

การหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้การตรวจจับอัตราการไหล สำหรับระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการตรวจจับอัตราการไหล เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณเนื่องจากใช้ตัวตรวจจับเพียงตัวเดียว ในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลในเวลาปัจจุบันและเวลาก่อนหน้า ผลการเปรียบเทียบใช้สำหรับปรับวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ในวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันไฟฟ้า การประมวลผลอัลกอริธึมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 ผลการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอกับระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 12 วัตต์ และปั้มน้ำพิกัด 6 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง โดยมีประสิทธิภาพในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 98.6 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 98.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร

คำสำคัญ: จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด, ปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, การตรวจจับอัตราการไหล
(การประชุมวิชาการ การวิจัยภาคปฏิบัติและการพัฒนา ครั้งที่ 1 เชียงใหม่)

Maximum Power Point Tracking by Using Flow Rate Sensing For a Solar Energy Water Pumping System

Narongrit Pimkumwong

Abstract

This paper proposed a technique to seek the maximum power point of solar cell for a solar energy water pumping system. A single sensor of flow rate was utilized to reduce the complexity of calculation. The comparison between the current flow rate value and the prior value was used to search for the maximum power point and the duty cycle of switch of buck converter was adjusted accordingly. This algorithm has been implemented on a PIC16F877 microcontroller. The proposed technique was tested on a prototype system which is composed of a 12-watt solar cell and a 6-watt water pump. The experimental results showed that this technique could effectively search for the maximum power point with the efficiency of the maximum power point tracking 98.6 percent and 98.3 percent at solar radiation 350 W/m^2 and 500 W/m^2 , respectively.

Keywords: Maximum power point, Solar energy water pumping, Flow rate sensing
(selected from 1st Symposium on Hands-on Research and Development, Chiang Mai)

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนปั้มน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ เพื่อลดการใช้พลังงาน และไม่สร้างมลพิษ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นชุดต้นกำลัง ในการขับเคลื่อน และใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะพยายามทำให้จุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุด แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของแผง และความเข้มแสงอาทิตย์ (solar radiation)

ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีเปิดและ/หรือลัดวงจร (Open-and Short-circuit Method) [1-6] การหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำได้โดยวัดแรงดันเปิดวงจรและ/หรือกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำค่าที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟกระแส-แรงดันไฟฟ้า (I-V curve) หรือทำการสแกนด้วยค่าคงที่ที่กำหนดไว้ เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ณ จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วิธีนี้สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว มีการคำนวณไม่ซับซ้อนและไม่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สถานะคงตัว (สถานะที่ปริมาณแสงและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ) แต่ไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถูกต้องเนื่องจากสภาพบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้กราฟกระแส-แรงดันไฟฟ้าหรือค่าคงที่ที่กำหนดไว้ไม่ตรงกับค่าจริง ณ ขณะนั้นและจากการเปิดหรือลัดวงจรส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบางส่วน ประสิทธิภาพของระบบจึงลดลง [3-5]

วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method: P&O) [3-5, 7-11] หลักการของวิธีนี้คือทำงานเป็นคาบเวลาโดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวคือขั้นตอนการรบกวน หลังจากนั้นจะทำการวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการรบกวน แล้วทำการเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลา ก่อน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์

แสงอาทิตย์ให้จุดทำงานวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีนี้เป็นวิธีที่มีอัลกอริทึมง่าย และมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่เกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสถานะคงตัวและไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์อย่างทันทีทันใด อีกทั้งในการหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า จึงเกิดความยุ่งยากในการใช้งานและความซับซ้อนในการคำนวณ [3-5, 12-13]

วิธีเพิ่มค่าความนำ (incremental conductance) [3, 12, 14-16] ทำโดยการหาค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้าไม่เท่ากับศูนย์จะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขั้นๆ จนกระทั่งจุดทำงานวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วิธีนี้มีข้อดีในแง่ของความสามารถในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์อย่างทันทีทันใด แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณมาก และเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสถานะคงตัวเมื่อต้องการลดเวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้น้อยลง [4,5] วิธีนี้ยังคงมีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกับวิธีการรบกวนและกาสังเกต

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligent) เช่น ฟัซซี่ลอจิก (fuzzy-logic) และโครงข่ายประสาทเทียม (neural-network) [17-19] วิธีนี้สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วทั้งขณะปริมาณแสงอาทิตย์เกิดการเปลี่ยนแปลงและที่สถานะคงตัว แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อนส่งผลให้เวลาในการคำนวณมาก จึงต้องการตัวประมวลผลที่มีสมรรถนะสูงและระบบมีราคาสูงขึ้น [3]

วิธีใช้ตัวตรวจจับเพียงตัวเดียว [20,21] วิธีนี้ใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเพียงตัวเดียวในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด จึงทำให้ลดเวลาและความซับซ้อนในการคำนวณ อีกทั้งใช้วงจรต่อรวมน้อยจึงทำให้ราคาของระบบ

ลดลง แต่มีข้อจำกัดคือ ในการคำนวณเพื่อหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีความไวต่อสัญญาณรบกวน และ/หรือ ต้องการให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งคงที่

บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์อีกเทคนิคหนึ่งด้วยการตรวจจับอัตราการไหล วิธีที่นำเสนอใช้ตัวตรวจจับเพียงตัวเดียว จึงเป็นวิธีที่ง่าย การคำนวณไม่ซับซ้อน ไม่ต้องการตัวประมวลผลที่มีสมรรถนะสูง และเหมาะกับระบบปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากปั๊มน้ำที่ใช้มีการติดตั้งตัวตรวจจับอัตราการไหลภายในปั๊มน้ำแล้ว จึงลดค่าใช้จ่ายสำหรับตัวตรวจจับสัญญาณ ในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลในเวลาปัจจุบันกับเวลาก่อนหน้า ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบใช้สำหรับปรับเปลี่ยนวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) ของสวิทช์ในวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันไฟฟ้า (buck converter) เพื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งเป็นชุดขับเคลื่อนของปั๊มน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำจากปั๊มน้ำเปลี่ยนแปลงไปสู่ค่าสูงสุดและเนื่องจากอัตราการไหลแปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ค่าสูงสุดเช่นกัน

2. เทคนิคการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอ

2.1 แนวคิด

แนวคิดในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดพิจารณาจากกำลังทางกล (mechanical- power) ที่มอเตอร์จ่ายให้ปั๊มน้ำ [22,23] ดังสมการ (1)

$$P_L = T_L \omega = c\omega^3 \quad (1)$$

โดยที่ P_L คือ กำลังทางกล [วัตต์]
 T_L คือ แรงบิดโหลด [นิวตัน เมตร]
 ω คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ [เรเดียนต่อวินาที]
 c คือ ค่าคงที่ของแรงบิดโหลด

เมื่อไม่คิดการสูญเสียจะได้ว่า กำลังไฟฟ้าขาเข้า (input power) ของมอเตอร์จะเท่ากับกำลังทางกลที่มอเตอร์จ่ายให้กับปั๊มน้ำ ซึ่งกำลังไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์คือกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงได้ดังสมการ (2)

$$P_{pv} = P_L = c\omega^3 \quad (2)$$

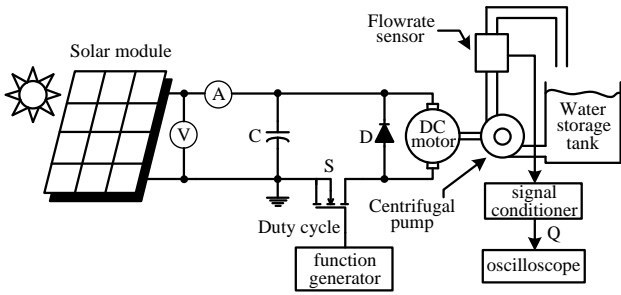
โดยที่ P_{pv} คือ กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [วัตต์]

จากสมการ (2) จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แปรผันตรงกับความเร็วรอบมอเตอร์ และเนื่องจากอัตราการไหลแปรผันตรงกับความเร็วรอบตามกฎสัมพรรคภาพ (affinity laws) เมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด (impeller diameter) ของปั๊มน้ำ [24] ดังสมการ (3)

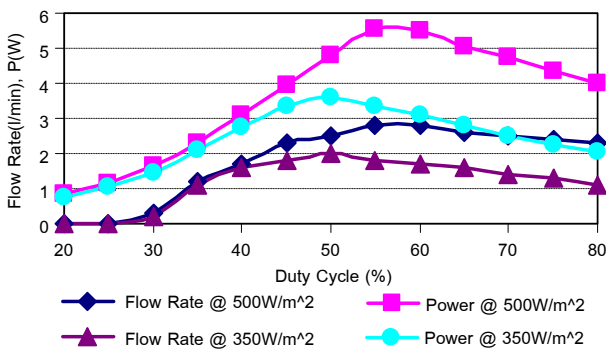
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล [ลิตรต่อนาที]

ดังนั้นจะได้ว่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แปรผันตรงกับอัตราการไหล เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงทำการทดสอบโดยทำการปรับวัฏจักรการทำงานของสวิทช์ในวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยตัวกำเนิดสัญญาณ (function generator) ที่ละ 5% แล้วบันทึกค่าอัตราการไหลและกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสงอาทิตย์ (solar-radiation) 500 W/m² และ 350 W/m² วงจรสำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 และผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรสำหรับทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



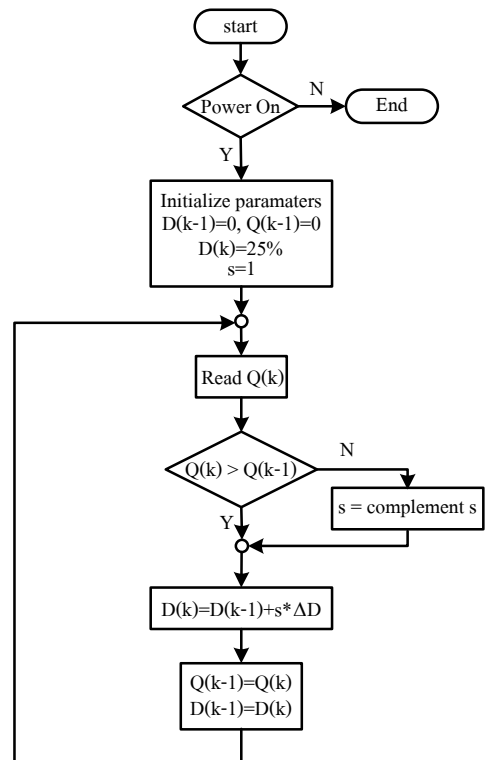
รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการทดสอบในรูปที่ 2 ที่ความเข้มแสงค่าเดียวกัน เมื่อวัฏจักรการทำงานเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มวัฏจักรการทำงานจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด อัตราการไหลมีค่าสูงสุดด้วยเช่นกัน หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มวัฏจักรการทำงานต่อไปกำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลจะลดลง จากข้อสรุปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลแปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวคิดที่นำเสนอ ดังนั้นการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถทำได้โดยการเลือกวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสม

2.2 การปรับวัฏจักรการทำงาน

ในการเลือกวัฏจักรการทำงานที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2 ซึ่งการปรับวัฏจักรการทำงานพิจารณาโดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลในเวลาปัจจุบันและเวลาก่อนหน้า ถ้าอัตราการไหลในเวลาปัจจุบันมากกว่า

เวลาก่อนหน้าแสดงว่าอัตราการไหล (กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์) กำลังเข้าสู่ค่าสูงสุด วัฏจักรการทำงานจะถูกปรับ (เพิ่มหรือลด) ในทิศทางเดิม และในทางกลับกันถ้าอัตราการไหลในเวลาปัจจุบันน้อยกว่าเวลาก่อนหน้าแสดงว่าอัตราการไหล (กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์) กำลังห่างจากค่าสูงสุด วัฏจักรการทำงานจะถูกปรับสวนทางกับทิศทางเดิม โดยแผนผังการปรับวัฏจักรการทำงานแสดงดังรูปที่ 3 ในรูป $Q(k)$, $Q(k - 1)$, $D(k)$, $D(k - 1)$ และ ΔD คืออัตราการไหลในเวลาปัจจุบันและก่อนหน้า วัฏจักรการทำงานในเวลาปัจจุบันและก่อนหน้า และอัตราค่าเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรการทำงานตามลำดับ



รูปที่ 3 แผนผังการปรับวัฏจักรการทำงานของวิธีที่นำเสนอ

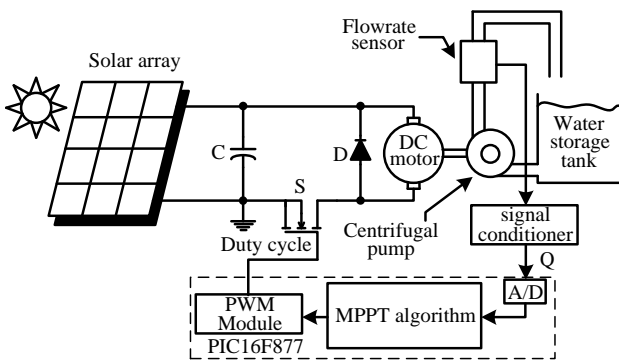
จากแผนผังการปรับวัฏจักรการทำงานในรูปที่ 3 ตัวแปร s คือตัวแปรสำหรับปรับทิศทางการทำงานของจุดทำงาน ณ ขณะปัจจุบัน เมื่อ s เท่ากับ 1 แสดงว่าจุดทำงานปัจจุบันกำลังวิ่งเข้าหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วัฏจักรการทำงานจะถูกปรับในทิศทางเดิม เมื่อ s เท่ากับ -1 แสดงว่าจุดทำงานกำลังวิ่งออกจากจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วัฏจักรการทำงานจะถูกปรับ

ในทิศทางสวนทางกับทิศทางเดิม โดยค่าเริ่มต้นสำหรับตัวแปร s จะเป็น 1 หรือ -1 ก็ได้เพราะอัลกอริทึมจะทำการปรับเปลี่ยนจุดทำงานจนวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในที่สุด

ในการเลือกค่าเริ่มต้นของวัฏจักรการทำงานในงานวิจัยนี้เลือกใช้ที่ 25% เนื่องจากเป็นวัฏจักรการทำงานต่ำสุดที่ระบบสามารถทำงานได้ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2 และค่า ΔD ที่เลือกใช้เท่ากับ 1% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากเมื่อเลือกค่าที่ต่ำเกินไปจะทำให้ระบบใช้เวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก หรือถ้ามากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ณ จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลง

3. ระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบโดยใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 4



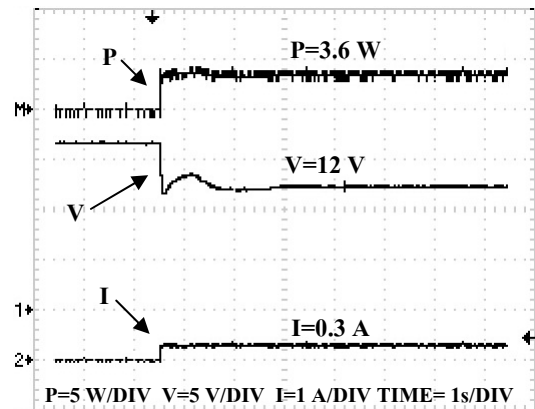
รูปที่ 4 ระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบที่นำเสนอ

จากรูปที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด 14.98 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.8 แอมแปร์ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตัวควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 ทำหน้าที่หาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการปรับวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ในวงจรแปลงผันแบบทอนระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ พารามิเตอร์ในวงจรประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ C 2200 ไมโครฟารัด ไดโอด D เป็นแบบคืนตัวเร็ว (fast recovery diode) และสวิตช์ S ใช้

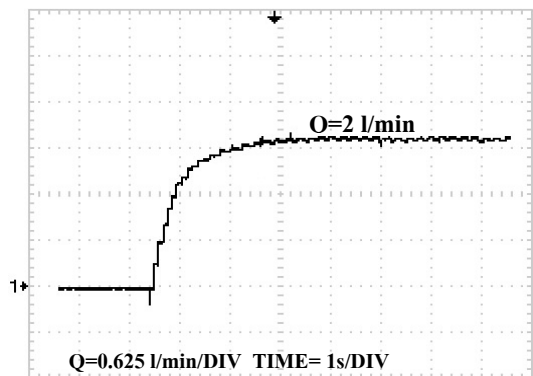
มอสเฟตเบอร์ FDS6680A ซึ่งสามารถใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขับได้โดยตรง และทำงานที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ชุดปั้มน้ำประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรพิกัดกำลังไฟฟ้า 6 วัตต์ และปั้มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอัตราการไหลสูงสุด 3 ลิตรต่อนาที โดยมีอัตราแปลง (transformation ratio) เท่ากับ 1000 ฟลส์ต่อลิตรต่อนาที

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์

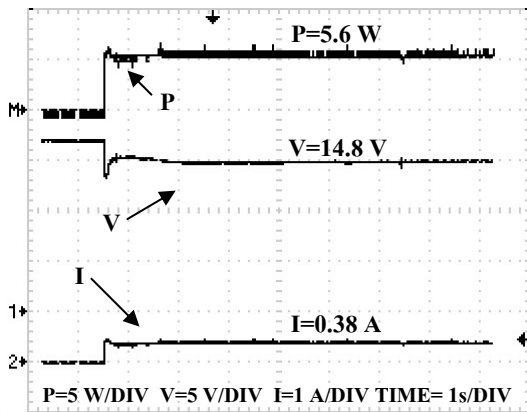
ในการทดสอบจะทำการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการโดยใช้หลอดฮาโลเจนพิกัด 1500 วัตต์จำนวน 2 หลอดเป็นตัวสร้างแสงให้เซลล์แสงอาทิตย์ การปรับความเข้มแสงใช้วิธีการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดไฟ ผลการทดสอบที่ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตรแสดงได้ดังรูปที่ 5 และ 6 และที่ความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตรแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8



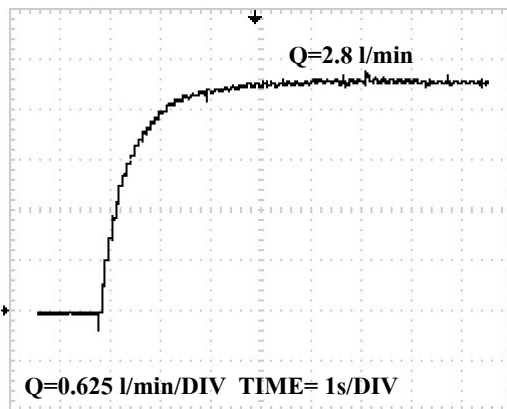
รูปที่ 5 กำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 6 อัตราการไหลที่ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 7 กำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 8 อัตราการไหลที่ความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในรูปที่ 5 และ 7 พบว่าในช่วง ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตร กำลังไฟฟ้าสูงสุดจาก อัลกอริทึมที่นำเสนอ (P_{mppt}) จากกราฟมีค่าประมาณ 3.6 วัตต์และ 5.6 วัตต์ ในช่วงความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงของแผง (P_{ref}) ซึ่งใช้สำหรับเป็นค่าอ้างอิงที่ความเข้มแสงทั้งสองในรูปที่ 2 พบว่ามีค่าประมาณ 3.65 วัตต์และ 5.7 วัตต์ โดยในการ เปรียบเทียบแสดง ในรูปแบบของประสิทธิภาพ ในการ หา จุด ่า ย ก ่า ล ัง ฟ ี พ ี่ า ส ู ง ส ู ด ($\% \eta_{mppt} = (P_{mppt} / P_{ref}) \times 100\%$) พบว่า วิธี ที่ นำเสนอมีประสิทธิภาพประมาณ 98.6 เปอร์เซ็นต์ และ 98.3 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มแสงทั้งสองตามลำดับ และเมื่อพิจารณา รูปกราฟสัญญาณกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัวที่ความเข้มแสง

ทั้งสองพบว่าเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อย และมีสัญญาณรบกวน (noise) ที่บวมบนสัญญาณกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากการ ในการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่ได้ใช้ วงจรกรองสัญญาณ (noise filter) เพื่อให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องโดยใช้วงจรที่ ไม่ซับซ้อน จากกราฟในรูปที่ 6 และ 8 จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้ จากตัวตรวจจับมีสัญญาณรบกวนน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ตัวตรวจจับที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ทำการเปลี่ยนอัตราการไหล เป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงไปตาม อัตราการไหลจึงทำให้มีสัญญาณเข้ามารบกวนในกระบวนการ แปลงค่าน้อย และเมื่ออ่านค่ากราฟพบว่าอัตราการไหล (Q_{mppt}) ประมาณ 2 ลิตรต่อนาที และ 2.8 ลิตรต่อนาทีที่ ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตรและ 500 วัตต์ต่อตาราง เมตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลสูงสุด อ้างอิง (Q_{ref}) ที่ความเข้มแสงทั้งสอง กล่าวคือมีค่าประมาณ เท่ากับ 2 ลิตรต่อนาทีที่ความเข้มแสง 350 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 2.85 ลิตรต่อนาทีที่ความเข้มแสง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ($\% e = \frac{Q_{ref} - Q_{mppt}}{Q_{ref}} \times 100\%$) ประมาณเท่ากับ 0% และ 1.75% ที่ความเข้มแสง 350 และ 500 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ

5. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้แนะนำเสนอเทคนิคในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้า สูงสุดสำหรับระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการ ทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถหาจุดจ่าย กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง โดยมีประสิทธิภาพในการ หาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 98.6% และ 98.3% ที่ความเข้มแสง 350 และ 500 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ อีกทั้งอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดอาศัย การตรวจจับอัตราการไหลเพียงอย่างเดียว จึงไม่มีการคูณหรือ อนุพันธ์สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า จึงเป็นวิธีที่ง่าย การคำนวณไม่ซับซ้อน และตัวตรวจจับที่นำมาใช้มีสัญญาณ รบกวนต่ำจึงทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณกำลังไฟฟ้า ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสูدن้อย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Noguchi, S. Togashi and Y. Nakamoto, “Short-current pulse-based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system”, IEEE Trans. Industrial Electronics, 2002, pp. 217-223.
- [2] B. Bekker and H.J. Beukes, “Finding an optimal PV panel maximum power point tracking method”, 7th AFRICON Conference, 2004, pp. 1125-1129.
- [3] C. Liu, B. Wu and R. Cheung, “Advanced algorithm for MPPT control of photovoltaic systems”, Canadian Solar Building Conference, 2004.
- [4] D.P. Hohm and M.E. Ropp, “Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed”, Photovoltaic Specialists Conference, 2000, pp. 1699-1702.
- [5] T. Esum and P.L. Chapman, “Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques”, IEEE Trans. Energy Conversion, 22, 2007, pp. 439-449.
- [6] M.A.S. Masoum, H. Dehbonei and E.F. Fuchs, “Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage- and current-based maximum power-point tracking”, IEEE Trans. Energy Conversion, 17, 2002, pp. 514-522.
- [7] K. Chomsuwan, P. Prisuwana and V. Monyakul, “Photovoltaic grid-connected inverter using two-switch buck-boost converter”, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002, pp. 1527-1530.
- [8] C. Hua and J.R. Lin, “DSP-based controller application in battery storage of photovoltaic system”, Proceedings IEEE IECON 22nd Int. Conf. Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1996, pp. 1705-1710.
- [9] S. Jain and V. Agarwal, “A new algorithm for rapid tracking of approximate maximum power point in photovoltaic systems”, IEEE Power Electronics Letters, 2, 2004, pp. 16-19.
- [10] O. Wasynczuk, “Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems”, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 102, 1983, pp. 3031-3037.
- [11] C. Hua and C. Shen, “Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage systems”, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition Proceedings, 2, 1998, pp. 679-685.
- [12] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, “Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions”, IEEE Proceedings on Generation, Transmission, and Distribution, 142, 1995, pp. 59-64.
- [13] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis and N.C. Voulgaris, “Development of a microcontroller-based photovoltaic maximum power point tracking control system”, IEEE Trans. Power Electronics, 16, 2001, pp. 46-54.
- [14] A. Brambilla, M. Gambarara, A. Garutti and F. Ronchi, “New approach to photovoltaic arrays maximum power point tracking”, Proceedings 30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2, 1999, pp. 632-637.
- [15] T.Y. Kim, H.G. Ahn, S.K. Park, and Y.K. Lee, “A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2, 2001, pp. 1011-1014.
- [16] Y.C. Kuo, T.J. Liang, and J.F. Chen, “Novel maximum power point tracking controller for photovoltaic energy conversion system”, IEEE Trans. Industrial Electronics, 48, 2001, pp. 594-601.

- [17] C.Y. Won, D.H. Kim, S.C. Kim, W.S. Kim and H.S. Kim, “A new maximum power tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller”, Proceedings 25th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1, 1994, pp. 396-403.
- [18] T. Senjyu and K. Uezeto, “Maximum power point tracker using fuzzy control for photovoltaic arrays”, Proceedings IEEE International Conference on Industrial Technology, 1994, pp. 143-147.
- [19] L. Zhang, Y. Bai and A. Al-Amoudi, “GA-RBF neural network based maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic systems”, Proceedings International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2002, pp. 18-23.
- [20] A. Pandey, N. Dasgupta and A.K. Mukerjee, “A Simple Single-Sensor MPPT Solution”, IEEE Trans. Power Electronics, 22, 2007, pp. 698-700.
- [21] E.M. Ahmed and M. Shoyama, “Single variable based variable step size maximum power point tracker for stand-alone battery storage PV systems”, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2011, pp. 210-216.
- [22] J. Gonzalez-Llorente, E.I. Ortiz-Rivera, A. Salazar-Llinas and E. Jimenez-Brea, “Analyzing the Optimal Matching of DC Motors to Photovoltaic Modules via DC-DC Converters”, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition Proceedings, 2010, pp. 1062-1068.
- [23] M.M. Saied, “Matching of DC Motors to Photovoltaic Generators for Maximum Daily Gross Mechanical Energy”, IEEE Trans. Energy Conversion, 3, 1988, pp. 465-472.
- [24] A. Chikh and A. Chandra, “Optimization and Control of a Photovoltaic Powered Water Pumping System”, IEEE Electrical Power & Energy Conference, 2009, pp. 1-6.