

การวิเคราะห์ผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Analysis of the Effect of Lead Acid Battery from mathematical model

นพรุจ อุตทานนท์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักติพิชญ์ บุญยัง ปลั่งกลาง วารุณี อริยวิริยะนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3571 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ ผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์ปัญหาการอัดประจุ โดยใช้องค์ประกอบทางไฟฟ้าเป็นวงจรสมมูลแทนค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งาน โดยมีกรกล่าวถึง สถานะการประจุ ซึ่งผลที่ได้จะสามารถนำไปพัฒนาหรือเป็นแนวทางในการพัฒนาแบตเตอรี่ในอนาคต การจำลองการทำงานได้ทำการอัดประจุในรูปแบบต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างชัดเจน สามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นและเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้ต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด-สถานะประจุ

Abstract

This paper presents the analysis of the effect of lead-acid battery from mathematical model. The analysis of charge period is very important. This study uses the electrical components as the parameter of the battery that have influence to life cycle of battery. The state of charge is also the indicator of this study. The simulation results show that the effect of each parameter can reduce life cycle of battery and the amplitude of battery voltage is changed when applied by the AC supply. The study can be the primary study for choosing the optimal battery in the renewable energy application.

Keywords: Lead-Acid Battery , (State- of - Charge, Soc)

1. บทนำ

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมในด้านอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด หลายประเภท นิยมเรียกชื่อกันตามสารที่ใช้ผสมหรือคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งแต่ละชนิด แต่ละประเภท มีขอบเขตการใช้งาน ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของแต่ละชนิด ปัญหาหลักของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ อายุการใช้งานที่สั้นกว่าควรเป็น หรือ ช่วง Lifetime ด้วยจากสาเหตุต่างๆ เช่น ผู้ใช้งานขาดทักษะในการใช้งาน แบตเตอรี่ขาดการบำรุงรักษาที่ดี หรือ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมกับงาน หรือ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ไม่ดีพอ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรานำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดไปใช้งานด้านพลังงานทดแทนซึ่งต้องมีการพ่วงต่ออุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผลกระทบกับการทำงานในการอัดประจุและคายประจุ ปัญหาเหล่านี้ หากเรามีการจำลองวงจรโดยออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และ ใช้องค์ประกอบวงจรไฟฟ้าแทนที่เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งาน เราก็สามารถหาผลที่ได้มาเป็นแนวทางในการสร้าง และ พัฒนา แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เพื่อให้เหมาะสมกับงานด้านพลังงานทดแทนต่อไป

จากงานวิจัยที่[1] ได้นำเสนอเซลล์แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็ก 1Ah, 2Ah, 2.5Ah เปรียบเทียบรูปทรงของเซลล์แบตเตอรี่ที่แตกต่างกันระหว่างรูปทรงกระบอกและรูปทรงเซลล์แผ่นตามมาตรฐาน IEC โดยใช้องค์ประกอบวงจรไฟฟ้าแทนที่เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ทำการหาค่าเพื่อเปรียบเทียบชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ทั้งสองชนิดเพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าสถานะในการอัดประจุ (State-of-Charge, SOC) ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA) โดยใช้ค่ากำหนดทางมาตรฐาน IEC61056 ด้วยเรื่องของขนาดและชนิดของเซลล์

จากงานวิจัย[2] ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการทำนายผลทางไฟฟ้าจากการจำลองวงจรแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นวงจรทางไฟฟ้า เพื่อหาค่าสถานะการอัดประจุ (State-of-Charge, SOC) สถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ (State-of-health, SOH) และ สามารถตรวจสอบ ความสามารถทำนายอาการในระบบไฟฟ้า และระบบไฟฟ้ารวมในยานพาหนะ เพื่อเป็นพื้นฐานรูปแบบแบตเตอรี่ที่ทำงานในช่วงพลวัต ของระบบผสมผสาน

จากงานวิจัย[3] นำเสนอรูปแบบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในช่วงพลวัต เพื่อใช้ประโยชน์เกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ภายในบ้าน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะสมกับงานและนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านพลังงานทดแทนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ผลกระทบในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หรือ คุณสมบัติทางสมรรถนะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ยังมีข้อเสีย คือประสิทธิภาพ และอายุการใช้งาน

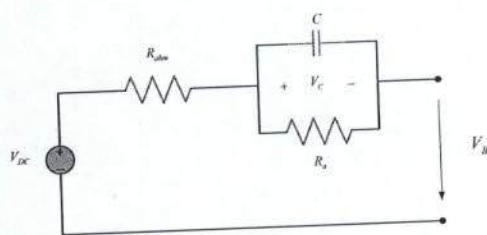
ดังนั้นบทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ซึ่งทำงานในช่วงประจุ โดยมีไฟที่ใช้ในการอัดประจุ โดยมีไฟกระแสตรง กระแสสลับและมีความถี่เข้ามาเกี่ยวข้อง

บทความนี้ประกอบด้วย 5 หัวข้อ หัวข้อที่ 1 ได้กล่าวถึงบทบาทของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 2 นำเสนอแบบจำลองแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 3 การออกแบบวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 4 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หัวข้อที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

2. แบบจำลองแบตเตอรี่ตามสมการเทวินิน

พฤติกรรมของแบตเตอรี่เมื่อเราอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเมื่อกระแสเต็มมันจะหยุดทำงานทันที แต่ก่อนที่กระแสจะหยุดทำงาน (Current interruption) ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ คำนวณหาได้จากสมการเทวินิน ดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 วงจรทางไฟฟ้าจากสมการเทวินินได้จำลองรูปแบบภายในแบตเตอรี่โดยมี R และ RC ขนาน สามารถเห็นภาพทางวงจรไฟฟ้า หาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองแบตเตอรี่ตามสมการเทวินิน

$$R_{ohm} = \frac{V_{Rohm}}{I} \quad (1)$$

$$I = \frac{V_{DC}}{R_{ohm}} - V_C \quad (2)$$

$$R_a = \frac{\Delta V_a}{I} \quad (3)$$

$$V_C = \int \frac{1}{C} \cdot (I - \frac{V_C}{R_a}) \cdot dt \quad (4)$$

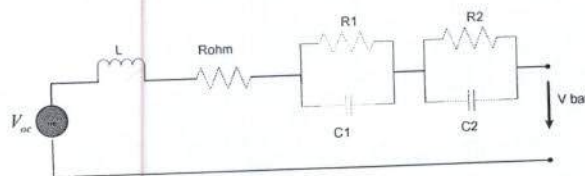
$$V_B = V_{DC} - R_{ohm} I - V_C \quad (5)$$

V_B คือ ค่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่, V_{DC} คือ ค่าแรงดันในแต่ละช่วงของ, V_{Rohm} คือ ค่าแรงดันตกคร่อม R_{ohm} , R_{ohm} คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่, R_a คือ ค่าความต้านทานในขณะแบตเตอรี่เต็ม, I คือ ค่ากระแสในวงจร

3. การออกแบบวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่ อยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดัน หรือเรียกช่วง (Voltage

Open Circuit, V_{oc}) จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ (V_{oc}) สามารถหาค่าช่วงประจุ และ คายประจุจากวงจรสมมูลดังต่อไปนี้ รูปที่ 2 แบบจำลองวงจรสมมูลช่วงพลวัตไม่เชิงเส้นของแบบจำลองแบตเตอรี่ เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรสมมูลเทวินิน จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกัน L อินดักแตนซ์ และ C_1, C_2 เข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถหาค่า ความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 แบบจำลองแบตเตอรี่ขณะทำงาน

$$V_{bat} = V_{oc} - V_L - V_{Rohm} - V_{C1} - V_{C2} \quad (6)$$

$$v_L = L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (7)$$

$$V_{Rohm} = R_{ohm} \cdot I \quad (8)$$

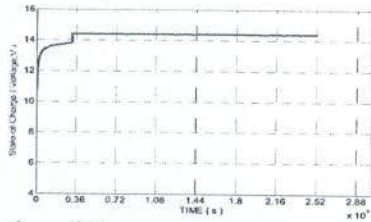
$$V_{C1} = \int \frac{1}{C_1} \cdot (I - \frac{V_{C1}}{R_1}) \cdot dt \quad (9)$$

$$V_{C2} = \int \frac{1}{C_2} \cdot (I - \frac{V_{C2}}{R_2}) \cdot dt \quad (10)$$

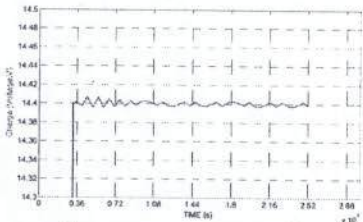
V_{oc} คือ สภาวะขณะสมมูลของวงจร, V_{bat} คือ แรงดันขณะมีโหลด, I_b คือ กระแสขณะมีโหลด, R_{ohm} คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่, V_L คือ แรงดันตกคร่อมอินดักแตนซ์, V_{Rohm} คือ แรงดันตกคร่อม R_{ohm} , และ V_{C1} คือ แรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะสั้น, V_{C2} คือ แรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

4. ผลการจำลอง

ใช้วงจรสมมูลทางไฟฟ้าจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ทำการจำลองที่โหลดหยุดทำงาน ที่แหล่งจ่ายค่า 2.4Vdc/Cell ของแบตเตอรี่ 12V(14.4V) และมีไฟ AC ที่ 5% ของ 14.4V (0.76V) โดยมีความถี่ร่วมที่ 0Hz, 10Hz, 50Hz, 60Hz, 100Hz เพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แสดงให้เห็นได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีการจำลองหลายๆแบบที่แตกต่างกันไปเพื่อจะให้เห็นความแตกต่าง ขณะเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกันจากผลที่ได้สามารถบ่งบอกผลกระทบที่เกิดขึ้น เหมือนจริงของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

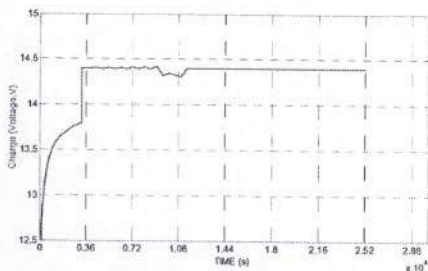


รูปที่3 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 14.4 Vdc

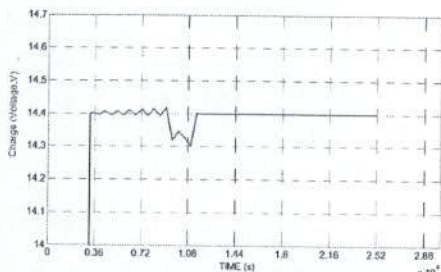


รูปที่4 ภาพขยายแรงดันประจุที่14.4V

รูปที่4 ในขณะที่แรงดัน14.4 Vdc สังเกตได้ว่าถึงได้แรงดันขณะประจุที่14.4Vแต่แรงดันมีได้อยู่ที่14.4Vยังคงมีการแกว่งเล็กน้อยหรือกล่าวในทางไฟฟ้าเคมีไม่เกิดผลกระทบกับการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี



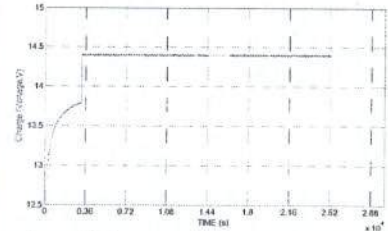
รูปที่ 5 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดแรงดัน 14.4 Vdc และ 0.76Vac



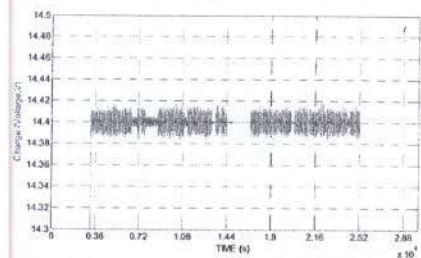
รูปที่ 6 ภาพขยายแรงดันประจุที่14.4Vdc และ 0.76Vac

รูปที่6 สังเกตได้ว่าแรงดันไฟกระแสสลับขนาด5%(0.76V) ของแหล่งจ่ายมีผลกระทบในช่วงวินาทีประมาณ0.75ถึงช่วงวินาทีที่ประมาณ1.10เมื่อนักถึงพฤติกรรมกระแสของแบตเตอรี่มีผลกระทบเพียง

เล็กน้อยเปรียบเหมือนกระแสขณะประจุdrop ในบางช่วง กล่าวคือแทบไม่เกิดผลกระทบกับการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีภายในแบตเตอรี่

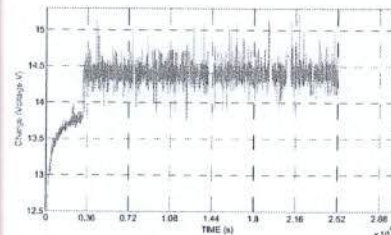


รูปที่7 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดแรงดัน 14.4 Vdc, 0.76Vac, 10Hz



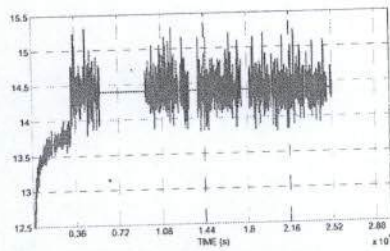
รูปที่8 ภาพขยายแรงดัน14.4Vdc 0.76Vac 10Hz

รูปที่8 เกิดผลกระทบจะเห็นว่าคลื่นความถี่จากการอุปกรณ์ประจุหรือแหล่งที่มาประจุให้กับแบตเตอรี่ผลกระทบโดยตรงกับแบตเตอรี่จากพฤติกรรมของแบตเตอรี่สันนิษฐานได้ว่าเกิดฟองอากาศเกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่หากไม่รุนแรงจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์



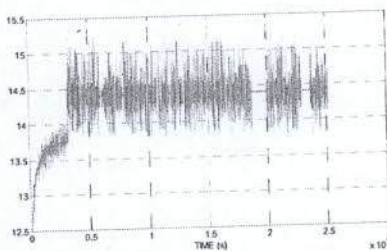
รูปที่9 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดแรงดัน 14.4 Vdc, 0.76Vac, 50Hz

รูปที่9 จากคลื่นความถี่ที่ทำให้เกิดผลกระทบค่าแรงดันเกินจากรูปเปรียบเสมือนผลกระทบโดยตรงกับแบตเตอรี่กล่าวคือเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียภายในหรือการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเชิงลบเช่นการระเหยของสารเคมีที่ไม่ได้เกิดเองตามธรรมชาติเป็นผลโดยตรงที่ทำให้อายุสั้นกว่าที่ควรเป็น



รูปที่ 10 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดแรงดัน 14.4 Vdc. 0.76Vac.60Hz

จากรูปที่ 10 เมื่อความถี่ยิ่งมากขึ้น (60Hz) ยิ่งทำให้เกิดผลกระทบ แรงดันเกินและ Effects มากขึ้น ไม่นับจากรูปมีบางเวลาที่นิ่งแต่ส่วนมากจะทำให้เกิดผลกระทบกับแบตเตอรี่ซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงกับแบตเตอรี่กล่าวคือเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเชิงลบเช่นการระเหยของสารเคมีที่ไม่ได้เกิดเองตามธรรมชาติเป็นผลกระทบโดยตรงต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่



รูปที่ 11 ผลที่ได้จากการจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์
ทำการประจุที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดแรงดัน 14.4 Vdc. 0.76Vac.100Hz

สังเกตจากรูปที่ 11 เมื่อความถี่ยิ่งมากขึ้น ยิ่งทำให้เกิดผลกระทบแรงดันเกินและ Effects มากขึ้นซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงกับแบตเตอรี่กล่าวคือเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียภายในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าในทางลบ เช่นเกิดการระเหยของสารเคมี ขั้วเพลทคายประจุได้ไม่ดี แผ่นเพลทเกิดการอุดตันที่ไม่ได้เกิดเองตามธรรมชาติเป็นผลโดยตรงที่ทำให้อายุสั้นกว่าที่ควรเป็น

5. สรุป

จากการจำลองทางคณิตศาสตร์วงจรสมมูลทางไฟฟ้าทำให้สามารถเห็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดสถานะการประจุที่แตกต่างกันไป จากผลการจำลองสามารถบ่งบอกผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในตัวแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรดได้เมื่อเราประจุไฟฟ้าที่ 5% ของ 14.4V (0.76V) แทบไม่เกิดผลกระทบต่อบattery เมื่อเทียบกับมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียว เมื่อแหล่งจ่ายมีความถี่ที่ 10Hz สังเกตเห็นได้ว่าเกิดผลกระทบเล็กน้อย ไม่รุนแรงมากเมื่อเทียบกับ ผลการจำลองความถี่ขนาด 50Hz, 60Hz, และ 100Hz จะเกิดผลกระทบการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเชิง

ลบกับแบตเตอรี่ คือเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพอื่นๆกับขั้วอิเล็กโทรดเกิดฟองอากาศภายในแบตเตอรี่ หากมากๆจะทำให้เกิดแก๊สอย่างคั่งเนื่องทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นสารละลายจะลดลงเราก็จะประมวลผลกระทบที่จะเกิดกับตัวแบตเตอรี่ได้ทำให้สามารถทำนายอายุการใช้งานที่ควรจะเป็นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Salkind, T. Atwater, "Dynamic characterization of Small lead - acid cells" Journal of power Sources 96 (2001) 151-159.
- [2] H. Blanke, O.Bohlen, S.Buller, "Impedance measurements on lead-acid batteries for state-of-charge, state-of-health and cranking capability prognosis in electric and hybrid electric vehicles" Journal of power Sources 144 (2005) 418-425
- [3] M.Durr, A.Crudan, "Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fuel cell system" Journal of power Sources 161(2006) 1400-1411.
- [4] Lucia Gauchia Babe, Javier Sanz Feito, "Nonlinear dynamic per-unit models for electrochemical energy systems. Application to a hardware-in-the-loop hybrid simulation", Universidad carlos III de Madrid, Leganes 2009
- [5] Shalini Rodrigues ,N. Munichandraiah.,A.K.Shukla "A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements" Journal of power Sources 87(2000) 12-20
- [6] X.Yuan, J.Sun, M. Blanco, H.Wang J. Zhang, "AC impedance diagnosis of a 500 W PEM fuel cell stack. Part I:Stack impedance,"Journal of Power Sources, vol.161, pp.920-928, October2006.
- [7] P. Mauracher *, E. Karden "Dynamic modeling of lead/acid batteries using impedance spectroscopy for parameter identification"Aachen University of Technology, Institute for Power Electronics and Electrical Drives, JiigerstraPe 17-19, 52066 Aachen, Germany Received 2X August 1996: accepted 16 December 1996