

วงจรทบทวนแรงดันแบบอินเตอร์ลีฟที่มีการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรง สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

Interleaved Boost Converter with MPPT Using Direct Power Control for Photovoltaic Power Generation System

ธันธนันท์ เอี่ยมพงศ์ศักดิ์ ธนบดี เรืองสมุทร อนุศักดิ์ บิสลาม และ โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่ 1518 ถนนประชาชื่นรังสิต แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

koson.c@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอกลยุทธ์การควบคุมติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรงที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นฐานวงจรทบทวนแรงดันแบบอินเตอร์ลีฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมที่นำเสนอทำงานร่วมกับตัวควบคุมแบบพีไอ ในบทความนี้ดำเนินการโดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมบนระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 325 W ภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ผลการจำลองสถานการณ์ยืนยันถึงประสิทธิภาพการควบคุมของวิธีที่นำเสนอที่สามารถเข้าถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดการแกว่งไกวของกำลังไฟฟ้าและมีผลตอบสนองที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกต

คำสำคัญ: การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด, วิธีการรบกวนและสังเกต, วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรง, วงจรทบทวนแรงดันแบบอินเตอร์ลีฟ

Abstract

This paper presents a maximum power point tracking (MPPT) control strategy based on direct power control (DPC) for photovoltaic (PV) power generation systems utilizing an interleaved boost converter. The proposed method aims to improve the efficiency of the PV system and operates in conjunction with a proportional-integral (PI) controller. In this paper, MATLAB/Simulink simulation is used to test the control performance of a 325 W photovoltaic (PV) system under conditions of changing solar irradiance. The simulation results validate the effectiveness of the proposed method in accurately tracking the maximum power point. In addition, the approach demonstrates reduced power oscillations and a faster dynamic response compared to the conventional perturb and observe (P&O) method.

Keywords: MPPT, P&O, DPC, Interleaved Boost Converter

1. บทนำ

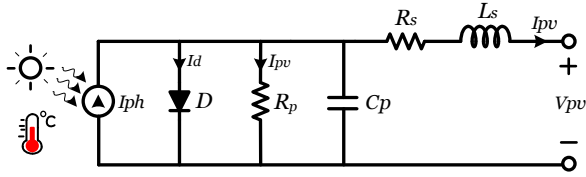
ในปัจจุบันพลังงานไม่หมุนเวียน เริ่มลดน้อยลงและมีขีดจำกัดในการใช้งาน อีกทั้งการใช้พลังงานประเภทนี้ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศ ภาวะโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้ จึงเกิดแนวโน้มการเปลี่ยนผ่านไปสู่การใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานดั้งเดิม ตัวอย่างของพลังงาน

หมุนเวียนที่ได้รับความนิยม ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานคลื่น และพลังงานน้ำ เนื่องจากพลังงานเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ได้อย่างต่อเนื่อง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยตรงผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มักประสบปัญหาในเรื่องของความไม่คงที่ของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ [1] ซึ่งเกิดจากความผันผวนของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา รวมถึงโหลดของระบบ การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่แน่นอน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถติดตามและดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในทุกสภาวะ จำเป็นต้องอาศัยการติดตามจุดตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) โดยทั่วเทคนิค MPPT มีหลากหลายวิธีการ [2 - 3] เช่น วิธีการรบกวนและสังเกต (perturb and observation: P&O) วิธีการเพิ่มค่าความนำ (Incremental Conductance :INC) และวิธีที่ใช้แรงดันไฟฟ้าเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Open Circuit Voltage: VOC) เป็นต้น ซึ่งมักถูกนำไปใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ผลลัพธ์โดยทั่วไปบนพื้นฐานวิธีการ P&O หรือ INC มักให้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น วัฏจักรหน้าที่ กระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง เป็นต้น MPPT ที่ให้ผลลัพธ์เหล่านี้ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในลักษณะทางอ้อม ดังนั้น ในบทความนี้จึงนำเสนอการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการที่อยู่บนพื้นฐานวิธีการแบบแบบ P&O โดยจะเรียกวิธีการนี้ว่า “วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรง [4] (Direct power control: DPC)” นำมาประยุกต์ใช้กับวงจรทบทวนแรงดันแบบอินเตอร์ลีฟที่มีข้อได้เปรียบสามารถลดกระแสรีเบิลที่ตัวเหนี่ยวนำได้ [5 - 6] เพื่อศึกษาและยืนยันประสิทธิภาพของการควบคุมด้วยวิธีการที่นำเสนอ ได้ดำเนินการจำลองสถานการณ์บนระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลัง 325 W โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

2. การจำลองและคุณลักษณะพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์มีรอยต่อ p-n โดยการนำสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n มารวมกัน เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อ สนามไฟฟ้านี้จะช่วยแยกประจุไฟฟ้าที่เกิดจากแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีการเชื่อมต่อวงจรภายนอก แสดงด้วยแบบ วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

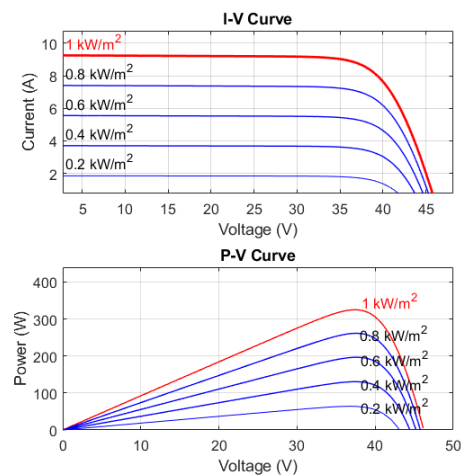
จากรูปที่ 1 แหล่งจ่ายกระแสด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{ph}) ต่อรวมกับไดโอดตัวต้านทานขนาน (R_p) ตัวเก็บประจุ (C_p) ตัวต้านอนุกรม (R_s) และตัวเหนี่ยวนำ (L_s) โดยสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1)

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left(\exp \frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{A.k.T} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{R_p} \quad (1)$$

เมื่อ I_{pv} คือ กระแสที่จ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ I_d คือ กระแสรั่วย้อนกลับของไดโอด q คือ ประจุของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.602×10^{-19} C, A คือ แฟกเตอร์ในอุดมคติ K คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann เท่ากับ 1.3806×10^{-19} J/K และ T คือ อุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 325 W (FULL SOLAR F-325P) ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการจำลองสถานการณ์ในบทความนี้ ผลการจำลองจำลองคุณลักษณะของเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันไฟฟ้า (P-V Curve) และกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ FULL SOLAR F-325P

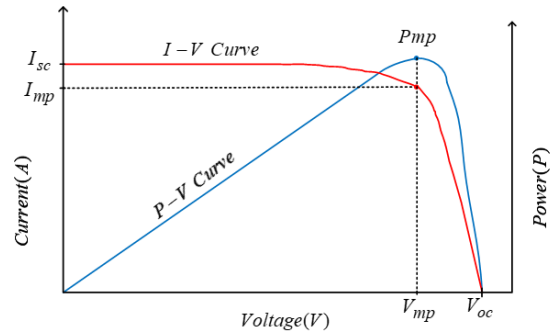
Parameter	Description	Value
P_{mp}	Maximum PV power	325 W
V_{oc}	Open circuit voltage	46.21 V
I_{oc}	Short circuit current	9.18 A
V_{mp}	Maximum power voltage	37.41 V
I_{mp}	Maximum power current	8.69 A



รูปที่ 2 คุณลักษณะพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

3. ระบบการควบคุมด้วยอัลกอริทึมและการออกแบบวงจรทดแรงดันแบบอินเวอร์เตอร์

ระบบผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ทำให้พลังงานที่ผลิตได้ไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3 ระบบมีการทำงานเพียงจุดเดียวที่สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power point: MPP) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อปรับแรงดันหรือพารามิเตอร์ให้ระบบทำงานบริเวณ MPP ตลอดเวลา แม้สภาพแสงหรืออุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง



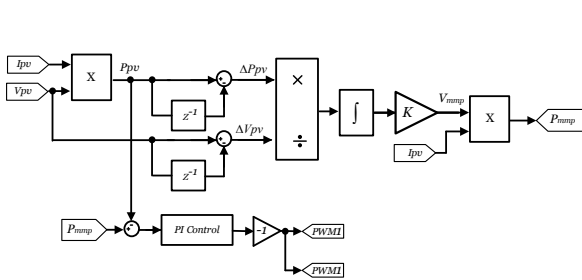
รูปที่ 3 คุณลักษณะของ P-V Curve และ I-V Curve

โดยเทคนิคการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (MPPT) ที่นิยมอย่างมากคือ วิธีการรบกวนและสังเกต (P&O) เนื่องจากความเรียบง่ายและนำไปใช้งานที่ไม่ซับซ้อนโดยหลักการการทำงานคือการปรับแรงดันอ้างอิงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสถานการณ์ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น หากแรงดันที่เปลี่ยนไปทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ระบบจะยังคงปรับไปในทิศทางเดิม หากทำให้กำลังไฟฟ้าลดลง จะเปลี่ยนทิศทางการทำงานเพื่อเข้าจุด MPP แม้ว่าอัลกอริทึมนี้ใช้งานง่ายแต่ก็มีข้อจำกัดคือ เกิดการแกว่งไกวรอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและตอบสนองช้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

3.1 การติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรง

วิธีที่นำเสนอเป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนามาบนพื้นฐานวิธีการรบกวนและสังเกต (P&O) แผนภาพการควบคุม MPPT ด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรง (DPC) แสดงในรูปที่ 4 หลักการทำงานของ DPC เริ่มจากการตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{pv}) และกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{pv}) นำมาคูณกันได้เป็นกำลังไฟฟ้า

ของเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{pv}) ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า (ΔV) และกำลังไฟฟ้า (ΔP) ถูกคำนวณโดยใช้ค่าปัจจุบันลบกับค่าในอดีตของแรงดันและกำลังไฟฟ้าตามลำดับ จากนั้นทำการคำนวณค่าความชัน (slope) ด้วย $\Delta P / \Delta V$ หากค่าความชันมีค่าเป็นบวกแสดงว่าจุดการทำงานของระบบอยู่ด้านซ้ายของ MPP ในทางกลับกันหากค่าความชันมีค่าเป็นลบแสดงว่าจุดการทำงานของระบบอยู่ด้านขวาของ MPP ค่าความชันนี้จะมีค่าลดลงเมื่อเข้าใกล้จุด MPP อ้างอิงตามกราฟเส้นโค้ง P-V ในรูปที่ 3 จากนั้นอัลกอริทึม DPC จะนำค่าความชันที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวมาทำการหาผลรวมตามเวลา (Integrator) และคูณกับอัตราขยาย K ได้ผลลัพธ์เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จุด MPP (V_{mpp}) นำค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์คูณกับ V_{mpp} จะได้เป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดอ้างอิง (P_{mpp}) สำหรับการควบคุมต่อไป



รูปที่ 4 การติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ถัดมานำค่า P_{mpp} ที่ได้มาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้า P_{pv} เพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนและส่งเข้าเป็นอินพุตของตัวควบคุมแบบพีโอ เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมให้กับวงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์ส

3.2 การออกแบบวงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์ส

วงจรทระดับแรงดันแบบดั้งเดิมที่มีกัมประสบปัญหาหรือเปลือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำเท่านั้น ในทางกลับกันวงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์สได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับ งานที่ต้องการกระแสและกำลังไฟฟ้าสูง โดยในการออกแบบวงจรแปลงผันกำลังชนิดนี้ จะมีการใช้องค์ประกอบพาสซีฟ (Passive Components) เช่น ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ในปริมาณมากขึ้น เพื่อช่วยในการกรองและควบคุมการทำงานของวงจร

วงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์สที่มีการควบคุม MPPT แสดงในรูปที่ 6 ประกอบด้วยสวิตช์หลักสองตัว คือ S_1 และ S_2 ซึ่งทำงานด้วยสัญญาณขับที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา ทำให้เกิดการเลื่อนการทำงานระหว่างสวิตช์ทั้งสองแบบสลับกัน การทำงานในลักษณะนี้จะช่วยให้กระแสรวมที่ไหลเข้าสู่ระบบมีความต่อเนื่องลดรูปเปลือกระแสไฟฟ้าเข้าได้ถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบ โดยการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการจำลองสถานการณ์ของวงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์สจากตารางที่ 2

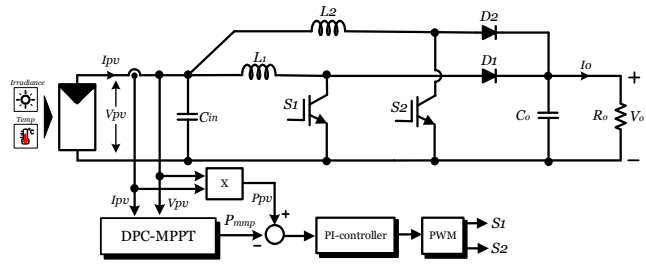
$$L = \frac{V_{in} D}{f_s \Delta I_L} \quad (2)$$

และ

$$C = \frac{V_{in} D f_s}{R \Delta V_o} \quad (3)$$

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของวงจรทระดับแรงดันแบบอินเวอร์ส

พารามิเตอร์	ค่า
Inductor (L_1, L_2)	345 μ H
The input capacitor (C_{in})	1000 μ F
Output capacitor (C_{out})	220 μ F
Resistance (R)	17.22 Ω
f_{sw}	25 kHz

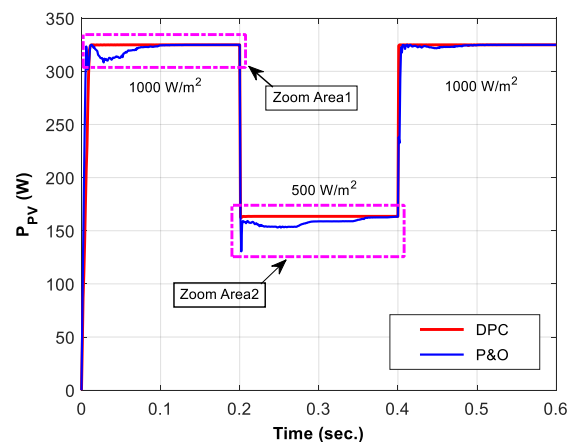


รูปที่ 6 ระบบที่พิจารณา

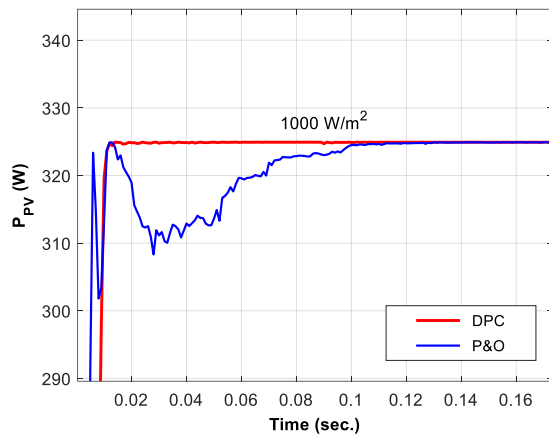
4. ผลการจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ในโปรแกรม MATLAB/Simulink พิสูจน์การทำงานของอัลกอริทึมติดตามจุดกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี DPC และ วิธี P&O ภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงแดดแบบทันทีทันใด พบว่าทั้งสองวิธีการควบคุมมีลักษณะการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 5 โดยในช่วงเริ่มต้นของการทำงานที่ความเข้มแสง 1000 W^2/m ช่วงเวลา 0 ถึง 0.2 วินาที จะพบว่า DPC และ P&O สามารถเข้าถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ โดยที่วิธีการ DPC สามารถเข้าสู่จุด MPP ได้เร็ว ในขณะที่ P&O ใช้เวลามากกว่าในการเข้าสู่จุด MPP และมีการแกว่งไกวของกำลังไฟฟ้าในช่วงแรกและก่อนที่จะเข้าสู่จุด MPP ดังแสดงในรูปที่ 6 วิธีการที่นำเสนอได้แสดงพฤติกรรมที่ราบเรียบและเข้าสู่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในระยะเวลาสั้น สามารถลดการแกว่งไกวของกำลังไฟฟ้าได้

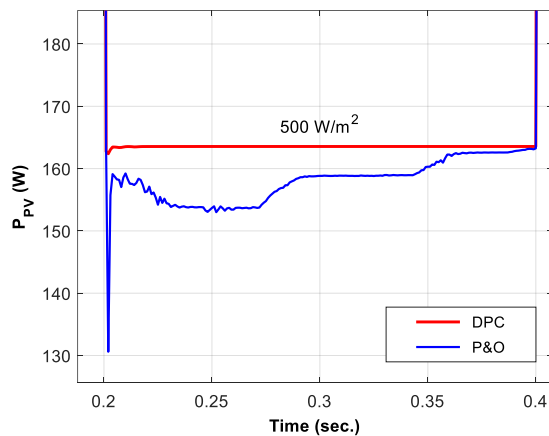
สถานการณ์ต่อมาเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงแบบฉับพลัน ความเข้มแสงลดลงจาก 1000 W^2/m เป็น 500 W^2/m ที่เวลา 0.2 วินาที วิธี DPC สามารถตอบสนองและปรับจุดทำงานกลับเข้าสู่จุด MPP ได้อย่างรวดเร็วและราบรื่น ขณะที่วิธี P&O มีการตอบสนองล่าช้า และยังคงเกิดการแกว่งไกวของกำลังไฟฟ้าในช่วงการปรับตัวดังแสดงในรูปที่ 7 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าลดลงในช่วงเวลาสั้น ๆ ในช่วงที่ความเข้มแสงคงที่วิธี DPC ยังคงรักษาการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมในสภาพแวดล้อมที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

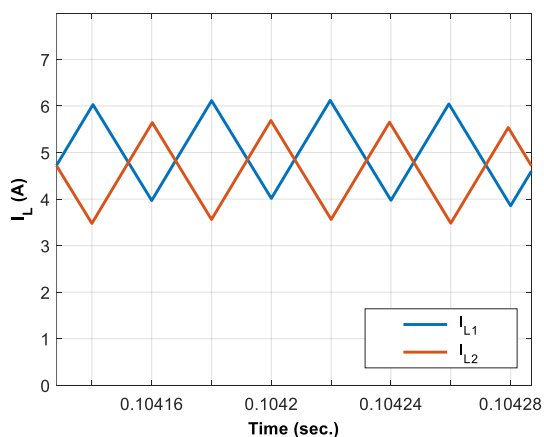


รูปที่ 6 ภาพขยายพื้นที่ 1 ของรูปที่ 5



รูปที่ 7 ภาพขยายพื้นที่ 2 ของรูปที่ 6

ในรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นกระแสของขดลวด I_{L1} และ I_{L2} ของวงจรทบทแรงดันแบบอินเวอร์สที่ขณะระบบทำงานที่จุด MPP ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 โดยรูปคลื่นมีลักษณะเป็นคลื่นสามเหลี่ยมและมีเฟสต่างกัน 180 องศา ส่งผลให้กระแสรวมมีริบเปิลลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 8 ผลการจำลองเปรียบเทียบกระแส I_{L1} และ I_{L2}

5. สรุปผล

ในบทความนี้ได้มีการเสนอกลยุทธ์การควบคุมติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยตรงที่ประยุกต์ใช้กับวงจรทบทแรงดันแบบอินเวอร์สที่กระบวนการทำงานของวิธีการควบคุมที่นำเสนอได้รับการอธิบายในบทความนี้ ผลการจำลองสถานการณ์ยืนยันประสิทธิภาพการควบคุมของวิธีที่นำเสนอที่สามารถติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้และมีความราบเรียบของกำลังไฟฟ้าที่บริเวณจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด นอกจากนี้ยังให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปทดสอบกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริงในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. K. Viswambaran, A. Ghani, and E. Zhou, "Modelling and simulation of maximum power point tracking algorithms & review of MPPT techniques for PV applications," *International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, Ras Al Khaimah, United Arab, 06-08 December 2016
- [2] Aditi Narang, G. G. Farivar, H. D. Tafti, and J. Pou, "Power Reserve Control Methods for Grid-Connected Photovoltaic Power Plants: A Review" *2022 IEEE 7th Southern Power Electronics Conference (SPEC)*, Nadi, Fiji, 05-08 December 2022
- [3] X. Li, and H. Wen, "Evaluation of different Maximum power point tracking techniques by using EN 50530 dynamic test standard," *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Trivandrum, India, 14-17 December 2016
- [4] E. Heydari, and A. Y. Varjani, "Combined Modified P&O Algorithm with Improved Direct Power Control Method Applied to Single- Stage Three-Phase Grid-Connected PV System," *Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Iran, 13-15 February 2018
- [5] B. M. Alharbi, M. A. Alhomim, and R. A. McCann, "An Efficient High Voltage Gain Using Two-Stage Cascaded Interleaved Boost Converter for Solar PV System with MPPT Technique," *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, USA, 17-20 February 2020
- [6] R. Gupta, Ruchika, S. Gautam, and M. Kumar, "Comparative Analysis of Boost and Interleaved Boost Converter for PV Application," *International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)*, Patna, India, 24-25 June 2022,