

## การประจุแบบหลายขั้นตอนสำหรับระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบอิสระ ด้วยหลักการเกาะจุดกำลังสูงสุด

### MPPT Based Multi-Stage Charge for Standalone Photovoltaic System

สันติภาพ โคตทะเล อุดม เครือเทพ และ จักรกฤษณ์ เคลือบวัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

Santipab Kotthale, Udom Kruethep and Jukkrit Kluabwang

Faculty of Engineering, Rajamangala Lanna University of Technology Tak

Email : santipab@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดแบบหลายขั้นตอนสำหรับระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ใช้การเกาะจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการสังเกตและรบกวน สร้างสัญญาณควบคุมคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้ ตัวควบคุมใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ การทดสอบเครื่องต้นแบบกับระบบกักเก็บไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระขนาด 1.5 กิโลวัตต์ และแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 500 แอมแปร์ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าระบบที่นำเสนอสามารถเกาะจุดกำลังสูงสุดประจุพลังงานได้ค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงการทำงานและยังสูงกว่าระบบทั่วไปที่ใช้หลักการประจุด้วยแรงดันคงที่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าการประจุตลอดช่วงการทำงานเปรียบเทียบกับระหว่างระบบที่นำเสนอกับระบบแรงดันคงที่พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการประจุที่สูงกว่าประมาณ 5.35 เปอร์เซ็นต์ การประจุแบบหลายขั้นตอนประจุได้ค่าแรงดันสูงสุด 28 V ใช้เวลา 9 ชั่วโมง และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าระบบการประจุเดิมแบบแรงดันคงที่อยู่ที่ 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะประจุต่ำกว่าระบบการประจุเดิมอยู่ 4 องศาเซลเซียส

**คำสำคัญ :** การประจุแบบหลายขั้นตอน การเกาะจุดกำลังสูงสุด โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ

#### Abstract

This paper presents a design and an implementation of a multi-stage charger for lead acid battery from photovoltaic systems under maximum power point tracking (MPPT) approach including perturbation and observation (P&O) principles. The fly-back converter has been built and successfully fed control signals by the Arduino microcontroller. To confirm high performance of the controller, back propagation artificial neural network (ANNs) was also elaborate. The proposed flyback converter prototype was tested with a 1.5 kW standalone photovoltaic system collaborated with 500 Ah lead-acid battery system. The experimental results showed that the proposed converter can keep tracking on maximum power pointing longer than the conventional constant voltage charging system. In order to compare technically to the convention charger, the power

efficiencies of both system during charging are investigated. The result showed that the proposed multi-stage converter's efficiency can outperform of the conventional constant voltage converter 5.35 percent. The proposed charger spent only 9 hours for charging and push battery voltage to 28 V with temperature 35 °C. We can say that the proposed converter can charge batter faster than of the conventional converter 4 hours with lower battery temperature about 4 °C.

**Keywords :** Multi-stage charge, Maximum Power Point Tracking, Back propagation ANNs

## 1. บทนำ

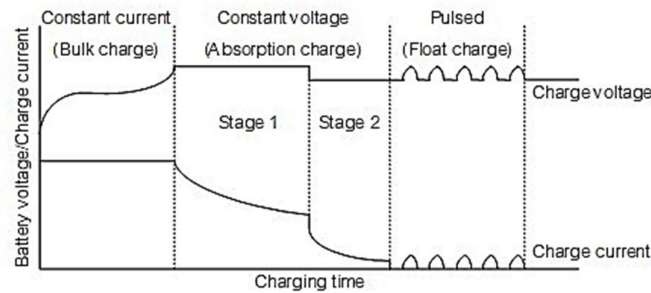
ปัจจุบันมีการใช้งานระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน โดยเฉพาะในส่วนของการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด และมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่ำ แผนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ.2579 คาดว่าจะมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าขนาด 6000 MW [1] หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นปริมาณการผลิตที่มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่น ในระบบไฟฟ้าชนิดอิสระที่มีการสำรองไฟโดยใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด การประจุถือเป็นส่วนสำคัญของระบบ ซึ่งมีการวิจัยและพัฒนาอย่างแพร่หลายโดยส่วนใหญ่จะเน้นไปทางการเกาะจุดกำลังสูงสุด [2] แต่อย่างไรก็ดีการเกาะจุดกำลังสูงสุดกับการประจุแบบหลายขั้นตอนมีความขัดแย้งต่อกันกล่าวคือ การเกาะจุดกำลังสูงสุดจะทำการปรับค่าแรงดันตลอดเวลาทำให้กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเพื่อหาจุดที่เกิดกำลังสูงสุด แต่การประจุแบบหลายขั้นตอนจะทำการรักษาค่า แรงดันกระแสไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดทำการแยกระบบการเกาะจุดกำลังสูงสุดและระบบการประจุออกจากกัน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างระบบการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดแบบหลายขั้นตอนที่สามารถทำงานร่วมกับการเกาะจุดกำลังสูงสุดได้ ใช้เวลาในการประจุที่เหมาะสมกับช่วงที่มีแสงแดด และทำการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับด้วยไม่โครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้เพื่อทำการควบคุมคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ ได้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างสูงสุดตามที่แผงผลิตได้ และแบตเตอรี่สามารถเก็บพลังงานได้อย่างสูงสุด รวมทั้งคาดว่าแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีขอบเขตของงานวิจัยคือทำการทดสอบระบบที่นำเสนอกับระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรองไฟขนาด 500 แอมแปร์ชั่วโมง ใช้เวลาในการประจุไม่เกิน 10 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านกำลังไฟฟ้า พลังงานสะสมในแบตเตอรี่ เวลา และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ กับระบบการประจุแบบแรงดันคงที่ทั่วไปที่มีขายในท้องตลาด

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 การประจุแบบหลายขั้นตอน

การประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดโดยทั่วไปจะใช้การประจุแบบแรงดันคงที่ซึ่งจะใช้เวลาในการประจุประมาณ 12-16 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ขนาดเล็ก และอาจใช้เวลา 36-48 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ ส่วนการประจุแบบหลายขั้นตอน [3] แสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะลดเวลาในการประจุลงเหลือประมาณ 8-10 ชั่วโมง โดยมีลำดับการประจุ ดังนี้



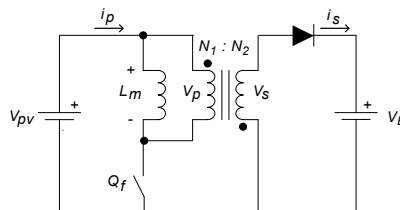
รูปที่ 1 ลำดับการประจุแบตเตอรี่แบบหลายขั้นตอน

- 1) โหมดกระแสคงที่ กระแสถูกควบคุมให้มีค่าไม่เกิน 0.15C แรงดันแบตเตอรี่จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 0.95C
- 2) โหมดแรงดันคงที่ จะทำการควบคุมแรงดันให้มีค่าประมาณ 1.20C โดยทั่วไปจะแบ่งเป็นอีก 2 ขั้นตอนย่อย โดยการลดแรงดันลงเหลือประมาณ 1.15C เพื่อลดค่ากระแสไฟฟาลงทำให้แบตเตอรี่เก็บพลังงานได้ดีขึ้น การประจุในโหมดนี้กระแสจะค่อยๆลดลงจนถึงประมาณ 0.05C
- 3) โหมดการประจุแบบลอยค่า ในโหมดนี้จะใช้พัลส์แรงดันเพื่อประจุกระแสขนาดต่ำๆเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่เก็บสะสมพลังงานได้อย่างสูงสุด

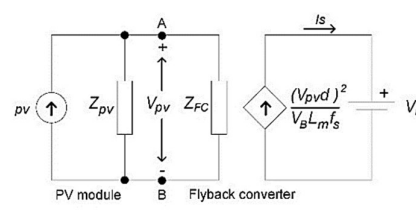
### 2.1.2 การประจุพลังงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก

การวิเคราะห์คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็กพร้อมกับโมเดลของระบบพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

จะมีวงจรเทียบเท่าอย่างง่ายดังรูปที่ 2 (ก) และมีโมเดลดังรูปที่ 2 (ข)



(ก) วงจรเทียบเท่าอย่างง่าย



(ข) โมเดลของระบบ

### รูปที่ 2 การประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก

เมื่อละทิ้งความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ถ้า  $i_p$  คือกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์  $i_s$  คือกระแสประจุแบตเตอรี่ กระแสสูงสุดและกระแสเฉลี่ยจากแผงเซลล์จะมีค่าดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ

$$\hat{i}_p = \frac{V_{pv}}{L_m} t_{on} \quad (1)$$

$$I_p = \frac{V_{pv} d^2}{2L_m f_s} \quad (2)$$

เมื่อ  $d$  คือ ค่าความกว้างพัลส์  $f_s$  คือ ความถี่ของการสวิตช์

$L_m$  คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของหม้อแปลง

ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจากคอนเวอร์เตอร์และกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าดังสมการที่ 3 กระแสประจุ และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต จะมีค่าดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ตามลำดับ

$$\eta V_{pv} I_p = I_s V_B \quad (3)$$

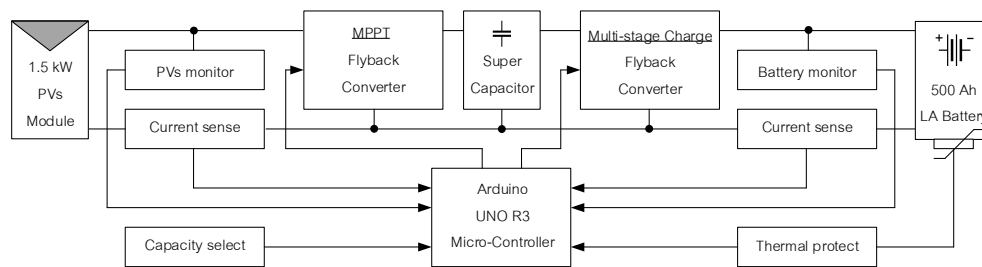
$$I_s = \frac{\eta (V_{pv} d)^2}{V_B L_m f_s} \quad (4)$$

$$P_o = \frac{\eta (V_{pv} d)^2}{L_m f_s} \quad (5)$$

พลังงานที่ได้จากการประจุขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 2 ตัวคือ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าความกว้างพัลส์

## 2.2 การออกแบบระบบ

### 2.2.1 โครงสร้างของระบบการประจุพลังงานที่นำเสนอ

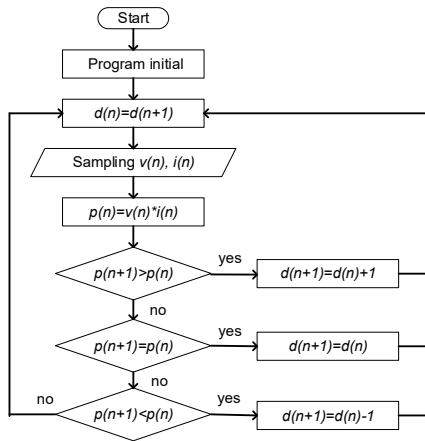


รูปที่ 3 ระบบการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบหลายขั้นตอนเวลาที่ใช้หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุดที่นำเสนอ

การประจุแบบหลายขั้นตอนที่ใช้หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุดที่นำเสนอจะแสดงดังรูปที่ 3 มีข้อได้เปรียบระบบทั่วไปคือ สามารถเก็บพลังงานจากแผงเซลล์ได้อย่างสูงสุดด้วยการเกาะจุดกำลังสูงสุดโดยสะสมประจุไว้ในตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ และประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ได้อย่างสูงสุดด้วยการประจุแบบหลายขั้นตอน ระบบกำเนิดไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 1.5 kW แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 500 Ah คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็กจะมี 2 ชุด สำหรับการเกาะจุดกำลังสูงสุด ตัวเก็บประจุมีขนาด 180,000  $\mu\text{F}$  และคอนเวอร์เตอร์สำหรับการประจุแบบหลายขั้นตอน ที่ใช้ตัวควบคุมในวงรอบกระแสและวงรอบแรงดันด้วยหลักการโครงข่ายประสาทเทียมชนิดป้อนกลับ สัญญาณควบคุมจะถูกสร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน และป้องกันความร้อนเกินของแบตเตอรี่โดยใช้ RTD ทำการตรวจสอบ และทำการลดอัตราการประจุเมื่อมีความร้อนสูงเกินไป

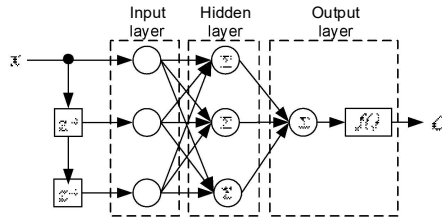
### 2.2.2 การเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตและรบกวน

หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตและรบกวนจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในรอบปัจจุบันกับรอบที่ผ่านมา ถ้าในรอบปัจจุบันมีค่ามากกว่าจะทำการเพิ่มค่าความกว้างพัลส์ ถ้าในรอบปัจจุบันมีค่าเท่ากับในรอบที่ผ่านมาจะคงค่าความกว้างพัลส์ และถ้าในรอบปัจจุบันมีค่าน้อยกว่าจะทำการลดค่าความกว้างพัลส์ ของพัลส์ที่ใช้ขับนำอุปกรณ์สวิตซ์ของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก โดยแสดงเป็นผังงานดังรูปที่ 4

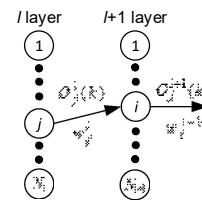


รูปที่ 4 ผังงานของการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตและปรับตัว

### 2.2.3 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ



(ก) โครงสร้างแบบเพอร์เซปตรอน



(ข) กระบวนการเรียนรู้

รูปที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวควบคุมที่ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมมีข้อได้เปรียบตัวควบคุมแบบเกนคงที่คือ ไม่ต้องหาโมเดลของระบบ และมีการปรับเกนตลอดเวลาทำให้มีผลตอบสนองที่ดีทุกย่านการทำงาน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่ายแบบเพอร์เซปตรอนที่ปรับค่าถ่วงน้ำหนักชนิดแพร่กลับ [5] ดังรูปที่ 5 (ก) และมีกระบวนการเรียนรู้ดังรูปที่ 5 (ข) โดยถ้าโนด  $i$  ของเลเยอร์  $l+1$  รับสัญญาณจากโนด  $j$  ผ่านค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_{ji}^l$  เอาต์พุตจะมีค่าดังสมการที่ 6 เมื่อผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์  $f(x) = \frac{1}{1+e^{-\beta x}}$  จะมีค่าดังสมการที่ 7 มีผลรวมของความผิดพลาดดังสมการที่ 8 ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจะมีค่าโดยประมาณของอัตราส่วนที่เป็นลบของค่าความผิดพลาดต่อค่าถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ 9 ใช้กฎลูกโซ่จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ 10 และนำไปปรับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละโนดของโครงข่าย

$$O_i^{l+1}(k) = f\left(\sum_{j=1}^{N_l+1} w_{ji}^l O_j^l(k)\right) \quad (6)$$

$$f'(x) = \beta f(x)(1-f(x)) \quad (7)$$

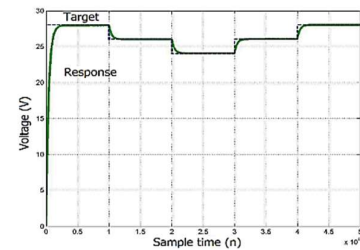
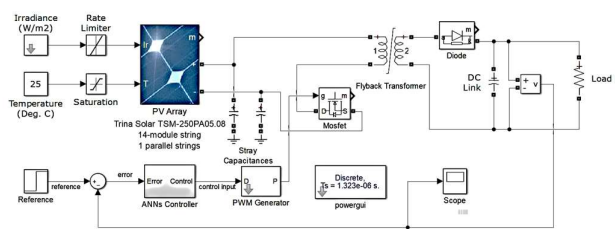
$$E = \sum_{k=1}^K E_k = \sum_{k=1}^K \left( \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_{l+1}} (T_i(k) - O_i^l(k))^2 \right) \quad (8)$$

$$\Delta w_{nm}^l \approx -\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^l} \quad (9)$$

$$-\frac{\partial E_k}{\partial w_{nm}^l} = \sum_{i=1}^{N_I} (T_i(k) - O_f^l(k)) \frac{\partial O_f^l(k)}{\partial w_{nm}^l} \quad (10)$$

เมื่อ  $x$  คืออินพุตของโครงข่าย  $O$  คือเอาต์พุตของโครงข่าย  
 $T$  คือค่าเป้าหมายของโครงข่าย  $\beta$  คือตัวประกอบของอัตราการเรียนรู้

มีโมเดลและผลการจำลองการทำงานของกรรการึกษาแรงดันโดยคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็กด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink ดังรูปที่ 6 โดยตั้งค่าอ้างอิงไว้ที่ 28 V 26 V 24 V 26 V และ 28 V ตามลำดับ พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอมีผลตอบสนองให้ระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิงที่ประมาณ 3000 ค่าของการสุ่ม และไม่เกิดโอเวอร์ชูตขึ้น



(ก) โมเดลที่ใช้ในการจำลองการทำงานของ

(ข) ผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต

### รูปที่ 6 การจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ

### 3. ผลการทดสอบ

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 7 (ก) ถูกทดสอบกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอิสระขนาด 1.5 kW และแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 500 Ah ดังรูปที่ 7 (ข) และรูปที่ 7 (ค) ตามลำดับ ณ ศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านดินค้อย ต.แม่หละ อ.ท่าสองยาง จ. ตาก มีผลการทดสอบดังนี้

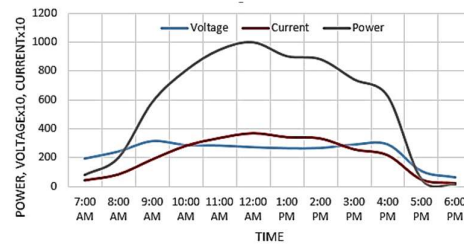


(ก) เครื่องต้นแบบ (ข) ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1.5 kW (ค) แบตเตอรี่สำรองไฟขนาด 500 Ah

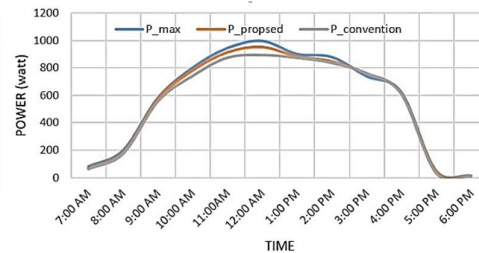
### รูปที่ 7 เครื่องต้นแบบ ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.1 การเกาะจุดกำลังสูงสุด

การทดสอบการเกาะจุดกำลังสูงสุดตามหลักการ P&O ที่นำเสนอ ถูกทดสอบในช่วงเดือนตุลาคม 2560 โดยในรูปที่ 8 (ก) เป็นผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการปรับค่ากระแสโหลด พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสงในแต่ละเวลา โดยมีค่าสูงสุด 995.925 วัตต์ ณ เวลา 12.00 น.



(ก) กระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้าสูงสุด

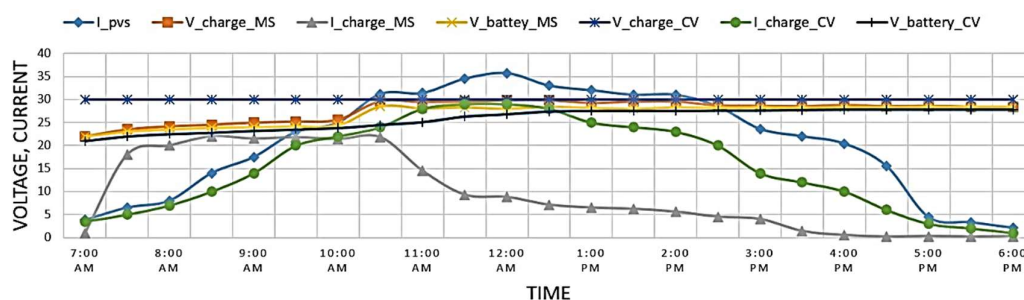


(ข) การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า

รูปที่ 8 กำลังไฟฟ้าสูงสุดและการเกาะจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามหลักการที่นำเสนอ

จากกราฟในรูปที่ 8 (ข) ระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย 82.43 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบทั่วไปที่ไม่มีการเกาะจุดกำลังสูงสุด 5.35 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นว่าระบบที่นำเสนอจะมีความชันของเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าที่สอดคล้องกับค่ากำลังสูงสุด ส่วนระบบทั่วไปในช่วงที่ความเข้มแสงสูงแรงดันที่คงที่ไม่ทำให้เกิดกำลังสูงสุด ดังนั้นเส้นกราฟกำลังไฟฟ้าจึงมีความชันลดลง ส่วนในช่วงที่กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่าสมรรถนะของทั้งสองระบบจะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเข้าใกล้ค่ากำลังสูงสุดในขณะนั้น

### 3.2 การประจุแบบหลายขั้นตอน



รูปที่ 9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าในการประจุแบบหลายขั้นตอนที่นำเสนอ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 9 การประจุแบบหลายขั้นตอน (MS) ในช่วงเวลาประมาณ 8.30 น. ถึง 11.00 น. ระบบจะทำการประจุแบบกระแสคงที่ ที่ประมาณ 22 A แรงดันแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 24.5 V ระบบจะตัดการทำงานไปยังโหมดแรงดันคงที่ที่ค่าแรงดันประมาณ 30 V กระแสประจุจะค่อยๆ ลดลง ใช้เวลาในช่วงนี้ประมาณ 5 ชั่วโมง และในตอนท้ายระบบจะทำการประจุแบบพัลส์ด้วยกระแสค้ำที่ประมาณ 0.3 A โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง แบตเตอรี่มีค่าแรงดันสูงสุดที่ 28 V อุณหภูมิสูงสุดของแบตเตอรี่มีค่า 35 องศาเซลเซียส ส่วนประจุแบบแรงดันคงที่ (CV) จะทำการประจุที่ค่าแรงดัน 30 V กระแสประจุจะสอดคล้องกับกระแสจากแผง



เซลล์และมีค่าต่ำกว่าระบบที่นำเสนอจนถึงประมาณ 11.00 น. และจะมีค่าสูงกว่าในช่วงหลัง 11.00 น. ส่วนแรงดันแบตเตอรี่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนมีค่าสูงสุดที่ 26.2 V โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 13 ชั่วโมง (จากการทดสอบต่อเนื่องจนไม่มีกระแสประจุไหลเข้าแบตเตอรี่) เมื่อทำการเปรียบเทียบกันพบว่าระบบที่นำเสนอจะมีค่าแรงดันสูงสุดสูงกว่า 1.8 V ใช้เวลาในการประจุน้อยกว่าประมาณ 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าประมาณ 4 องศาเซลเซียส

#### 4. สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่สำหรับระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอิสระ ที่มีการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตและรบกวน ทำงานร่วมกับการประจุแบบหลายขั้นตอนโดยใช้ตัวควบคุมที่ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับที่มีผลตอบสนองที่ดี ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ก การทดสอบพบว่าระบบมีสมรรถนะในการทำงานเป็นไปตามหลักการที่นำเสนอ การเกาะจุดกำลังสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพ 82.43 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีการเกาะจุดกำลังสูงสุด 5.35 เปอร์เซ็นต์ สามารถประจุพลังงานให้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดได้สูงกว่าการประจุแบบแรงดันคงที่โดยการตรวจสอบแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ที่สูงกว่า 1.8 โวลต์หรือคิดเป็น 6.62 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการประจุ 9 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มิแสงแดดของประเทศไทย เหมาะสมต่อการใช้งานกับระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอิสระบนพื้นที่สูง และใช้เวลาที่น้อยกว่าระบบการประจุแบบแรงดันคงที่ประมาณ 4 ชั่วโมง และแบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอายุการใช้งานแบตเตอรี่จะยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามระบบที่นำเสนอควรได้รับการพัฒนาและวิจัยต่อไปในด้านการกำหนดค่าคงที่ของกระแสและแรงดันในโหมดการทำงานต่างๆของการประจุให้มีค่าที่เหมาะสมกับระบบที่อาจมีขนาดต่างกันโดยเน้นที่ช่วงเวลาของการประจุในทุกขนาดระบบให้มีค่าเหมาะสมกับช่วงที่มีแสงแดด หรืออาจพัฒนาออกแบบระบบชุดเขยในช่วงหน้าหนาว หรือหน้าฝน เพื่อให้สามารถเก็บพลังงานให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของระบบการกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระบนพื้นที่สูงได้เป็นอย่างดี

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. Alternative Energy Development Plan: AEDP2015 [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 2561 มกราคม 31]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf).
- [2] R. Sridhar; N. Thamizh Selvan; S. Jeevananthan; PV Sujith Chowdary. Performance improvement of a photo voltaic array using MPPT ( P&O) technique. 2010 International Conference on Communication Control and Computing Technology; IEEE Conferences; 2010. p.191-195.
- [3] Silver Telecom. Ag102 Intelligent Sealed Lead Acid Battery Charger Module. Silvertel Datasheet; June 2014. p.5-8.
- [4] H. I. Hsieh, C. Y. Tsai and G. C. Hsies. Photovoltaic Burp Charge System on Energy- Saving Configuration by Smart Charge Management. IEEE Transaction on Power Electronics; Vol. 29; No. 4. 2014. p.1777-1790.
- [5] M. A. Rahman, and M. A. Hoque. On-Line Self-Tuning ANN-Based Speed Control of a PM DC Motor. IEEE Transaction On Mechatronics; Vol.2; No.3. 1997. p.169-178.