

ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเสถียรภาพของแรงดันด้านขาออก
MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

โดย

ชาคร	จันทน์โชติวงศ์
ชิษณุพงศ์	พรหมสุรินทร์
ชุตินันท์	ภุชญา
ฐิตินันท์	กันคำ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเสถียรภาพของแรงดันด้านขาออก
MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

โดย

ชาคร จันทนโชติวงศ์
ชัชฎพงษ์ พรหมสุรินทร์
ชุตีวัฒน์ ภาขา
ฐิตินันท์ กันคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

Chakorn	Janchowong
Chidsanupong	Phromsurin
Chutiwat	Ruecha
Titinan	Kankam

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

ปีการศึกษา 2556

ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเสถียรภาพของแรงดันด้านขาออก
MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

โดย

นาย ชاکกร จันทนโชติวงศ์
นาย ชีษณุพงศ์ พรหมสุรินทร์
นาย ชุติวัดน์ ภาษา
นาย ฐิตินันท์ กันคำ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเสถียรภาพของแรงดันด้านขา
ออก

ผู้จัดทำ

1. นาย ชاکกร จันทน์โชติวงศ์
2. นาย ชิชณพงค์ พรหมสุรินทร์
3. นาย ชุตติวัฒน์ ภาษา
4. นาย จูตินันท์ กันคำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ)

ระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเสถียรภาพของแรงดันด้านขาออก

นาย ชากร จันทน์โชติวงศ์

นาย ชิชณพงค์ พรหมสุรินทร์

นาย ชุตินันท์ ฤๅชา

นาย ฐิตินันท์ กันคำ

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคการออกแบบใหม่สำหรับการติดตามกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีความสามารถในการทำให้ระดับแรงดันด้านขาออกมีเสถียรภาพและใช้อุปกรณ์สวิตซ์เพียงตัวเดียว ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation : P&O) ที่นิยมในปัจจุบันนั้น สามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถทำให้แรงดันขาออกมีเสถียรภาพได้ ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการควบคุมแบบใหม่ในการควบคุมการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดและทำให้แรงดันด้านขาออกมีเสถียรภาพ โดยมีผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และผลการทดลองเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอ

MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

Chakorn Janchowong

Chidsanupong Phromsurin

Chutiwat Ruecha

Titinan Kankam

Asst.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai Supervisor

Ajarn Worrakan Limcharoen Supervisor

Year 2013

Abstract

This project presents a new design technique for maximum power point tracking which can stabilize the output voltage using single switch. The conventional technique, Perturb and Observation technique, is able to track the Maximum Power Point(MPP); however, the stabilization of output voltage which is an important issue can not be achieved. To overcome this problem, both stabilizing function and P&O algorithms are adopted in hybrid fashion. The simulation and experimental results concern the effectiveness of the proposed algorithms

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายๆท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และอาจารย์วรกัลป์ ลี้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดี ตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณภูมิ คงห้อยรอบ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ ตลอดจนคุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	3
2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอน.....	4
2.2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยว	4
2.2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนหลายผลึก	4
2.2.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนไม่เป็นผลึก	5
2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทชนิดผลึกนาโนเม็ดสีธรรมชาติ	5
2.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.4 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.5 ตัวแปรที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.6 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า.....	9
2.6.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	9
2.6.2 หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	9
2.6.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส.....	9
2.6.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	11
2.6.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	14
2.6.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก	14
2.7 ระบบควบคุมพีไอดี.....	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.1 ทฤษฎี.....	17
2.7.2 ปริพันธ์.....	17
2.7.3 อนุพันธ์	18
2.7.4 ผลรวม.....	18
2.7.5 การปรับจูน.....	18
2.7.5.1 การปรับจูนด้วยมือ	18
2.7.5.2 วิธีการ Ziegler–Nichols	19
2.8 วิธีการรบกวนและสังเกต.....	20
บทที่ 3 การออกแบบ.....	22
3.1 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์	23
3.1.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์	23
3.1.2 แบบจำลองตัวควบคุม	26
3.1.3 แบบจำลองวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	26
3.2 การออกแบบตัวควบคุมเพื่อติดตามกำลังสูงสุด.....	27
3.2.1 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต.....	27
3.2.2 การออกแบบตัวติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	29
3.3 การออกแบบตัวแปลงผันทระดับ	31
3.3.1 การคำนวณหาตัวสี่เหลี่ยม.....	31
3.3.2 การหาขนาดตัวเหนี่ยวน	32
3.3.3 การหาขนาดตัวเก็บประจุ.....	32
3.3.4 การเลือกไดโอด	32
3.3.5 การเลือกมอสเฟต	32
3.4 วงจรขับเคลื่อนแบบแยกกันทางไฟฟ้า	33
3.5 การวัดสัญญาณ	34
3.5.1 การวัดค่ากระแสโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส.....	34
3.5.2 การวัดสัญญาณแรงดัน	35
3.5.2.1 แรงดันขาเข้า.....	36
3.5.2.2 แรงดันขาออก.....	36
3.6 การสร้างสัญญาณพัลส์	36
บทที่ 4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	37
4.1 การจำลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ทางคอมพิวเตอร์.....	37
4.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ความเข้มแสงคงที่	39

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงคงที่	39
4.2.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต แบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่	41
4.2.3 เปรียบเทียบผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวน และสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้ม แสงคงที่	42
4.3 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	43
4.3.1 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	43
4.3.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต แบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	44
4.3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวน และสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้ม แสงมีการเปลี่ยนแปลง	46
บทที่ 5 ผลการทดลอง	47
5.1 การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	47
5.1.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	49
5.1.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตั้งซีเคิล	55
5.2 การทดลองและผลการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	57
5.2.1 วงจรและขั้นตอนการทดลอง	57
5.2.2 ผลการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงคงที่	59
5.2.3 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิค ที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่	61
5.2.4 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกต กับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่	63
5.2.5 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง มีการเปลี่ยนแปลง	63
5.2.6 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิค ที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	65

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2.7 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกต กับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการ เปลี่ยนแปลง.....	67
5.3 การทดลองติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ชุดคอนเวอร์เตอร์พิกัด 1000 วัตต์	68
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	73
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	73
6.2 ข้อเสนอแนะ	74
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก ลายพิมพ์วงจร.....	77
ภาคผนวก ข เอกสารทางวิชาการ.....	79
ประวัติผู้เขียน	85

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....3
2.2	เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยว.....4
2.3	เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนหลายผลึก.....4
2.4	เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนไม่เป็นผลึก.....5
2.5	เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทชนิดผลึกนาโนเม็ดสี.....5
2.6	กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....6
2.7	วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์.....7
2.8	กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....8
2.9	วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า.....9
2.10	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส..... 10
2.11	กราฟแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า..... 10
2.12	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส..... 11
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับดิวิตซ์ไซเคิล..... 13
2.14	กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ..... 15
2.15	วงจรการควบคุมแบบพีไอดี..... 16
2.16	แผนผังกระบวนการรบกวนและสังเกต..... 20
3.1	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์..... 22
3.2	แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์..... 23
3.3	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์..... 24
3.4	ช่อบันทึกข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์..... 24
3.5	กราฟคุณลักษณะแรงดันและกระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์..... 25
3.6	กราฟคุณลักษณะกำลังและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์..... 25
3.7	แบบจำลองตัวควบคุมโดยใช้หลักการรบกวนและสังเกตกับหลักการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอโดยการจำกัดขอบเขตของแรงดันโดยใช้ระบบพีไอในการควบคุม..... 26
3.8	แบบจำลองตัวแปลงผันแบบทบระดับ..... 26
3.9	แผนภูมิกระบวนการการหาจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต..... 28
3.10	แผนภูมิกระบวนการลำดับขั้นตอนของตัวติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ..... 30
3.11	วงจรแปลงผันทบระดับ..... 31
3.12	วงจรขับเกต..... 33
3.13	วงจรการวัดกระแสและแรงดัน..... 34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส	35
3.15 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	35
3.16 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด STM32	36
4.1 แบบจำลองการทดลองคุณลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง	37
4.2 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	38
4.3 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	38
4.4 แบบจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	39
4.5 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร	39
4.6 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร	40
4.7 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร	40
4.8 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร	41
4.9 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร	41
4.10 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร	42
4.11 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร	43
4.12 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร	43
4.13 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร	44
4.14 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร	44
4.15 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร	45
4.16 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแฉงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร	45

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1	การวัดคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....48
5.2	ลักษณะมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....48
5.3	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร.....50
5.4	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร.....50
5.5	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร.....52
5.6	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร.....52
5.7	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร.....53
5.8	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร.....54
5.9	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์54
5.10	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....55
5.11	กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าตัวตั้งไขเคลิลที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร55
5.12	กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าตัวตั้งไขเคลิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร56
5.13	กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าตัวตั้งไขเคลิลที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร56
5.14	วงจรที่ใช้ในการทดลอง.....57
5.15	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....58
5.16	การเปลี่ยนความเข้มแสงโดยการเปลี่ยนองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....58
5.17	การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร.....59
5.18	การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร.....60
5.19	การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร.....60
5.20	การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร.....61
5.21	การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร.....62

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.22 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร.....	62
5.23 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร	64
5.24 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร	64
5.25 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร	65
5.26 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร	66
5.27 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร	66
5.28 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร	67
5.29 รูปแผนเซลล์แสงอาทิตย์.....	68
5.30 วงจรทอนระดับแรงดันที่ใช้ในการทดลอง	69
5.31 วงจรที่ใช้ในการทดลอง.....	69
5.32 กราฟคุณลักษณะของกำลังที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	70
5.33 กราฟคุณลักษณะของแรงดันที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	70
5.34 กราฟการติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ..	71
5.35 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร	72
5.36 กราฟการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตทางด้านขาออก	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรระดับแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวตีไซเคิล	13
2.2 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ	19
4.1 เปรียบเทียบการจำลองติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่.....	42
4.2 เปรียบเทียบการจำลองติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง	46
5.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร	49
5.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร	51
5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	53
5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรการทดลอง	57
5.5 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่	63
5.6 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่พลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นปราศจากมลภาวะที่เป็นพิษ มีแหล่งพลังงานอยู่ทั่วไปและไม่สิ้นสุดเพราะดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ พลังงานที่ดวงอาทิตย์สร้างขึ้นประมาณ 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ แต่เนื่องจากระยะทางที่ห่างจากโลกเราถึง 93 ล้านไมล์ทำให้พลังงานที่ส่งมายังโลกลดน้อยลง จึงเหลือพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงโลกประมาณ 1.8×10^{14} กิโลวัตต์ ถูกดูดซับโดยบรรยากาศและพื้นโลกอีกประมาณ 1.25×10^{14} กิโลวัตต์ ในขณะที่พลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกมีปริมาณประมาณ 1×10^{10} กิโลวัตต์ จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์มีมากกว่าพลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกประมาณ 10,000 เท่า สำหรับประเทศไทยพื้นที่เกือบทั้งหมดสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ในอดีตการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงมากแต่เนื่องจากปัจจุบันราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงอย่างมากและมีแนวโน้มว่าจะลดลงอีกเรื่อยๆ เพราะประชาชนโดยทั่วไปได้ตระหนักถึงสภาวะแวดล้อมเป็นพิษเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงบรรพชีวินในการผลิตพลังงานจึงหันมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] จากนโยบายกระทรวงพลังงานซึ่งเกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ มีเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 500 เมกกะวัตต์ ภายในปี ค.ศ. 2022 จากการสำรวจในปี ค.ศ. 2010 พบว่ามีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียง 32 เมกกะวัตต์ เท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาตามที่รัฐบาลกำหนด [2]

ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามก็มีประสิทธิภาพต่ำอยู่ดี จึงมีคนคิดค้นการดึงประสิทธิภาพสูงสุดขึ้นมาโดยใช้การควบคุมที่เรียกว่าการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยมีหลายวิธีการ Moacyr Aureliano Gomes de Brito [3] ได้เปรียบเทียบวิธีการต่างๆในการหาค่ากำลังสูงสุด ซึ่งในแต่ละวิธีก็ยังไม่ได้แก้ปัญหาเรื่องแรงดันด้านขาออกไม่เสถียรภาพ Jos´E M. Blanes และคณะ [4] ได้ใช้วิธี Two-Stage ในการติดตามจุดกำลังสูงสุดและเพิ่มเสถียรภาพให้แรงดันขาออกในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในดาวเทียม แต่ยังคงใช้ สวิตซ์อย่างน้อย 2 ตัว Jianwu Zeng , Wei Qiao และ Liyan Qu [5] ได้ใช้ Isolated DC-DC Converter แทน Non-Isolate DC-DC Converter โดยกล่าวว่าสามารถยกระดับแรงดันได้แต่จากผลสรุปนั้นจะเป็นการใช้ สวิตซ์ซึ่งตัวเดียวโดยสามารถติดตามจุดกำลังสูงสุดได้ แต่ไม่สามารถเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันขาออกได้ M.G.Villalva ,T.G.desiqueira E.Ruppert [6] ใช้ voltage control และ current control ซึ่งสามารถลดการแกว่งของแรงดันขาออกและลดโอเวอร์ชูทของแรงดันขาออก Mohammed A. Elgendy ,Basher Zahawi [7] ได้ใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตุ โดยประยุกต์กระบวนการให้เหมาะสมกับระบบบีม ซึ่งต้องมีแรงดันขาออกที่มีเสถียรภาพ โดยที่แสงไม่เปลี่ยนแปลงมากจะทำให้ได้

กำลังที่ใกล้ค่ากำลังสูงสุด แต่ที่ที่มีแสงเปลี่ยนแปลงมากแรงดันจะมีเสถียรภาพเช่นกันแต่กำลังจะไม่ได้ค่าสูงสุด J.M Rodrigues [8] ได้ใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบมีขอบบนในการจ่ายแรงดันให้กับระบบแรงดันต่ำโดยสามารถจำกัดแรงดันให้ไม่เกินขอบที่กำหนด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าการควบคุมระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตให้มีแรงดันทางด้านขาออกคงที่โดยใช้ Isolate DC-DC Converter โดยมีอัตราความคงที่ของแรงดันที่สูงกว่า Non Isolate DC-DC Converter ที่ใช้สวิตซ์ซึ่งเพียงตัวเดียวโดยมีทฤษฎีที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการทำความเข้าใจในการสร้างตัวควบคุมระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดให้มีอัตราความคงที่ของแรงดันที่สูงขึ้นและสามารถเอาไปใช้ในการใช้งานจริงได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาเทคนิคการออกแบบการควบคุมระบบติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

1.2.2 ศึกษาการควบคุมระบบจุดกำลังสูงสุดให้มีเสถียรภาพของแรงดันทางด้านขาออก

1.2.3 ศึกษาการใช้เทคนิคการสวิตซ์ซึ่งตัวเดียวซึ่งสามารถติดตามได้ทั้งจุดกำลังสูงและได้แรงดันขาออกที่มีเสถียรภาพ

1.3 ขอบเขต

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคการควบคุมการติดตามกำลังสูงสุดให้มีแรงดันขาออกที่มีเสถียรภาพโดยใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพียงตัวเดียว

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งมีกระบวนการวิจัยและรายละเอียดในการวิจัยดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนของการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมติดตามจุดกำลังสูงสุดที่มีเสถียรภาพทางด้านเอาต์พุตโดยใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพียงตัวเดียว

บทที่ 4 ผลการวิจัย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

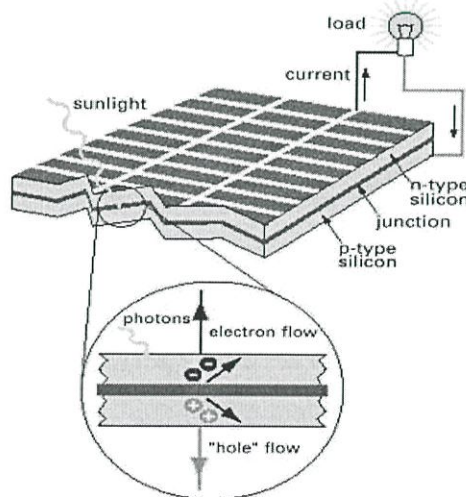
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยตรงที่อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิกซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำที่มีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ที่มีพลังงานมากพอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำคือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น สารกึ่งตัวนำชนิดพีผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนใช้สารเจือปนคือ โบรอน เพื่อทำให้วัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) การเชื่อมต่อกันของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติต่างกันจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงที่ง่ายที่สุด และทราบเท่าที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังคงสภาพสารกึ่งตัวนำและแสงอาทิตย์ตกกระทบผิวเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาให้ได้ตลอดอายุการใช้งาน



ที่มา : <http://electricity-basic.blogspot.com/>

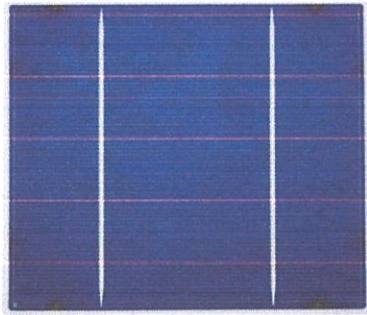
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอน(Silicon Solar Cells)

2.2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยวจะมีความบริสุทธิ์ของซิลิกอนสูงกว่าแบบซิลิกอนหลายผลึก ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดียวนั้นมีราคามันแพงกว่าประเภทซิลิกอนหลายผลึก และมีประสิทธิภาพสูง ถึงประมาณ 18% ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยวได้มีการปรับปรุงและพัฒนา โดยมีการสะท้อนของแสงอาทิตย์ภายในเซลล์ลดลง เพื่อให้แสงตกกระทบลงบนชั้น n ได้มากที่สุดครับ ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 25% เลยทีเดียว อายุการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ผลิตไฟฟ้าได้นานมากกว่า 20 ปี แต่ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มลดลงเมื่อใช้งานปีที่ 5 เป็นต้นไป

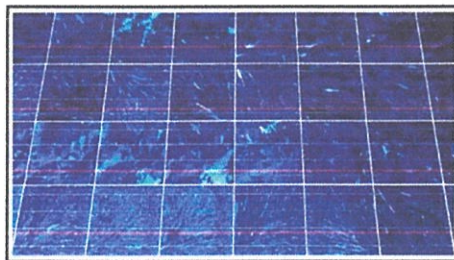


ที่มา : <http://www.monmai.com/>

รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยว

2.2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนหลายผลึก (Polycrystalline Silicon Cells)

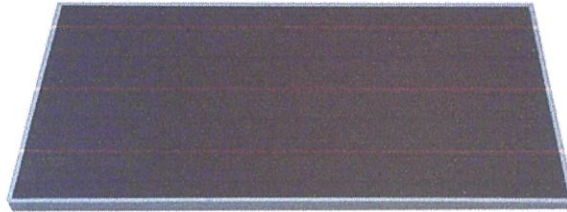
เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน แบบหลายผลึกก็คือก้อนซิลิกอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร - มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิกอน ขบวนการผลิตคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนผลึกเดี่ยว ต่างกันที่ขั้นตอนทำให้สารเย็นและแข็งตัวจึงทำให้ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีหลายสีในแผงๆเดียว อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี



ที่มา : <http://www.monmai.com/>

รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนหลายผลึก

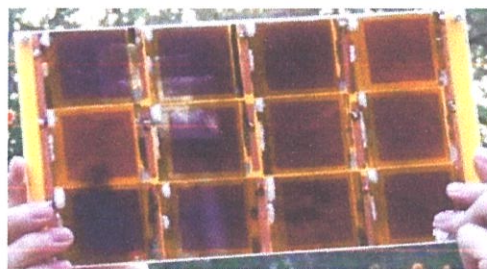
2.2.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนไม่เป็นผลึก (Amorphous Silicon Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกันแต่จะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอนซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมจึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น อายุการใช้งานประมาณ 5-6 ปี



ที่มา : <http://www.t-how.com/>

รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิกอนไม่เป็นผลึก

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกนาโนเม็ดสีธรรมชาติ (Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำซิลิกอน ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิลและอื่นๆ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ๆ และใช้วัสดุจากธรรมชาติที่มีราคาถูกหาได้ภายในประเทศจึงเป็นหนทางหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยสีน้ำเงินอมม่วงของผลหมีมีค่าการดูดกลืนแสงระหว่าง 550-650 นาโนเมตร สีแดงของใบต้นคริสต์มาสมีค่าการดูดกลืนแสงระหว่าง 450-650 นาโนเมตร สีเหลืองของดาวเรืองมีค่าการดูดกลืนแสงระหว่าง 400 - 500 นาโนเมตร และสีเขียวของสาหร่ายสไปรูลินามีค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร และ 670 นาโนเมตร จากนั้นนำสีย้อมที่ได้ไปใช้ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโนเม็ดสีหลายสี ปัจจุบันประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า 10%

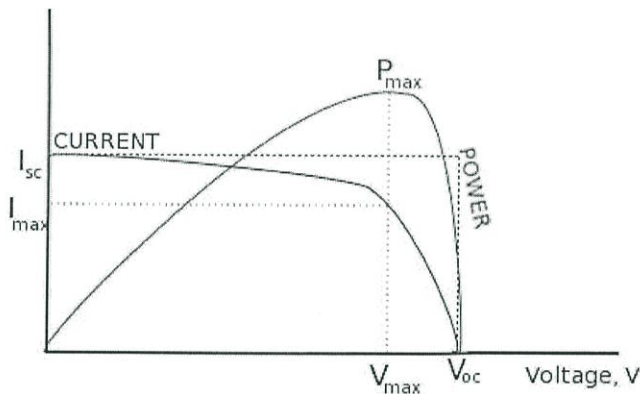


ที่มา : <http://www.nano.kku.ac.th/>

รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทชนิดผลึกนาโนเม็ดสี

2.3 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากกราฟคุณลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์(รูปที่ 2.6) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกระแสออกมามากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจรซึ่งให้มีค่าเป็นกระแสลัดวงจรหรือ I_{sc} โดยที่แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ และเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออก ซึ่งให้มีค่าเป็นแรงดันเปิดวงจรหรือ V_{oc} โดยที่กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งที่มีค่าผลคูณของกระแสและแรงดันที่มีค่าสูงที่สุด ดังในรูปที่ 2.6 จุดนี้จะเรียกว่าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกมาได้ จึงกำหนดให้กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับและถ้านำไปจ่ายให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความพอดีกับจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดนี้ เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่มีค่ากำลังสูงสุด โดยค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_m เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานโหลดที่ทำให้ได้จุดกำลังสูงสุดนั้นคือ V_m/I_m

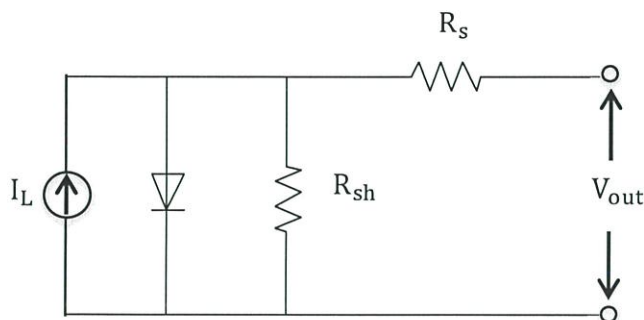


รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำลองได้เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ โดยประกอบไปด้วย กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_S) ความต้านทานขนาน (R_{sh}) และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด

กระแสที่เกิดขึ้นจากแสง(I_L) นี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอดและ R_{sh} ก่อนแล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L)และ(R_S) ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ และกระแสที่ไหลผ่าน R_S และ R_L จะให้มีค่าเป็น I_0 จากวงจรสมมูลสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันอย่างง่ายเมื่อไม่พิจารณาค่าความต้านทานขนาน (R_{sh}) และค่าความต้านทานอนุกรม(R_S)ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.1),(2.2) และ (2.3)



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์

$$0 = I_{ph} - I_D - \frac{V_D}{R_{sh}} - I_{PV} \quad (2.1)$$

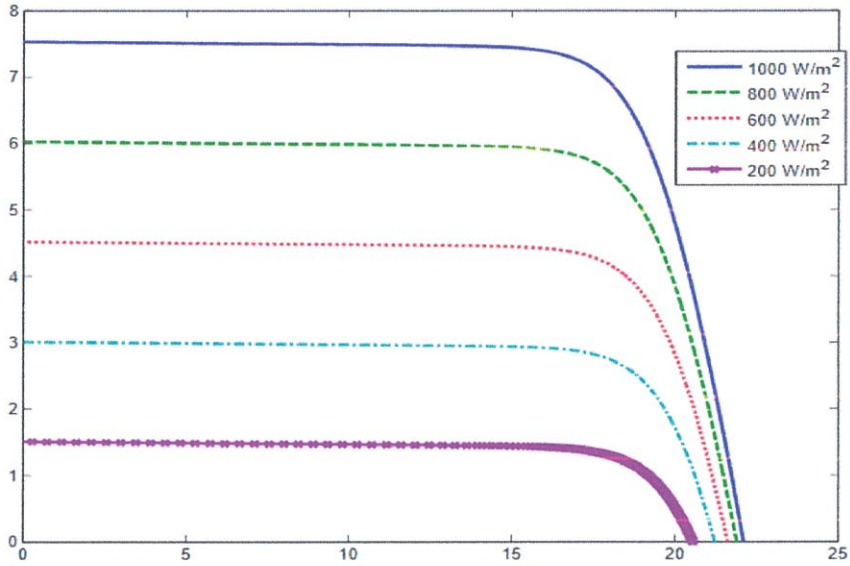
$$I_D = I_0 (e^{V_D/V_T} - 1) \quad (2.2)$$

$$V_{PV} = V_D - R_s I_{PV} \quad (2.3)$$

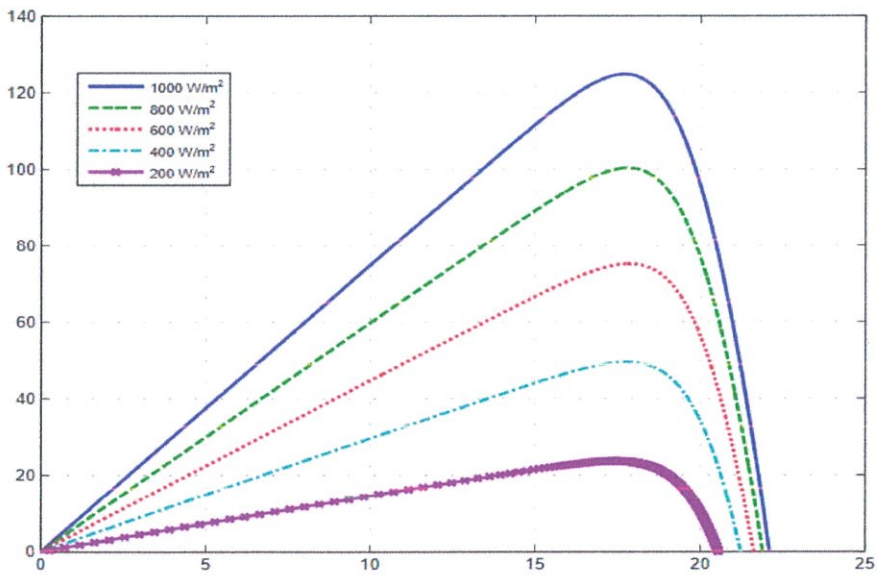
เมื่อ	I_{PV}	คือ	กระแสเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
	I_{ph}	คือ	กระแสสัมพันธ์กับความเข้มแสง (A)
	I_D	คือ	กระแสในตัวของไดโอด (A)
	I_0	คือ	กระแสตัวย้อนกลับ (A)
	R_s	คือ	ตัวต้านทานอนุกรมเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)
	R_p	คือ	ตัวต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)
	V_D	คือ	แรงดันไดโอด (V)
	V_T	คือ	แรงดันสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (V)
	V_{PV}	คือ	แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

2.5 ตัวแปรที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์

จากสมการที่ (2.1) , (2.2), (2.3) และจากวงจรสมมูลพบว่าคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์กับโหลดที่ต่อร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีผลกับการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งความเข้มแสงมีผลแบบแปรผันตรงซึ่งส่งผลกับปริมาณกระแสมากกว่าแรงดันและจะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.8 ก) และ รูปที่ 2.8 ข)



ก) กราฟคุณสมบัติ I-V Curve



ข) กราฟคุณสมบัติ P-V Curve

รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

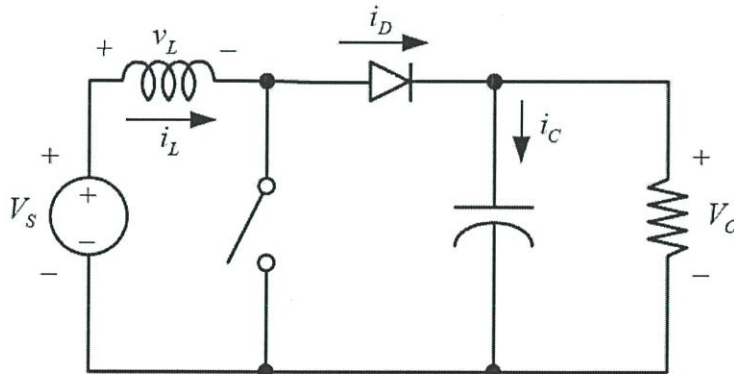
2.6 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)

วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า คือ วงจรที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในการตัดต่อวงจรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสต่อเวลา จึงให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะใช้แรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำให้การเพิ่มระดับแรงดันทางด้านขาออก

2.6.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งทำการวิเคราะห์ในช่วงสภาวะอยู่ตัวเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- 1) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอหรือมีกระแสไหลในทิศทางเดียวเสมอ
- 2) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ ($V_{L,avg} = 0$) หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบเท่ากับศูนย์
- 3) ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้ช่วยการริปเปิลของแรงดันไฟฟ้าด้าน
- 4) กำลังไฟฟ้าด้านเข้ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียในอุปกรณ์ โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ จึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์



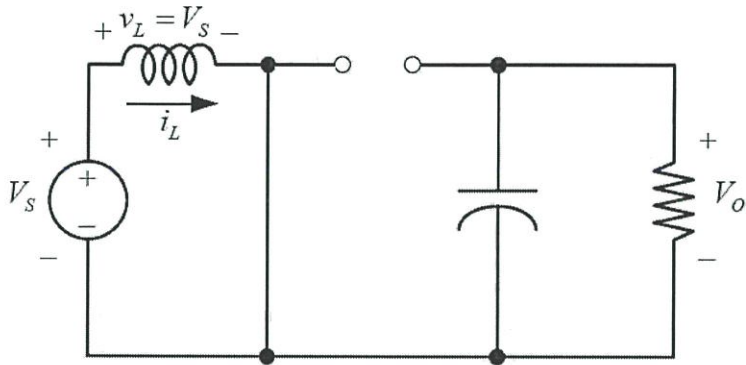
รูปที่ 2.9 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

2.6.2 หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

เริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตซ์ในแต่ละโหมด โดยการทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.6.2.1 ขณะสวิตซ์นำกระแส จากรูปที่ 2.9 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะเป็นช่วงที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นโดยผ่านสวิตซ์ ขณะเดียวกัน

ไดโอดจะถูกย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_S + V_L = 0 \tag{2.4}$$

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.5}$$

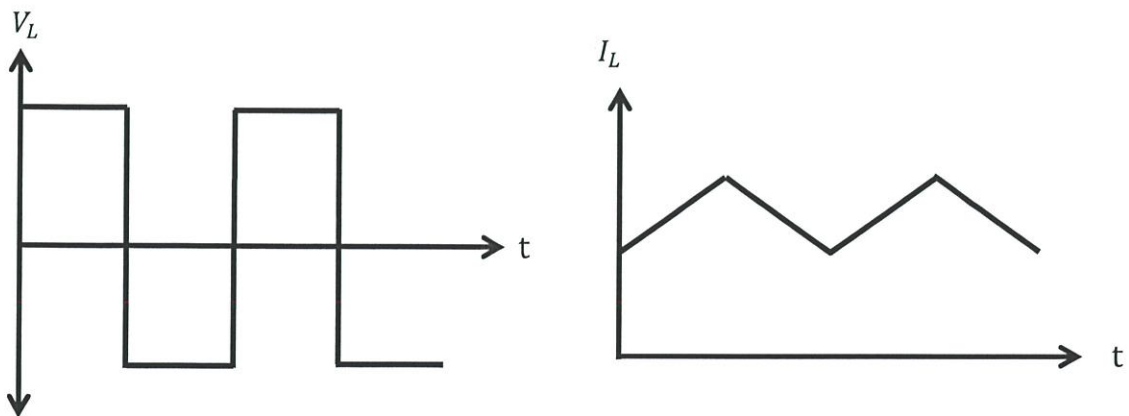
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L}$$

เมื่อขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \tag{2.6}$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L} \tag{2.7}$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

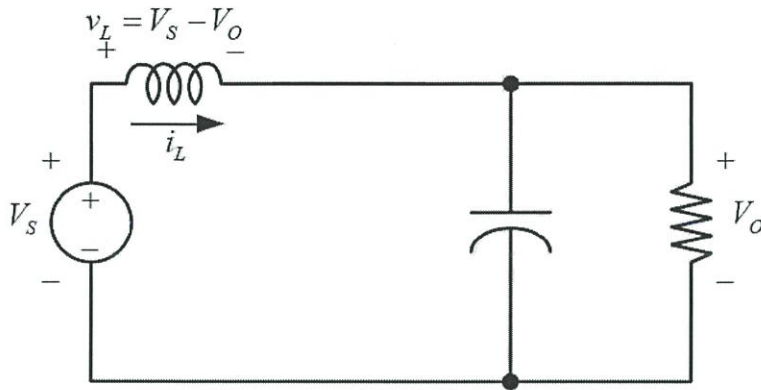


(ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

(ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.11 กราฟแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

2.6.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้จึงมีทิศทางไหลในทิศทางเดิม ซึ่งไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องสมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s - V_L + V_o = 0 \quad (2.8)$$

$$V_L = V_s - V_o$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.9)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.11 ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \frac{V_s - V_o}{L} (1-D)T \quad (2.10)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (2.7) และสมการที่ (2.10) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.11)$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.12)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.13)$$

จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่ เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (2.13) ดังนี้

$$V_{L,on} = V_s \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.5) $V_{L,off} = V_s - V_o$

จากสมการที่ (2.9) $V_{L,av} = (V_s)(t_{on}) + (V_s - V_o)t_{off} = 0$

$$(V_s)DT + (V_s - V_o)(1-D)T = 0$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s D + V_o(1-D) = 0$$

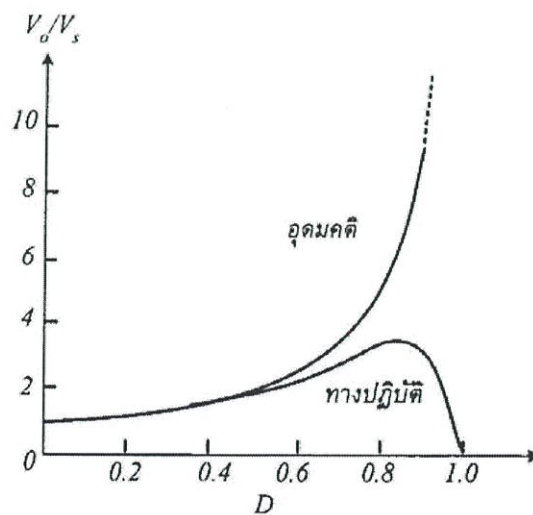
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.15)$$

ซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า จากสมการที่ (2.13) หรือ (2.15) มีหลักการทำงานอันเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า ด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่าของ D ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าตัว
ไซเคิล

Duty ratio (D)	อัตราการขยายแรงดัน(Voltage gain) (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

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.13 พบว่าเมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น แต่ในทางปฏิบัติ นิยมปรับอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรเสถียรภาพ โดยอัตราการขยายแรงดันต่ำสุดคือหนึ่ง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้ตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตซ์



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับตัวไซเคิล

2.6.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรระดับแรงดันไฟฟ้า

ถ้าสมมติการสูญเสียภายในวงจรระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้ว่า

$$P_S = P_O = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.16)$$

$$P_S = V_S I_S = V_S I_L \quad (2.17)$$

$$\frac{V_o^2}{R} = V_S I_L$$

$$V_o = \frac{V_S}{(1-D)}$$

$$V_S V_L = \frac{\left(\frac{V_S}{1-D}\right)^2}{R}$$

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} \quad (2.18)$$

ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดสามารถคำนวณ หาได้จากค่าเฉลี่ย และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการที่ (2.7)

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L}$$

จะได้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,max} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_S DT}{L} \right) \quad (2.19)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_S DT}{L} \right) \quad (2.20)$$

เมื่อสมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรระดับแรงดันไฟฟ้าทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมด กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สามารถคำนวณหาได้จากการ กำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.21)

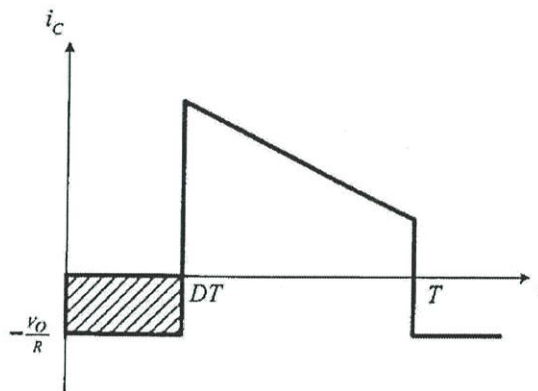
$$I_{L,\min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) = 0 \quad (2.21)$$

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

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.22)$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด จากสมการที่ (2.22) สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่า D หรือค่าความต้านทานโหลด R หรือค่าความถี่ของการสวิตช์ f ซึ่งมีผลต่อขนาดของตัวเหนี่ยวนำ

2.6.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (V_{ripple}) การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่หรือลดค่าริบเบิลของแรงดันลงได้ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆ ได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มากจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C \Delta V_o = I_o \Delta t_{on} \quad (2.23)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$\Delta t_{on} = DT$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o \Delta t_{on}}{C} = \frac{V_o DT}{RC} \quad (2.24)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.25)$$

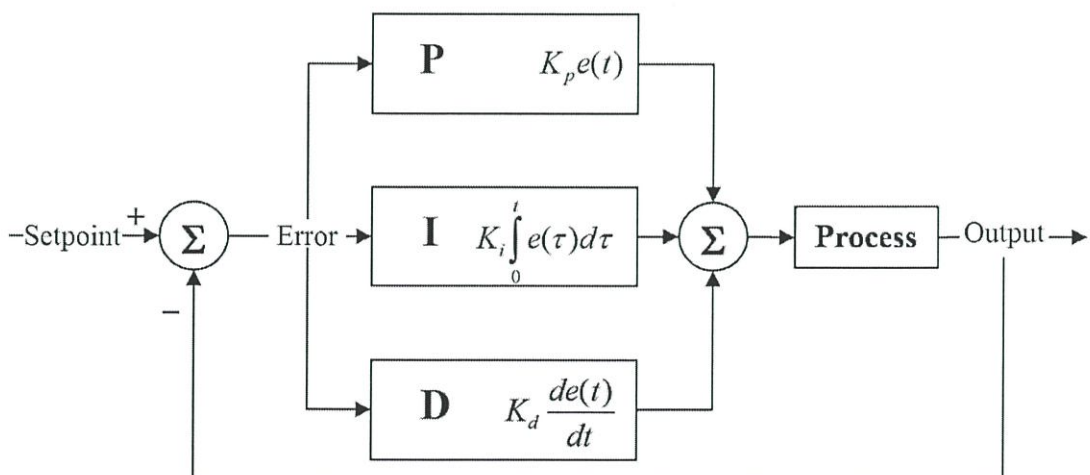
เมื่อต้องการจะลดอัตราการเคลื่อนที่ของแรงดันไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า D ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหนด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

2.7 ระบบควบคุมพีไอดี

ระบบควบคุมแบบสัดส่วนอนุพันธ์กับปริพันธ์ (PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วน กำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต(overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ(oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง



รูปที่ 2.15 วงจรการควบคุมแบบพีไอดี

2.7.1 ทฤษฎี การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ:

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.26)$$

เมื่อ P_{out} , I_{out} และ D_{out} เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอม ซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p , หรือที่เรียกว่า อัตราขยายสัดส่วน

เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.27)$$

เมื่อ P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ค่าความผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

2.7.2 ปริพันธ์ ผลจากเทอมปริพันธ์เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ K_i

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$I_{out} = K_i \int_0^T e(T) dT \quad (2.28)$$

เมื่อ I_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i : อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ความผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา

T : ตัวแปรปริพันธ์หุ้่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

2.7.3 อนุพันธ์ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกเวลานั้นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับอัตราขยายอนุพันธ์ K_d เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ:

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.29)$$

เมื่อ D_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d : อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ความผิดพลาด = SP - PV

t : เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

2.7.4 ผลรวม เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ:

$$U(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(T) dT + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.30)$$

2.7.5 การปรับจูน

2.7.5.1 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งสำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาทีพอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ไม่เสถียร สุดท้ายถ้าต้องการ ให้เพิ่มค่า K_d จนกระทั่งลูบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการ

เร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_p น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

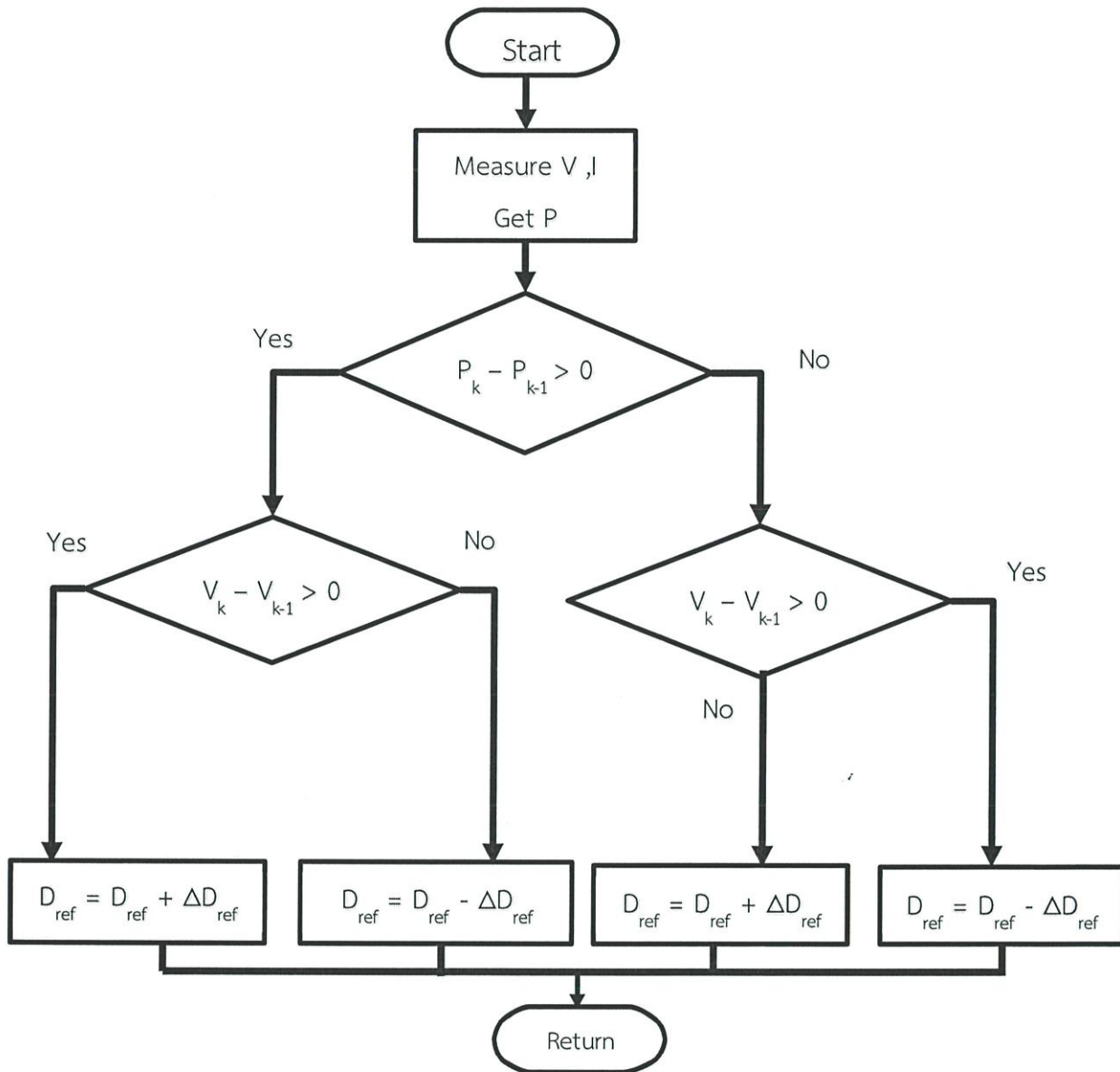
ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ					
ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)	เสถียรภาพ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้นถ้า K_d มีค่าน้อย

2.7.5.2 วิธีการ Ziegler–Nichols วิธีการนี้นำเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในคริสต์ทศวรรษที่ 1940 ชั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย P สูงที่สุด, K_u , จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง นำค่า K_u และค่าช่วงการแกว่ง P_u มาหาค่าตัวแปรที่เหลือดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การหาตัวแปร

Ziegler–Nichols method			
Control Type	K_p	K_i	K_d
P	$0.50 K_u$	-	-
PI	$0.45 K_u$	$1.2K_p/P_u$	-
PID	$0.60 K_u$	$2K_p/P_u$	$K_p P_u/8$

2.8 วิธีการรบกวนและสังเกต



รูปที่ 2.16 แผนผังกระบวนการรบกวนและสังเกต

วิธีการรบกวนและสังเกตเป็นหนึ่งในวิธีการที่มีการกล่าวถึงมากที่สุดและใช้สำหรับระบบ MPPT อัลกอริทึม เพราะว่าเป็นวิธีที่ง่ายในการเขียนโปรแกรมของสัญญาณเกต (FPGA) อัลกอริทึมนี้เป็นการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังที่แมงคู่กับแรงดัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะทำให้เกิด $dP/dV_{pv} > 0$ จากนั้นอัลกอริทึม จะทำการย้ายจุดดำเนินการที่เป็นจุด MPP ในทิศทางเดิมจากการเดินจุดดำเนินการไปข้างหน้าหรือย้อนหลัง โดยการปรับค่าแรงดันจากการปรับค่าตัวตีไซเคิลและถ้า $dP/dV_{pv} < 0$ อัลกอริทึมก็จะดำเนินการในทิศทางย้อนกลับจากทิศทางในการ

ดำเนินการตอนแรก ซึ่งจะทำให้จุดดำเนินการถูกย้ายออกไปจากจุด MPP แต่ยังคงอยู่ใกล้ๆจุด MPP กระบวนการเป็นไปแผนผังกระบวนการรูปที่ 2.16

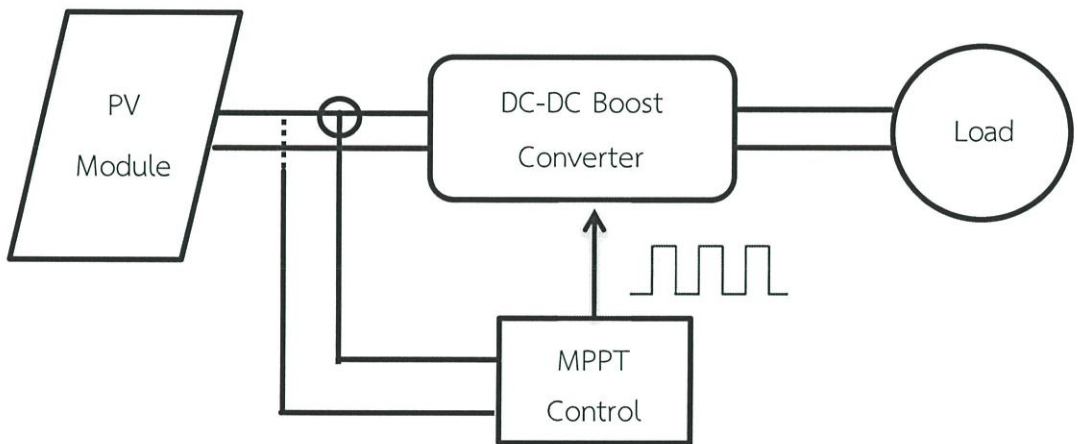
ข้อดีของวิธีการรบกวนและสังเกต มีความซับซ้อนในกระบวนการน้อย โดยเฉพาะในด้านการเขียนโปรแกรมที่มีการดำเนินการเพียงแค่การคูณ การบวก และการเปรียบเทียบที่น้อยกว่า

ข้อเสียของวิธีการรบกวนและสังเกต จะมีการส่งรอบๆจุด MPP และหากมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอย่างรวดเร็ว กระบวนการนี้จะทำการติดตามจุด MPP ได้ช้ายังจะทำให้เกิดสูญเสียกำลัง ในขณะที่ติดตาม

บทที่ 3

การออกแบบ

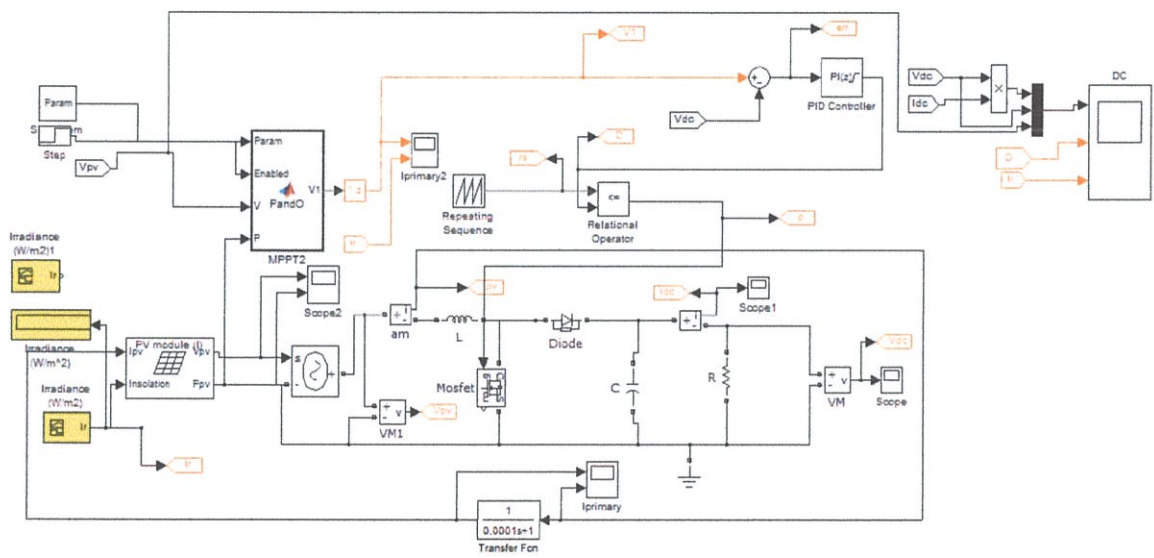
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบส่วนต่างๆของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแบ่งเป็น 6 ส่วนคือ การจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบตัวควบคุมเพื่อติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยมีเสถียรภาพของแรงดันขาออก การวัดสัญญาณ การออกแบบตัวแปลงผันแบบทบแรงดัน วงจรชั้บเกต และการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ตัวควบคุม 2 แบบคือ เทคนิคติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้หลักการรบกวนและสังเกตซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอโดยมีการเปรียบเทียบกับ การติดตามจุดกำลังสูงสุดแบบแรงดันขาออกมีเสถียรภาพทั้งสามเทคนิคการควบคุมซึ่งเป็นตัวควบคุมตัวที่ไซเคิลของสวิทช์ของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า การทำงานทั้งสามเทคนิคจะทำงานร่วมกับการควบคุม ARM Cortex M3 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

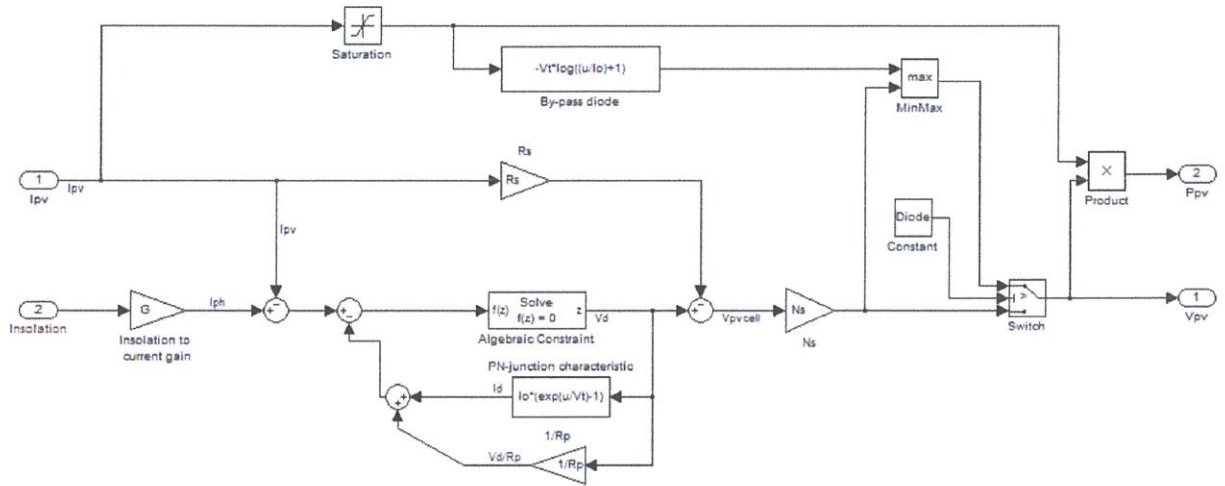
3.1 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์

แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.1 ประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ วงจรควบคุมการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดและโหลด ซึ่งใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink จำลองระบบในคอมพิวเตอร์ โดยมีการใช้เทคนิคในการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิครบกวนและสังเกต และวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอตั้งวงจรในรูปที่ 3.2 ซึ่งเทคนิคทั้งสามวิธีนั้นจะมีการควบคุมควบคุมตัวไอซีเคลของสวิตช์ตัวแปลงผันแบบทบระดับแรงดันที่แตกต่างกัน โดยทั้งสามการควบคุมทำการเขียนนั้นได้เขียนได้โปรแกรมใน MATLAB/Simulink เพื่อหาค่าตัวไอซีเคลและนำไปสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ของวงจรทบระดับแรงดันทบระดับ เพื่อติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 3.2 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ จากแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ECEN2060 MATLAB/Simulink materials[X] ดังรูป 3.3 มีคุณลักษณะเป็นไปตามสมการสมการ (2.1) ,(2.2) และ (2.3) โดยจะมีคุณลักษณะเป็นไปตามค่า กระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันขณะเปิดวงจร (V_{OC}) แรงดันและกระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (V_{MAX} , I_{MAX}) ที่กำหนด โดยค่าที่ใช้จะเป็นค่าต่อเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง และสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลตามคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไปตามแต่ละผู้ผลิตได้ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

Function Block Parameters: PV1 Σ

Subsystem (mask)

PV module model based on module data-sheet parameters. This model has I_{pv} input, which is suitable for series connections. Limitations: no temperature dependence, static model

Parameters

Short-circuit current
7.54

Open-circuit voltage
22.1

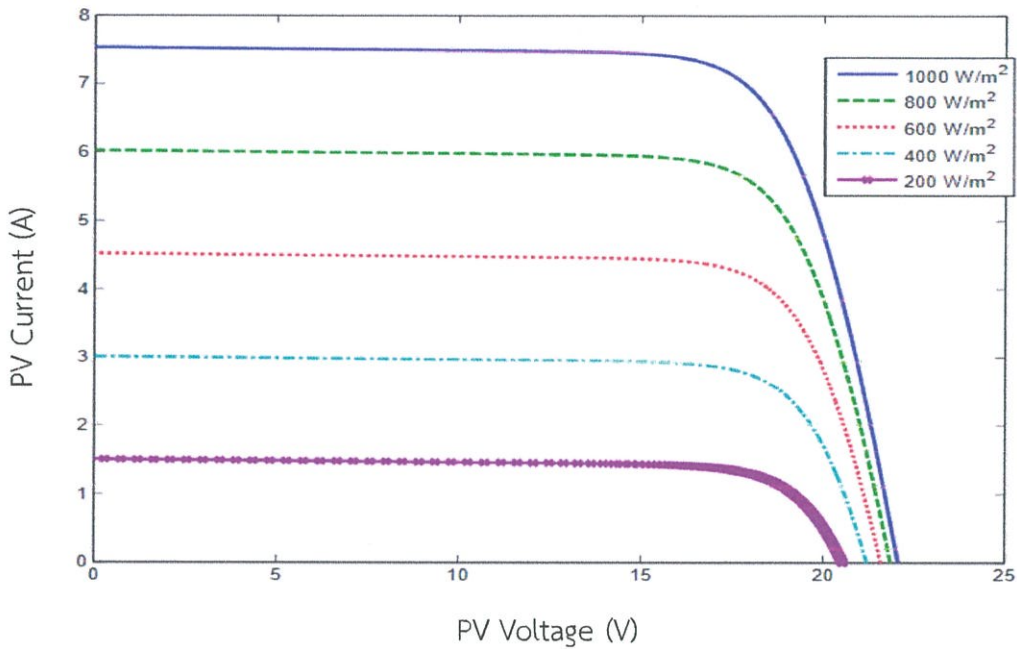
Current at Pmax
7.05

Voltage at Pmax
17.7

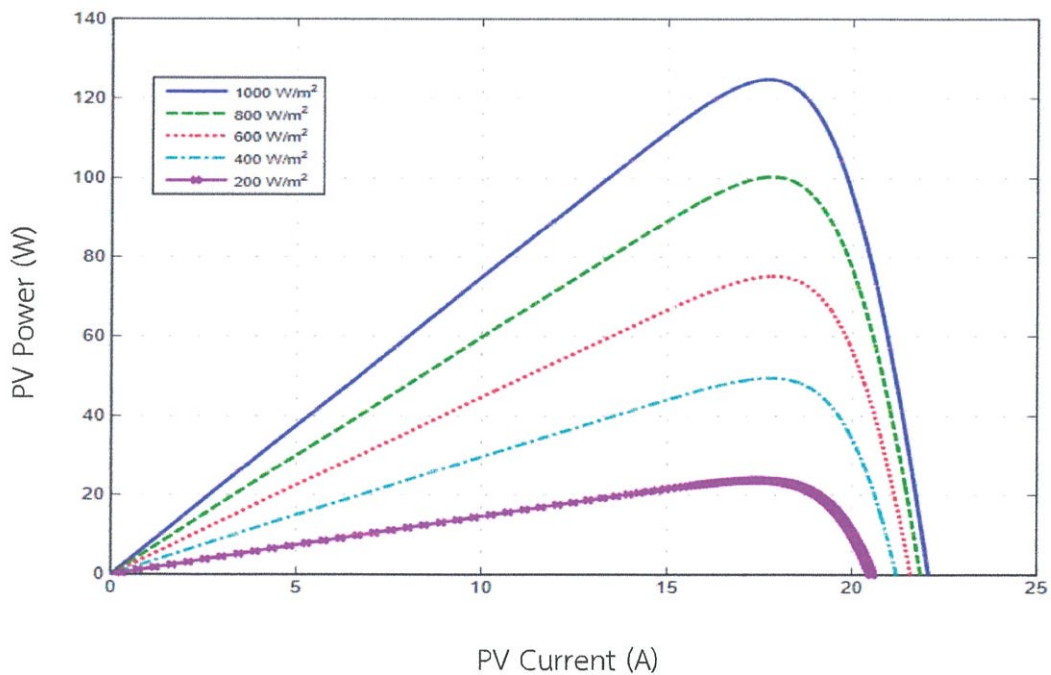
By-pass diode?

รูปที่ 3.4 ช่องบันทึกข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์

กราฟคุณลักษณะของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปที่ 3.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน(Voltage,V) และกระแส(Current,I) และรูปที่ 3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง(Power,W) และแรงดัน(Voltage,V) จะเห็นได้ว่ากราฟมีคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความเข้มแสง

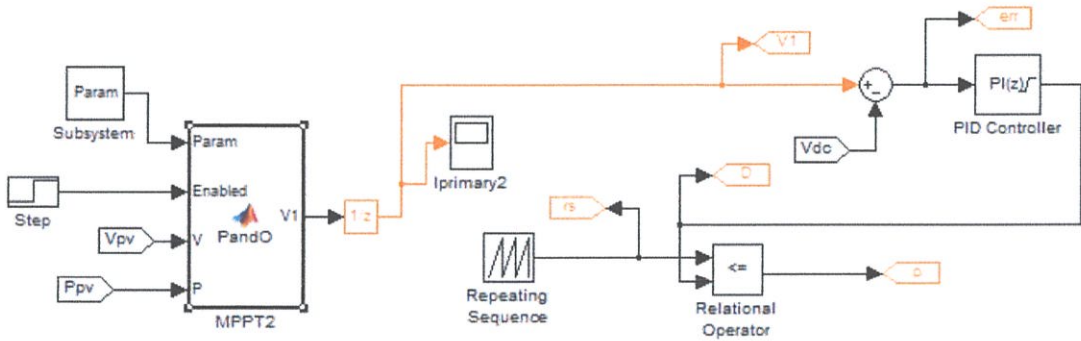


รูปที่ 3.5 กราฟคุณลักษณะแรงดันและกระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์



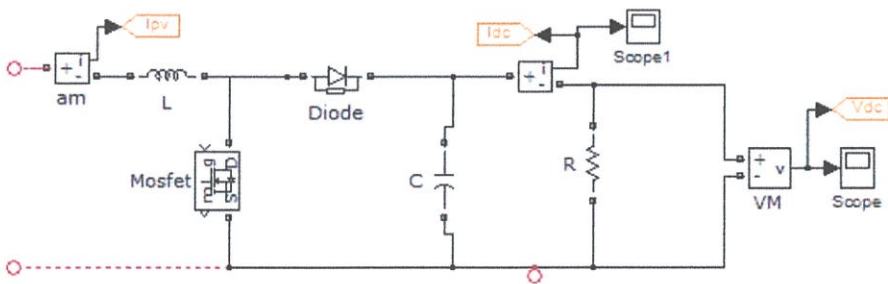
รูปที่ 3.6 กราฟคุณลักษณะกำลังและแรงดันของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.2 แบบจำลองตัวควบคุม เพื่อติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่แรงดันด้านขาออกมีเสถียรภาพ ใช้ตัวควบคุม 2 เทคนิคได้แก่ หลักการรบกวนและสังเกตซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน หลักการแรงดันคงที่ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและหลักการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่น่าเสนอ โดยมีการเปรียบเทียบกับ การติดตามจุดกำลังสูงสุดทั้งสามวิธี ซึ่งการควบคุมนี้จะต้องทำการเขียนโปรแกรมใน MATLAB/Simulink และมีแบบจำลองแสดงการควบคุมดังรูปที่ 3.7 เพื่อหาค่าตัวดีไซเคลิที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างสัญญาณควบคุมสวิตซ์ให้กับตัวแปลงผันทระดับซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อการออกแบบส่วนควบคุมต่อไป



รูปที่ 3.7 แบบจำลองตัวควบคุมโดยใช้หลักการรบกวนและสังเกตกับหลักการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่น่าเสนอโดยการจำกัดขอบเขตของแรงดันโดยใช้ระบบพีไอในการควบคุม

3.1.3 แบบจำลองวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า เป็นส่วนประกอบหลักในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ สวิตซ์ และไดโอด ดังรูปที่ 3.8 โดยวงจรจะรับสัญญาณเพื่อควบคุมสวิตซ์จากวงจรควบคุมเพื่อติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 3.8 แบบจำลองตัวแปลงผันแบบทระดับ

3.2 การออกแบบตัวควบคุมเพื่อติดตามกำลังสูงสุด

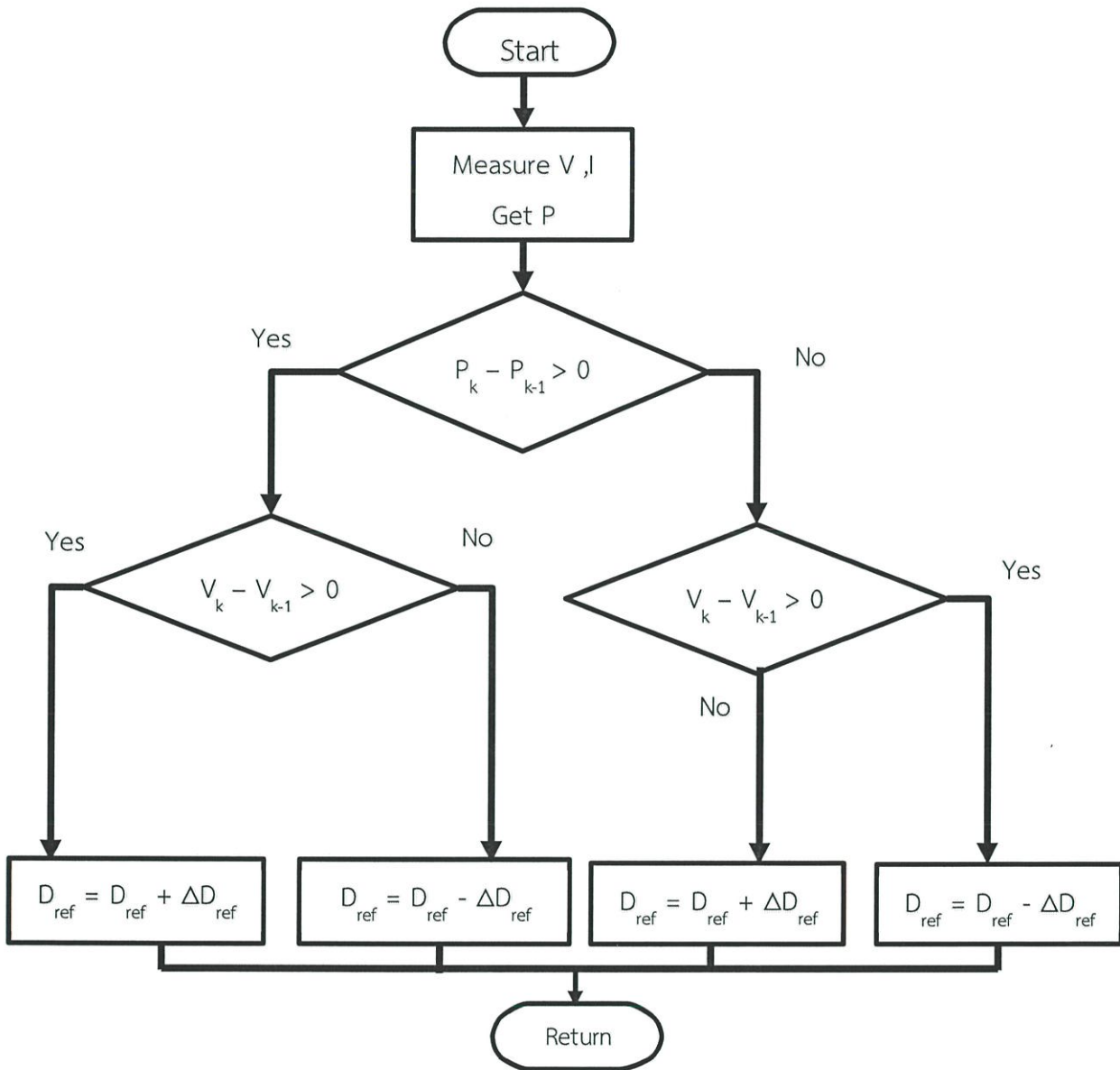
จากกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์จะพบว่าที่แต่ละความเข้มแสงจะมีจุดทำงานเพียงหนึ่งจุดเท่านั้นที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นเพื่อให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังสูงสุด อย่างไรก็ตามในขณะที่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น มักเกิดปัญหาความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันขาออก จึงมีการใช้วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีการควบคุมเพื่อติดตามกำลังสูงสุดโดยมีเสถียรภาพของแรงดันขาออกซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้เทคนิคการควบคุมได้แก่ เทคนิคการรบกวนและสังเกต และเทคนิคการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ซึ่งทั้งสองเทคนิคนั้นก็มีความเหมาะสมในการติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่แตกต่างกัน

3.2.1 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต (Perturbe&Observe)
เป็นวิธีการทั่วไปที่นิยมใช้ เนื่องจากมีหลักการทำงานไม่ซับซ้อนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่าย มีหลักการทำงานเป็นคาบเวลาโดยใช้การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนดังสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.2)

$$\Delta P = P_k - P_{k-1} \quad (3.1)$$

$$\Delta V = V_k - V_{k-1} \quad (3.2)$$

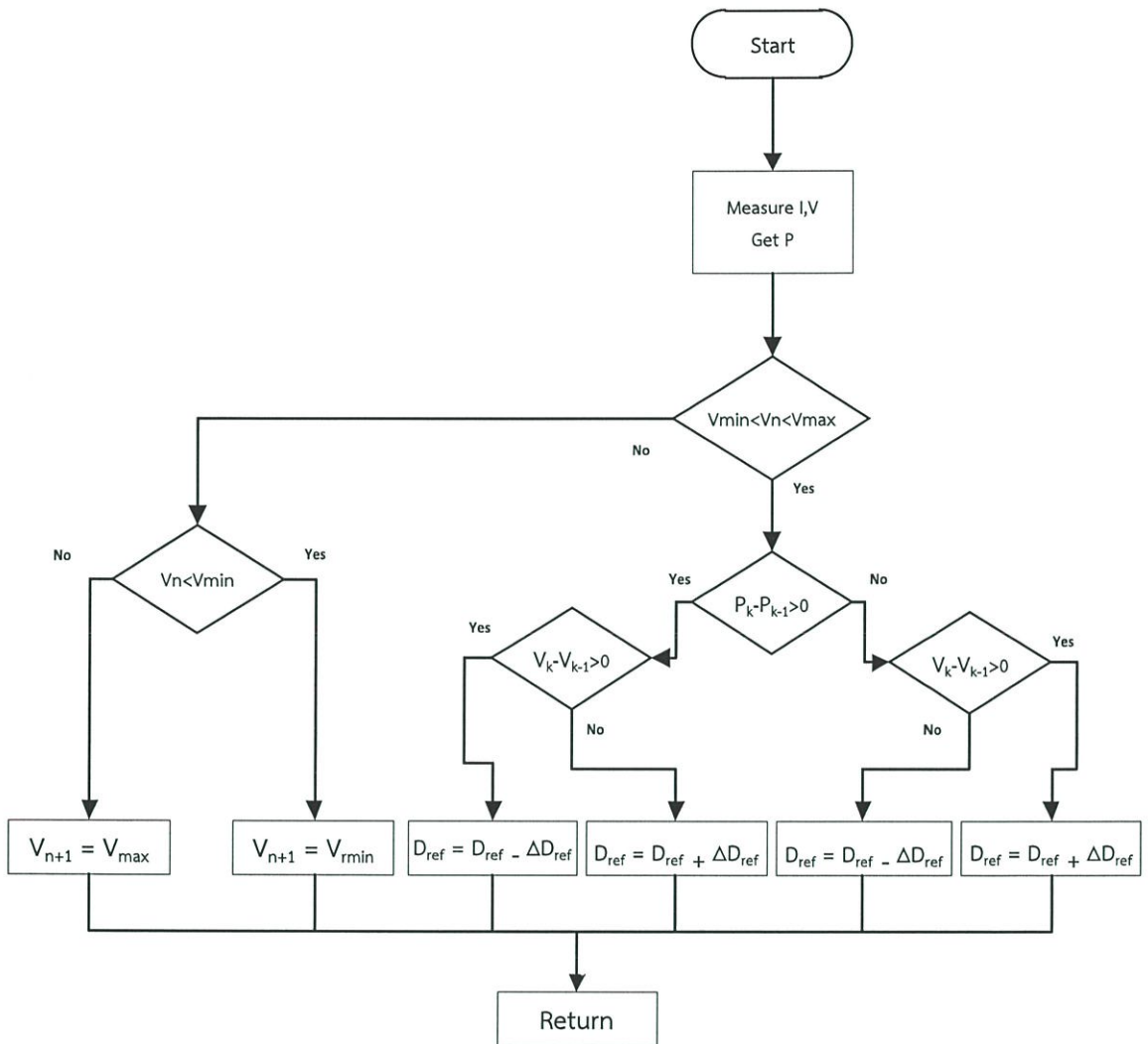
โดยมีหลักการทำงานในการปรับเปลี่ยนค่าดิวิตีเซเคลตามกราฟคุณลักษณะเพื่อให้ระบบทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามแผนภูมิกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งวิธีนี้สามารถทำงานได้ดีที่สภาวะคงตัว กล่าวคือในสภาวะที่ปริมาณแสงและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ แต่จะมีข้อเสียคือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงอย่างรวดเร็วจะทำให้ใช้เวลาในการติดตามหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆและยังมีข้อเสียคือในขณะที่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีการแกว่งรอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 3.9 แผนภูมิกระบวนการการหาจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต

3.2.2 การออกแบบตัวติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ คือการออกแบบลำดับขั้นตอนของวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเดิม ให้มีการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยมีขอบเขตของแรงดันทางด้านขาออกและที่แรงดันขาออกจะไม่เกินช่วงที่กำหนดไว้ โดยช่วงที่กำหนดจะใช้ช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้กำลังที่สูงที่สุดของแรงดันทางด้านขาออกที่ยังคงมีเสถียรภาพอยู่ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถใช้สวิตซ์ซึ่งเพียงตัวเดียวที่สามารถทั้งติดตามจุดกำลังสูงสุดและมีเสถียรภาพทางด้านแรงดันขาออกหรือมีแรงดันขาออกคงที่จากเดิมซึ่งต้องใช้สวิตซ์ซึ่งอย่างน้อย 2 ตัว แต่วิธีนี้ส่งผลให้ค่ากำลังขาออกนั้นต่ำลงเพราะจะถูกจำกัดเขตการติดตามจุดกำลังสูงสุดเอาไว้ เพื่อรักษาระดับแรงดันทางด้านขาออก

การออกแบบลำดับขั้นตอนของตัวติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอโดยมีกระบวนการตามรูปที่ 3.10 และสังเกตได้ว่าจะมีการเพิ่มเงื่อนไขในส่วนของการกำหนดขอบเขตของ แรงดันขาออก(V_{dc}) โดยถูกจำกัดอยู่ในช่วงระหว่าง V_{max} กับ V_{min} ที่ได้กำหนดไว้ โดยเมื่อแรงดันขาออก (V_{dc}) ไม่อยู่ในช่วงระหว่าง V_{max} กับ V_{min} ก็จะลัดขั้นตอนในส่วนของการติดตามกำลังสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตทั้งหมด โดยให้คงระดับแรงดันขาออกไว้ที่ค่าขอบเขตบนหรือขอบเขตล่าง ทำให้สามารถจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออก (V_{dc}) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอด ด้วยเหตุผลดังนี้ 1.) ตามความเข้มแสง 2.) ข้อเสียของวิธีการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตซึ่งเงื่อนไข $P_k - P_{k-1} = 0$ ไม่สามารถเป็นไปได้แรงดันขาออก (V_{dc}) จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

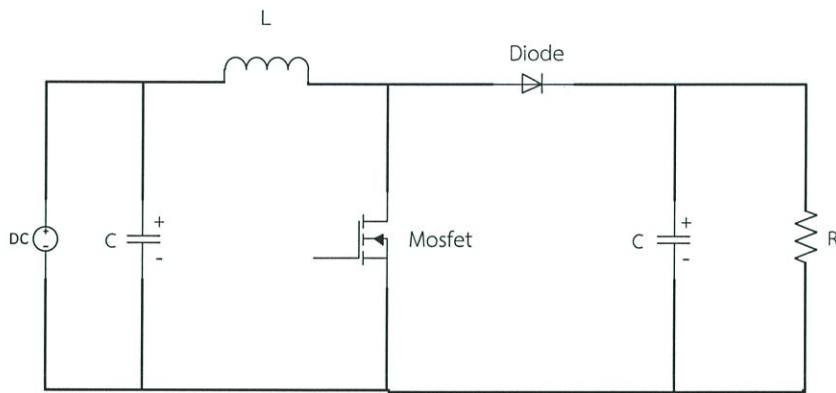


รูปที่ 3.10 แผนภูมิกระบวนการลำดับขั้นตอนของตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด
โดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ

3.3 การออกแบบตัวแปลงผันทระดับ

ในการออกแบบวงจรการติดตามจุดกำลังสูงสุดของโซลาเซลล์จะต้องใช้วงจรแปลงผันแบบทระดับออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 50 kHz แรงดันและกระแสอินพุตมีค่าเท่ากับแรงดันและกระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกำหนดแรงดันไฟตรงเอาต์พุตเท่ากับ 35 โวลต์ โหลดความต้านทาน 10 โอห์ม วงจรแปลงผันแบบทระดับแสดงดังรูปที่ 3.11 จากข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จะได้คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานดังนี้

กำลังสูงสุดที่จ่ายได้ (P_{MAX})	125	วัตต์
แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (V_{MAX})	17	โวลต์
กระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (I_{MAX})	7.36	แอมป์
แรงดันขณะเปิดวงจร (V_{OC})	21.6	โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{SC})	7.64	แอมป์



รูปที่ 3.11 วงจรแปลงผันทระดับ

3.3.1 การคำนวณหาดีวตี้ไซเคิลสำหรับการทำงานของสวิตช์ จากสมการจะได้

$$V_a = \frac{V_s}{1-D}$$

$$35 = \frac{17}{1-D}$$

$$D = 0.5$$

3.3.2 การหาขนาดตัวเหนี่ยวนำ(L)

นำสามารถคำนวณจากสมการจะได้

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

$$L_{\min} = \frac{0.5 \times (1-0.5)^2 \times 9}{2 \times 20 \times 10^3}$$

$$L_{\min} = 28.125 \mu H$$

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วยโดยต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำที่มีค่ามากกว่า L_{\min} ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่ $300 \mu H$ เพื่อนลดกระแสริปเปิ้ล

3.3.3 การหาขนาดตัวเก็บประจุ(C) สามารถคำนวณได้จากสมการจะได้

โดยที่ $r = \frac{\Delta V_c}{V_c}$ คือค่าแฟคเตอร์คลื่นละลอก (ในที่นี้ใช้ $r < 1\%$)

$$C = \frac{D}{rRf_s}$$

$$C = \frac{0.5}{0.01 \times 20 \times 20 \times 10^3}$$

$$C = 125 \mu F$$

ในการใช้งานจริงตัวเก็บประจุใช้ขนาด $330 \mu F$ $100 V$ เพื่อกรองให้แรงดันเอาต์พุตของตัวแปลงผันแบบทบแรงดันเรียบมากขึ้นและลดผลการแกว่งของแรงดันของขณะทำการติดตามจุกำลังสูงสุด

3.3.4 การเลือกไดโอด จะเลือกเบอร์ที่สามารถทนแรงดันและกระแสเอาต์พุตของตัวแปลงผันทบระดับได้ ดังนั้นจึงเลือกไดโอด MUR1560 Rectifier diode 600V, 15A

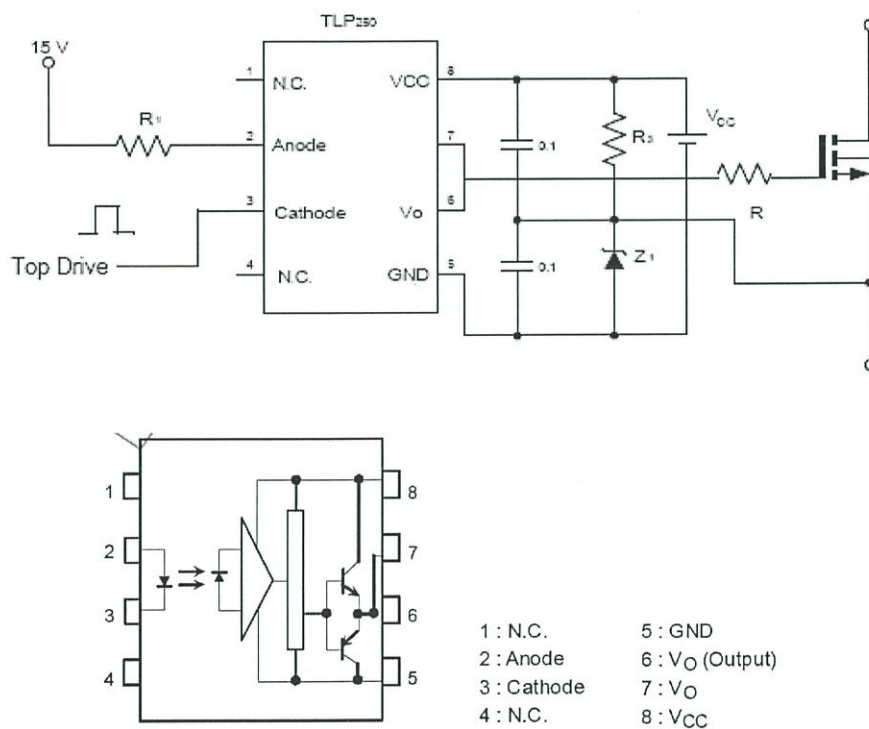
3.3.5 การเลือกมอสเฟต จะเลือกเบอร์ให้สัมพันธ์กับแรงดันอินพุตและกระแสอินพุต ดังนั้นจึงเลือกมอสเฟต IRFP250 N-CHANNEL 200V, 30A

3.4 วงจรขับเคลื่อนแบบแยกกันทางไฟฟ้า

ในการทำงานวงจรแปลงผันแบบทระดับแรงดัน จึงจำเป็นต้องมีวงจรขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการสวิตช์มอเตอร์ ในช่วงที่สวิตช์ทำงานวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถให้พลังงานมากเพียงพอเพื่อให้สวิตช์ทำงานได้ตลอดช่วงการทำงาน (t_{on}) ในขณะที่เดียวกันวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถไบแอสกลับเพื่อควบคุมสวิตช์ให้หยุดทำงานตลอด

ซึ่งวงจรขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมการปิด-เปิดของมอเตอร์ นอกจากนี้วงจรขับเคลื่อนจะเป็นตัวขยายสัญญาณควบคุมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่สามารถขับสวิตช์ได้

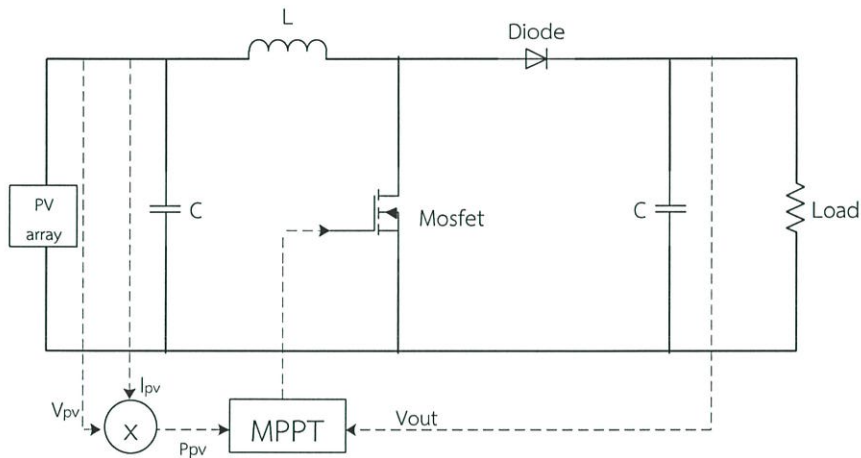
เพื่อลดความเสียหายภายในวงจรจึงใช้ไอซีเบอร์ TLP250 เป็นชนิด Opto Isolated Gate Drive มีหน้าที่แยกไฟแรงสูงกับแรงต่ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Opto Isolator กับส่วนที่เป็น current boost โดยใช้แสงเป็นตัวกลางในการเชื่อมระบบโดยใช้แสงที่ได้ไปขับในส่วนของ current boost เพื่อขยายกระแสให้มากขึ้นเพื่อขับมอเตอร์และขณะที่นำไปใช้งานต้องมีการต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสเข้า Opto Isolator ด้วย วงจรขับเคลื่อนแสดงดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรขับเคลื่อน

3.5 การวัดสัญญาณ(sensor)

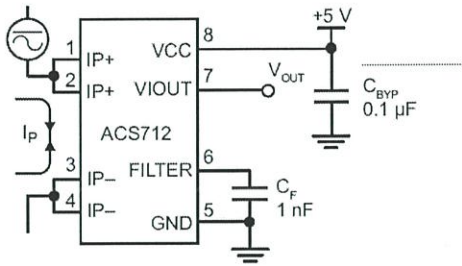
ในการออกแบบการรับสัญญาณอินพุตของค่ากระแสและแรงดันสำหรับการติดตามจุดกำลังสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสอ้างอิงในการนำไปสร้างสัญญาณดิวิตีไซเคิลสำหรับการทำงานของสวิตช์ของตัวแปลงผันแบบทบระดับดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ Arm ที่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน +3.3 โวลต์ สำหรับใช้ในการประมวลผล วิธีการวัดสัญญาณดังรูป



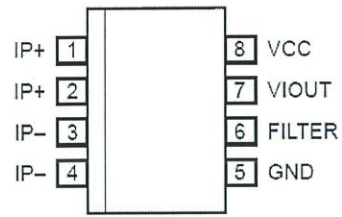
รูป 3.13 วงจรการวัดกระแสและแรงดัน

3.5.1 การวัดค่ากระแสโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส(Current Sensor) ทำการวัดสัญญาณค่ากระแสโดยใช้ Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC (ACS712) ทำงานโดยอาศัยผลจาก Hall Effect เปลี่ยนค่ากระแสให้เป็นแรงดัน โดยไอซีนี้จะทำการวัดค่ากระแส(I_m)แล้วแปลงเป็นค่าแรงดัน(V_{out}) เพื่อค่านำไปเข้าไปประมวลผลกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Arm (STM32) โดยมีค่าสัดส่วนของกระแสแปลงเป็นแรงดันดังตาราง ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับ ACS712 เป็น +5 V

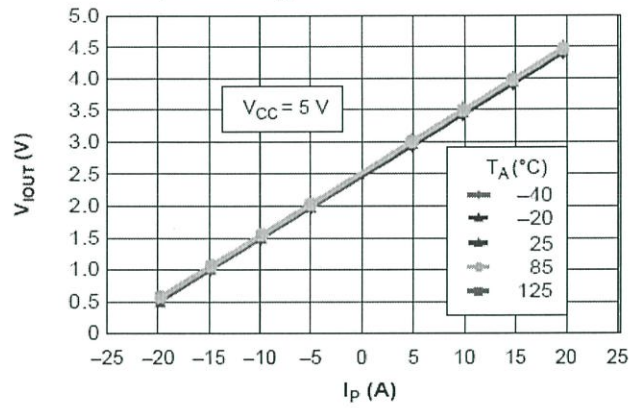
Typical Application



Pin-out Diagram

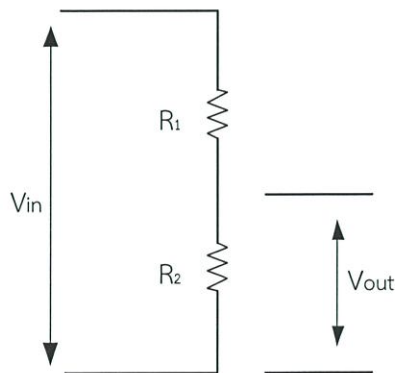


Output Voltage versus Sensed Current



รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

3.5.2 การวัดสัญญาณแรงดัน จะทำการวัดโดยการต่อขานานตัวต้านทานค่ามากระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวแปลงผันแบบทระดับเพื่อทำการลดอัตราส่วนแรงดันให้ระดับที่ต้องการ 0-3 โวลต์เป็นอินพุตให้กับระบบควบคุม โดยใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า(Voltage Divider) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

3.5.2.1 แรงดันขาเข้า(V_{in}) การคำนวณหาค่าความต้านทานในวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า สำหรับวัดสัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นอินพุต(V_{in}) ให้กับตัวควบคุม โดยมีขนาดแรงดันสูงสุดเซลล์แสงอาทิตย์ 17 โวลต์ ต้องการแรงดันสำหรับตัวควบคุม 0 - 3.3 โวลต์ แทนค่าในสมการ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3V}{17V}$$

ดังนั้น เลือกใช้ $R_1 = 54 \text{ k}\Omega$ และ $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$ ซึ่งลดอัตราส่วนแรงดันได้ประมาณ 3.091 V ที่แรงดันสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

3.5.2.2 แรงดันขาออก(V_{out}) สำหรับวัดสัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นเอาต์พุต(V_{out}) ของวงจรแปลงผันทระดับให้กับตัวควบคุม โดยมีขนาดแรงดันสูงสุด 35 โวลต์ ต้องการแรงดันสำหรับตัวควบคุม 0 - 3.3 โวลต์ แทนค่าในสมการ

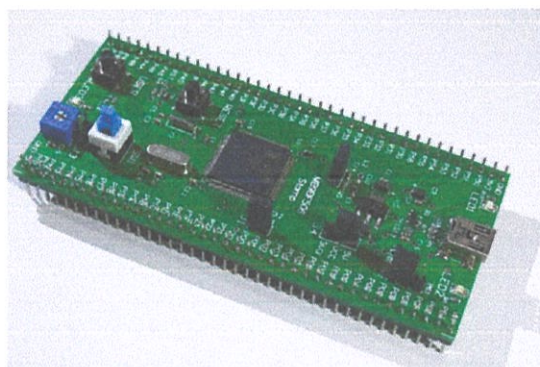
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3V}{35V}$$

ดังนั้น เลือกใช้ $R_1 = 120 \text{ k}\Omega$ และ $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$ ซึ่งลดอัตราส่วนแรงดันได้ประมาณ 3.18 V ที่แรงดันสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

3.6 การสร้างสัญญาณพัลส์(Pulse)

สร้างสัญญาณพัลส์จากการเขียนโปรแกรมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด STM32 โดยจะสัญญาณที่ได้ออกมาจากการประมวลผลที่ MPP โดยอัลกอริทึมเป็นรบกวนและติดตาม(P&O) จะเป็นสัญญาณดิวิตีเซเคิลโดยอาศัยการสร้างควมถี่จากภายในของตัว STM32 เอง ซึ่งสามารถนำสัญญาณไปป้อนให้อุปกรณ์แยกกันทางไฟฟ้า(Isolation) ได้โดยตรง



ที่มา : <http://satishk92.wordpress.com/>
รูปที่ 3.16 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด STM32

บทที่ 4

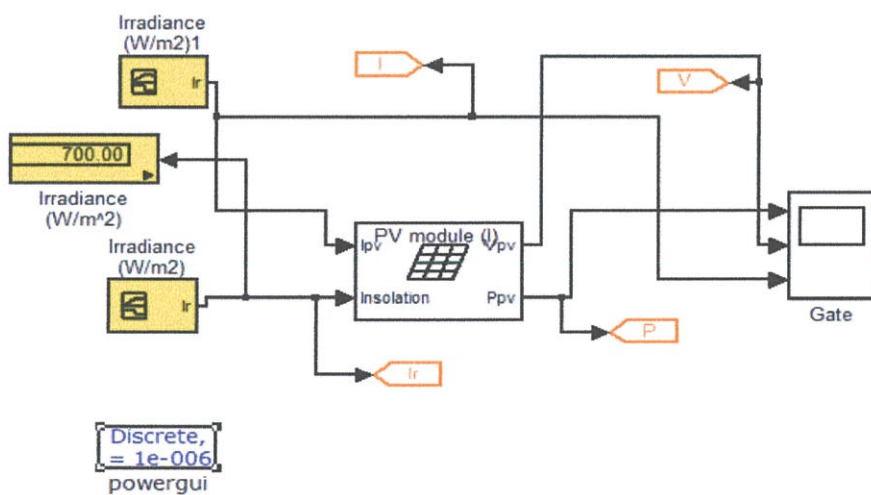
การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำแบบจำลองจากที่เคยออกแบบไว้ในบทที่ 3 ในโปรแกรม MATLAB/SUMULINK โดยเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง มีพารามิเตอร์ดังนี้

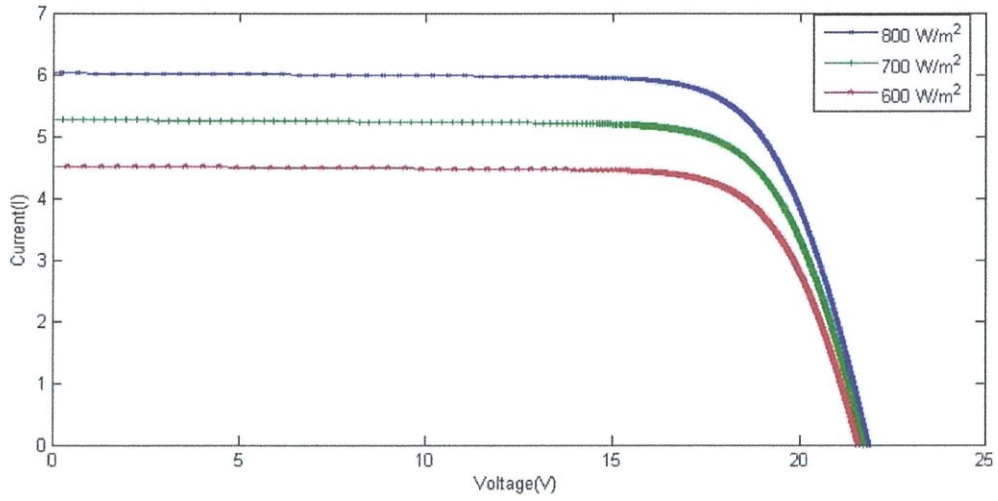
ขนาดกำลังสูงสุด	125 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6 โวลต์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64 แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	17 โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	7.36 แอมป์

4.1 การจำลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ทางคอมพิวเตอร์

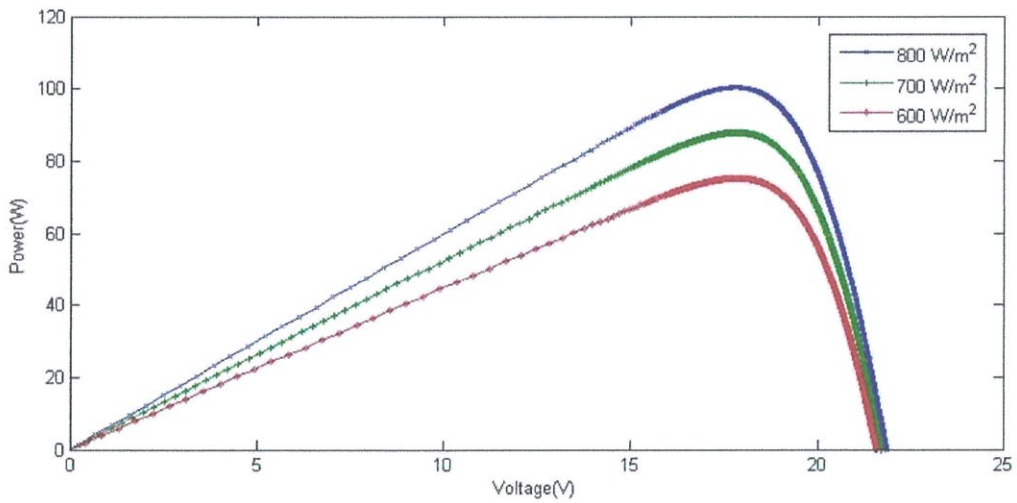
ผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองที่ออกแบบในโปรแกรม MATLAB/SUMULINK ในคอมพิวเตอร์ โดยบันทึกค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์ที่ระบุไว้ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดลองจริงจำนวน 1 แผง ภายใต้สภาวะความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับ คือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร แบบจำลองการทดลองคุณลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองการทดลองคุณลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง



รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

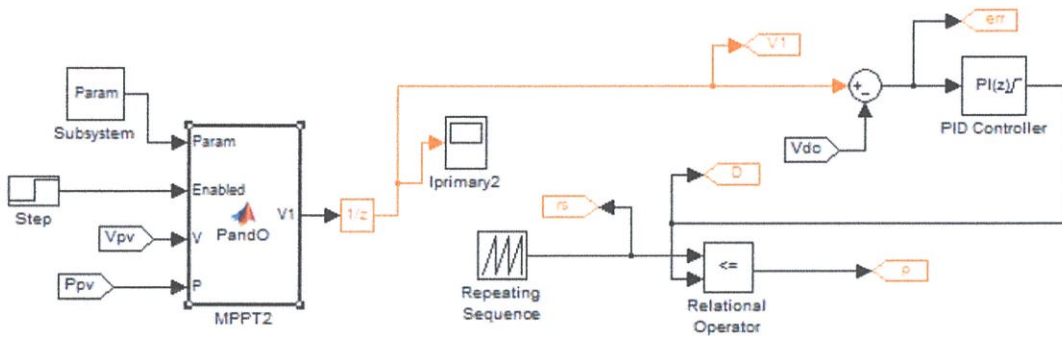


รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

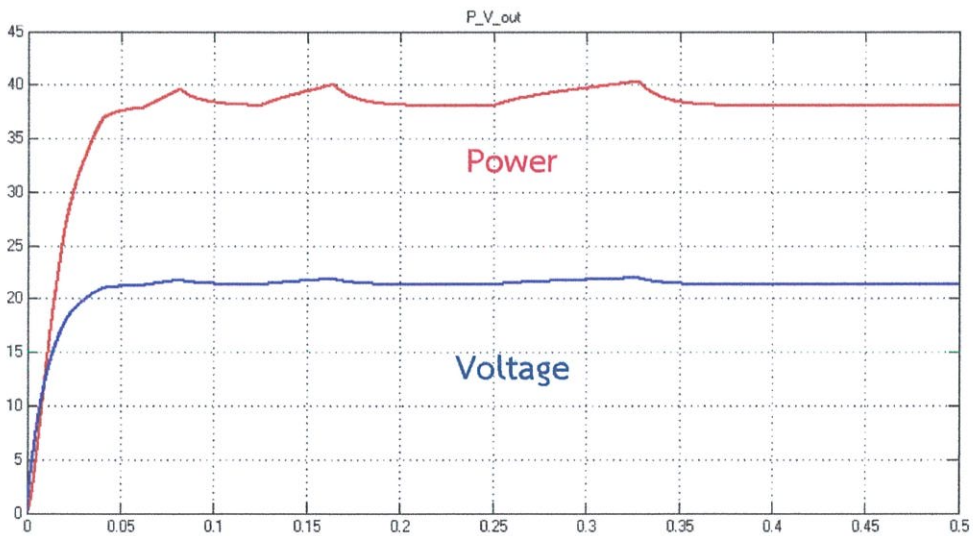
4.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ความเข้มแสงคงที่

4.2.1 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงคงที่

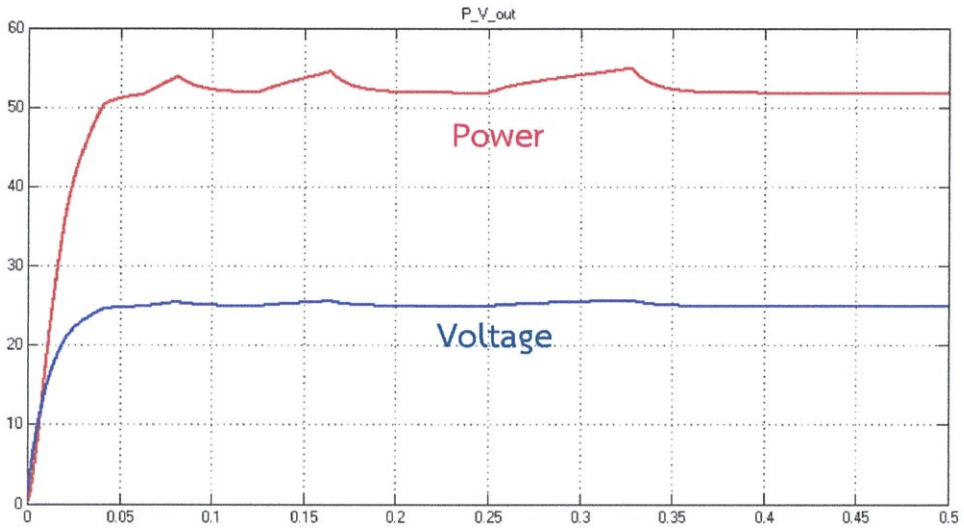
การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงคงที่ โดยจำลองที่แสง 3 ระดับคือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร



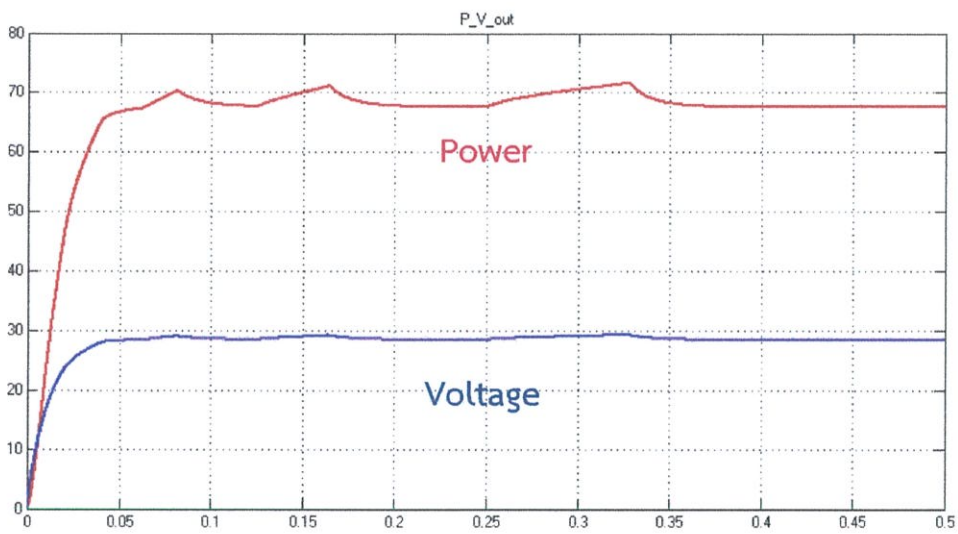
รูปที่ 4.4 แบบจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร



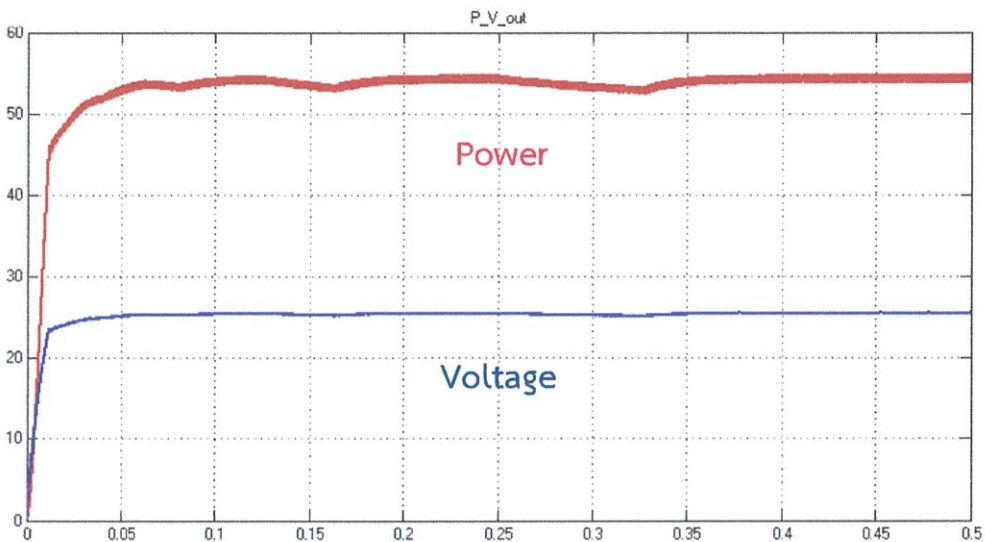
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร



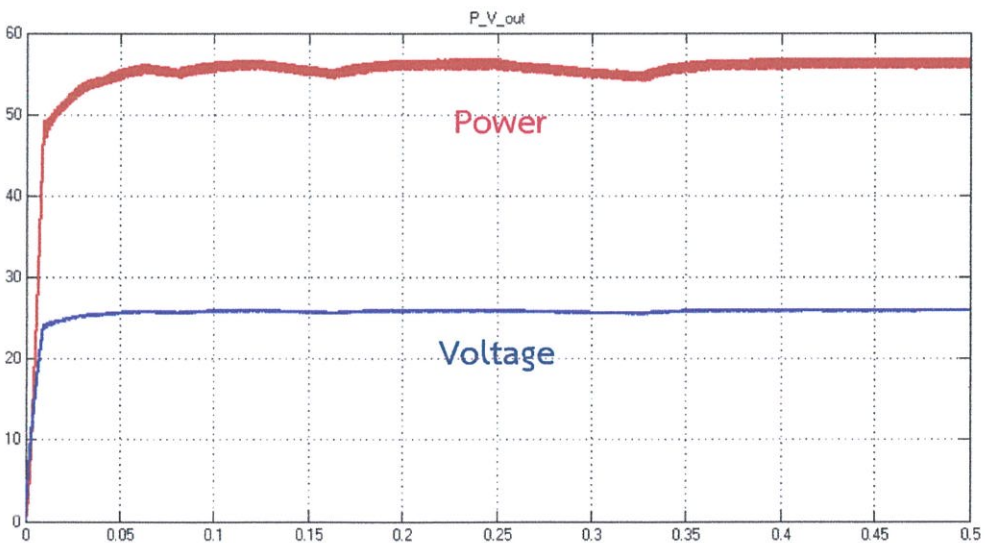
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร

4.2.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่

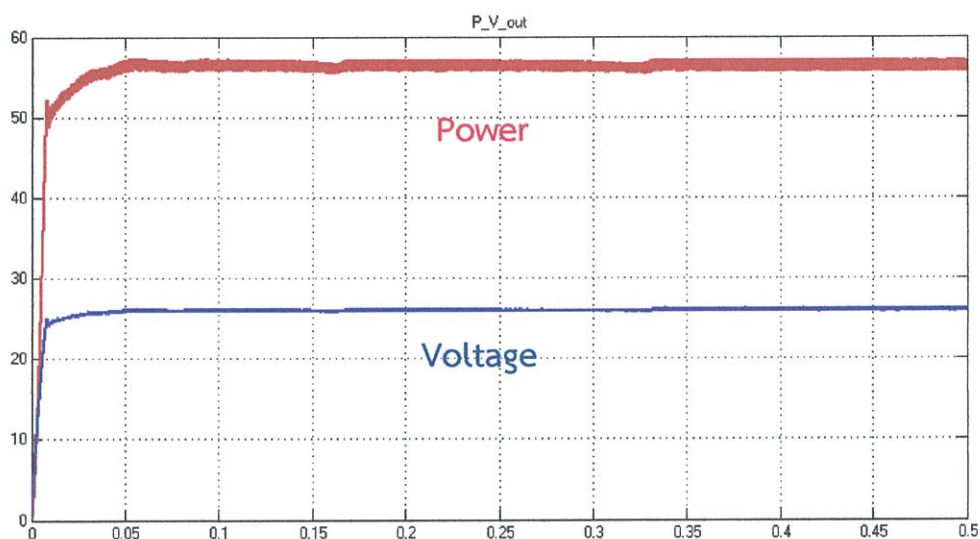
การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่ โดยจำลองที่แสง 3 ระดับคือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร แบบจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะคล้ายกับวิธีการรบกวนและสังเกต แต่จะไม่เหมือนกันที่การเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด STM32 โดยกำหนดขอบเขตให้แรงดันไม่เกิน 26 โวลต์



รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.10 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร

4.2.3 เปรียบเทียบผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต กับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่

ที่ความเข้มแสงคงที่ 600 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าทั้งสองวิธีมีแรงดันไม่แตกต่างกันและกำลังที่ได้ไม่ต่างกันเนื่องจากแรงดันที่ได้ยังอยู่ในขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ คือ 26 โวลต์

ที่ความเข้มแสงคงที่ 700 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าวิธีการรบกวนและสังเกตมีแรงดัน 25 โวลต์ และวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอดังรูปที่ 4.9 มีแรงดันที่ 25 โวลต์ จะเห็นว่าทั้งสองวิธีมีแรงดันไม่แตกต่างกันและกำลังที่ได้ไม่ต่างกันเนื่องจากแรงดันที่ได้ยังอยู่ในขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ คือ 26 โวลต์

ที่ความเข้มแสงคงที่ 800 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าวิธีการรบกวนและสังเกตมีแรงดัน 30 โวลต์ แต่วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอดังรูปที่ 4.10 มีแรงดันที่ 26 โวลต์ เพราะว่าได้กำหนดให้แรงดันไม่เกิน 26 โวลต์ ทำให้แรงดันที่ได้มีเสถียรภาพ แต่จะมีกำลังลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการจำลองติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่

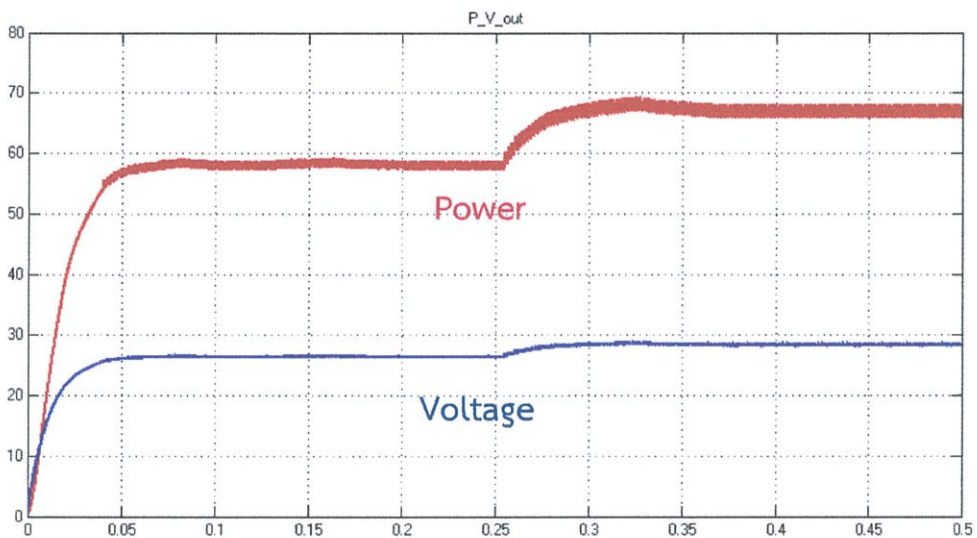
ความเข้มแสงคงที่				
ความเข้มแสง	แรงดัน(โวลต์)		กำลัง (วัตต์)	
	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
600	22	26	38	38
700	22.5	26	54	54
800	29	26	69	57

4.3 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

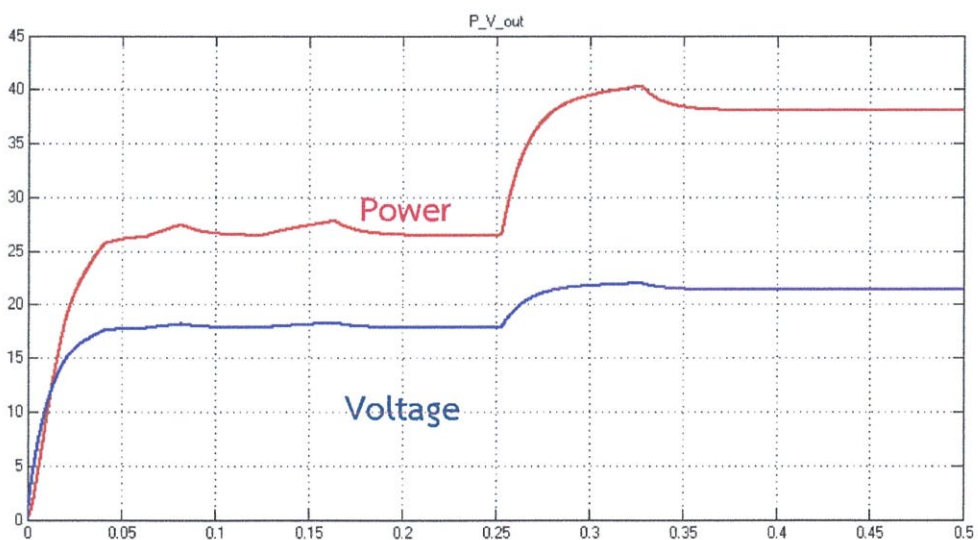
4.3.1 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง โดยจำลองที่แสงเปลี่ยน คือ

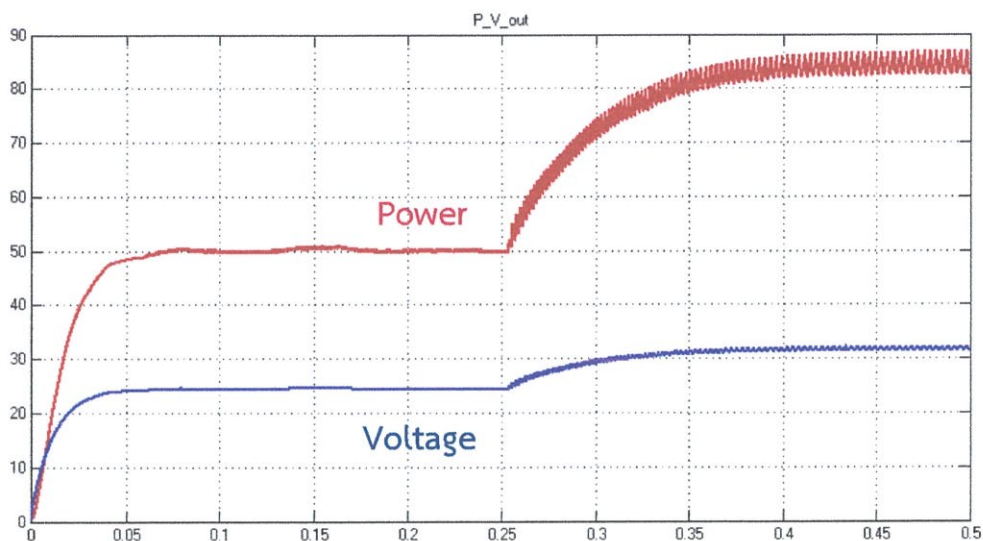
1. 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร
2. 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร
3. 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.11 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแลงจาก 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.12 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแลงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร

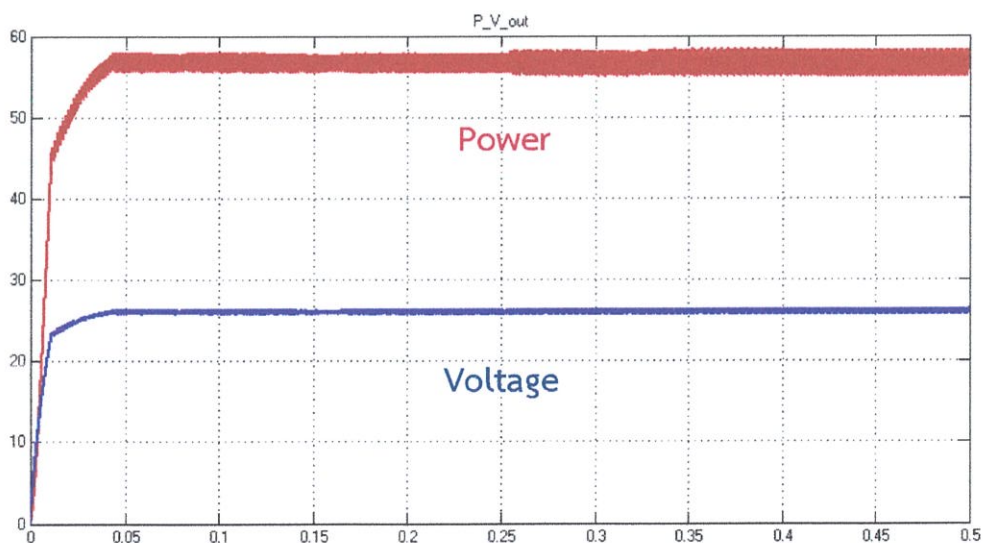


รูปที่ 4.13 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร

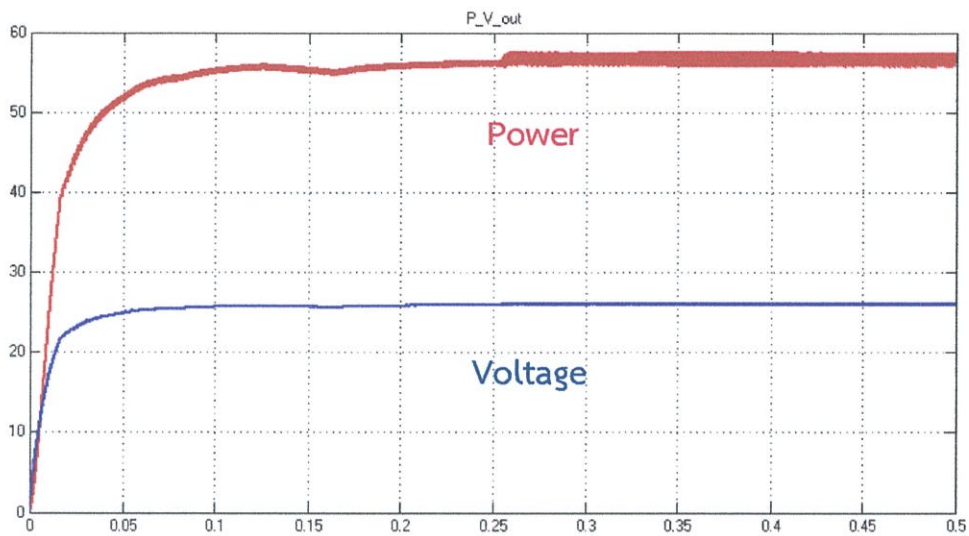
4.3.2 การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่ นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

การจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่
ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง โดยจำลองที่แสงเปลี่ยน คือ

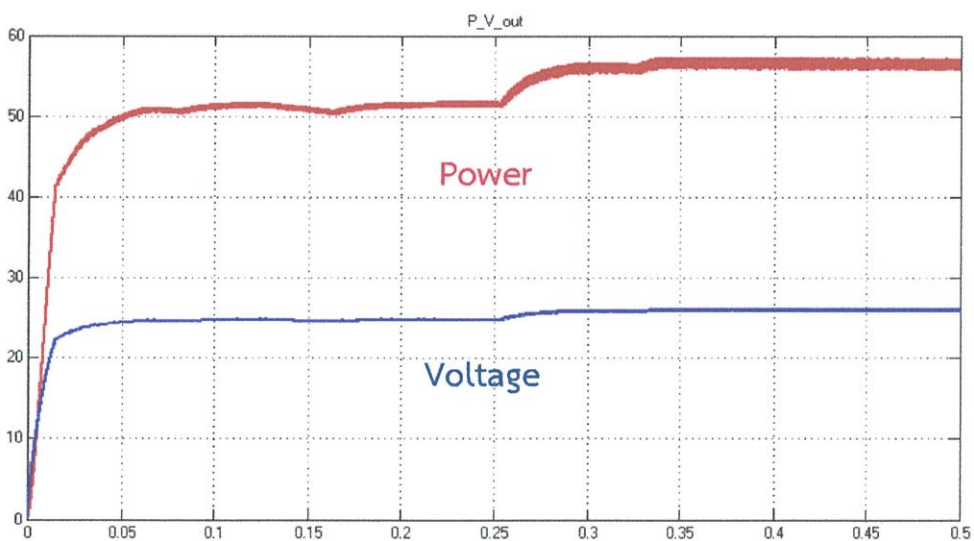
1. 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร
2. 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร
3. 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.14 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 650 เปลี่ยนเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เปลี่ยนเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร

4.3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตในรูปที่ 4.14 วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ในช่วงความเข้มแสงเปลี่ยนกำลังและการกระเพื่อมแรงดันแทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่วิธีการรบกวนและสังเกตจะมีกำลังและการกระเพื่อมของแรงดันที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.11

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตในรูปที่ 4.15 วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ในช่วงความเข้มแสงเปลี่ยนกำลังและการกระเพื่อมแรงดันแทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่วิธีการรบกวนและสังเกตจะมีกำลังและการกระเพื่อมของแรงดันที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.12

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอเมื่อแสงเพิ่มขึ้น การกระเพื่อมของแรงดันจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากกำหนดขอบเขตไว้ให้ไม่เกิน 26 โวลต์ ดังรูปที่ 4.16 ส่วนวิธีการรบกวนและสังเกต การกระเพื่อมของแรงดันมีมากขึ้น ดังรูปที่ 4.13 ทำให้เมื่อแสงเปลี่ยนแปลงจะทำให้แรงดันไม่คงที่ซึ่งไม่สามารถใช้กับโหลดที่ต้องการแรงดันคงที่ในการใช้งาน

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการจำลองติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง		
ความเข้มแสง	การกระเพื่อมของแรงดัน (โวลต์)	
	วิธีรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
650-750	2	0.5
500-600	2	1
500-800	3	1.5

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาแรงดันขณะเปิดวงจร กระแสลัดวงจร แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ จุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ในขณะนั้นโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ ดังรูปที่ 5.1

5.1 การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

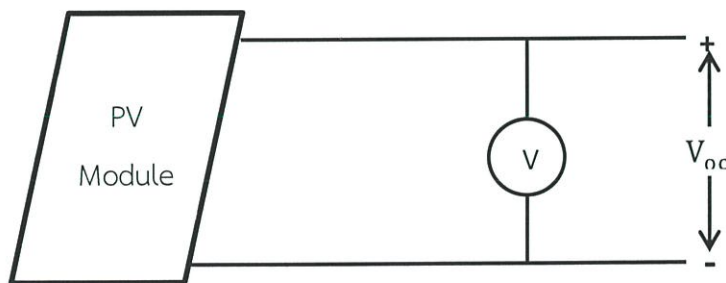
ทำการทดลองที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ 600 วัตต์/ตารางเมตร 720 วัตต์/ตารางเมตร และ 780 วัตต์/ตารางเมตร ทำการทดลองดังนี้

1. เปิดวงจร (Open circuit) ทางด้านแรงดันเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่ต่อโหลดทำการวัดแรงดันเปิดวงจร ดังรูปที่ 5.1 ก)

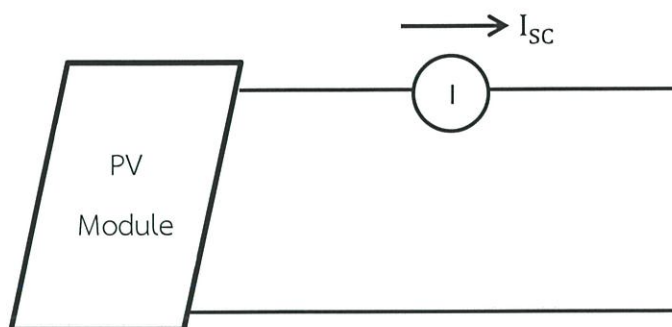
2. ลัดวงจร (Short circuit) ทางด้านเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการวัดกระแสลัดวงจร แรงดันลัดวงจรจะเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 5.1 ข)

3. ต่อโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ปรับความต้านทานและวัดค่ากระแสและแรงดันในทุกๆขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ดังรูปที่ 5.1 ค)

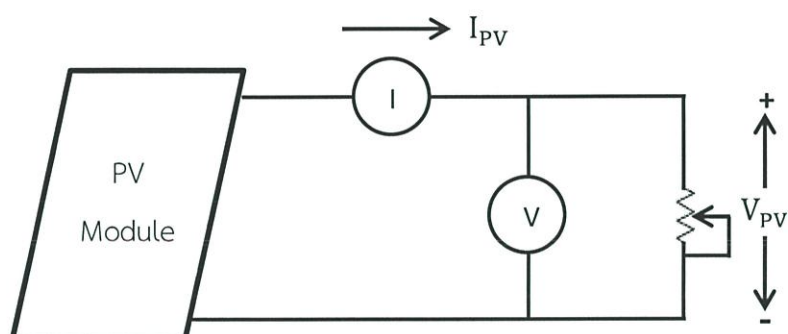
4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 – 3 มาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน และ แรงดันกับกระแส ที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ ทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์



ก) การวัดแรงดันขณะเปิดวงจร



ข) การวัดกระแสลัดวงจร



ค) การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

รูปที่ 5.1 การวัดคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดความเข้มแสงจะใช้ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter) ในการวัดความเข้มแสงจากแสงดวงอาทิตย์ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

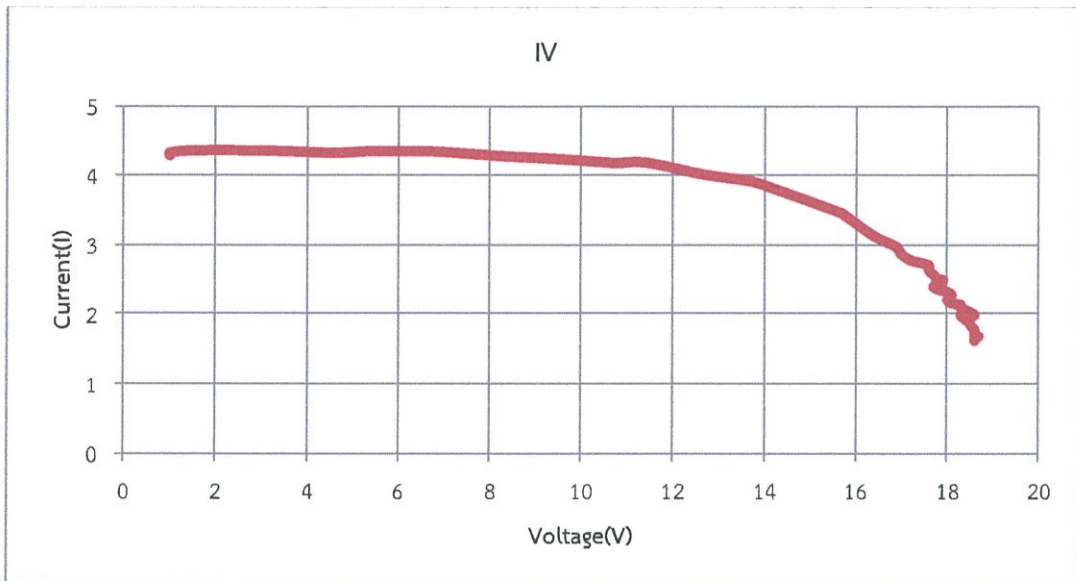
5.1.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการทดลองที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 720 วัตต์/ตารางเมตร และ 780 วัตต์/ตารางเมตร โดยบันทึกค่าแรงดัน กระแส และกำลัง เมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลง ลงในตารางที่ 5.1

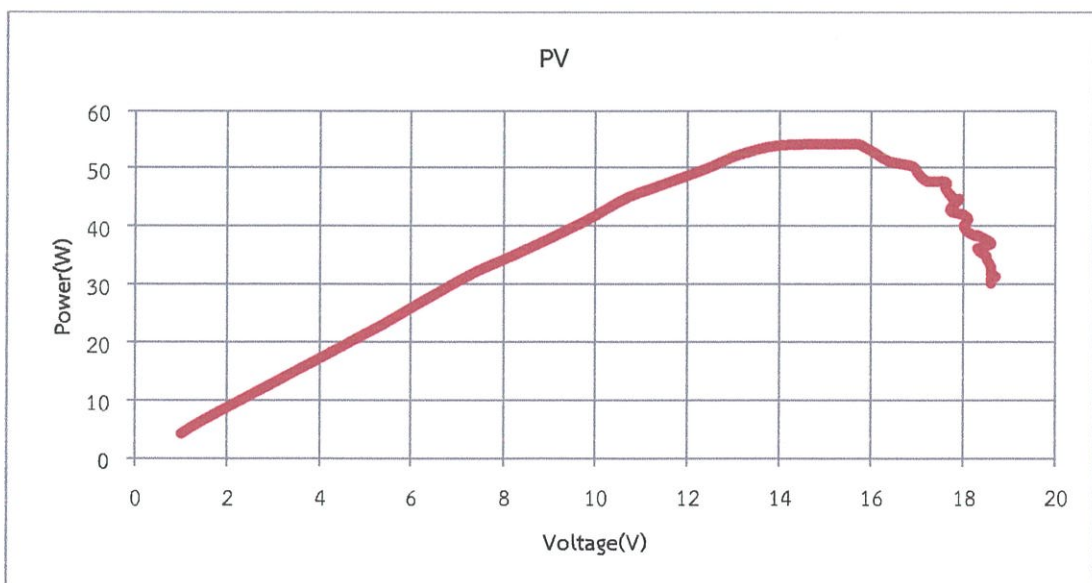
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร

แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)		แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)
18.6	1.623	30.2		17.6	2.71	47.8
18.6	1.64	30.9		17.2	2.78	47.8
18.7	1.681	31.3		17.0	2.87	49.3
18.6	1.709	31.8		16.9	2.97	50.4
18.6	1.716	32.0		16.4	3.13	51.2
18.6	1.750	32.6		16.1	3.27	52.6
18.6	1.781	33.1		15.8	3.41	53.9
18.5	1.857	34.4		15.7	3.46	54.3
18.5	1.891	34.9		14.3	3.79	54.2
18.4	1.923	35.4		13.7	3.92	53.7
18.3	1.99	36.2		13.0	3.98	52.1
18.5	1.97	36.7		12.4	4.05	49.99
18.6	2.00	37.2		11.4	4.19	47.0
18.3	2.09	38.5		10.7	4.18	45.0
18.3	2.14	38.3		9.7	4.23	40.7
18.1	2.16	39.0		8.2	4.28	35.0
18.0	2.21	40.1		7.4	4.32	32.2
18.1	2.28	41.2		6.6	4.35	28.7
18.0	2.32	42.0		5.4	4.35	23.2
17.7	2.39	42.8		4.5	4.33	19.4
17.9	2.49	44.7		2.9	4.36	12.6
17.8	2.51	44.6		1.6	4.36	7.1
17.7	2.57	45.5		1.0	4.33	4.2
17.6	2.64	46.6		1.0	4.29	4.2

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 54.3 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร

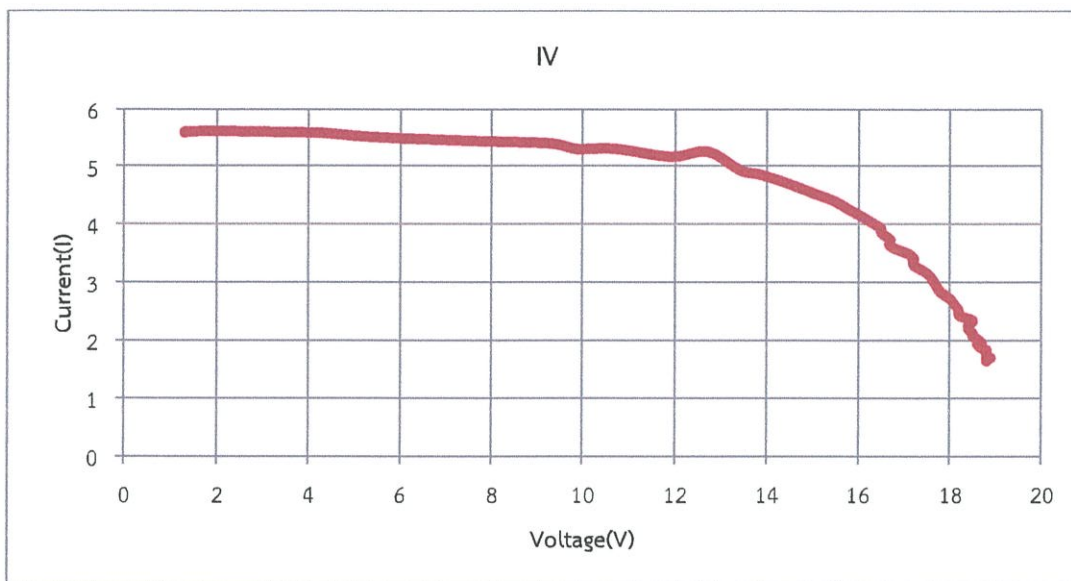


รูปที่ 5.4 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร

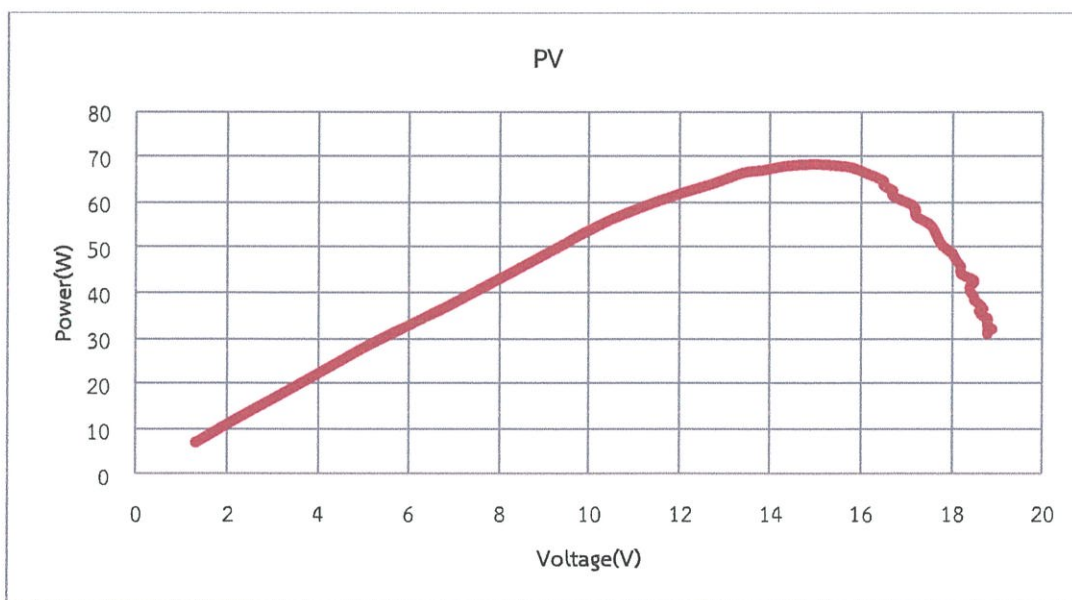
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร

แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)		แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)
18.8	1.645	31.0		17.2	3.41	58.4
18.8	1.683	31.7		17.1	3.49	59.5
18.9	1.697	32.0		16.7	3.63	61.4
18.8	1.742	32.7		16.7	3.74	62.6
18.8	1.78	33.5		16.5	3.87	63.7
18.8	1.833	34.4		16.5	3.94	64.7
18.7	1.865	34.9		16.1	4.14	66.5
18.6	1.933	36.0		15.8	4.27	67.7
18.7	1.956	36.5		15.5	4.41	68.1
18.6	20.2	37.6		15.0	4.56	68.4
18.5	20.8	38.4		14.3	4.76	67.9
18.5	2.12	39.1		13.8	4.88	67.0
18.4	2.20	40.4		13.4	4.95	66.5
18.4	2.22	40.8		12.7	5.27	64.0
18.4	2.26	41.5		11.9	5.18	61.6
18.5	2.35	42.8		10.7	5.32	57.1
18.2	2.43	44.2		9.9	5.31	53.3
18.2	2.52	45.8		9.3	5.41	50.0
18.1	2.61	47.1		8.3	5.44	44.7
18.0	2.72	48.8		6.8	5.47	36.8
17.8	2.83	50.3		5.2	5.53	28.9
17.7	2.94	52.0		4.2	5.59	23.3
17.6	3.07	54.0		2.1	5.62	11.7
17.5	3.16	55.3		1.3	5.61	7.0
17.2	3.30	56.9		1.3	5.59	7.1

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 68.4 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร

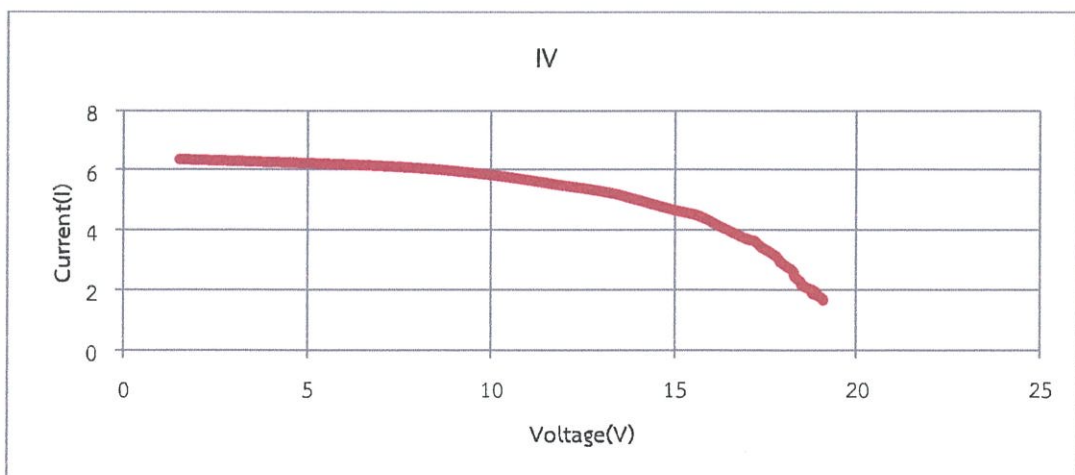


รูปที่ 5.6 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 720 วัตต์/ตารางเมตร

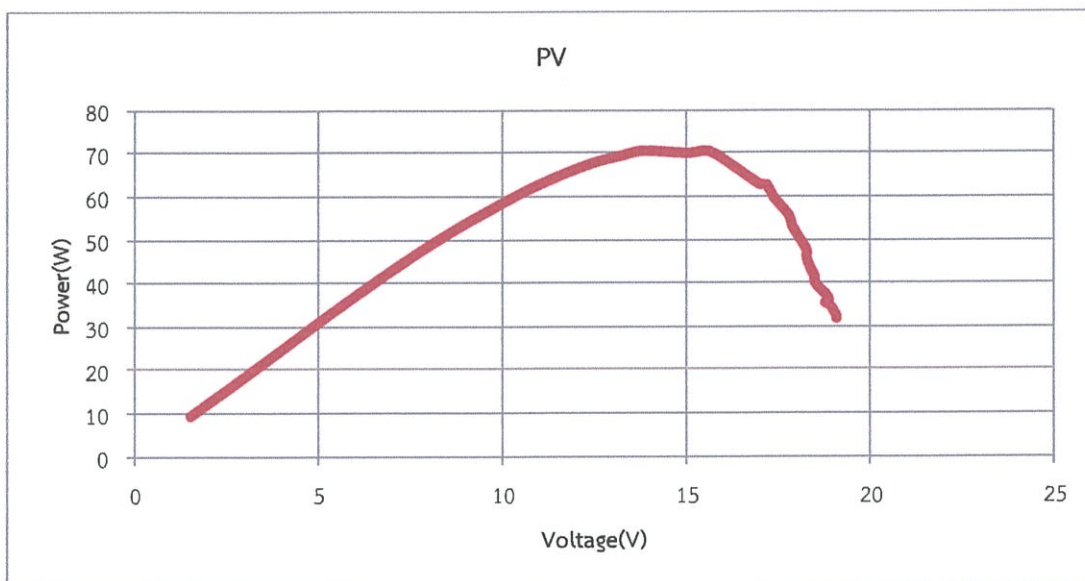
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)		แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลัง(W)
19.1	1.66	31.8		17.9	2.96	53.1
19.1	1.693	32.3		17.8	3.14	55.7
19.0	1.785	33.9		17.4	3.43	59.6
19.0	1.784	34.0		17.2	3.65	62.7
18.9	1.847	35.0		17.0	3.70	62.8
18.8	1.875	35.4		16.2	4.16	67.5
18.9	1.914	36.1		15.6	4.52	70.5
18.8	2.00	37.5		15.0	4.68	70.0
18.6	2.11	39.2		13.9	5.05	70.6
18.5	2.17	40.3		13.3	5.24	69.6
18.5	2.25	41.6		12.1	5.48	66.6
18.3	2.47	45.2		10.1	5.83	58.9
18.3	2.59	47.2		7.2	6.15	44.2
18.2	2.70	49.0		1.5	6.37	9.3

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 70.6 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.8

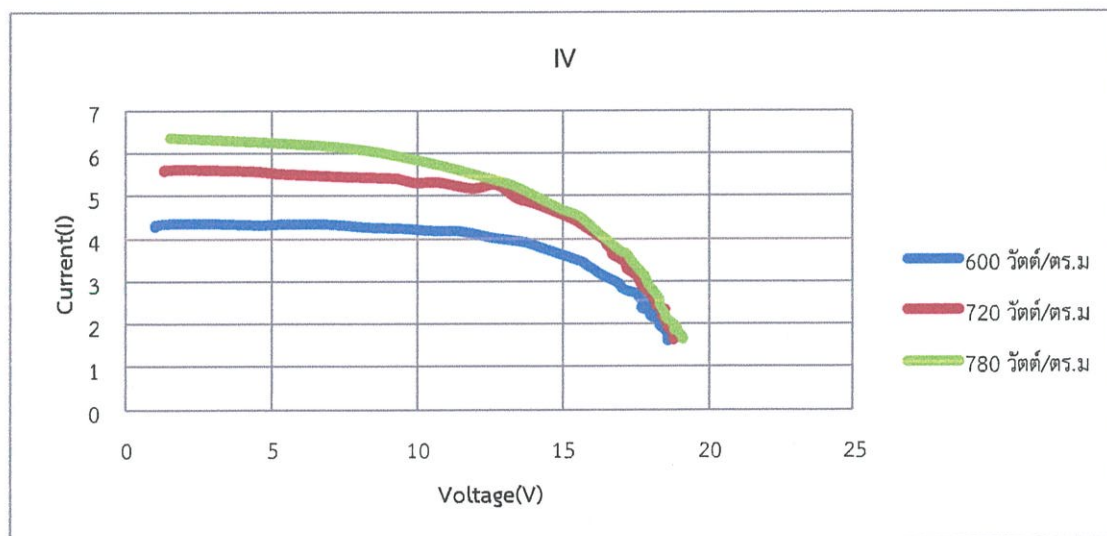


รูปที่ 5.7 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

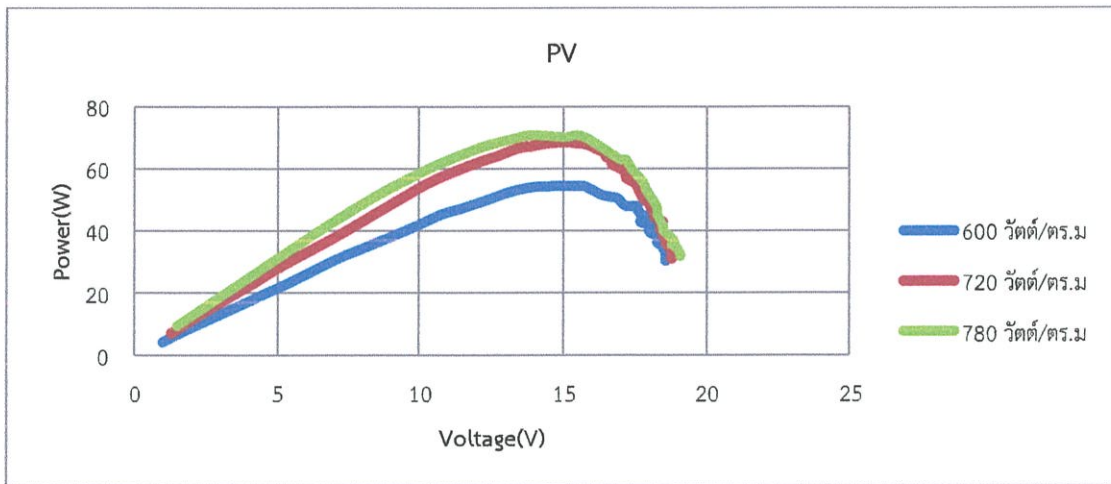


รูปที่ 5.8 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากกราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์และกราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับมารวมเป็นในกราฟเดียวได้ดังรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

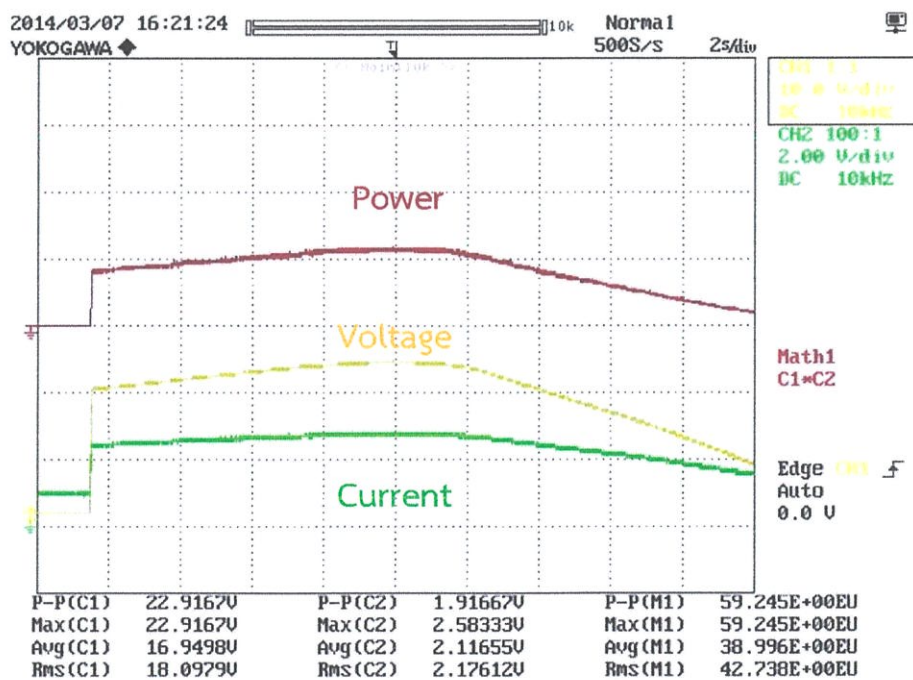


รูปที่ 5.10 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

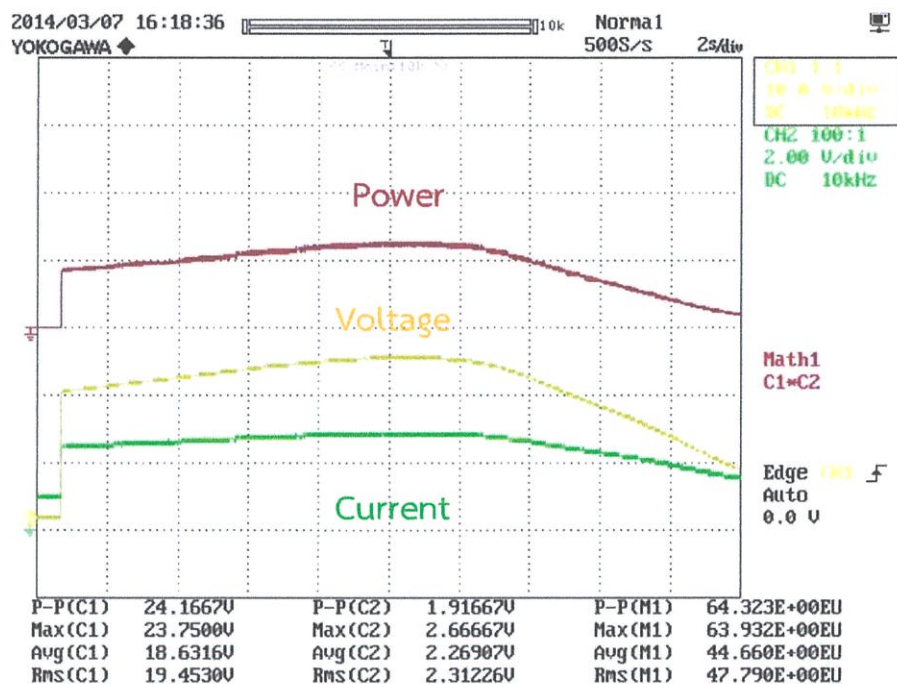
จากการเปรียบเทียบผลของกราฟคุณลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างทดลองจริงกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทดลองจริงมีค่ากำลังสูงสุดที่น้อยกว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของสภาพอากาศที่ร้อนซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของแผงและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

5.1.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิล

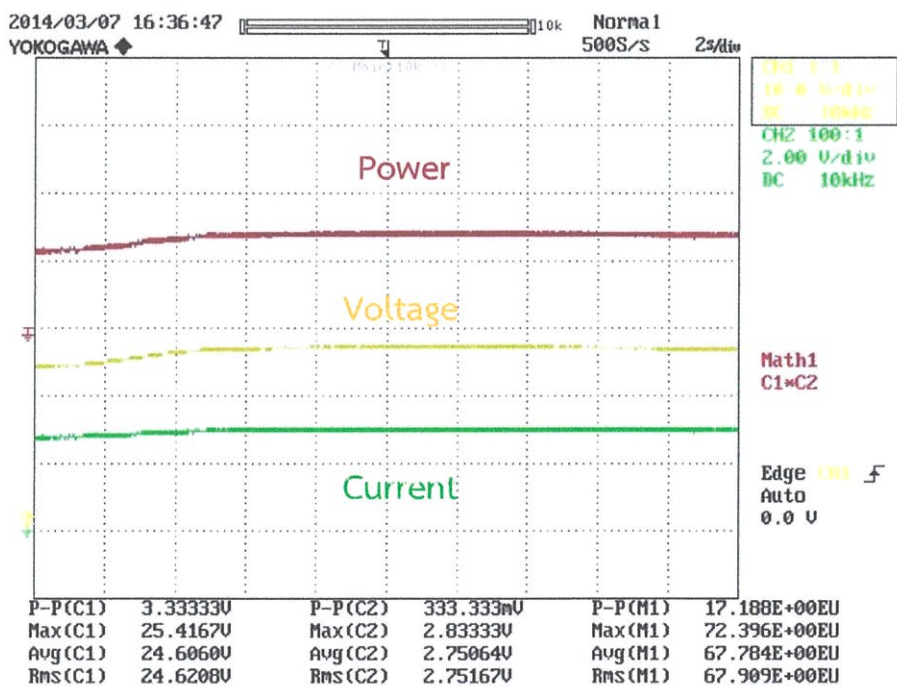
ทำการทดลองหากราฟคุณลักษณะทางด้านขาออกโดยการเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.9 ที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.11 กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.12 กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าตัวตั้งเซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร



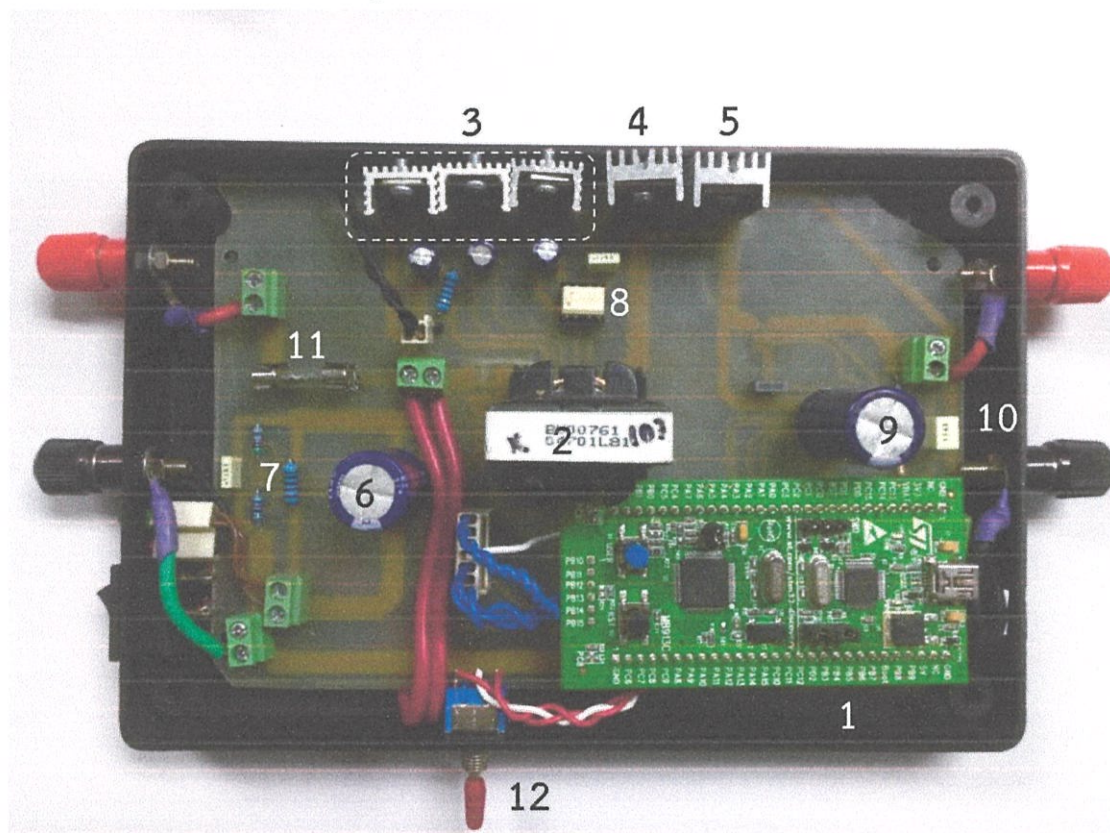
รูปที่ 5.13 กราฟคุณลักษณะโดยการปรับค่าตัวตั้งเซเคิลที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร

5.2 การทดลองและผลการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ซึ่งทำการทดลอง 2 การทดลอง คือ ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงคงที่ และที่สภาวะความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

5.2.1 วงจรและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดทั้งสองวิธีจะมีการทดลองที่เหมือนกันแล้วนำผลกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบ โดยใช้วงจรดังรูปที่ 5.14 ในการทดลองซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

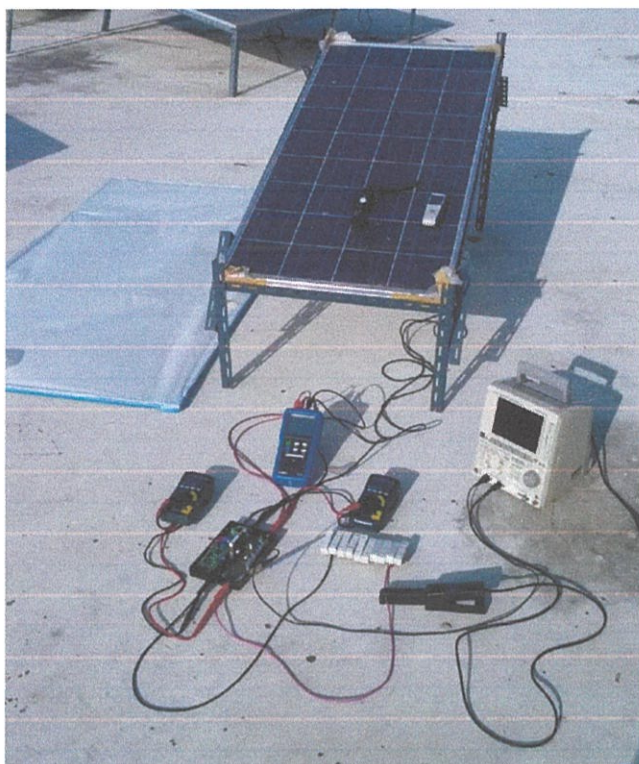


รูป 5.14 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรการทดลอง

1. Microcontroller ARM Cortex M3	7. ตัวต้านทานแบ่งแรงดัน
2. ตัวเหนี่ยวนำ	8. Op-to
3. IC Regulator	9. ตัวเก็บประจุขาออก
4. Mosfet	10. ตัวต้านทานแบ่งแรงดันขาออก
5. Diode	11. fuse
6. ตัวเก็บประจุจุดด้าน ขาเข้า	12. สวิตช์ 2 ทาง

1. นำวงจรมาต่อโหลดขนาด 18 โอห์ม โดยมีแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง



รูปที่ 5.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2. ทำการติดตามจุดกำลังสูงสุดทั้งสองวิธีที่ค่าความเข้มแสงคงที่ที่ 3 ระดับ คือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร

3. ทำการติดตามจุดกำลังสูงสุดทั้งสองวิธีที่ค่าความเข้มแสงคงที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ก) ณ องศาปกติ



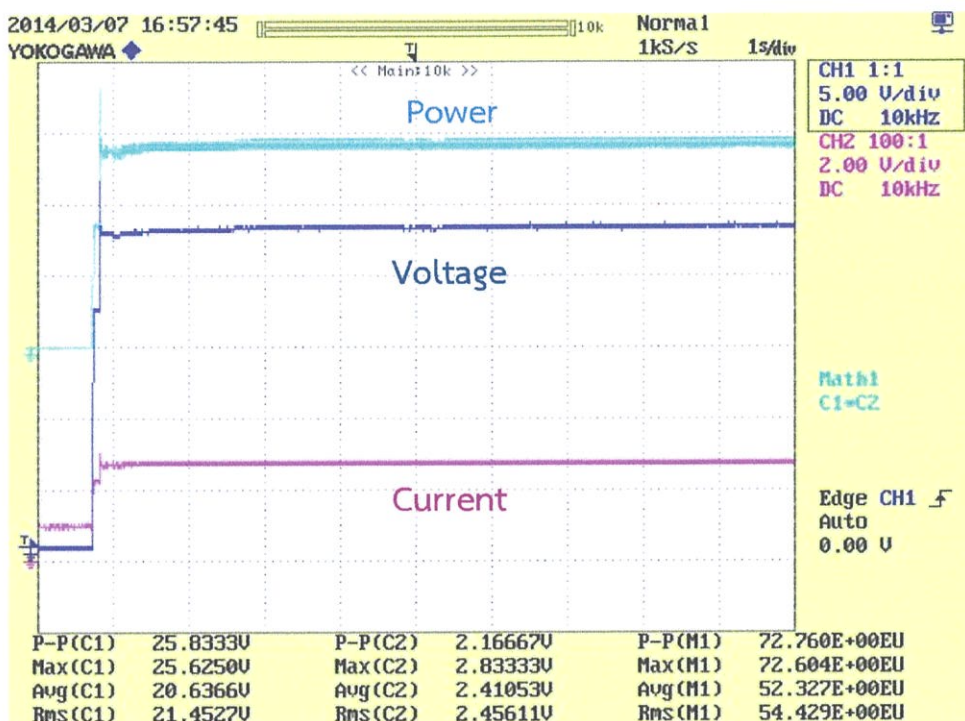
ข) เพิ่มองศา

รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนความเข้มแสงโดยการเปลี่ยนองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. เปรียบเทียบสองวิธี ในกรณีความเข้มแสงคงที่และไม่คงที่

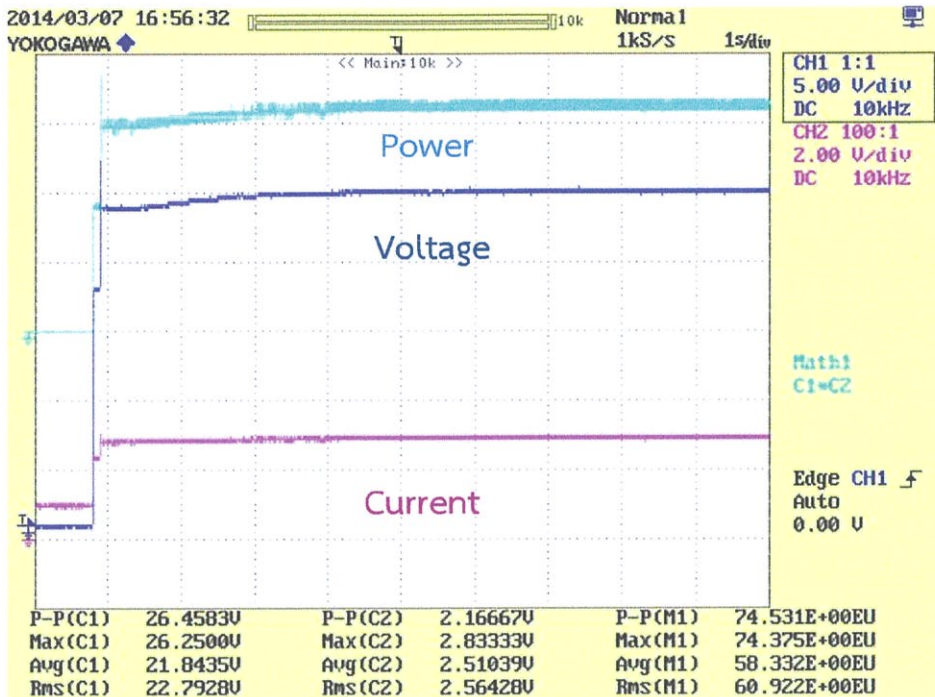
5.2.2 ผลการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงคงที่

ทำการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสง 3 ระดับคือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร



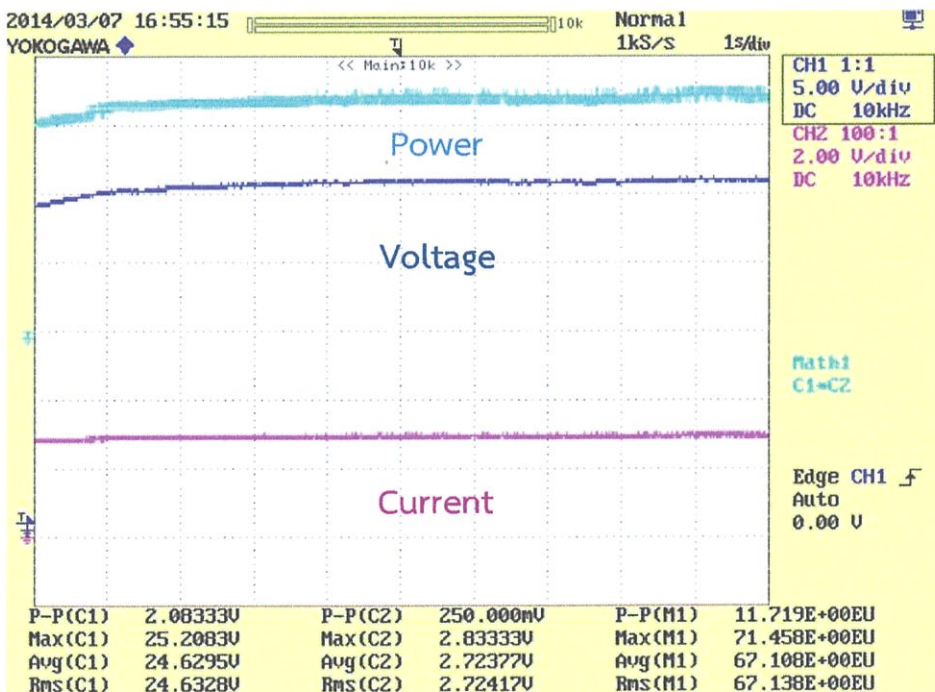
รูปที่ 5.17 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.17 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 61.264 วัตต์ แรงดัน 21.625 โวลต์ กระแส 2.833 แอมป์



รูปที่ 5.18 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.18 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 67.604 วัตต์ แรงดัน 24.563 โวลต์ กระแส 2.833 แอมป์

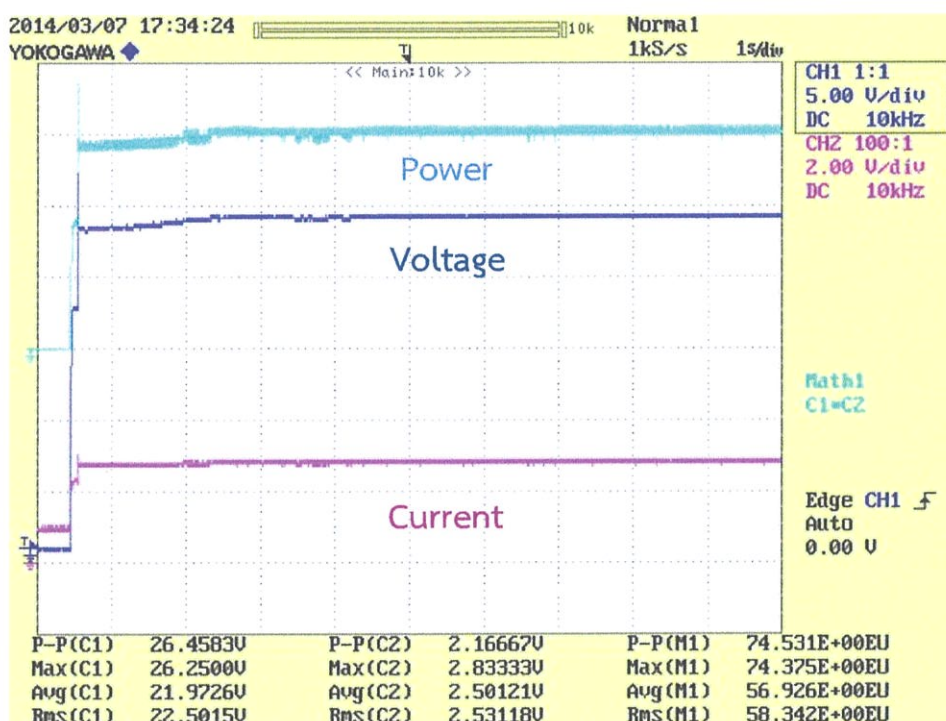


รูปที่ 5.19 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.19 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 71.464 วัตต์ แรงดัน 25.652 โวลต์ กระแส 2.833 แอมป์

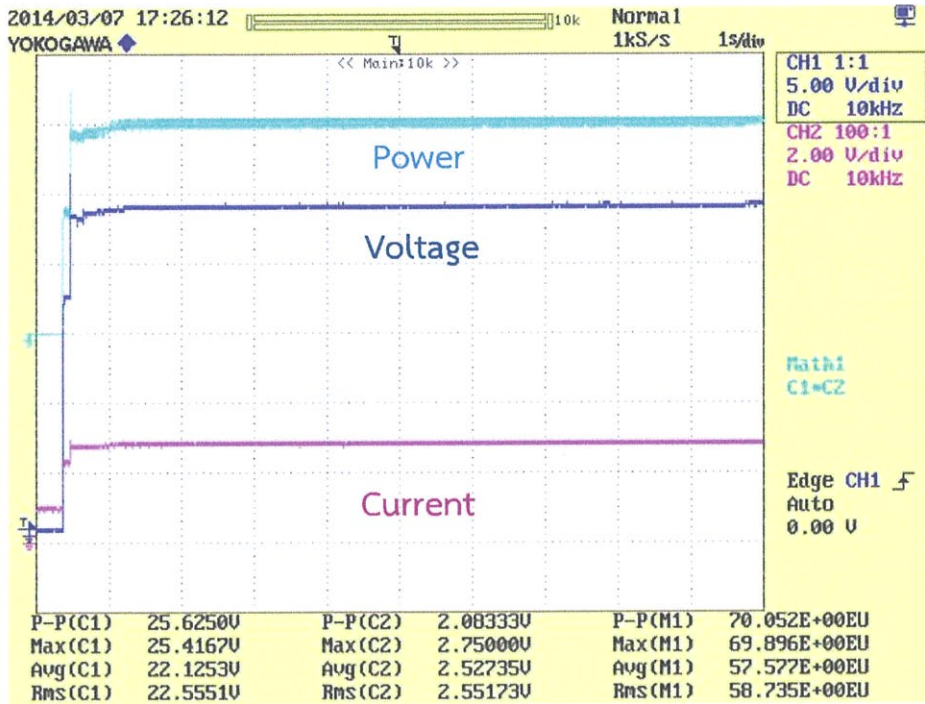
5.2.3 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่

ทำการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสง 3 ระดับคือ 600 วัตต์/ตารางเมตร 700 วัตต์/ตารางเมตร และ 800 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งได้กำหนดขอบเขตให้แรงดันไม่เกิน 23 V



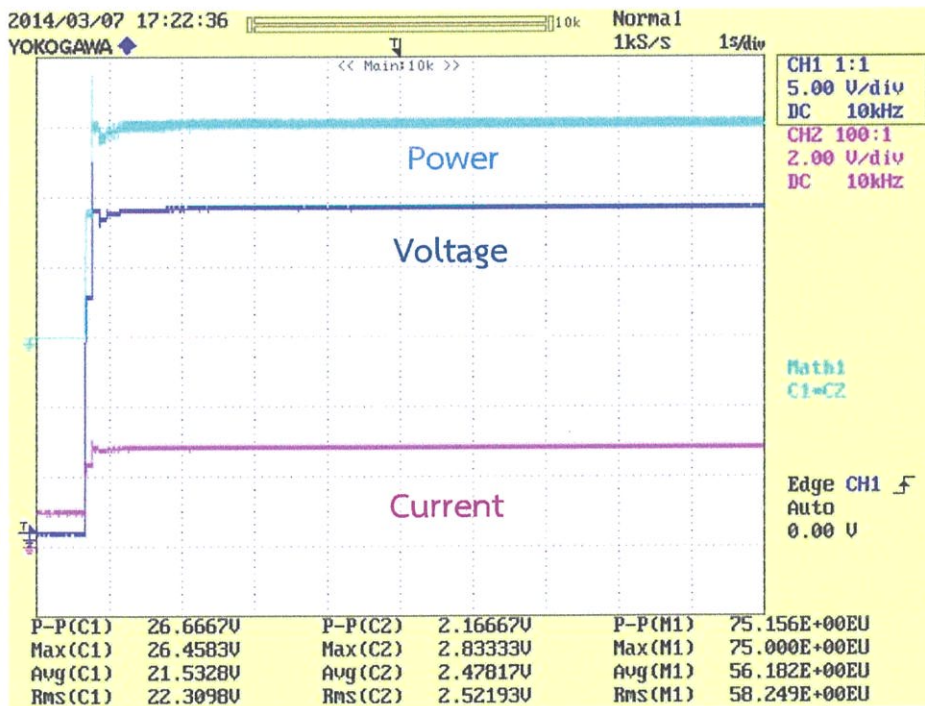
รูปที่ 5.20 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.20 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 600 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 59.308 วัตต์ แรงดัน 22.525 โวลต์ กระแส 2.633 แอมป์



รูปที่ 5.21 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.21 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่
นำเสนอที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 63.25 วัตต์ แรงดัน 23.020 โวลต์ กระแส
2.75 แอมป์



รูปที่ 5.22 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.22 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 65.159 วัตต์ แรงดัน 23.125 โวลต์ กระแส 2.833 แอมป์

5.2.4 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่

ที่ความเข้มแสงคงที่ 600 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.20 จะเห็นว่าทั้งสองวิธีมีแรงดันไม่แตกต่างกันและกำลังที่ได้ไม่ต่างกันเนื่องจากแรงดันที่ได้ยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้คือ 23 โวลต์

ที่ความเข้มแสงคงที่ 700 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 5.18 จะเห็นว่าวิธีการรบกวนและสังเกตมีแรงดัน 24.563 โวลต์ แต่วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอดังรูปที่ 5.21 มีแรงดันที่ 23 โวลต์ เพราะว่าได้กำหนดให้แรงดันไม่เกิน 23 โวลต์ ทำให้แรงดันที่ได้มีเสถียรภาพ แต่จะมีกำลังลดลงเล็กน้อย

ที่ความเข้มแสงคงที่ 800 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตจากรูปที่ 5.19 จะเห็นว่าวิธีการรบกวนและสังเกตมีแรงดัน 25.652 โวลต์ แต่วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอดังรูปที่ 5.22 มีแรงดันที่ 23 โวลต์ เพราะว่าได้กำหนดให้แรงดันไม่เกิน 23 โวลต์ ทำให้แรงดันที่ได้มีเสถียรภาพ แต่จะมีกำลังลดลงเล็กน้อย

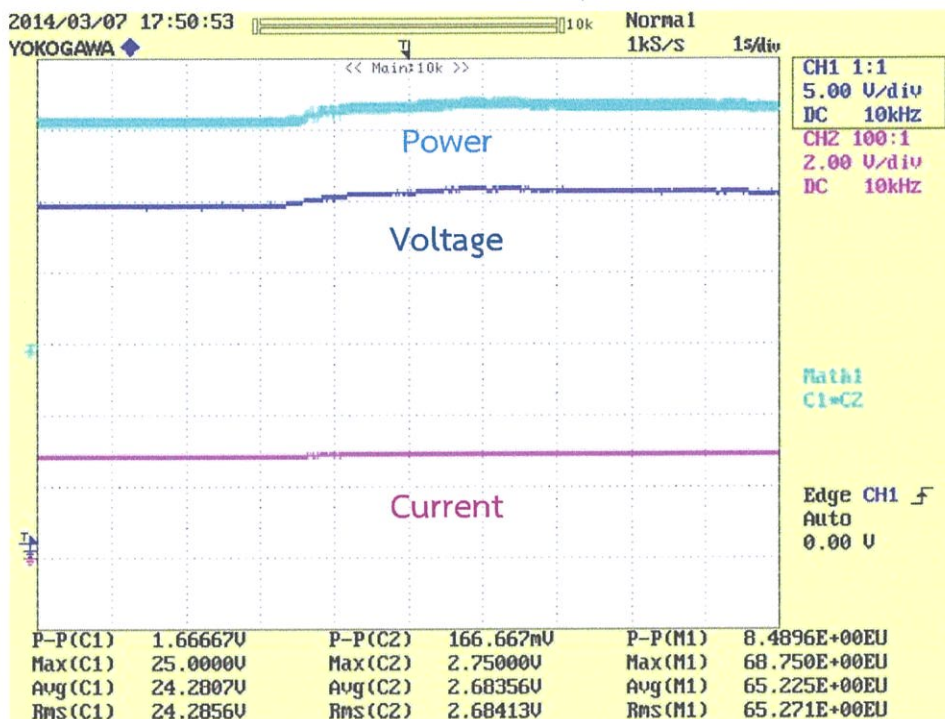
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่

ความเข้มแสงคงที่				
ความเข้มแสง	แรงดัน(โวลต์)		กำลัง(วัตต์)	
	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
600	22.5	22.5	52.5	52
700	24.563	23.5	58.3	57
800	25.652	23.5	67.1	58

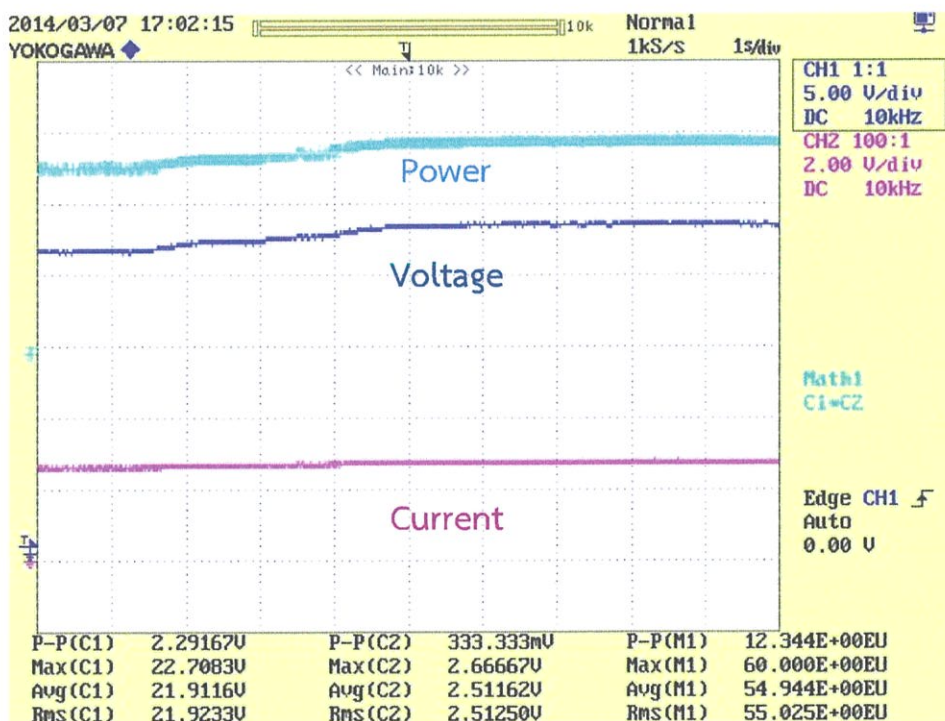
5.2.5 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ทำการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดทางด้านขาออกเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง โดยจะแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ

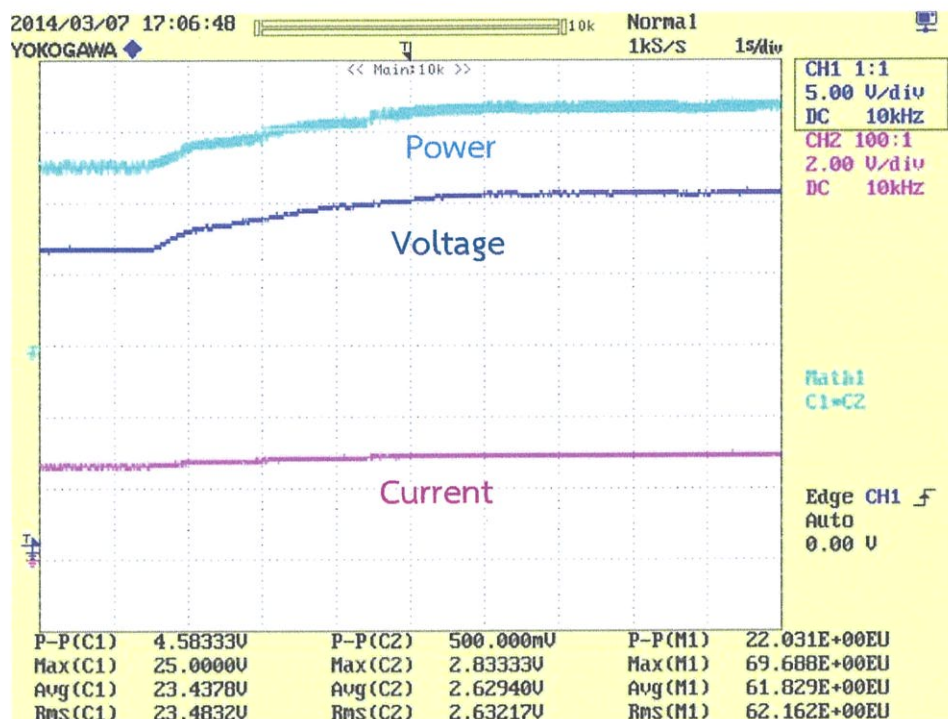
1. ความเข้มแสงที่ 650 เพิ่มขึ้นเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร
2. ความเข้มแสงที่ 500 เพิ่มขึ้นเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร
3. ความเข้มแสงที่ 500 เพิ่มขึ้นเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.23 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.24 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร

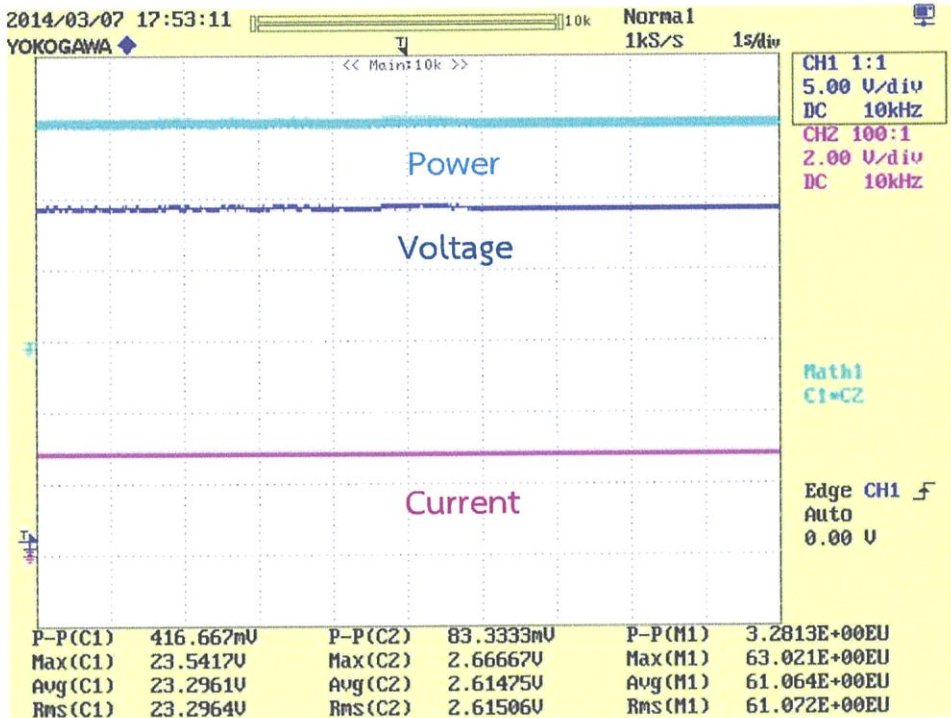


รูปที่ 5.25 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร

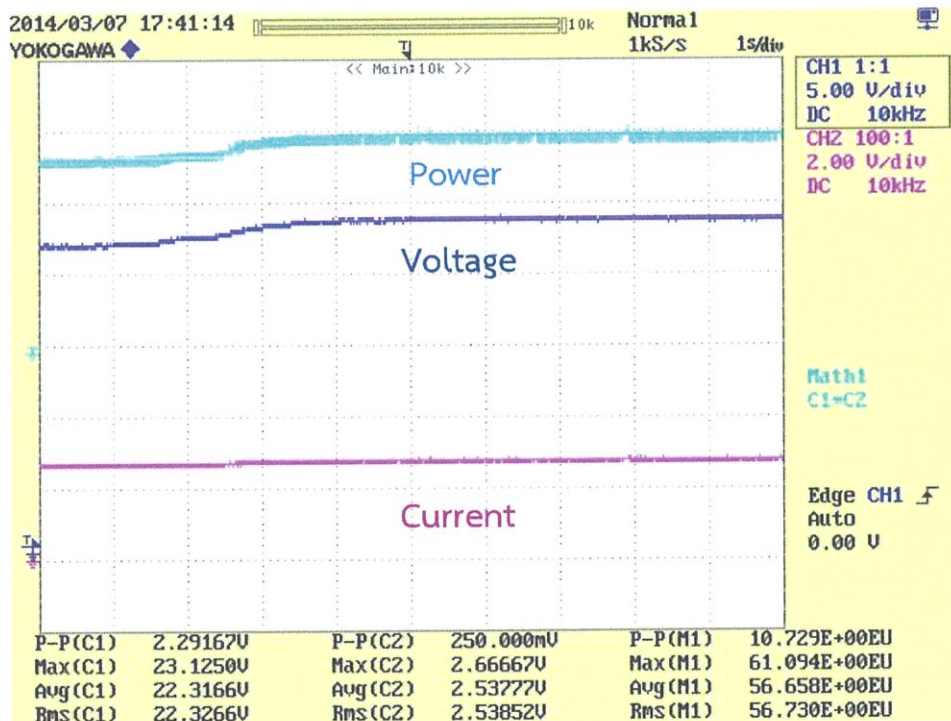
5.2.6 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ทำการทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดทางด้านขาออกเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงโดยที่
เพิ่มขอบเขตให้แรงดันมีค่าไม่เกิน 23 V จะแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ

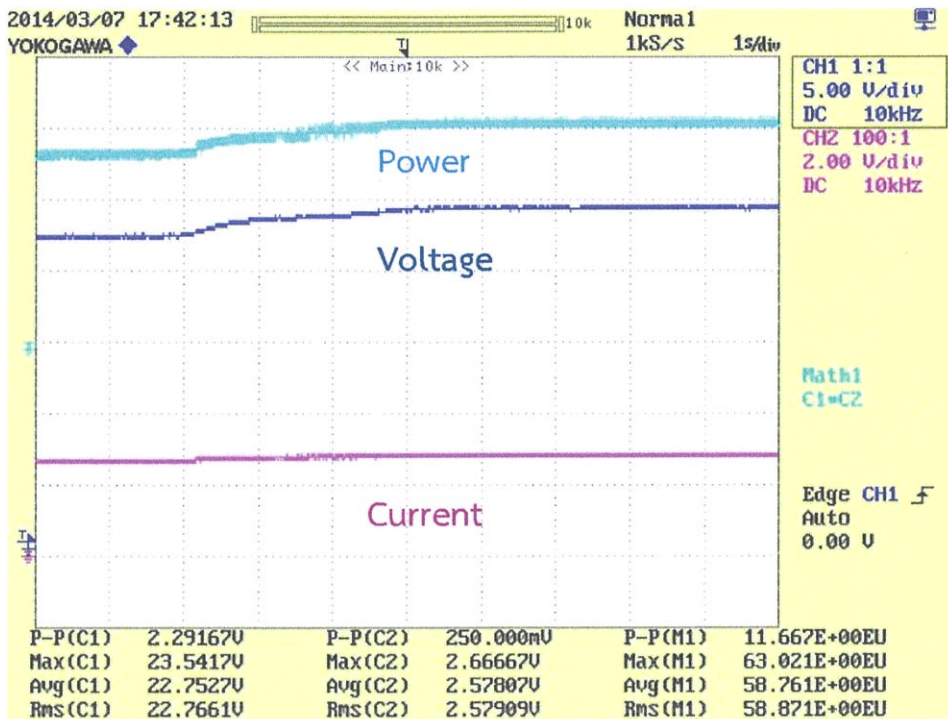
1. ความเข้มแสงที่ 650 เพิ่มขึ้นเป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร
2. ความเข้มแสงที่ 500 เพิ่มขึ้นเป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร
3. ความเข้มแสงที่ 500 เพิ่มขึ้นเป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.26 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.27 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.28 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ
ที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร

5.2.7 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 750 วัตต์/ตารางเมตร สังเกตในรูปที่ 5.26 วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอ ในช่วงความเข้มแสงเปลี่ยนกำลังและการกระเพื่อมของแรงดันแทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่วิธีการรบกวนและสังเกตจะมีกำลังและการกระเพื่อมของแรงดันที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.23

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 600 วัตต์/ตารางเมตร เนื่องจากความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่แรงดันน้อยกว่า 23 โวลต์ กำลังและการกระเพื่อมของแรงดันที่ได้จึงเหมือนกัน ดังรูปที่ 5.24 และรูปที่ 5.27

ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 800 วัตต์/ตารางเมตร วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอเมื่อแสงเพิ่มขึ้น การกระเพื่อมของแรงดันจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากกำหนดขอบเขตไว้ให้ไม่เกิน 23 โวลต์ ดังรูปที่ 5.28 ส่วนวิธีการรบกวนและสังเกตการกระเพื่อมของแรงดันเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.25 ทำให้เมื่อแสงเปลี่ยนแปลงจะทำให้แรงดันไม่คงที่ซึ่งไม่สามารถใช้กับโหลดที่ต้องการแรงดันคงที่ในการใช้งาน

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบการติดตามจุดกำลังสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง		
ความเข้มแสง	การกระเพื่อมแรงดัน (โวลต์)	
	วิธีรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
650-750	1.5	0.5
500-600	2	1
500-800	3	1.5

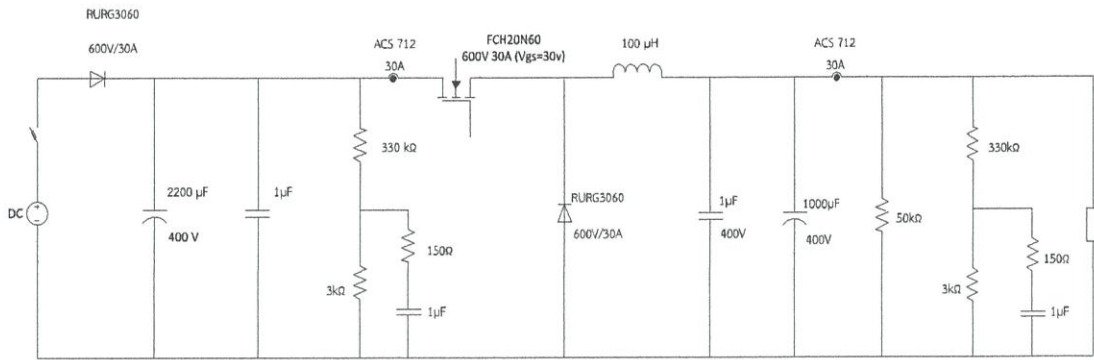
5.3 การทดลองติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ชุดคอนเวอร์เตอร์พิกัด 1000 วัตต์

การทดลองนี้จะใช้วงจรทอนระดับแรงดันโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 แผง อนุกรมกัน 2 แผง ทั้งหมดขนานกัน 4 ชุด ซึ่งใน 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพารามิเตอร์ดังนี้

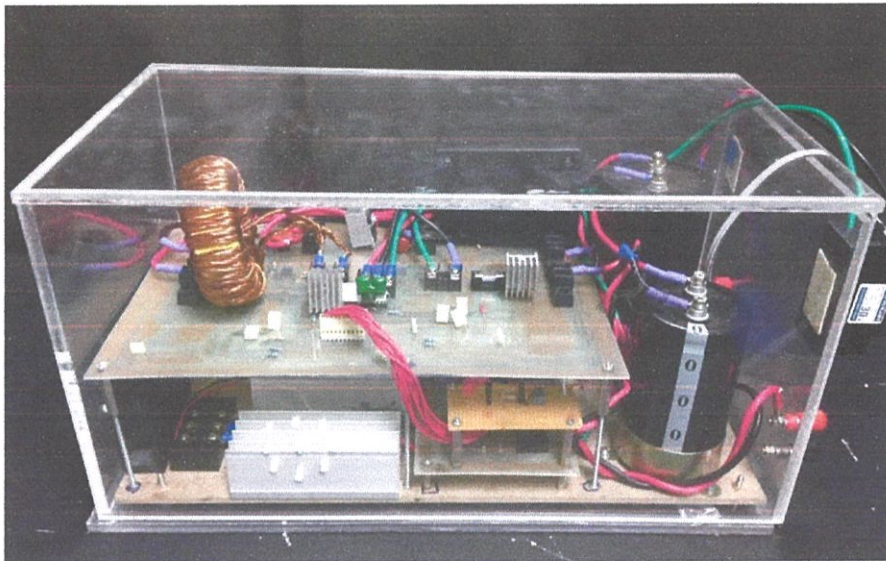
ขนาดกำลังสูงสุด	140 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	109 โวลต์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	2.1 แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	77 โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	1.82 แอมป์



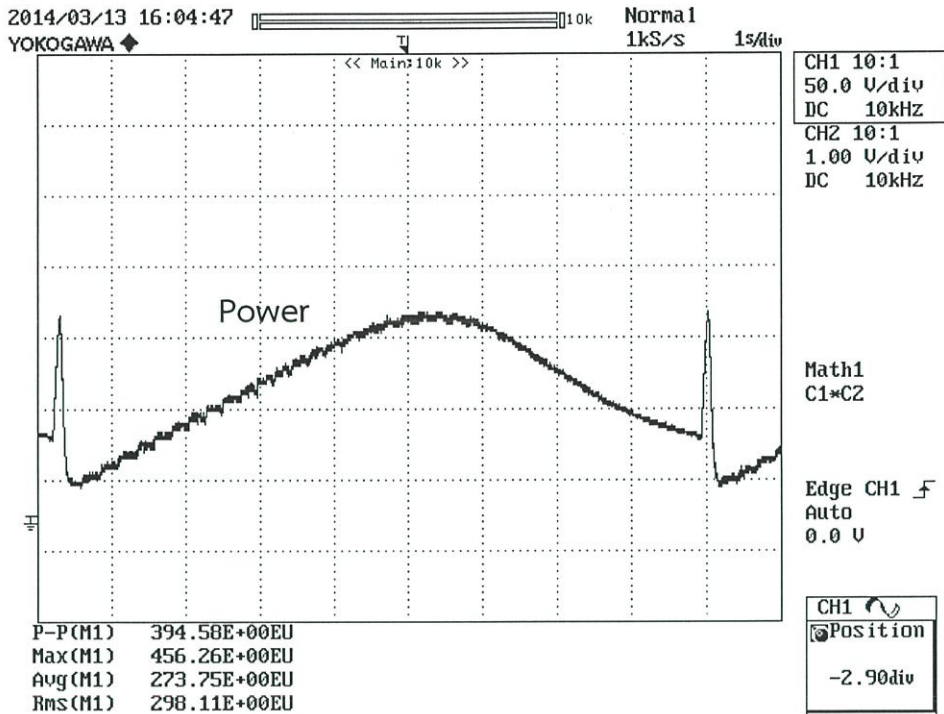
รูปที่ 5.29 รูปแผงเซลล์แสงอาทิตย์



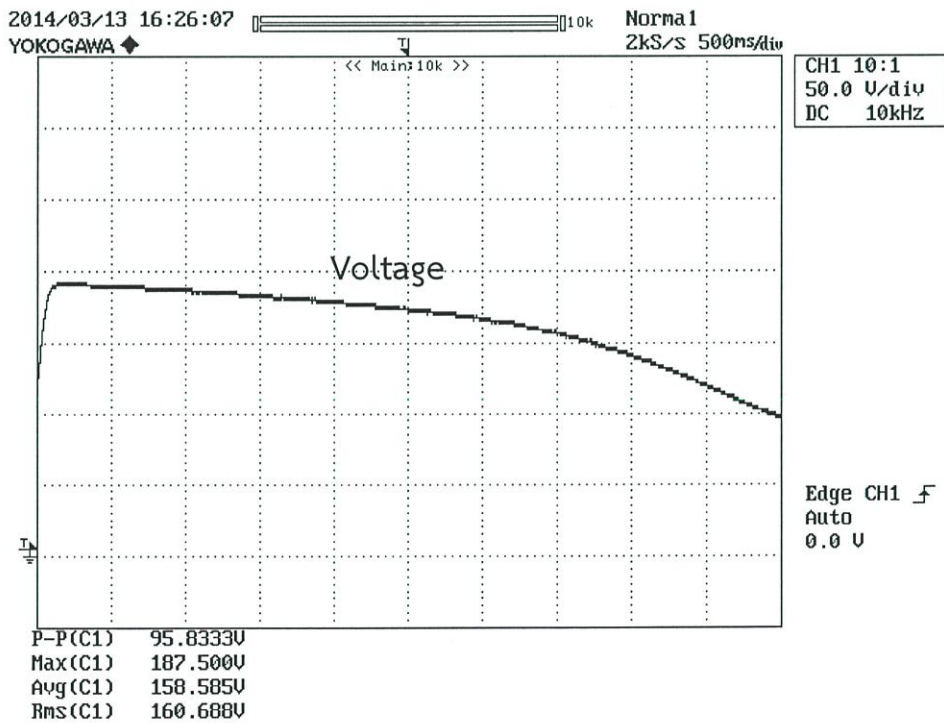
รูปที่ 5.30 วงจรทอนระดับแรงดันที่ใช้ในการทดลอง



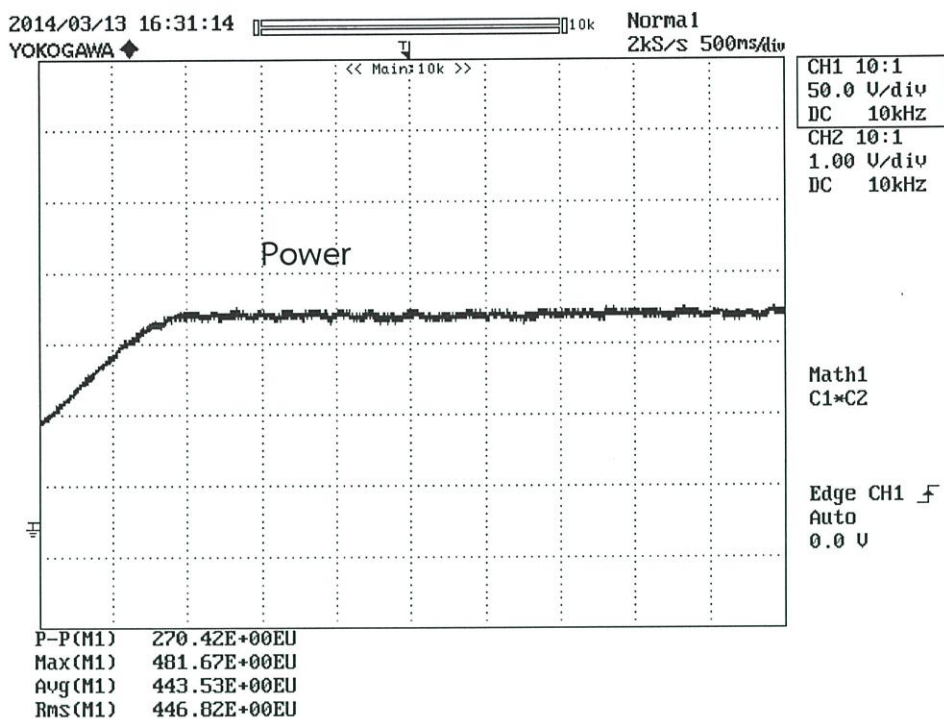
รูปที่ 5.31 วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.32 กราฟคุณลักษณะของกำลังที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร



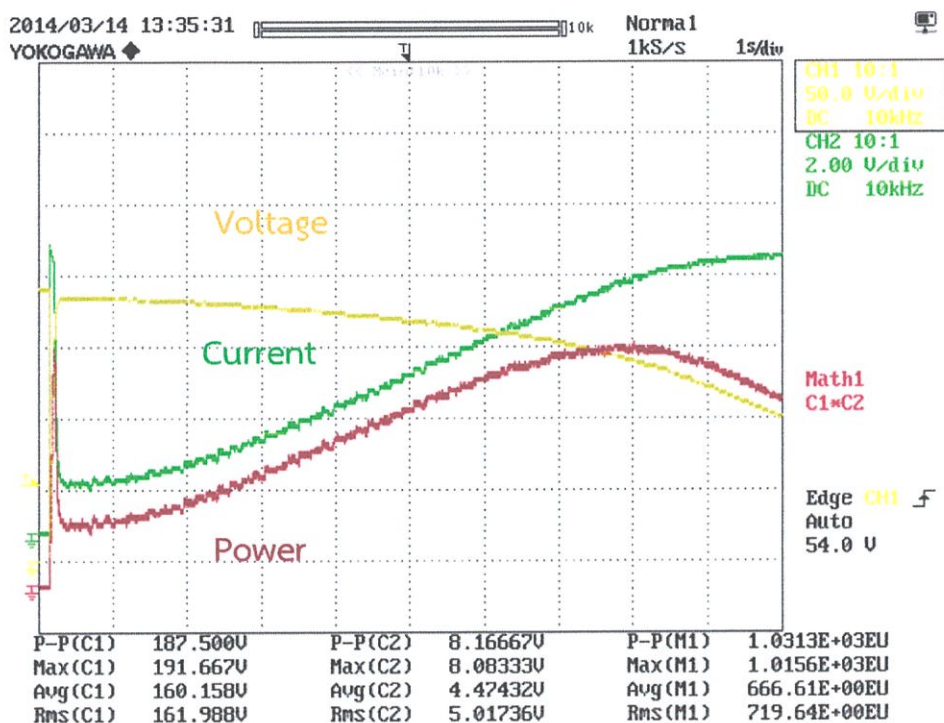
รูปที่ 5.33 กราฟคุณลักษณะของแรงดันที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร



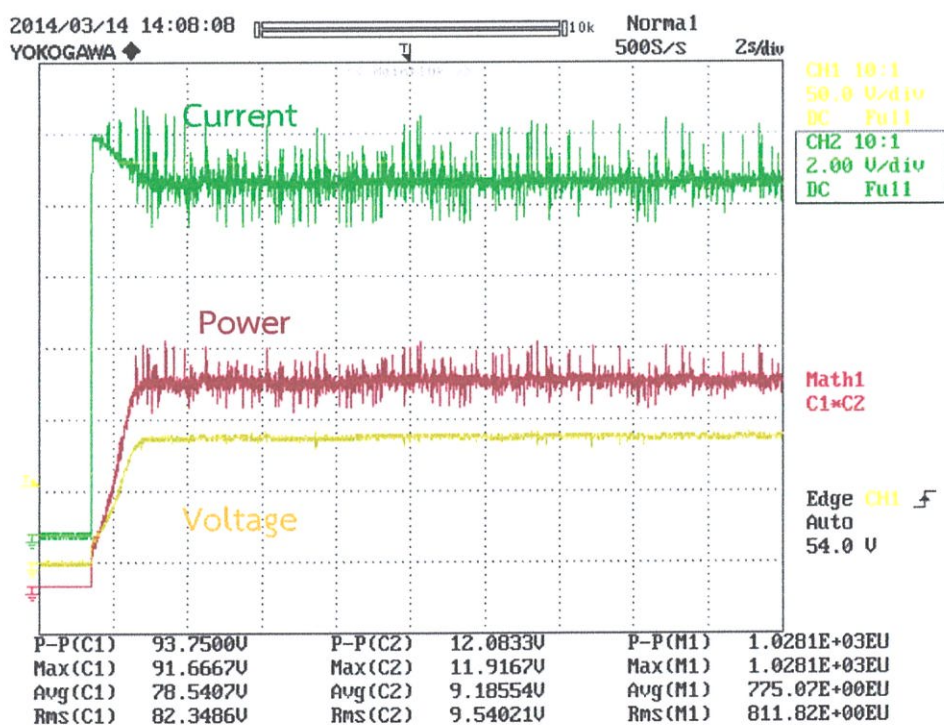
รูปที่ 5.34 กราฟการติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.34 การติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 481 วัตต์

ทำการทดลองหากราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านอินพุตโดยการเปลี่ยนค่าดิวิตซ์ไชล์ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.9 ที่สภาวะความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.35 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.36 กราฟการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตทางด้านขาออก

จากรูปที่ 5.36 การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 800 วัตต์/ตารางเมตร โดยเป็นสัญญาณทางด้านขาออก ได้กำลัง 1028.1 วัตต์ แรงดัน 91.666 โวลต์ กระแส 10 แอมป์

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ผลการทดลองเป็นไปตามที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และแสดงให้เห็นว่ามีเสถียรภาพของแรงดันทางด้านขาออกมากกว่าการใช้วิธีติดตามจุดกำลังสูงแบบรบกวนและสังเกตแบบปกติ ทั้งนี้ต้องออกแบบขอบเขตของแรงดันขาออกให้เหมาะสมกับค่าความเข้มแสงและค่าแรงดันขาออกเพราะขอบเขตของแรงดันขาออกมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของการติดตามจุดกำลังสูงสุด จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองเป็นหัวข้อแยกย่อยได้ดังนี้

1. การติดตามจุดกำลังสูงสุดภายใต้สภาวะความเข้มแสงคงที่

1.1 เมื่อแรงดันขาออกขณะที่กำลังสูงสุดอยู่ในขอบเขตแรงดันที่กำหนด ผลที่ได้จากวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะได้ผลเหมือนกันกับวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติ ทั้งกำลังและแรงดันขาออก

1.2 เมื่อแรงดันขาออกขณะที่กำลังสูงสุดอยู่เกินขอบเขตแรงดันที่กำหนด ผลที่ได้จากวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะมีค่าแรงดันอยู่ที่ขอบเขตบนที่กำหนดเอาไว้ แต่กำลังที่ได้นั้นจะไม่ใช่กำลังสูงสุด โดยที่ผลจากวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติจะได้กำลังที่สูงสุด

2. การติดตามจุดกำลังสูงสุดภายใต้สภาวะความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

2.1 เมื่อแรงดันขาออกขณะที่กำลังสูงสุดอยู่ในขอบเขตแรงดันที่กำหนด ผลที่ได้จากวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะได้ผลเหมือนกันกับวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติ ทั้งกำลังและแรงดันขาออก

2.2 เมื่อแรงดันขาออกขณะที่กำลังสูงสุดอยู่เกินขอบเขตแรงดันที่กำหนดไว้มาก ผลที่ได้จากวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะมีค่าแรงดันอยู่ที่ขอบเขตบนที่กำหนดเอาไว้ จึงทำให้แรงดันกระเพื่อมน้อยลงขณะที่ความเข้มแสงเปลี่ยนเมื่อเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติ แต่กำลังที่ได้นั้นวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติจะได้กำลังที่สูงกว่า

2.3 เมื่อแรงดันขาออกขณะที่กำลังสูงสุดอยู่เกินขอบเขตแรงดันที่กำหนดไว้เล็กน้อย ผลที่ได้จากวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะมีค่าแรงดันอยู่ที่ขอบเขตบนที่กำหนดเอาไว้ จึงทำให้แรงดันกระเพื่อมน้อยลงเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยน เมื่อเทียบกับวิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติ และกำลังที่ได้นั้นวิธีรบกวนและสังเกตแบบเทคนิคที่นำเสนอจะได้กำลังต่ำกว่าแบบปกติเล็กน้อย

2.4 การกำหนดขอบเขตของวิธีติดตามจุดกำลังสูงสุดแบบเทคนิคที่นำเสนอต้องมีความเหมาะสมกับค่าความต้านทานโหลดที่ใช้เพราะค่าความต้านทานโหลดมีผลกับแรงดันขาออกที่ได้ และขอบเขตของแรงดันที่กำหนดควรตั้งค่าให้เหมาะสมกับค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน ซึ่งการกำหนดขอบเขตควรเลือกใช้ขอบล่างเป็นค่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุดของแสงที่มีค่าน้อยสุดที่ต้องการทดลอง เนื่องจากค่าแรงดันขาออกที่ได้ นั่นคือค่าแรงดันสูงสุดของแสงที่มีค่าน้อยที่สุดที่ต้องการทดลอง

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการติดตามกำลังสูงสุด ประสิทธิภาพที่ได้เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังถือว่าได้ประสิทธิภาพต่ำ อาจเนื่องมาจากแผงเซลล์อาทิตย์มีอายุการใช้งานที่มากแล้ว หรือสภาพอากาศในวันนั้นอาจมีเมฆมากทำให้ได้ความเข้มแสงน้อย หรืออาจเกิดจากความสูญเสียในวงจรแปลงผันแบบทระดับแรงดันที่ใช้ในการติดตามจุดกำลังสูงสุด

2. จากผลการติดตามกำลังสูงสุด ผลของกำลังสูงสุดที่ได้ในแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการทดลองภายใต้แสงอาทิตย์มีปัจจัยภายนอกอันได้แก่ สภาพอากาศในแต่ละวันไม่เหมือนกันบางวันอาจมีเมฆมากทำให้ได้ความเข้มแสงน้อย บางวันอาจไม่มีเมฆทำให้ได้ความเข้มแสงมาก เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นควรทดลองในห้องจำลองความเข้มแสงอาทิตย์

3. การติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยวิธีรบกวนและสังเกต จะต้องกำหนดค่าคงที่ลงไปโปรแกรมในการเพิ่มหรือลดดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณสวิทซ์ให้กับตัวแปลงผันทระดับ ซึ่งในการปรับจูนระดับค่าคงที่ ต้องมีความเหมาะสมเพื่อทำให้การติดตามจุดกำลังสูงสุดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.3 แนวทางการพัฒนา

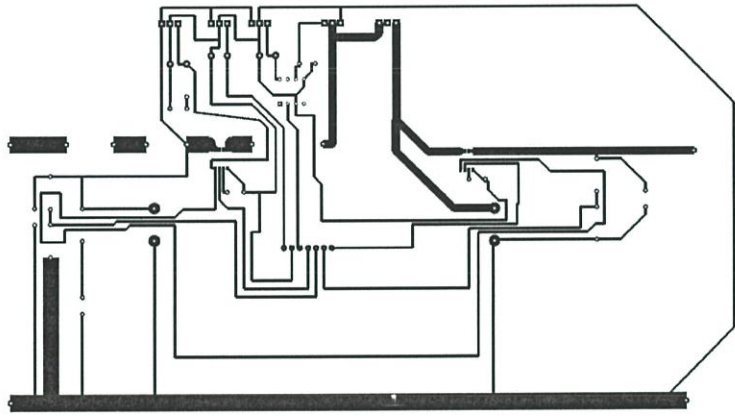
การทดลองการติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีเทคนิคที่นำเสนอสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลที่ได้คือสามารถเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันขาออกได้เมื่อแสงเปลี่ยนและการกระเพื่อมของแรงดันลดลง แต่การใช้วิธีรบกวนและสังเกตแบบปกติจะทำให้การติดตามจุดกำลังสูงสุดนั้นช้าและแกว่งอยู่รอบจุดกำลังสูงสุด จึงแนะนำให้ใช้วิธีติดตามจุดกำลังสูงสุดอื่นๆที่สามารถติดตามจุดกำลังสูงสุดได้เร็วกว่าและแกว่งอยู่รอบจุดกำลังสูงสุดน้อยกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์.อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.กรุงเทพฯ พรรณิ๊ง .เจ.วี ; 2550
- [2] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ(ปรับปรุงครั้งที่ 3), พ.ศ. 2555-2573
- [3] Moacyr Aureliano Gomes de Brito. Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 60, NO. 3, MARCH 2013
- [4] Blanes, J.M.. Two-Stage MPPT Power Regulator for Satellite Electrical Propulsion System. IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. 47, NO. 3 JULY 2011
- [5] Jianwu Zeng. A Single-Switch Isolated DC-DC Converter for Photovoltaic Systems. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE 2012
- [6] M.G. Villalva. Voltage regulation of photovoltaic arrays:small-signal analysis and control design. IET Power Electron. , Vol. 3, 2010
- [7] Mohammed A. Elgendy. Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications. IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 3, NO. 1, JANUARY 2012
- [8] J. M. Rodrigues. Using photovoltaic systems to improve voltage control in low voltage networks. Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin ,3rd IEEE PES 2012
- [9] L. Piegari R. Rizzo.Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. IET Renew. Power Gener., 2010, Vol. 4, Iss. 4, pp. 317–328
- [10] Rosa A. Mastromauro, Marco Liserre, Antonio Dell’Aquila, “Control Issues in Single-Stage Photovoltaic Systems: MPPT, Current and Voltage Control,” IEEE Trans. On Industrial Informatics, Vol. 8, No. 2, May 2012
- [11] Chuanzong Fu and Shiping Su, “Simulation studying of MPPT controlby a new method for photovoltaic power system,” Electrical and Control Engineering (ICE) .2011, Pp. 1278-1274, .2011

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ลายพิมพ์วงจร



ลายพิมพ์วงจร

ภาคผนวก ข
เอกสารทางวิชาการ

MPPT for PV with Stabilizing Output Voltage

Titinan Kankam, Chakorn Chanthanachoti Wong, Chidsanupong Phromsurin, Chutiwat Ruecha
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Thailand

Abstract— This project presents a new design technique for maximum power point tracking which can stabilize the output voltage using single switch. The conventional technique, Perturb and Observation technique, is able to track the Maximum Power Point (MPP); however, the stabilization of output voltage which is an important issue can not be achieved. To overcome this problem, both stabilizing function and P&O algorithms are adopted in hybrid fashion. The simulation and experimental results concern the effectiveness of the proposed algorithms.

Keywords: one switch, output voltage stable, Perturbation and Observation

I. INTRODUCTION

Due to the increasing of energy demand and the impact of fossil energy. Renewable energy has become more important. Solar energy is one of the most important renewable energy sources. As compared to other energy source, solar energy is clean, inexhaustible and free. Moreover, Owing to the cost reduction, photovoltaic system has received great attention and become widely used [1].

Energy produces by PV module depend on the solar radiation. At uniform solar radiation, the PV module has a voltage-current characteristic with a unique point, called maximum power point (MPP), where the module produces maximum output power. [2]

The maximum power point tracker is used in order to maintain the operating point at maximum output under any solar radiation [3]. In Fig-1, an example of PV module characteristic in term of output power versus voltage and current versus voltage.

There are many ways for maximum power point tracker [3] -[7], such as an open circuit voltage method, incremental conductance method, fuzzy control method, perturb and observe (P&O), constant voltage (CV), and so on. Among several techniques, perturb and observe (P&O) has widely used due to uncomplicated and ease of implementation. The P&O MPPT algorithm is based on following

criterion: If the operating point of the PV module is perturb and the power produced by the PV module increase, It means that the operating point is moved to the MPP. Therefore, the system will be perturbed in the same direction in the next process. In contrary, if power decrease, the direction must reverse. [8-11]

A drawback of the P&O MPPT technique that the output voltage of the maximum power point tracker always changes. Some improvement of this technique has been proposed in order to stabilize the output voltage, but it makes the system loss some of energy when the environment condition such as solar radiation has been changed. To solve this problem, This paper proposes the MPPT for PV with stabilizing output that the system gets maximum power and still stabilizes output voltage. The simulation study in this paper was performed in MATLAB Simulink and experimental result.

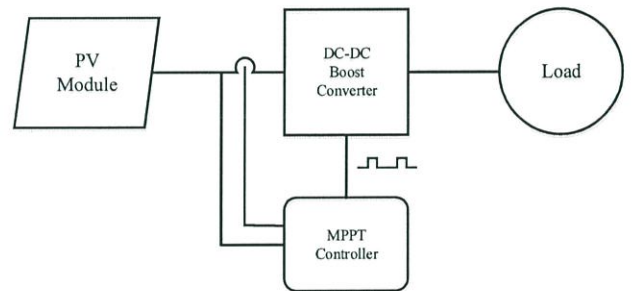


Fig.1 Equivalent block diagram of a photovoltaic system.

II. THEORIES AND RELATED RESEARCH WORKS

Perturb and observation

The main idea of perturb and observe is a modification of voltage or current in order to obtain maximum output power. The differences of power and voltage are obtained by the following equation.

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

$$\Delta V = V_k - V_{k-1} \quad (2)$$

From the characteristic curve of photovoltaic module in below figure, in Fig. 2 is presented in term of current versus voltage and in Fig. 3 is displayed in term of power versus

voltage. From both figures are presented in several unique isolation levels.

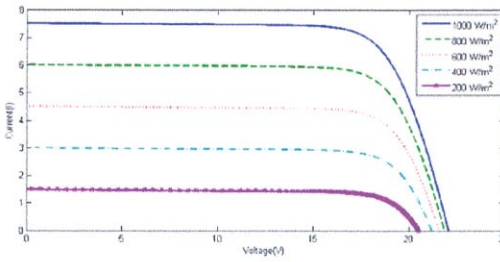


Fig. 2 PV module characteristic in term of current versus voltage

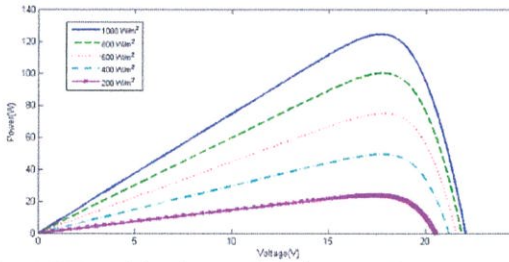


Fig. 3 PV module characteristic in term of output power versus voltage

Fig-4 express flow chart of P&O algorithm. The condition of P&O present by following criteria: When both power and voltage increase ($\Delta P > 0$), ($\Delta V > 0$), the duty ratio will be decreased. When power increase ($\Delta P > 0$) and voltage decrease ($\Delta V < 0$), duty ratio will be increased. When both power and voltage decrease ($\Delta P < 0$), ($\Delta V < 0$), duty ratio will be decreased. When the power decrease ($\Delta P < 0$) and voltage ($\Delta V > 0$) increase, duty ratio will be increased

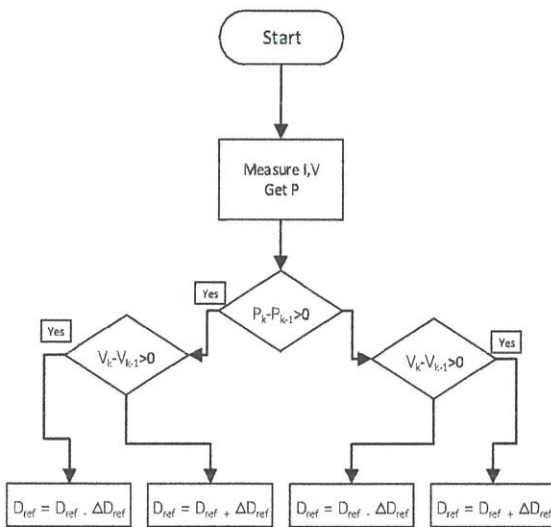


Fig.4 Flow chart of conventional perturb and observes method

Perturb and observation with stabilize voltage

In general, The Perturb and observe technique cannot stabilize output voltage. In order to solve this problem, Perturb and observe with stabilize voltage is adopted. The main idea of this technique is a limitation of output voltage and also tracking the maximum power by using a single switch. The principle of the proposed technique is shown by flowchart in Fig. 5.

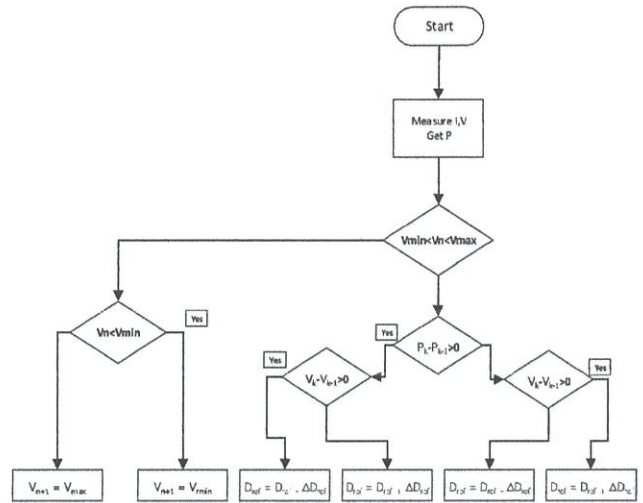


Fig.5 Flow chart of the propose technique

Following flow chart, The overall algorithm is remaining same the perturb and observe technique, If the change of power defined in (1) is positive, the system will keep the direction of the incremental current as the same direction. In contrary, if the change is negative, the system will change the direction of incremental current command to the opposite direction. In addition, the propose technique is added more condition to stabilize output voltage by specify the minimum output voltage and maximum output voltage in order to stabilize output voltage.

III. DESIGN OF BOOST CONVERTER

Boost converter is a DC-DC power converter with an output voltage is greater than the input voltage by using single switching component. The duty cycle of this circuit is controlled by microcontroller STM32 cortex M3. The input and output voltage is represented by

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

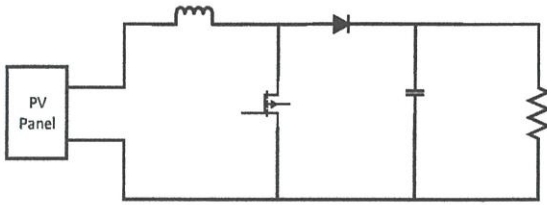


Fig.6 Boost converter

The inductor and the capacitor of boost converter can be designed by following equation

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \quad (4)$$

$$C = \frac{D}{rRf_s} \quad (5)$$

IV. SIMULATION RESULT

The model has been developed and simulated by using MATLAB/Simulink. Fig-7. Show the developed model. In the simulation study, the duty step size is controlled by the propose technique. The result of developed model was investigated in comparison with conventional P&O tracking under several isolation 700 w/m² and 900 w/m². The specification of PV module used in the simulation is show table I.

TABLE I SPECIFICATION OF PV MODULES

Open circuit voltage	22.1 V
Shot circuit current	7.54 A
Volt at Pmax	17.7 V
Current at Pmax	7.05 A

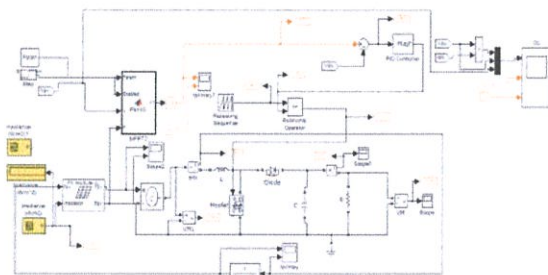


Fig.7 The developed model

The MPPT performance of the propose technique compared to the conventional P&O are verified, as seen from all figure, the voltage from the propose technique are stabilized compare conventional technique.

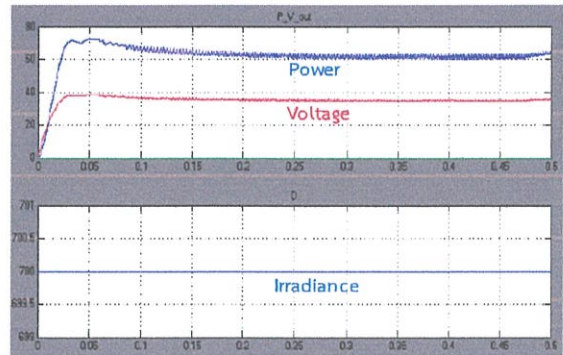


Fig.8 Power versus time and voltage versus time of proposed technique at irradiance 700 w/m²

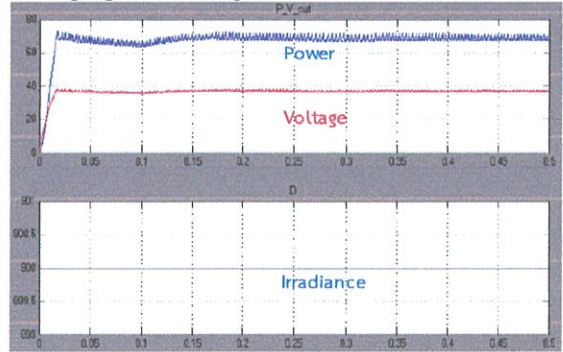


Fig.9 Power versus time and voltage versus time of proposed technique at irradiance 900 w/m²

Fig 8-9 display the voltage versus time and power versus time of the propose technique at irradiance 700 W/m² and 900 W/m² by setting the upper level voltage at 37 V. And the lower voltage at 35 V.

From the conventional technique at irradiance 700W/m² and 900 W/m², the output voltage is 40 V and 45 V respectively. From the propose technique, the result in Fig 8-9 perform that the output voltage is equal to the upper level limit voltage (37 V). So that the output voltage can be stabilized by the propose technique.

The comparing between perturb and observe and perturb and observe with stabilizing output voltage in conditions of varying irradiance 700-900 W/m² by setting limit voltage 40-42 V can be shown in Fig. 10-11.

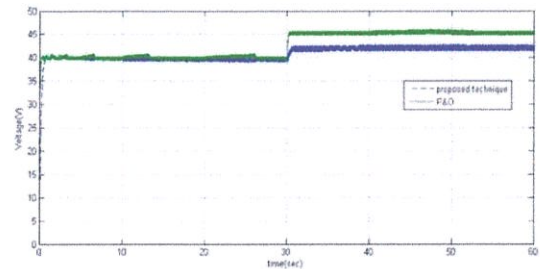


Fig.10 Voltage versus time of conventional technique and the propose technique at irradiance 700-900 w/m²

The difference voltage of the proposed technique is 2 volts. But in the conventional

technique is 5 volts. So that the proposed technique can stabilize output voltage by limiting the upper voltage.

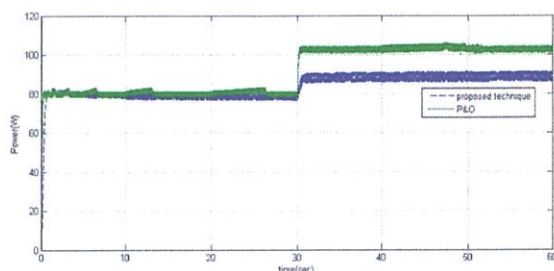


Fig. 11 Power versus time of conventional technique and the propose technique at irradiance 700-900 W/m^2

From Fig.11 the output power of the proposed technique is lower than the conventional technique at irradiance 900 W/m^2 because the output voltage is limited 42 volt from 45 volt.

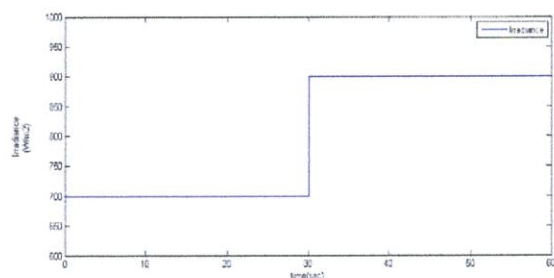


Fig. 12 Irradiance versus time at 700-900 W/m^2

V. EXPERIMENTAL RESULT

The propose algorithm and boost converter has been built and run in continuous mode. The algorithm of converter developed in this paper is set in ARM CortexM3. The experimental result of MPPT has performed in comparison with conventional P&O tracking under several isolation levels (from 600 to 800 W/m^2). The specification of PV module adopted in this paper is shown in table II

TABLE II SPECIFICATION OF PV MODULES

Open circuit voltage	22.1 V
Shot circuit current	7.54 A
Volt at Pmax	17.7 V
Current at Pmax	7.05 A

To verify the function of the proposed technique, The performance of MPPT with the conventional P&O technique and MPPT with stabilizing output voltage technique has been displayed in Fig.13-14.

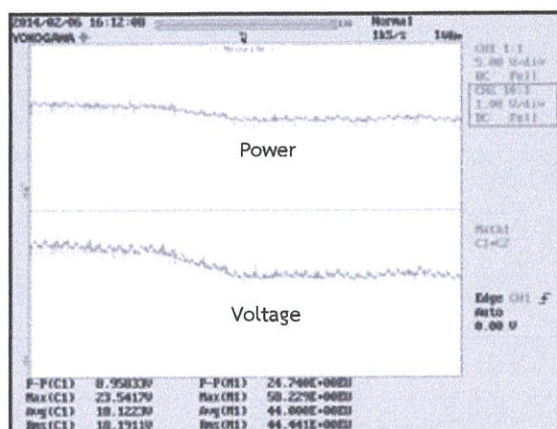


Fig. 13 Voltage versus time and power versus time of conventional technique at irradiance 700-900 W/m^2

As seen in figure 13-14, the output voltage of conventional P&O technique change 3 volt from varying irradiance 800 W/m^2 to 600 W/m^2 . In the other hand, the output voltage from the proposed technique is changed only 1 volt at the same varying irradiance.

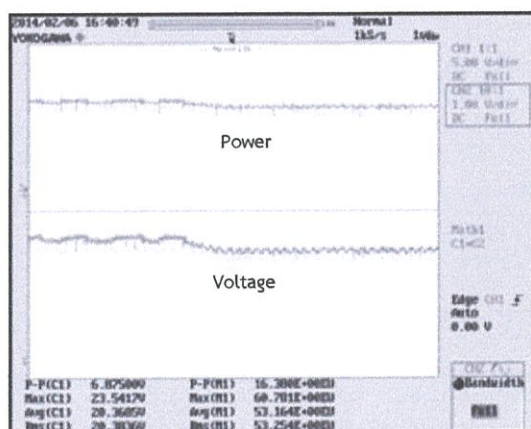


Fig. 14 Voltage versus time and power versus time of proposed technique at irradiance 700-900 W/m^2

VI. CONCLUSION

In this paper, maximum power point tracking for photovoltaic with stabilize output voltage has been proposed to improve the output voltage while still tracking maximum power of a photovoltaic system. The technique is set to reduce the main problem of conventional perturb and observe method. The basic concept of the technique is adapting the upper voltage level and lower voltage level the output voltage to stabilize the output voltage. Select the appropriate duty cycle step size. A large perturbation step size is chosen far from the MPPT while a small ones are used around MPP to minimize the power oscillation in steady state. As seen in the result, the propose technique has better result in output voltage but there is some drawback from a bit

lower power output compared to the conventional technique.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

REFERENCES

- [1] Werachet Khan-Ngern and Wutthiphol Tharateeraset, *Power Electronic 9th* (in Thai), 162 Moo 4 Ratphatthana Rd, Bangpakok Ratburana Bangkok 10140: VJ Printing Limited part, 2009
- [2] Moacyr Aureliano Gomes de Brito, Luigi Galotto, Jr., Leonardo Poltronieri Sampaio, Guilherme de Azevedo e Melo, and Carlos Alberto Canesin, "Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications," *IEEE Trans On Industrial Electronics*, Vol. 60, No. 3, March 2013
- [3] Mohammed A. Elgendy, Bashar Zahawi, and David J. Atkinson, "Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications," *IEEE Trans. On sustainable energy*, Vol. 3, No. 1, January 2012
- [4] Rosa A. Mastromauro, Marco Liserre, Antonio Dell'Aquila, "Control Issues in Single-Stage Photovoltaic Systems: MPPT, Current and Voltage Control," *IEEE Trans. On Industrial Informatics*, Vol. 8, No. 2, May 2012
- [5] Chuanzong Fu and Shiping Su, "Simulation studying of MPPT control by a new method for photovoltaic power system," *Electrical and Control Engineering (ICE) 2011.*, Pp. 1274-1278, 2011.
- [6] Jae Ho Lee, HyunSu Bae and Bo Hyung Cho, "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size," *Power Electronics and Motion Control Conference 2006.*, Pp. 603-607, 2006
- [7] Kyritsis, A.Ch.; Tatakis, E.C.; Papanikolaou and N.P, "Optimum Design of the Current-Source Flyback Inverter for Decentralized Grid-Connected Photovoltaic Systems," *Energy Conversion, IEEE Transactions on.*, Vol. 23, No. 1, pp. 281-293, 2008.
- [8] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnolo and M. Vitelli, "Optimizing Duty-Cycle Perturbation of P&O MPPT Technique," *35th Annual IEEE Power Electronocs.*, Vol. 3, pp. 1939-1944, 2004.
- [9] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, etc. "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method," *IEEE Trans. on Power Electronics.*, Vol. 20, No. 4, pp. 963-973, 2005.
- [10] Konghuayrob, P and Kaitwanidvilai, S., "Maximum Power Point tracking using neural network in flyback MPPT inverter for PV systems," *SCIS-ISIS 2012, Kobe, Japan, November 20-24, 2012*
- [11] I. H. Altas and A.M. Sharaf, "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment," *Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference on.*, Pp. 341-345.
- [12] L. Piegari R. Rizzo, "Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking," *IET Renew. Power Gener.*, 2010, Vol. 4, Iss. 4, pp. 317-328

ประวัติผู้เขียน



นายฐิตินันท์ กันคำ (เอ็ม) เกิดวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 14/213 The Villa RanInThra คูบัว 27 แขวง ท่าแร้ง เขตบางเขน
 กรุงเทพมหานคร 10220
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมินทราชูทิศกรุงเทพมหานคร
 Tel. 0819789416 E-mail : Titinan@outlook.com



นายชุติวัดน์ ฤชา (ไบท์) เกิดวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 337/3 หมู่ 7 ซ.โชคลาก ถ.ราชพฤกษ์ ต.ในเมือง อ.เมือง ชัยภูมิ 36000
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล
 Tel. 085-209-9878 E-mail : Chutiwatt@hotmail.co.th



นายชาคร จันทน์โชติวงศ์ (ชาร์ค) เกิดวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 49/172 หมู่ 1 ซ.นนทบุรี 22 ต.บางกระสอ อ.เมือง นนทบุรี 11000
 จบหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพจาก โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ไทย-
 เยอรมัน มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 Tel. 081-101-2586 E-mail : chakorn_172@hotmail.com



นายชิษณุพงศ์ พรหมสุรินทร์ (อ๊อบ) เกิดวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2535
 ที่อยู่ 70/8 หมู่ 1 ซ.6 ต.พิชัย อ.เมือง ลำปาง 52000
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนลำปางกัลยาณี
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนลำปางกัลยาณี
 Tel. 088-226-2911 E-mail : sestimo-7@hotmail.com