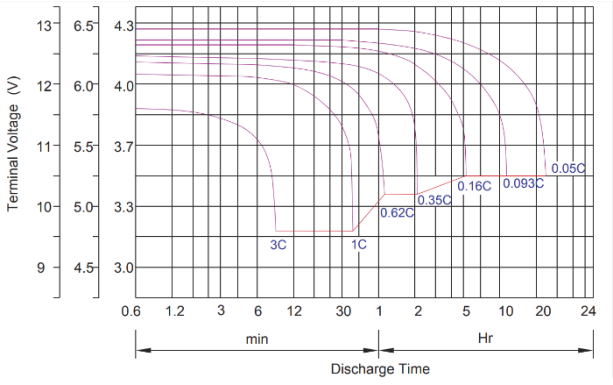
ความจุของแบตเตอรี่หาได้จากสมการที่ (1)

$$C = I \times \Delta t \qquad (1)$$

C : ความจุแบตเตอรี่ (CA)

I : กระแสไฟฟ้า (A)

Δt : ระยะเวลาในการคายประจุ (ชั่วโมง)



รูปที่ 2 การคายประจุแบตเตอรี่ตามคู่มือแบตเตอรี่

3. การออกแบบ

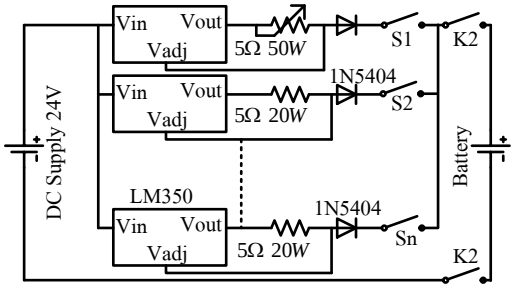
3.1 วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่สำหรับประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ (Constant Current: CC)

ใช้ LM350 ควบคุมกระแสด้านออก โดยต่อเป็นวงจร Current Regulator ให้สามารถควบคุมกระแสด้านออกได้สูงสุด 0-40A ดังนี้

แบบที่ 1 ออกแบบวงจรกระแสด้านออกคงที่ 2.50A จำนวน 15 ชุด

แบบที่ 2 ออกแบบวงจรกระแสด้านออกปรับค่าได้ 0-3A จำนวน 1 ชุด

นำวงจรทั้งหมด 16 ชุด ต่อขนานกัน จะได้วงจรควบคุมกระแสคงที่ในการชาร์จแบตเตอรี่ในโหมดคงที่กระแสไฟฟ้า สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 0 - 40A

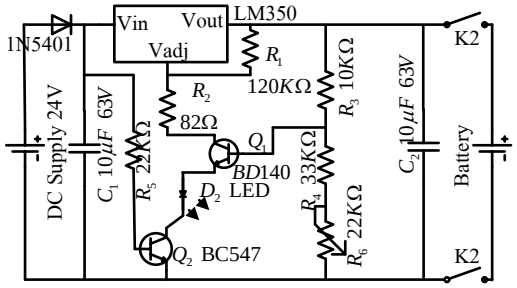


รูปที่ 3 วงจรควบคุมกระแสประจุแบตเตอรี่ในโหมดกระแสคงที่ ต่อขนานกันทั้งหมดรวม 16 ชุด 0-40 A

จากรูปที่ 3 การตั้งค่าการประจุแบตเตอรี่ในโหมดคงที่กระแสไฟฟ้า ให้กำหนดกระแสไฟฟ้าที่จะทำการประจุ ปิดวงจร S1-Sn ให้ได้กระแสตามที่กำหนด และใช้โปรแกรม LabView สั่งงานให้ K2 ทำงาน

3.2 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่สำหรับประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage: CV)

ใช้ LM 350 ควบคุมแรงดันด้านออก ต่อเป็นวงจร Voltage Regulator ควบคุมแรงดันคงที่ ที่ 13.70V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 3 A เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันคงที่

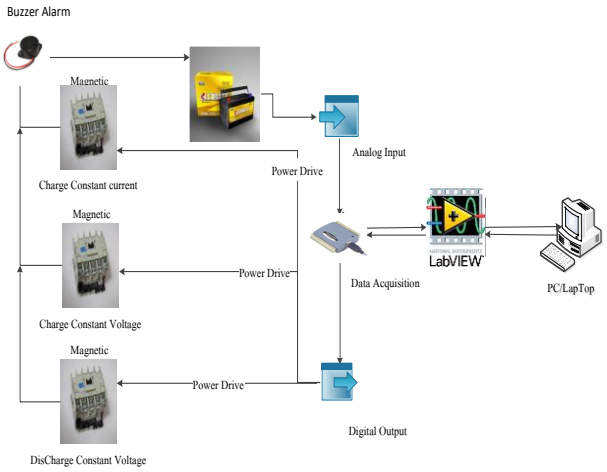


รูปที่ 4 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่สำหรับประจุแบตเตอรี่ในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 13.70 V

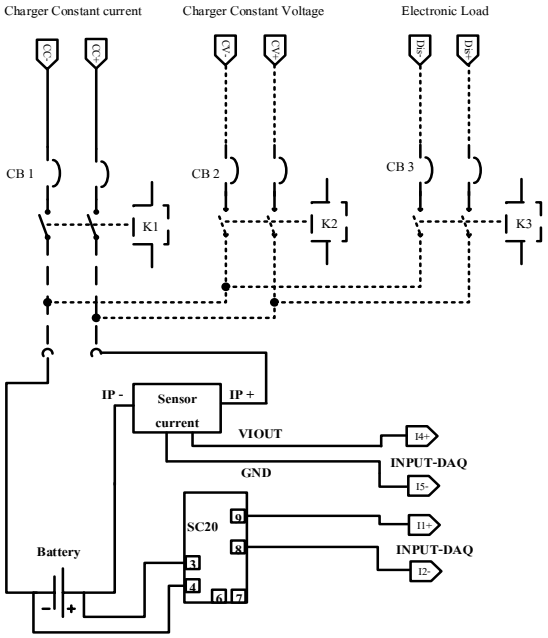
จากรูปที่ 4 หากแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าไม่เท่ากับ 13.70V สามารถปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ที่ R_6

3.3 การทำงานของเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

เครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่ แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ และ อิเล็กทรอนิกส์โหลด [7] และใช้ Magnetic contractor ในการตัดต่อวงจรระหว่าง แหล่งจ่ายกับแบตเตอรี่และแบตเตอรี่กับ อิเล็กทรอนิกส์โหลด และนำข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยใช้ Data Acquisition 8 ช่อง รุ่น USB-1208FS ความละเอียด 14 bit Sample rate 50 kS/s [8] และโปรแกรม LabView รับค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และควบคุมการทดสอบ



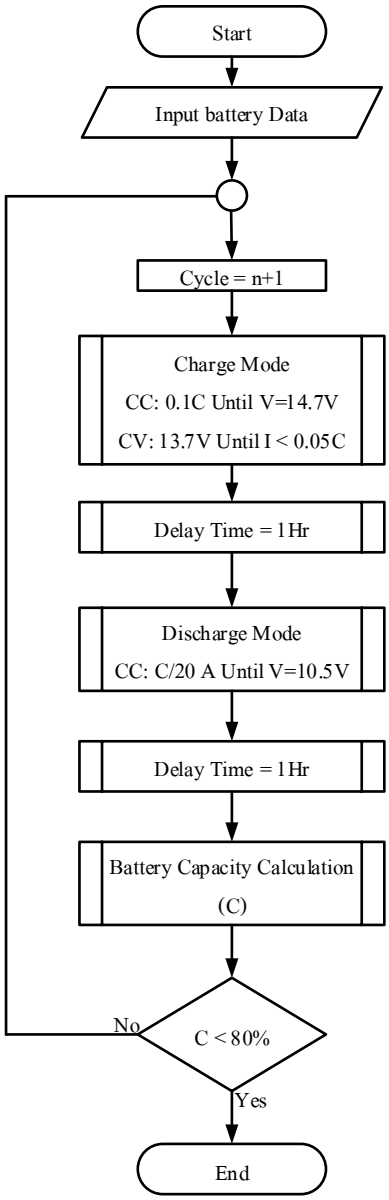
รูปที่ 5 ผังการทำงานของเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่



รูปที่ 6 วงจรกำลังของเครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6 สามารถวัด กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ได้โดยใช้ Current sensor ACS756XCB พิกัด 0-50 A [9] และ Universal Signal Conditioner SC20 [10] เป็น Voltage sensor วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 0-30 V Magnetic contractor K1 ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่โหมดกระแสคงที่ K2 ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่โหมดแรงดันคงที่ K3 ทำหน้าที่คายประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่

3.4 Flowchart การทำงานโปรแกรม



รูปที่ 7 Flowchart การทำงานโปรแกรม

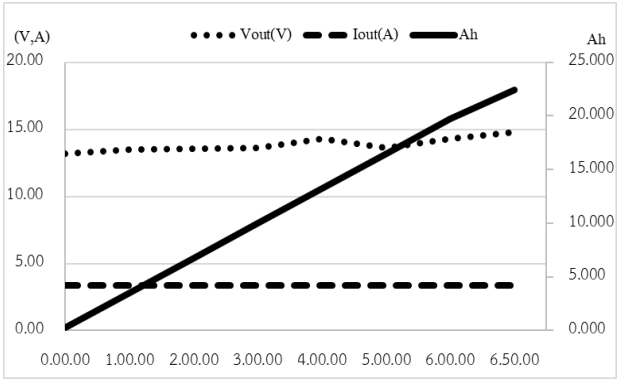
จากรูปที่ 7 เป็นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการทดสอบ อายุแบตเตอรี่ เริ่มต้นการทำงานด้วยการประจุแบตเตอรี่แบบ กระแสไฟฟ้าคงที่ (0.1C) เมื่อแรงดันไฟฟ้าถึง 14.7V จะเปลี่ยนโหมดการประจุแบตเตอรี่เป็นแรงดันคงที่ ที่13.7V หยุดการ

ประจุแบตเตอรี่ เมื่อกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่า 0.05C พักแบตเตอรี่ 1 ชม เพื่อให้อุณหภูมิแบตเตอรี่ลดลงถึงอุณหภูมิห้อง และทำการคายประจุแบตเตอรี่ และ เมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงถึง 10.50V หยุดการคายประจุ คำนวณค่าความจุแบตเตอรี่ ถ้าความจุแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 80% ของความจุแบตเตอรี่ ให้หยุดการทดสอบ ถ้าความจุมีค่ามากกว่า 80% ให้วนกลับไปเริ่มต้นการประจุแบตเตอรี่ใหม่ เกณฑ์การหยุดการทดสอบ Life cycle เมื่อความจุของแบตเตอรี่ ที่ทดสอบลดลงต่ำกว่า 80% ของความจุ ที่พิกัดแบตเตอรี่ อ้างอิงจากมาตราฐาน LEAD-ACID TRACTION BATTERS ของ Indian Standard [11]

4. การทดสอบ

4.1 การทดสอบประจุแบตเตอรี่แบบ Constant Current ที่ 0.1C

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบมีความจุ 32Ah ประจุแบตเตอรี่แบบ Constant Current โดยใช้กระแสคงที่ 0.1C 3.38A ตามคู่มือแบตเตอรี่ [12] หยุดการทดลองเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ถึง 14.87V ใช้เวลาในการทดสอบ 6 ชั่วโมง 50 นาที

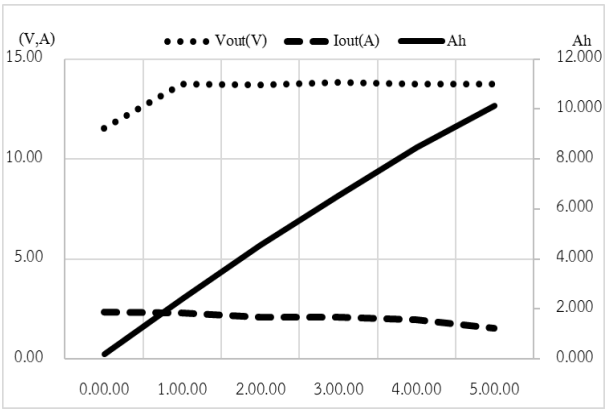


รูปที่ 8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่แบบ Constant Current

จากรูปที่ 8 กระแสไฟฟ้าไฟเข้าแบตเตอรี่ มีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความจุแบตเตอรี่

4.2 การทดสอบ Constant Voltage Charge

การประจุแบตเตอรี่แบบ Constant Voltage ทำการประจุแบตเตอรี่ ด้วยแรงดันประมาณ 13.74-13.84V ตามคู่มือแบตเตอรี่ [12] หยุดการทดสอบ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าแบตเตอรี่ลดลงถึง 1.60A จะใช้เวลาทดสอบ 5 ชั่วโมง

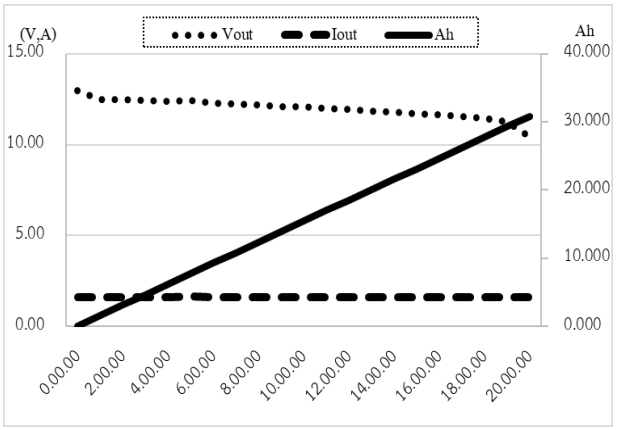


รูปที่ 9 แรงดันและกระแสไฟฟ้า แบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่แบบ Constant Voltage

จากรูปที่ 9 กระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงเมื่อตอนเริ่มต้นการประจุแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีความจุมากขึ้น กระแสไฟฟ้าจะลดลง

4.3 การคายประจุแบตเตอรี่ ที่เวลา 20 ชั่วโมง

การทดสอบการดิสชาร์จ ที่ 20 ชั่วโมง โดยทำการคายประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่ $\frac{32\text{Ah}}{20\text{h}} = 1.6\ \text{A}$ เมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงถึง 10.41V ใช้เวลาในการจ่ายประจุไฟฟ้าประมาณ 20.00 ชั่วโมง Capacity ของแบตเตอรี่มีค่า 31.099Ah มีค่าใกล้เคียงกับผู้ผลิต



รูปที่ 10 แรงดัน กระแสไฟฟ้า และความจุแบตเตอรี่

4.4 การทดสอบวนรอบประจุแบตเตอรี่และคายประจุแบตเตอรี่

ใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ในการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ด้วยกระแสไฟฟ้า 0.1C และใช้เวลาในการดิสชาร์จ 20 ชั่วโมง หนึ่งรอบการทดสอบตามรูปที่ 7 ใช้เวลาประมาณ 30 ชั่วโมง เพื่อลดระยะเวลาการทดสอบ การทดสอบที่ 4.4 และ 4.5 ใช้แบตเตอรี่ที่หมดอายุแล้วทำการทดสอบ แบตเตอรี่ที่หมดอายุจะมีความต้านทานภายในสูง เมื่อชาร์ตแบตเตอรี่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าถึง 14.7 V (เป็นจุดเปลี่ยนการทำงานของโปรแกรม) ภายในระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง และแบตเตอรี่ที่หมดอายุจะเก็บประจุไฟฟ้าไม่อยู่ เมื่อดิสชาร์จแรงดันจะลดถึง 10.5 V ภายในเวลา 0.5-1 ชั่วโมง การทดสอบหัวข้อ 4.4 และ 4.5 เป็นการตรวจสอบ จุดเปลี่ยนการทำงานของโปรแกรม สั่งการให้โปรแกรมทำงานแบบอัตโนมัติ กำหนดจำนวนการวนรอบ 10 รอบ จากผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมสามารถสั่งการให้ชุดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ ทำงานวนรอบได้ตามที่ออกแบบไว้

ตารางที่ 1 การวนรอบด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

Cycle	**ความจุ** (Ah)	**ความจุ** (%Ah)
1	1.92	6.00
2	1.43	4.48
3	1.33	4.18
4	1.24	3.88
5	1.22	3.84
6	1.39	4.35
7	1.42	4.44
8	1.29	4.03
9	1.27	3.97
10	1.35	4.21

4.5 การทดสอบอายุของแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ

กำหนดค่า Battery capacity ที่โปรแกรมจะหยุดการทดสอบ เท่ากับ 1.25Ah สั่งให้โปรแกรมเริ่มการทดสอบ โปรแกรมจะทำการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ พร้อมคำนวณค่าความจุ ทุกรอบการทดสอบ จากผลการทดสอบ ที่รอบการทดสอบรอบที่ 3 โปรแกรมคำนวณค่าความจุของแบตเตอรี่ได้น้อยกว่า 1.25Ah โปรแกรมหยุดการทดสอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการสั่งหยุดการทำงานด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

Cycle	**ความจุ** (Ah)	**ความจุ** (%Ah)
0	0	0
1	1.29	4.05
2	1.27	3.99
3	1.24	3.90

5. สรุปผลการทดลอง

เครื่องทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยทำการทดสอบการสั่ง

ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติไปยังชุดวงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ และโหลดอิเล็คทรอนิกส์ พร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูลแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณหาความจุแบตเตอรี่ และสั่งการทำงานให้วนรอบในการประจุ คายประจุแบตเตอรี่ และคำนวณหาค่าความจุ ในแต่ละรอบ และโปรแกรมจะหยุดทำงานเมื่อค่าความจุ ในรอบนั้น ๆ มีค่าน้อยกว่า 80% ของค่าความจุของแบตเตอรี่

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ นายนาวิน ปานเงิน นางสาววรรณภา สุทธิวงษ์ นายอุดม นันทะแสง และนายวัชพงษ์ เทวะปรมาภรณ์ เก็บข้อมูลการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท BITRODE HEADQUARTERS รุ่น HD-CD-12-30-400: http://www.bitrode.com

[2] บริษัท Kraft Powercon India Private Limited รุ่น JF 330-50-12-CD.PC: http://www.kraftpowercon.com, http://www.powercon.biz

[3] บริษัท เพอร์เฟ็คท์ไทย อีเลคทริค จำกัด รุ่น CH-34030: http://www.perfectthai.net/product-category/battery- tester/

[4] ยิ่งศักดิ์ คำภา, พีรวิชญ์, วิชัยศิริมงคล, ปณิธาน ชัยศิริ, สาคร โมลี “ระบบประจุแบตเตอรี่รถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้า” ปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, 2560

[5] Michael Root, The TAB Battery Book An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use, McGraw Hill,2011

[6] Spa battery. SPA SL1-24E(12V24Ah)

[7] รัชต มั่งมีชัย “การออกแบบภาระอิเล็กทรอนิกส์ชนิดกระแสคงที่สำหรับทดสอบความจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรด” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, 2561

[8] USB-1208LS Analog and Digital I/O, June 2015: http://www.mccdag.com

[9] Datasheet-ACS756XCB http://www.allegromicro.com, https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/936283/

[10] Wisco Universal Signal Conditioner [Online]. Available: https://www.wisco.co.th/main/sites/default/files/manualls/SC20%20Manual%20V2.1.2.pdf

[11] LEAD-ACID TRACTION BATTERIES Part 1 General Requirements and Methodes of Test, Indian Standard, Second Revision.

[12] Globatt-Battery GlobattPACE36B20L (32Ah12V)