

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน
MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING CURRENT SWEEP METHOD
FOR PARTIAL SHADING PROBLEM



T117484



โดย

นายภาคภูมิ

ธีแสงสุทธิ

นายสุทธิพงศ์

ริวงษา

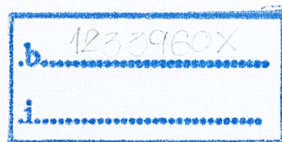
นายสุรวิชัย

เกษมพงษ์

นายอนันต์

เชาวลิตสกุลชัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117484
วัน,เดือน,ปี..... ๓ 5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

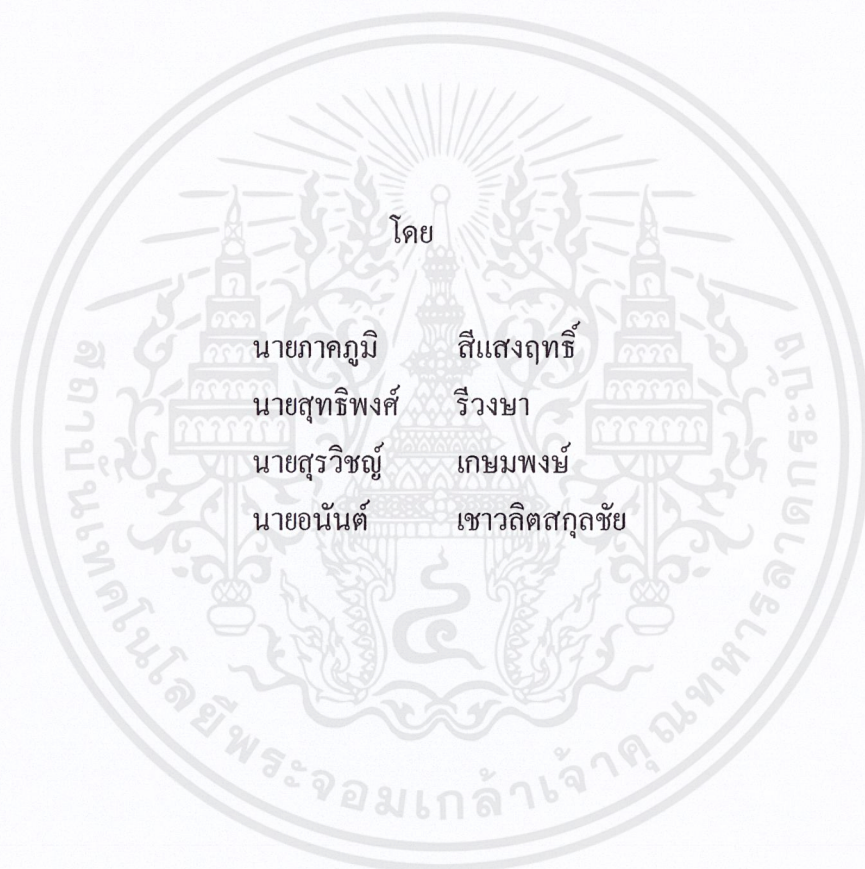
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน
MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING CURRENT SWEEP METHOD
FOR PARTIAL SHADING PROBLEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อาจารย์ วรกัลป์ ถิมเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน

ผู้จัดทำ

1. นายภาคภูมิ สีแสงฤทธิ์
2. นายสุทธิพงษ์ รุ่งษา
3. นายสุรวิชัย เกษมพงษ์
4. นายอนันต์ เชาวลิตสกุลชัย



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วรศิลป์ ถิ่นเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับ ปัญหาการบังเงาบางส่วน

นายภาคภูมิ	สีแสงฤทธิ์	
นายสุทธิพงษ์	ริวงษา	
นายสุรวิษณุ	เกษมพงษ์	
นายอนันต์	เชาวลิตสกุลชัย	
ผศ.ดร.สมยศ	เกียรติวินชวิไล	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วรกัลป์	ลิ้มเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ PV (Photovoltaic) เทคนิคที่นำเสนอเป็นเทคนิคในการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่เรียกว่า เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep) ซึ่งจะใช้ร่วมกับเทคนิค Perturb and Observe (P&O) ข้อเสียของเทคนิค P&O ในระบบต่อแผงโซลาร์เซลล์หลายแผงนี้จะไม่สามารถตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่เกิด local maxima ได้ เทคนิคการกวาดกระแสจะเริ่มต้นกวาดกระแสตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ากระแสลัดวงจรเพื่อค้นหาตำแหน่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้แม้จะเกิดสภาวะการบังเงาบางส่วน (Partial Shading) ก็ตาม ผลการจำลองและการทดลองการทำงานของระบบ PV 3 แผงต่ออนุกรมกันภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่ได้รับในแต่ละแผงไม่เท่ากันถูกแสดงในโครงการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าเทคนิคเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING CURRENT SWEEP METHOD FOR PARTIAL SHADING PROBLEM

Parkpoom Seesangrit
Sutthipong Reewongsa
Surawich Kasempong
Anan Chovalitsgulchai
Asst. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai Supervisor
Mr. Worrakan Limcharoen Co-supervisor
2010

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 conventional 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 the global MPP even under partial shading condition can be achieved. Simulation and experimental results of the 3 series connected PV array with non-uniform irradiance are illustrated in this thesis. As results indicated, the maximum power point gained from the proposed technique is significantly better than that of the conventional technique.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะ และได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านที่มีส่วนทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการให้ยืมอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ในการทำงานโครงการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy Application Laboratory: REAL) ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำโครงการ และที่ขาดเสียมิได้ ต้องขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน (Center of Excellence for Innovative Energy systems: CINES) ที่ได้เอื้อเฟื้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลองโครงการตลอดทั้งปีการศึกษา

ขอบคุณ คุณธนานนท์ จันทร์ศรี, คุณพิพัฒน์ อังสุภมงคล และคุณฉัตรวรางค์ กัลยานุกิจ กลุ่มโครงการรุ่นที่ผู้เป็นเจ้าของเครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้เป็นแนวทางในการพัฒนาโครงการให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ได้คอยให้กำลังใจ เสนอมุมมองที่แตกต่าง และคอยให้คำปรึกษาเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางด้านการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

ภาคภูมิ	สีแสงฤทธิ์
สุทธิพงศ์	วีรวงษา
สุรวิชญ์	เกษมพงษ์
อนันต์	เชาวลิตสกุลชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานិพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell).....	6
2.2.1 นิยามและความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.2.4 คุณสมบัติความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์	11
2.2.5 พารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	17
2.3.1 เทคนิคแบบ Hill Climbing หรือ Perturb and Observe (P&O).....	17
2.3.2 เทคนิคแบบ Incremental Conductance (IncCond)	19
2.3.3 เทคนิคแบบ Fractional Open-Circuit Voltage	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 เทคนิคแบบ Fractional Short-Circuit Current	23
2.3.5 เทคนิคแบบ Fuzzy Logic Control / Neural Network	24
2.3.6 เทคนิค RCC	27
2.3.7 เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep).....	28
2.3.8 เทคนิคการควบคุมแบบป้อนกลับ $\frac{dP}{dV}$ หรือ $\frac{dP}{dI}$	30
2.3.9 เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคอื่นๆ.....	30
2.4 วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	33
2.4.1 วงจรทระดับแรงดัน (Boost converter).....	33
2.5 บทสรุป.....	39
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	40
3.1 บทนำ.....	40
3.2 ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter	40
3.3 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง.....	41
3.3.1 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter).....	41
3.3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)	41
3.3.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)	42
3.3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ +15 โวลต์	43
3.3.5 วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive).....	44
3.3.6 ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน	45
3.3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	45
3.4 การประมวลผลส่วนโปรแกรมควบคุมกรณีต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หนึ่งแผงโดยเทคนิค P&O	47
3.4.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค การกวาดกระแส	48
3.5 บทสรุป.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง	49
4.1 บทนำ	49
4.2 การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงต่อกันแบบอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์	50
4.2.1 การจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ	50
4.2.2 การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะ ความเข้มแสงแบบต่างๆ	55
4.3 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อกันแบบอนุกรม	61
4.4 บทสรุป	74
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	75
5.1 บทสรุป	75
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	75
5.3 แนวทางการพัฒนา	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์	80
ภาคผนวก ข. รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	83
ภาคผนวก ค. โปรแกรมที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	86
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการ	91
ภาคผนวก จ. ไปสเตอร์นำเสนอผลงาน	96
ประวัติผู้เขียน	98

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การคาดการณ์ถึงแนวโน้มการใช้พลังงานทดแทนในปี 2583	1
2.1 แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.2 ตัวอย่างของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ	9
2.2 ก. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว	9
2.2 ข. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก	9
2.2 ค. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส	9
2.3 แสดง n-type และ p-type ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.4 การทำงานของ n-type และ p-type เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ	10
2.5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังโหลด	11
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.7 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.8 แสดงการคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด	14
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ	15
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า	15
2.12 แสดงคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	16
2.13 แสดงผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานทั้งสองเปลี่ยนแปลง	16
2.14 แสดงความสัมพันธ์ของความชันที่มีผลต่อความต้านทานทั้งสอง	17
2.15 การลู่ออกจากจุด MPP ของเทคนิค hill climbing / P&O	19
2.16 แนวคิดของเทคนิค IncCond	21
2.17 ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ fuzzy logic	24
2.18 ตัวอย่างของระบบโครงข่าย (Neural Network)	26
2.19 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	34
2.20 ก. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ	35
2.20 ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	35
2.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter	40
3.2 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter).....	41
3.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ +15 โวลต์	44
3.4 วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive).....	44
3.5 ชุดตรวจับกระแสและแรงดัน	45
3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	45
3.7 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาดกระแส	48
4.1 แบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม MATLAB.....	50
4.2 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 1000 W/m^2 เป็น 400 W/m^2 ทั้ง 3 แผง	51
4.3 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 1000 W/m^2 เป็น 400 W/m^2 ทั้ง 3 แผง	51
4.4 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 200 W/m^2 1 แผง	52
4.5 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 200 W/m^2 1 แผง	53
4.6 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 500 W/m^2 1 แผง และ 200 W/m^2 1 แผง....	53
4.7 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 500 W/m^2 1 แผง และ 200 W/m^2 1 แผง...	54
4.8 การจำลองความเข้มแสงภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ	55
4.9 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ	56
4.10 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ	56
4.11 การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง.....	57
4.12 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง.....	58
4.13 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง.....	58
4.14 การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง.....	59
4.15 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง.....	60
4.16 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง.....	60
4.17 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง.....	62
4.18 เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง.....	63
4.19 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 1	63
4.20 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 1.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 1	64
4.22 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 2	65
4.23 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 2	66
4.24 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 2	66
4.25 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 3	67
4.26 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 3	68
4.27 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 3	68
4.28 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 4	69
4.29 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 4	70
4.30 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 4	70
4.31 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 5	71
4.32 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 5	72
4.33 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 5	72
4.34 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุด	73

สารบัญตาราง

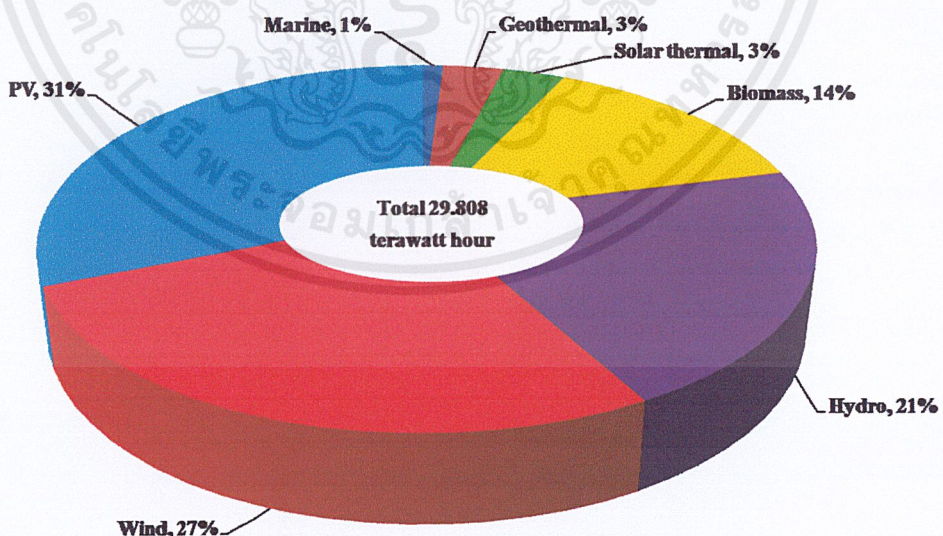
ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	4
2.1 สรุปแนวคิดของเทคนิค hill climbing และ P&O.....	18
2.2 Fuzzy Rule Base Table	25
2.3 คุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละเทคนิค MPPT	33
2.4 อัตราขยายแรงดันของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D.....	37
3.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC.....	46
4.1 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 1	65
4.2 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 2	67
4.3 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 3	69
4.4 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 4	71
4.5 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 5	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ อย่างมากในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานที่น่าสนใจ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดบริสุทธิ์ ปราศจากมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญเป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและมีอยู่อย่างไม่จำกัด ซึ่งประเทศไทยนั้นมีภูมิอากาศและภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และภาคเอกชน ได้ใช้เงินจำนวนมากในการศึกษาจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขึ้นใช้ภายในประเทศ เพื่อช่วยเหลือสังคมและพัฒนาประเทศต่อไป เช่น ใช้ในการผลิตไฟฟ้าตามชนบทห่างไกลความเจริญที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้เป็นอย่างมาก เป็นต้น สำหรับในต่างประเทศนั้นได้มีการศึกษาวิจัยโดยสมาคมพลังงานทดแทนแห่งยุโรป (European Renewable Energy Council: EREC) ได้มีการทำนายว่า ในปี 2583 แนวโน้มการใช้งานด้านพลังงานทดแทนจะเพิ่มขึ้นเป็น 29.808 เทราวัตต์-ชั่วโมง โดยจะเป็นพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์มากถึง 31% ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การคาดการณ์ถึงแนวโน้มการใช้พลังงานทดแทนในปี 2583 (ที่มา : EREC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในด้านเทคนิคการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานนั้น ผู้นำไปใช้งานต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างดีเพื่อช่วยให้สามารถใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาจากกระแสคุณกับแรงดัน ดังนั้นเราจึงเน้นการดำเนินการวิจัยแนวทางหนึ่ง โดยให้ความสำคัญกับการดึงกำลังไฟฟ้ามาใช้งานได้มากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมต่อเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ต่อชุดควบคุมหนึ่งชุด ซึ่งสามารถดึงพลังงานที่สูงสุดในแต่ละแผงได้จริงแต่มีข้อเสียคือมีความสิ้นเปลืองในชุดควบคุมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นนักวิจัยส่วนมากจึงสนใจที่จะพัฒนาการต่อเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงเข้ากับชุดควบคุมเพียงแค่ชุดเดียว เพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนนั้นลงได้ โดยได้มีการนำเทคนิคมาใช้ในการดึงพลังงานไฟฟ้าอยู่หลายเทคนิคด้วยกัน เช่น เทคนิค Perturb & Observe (P&O) และเทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep) เป็นต้น

โดยปกติแล้วเทคนิคที่ใช้เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) โดยทั่วไปคือ เทคนิค P&O ซึ่งจะตามรอยกำลังไฟฟ้าจากค่าความเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้งานต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผง เพื่อเพิ่มพิกัดการผลิตกำลังไฟฟ้า ในสถานะที่แสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดสถานะการบังเงาบางส่วน ทำให้เกิดกราฟคุณลักษณะมีหลายๆ ยอด เกิดปัญหาที่เรียกว่า Local maxima ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญในการตามรอยกำลังไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคการตามรอยโดยใช้การเปรียบเทียบแบบเทคนิค P&O โดยทั่วไปจะไม่สามารถจัดการกับปัญหานี้ได้ ในโครงการนี้จึงนำเสนอเทคนิคที่เรียกว่า การกวาดกระแส โดยทำการเก็บค่าข้อมูลของกระแสและแรงดันเพื่อประมวลผลว่าจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงอยู่ ณ ตำแหน่งใด จากนั้นจึงใช้เป็นค่าเริ่มต้นในเทคนิค P&O ผลที่ได้พบว่าสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่าเทคนิคแบบ P&O

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของงานการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ของเทคนิคต่างๆ ให้เกิดความรู้ ความเข้าใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขการบังเงาบางส่วนได้
2. เพื่อเสนอเทคนิคการกวาดกระแสในการแก้ปัญหาการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขการบังเงาบางส่วน (partially shaded condition)
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์
4. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จริงต่อไป

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงหลักการการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขการบังเงาบางส่วน หลักการของเทคนิคต่างๆ อาทิ เทคนิค P&O, เทคนิค Incremental Conductance และเทคนิคอื่นๆ เพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการกวาดกระแส รวมไปถึงการสร้างชุดควบคุมและชุดวงจรทระดับแรงดันที่สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในสภาวะถูกบังเงาบางส่วน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา ผลกระทบที่เกิดจากสภาวะการบังเงาบางส่วน และเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และเทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep)
3. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ
4. จำลองการทำงานของเทคนิค P&O และการกวาดกระแสผ่าน MATLAB/Simulink
5. ทดลองการทำงานของเทคนิค P&O และการกวาดกระแสโดยใช้การควบคุมด้วยวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในสภาวะต่างๆ เช่น ในสภาวะที่แสงแดดตกกระทบลงบนแผงอย่างเต็มที่ และในสภาวะที่มีก้อนเมฆมาบังในรูปแบบต่างๆ ทำให้เกิดการบังเงาบางส่วน เป็นต้น
6. บันทึกข้อมูลจากผลการทดลอง
7. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
8. สรุปผลการทดลอง
9. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ พร้อมทั้งจำลองการทำงานของตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าใน MATLAB/Simulink ทดลองควบคุมวงจรทระดับแรงดันด้วยเทคนิค P&O และการกวาดกระแส บันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้ระหว่างสองเทคนิคในสภาวะต่างๆ ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์								
2. ศึกษาเทคนิคที่ใช้ทำ MPPT ในปัจจุบัน								
3. ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการจำลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผง								
4. จำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงด้วยคอมพิวเตอร์								
5. จำลองการทำ MPPT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงด้วยคอมพิวเตอร์								
6. เขียนโปรแกรมการทำ MPPT ด้วยเทคนิค P&O								
7. เขียนโปรแกรมการทำ MPPT ด้วยเทคนิคการกวาดกระแส								
8. ออกแบบและสร้างวงจรกำลังของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า								
9. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์								
10. ทดลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงกับวงจรภายใต้ความเข้มแสงสม่ำเสมอ								
11. ทดลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงกับวงจรภายใต้สภาวะการบังเงาบางส่วน								
12. เก็บผลการทดลองในแต่ละกรณีและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้								
13. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างสองเทคนิคและสรุปผลการทดลอง								
14. สรุปผลงานวิจัย นำเสนอโครงการ								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น
2. สามารถคิดค้นวิจัยเทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้แทนที่เทคนิคเดิมๆ ที่

ไม่สามารถแก้ไขปัญหาบางกรณีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถนำไปพัฒนาเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดตัวอื่นๆ ต่อไปได้ในอนาคตได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะการบังเงาบางส่วน ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ ปัญหาการบังเงาบางส่วน เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด หลักการของเทคนิค P&O และเทคนิคการกวาดกระแส

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเกี่ยวกับการออกแบบจัดสร้างชิ้นงานจริง ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง +5 และ +15 โวลต์ วงจรขับมอสเฟต แบบแยกกราวด์ ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแส

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง ในบทนี้จะได้นำเสนอผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผงต่อกันแบบอนุกรม การจำลองกราฟคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงต่างๆ กัน ผลการจำลองการทำ MPPT เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดนบังเงาหนึ่งแผง สองแผง และทั้งหมดสามแผง ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิค P&O และเทคนิคการกวาดกระแส นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงผลการทดลองการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำ MPPT โดยแบ่งออกเป็น 5 กรณี ทำการเปรียบเทียบระหว่างสองเทคนิคดังกล่าว หลังจากนั้นก็เป็นสรุปผลการทดลองเชิงวิเคราะห์และเชิงเปรียบเทียบ

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และจากการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่าง ๆ ทั้งหมด รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนบทความวิชาการ และโปสเตอร์นำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ก่อนการดำเนินโครงการนี้สิ่งที่จำเป็นเป็นอันดับแรกคือความรู้ความเข้าใจเรื่องทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ เทคนิคต่างๆ ในปัจจุบันที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าเพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสถานะที่เกิดปัญหาการบังเงาบางส่วนในการสร้างวงจรควบคุมให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้หลักการของเทคนิค P&O และการกวาดกระแส ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในบทนี้

2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

2.2.1 นิยามและความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย และมีอยู่อย่างไม่จำกัด ไม่ว่าจะนำไปใช้เกี่ยวกับวิธีพื้นบ้านหรือวิธีทางวิทยาศาสตร์ก็ตาม แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้นำพลังงานแสงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) สามารถดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ได้โดยตรง และสามารถเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแสงได้ในรูปของแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ใช้เปิดไฟในตอนกลางคืนสำหรับบ้านพักอาศัยที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง เป็นต้น จะเห็นว่าปัจจุบันนี้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจพลังงานทางด้านนี้มากขึ้น เนื่องจากมีความสะอาด บริสุทธิ์ ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และในเชิงพาณิชย์จะสามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียในเรื่องของต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูงและมีน้ำหนักมาก ทำให้นักวิจัยต่างๆ มีความต้องการที่จะพัฒนาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านการดึงพลังงานไปใช้ให้ได้มากที่สุด หรือด้านของวัสดุที่ใช้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีต้นทุนที่ต่ำลง เป็นต้น

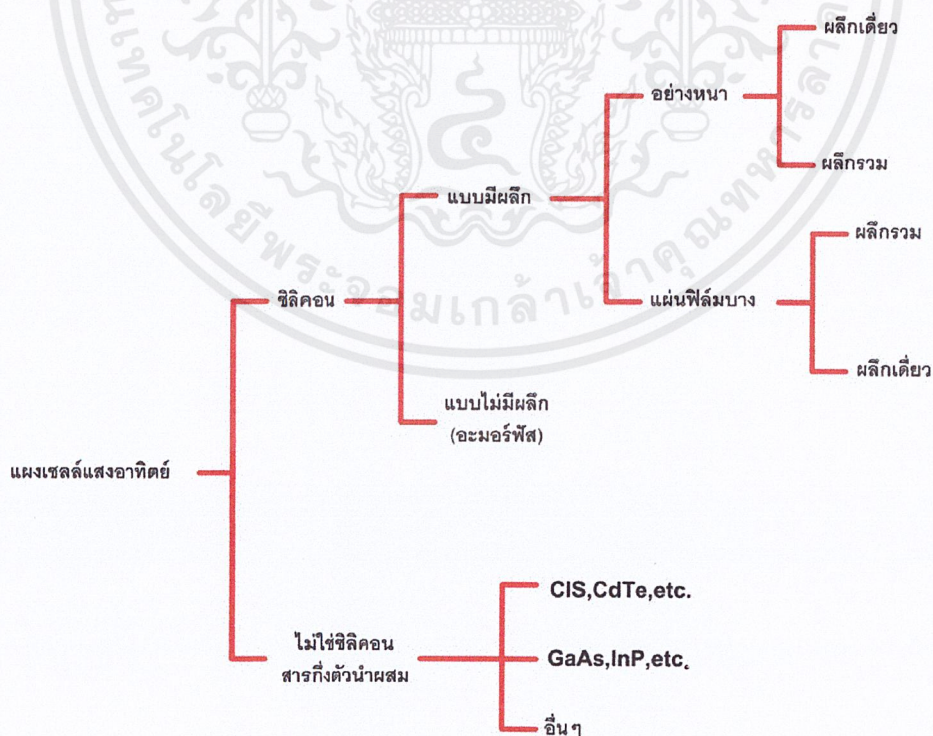
ซึ่งกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1954 โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาๆ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เทียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม

โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดในบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าได้

2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

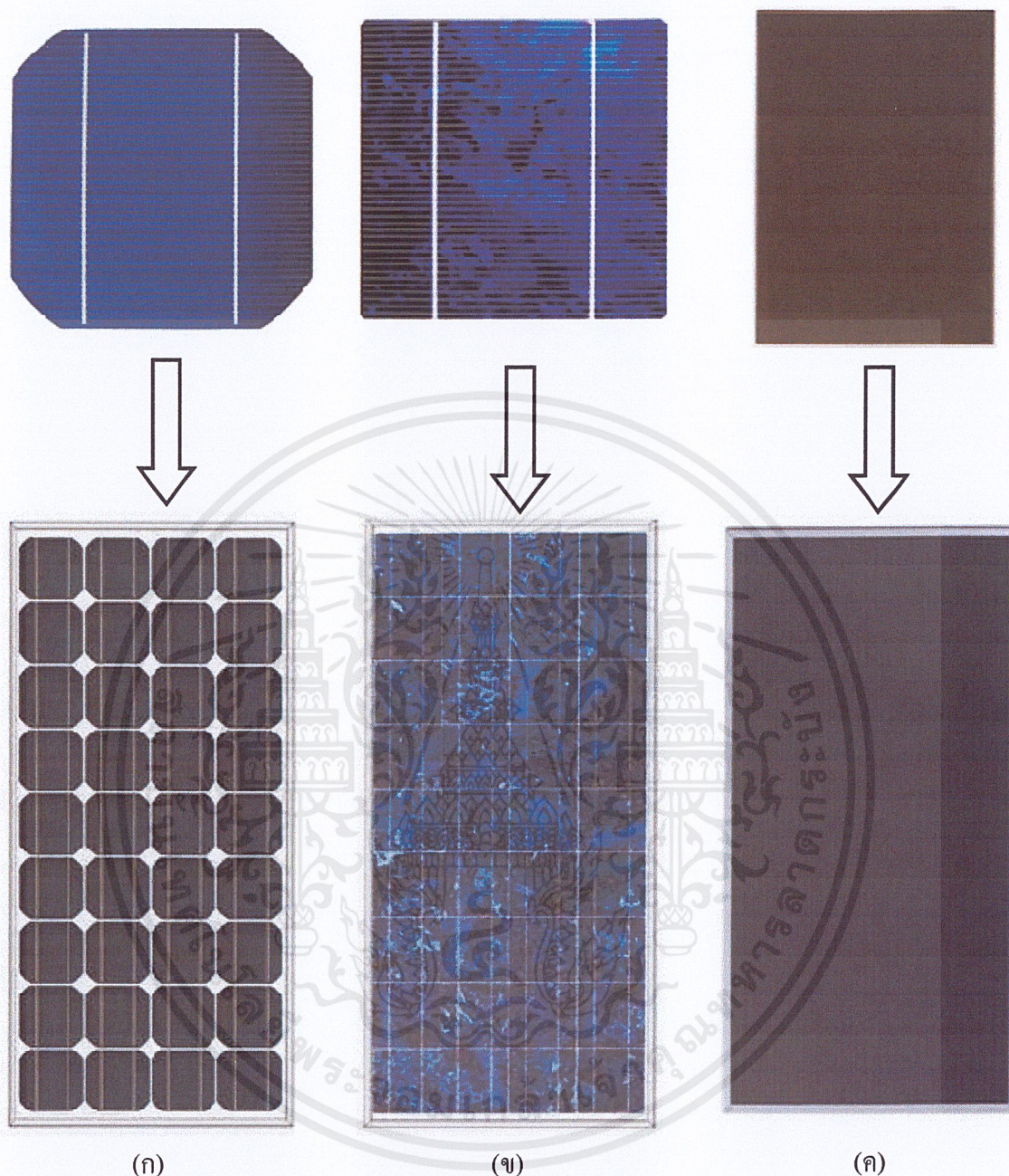
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.1

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

ซึ่งซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุด เพราะซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย และมีใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ และวงจรรวมไอซีที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิคอน ทั้งผลึกเดี่ยวและผลึกย่อย มีการผลิตออกใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเพราะมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12 – 15% ซึ่งเพียงพอต่อการประยุกต์แม้จะมีราคาแพงเมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าในระบบสายส่ง ปัจจุบันทำให้การใช้งานจึงจำกัดอยู่ในพื้นที่เฉพาะ เช่น ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะมีราคาถูกที่สุด เพราะซิลิคอนที่ไม่เป็นผลึกหรือเป็นสารอะมอร์ฟัสนั้นจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่ำและผลิตได้ง่าย แต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนนี้มีประสิทธิภาพการแปรพลังงานไม่สูงนัก คือ เพียง 5 – 10 % จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เราจึงเห็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ใช้งานกับเครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide: GaAs) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulphide: CdS) ทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide: CuInSe) ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำทั้งสิ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุแกลเลียมอาร์เซไนด์จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง 20 - 25 % ใช้งานกับแสงความเข้มสูงได้ดีทนทานกับรังสีอวกาศที่มีพลังงานสูง จึงเหมาะกับงานด้านอวกาศ แม้จะมีราคาแพงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนถึง 50 เท่า ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์และทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์นั้น จะมีราคาถูกพอๆ กับซิลิคอน เพราะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง และเตรียมได้ง่าย

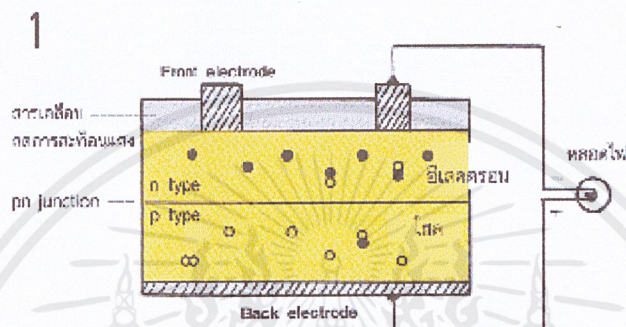


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ (ก) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (ข) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (ค) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส [1]

2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

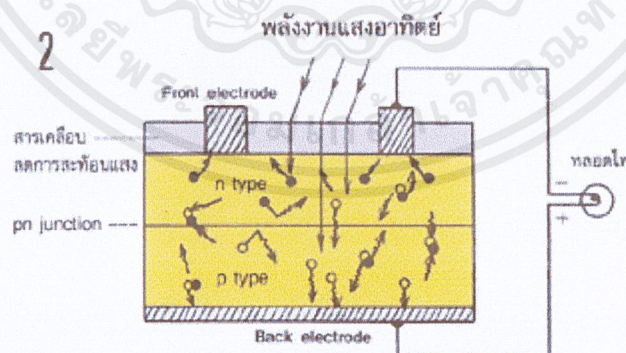
1. n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือสารกึ่งตัวนำที่ไ้การโคปปี้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วน p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ไ้การโคปปี้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



รูปที่ 2.3 แสดง n-type และ p-type ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

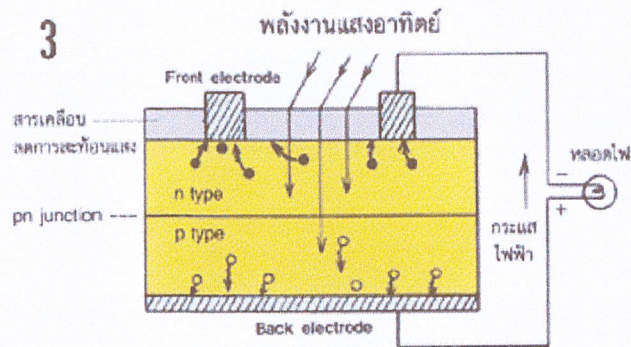
2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวและเมื่อมีพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลก็จะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type



รูปที่ 2.4 การทำงานของ n-type และ p-type เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ [1]

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และ โฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

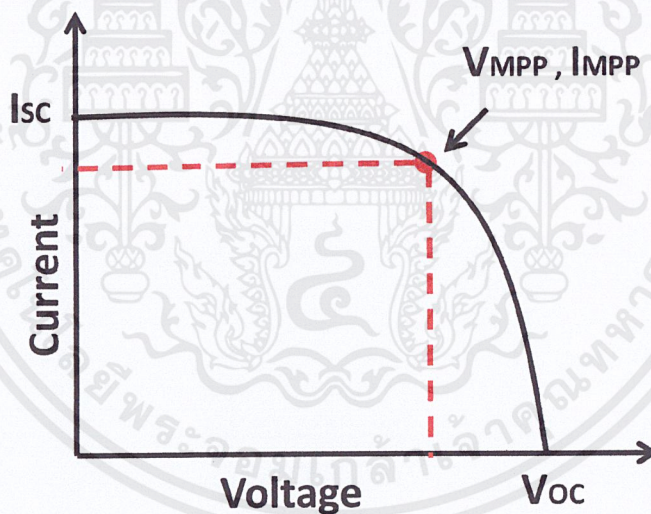
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังโหลด [1]

2.2.4 คุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาความสัมพันธ์จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน พบว่าค่ากระแสมีค่ามากที่สุดจนกระทั่งถึงกระแสลัดวงจร (I_{sc}) จะทำให้แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ และค่าแรงดันมีค่ามากที่สุดที่แรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) จะทำให้กระแสมีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งเป็นผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดทำงานต่างๆ จุดที่พื้นที่สี่เหลี่ยมดังกล่าวมีค่ามากที่สุดคือจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเกิดขึ้นที่ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{MPP} และ V_{MPP})

โดยที่ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงออกมาในรูปของสมการได้ดังนี้

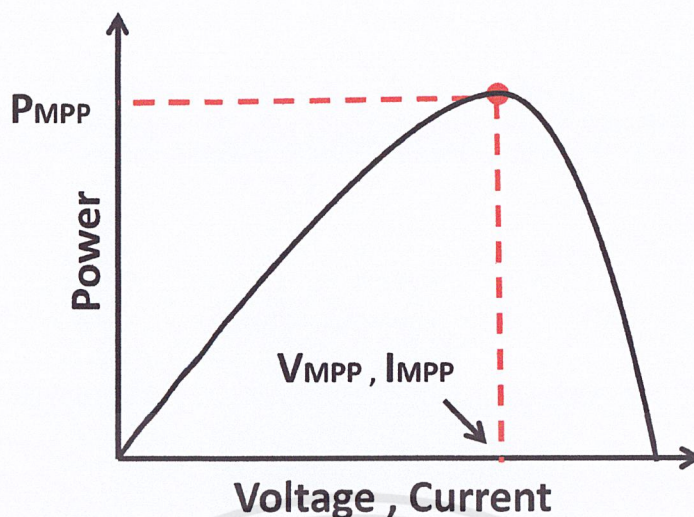
$$I_{PV} = I_L - I_0[\exp(V_{PV}/V_T) - 1] \quad (2.1)$$

$$V_{PV} = V_T \ln[(I_L - I_{PV})/I_0 + 1] \quad (2.2)$$

ตัวแปรต่างๆในสมการสำหรับคำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้

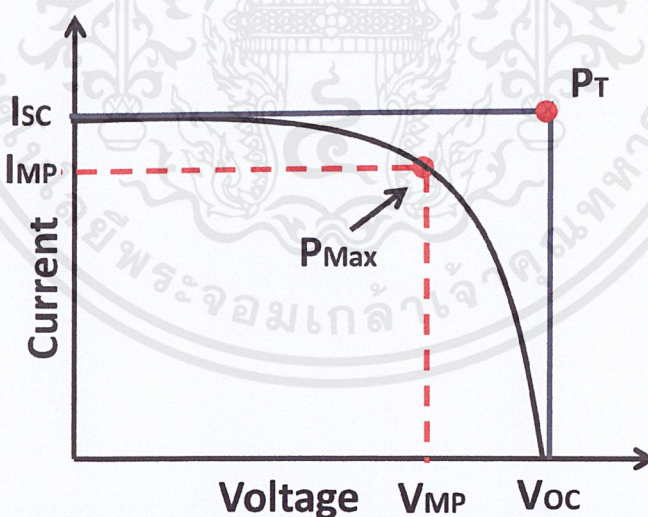
- I_{PV} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผง โซลาร์เซลล์ได้รับแสง (แอมป์)
- I_0 คือ กระแสเอ๊าท์พุท (แอมป์)
- I_L คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)
- V_{PV} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)
- V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$
- K_B คือ ค่าคงที่ของ โบลท์ทมาน
- T คือ อุณหภูมิ
- n คือ ideality factor
- q คือ ประจุอิเล็กตรอน (คูลอมบ์)

จากความสัมพันธ์ที่ว่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับกระแสคูณแรงดันใน I-V Curve ซึ่งการศึกษาในโครงการนี้ต้องการที่จะดึงกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด ดังนั้นเราจำเป็นต้องศึกษาถึงเทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงๆไม่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในสถานะใดก็ตาม ในสถานะต่างๆ อาทิเช่น เมื่อมีก้อนเมฆหรือต้นไม้มายังเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.7 เมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟของพื้นที่สี่เหลี่ยม (เส้นประ) ในแต่ละค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงานต่างๆ จะได้กราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งพล็อตระหว่างแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าก็จะได้ลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และจะพบว่าจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่จุด V_{MPP} กับจุด I_{MPP}



รูปที่ 2.8 แสดงการคิดค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

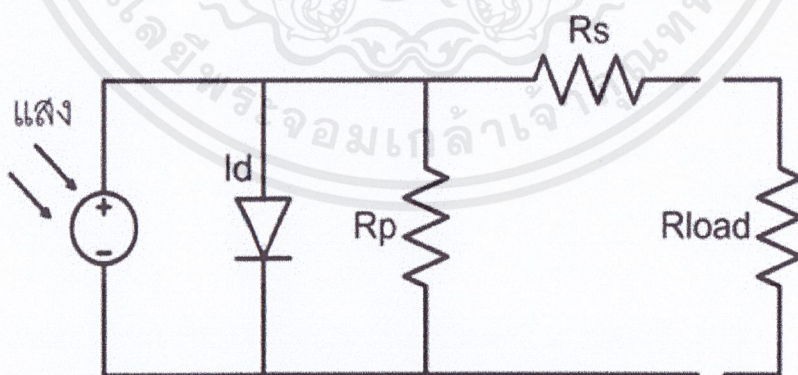
ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟ คือ ถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า “ฟิลแฟคเตอร์” (FF: Fill Factor) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนต่อไปนี้

$$FF = \frac{P_{\max}}{P_T} = \frac{I_{MP} \cdot V_{MP}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (2.3)$$

- เมื่อ FF คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
 P_m คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
 I_m คือ กระแสที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
 V_m คือ แรงดันที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
 P_o คือ ผลคูณของกระแส I_{sc} กับแรงดัน V_{oc}
 I_{sc} คือ ค่ากระแสลัดวงจร
 V_{oc} คือ แรงดันขณะวงจรเปิด

ค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V Curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายใต้ที่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{mp}) กระแสสูงสุด (I_{mp}) และแรงดันสูงสุด (V_{mp}) ในอุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังสูงสุดนี้



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด

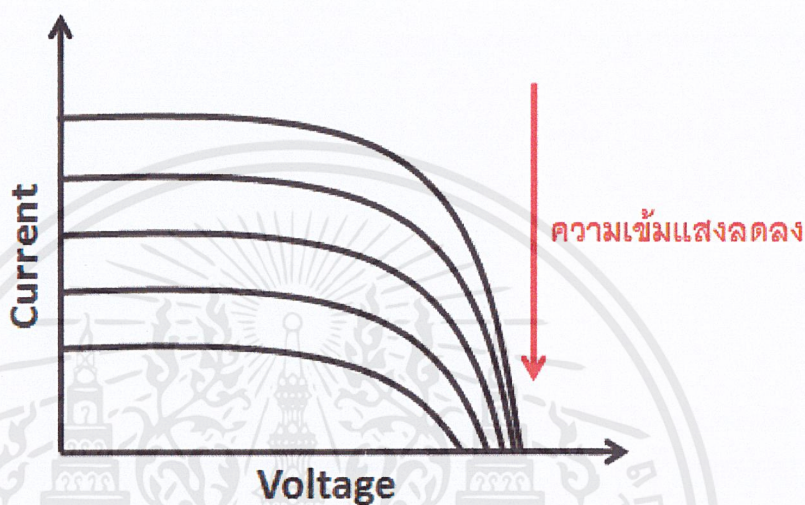
จากรูปที่ 2.9 เป็นรูปวงจรสมมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ R_s คือความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ R_p คือ ความต้านทานขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

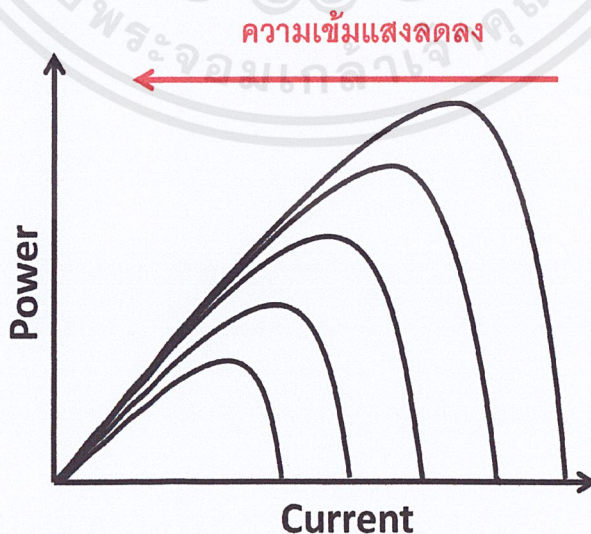
ในเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพการทำงานของมัน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้นหรือน้อยลง เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับและอุณหภูมิที่เซลล์อาทิตย์ได้รับ

2.2.5.1 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ

จากรูปที่ 2.10 ความเข้มแสงมีผลโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า เมื่อความเข้มแสงลดลง กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะลดลงตาม และทำให้พื้นที่ฟิล์มเซลล์ลดลงไปด้วย

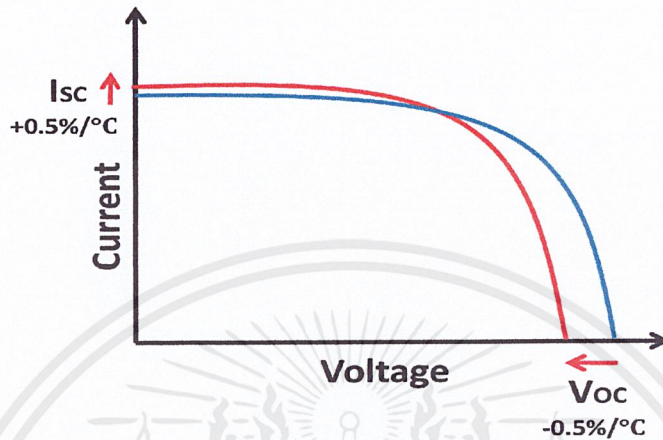


รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับกระแสไฟฟ้า เมื่อความเข้มแสงลดลงจะเห็นว่าทำให้จุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าลดลงด้วย

2.2.5.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

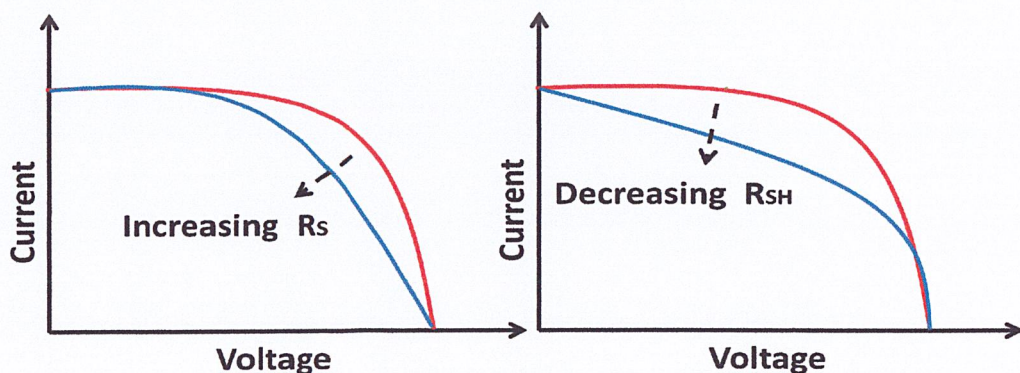


รูปที่ 2.12 แสดงคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 2.12 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจรจะลดลงในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.2.5.3 ผลของ Shunt Resistance (R_p) และ Series Resistance (R_s) ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

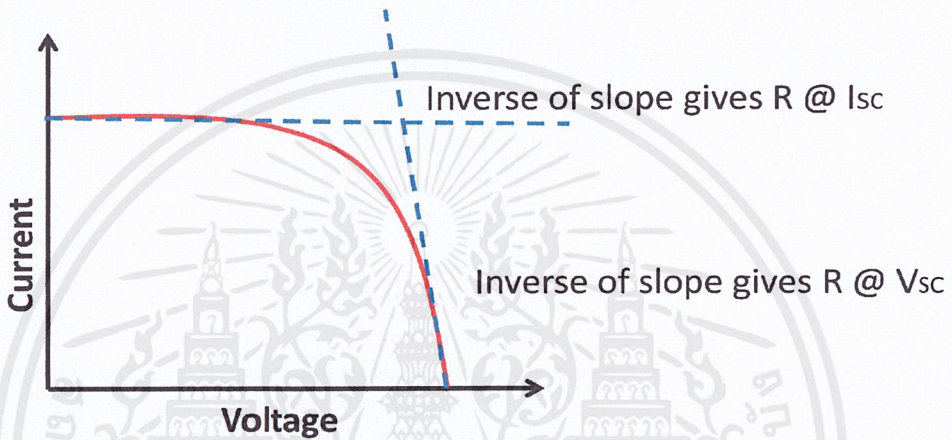
ระหว่างการทำงานประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเนื่องจากสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์นั่นก็คือความต้านทานขนาน (R_p) และความต้านทานอนุกรม (R_s) ซึ่งในทางอุดมคติแล้วความต้านทานขนานมีไม่จำกัดและมีกระแสไหลผ่าน ในขณะที่ความต้านทานอนุกรมเป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมหน้าโหลด



รูปที่ 2.13 แสดงผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานทั้งสองเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.13 การลดลงของความต้านทานขนาน และการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมมีผลทำให้ค่าพีลแพคเตอร์ลดลงและกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้าความต้านทานขนานลดลงมากๆ แรงดันเปิดวงจรจะตกลง และการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมที่มากเกินไปจะเป็นเหตุให้กระแสลัดวงจรตกลงแทน เป็นไปได้ที่จะประมาณค่าความต้านทานอนุกรมและขนานจากความชันของ I-V Curve ที่ V_{oc} และ I_{sc} ตามลำดับ โดยที่ความต้านทานที่ V_{oc} เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดกับความต้านทานอนุกรมแต่ความต้านทานอนุกรมจะมากกว่าความต้านทานขนาน ซึ่งถูกแสดงโดยความชันที่กระแสลัดวงจร ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของความชันที่มีผลต่อความต้านทานทั้งสอง

2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) นั้นถูกพิจารณาว่าเป็นประเด็นสำคัญประเด็นหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหลักการทำงานของการทำงานของการตามรอยกำลังไฟฟ้านั้นก็คือต้องทำให้จุดแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือที่เรียกกันว่าจุด Maximum Power Point (MPP) ในปัจจุบัน เทคนิคจำนวนมากได้ถูกนำเสนอขึ้นดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 เทคนิคแบบ Hill Climbing หรือ Perturb and Observe (P&O)

จากการศึกษาทบทวนบทความวิชาการที่ผ่านมาพบว่า ส่วนมากจะมุ่งเน้นเทคนิคนี้เป็นหลักโดยเทคนิค hill climbing จะเกี่ยวข้องกับการค่อยๆ ปรับค่าตัวชี้ไขเคลิลของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า ส่วนเทคนิค P&O จะเป็นการค่อยๆ ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าพบว่าการค่อยๆ เปลี่ยนค่าตัวชี้ไขเคลิลของอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นก็ถือเป็นการค่อยๆ เปลี่ยนค่ากระแสและแรงดันของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์นั่นเอง วิธีการของเทคนิค hill climbing และ P&O มีวิธีการปรับค่าที่แตกต่างกันก็จริง แต่โดยหลักการพื้นฐานแล้วให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน

พิจารณาจากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าการค่อยๆ เพิ่มขึ้น (ลดลง) ของแรงดันไฟฟ้าเป็นการเพิ่มค่า (ลดค่า) ของกำลังไฟฟ้าเมื่อทำงานทางด้านซ้ายมือของจุด MPP และจะเป็นการลดค่า (เพิ่มค่า) ของกำลังไฟฟ้าเมื่อทำงานทางด้านขวามือของจุด MPP ดังนั้นเพื่อให้ทำงานที่จุด MPP พบว่า หากมีการเพิ่มค่าของกำลังไฟฟ้า ให้รักษาทิศทางการค่อยๆ เพิ่มค่าของแรงดันหรือกระแสในทิศทางเดิม แต่หากมีการลดค่าของกำลังไฟฟ้า ก็ให้ทิศทางการเพิ่มค่าของแรงดันหรือกระแสตรงกันข้ามกับทิศทางเดิม ซึ่งแนวคิดนี้นำมาสรุปเป็นตารางที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สรุปแนวคิดของเทคนิค hill climbing และ P&O

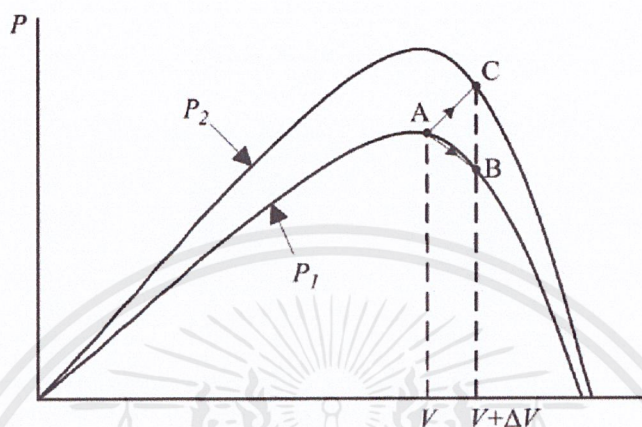
ทิศทางการค่อยๆ เปลี่ยนแปลง กระแสหรือแรงดัน	ทิศทางการเปลี่ยนแปลง กำลังไฟฟ้า	ทิศทางการปรับค่ากระแส หรือแรงดันครั้งต่อไป
บวก	บวก	บวก
บวก	ลบ	ลบ
ลบ	บวก	ลบ
ลบ	ลบ	บวก

หมายเหตุ บวกหมายถึงเพิ่มขึ้น, ลบหมายถึงลดลง

ตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงถึงแนวคิดของเทคนิคดังกล่าวซึ่งจะทำงานที่ค่าชั่วขณะ (instantaneous) จะไม่ใช่ค่าเฉลี่ย (average) ของค่าแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปซ้ำมาจนกระทั่งเข้าสู่จุด MPP โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะแกว่งอยู่รอบๆ จุด MPP ซึ่งเราสามารถลดค่าการแกว่งนี้ได้โดยการลดขนาดของช่วงก้าว (step size) ของการค่อยๆ ปรับค่า อย่างไรก็ตาม การลดขนาดช่วงก้าวจะส่งผลให้การเข้าสู่จุด MPP ที่ช้าลง แนวทางการแก้ปัญหาหนึ่งที่จะจัดการกับปัญหานี้ก็คือทำให้มีขนาดของช่วงก้าวที่ปรับค่าได้ ซึ่งแนวโน้มจะค่อยๆ น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้จุด MPP ดังแสดงในการควบคุมแบบ fuzzy logic ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดๆ ไป ซึ่งจะเป็นเทคนิคที่ได้นำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของขนาดช่วงก้าว นอกจากนี้ก็ยังมีแนวคิดของเทคนิคที่เรียกว่า แนวคิดสองช่วง (two-stage algorithm) ที่จะช่วยแก้ปัญหาคตามรอยจุด MPP ที่รวดเร็วขึ้น โดยในช่วงแรกจะเป็นการปรับช่วงก้าวแบบหยาบๆ เพื่อให้เกิดความรวดเร็ว และในช่วงที่สองเป็นการปรับช่วงก้าวอย่างละเอียดเพื่อให้ได้ค่า MPP ที่ถูกต้องแม่นยำ

อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ยังมีข้อเสียที่ว่า ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่รวดเร็วได้ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจถูกเมฆบังบางส่วน ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การถู้ออกจากจุด MPP ของเทคนิค hill climbing / P&O

จากรูปที่ 2.15 เริ่มต้นจากจุดการทำงาน ณ จุด A ถ้าสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างคงตัว การค่อยๆ เปลี่ยนค่า ΔV ของแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะวิ่งไปสู่จุดทำงานใหม่คือจุด B และการค่อยๆ ปรับค่าก็จะเป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามเพราะการลดลงของกำลังไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม หากความเข้มแสง (irradiance) เพิ่มขึ้นและย้ายค่าไปจากกราฟไฟฟ้า P_1 ไปเป็น P_2 ภายใน 1 คาบของการสุ่ม (sampling period) จุดการทำงานจะย้ายจากจุดไปยังจุด C กราฟกำลังไฟฟ้า P_2 ก็เป็นการแทนถึงการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้า ดังนั้นการค่อยๆ ปรับแรงดันจึงต้องรักษาทิศทางไปในทิศทางเดิม ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือจุดการทำงานจะถู้ออกจากจุด MPP และจะรักษาการถู้ออกนี้ไปเรื่อยๆ ถ้าหากความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นคงที่ เพื่อที่จะทำให้มั่นใจว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นจุด MPP ที่แท้จริงภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงแบบทันทีทันใด ได้มีการนำเสนอการใช้วิธี P&O แบบเปรียบเทียบค่านำหนักจุดเริ่มต้น 3 จุด ซึ่งจะช่วยให้เปรียบเทียบจุดกำลังไฟฟ้าที่แท้จริงกับอีก 2 จุดที่เหลือก่อนที่จะตัดสินใจว่าจะให้มีการค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด (บวกหรือลบ) [3]

2.3.2 เทคนิคแบบ Incremental Conductance (IncCond)

เทคนิคนี้อยู่บนพื้นฐานของค่าความชันของกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดย ณ จุด MPP ค่าความชันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ความชันเป็นบวกเมื่ออยู่ทางด้านซ้ายมือของจุด MPP และความชันเป็นลบเมื่ออยู่ทางด้านขวามือของจุด MPP ดังสมการที่ (2.4) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{cases} \frac{dP}{dV} = 0, & \text{ที่จุด MPP} \\ \frac{dP}{dV} > 0, & \text{ด้านซ้ายมือของจุด MPP} \\ \frac{dP}{dV} < 0, & \text{ด้านขวามือของจุด MPP} \end{cases} \quad (2.4)$$

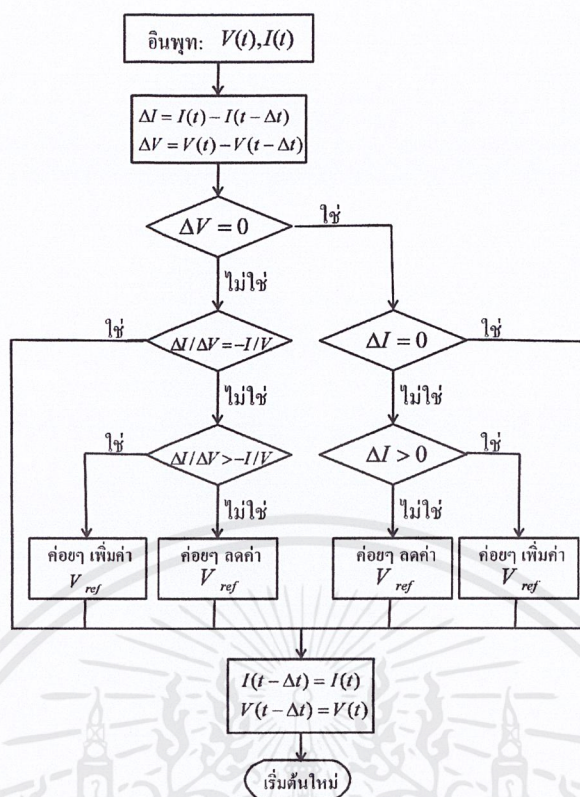
เมื่อ

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$\begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}, & \text{ที่จุด MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}, & \text{ด้านซ้ายมือของจุด MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}, & \text{ด้านขวามือของจุด MPP} \end{cases} \quad (2.6)$$

ดังนั้นการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า conductance ที่เป็นค่าชั่วขณะ (I/V) กับค่า conductance ที่เป็นค่าค่อยๆ เปลี่ยนแปลง ($\Delta I / \Delta V$) ซึ่งแสดงในแผนภาพ flowchart ดังรูปที่ 2.16 โดยให้ V_{ref} คือค่าแรงดันอ้างอิงซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกบังคับให้ทำงานที่ค่านี้ จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า ที่จุด MPP ค่า V_{ref} จะมีค่าเท่ากับ V_{MPF} และการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกคงค่าให้ทำงานที่ค่านี้ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ ΔI ดังแสดงใน flowchart การเปลี่ยนแปลงของ ΔI เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและจุด MPP แนวคิดของการค่อยๆ เพิ่มค่าและค่อยๆ ลดค่าของ V_{ref} ก็เพื่อที่จะตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของจุด MPP จุดใหม่



รูปที่ 2.16 แนวคิดของเทคนิค IncCond

ขนาดช่วงก้าวที่ค่อยๆ เปลี่ยนแปลง (incremental size) จะเป็นตัวกำหนดถึงความเร็วในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ถ้าต้องการให้มีการตามรอยจุด MPP อย่างรวดเร็ว ก็ให้ขนาดช่วงก้าวที่มีค่ากว้างๆ แต่ผลที่ได้คือ จุด MPP ที่ได้จะไม่ถูกต้องแม่นยำนักและจะเกิดการแกว่งรอบๆ จุด MPP ซึ่งนั่นก็เป็นข้อแลกเปลี่ยนกันของข้อได้ข้อเสีย นอกจากนั้น ยังได้มีการเสนอวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้จุดการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ใกล้กับจุด MPP ในช่วงแรก แต่อาจจะไม่ใช่จุด MPP ที่แท้จริง แต่หลังจากนี้ค่อยนำเทคนิค IncCond มาใช้เพื่อตามรอยจุด MPP ที่แท้จริงแม่นยำในช่วงที่สอง อาศัยการควบคุมอย่างเหมาะสมของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยจุดการทำงานเริ่มต้นจะเป็นการตั้งค่าการต่อเข้ากับ โหลดความต้านทานซึ่งเป็นสัดส่วนกันกับอัตราส่วนของแรงดันเปิดวงจร (V_{OC}) กับกระแสลัดวงจร (I_{OC}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเทคนิคของวิธีการสองช่วง (two-state method) ซึ่งจะทำให้มั่นใจว่าจุด MPP เป็นจุด MPP ที่แท้จริงในกรณีที่เกิด multiple local maxima ในบางบทความได้นำฟังก์ชันเชิงเส้นมาใช้เพื่อที่จะแบ่งระนาบ I-V ไปเป็นพื้นที่ 2 ส่วน โดยในพื้นที่ส่วนแรกจะเป็นส่วนของจุด MPP ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงและให้จุดการทำงานเกิดขึ้นในพื้นที่ส่วนแรกนี้ แล้วหลังจากนั้นค่อยนำเทคนิค IncCond มาใช้เพื่อหาจุด MPP ที่แท้จริง

ถึงแม้ว่าเทคนิค IncCond ยังให้ผลได้ไม่ชัดเจนนัก แต่ก็มีวิธีการใช้เทคนิคนี้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นคือให้ใช้ค่า conductance ที่เป็นค่าชั่วขณะและค่า conductance ที่ค่อยๆ เปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะทำให้เกิดสัญญาณผิดพลาด (error) ดังสมการที่ (2.7)

$$e = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (2.7)$$

เนื่องจากเรารู้ที่จุด MPP ค่าผิดพลาดนี้จะมีค่าน้อยลงและเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นเราจึงสามารถประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบ PI (proportional integral) ได้ เพื่อทำให้ค่าผิดพลาดเป็นศูนย์

สำหรับการวัดค่าของแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าชั่วขณะนั้น ต้องการอุปกรณ์ตรวจจับ 2 ตัว ซึ่งเทคนิคนี้จะทำงานได้ดีกับอุปกรณ์ DSP และการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถเก็บค่าการตามรอยจุด MPP ก่อนหน้านี้ได้ง่ายเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าและตัดสินใจดังแสดงใน flowchart การทำงาน

2.3.3 เทคนิคแบบ Fractional Open-Circuit Voltage

เทคนิคนี้อยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันของ V_{MPF} และ V_{OC} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำงานภายใต้ความเข้มแสงและระดับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (2.8)$$

ซึ่ง k_1 คือ ค่าของที่ของสัดส่วน (proportionality constant)

เนื่องจากค่า k_1 นั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ โดยปกติแล้วค่า k_1 จะถูกคำนวณไว้ล่วงหน้าโดยการสังเกตแลหาค่า V_{MPF} และ V_{OC} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าความเข้มแสงและระดับอุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าตัวประกอบ k_1 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.78

เมื่อค่า k_1 ทราบแล้ว เราจึงสามารถหาค่า V_{MPF} ได้จากสมการที่ (2.8) กับค่า V_{OC} ซึ่งถูกวัดเป็นช่วงๆ โดยการปิดอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าเพียงชั่วขณะ อย่างไรก็ตาม การทำแบบนี้ก่อให้เกิดข้อเสียบางประการรวมไปถึงการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะอีกด้วย เพื่อป้องกันปัญหานี้ จึงใช้เซลล์แสงอาทิตย์ทดลอง (pilot cells) เพื่อหาค่า V_{OC} เซลล์แสงอาทิตย์ทดลองนี้จะต้องถูกเลือกมาอย่างละเอียดถี่ถ้วนเพื่อให้เป็นตัวแทนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานจริง และได้ค่าคุณลักษณะต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง ในบางงานวิจัยได้มีการเสนอว่าค่าแรงดันที่ได้จากไดโอดของรอยต่อ

พีเอ็น (pn-junction diodes) จะมีค่าประมาณ 75% ของค่า V_{OC} ซึ่งทำให้เราไม่จำเป็นต้องวัดค่า V_{OC} ออกมาจริงๆ และคำนวณค่า V_{MPP} เมื่อค่า V_{MPP} ถูกคำนวณเรียบร้อยแล้ว การควบคุมแบบลูปปิด (closed-loop control) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าแรงดันที่ต้องการได้ตลอดเวลา

เนื่องจากในสมการที่ (2.8) นั้นเป็นค่าประมาณเท่านั้น ค่าที่ได้ในทางปฏิบัติจึงไม่ใช่ค่าที่เป็นการทำงานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อันนี้ก็ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งบางครั้งก็เพียงพอสำหรับการใช้งานในบางประเภท ถึงแม้ว่าเทคนิคนี้จะไม่ได้ค่าจุด MPP ที่แท้จริง แต่ข้อดีของวิธีนี้ก็คือความง่ายและราคาถูกในการนำไปใช้งาน และไม่ต้องมีการควบคุมของอุปกรณ์ DSP หรือไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ค่า k_1 จะไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องอีกต่อไปในสถานะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการบังเงาบางส่วน (ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา multiple local maxima) และต้องใช้เวลาในการหาค่า k_1 ใหม่ ซึ่งแน่นอนว่าจะทำให้เกิดการประยุกต์ใช้งานที่ยุ่ยากซับซ้อนยิ่งขึ้น และเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

2.3.4 เทคนิคแบบ Fractional Short-Circuit Current

เทคนิคนี้เกิดขึ้นมาจากการสังเกตที่ว่า ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีผลต่อแผงเซลล์อาทิตย์ ค่า I_{MPP} จะมีค่าประมาณเป็นแบบเชิงเส้นกับค่า I_{SC} ดังสมการที่ (2.9)

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (2.9)$$

ซึ่ง k_2 คือ ค่าของทีของสัดส่วน (proportionality constant)

เทคนิคนี้มีความคล้ายคลึงกับเทคนิค fractional V_{OC} กล่าวคือค่า k_2 จะถูกกำหนดขึ้นมาแล้วแต่การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าค่าโดยทั่วไปของ k_2 อยู่ระหว่าง 0.78-0.92

อย่างไรก็ตาม การวัดค่า I_{SC} ระหว่างการคำนวณของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงเป็นปัญหาอยู่ โดยปกติจะมีการเพิ่มตัวอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะลดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถวัดค่า I_{SC} ได้จากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส แต่ข้อเสียของเทคนิคนี้ก็ คือ การเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปนั้นจะทำให้ราคาต้นทุนที่เพิ่มขึ้น และมีการนำเอาวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (boost converter) มาใช้ซึ่งจะมีสวิทช์ในตัวอุปกรณ์ที่เราจะนำมาใช้ในการลดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

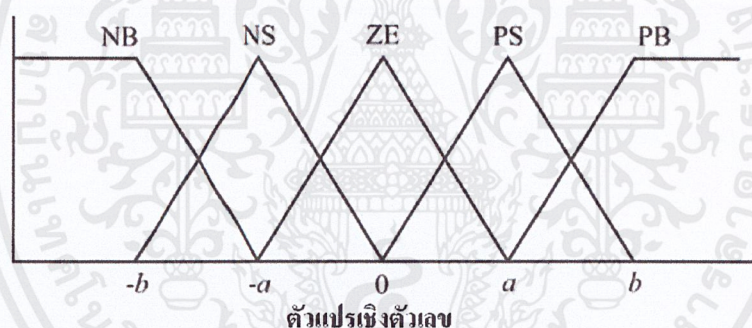
กำลังไฟฟ้าขาออกไม่เพียงแต่ลดลง ในช่วงที่หาค่า I_{SC} แต่ยังทำให้ได้จุด MPP ที่ไปเกิดการเชื่อมต่อย่างสมบูรณ์อีกด้วย ในบางงานวิจัยได้มีการนำเสนอถึงวิธีการที่จะหาค่า k_2 นี้ เพื่อให้ได้การตามรอยจุด MPP ที่ดีขึ้นภายใต้สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง และเพื่อเป็นการยืนยันถึงการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสมเมื่อเกิด multiple local maxima การกวาดค่าแรงดันของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเป็นช่วงๆ ตั้งแต่ค่าเปิดวงจรจนถึงค่าลัดวงจรเพื่อเป็นการหาค่าใหม่ของค่า k_2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่ที่ใช้เทคนิค fractional I_{sc} นั้นจะนิยมใช้ DSP แต่ในบางงานวิจัยก็จะใช้รูปการควบคุมแบบป้อนกลับกระแสแทน

2.3.5 เทคนิคแบบ Fuzzy Logic Control / Neural Network

อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้งานการควบคุมแบบ fuzzy logic ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากความโดดเด่นหลายประการ อาทิ อุปกรณ์ตัวควบคุมแบบ fuzzy logic จะทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยอินพุตที่มีความแม่นยำนัก และไม่จำเป็นต้องมีแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง นอกจากนั้นยังใช้จัดการกับฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีอีกด้วย

โดยทั่วไปการควบคุมของ fuzzy logic จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนของการทำงาน คือ fuzzification, rule base table lookup และ defuzzification โดยในขั้นตอนที่ 1 ตัวแปรต่างๆ ของอินพุตเชิงตัวเลขจะถูกแปลงเป็นตัวแปรทางด้านภาษา (linguistic variables) ซึ่งขึ้นอยู่กับฟังก์ชันสมาชิก (membership function) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ fuzzy logic

สำหรับในกรณีนี้ได้ใช้ระดับของ fuzzy ทั้งหมด 5 ระดับคือ NB (negative big), NS (negative small), ZE (zero), PS (positive small) และ PB (positive big) และถ้ายิ่งใช้ระดับของ fuzzy มากขึ้นเท่าใด ความแม่นยำที่ได้ก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ในรูปที่ 2.17 a และ b จะขึ้นอยู่กับช่วงของค่าตัวแปรเชิงตัวเลขและในบางครั้งกราฟสมาชิกอาจมีความสมมาตรน้อยลงเพื่อเป็นการให้นำน้ำหนักความสำคัญกับระดับของ fuzzy ที่เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น

สำหรับอินพุตของตัวควบคุม fuzzy logic ของ MPPT นั้น โดยปกติจะเป็นค่าผิดพลาด (error) และค่าเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (ΔE) ผู้ใช้งานจะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานในการเลือกว่าจะคำนวณค่า E และ ΔE ได้อย่างไร

ตารางที่ 2.2 Fuzzy Rule Base Table

$E \backslash \Delta E$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

ที่จุด MPP สามารถประมาณค่าผิดพลาดได้ดังนี้

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (2.10)$$

และ

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (2.11)$$

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ค่าผิดพลาดของสมการที่ (2.7) จะนิยมใช้มากกว่า แต่ในระบบควบคุม fuzzy logic จะต้องใช้ค่า E และ ΔE ในการแปลงไปเป็นตัวแปรภาษาซึ่งจะเป็นเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ fuzzy logic โดยปกติก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าของคิวดัไซเคิล (ΔD) ของอุปกรณ์แปลงผันกำลังฟ้า สามารถมองหได้จาก rule base table ดังแสดงในตารางที่ 2

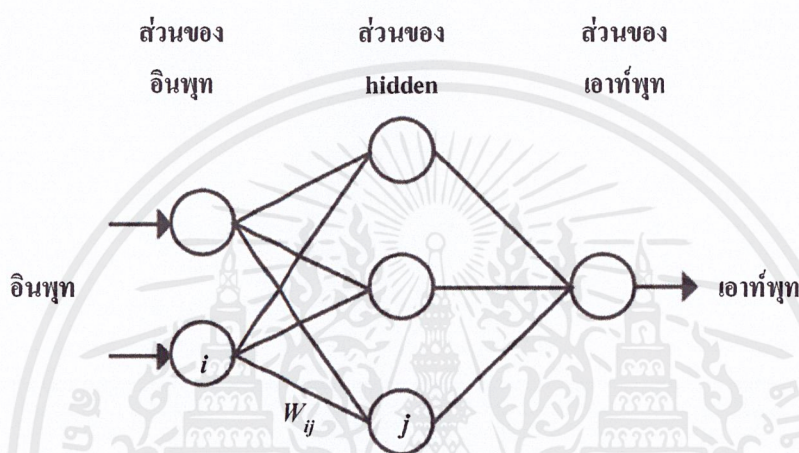
ตัวแปรภาษาซึ่งถูกกำหนดค่า ΔD สำหรับการทำงานร่วมกันของ E และ ΔE อยู่บนพื้นฐานของอุปกรณ์แปลงผันกำลังฟ้าที่ถูกนำมาใช้และนอกจากนั้นก็ขึ้นอยู่กับความรู้ของผู้ใช้งานอีกด้วย ตารางที่ 2.2 จะเป็นของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ถ้าจุดการทำงานออกไปทางด้านซ้ายของจุด MPP นั่นคือ E เป็นค่า PB และ ΔE เป็นค่า ZE หลังจากนั้นเราจึงต้องการเพิ่มค่าของคิวดัไซเคิลอย่างมาก นั่นคือ ΔD จึงควรเป็น PB เพื่อจะให้ลู่เข้าสู่จุด MPP

ในขั้นตอนสุดท้าย defuzzification เอาท์พุทของตัวควบคุม fuzzy logic จะถูกแปลงจากตัวแปรด้านภาษาไปเป็นตัวแปรเชิงตัวเลข โดยยังคงใช้กราฟสมาชิกอยู่และนี่ก็เป็นการนำเอาสัญญาณแอนาลอกซึ่งจะใช้ควบคุมอุปกรณ์แปลงผันกำลังฟ้าให้ทำงานที่จุด MPP ต่อไป

ตัวควบคุม MPPT และ fuzzy logic นี้จะถูกนำมาใช้อย่างดีกับสภาพแวดล้อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบ fuzzy logic นี้ จะขึ้นอยู่กับความรู้ของผู้ใช้งานและวิศวกรด้านระบบควบคุมอย่างมากในการเลือกการคำนวณค่าผิดพลาดที่ถูกต้องและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาคำตอบในตาราง rule base ในงานบางงานวิจัยได้นำเสนอถึงระบบควบคุม fuzzy logic แบบ adaptive ซึ่งสามารถทำการปรับค่าของฟังก์ชันสมาชิกและ rule base table ได้อย่างคงที่ เพื่อที่จะให้เกิดสมรรถนะสูงสุด

ส่วนเทคนิคของโครงข่ายประสาท (Neural Network) นั้น จะสามารถใช้งานได้ดีกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ วิธีการทางโครงข่ายประสาทโดยปกติจะมีอยู่ 3 ช่วง คือ ช่วงที่เป็นอินพุท ช่วง hidden และช่วงเอาต์พุท ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของระบบโครงข่าย (Neural Network) [5] - [9]

การที่จุดการทำงานจะทำงานใกล้เคียงกับจุด MPP ได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับแนวคิดที่นำมาใช้ในส่วนของ hidden และขึ้นอยู่กับว่าระบบโครงข่ายประสาทนั้นถูกฝึกฝนให้เรียนรู้ได้ดีมากแค่ไหน ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดนั้นจะมีค่าน้ำหนักทั้งหมด จะเห็นว่าส่วนที่เชื่อมระหว่างโหนด i และ j ถูกตั้งชื่อให้มื่อน้ำหนักเป็น W_{ij} ซึ่งจะต้องถูกกำหนดค่าอย่างละเอียดในกระบวนการฝึกฝน ซึ่งเราสามารถทำได้โดยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทดสอบเป็นเวลานานๆ มากกว่าเดือนหรือมากกว่าปี และรูปแบบระหว่างอินพุทและเอาต์พุทของระบบโครงข่ายประสาทก็จะถูกบันทึกเอาไว้ทั้งหมด

เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่มีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้โครงข่ายประสาทจะต้องมีการฝึกฝนที่มีความจำเพาะเจาะจงสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะถูกประยุกต์ใช้กับโครงข่ายประสาทดังกล่าว นอกจากนั้น คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังเปลี่ยนแปลงกับเวลาอีกด้วย ดังนั้นจึงสามารถกล่าวเป็นนัยได้ว่าระบบโครงข่ายประสาทจะต้องถูกฝึกฝนเป็นช่วงๆ เพื่อเป็นการยืนยันถึงความแม่นยำในการตามรอยจุด MPP

2.3.6 เทคนิค RCC

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า ซึ่งการทำงานของ การสวิตช์ของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้านั้นจะกำหนดให้เกิดค่ากระแสเพื่อมของแรงดันและ กระแสบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่า กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะขึ้นอยู่กับค่าการกระเพื่อมนี้ด้วย การควบคุมสหสัมพันธ์ของการกระเพื่อม (Ripple Correlation Control: RCC) จะเกี่ยวข้องกับค่าอนุพันธ์ของเวลาของกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปรผันตาม เวลา p กับค่าอนุพันธ์ของเวลาของกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ i หรือแรงดัน v ที่จะใช้ในการ ขับความชันของกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเป็นศูนย์ เข้าใกล้จุด MPP

อ้างอิงจากรูปที่ 2.7 ถ้า v หรือ i กำลังเพิ่มขึ้น ($\dot{v} > 0$ หรือ $\dot{i} > 0$) และ p ก็กำลังเพิ่มขึ้น ($\dot{p} > 0$) จากนั้นค่าของจุดการทำงานจะมีค่าน้อยกว่าค่าของจุด MPP ($V < V_{MPP}$ หรือ $I < I_{MPP}$) ในทางกลับกัน ถ้า v หรือ i กำลังเพิ่มขึ้นและ p กำลังลดลง ($\dot{p} < 0$) ดังนั้นค่าของจุดการทำงาน จะมีค่ามากกว่าค่าของจุด MPP ($V > V_{MPP}$ หรือ $I > I_{MPP}$) การผสมผสานกันของข้อสังเกตเหล่านี้ เราจะได้ว่า $\dot{p}\dot{v}$ หรือ $\dot{p}\dot{i}$ มีค่าเป็นบวกเมื่ออยู่ทางด้านซ้ายของจุด MPP และมีค่าเป็นลบเมื่ออยู่ ทางด้านขวาของจุด MPP และมีค่าเป็นศูนย์เมื่ออยู่ที่จุด MPP

ในกรณีที่อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าเป็นวงจรทระดับแรงดันนั้น การเพิ่มค่าตัวดี ไซเคลก็คือการเพิ่มค่ากระแสเหนี่ยวนำซึ่งเป็นค่าที่มีความสมมูลกับค่ากระแสของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ และเมื่อค่ากระแสเพิ่ม ค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะลดลง ดังนั้น อินพุตการ ควบคุมของค่าตัวดีไซเคลเป็นไปดังสมการที่ (2.12) และ (2.13)

$$d(t) = -k_3 \int \dot{p}\dot{v} dt \quad (2.12)$$

$$d(t) = k_3 \int \dot{p}\dot{i} dt \quad (2.13)$$

ซึ่ง k_3 คือค่าคงที่ที่มีเป็นบวก

การควบคุมค่าตัวดีไซเคลในลักษณะนี้ เป็นการยืนยันว่าการตามรอยจุด MPP จะเกิดขึ้น อย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้เทคนิคนี้ถูกพิจารณาว่าเป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง (true MPP technique)

สมการที่ (2.12) และ (2.13) นั้น โดยปกติเป็นค่าที่ไม่ต้องการ แต่สมการทั้งสองเป็นการ แสดงให้เห็นถึงค่าที่สามารถใช้แทนการวัดค่า ac-couples ของกระแสและแรงดันแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ได้ เพราะสมการดังกล่าวจะมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมุมเฟสที่ต้องการ ค่าอนุพันธ์สามารถ ประมาณค่าได้โดยใช้วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) ด้วยความถี่คัตออฟมากกว่า ความถี่กระเพื่อม (ripple frequency) วิธีการที่ง่ายและแตกต่างจากวิธีทั่วไป ในการหาค่าอนุพันธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสในสมการที่ (2.12) ก็คือ รับค่าแรงดันเหนี่ยวนำซึ่งเป็นสัดส่วนกันกับค่าอนุพันธ์ของกระแสและความไม่เป็นอุดมคติของตัวเหนี่ยวนำ (ความสูญเสียของแกนเหล็ก, ค่าความต้านทาน) จะส่งผลกระทบต่อเล็กน้อยเพราะว่าค่าเวลาคงตัว (time constant) ของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากกว่าคาบของการสวิตช์ซิ่งหลายๆ ในอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าในเชิงปฏิบัติ

วงจรแอนาล็อกที่ง่ายและราคาถูกสามารถนำมาใช้ได้กับเทคนิค RCC นี้ จากผลการทดลองของงานวิจัยในบางบทความแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่แม่นยำและรวดเร็วของเทคนิคที่ได้จากการตามรอยจุด MPP แม้แต่อยู่ในสถานะที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม ซึ่งเวลาที่ใช้ในการค่อยๆ ลู่เข้าสู่จุด MPP จะถูกจำกัด โดยความถี่สวิตช์ซิ่งของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าและค่าอัตราขยาย (gain) ของวงจร RCC นอกจากนี้จุดเด่นของเทคนิคนี้ก็คือไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ล่วงหน้า ซึ่งก็ทำให้การปรับเปลี่ยนการประยุกต์ใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่างๆ กันได้อย่างทันสมัย

2.3.7 เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep)

วิธีการของเทคนิคการกวาดกระแส นั้น จะใช้รูปคลื่นการกวาด (sweep waveform) สำหรับกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อที่จะให้ได้กราฟคุณลักษณะของ I-V ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และมีการปรับเปลี่ยนรูปคลื่นไปตามช่วงของเวลา ค่าแรงดัน V_{MPP} ก็สามารถคำนวณได้ต่อมาจากกราฟคุณลักษณะในช่วงเวลาเดียวกัน

ฟังก์ชันซึ่งถูกเลือกมาสำหรับรูปคลื่นการกวาดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอนุพันธ์ของตัวมันเอง ดังสมการที่ (2.14)

$$f(t) = k_4 \frac{df(t)}{dt} \quad (2.14)$$

เมื่อ k_4 คือค่าคงที่ของสัดส่วน

และค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (2.15)

$$p(t) = v(t)i(t) = v(t)f(t) \quad (2.15)$$

ที่จุด MPP

$$\frac{dp(t)}{dt} = v(t) \frac{df(t)}{dt} + f(t) \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (2.16)$$

แทนค่าสมการที่ (2.14) ลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$\frac{dp(t)}{dt} = \left[v(t) + k_4 \frac{dv(t)}{dt} \right] \frac{df(t)}{dt} = 0 \quad (2.17)$$

สมการอนุพันธ์ในสมการที่ (2.14) สามารถหาคำตอบได้ดังนี้

$$f(t) = C \exp(t/k_4) \quad (2.18)$$

เมื่อ C มีค่าเท่ากับค่ากระแสสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{\max})

k_4 มีค่าเป็นลบ ซึ่งทำให้เกิดการลดลงแบบฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของเวลา $\tau = -k_4$ ซึ่งจากสมการที่ (2.18) ก็จะได้

$$f(t) = I_{\max} \exp(-t/\tau) \quad (2.19)$$

กระแสในสมการที่ (2.19) ได้มาจากการใช้กระแสที่เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุและเนื่องจากค่าอนุพันธ์ในสมการที่ (2.19) ไม่เป็นศูนย์ สมการที่ (2.17) จึงแบ่งได้ออกเป็น $\frac{df(t)}{dt}$ และ $f(t) = i(t)$ และสามารถทำให้อยู่ในรูปอย่างง่ายคือ

$$\frac{dp(t)}{di(t)} = v(t) + k_4 \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (2.20)$$

หลังจากที่ V_{MPP} คำนวณได้หลังจากการกวาดกระแสแล้ว สมการที่ (2.20) สามารถใช้ ในการตรวจสอบคำตอบอีกครั้งว่า การตามรอยจุด MPP เป็นผลสำเร็จหรือไม่ ในบางงานวิจัยได้ เสนอว่าเทคนิคการกวาดกระแสนี้จะถูกนำมาใช้กับการคำนวณแบบแอนะล็อก และใช้เวลาในการ กวาดกระแสประมาณ 50 ms ซึ่งแน่นอนว่าช่วงเวลากวาดทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในกำลังไฟฟ้า นอกจากนั้นมีการศึกษาพบว่า เทคนิคนี้อาจเป็นเพียงเทคนิคเดียวเท่านั้นในการดึงเอากำลังไฟฟ้า สูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งระบบในสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมรอบข้างได้

2.3.8 เทคนิคการควบคุมแบบป้อนกลับ $\frac{dP}{dV}$ หรือ $\frac{dP}{dI}$

เนื่องด้วยอุปกรณ์ DSC และไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถที่จะจัดการกับการคำนวณที่ยู่ยากซับซ้อนได้ วิธีการที่ชัดเจนในการทำ MPPT ก็คือ การคำนวณค่าความชัน ($\frac{dP}{dV}$ หรือ $\frac{dP}{dI}$) ของกราฟกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.7 และทำการป้อนกลับค่าที่ได้ไปยังอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยการควบคุมดังกล่าวเพื่อที่จะทำให้ค่าความชันเป็นศูนย์

วิธีการหาค่าความชันมีการคำนวณที่แตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัย งานวิจัยหนึ่งไปนำเสนอว่า $\frac{dP}{dV}$ สามารถที่จะคำนวณได้จากเครื่องหมายของตัวมันซึ่งถูกเก็บค่าไว้ในรอบที่ผ่านๆ มา และการปรับค่าความถี่ที่เปลี่ยนของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าจะค่อยๆ ปรับค่าเพิ่มขึ้นหรือค่อยๆ ลดลงแล้วเข้าสู่จุด MPP ก็อยู่บนพื้นฐานของเครื่องหมายเหล่านี้นั่นเอง ความห่างของช่วงก้าวในสถานะพลวัตจะถูกใช้เพื่อที่ปรับปรุงการตอบสนองในสถานะชั่วคราวของระบบ นอกจากนี้ในงานวิจัย [10] ได้นำเสนอถึงวิธีการซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความเป็นเชิงเส้นและจะถูกใช้เพื่อคำนวณ $\frac{dP}{dV}$ บางงานวิจัย [11] - [13] ยังเสนออีกว่า การสุ่มค่าและการแปลงข้อมูลถูกใช้กับการแบ่งแบบดิจิทัลลำดับ (subsequent digital division) ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้ในการประมาณค่า $\frac{dP}{dV}$ ในบางงานวิจัย [12] $\frac{dP}{dI}$ จะถูกอินทิเกรตด้วยกันกับค่า adaptive gain เพื่อใช้ปรับปรุงการตอบสนองแบบชั่วขณะ ในบางงานวิจัย [13] เสนอว่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มค่าหรือลดค่าลงเป็นช่วงๆ และ $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดส่วนเพิ่ม (marginal error) จนกว่าจะถึงจุด MPP ส่วนเวลาที่ใช้ในการลู่อู่เข้าสู่จุด MPP จะใช้เวลาเป็นหลักมิลลิวินาที (milliseconds)

2.3.9 เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคอื่นๆ

สำหรับในหัวข้อนี้จะรวมไปถึงการจัดเรียงรูปแบบ (array configuration) อื่นๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งอาจจะเป็นการต่อที่ผสมผสานทั้งแบบอนุกรมและขนาน เพื่อที่ว่าให้ได้จุด MPP ที่เหมาะสมกับความต้องการของโหลดที่มีความเฉพาะเจาะจง ซึ่งวิธีการนี้ต้องใช้ระยะเวลาค่าหนึ่งและการตามรอยจุด MPP แบบ real time ก็ยังไม่มีที่ชัดเจนมากนัก

ในระบบควบคุมกระแสแบบเชิงเส้นนั้นจะใช้หลักการที่อยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นที่เกิดขึ้นระหว่าง I_{MPP} และระดับของความเข้มแสง ซึ่งค่ากระแส I_{MPP} จะได้มาโดยการรับเอาค่าระดับความเข้มแสงและการใช้ตัวควบคุมแบบ PI เพื่อที่ว่ากระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้สอดคล้องกับค่ากระแส I_{MPP}

ในงานวิจัย [14] I_{MPP} และ V_{MPP} จะถูกคำนวณจากสมการที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและระดับความเข้มแสง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วค่อนข้างยากลำบากในกระบวนการวัดค่า และเมื่อได้ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{MPP} และ V_{MPP} แล้วก็จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุด MPP

นอกจากนี้ ยังได้มีการเสนอเทคนิค one-cycle control (OCC) ซึ่งจะใช้ในการปรับค่ากระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบ single-stage ซึ่งจะเป็นอินเวอร์เตอร์แบบพิเศษ ไม่เหมือนกับรูปแบบโดยทั่วไป ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 ลักษณะของกำลังไฟฟ้า (โดยปกติอุปกรณ์แปลงผันดิซี-ดีซีจะทำงานตามอินเวอร์เตอร์) แต่ถ้าเป็นอินเวอร์เตอร์แบบ single-stage นี้แล้วจะสามารถทำ MPPT และทำการรักษาระดับกระแสเอาต์พุตสำหรับการเชื่อมต่อกับกริดกับการไฟฟ้าได้ด้วย วงจรควบคุมจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่เป็น discrete digital แต่ก็ยังสามารถใช้ DSP ที่มีราคาถูกได้เช่นกัน การทำงานได้ถูกแสดงให้มุ่งเน้นไปยังจุดทำงานที่ใกล้กับจุด MPP ของช่วงเวลาทั้งวัน ความแตกต่างจุด MPP เล็กน้อยเกิดมาจากความไร้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมต่อการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

สำหรับการนำเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ไปใช้งานนั้นส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับองค์ความรู้ของผู้ใช้งาน อาทิ หากต้องการใช้งานกับวงจรที่เป็นอนาล็อก ในกรณีนี้เทคนิคของ fractional I_{SC} หรือ V_{OC} และ RCC อาจเป็นเทคนิคที่ดีในการใช้งานลักษณะแบบนี้ แต่ถ้าใช้งานกับวงจรดิจิทัลซึ่งต้องการความรู้ด้านซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรม ทางเลือกที่จะนำมาใช้อาจจะเป็นเทคนิค hill climbing / P&O, IncCond, การควบคุมแบบ fuzzy logic, ระบบโครงข่ายประสาท และการควบคุมแบบป้อนกลับ $\frac{dP}{dV}$ หรือ $\frac{dP}{dI}$ และถ้าหากมีการนำไปใช้งานกับอินเวอร์เตอร์แบบ single-stage ก็อาจจะเลือกใช้เทคนิคของ OCC เป็นต้น นอกจากนี้ ปัจจัยที่นำมาใช้ตัดสินใจการเลือกใช้เทคนิค MPPT สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

(1) อุปกรณ์ตัวตรวจจับ (Sensors) เนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ตัวตรวจจับจะมีผลต่อกระบวนการตัดสินใจของการตามรอยจุด MPP ดังนั้นโดยส่วนใหญ่แล้ว เพื่อความง่ายและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นจึงวัดค่าแรงดันมากกว่าวัดค่ากระแส นอกจากนี้ อุปกรณ์ตัวตรวจจับกระแสโดยปกติแล้วจะมีราคาแพงและขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับระบบที่ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงและเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบแยก ในกรณีดังกล่าวนี้ อาจจะเลือกใช้วิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้อุปกรณ์ตัวตรวจจับเพียง 1 ตัวหรือใช้วิธีการประมาณค่ากระแสจากแรงดันแทน และโดยปกติแล้วจะไม่นิยมหาอุปกรณ์ตัวตรวจจับที่ใช้วัดระดับความเข้มแสง (irradiance) ดังกล่าวไปแล้วในวิธีการคำนวณของเทคนิค I_{MPP} และ V_{MPP}

(2) ปัญหา Multiple local maxima การเกิดปัญหานี้เนื่องมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังเงาบางส่วน (partial shading) ซึ่งเป็นปัญหา อุปสรรคจริงๆ ของการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพราะว่าในแง่ของความสูญเสียของกำลังไฟฟ้า (power loss) จะมีค่าสูงมากถ้าเครื่องตามรอยจุด MPP ไปตามรอยจุด local maximum แทนที่จะตามรอยจุด MPP ที่แท้จริง พบว่ามี

เพียงเทคนิคการกวาดกระแสนี้สามารถตามรอยจุด MPP ที่แท้จริงถึงแม้ว่าจะเกิดปัญหา multiple local maxima ก็ตาม

(3) *ราคาต้นทุน (Costs)* การบอกว่าราคาต้นทุนใดในการตามรอยจุด MPP ของแต่ละเทคนิคมีราคาถูกที่สุดนั้นค่อนข้างยากถ้าหากยังไม่มีโครงสร้างแล้วนำไปใช้จริงๆ อย่างไรก็ตามหากทำการเปรียบเทียบในเชิงเทคนิคที่ใช้วงจรแอนะล็อกและวงจรดิจิทัลแล้ว ซึ่งอาจจะต้องการซอฟต์แวร์หรือการโปรแกรมและจำนวนของอุปกรณ์ตัวตรวจจับหรือไม่ก็ตาม การนำไปใช้งานของวงจรที่ใช้แอนะล็อกนั้นโดยทั่วไปจะมีราคาถูกกว่าวงจรที่ใช้ดิจิทัลเพราะวงจรดิจิทัลต้องการเขียนโปรแกรมและควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ และนอกจากนั้นราคาต้นทุนจะต่ำลงอย่างมากถ้าไม่มีการใช้งานของอุปกรณ์ตัวตรวจจับกระแส (current sensors)

(4) *ลักษณะของงานที่นำไปใช้ (Applications)* เทคนิค MPPT ต่างๆ ก็เหมาะสมกับลักษณะของงานแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้งานกับดาวเทียมอวกาศหรือสถานีดาวเทียมนอกโลกที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแน่นอนว่าต้องการความสำคัญในเรื่องของสมรรถนะและความน่าเชื่อถือ ดังนั้นเครื่องตามรอยจุด MPP จะต้องมีความต่อเนื่องและสามารถตามรอยจุด MPP ที่แท้จริงได้ในระยะเวลาอันสั้น สำหรับการใช้งานลักษณะนี้ เทคนิคที่เหมาะสมจะได้แก่ เทคนิค hill climbing / P&O, เทคนิค IncCond และเทคนิค RCC เป็นต้น หากต้องการใช้งานกับขดขานพาหนะที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะนี้จะต้องการู้เข้าสู่จุด MPP ที่รวดเร็ว ดังนั้นเทคนิคที่เหมาะสม ได้แก่ เทคนิคการควบคุมแบบ fuzzy logic, เทคนิคที่ใช้โครงข่ายประสาทและเทคนิค RCC เป็นต้น หากต้องการใช้งานในย่านที่อยู่อาศัยซึ่งอาจจะมีปัญหาเรื่องทำเลที่ตั้งได้เพราะแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจเกิดปัญหาการบังเงาบางส่วนจากต้นไม้หรือตึกต่างๆ ซึ่งเทคนิคการตามรอยจุด MPP ที่จะเลือกมาใช้ก็ควรที่จะเอาชนะปัญหา multiple local maxima ให้ได้ซึ่งเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ เทคนิค IncCond แบบสองช่วงและเทคนิคการกวาดกระแสนี้ และถ้าระบบที่อยู่อาศัยมีการใช้งานอินเวอร์เตอร์เข้าร่วมด้วย ก็อาจจะใช้เทคนิคแบบ OCC เป็นต้น แต่ถ้าเป็นการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเข้าไปกับระบบไฟส่องถนนซึ่งจะต้องเก็บพลังงานในช่วงกลางวันมาใช้ในตอนกลางคืน ก็อาจจะไม่มีข้อจำกัดที่มากเกินไป แต่ประเด็นสำคัญในการใช้งานลักษณะนี้จะเป็นความง่ายและราคาถูกในการติดตั้งใช้งานซึ่งเทคนิคที่เหมาะสมก็คือ เทคนิค fractional V_{OC} หรือ I_{SC} เป็นต้น สำหรับการใช้งานลักษณะอื่นๆ กับคุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละเทคนิคจะถูกนำเสนอตารางที่ 2.3 ซึ่งจะช่วยใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้งานเทคนิค MPPT

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละเทคนิค MPPT [15]

เทคนิค MPPT	การขึ้นอยู่กับ PV array หรือไม่	จุด MPP ที่แท้จริง	แอนาล็อกหรือดิจิทัล	ปรับค่าเป็นช่วง	ความเร็วในการเข้าสู่จุด MPP	ความยุ่งยากในการใช้งาน	พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจจับ
Hill-climbing/ P&O	ไม่	ใช่	ทั้งคู่	ไม่	ปรับค่าได้	ต่ำ	แรงดันและกระแส
IncCond	ไม่	ใช่	ดิจิทัล	ไม่	ปรับค่าได้	ปานกลาง	แรงดันและกระแส
Fractional V_{OC}	ใช่	ไม่	ทั้งคู่	ใช่	ปานกลาง	ต่ำ	แรงดัน
Fractional I_{SC}	ใช่	ไม่	ทั้งคู่	ใช่	ปานกลาง	ปานกลาง	กระแส
Fuzzy Logic Control	ใช่	ใช่	ดิจิทัล	ใช่	เร็ว	มาก	ปรับค่าได้
Neural Network	ใช่	ใช่	ดิจิทัล	ใช่	เร็ว	มาก	ปรับค่าได้
RCC	ไม่	ใช่	แอนาล็อก	ไม่	เร็ว	ต่ำ	แรงดันและกระแส
Current Sweep	ใช่	ใช่	ดิจิทัล	ใช่	ช้า	มาก	แรงดันและกระแส
$\frac{dP}{dV}$ or $\frac{dP}{dI}$ Feedback Control	ไม่	ใช่	ดิจิทัล	ไม่	เร็ว	ปานกลาง	แรงดันและกระแส
I_{MPP} & V_{MPP}	ใช่	ใช่	ดิจิทัล	ใช่	ไม่แน่ชัด	ปานกลาง	ความเข้มแสงและอุณหภูมิ
OCC MPPT	ใช่	ไม่	ทั้งคู่	ใช่	เร็ว	ปานกลาง	กระแส

2.4 วงจรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

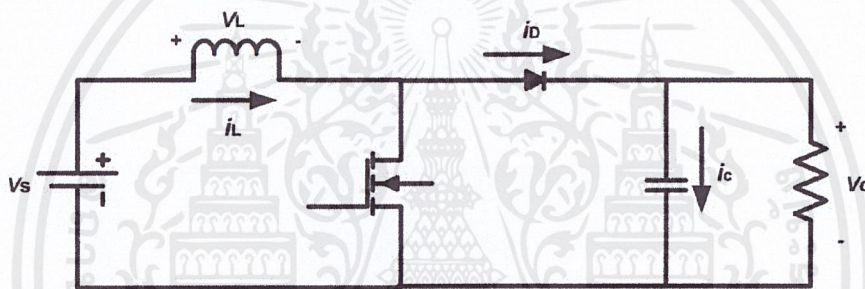
2.4.1 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost converter)

เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-to-DC Converter) ที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า [16]

2.4.1.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่พอทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.19 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า

2.4.1.2 หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดคือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละ โหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปด้านล่าง เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้างานี้

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.21)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

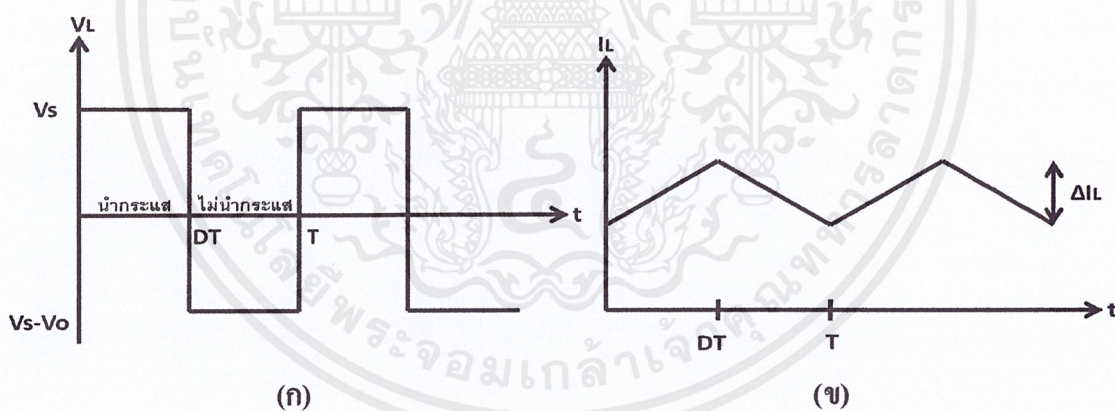
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.23)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่า การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.24)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.25)$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

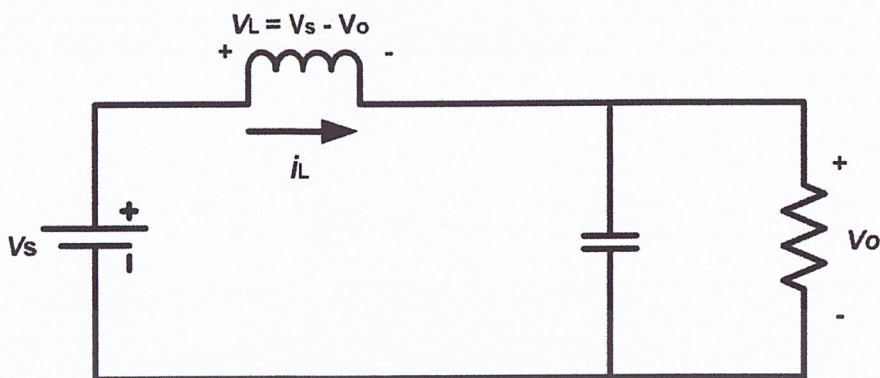


รูปที่ 2.20 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

(ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ตัวเหนี่ยวนำจะกินพลังงาน ผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟจะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.26)$$

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.27)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.28)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.29)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1 - D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่ และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.30)$$

ที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.32)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0 \quad (2.33)$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0 \quad (2.34)$$

$$V_s - V_o(1-D) = 0 \quad (2.35)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.36)$$

จากสมการ $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$ สามารถนำไปหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันด้านเอาต์พุต ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแรงดันด้านเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่า D (Duty Cycle) โดยหากปรับค่า D เป็นค่าต่างๆ จะได้อัตราการขยายแรงดันเอาต์พุตได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัตราขยายแรงดันของวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D [17]

Duty Ratio (D)	อัตราขยายแรงดัน (V_o/V_s)
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า

สมมติการสูญเสียภายในวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.37)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.38)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.39)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.40)$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.41)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.42)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จาก $\Delta i_{L,on} = \frac{V_s D T}{L}$ ขณะ
สวิตช์นำกระแส

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s D T}{L} \quad (2.43)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,\max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.45)$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.46)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องได้ดังนี้

$$I_{L,\max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) = 0 \quad (2.47)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.48)$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.49)$$

2.4.1.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่ หรือสัญญาณมีความเรียบมากขึ้น โดยที่ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้สมการที่ (2.50)

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.50)$$

2.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ เกี่ยวกับเซกต์แสงอาทิตย์ และเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยของแต่ละเทคนิค โดยข้อเด่นของเทคนิคการกวาดกระแสนั้นก็คือสามารถที่จะตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้การบังเงาบางส่วนได้ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงวงจรที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรทบทระดับแรงดันสำหรับรายละเอียดในการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริงจะได้นำเสนอต่อไปในบทที่ 3

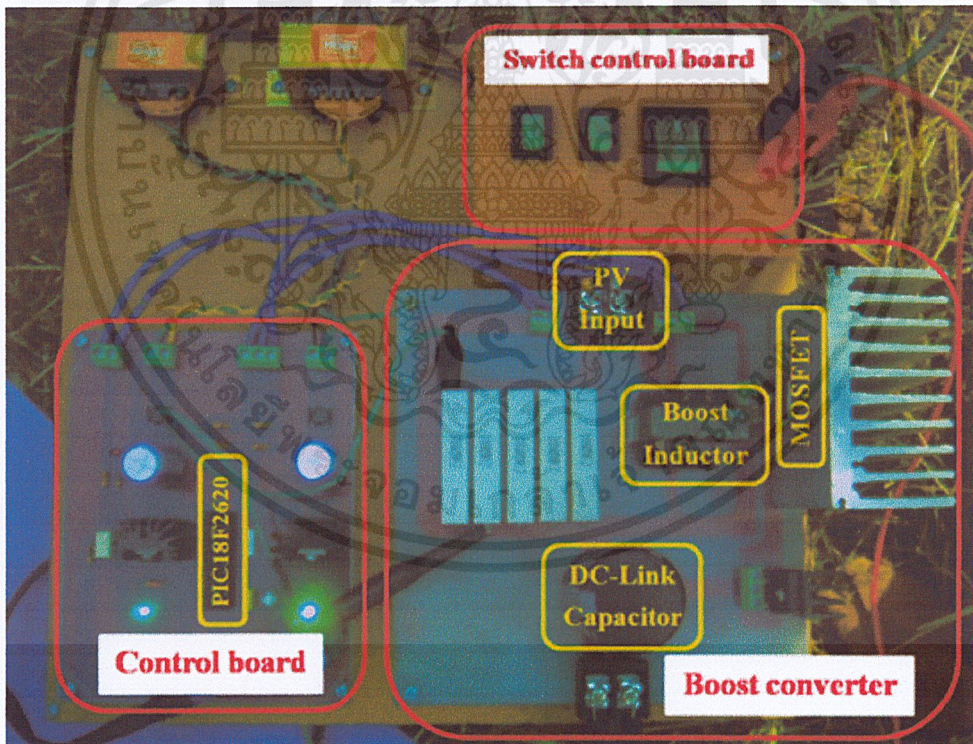
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) โดยใช้เทคนิคการกวาดกระแสร่วมกับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ นอกจากนี้ สามารถแปลงผันพลังงานได้ใกล้เคียงกับจุด MPP จริงๆ โดยอาศัยการป้อนกลับกระแสและแรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประมวลผลและสร้างสัญญาณขับมอเตอร์ทบทระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้มีค่าตัวชี้โชนิกซึ่งสามารถรักษาระดับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานในย่าน P_{max}

3.2 ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

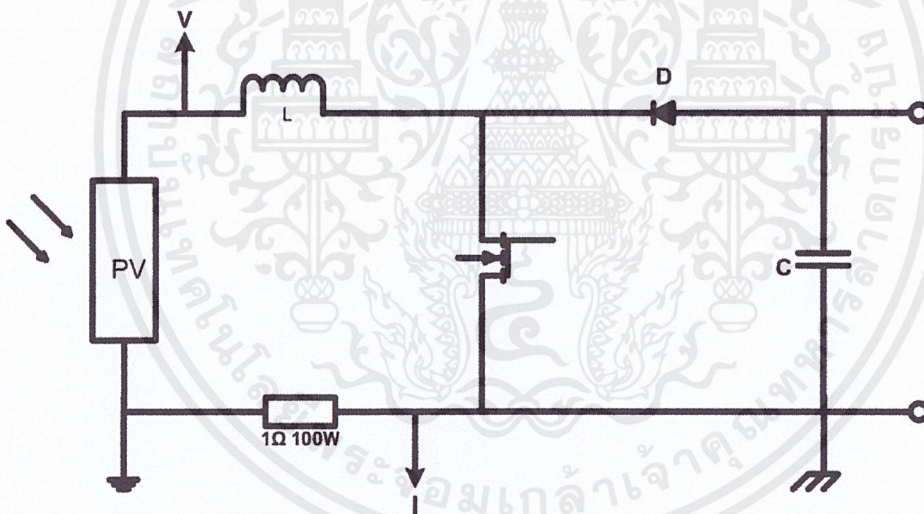
3.3 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง

3.3.1 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter)

วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ชนิดหนึ่งที่สามารถให้แรงดันขาออกมีค่ามากขึ้นตามต้องการ โดยการปรับคิวดิวตี้ไซเคิลดังวงจรในรูปที่ 3.2 การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 โหมด คือ โหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องการปรับแรงดันขาออกจะไม่ได้ขึ้นกับค่าคิวดิวตี้ไซเคิลเพียงอย่างเดียว แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้งานเฉพาะที่โหมดกระแสต่อเนื่องเท่านั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตแสดงได้ตามสมการที่ (3.1)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1 - D)} \quad (3.1)$$

โดยที่ V_o คือ แรงดันขาออก V_i คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และ D คือ ค่าคิวดิวตี้ไซเคิล



รูปที่ 3.2 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter)

3.3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่า L ที่มีค่ามากกว่าค่า L_{\min} ได้จากการคำนวณนั้น ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ [16] - [17]

$$L_{\min} = \frac{[D(1 - D)^2 R]}{2f_s} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

f_s คือ ความถี่การสวิตช์ (โดยที่ $f_s = \frac{1}{T_s}$)

D คือ ดิวตี้ไซเคิล

R คือ โหลดความต้านทาน

ทำการ $\frac{\partial L_{\min}}{\partial D}$ เพื่อหาค่าดิวตี้ไซเคิลที่ทำให้ L_{\min} มีค่ามากที่สุด จะได้

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

$$D = \frac{1}{3}$$

โดยที่ค่าต่างๆในการทดลองมีดังนี้

$$f_s = 40 \text{ kHz}$$

$$D = \frac{1}{3}$$

$$R = 15 \ \Omega$$

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

$$L_{\min} = \frac{\left[\left(\frac{1}{3} \right) \left(1 - \frac{1}{3} \right)^2 (15) \right]}{[(2)(40000)]}$$

$$L_{\min} = 27.7778 \mu\text{H}$$

จะเลือกใช้

$$L = 600 \mu\text{H}$$

3.3.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)

การหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.3) [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{D}{rRf_s} \quad (3.3)$$

เมื่อ

r คือ ค่าเพคเตอร์คลื่นระลอก ($r = \frac{\Delta V_o}{V_o}$ และค่าปกติ $r < 2\%$)

โดยในที่นี้กำหนดให้ r มีค่าเท่ากับ 1%

f_s คือ ความถี่การสวิตช์ (โดยที่ $f_s = \frac{1}{T_s}$)

D คือ ดิวตี้ไซเคิล

R คือ โหลดความต้านทาน

โดยที่ค่าต่างๆ มีค่า ดังนี้

$$f_s = 40 \text{ kHz}$$

$$D = \frac{1}{3}$$

$$R = 15 \Omega$$

$$r = 0.01$$

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.3 จะได้

$$C = \frac{\left(\frac{1}{3}\right)}{[(0.01)(15)(40000)]}$$

$$C = 55.5556 \mu\text{F}$$

ในโครงการนี้เลือกใช้

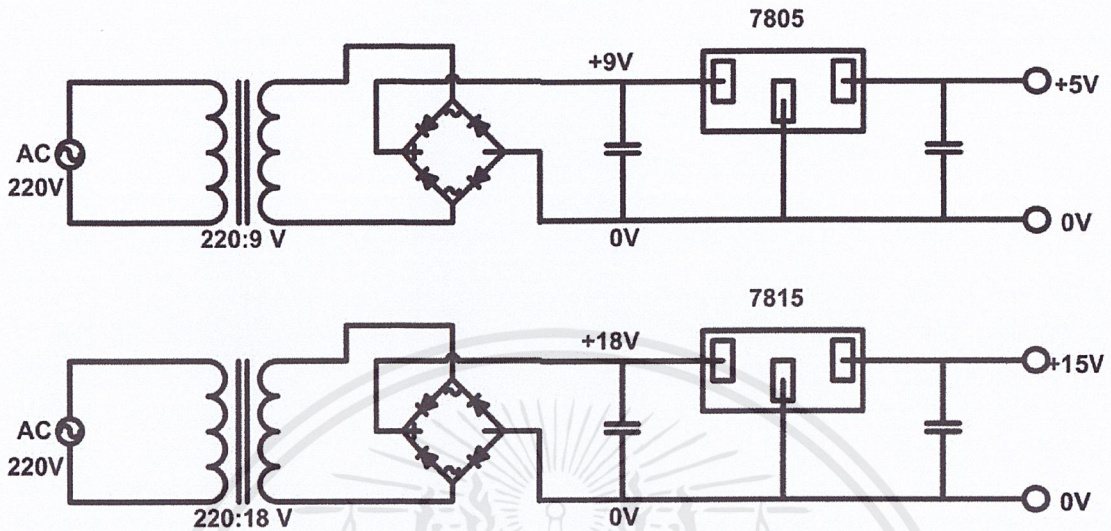
$$C = 470 \mu\text{F}$$

3.3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ +15 โวลต์

ใช้วงจร Regulator สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ ± 15 โวลต์ โดยใช้ IC เบอร์ LM7805, LM7815, LM7915 โดยทางด้านขาเข้ารับไฟมาจากหม้อแปลงแรงดัน (Center Tap) 220/18 โวลต์ เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

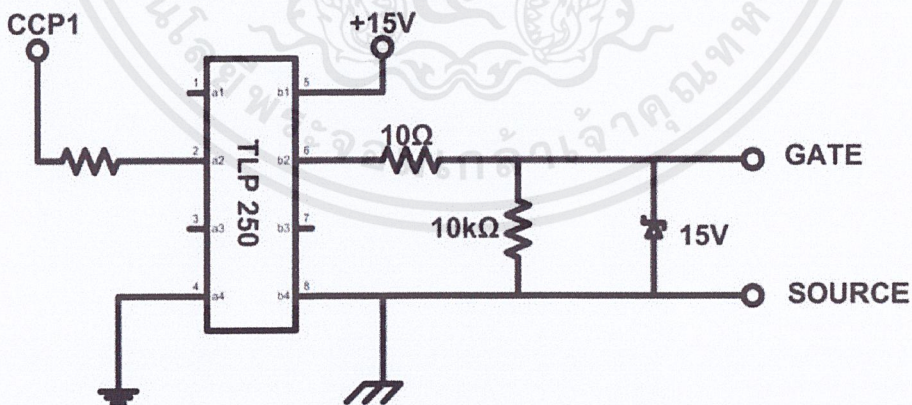
- (1) วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive)
- (2) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)



รูปที่ 3.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ +15 โวลต์

3.3.5 วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive)

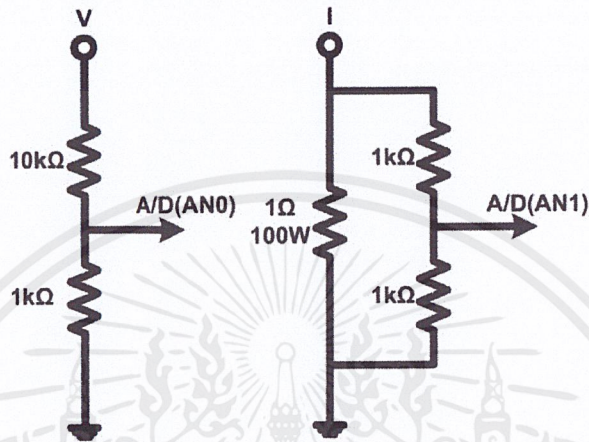
ชุดขับมอสเฟตนี้ใช้ IC เบอร์ TLP 250 โดยสามารถแยกกราวด์ให้กับวงจรขับมอสเฟตได้ ซึ่งวงจรขับมอสเฟตนี้จะรับสัญญาณพัลส์ (+5V Duty cycle) ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้เป็นสัญญาณพัลส์ (+15V) ก่อนที่จะส่งไปขับมอสเฟต



รูปที่ 3.4 วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive)

3.3.6 ชุดตรวจจ็ับกระแสและแรงดัน

ตรวจจ็ับกระแสและแรงดันทางด้านขาเข้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อส่งไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวงจรแบ่งแรงดัน (Divider) ในการลดทอนขนาดของแรงดันก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์



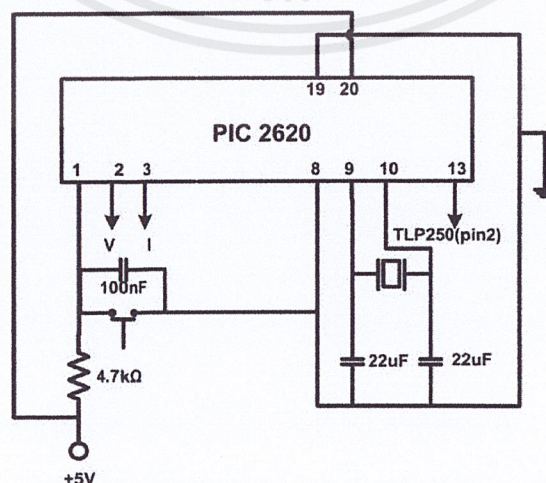
รูปที่ 3.5 ชุดตรวจจ็ับกระแสและแรงดัน

3.3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 18F2620 ทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- ประมวลผลในการส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า
- สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับมอเตอร์ของชุดควบคุม
- เปลี่ยนสัญญาณแอนาล็อกที่ได้จากด้านขาเข้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัญญาณ

ดิจิทัล



รูปที่ 3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเขียนโปรแกรมและทำการคอมไพล์ลงบนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 18F2620 ซึ่งคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC

Device	Program Memory	Data Memory		CAN Module	I/O (Bit)	OSC max (MHz)	Timers	PLL
	Flash	RAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)					
PIC 16F877	8 Kbytes	368	256	NO	33	20	3	NO
PIC 18F2525	48 Kbytes	3968	1024	YES	36	40	1/3	YES
PIC 18F2620	64 Kbytes	3968	1024	YES	36	40	1/3	YES

3.3.7.1 พอร์ตของบอร์ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาใช้งานในโครงงานนี้ มีดังนี้

- A/D พอร์ตใช้ต่ออินพุทแอนาล็อกเพื่อรับสัญญาณกระแสและแรงดันทางด้านขาเข้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล
- PWM ส่งสัญญาณที่สร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ไปขับมอเตอร์ในวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (boost converter)

3.3.7.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

1. ทำการเขียนโปรแกรมเป็นภาษา C บนโปรแกรม Pcw (C Complier IDE) และบันทึกโปรแกรมไฟล์นามสกุล .pj1 เช่น PROJECT.pj1
2. ทำการประมวลผลโปรแกรม โดยแปลงโปรแกรมจากภาษา C ให้เป็นฐานสิบหก (.hex) จะได้ไฟล์ที่เป็นนามสกุล .hex เช่น PROJECT. hex
3. ในขณะที่ทำการประมวลผล ถ้าโปรแกรมมีข้อผิดพลาดเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษา โปรแกรมจะแจ้งให้ทราบว่าข้อผิดพลาดที่ไหนบ้างบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จึงทำการแก้ไขบรรทัดที่ผิดพลาดนั้น แล้วทำการประมวลผลใหม่อีกครั้ง

4. เมื่อทำการประมวลผลโปรแกรมแล้วไม่เกิดข้อผิดพลาด ก็ทำการดาวน์โหลดไฟล์ PROJECT.hex ลงสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยส่งออกทางพอร์ตอนุกรมที่เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดด้วยสาย RS232

3.4 การประมวลผลส่วนโปรแกรมควบคุมกรณีต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงโดยเทคนิค P&O

การประมวลผลของ โปรแกรมควบคุมชุดตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าแรงดันและกระแสอินพุทจากเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ A/D ในไมโครโปรเซสเซอร์

2. นำค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากการแปลงค่าไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ นำค่ากำลังงานค่าแรกเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิงเมื่อค่าของความเข้มแสง อุณหภูมิหรือจุดทำงานเปลี่ยนไปค่าของกระแสและแรงดันก็จะเปลี่ยนไปด้วยเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าใหม่เข้ามาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันและกระแสค่าแรกที่เก็บไว้ เพื่อทำการปรับค่าตัวชี้เซลล์ให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าแรงดันและกระแสที่รับเข้ามาใหม่ก็จะ เป็นค่าอ้างอิงใหม่ต่อไป

3. ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่มี

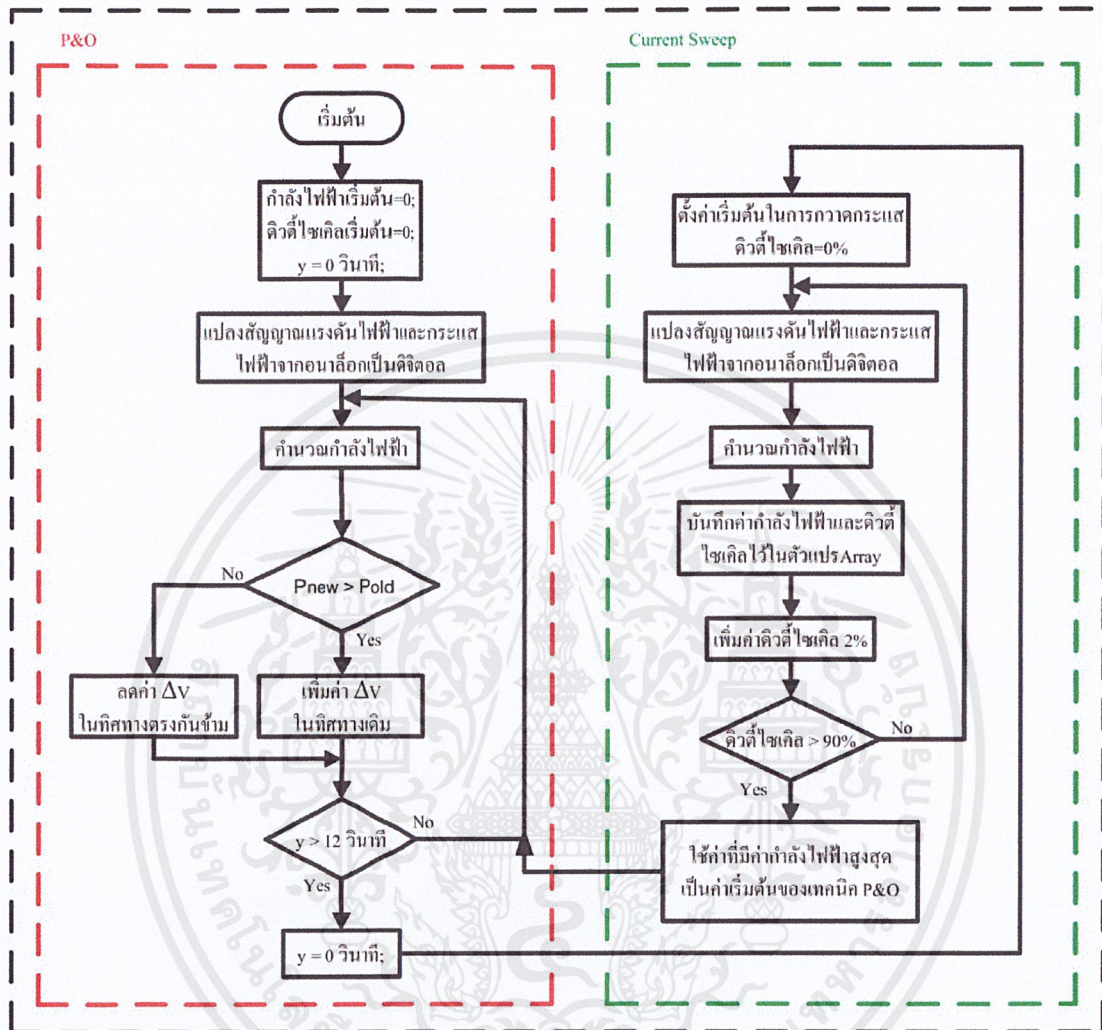
- หากกำลังไฟฟ้าใหม่ที่มีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าเดิม (ความชันเป็นบวก) ก็จะเปลี่ยนจุดการทำงานไปในทิศทางเดิม และทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้าใหม่นี้ไว้เป็นกำลังไฟฟ้าอ้างอิง แทน แล้วจึงทำการเปรียบเทียบกับจุดการทำงานใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

- หากกำลังไฟฟ้าใหม่ที่มีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าเดิม (ความชันเป็นลบ) ก็จะเปลี่ยนจุดการทำงานไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิม จนกว่าค่ากำลังไฟฟ้านำมาเปรียบเทียบจะมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง

โปรแกรมจะทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ตลอดเวลาแม้ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิขณะนั้นจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม

3.4.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาด

กระแส



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาดกระแส

3.5 บทสรุป

บทนี้ได้นำเสนอถึงการออกแบบ และการสร้างเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแส โดยแยกเป็นส่วน ๆ คือ วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter) วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 และ +15 โวลต์ วงจรขับมอสเฟตแบบแยกกราวด์ (Gate drive) ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดตั้งแต่วงจรการทำงาน อุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งงานจริง รวมถึงข้อเสนอนะ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาดกระแส สำหรับผลการจำลองของแบบจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าของทั้งเทคนิค P&O และเทคนิคการกวาดกระแส รวมไปถึงผลการทดลองซึ่งงานจริงนั้นจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สามารถนำมาใช้ทดสอบเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดก่อนนำไปทดลองจริง แล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อสรุปการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่เกิดปัญหาการบังเงาบางส่วน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังกล่าวไว้ในบทนี้

4.2 การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงต่อกันแบบอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผงต่อกันแบบอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์โดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ดังรูปที่ 4.1 มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมกัน 3 แผงเป็นจำนวน 2 กลุ่ม (รวม 6 แผง) โดยกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

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

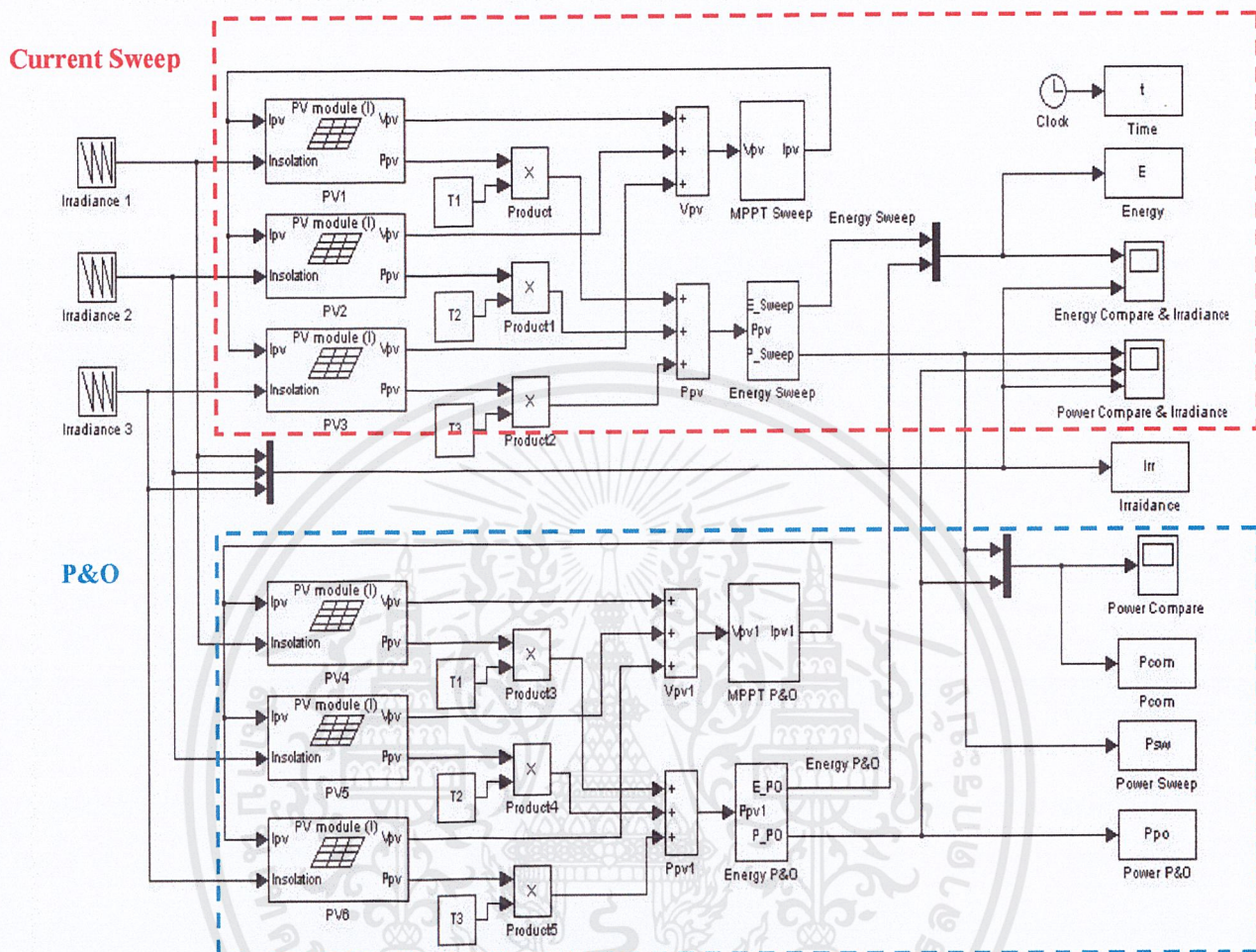
และมี By-pass diode

2. กำหนดตัวแปรขาเข้าเป็นความเข้มแสงในแต่ละแผงซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้ และตัวแปรอุณหภูมิเป็นค่าคงที่

3. เขียนโปรแกรมบน M-file ขึ้นมา 2 ชุด โดยชุดที่ 1 เป็นเทคนิคกวาดกระแส และชุดที่ 2 เป็นเทคนิค P&O แต่ละชุดสำหรับแบบจำลองที่สร้างไว้ในข้อที่ 1

4. กำหนดตัวแปรขาออกเป็นค่าที่ต้องการวัด เช่น กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, ความเข้มแสง และเวลา

5. ทำการ Run โปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบกราฟข้อมูลในข้อที่ 4 ระหว่างเทคนิคกวาดกระแส และเทคนิค P&O

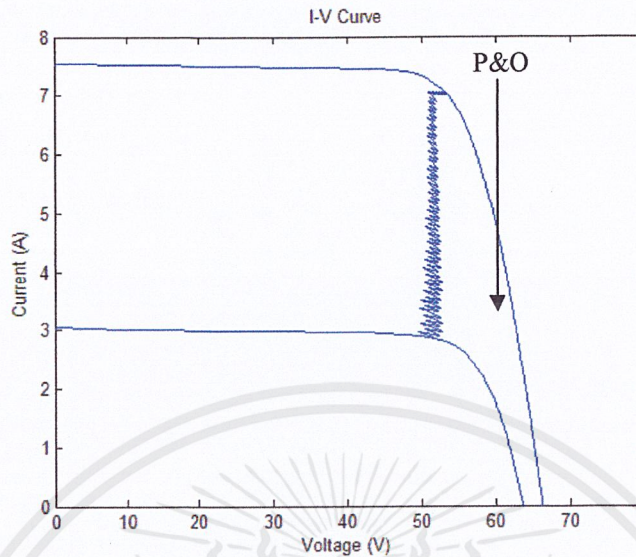


รูปที่ 4.1 แบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ PV1 - PV3 ทำการต่ออนุกรมกันใช้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ PV4 - PV6 ทำการต่ออนุกรมกันใช้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O ซึ่งกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้อยู่ภายใต้ความเข้มแสงลักษณะเดียวกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน

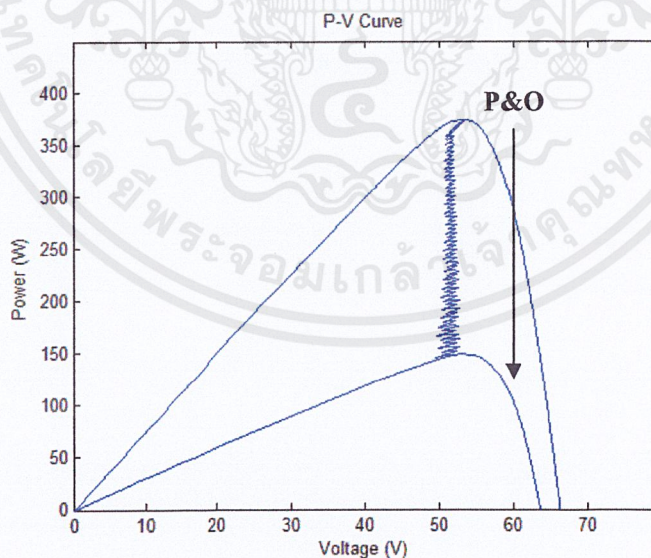
4.2.1 การจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ

4.2.1.1 การจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.2 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 1000 W/m^2 เป็น 400 W/m^2 ทั้ง 3 แผง

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเข้มแสงลดลงแต่ยังคงเท่ากันทั้ง 3 แผง จะเห็นว่ากราฟคุณลักษณะมีขนาดเล็กลงเนื่องจาก กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้มีค่าลดลงตามความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลง

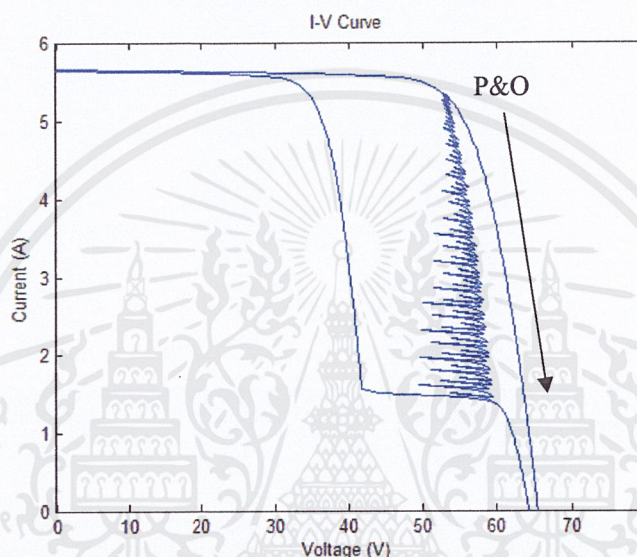


รูปที่ 4.3 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 1000 W/m^2 เป็น 400 W/m^2 ทั้ง 3 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

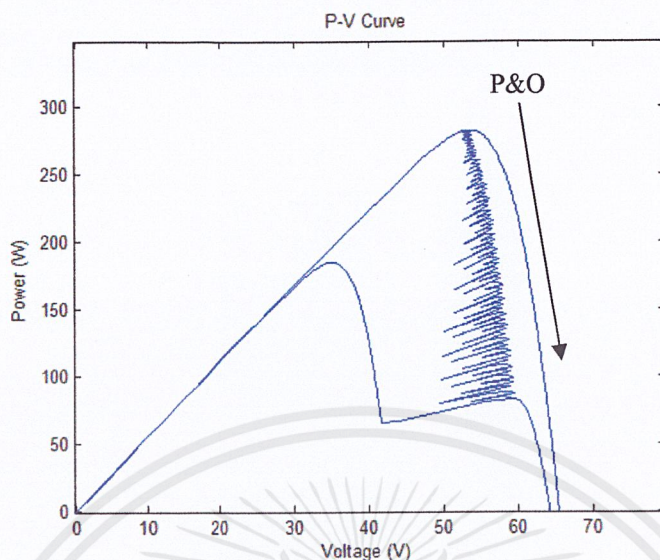
จากรูปที่ 4.3 เมื่อนำพื้นที่ของกราฟรูปที่ 4.2 มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าลดลง แม้ว่าความเข้มแสงจะเปลี่ยนแปลงไปแต่จุดยอดยังคงมีเพียง 1 จุดซึ่งเป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด จึงไม่มีปัญหาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังทิศทางลูกศรสีดำ

4.1.2.2 การจำลองคุณลักษณะเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ 1 แสง



รูปที่ 4.4 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 200 W/m^2 1 แสง

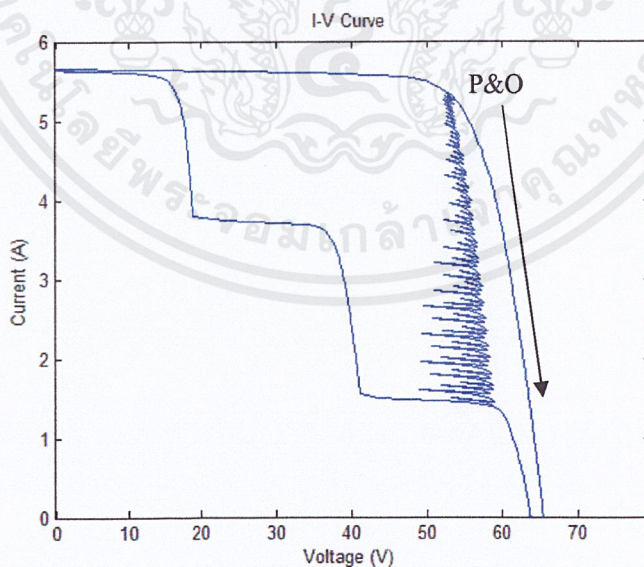
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเข้มแสงลดลงเพียง 1 แสง ในขณะที่แสงอื่นยังคงได้รับความเข้มแสงเท่าเดิม จะเห็นว่ากราฟคุณลักษณะมีขนาดเล็กลงแต่แตกต่างไปจากรูปที่ 4.2 กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสง



รูปที่ 4.5 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 750 W/m^2 เป็น 200 W/m^2 1 แฉง

จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าลดลง ผลจากความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้จุดยอดของกำลังไฟฟ้ามี 2 จุด ซึ่งอาจเกิดปัญหาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังทิศทางลูกศรสีดำ

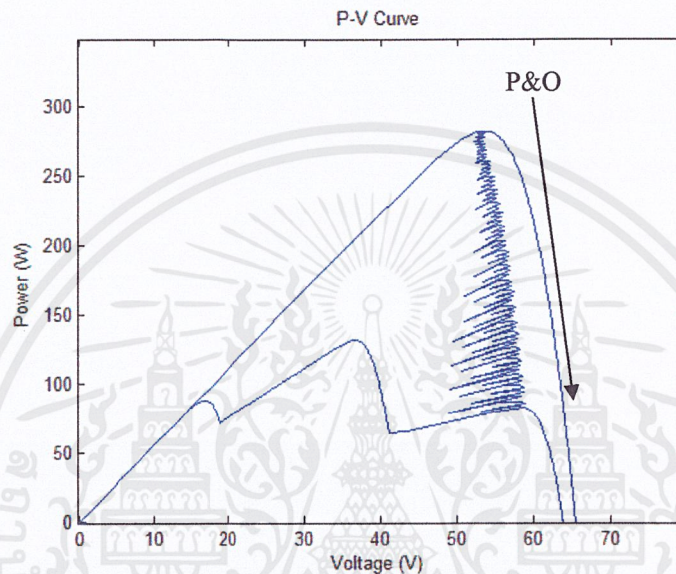
4.1.2.3 การจำลองคุณลักษณะเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ 2 แฉง



รูปที่ 4.6 กราฟ I-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนจาก 750 W/m^2 เป็น 500 W/m^2 1 แฉง และ 200 W/m^2 1 แฉง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเข้มแสงแต่ละแผงไม่เท่ากันทั้ง 3 แผง จะเห็นว่ากราฟคุณลักษณะมีขนาดเล็กลงแต่แตกต่างกันไป จากรูปที่ 4.2 และ 4.4 กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสง



รูปที่ 4.7 กราฟ P-V เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนจาก 750 W/m^2 เป็น 500 W/m^2 1 แผง และ 200 W/m^2 1 แผง

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้า จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าลดลง ผลจากความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้จุดยอดของกำลังไฟฟ้ามี 3 จุด ซึ่งอาจเกิดปัญหาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังทิศทางลูกศรสีดำ

4.1.2.4 ผลการจำลองคุณลักษณะ

จากผลการจำลองคุณลักษณะแสดงให้เห็นว่า

1. กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกันแบบอนุกรมแปรผันตรงกันกับความเข้มแสงสูงสุดที่ตกกระทบแผงใดแผงหนึ่ง
2. กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าจะเกิดปัญหามีจุดยอดหลายจุด ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป
3. จุดยอดที่สูงที่สุดในจุดยอดหลายๆจุด จะอยู่ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าใดก็ได้
4. อาจมีจุดยอดที่มีความสูงเท่ากัน ในบางกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.5 สรุปผลการจำลองคุณลักษณะ

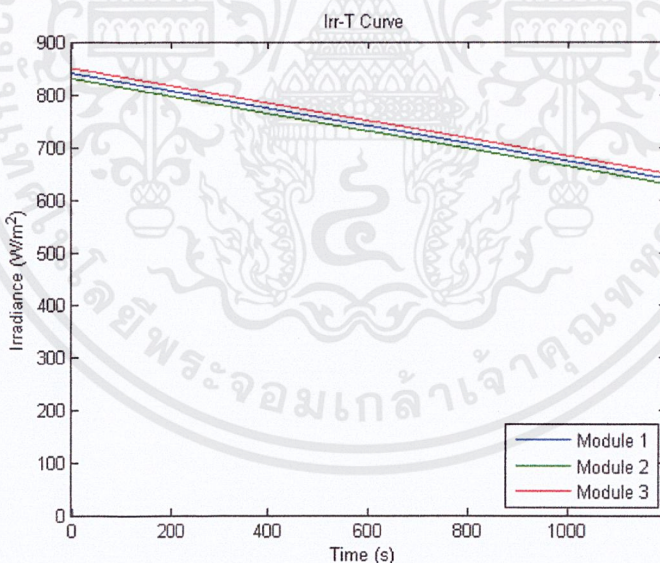
จากผลการจำลองรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงคุณลักษณะภายใต้สภาวะที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ และลูกศรสีดำแสดงทิศทางการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในขณะที่ความเข้มแสงแต่ละแผงมีค่าเท่ากัน กราฟคุณลักษณะยังคงมีลักษณะเดิม กำลังไฟฟ้ามีจุดยอดเพียงจุดเดียวจึงไม่มีปัญหาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่เมื่อความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ กราฟคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.4 - 4.7 กำลังไฟฟ้ามีจุดยอดหลายจุด (Local Maxima) ทำให้เกิดปัญหาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่อาจผิดพลาดได้

4.2.2 การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ

การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง โดยใช้เทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส

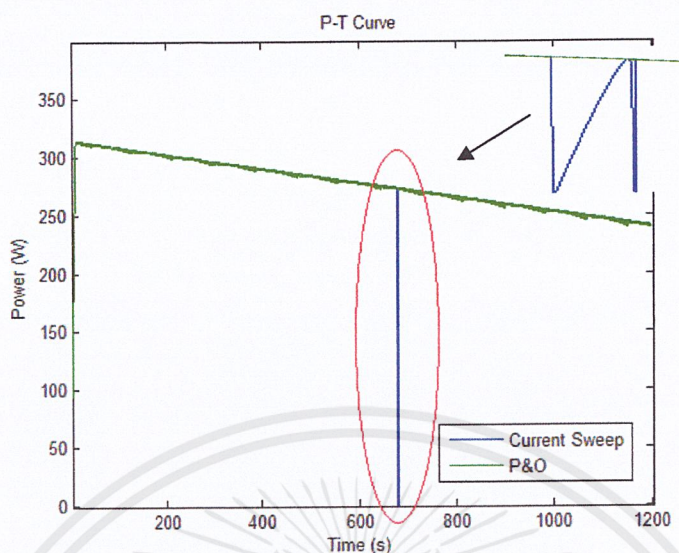
4.2.2.1 การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

สม่ำเสมอ



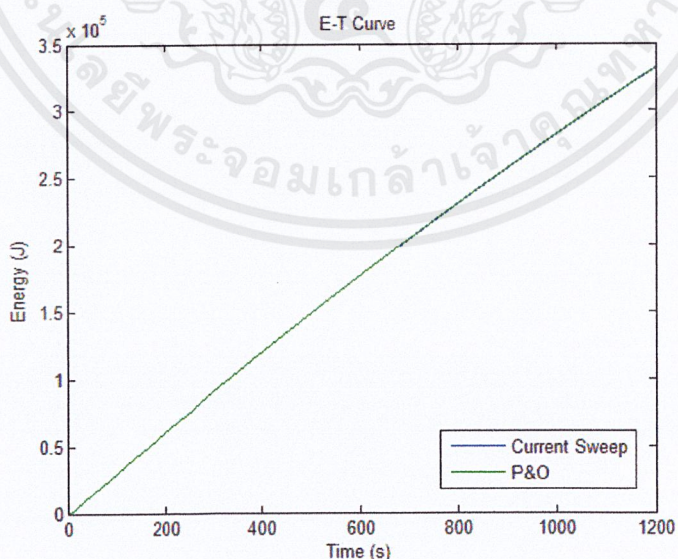
รูปที่ 4.8 การจำลองความเข้มแสงภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเทียบกับเวลา กำหนดให้ความเข้มแสงทั้ง 3 แผงมีค่าใกล้เคียงกัน และเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆกันในระยะเวลา 1,200 วินาที



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา แสดงการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส วงกลมสีแดงแสดงการกวาดกระแสพบว่ามีจุดยอด 1 จุด หลังจากการกวาดกระแสพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเช่นเดียวกับคุณลักษณะในรูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเทคนิค P&O มีค่าเท่ากับเทคนิคกวาดกระแส

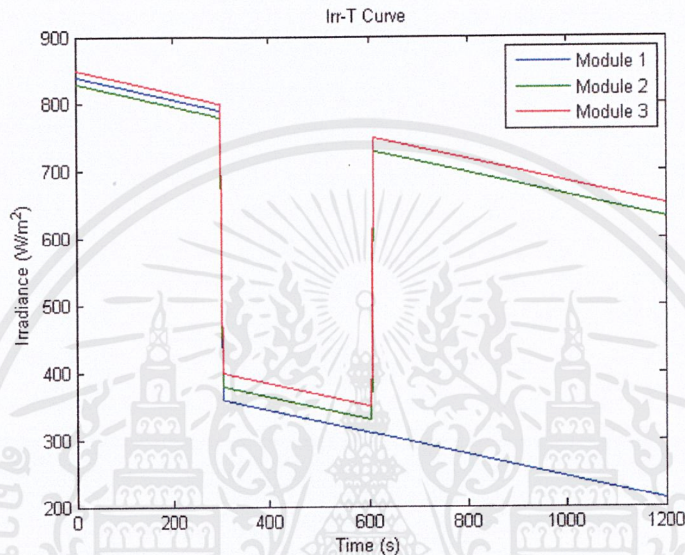


รูปที่ 4.10 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

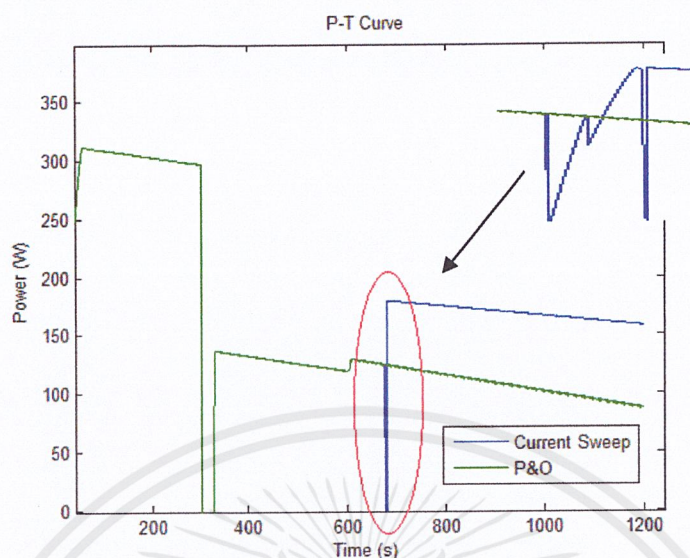
จากรูปที่ 4.10 ผลการจำลองภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอ พบว่าไม่เกิดปัญหา Local Maxima เทคนิค P&O และเทคนิคกวาดกระแสนสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ พลังงานที่ได้จาก 2 เทคนิคจึงมีค่าเท่ากัน

4.2.2.2 การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง



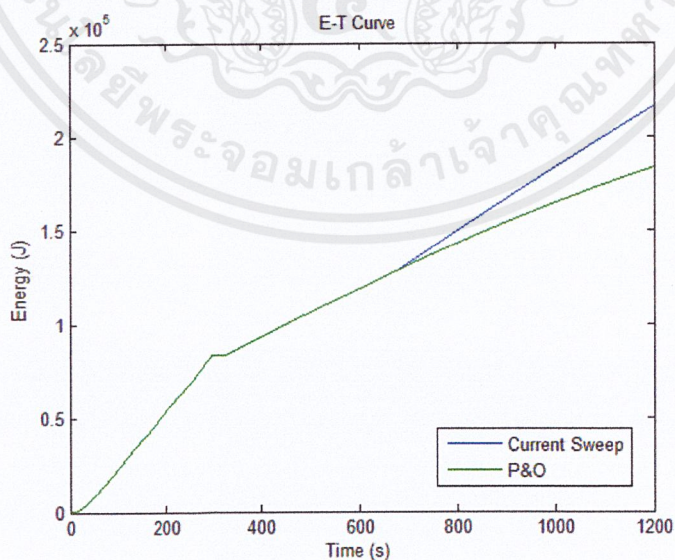
รูปที่ 4.11 การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง

จากรูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเทียบกับเวลา กำหนดให้ความเข้มแสงในช่วงเวลา 0-300 วินาที มีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วงเวลา 300-600 วินาทีเกิดการบังเงาทั้ง 3 แผงทำให้ความเข้มแสงลดลงอย่างทันทีทันใดดังรูป หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวเกิดการบังเงา 1 แผง



รูปที่ 4.12 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง

จากรูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา แสดงการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส วงกลมสีแดงแสดงการกวาดกระแสพบว่ามีจุดยอด 2 จุด ทำให้เทคนิค P&O อาจติดปัญหา Local Maxima หลังจากการกวาดกระแสพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเทคนิคกวาดกระแสจึงมากกว่าเทคนิค P&O

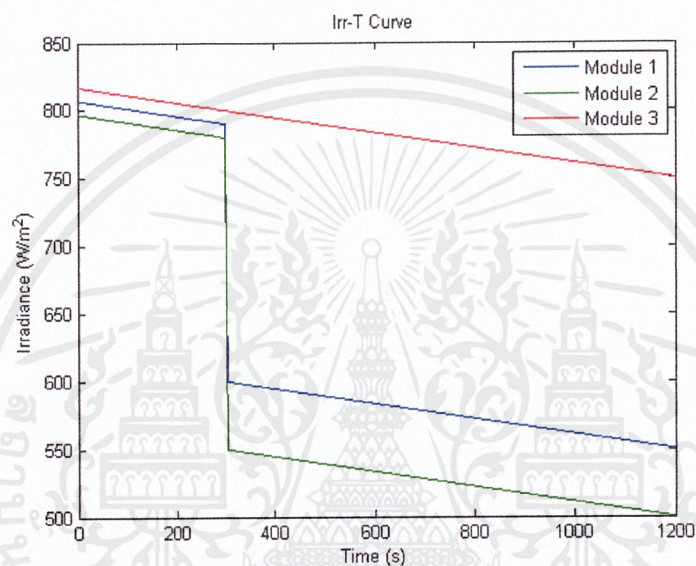


รูปที่ 4.13 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

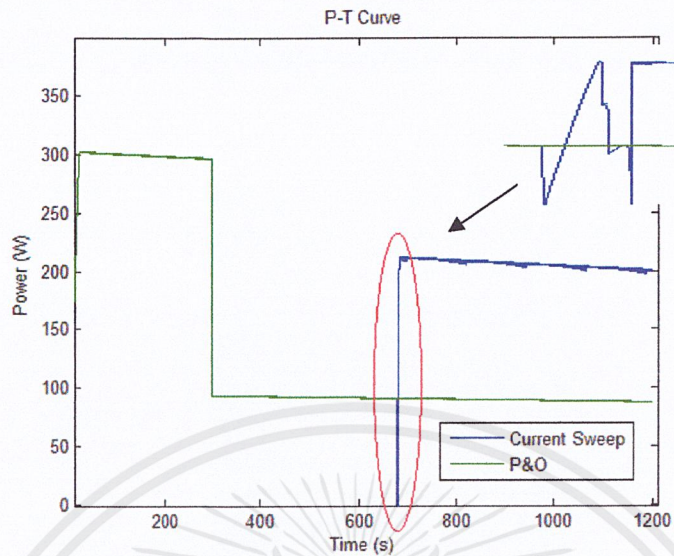
จากรูปที่ 4.13 จากผลการจำลองเมื่อเกิดการบังเงา 1 แผง พบว่าเกิดปัญหา Local Maxima 2 จุด ทำให้เทคนิค P&O ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ (Global Peak) แต่หลังจากใช้เทคนิคกวาดกระแส ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง ทำให้ได้พลังงานมากกว่าเทคนิค P&O

4.2.2.3 การจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง



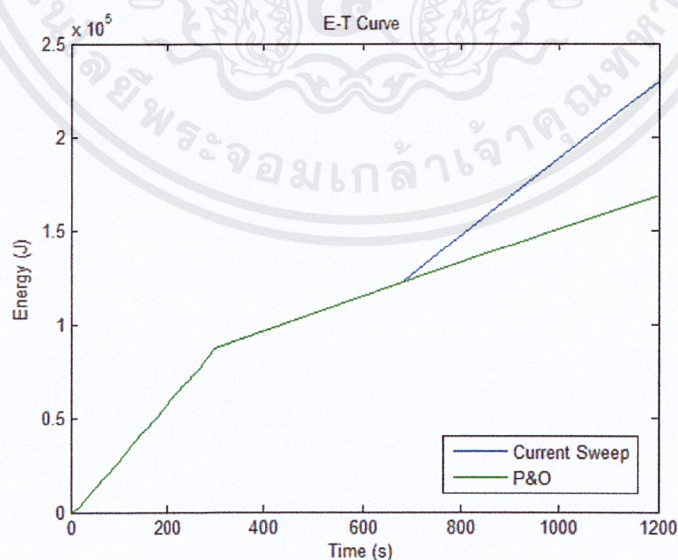
รูปที่ 4.14 การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง

จากรูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเทียบกับเวลา กำหนดให้ความเข้มแสงในช่วงเวลา 0-300 วินาที มีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มแสงลดลงอย่างทันทีทันใด เกิดการบังเงา 2 แผงดังรูปทำให้ความเข้มแสงแต่ละแผงมีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง

จากรูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา แสดงการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส วงกลมสีแดงแสดงการกวาดกระแสพบว่ามีจุดยอด 3 จุด ทำให้เทคนิค P&O อาจติดปัญหา Local Maxima หลังจากการกวาดกระแสพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเทคนิคกวาดกระแสจึงมากกว่าเทคนิค P&O เช่นเดียวกับรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการบังเงา 2 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 จากผลการจำลองเมื่อเกิดการบังเงา 2 แฉง พบว่าเกิดปัญหา Local Maxima 3 จุด ทำให้เทคนิค P&O ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้ แต่หลังจากใช้เทคนิคกวาดกระแส ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง ทำให้ได้พลังงานมากกว่าเทคนิค P&O เช่นเดียวกันกับกรณีที่เกิดการบังเงา 1 แฉง

4.2.2.4 ผลการจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากผลการจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแสดงให้เห็นว่า

1. การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะพบปัญหา Local Maxima ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บางแผงอย่างทันทีทันใด
2. การตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิค P&O อาจจะตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับสถานะความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงในขณะนั้นๆ
3. เทคนิคกวาดกระแส สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ไม่ว่าจะความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะใดก็ตาม
4. อย่างไรก็ตามหลังจากทำการกวาดกระแสไปแล้ว ยังคงต้องใช้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O

4.2.2.5 สรุปผลการจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากผลการจำลองชี้ให้เห็นว่า ในสถานะความเข้มแสงสม่ำเสมอค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิค P&O และเทคนิคกวาดกระแสมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนทำให้เกิดปัญหา Local Maxima ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของเทคนิค P&O น้อยกว่าเทคนิคกวาดกระแส ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปจากเทคนิคเดิมจะมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของการบังเงาบางส่วน เทคนิค P&O จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากที่สุดถึง 75 % เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส

4.3 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกันแบบอนุกรม

การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แฉงทำโดยนำมาต่อเข้ากับวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค P&O เปรียบเทียบกับเทคนิคกวาดกระแส ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แฉง มาต่ออนุกรมกัน ซึ่งแต่ละแผงมีพิกัดชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6	โวลต์

กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	7.36	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	17	โวลต์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	125	วัตต์

คิดจากสภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5%

- นำมามต่อเข้ากับวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
- ใช้โหลดเป็นหลอดไฟ 100 W จำนวน 6 หลอดต่อเข้ากับเอาต์พุตของวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้า
- นำออสซิลโลสโคปมาต่อเพื่อบันทึกกราฟกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
- ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงต่างๆ และใช้ลักซ์มิเตอร์บันทึกความเข้มแสงที่ทำการทดลอง สามารถคำนวณความเข้มแสงโดยอาศัยความสัมพันธ์

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

- ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิค P&O และเก็บผลการทดลอง
- ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิคกวาดกระแสและเก็บผลการทดลอง



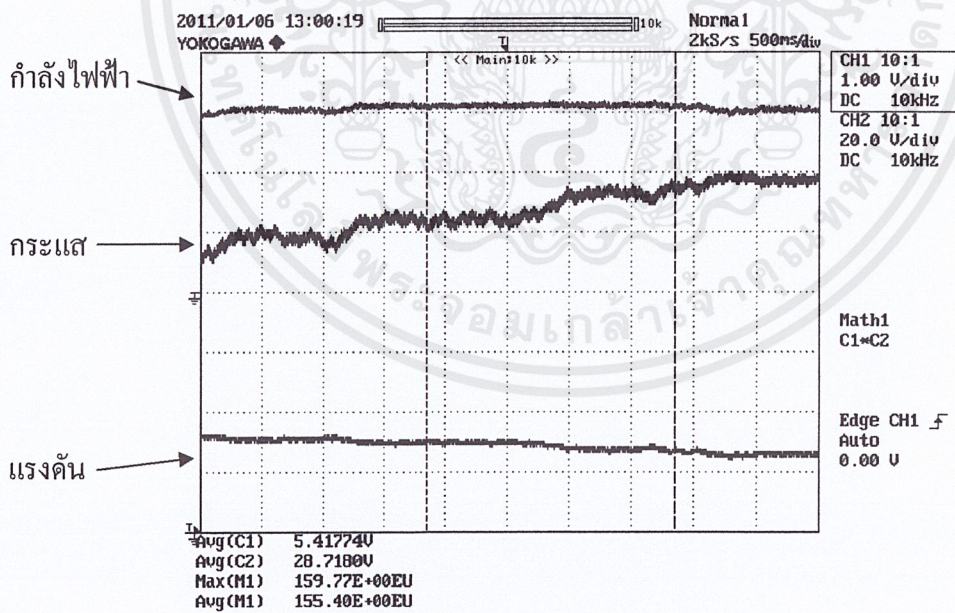
รูปที่ 4.17 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง

ในส่วนของการทดลองทางกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยแยกออกเป็น 5 กรณี ดังต่อไปนี้
 กรณีที่ 1 ความเข้มแสงในแต่ละแผง 861.89 W/m^2 , 851.62 W/m^2 และ 829.5 W/m^2

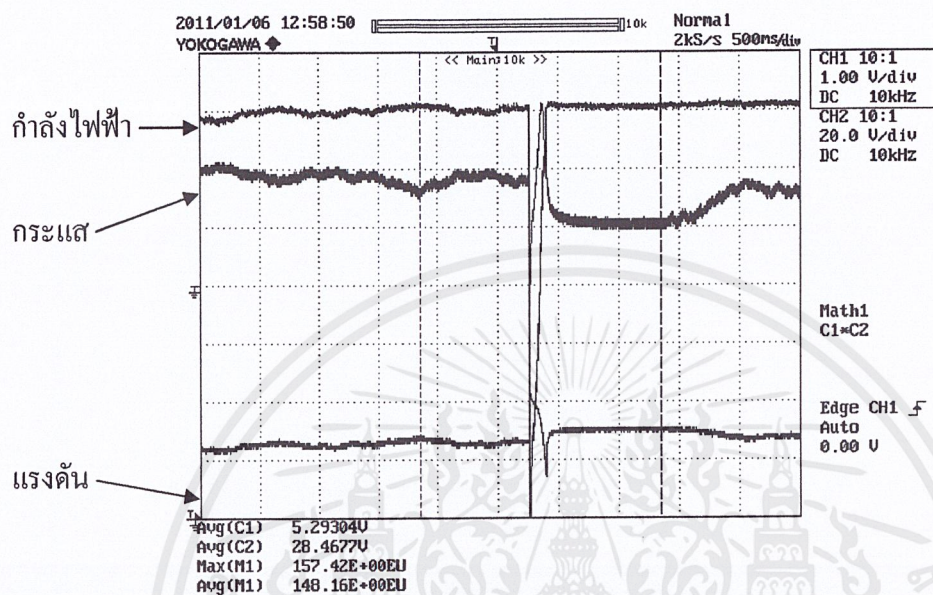


รูปที่ 4.19 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 4.19 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O หาคความสัมพันธ์

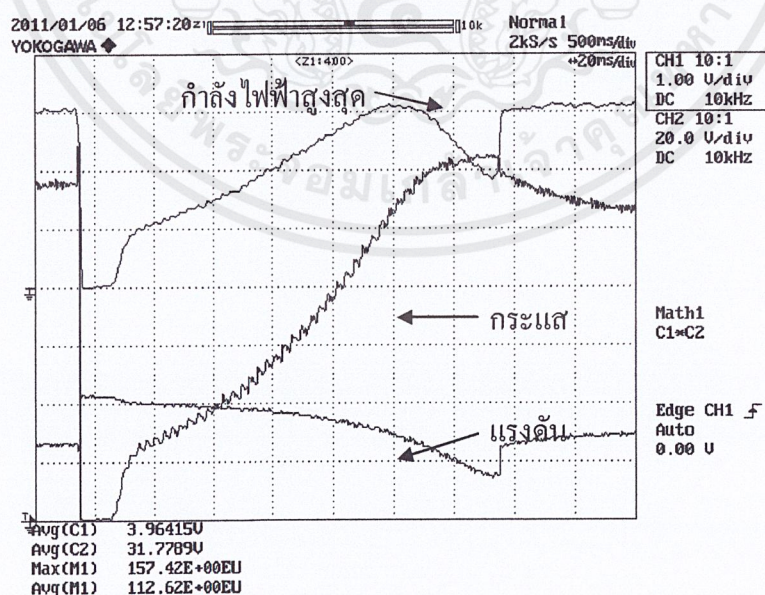
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา โดยใช้ฟังก์ชัน Math ในการดูกราฟกระแสไฟฟ้ากับกราฟแรงดันไฟฟ้า ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 155.4 วัตต์



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 4.20 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส หลังจากทำการกวาดกระแสได้ค่ากำลังไฟฟ้า 157.42 วัตต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิค P&O ในรูปที่ 4.19 มาก



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

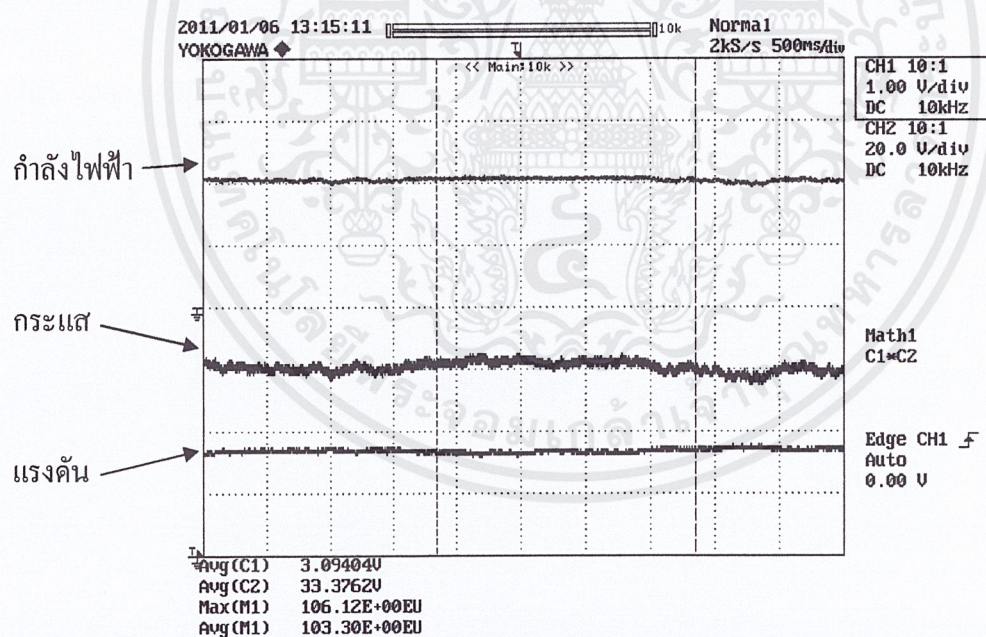
จากรูปที่ 4.21 ภาพขยายขณะทำการกวาดกระแสในรูปที่ 4.20 แสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ขณะที่ค่อยๆปรับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลง พบว่ากำลังไฟฟ้ามีจุดยอดเพียงจุดเดียว

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 1

พารามิเตอร์	เทคนิค P&O	เทคนิคกวาดกระแส
กำลังไฟฟ้า	155.40 W	157.42 W
กระแส	5.41774 A	5.29304 A
แรงดัน	28.7148 V	29.7409 V

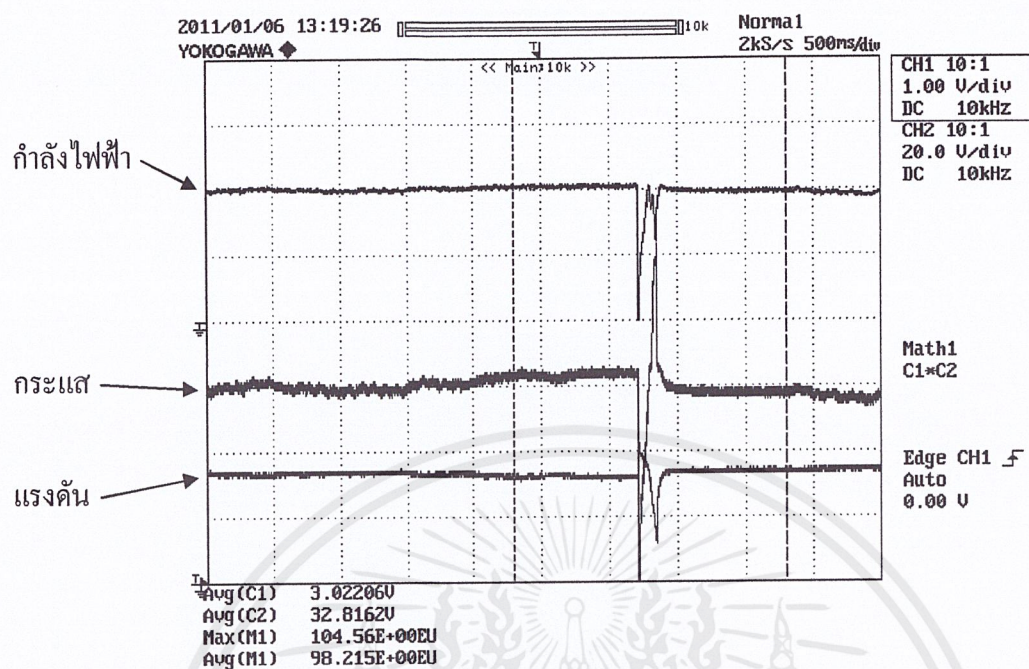
จากผลการทดลองกรณีที่ 1 เมื่อความเข้มแสงมีค่าสม่ำเสมอเทคนิค P&O และเทคนิคกวาดกระแส มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดใกล้เคียงกัน เนื่องจากกราฟคุณลักษณะมีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียงจุดเดียว

กรณีที่ 2 ความเข้มแสงในแต่ละแผง 842.93 W/m², 832.66 W/m² และ 393.42 W/m²



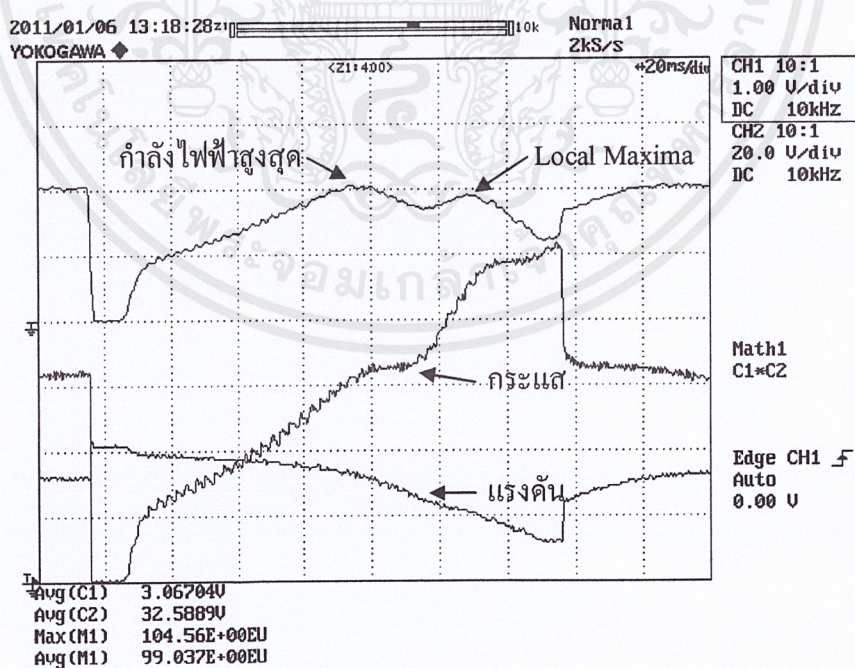
รูปที่ 4.22 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 4.22 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 103.3 วัตต์



รูปที่ 4.23 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 4.23 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส หลังจากทำการกวาดกระแสได้ค่ากำลังไฟฟ้า 104.56 วัตต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิค P&O ในรูปที่ 4.22 มาก



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

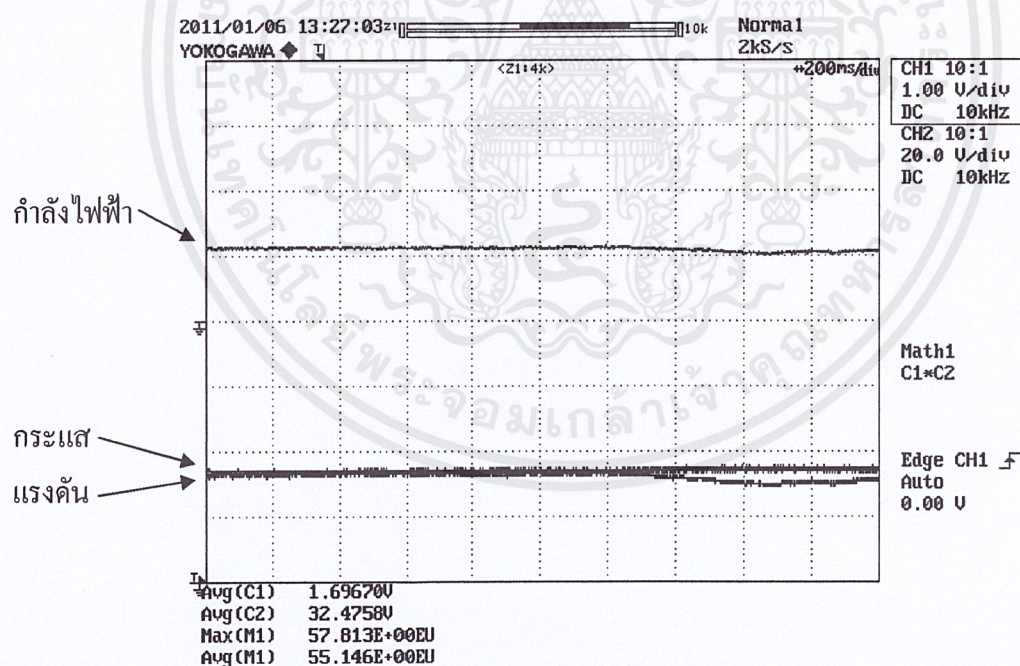
จากรูปที่ 4.24 ภาพขยายขณะทำการกวาดกระแสในรูปที่ 4.23 แสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้ามีจุดยอด 2 จุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 2

พารามิเตอร์	เทคนิค P&O	เทคนิคกวาดกระแส
กำลังไฟฟ้า	103.30 W	104.56 W
กระแส	3.09404 A	3.06704 A
แรงดัน	33.3762 V	34.0915 V

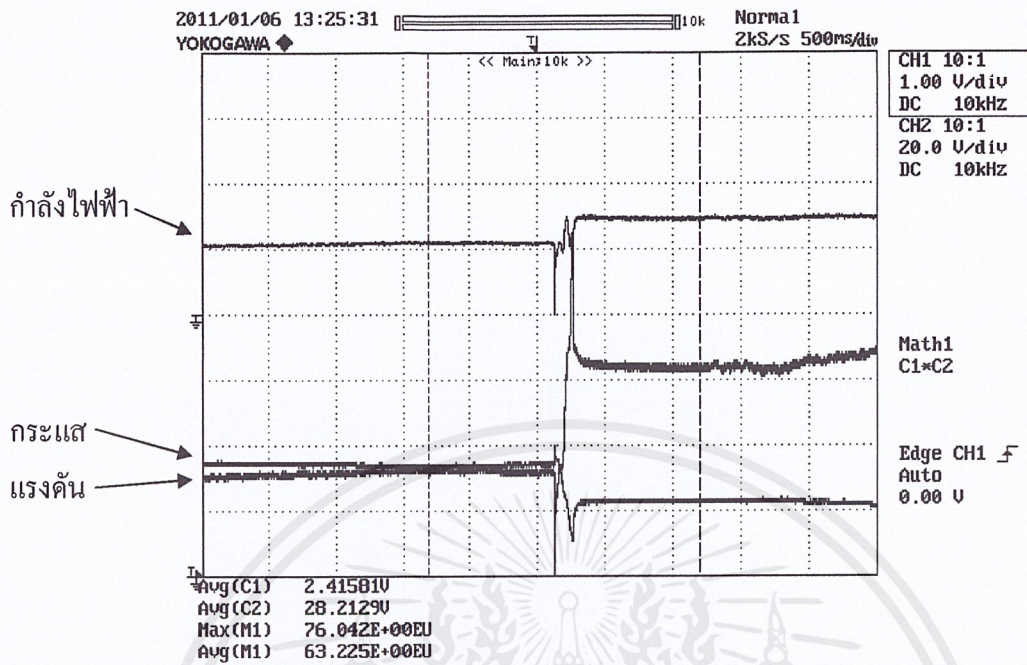
จากผลการทดลองกรณีที่ 2 เมื่อความเข้มแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหา Local Maxima มีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด แต่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้ง 2 เทคนิคมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุด Local Maxima ทั้ง 2 จุดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

กรณีที่ 3 ความเข้มแสงในแต่ละแผง 834.24 W/m², 413.17 W/m² และ 195.92 W/m²



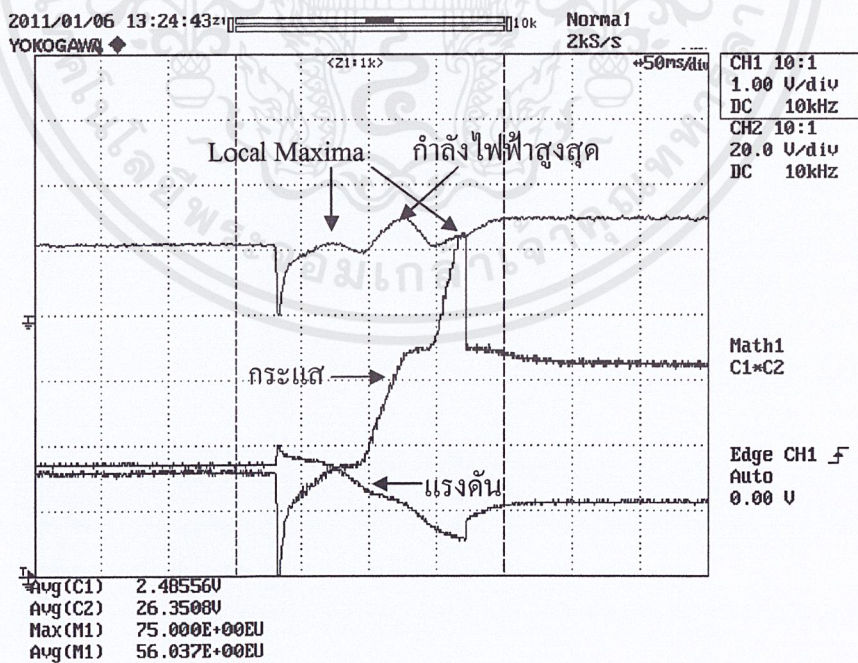
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 3

จากรูปที่ 4.25 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 55.146 วัตต์



รูปที่ 4.26 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 3

จากรูปที่ 4.26 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส หลังจากทำการกวาดกระแสได้ค่ากำลังไฟฟ้า 75 วัตต์ ซึ่งมีความมากกว่าเทคนิค P&O ในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.27 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

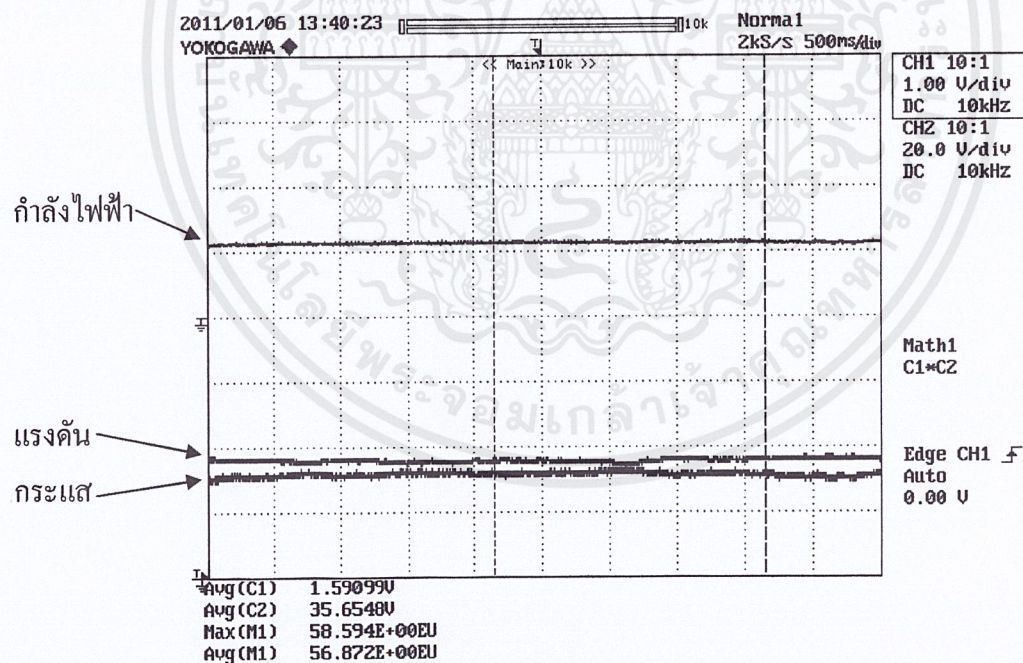
จากรูปที่ 4.27 ภาพขยายขณะทำการกวาดกระแสในรูปที่ 4.26 แสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้ามีจุดยอด 3 จุดซึ่งมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 3

พารามิเตอร์	เทคนิค P&O	เทคนิคกวาดกระแส
กำลังไฟฟ้า	55.146 W	75.000 W
กระแส	1.69670 A	3.25000 A
แรงดัน	32.4758 V	23.0769 V

จากผลการทดลองกรณีที่ 3 เมื่อความเข้มแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหา Local Maxima มีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคกวาดกระแสมีค่าสูงกว่าเทคนิค P&O ทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเดิม 26.47%

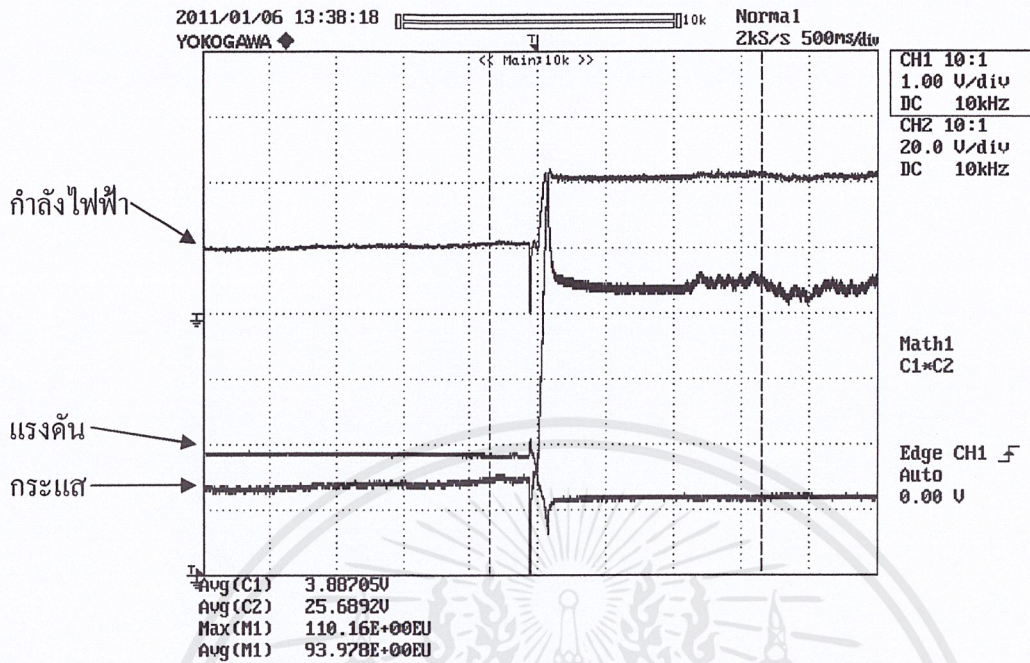
กรณีที่ 4 ความเข้มแสงในแต่ละแผง 950.37 W/m², 771.04 W/m² และ 199.87 W/m²



รูปที่ 4.28 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 4

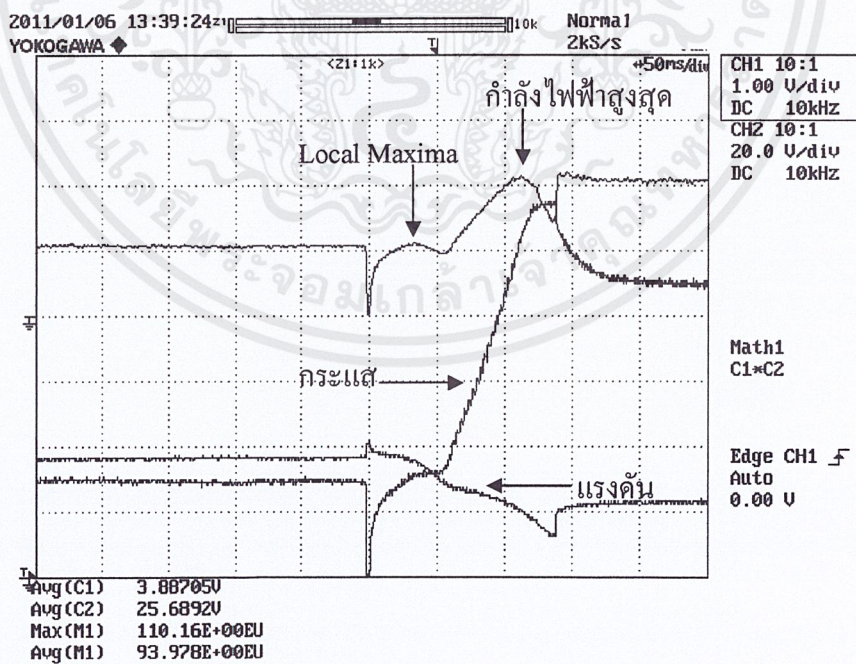
จากรูปที่ 4.28 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 56.872 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 4

จากรูปที่ 4.29 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส หลังจากทำการกวาดกระแสได้ค่ากำลังไฟฟ้า 110.16 วัตต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเทคนิค P&O ในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.30 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

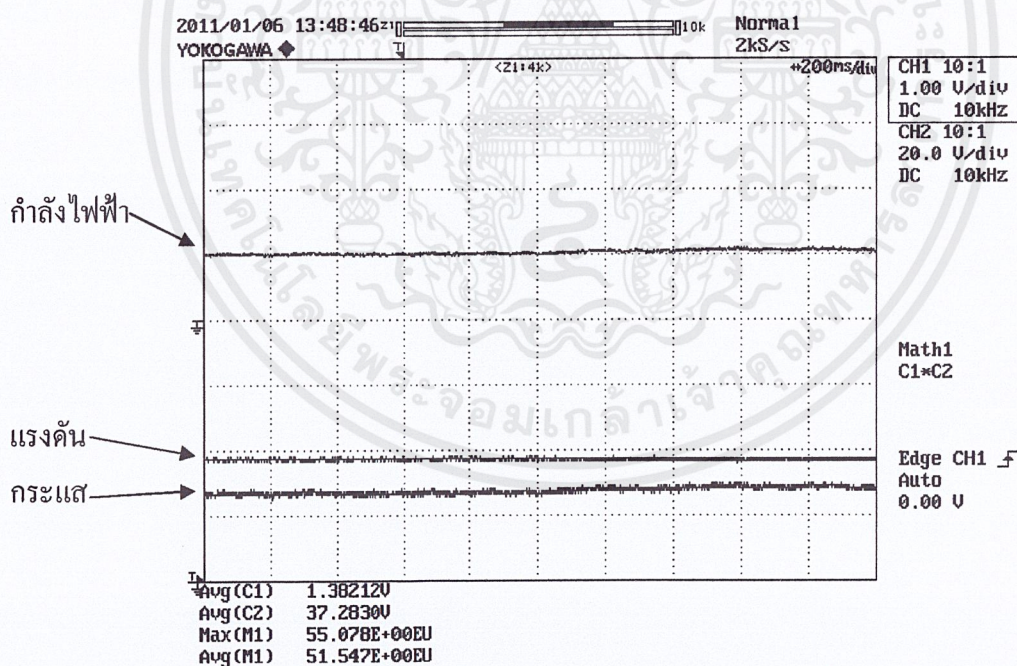
จากรูปที่ 4.30 ภาพขยายขณะทำการกวาดกระแสในรูปที่ 4.29 แสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้ามีจุดยอด 2 จุดซึ่งมีค่าแตกต่างกันมาก

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 4

พารามิเตอร์	เทคนิค P&O	เทคนิคกวาดกระแส
กำลังไฟฟ้า	56.872 W	110.16 W
กระแส	1.59099 A	4.60000 A
แรงดัน	35.6548 V	23.9478 V

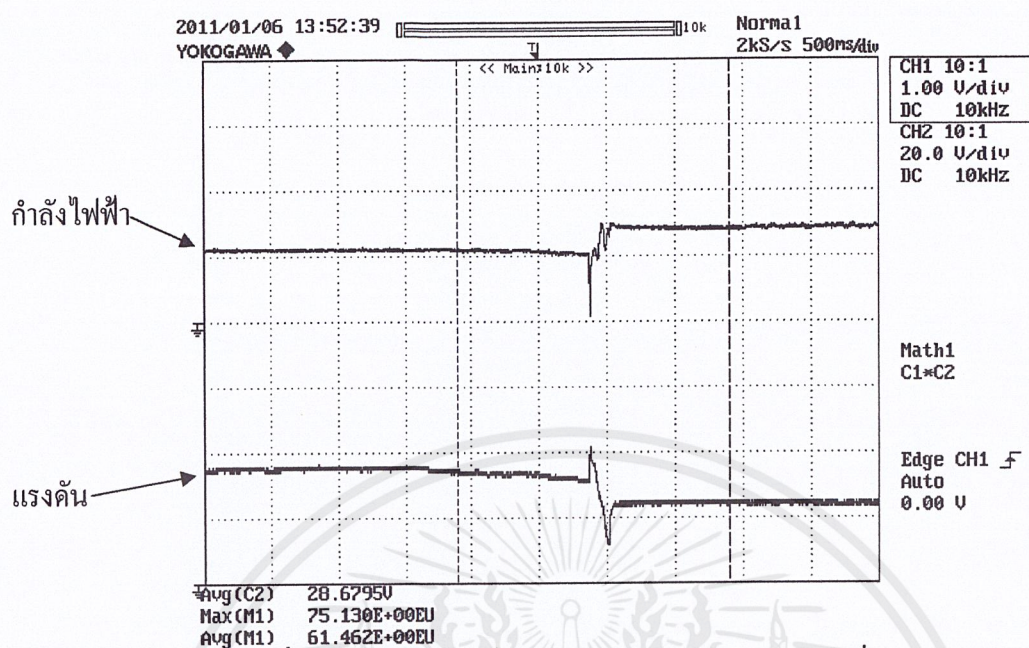
จากผลการทดลองกรณีที่ 4 เมื่อความเข้มแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหา Local Maxima มีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคกวาดกระแสมีค่าสูงกว่าเทคนิค P&O เช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเดิม 48.37%

กรณีที่ 5 ความเข้มแสงในแต่ละแผง 978.81 W/m², 411.59 W/m² และ 203.03 W/m²



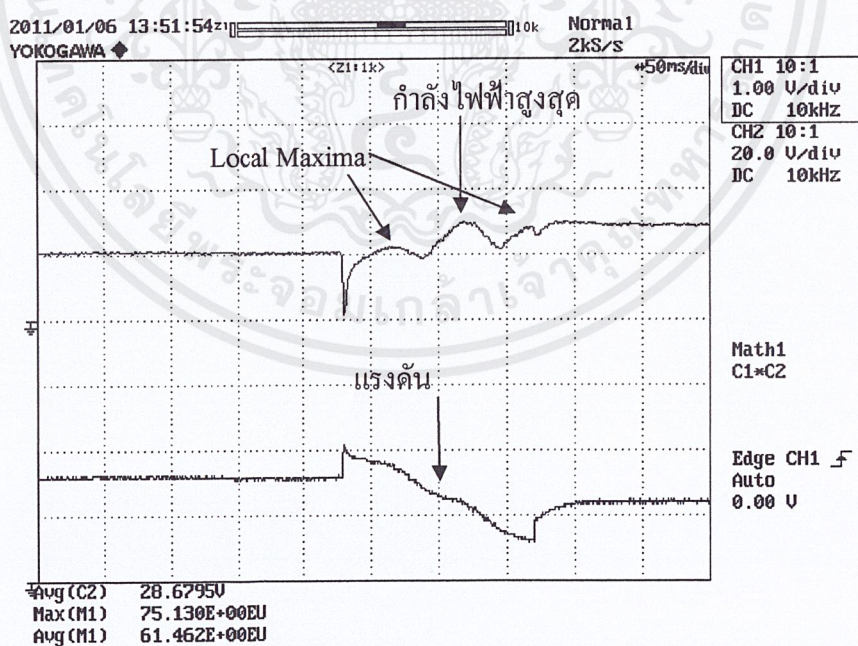
รูปที่ 4.31 ผลการทดลองด้วยเทคนิค P&O ในกรณีที่ 5

จากรูปที่ 4.31 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 51.547 วัตต์



รูปที่ 4.32 ผลการทดลองด้วยเทคนิคกวาดกระแสในกรณีที่ 5

จากรูปที่ 4.32 ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแส หลังจากทำการกวาดกระแสได้ค่ากำลังไฟฟ้า 75.13 วัตต์ ซึ่งมีความมากกว่าเทคนิค P&O ในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.33 ผลการทดลองคุณลักษณะขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 5

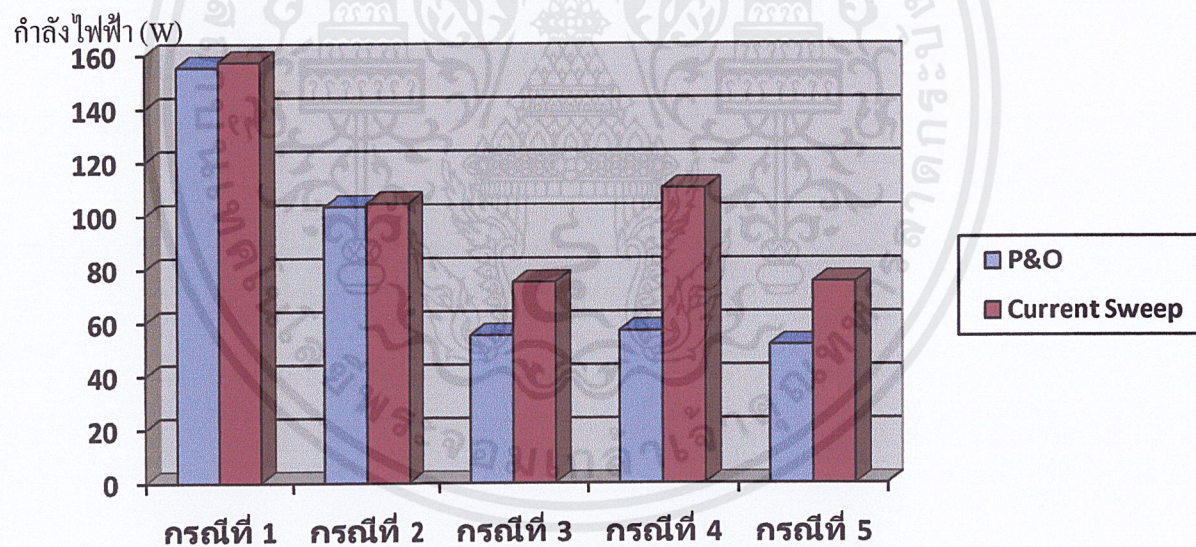
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.33 ภาพขยายขณะทำการกวาดกระแสในรูปที่ 4.32 แสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้ามีจุดยอด 3 จุดซึ่งมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ 5

พารามิเตอร์	เทคนิค P&O	เทคนิคกวาดกระแส
กำลังไฟฟ้า	51.547 W	75.130 W
กระแส	1.38212 A	3.00000 A
แรงดัน	37.2830 V	25.0433 V

จากผลการทดลองกรณีที่ 5 เมื่อความเข้มแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหา Local Maxima มีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคกวาดกระแสมีค่าสูงกว่าเทคนิค P&O เช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเดิม 31.39%



รูปที่ 4.34 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากรูปที่ 4.34 เมื่อนำการทดลองในแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเทคนิคกวาดกระแสสามารถให้ประสิทธิผลกำลังไฟฟ้าเทียบเท่าหรือสูงกว่าเทคนิค P&O ในทุกกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 บทสรุป

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหา Local Maxima จริงตามที่ได้จำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้เทคนิค P&O ไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ (ไม่เป็น True MPP) แต่เทคนิคกวาดกระแสสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ไม่ว่าจะเกิดปัญหาการบังเงาบางส่วนหรือความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอก็ตาม ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเทคนิคเดิม



บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

สรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้า ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางการศึกษาผลกระทบจากความเข้มแสง เช่น ปัญหาการบังเงาบางส่วนจากก้อนเมฆ ปัญหาความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอเท่ากันทุกแผง เพื่อนำไปพัฒนาแนวคิดในการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

สรุปผลการทดลองจริงเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค Perturb & Observe (P&O) สามารถทำได้จริงในกรณีที่ความเข้มแสงสม่ำเสมอ แต่เมื่อความเข้มแสงที่ตกกระทบแต่ละแผงไม่เท่ากันทำให้เกิดปัญหา Local Maxima อาจทำให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ถูกต้อง ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยเทคนิคกวาดกระแส (Current Sweep) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แล้วให้ผลในลักษณะเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคกวาดกระแสสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษากราฟคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงโหลด และยังใช้เวลาน้อยสามารถเห็นคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในสภาวะความเข้มแสงนั้นๆ ลดความผิดพลาดอันเกิดจากความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา นอกจากนั้น จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้พบว่า มีข้อควรระวัง ดังต่อไปนี้

1. วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดใช้การสวิตชิงแบบ Hard switching จึงไม่ได้คำนึงถึงผลของ spike และค่าความสูญเสียจากการสวิตช์ นอกจากนั้น ผลจากการสวิตชิงดังกล่าวอาจก่อให้เกิด EMI ซึ่งจะสร้างสัญญาณรบกวนไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น และในขณะเดียวกันก็อาจจะเป็นตัวรับสัญญาณรบกวนจากที่อื่นได้ด้วย

2. วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน ทางด้านแรงดันขาออกได้ใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อรักษาระดับแรงดัน ดังนั้นอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ในสภาวะ No-load

3. ในการสวิตซึ่งด้วยความถี่สูงอาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่อุปกรณ์อสเฟต และอาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้ในกรณีที่มอสเฟตเสียหาย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่เหมาะสม

5.3 แนวทางการพัฒนา

อย่างไรก็ตามเทคนิคการกวาดกระแสวิกขังมีความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในขณะที่ทำการกวาดกระแส ดังนั้นถ้าหากใช้เวลาในการกวาดกระแสนานก็จะสูญเสียพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวไป และไม่ควรใช้เทคนิคการกวาดกระแสบ่อยจนเกินไป เพราะในความเป็นจริงการกวาดกระแสจะมีประโยชน์ก็ต่อเมื่อเกิดปัญหา Local Maxima เท่านั้น



บรรณานุกรม

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7230>
- [3] Y.-T. Hsiao and C.-H. Chen, "Maximum power tracking for photovoltaic power system," in **Conf. Record 37th IAS Annu. Meeting Ind. Appl. Conf.**, 2002, pp. 1035–1040.
- [4] O. Wasynczuk, "Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems," **IEEE Trans. Power App. Syst.**, vol. 102, no. 9, pp. 3031–3037, Sep. 1983.
- [5] T. Hiyama, S. Kouzuma, and T. Imakubo, "Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control," **IEEE Trans. Energy Convers.**, vol. 10, no. 2, pp. 360–367, Jun. 1995.
- [6] K. Ro and S. Rahman, "Two-loop controller for maximizing performance of a grid-connected photovoltaic-fuel cell hybrid power plant," **IEEE Trans. Energy Convers.**, vol. 13, no. 3, pp. 276–281, Sep. 1998.
- [7] A. Hussein, K. Hirasawa, J. Hu, and J. Murata, "The dynamic performance of photovoltaic supplied dc motor fed from DC–DC converter and controlled by neural networks," in **Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw.**, 2002, pp. 607–612.
- [8] X. Sun, W. Wu, X. Li, and Q. Zhao, "A research on photovoltaic energy controlling system with maximum power point tracking," in **Proc. Power Convers. Conf.**, 2002, pp. 822–826.
- [9] L. Zhang, Y. Bai, and A. Al-Amoudi, "GA-RBF neural network based maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic systems," in **Proc. Int. Conf. Power Electron., Machines and Drives**, 2002, pp. 18–23.
- [10] H. Sugimoto and H. Dong, "A new scheme for maximum photovoltaic power tracking control," in **Proc. Power Convers. Conf.**, 1997, pp. 691–696.
- [11] S. J. Chiang, K. T. Chang, and C. Y. Yen, "Residential photovoltaic energy storage system," **IEEE Trans. Ind. Electron.**, vol. 45, no. 3, pp. 385–394, Jun. 1998.
- [12] J. A. M. Bleijs and A. Gow, "Fast maximum power point control of current-fed DC–DC converter for photovoltaic arrays," **Electron. Lett.**, vol. 37, pp. 5–6, Jan. 2001.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] C.-L. Hou, J. Wu, M. Zhang, J.-M. Yang, and J.-P. Li, "Application of adaptive algorithm of solar cell battery charger," in **Proc. IEEE Int. Conf. Elect. Utility Deregulation Restruct. Power Technol.**, 2004, pp. 810–813.
- [14] T. Takashima, T. Tanaka, M. Amano, and Y. Ando, "Maximum output control of photovoltaic (PV) array," in **Proc. 35th Intersociety Energy Convers. Eng. Conf. Exhib.**, 2000, pp. 380–383.
- [15] T. Eswam, and P.L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," **Energy Conversion, IEEE Transactions on Vol.22, Issue 2.**, 2007, pp. 439–449
- [16] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน, ดร. วุฒิพล ชาราริรเศรษฐ์, อีเล็กทรอนิกส์กำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2550.
- [17] Ned mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbin, "**Power Electronics**", second edition, John Willey & Sons, INC, 1995



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์

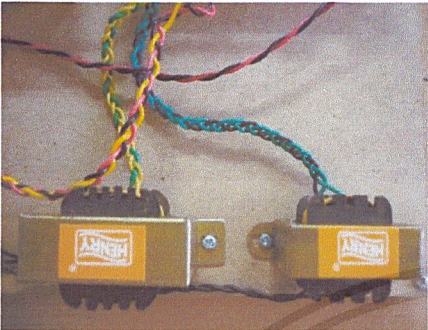
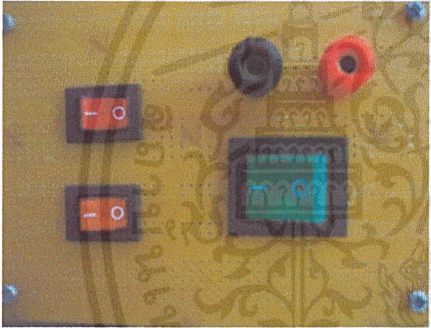
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p style="text-align: center;">เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด</p>
	<p style="text-align: center;">วงจรทบระดับแรงดัน</p>
	<p style="text-align: center;">ชุดคอนโทรล PIC18F2620</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	หม้อแปลง
	สวิทช์

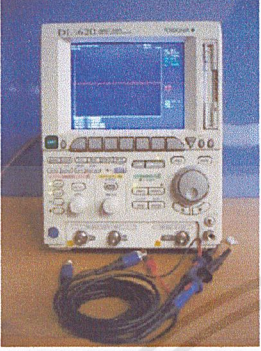


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริยญานิพนธ์


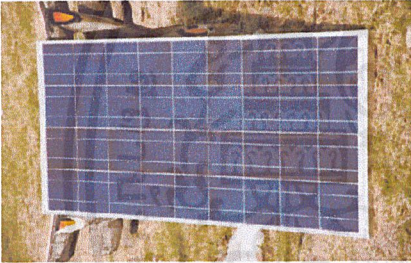
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ออสซิลโลสโคป</p>
	<p>มัลติมิเตอร์</p>
	<p>ลิกซ์มิเตอร์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	โพลดความต้านทาน
	เซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.
โปรแกรมที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#define _PIC18F2620_ // Use PIC16F877 device
#include <18F2620.h> // Standard Header file for the PIC16F877 device
#define ADC=10
#define TxD PIN_C6 // Define Transmitted Data
#define RxD PIN_C7 // Define Received Data
#define CLOCK_SP 2000000 // Clock Speed(Hz)
// Device Specification
#fuses HS // Oscillator mode HS
#fuses NOLVP, NOWDT // No Low Voltage Program, No Watchdog timer
#fuses NOPROTECT // Code no protection
#use delay (clock=CLOCK_SP) // Use built-in function: delay_ms() & delay_us()
#use rs232(baud=9600, xmit=TxD,rcv=RxD)
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
void main()
{
    int16 duty_C=0,j,o=0,n,z=0,y=0;
    int sweep=0;
    float
value=0,value1=0,valuev,valuei,volt,voc,voc_last=0,current,pw=0,Plast=0,pmx,v[225],i[225],
d[225],vp,ip,dp,Dlast=0,dp_dd,Pread=0,Preadl=0;
    setup_ccp1(CCP_PWM); // Configure CCP1 as a PWM
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 127, 1);
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(adc_clock_internal);
    while( TRUE )

{
    //current sweep
    if(sweep==1)
    {
        voc_last=0;
        o=0;
        duty_C=0;
        pw=0;
        Plast=0;
        Dlast=0;
        Pread=0;
        Preadl=0;
        j=0;
        n=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

value=0;
value1=0;
for(j=0;j<3;j++)
{
  set_pwm1_duty(duty_C);
  delay_ms(1);
  for(n=0;n<10;n++)
  {
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    valuev=read_adc();

    set_adc_channel(1);
    delay_us(20);
    valuei=read_adc();

    value=value+valuev;
    value1=value1+valuei;
  }

  value=value*(0.1);
  value1=value1*(0.1);

  //P = value*value1;
  v[j]=16*(5.0/1023)*(float)value;
  i[j]=(5.0/1023)*(float)value1;
  value=0;
  value1=0;
  d[j]=duty_C;
  duty_C = duty_C+160;
}

if((v[0]*i[0])>(v[1]*i[1]))
{pmx=(v[0]*i[0]);
vp=v[0];
ip=i[0];
dp=d[0];
}
else{pmx=(v[1]*i[1]);
vp=v[1];
ip=i[1];
dp=d[1];
}

```

```
for(j=2;j<3;j++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  if((v[j]*i[j])>pmx)
  {pmx=(v[j]*i[j]);
  vp=v[j];
  ip=i[j];
  dp=d[j];
  }
}

sweep=3;
}
if (sweep==3)
{
  duty_C=dp;
  set_pwm1_duty(duty_C);
  delay_ms(1);
  sweep=0;
}

if(sweep==0)
{
  for(n=0;n<50;n++)
  {
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    valuev=read_adc();

    set_adc_channel(1);
    delay_us(20);
    valuei=read_adc();

    value=value+valuev;
    value1=value1+valuei;
  }

  value=value*(0.02);
  value1=value1*(0.02);

  volt=16*(5.0/1023)*(float)value;
  current=(5.0/1023)*(float)value1;
  value=0;
  value1=0;
  pw=volt*current;
  if((duty_C-Dlast)==0)
    { if(duty_C==495)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {duty_C = duty_C-20;}
        else
        {duty_C = duty_C+5;}
    }
    dp_dd = (pw-Plast)/(duty_C-Dlast);
    Dlast = duty_C;
    if(dp_dd>=0)
    {
        duty_C = duty_C+5;
    }
    else
    {
        duty_C = duty_C-5;
    }
    if(duty_C>495)
    {
        duty_C = 495;
    }
    if(duty_C<=5)
    {
        duty_C = 5;
    }
    Plast = pw;

    set_pwm1_duty(duty_C);
    delay_ms(10);
    y++;
    if(y==300)
    {
        y=0;
        sweep=1;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน

Maximum Power Point Tracking using Current Sweep Method for a Partial Shading Problem

ภาคภูมิ สีแสงฤทธิ์ สุทธิพงษ์ รุ่งษา สุรวิชญ์ เกษมพงษ์ และอนันต์ เขาวลิตสกุลชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ PV (Photovoltaic) เทคนิคที่นำเสนอเป็นเทคนิคในการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่เรียกว่า เทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep) ซึ่งจะใช้ร่วมกับเทคนิค Perturb and Observe (P&O) ข้อเสียของเทคนิค P&O ในระบบต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงนี้จะไม่สามารถตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะที่เกิด local maxima ได้ เทคนิคการกวาดกระแสจะเริ่มต้นกวาดกระแสตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ากระแสแล้ดวงจรเพื่อค้นหาตำแหน่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงได้แม้จะเกิดสภาวะการบังเงาบางส่วน (Partial Shading) ก็ตาม ผลการจำลองและการทดลองการทำงานของระบบ PV 3 แผงต่ออนุกรมกันภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่ได้รับในแต่ละแผงไม่เท่ากันถูกแสดงในบทความ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าเทคนิคเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด, Local Maxima, เทคนิค Perturb and Observe (P&O), เทคนิคการกวาดกระแส

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 paper. As results indicated, the maximum power point gained from the proposed technique is significantly better than that of the conventional technique.

Keyword: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Local Maxima,

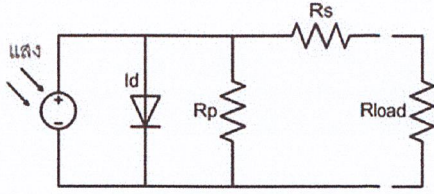
Perturb and Observe (P&O), Current Sweep

1. บทนำ

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1] ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง อุณหภูมิ แรงดัน กระแส และเงื่อนไขของพื้นผิว [2] ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานให้ดีขึ้น วงจรที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นวงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรง เพื่อใช้ควบคุมจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดที่มีค่าแรงดันและกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{mpp} & I_{mpp}) [1] ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิและความเข้มแสงต่างกัน เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีอยู่หลายวิธี เทคนิคที่นิยมใช้กันมากคือ "Hill Climbing" และ "Perturb and Observe" (P&O) ซึ่งทั้งสองวิธีจะทำงานโดยการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ หากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็นลบหรือเพิ่มขึ้นระบบจะปรับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของกระแสหรือแรงดันไปในทิศทางเดิม หากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็นลบหรือกำลังไฟฟ้ากำลังลดลง ระบบจะปรับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของกระแสหรือแรงดันไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางเดิมเพื่อค้นหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่ระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 1 แผงเทคนิคนี้อาจจะมีปัญหาเนื่องจากสภาวะที่ความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงไม่เท่ากัน เช่น การบังเงาบางส่วน [3] ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจเกิดปัญหา local maxima ทำให้เครื่องตามรอยไม่สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง (Global MPP) ได้ เพื่อแก้ปัญหานี้โครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เรียกว่าเทคนิคการกวาดกระแส (Current Sweep) [4] เทคนิคดังกล่าวจะทำการกวาดกระแสตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่ากระแสแล้ดวงจรของระบบในขณะนั้นๆ ทำให้ทราบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงแม้จะอยู่ในสภาวะการบังเงาบางส่วนก็ตาม นอกจากนี้โครงการวิจัยนี้ยังได้นำเสนอผลการทดลองการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับ MPPT ที่พัฒนาขึ้น โดยนำเทคนิคการกวาดกระแสนี้ไปทดลองเปรียบเทียบกับเทคนิค P&O

2. ทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของ Photovoltaic (PV)



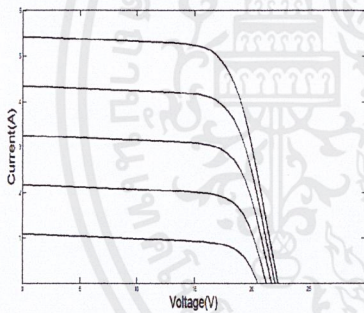
รูปที่ 1 วงจรสมมูลของแผง Photovoltaic

วงจรมูลของแผง PV สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของแผง photovoltaic ในการแปรผันพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะต้องได้รับการกระตุ้นจากแสงอาทิตย์ จาก [5] จะมีความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเป็นไปตามสมการที่ (1) และ (2)

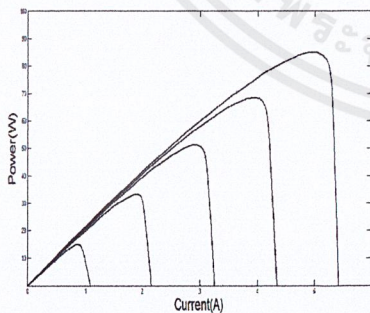
$$I_{PV} = I_L - I_0[\exp(V_{PV}/V_T) - 1] \quad (1)$$

$$V_{PV} = V_T \ln[(I_L - I_{PV})/I_0 + 1] \quad (2)$$

เมื่อ I_{PV} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับความ (แอมป์) I_0 คือ กระแสเอทท์พุท (แอมป์) I_L คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์) V_{PV} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับความ (โวลต์) V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$ ซึ่ง K_B คือค่าคงที่ของโบลท์มาน T คืออุณหภูมิ n คือ ideality factor q คือ ประจุอิเล็กตรอน (คูลอมบ์)



(ก)

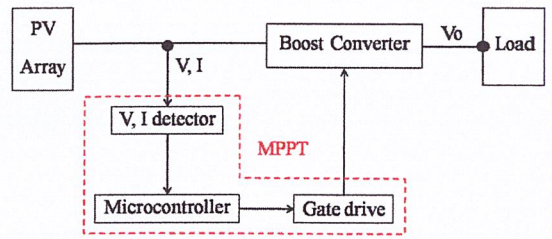


(ข)

รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะของแผง PV (ก) กราฟ I - V (ข) กราฟ P-I

จากรูปที่ 2 กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV จะแปรผันตามความเข้มของแสง จากรูปที่ 2 (ข) จุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้า (P) คือ จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดขณะความเข้มแสงนั้นๆ (P_{max}) ดังนั้นจะต้องใช้ MPPT เพื่อรักษาระดับกำลังไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงกับจุด P_{max} ให้ได้มากที่สุดที่ความเข้มแสงต่างๆ ซึ่งการใช้ MPPT จะสามารถช่วยให้การแปลงพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้า

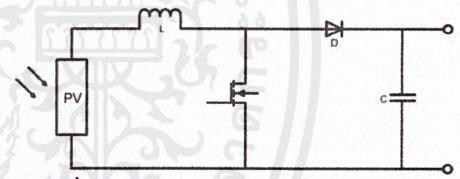


รูปที่ 3 แผนผังการต่อชุด MPPT สำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน

วงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ชนิดหนึ่งที่สามารถให้แรงดันเอาต์พุทที่มีค่ามากขึ้นตามต้องการ โดยการปรับดิวิตีไซเคิลดังวงจรในรูปที่ 4 การทำงานของวงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 โหมด คือ โหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องการปรับแรงดันเอาต์พุทจะไม่ได้ขึ้นกับดิวิตีไซเคิลเพียงอย่างเดียว แต่ในบทความนี้จะใช้งานเฉพาะที่โหมดกระแสต่อเนื่องเท่านั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทและแรงดันเอาต์พุทแสดงได้ตามสมการที่ (3)

$$V_o/V_i = 1/(1 - D) \quad (3)$$

โดยที่ V_o คือ แรงดันเอาต์พุท V_i คือ แรงดันอินพุท และ D คือ Duty cycle



รูปที่ 4 วงจร Boost Converter ที่ใช้เป็น MPPT

จากรูปที่ 4 อินพุทของวงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้าจะรับมาจากแผง PV เพื่อเพิ่มแรงดันให้มากขึ้นและยังสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้ด้วย โดยการใช้เทคนิคการกวาดกระแสซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้ปรับค่าดิวิตีไซเคิลของวงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผง PV.

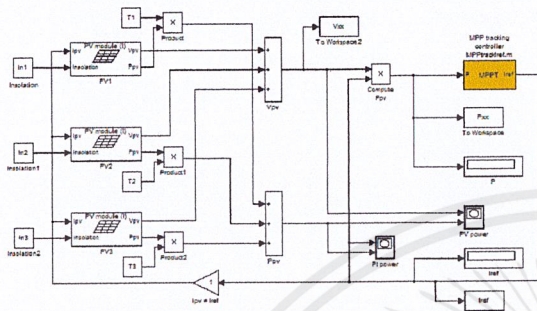
2.3 หลักการของ เทคนิคการกวาดกระแส

เทคนิคการกวาดกระแสโดยใช้วงจร RC [6] ซึ่งจะใช้การคายประจุของตัวเก็บประจุในการกวาดเพื่อหาจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV และการกวาดในแต่ละครั้งจะต้องหยุดการทำงานของวงจรบัพระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนโดยการเปิดวงจร (Open Circuit) แล้วจึงให้ตัวเก็บประจุคายประจุเพื่อกวาดหาจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่การหยุดการทำงานของวงจรบัพระดับแรงดัน ไฟฟ้านั้นทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าไปจนกว่าจะทำการกวาดเสร็จ ซึ่งเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทานขึ้นอยู่กับ ค่าคงตัวของเวลา (time constant) มีค่าเท่ากับ RC ซึ่งเทคนิคนี้เกิดความสูญเสียพลังงานจากการตัดวงจรเพื่อทำการกวาดกระแส

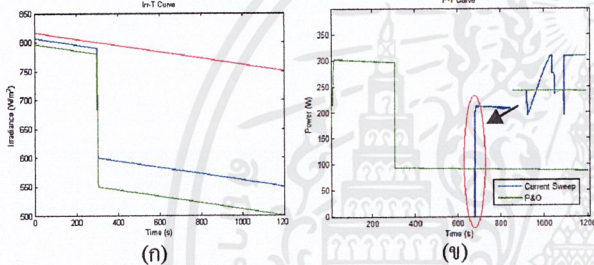
เทคนิคการกวาดกระแสโดยใช้หลักการปรับกระแสของแผง PV โดยการปรับค่าดิวิตีไซเคิลของวงจรบัพระดับแรงดัน ซึ่งการปรับดิวิตีไซเคิลแต่ละครั้งก็จะทำการเก็บค่ากระแสและค่ากำลังไฟฟ้า

เอาไว้เพื่อมาเปรียบเทียบกันว่าที่ค่าตัวไซเคิลเท่าไรที่ทำให้ได้กำลังไฟสูงสุด ก็ให้ระบบทำงานที่ค่าตัวไซเคิลนั้นๆอย่างไว้ก็ตาม
 เมื่อมีการใช้งานแผง PV มากกว่า 1 แผง อาจมีการบังเงาบางส่วนเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากก้อนเมฆ ซึ่งจะทำให้จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงต้องทำการกวาดใหม่เพื่อหาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นใหม่ในระบบ ซึ่งความถี่ที่จะกวาดขึ้นอยู่กับการประมาณว่ามีการบังเงาบางส่วนบ่อยแค่ไหน แต่ในการทดลองนี้จะทำการกวาดทุกๆ 10 นาที เพื่อที่จะทำให้ได้จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสม

3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB/Simulink)



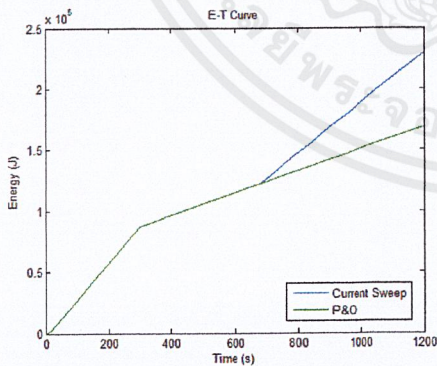
รูปที่ 5 ระบบแผง PV 3 แผง



รูปที่ 6 (ก) การจำลองความเข้มแสงเมื่อเกิดการบังเงา

(จ) ผลการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และเทคนิคกวาดกระแสภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า

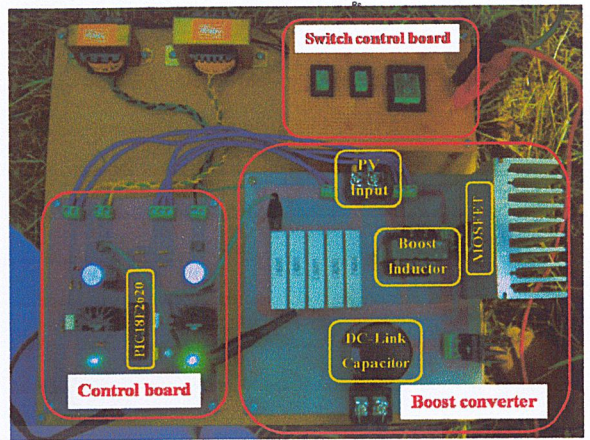
จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า พบว่าเทคนิคกวาดกระแสได้พลังงานมากกว่าเทคนิคเดิม

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการใช้เทคนิคกวาดกระแส

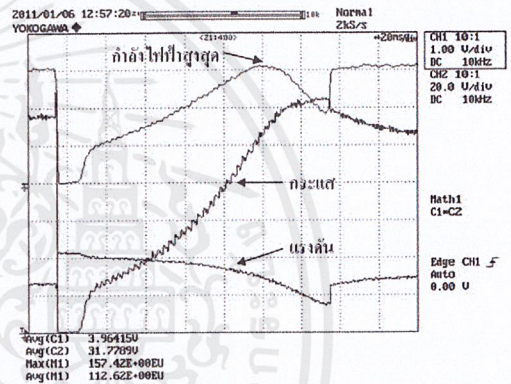
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการวิจัยมีคุณลักษณะดังนี้ กำลังไฟฟ้า 125 วัตต์, กระแส 7.36 แอมป์, แรงดัน 17 โวลต์, กระแสลัดวงจร 7.64 แอมป์, แรงดันเปิดวงจร 21.6 โวลต์ ในส่วนของการทดลองไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น ทำการเชื่อมต่อแผง PV ในลักษณะอนุกรมกัน 3 แผงโดยกำหนดให้ อยู่ภายใต้สภาวะความเข้มแสงหลายๆ กรณี ดังนี้



รูปที่ 8 เครื่องต้นแบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง

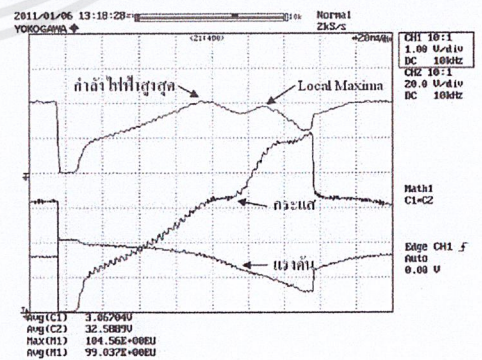
กรณีที่ 1 ทดลองการต่อแผง PV อนุกรม 3 แผงภายใต้สภาวะความเข้มแสงในแต่ละแผงเป็นดังนี้ 862, 852 และ 830 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 9 ผลการทดลองขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 9 ขณะทำการกวาดกระแสพบว่า ในขณะที่กำลังกวาดกำลังไฟฟ้าค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลง ทำให้เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังรูป ได้ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนทำการกวาดกระแสและหลังจากทำการกวาดกระแส 157 วัตต์เท่ากับ

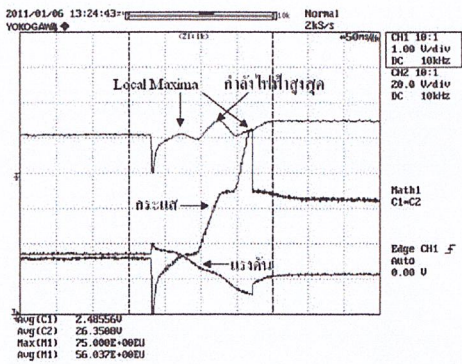
กรณีที่ 2 ทดลองการต่อแผง PV อนุกรม 3 แผงภายใต้สภาวะความเข้มแสงในแต่ละแผงเป็นดังนี้ 843, 833 และ 393 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 10 ผลการทดลองขณะทำการกวาดกระแสในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 10 ขณะทำการกวาดกระแสพบว่า เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุด (local maxima) ดังรูป ได้ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนทำการกวาดกระแส และหลังจากทำการกวาดกระแส 105 วัตต์ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเทคนิค P&O ทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถูกต้องแล้ว

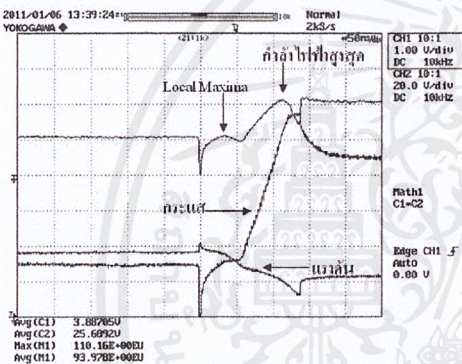
กรณีศึกษาที่ 3 ทดลองการต่อแผง PV อนุกรม 3 แผงภายใต้สภาวะความเข้มแสงในแต่ละแผงเป็นดังนี้ 834, 413 และ 196 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 11 ผลการทดลองขณะทำการกวาดกระแสในกรณีศึกษาที่ 3

จากรูปที่ 11 ขณะทำการกวาดกระแสพบว่า เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุดดังรูป ได้ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนทำการกวาดกระแส 55 วัตต์ และหลังจากทำการกวาดกระแส 75 วัตต์

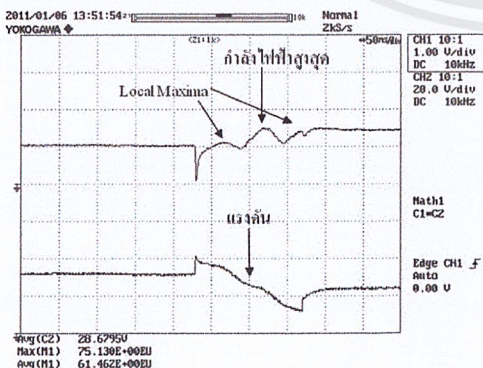
กรณีศึกษาที่ 4 ทดลองการต่อแผง PV อนุกรม 3 แผงภายใต้สภาวะความเข้มแสงในแต่ละแผงเป็นดังนี้ 950, 771 และ 200 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 12 ผลการทดลองขณะทำการกวาดกระแสในกรณีศึกษาที่ 4

จากรูปที่ 12 ขณะทำการกวาดกระแสพบว่า เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุดดังรูป ได้ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนทำการกวาดกระแส 57 วัตต์ และหลังจากทำการกวาดกระแส 110 วัตต์

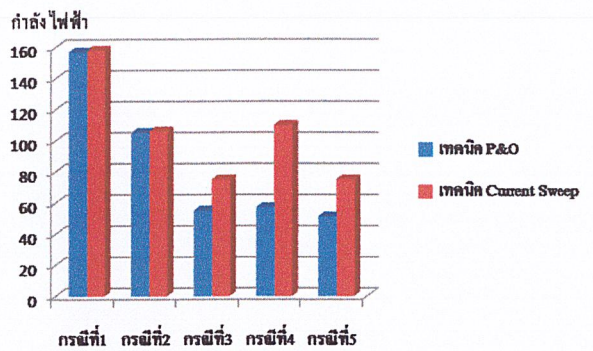
กรณีศึกษาที่ 5 ทดลองการต่อแผง PV อนุกรม 3 แผงภายใต้สภาวะความเข้มแสงในแต่ละแผงเป็นดังนี้ 978, 412 และ 203 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 13 ผลการทดลองขณะทำการกวาดกระแสในกรณีศึกษาที่ 5

จากรูปที่ 13 ขณะทำการกวาดกระแสพบว่า เกิดจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดหลายจุดดังรูป ได้ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนทำการกวาดกระแส 51 วัตต์ และหลังจากทำการกวาดกระแส 75 วัตต์

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

จากรูปที่ 14 พบว่าเทคนิคกวาดกระแสสามารถให้ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าเทียบเท่าหรือสูงกว่าเทคนิค P&O ในทุกกรณี

5. สรุป

ปัญหา local maxima เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนสามารถแก้ไขได้โดยเทคนิคการกวาดกระแส นอกจากนี้ไม่ว่าปัจจัยทางแสง อุณหภูมิ หรือคุณลักษณะของระบบ PV จะเป็นอย่างไร เทคนิคที่นำเสนอยังสามารถหาค่ากระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ผลการจำลองโปรแกรมและการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริงในปัญหาการบังเงาบางส่วน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Dombia, 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, K. Ichianagi, "Research of PV Model and MPPT Methods in Matlab," *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2010 Asia-Pacific, pp. 1-4.
- [3] H. Patel, 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
- [4] T. Esum, P.L. Chapman, "Comparison of Photo-voltaic 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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปสเตอร์นำเสนอผลงาน

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการกวาดกระแสสำหรับปัญหาการบังเงาบางส่วน Maximum Power Point Tracking using Current Sweep Method for Partial Shading Problem

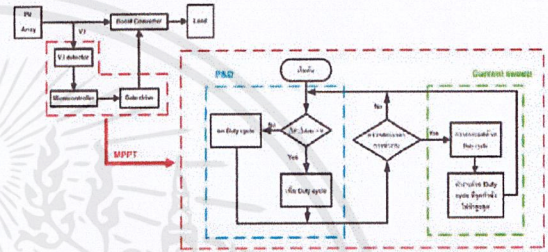
ภาคภูมิ ลิ้มแสงฤทธิ์, สุทธิพงษ์ ธีรมานา, สุรวินธุ์ ตามพงษ์ และอนันต์ ชาวลิตสกุลชัย
ผศ.ดร.สมยศ เทียรตวินชิวไล และ อ.วรภัทร์ ลิ้มเจริญ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



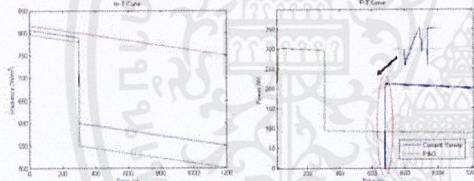
วัตถุประสงค์

- เพื่อเสนอเทคนิคการทำ MPPT ด้วยวิธีการกวาดกระแสภายใต้เงื่อนไขการบังเงาบางส่วน
- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- เพื่อเป็นต้นแบบเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาดกระแส

แผนผังการทำ MPPT ด้วยวิธีการกวาดกระแส

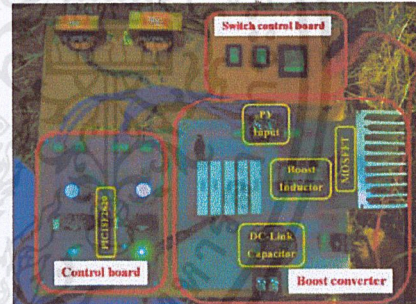


การจำลองโดยคอมพิวเตอร์

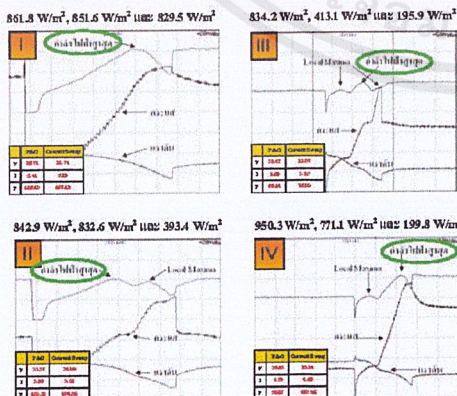


- จำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการกวาดกระแสเปรียบเทียบกับเทคนิค P&O เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วน
- กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทคนิคการกวาดกระแสสูงกว่าเทคนิค P&O

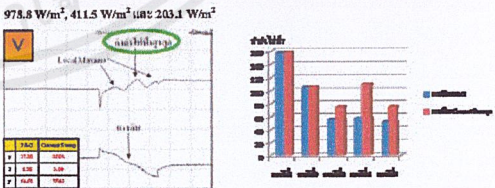
ชิ้นงานจริง



ผลการทดลอง



ผลการทดลอง (ต่อ)



- เทคนิคการกวาดกระแสสามารถนำมาพิจารณาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะต่างๆได้
- ปัญหา Local maxima เมื่อเกิดการบังเงาบางส่วนสามารถแก้ไขได้โดยเทคนิคการกวาดกระแส

01024202 PROJECT 2, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, KMITL

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล นายภาคภูมิ สีแสงฤทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด 9 สิงหาคม พ.ศ. 2532
ที่อยู่ 38 หมู่ที่ 9 ซอยรามอินทรา 91 แขวงคันนายาว
เขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10230

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ
กรุงเทพมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ระหว่างวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึง
29 พฤษภาคม 2553



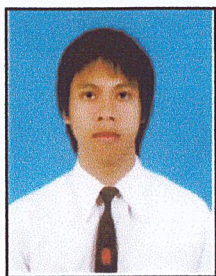
ชื่อ - นามสกุล นายสุทธิพงษ์ รุ่งษา
วัน เดือน ปีเกิด 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2531
ที่อยู่ 157 หมู่ที่ 2 ตำบลค่ายบกหวาน อำเภอเมือง
จังหวัดหนองคาย 43100

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร
จังหวัดหนองคาย
ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท รีเจนท์ กรีน เพาเวอร์ จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง
29 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

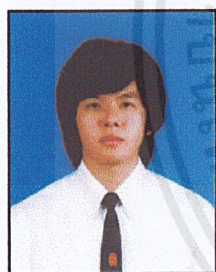
ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ชื่อ - นามสกุล นายสุรวิชัย เกษมพงษ์
 วัน เดือน ปีเกิด 9 มีนาคม พ.ศ. 2532
 ที่อยู่ 49/902 ซอยต้นแทน ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบางตลาด
 อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสารวิทยา
 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท รีเจนท์ กรีน เพาเวอร์ จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง
 29 พฤษภาคม 2553



ชื่อ - นามสกุล นายอนันต์ เชาวลิตสกุลชัย
 วัน เดือน ปีเกิด 19 มีนาคม พ.ศ. 2532
 ที่อยู่ 716 ถนนศรีนครินทร์ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง
 กรุงเทพมหานคร 10250

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
 พัฒนาการ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่าง
 วันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง 29 พฤษภาคม 2553