



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอัจฉริยะสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
เชื่อมต่อกริดภายใต้เงื่อนไขการเกิดการบังเงาบางส่วน

Smart maximum power point tracking scheme for grid connected Photovoltaic
system under partially shaded insolation conditions

นายสมยศ เกียรติวนิชวิไล

RCH TK7868.59 ๕ 294 ๑

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

72601469

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอัจฉริยะสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริด
ภายใต้เงื่อนไขการเกิดการบังเงาบางส่วน

แหล่งเงิน ทุนวิจัยได้คณะกรรมการศาสตร์.....

ประจำปีงบประมาณ 2554 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 64,900 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กันยายน 2554

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ PV (Photovoltaic) เทคนิคที่นำเสนอเป็นเทคนิคในการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่เรียกว่า เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep) ซึ่งจะใช้ร่วมกับเทคนิค Perturb and Observe (P&O) ข้อเสียของเทคนิค P&O ในระบบต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงนี้ จะไม่สามารถตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่เกิด local maxima ได้ เทคนิคการกวาดกระแสจะเริ่มต้นกวาดกระแสตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ากระแสลัดวงจรเพื่อค้นหาตำแหน่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้แม้จะเกิดสภาวะการบังเงาบางส่วน (Partial Shading) ก็ตาม ผลการจำลองและการทดลองการทำงานของระบบ PV 3 แผงต่ออนุกรมกันภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่ได้รับในแต่ละแผงไม่เท่ากันถูกแสดงในบทความ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าเทคนิคเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด, ปัญหาค่าสูงสุดแบบโลคอล, เทคนิคการแกว่งค่าและสังเกต, เทคนิคการกวาดกระแส

Research Title: Smart maximum power point tracking scheme for grid connected Photovoltaic system under partially shaded insolation conditions

Researcher: Asst. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

ABSTRACT

This project presents the increasing of efficiency of PV system. The proposed technique called "Current Sweep technique" is adopted to track the global maximum power point (MPP) and is used in conjunction with the conventional technique, "Perturb and Observe (P&O)". The drawback of the P&O technique is the failure of global MPP tracking when there are several local maximum power points in the system. The Current Sweep technique can solve this problem by starting to sweep the current from zero to short circuit current value. Thus, the tracking of global MPP even under partial shading condition can be achieved. Simulation and experimental results of 3 series connected PV array with non-uniform irradiance are illustrated in this project. As results indicated, the maximum power point gained from the proposed technique is significantly better than that of the conventional technique.

Keywords : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Local Maxima Problem, Perturb and Observe (P&O), Current Sweep

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล (หัวหน้าโครงการ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 กรอบแนวความคิดในการวิจัย (ถ้ามี)	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.2 การประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	17
2.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	22
บทที่ 3 เทคนิคที่นำเสนอ	29
3.1 กระบวนการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
4.1 การทดลอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	45
บรรณานุกรม เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	47
ประวัตินักวิจัย.....	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ VI ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O [6]	17
2.2 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค IncCond [6]	19
2.3 คุณลักษณะที่สำคัญของเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละแบบ [6]	22
4.1 ผลของความเข้มแสงในแต่ละสถานะของกรณีศึกษาที่ 1	39
4.2 สรุปผลการทดลองสำหรับกรณีที่ 1	39
4.3 สรุปความเข้มแสงสำหรับกรณีที่ 2	41
4.4 สรุปผลการทดลองสำหรับกรณีที่ 2	41
4.5 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกวาดกระแสเมื่อ Step Duty Cycle ต่างกัน	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน VII การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แนวโน้มแหล่งพลังงานของโลก	1
1.2 แสดงระบบที่จะดำเนินการ	4
2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	7
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม	8
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม	8
2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาน	9
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาน	9
2.9 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับโหลดโดยตรง	10
2.10 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานอย่างอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับกริด	11
2.11 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและมีแบตเตอรี่	12
2.12 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและไม่มีแบตเตอรี่	12
2.13 รูปแบบการเชื่อมต่อตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้า	13
2.14 ประเภทของตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้า	15
2.15 การทำงานของ Bypass Diode (Anonymous)	16
2.16 วงจรทบระดับแรงดัน	23
2.17 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	24
2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส	24
3.1 แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	30
3.2 กราฟระหว่างความเข้มแสงกับเวลาแสดงค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา	31
3.3 กราฟกำลังไฟฟ้ากับเวลา	31
3.4 กราฟกำลังไฟฟ้ากับเวลา	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน VIII ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

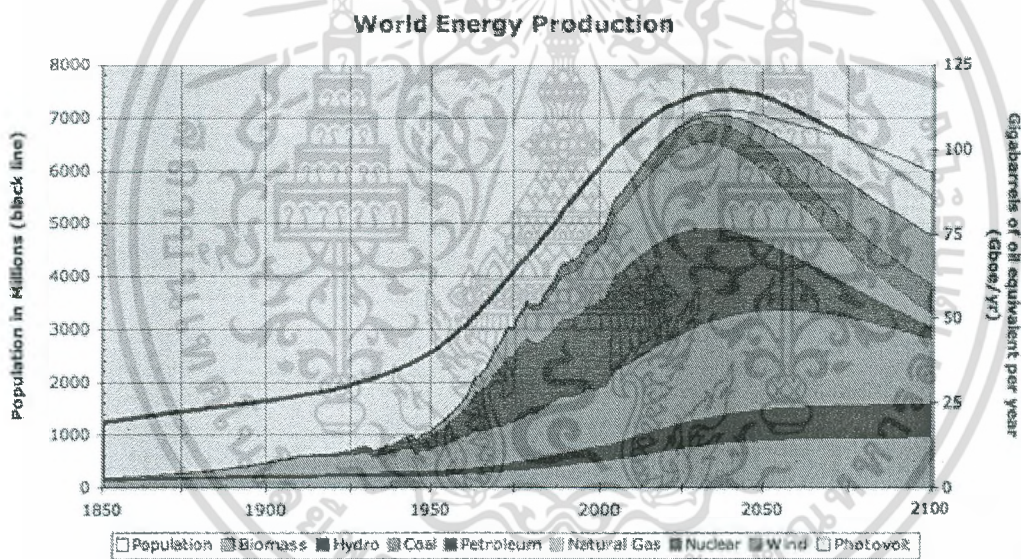
สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.5 (ก) การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา	33
(ข) ผลการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	
3.6 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า	34
4.1 วงจรทบระดับแรงดันที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	36
4.2 เซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงต่อร่วมกันแบบอนุกรม	36
4.3 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อความเข้มแสงสม่ำเสมอ	37
4.4 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วน	37
4.5 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ตรวจพบการบังเงาบางส่วน	38
4.6 MPPT ด้วยเทคนิค P&O หลังจากใช้เทคนิค Current Sweep	38
4.7 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อความเข้มแสงสม่ำเสมอ	39
4.8 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วน	40
4.9 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ตรวจพบการบังเงาบางส่วน	40
4.10 MPPT ด้วยเทคนิค P&O หลังจากใช้เทคนิค Current Sweep	41
4.11 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วนเพียงชั่วขณะ	42
4.12 เทคนิค Fuzzy และ P&O – Current ในช่วงสภาวะชั่วขณะ	44

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจและเร่งหามาตรการเพื่อควบคุม มาตรการหนึ่งคือการพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเป็นที่ทราบกันว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทยเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่มีแสงอาทิตย์ตลอดปี นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ จากแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan, AEDP (2012-2021) มีเป้าหมายเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน 75.48 MW ไปเป็น 2,000 MW ภายในปี พ.ศ.2564 (กระทรวงพลังงาน, 2555)



รูปที่ 1.1 แนวโน้มแหล่งพลังงานของโลก

หมายเหตุ: Gboe = "Gigabarrels of oil equivalent"

รูปที่ 1.1 แสดงประวัติศาสตร์การผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆของโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1850 และจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นแสดงด้วยเส้นสีดำ แนวโน้มพลังงานในอนาคตตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005-2100 ถูกทำนายขึ้น กราฟดังกล่าวยังไม่รวมถึงการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจากการตระหนักถึงปัญหาภาวะโลกร้อน จากรูปยังแสดงให้เห็นว่าในศตวรรษที่ 21 แหล่งพลังงานที่จะเข้ามาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลก็คือแหล่งพลังงานทดแทน Loren Cobb (2007: 1) ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ Photovoltaic หรือระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่มีแสงอาทิตย์ตลอดปี อย่างไรก็ตามการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้โดยการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้ายังติดปัญหาทั้งทางด้านเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องต่างๆ อาทิเช่น ราคาต้นทุน การออกแบบวงจรแปลงผันพลังงานที่มีประสิทธิภาพและคงทนต่อพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในระบบคุณภาพของไฟฟ้าที่ผลิตในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกกริด ฯลฯ

ปัญหาสำคัญของการนำระบบนี้มาใช้ปัญหาหนึ่งคือระบบโดยรวมมีราคาแพงและคุ้มทุนช้า นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจและมุ่งพัฒนานวัตกรรมทางด้านนี้ทำให้เกิดความคาดหวังว่า ราคาเงินลงทุนของระบบนี้จะลดลงเป็น 1 เหรียญสหรัฐต่อวัตต์ได้ก่อนปี ค.ศ. 2020 [1, 2] ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อกกริดนี้ราคาต้นทุนของระบบจะลดลงมากเนื่องจากสามารถลดการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานซึ่งแบตเตอรี่ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่เป็นต้นสูงในระบบนี้ ในแง่ของการลดต้นทุนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกกริดนี้งานวิจัยทั้งหลายมุ่งเน้นในการลดขั้นตอนการแปลงผันพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพและลดจำนวนอุปกรณ์ในการแปลงผันพลังงานแต่ละขั้น[1, 3]

ในส่วนขอเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งเป็นเทคนิคที่จำเป็นในการทำให้ระบบ PV ทำงานได้ในจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีด้วยกันหลายเทคนิค เช่น P&O, Incremental Conductance, current sweep ฯลฯ ถูกนำเสนอเพื่อทำงานในตัวของตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างไรก็ตามเทคนิคส่วนใหญ่ (ยกเว้นเทคนิคแบบ current sweep) ไม่สามารถใช้งานได้กับกรณีการต่อแผง PV หลายแผงที่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทันทีทันใดหรือเกิดการบังเงาบางส่วนได้ มีผู้วิจัยไว้อย่างน่าสนใจว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทันทีทันใดและการเกิดการบังเงาบางส่วนอาจส่งผลต่อการประสิทธิผลของการได้พลังงานจากแผง PV อาทิเช่น Bruendinger และคณะ[4] ได้ทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์ PV ที่มีขายในท้องตลาดในเงื่อนไขการบังเงาบางส่วนพบว่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหานี้อาจสูงถึง 70% เนื่องจากในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วนจะก่อให้เกิดจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าแบบ local หลายจุดที่มักนิยมเรียกว่า Multiple Local Maxima การโมเดลระบบที่เกิดปัญหานี้ทำได้ไม่ง่ายเนื่องจากคุณลักษณะของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีเกิดการบังเงาบางส่วนจะขึ้นกับลักษณะของการบังเงา จำนวนและรูปแบบการต่อแผง PV เข้าด้วยกัน แม้เทคนิคแบบ current sweep จะทำให้แก้ปัญหาการบังเงาเหล่านี้ได้แต่เทคนิคนี้ใช้อุปกรณ์ passive (ตัวต้านทานกับ C) ทำให้สูญเสียพลังงานในขณะที่ทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการแบบ current sweep ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และหาวิธีการตรวจจับเพื่อทำการค้นหา GP (Global Peak Search) โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ของแผง PV กับสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากแผงนั้นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อพัฒนาระบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกกริดภายใต้เงื่อนไขการเกิดการบังเงาบางส่วนที่มีสมรรถนะและข้อดีกว่าเทคนิคเดิมที่มีผู้วิจัยไว้ ด้วยเทคนิคการกวาดกระแสและตัวตรวจจับการค้นหาจุดสูงสุดแบบโกลบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2.2. เพื่อนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าวิจัยของระบบและการควบคุมที่พัฒนาขึ้น
- 1.2.3. เพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ที่ใช้งานได้จริงและเป็นประโยชน์ในการพัฒนานวัตกรรมทางพลังงาน
- 1.2.4. เพื่อให้เกิดประโยชน์ในแง่พลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อประเทศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

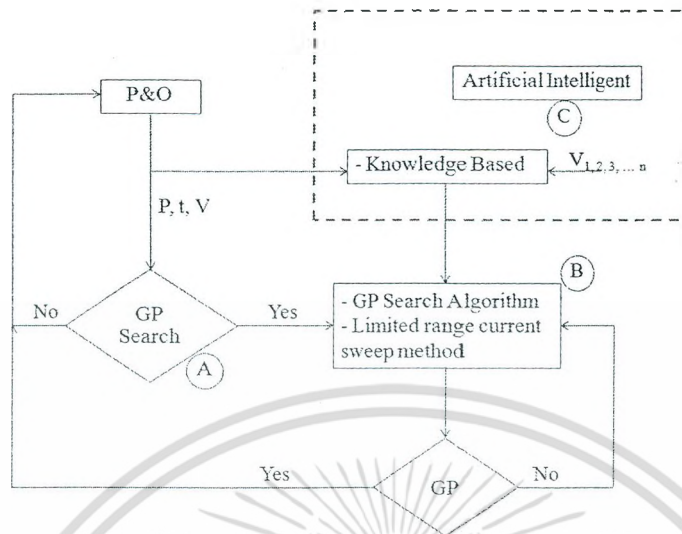
- 1.3.1. สร้างแบบจำลองโมเดลระบบ PV system ภายใต้เงื่อนไขปกติและ Partial Shading ที่แม่นยำเปรียบเทียบกับกรณีทดลอง
- 1.3.2. ศึกษาหาองค์ความรู้ใหม่ในปัจจุบันในการตรวจจัดการเกิดการบังเงาบางส่วน
- 1.3.3. นำเสนอเทคนิคใหม่ในการตรวจจัดการกระแสสูงสุดแบบโกลบอลที่เหมาะสม
- 1.3.4. บทความประชุมวิชาการระดับนานาชาติ อย่างน้อย 1 บทความ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1. การจำลองโมเดลและทดสอบโมเดลของระบบ PV ในกรณีเกิดการบังเงาบางส่วนหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงแสงแบบทันทีทันใด หาตัวแปรในการตรวจจัดการใหม่ที่เกิด GP และทำการศึกษาจากแบบจำลอง
- 1.4.2. หาเทคนิคในการตรวจจัดการเกิดการบังเงาบางส่วน กำหนดวิธีการกวาดกระแสเพื่อให้ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วนเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
- 1.4.3. ออกแบบระบบ dual stage
- 1.4.4. ทดสอบจริง
- 1.4.5. เขียนบทความวิชาการ

1.5 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

ลักษณะการดำเนินการวิจัยจะเป็นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1.2 แสดงระบบที่จะดำเนินการ

เริ่มต้นระบบจะมีการตามรอบแบบเทคนิค P&O จากนั้นเมื่อตรวจจับพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทันทีทันใดหรือมีการบังเงาบางส่วนระบบจะเข้าสู่โหมด GP คือ Global Peak Search เพื่อทำการกวาดกระแสนด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ย่านการกวาดกระแสที่เหมาะสมและวิธีการตรวจจับ GP จะถูกวิเคราะห์และอาจใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาหาค่าเหมาะสมนี้เพื่อให้ย่านการกวาดแคบสุด (เวลาการกวาดน้อยสุด) แต่หาค่าตอบที่จุดสภาวะสูงสุดได้มากที่สุดเช่นกันในสภาวะที่สภาพอากาศมีการแปรปรวนตามที่กำหนด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เทคนิคและเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดกำหนดย่านการกวาดกระแสและการตรวจจับ GP จำนวน 1 ต้นแบบ
- 1.6.2 บทความในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ อย่างน้อย 1 เรื่อง

บทที่ 2

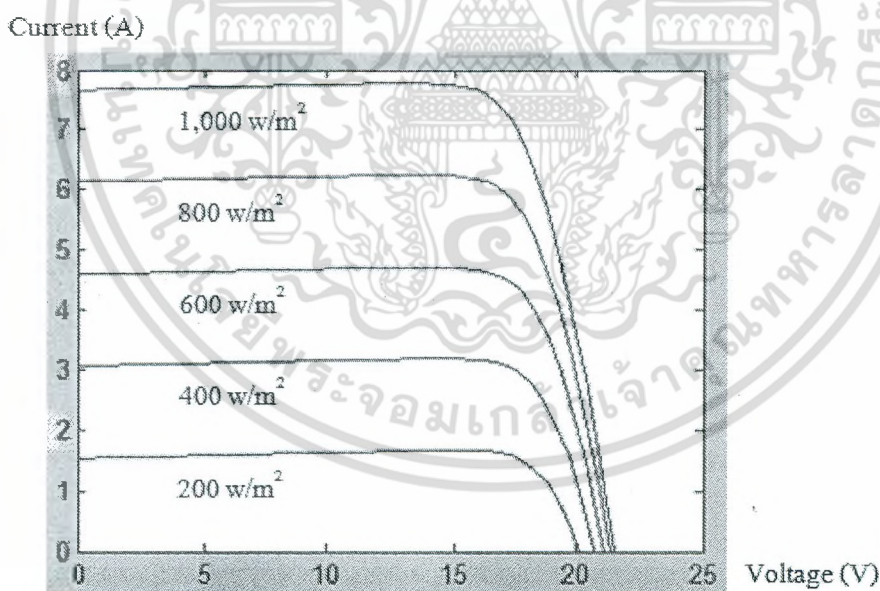
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีคุณลักษณะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะต่างๆ การประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการบังเงาบางส่วน รวมถึงทฤษฎีของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับงานวิจัยนี้

2.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความเข้มแสง การบังเงาบางส่วน คุณลักษณะทางไฟฟ้าจากผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

2.1.1 ผลกระทบจากความเข้มแสง

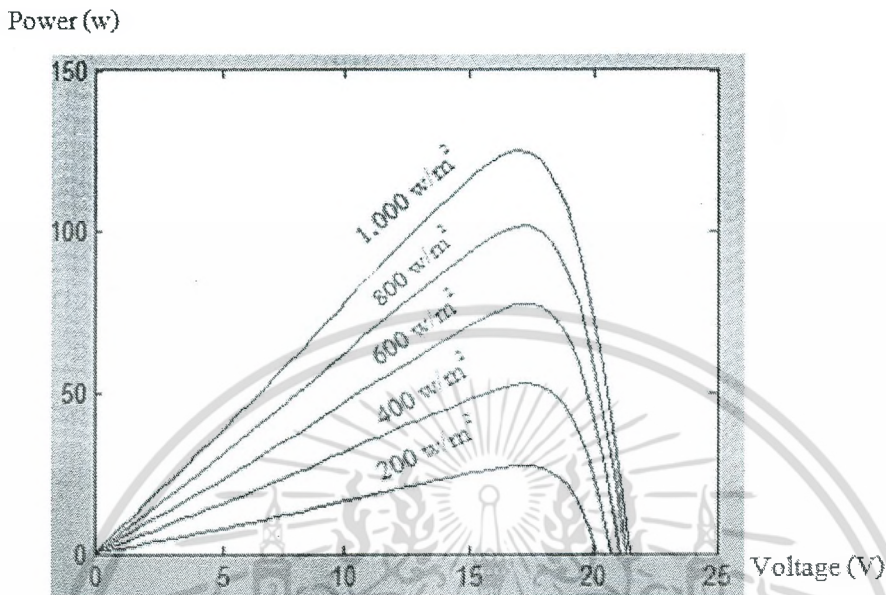


รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (200-1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร) ทำให้ค่ากระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาจากค่ากระแสลัดวงจร (ที่จุดแรงดันเท่ากับศูนย์) ค่าความเข้มแสงมีผลต่อ

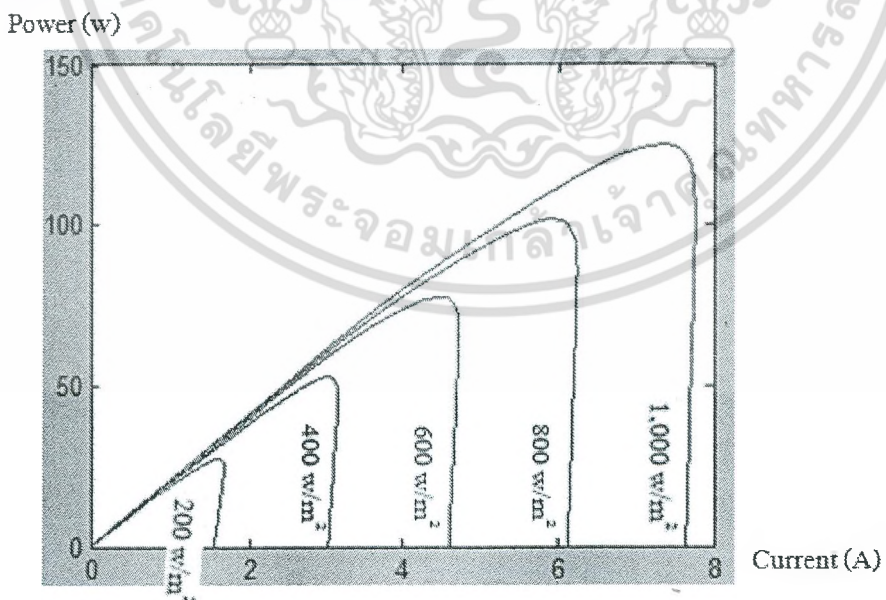
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก ในขณะที่ค่าแรงดันเปิดวงจร (ที่จุดกระแสเท่ากับ ศูนย์) ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (200-1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร) ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดยอด) เพิ่มขึ้นในขณะที่แรงดันจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 17 โวลต์



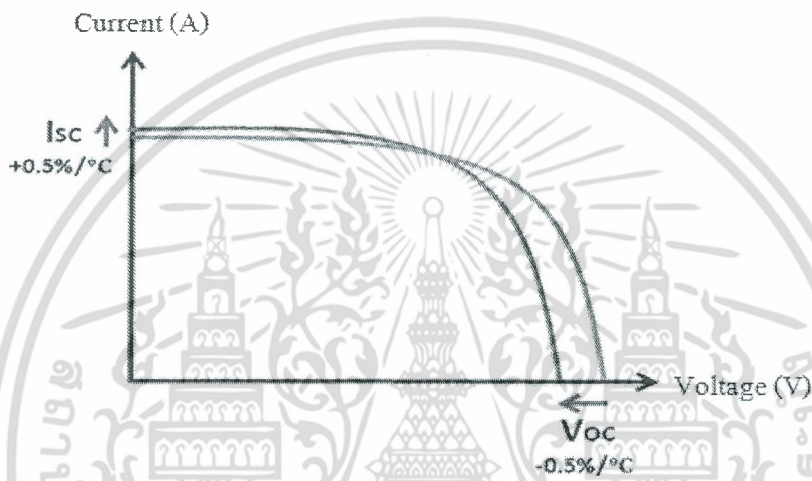
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (200-1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร) ทำให้ค่ากระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดยอด) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

กล่าวโดยสรุปได้ว่าค่ากระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมามีค่าแปรผัน โดยตรงกับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิ



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

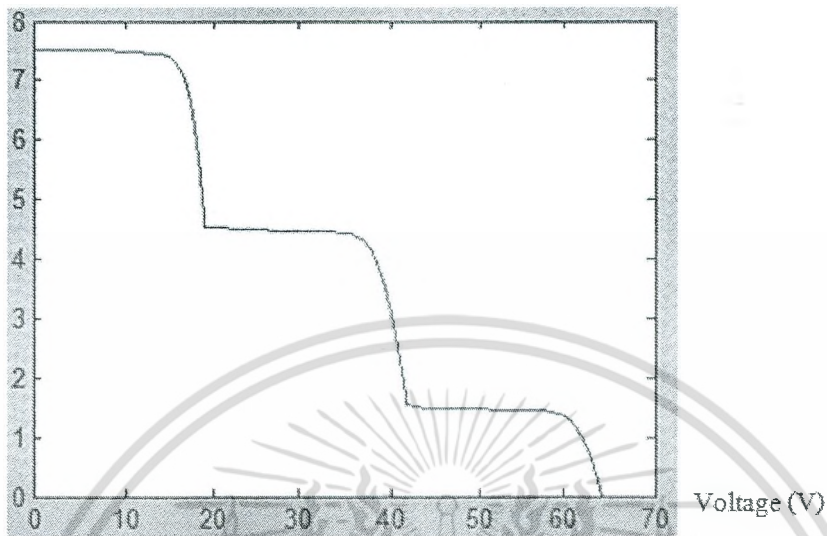
จากรูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) ลดลงและทำให้ค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์มากนัก

2.1.3 ผลกระทบจากการบังเงาบางส่วน

ผลจากการบังเงาบางส่วนจะศึกษาจากการต่อเซลล์แสงอาทิตย์พิกัดเดียวกัน 3 แผง กำลังไฟฟ้าแต่ละแผง 125 วัตต์ โดยให้ความเข้มแสงแต่ละแผงไม่เท่ากัน 1000, 600 และ 200 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับพิจารณาเป็น 2 ระบบคือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบอนุกรมและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบขนาน

ก. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบอนุกรม

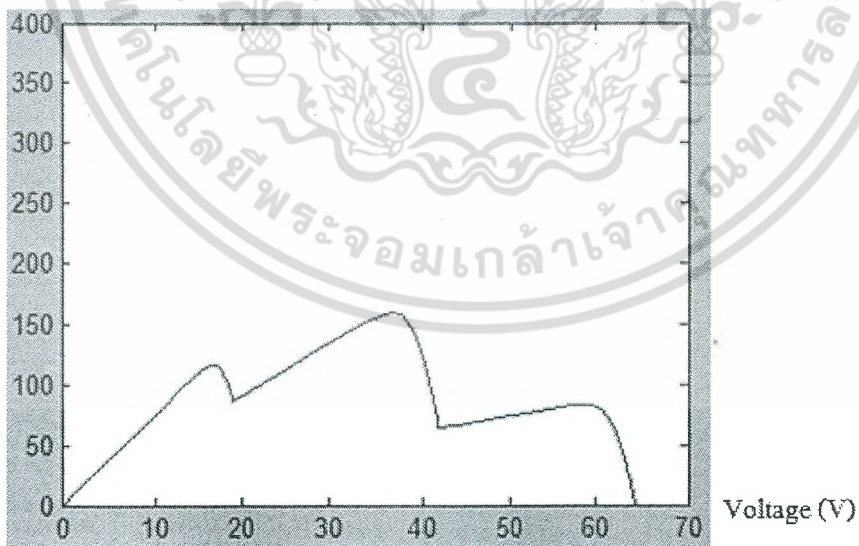
Current (A)



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม

จากรูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม พบว่ากราฟคุณลักษณะมีความซับซ้อนมากขึ้นแตกต่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับความเข้มแสงเพียงค่าเดียวในรูป 2.1

Power (w)



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม

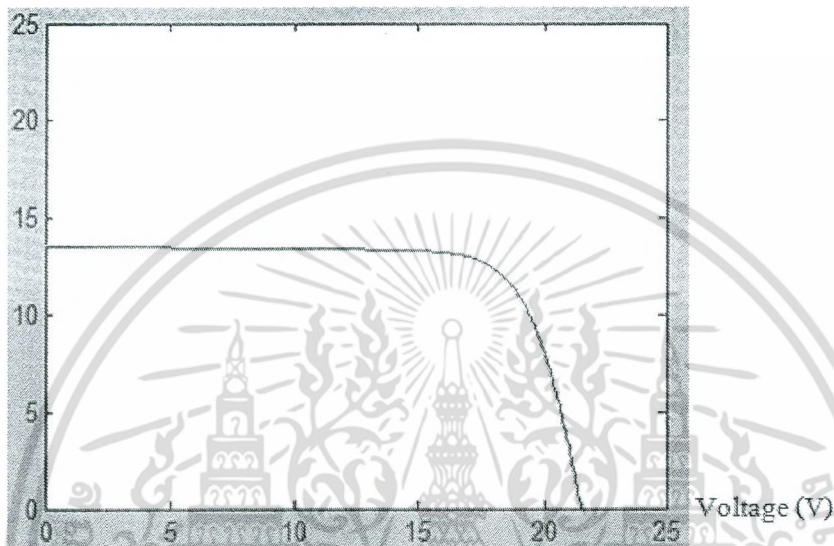
จากรูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 8 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุกรม พบว่ากราฟคุณลักษณะแสดงถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด (Local maxima) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในปัจจุบัน และเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยนี้

2.1.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบขนาน

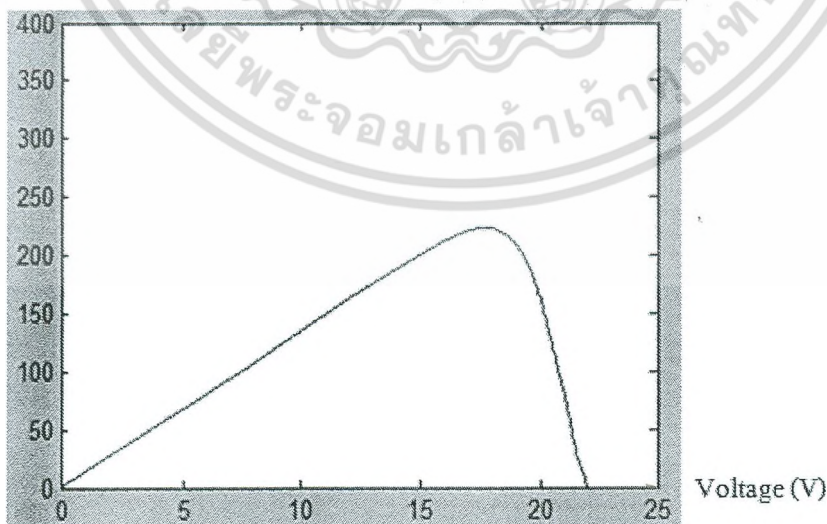
Current (A)



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาน

จากรูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาน พบว่ามีคุณลักษณะเดียวกันกับกราฟของเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับความเข้มแสงเพียงค่าเดียวในรูป 2.1

Power (w)



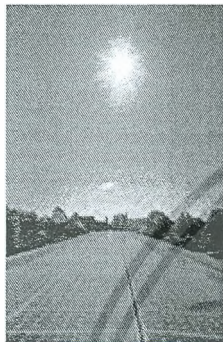
รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อ
ขนาน พบว่ามีคุณลักษณะคล้ายกับกราฟของเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับความเข้มแสงเพียงค่าเดียวในรูป 2.2
อย่างไรก็ตามการต่อขนานจะเพิ่มกระแสในระบบและไม่เพิ่มระดับแรงดันของระบบไฟฟ้า

2.2 การประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบันนี้มีการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากมายหลายรูปแบบดังต่อไปนี้



Solar Modules



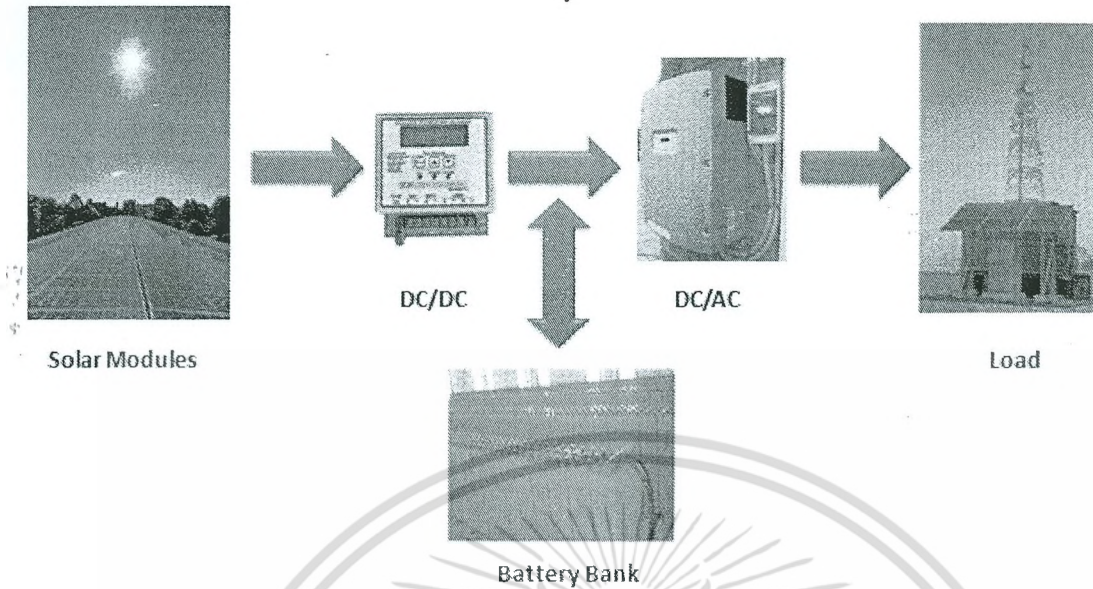
Load

รูปที่ 2.9 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับโหลดโดยตรง

2.2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับโหลดโดยตรง

เป็นการใช้งานที่ง่ายที่สุดและใช้อุปกรณ์น้อยที่สุด ไม่มีแบตเตอรี่และการเชื่อมต่อเข้ากับกริด
เนื่องจากระบบทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ากับโหลดในขณะที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้นจึงประยุกต์ใช้งานได้ไม่
มากนัก ตัวอย่างระบบที่ใช้การเชื่อมต่อโดยตรงเช่น ปั้มน้ำและพัดลมระบายอากาศ

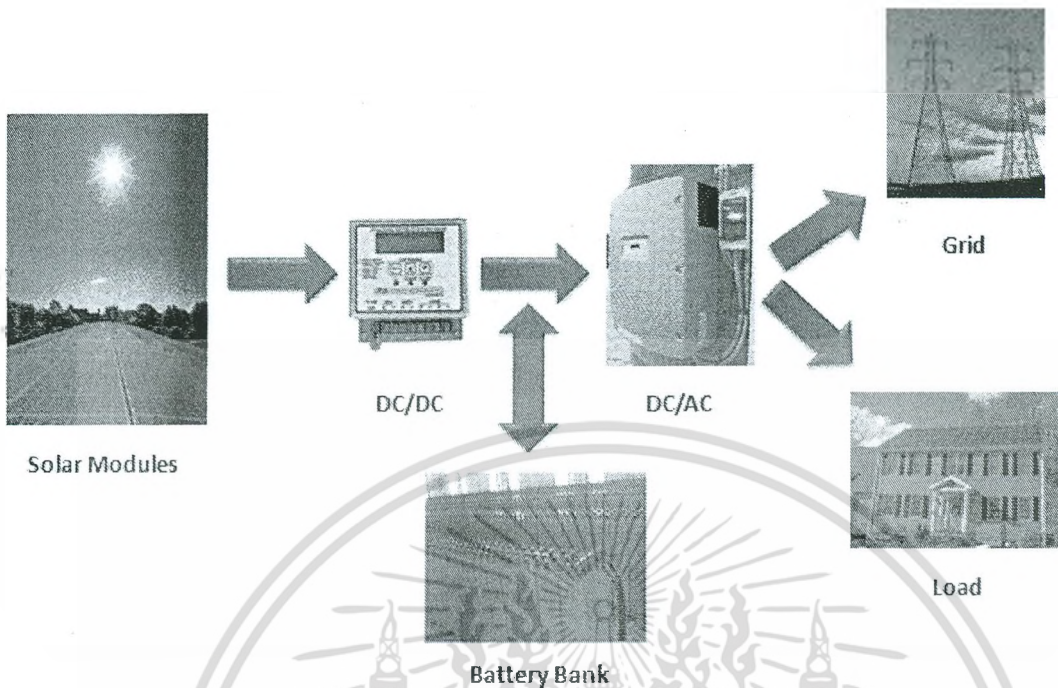
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน10การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานอย่างอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับกริด

2.2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานอย่างอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับกริด

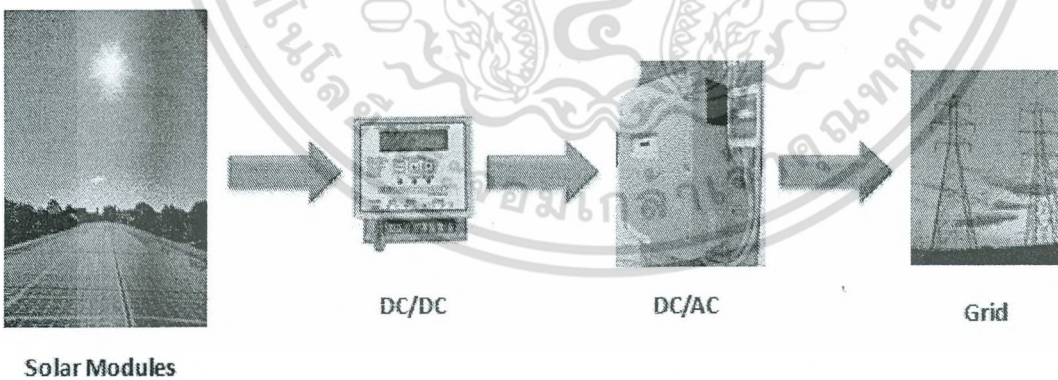
เป็นระบบที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้งานในสถานที่ห่างไกลซึ่งระบบกริดหรือระบบจำหน่ายไม่สามารถเข้าไปถึงได้หรือแม้แต่สถานที่คนเข้าถึงได้ยาก ระบบประกอบไปด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์, วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่, แบตเตอรี่, อินเวอร์เตอร์ และ โหลด ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบมาเพื่อสามารถจ่ายโหลดได้ทั้งหมดในเวลากลางวันรวมถึงทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้ในเวลากลางคืน วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและควบคุมไม่ให้แบตเตอรี่ Overcharge ขนาดของแบตเตอรี่ก็ต้องใหญ่เพียงพอที่จะสามารถจ่ายโหลดในเวลากลางคืนและคำนึงถึงช่วงมรสุมที่ไม่มีแสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับในกรณีที่โหลดต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวอย่างระบบที่ใช้งานอย่างอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับกริดเช่น ระบบไฟฟ้าบนภูเขาที่ระบบจำหน่ายไม่สามารถเข้าถึงได้ ระบบไฟฟ้าของแท่นผลิตน้ำมันและแก๊สกลางทะเล ระบบไฟฟ้าใช้งานในทะเลทราย



รูปที่ 2.11 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและมีแบตเตอรี่

2.2.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและมีแบตเตอรี่

เป็นระบบที่นิยมประยุกต์ใช้งานในบ้านเรือน มีอุปกรณ์การใช้งานคล้ายกับระบบที่ไม่เชื่อมต่อกับกริดในข้อ 2.2.2 แต่มีการเชื่อมต่อกับกริดเพื่อลดความต้องการไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย

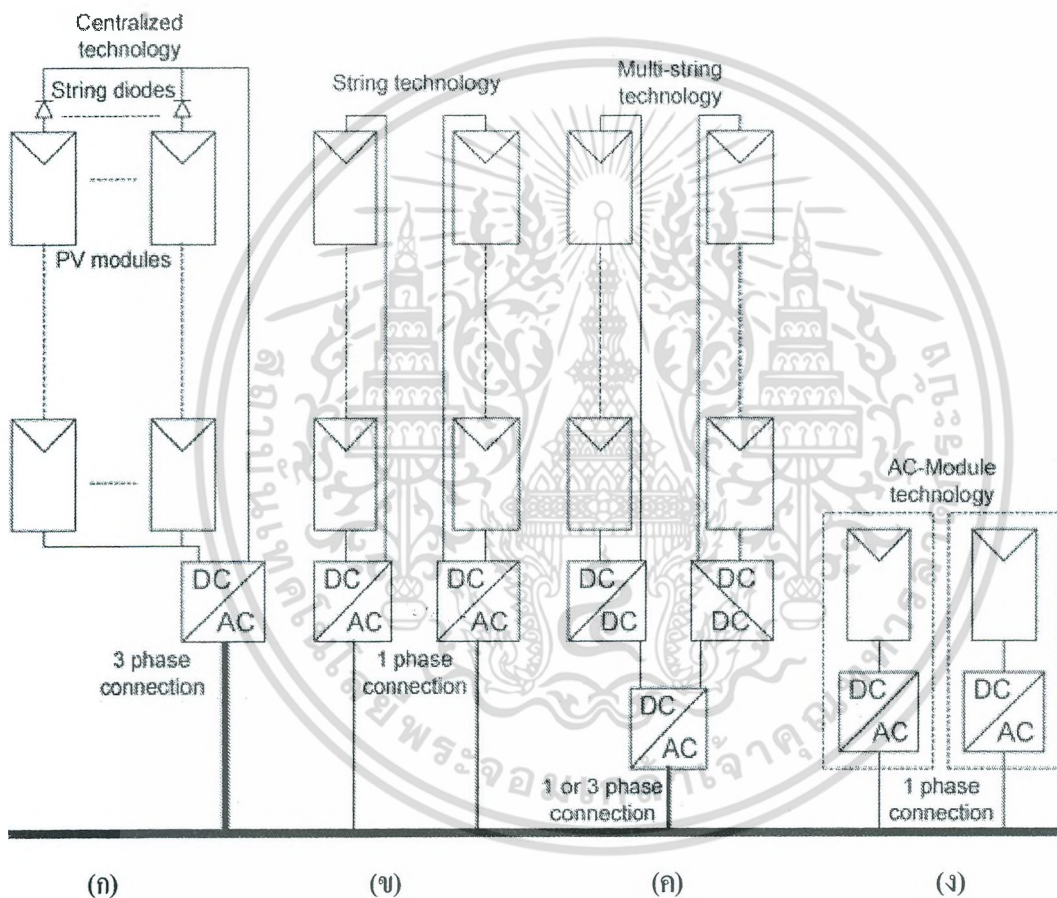


รูปที่ 2.12 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและไม่มีแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน¹² การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับกริดและไม่มีแบตเตอรี่

เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้ากับกริด โดยตรงโดยใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อเป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ระบบนี้จะทำงานไปพร้อมกับกริด จึงมีข้อเสียคือไม่สามารถทำงานได้หากกริดหรือระบบจำหน่ายมีปัญหาไฟดับ นอกจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับกริดในรูปที่ 2.12 ยังมีวิธีการเชื่อมต่อกับกริดอยู่อีกหลายวิธีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 รูปแบบการเชื่อมต่อตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้า (ก) ระบบแบบศูนย์กลางในอดีต (ข) ระบบแบบ String Technology ในปัจจุบัน (ค) ระบบแบบ Multi-String Technology ในปัจจุบันและอนาคต (ง) ระบบแบบ AC Module ในปัจจุบันและอนาคต [5]

ก. ระบบอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลางในอดีต

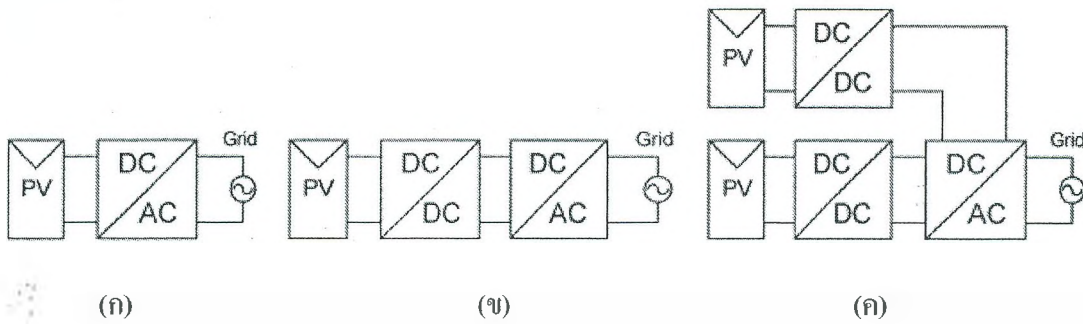
ระบบในอดีตจะใช้อินเวอร์เตอร์เป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากเพื่อเชื่อมต่อกับกริด จากรูปที่ 2.13 (ก) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแบ่งเป็น String ซึ่งแต่ละ String จะทำการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ระดับแรงดันสูงเพียงพอ จากนั้นจะเชื่อมต่อแบบขนานกับ String อื่นๆ โดยมี String Diode เพื่อป้องกันกระแสจาก String อื่นไหลย้อนเข้ามา ระบบนี้มีข้อเสียดังต่อไปนี้ ขนาดของสายไฟระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ศูนย์กลางและความสูญเสียใน String Diode

ข. ระบบ String อินเวอร์เตอร์และ AC Modules ในปัจจุบัน

ระบบในปัจจุบันมีการใช้งาน 2 รูปแบบคือ รูปแบบ String อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.13 (ข) การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละ String เข้ากับอินเวอร์เตอร์ของ String นั้นๆ ระบบนี้ไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจาก String Diode และใช้ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละ String สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและราคาโดยรวมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบในอดีต ส่วนรูปแบบ AC Modules ในรูปที่ 2.13 (ง) เป็นการรวมอินเวอร์เตอร์เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์เดียว ระบบนี้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากการทำงานร่วมกันของเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆแผงเนื่องจากมีอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงนั้นๆ ไม่ขึ้นอยู่กับแผงอื่น นอกจากนี้ยังสามารถขยายระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่ายเพียงแค่การเชื่อมต่อ ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ใดๆ ก็ดี AC Modules ยังมีความจำเป็นที่จะต้องขยายแรงดันเพื่อเชื่อมต่อกับกริดทำให้เกิดกำลังสูญเสียตามมา ราคาต่อวัตต์ก็สูงขึ้น

ค. ระบบ Multi-String อินเวอร์เตอร์และ AC Modules และ AC Cells ในอนาคต

ระบบ Multi-String อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.13 (ค) เป็นการพัฒนา String อินเวอร์เตอร์ขึ้นไปอีกขั้น โดยแต่ละ String มีวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงของ String นั้นๆ และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแต่ละวงจรจะต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียว แต่ละ String สามารถควบคุมได้อย่างอิสระ การขยายระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้ง่ายโดยการเพิ่ม String และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่แล้ว สำหรับ AC Cells เป็นกรณีพิเศษที่เซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดียวแต่ขนาดใหญ่ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์ยังต้องสามารถขยายแรงดันเพียง 0.5-1.0 V ให้เท่ากับระดับแรงดันของกริดได้โดยที่ยังคงประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.14 ประเภทของตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้า (PV ในรูปหมายถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมหรือขนานกันเป็น String) (ก) Single Power Processing Stage Inverter (ข) Dual Power Processing Inverter (ค) Dual Stage Inverter [5]

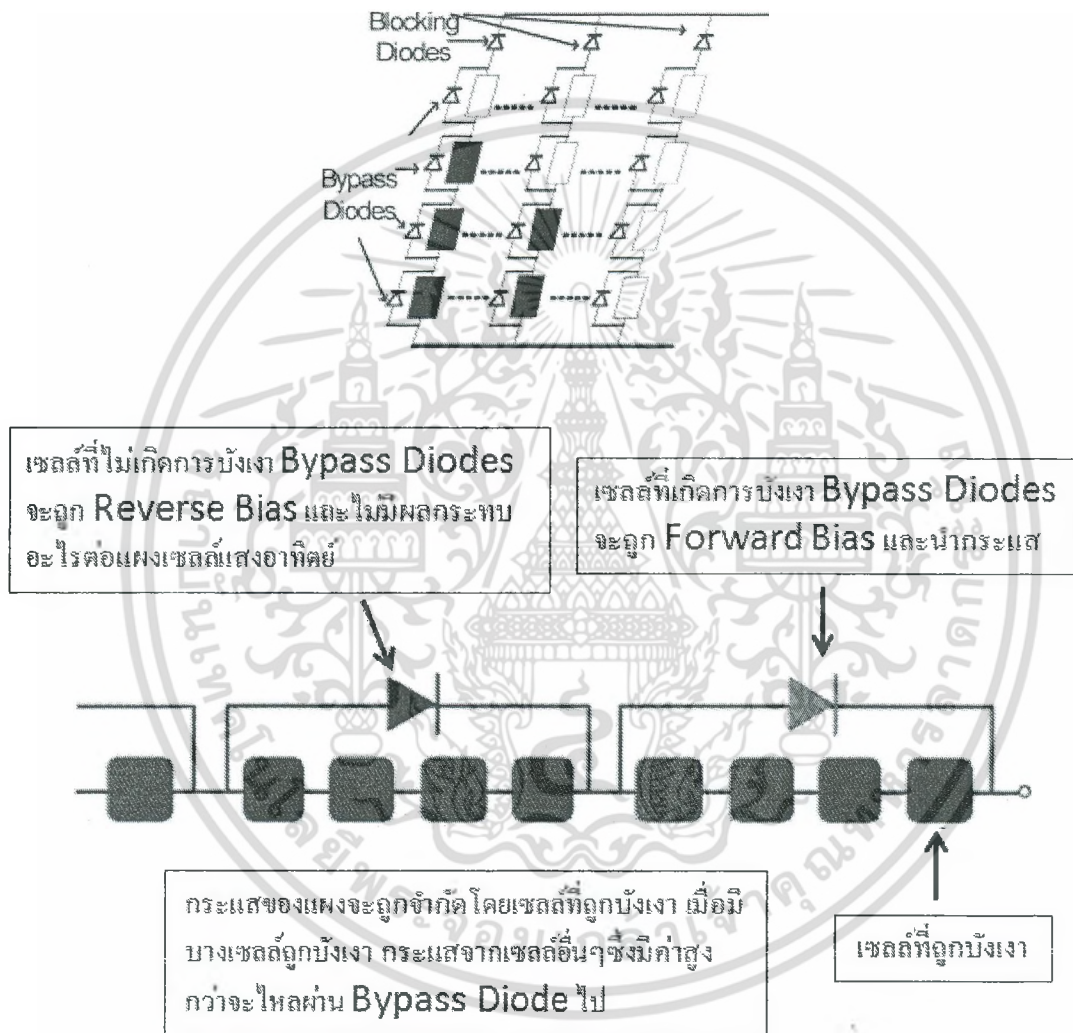
จำนวนของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า

รูปที่ 2.14 แสดงจำนวนของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ รูปที่ 2.14 (ก) เป็นการใช้อินเวอร์เตอร์ชั้นเดียวซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้ง ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด, ควบคุมกระแสเข้าสู่กริด และขยายแรงดันในบางครั้ง รูปแบบนี้เป็นการใช้งานของระบบอินเวอร์เตอร์แบบศูนย์กลางในอดีต ซึ่งอินเวอร์เตอร์ต้องถูกออกแบบให้สามารถรับค่ากำลังไฟฟ้าได้ 2 เท่าของกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติตามสมการที่ (1) ใน [5]

รูปที่ 2.14 (ข) เป็นการใช่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า 2 ชั้นโดยที่ตัววงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงทำหน้าที่เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและขยายแรงดันในบางครั้ง ซึ่งแรงดันขาออกของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงอาจเป็น แรงดัน Pure DC (วงจรถูกออกแบบเพียงแค่รับกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติ) หรือ Rectified Sine Wave (วงจรต้องถูกออกแบบให้สามารถรับค่ากำลังไฟฟ้าได้ 2 เท่าของกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติ) ก็ได้ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ใช้การควบคุมกระแสเข้าสู่กริด โดยใช้ Pulsewidth Modulation (PWM) หรืออีกวิธีหนึ่งอินเวอร์เตอร์ใช้การสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่กริดและทำหน้าที่ “Unfolding” กระแส Rectified Sine Wave ให้เป็น Full-Wave Sine ในกรณีนี้วงจรที่ใช้ควบคุมกระแสเข้าสู่กริดคือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดอินเวอร์เตอร์ควรทำงานที่ PWM Mode เมื่อกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงและควรทำงานที่ Unfolding Mode เมื่อกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ

รูปที่ 2.14 (ค) เป็นกระประยุคที่ใช้สำหรับ Multi-String อินเวอร์เตอร์ หน้าที่ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงมีเพียงการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและขยายแรงดันในบางครั้งเท่านั้น แต่ละวงจรจะต่อเข้าสู่ DC Link เพื่อต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียวซึ่งทำหน้าที่เพียงควบคุม

กระแสเข้าสู่กริด วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากสามารถควบคุมระบบเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละ String ได้อย่างอิสระและอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ก็สามารถใช้ VSD (Variable Speed Drive) ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานทั่วไป



รูปที่ 2.15 การทำงานของ Bypass Diode (Anonymous)

การทำงานของ Bypass Diodes

การบังเงาเพียงบางส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์แผงหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก นอกจากนี้การบังเงาไม่ว่าจะเพียงบางส่วนหรือทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านแผงสามารถไหลย้อนกลับทำให้เกิดจุดร้อน (Hot Spots) บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จุดร้อนจะทำให้

ให้เซลล์แสงอาทิตย์ เสื่อมสภาพถึงขั้นเซลล์เปิดวงจรหรือลัดวงจร ได้ Bypass Diodes สามารถแก้ปัญหานี้ได้ ช่วยทำให้กระแสไหลข้ามเซลล์ที่ถูกบังเงาไป เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะได้รับการติดตั้ง Bypass Diodes ยกเว้นเซลล์แสงอาทิตย์บางชนิดที่เป็นชนิดฟิล์มบาง ยกตัวอย่างเช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วยเซลล์ย่อยอนุกรม 72 เซลล์จะได้รับการติดตั้ง Bypass Diodes 3 ตัว แต่ละตัวจะต่อข้ามเซลล์ย่อยอนุกรม 24 เซลล์ซึ่งทำหน้าที่ Bypass กระแสเมื่อมีเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในโซลาร์นั้นถูกบังเงาไป

2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากคุณลักษณะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.1 กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับจุดทำงานที่ค่ากระแสและแรงดันต่างๆ แต่จะมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) จึงถูกคิดค้นขึ้นมา เพื่อให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดนั้นและนำพลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งานให้ได้มากที่สุด ในปัจจุบันเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดถูกนำเสนอขึ้นมากมาย ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านต่างๆ เช่น ความซับซ้อน, จำนวนเซนเซอร์ที่ใช้งาน, ความเร็วในการเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด, ราคา, ฯลฯ ในหัวข้อนี้จะแนะนำเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. เทคนิค Perturb and Observe (P&O)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายรวมถึงในงานวิจัยนี้ เทคนิค P&O จะเป็นการปรับค่าแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปในทิศทางที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดเวลาไปตามกราฟคุณลักษณะ เมื่อถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดยอด) ค่าแรงดันยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O [6]

ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดัน	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันครั้งต่อไป
เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม
เพิ่ม	ลด	ลด
ลด	เพิ่ม	ลด
ลด	ลด	เพิ่ม

จากตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O จะเห็นว่าถ้าหากกำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงไปจากเดิม ระบบจะเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันไปในทิศตรงกันข้าม ทั้งนี้ก็เพื่อให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั่นเอง เนื่องจากกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปซ้ำมา จนในที่สุดค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะแกว่งอยู่รอบๆจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสามารถลดค่าการแกว่งนี้ได้โดยการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (ΔV) อย่างไรก็ตามการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้การเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดช้าลง แนวทางการแก้ปัญหาหนึ่งที่จะจัดการกับปัญหานี้ก็คือทำให้มีขนาดของ ΔV ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยให้ค่า ΔV น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัดที่ว่า ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ในสภาวะการบังเงาบางส่วนเนื่องจากติดปัญหา Local Maxima ดังที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

2.4.2 เทคนิค Incremental Conductance (IncCond)

เทคนิคนี้พิจารณาจากความชันของกราฟคุณลักษณะระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันของระบบ เซลล์แสงอาทิตย์ดังต่อไปนี้ [6]

$$\begin{cases} \frac{dP}{dV} = 0, & \text{ที่จุด MPP} \\ \frac{dP}{dV} > 0, & \text{ด้านซ้ายมือของจุด MPP} \\ \frac{dP}{dV} < 0, & \text{ด้านขวามือของจุด MPP} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}, & \text{ที่จุด MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}, & \text{ด้านซ้ายมือของจุด MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}, & \text{ด้านขวามือของจุด MPP} \end{cases} \quad (2.3)$$

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิค IncCond สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า Conductance ขณะนั้นๆ (I/V) กับค่า Conductance ที่เปลี่ยนแปลง ($\Delta I / \Delta V$)

ตารางที่ 2.2 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค IncCond [6]

เงื่อนไข	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดัน
$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$	เพิ่ม
$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$	ลด
$\Delta V = 0, \Delta I = 0$	ไม่เปลี่ยนแปลง
$\Delta V = 0, \Delta I > 0$	เพิ่ม
$\Delta V = 0, \Delta I < 0$	ลด

จากตารางที่ 2.2 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค IncCond การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกคงค่าให้ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของกระแส (ΔI) เป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เมื่อกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่แรงดันคงที่ ($\Delta V = 0$) ระบบจะกลับมาหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดใหม่อีกครั้ง

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัดที่ว่า ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ในสภาวะการบังเงาบางส่วนเนื่องจากติดปัญหา Local Maxima ดังที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

ก. เทคนิคอัตราส่วนแรงดันเปิดวงจร (Fractional Open-Circuit Voltage)

เทคนิคนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันเปิดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการที่ (2.4)

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (2.4)$$

เมื่อ k_1 คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่า k_1 จะถูกคำนวณจากการสังเกตค่าสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับค่าแรงดันเปิดวงจรจากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่า k_1 มีค่าโดยประมาณ 0.71-0.78

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จำเป็นต้องทำการเปิดวงจรเพื่อวัดค่าแรงดันเปิดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าไปชั่วขณะ และเมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนตำแหน่งของจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดย่อมไม่แน่นอนจึงไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีนี้ได้

ง. เทคนิคอัตราส่วนกระแสลัดวงจร (Fractional Short-Circuit Current)

เทคนิคนี้คล้ายกันกับเทคนิคอัตราส่วนแรงดันเปิดวงจรแต่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับค่ากระแสลัดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แทนดังสมการที่ (2.5)

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (2.5)$$

เมื่อ k_2 คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่า k_2 จะถูกคำนวณจากการสังเกตค่าสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับค่าแรงดันเปิดวงจรจากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่า k_2 มีค่าโดยประมาณ 0.78-0.92

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จำเป็นต้องทำการลัดวงจรเพื่อวัดค่ากระแสลัดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าไปชั่วขณะ และเมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนตำแหน่งของจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดย่อมไม่แน่นอนจึงไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีนี้ได้

จ. เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep)

เทคนิคการกวาดกระแสใช้การปรับค่ากระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ากระแสลัดวงจรเพื่อทำการบันทึกกราฟคุณลักษณะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เช่นกราฟ I-V, P-V และ P-I ดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.2 ทำให้สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้แม้แต่สภาวะบังเงาบางส่วนหรือความเข้มแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอก็ตาม เทคนิคนี้สามารถทำได้หลายรูปแบบเช่นการกวาดกระแสโดยวงจร RC และการกวาดกระแสด้วยการปรับค่า duty cycle ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จำเป็นต้องใช้เวลาในการกวาดกระแสทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าไปชั่วขณะ และจำเป็นต้องทำการเปิดวงจรไฟฟ้าในกรณีที่ทำการกวาดกระแสโดยใช้วงจร RC

ฉ. เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีอื่นๆ

นอกจากเทคนิคที่กล่าวไปข้างต้นแล้วยังมีเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอื่นๆเกิดขึ้นอีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้ Fuzzy Logic Control, Neural Network, Particle Swarm Optimization, RCC,

OCC ฯลฯ ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการปรับรูปแบบการวางแผนเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ซึ่งงานวิจัยในระยะหลังๆจะมุ่งเน้นให้ความสำคัญต่อปัญหา Local Maxima จากการบังเงาบางส่วนและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเพื่อให้สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ (Global MPP หรือ True MPP)

ปัจจัยที่นำมาใช้ตัดสินใจการเลือกใช้เทคนิค MPPT สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

(1) อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensors) เนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ตรวจจับมีผลต่อราคาและการบำรุงรักษา จำนวนอุปกรณ์จึงมีผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเลือกวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆแผงอาจไม่เหมาะสมกับเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับจำนวนมาก ถ้าหากเกิดความเสียหายขึ้นที่อุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้ยากต่อการค้นหาเพื่อทำการซ่อมและบำรุงรักษา ในกรณีดังกล่าวควรเลือกใช้วิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับน้อยที่สุดเพียงค่ากระแสและค่าแรงดัน โดยปกติแล้วจะไม่นิยมใช้อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้วัดค่าความเข้มแสง

(2) ปัญหา Local Maxima ซึ่งเกิดจากแผงระบบเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังเงาบางส่วนเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมากในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียมีค่าสูงมากถ้าเกิดการตามรอยที่จุด Local MPP แทนที่จะตามรอยที่จุด Global MPP พบว่ามีเพียงเทคนิคการกวาดกระแสเท่านั้นที่สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ถึงแม้ว่าจะเกิดปัญหา Local Maxima ก็ตาม

(3) ราคาต้นทุน การบอกว่าราคาต้นทุนของเทคนิคใดมีราคาถูกที่สุดนั้นค่อนข้างยากถ้าหากยังไม่มี การสร้างแล้วนำไปใช้งานจริงๆ อย่างไรก็ตามหากทำการเปรียบเทียบในเชิงเทคนิคที่ใช้วงจรอนาล็อกและ วงจรดิจิทัลแล้ว ซึ่งอาจจะต้องการซอฟต์แวร์หรือการโปรแกรมและจำนวนของอุปกรณ์ตัวตรวจจับหรือไม่ ก็ตาม การนำไปใช้งานของวงจรที่ใช้อนาล็อกนั้นโดยทั่วไปจะมีราคาถูกกว่าวงจรที่ใช้ดิจิทัลเพราะวงจร ดิจิทัลต้องมีการเขียนโปรแกรมและควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ และนอกจากนั้นราคาต้นทุนจะต่ำลง อย่างมาก ถ้าไม่มีการใช้งานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับกระแส

(4) ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน เทคนิค MPPT ต่างๆก็เหมาะสมกับลักษณะของงานแตกต่างกันไป เช่น สถานีดาวเทียมนอกโลกที่ใช้พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งต้องการระบบที่มีความ น่าเชื่อถือสูง ดังนั้นการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องมีความต่อเนื่องและสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้า สูงสุดได้อย่างรวดเร็ว สำหรับการใช้งานลักษณะนี้ เทคนิคที่เหมาะสมได้แก่เทคนิค P&O และเทคนิค IncCond แต่ถ้าเป็นการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเข้าไปกับระบบไฟส่องถนนซึ่งจะต้องเก็บ พลังงานในช่วงกลางวันมาใช้ในตอนกลางคืนจะคำนึงถึงความง่ายและราคาถูกในการติดตั้งใช้งาน ซึ่งเทคนิค

ที่เหมาะสมคือเทคนิคการใช้อัตราส่วนแรงดันเปิดวงจรหรืออัตราส่วนกระแสลัดวงจรเป็นต้น เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการใช้งานลักษณะอื่นๆ คุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละเทคนิคจะถูกสรุปไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะที่สำคัญของเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละแบบ [6]

เทคนิค MPPT	จุด MPP ที่แท้จริงกรณีการบังเงาบางส่วน	ความเร็วในการเข้าสู่จุด MPP	ความยุ่งยากในการใช้งาน	อุปกรณ์ตรวจจับ
P&O	ไม่แน่นอน	ปรับค่าได้	ต่ำ	แรงดันและกระแส
IncCond	ไม่แน่นอน	ปรับค่าได้	ปานกลาง	แรงดันและกระแส
Fractional V_{OC}	ไม่แน่นอน	ปานกลาง	ต่ำ	แรงดัน
Fractional I_{SC}	ไม่แน่นอน	ปานกลาง	ปานกลาง	กระแส
Fuzzy Logic Control	ไม่แน่นอน	เร็ว	มาก	แรงดันและกระแส
Neural Network	ไม่แน่นอน	เร็ว	มาก	แรงดันและกระแส
Current Sweep	ใช่	ช้า	มาก	แรงดันและกระแส

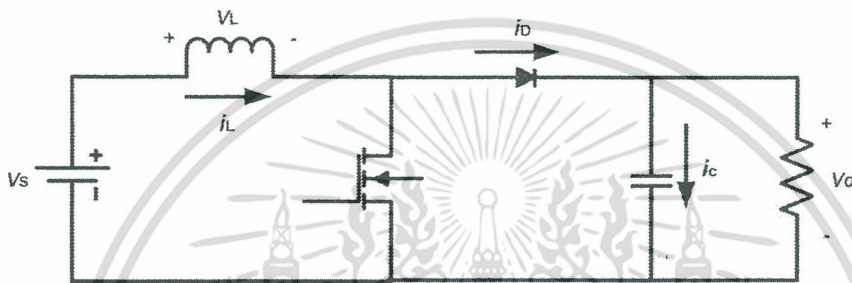
จากตารางที่ 2.3 พบว่าเทคนิคโดยส่วนมากมีความไม่แน่นอนในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่เกิดการบังเงาบางส่วน

2.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าในวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้

วงจรทระดับแรงดัน (Boost Converter) เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-to-DC Converter) ที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้า การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทระดับแรงดันในช่วงสภาวะอยู่ตัวจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ (วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง)
2. แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้แรงดันขาออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ



รูปที่ 2.16 วงจรทบทระดับแรงดัน

หลักการการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อให้แรงดันด้านขาออกมีค่าตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดคือ แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสถานะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปด้านล่าง เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำสะสมพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูก Reverse Bias ทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันดังนี้

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.6)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.8)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจถือว่าการเพิ่มของกระแสเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จาก

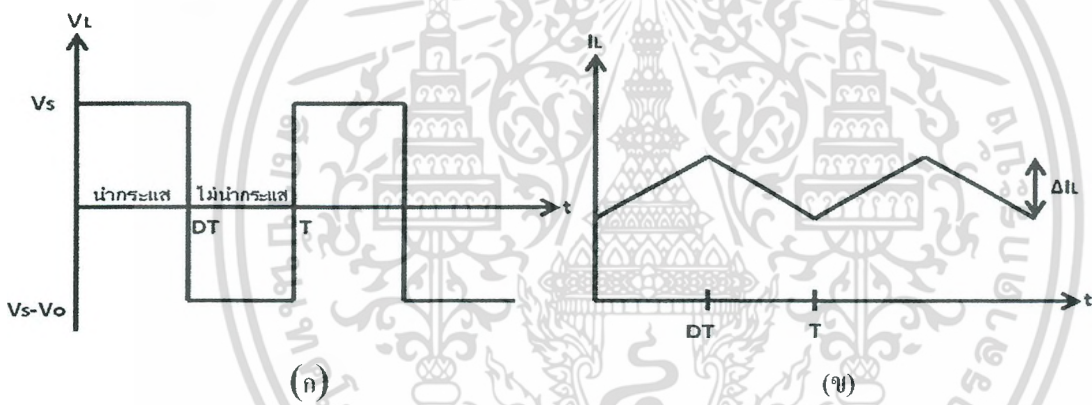
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.9)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.10)$$

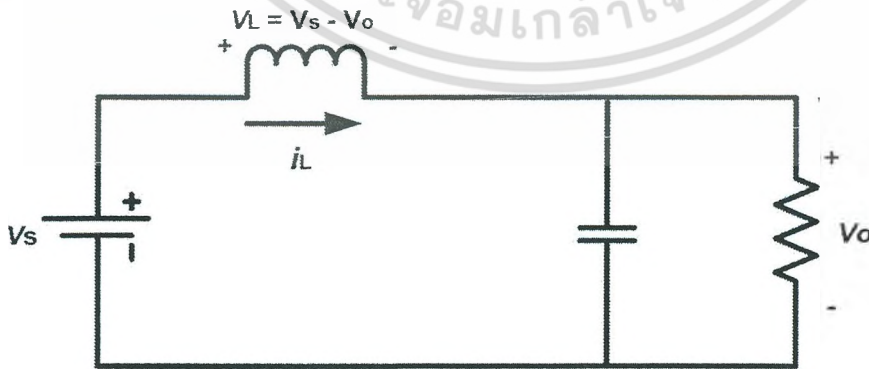
เมื่อ D คือ Duty Cycle ของวงจร

T คือคาบการทำงานของสวิตช์

$\Delta i_{L,on}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.17 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 24 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงานผ่านทางไดโอดและโหลดทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันด้านขาออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.11)$$

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.12)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.13)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.14)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.15)$$

ที่สภาวะคงตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.16)$$

$$\left(\frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.17)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0 \quad (2.18)$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0 \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 25 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_s - V_o(1-D) = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.21)$$

จากสมการ $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$ สามารถนำไปหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันด้านขาออก ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแรงดันด้านขาออกขึ้นอยู่กับค่า D (Duty Cycle)

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทบทระดับแรงดัน

สมมติการสูญเสียภายในวงจรทบทระดับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟที่ออกจากแหล่งจ่าย กำลังไฟกระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.22)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.23)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.24)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.25)$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.26)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.27)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จากสมการที่ 2.28 ขณะสวิตช์นำกระแส

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.28)$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.29)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.30)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.31)$$

สมมติให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กสุดที่ทำให้วงจรทระดับแรงดันทำงานได้ใน โหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องได้ดังนี้

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) = 0 \quad (2.32)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.33)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.34)$$

เนื่องจากวงจรมีการปรับค่า D ตลอดเวลา จึงต้องพิจารณาหาค่า D ที่ทำให้ค่า L_{min} มีค่ามากที่สุด

$$\frac{\partial L_{min}}{\partial D} = 0 \quad (2.35)$$

$$3D^2 - 4D + 1 = 0$$

พบว่าค่า D ที่ทำให้ L_{min} มีค่ามากที่สุดคือ $D = \frac{1}{3}$

2.5.1.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันขาออก

การเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันขาออกมีค่าคงที่ หรือสัญญาณมีความเรียบมากขึ้น โดยที่ค่าระลอกคลื่นของแรงดันด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้สมการที่ (2.36)

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.36)$$



บทที่ 3

เทคนิคที่นำเสนอและการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับการเกิดการบังเงาบางส่วนโดยใช้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามาเทียบกับการเกิดการบังเงา อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงจากการบังเงาบางส่วนเทียบกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดทางไฟฟ้า ฟิลเตอร์แบบ moving average จะถูกนำมาใช้ในการตรวจจับนี้

3.1 กระบวนการค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

โหมดในการทำงานของงานวิจัยที่นำเสนอจะแบ่งออกเป็นสองโหมดคือ

ก. โหมด P&O

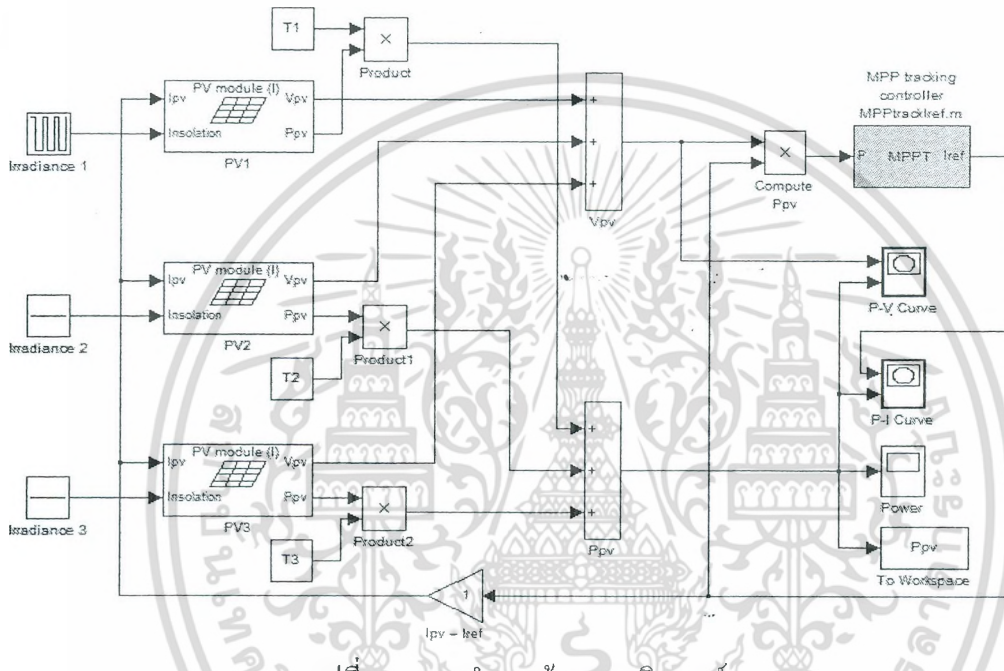
ข. โหมด Current Sweep

โดยนำค่า dp/dt ที่ผ่านการฟิลเตอร์แบบ moving average แล้วมาเป็นตัวชี้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแบบทันทีทันใดหรือไม่ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดในระดับที่เหมาะสมจะถือว่าเกิดการบังเงาและใช้โหมด current Sweep ในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างไรก็ตามเมื่อค้นพบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วจะใช้โหมด P&O อีกครั้ง

เทคนิคที่นำเสนอเรียกว่า "GP Mode" ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอย่างทันทีทันใด ซึ่งทำให้เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสัมพันธ์ในกราฟคุณลักษณะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ Flowchart แสดงการทำงานของกรตรวจจับการบังเงาบางส่วนร่วมกับการใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตและเทคนิคการกวาดกระแส เทคนิคการรบกวนและสังเกตถูกนำมาใช้ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะปกติ เมื่อ GP Mode ตรวจจับการบังเงาบางส่วนได้ เทคนิคการกวาดกระแสจะถูกนำมาใช้แทนเพื่อที่จะแก้ปัญหาการตามรอยกำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุดสัมพันธ์ เทคนิคที่นำเสนอใช้การทำงานอย่างเหมาะสมระหว่างเทคนิคการรบกวนและสังเกตกับเทคนิคการกวาดกระแส เทคนิคการกวาดกระแสถูกพัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นทุกๆช่วงเวลา เนื่องจากเทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เมื่อ GP Mode ตรวจจับการบังเงาบางส่วนได้เท่านั้น กระบวนการนี้ยังคงใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง

3.2 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองคุณลักษณะในงานวิจัยทำบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ซึ่งมีลักษณะไดอะแกรมดังรูปต่อไปนี้



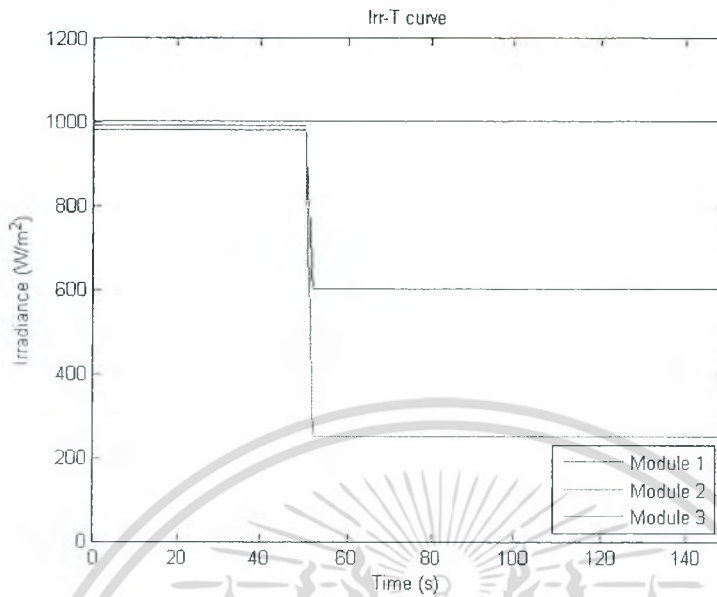
รูปที่ 3.1 แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงที่มีคุณลักษณะดังนี้
แบบจำลอง โซลาร์เซลล์ต่ออนุกรมกัน 3 แผงมีพารามิเตอร์ดังนี้

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	7.36	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	17	โวลต์

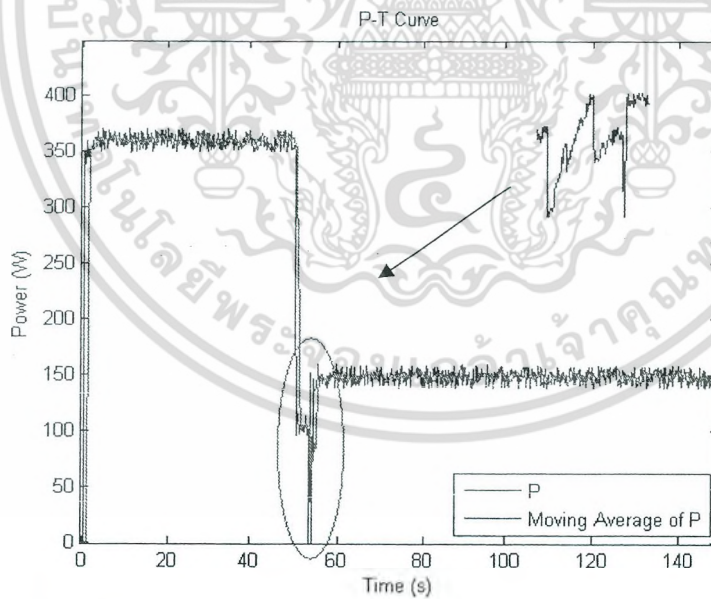
และมี By-pass diode

โดยที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



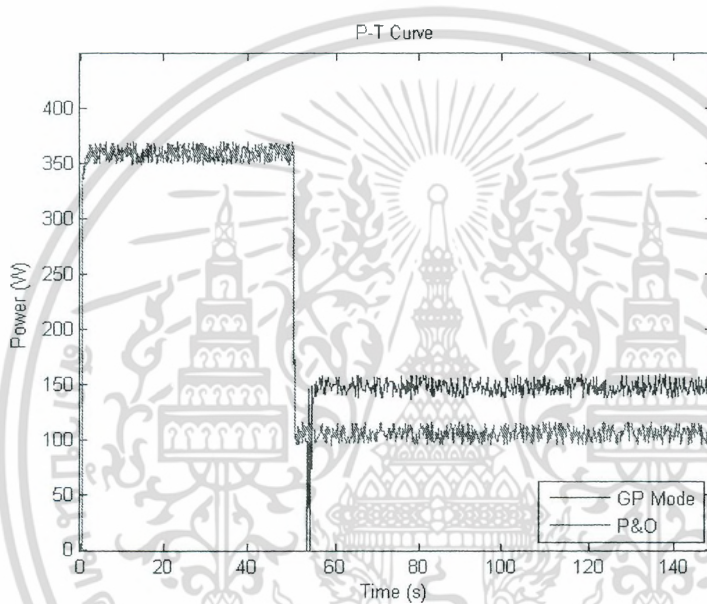
รูปที่ 3.2 กราฟระหว่างความเข้มแสงกับเวลาแสดงค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานภายใต้สภาวะการบังเงาบางส่วนถูกทดสอบโดยการจำลองความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 3.2 การเปลี่ยนความเข้มแสงเกิดขึ้นที่เวลาวินาทีที่ 50 ในการจำลอง



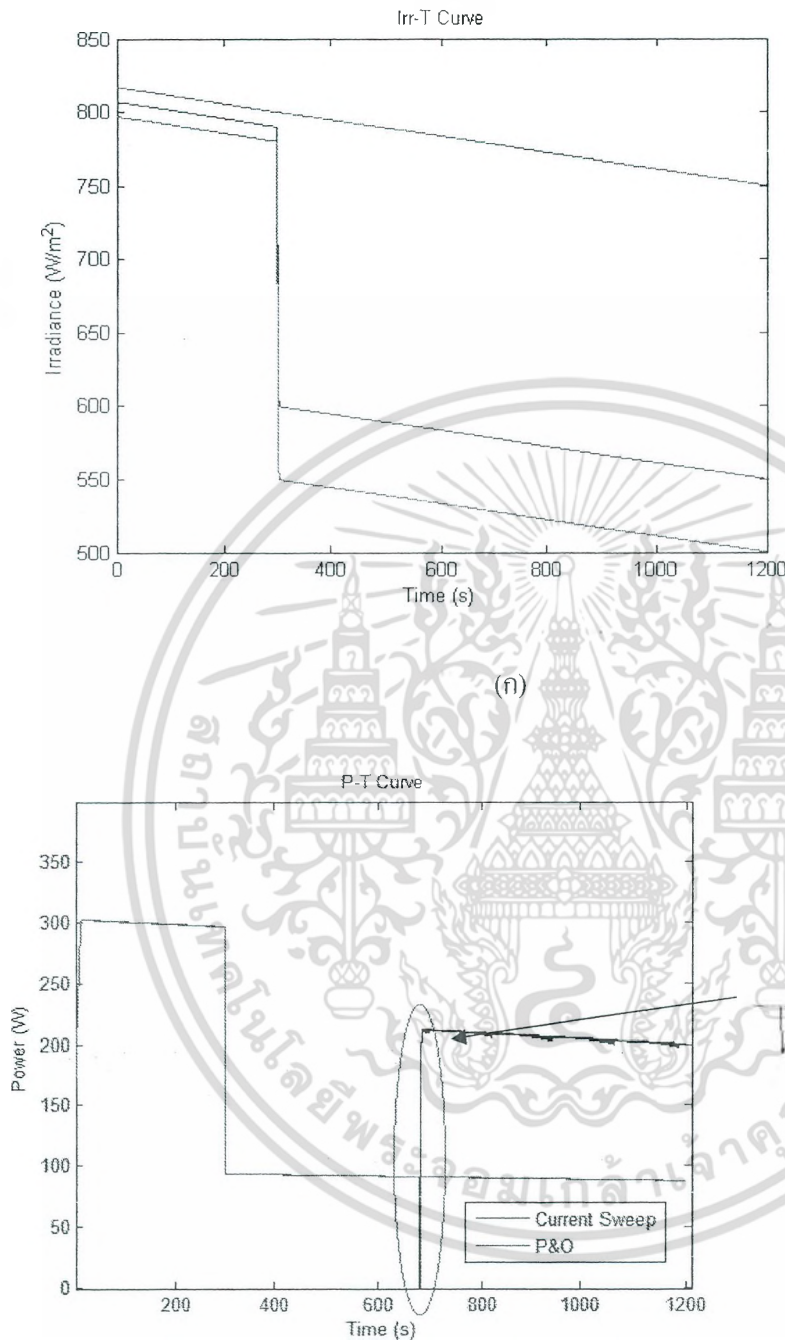
รูปที่ 3.3 กราฟกำลังไฟฟ้กับเวลาแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่า Simple moving average

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่มีการแกว่งดังรูปที่ 3.3 ค่า Simple moving average จะทำให้ค่าที่วัดได้เรียบขึ้น สัญญาณที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกบันทึกในตัวควบคุมเพื่อใช้ในการตรวจับการบังเงาบางส่วน กราฟคุณลักษณะแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการกวาดกระแสมารถค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ และใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตเพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อไป



รูปที่ 3.4 กราฟกำลังไฟฟ้ากับเวลาแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง GP Mode และการรบกวนและสังเกต

เทคนิคที่นำเสนอถูกเปรียบเทียบกับเทคนิคดั้งเดิม รูปที่ 3.4 แสดงผลของการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจะลดลงเมื่อความเข้มแสงในรูปที่ 3.2 ลดลงอย่างทันทีทันใด ปัญหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสัมพันธ์ทำให้เทคนิคการรบกวนและสังเกตไม่สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ แต่เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวและเพิ่มพลังงานที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ผลการจำลองอีกครั้งแสดงในรูปที่ 3.5 ถึง 3.6



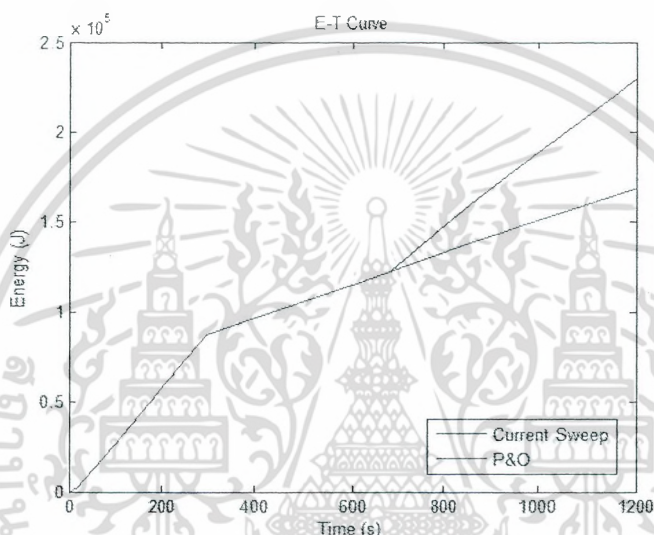
(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา

(ข) ผลการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานนี้ได้จำลองการเกิดการบั้งเงาบางส่วนของแผงโดยกำหนดให้ความเข้มแสงในแต่ละแผงแตกต่างกัน รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และเทคนิคกวาดกระแสน้ำใต้สภาวะความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาโดยความเข้มแสงจำลองตามรูปที่ 3.6(ก) และผลการตามรอยด้วยเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคแบบแกว่งค่าและสังเกตแสดงในรูปที่ 3.6(ข) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเทคนิคที่นำเสนอตามรอยกำลังไฟฟ้าที่แท้จริงได้และได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าแม้เกิดการบั้งเงาบางส่วน



รูปที่ 3.6 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า พบว่าเทคนิคที่นำเสนอได้พลังงานมากกว่าเทคนิคแบบ P&O แบบเดิม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับการเกิดการบังเงาบางส่วนโดยใช้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามาเทียบกับการเกิดการบังเงา ในบทนี้นำเสนอผลการทดลองของงานวิจัย

4.1 การทดลอง

การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงทำโดยนำมาต่อเข้ากับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มาต่ออนุกรมกัน ซึ่งแต่ละแผงมีพิคัด

ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 7.64 A

แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร 21.6 V

กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 7.36 A

แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด 17 V

กำลังไฟฟ้าสูงสุด 125 W

(ที่สภาวะมาตรฐานความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

2. นำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อเข้ากับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

3. ใช้โพลดิเป็นหลอดไฟต่อเข้ากับเอาต์พุตของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

4. นำออสซิลโลสโคปมาต่อเพื่อบันทึกกราฟกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

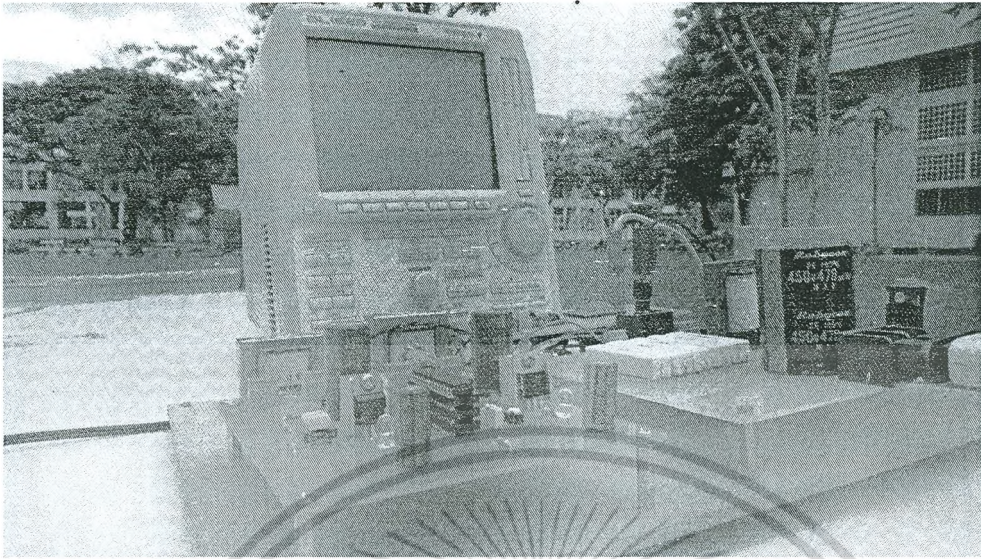
5. ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงต่างๆ และใช้ลักซ์มิเตอร์บันทึกความเข้มแสงที่ทำการทดลองสามารถคำนวณความเข้มแสงโดยอาศัยความสัมพันธ์

$$1 \text{ Lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2$$

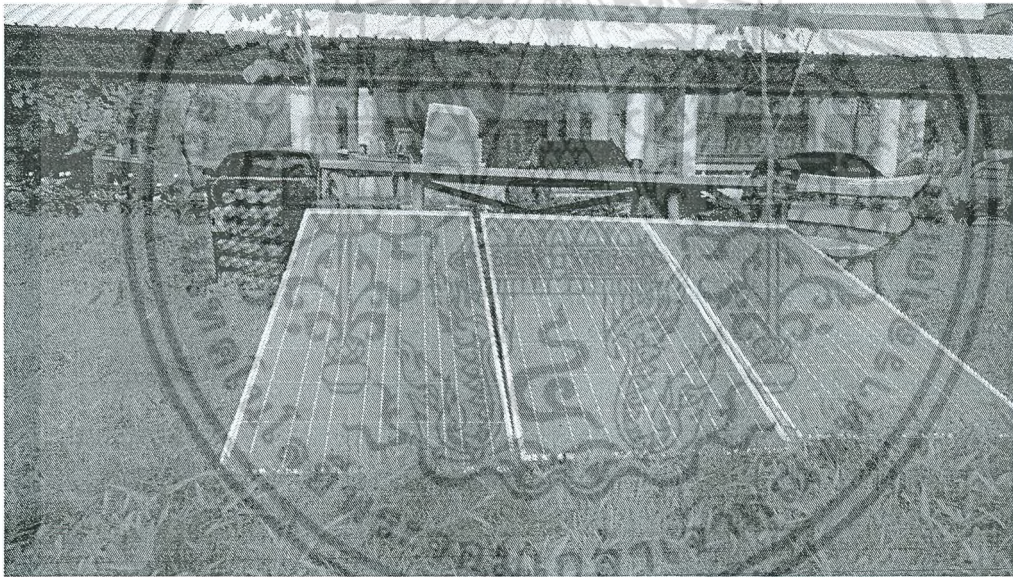
6. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิค P&O และเก็บผลการทดลอง

7. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep และเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรทบทระดับแรงดันที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

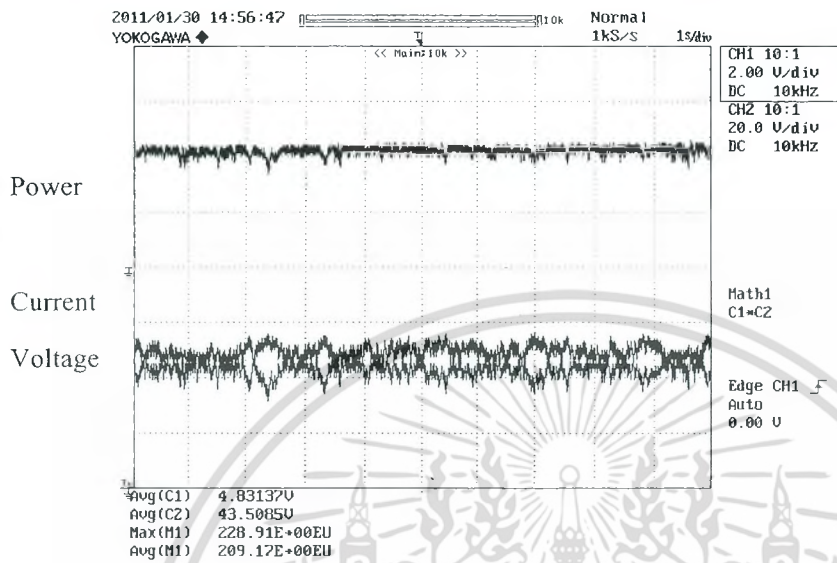


รูปที่ 4.2 เซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงต่อร่วมกันแบบอนุกรม

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 กรณีเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบที่ออกแบบขึ้นซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

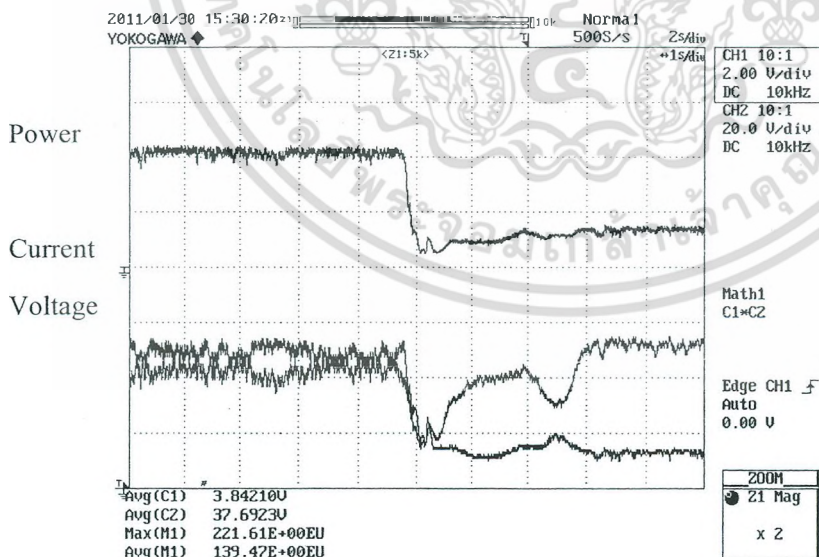
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 36 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 กรณีที่ 1 การบังเงาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (เกิดจุดก้ำงไฟฟ้าสูงสุด 2 จุด)



รูปที่ 4.3 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อความเข้มแสงสม่ำเสมอ

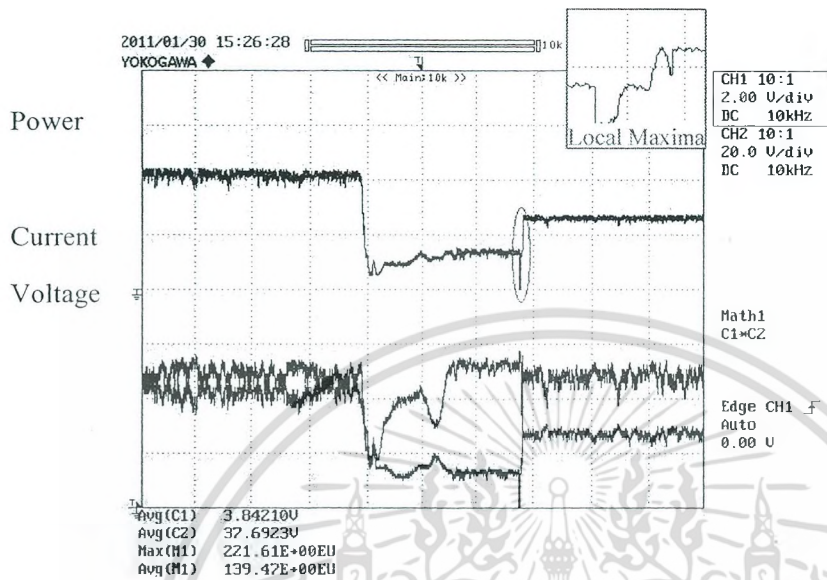
จากรูปที่ 4.3 สภาวะความเข้มแสงแต่ละแผง 742 W/m^2 , 730 W/m^2 และ 757 W/m^2 ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 209.17 W ที่แรงดัน 43.5 V และกระแส 4.83 A



รูปที่ 4.4 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วน

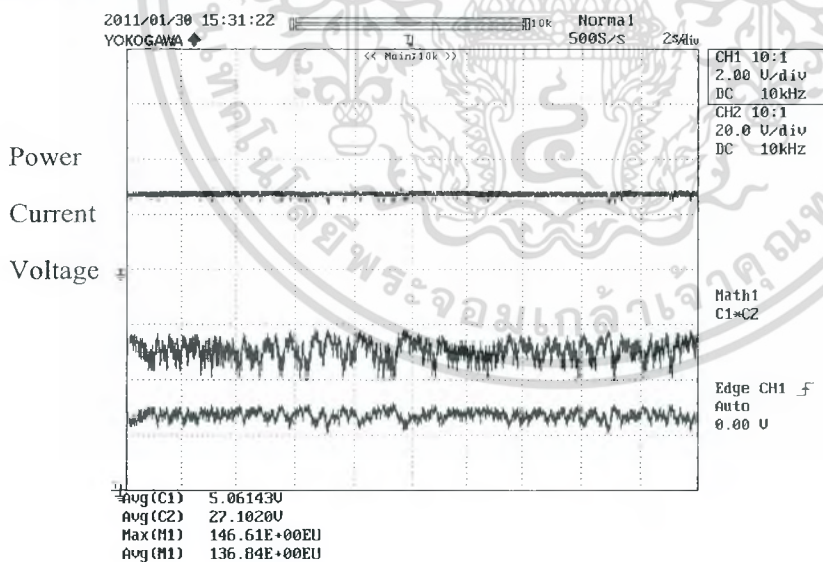
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน³⁷ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนทำให้สภาวะความเข้มแสงแต่ละแผงเปลี่ยนแปลงเป็น 360 W/m^2 , 730 W/m^2 และ 757 W/m^2 ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 75.6 W ที่แรงดัน 54 V และกระแส 1.4 A



รูปที่ 4.5 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ตรวจพบการบังเงาบางส่วน

จากรูปที่ 4.5 เมื่อระบบตรวจพบการบังเงาบางส่วนจึงเริ่มใช้เทคนิค Current Sweep เพื่อแก้ปัญหา Local Maxima ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.6 MPPT ด้วยเทคนิค P&O หลังจากใช้เทคนิค Current Sweep

จากรูปที่ 4.6 เมื่อแก้ไขปัญหา Local Maxima แล้วได้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 136.8 W ที่แรงดัน 27.1 V และกระแส 5.06 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของความเข้มแสงในแต่ละสถานะของกรณีศึกษาที่ 1

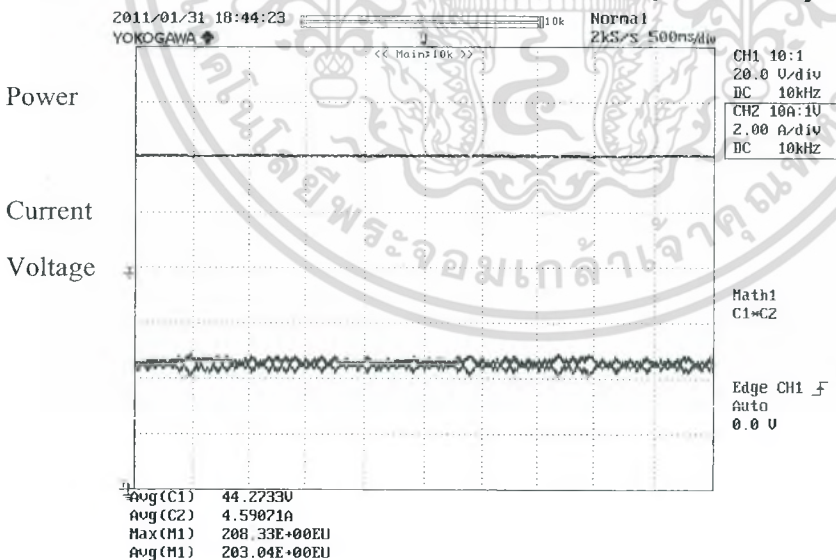
	Module 1	Module 2	Module 3
สถานะปกติ	742 W/m ²	730 W/m ²	757 W/m ²
สถานะบังเงาบางส่วน	360 W/m ²	730 W/m ²	757 W/m ²

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

เทคนิค MPPT ที่ใช้	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
P&O ก่อนการบังเงา	43.5	4.83	209.17
P&O หลังจากบังเงา	54	1.4	75.6
Hybrid P&O – Current Sweep	27.1	5.06	136.8

จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 การบังเงาบางส่วนทำให้ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 4.2 ทำให้เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1 จุด เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง 136.8 W ได้

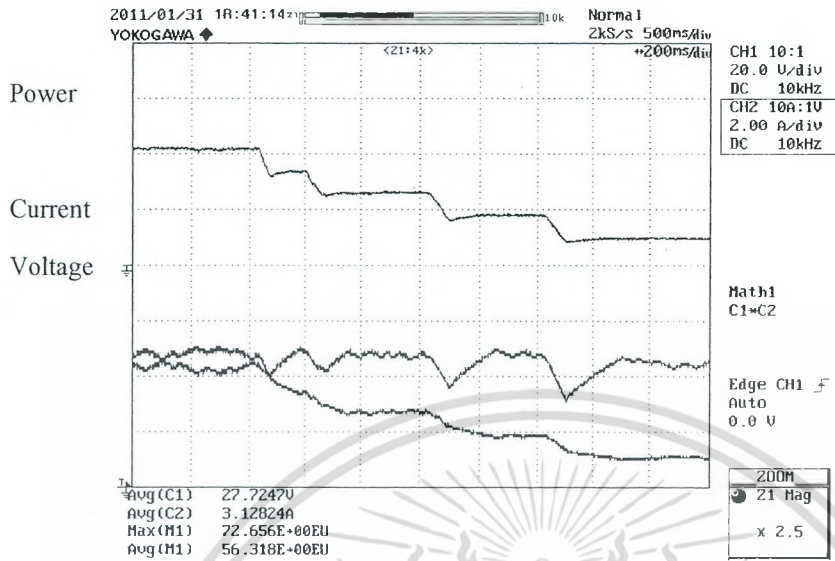
4.1.2 กรณีที่ 2 การบังเงาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แผง (เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 จุด)



รูปที่ 4.7 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อความเข้มแสงสม่ำเสมอ

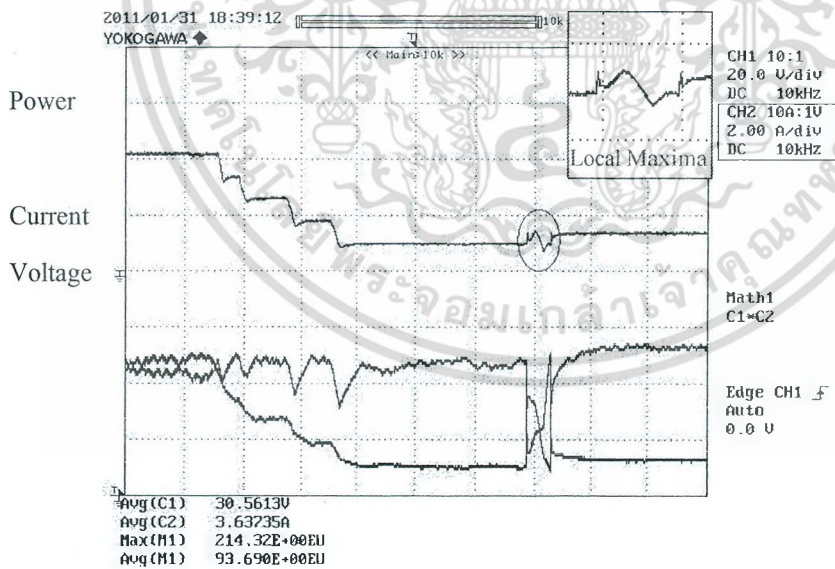
จากรูปที่ 4.7 สถานะความเข้มแสงแต่ละแผง 511 W/m², 521 W/m² และ 544 W/m² ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 203.04 W ที่แรงดัน 44.27 V และกระแส 4.59 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 39 ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



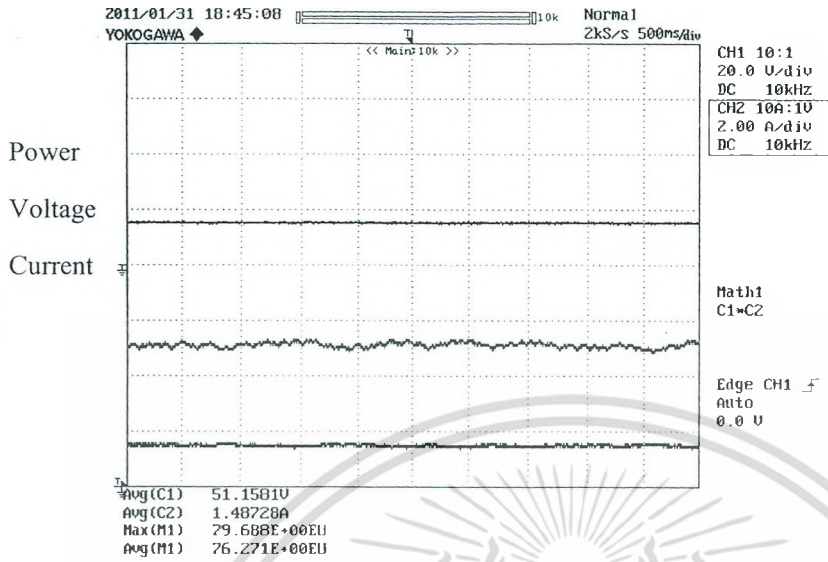
รูปที่ 4.8 MPPT ด้วยเทคนิค P&O เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วน

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนทำให้สภาวะความเข้มแสงแต่ละแผงเปลี่ยนแปลงเป็น 160 W/m², 215 W/m² และ 544 W/m² ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 46 W ที่แรงดัน 10 V และกระแส 4.6 A



รูปที่ 4.9 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ตรวจสอบการบังเงาบางส่วน

จากรูปที่ 4.9 เมื่อระบบตรวจสอบการบังเงาบางส่วนจึงเริ่มใช้เทคนิค Current Sweep เพื่อแก้ปัญหา Local Maxima ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.10 MPPT ด้วยเทคนิค P&O หลังจากใช้เทคนิค Current Sweep

จากรูปที่ 4.10 เมื่อแก้ไขปัญหา Local Maxima แล้วได้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 76.27 W ที่แรงดัน 57.16 V และกระแส 1.49 A

ตารางที่ 4.3 สรุปความเข้มแสงสำหรับกรณีที่ 2

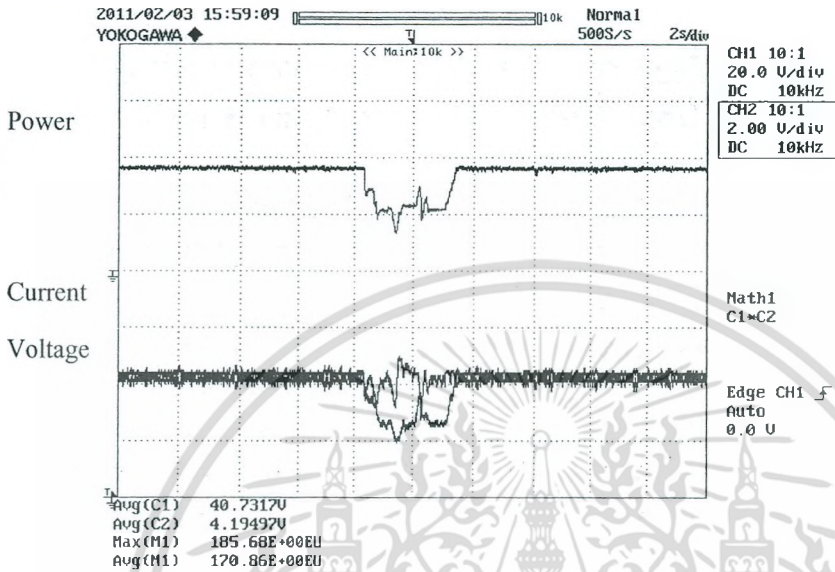
	Module 1	Module 2	Module 3
สภาวะปกติ	511 W/m ²	521 W/m ²	544 W/m ²
สภาวะบังเงาบางส่วน	160 W/m ²	215 W/m ²	544 W/m ²

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองสำหรับกรณีที่ 2

เทคนิค MPPT ที่ใช้	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
P&O ก่อนการบังเงา	44.27	4.59	203.04
P&O หลังจากบังเงา	10	4.6	46
Hybrid P&O – Current Sweep	57.16	1.49	76.27

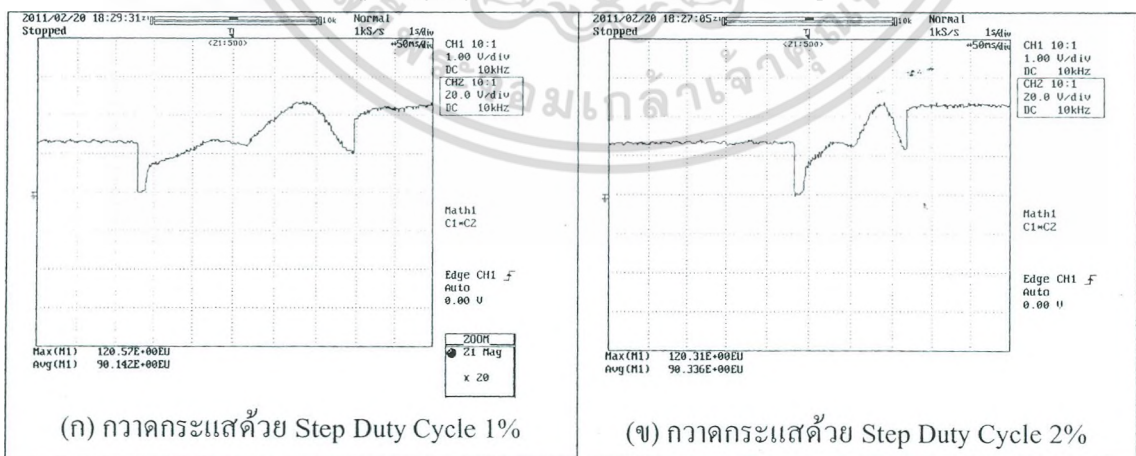
จากผลการทดลองกรณีที่ 2 การบังเงาบางส่วนทำให้ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 4.2 ทำให้เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 จุด เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง 76.27 W ได้

4.1.3 กรณีที่ 3 ความเข้มแสงลดลงเพียงชั่วขณะ

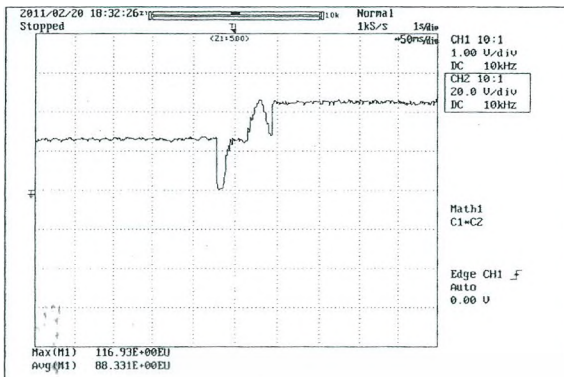


รูปที่ 4.11 เทคนิค Hybrid P&O – Current Sweep ในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วนเพียงชั่วขณะ จากรูปที่ 4.11 หลังจากที่เกิดการบังเงาบางส่วนเพียงชั่วขณะเพียง 4 วินาทีความเข้มแสงกลับมาสม่ำเสมออีกครั้ง ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนและหลังจากเกิดการบังเงาบางส่วนมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเทคนิค Current Sweep จึงไม่ทำงานในช่วงเวลาดังกล่าว

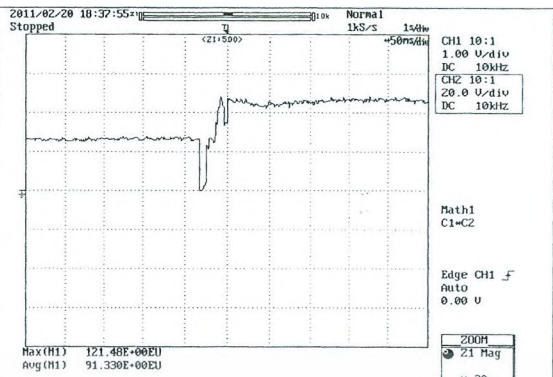
4.2.1 การเปลี่ยนแปลง Step Duty Cycle ของเทคนิค Current Sweep



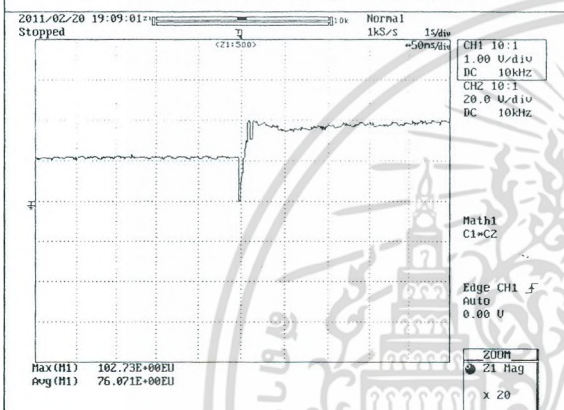
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 42 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



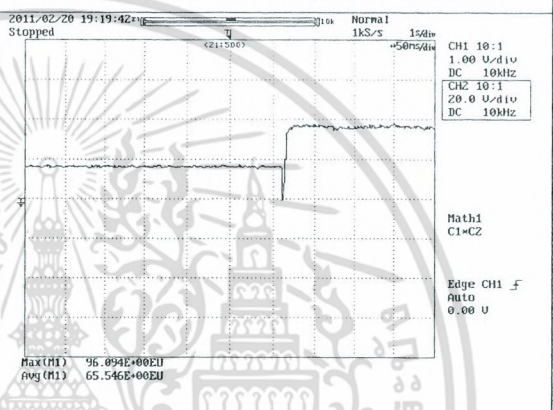
(ก) กวาดกระแสด้วย Step Duty Cycle 4%



(ง) กวาดกระแสด้วย Step Duty Cycle 8%



(จ) กวาดกระแสด้วย Step Duty Cycle 16%



(ฉ) กวาดกระแสด้วย Step Duty Cycle 32%

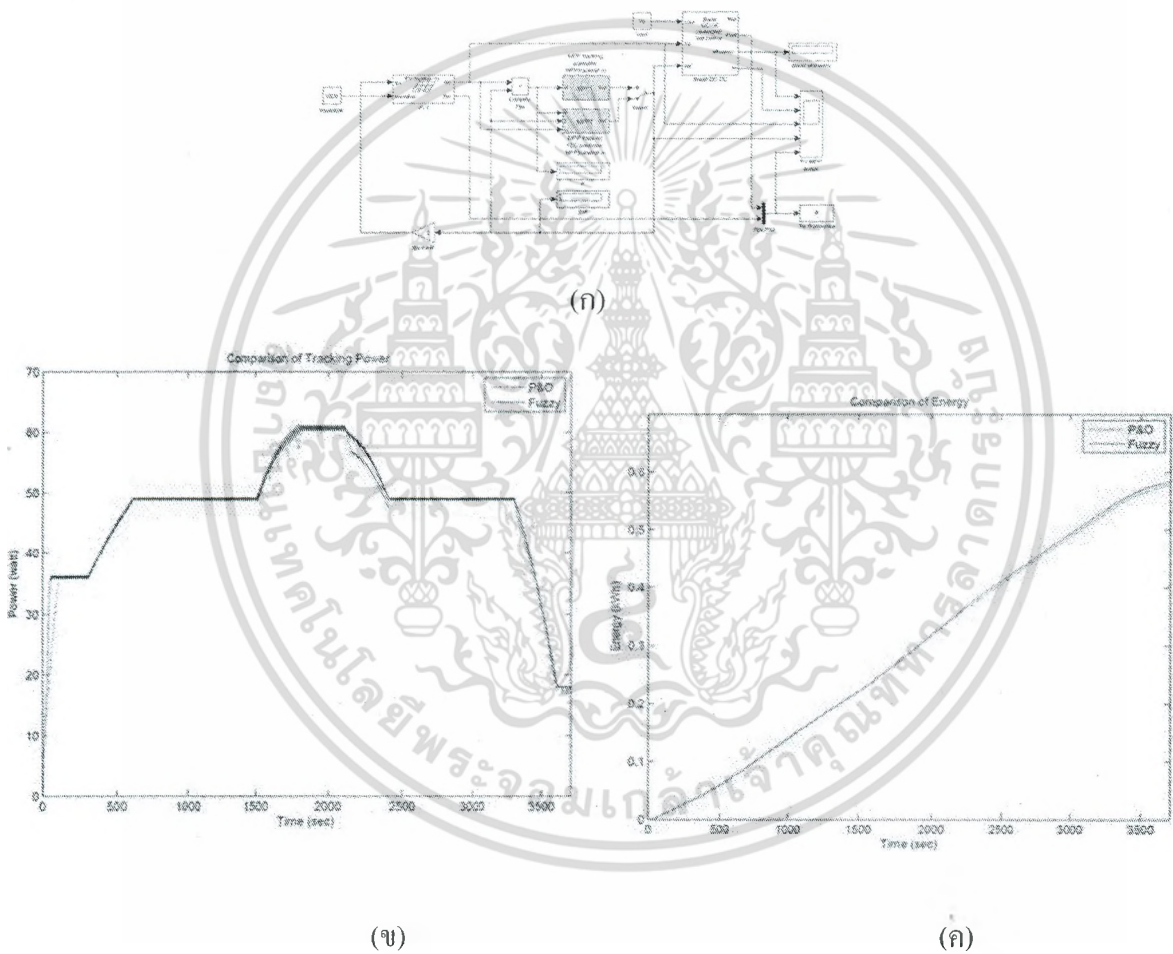
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกวาดกระแสเมื่อ Step Duty Cycle ต่างกัน

Step Duty Cycle ในการกวาดกระแส (%)	เวลาที่ใช้ในการกวาดกระแส (ms)
1	250
2	130
4	65
8	35
16	20
32	10

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยนแปลง Step Duty Cycle ในการกวาดกระแสให้มากขึ้น หมายความว่ามีการ Sampling ในการกวาดกระแสบ่อยลง ทำให้ใช้เวลาในการกวาดกระแสบ่อยลง ความสูญเสียในขณะกวาดกระแสก็ลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามถ้าหากการบังเงาบางส่วนทำให้เกิดจุด Local

Maxima ที่อยู่ใกล้เคียงกันมากๆจนกระทั่งการกวาดกระแสน้ำข้ามจุด Global Peak ไป ดังนั้นการกวาดกระแสน้ำที่หายากเกินไปอาจไม่สามารถแก้ปัญหา Local Maxima ได้

นอกจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแล้วในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคตรรกะคลุมเครือ ดังมีรายละเอียดในบทความที่สองที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ ในส่วนของผลแสดงดังรูปข้างล่างนี้ จากรูปจะเห็นได้ว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าทำได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเทคนิค P&O และได้พลังงานมากกว่าในช่วงทรานเซียนของการตามรอย



รูปที่ 4.12 เทคนิค Fuzzy และ P&O – Current ในช่วงสภาวะชั่วขณะ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เทคนิคที่นำเสนอประกอบด้วย GP Mode สำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีไฮบริดการรบกวนและสังเกต-การกวาดกระแสดูพัฒนาขึ้น และนำมาใช้ในสภาวะที่เกิดความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอ เทคนิคที่นำเสนอสามารถตรวจจับการบังเงาบางส่วนได้ ซึ่งหมายความว่า การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งานอยู่นั้นเป็นการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคเดิมในกรณีที่เกิดการบังเงาบางส่วน นอกจากนี้เทคนิคที่นำเสนอยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multi-string ได้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอมีการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญ เทคนิคทั้งหมดที่นำเสนอในงานวิจัยกระทำบนไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็น Embedded system และสามารถใช้งานได้จริง ส่วนต่อไปที่ต้องคำนึงคือผลกระทบของโหลดและผลกระทบของสภาวะแวดล้อมต่างๆต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงของการบังเงาและการทำงานของเทคนิคที่นำเสนอ

บรรณานุกรม เอกสารอ้างอิง

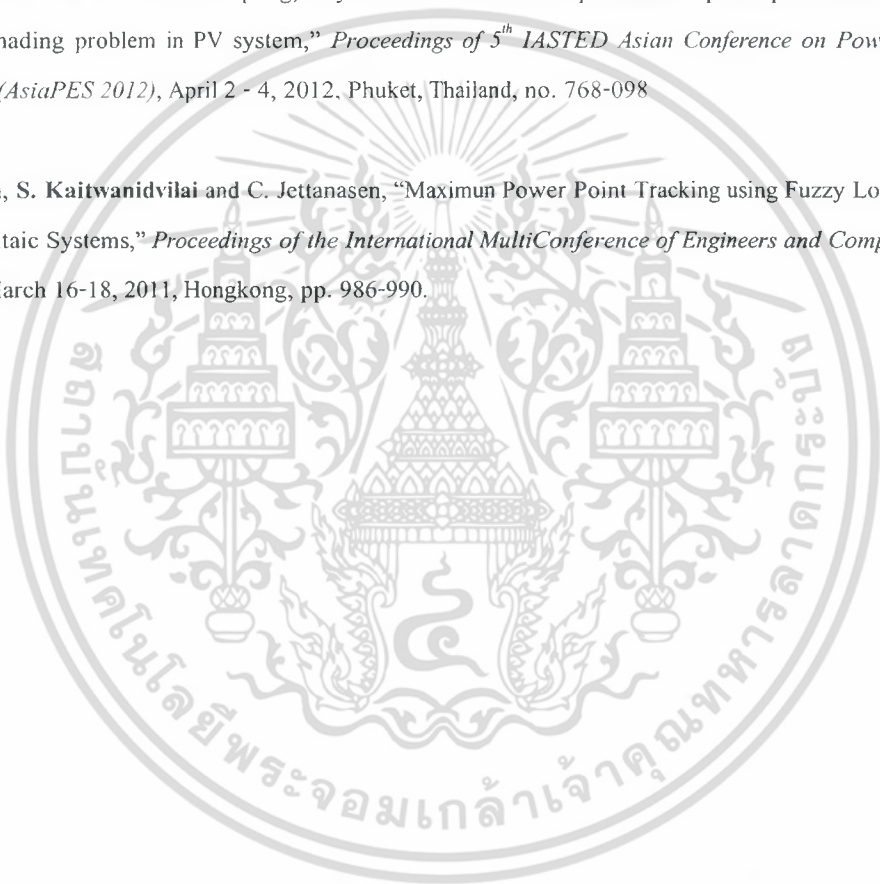
- [1] H. Patel and V. Agarwal, "MPPT Scheme for a PV-Fed Single-Phase Single-Stage Grid-Connected Inverter Operating in CCM With Only One Current Sensor," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 24, No. 1, pp. 256-263, MARCH 2009.
- [2] Q. Li and P. Wolfs, "Recent development in the topologies for photovoltaic module integrated converters," in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, Jun. 2006, pp. 1-8.
- [3] Y. Xue, L. Chang, S. B. Kjaer, J. Bordonau, and T. Shimizu, "Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: An overview," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1305-1314, Sep. 2004.
- [4] R. Bruendlinger, B. Bletterie, M. Milde, and H. Oldenkamp, "Maximum power point tracking performance under partially shaded PV array conditions," in *Proc. 21st EUPVSEC*, Dresden, Germany, Sept. 2006, pp. 2157-2160.
- [5] S. B. Kjaer, J. K. Pederson, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid connected inverters for photovoltaic modules," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 5, pp. 1292-1306, Sep. 2005.
- [6] M. C. Cavalcanti, G. M. S. Azevedo, B. A. Amaral, K. C. De Oliverira, F. A. S. Neves, and Z. D. Lins, "Efficiency evaluation in grid connected photovoltaic energy conversion systems," in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, Jun. 2005, pp. 269-275.

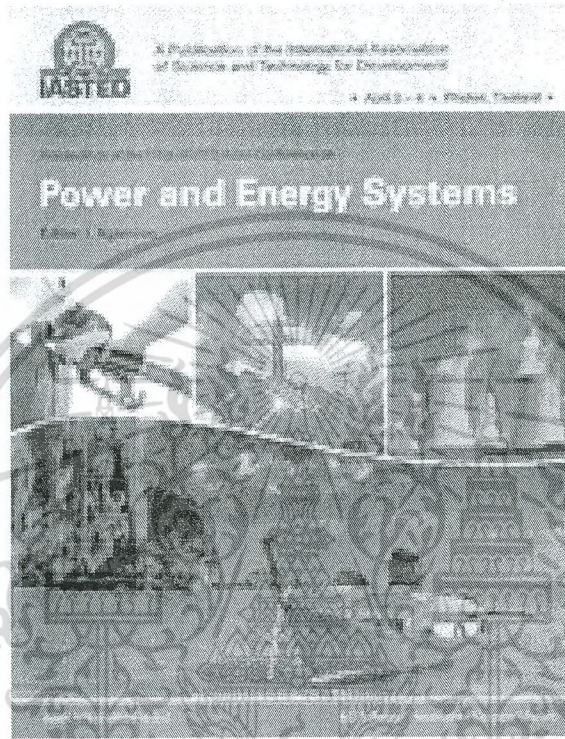
ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการวิจัยและได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรือข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง

S. Kaitwanidvilai and S. Kasempong, "Hybrid P&O-current sweep maximum power point tracking for solving partial shading problem in PV system," *Proceedings of 5th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES 2012)*, April 2 - 4, 2012, Phuket, Thailand, no. 768-098

P. Takun, S. Kaitwanidvilai and C. Jettanasen, "Maximun Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 986-990.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



My Account

- Create New Account
- Login

Main Menu

- Search or Buy Articles
- Browse Journals
- Search Proceedings
- Subscriptions
- Submission Information
- NEW! Special Issues
- Submit your Paper
- Journal Review
- Recommend to Your Library

Journals

Hybrid P&O-Current Sweep Maximum Power Point Tracking for Solving Partial Shading Problem in PV System

Surawich Kasempong and Somyot Kaitwanidvilai

Keywords

Hybrid P&O-Current Sweep, partially shaded condition, Perturb and Observe (P&O)

Abstract

This paper proposes a new technique called "Hybrid P&O-Current Sweep" for tracking the maximum power point (MPP) of Photovoltaic (PV) system. In the proposed technique, Perturb and Observe (P&O) method is used in conjunction with the Current Sweep method to track the global maximum power point even under partial shading. Under partially shaded conditions, the P&O technique may converge to one of the local maxima points, this means that the tracking of true MPP is not achieved. In the developed system, a new capturing algorithm is adopted to capture the partially shaded condition and to properly activate the global peak (GP) search mode which is based on the current sweep method. Simulation results verify that the proposed technique can achieve the true MPP under non-uniform irradiance condition.

Important Links:

- DOI: 10.2316/P.2012.758-099
- From Proceeding (768) Power and Energy Systems - 2012

Hybrid P&O-Current Sweep Maximum Power Point Tracking for Solving Partial Shading Problem in PV System

Surawich Kasempong^{1,2} and Somyot Kaitwanidvilai^{1,2}

¹Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

²Center of Excellence for Innovative Energy Systems,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Email: drsomyotk@gmail.com

ABSTRACT

This paper proposes a new technique called "Hybrid P&O-Current Sweep" for tracking the maximum power point (MPP) of Photovoltaic (PV) system. In the proposed technique, Perturb and Observe (P&O) method is used in conjunction with the Current Sweep method to track the global maximum power point even under partial shading. Under partially shaded conditions, the P&O technique may converge to one of the local maxima points; this means failing to track the true MPP. In the developed system, a new capturing algorithm is adopted to capture the partially shaded condition and to properly activate the global peak (GP) search mode which is the current sweep method. Simulation results verify that the proposed technique can achieve the true MPP under non-uniform irradiance condition.

KEYWORDS: Hybrid P&O-Current Sweep; Perturb and Observe (P&O); partially shaded condition

1. INTRODUCTION

Electric energy generated by photovoltaic (PV) system depends on the ambient temperature, the solar irradiance and the operating point of the power converter. It is well known that maximum power point tracking (MPPT) is one of the most popular solutions to increase the efficiency of PV systems. The most popular technique which frequently adopted in this system is Hill-Climbing/P&O; this technique is simple and uses a few measured parameters. Recently, several researchers [1-5] attempted to develop several higher techniques for enhancing the efficiency of PV system including MPPT. However, these methods cannot achieve the true MPP under varying atmospheric conditions. Under partially shaded conditions, both P-V and P-I characteristic curves may include several local maxima points which cause the problem of power loss due to the miss tracking of MPP. There are several researchers working on the global peak (GP) tracking algorithms [6-15] to solve this problem. As shown in the literature reviews in [13, 16], the energy loss from this problem may be higher than 70% of the total energy production. Bodur and Ermis [6] adopted the current sweep

method implemented through analog computation to find the global MPP; however, their proposed technique cannot detect the partial shading conditions. In addition, the power loss caused by the analog circuit is a disadvantage of this technique. In order to optimize the maximum power, Particle Swarm Optimization algorithms (PSO) have been investigated [9-10]. Miyatake et al. [8] adopted the standard Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm to find the MPP in PV system. Kaekawkamnerdpong and Bentley [9] proposed the Perceptive Particle Swarm Optimization (PPSO) algorithm to find the true MPP, and Chowdhury and Saha [10] proposed the Adaptive Perceptive Particle Swarm Optimization (APPSO) algorithm, for determining the true MPP.

This paper presents the simulation results of maximum power point tracking for partially shaded photovoltaic modules using a new method which can detect the non-uniform irradiance conditions. Moreover, the proposed method can track the global maximum even in the multiple local maxima conditions. The performance of the proposed technique implemented on a 3 series connected PV arrays under partially shaded conditions is investigated in comparison with the conventional P&O technique. The remainder of this paper is follows. Section 2 describes the global peak search algorithm. Section 3 presents the simulation results. Finally, Section 4 concludes the research work.

2. THE PROPOSED TECHNIQUE

There are two techniques adopted in the proposed technique. Those are Hill Climbing/P&O method and Current Sweep method. Hill Climbing/P&O method varies the voltage reference or the duty ratio of the power converter based on the sign of dP/dV to perturb the PV array voltage. The perturbation causes the change of the PV power to track the maximum power point [4]. Current sweep method starts sweeping the current of PV array from zero to the short circuit current value by varying the duty ratio of the power converter. The P-I or P-V characteristic curves can be obtained after using this method. The global maximum power point can be determined from the characteristic curves of the PV system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

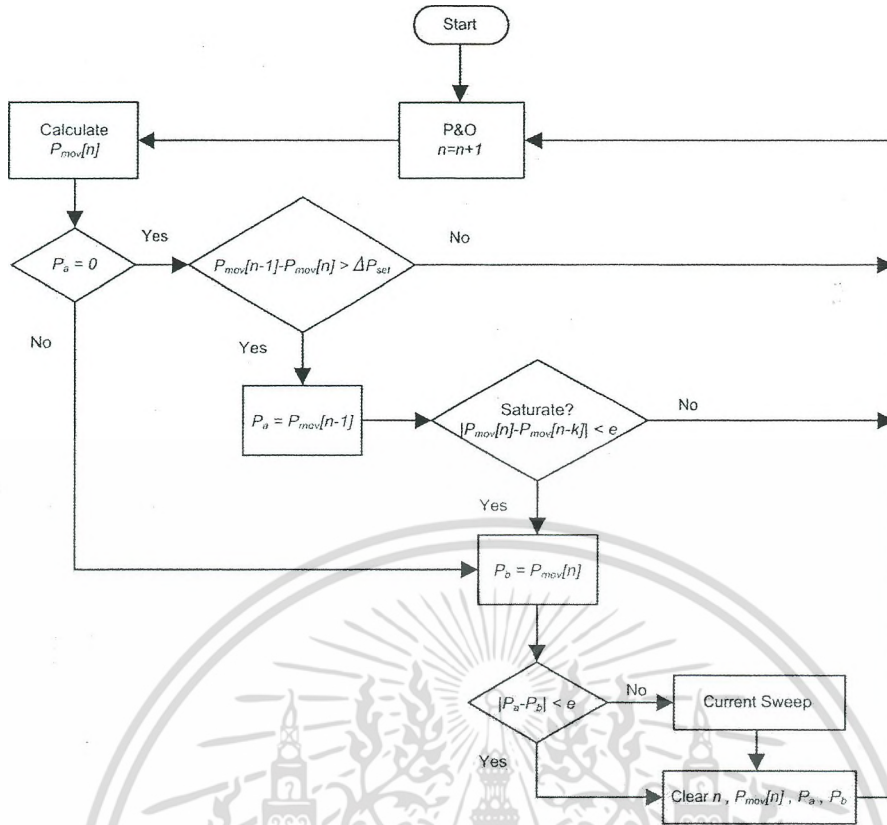


Fig. 1. Flowchart of the proposed algorithm.

Fig.1 shows the flowchart of the proposed algorithm which attempts to deal with the partially shaded PV system. The proposed algorithm performs the partial shading detection by capturing real-time electric power. A simple moving average method is used to filter the noise of measured power signal which calculated from the instantaneous voltage and current in order to reduce the ripple caused by tracking and to reduce noise from the converter's switching.

$$P_{mov}[n] = \frac{\sum_{k=1}^n P}{n+1-k} \quad (1)$$

n is the sampling number.

$P_{mov}[n]$ is the simple moving average of the measured power and k is the window size of the simple moving average. During the partial shading, $P_{mov}[n]$ will drop at any amount. ΔP_{set} is set as a constant to compare the variation. This means the minor variation with dropping amount is lower than ΔP_{set} will not be considered. The power variation is a comparison between the real-time power $P_{mov}[n]$ and the previous power $P_{mov}[n-1]$.

$$P_{mov}[n-1] - P_{mov}[n] > \Delta P_{set} \quad (2)$$

If the above condition is true, the previous power $P_{mov}[n-1]$ will be recorded as P_a .

$$P_a = P_{mov}[n-1] \quad (3)$$

P_a is the power before dropping.

While the insolation is reducing, the power continuously drops until the insolation stop changing. The saturation of the electric power as shown in (4) is used in order to capture the stopping point.

$$|P_{mov}[n] - P_{mov}[n-k]| < e \quad (4)$$

The power saturation can be found when the error 'e' becomes zero or almost zero. If the power is saturated, the real-time power $P_{mov}[n]$ will be recorded as P_b .

$$P_b = P_{mov}[n] \quad (5)$$

P_b is the saturated point of the power.

Since the power drop can be caused by many factors such as the sudden change of load, sudden change of insolation; thus,

the power comparison between P_a and P_b is used to determine that it is the partial shading or not. The following condition is used to check the partial shading condition.

$$|P_a - P_b| < e \quad (6)$$

The proposed technique called "GP Mode" (Global Peak Mode) is adopted to detect the sudden change of insolation where the local maxima may be occurred in the PV characteristic curves. The flowchart in Fig. 1 shows the operation of partial shading detection used in combination with the P&O and current sweep techniques. The P&O technique is used under the normal condition to track the maximum power. When GP Mode detects the partial shading, the current sweep technique will be applied instead in order to solve the local maxima problem that may be occurred. The proposed technique can appropriately combine the operation

of P&O technique and current sweep technique. In the proposed technique, the disadvantage of power loss by the current sweep technique is solved because the current sweep will be applied only when the GP mode is activated. The normal operation of the proposed technique is still P&O.

3. SIMULATION RESULTS

The following proposed SIMULINK model is adopted to investigate the effectiveness of the proposed algorithm. As seen in this figure, the 3 series connected PV array is adopted in conjunction with the MPPT s - function in MATLAB. The proposed algorithm is developed on this m. file. Time varying insolation pattern was adopted for testing the system.

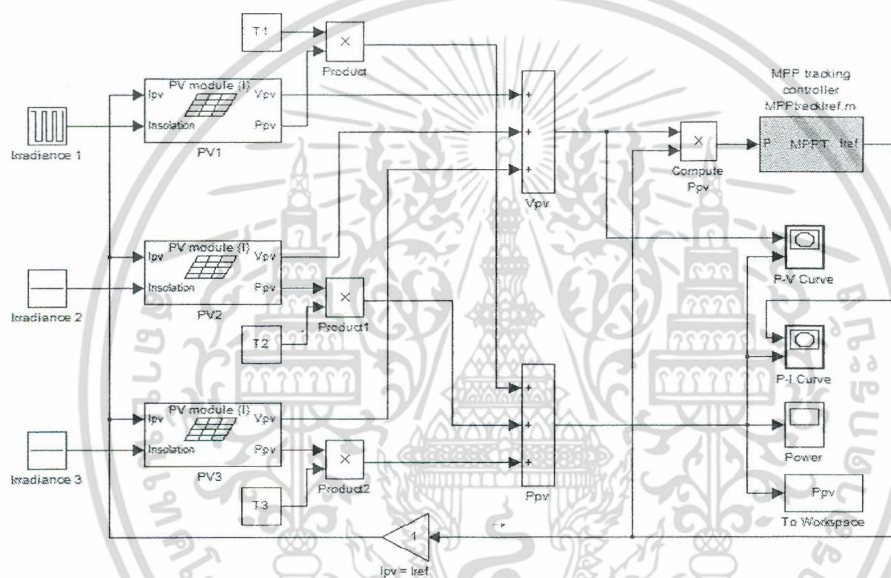


Fig. 2. Simulation model

The PV system operating under partially shaded conditions is tested by the non-uniform irradiance simulation as shown in Fig. 3. The sudden change of irradiance occurs at a simulation time of 50s. In addition, the MPPT m file is replaced by the power DC-DC converter developed on the SimPowerSystem Toolbox to make more practice oriented system. Thus, the noise from the switching device in power converter was occurred on the tracking results. Fig. 4 shows the MPPT circuit adopted in our simulation testing.

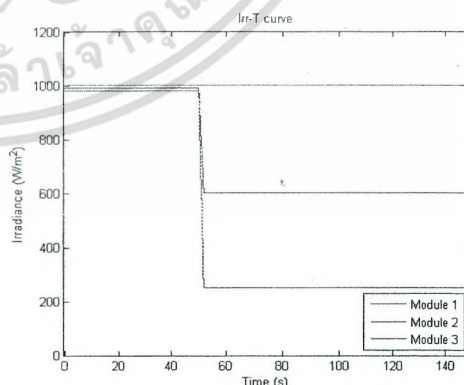


Fig. 3. Irradiance-time curves show the non-uniform irradiance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The PV system operating under partially shaded conditions is tested by the non-uniform irradiance simulation as shown in Fig. 3. The sudden change of irradiance occurs at a simulation time of 50s. In addition, the MPPT m file is replaced by the power DC-DC converter developed on the SimPowerSystem Toolbox to make more practice oriented system. Thus, the noise from the switching device in power converter was occurred on the tracking results. Fig. 4 shows the MPPT circuit adopted in our simulation testing.

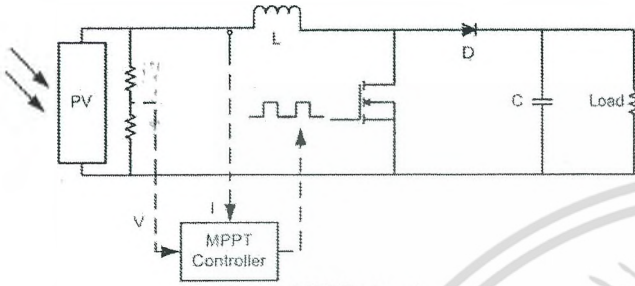


Fig. 4. MPPT circuit

The proposed algorithm is compared with the conventional P&O technique. Fig. 5. shows the results of the comparison. When applying the P&O tracking algorithm, the tracking power is dropped at a local maxima point when the irradiance as shown in Fig. 3. is applied. Because of the local maxima problem, the MPPT using P&O technique cannot reach the global peak. As seen in this figure, the MPPT using proposed algorithm, GP mode, can reach the global peak and can increase the energy produced by the PV system.

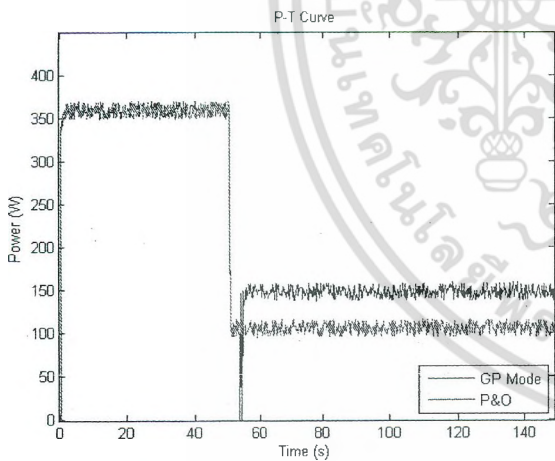
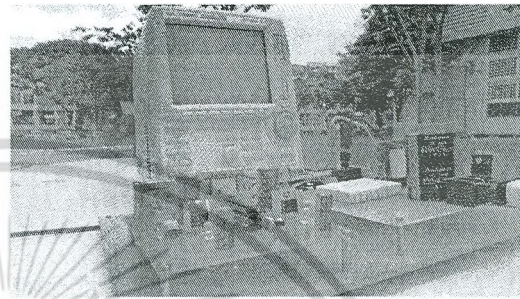


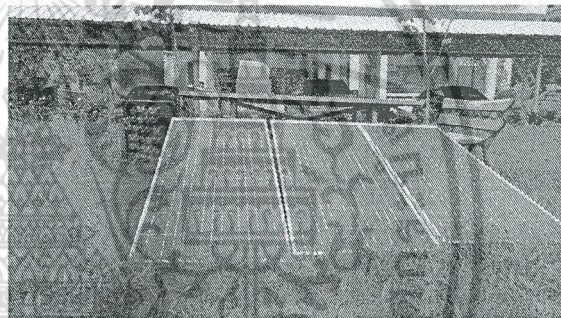
Fig. 5. Power-time curves show the comparison between GP Mode (the proposed algorithm) and P&O.

The proposed algorithm was applied to the real PV system as shown in Fig. 6. A microprocessor PIC16F877 is adopted to

act as the MPPT controller. The specification of each PV module is shown in Table 1. In the proposed algorithm, ΔP_{ser} is set to 10W and e is set to 2W. In our experiment, we adopt a plastic sheet for covering a PV module to simulate the non-uniform irradiance and an outdoor LUX-meter is used to measure the solar intensity. Table 3 shows the solar intensity of each module adopted in our experiments. An example of results is shown in Fig. 7. As seen in this figure, the proposed method can track the global MPP which the conventional P&O fails to track this point.



(a)



(b)

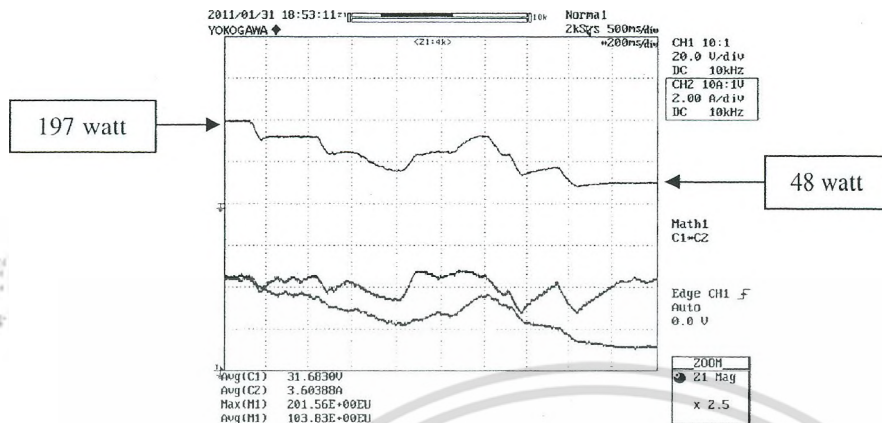
Fig. 6 Experimental setup (a) MPPT circuit and Measurement System (b) PV array.

Table 1 Specifications of each PV Module

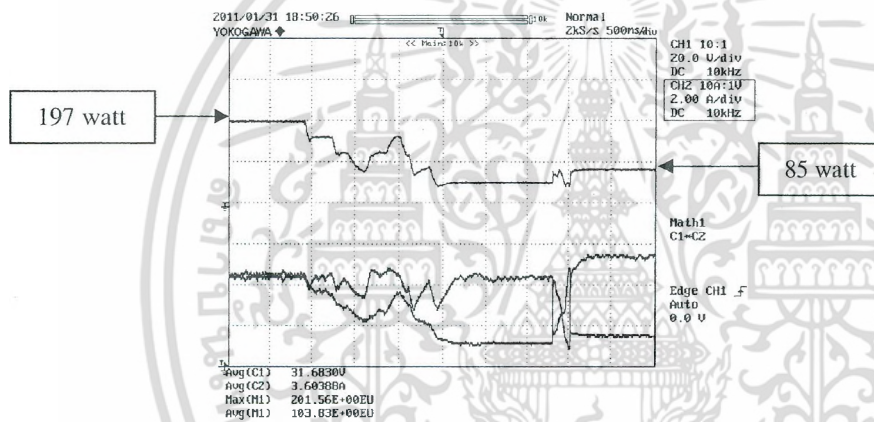
Module	MPP	V_{mpp}	I_{mpp}	V_{oc}	I_{sc}
ES20636125	125 W	17 V	7.36 A	21.6 V	7.64 A

Table 2 Solar intensity of each module.

	Module 1	Module 2	Module 3
Shaded	321 W/m ²	430 W/m ²	544 W/m ²



(a)



(b)

Fig.7 Experimental results (a) the conventional P&O technique, (b) the proposed MPPT algorithm.

4. CONCLUSIONS

The proposed technique, Hybrid P&O - Current Sweep MPPT, improves the efficiency of tracking the global maximum power point under partially shaded conditions. The partial shading event can be detected by the proposed algorithm using the developed GP mode detection. The simulation and experimental results show the increasing of energy produced by the PV system in case of the partial shading. Comparison with the conventional P&O algorithm shows the effectiveness of the proposed algorithm.

ACKNOWLEDGMENT

This research work is funded by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research fund.

REFERENCES

- [1] T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Doumbia, and A. Cheriti, "An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems," *Renewable Energy*, Vol. 33, 2008, pp. 1508-1516.
- [2] W. NianCHun, S. Zuo, K. Yukita, Y. Goto, and K. Ichiyanagi, "Research of PV Model and MPPT Methods in Matlab," *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2010 Asia-Pacific, pp. 1-4.

- [3] H. Patel, and V. Agarwal, "Matlab-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics," *IEEE Transactions on energy conversion*, Vol.23, No.1, 2008, pp. 302-310
- [4] T. Eswam, and P.L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Transactions on energy conversion*, Vol.22, No.2, 2007, pp. 439 – 449.
- [5] Y.-J. Wang, and P.-C. Hsu, "Analytical modeling of partial shading and different orientation of photovoltaic modules," *IET Renew. Power Gener*, Vol.4, Iss.3, 2010, pp. 272 – 282.
- [6] M. Bodur, and M. Ermis, "Maximum power point tracking for low power photovoltaic solar panels," in *Proc. 7th Mediterranean Electrotechnical Conf*, 1994, pp. 758 – 761.
- [7] N. A. Ahmed, and M. Miyatake, "A novel maximum power point tracking for photovoltaic applications under partially shaded insolation conditions," *Electric Power Systems Research*, Vol. 78, 2008, pp. 777-784.
- [8] M. Miyatake, F. Toriumi, T. Endo, N. Fujii, A novel maximum power point tracker controlling several converters connected to photovoltaic arrays with particle swarm optimization, in: *Proceedings of the European Conference on Power Electronics and Applications (2007)* 1–10.
- [9] B. Kaewkamnerdpong, P. Bentley, Perceptive Particle Swarm Optimization: An Investigation, in: *Proceedings of the IEEE Symposium on Swarm Intelligence*, IEEE CS Press, 2005 vol. 1, No. 1, pp. 8–10.
- [10] S. R. Chowdhury, and H. Saha, "Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 94, 2010, pp. 1441-1447.
- [11] Syafaruddin, E. Karate, and T. Hiyama, "Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions," *IET Renew. Power Gener*, Vol.3, Iss.2, 2010, pp. 239 – 253.
- [12] G. Carannante, C. Fraddanno, M. Pagano, and L. Piegari, "Experimental performance of MPPT algorithm for photovoltaic sources subject to inhomogeneous insolation," *IEEE Transactions on industrial electronics*, Vol.56, No.11, 2009, pp. 4373-4380
- [13] H. Patel, and V. Agarwal, "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions," *IEEE Transactions on industrial electronics*, Vol.55, No.4, 2008, pp. 1689-1698
- [14] S. Kazmi, H. Goto, O. Ichinokura, and P.-J. Guo, "An improved and very efficient MPPT controller for PV systems subjected to rapidly varying atmospheric conditions and partial shading," *IEEE Power Engineering Conference*, 2009, pp. 1 – 6.
- [15] K. Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, "A study of a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 90, No. 18/19, Nov. 2006, pp. 2975-2988.
- [16] F. M.-Moreno, J. Munoz, and E. Lorenzo, "Experimental model to estimate shading losses on PV arrays," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, In Press, Corrected Proof, Available online, Aug, 2010

Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems

Pongsakor Takun, Somyot Kaitwanidvilai and Chaiyan Jettanasen

Abstract—In this paper, a fuzzy logic control (FLC) is proposed to control the maximum power point tracking (MPPT) for a photovoltaic (PV) system. The proposed technique uses the fuzzy logic control to specify the size of incremental current in the current command of MPPT. As results indicated, the convergence time of maximum power point (MPP) of the proposed algorithm is better than that of the conventional Perturb and Observation (P&O) technique.

Index Terms—photovoltaic system, MPPT, P&O, Fuzzy Logic Control

I. INTRODUCTION

IN our world today, the problems caused by global warming and pollution effect become the important issues for research. Renewable energy sources are considered as a technological option for generating clean energy. Among them, photovoltaic (PV) system has received a great attention as it appears to be one of the most promising renewable energy sources. Recently, due to its development and cost reduction, PV system becomes an efficient solution to the environmental problem [1]. However, the development for improving the efficiency of the PV system is still a challenging field of research.

PV system cannot be modeled as a constant DC current source because its output power is varied depending on the load current, temperature and irradiation.

Generally, MPPT is adopted to track the maximum power point in the PV system. The efficiency of MPPT depends on both the MPPT control algorithm and the MPPT circuit. The MPPT control algorithm is usually applied in the DC-DC converter, which is normally used as the MPPT circuit. The typical diagram of the connection of MPPT in a PV system is shown in Fig. 1.

One of the most popular algorithms of MPPT is P&O (Perturb and Observe) technique; however, the convergence problem and oscillation are occurred at certain points during the tracking. To enhance the performance of the P&O algorithm, this paper presents the application of Fuzzy Logic Control (FLC) to the MPPT control. The simulation study in this paper is done in MATLAB and Simulink.

Manuscript received January 25, 2011. This work was supported by the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

P. Takun, S. Kaitwanidvilai and C. Jettanasen are with the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand (e-mail: uk_dtotb_cz@hotmail.com, rsomyotk@gmail.com).

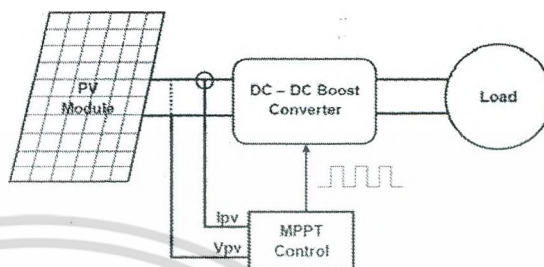


Fig. 1 Typical diagram of MPPT in a PV System

II. PHOTOVOLTAIC EQUIVALENT CIRCUIT

The model of solar cell can be categorized as p-n semiconductor junction; when exposed to light, the DC current is generated. As known by many researchers, the generated current depends on solar irradiance, temperature, and load current. The typical equivalent circuit of PV cell is shown in Fig. 2.

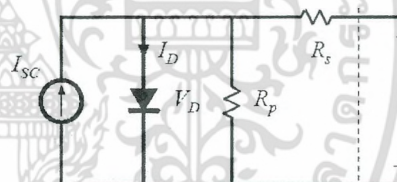


Fig. 2 Typical circuit of PV solar cell

The basic equations describing the I-V characteristic of the PV model are given in the following equations:

$$0 = I_{SC} - I_D - \frac{V_D}{R_p} - I_{PV} \quad (1)$$

$$I_D = I_0 (e^{V_D/V_T} - 1) \quad (2)$$

$$V_{PV} = V_D - R_s I_{PV} \quad (3)$$

Where:

I_{PV} is the cell current (A).

I_{SC} is the light generated current (A).

I_D is the diode saturation current (A).

R_s is the cell series resistance (ohms).

R_p is the cell shunt resistance (ohms).

V_D is the diode voltage (V).

V_T is the temperature voltage (V).

V_{PV} is the cell voltage (V).

ไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUES

A. Perturb and Observation (P&O)

One of the most simple and popular techniques of MPPT is the P&O technique. The main concept of this method is to push the system to operate at the direction which the output power obtained from the PV system increases. Following equation describes the change of power which defines the strategy of the P&O technique.

$$\Delta P = P_k - P_{k-1} \quad (4)$$

If the change of power defined by (4) is positive, the system will keep the direction of the incremental current (increase or decrease the PV current) as the same direction, and if the change is negative, the system will change the direction of incremental current command to the opposite direction. This method works well in the steady state condition (the radiation and temperature conditions change slowly). However, the P&O method fails to track MPP when the atmospheric condition is rapidly changed. Flow chart of the P&O method is described in Fig. 3.

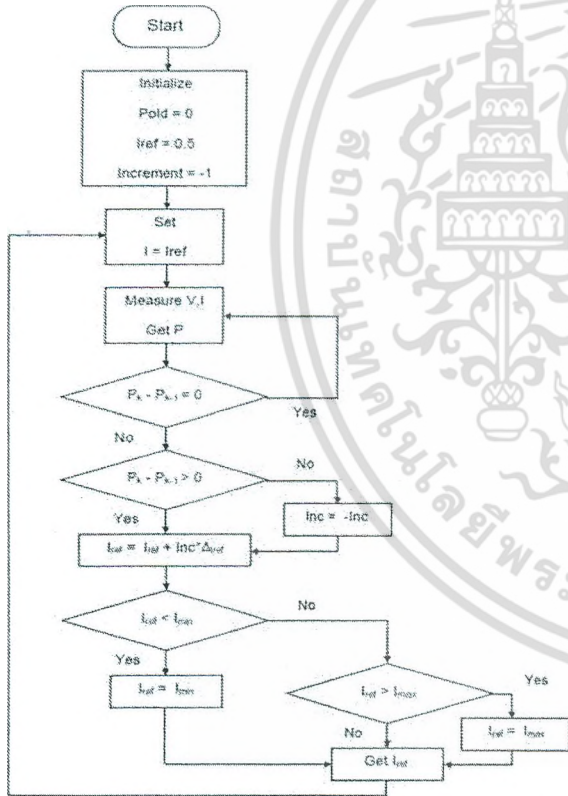


Fig. 3 Flow Chart of the P&O Method.

B. MPPT using Fuzzy Logic Control

MPPT using Fuzzy Logic Control gains several advantages of better performance, robust and simple design. In addition, this technique does not require the knowledge of the exact model of system. The main parts of FLC, fuzzification, rule-base, inference and defuzzification, are shown in Fig. 4. In the proposed system, the input variables of the FLC are the change in PV array power (ΔP_{pv}) and the change in PV current (ΔI_{pv}), whereas the output of FLC is the magnitude of the change of boost converter current

reference (ΔI_{ref}). The current reference is the command for controlling the current drawn from the PV. Flow chart of the proposed FLC is shown in Fig. 5. The equations for ΔP_{pv} and ΔI_{pv} are given as follows:

$$P_{pv}^k = V_{pv}^k \cdot I_{pv}^k \quad (5)$$

$$\Delta P_{pv}^k = P_{pv}^k - P_{pv}^{k-1} \quad (6)$$

$$\Delta I_{pv}^k = I_{pv}^k - I_{pv}^{k-1} \quad (7)$$

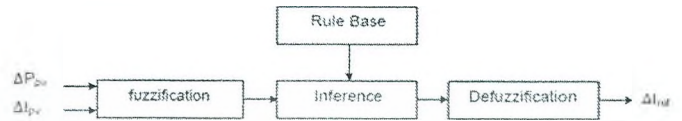


Fig. 4 The Fuzzy Logic Controller

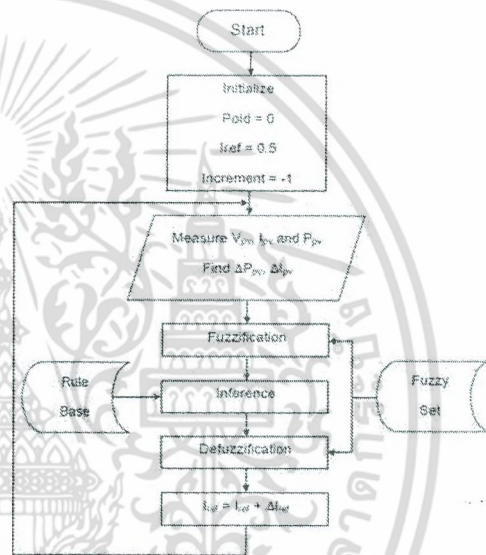


Fig. 5 Flowchart of the proposed FLC method

In the proposed design, the universe of discourse for the first input variable (ΔP_{pv}) is assigned in terms of several linguistic variables by using seven fuzzy subsets, which are denoted by NB (negative big), NM (negative medium), NS (negative small), Z (zero), PS (positive small), PM (positive medium) and PB (positive big). The membership functions for the variable are shown in Fig. 6. Fig. 7 shows the universe of discourse for the second input variable (ΔI_{pv}), which is classified into 3 fuzzy sets, namely, Negative (N), Zero (Z) and Positive (P). Fig. 8 shows the control surface of the output variable, ΔI_{ref} .

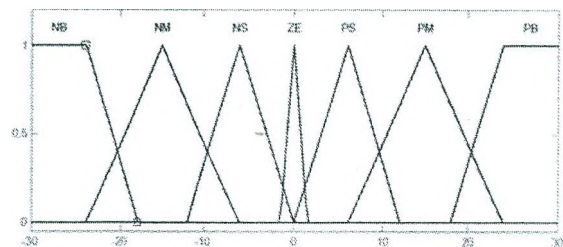


Fig. 6 Membership Functions of the 1st Input Variable

เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

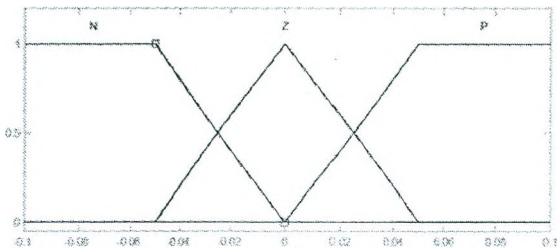


Fig. 7 Membership Functions of the 2nd Input Variable 2nd (ΔI_{pv})

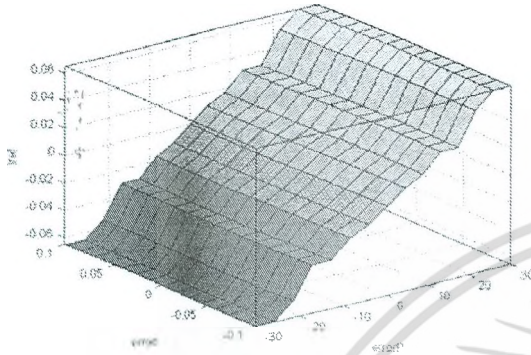


Fig. 8 Sugeno Control Surface, Output Variable (ΔI_{ref})

Based on the knowledge of the authors, the fuzzy system rules can be designed as shown in Table 1. ΔP_{pv} and ΔI_{pv} are the inputs while ΔI_{ref} is the output. The fuzzy inference of the proposed FLC is based on the Sugeno's method which is associated with the max-min composition.

Table 1: Rules for the proposed FLC

Rule no.	If ΔP_{pv}	And ΔI_{pv}	Then ΔI_{ref}	Singletons
1	PB	P	PB	0.065
2	PM	P	PM	0.03
3	PS	P	PS	0.01
4	ZE	P	PS	0.01
5	NS	P	NS	-0.01
6	NM	P	NM	-0.03
7	NB	P	NB	-0.065
8	PB	Z	PB	0.065
9	PM	Z	PM	0.03
10	PS	Z	PS	0.01
11	ZE	Z	ZE	0
12	NS	Z	NS	-0.01
13	NM	Z	NM	-0.03
14	NB	Z	NB	-0.065
15	PB	N	NB	-0.065
16	PM	N	NM	-0.03
17	PS	N	NS	-0.01
18	ZE	N	NS	-0.01
19	NS	N	PS	0.01
20	NM	N	PM	0.03
21	NB	N	PB	0.065

IV. MODEL OF THE SYSTEM

The proposed Fuzzy Logic Control based MPPT has been modeled and simulated using MATLAB/Simulink. Fig. 9 shows our developed Simulink model. In the simulation study, the fuzzy logic based MPPT control is simulated and compared with the conventional P&O technique under the operating condition assuming the constant temperature and varying isolation (0 to 1000 W/m²). The step size of incremental current in the P&O technique uses the appropriate value found by trial and error technique. The MPPT control consists of two main parts, FLC and current

control, as depicted in Fig. 9. The specifications of PV module used in this simulation are shown in Table 2.

Table 2 the specification of PV module used in the simulation.

Short Circuit Current	7.8	A
Open Circuit Voltage	21	V
Current at Pmax	6.72	A
Volt at Pmax	12.7	V

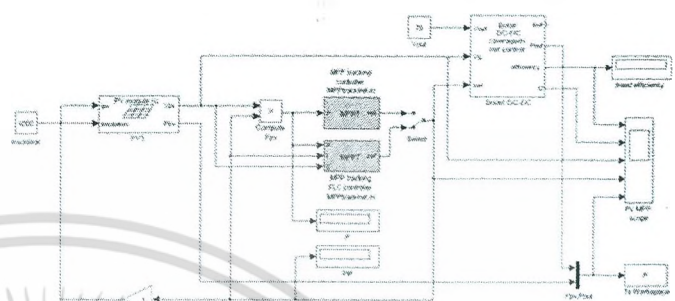


Fig. 9 Model of the developed PV System in MATLAB/Simulink

V. RESULT AND DISCUSSION

Figs. 10 and 11 show the results of the I-V and P-V characteristic curves of the PV module with the varying of irradiation. As seen in these figures, the I-V curves and the maximum points in the P-V curves are changed under the variations of operating condition.



Fig. 10 I-V Characteristic Curves

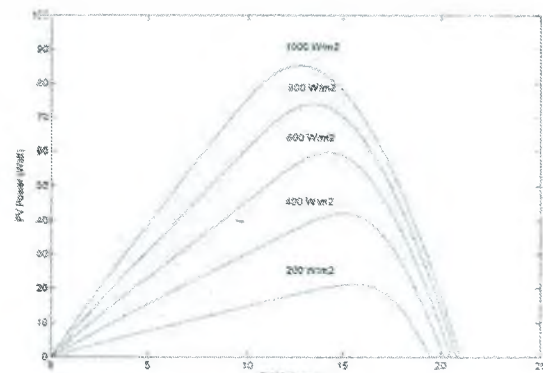


Fig. 11 P-V Characteristic Curves

The performance of MPPT using the FLC and the simple P&O techniques is verified by operating them under the variation of irradiance. Fig. 12 shows the transient responses of the tracking power curves obtained from both control algorithms. As seen in the figure, the proposed response is much faster than that of the conventional MPPT while the overshoots of the system are almost the same. Fig.13 shows the energy obtained from the both controllers; clearly, the proposed controller gains more energy than the conventional P&O technique.

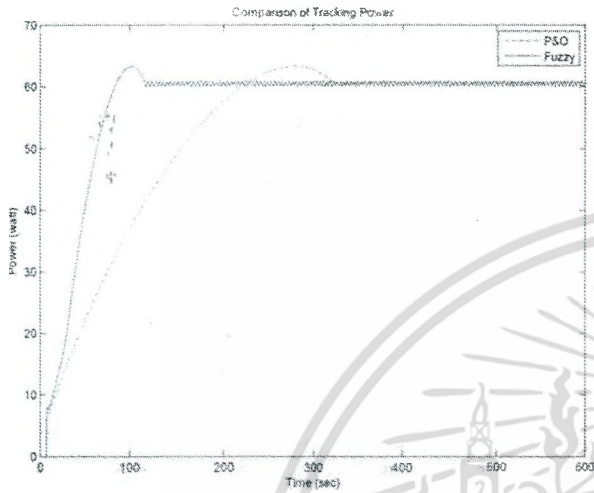


Fig. 12 Tracking curves by the FLC and P&O Methods

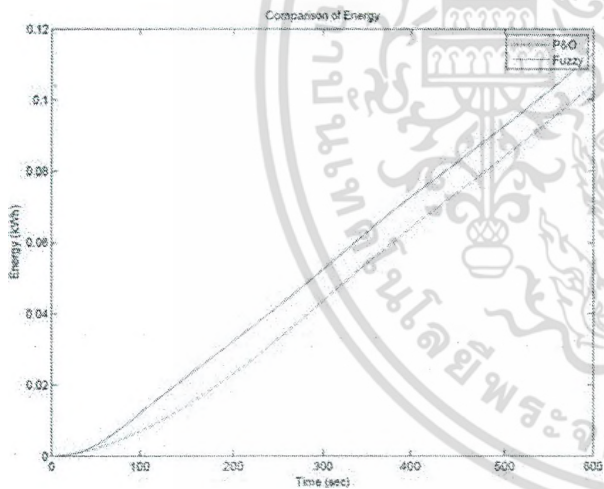


Fig. 13 Energy obtained from the both controllers.

Fig. 14 shows the performance of the PV system using FLC and P&O algorithms under fast changing of irradiance. The irradiance values are 400, 400, 600, 600, 600, 600, 1000, 1000, 600, 600, 600, 600, 200 and 200 W/m^2 at 0, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660, 720, and 780 seconds, respectively. The MPPT using FLC gives the results better than the P&O in several areas of the tracking curve. Fig. 15 shows the energy gained from the tracking power curve in Fig. 14; clearly, the energy gained from the proposed technique is higher than that of the conventional technique.

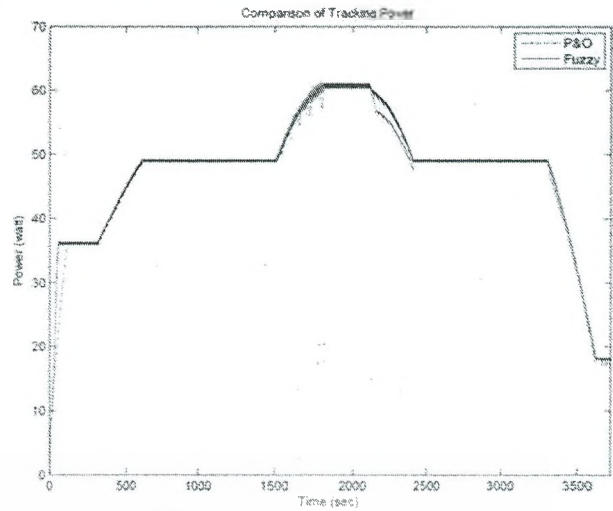


Fig. 14 MPP Tracking curves by the FLC and P&O methods.

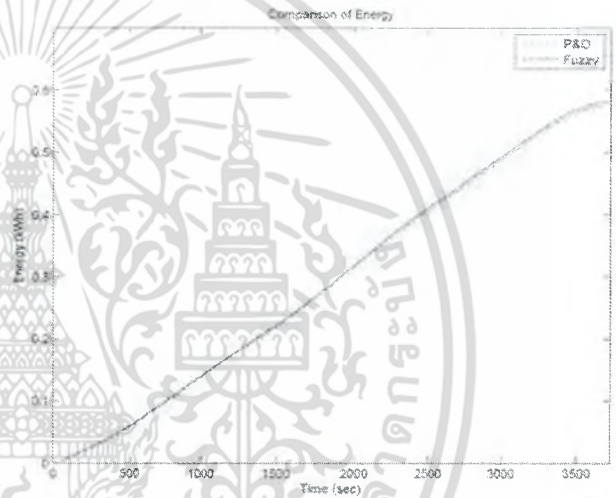


Fig.15 Energy obtained from the MPP tracking curves in Fig. 14.

VI. CONCLUSIONS

This paper presents an intelligent control strategy of MPPT for the PV system using the FLC. Simulation results show that the proposed MPPT can track the MPP faster when compared to the conventional P&O method. In conclusion, the proposed MPPT using fuzzy logic can improve the performance of the system. For the future work, we intend to implement the proposed technique in the real PV system.

ACKNOWLEDGMENT

This research work is supported by the research fund from Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

REFERENCES

- [1] Subiyanto, A Mohamed, M. A Hannan, "Maximum Power Point Tracking in Grid Connected PV System Using A Novel Fuzzy Logic Controller", *IEEE Student Conference on Research and Development*, November 2009.

- [2] Chokri Ben Salah*, Mohamed Ouali, "Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum power point tracker for PV systems", *ScienceDirect Electric Power Systems Research*, July 2010, pp.43–50.
- [3] Mohamed Azab, "A New Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 34, October 2008.
- [4] C. Larbes, S.M. Ar't Cheikh*, T. Obeidi, A. Zerguerras, "Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system", *ScienceDirect Renewable Energy* 34, January 2009, pp.2093–2100.
- [5] Cheikh M. S. A., Larbes C., Kebir G. F. T. and Zerguerras A., "Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 10, No. 32, September 2007, pp. 387 – 395.
- [6] Sofai. Lalouni, Djamilia. Rekioua, "Modeling and Simulation of Photovoltaic System using Fuzzy Logic Controller", *IEEE International Conference on Developments in Systems Engineering*, 2009.
- [7] Noppadol Khaehintung, Anantawat Kunakorn, and Phaophak Sirisuk, "A Novel Fuzzy Logic Control Technique tuned by Particle Swarm Optimization for Maximum Power Point Tracking for a Photovoltaic System using a Current-mode Boost Converter with Bifurcation Control", *Springer International Journal of Control, Automation, and Systems*, October 2009, pp.289-300.
- [8] Chen-Chi Chu, Chieh-Li Chen, "Robust maximum power point tracking method for photovoltaic cells : A sliding mode control approach", *ScienceDirect Solar Energy*, March 2009.
- [9] Chao Zhang, Dean Zhao, "MPPT with Asymmetric Fuzzy Control for Photovoltaic System", *IEEE Africon*, 2009.
- [10] Christopher A. Otieno, George N. Nyakoe, Cyrus W. Wekesa, "A Neural Fuzzy Based Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System", *IEEE Africon*, September 2009.
- [11] Santos J. L., Antunes F., Chehab A. And Cruz C. C., "A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter", *Science Direct. Solar Energy* 80, 2006, pp. 772–778.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสมยศ เกียรติวนิชวิไล
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Somyot Kaitwanidvilai
 - เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3669800038981
 - ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
 - หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง email drsomyotk@gmail.com โทรศัพท์ 0839046164
 - ประวัติการศึกษา
2547 D.Eng, Asian Institute of Technologies, Thailand
2543 ปริญญาโท (M.Eng.) วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2539 ปริญญาตรี (เกียรตินิยม) (B.Eng.) วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
ระบบแปลงผันพลังงาน ระบบพลังงานทดแทน
 - ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้
ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
 - ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย :-
 - หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
- (๑)โครงการวิจัย หน่วยวิจัยระบบการควบคุมและอัตโนมัติ
ทุนวิจัย ทุนวิจัยจากเอกชน เลขที่ MOU#RU001/2009
แหล่งทุน บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัดผ่านทางวิทยาลัยนวัตกรรมฯ
ระยะเวลา ๒ ปี (มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๔ – ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๕)

ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย

- (๒) โครงการวิจัย Feasibility Study on Multi-Laser Vision Approach For HSA Metrology Tools
 ทุนวิจัย ทุนวิจัย จากเอกชน (รับจ้างวิจัย) เลขที่ SOW#124368 ผ่านทางวิทยาลัย
 นวัตกรรมฯ
 แหล่งทุน บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
 ระยะเวลา ๑ ปี (มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๕ – มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๖)
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๓) โครงการวิจัย การพัฒนาระบบตรวจสอบแบบวิทัศน์อัตโนมัติเพื่อการตรวจจับตำแหน่งของ
 Tail Pad
 ทุนวิจัย ทุนวิจัยร่วมระหว่าง สวทช.และบริษัทฯ SOW#82790 ผ่านทางวิทยาลัย
 นวัตกรรมฯ
 แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)และบริษัทซี
 เกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
 ระยะเวลา ๖ เดือน (มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๑ – เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๓)
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๔) โครงการวิจัย ระบบควบคุมพีซีสององศาอิสระแบบคงทนกำหนด โครงสร้างได้แบบใหม่
 และเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยหลักการปัญญาประดิษฐ์
 ทุนวิจัย ทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ เลขที่ KREF045405
 แหล่งทุน กองทุนวิจัย สจล.
 ระยะเวลา ๒ ปี (มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๔ – พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๖)
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๕) โครงการวิจัย ระบบปรับตำแหน่ง TAIL-PAD สำหรับเครื่อง Reflow Soldering อัตโนมัติ
 ทุนวิจัย ทุนวิจัยจากเอกชน (รับจ้างวิจัย) เลขที่ SOW#82786 ผ่านทางวิทยาลัย
 นวัตกรรมฯ
 แหล่งทุน บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
 ระยะเวลา ๑ ปี (กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๓ – กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๔)
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๖) โครงการวิจัย เทคนิคใหม่ในการตรวจจับวิทัศน์แบบไม่หยุดตรวจในระบบการผลิตหัวอ่าน
 ฮาร์ดดิสก์
 ทุนวิจัย ทุนวิจัย โดย I/U CRC DSTAR-R&D-02-06-2553 ผ่านทางวิทยาลัยนวัตกรรม
 ฯ
 แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
 ระยะเวลา ๑ ปี (กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๓ – ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๔)
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๗) โครงการวิจัย การพัฒนาต้นแบบ โปรแกรมตรวจสอบชิ้นส่วนพีเอ็มพีในระดับการผลิต
 ด้วยหลักการตรวจจับแบบวิทัศน์อัตโนมัติแบบอัจฉริยะ
 ทุนวิจัย ทุนวิจัย โดย I/U CRC เลขที่ HDDB51-004 ผ่านทางวิทยาลัยนวัตกรรมฯ

- แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และ
บริษัทเบลตัน (ประเทศไทย) จำกัด
- ระยะเวลา ๑ ปี ๑๑ เดือน (มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๑ – เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๓)
- ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๘) โครงการวิจัย การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหา
โซ่แนวนในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์
- ทุนวิจัย ทุนวิจัยโครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม เลขที่ IUG5080015
- แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- ระยะเวลา ๒ ปี (ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๐ – กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๒)
- ตำแหน่ง นักวิจัย
- (๙) โครงการวิจัย การพัฒนาตัวควบคุมแบบคงทนสมรรถนะสูงสำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง
ในฮาร์ดดิสก์
- ทุนวิจัย ทุนวิจัยโดย I/U CRC ให้ทุน 100% เลขที่ DSTAR-R&D-02-03-52
- แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
- ระยะเวลา ๑ ปี (พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๒ – ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๓)
- ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๑๐) โครงการวิจัย การจัดตั้งหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- ทุนวิจัย ทุนวิจัยโดย I/U CRC ให้ทุน 100 %
- แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
- ระยะเวลา ๑ ปี (กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๒ – ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๓)
- ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๑๑) โครงการวิจัย เทคนิคใหม่ในการออกแบบตัวควบคุมแบบคงทนกำหนดโครงสร้างได้
สำหรับวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรง
- ทุนวิจัย ทุนรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปี ๒๕๕๑
- แหล่งทุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- ระยะเวลา ๑ ปี (ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๐ – กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๑)
- ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
- (๑๒) โครงการวิจัย การตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนฟิลิป-ชิปด้วย
ระบบตรวจจับอัตโนมัติแบบวิหวล
- ทุนวิจัย ทุนพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์
- แหล่งทุน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
- ระยะเวลา ๒ ปี (มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๔ – พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๖)
- ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย (อาจารย์ที่ปรึกษา)
- (๑๓) โครงการวิจัย วิธีการใหม่สำหรับการออกแบบตัวควบคุมพีชซีแบบคงทนด้วยหลักการวิธี
ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมและการจัดสัมชานวงรอบเอชอินฟินิตีประยุกต์ใน
หุ่นยนต์แขนกลจับเคลื่อนด้วยลม
- ทุนวิจัย ทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ เลขที่ MRG4980087
- แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สวทช.๓-๒

ระยะเวลา ๒ ปี (กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๔๘ – มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๐)
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย

(๑๔) โครงการวิจัย การประหยัดพลังงานในเตาเผาเคลือบในโรงงานอบข้าวด้วยเทคนิคควบคุม
การไหลมวลอากาศอัตโนมัติ
ทุนวิจัย IRPUS
แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ระยะเวลา ๑ ปี ประจำปี 2548
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย (อาจารย์ที่ปรึกษา)

(๑๕) โครงการวิจัย การพัฒนาตัวควบคุมแบบคงทนโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ กรณีศึกษา
สำหรับการออกแบบตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบอัดประจุเบ
ตเตอรี่
ทุนวิจัย ทุนรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปี ๒๕๔๘
แหล่งทุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ระยะเวลา ๑ ปี (ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๗ – กันยายน พ.ศ. ๒๕๔๘)
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย

(๑๖) โครงการวิจัย ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน
ทุนวิจัย ทุนพัฒนาศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ
แหล่งทุน กองทุนวิจัย สจล.
ระยะเวลา ๕ ปี (กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๒ – มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๗)
ตำแหน่ง นักวิจัย

สวท.๓-๒

2.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจ
มากกว่า 1 เรื่อง)

(ค่า Impact factor 2010 ได้แสดงในวงเล็บท้ายบทความ)

- (๑) S. Kaitwanidvilai and I. Ngamroo, "Resonance vibration analysis in double acting arm using FEM with PSO based non-uniform refinement," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.8, No. 1(A), pp. 91-106, January 2012. (1.664)
- (๒) S. Kaitwanidvilai, A. Saenthon and A. Kunakorn, "Pattern recognition technique for integrated circuit (IC) pins inspection using wavelet transform with chaincode-discrete fourier transform and signal correlation," *International Journal of Physical Sciences*, 2012. (Accepted) (0,56)
- (๓) S. Kaitwanidvilai and A. Nath, "Design and Implementation of a High Performance Hard Disk Drive Servo Controller Using GA Based 2DOF Robust Controller," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.8, No. 2, pp. 1025-1036, February 2012. (1.664)
- (๔) N. Nimpitawan and S. Kaitwanidvilai, "Robust Control Design for Three-Phase Power Inverters using Genetic Algorithm", *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics and Communications, Special section on paper selected from ECTICON2011*, pp. 51-59, February 2012. (Scopus)
- (๕) S. Kaitwanidvilai, A. Kunakorn and U. Chaiya, "Model Reference Neural Network Cascade Controller for DC Motor Speed Control," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 8, No. 9, September 2012. (Accepted) (1.664)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 51 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (บ) **S. Kaitwanidvilai** and P. Olarnthichachart, "Robust Loop Shaping-Fuzzy Gain Scheduling Control of a Servo-Pneumatic System using Particle Swarm Optimization Approach," *Mechatronics*, Vol. 21, No.1, pp.11-21, 2011. (0.944)
- (ค) **S. Kaitwanidvilai** and P. Olarnthichachart, "Design of optimal robust PI controller for electro-hydraulic servo system," *Engineering Letters*, Vol. 19, Issue. 3, 2011. (Scopus)
- (ค) **S. Kaitwanidvilai**, P. Olarnthichachart and I. Ngamroo, "PSO based automatic weight selection and fixed structure robust loop shaping control for power system control applications," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 7, No. 4, pp. 1549 -1564, April 2011. (1.664)
- (ง) **S. Kaitwanidvilai** and A. Saenthon, "Development of New Edge Detection Filter based on Genetic Algorithm: An Application to A Soldering Joint Inspection," *International Journal of Advanced Manufacturing*, Vol. 46, No. 9-10, pp. 1358-1361, February 2010. (1.071)
- (จ) **S. Kaitwanidvilai**, P. Olarnthichachart and I. Ngamroo, "Weight optimization and structure specified robust H_{∞} loop shaping control of a pneumatic servo system using genetic algorithm," *International Journal of Robotic and Automation*, Vol. 25, No. 3, pp. 229-239, 2010. (0.206)
- (ฉ) **S. Kaitwanidvilai** and P. Piyarungsan "Low Cost Microprocessor based AC Voltage Controller using Genetic Algorithms and Neural Network," *IET Power Electronics*, Vol. 3, issue 4, pp. 490-499, 2010. (1.07)
- (ช) S. Vachirasricirikul, I. Ngamroo and **S. Kaitwanidvilai**, "Coordinated SVC and AVR for robust voltage control in a hybrid wind-diesel system," *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, Issue 12, pp. 2383-2393, December 2010. (2.054)
- (ช) S. Vachirasricirikul, I. Ngamroo and **S. Kaitwanidvilai**, "Application of electrolyzer system to enhance frequency stabilization effect of microturbine in a microgrid system," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, Issue 17, pp. 7131-7142, September 2009. (4.053)
- (ช) S. Vachirasricirikul, I. Ngamroo and **S. Kaitwanidvilai**, "Robust voltage stabilization in an isolated wind-diesel power system using PSO based-fixed structure H_{∞} loop shaping control," *IEEE Transactions on Power and Energy*, Vol. 129-B, No. 6, pp. 756-764, June 2009. (Scopus)
- (ซ) **S. Kaitwanidvilai** and P. Olarnthichachart, "Fixed Structure Robust Loop Shaping Controller for a Buck-Boost Converter using Genetic Algorithm," *Engineering Letters*, Vol. 16, No.3, 2008. (Scopus)
- (ซ) S. Karnprachar, A. Santhon and **S. Kaitwanidvilai**, "A Nondestructive Bump Inspection in Flip Chip Component using Fuzzy Image Filtering," *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications (ECTI-EEC), Special section on paper selected from NAC2007*, Vol.5, No.2, pp.103-108, August 2007. (Scopus)
- (ด) **S. Kaitwanidvilai** and M. Pamichkun "Force Control in a Pneumatic System Using Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Model Reference Control," *Mechatronics*, Vol. 15, Issue 1, pp. 23-34, February 2005. (0.944)
- (ด) **S. Kaitwanidvilai** and M. Pamichkun, "Genetic Algorithm based Fixed-Structure Robust H_{∞} Loop Shaping Control of a Pneumatic Servo System," *International Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 16, No. 4, pp. 362-373, 2004. (SCI)

๓.๒.๒.๒ บทความการประหุมิวิชาการระดับนานาชาติ

- (๑๖) S. Kaitwanidvilai and S. Kasempong, "Hybrid P&O-current sweep maximum power point tracking for solving partial shading problem in PV system," *Proceedings of 5th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES 2012)*, April 2 - 4, 2012, Phuket, Thailand, no. 768-098.
- (๑๗) S. Kaitwanidvilai, W. Limchareon and C. Koisap, "PSO based decentralized robust power system stabilizer for a multi-machine power system," *Proceedings of 5th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES 2012)*, April 2 - 4, 2012, Phuket, Thailand, no. 768-099.
- (๑๘) S. Kaitwanidvilai, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul and A. Jangwanitlert, "Development of low cost circuit for ESD/lightning counter for industrial," *Proceedings of 5th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES 2012)*, April 2 - 4, 2012, Phuket, Thailand, no. 768-104. ๓๖๕.๓-๒
- (๑๙) S. Kaitwanidvilai, A. Saenthon and A. Jangwanitlert, "Smart 'On the fly Vision' for smart manufacturing inspection system," *Proceedings of 5th IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES 2012)*, April 2-4, 2012, Phuket, Thailand, no. 768-105.
- (๒๐) S. Kaitwanidvilai, N. Phurahong and A. Ngaopitakkul, "Fixed Structure Robust 2DOF H infinity Loop Shaping Control for APMC Buck Converter using Genetic Algorithm," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012*, March 14-16, 2012, Hongkong, no. ICEE 14.
- (๒๑) S. Kaitwanidvilai and A. Saenthon, "Pattern Recognition Technique for PAD Inspection using Chain-Code-Discrete Fourier Transform and Signal Correlation," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 569-572.
- (๒๒) P. Olanthichachat, and S. Kaitwanidvilai, "Enhancing the Performance of Fixed-Structure Robust Loop Shaping Control using Genetic Algorithm Approach," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 862-867.
- (๒๓) P. Olanthichachat, and S. Kaitwanidvilai, "Structure Specified Robust H_infinite Loop Shaping Control of a MIMO Electro-hydraulic Servo System using Particle Swarm Optimization," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 879-883.
- (๒๔) P. Jitta, S. Kaitwanidvilai and A. Ngaopitakkul, "Switching Angle Design for Pulse Width Modulation AC Voltage Controller Using Genetic Algorithm and Distributed Artificial Neural Network," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 970-974.
- (๒๕) P. Takun, S. Kaitwanidvilai and C. Jettanasen, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 986-990.
- (๒๖) S. Kaitwanidvilai, C. Pothisarn, C. Jettanasen, P. Chiradeja and A. Ngaopitakkul, "Discrete Wavelet Transform and Back-propagation Neural Networks Algorithm for Fault Classification in Underground Cable," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011*, March 16-18, 2011, Hongkong, pp. 996-1000.
- (๒๗) Somyot Kaitwanidvilai, et. al. "Design of a Gaussian Filter based on Particle Swarm Optimization (PSO) for Automatic Visual Inspection System," *Proceedings of ICET 2011*, May 1-3, 2011, Phuket, Thailand.

- (๑๓) C. Ussawaputitgul and S. Kaitwanidvilai, "Automatic Design of Robust PSS for Multimachine Power System using PSO," *Proceedings of the 2011 IEEE Region 10 Conference, TENCON2011*, November 21-24, 2011, Bali, Indonesia, pp. 1065 - 1069.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้⁵⁴เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้