

## การจำลองระบบสะสมพลังงานด้วยแบตเตอรี่สำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

### Simulation of a Battery Storage system for Electric Power Distribution systems with renewable energy plants

นำเพชร สิ้นสุพรรณ และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
นครราชสีมา 30000 E-mail: phetchty@hotmail.com

N. Sinsuphun, T. Kulworawanichpong  
School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,  
Nakhon Ratchasima 30000 Thailand E-mail: phetchty@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองและการจำลองของแบตเตอรี่แบบจุ่มเพื่อสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า งานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องการต่อเซลล์แบตเตอรี่แบบขนานและอนุกรมตามลำดับ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อให้เพียงพอกับระบบแบตเตอรี่แต่ละเซลล์เป็นชนิดกรดตะกั่ว (Lead-Acid) ขนาด 48 V การออกแบบนี้ประกอบด้วยแบตเตอรี่ 2 แบงค์ แต่ละแบงค์ใช้แบตเตอรี่ต่อขนานกัน 10 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยแบตเตอรี่ต่ออนุกรม 70 ลูก ทำการจำลองระบบสะสมพลังงานด้วยแบตเตอรี่ภายใน 1 วัน เพื่อทดสอบกับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรมเมทแล็บ (MATLAB software) ผลที่ได้ แบตเตอรี่จะสะสมพลังงานได้เพียงพอกับระบบ และทำให้ระบบเกิดความสมดุล โดยจะแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (ดึงไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน) และความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ

#### Abstract

This paper presents modeling and simulation of a battery bank for energy storage purpose in electric power distribution systems. This work involves a combination between shunt and series battery cells in order to implement a sufficient battery storage system. Each battery cell is a lead-acid type of 48 V. This design consists of two battery banks. Each bank is a combination of ten shunt-battery modules. One module is built by seventy series-battery cells. To verify the simulated battery storage system, one day operation of an electric power will be simulated. The simulation was performed using MATLAB software. As a result, the battery storage system was sufficient to support and also to balance the energy exchange between the generation (drawn from both substation and renewable energy plants) and the power demand of the entire system.

distribution system was tested. This simulation was performed using MATLAB software. As a result, the battery storage system was sufficient to support and also to balance the energy exchange between the generation (drawn from both substation and renewable energy plants) and the power demand of the entire system.

#### 1. บทนำ

ระบบเก็บสะสมพลังงาน คือ การเก็บสะสมพลังงานส่วนเกินจากที่ผลิตได้ แล้วนำมาใช้ในยามจำเป็นเพื่อรักษาสมดุลของระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับแล้วก็เหมือนกับการสะสมทรัพย์เพื่อเก็บสำรองไว้ในยามขาดแคลน แต่แตกต่างกันที่รูปแบบเทคโนโลยีของระบบ การเก็บสะสมทางพลังงานนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานตั้งต้นกับการนำไปประยุกต์ใช้ โดยในที่นี้จะสนใจการเก็บสะสมพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบพลังงานที่ใช้แพร่หลายทั่วโลก สามารถนำออกมาใช้ได้โดยง่าย และแบตเตอรี่ยังเป็นเซลล์ไฟฟ้านิตที่เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์ออกไปแล้วสามารถจ่ายไฟฟ้าเข้ามาในเซลล์เพื่อให้เซลล์มีคุณสมบัติเหมือนเดิมเรียกว่า การคายประจุและการอัดประจุ การออกแบบแบตเตอรี่แบบจุ่มทำให้แบตเตอรี่ไม่ใหญ่เกินความต้องการของภาระการใช้งานมากเกินไป และไม่มีขนาดเล็กเกินไป ในสภาวะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อนำแบตเตอรี่แบบจุ่มไปใช้กับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลกเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น โดยแบตเตอรี่

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟฟ้าใหม่ได้และแบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (ใช้แล้วทิ้ง) ซึ่งในที่นี้จะสนใจแบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟฟ้าใหม่ได้หรือเซลล์ไฟฟ้าแบบทุติยภูมิ ซึ่งเป็นเซลล์ไฟฟ้าชนิดที่เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์ออกไปแล้วสามารถจ่ายไฟฟ้าเข้ามาในเซลล์เพื่อให้เซลล์มีคุณสมบัติเหมือนเดิม และแบตเตอรี่ยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ได้โดยการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี [2] ซึ่งแบ่งเป็น 6 ชนิด ดังนี้

#### 1. กรดตะกั่ว (Lead-acid)

เป็นแบตเตอรี่ที่เห็นทั่วไป ประกอบด้วยแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบ แผ่นธาตุทำมาจากตะกั่วบริสุทธิ์อัดแน่นในแผ่นตะแกรงตะกั่ว จึงเรียกว่า แบตเตอรี่กรดตะกั่ว (Lead-acid) เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่ชนิดนี้จะให้พลังงานไฟฟ้าได้มากถึงประมาณ 10000 วัตต์ ในชั่วโมงสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ จึงทำให้มีความจุไฟฟ้ามากขึ้น

#### 2. ลิเทียม ไอออน (Lithium-ion)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถ ในการจุพลังงานได้ดี มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่ใช้ในโน้ตบุ๊ก

#### 3. ลิเทียม ไอออน โพลีเมอร์ (Lithium ion Polymer)

แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีความคล้ายกับลิเทียม ไอออน มาก แต่มีราคาแพง ใช้ในโน้ตบุ๊ก แต่ไม่ค่อยนิยมใช้

#### 4. โซเดียม-ซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C

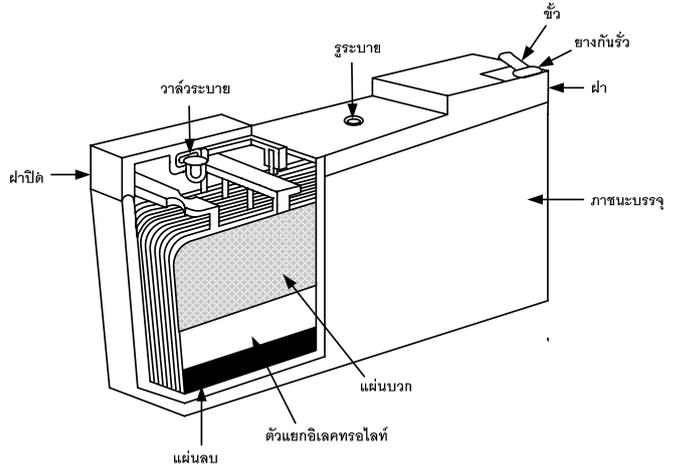
#### 5. นิกเกิล เมทัล ไฮไดรด์ (Nickel metal hydride)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความไวต่อ Memory Effect น้อยมากและเป็นแบตเตอรี่ที่จำเป็นต้องทำการคายประจุของแบตเตอรี่ให้หมดก่อนการอัดประจุ อย่างน้อย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบเห็นได้ในโน้ตบุ๊กรุ่นเก่าๆ

#### 6. นิกเกิล แคดเมียม (Nickel-cadmium)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาถูกที่สุด แต่มีข้อเสียหลายอย่าง ปัญหาในเรื่องของ Memory Effect ซึ่งก็คือ การลดลงของแรงดันแบตเตอรี่ชนิดนี้มักมีปัญหา ถ้าไม่ได้ทำการคายประจุแบตเตอรี่ให้หมดก่อนการนำมาอัดประจุใหม่ในแต่ละครั้ง นอกจากนี้สารเคมีที่บรรจุในแบตเตอรี่ยังมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่มีการนำมาใช้ในโน้ตบุ๊กแล้ว เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว แต่สามารถอัดประจุได้มากกว่าและอายุการใช้งานยาวนาน

ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว [3] เพราะเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุ (capacity) สูงและให้กระแสมาก เนื่องจากมีการเก็บพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ โดยแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วจะมีลักษณะดังรูปที่ 1



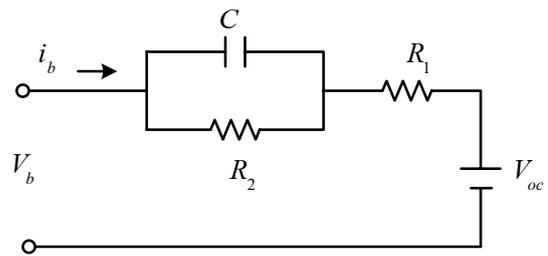
รูปที่ 1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว

- คุณลักษณะของแบตเตอรี่ในสภาวะคงตัวและสภาวะชั่วคราวนั้น สามารถแบ่งวัฏจักรการทำงานของแบตเตอรี่ออกเป็น 5 ช่วง [4] ได้แก่
- ช่วงอัดประจุด้วยอัตรากระแสคงที่ (constant current charge: CCC)
  - ช่วงอัดประจุด้วยอัตราแรงดันคงที่ (constant voltage charge: CVC)
  - ช่วงคายประจุด้วยอัตรากระแสคงที่ (constant current discharge: CCD)
  - ช่วงเวลาในการเปลี่ยนสภาวะจากการคายประจุเป็นการอัดประจุ (discharge idle time: DIT)
  - ช่วงเวลาในการเปลี่ยนสภาวะจากการอัดประจุเป็นการคายประจุ (charge idle time: CIT)
- สำหรับงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะช่วง CCC, CCD, DIT และ CIT

### 2.2 สมการการอัดประจุและคายประจุ

การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่จะทำให้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเกิดความสมดุล โดยใช้สมการการอัดประจุ [5] และคายประจุ [6] ดังสมการที่ (1) และ (2)

ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความสำคัญในการออกแบบใช้คาดการณ์ผลที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมกับแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว แบตเตอรี่มีการถดถอยของพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ภายในเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มีระดับลดลงจากค่าพิกัดทำให้ความต้านทานภายในแบตเตอรี่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่มาจากความต้านทานภายในอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีแทนด้วยวงจรสมมูลเทวินินของแบตเตอรี่ [4] ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยความต้านทานภายใน  $R_1$  และแรงดันเกินภายในแทนด้วย  $C$  และ  $R_2$  ต่อขนานกัน



รูปที่ 2 วงจรสมมูลเทวินินของแบตเตอรี่

### 2.2.1 สมการการอัดประจุ

$$V_b = V_0 + (R_{tot} \times I) + \left[ K1 \times \frac{I^n}{C} \right] \times t + \left[ \frac{K2}{C - I^n \times t} \right] \quad (1)$$

$V_b$  คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ (V)

$V_0$  คือ แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ (V)

$R_{tot}$  คือ ความต้านทานภายในรวม ( $\Omega$ )

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ (A)

$C$  คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ (h)

$n$  คือ peukert's exponent (ไม่มีหน่วย)

$K1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์จาก peukert's equation

$K2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นกะทันหัน เมื่อแบตเตอรี่คายประจุใกล้เต็ม

จากสมการที่ (1) ใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ [5]

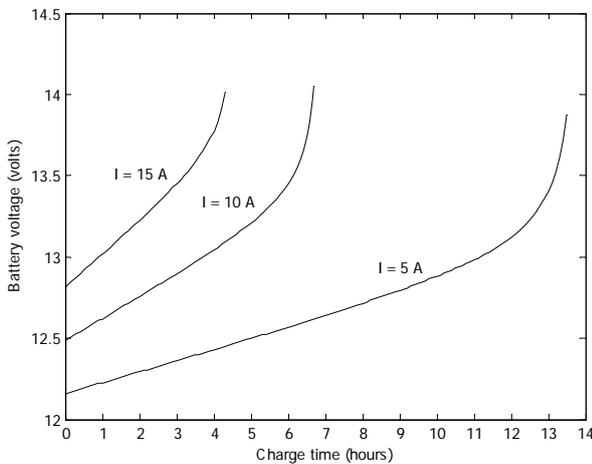
- ความจุพิกัด 70 Ah

-  $R_{tot}$  ขณะอัดประจุ =  $6.56 \times 10^{-2} \Omega$

-  $n$  ขณะอัดประจุ = 1

-  $K1 = 0.90$ ,  $K2 = 2.2$

นำค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุแทนค่าลงในสมการที่ (1) จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ เมื่อพิจารณาอัตราการคายประจุคงที่ 5, 10 และ 15 A ตามลำดับ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แรงดันแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

จะเห็นได้ว่า ขณะเริ่มอัดประจุ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากแรงดันต่ำสุด ซึ่งเกิดจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จากนั้นแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งเกิดจากค่าความจุของแบตเตอรี่และค่าความต้านทานภายใน เมื่ออัตราการคายประจุมีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการอัดประจุนั้นสั้นลง [7]

### 2.2.2 สมการการคายประจุ

$$V_b = V_0 - (R_{tot} \times I) - \left[ K1 \times \frac{I^n}{C} \right] \times t - \left[ \frac{K2}{C - I^n \times t} \right] \quad (2)$$

$V_b$  คือ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ (V)

$V_0$  คือ แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ (V)

$R_{tot}$  คือ ความต้านทานภายในรวม ( $\Omega$ ) ซึ่งจะสมมติให้มีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสถานะของการอัดประจุ (State of Charge: SOC)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแบตเตอรี่ขณะคายประจุ (A)

$C$  คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ (h)

$n$  คือ peukert's exponent (ไม่มีหน่วย)

$K1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์จาก peukert's equation

$K2$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้แรงดันตกกะทันหัน เมื่อแบตเตอรี่คายประจุใกล้หมด

จากสมการที่ (2) ใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ [5]

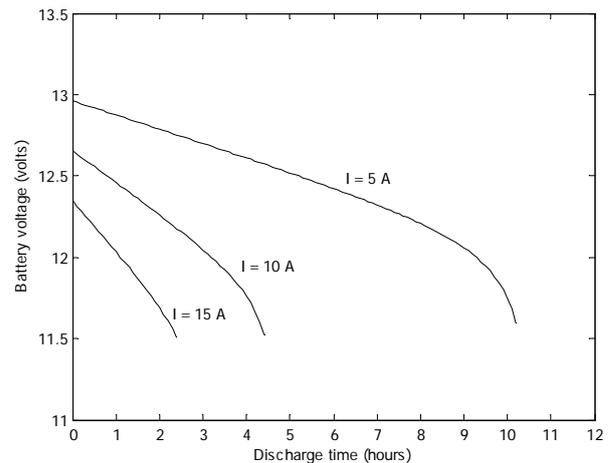
- ความจุพิกัด 70 Ah

-  $R_{tot}$  ขณะคายประจุ =  $6.15 \times 10^{-2} \Omega$

-  $n$  ขณะคายประจุ = 1.16

-  $K1 = 0.90$ ,  $K2 = 2.2$

นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ขณะคายประจุแทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันแบตเตอรี่ขณะคายประจุ เมื่อพิจารณาอัตราการคายประจุคงที่ 5, 10 และ 15 A ตามลำดับ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แรงดันแบตเตอรี่ขณะคายประจุ

จะเห็นได้ว่า ขณะเริ่มคายประจุ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่จะตกลงอย่างรวดเร็วจากแรงดันสูงสุด ซึ่งเกิดจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จากนั้นแรงดันจะตกลงอย่างราบเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งเกิดจากค่าความจุของแบตเตอรี่และค่าความต้านทานภายใน เมื่ออัตราการคายประจุมีค่าสูงขึ้น จะทำให้เวลาในการคายประจุนั้นสั้นลง [7]

### 2.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามเฟสแบบบริดจ์ที่มีการควบคุมเฟส

วงจรเรียงกระแสจะมีการทำงาน 2 โหมด [8]

โดยมีเงื่อนไขว่าไม่คำนึงถึงความไม่ต่อเนื่องของกระแสโหลด

1. โหมดเรียงกระแส

คือการแปรผันพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปสู่โหลด โดยการปรับมุมจุดฉนวนเกต

เฟสแบบบริดจ์ที่มีการควบคุมเฟส

( $\alpha$ ) ของไทรสเตอร์  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  กระแสไหลจะไหลอย่างต่อเนื่อง

เป็นผลให้แรงดัน  $V_{o,av}$  มีค่ามากกว่า  $V_b$  ขณะที่กระแสจะไหลจาก แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับผ่านวงจรถิรติจ์ แปลงเป็นกระแสตรงไปสู่โหลด

## 2. โหมดอินเวอร์เตอร์

คือการแปรผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

โดยการปรับมุมจุดฉนวนเกต ( $\alpha$ ) ของไทรสเตอร์  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$

แรงดัน  $V_{o,av}$  จะมีค่าเป็นลบ (ปกติเมื่อโหลดมีค่าสูงมาก ๆ ที่

$90^\circ < \alpha < 180^\circ$  แรงดัน  $V_{o,av} = 0V$ ) แรงดัน  $V_b$  มีค่าสูงกว่า  $V_{o,av}$  จึง

ทำให้กระแสตรงไหลออกจากขั้วบวกของ  $V_b$  ผ่านวงจรถิรติจ์ แปลง เป็นไฟกระแสสลับส่งออกไปยังแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ

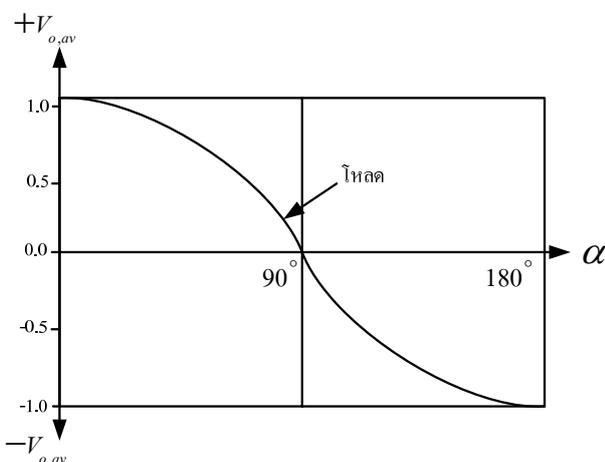
เมื่อปรับมุมจุดฉนวนเกต ( $\alpha$ ) ของไทรสเตอร์ให้อยู่ในช่วง

$0^\circ < \alpha < 90^\circ$  แรงดันเอาต์พุต  $V_{o,av}$  จะเป็นบวก วงจรจะทำงานใน

โหมดวงจรเรียงกระแส แต่ถ้ามุมจุดฉนวนเกต ( $\alpha$ ) ของไทรสเตอร์อยู่

ในช่วง  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  วงจรจะทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์แรงดัน

เอาต์พุต  $V_{o,av}$  จะเป็นลบ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสาม

## 3. การออกแบบระบบ

### 3.1 จำนวนแบตเตอรี่

■ การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

มีแรงดันปกติ (nominal voltage) 48 V

แรงดันปกติ = S x แรงดันปกติ

$R_{tot}$  ขณะอัดประจุ =  $S \times 6.56 \times 10^{-2} \Omega$

$R_{tot}$  ขณะคายประจุ =  $S \times 6.15 \times 10^{-2} \Omega$

■ การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

$C = P \times 70 \text{ Ah}$

$R_{tot}$  ขณะอัดประจุ =  $(6.56 / P) \times 10^{-2} \Omega$

$R_{tot}$  ขณะคายประจุ =  $(6.15 / P) \times 10^{-2} \Omega$

ดังนั้น

$$N = S \times P \times B \quad (4)$$

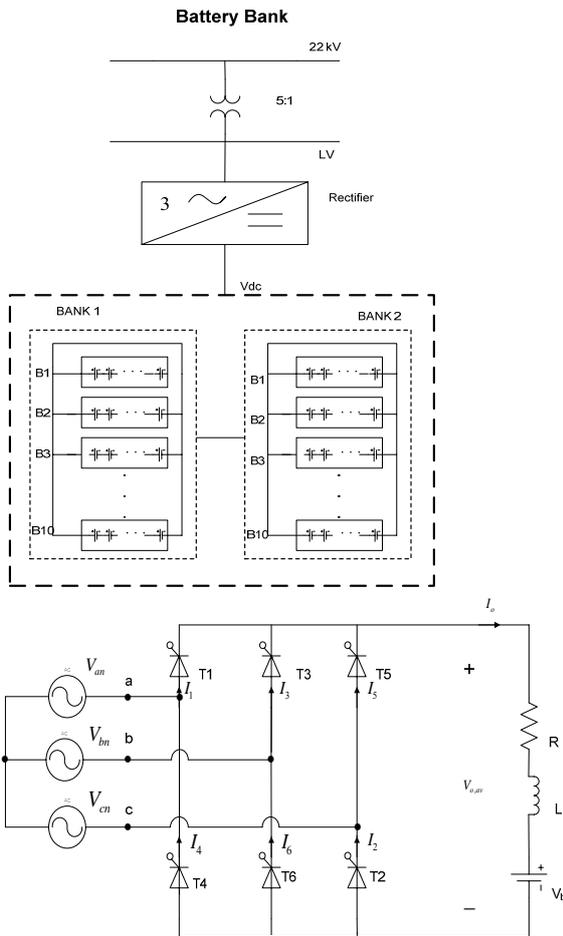
เมื่อ  $N$  คือ จำนวนแบตเตอรี่

$S$  คือ จำนวนแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรม

$P$  คือ จำนวนแบตเตอรี่ที่ต่อขนาน

$B$  คือ จำนวนแบตเตอรี่แบงค์ที่ต่ออนุกรม

การออกแบบแบตเตอรี่แบงค์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามที่ระบบ กำหนดกำลังไฟฟ้าผลิตได้จากพลังงานทดแทนดังตารางที่ 1 จะ สังเกตเห็นว่าแบตเตอรี่เพียงลูกเดียว ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระบบ กำลังไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้งานต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการ ออกแบบจำนวนแบตเตอรี่ ในกรณีที่ต้องการแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ เพิ่มขึ้น ต้องนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน และถ้าต้องการความจุของ แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นจะตื่อนำแบตเตอรี่มาต่อขนานกัน ซึ่งในแบบจำลอง ใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันขนาด 48 V<sub>dc</sub>, 70Ah ต่ออนุกรมกันทั้งหมด จำนวน 2 แบงค์ และใน 1 แบงค์ ใช้แบตเตอรี่จำนวน 700 ลูก ต่อเป็น ชุดขนานกัน 10 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีแบตเตอรี่ 70 ลูก ต่ออนุกรมกัน ดังนั้นใช้แบตเตอรี่ทั้งหมด 1400 ลูก ดังรูปที่ 6 โดยใช้หลักการ ออกแบบแบตเตอรี่แบงค์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งแต่ละชั่วโมงจะมีการอัดประจุและคายประจุไม่เท่ากัน จึงต้องออกแบบว่าแต่ละชั่วโมงจะ ใช้แบตเตอรี่กี่ลูก โดยอาจจะใช้แบตเตอรี่ไม่ถึง 700 ลูก ในบางช่วงเวลา เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนไม่คงที่ดังนั้น แบตเตอรี่จะมีการอัดประจุและคายประจุเพื่อทำให้เกิดความสมดุลใน ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 7 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามเฟสแบบบริดจ์ที่มีการควบคุมเฟส

ซึ่งจะใช้แปลงกระแสตรงไปเป็นกระแสสลับ เมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุ โดยใช้โหมดการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ และใช้แปลงกระแสสลับไปเป็นกระแสตรง เมื่อเกิดการอัดประจุใช้โหมดการทำงานแบบเรียงกระแส โดยใช้สมการที่ 3

$$V_{o,av} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (3)$$

ทำการออกแบบเพื่อหาค่าแรงดันทางด้านแรงต่ำ และนำแรงดันที่ได้ไปหาอัตราส่วนของหม้อแปลง เช่น ทำการออกแบบที่  $P = 3.3 \text{ MW}$  ซึ่งได้อัตราส่วนของหม้อแปลง 5:1 เนื่องจากกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 1 จึงต้องใช้หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้ (Variable) ขดลวดทุติยภูมิและปฐมภูมิจะเป็นขดลวดขดเดียวกัน หรือเรียกว่า หม้อแปลงออโต (Autotransformer) ใช้ในการปรับขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้า

### 3.2.1 สถานะการอัดประจุ

$V_{dc} \text{ (battery)} = 4.7 \text{ kV}$  ที่  $P=3.3 \text{ MW}$

ใช้ โหมดเรียงกระแส (AC to DC)

$$\alpha = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$$

$$4.71 \text{ kV} = \frac{3\sqrt{3}x\sqrt{2}xV_{rms}}{\pi} x \cos \frac{\pi}{4}$$

### รูปที่ 6 แบตเตอรี่แมงค

### 3.2 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามเฟสแบบบริดจ์ที่มีการควบคุมเฟส ประกอบด้วยไทรสเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว [9] ดังรูปที่ 7

$$V_{rms} = 2.85 \text{ kV}$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3}xV_{phase} = \sqrt{3}x2.85 \text{ kV} = 4.93 \text{ kV} \approx 5 \text{ kV}$$

อัตราส่วนหม้อแปลง

$$a = \frac{22 \text{ kV}}{5 \text{ kV}} = 4.4 \approx 5$$

จะได้อัตราส่วนหม้อแปลง 5:1 จึงใช้หม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าลง (Step-Down) ซึ่งขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบน้อยกว่าปฐมภูมิ

### 3.2.2 สถานะการคายประจุ

ใช้ โหมดอินเวอร์เตอร์ (DC to AC)

$$\alpha = 120^\circ = \frac{2\pi}{3}$$

$$V_{o,av} = \frac{3\sqrt{3}x\sqrt{2}x2.85 \text{ kV}}{\pi} x \cos \frac{2\pi}{3}$$

$$V_{o,av} = -3.33 \text{ kV}$$

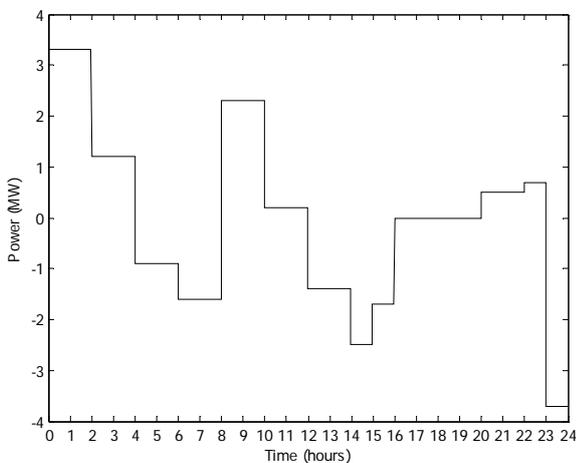
ดังนั้นแบตเตอรี่จะคายประจุ 3.33 kV

### 4. ผลการทดลอง

จำลองการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ภายใน 1 วันกับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน โดยมีข้อมูลของระบบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

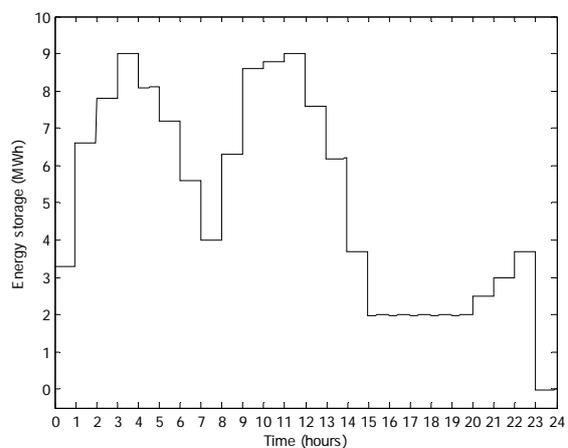
กำหนดให้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละชั่วโมงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่คงที่ โดยใน 1 วันจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมด 153.2 MW และโหลดมีการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของผู้ใช้ ทำการจำลองการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่จะมีการอัดประจุเมื่อระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนผลิตไฟฟ้าได้เกินความต้องการของโหลด และมีการคายประจุเมื่อระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าความต้องการของโหลด ดังนั้นจึงทำให้เกิดความสมดุลในระบบไฟฟ้า นั่นคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้า (supply = demand) จากการจำลองการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ภายใน 1 วัน ได้ผลดังรูปที่ 8 จะสังเกตเห็นว่าการจำลองการอัดประจุได้กราฟทางซีกบวก และการคายประจุได้กราฟทางซีกลบ โดยแต่ละชั่วโมงจะมีการอัดประจุและคายประจุในรูปของกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 8 กำลังไฟฟ้าจากการอัดประจุและคายประจุ

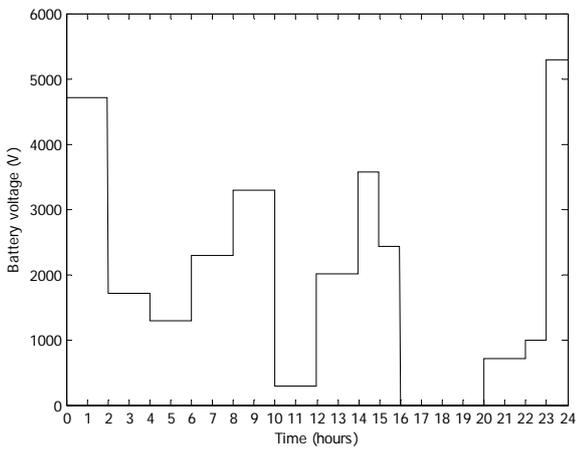
ซึ่งจะมีการอัดประจุสูงสุดที่ 3.3 MW ซึ่งอยู่กับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ ถ้าผลิตได้มากกว่าความต้องการของโหลด แบตเตอรี่จะนำกำลังไฟฟ้าที่เกินความต้องการของโหลดมาเก็บไว้ในรูปการอัดประจุ แต่ถ้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด แบตเตอรี่จะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด หรือเรียกว่าการคายประจุ ซึ่งจะทำให้มีพลังงานสะสมในแบตเตอรี่เมื่อมีการอัดประจุและคายประจุแต่ละชั่วโมง โดยทำการจำลองการคายประจุของแบตเตอรี่ให้หมดภายใน 1 วัน ดังรูปที่ 9

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (MW)	โหลด (MW)	พลังงานสะสม (MWh)	กำลังไฟฟ้า (MW)	สถานะ
1	6	2.7	3.3	3.3	อัดประจุ
2	6	2.7	6.6	3.3	อัดประจุ
3	6	4.8	7.8	1.2	อัดประจุ
4	6	4.8	9.0	1.2	อัดประจุ
5	6	6.9	8.1	-0.9	คายประจุ
6	6	6.9	7.2	-0.9	คายประจุ
7	6	7.6	5.6	-1.6	คายประจุ
8	6	7.6	4.0	-1.6	คายประจุ
9	6	3.7	6.3	2.3	อัดประจุ
10	6	3.7	8.6	2.3	อัดประจุ
11	6	5.8	8.8	0.2	อัดประจุ
12	6	5.8	9.0	0.2	อัดประจุ
13	6	7.4	7.6	-1.4	คายประจุ
14	6	7.4	6.2	-1.4	คายประจุ
15	6	8.5	3.7	-2.5	คายประจุ
16	6.8	8.5	2.0	-1.7	คายประจุ
17	9.1	9.1	2.0	0.0	-
18	9.1	9.1	2.0	0.0	-
19	9.3	9.3	2.0	0.0	-
20	9.3	9.3	2.0	0.0	-
21	6	5.5	2.5	0.5	อัดประจุ
22	6	5.5	3.0	0.5	อัดประจุ
23	6	5.3	3.7	0.7	อัดประจุ
24	1.6	5.3	0.0	-3.7	คายประจุ



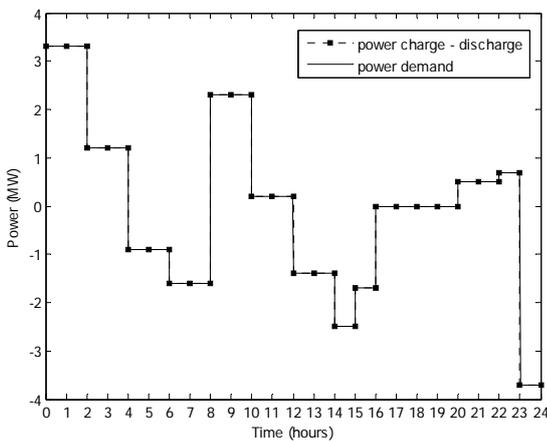
รูปที่ 9 พลังงานสะสมจากการอัดประจุและคายประจุ

ส่วนแรงดันแบตเตอรี่ที่ได้ในแต่ละชั่วโมง เมื่อแบตเตอรี่มีการอัดประจุและคายประจุ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะคายประจุและอัดประจุ จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน และความจุของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำแบตเตอรี่มาต่อขนานกัน โดยจะสังเกตได้จากเวลาที่ใช้ในการคายประจุหมด และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุเต็ม จะมีค่าเวลาที่เพิ่มมากขึ้นตามค่าความจุที่สูงขึ้น และจะเห็นได้ว่าในช่วงชั่วโมงที่ 16-20 ไม่มีการอัดประจุและคายประจุ ดังนั้นแรงดันในช่วงนั้นจึงเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แรงดันจากการอัดประจุและคายประจุ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ได้มาจากสมการการอัดประจุและคายประจุ ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ จะได้กราฟเส้นประ ส่วนเส้นตรงจะเป็นกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ใน 1 วัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ต้องการกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการอัดประจุและคายประจุ

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าแบตเตอรี่แบบลิเธียมสามารถควบคุมการอัดประจุและการคายประจุของกำลังไฟฟ้าในระบบภายใน 1 วันได้ เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงแต่ละช่วงเวลาตามความต้องการของผู้ใช้ โดยการนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมหรือขนานกันเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามที่ระบบต้องการ และใช้วงจรเรียงกระแสในการแปลงพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่แบบลิเธียมที่ได้จากการออกแบบนี้สามารถนำไปใช้กับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น โดยแบตเตอรี่จะช่วยรักษาระดับแรงดันคืออัดประจุในกรณีที่ระบบไฟฟ้าที่เกินความต้องการของโหลด และคายประจุเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบไฟฟ้า

## เอกสารอ้างอิง

1. สรญา ยงประยูร, "ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage)", วิทยานิพนธ์ อาจารย์พิเศษ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมฯ

, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

2. Vincen, C. A., and Scrosati, B., "Modern Batteries", 2<sup>nd</sup> edition. , New York, 1997
3. Casacca, M.A., Capobianco, M.R., and Salameh, Z.M. (1996). Lead acid battery storage configuration for improved available capacity. IEEE Transactions on Energy Conversion. 11(1): 139-145.
4. Salameh, Z.M., Casacca, M.A., and Lynch, W.A. (1992). Amathematical model for lead-acid batteries.
5. Protogeropoulos, C., Marshall, R. H., and Brinkworth, B. J. (1994). "Battery state of voltage modelling and algorithm describing dynamic conditions for long-term storage simulation in a renewable system. "Solar Energy".53 (6): 517-527.
6. Rynkiewicz, R. (1999). "Discharge and charge modeling of lead acid batteries", Applied Power Electronics Conference and Exposition. IEEE.2:707-710. IEEE Transactions on Energy Conversion.7 (1): 93-97.
7. เผด็จ เผ่าละออ และ สราวุฒิ สุจิตจร, "การออกแบบและอนุวัตตัวควบคุมพีซซีเพื่อจัดการพลังงานในระบบพลังงานแสงอาทิตย์", บทความวิชาการ (Proceeding), หน้า 16-18
8. ชัยยงค์ แก้วมงคลและนภัทร วันเทพินทร์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1", สำนักพิมพ์ สกายบุ๊กส์, 2546, หน้า 183-226
9. Rashid, Muhammad H., "Power Electronic", 2<sup>nd</sup> edition. NJ: Prentice-Hall, 1993

