

อัลกอริธึมอิงกระแสสำหรับการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

Current Based Algorithm for the Maximum Power Point Tracking of Stand-alone Photovoltaic System

ชวรีย์ เกื่อนพังเทียม กองพัน อารีรักษ์* กองพล อารีรักษ์

กลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงาน เครื่องจักรกล และการควบคุม
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Chavaree Thueanpangthaim, Kongpan Areerak* and Kongpol Areerak

Power Electronic, Energy, Machines and Control Research Group

School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

*Corresponding author: Email: kongpan@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนออัลกอริธึมอิงกระแสในการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ อัลกอริธึมดังกล่าวสามารถปรับปรุงสมรรถนะการตามรอยจุดกำลังสูงสุดเมื่อเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกต โดยอัลกอริธึมอิงกระแสจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงทำให้มีการตอบสนองที่รวดเร็วขึ้นและสามารถถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ การยืนยันผลการตอบสนองทางพลวัตของอัลกอริธึมอิงกระแสในบทความจะอาศัยการจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังบนโปรแกรม MATLAB นอกจากนี้ยังมีการทดสอบด้วยชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบพบว่าอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องและลดการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสถานะคงตัว อีกทั้งยังให้เวลาตอบสนองในสถานะชั่วคราวที่รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกต

คำสำคัญ: ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ การตามรอยจุดกำลังสูงสุด วิธีรบกวนและสังเกต อัลกอริธึมอิงกระแส

ABSTRACT

This paper present current based algorithm for the maximum power point tracking of stand-alone system. The proposed algorithm can improve the tracking performance compared with the conventional perturb and observe (P&O) method. The current based algorithm directly uses the change of photovoltaic current. As a result, the response and the achieved power are better than there of the P&O method. To verify the advantage of the proposed algorithm, the simulation via MATLAB and the experimental results from the hardware implementation are used. The results show that the current based algorithm can provide the better performance in both transient and steady-state response compared with the P&O method.

Keyword: Stand-alone photovoltaic, Maximum power point tracking, Perturb and observe method, Current based algorithm.

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนทางธรรมชาติที่สำคัญที่สุด ไม่มีวันหมด และเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ ทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell หรือ Photovoltaic cell: PV) จึงเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการใช้งานที่สูง แต่เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำและพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและโหลด จึงทำให้ไม่สามารถได้พลังงานสูงสุดที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ จึงได้มีการนำเอาระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดเข้ามาใช้งาน เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การดึงพลังงานสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้นั้นมีหลายวิธีด้วยกัน ทั้งระบบติดตามแสงอาทิตย์และการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ในบทความนี้จะอาศัยการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากในบางเวลาความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่ได้รับอาจจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน จึงทำให้กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีการนำระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) มาใช้งาน เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ในสภาวะแวดล้อมขณะนั้น

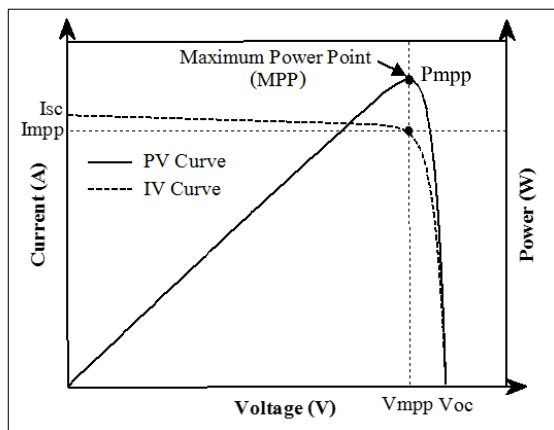
จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตจนถึงปัจจุบัน มีวิธีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดหลากหลายวิธีด้วยกันที่ถูกนำมาใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น วิธีแรงดันเปิดวงจร (Fractional Open Circuit Voltage: V_{oc}) [1]-[3] วิธีกระแสลัดวงจร (Fractional Short Circuit Current: I_{sc}) [1]-[3] วิธี

รบกวนและสังเกต (Conventional Perturb and Observe method: Conventional P&O) [4]-[5] วิธีอิงกระแส (Current based Method) [6]-[8] วิธีเพิ่มค่าความนำ (Incremental Conductance Method: IncCond) [1],[9] และวิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือหรือตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Logic Method) [10]-[12] เป็นต้น โดยวิธีรบกวนและสังเกตนั้นถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและมีขั้นตอนในการคำนวณน้อย แต่ถ้ากำหนดค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัวและทำให้ไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง เพื่อแก้ปัญหาข้อเสียของวิธีรบกวนและสังเกตที่เกิดขึ้น ผลจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าวิธีอิงกระแส สามารถดึงพลังงานสูงสุดที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดได้อย่างถูกต้อง ลดการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัว และมีการตอบสนองในการตามรอยจุดกำลังสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดมีประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงได้เลือกนำวิธีการดังกล่าวมาศึกษาและทำการเปรียบเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกต เพื่อยืนยันข้อดีของวิธีอิงกระแส การตรวจสอบความถูกต้องและยืนยันผลศึกษาที่ได้จากวิธีที่นำเสนอในบทความนี้จะอาศัยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งทดสอบชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ

การนำเสนอในบทความนี้ ประกอบไปด้วย 7 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 บทนำที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่วนที่ 2 เป็นการอธิบายสมการทางคณิตศาสตร์และคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ส่วนที่ 4 เป็นส่วนการนำเสนอการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ ส่วนที่ 5 นำเสนอชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนที่ 6 นำเสนอผลการทดสอบและอภิปราย และส่วนสุดท้ายส่วนที่ 7 เป็นส่วนสรุปผลที่แสดงถึงข้อดีของอัลกอริธึมอิงกระแส สำหรับการควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด

2. คุณสมบัติเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้โดยใช้กราฟคุณสมบัติเฉพาะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) และกราฟคุณสมบัติเฉพาะกำลังและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) ซึ่งใช้ตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตได้ ถ้าหากปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของเซลล์มีค่าคงที่ที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (°C) และความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) จะสามารถสร้างกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะของกระแส แรงดัน และกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 1 จะมีจุดสำคัญที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า Maximum Power Point (MPP หรือ P_{mpp}) โดยการพิจารณาคุณสมบัติทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (V_{mpp}), กระแสไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (I_{mpp}), กระแสขณะลัดวงจร (I_{sc}) และ แรงดันขณะเปิดวงจร (V_{oc}) โดยตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มี

การจ่ายกำลังไฟฟ้าแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ที่มีอยู่ด้วย 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ

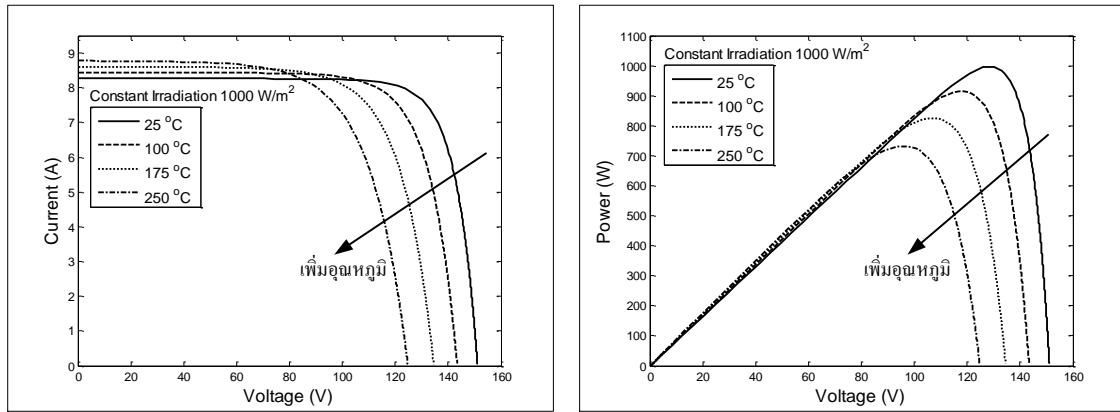
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถแสดงกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง

2.2 ผลกระทบของปริมาณความเข้มแสง

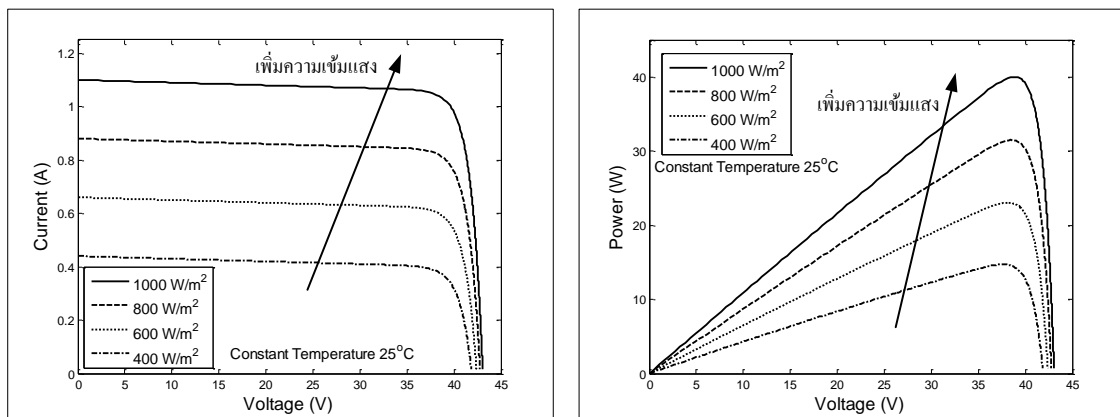
ค่ากระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์มีสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสง จะส่งผลต่อกระแสที่จ่ายได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถแสดงกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้กระแส และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น

3. การตามรอยจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

การดึงพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทำได้โดยใช้ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (MPPT) ซึ่งระบบ MPPT เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ โดยทั่วไประบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (MPPT for stand-alone photovoltaic system) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันตีสเป็นตีส (DC/DC Converter) ซึ่งในบทความนี้จะใช้วงจรแปลงผันแบบบัก (Buck Converter) ในการแปลงแรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนสู่เอาต์พุตแบตเตอรี่หรือโหลด (Load or Battery) แสดงได้ดังรูปที่ 4

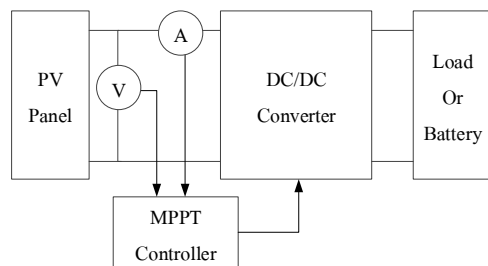


รูปที่ 2 ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิ



รูปที่ 3 ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสง

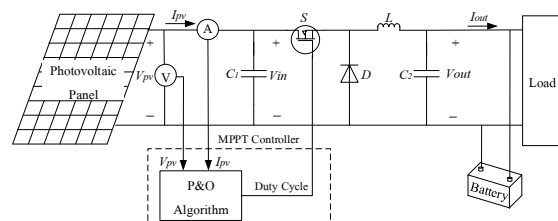
จากรูปที่ 4 วัตถุประสงค์ของตัวควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดคือเพื่อให้ได้ผลการตามรอยอย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และลดการกวัดแกว่งเนื่องจากสภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่อัลกอริธึมของ MPPT แต่ละวิธีนั้น จะทำการคำนวณ MPP และติดตามแรงดัน (V_{mpp}) หรือ กระแส (I_{mpp}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (P_{mpp}) โดยการให้สัญญาณค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle: D) ที่เหมาะสมกับ วงจรแปลงผัน



รูปที่ 4 การตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

3.1 วิธีรับกวนและสังเกต

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรับกวนและสังเกตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งหลักการทํางานของวิธีรับกวนและสังเกต จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ของวงจรแปลงผันแบบบักค้ในการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อกําหนดจุดการทํางานให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด ซึ่งจะทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

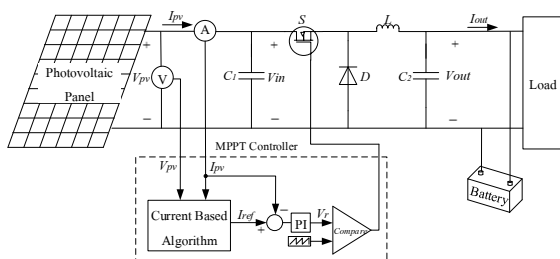


รูปที่ 5 ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรับกวนและสังเกต

ถ้ากำหนดค่าวัฏจักรหน้าที่ D ให้มีค่ามาก จะทำให้ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวรวดเร็ว แต่จะทำให้เกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัว และจะทำให้ไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง ในทางตรงกันข้าม ถ้ากำหนดค่าวัฏจักรหน้าที่ D ให้มีค่าน้อย จะทำให้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวช้า จากปัญหาการเลือกกำหนดขนาด D นั้นจะส่งผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ ซึ่งอาจทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ไม่ถูกต้องตามที่คาดหวังไว้ บทความนี้จึงได้นำเสนอระบบการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส เพื่อจัดการกับปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (ΔI_{step}) โดยตรง แทนการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ โดยการเลือกกำหนดค่า ΔI_{step} แทนนั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการแปลงกำลังไฟฟ้าที่ได้ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง จึงทำให้มีเวลาการตอบสนองก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้นและทำให้เข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากยิ่งขึ้น

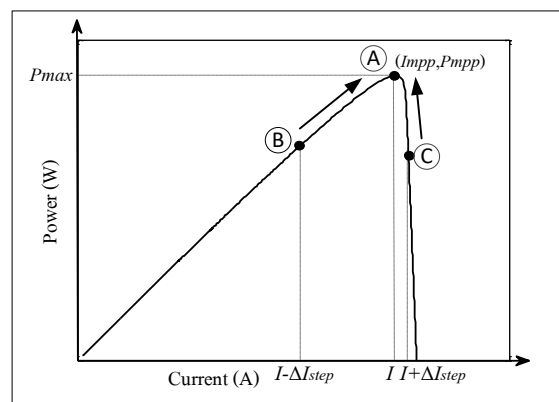
3.2 อัลกอริธึมอิงกระแส

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแสที่พิจารณาในบทความนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่ใช้อัลกอริธึมอิงกระแส สำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแบบบัก เพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุด และโหลดหรือแหล่งพลังงานสำรองแบตเตอรี่



รูปที่ 6 ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส

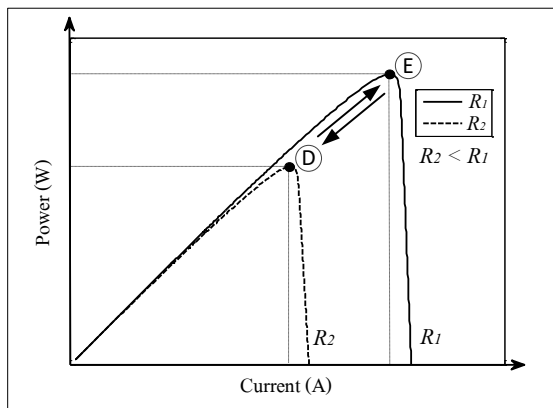
อัลกอริธึมอิงกระแส จะทำงานโดยใช้การเปรียบเทียบกำลังและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในการหาจุดกำลังสูงสุด จากนั้นจะอาศัยการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า เพื่อให้กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด ซึ่งจะทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุดได้ สามารถพิจารณาหลักการการทำงานของอัลกอริธึมอิงกระแสได้จากกราฟคุณลักษณะเฉพาะของกำลังและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 คุณลักษณะเฉพาะกำลังและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับอัลกอริธึมอิงกระแส

จากรูปที่ 7 เมื่ออุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงคงที่ ถ้าหากจุดการทำงานเริ่มต้นอยู่ที่จุด B ต้องการให้จุดการทำงานเปลี่ยนไปยังจุดกำลังสูงสุดที่จุด A จะทำให้ทั้งค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้า (ΔP) และกระแสไฟฟ้า (ΔI) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนหน้ามีค่าเป็นบวก จึงทำให้ $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเพิ่มค่าโดย $I + \Delta I_{step}$ จนกระทั่ง $I = I_{mpp}$ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และเมื่อพิจารณาเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุด C ไปยังจุด A จะทำให้ค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นบวก (ΔP) ในขณะที่ค่าผลต่างของกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นลบ ($-\Delta I$) มีผลทำให้ $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} < 0$ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด จะต้องลดค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดย

$I - \Delta I_{step}$ จนกระทั่ง $I = I_{mpp}$ โดยค่ากระแสที่จุดกำลังสูงสุดที่ได้นี้จะถูกกำหนดเป็นกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (I_{ref}) ในรูปที่ 6 และนำมาเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{pv}) เพื่อหาค่าความผิดพลาดผ่านตัวควบคุมพีไอ ซึ่งตัวควบคุมพีไอนี้จะให้สัญญาณแรงดันอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับสัญญาณฟีดแบ็ค จากนั้นจะได้สัญญาณพัลส์สำหรับขับสวิตช์วงจรแปลงผันแบบบัพคัก ซึ่งจะให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะแวดล้อมขณะนั้น

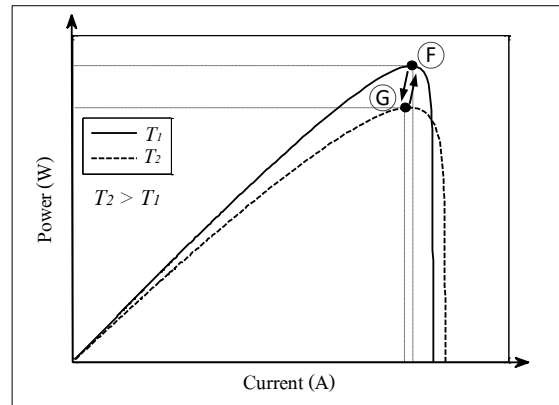


รูปที่ 8 คุณลักษณะเฉพาะกำลังและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

ในกรณีที่ปริมาณความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงสามารถพิจารณาได้จาก P-I Curve ดังรูปที่ 8 โดยความเข้มแสงของ R_1 จะมีค่ามากกว่า R_2 ถ้าปริมาณความเข้มแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้น พิจารณาจุดการทำงานจุด D (จุด MPP ของความเข้มแสง R_2) ต้องการให้จุดการทำงานเปลี่ยนไปยังจุด E (จุด MPP ของความเข้มแสง R_1) จะทำให้ $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเพิ่มค่าเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ในทางตรงข้าม ถ้าปริมาณความเข้มแสงมีค่าลดลง จุดการทำงานจะเปลี่ยนจากจุด E ไปยังจุด D มีผลทำให้ $\Delta P < 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกปรับลดค่าลงเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเช่นกัน

ในกรณีที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะพิจารณา P-I Curve ดังรูปที่ 9 ถ้าอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก T_1 ไปยัง T_2 จุดการทำงานจุด F (จุด MPP ของอุณหภูมิ T_1) จะ

เปลี่ยนไปยังจุด G (จุด MPP ของอุณหภูมิ T_2) มีผลทำให้ $\Delta P < 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกลดค่าลงเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้าหากอุณหภูมิมี่ค่าลดลง จะทำให้ $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเพิ่มค่าเพื่อไปยังจุด MPP จุดใหม่



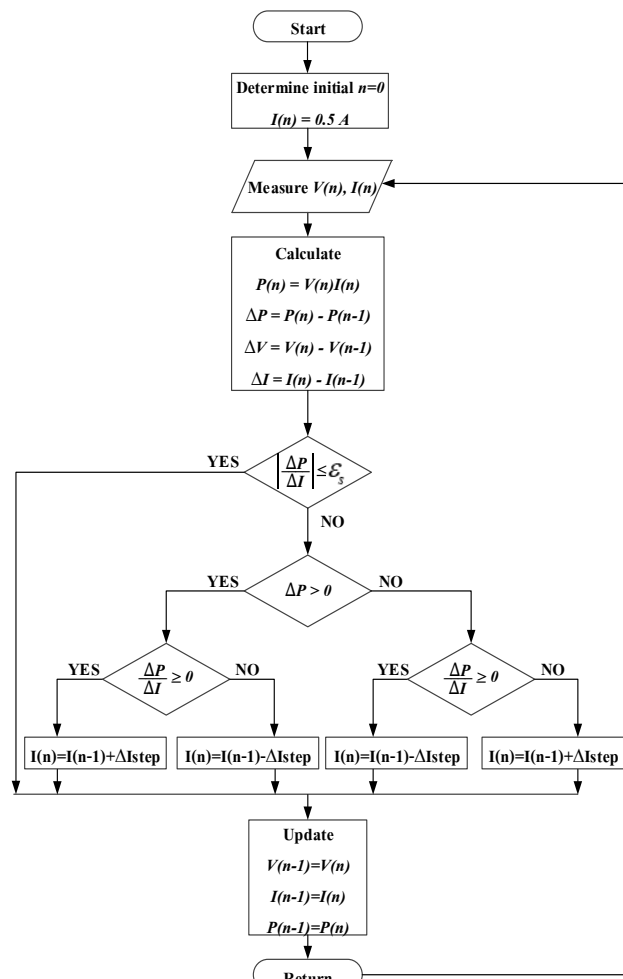
รูปที่ 9 คุณลักษณะเฉพาะกำลังและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

อัลกอริธึมอิงกระแสนี้สามารถหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดได้แม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็ว และสามารถหาลำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง แต่ต้องอาศัยขั้นตอนการคำนวณเพิ่มมากขึ้น จากการพิจารณาจุดการทำงานของการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส สามารถนำมาเขียนแผนภาพลำดับการทำงานของ การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแสได้ดังรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 แผนภาพลำดับการทำงานของ การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส เริ่มแรกจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้อัลกอริธึมมีค่า $P(0) = 0W$, $V(0) = 0V$ และ $I(0) = 0.5A$ จากนั้นจะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า $V(n)$ และกระแสไฟฟ้า $I(n)$ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันแล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $P(n) = V(n)I(n)$ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้า (ΔP) และกระแสไฟฟ้า (ΔI) ในคาบเวลาปัจจุบันกับ

คาบเวลาก่อนหน้า เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข โดยการใช้ $\frac{\Delta P}{\Delta I}$ มาเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ϵ_s ก่อน ถ้า $\frac{\Delta P}{\Delta I} \leq \epsilon_s$ อัลกอริธึมจะไม่เข้าสู่กระบวนการตรวจสอบเงื่อนไข แต่จะทำการอัปเดตค่ากำลังไฟฟ้า $P(n)$ และกระแสไฟฟ้า $I(n)$ ในคาบเวลาปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้คำนวณในรอบต่อไป และอัลกอริธึมจะเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง ในทางตรงข้ามถ้า $\frac{\Delta P}{\Delta I} > \epsilon_s$ อัลกอริธึมจะทำการเปรียบเทียบค่า ΔP และ $\frac{\Delta P}{\Delta I}$ ว่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์หรือไม่ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า ΔP ก่อนแล้วถึงจะเปรียบเทียบค่า $\frac{\Delta P}{\Delta I}$ ซึ่งจะมีการตรวจสอบเงื่อนไขด้วยกันทั้งหมด 4 เงื่อนไขดังนี้

- 1) ถ้า $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ อัลกอริธึมจะทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ $I(n) = I(n-1) + \Delta I_{step}$
- 2) ถ้า $\Delta P > 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} < 0$ อัลกอริธึมจะทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ $I(n) = I(n-1) - \Delta I_{step}$
- 3) ถ้า $\Delta P < 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} \geq 0$ อัลกอริธึมจะทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ $I(n) = I(n-1) - \Delta I_{step}$ และสุดท้าย
- 4) ถ้า $\Delta P < 0$ และ $\frac{\Delta P}{\Delta I} < 0$ อัลกอริธึมจะทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ $I(n) = I(n-1) + \Delta I_{step}$ จากนั้นอัลกอริธึมจะทำการอัปเดตค่า $P(n)$ และ $I(n)$ และอัลกอริธึมจะเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 10 แผนภาพลำดับการทำงานของอัลกอริธึมอิงกระแส

4. การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ เพื่อยืนยันว่า อัลกอริธึมอิงกระแส สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดและตามรอยจุดกำลังสูงสุดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ซึ่งการจำลองสถานการณ์ของระบบดังรูปที่ 6 ในบทความนี้ จะอาศัยชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังร่วมกับ SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ในการจำลองสถานการณ์ โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ที่พิจารณาในการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนต่าง ๆ ของระบบ

| พารามิเตอร์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ | ค่า |
|--------------------------------|--------------|
| V_{mpp} | 38.73 V |
| I_{mpp} | 1.033 A |
| V_{oc} | 43.125 V |
| I_{sc} | 1.1 A |
| P_{max} | 40 W |
| พารามิเตอร์วงจรแปลงผันแบบบัสค์ | ค่า |
| C_1 | 100 μ F |
| C_2 | 1000 μ F |
| L | 10 mH |
| f_{sw} | 10 kHz |
| V_{batt} | 12 V |

4.1 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ของอัลกอริธึมอิงกระแส

การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ในบทความนี้ กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงและให้ค่าอุณหภูมิคงที่ที่ 25 °C ทุกความเข้มแสง โดยการจำลองสถานการณ์แบ่งเป็นลักษณะสัญญาณของความเข้มแสงออกเป็น 2 ช่วงหลัก ๆ ดังนี้ ช่วงที่ 1 สัญญาณลาดเอียง โดยเพิ่มจาก 700 ไป 800 W/m² (ในช่วงเวลา 0.2 วินาที) และลดจาก 800 ไปเป็น 600 W/m² (ในช่วงเวลา 0.2 วินาที) และ ช่วงที่ 2 สัญญาณขั้นบันไดลดจาก 600 ไป

เป็น 500 W/m² และเพิ่มจาก 500 ไปยัง 1000 W/m² ดังรูปที่ 11(ก) โดยการจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า I_{pv} , V_{pv} และ P_{pv} แสดงได้ดังรูปที่ 11(ข)-(ง) ตามลำดับ พบว่าอัลกอริธึมอิงกระแสที่ได้นำเสนอ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ ทั้งแบบที่มีความเข้มแสงแบบสัญญาณลาดเอียงและสัญญาณขั้นบันได โดยสังเกตได้ว่าถ้าปริมาณความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถติดตามกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่จุด MPP

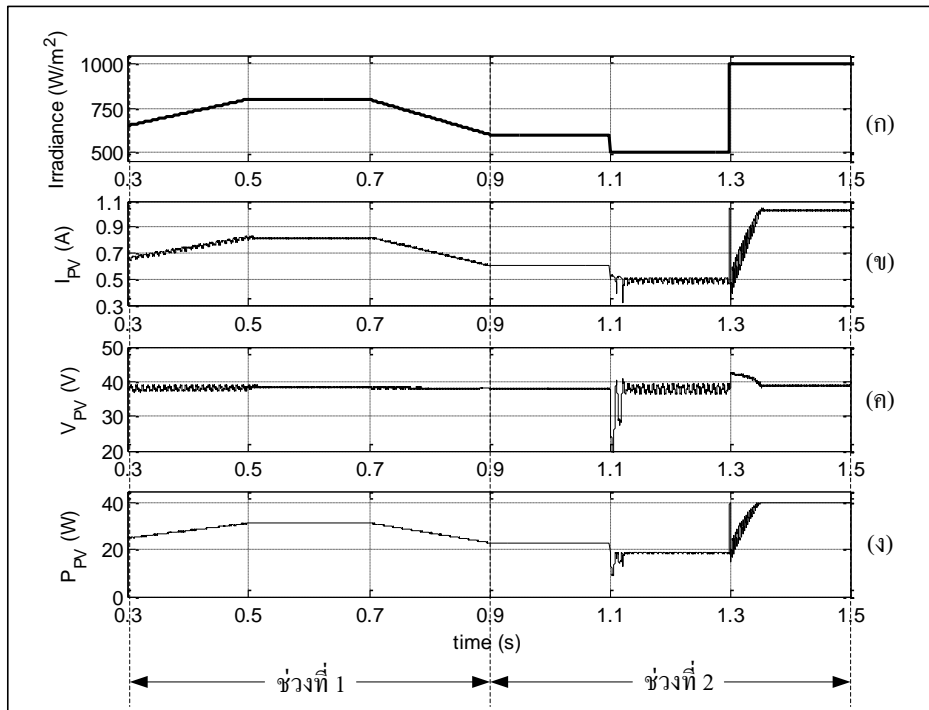
4.2 การเปรียบเทียบผลการตามรอยจุดกำลังสูงสุดระหว่างวิธีรบกวนและสังเกตกับอัลกอริธึมอิงกระแส

การจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบผลการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยวิธีรบกวนและสังเกตกับอัลกอริธึมอิงกระแส ได้ทำการจำลองสถานการณ์เปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแบบทันทีทันใดออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ 600, 1000 และ 800 W/m² ตามลำดับ ที่อุณหภูมิคงที่ 25 °C แสดงได้ดังรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าอัลกอริธึมอิงกระแสที่ได้นำเสนอในบทความนี้ มีการตอบสนองในสภาวะชั่วคราว (transient) ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกต และการตอบสนองในสภาวะคงตัว (steady-state) อัลกอริธึมอิงกระแสสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่า รวมทั้งมีความถูกต้องแม่นยำที่ดีกว่าวิธีรบกวนและสังเกต เนื่องจากวิธีรบกวนและสังเกต เกิดการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด และอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ เนื่องจากวิธีรบกวนและสังเกต จะต้องอาศัยการกำหนดค่า ΔD ที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว ทำให้ดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้น้อยกว่าอัลกอริธึมอิงกระแส

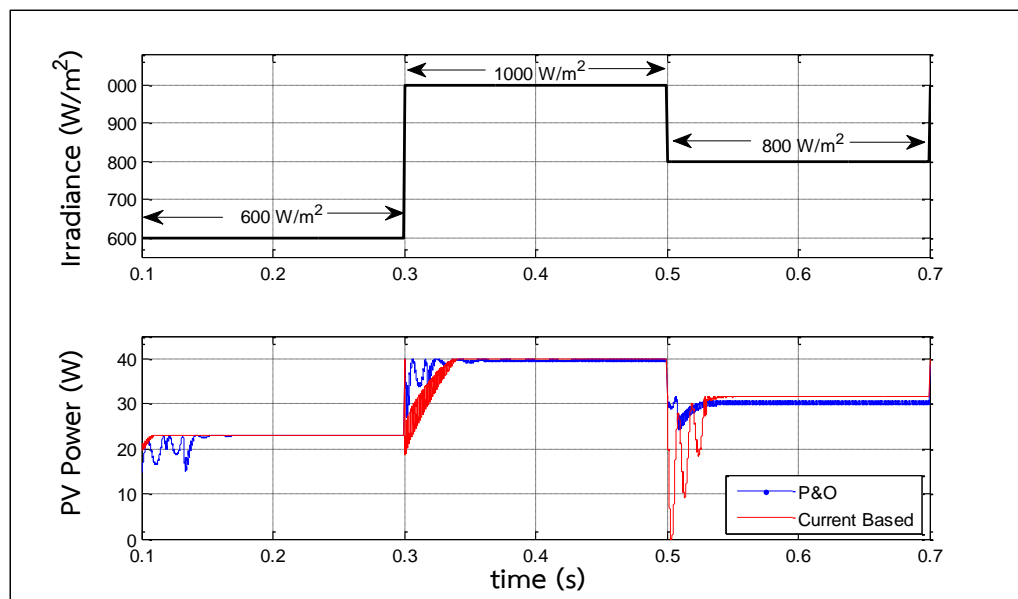
จากรูปที่ 13(ก) เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงสภาวะชั่วคราว ในสภาวะมาตรฐาน ที่ความเข้มแสง 1000 W/m² และอุณหภูมิ 25 °C ในช่วงวินาทีที่ 0.3 ถึง 0.4s จะพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแบบทันทีทันใด ในวิธีรบกวนและสังเกตมีเวลาในการตอบสนองที่ช้า โดยใช้

เวลาก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว 0.09s แต่ในอัลกอริธึมอิงกระแสใช้เวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วกว่า โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว 0.04s และเมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงสภาวะคงตัว ที่ความเข้มแสงเดียวกัน ในช่วงวินาทีที่ 0.35 ถึง 0.5 ในรูปที่ 13(ข) จะสังเกตเห็นว่าในวิธีรับรวมและสังเกตมีการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุดในสภาวะคงตัวมาก และไม่สามารถหาจุดกำลังสูงสุดได้

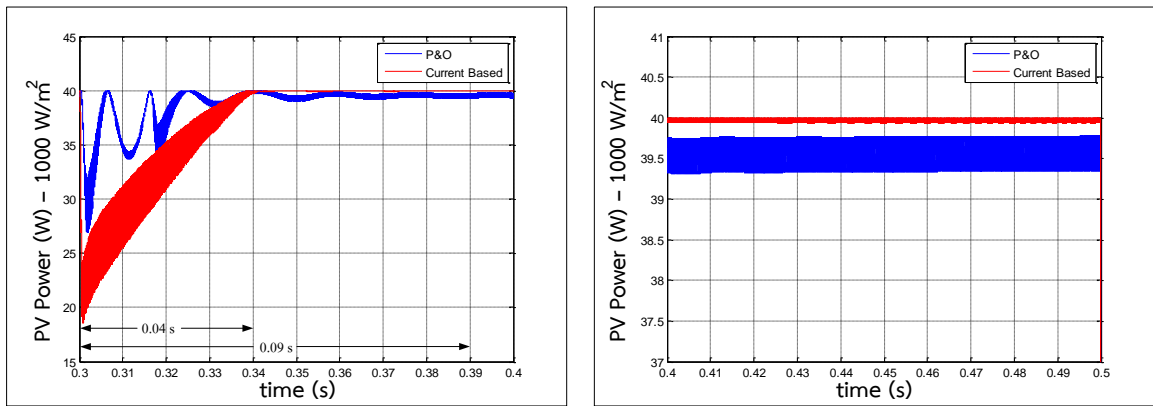
อย่างถูกต้อง โดยวิธีรับรวมและสังเกตสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 39.5 W แต่ในอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าคือ 40 W โดยค่าดังกล่าวตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดสำหรับความเข้มแสง 1000 W/m² ดังนั้นระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าวิธีรับรวมและสังเกต



รูปที่ 11 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ของอัลกอริธึมอิงกระแส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



รูปที่ 12 ผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบวิธีรับรวมและสังเกตกับอัลกอริธึมอิงกระแส



(ก) กำลังไฟฟ้าในสภาวะชั่วคราว (transient)

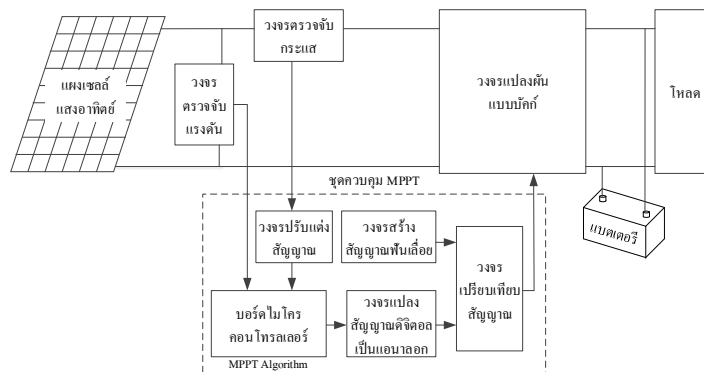
(ข) กำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัว (steady-state)

รูปที่ 13 พิจารณาผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m²

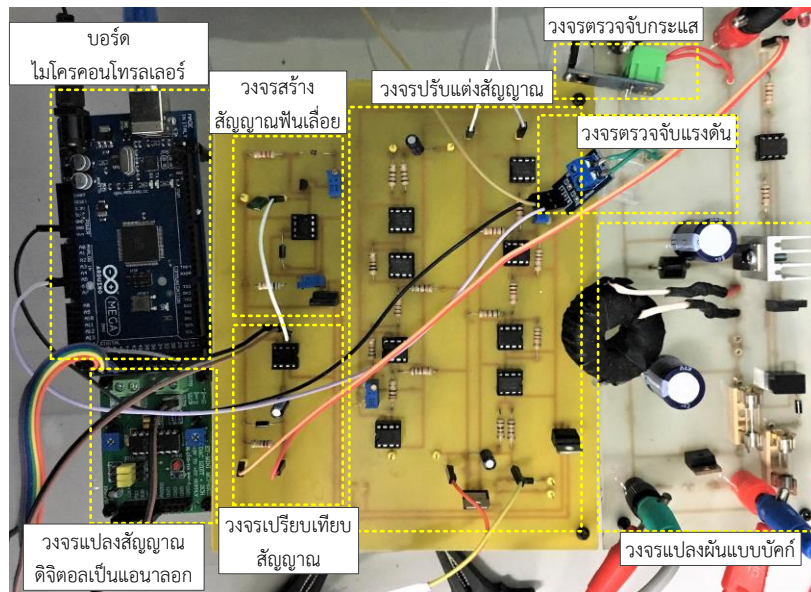
5. ชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอในบทความ สามารถสร้างใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงได้มีการสร้างชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแสกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 14 ประกอบไปด้วย วงจรตรวจจับแรงดันและวงจรตรวจจับกระแส ที่ทำหน้าที่วัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ป้อนค่าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560 ในชุดควบคุม MPPT เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งชุดควบคุม MPPT สามารถปรับโปรแกรมหรืออัลกอริธึมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เมื่อต้องการเปลี่ยนวิธีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ในอัลกอริธึมอิงกระแสนี้ บอร์ดจะคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และให้

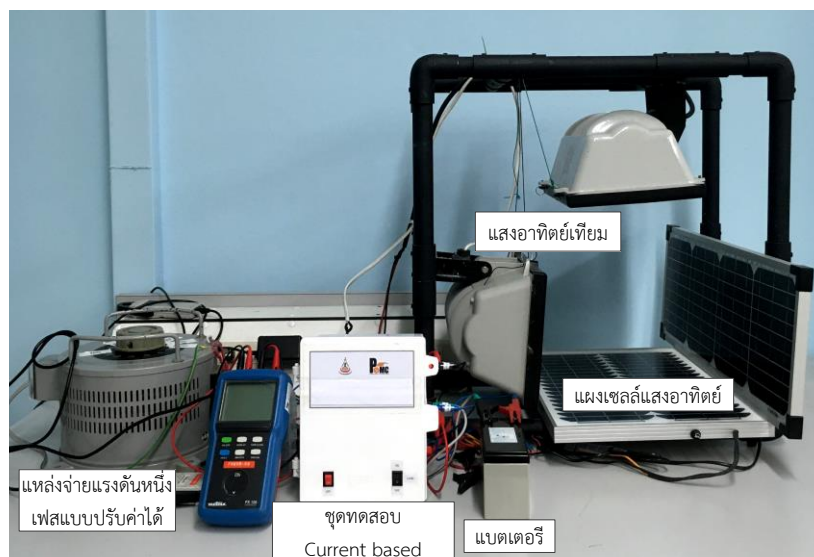
กระแสไฟฟ้าอ้างอิงออกมาเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาค่าความผิดพลาดผ่านตัวควบคุมพีไอ ซึ่งจะได้อ้างอิง (V_r) โดยค่าแรงดันอ้างอิงที่ได้นี้จะถูกส่งออกให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่สร้างขึ้น โดยใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ จากนั้นจะได้สัญญาณพัลส์ที่ผ่านวงจรแยกโดดสัญญาณ เพื่อนำไปใช้ในการขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันแบบบัก ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด ทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดออกมาใช้งานได้ การทำงานของระบบควบคุมดังกล่าวในข้างต้น ทำให้สามารถควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระได้ตามต้องการ โดยชุดควบคุมในชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดแสดงได้ดังรูปที่ 15 และภาพรวมของระบบฮาร์ดแวร์ชุดทดสอบทั้งหมดแสดงได้ดังรูป 16



รูปที่ 14 โครงสร้างชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ของระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด



รูปที่ 15 ชุดควบคุมในชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด



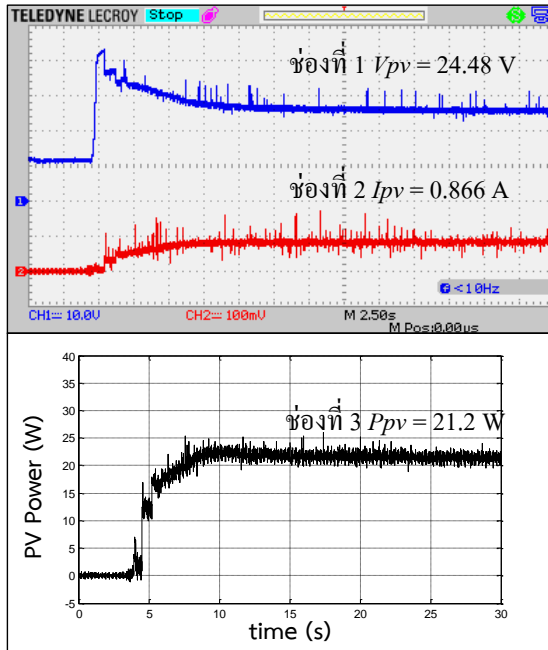
รูปที่ 16 ระบบฮาร์ดแวร์ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส

6. ผลการทดสอบชุดทดสอบและอภิปรายผล

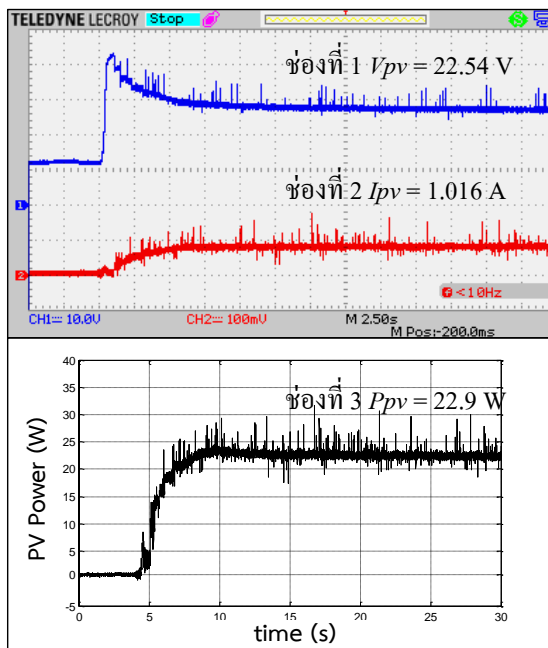
การทดสอบชุดทดสอบของระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส ดำเนินการทดสอบโดยใช้แสงอาทิตย์เทียมที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยการปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ (ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีผลต่อความเข้มแสงของแสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ) ให้ความเข้มแสงที่ได้จากหลอดไฟที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าคงที่ที่ค่าต่าง ๆ โดยไม่สนใจอุณหภูมิ ดังนั้นจะส่งผล

ให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในสภาวะมาตรฐาน ทำให้การทดสอบในบทความนี้ไม่ได้อยู่ภายใต้สภาวะมาตรฐาน ซึ่งในบทความนี้ผู้วิจัยได้เลือกทำการทดสอบที่ความเข้มแสง 600, 800 และ 1000 W/m^2 โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง (lux meter) รุ่น T-10A Konica Minolta เป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าความเข้มแสงของหลอดไฟที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแสดงให้เห็นอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ได้จริง และผลการ

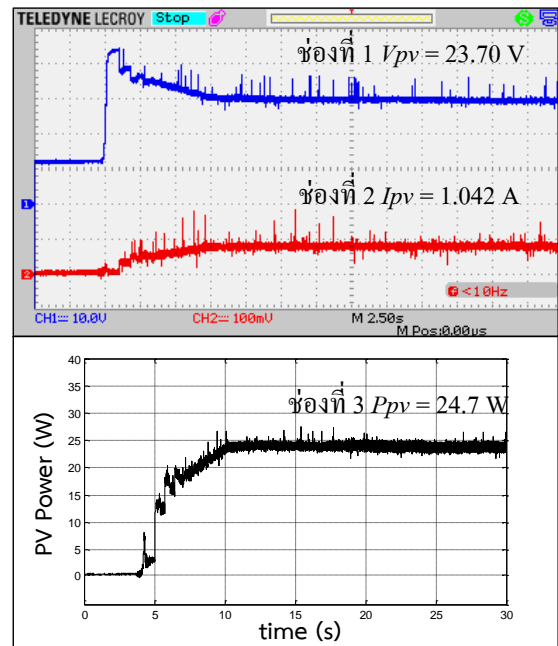
ทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 17 (ก) - (ค) โดยสัญญาณช่องที่ 1 และ 2 คือแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จากการทดสอบตามลำดับ ซึ่งจากจุดข้อมูลของแรงดันและกระแสที่ได้จากสัญญาณช่องที่ 1 และ 2 นั้นเมื่อนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าจะสามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังสัญญาณช่องที่ 3



(ก) ความเข้มแสง 600 W/m²



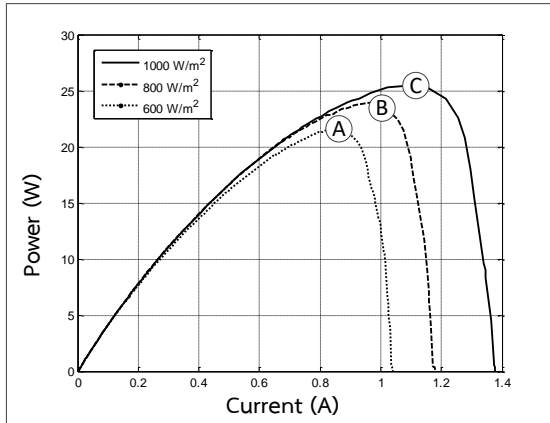
(ข) ที่ความเข้มแสง 800 W/m²



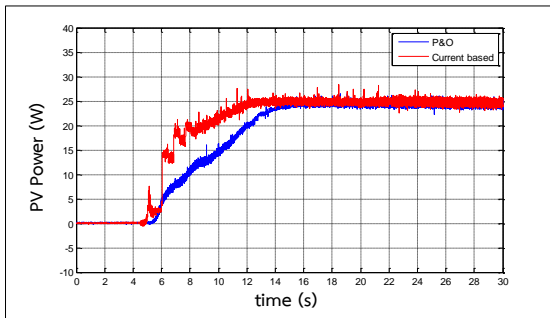
(ค) ความเข้มแสง 1000 W/m²

รูปที่ 17 ผลการทดสอบชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยอัลกอริธึมอิงกระแส

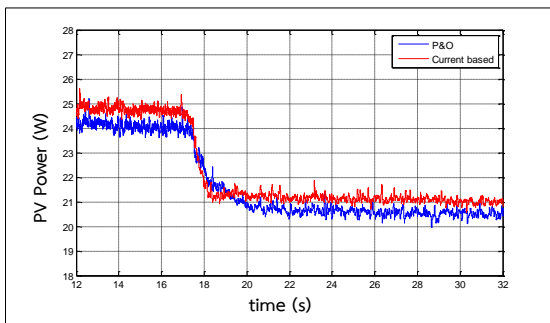
จากผลการทดสอบชุดทดสอบในรูปที่ 17 (ก)-(ค) จะเห็นได้ว่าค่า I_{pv} มีค่าใกล้เคียงกระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด และค่า P_{pv} มีค่าใกล้เคียงกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 600 W/m² ในรูปที่ 17(ก) จะได้ $I_{pv} = 0.866 A$ และ $P_{pv} = 21.2W$ และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 800 W/m² ในรูปที่ 17(ข) จะได้ $I_{pv} = 1.016 A$ และ $P_{pv} = 22.9W$ และสุดท้ายเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 1000 W/m² ดังรูปที่ 17(ค) จะได้ $I_{pv} = 1.042 A$ และ $P_{pv} = 24.7W$ ซึ่งค่า I_{pv} และ P_{pv} ที่ได้ในแต่ละความเข้มแสงสามารถแสดงจุดการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ในกราฟคุณลักษณะเฉพาะกำลังและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40W ที่ได้จากการทดสอบจริงดังรูปที่ 18 โดยรูปดังกล่าวจุด A B และ C คือจุดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้ได้กำลังสูงสุดในแต่ละความเข้มแสง ดังนั้นจากการทดสอบที่ได้นำเสนอไปข้างต้นยืนยันได้ว่าอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถนำไปใช้ในการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระได้



รูปที่ 18 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์



รูปที่ 19 ผลการทดสอบชุดทดสอบจากความเข้มแสง 0 ไป 1000 W/m²



รูปที่ 20 ผลการทดสอบชุดทดสอบจากความเข้มแสง 1000 ไป 600 W/m²

จากผลการทดสอบชุดทดสอบของอัลกอริธึมอิงกระแส กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของวิธีรบกวนและสังเกต (ใช้ชุดทดสอบเดียวกัน ปรับโปรแกรมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้น) กรณีที่

ระดับความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นจาก 0 ไปเป็น 1000 W/m² การตอบสนองของกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 19 และความเข้มแสงลดลงจาก 1000 ไป 600 W/m² แสดงได้ดังรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่าอัลกอริธึมอิงกระแสใช้เวลาในการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวที่รวดเร็วกว่าวิธีรบกวนและสังเกตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงทั้งสองแบบ และในสภาวะคงตัวอัลกอริธึมอิงกระแสยังสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าอีกด้วย ดังนั้นจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ นำเสนอในบทความนี้ ยืนยันได้ว่าอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถแก้ปัญหาข้อเสียที่เกิดขึ้นของวิธีรบกวนและสังเกตได้ ซึ่งทำให้อัลกอริธึมอิงกระแสมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่ดีกว่าวิธีรบกวนและสังเกต

7. สรุป

บทความนี้แนะนำเสนออัลกอริธึมอิงกระแสสำหรับการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ผลจากการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมอิงกระแสสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้และสามารถตามรอยจุดกำลังสูงสุดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง โดยในอัลกอริธึมอิงกระแสมีความจำเป็นจะต้องออกแบบตัวควบคุมพีไอให้เหมาะสมกับระบบ ซึ่งในบทความนี้จะอาศัยวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมที่ใช้การเทียบสัมประสิทธิ์ของระบบมาตรฐานอันดับสอง [K.M. Tsang and W.L. Chan, 2005] เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ ในบทความนี้จึงได้นำเสนอการสร้างชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับการทดสอบโดยการใช้แสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ จากผลการทดสอบปรากฏว่า อัลกอริธึมอิงกระแสสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดได้อย่างถูกต้อง ลดการกวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัว และใช้เวลาตอบสนองในสภาวะชั่วคราวที่รวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีรบกวน

และสังเกตภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเดียวกัน การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีดังกล่าว ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ค่าต่อการนำไปใช้งานจริง และก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษา “ทุนกิตติบัณฑิต” สนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Trishan Efram and Patrick L. Chapman, “ *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*”, in IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, No. 2, pp. 439-449, June 2007.
- [2] Ali F Murtaza, Hadeed Ahmed Sher, Marcello Chiaberge, Diego Boero, Mirko De Giuseppe and Khaled E Addoweesh, “ *Comparative Analysis of Maximum Power Point Tracking Techniques for PV applications*”, Pakistan , Saudi Arabia and Italy, pp. 83-88, 2013.
- [3] Mei Shan Ngan and Chee Wei Tan, “ *A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand- alone Photovoltaic Systems*”, in IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), Malaysia, pp. 22-27, April 2011.
- [4] ปทุมพร วงศ์ใหญ่ กองพันธ์ อารีรักษ์ และกองพล อารีรักษ์, “ *ระบบตามรอยกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยใช้วิธีรบกวนและสังเกตที่มีการปรับตัว*,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38, อัญญา, 18-20 พฤศจิกายน 2558.
- [5] R. Boukenoui, R. Bradai, A. Mellit, M. Ghanes and H. Salhi, “ *Comparative Analysis of P&O, Modified Hill Climbing- FLC, and Adaptive P&O-FLC MPPTs for Microgrid Standalone PV System*” , 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Palermo, Italy, 22-25 Nov 2015, pp. 1095-1099.
- [6] Hanju Cha and Sanghoey Lee, “ *Design and Implementation of Photovoltaic Power Conditioning System using a Current based Maximum Power Point Tracking,*” Chungnam National University, Korea, 2008.
- [7] H. Toodeji, S. H. Fathi and N. Farokhnia, “ *Using Current-Based MPPT Method in New Integrated System of PV Module and STATCOM*” 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Iran, pp. 1028-1033, 2010.
- [8] Alivarani Mohapatra, Byamakesh Nayak and K.B.Mohanty, “ *Current Based Novel Adaptive P&O MPPT Algorithm for Photovoltaic System Considering Sudden Change in the Irradiance*”, in IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2014.
- [9] I. William Christopher and Dr. R. Ramesh, “ *Comparative Study of P&O and InC MPPT Algorithms*” , in American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. 02, Issue. 12, pp. 402-408, 2013.
- [10] L. Bouselham and B. Hajji, H. Hajji, “ *Comparative Study of Different MPPT Methods for Photovoltaic System*” , ENSA-UMP, Morocco, 2015.

- [11] Md Fahim Ansaria, S. Chatterjib and Atif Iqbalc, “ *A fuzzy logic control scheme for a solar photovoltaic system for a maximum power point tracker*”, International Journal of Sustainable Energy Vol. 29, No. 4, pp. 245–255, Dec 2010.
- [12] Jaw-Kuen Shiau, Yu-Chen Wei and Bo-Chin Chen, “ *A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables*”, Tamkang University, Taiwan, pp. 100-127, 2015.