

# วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบครวมโมดูลที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

## Module Integrated Flyback DC-DC Converter using Partial Power Processing Technique for Photovoltaic System

โชคชัย ชื่นวัฒนาประณีต<sup>1</sup> และ มณฑนา รังสิโยภาส<sup>2\*</sup>

Chokchai Chuenwattanapraniti<sup>1</sup> and Montana Rungsiyopas<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : montana@eng.buu.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 เมษายน 2568 / วันที่แก้ไขบทความ : 27 พฤษภาคม 2568 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2568

**บทคัดย่อ** งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบคที่ใช้ผนวกเข้ากับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ การแปลงผันในระดับโมดูลจะช่วยแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังผลิตอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของสภาวะการทำงานระหว่างโมดูลในระบบสตริงแบบดั้งเดิม วงจรที่นำเสนอใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนเพื่อลดการกระจายการส่งผ่านกำลังในวงจรภาคกำลัง ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมสูง นอกจากนี้ขนาดของวงจรมีขนาดเล็กทำให้ง่ายในการติดตั้งกับ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดันแบบที่สร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบกับ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนแปลงในช่วง 30-250W ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบแปลงผันไฟตรงที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนสามารถติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันได้อย่างถูกต้อง โดยสัดส่วนกำลังที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคประมาณ 20-30% และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ในช่วง 95-97%

**คำสำคัญ** : ดีซีออฟดีโมเซอร์, วงจรฟลายแบค, ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, การติดตามจุดให้กำลังสูงสุด

**Abstract** This research proposes the design of a flyback DC-DC converter circuit intended for integration with photovoltaic (PV) modules. The module-level power conversion provides an effective solution to mitigate power losses resulting from mismatch conditions among photovoltaic (PV) modules in conventional string configurations. The proposed circuit employs the Partial Power Processing (PPP) technique to reduce the power transfer through the power stage, thereby improving overall system efficiency. Additionally, the compact circuit design allows for easy integration with individual PV modules. A prototype of the

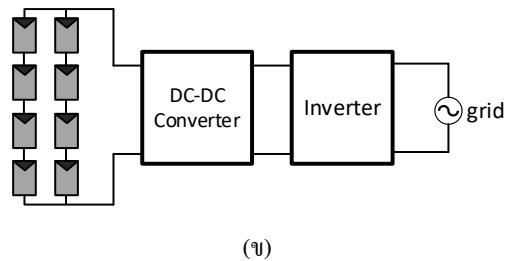
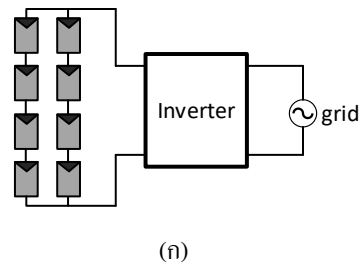
proposed system was developed and tested with PV modules exhibiting a wide range of maximum output power from 30 W to 250 W. The experimental results demonstrate that the proposed partial power processing converter can accurately track the maximum power point of PV modules under various operating conditions. The converter processes only 20–30% of the total power through the flyback converter, while achieving an overall system efficiency ranging from 95% to 97%.

**Keywords:** DC Optimizer, Flyback Converter, Photovoltaic system, Maximum Power Point Tracking

## 1. บทนำ

ปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับกริด (Grid-connected PV system) ที่ติดตั้งบนหลังคาที่พักอาศัยได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสถานการณ์ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ราคาค่าติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเป็นอย่างมาก การแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งเข้าสู่กริด (Grid) ในขั้นตอนเดียวดังรูปที่ 1 ก) จะจำกัดช่วงของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อยู่ในช่วงแคบ [1] ระบบแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนดังรูปที่ 1 ข) ประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC-DC converter) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) การแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนดังกล่าวช่วยเพิ่มช่วงแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบบแปลงผันสามารถทำงานได้ให้กว้างขึ้น

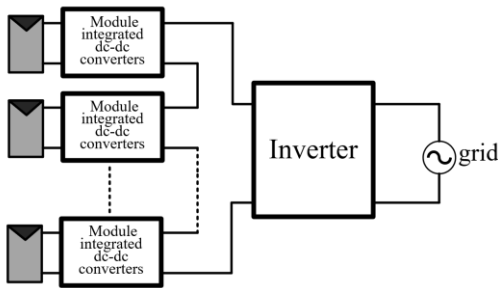
การทำงานของระบบแปลงผันแบบ 2 ขั้นตอนนั้น วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงจะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นเพื่อให้อินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมกระแสส่งเข้าสู่กริดได้ ในขณะเดียวกันก็ติดตามจุดทำงานที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum power point tracking) ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงานในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 1 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งเข้าสู่กริด (ก) แบบขั้นตอนเดียว (ข) แบบ 2 ขั้นตอน

สตริงที่เกิดจากการอนุกรมโมดูลจำนวนมากตามรูปที่ 1(ข) เมื่อต่อเข้ากับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง อาจทำให้การติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำงานไม่ถูกต้อง ส่งผลให้กำลังผลิตไฟฟ้ารวมที่ได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น อันเนื่องมาจากสภาวะการทำงานที่ไม่เหมือนกันของแผงแต่ละแผงที่ต่ออนุกรมกัน [2-5] ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง

แนวทางช่วยปรับปรุงผลผลิตไฟฟ้าของระบบที่มีโอกาสเกิดความไม่เท่าเทียมกันของสภาวะการทำงานในแต่ละโมดูลทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การใช้วงจรแปลงผันกำลังในการจ่ายกระแสชดเชยสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน [6-7] ซึ่งต้องอาศัยการสื่อสารส่งค่าพารามิเตอร์ระหว่างโมดูล อีกวิธีการหนึ่งคือการใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงขนาดเล็กหรือที่นิยมเรียกว่า ดีซีออปติไมเซอร์ (DC optimizer) [8-10] ติดตั้งไว้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 1 หรือ 2 โมดูล และเชื่อมต่อเอาต์พุตอนุกรมหรือขนานเข้ากับวงจรแปลงผันตัวอื่นๆ ดังรูปที่ 2 วงจรแปลงผันแต่ละตัวจะปรับการทำงานเพื่อดึงกำลังสูงสุดจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะที่ต่ออยู่กับตัวมัน โดยเป็นอิสระ จาก โมดูลอื่นๆ เมื่อสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันของแต่ละโมดูลไม่ส่งผลต่อจุดทำงานของโมดูลอื่นๆ จึงทำให้สามารถติดตั้งโมดูลในทิศทางหรือมุมเอียงที่แตกต่างกันได้



รูปที่ 2 ระบบที่ใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงติดตั้งระดับโมดูล

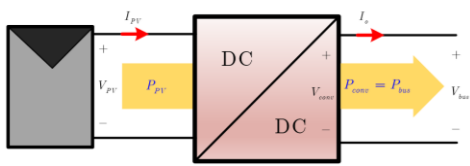
การติดตั้งใช้งานวงจรแปลงผันระดับโมดูลจะช่วยให้สามารถตรวจสอบการผลิตไฟฟ้าในระดับโมดูลได้ ทำให้ทราบปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่แต่ละโมดูล [11] อย่างไรก็ตามการเพิ่มวงจรแปลงผันระดับโมดูลจำนวนมากในระบบจะทำให้ต้นทุนของระบบโดยรวมสูงขึ้น ดังนั้นวงจรแปลงผันระดับโมดูลที่ดีควรจะออกแบบให้มีต้นทุนไม่สูง แต่มีความหนาแน่นกำลังสูงเพื่อให้ติดตั้งได้สะดวก และควรมีประสิทธิภาพสูง

บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่ใช้ติดตั้งกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกใช้วงจรแปลงผันหลายแบบที่มีส่วนประกอบในวงจรน้อยร่วมกับเทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน ทำให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูง แต่ยังสามารถติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

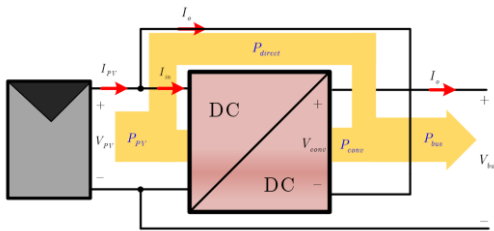
## 2. ระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบการประมวลกำลังบางส่วน

จากที่กล่าวมาแล้วว่าสำหรับอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกรีด กระบวนการติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประมวลด้วยส่วนควบคุมของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงซึ่งเป็นภาคข้างหน้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC-DC converter) จะควบคุมกำลังที่ถ่ายโอนไปยังภาคอินเวอร์เตอร์อย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่วงรอบการควบคุมของอินเวอร์เตอร์จะรักษาแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง (DC bus) ไว้ให้มีค่าคงที่

การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังทั้งหมด (Full power processing) ดังรูปที่ 3(ก) วงจรแปลงผันจะต้องถูกออกแบบให้รองรับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังบัสไฟตรง (DC bus) ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและมีการสูญเสียสูง ซึ่งแตกต่างกับระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน (Partial power processing) ในรูปที่ 3(ข) ที่ใช้การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านทางวงจรแปลงผันเพียงส่วนหนึ่ง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะไหลโดยตรงเข้าสู่บัสไฟตรง ทำให้ช่วยลดการกระเด็นกำลังของวงจรแปลงผันและการสูญเสียในระบบลงได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

(ก) การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังทั้งหมด

(ข) การแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

การแปลงผันที่ใช้การประมวลกำลังบางส่วน ที่แสดงในรูปที่ 3(ข) เป็นชนิดอินพุตขนาน เอาต์พุตอนุกรม (Input-parallel output-series) ลักษณะการจัดวางวงจรดังกล่าวแรงดันที่บัสไฟตรง ( $V_{bus}$ ) จะเป็นผลรวมระหว่างแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $V_{PV}$ ) กับแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ ( $V_{conv}$ ) จึงเป็นการทำงานแบบขั้วกระแสแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้สามารถรองรับการใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิคกิ้งแรงดันไฟฟ้าต่ำได้

เมื่อสมมุติให้ไม่มีการสูญเสียในวงจรแปลงผันค่ากำลังไฟฟ้าที่ประมวลผ่านวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีค่าเท่ากับ

$$P_{conv} = V_{conv} I_o \tag{1}$$

และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่บัสไฟตรงมีค่าเท่ากับ

$$P_{bus} = V_{bus} I_o \tag{2}$$

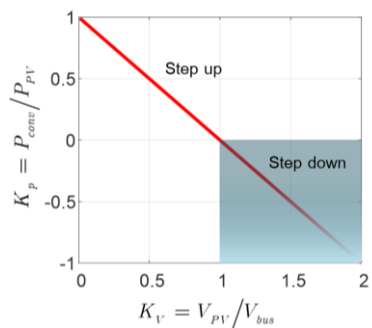
โดย  $I_o$  คือกระแสที่ออกจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

จากสมการที่ 1 และ 2 สัดส่วนกำลังไฟฟ้า ( $K_p$ ) ที่ต้องประมวลผ่านวงจรแปลงผันต่อกำลังไฟฟ้าที่บัสไฟตรง

$$K_p = \frac{P_{conv}}{P_{bus}} = \frac{V_{conv}}{V_{bus}} = 1 - K_V \tag{3}$$

โดย  $K_V = \frac{V_{PV}}{V_{bus}}$  คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรง

สมการที่ 3 แสดงให้เห็นว่า  $K_p$  ขึ้นอยู่กับ  $K_V$  โดยจากกราฟรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องประมวลผ่านวงจรภาคกำลังจะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนแรงดัน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง โดยปกติแรงดันกับพิคกิ้งกำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะสัมพันธ์กัน ซึ่งทำให้เมื่อใช้งานกับโมดูลที่มีพิคกิ้งกำลังสูงจะทำให้สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ต้องประมวลผ่านวงจรภาคกำลังลดลง ในกรณีที่แรงดัน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าแรงดันที่บัสไฟตรงจะทำให้เกิดการไหลของกำลังจากด้านบัสไฟตรงย้อนกลับไปยังด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่ควรออกแบบให้เกิดขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $K_p$  กับ  $K_V$

เมื่อกำหนดให้วงจรที่ออกแบบใช้งานกับ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พิคกิ้งกำลังสูงสุด 290 W ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะอื่นๆ แสดงในตารางที่ 1 และกำหนดแรงดันบัส

ไฟตรงเท่ากับ 50 V จะเห็นได้ว่าที่จุดกำลังสูงสุดของแผงเมื่อใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนจะมีผลให้กำลังไฟฟ้าที่ประมวลผ่านวงจรแปลงผันเหลือประมาณ 20-30% ของกำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าคงที่ต่างๆ ในระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

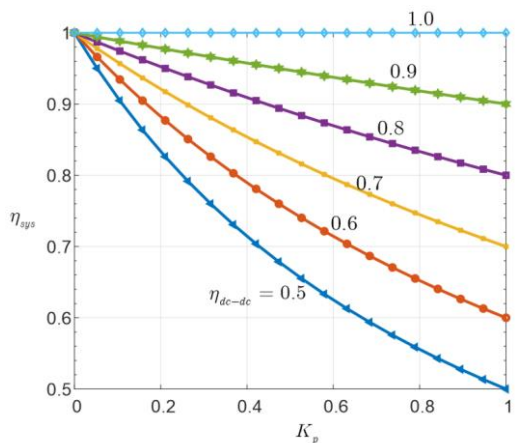
แรงดันบัสไฟตรง ( $V_{bus}$ )	50 V
พิกัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (standard test condition)	
กำลังสูงสุด ( $P_{mpp}$ )	290 W
แรงดันไฟฟ้า ณ จุดกำลังสูงสุด ( $V_{mpp}$ )	35.4 V
กระแสไฟฟ้า ณ จุดกำลังสูงสุด ( $I_{mpp}$ )	8.2 A
$K_V$	0.708
$K_p$	0.292
$P_{conv}$	84 W

ประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ( $\eta_{sys}$ ) ที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนมีค่าดังนี้

$$\eta_{sys} = \frac{P_{bus}}{P_{PV}} = \frac{\eta_{dc-dc}}{\eta_{dc-dc} + K_p (1 - \eta_{dc-dc})} \quad (4)$$

โดย  $\eta_{dc-dc}$  คือ ประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

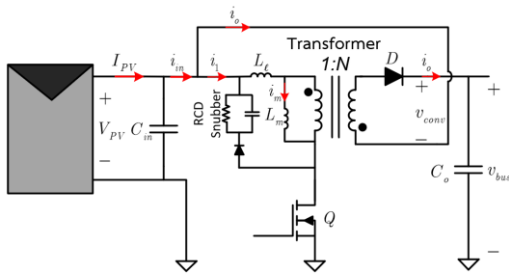
จากกราฟในรูปที่ (5) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนด้วยวงจรแปลงผันที่มีประสิทธิภาพค่าต่างๆ จะพบว่าเทคนิคการประมวลกำลังบางส่วนช่วยปรับปรุงให้ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันกำลังดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่า  $K_p$  มีค่าน้อย ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกำลังสูง(แรงดันสูง)



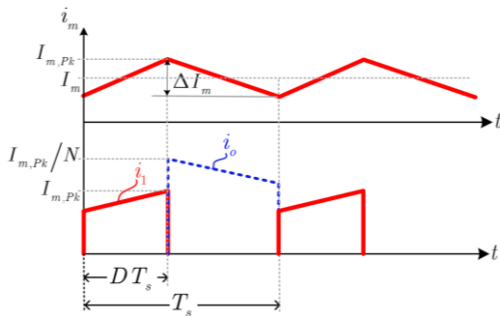
รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันที่ใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน

### 3. การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟลายแบค

โครงสร้างของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบการประมวลกำลังบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 3(ข) เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจรจะต้องใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่มีหม้อแปลงแยกโดด (Isolated dc-dc converter) วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดฟลายแบค ดังรูปที่ 6 เป็นวงจรที่น่าสนใจ เนื่องจากจำนวนองค์ประกอบวงจรมีน้อยกว่าวงจรแปลงผันแบบอื่นๆ ทำให้ต้นทุนของวงจรต่ำกว่า ข้อดีอีกประการคือเมื่อนำมาใช้แปลงผันไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนตามรูปที่ 6(ก) กระแสด้านขาเข้าระบบแปลงผัน ( $i_m$ ) มีลักษณะต่อเนื่อง ทำให้สามารถใช้ตัวเก็บประจุขนาดเล็กได้ อย่างไรก็ตามค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กขั้วไหลของหม้อแปลงจะทำให้เกิดแรงดันยอดแหลมตกคร่อมสวิตช์ จึงไม่นิยมใช้การแปลงผันที่ต้องการกำลังสูง [12]



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 (ก) วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค

(ข) รูปคลื่นกระแสที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจร

อัตราการแปลงแรงดันของวงจรฟลายแบคในโหมดกระแสต่อเนื่อง [12] เป็นดังนี้

$$\frac{V_{conv}}{V_{PV}} = \frac{D}{1-D} N \quad (5)$$

เมื่อนำวงจรฟลายแบคมาใช้ในการแปลงผันที่ประมวลกำลังบางส่วนตามโครงสร้างของระบบในรูปที่ 6 ค่า  $K_V$  สัมพันธ์กับวัฏจักรงาน ( $D$ ) และสัดส่วนรอบของหม้อแปลง ( $N$ ) ดังสมการที่ (6)

$$K_V = \frac{D'}{1 + D N - 1} \quad (6)$$

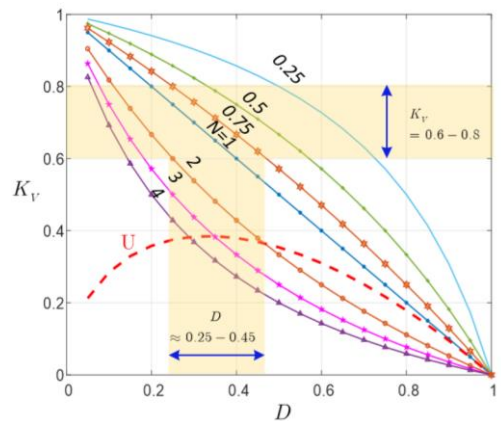
โดย  $D' = 1 - D$

จากกราฟในรูปที่ 7 หากกำหนดให้  $N$  เป็นตัวแปรที่สามารถเลือกได้อย่างอิสระ และกำหนดให้  $K_V$  อยู่ระหว่าง 0.6-0.8 ( $30\text{ V} < V_{PV} < 40\text{ V}$ ) เมื่อ  $N$  มีค่ามากจะ

ทำให้ช่วงวัฏจักรงานของการสวิตช์แคบกว่ากรณีที่  $N$  มีค่าน้อย และเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์ (Switch utilization factor,  $U$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกของวงจรต่อค่าความเค้นที่สวิตช์กำลัง[12]

$$U = D' \sqrt{D} \quad (7)$$

กราฟในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่า  $N$  ที่สูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์ค่าน้อย จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อ  $N$  เท่ากับ 0.75 จะทำให้ได้ค่าตัวประกอบการใช้งานสวิตช์สูง ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้การใช้งานสวิตช์กำลังเป็นไปอย่างคุ้มค่า



รูปที่ 7 ช่วงการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่นำเสนอ

ในการออกแบบหม้อแปลงฟลายแบคจะกำหนดค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetization inductance,  $L_m$ ) กำหนดให้การกระแสเพิ่มของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก ( $\Delta I_{L_m}$ ) ต่ำกว่า 20% ของค่ากระแสเฉลี่ย ( $I_{L_m}$ )

$$\Delta I_m = \frac{V_{PV}}{L_m f_s} D \quad (8)$$

$$I_m = \frac{P_{conv}}{D V_{PV}} \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) ที่ความถี่การสวิตช์ ( $f_s$ ) 80 kHz ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กควรจะมีค่าอย่างน้อย  $34\mu\text{H}$  ซึ่งมากกว่าค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่วงจรยังคงทำงานใน โหมดกระแสต่อเนื่อง

$$L_{m,\min} = \frac{DK_V V_{bus}^2}{2f_s P_{conv}} = 12\mu\text{H} \quad (10)$$

การเลือกพิกัดของสวิตช์กำลังและไดโอด จะพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ในขณะที่หยุดนำกระแสและกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ในขณะที่น่ากระแส

แรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมสวิตช์  $Q$

$$V_{Q,\max} = \frac{N-1}{N} V_{PV} + V_{bus} \quad (11)$$

แรงดันสูงสุดที่คร่อมไดโอด  $D$

$$V_{D,\max} = V_{bus} + N-1 V_{PV} \quad (12)$$

กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านสวิตช์  $Q$

$$I_{Q,\max} = I_{L_m} + \frac{\Delta I_{L_m}}{2} \quad (13)$$

และกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอด  $D$

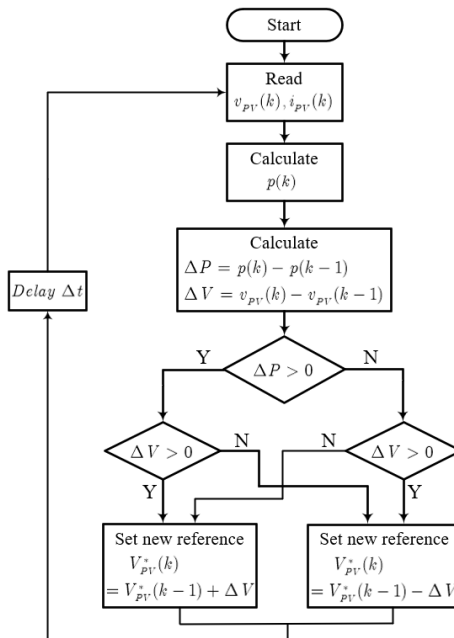
$$I_{D,\max} = \frac{\left( I_{L_m} + \frac{\Delta I_{L_m}}{2} \right)}{N} \quad (14)$$

#### 4. การออกแบบระบบควบคุม

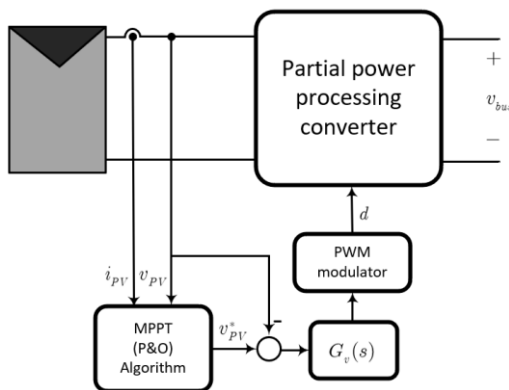
##### 4.1 วิธีการติดตามจุดกำลังสูงสุด

อัลกอริทึมการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่แสดงในรูปที่ 8 ใช้วิธีรบกวนและสังเกต (Perturb and observe หรือ P&O) [13] ซึ่งอาศัยการรบกวนระบบด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\Delta V$ ) แล้วทำการสังเกตกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ( $\Delta P$ ) หากผลของการรบกวนทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ก็ทำการรบกวนโดยสังเกตเปลี่ยนแปลงคำสั่งแรงดัน ( $v_{PV}^*$ ) ใน

ทิศทางเดิมเพื่อให้จุดทำงานเคลื่อนเข้าสู่จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 8 อัลกอริทึมการติดตามจุดกำลังสูงสุด



รูปที่ 9 ระบบควบคุมสำหรับการติดตาม

จุดให้กำลังสูงสุด

วงรอบควบคุมแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมให้ เป็นไปตามแรงดันคำสั่งจากอัลกอริทึมการติดตามจุด กำลังสูงสุดด้วยการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงานของการ สวิตช์ ดังรูปที่ 9

4.2 การควบคุมแรงดันแม่เหล็กแปลงอาทิตย์

การออกแบบตัวควบคุมแรงดันจะต้องทราบถึงฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างวัฏจักรงานต่อแรงดันแม่เหล็กแปลงอาทิตย์ ฟังก์ชันการถ่ายโอนดังกล่าวจะทำให้ทราบลักษณะการตอบสนองของระบบ ซึ่งช่วยเลือกช่วงเวลาในการสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าหลังจากทำการรบกวนระบบด้วยการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงาน

โครงสร้างวงจรแปลงผันฟลายแบคเปลี่ยนตามสถานะของสวิตช์กำลัง (มอสเฟต) ที่อยู่ในวงจรทำให้เกิดเป็นระบบที่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-variant system) เมื่อใช้หลักการเฉลี่ยเฉพาะที่ (Local averaging) สามารถพิจารณาเป็นระบบที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant system) ได้ สำหรับวงจรฟลายแบคที่อยู่ในระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนตามโครงสร้างในรูปที่ 6(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กเป็นดังนี้

$$L_m \frac{d\langle i_m \rangle_{T_s}}{dt} = d\langle v_{pv} \rangle_{T_s} - d' \frac{\langle v_{conv} \rangle_{T_s}}{N} \quad (15)$$

โดย  $\langle x(t) \rangle_{T_s} = \frac{1}{T_s} \int_t^{t+T_s} x(\tau) d\tau$  คือ ค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของตัวแปรสถานะ  $x(t)$

กระแสขาเข้าของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ( $i_{in}$ ) เป็นผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าวงจร ฟลายแบค ( $i_i$ ) กับกระแสที่ไหลออกจากวงจรฟลายแบค ( $i_o$ )

$$\langle i_m \rangle_{T_s} = \langle i_i \rangle_{T_s} + \langle i_o \rangle_{T_s} \quad (16)$$

โดย  $\langle i_i \rangle_{T_s} = d\langle i_m \rangle_{T_s}$  และ  $\langle i_o \rangle_{T_s} = d' \frac{\langle i_m \rangle_{T_s}}{N}$

เมื่อแทนที่ตัวแปรต่างๆ ( $\langle x \rangle_{T_s}$ ) ในสมการที่ (15) และ (16) ด้วยผลรวมขององค์ประกอบคงตัว ( $X$ ) กับองค์ประกอบขนาดเล็ก ( $\hat{x}$ ) จะทำให้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นสามารถพิจารณาให้เป็นเชิงเส้นรอบๆ จุดทำงานนิ่งสงบ (quiescent operating point) ได้

$$L_m \frac{d\tilde{i}_m}{dt} = D\tilde{v}_{pv} + \left( V_{pv} + \frac{V_{conv}}{N} \right) \tilde{d} - \frac{D'}{N} \tilde{v}_{conv} \quad (17)$$

$$\tilde{i}_m = K_1 \tilde{i}_m + K_2 \tilde{d} \quad (18)$$

โดย  $K_1 = D + \frac{D'}{N}$  และ  $K_2 = I_m \left( 1 + \frac{1}{N} \right)$

โดยสมการที่ (17) และ (18) ได้ละเอียดเพิ่มเติมที่เป็นผลคูณระหว่างองค์ประกอบขนาดเล็ก

เนื่องจากแรงดันที่บัสไฟตรงถูกควบคุมให้คงที่โดยอินเวอร์เตอร์ดังนั้น

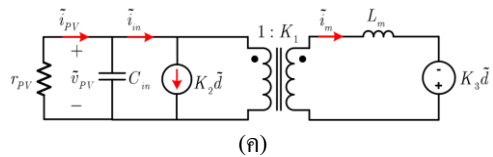
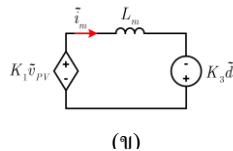
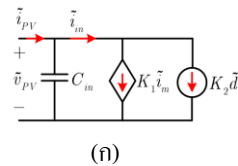
$$\tilde{v}_{conv} = -\tilde{v}_{pv} \quad (19)$$

ทำให้สมการที่ (17) เปลี่ยนเป็นดังนี้

$$L_m \frac{d\tilde{i}_m}{dt} = K_1 \tilde{v}_{pv} + K_3 \tilde{d} \quad (20)$$

โดย  $K_3 = V_{pv} + \frac{V_{conv}}{N}$

สมการที่ (18) และ (20) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal model) ได้ดังรูปที่ 10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และสามารถเชื่อมต่อกันทั้งสองเข้าด้วยกันโดยแทนแหล่งจ่ายไม่อิสระด้วยหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน 1 :  $K_1$  ดังรูปที่ 10 (ค)



รูปที่ 10 สมมูลสัญญาณขนาดเล็ก

(ก) กระแสด้านเข้า

(ข) วงจรตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$

(ค) การเชื่อมโยงวงจรสอง วงจรเข้าด้วยกันผ่านหม้อแปลง

สำหรับสมมูลสัญญาณขนาดเล็กของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสที่จ่ายออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยได้แก่ แรงดันไฟฟ้าของโมดูล อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ ( $T_{cell}$ ) และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่โมดูลได้รับ ( $G$ )

$$\tilde{i}_{PV} = \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \tilde{v}_{PV} + \frac{\partial i_{PV}}{\partial T_{cell}} \tilde{T}_{cell} + \frac{\partial i_{PV}}{\partial G} \tilde{G} \quad (21)$$

เมื่อสมมติว่าที่สถานะชั่วขณะหนึ่งอุณหภูมิเซลล์และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่แผงมีค่าคงที่ และพิจารณาหาการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันบริเวณจุดกำลังสูงสุด

$$\tilde{i}_{PV} = \left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} \tilde{v}_{PV} \quad (22)$$

เนื่องจากที่จุดกำลังสูงสุดการเปลี่ยนแปลงกำลังต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันเท่ากับศูนย์

$$\left. \frac{\partial p_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = I_{mpp} + V_{mpp} \left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = 0 \quad (23)$$

ดังนั้น

$$\left. \frac{\partial i_{PV}}{\partial v_{PV}} \right|_{mpp} = \frac{\tilde{i}_{PV}}{\tilde{v}_{PV}} = -\frac{I_{mpp}}{V_{mpp}} \quad (24)$$

จากสมการที่ (24) สามารถแทนพฤติกรรมสัญญาณขนาดเล็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานรอบๆ จุดกำลังสูงสุดด้วยความต้านทานสมมูล  $r_{PV}$  ดังรูปที่ 10(ค)

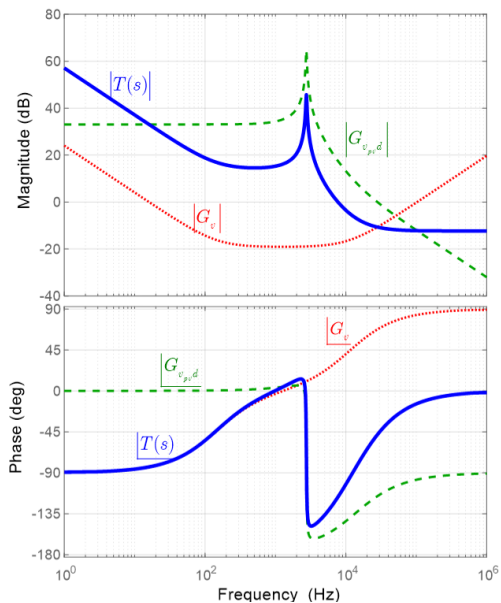
$$r_{PV} = \frac{V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (25)$$

จากรูปที่ 10(ค) ทำการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างวัฏจักรงานต่อแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ทฤษฎีการทับซ้อน (Superposition)

$$G_{v,d}(s) = \frac{\tilde{v}_{PV}(s)}{\tilde{d}(s)} = -\frac{K_2}{C_{in}} \frac{s + \frac{K_1 K_3}{K_2 L_m}}{s^2 + \frac{1}{r_{pv} C_{in}} s + \frac{K_1^2}{L_m C_{in}}} \quad (26)$$

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ในวงจรพลาซแบคที่ออกแบบ

Switching frequency	80 kHz
Transformer Turn ratio	1 : N = 1 : 0.75
Magnetization inductance	$L_m = 50 \mu\text{H}$
Input capacitor	$C_{in} = 100 \mu\text{F}$
$K_1 = 1.22$	$K_2 = 15.7$
$K_3 = 54.9$	$r_{PV} = 4.32$



รูปที่ 11 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน

$$G_{v,d}(s), G_v(s) \text{ และ } T(s)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 1 และ 2 ลงในสมการที่ (26) จะได้กราฟผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_{v,d}(s)$  ดังรูปที่ 11 จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมแรงดัน  $G_v(s)$  เพื่อให้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิด (Loop transfer function) ดังสมการ

$$T(s) = G_v(s)G_{v_{pid}}(s) \quad (27)$$

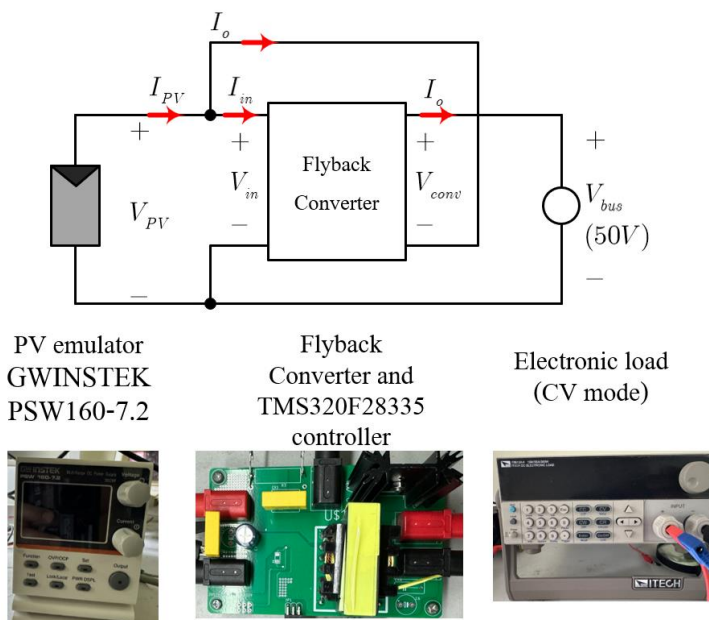
$$G_v(s) = -100 \frac{1 + 0.0011s}{s} \frac{1 + 0.000014s}{s} \quad (28)$$

เกิดความถี่ตัดผ่าน (crossover frequency) เท่ากับ 8 kHz ซึ่งเป็น 1 ใน 10 ของความถี่การสวิตช์ และมีค่าเฟรมุมเฟส (phase margin) 60 องศา โดยตัวควบคุมแรงดันที่ใช้มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

### 5. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วนด้วยวงจรฟลายแบคที่นำเสนอ จะเริ่มจากการทดสอบเพื่อหา

ช่วงเวลาตอบสนองของวงรอบควบคุมแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงแบบขั้น การตรวจสอบอัลกอริทึมในการติดตามจุดให้กำลังสูงสุด การวิเคราะห์สัดส่วนการประมวลพลังงานและประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง



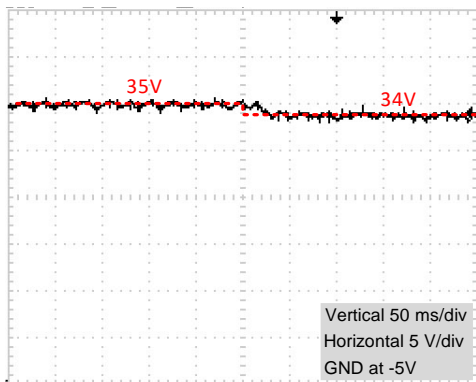
รูปที่ 12 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทดสอบ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบทดสอบแสดงดังรูปที่ 12 ประกอบไปด้วยการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบโปรแกรมได้ยี่ห้อ GWINSTEK รุ่น PSW160-7.2 ที่สามารถปรับตั้งให้มีคุณลักษณะการจ่ายกระแสและแรงดันเสมือนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านทางโปรแกรม PTS PVMain วงจรฟลายแบคที่ควบคุมด้วยตัว

ประมวลผลแบบดิจิทัล TMS320F28335 และ โหลดอิเล็กทรอนิกส์ทำงานในโหมดแรงดันคงที่ (Constant Voltage mode หรือ CV) เพื่อใช้จำลองเป็นบัสไฟตรงที่ถูกควบคุมด้วยวงรอบการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์

5.1 ผลตอบสนองของวงรอบควบคุมแรงดัน

การติดตามจุดให้กำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการรบกวนและสังเกตุจำเป็นต้องทราบถึงช่วงเวลาการตอบสนองของวงรอบควบคุมแรงดัน เพื่อใช้กำหนดช่วงเวลาในการสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตหลังจากการสังเกตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันของโมดูล

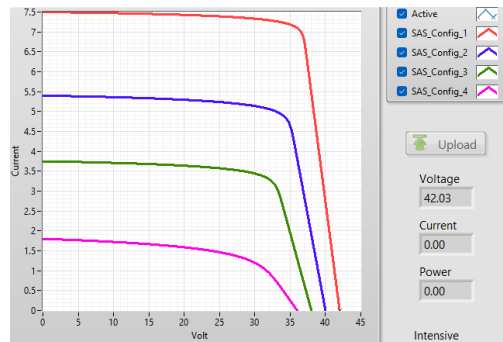


รูปที่ 13 ผลตอบสนองของวงรอบควบคุมแรงดันโมดูลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแรงดันจาก 35V ไปเป็น 34V

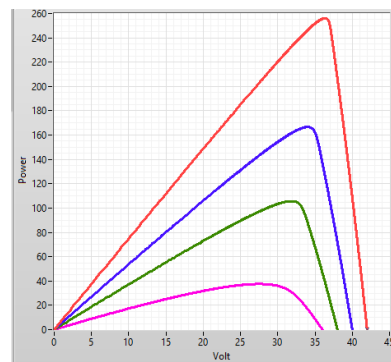
รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มี  $V_{mpp} = 36\text{ V}$  และ  $I_{mpp} = 7\text{ A}$  และทำการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแรงดันจาก 35V เป็น 34V ซึ่งจะสังเกตุเห็นว่าแรงดันของโมดูลลดลงเข้าสู่สภาวะคงตัวในเวลาน้อยกว่า 50 มิลลิวินาที ดังนั้นจึงกำหนดช่วงเวลารบกวนและสังเกตุเป็น 200 มิลลิวินาทีต่อครั้ง

5.2 การติดตามจุดให้กำลังสูงสุด

อัลกอริทึมในการติดตามให้กำลังสูงสุดด้วยการรบกวนและสังเกตุได้ถูกทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานเสมือนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตั้งค่ากราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันให้เสมือนการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 4 แบบ ดังรูปที่ 14



(ก)



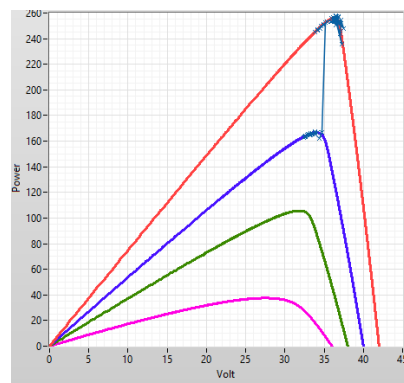
(ข)

รูปที่ 14 หน้าต่าง โปรแกรม PTS PVMain ที่ใช้กำหนดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่

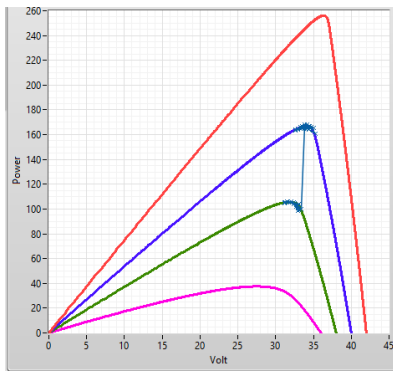
แตกต่างกัน 4 รูปแบบ

(ก) กระแส-แรงดัน และ

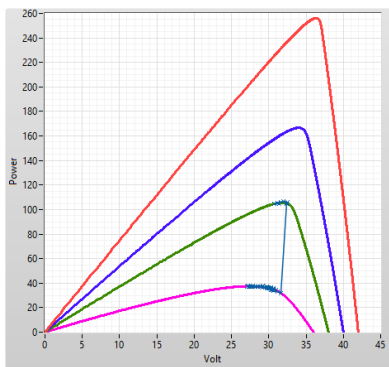
(ข) กำลัง-แรงดัน



(ค)



(ข)



(ค)

รูปที่ 15 การเคลื่อนที่ของจุดทำงานบนเส้นกราฟกำลัง-แรงดัน เมื่อเกิดการเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลแบบฉบับพลัน

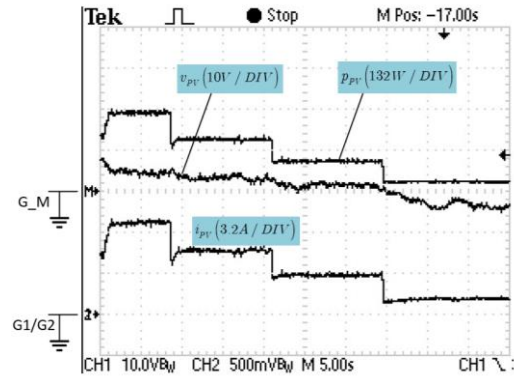
(ก) SAS\_Config1 ไปยัง SAS\_Config2

(ข) SAS\_Config2 ไปยัง SAS\_Config3

(ค) SAS\_Config3 ไปยัง SAS\_Config4

รูปที่ 15 แสดงการเคลื่อนที่ของจุดทำงานบนกราฟคุณลักษณะกำลัง-แรงดัน ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ บนหน้าต่างของโปรแกรม PTS PVMain ที่ใช้กำหนดกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูล โดยโปรแกรมสามารถแสดงจุดทำงานที่สถานะจริง (Active) ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดทำงานและความถูกต้องของอัลกอริทึมในการติดตามจุดกำลังสูงสุด

โดยเมื่อทดลองเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะจากเส้นกราฟที่ให้กำลังผลิตสูง ไปยังเส้นกราฟที่ให้กำลังผลิตต่ำกว่าแบบฉบับพลัน จะเห็นได้ว่าระบบสามารถค้นหาจุดกำลังสูงสุดค่าใหม่ได้อย่างถูกต้อง

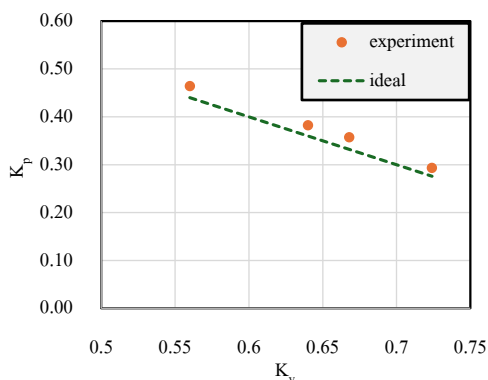


รูปที่ 16 ลักษณะกระแส แรงดันและกำลัง ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูล

รูปที่ 16 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันของโมดูลที่ตรวจวัดด้วยออกสซิลโลสโคป โดยเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟแบบฉบับพลันจะสังเกตเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะตกลงมาต่ำในช่วงแรกเนื่องจากจุดทำงานไม่ตรงกับจุดกำลังสูงสุดใหม่ จากนั้นเมื่ออัลกอริทึมติดตามจุดกำลังสูงสุดทำการรบกวนและสังเกตเพื่อค้นหาจุดกำลังสูงสุด แรงดันที่โมดูลจึงค่อยๆ ลดลงเพื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดกำลังสูงสุดใหม่ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้น โดยมีช่วงเวลาในการค้นหาจุดกำลังสูงสุดใหม่ได้ภายในเวลา 1 วินาที และระบบยังคงทำงานที่บริเวณจุดกำลังสูงสุดใหม่นี้จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโมดูลอีกครั้ง

### 5.3 สัดส่วนการประมวลกำลัง

การหาสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคต่อกำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ทำได้โดยการวัดค่าเฉลี่ยของกระแสและแรงดันที่ตำแหน่งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ( $V_{PV}$  และ  $I_{PV}$ ) และที่ตำแหน่งบัสไฟตรง ( $V_{bus}$  และ  $I_o$ ) ขณะวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ณ ตำแหน่งกำลังสูงสุด ของแต่ละเส้นกราฟคุณลักษณะตามรูปที่ 14

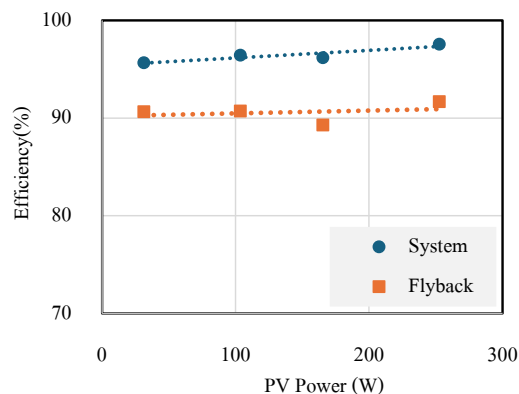


รูปที่ 17 สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคที่อัตราส่วนแรงดันระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงต่างๆ กัน

รูปที่ 17 แสดงให้เห็นแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างเส้นกราฟในอุดมคติ (เส้นประ) กับผลการทดลอง โดยเมื่ออัตราส่วนแรงดันระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันที่บัสไฟตรงมีค่าสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคจะมีค่าลดลง โดยปกติเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงมากแรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุดของโมดูลจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีความเข้มแสงน้อย [1] ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกประมวลผ่านวงจรฟลายแบคจะมีค่าลดลงในสภาวะที่โมดูลสามารถผลิตไฟฟ้าได้มาก

### 5.4 ประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพได้ทำการตรวจวัดทั้งประสิทธิภาพของวงจรฟลายแบคและประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงขณะวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว ณ ตำแหน่งกำลังสูงสุดของแต่ละเส้นกราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามรูปที่ 14



รูปที่ 18 ประสิทธิภาพของวงจรฟลายแบคและประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบประมวลกำลังบางส่วน

รูปที่ 18 แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงเมื่อใช้เทคนิคการประมวลกำลังบางส่วน โดยวงจรฟลายแบคมีประสิทธิภาพประมาณ 90% แต่ประสิทธิภาพรวมของระบบแปลงผันไฟตรงอยู่ที่ 95-97% ซึ่งมีค่าสูงเทียบเท่าอุปกรณ์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ที่พิกัดกำลังใกล้เคียงกัน [14] ประสิทธิภาพรวมของระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อโมดูลผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามสมการที่ (4) เมื่อ  $K_p$  มีค่าน้อยซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่โมดูลผลิตกำลังได้มาก จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น

## 6.สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรแปลงผันไฟตรงที่ประมวลกำลังบางส่วนบนพื้นฐานของวงจรฟลายแบคเพื่อใช้งานในการติดตามจุดกำลังสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการติดตามจุดกำลังสูงสุดยังคงทำงานถูกต้องด้วยเทคนิคการจัดการกำลังบางส่วนและสามารถทำให้ประสิทธิภาพของระบบแปลงผันไฟตรงมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถพัฒนาให้ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิคกำลังต่อแผงสูงขึ้นอย่างมากในอนาคตได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Zapata, S. Kouro, G. Carrasco, and T. Meynard, “Step-Down Partial Power DC-DC Converters for Two-Stage Photovoltaic String Inverters,” *Electronics (Basel)*, vol. 8, p. 87, Mar. 2019.
- [2] H. S. Moreira, T. P. e Oliveira, M. V. G. dos Reis, J. F. Guerreiro, M. G. Villalva, and T. G. de Siqueira, “Modeling and simulation of photovoltaic systems under non-uniform conditions,” in Proc. *2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 2017, pp. 1–6.
- [3] C. Saiprakash, A. Mohapatra, A. Manna, and A. Nandi, “Hybrid Array Configurations to Reduce Mismatch Loss of a PV Array under Partial Shading Conditions,” in Proc. *2022 International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICICCS)*, 2022, pp. 1–6.
- [4] A. M. Sadati, S. Krauter, and J. Bendfeld, “Comparison of micro inverters based on practical analysis,” in Proc. *2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 2015, pp. 1–6.
- [5] J. S. Koh, R. H. G. Tan, W. H. Lim, and N. M. L. Tan, “A Modified Particle Swarm Optimization for Efficient Maximum Power Point Tracking Under Partial Shading Condition,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 14, no. 3, pp. 1822–1834, 2023.
- [6] M. Tahmasbi-Fard, M. Tarafdar-Hagh, S. Pourpayam, and A.-A. Haghrah, “A Voltage Equalizer Circuit to Reduce Partial Shading Effect in Photovoltaic String,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 8, no. 4, pp. 1102–1109, 2018.
- [7] Y. Nimni and D. Shmilovitz, “A returned energy architecture for improved photovoltaic systems efficiency,” in Proc. *2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2010, pp. 2191–2194.
- [8] H. Deboucha, M. Kermadi, S. Mekhilef, and S. L. Belaid, “Voltage Track Optimizer Based Maximum Power Point Tracker Under Challenging Partially Shaded Photovoltaic Systems,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 12, pp. 13817–13825, 2021.
- [9] S.-M. Chen, T.-J. Liang, and K.-R. Hu, “Design, Analysis, and Implementation of Solar Power Optimizer for DC Distribution System,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 4, pp. 1764–1772, 2013.

- [10] B. Allahverdinejad and A. Ajami, “Analyses of a Flyback Based Solar Power Optimizer and its behaviour in a PV system,” in Proc. *2025 16th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, 2025, pp. 1–5.
- [11] J. L. de Souza Silva, H. S. Moreira, D. B. de Mesquita, M. M. Cavalcante, and M. G. Villalva, “Modular Architecture with Power Optimizers for Photovoltaic Systems,” in Proc. *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 2019, pp. 1–6.
- [12] R. W. and M. D. Erickson, *Fundamentals of Power Electronics 2ed.*, Springer, 2001.
- [13] T. Esum and P. L. Chapman, “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007.
- [14] R. C. N. Pilawa-Podgurski and D. J. Perreault, “Sub-module integrated distributed maximum power point tracking for solar photovoltaic applications,” in Proc. *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012, pp. 4776–4783.

## ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผศ.ดร. โชคชัย ชื่นวัฒนาประณีต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
งานวิจัยที่สนใจ: ระบบผลิต  
ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และ  
การประยุกต์ใช้วงจร  
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ผศ.ดร. มั่นชานา รังสิโยภาส  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยี  
พลังงานและระบบทางความร้อน