
ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีริสติก Maximum Power Point Tracking System Based on Metaheuristic Method

มนูญ บูลย์ประมุข
Manoon Boonpramuk

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Department of Electrical Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Kamphang Phet Rajabhat
Email: amanoonz@gmail.com

Received: October 17, 2018; Revised: January 22, 2019; Accepted: January 29, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้กำลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดในการนำไปใช้งานซึ่งจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดีที่สุด โดยวิธีการเมตาฮีริสติกที่นำเสนอประกอบด้วย วิธีการค้นหาแบบกระแส (Current Search) และวิธีการค้นหาแบบตาบู (Tabu Search) ผลการทดลองใช้โปรแกรมแมทแลบจำลองการทำงานพบว่าวิธีการเมตาฮีริสติกด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสนั้นใช้เวลาในการค้นหาและให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าวิธีการค้นหาแบบตาบู

คำสำคัญ : ระบบติดตามกำลังงานสูงสุด, เมตาฮีริสติก, การค้นหาแบบตาบู, การค้นหาแบบกระแส

Abstract

This paper proposes the maximum power point tracking system with methaheuristic optimization method for application to solar-powered power systems to maximize power utilization. The methaheuristic optimization method presented in this research consist of current search (CS) and tabu search (TS). The experiment is simulated using matlab, it be found that the methaheuristic method by current search method was able to produce better power output than the tabu search method. The current search method take time to find and give the maximum power better than the tabu search method.

Keywords : Maximum Power Point Tracking, Metaheuristic, Tabu Search, Current Search

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่ง ที่ปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลายเป็นพลังงานที่สะอาดซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่มักใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ภายในบ้านเรือนสำหรับชุมชนที่ห่างไกล

อุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ข้อจำกัดของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มักขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีวิธีการต่างๆ เพื่อนำมาใช้งานเพื่อให้สามารถดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการหาจุดจ่ายกำลังงานสูงสุดกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาได้มากที่สุด ปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีเปิดและปิดหรืออัลดวจนเป็นการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยทำการวัดแรงดันเปิดวงจรหรือกระแสลัดวงจรแล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟกระแสและแรงดันเพื่อหาค่าจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วิธีการรบกวนและการสังเกตเป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการรบกวนกับกำลังไฟฟ้าในคาบเวลาปัจจุบันเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้จุดทำงานวิ่งเข้าหาจุดกำลังสูงสุด โดยวิธีการดังกล่าวนี้ไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในกรณีที่ความเข้มของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปซึ่งทำให้กราฟกระแสและแรงดันที่กำหนดไว้ไม่ตรงกับค่าจริง [1] ปัจจุบันจึงได้มีงานวิจัยในการประยุกต์ใช้งานด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด อาทิเช่น การหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีฝูงอนุภาค (PSO) [2] ระบบควบคุมติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม [3] เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดึงเอากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาได้มากขึ้น

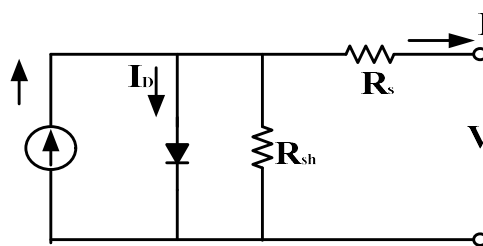
ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอวิธีการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกโดยจะ

นำเสนอวิธีการค้นหาแบบตาบอดและวิธีการค้นหาแบบกระแสบัง ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาแบบใหม่ ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละวิธีด้วยโปรแกรมแมทแล็บ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาพฤติกรรมเพื่อวิเคราะห์การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) [4] ดังนี้

$$I = I_{pv} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{aV_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

เมื่อ

I, V คือ กระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์

I_{ph} คือ กระแสโฟตอน

I_o คือ กระแสอิ่มตัวไดโอดย้อนกลับ

R_s คือ ความต้านทานอนุกรมเซลล์แสงอาทิตย์

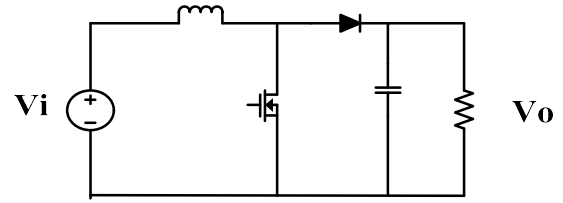
R_{sh} คือ ความต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์

a คือ ค่าปัจจัยอุดมคติของไดโอด

V_T คือ ค่าแรงดันอุณหภูมิ ได้มาจากสมการที่ (2)

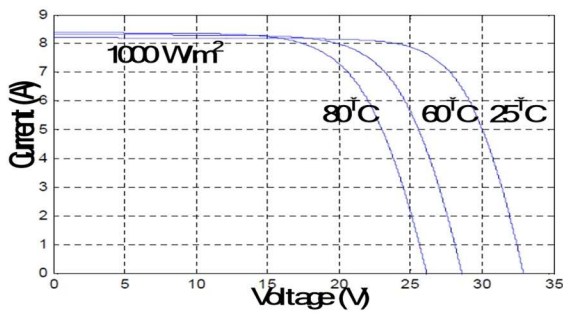
$$V_T = \frac{N_s k T}{q} \quad (2)$$

k คือ ค่าคงที่ Boltzmann มีค่า 1.380×10^{-23} J/K
 q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่า 1.9×10^{-19} ev
 T คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์
 N_s คือ จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม

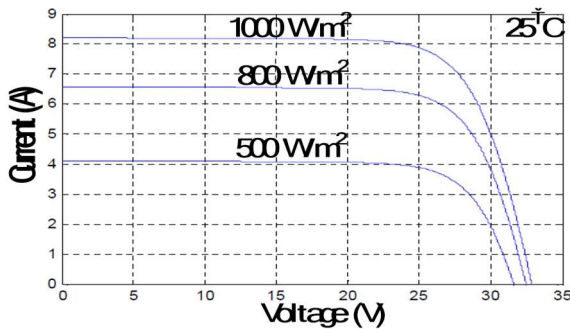


รูปที่ 4 วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

จากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มของแสง [5] แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ลักษณะกระแสและแรงดันที่ความเข้มแสงระดับต่างๆ



รูปที่ 3 ลักษณะกระแสและแรงดันที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

2.2 วงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้า

วงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ามีไว้สำหรับปรับค่ากำลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับโหลดทางไฟฟ้าซึ่งจะใช้วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ดังรูปที่ 4 มีหน้าที่ควบคุมกำลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดกำลังงานสูงสุด

ลักษณะแรงดันเอาต์พุตของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์จะมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตซึ่งสามารถหาค่าแรงดันได้จากค่า วัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle) ของสวิตช์ ดังสมการที่ (3)

$$V_o = \frac{V_i}{1-D} \quad (3)$$

เมื่อ

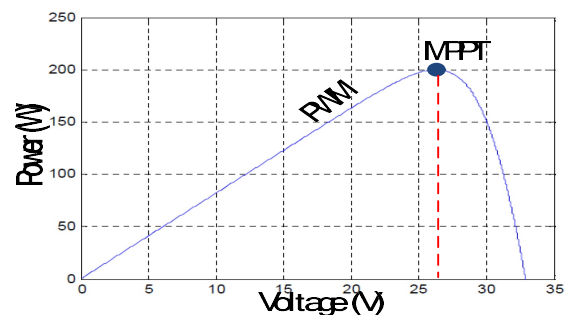
V_o คือ แรงดันเอาต์พุต

V_i คือ แรงดันอินพุต

D ค่าวัฏจักรการทำงานของสวิตช์

2.3 การติดตามกำลังสูงสุด

การติดตามกำลังสูงสุดเป็นวิธีการทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด โดยจะต้องหาจุดจ่ายกำลังงานสูงสุดเซลล์แสงอาทิตย์จากนั้นจะทำการปรับค่าวัฏจักรการทำงานเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

3. วิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับค้นหาจุดกำลังสูงสุด

เมตาฮิวริสติกเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เป็นวิธีการหาคำตอบที่ขึ้นอยู่กับการสุ่มเลขเพื่อให้เกิดการค้นหาพื้นที่ของคำตอบให้กว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ วิธีการเมตาฮิวริสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังนั้นในการเปรียบเทียบวิธีการเมตาฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพจะวัดจากการแก้ปัญหาเดียวกัน โดยได้คุณภาพของคำตอบที่ดีที่สุดและระยะเวลาการหาคำตอบในเวลาเท่ากัน ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการค้นหาแบบตาบู่และวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำเพื่อใช้หาค่าจุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 การค้นหาแบบตาบู่

การค้นหาแบบตาบู่ (Tabu Search) เป็นวิธีที่พิจารณาเส้นทางที่จะนำไปสู่ค่าที่เหมาะสม โดยจะหลบเลี่ยงคำตอบหรือเส้นทางที่ได้สำรวจไปแล้วการค้นหาจะไม่หยุดอยู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น กระบวนการค้นหาแบบตาบู่มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดหน่วยความจำระยะสั้น, หน่วยความจำระยะกลาง, หน่วยความจำระยะยาว, เกณฑ์ความทะเยอทะยาน, กำหนดผลเฉลยเริ่มต้น $x = x_0$ จากกระบวนการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเซตข้างเคียง $N(x)$ จากผลเฉลย x

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าข้างเคียงในเซต $N(x)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x)$ กำหนดให้ $x' \in N(x)$ คือค่าข้างเคียงที่ดีที่สุด

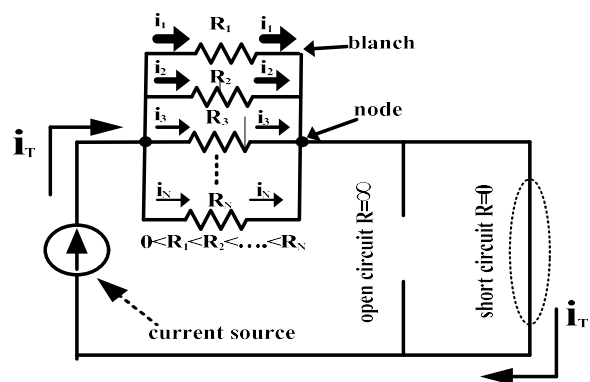
ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $f(x') \leq f(x)$ ให้ยอมรับ x' โดยปรับค่า $x = x'$ และเก็บ x' ไว้ในหน่วยความจำระยะสั้นจากนั้นกำหนดแนววิถีการเคลื่อนที่ล่าสุดอยู่ในสถานะต้องห้ามและเก็บรูปแบบการเคลื่อนที่ไว้ในหน่วยความจำระยะยาวและถ้าผลเฉลยถูกค้นพบให้เก็บ x ไว้ในหน่วยความจำระยะกลาง

ขั้นตอนที่ 5 ยุติการค้นหาเมื่อเงื่อนไขเป็นจริงไม่เช่นนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2

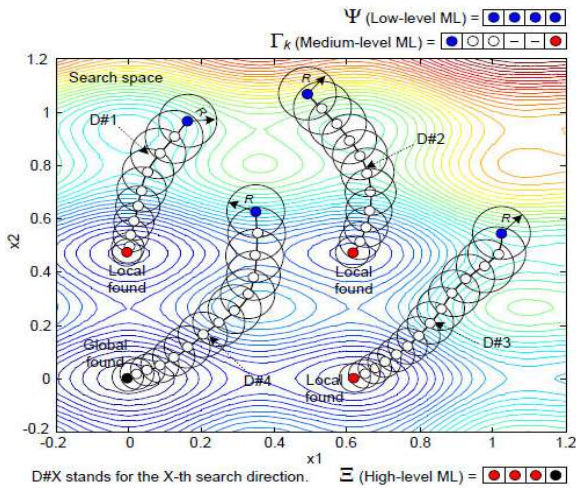
3.2 การค้นหาแบบกระแส

การค้นหาแบบกระแสเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในข่ายพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้า [6] กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านกิ่งต่างๆ ที่มีค่าความต้านทานแตกต่างกันออกไปซึ่งปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานในแต่ละกิ่ง กำหนดให้ค่าความต้านทาน $0 < R_1 < R_2 < \dots < R_N$ ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าสู่โนดจะเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากโนดดังรูปที่ 6 ในกรณีที่วงจรถูกเปิดค่าความต้านทานจะมีค่าเป็นอนันต์ซึ่งเป็นพฤติกรรมของฉนวนและในกรณีที่วงจรถูกปิดหรือลัดวงจรค่าความต้านทานจะมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งเป็นพฤติกรรมของตัวนำไฟฟ้า กิ่งในแต่ละกิ่งเปรียบเสมือนเส้นทางในการค้นหาโดยการไหลของกระแสไฟฟ้าสามารถหลบหลีกผลเฉลยเฉพาะที่และสามารถหาผลเฉลยกว้างได้ดังรูปที่ 7 เมื่อเกิดการติดกับเฉพาะที่พบผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดนั่นคือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้อย่างที่สุด

ดังนั้นเส้นทางกระแสของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกิ่งเปรียบเสมือนเส้นทางเคลื่อนที่ของกระบวนการค้นหาผลเฉลยโดยกระบวนการและขั้นตอนของวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำมีดังนี้



รูปที่ 6 พฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในโครงข่าย



รูปที่ 7 กระบวนการค้นหาแบบกระแสวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนผลเฉลยเริ่มต้น (ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในโครงข่าย), รัศมีการค้นหา R , ตัวนับ $k=1$, หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา Ψ , หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด Γ , หน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ Ξ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างผลเฉลยเริ่มต้น $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ จากกระบวนการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลเฉลยเริ่มต้น x ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จัดลำดับผลเฉลย x ที่ $f(x') < \dots < f(x_n)$ แล้วเก็บ x ที่ผ่านการจัดลำดับแล้วลงในเซต Ψ

ขั้นตอนที่ 4 ให้ $s = x_k$ เป็นผลเฉลยเริ่มต้น (ทิศทางของกระแสไฟฟ้า) ที่ได้รับการคัดเลือกหลังการจัดลำดับ

ขั้นตอนที่ 5 สร้างเซตข้างเคียง $N(s)$ จากผลเฉลย s ด้วยกระบวนการสุ่มภายในรัศมีการค้นหา R

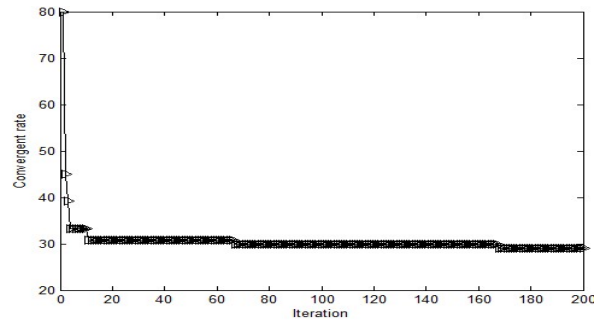
ขั้นตอนที่ 6 ประเมินค่าข้างเคียงในเซต $N(s)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำหนดให้ $s' \in N(s)$ คือค่าข้างเคียงที่ดีที่สุดภายในเซต

ขั้นตอนที่ 7 ถ้า $f(s') \leq f(s)$ ให้ยอมรับ s' โดยปรับค่า $s=s'$ และเก็บ s ไว้ในเซต Γ_k , ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ได้รับการปรับปรุงให้เรียกใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหาแล้วกลับไปขั้นตอนที่ 5 ไม่เช่นนั้นแสดงว่าผลเฉลยถูกค้นพบ

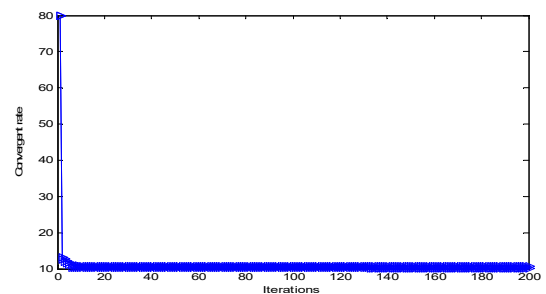
ขั้นตอนที่ 8 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงหยุดการค้นหาไม่เช่นนั้นให้เก็บค่า s ไว้ในเซต Ξ ทำการปรับค่า $k = k+1$ แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 4

4. ผลการจำลองการทำงาน

ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมแมทแลปเพื่อทดสอบหาค่ากำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบอดและวิธีการค้นหาแบบกระแสวิเคราะห์โดยกำหนดให้มีการวนซ้ำเพื่อหาคำตอบจำนวน 200 รอบ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9

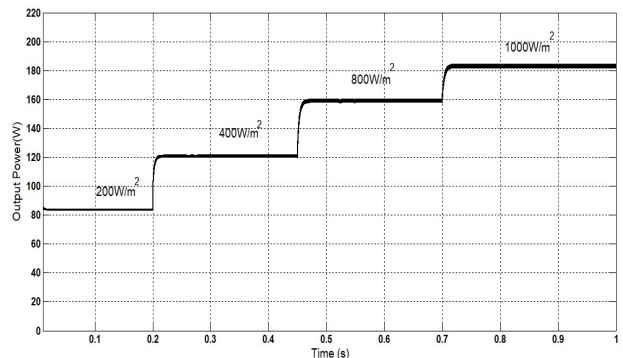


รูปที่ 8 การรู้เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบตาบอด

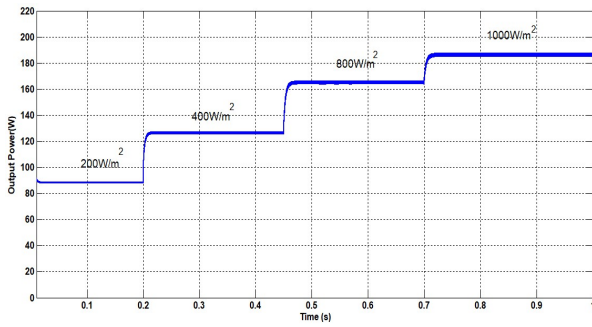


รูปที่ 9 การรู้เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบกระแสวิเคราะห์

จากรูปที่ 8 และรูปที่ 9 จะเห็นว่าการค้นหาแบบกระแสวิเคราะห์จะรู้เข้าหาคำตอบได้ดีกว่าการค้นหาแบบตาบอด ส่วนการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 [7]



รูปที่ 10 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบอด



รูปที่ 11 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแส

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์

I_o	Diode Reference Reverse Saturation Current	$1.13 \times 10^{-6}(\text{A})$
E_g	Semiconductor Band gap Voltage	1.16 (e.v)
N	Emission Coefficient	1.81
I_{pv}	Reference Short-circuit Current	5.61 (A)
k_i	Short-circuit Temperature Coefficient	1.96 (mA/K)
K	Boltzmann's Constant	1.3×10^{-23} (J/K)
T_r	Nominal Temperature	298.15 (K)
q	Charge on an Electron	1.6×10^{-19} (C)
R_s	Series Resistance	2.48 (Ω)
R_p	Parallel Resistance	8.7(Ω)
N_s	Number of Series Cells	72

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเมตาฮิวริสติกแต่ละวิธีนอกจากเปรียบเทียบจากอัตราการลู่เข้าของคำตอบแล้วเวลาในการค้นหาคำตอบและยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าตัวชี้การทำงานของสวิตซ์

ความเข้มแสง (W/m ²)	การค้นหาแบบกระแส		การค้นหาแบบตาดู	
	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	เวลาการค้นหาค้นหา (วินาที)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	เวลาการค้นหาค้นหา (วินาที)
1000	185.64	0.217×10^2	183.23	0.215×10^2
800	162.15	0.247×10^2	157.54	0.251×10^2

400	124.43	0.228×10^2	121.20	0.235×10^2
200	87.56	0.251×10^2	84.24	0.257×10^2

5. สรุปผล

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการค้นหาแบบตาดู (TS) และวิธีการค้นหาแบบกระแส (CS) จากผลการทดลองพบว่าวิธีการค้นหาแบบกระแสจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งสูงกว่าวิธีการค้นหาแบบตาดู นอกจากนี้ระยะเวลาในการค้นหาค่าตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสนั้นเร็วกว่าการค้นหาแบบตาดู

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Pimkumwong, “Maximum Power Point Tracking by Using Flow Rate Sensing For a Solar Energy Water Pumping System,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 47-55, May-Aug. 2012 (in Thai).
- [2] S. Gavali and A. Deshpande, “Particle Swarm Based Optimization Algorithm for Maximum power Point Tracking in Photovoltaic (PV) Systems,” in *IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information & Communication Technology*, India, May 19-20, 2017, pp. 1583-1586.
- [3] D.S.G. krishna and M. raveli, “An Intelligent MPPT Controller for a PV Source Using Cascaded Artificial Neural Network Controlled DC Link,” in *International conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs)*, India, Oct. 3-5, 2016, pp. 983-988.
- [4] P. Junsansri and F. Lombardi, “Time/Temperature Degradation of Solar Cell Under the Single Diode Model,” in *IEEE 25th International Symposium on Defect and*

- Fault Tolerance in VLSI Systems*, Japan, Oct. 6-8, 2010, pp. 240-248.
- [5] A. Joseph and K. Jayaraman, “ PV Array Characteristic Analysis Under Partial Shading & Modeling of P&O MPPT Applied Boost Converter Using Matlab / Simulink,” in *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, India, Apr. 10-12, 2013, pp. 596-600.
- [6] D. Puangdownreong and A. Sakulin “ Current Search: A Novel Meta-Heuristic Algorithm for Numerical Function Optimization,” in *The 11th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence*, United Kingdom, Feb. 22-24, 2012, pp. 125-131.
- [7] S. H. Hosseini, A. Farakhor and S. Khadem Haghighian, “Novel Algorithm of MPPT for PV Array Based on Variable Step Newton-Raphson Method Through Model Predictive Control,” in *International Conference on Control, Automation and Systems*, South Korea, Oct. 20-23, 2013, pp. 1577-1582.