

ตำแน่งของตำราเป็นไฟฟ้าสูงและปรับค่าได้บนหน้าปัดโดยมีแรงกดของนิ้วที่ปรับ

หนังสือพิมพ์พิมพ์

COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING FOR RENEWABLE SOURCES



ปริญญาโทเป็นต้นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับ  
แหล่งพลังงานหมุนเวียน  
COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES



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

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับ  
แหล่งพลังงานหมุนเวียน  
COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน

ผู้จัดทำ

1. นาย หัสชัย วิมานจันทร์
2. นาย อนุสรณ์ ตันเมธา
3. นาย อภิลักษณ์ อัครนิโรจน์
4. นาย อรรคชัย ประสงค์กุล



  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับ แหล่งพลังงานหมุนเวียน

นาย หัสชัย วิมานจันทร์  
นาย อนุสรณ์ ต้นเมธา  
นาย อภิลักษณ์ อคนิโรจน์  
นาย อรรคชัย ประสงค์กุล  
รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ปีการศึกษา 2557

## บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็น การนำเสนองานตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด(MPPT)ของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบลูกผสม ที่เรียกว่า *รบกวนและสังเกตุกับสัดส่วนแรงดันเปิด* มาใช้ร่วมกันในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้งเซลล์แสงอาทิตย์และลม โดยเรียกเทคนิคนี้ว่าเทคนิค Hybrid P&O ข้อเสียของเทคนิคการ *รบกวนและสังเกตุ*คือการใช้เวลานานในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีแสงมีการเปลี่ยนแปลงมากและเกิดการแกว่งรอบๆจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะเข้าสู่จุดสูงสุด เทคนิค Hybrid P&O ที่นำเสนอจะเริ่มต้นด้วยการวัดแรงดันเปิดวงจรแล้วกำหนดค่าแรงดันจุดทำงานไปที่ 70% ของแรงดันเปิดวงจร ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP) ขั้นตอนนี้จะช่วยลดเวลาในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในกรณีที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงมาก หลังจากนั้นใช้เทคนิคP&O ในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริง สำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าใช้เทคนิค P&O ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นหลักเนื่องจากไม่สามารถเปิดวงจรได้ เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอจะสามารถปรับตัวได้แบบอัตโนมัติสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES

Mr.Hassachai Wimanchan  
Mr.Anusorn Tanmetha  
Mr.Apiluk Akaniro  
Mr.Arkachai Prasongkool  
Assoc.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai Advisor  
Asst.Prof.Dr.Siridech Boonsang Co-Advisor  
Year 2014

## ABSTRACT

This project presents the maximum power point tracking (MPPT) for renewable energy sources (photovoltaic and wind turbines). Using the hybrid technique called “P&O and Fractional open circuit voltage techniques” (Hybrid P&O) to track maximum power point in both PV and wind energy. The drawback of P&O technique is the time consuming of the process of finding the maximum power point when the light intensity has been varying and there is an oscillation on the maximum power point (MPP). The Hybrid P&O can solve this problem by first measuring the open-circuit voltage and set the control point of the PV to 70% of the open circuit voltage which is normally the point closed to the maximum power point (MPP). Then, the P&O technique is applied to determine the actual maximum power point. This procedure reduces the tracking time. For wind turbine tracking, the P&O technique is only applied due to the open circuit in this system is not allowed. In our proposed design, the tracking method of maximum power point (MPP) is selected for photovoltaic systems or wind turbines automatically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้สำเร็จเป็นอย่างดีด้วยการชี้แนะคำปรึกษาและการเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการ และ ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ กลุ่มของข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความกรุณา และความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับพวกข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกให้ยืมอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ใช้ในการทำงานโครงการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล (College of Data Storage Innovation) ที่ได้เอื้อเฟื้อแบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้าในการทดลองโครงการตลอดทั้งปีการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณภูมิ คงห้วยรอบ ที่ได้ให้แนวทางในการพัฒนาโครงการให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ ECC305 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้พวกข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของพวกข้าพเจ้าที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงการนี้ กลุ่มของพวกข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XVI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.6 การจัดการโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.2.1 ความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.2.4 ความสัมพันธ์ของกระแสแรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	16
2.3.1 เทคนิครบกวนและสังเกต (P&O)	16
2.3.2 เทคนิคอัตราส่วนแรงดันเปิดวงจร (Fractional Open-Circuit Voltage)	17
2.4 วงจรที่ใช้ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	18
2.4.1 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)	18
2.4.2 หลักการทำงานของบัสต์คอนเวอร์เตอร์	18
2.4.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์	22
2.4.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก	23
2.5 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า	25
2.6 ชนิดกังหันลมผลิตไฟฟ้า	25
2.6.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)	25
2.6.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)	25
2.7 ความเร็วและกำลังลม	26
2.8 คุณลักษณะของกังหันลม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	30
2.10 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	33
2.11 การตามรอยจุดที่กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุด (MPPT)	33
2.11.1 แบบจำลองระบบ	34
2.11.2 วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method)	34
2.11.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ความเร็วโรเตอร์ และดิวิตีไซเคิล	35
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ</b>	<b>37</b>
3.1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง MPPT	37
3.1.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง MPPT	37
3.1.2 การทำงานของเครื่อง MPPT ที่ออกแบบ	37
3.2 การออกแบบวงจรและจัดสร้างชิ้นงานจริง	38
3.2.1 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter)	38
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 +6 และ +15 โวลต์ แบบ standalone	41
3.2.3 วงจรขับเคลื่อนแบบแยกกันทางไฟฟ้า	41
3.2.4 วงจรที่ใช้ควบคุม	42
3.3 การวัดสัญญาณ (sensor)	43
3.3.1 การวัดกระแสเข้าและออกโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส(Current Sensor)	44
3.3.2 การวัดสัญญาณแรงดัน	44
3.3.3 แรงดันขาเข้า (Vin)	45
3.3.4 แรงดันขาออก (V <sub>out</sub> )	45
3.4 การประมวลผลส่วนโปรแกรมควบคุม	46
<b>บทที่ 4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์</b>	<b>48</b>
4.1 การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ PV model	48
4.2 การสร้างวงจร Boost converter	49
4.3 สร้างวงจร MPPT (P&O)	51
4.4 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และ Boost converter	52
4.5 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ กังหันลม และ Boost converter	58
4.6 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และ กังหันลม	63
4.7 วงจรการตรวจนับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า	63
4.7.1 หลักการการตรวจนับ	64
4.7.2 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และกังหันลมผลิตไฟฟ้า	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.8 วงจรการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า	65
4.8.1 การตรวจจับแหล่งจ่ายเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์	66
4.8.2 การตรวจจับแหล่งจ่ายกังหันลมผลิตไฟฟ้า	68
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง</b>	<b>70</b>
5.1 การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	70
5.1.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	71
5.1.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิล	80
5.2 การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์	94
5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิล	110
5.4 การทดลองและผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบปรับตัวได้แบบอัตโนมัติ	115
5.4.1 วงจรและขั้นตอนการทดลอง	116
5.4.2 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงคงที่	119
5.4.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่	126
5.4.4 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่	134
5.4.5 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	134
5.4.6 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	136
5.4.7 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง	137
5.4.8 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมคงที่	138
5.4.9 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลง	139
5.4.10 การทดลองติดตามจุดกำลังสูงสุดที่ของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์พิกัด 500 วัตต์	141
5.4.11 การทดลองการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า	145
<b>บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>147</b>
6.1 สรุปผลการทดลอง	147
6.1.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า	147
6.1.2 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด	147
6.1.3 การทำงานแบบstandalone	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และVI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.1.4 การตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือกักเก็บลมผลิตไฟฟ้า	147
6.2 ข้อเสนอแนะ	148
6.2.1 วงจรไฟเลี้ยงแบบstandaloneที่ออกแบบ	148
6.2.2 จากผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	148
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>149</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>151</b>
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์	152
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	155
ภาคผนวก ค ลายวงจร	157
ภาคผนวก ง บทความวิชาการ	159
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>164</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2 แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อเข้ากับโหลด	11
2.6 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.7 การคิดค่าฟิลแพคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ	14
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า	14
2.10 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	15
2.11 ผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานทั้งสองเปลี่ยนแปลง	15
2.12 ความสัมพันธ์ของความชื้นที่มีผลต่อความต้านทานทั้งสอง	16
2.13 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า	18
2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	19
2.15 วงจรสมมูลขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	20
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับ D	22
2.17 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	24
2.18 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง	25
2.19 กังหันลมแกนหมุนแนวอนแบบ 3-blades	26
2.20 กังหันลมแนวแกนอนแบบ multi-blades	26
2.21 ลักษณะความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	27
2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วลมต่างๆ	27
2.23 ประสิทธิภาพของกังหันลมแบบต่างๆ	30
2.24 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	31
2.25 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ	31
2.26 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	32
2.27 การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานลม	34
2.28 แผนผังการทำงานของวิธีการ P&O	35
2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ความเร็วลมค่าต่างๆ	36
2.30 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์ ( $\omega$ ) กับดิวิตีไซเคิล (D)	36
3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง MPPT	37
3.2 วงจรทบแรงดันไฟฟ้า ( Boost converter ) เชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์	38
3.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 +6 และ +15 โวลต์	41
3.4 วงจรขับเคลื่อน	42
3.5 ตัวอย่างบอร์ด ARDUINO NANO 3.0	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 วงจรวัดกระแสและแรงดัน	43
3.7 วงจรวัดกระแสและแรงดัน	44
3.8 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	45
3.9 FLOWCHART การทำงานของ MPPT ที่นำเสนอ	47
4.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	48
4.2 แสดงการเชื่อมต่อของ PV MODULE ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	48
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน	49
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงค่า ต่างๆ	49
4.5 แบบจำลอง วงจร BOOST CONVERTER ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	50
4.6 Subsystem ของวงจร Boost Converter ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	50
4.7 Block MATLAB Function ในโปรแกรม MATLAB simulink	51
4.8 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และ Boost converter ในโปรแกรม MATLAB simulink	52
4.9 วงจรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของแรงดัน(Vpv) และค่า DUTY CYCLE	53
4.10 Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial Degree 1	54
4.11 Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial Degree 2	54
4.12 Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial Degree 3	55
4.13 Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(V <sub>pv</sub> ) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial Degree 4	55
4.14 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดย เทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา)	56
4.15 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดย เทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา)	57
4.16 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดย เทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (Duty Cycle เทียบกับเวลา)	57
4.17 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ กังหันลม และ Boost converter ในโปรแกรม MATLAB simulink	58
4.18 การตั้งค่ากังหันลมในโปรแกรม MATLAB Simulink	58
4.19 การตั้งค่าDC Generator ในโปรแกรม MATLAB Simulink	59
4.20 กราฟแสดงคุณลักษณะระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต กับ ความเร็วเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต ที่ความเร็วลมค่าต่างๆ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แะIXต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.21	กราฟแสดงคุณลักษณะระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต กับ ความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต ที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s	60
4.22	กราฟแสดงค่ากำลังทางกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่เกิดจากการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s	60
4.23	กราฟแสดงค่าความเร็วการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิตที่เกิดจากการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s	61
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิตกับเวลา ที่ได้จากการทดลองด้วยการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด	61
4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังทางกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้ากับเวลา ที่ได้จากการทดลองด้วยการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด	62
4.26	กราฟแสดงค่า Duty Cycle เทียบกับเวลา ที่เกิดการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด	62
4.27	วงจรถวายการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และกังหันลมในโปรแกรม MATLAB simulink	63
4.28	วงจรถวายการจำลองการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้าโปรแกรม MATLAB SIMULINK	63
4.29	กราฟผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	64
4.30	กราฟแสดงผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เมื่อทำการจำลองโดยการลดโหลดลงจากเดิม ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	65
4.31	วงจรถวายการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้ารูปแบบการซิมูเลชันการตรวจจับ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	65
4.32	วงจรถวายการจำลองการตรวจจับแหล่งจ่ายเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	66
4.33	กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	67
4.34	กราฟแสดงผลกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	67
4.35	วงจรถวายการจำลองการตรวจจับการตรวจจับแหล่งจ่ายกังหันลมผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	68
4.36	กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	68
4.37	กราฟแสดงผลกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK	69
5.1	การวัดคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	71
5.2	โซล่าพาวเวอร์มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	71
5.3	กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	73
5.5 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	75
5.6 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	76
5.7 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	78
5.8 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	78
5.9 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์	79
5.10 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	79
5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	81
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	82
5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	84
5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	84
5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	86
5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	87
5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	89
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	89
5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	91
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	92
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	94
5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	94
5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าวัตต์ไฮเคิลที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	96
5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ Xi ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	99
5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	99
5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	101
5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	102
5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	104
5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	104
5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	106
5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	107
5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	109
5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	109
5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าตัวชี้เซลล์ ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 760 โอห์ม	111
5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 760 โอห์ม	111
5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าตัวชี้เซลล์ ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 590 โอห์ม	113
5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 590 โอห์ม	113
5.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าตัวชี้เซลล์ ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 390 โอห์ม	115
5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้า ของกึ่งหิ้นผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 390 โอห์ม	115
5.41 แผนภาพวงจรที่ใช้ในการทดลอง	116
5.42 วงจรจริงที่ใช้ในการทดลอง	116
5.43 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	117
5.44 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และXIIต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.45 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	119
5.46 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	119
5.47 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตาราง เมตร	120
5.48 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	120
5.49 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	121
5.50 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	121
5.51 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	122
5.52 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	122
5.53 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	123
5.54 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	123
5.55 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	124
5.56 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	124
5.57 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต	125
5.58 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	125
5.59 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตาราง เมตร	126
5.60 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	126
5.61 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	127
5.62 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	127
5.63 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร	128
5.64 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตาราง เมตร	128
5.65 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	129
5.66 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIII อังอาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.67 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	130
5.68 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	130
5.69 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	131
5.70 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	131
5.71 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	132
5.72 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ	132
5.73 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	133
5.74 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร	133
5.75 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร	134
5.76 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร	135
5.77 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร	135
5.78 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร	136
5.79 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร	136
5.80 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร	137
5.81 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร	137
5.82 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที	138
5.83 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที	139
5.84 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 6 เป็น 8 เมตร/วินาที	139
5.85 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 6 เป็น 8 เมตร/วินาที	140
5.86 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 7 เป็น 8.5 เมตร/วินาที	140
5.87 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 7 เป็น 8.5 เมตร/วินาที	141
5.88 กราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	142
5.89 กราฟคุณลักษณะของแรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และXIVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.90 กราฟคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร	143
5.91 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	143
5.92 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	144
5.93 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร เปลี่ยนเป็นแสง 750 วัตต์/ตารางเมตร	144
5.94 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร เปลี่ยนเป็นแสง 750 วัตต์/ตารางเมตร	145
5.95 รูปวงจรทดสอบการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า	145
5.96 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเทียบกับเวลาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์	146
5.97 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเทียบกับเวลาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดของกังหันลม ผลิตไฟฟ้า	146



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ xv ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	4
2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O	17
5.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร	72
5.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 530 วัตต์/ตารางเมตร	74
5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 680 วัตต์/ตารางเมตร	76
5.4 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	80
5.5 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	82
5.6 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	85
5.7 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	87
5.8 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	90
5.9 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	92
5.10 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	95
5.11 ทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	97
5.12 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	100
5.13 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	102
5.14 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่	105
5.15 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่	107
5.16 ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งนำผลผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความต้านทาน 760 โอห์ม	110
5.17 ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งนำผลผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความต้านทาน 590 โอห์ม	112
5.18 ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งนำผลผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความต้านทาน 390 โอห์ม	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แ XVI อังอ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.19 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่	134
5.20 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง	138



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ **xvii** อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญและจำเป็นต่อชีวิตประจำวันมากและนับวันจะร่อยหรอหมดลงไปไม่ช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่ได้จากแก๊สธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหิน ซึ่งนอกจากจะหายากขึ้นทุกวันแล้ว ขั้นตอนขบวนการผลิตยังยุ่งยากซับซ้อนและทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในหลายๆประเทศจึงได้ช่วยกันรักษาสิ่งแวดล้อมและเร่งพัฒนาหาสิ่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานจากน้ำ พลังงานลม พลังงานจากแก๊ส พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น

พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะมีการใช้เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานที่สามารถหาใช้ได้ง่าย และประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเอกชน จึงจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังชนบทที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงและแบ่งเบาภาระการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้อีกด้วย

ในการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้นั้นหากสามารถทำงานที่ให้ผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่ามากที่สุดหรือเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ก็จะส่งผลให้ได้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงคุ้มค่าแก่การลงทุน มีผู้วิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญกับการตามรอยหาจุดกำลังสูงสุด ตัวอย่างเช่น Taftic และคณะ [1] นำเสนอการปรับปรุงค่าการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยวิธีการวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร วิธีนี้ช่วยลดการแกว่งของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพเฉลี่ยให้กับระบบ TarikDuru [2] นำเสนอการบังคับระบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานอยู่ในช่วงที่ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้วิธีควบคุมกระแสและแรงดัน Kawamuraและคณะ [3] ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ผลต่างของแรงดันเพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด Nagayoshi [4] เสนอการจำลองคุณลักษณะ I-V curve สำหรับแผงโซลาร์เซลล์โดยวิธี multi I-V magnifier circuit ในวงจรแสดงผลตอบสนองที่ประยุกต์เข้ากับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดผลที่ได้คือค่าเอาท์พุทกระแสและแรงดันมีค่าใกล้เคียงค่าจริงขึ้น Cesare และคณะ[5] เสนอการออกแบบและการคำนึงถึงการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสมกับระบบที่มีกำลังต่ำและประยุกต์ใช้กับความต้านทาน ประสิทธิภาพที่ได้จะอยู่ที่ประมาณ 90% นอกจากนี้ยังมีการวิจัยในการหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศ เช่น Ikegamiและคณะ [6] ใช้วิธีประมาณสมการสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โมเดลพารามิเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีนี้จะดีกว่าการใช้วิธีปกติ Chenและคณะ [7] ได้นำเสนอการจำลองการเปรียบเทียบระบบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อุปกรณ์ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับไม่ใช้การตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขสภาวะต่างๆได้ทำการทดสอบในประเทศจีนช่วงฤดูหนาว พบว่าได้วิธีที่นำเสนอให้ผลการสร้างพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น Matsukawaและคณะ [8] นำเสนอการใช้วิธีการทำการวัดความสามารถและการใช้การควบคุมไดนามิกในการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์ในเงื่อนไขแสงที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานลม (Wind Energy) เป็นอีกหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาด (Renewable Energy) อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ได้อย่างไม่จำกัดอีกด้วย ทำให้มีการหันมาใช้พลังงานลมมากขึ้น ซึ่งระบบพลังงานทดแทนขนาดเล็กนั้นเป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะสถานที่ห่างไกลที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงๆ ซึ่งในการนำพลังงานลมออกมาใช้ประโยชน์นั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดนั้นก็คือกังหันลมซึ่งกังหันลมนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนาการใช้พลังงานจากลมนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา โดยในทวีปแควยุโรปนั้นได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมที่เหมาะสมกับความเร็วลมและมีประสิทธิภาพสูง ส่วนในประเทศไทยนั้น ได้มีการคิดค้นพัฒนาการใช้พลังงานจากลมอย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน

ระบบพลังงานลมนั้นมีการใช้งานอยู่ทุกมุมโลกและมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าอีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับเครื่องสีข้าวและระบบวิดน้ำอีกด้วย อีกทั้งระบบพลังงานลมเป็นระบบพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ซึ่งการใช้พลังงานลมถือเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน การใช้พลังงานลมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะมีการนำเทคนิคและการพัฒนาในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) เพื่อที่จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมค่าต่างๆ ซึ่งเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน อาทิ เช่น Tip speed ratio technique, Power signal feedback control, Perturb & Observe เป็นต้น

ในการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในปัจจุบันนิยมการควบคุมที่มีความซับซ้อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่น Mellit และคณะ [9] ใช้ภาษาที่คำนวณได้เร็ว (VHDL) ข้อดีของวิธีนี้ได้ผลถูกต้อง นำเชื่อถือ รวดเร็ว ราคาต่ำ สามารถวัดแบบตามเวลาจริงและมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้พีไอดีคอนโทรล OCRAN และคณะ [10] ออกแบบระบบให้สามารถประมวลผลโดย Digital Signal Processor DSP และปรับปรุงเสถียรภาพของระบบโดย PID Controller ประสิทธิภาพที่ได้ออกมาจะมีค่าสูงขึ้น Bouchafaal และคณะ [11] นำเสนอการควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy) เพื่อปรับปรุงคุณภาพ เวลาตอบสนองที่เร็วขึ้นและลดการแกว่งของกำลัง แรงดันตัวดีในสภาวะคงตัว ทำให้ระบบไม่เป็นเชิงเส้นและมีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น Bahgat และคณะ [12] นำเสนอการพัฒนาและการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมสามารถส่งถ่ายกำลังจากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 97% และยังรักษาเวลาในจุดที่มีระบบกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ระบบปฏิบัติการที่เวลานั้น Lalili และคณะ [13] นำเสนอการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการ Variable step size incremental conductance เทียบกับตอนสแตปคงที่ผลที่ได้คือการใช้สเตปแบบปรับค่าได้จะทำให้เกิดการปรับปรุงความเร็วและความถูกต้องของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ Panagiotis และคณะ [14] เสนอวิธีการ Fixed-Model Predictive Controller ตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับ การปรับเปลี่ยนค่า Incremental Conductance (INC) ในระหว่างการตามรอยกำลังไฟฟ้าทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น Hsiang และคณะ เสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบฉลาดโดยกำลังขาออกจะขึ้นกับพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิวิธีนี้จะปรับ StepSize แบบอัตโนมัติเพื่อตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะช่วยปรับปรุง ประสิทธิภาพให้ดีขึ้น

โดยปกติแล้วเทคนิคที่ใช้เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยทั่วไปคือ เทคนิคการรบกวนและการสังเกต Perturb & Observe (P&O) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน สามารถเข้าใจได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทำให้ต้นทุนต่ำ และเป็นที่ยอมรับมากในทางการค้า แต่ข้อด้อยของเทคนิคนี้ คือ จะเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสถานะคงตัว และไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์อย่างทันทีทันใด ในโครงการนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่เรียกว่า Perturb & Observe and Fractional Open Circuit Voltage Techniques ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ 2 เทคนิค คือ เทคนิค P&O และเทคนิค Fractional Open Circuit Voltage ซึ่งจะทำให้ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้แล้วในโครงการนี้ยังได้นำเสนอตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถทำงานกับ เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม โดยตัวเครื่องสามารถตรวจจับได้อัตโนมัติและตัดสินใจได้ว่า ขณะนั้นแหล่งจ่ายที่อยู่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลม เพื่อสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างเหมาะสมที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อการศึกษาและพัฒนาตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) แบบปรับตัวได้อัตโนมัติสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ MPPT ให้มีขนาดกระทัดรัด

1.2.3 เพื่อการศึกษาและพัฒนา MPPT ที่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเองโดยไม่มี การเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายอื่น

1.2.4 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ MPPT ที่ใช้เทคนิคการตามรอย กำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบลูกผสม (P&O and Fractional open circuit voltage techniques )

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบและสร้างวงจร วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ขนาด 500W ที่ทำงาน เป็น MPPT โดยควบคุมด้วยเทคนิคที่นำเสนอและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

1.3.2 ศึกษาและทดลองหาเวลาที่ใช้ในการตามรอย MPPT ที่สร้างขึ้นกับแผงโซลาร์ เซลล์และกังหันลม

1.3.3 ทดลองประยุกต์โดยใช้เทคนิค P&O And Fractional Open circuit Voltage มาใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

1.3.4 การออกแบบจะอาศัยการจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.- พ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์								
2. ศึกษาเทคนิคที่ใช้ทำ MPPT ในปัจจุบัน								
3. ศึกษาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการจำลองต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามแผง								
4. จำลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์								
5. จำลองการทำ MPPT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงด้วยคอมพิวเตอร์								
6. เขียนโปรแกรมการทำ MPPT ด้วยเทคนิค P&O								
7. เขียนโปรแกรมการทำ MPPT ด้วยเทคนิค Fractional Open circuit Voltage								

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ออกแบบและสร้างวงจรกำลังของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า								
9. ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์								
10. ทดลองวงจรจริงกับเซลล์แสงอาทิตย์								
11. ทดลองวงจรจริงกับกังหันลมผลิตไฟฟ้า								
12. เก็บผลการทดลองในแต่ละกรณีและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้								

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 เป็นการแก้ปัญหาในการแปลงพลังงานโดยการควบคุมขนาดของกระแสแรงดันให้แทรก อยู่ในตำแหน่งที่ให้การแปลงพลังงานคุ้มค่ากับขนาดของแผงมากที่สุด ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมดีขึ้น

1.5.2 นักศึกษาได้รับความรู้และความเข้าใจมีความสามารถ ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าจากการ Simulation ในโปรแกรม MATLAB

1.5.3 นักศึกษาได้รับความรู้และความเข้าใจและมีความสามารถ ในการทำงานเกี่ยวกับระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมเพื่อรองรับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าในอนาคต

1.5.4 นักศึกษามีความเชี่ยวชาญในการวิจัยเพื่อพัฒนาขั้นสูงต่อไป และสามารถนำผลงานในการวิจัยไปใช้ในการประกอบอาชีพได้

### 1.6 การจัดการโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญาโท

ปริญญาโทฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังนี้

**บทที่1 บทนำ** ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีดำเนินการ และแผนดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

**บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอดจนหลักการและเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บทที่3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ** ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเกี่ยวกับการออกแบบจัดสร้างจริง ส่วนประกอบหลักของชุด MPPT Converter ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง+5และ+15โวลต์ ชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage

**บทที่4 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์** ในบทนี้จะได้นำเสนอการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้า การจำลองกราฟคุณลักษณะภายใต้ความเข้มแสงและความเร็วลมต่างๆกัน ผลการจำลองการทำ MPPT ด้วยเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage

**บทที่5 ผลการทดลอง** ในบทนี้จะได้นำเสนอการทดลองจริงโดยใช้วงจรจริงที่สร้างขึ้นเชื่อมต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้า เพื่อให้ได้ค่าต่างๆที่ต้องการจากการทดลองจริงและจัดทำกราฟคุณลักษณะภายใต้ความเข้มแสงและความเร็วลมต่างๆกัน ผลการจำลองการทำ MPPT ด้วยเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage

**บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ** ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและจากการดำเนินการจัดทำโครงการ สรุปผลการทดลองที่ได้ตลอดจนข้อเสนอแนะ ที่เกี่ยวกับโครงการนี้

**ภาคผนวก** สำหรับส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่างๆทั้งหมดตลอดจนบทความวิชาการและโปสเตอร์นำเสนอผลงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการดำเนินโครงการนี้ ถึงทฤษฎีคุณลักษณะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าในสภาวะต่างๆ เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าเพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในบทนี้

#### 2.2 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์

##### 2.2.1 ความสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีที่มีแสงตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันที และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC current)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable energy) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า สะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใด ๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแต่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ ก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหว และไม่เคยปรากฏว่ามีการคัดค้านการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นการประหยัดน้ำมัน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรก ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนของประเทศไทย และได้รับการนำมาซึ่งประโยชน์มหาศาลในหลาย ๆ โครงการ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในหมู่บ้านชนบทห่างไกลที่สายไฟฟ้าไปไม่ถึง ใช้สูบน้ำบาดาลในพื้นที่ทุรกันดาร ใช้ในระบบสื่อสารถ่ายทอดสัญญาณโทรศัพท์ ใช้ในการทหาร เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีมากมายมหาศาล โดยร้อยละ 99.98 ของพลังงานที่โลกเราได้รับมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนที่เหลือร้อยละ 0.02 เป็นพลังงานความร้อนใต้พิภพ ปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกมีมากถึง  $1.77 \times 10^{14}$  kW ซึ่งมีมากกว่าปริมาณพลังงานที่มนุษย์ต้องการ ( $3.8 \times 10^8$  kW) ถึงกว่าล้านเท่า ดังนั้นถ้ามนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนี้ให้เป็นประโยชน์ ก็จะช่วยประหยัดน้ำมันไปได้มาก

ทั้งนี้ บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ( $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$ ) ซึ่งมีความหมายว่า ในวันหนึ่ง ๆ บนพื้นที่เพียง 1 ตารางเมตรนั้น เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 กิโลวัตต์ เป็นเวลานานถึง 4-5 ชั่วโมงนั่นเอง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับร้อยละ 15 ก็แสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 150 วัตต์ หรือเฉลี่ย 600-750 วัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวันนั่นเอง ในเชิงเปรียบเทียบ ถ้าในวันหนึ่ง ๆ ประเทศไทยเรามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นถ้าเรามีพื้นที่ประมาณ 1,500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกิโลเมตร (ประมาณ 0.3% ของประเทศไทย) เราก็จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ

### 2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

1.กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน โดยจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือแบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ผลึกเดี่ยวซิลิคอน (SINGLE CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELL) ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (POLY CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELL) และ ชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอน (AMORPHOUS SILICON SOLAR CELL)

ซึ่งซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุด เพราะเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลก ชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย และมีใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำวงจรรวมไอซีที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด และใช้ทำทรานซิสเตอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ทั้งผลึกเดี่ยวและผลึกย่อย มีการผลิตออกมาใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12 – 15% ซึ่งเพียงพอต่อการประยุกต์แม้จะมีราคาแพงเมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าในระบบสายส่ง ปัจจุบันทำให้การใช้งานจึงจำกัดอยู่ในพื้นที่เฉพาะ เช่น ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะมีราคาถูกที่สุด เพราะซิลิคอนที่ไม่เป็นผลึกหรือเป็นสารอะมอร์ฟัสนั้นจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่ำ และผลิตได้ง่าย แต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนนี้มีประสิทธิภาพการแปรพลังงานไม่สูงนักคือเพียง 5 – 10% จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เราจึงเห็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ใช้งานกับนาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น ทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide: CuInSe) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide: GaAs) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulphide: CdS) ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำทั้งสิ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุแกลเลียมอาร์เซไนด์จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง 20 – 25% ใช้งานกับแสงความเข้มสูงได้ดีทนทานกับรังสีอนุภาคที่มีพลังงานสูง จึงเหมาะกับงานด้านอวกาศ แม้จะมีราคาแพงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนถึง 50 เท่า ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์และทองแดงอินเดียมไดเซเลไนด์นั้น จะมีราคาถูกพอกับซิลิคอน เพราะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง และเตรียมการได้ง่าย



รูปที่ 2.2 แผนภาพแบ่งประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

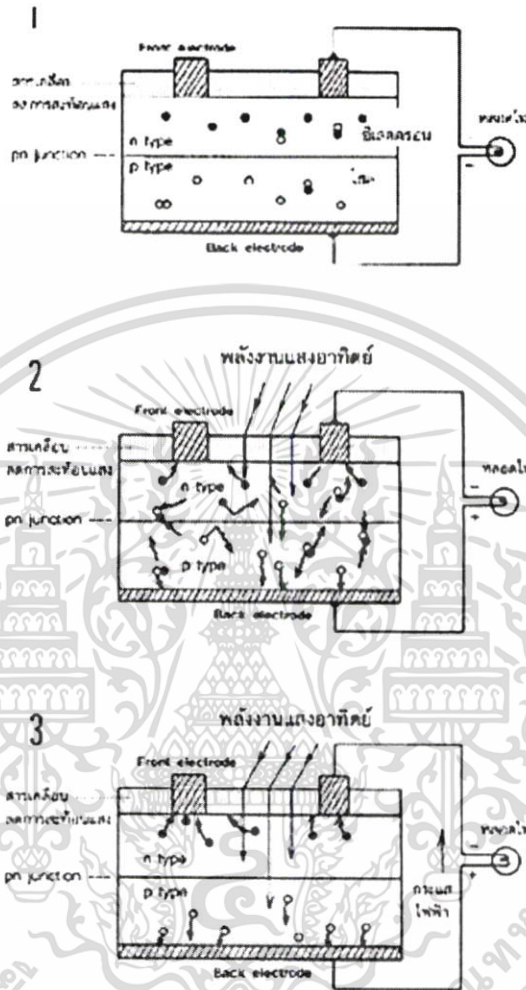
### 2.2.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วน p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยแสงโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์” ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอนแต่ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าเนื่องจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

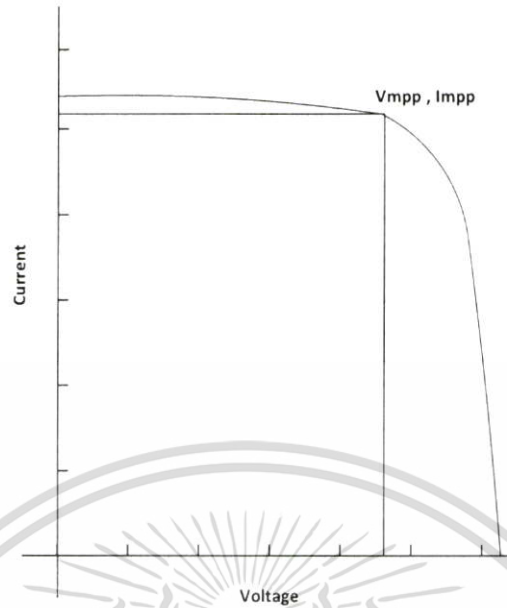


รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.4 คุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

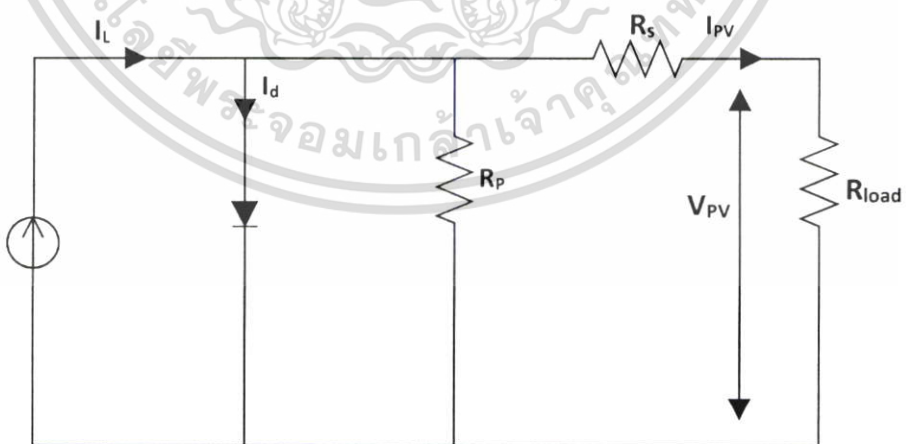
จากการศึกษาความสัมพันธ์จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน พบว่าค่ากระแสมีค่ามากที่สุดจนกระทั่งถึงกระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) จะทำให้แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ และค่าแรงดันมีค่ามากที่สุดที่แรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) จะทำให้กระแสมีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งเป็นผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดทำงานต่างๆ จุดที่พื้นที่สี่เหลี่ยมมีค่ามากที่สุดคือจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mp}$  และ  $I_{mp}$ )



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อเข้ากับโหลด

จากรูปที่ 2.5 เป็นรูปวงจรมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดย  $R_s$  คือความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์  $R_p$  คือ ความต้านทานขนาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงออกมาในรูปของสมการได้ดังนี้

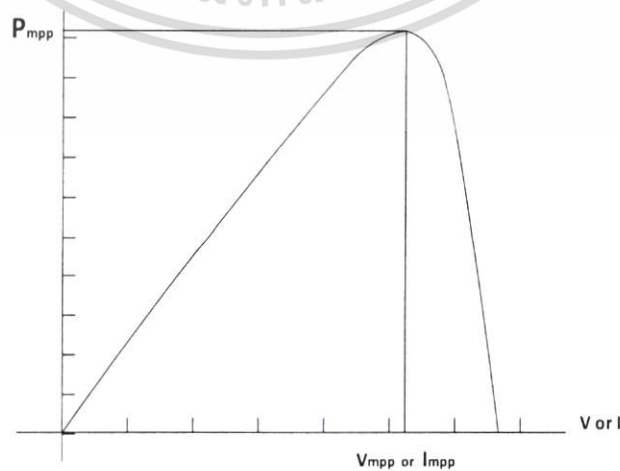
$$I_{pv} = I_L - I_d \left( e^{\frac{v_t}{V_T}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

$$V_{PV} = V_T \ln \left( \frac{I_L - I_{PV}}{I_d} + 1 \right) \quad (2.2)$$

ตัวแปรต่างๆในสมการสำหรับคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้

$I_{PV}$	คือ กระแสที่ได้เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสง (แอมป์)
$I_d$	คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)
$I_L$	คือ กระแสเอาต์พุต (แอมป์)
$V_T$	คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$
$V_{PV}$	คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)
$K_B$	คือ ค่าคงที่ของโบลท์มาน
$T$	คือ อุณหภูมิ
$N$	คือ ideality factor
$q$	คือ ประจุอิเล็กตรอน (คูลอมบ์)

จากความสัมพันธ์ที่ว่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับกระแสคูณแรงดันใน I-V Curve ซึ่งการศึกษาในโครงการนี้ต้องการที่จะดึงกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด ดังนั้นเราจำเป็นต้องศึกษาถึงเทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงๆไม่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในสภาวะใดก็ตาม ในสภาวะต่างๆ อาทิเช่น เมื่อมีก้อนเมฆหรือต้นไม้มาบังเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

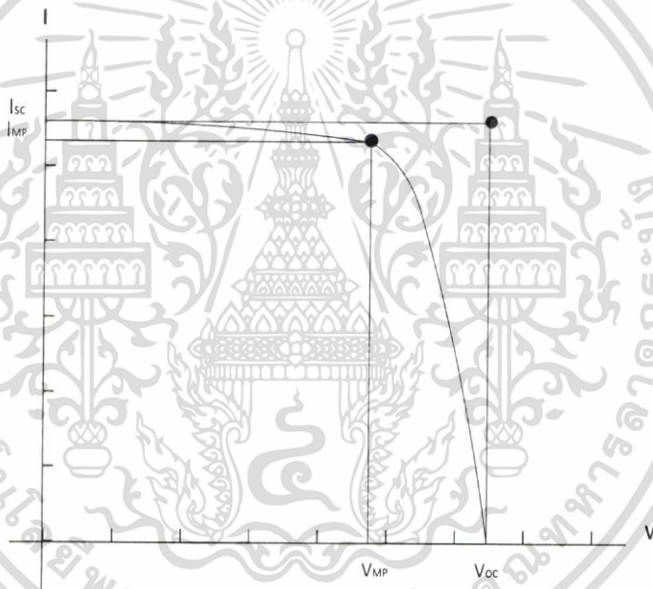


รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 เมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟของพื้นที่สี่เหลี่ยมในแต่ละค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงานต่างๆ จะได้กราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งพล็อตระหว่างแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าก็จะได้ลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และจะพบว่าจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่จุด  $V_{MPP}$  กับจุด  $I_{MPP}$

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟ คือ ถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมา ใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า “ฟิลแฟคเตอร์” (FF: Fill Factor) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 การคิดค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อ	FF	คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
	$P_{max}$	คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริง ๆ
	$I_{mP}$	คือ กระแสที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
	$V_m$	คือ แรงดันที่ได้รับจากเซลล์ ณ จุดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
	$P_t$	คือ ผลคูณของกระแส $I_{sc}$ กับแรงดัน $V_{oc}$
	$I_{sc}$	คือ ค่ากระแสลัดวงจร
	$V_{oc}$	คือ แรงดันขณะวงจรเปิด

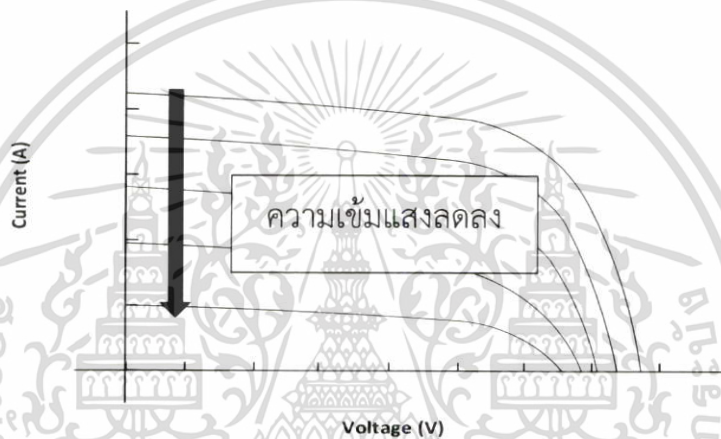
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟคเตอร์ใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่า เซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมากโดย พลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V Curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายใต้ สี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด ( $P_{mp}$ ) กระแสสูงสุด ( $I_{mp}$ ) และแรงดันสูงสุด ( $V_{mp}$ ) ในอุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ จุดกำลังสูงสุดนี้

### 2.2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

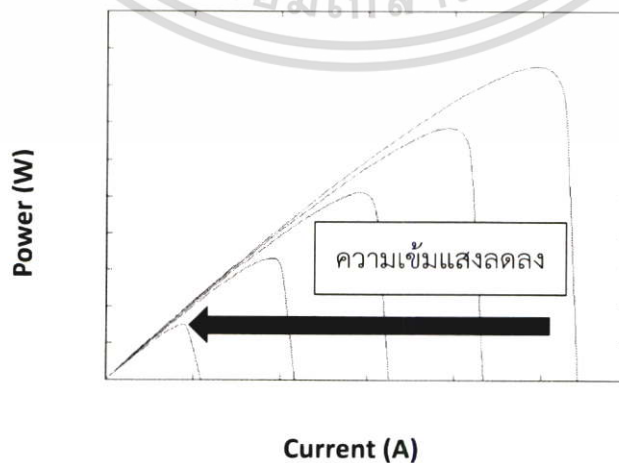
ในเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพการทำงานของมัน ซึ่งทำให้ ประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้นหรือน้อยลง เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับและ อุณหภูมิที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ

#### 2.2.5.1 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ

จากรูปที่ 2.8 ความเข้มแสงมีผลโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า เมื่อความเข้มแสงลดลง กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะลดลงตาม และทำให้พื้นที่ฟิลแฟคเตอร์ลดลงไปด้วย

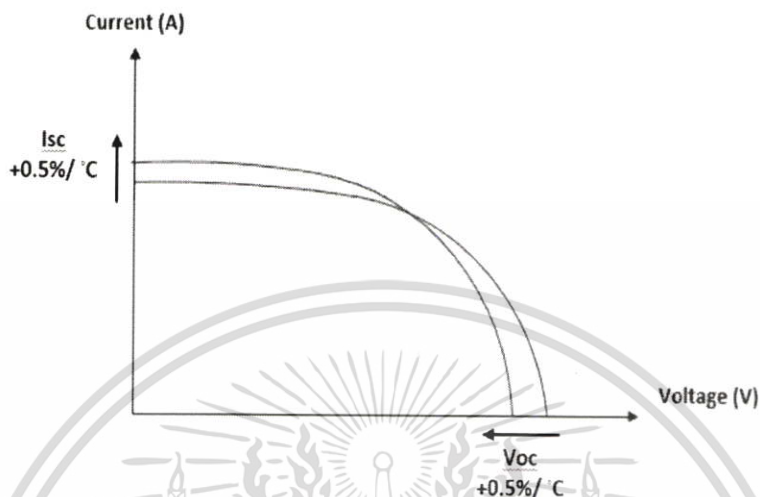


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับกระแสไฟฟ้า เมื่อความเข้มแสงลดลงจะเห็นว่าทำให้จุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าลดลงด้วย

### 2.2.5.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

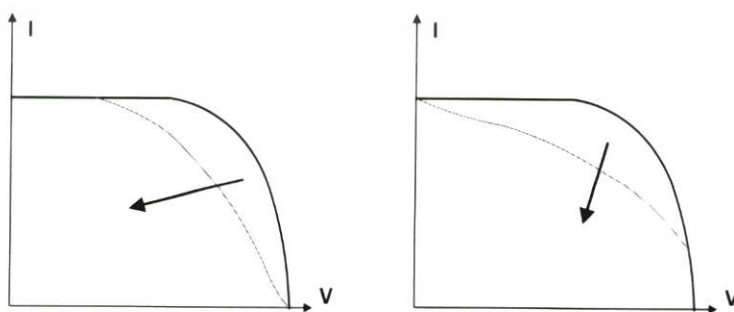


รูปที่ 2.9 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 2.10 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงจูงเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) ลดลงและทำให้ค่ากระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์มากนัก

### 2.2.5.3 ผลของ Shunt Resistance ( $R_p$ ) และ Series Resistance ( $R_s$ ) ที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ระหว่างการทำงานประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเนื่องจากสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์นั่นก็คือความต้านทานขนาน ( $R_p$ ) และความต้านทานอนุกรม ( $R_s$ ) ซึ่งในทางอุดมคติแล้วความต้านทานขนานมีไม่จำกัดและมีกระแสไหลผ่าน ในขณะที่ความต้านทานอนุกรมเป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมหน้าโหลด

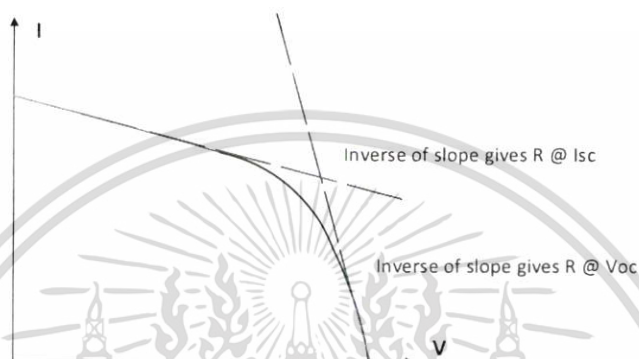


รูปที่ 2.10 ผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อค่าความต้านทานทั้งสองเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 การลดลงของความต้านทานขนาน และการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมมีผลทำให้ค่าฟิลแพคเตอร์ลดลงและกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้าความต้านทานขนานลดลงมากๆ แรงดันเปิดวงจรจะตกลง และการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมที่มากเกินไปจะเป็นเหตุให้กระแสลัดวงจรตกลงแทน

เป็นไปได้ที่จะประมาณค่าความต้านทานอนุกรมและขนานจากความชันของ I-V Curve ที่  $V_{OC}$  และ  $I_{SC}$  ตามลำดับ โดยที่ความชันที่  $V_{OC}$  เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดกับความต้านทานอนุกรมจะมากกว่าความต้านทานขนาน ซึ่งถูกแสดงโดยความชันที่กระแสลัดวงจร ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของความชันที่มีผลต่อความต้านทานทั้งสอง

### 2.3 เทคนิคที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

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

#### 2.3.1 เทคนิคควบคุมและสังเกต (P&O)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เทคนิค P&O จะเป็นการปรับค่าแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปในทิศทางที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดเวลาไปตามกราฟคุณลักษณะ เมื่อถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดยอด) ค่าแรงดันยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ตารางที่ 2.1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&amp;O

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

จากตารางที่ 1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O จะเห็นว่าถ้าหากกำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงไปจากเดิม ระบบจะเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนแปลงแรงดันไปในทิศตรงกันข้าม ทั้งนี้เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั่นเอง เนื่องจากกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปซ้ำมา จนในที่สุดค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะแกว่งอยู่รอบๆจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสามารถลดค่าการแกว่งนี้ได้ โดยการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลง ( $\Delta V$ ) อย่างไรก็ตามการลดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้การลู่เข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดช้าลง แนวทางแก้ปัญหาหนึ่งที่จะจัดการกับปัญหานี้ก็คือทำให้มีขนาดของ  $\Delta V$  ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยให้ค่า  $\Delta V$  น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

### 2.3.2 เทคนิคอัตราส่วนแรงดันเปิดวงจร (Fractional Open-Circuit Voltage)

เทคนิคนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันเปิดวงจรของระบบแสงอาทิตย์ดังสมการที่ (2.3)

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{oc} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $k_1$  คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่า  $k_1$  จะถูกคำนวณจากการสังเกตค่าสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงกับค่าแรงดันเปิดวงจรจากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่า  $k_1$  มีค่าโดยประมาณ 0.71-0.78

อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จำเป็นต้องทำการเปิดวงจรเพื่อวัดค่าแรงดันเปิดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ และเมื่อเกิดเงาบางส่วนตำแหน่งของจุดกำลังไฟฟ้า

## 2.4 วงจรที่ใช้ตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

### 2.4.1 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)

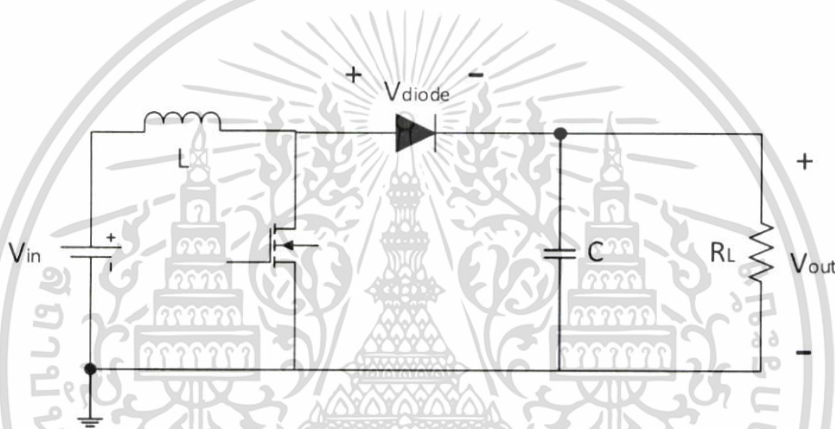
เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-to-DC Converter) ที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้า การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันในช่วงสภาวะอยู่ตัวจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

(1) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ(วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง)

(2) แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์

(3) ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้แรงดันขาออกมีค่าคงที่

(4) กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออกโดยไม่คำนึงถึงการสูญเสีย เนื่องจากการทำงานของวงจรโดยการกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ



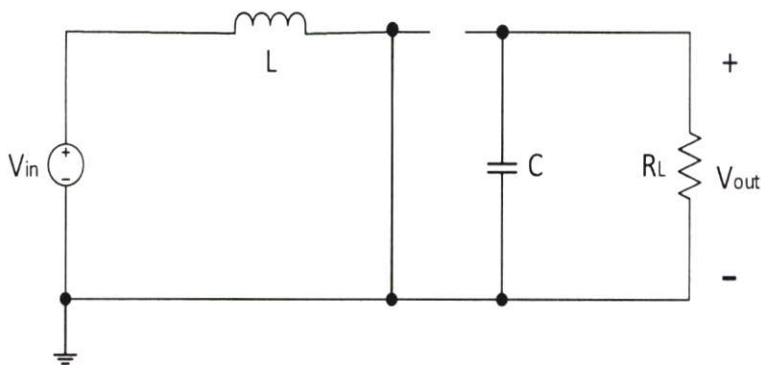
รูปที่ 2.13 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

### 2.4.2 หลักการทำงานของบัสต์คอนเวอร์เตอร์

เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการจะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาเท่ากับศูนย์และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหนดทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

#### 2.4.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.13 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโดยผ่านสวิตช์ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.14 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.4)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.5)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.6)$$

เมื่อสวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จาก

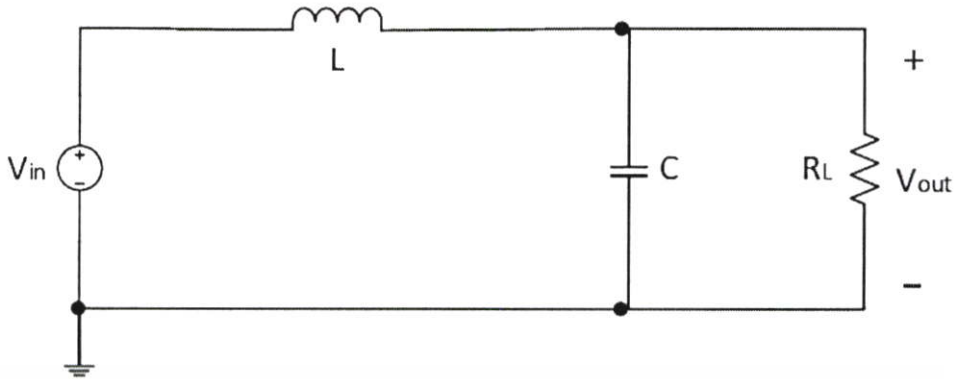
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.7)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\Delta i_{L,on}$  หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

#### 2.4.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ต้านออกมคาคงที่ จากกฎของเคอร์ซอฟฟ์จะไดสมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตก คร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลขณะสวิตช์หยุดนำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.9)$$

$$v_L = V_s + V_0 \quad (2.10)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_0}{L} \quad (2.12)$$

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

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_0}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.13)$$

ที่สภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.7) และสมการที่ (2.12) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.14)$$

$$\left( \frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_0)(1 - D)T}{L} = 0 \quad (2.15)$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_0 + V_0 D = 0 \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_s - V_0(1 - D) = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.18)$$

จากการหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดันสามารถหาได้โดยวิธีง่าย ๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (2.18) ดังนี้

$$V_{L,av} = V_{L,on}(t_{on}) + V_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.4)  $V_{L,on} = V_s$

จากสมการที่ (2.8)  $V_{L,off} = V_s - V_0$

$$V_{L,av} = V_s(t_{on}) + (V_s - V_0)(t_{off}) = 0 \quad (2.20)$$

$$V_s DT + (V_s - V_0)(1 - D)T = 0 \quad (2.21)$$

$$V_s D + (V_s - V_0)(1 - D) = 0 \quad (2.22)$$

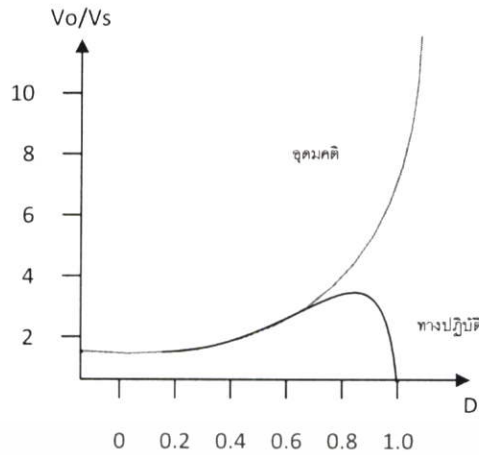
$$V_s D + V_s - V_s D - V_0 + V_0 D = 0 \quad (2.23)$$

$$V_s - V_0(1 - D) = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.25)$$

การได้มาซึ่งอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า จากสมการที่ (2.18) หรือ (2.25) แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานอันเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่าของ  $D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ D

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.16 เมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้านำเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้านำเข้าเล็กน้อยเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์

#### 2.4.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมติการสูญเสียภายในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้จะได้

$$P_S = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.26)$$

$$P_S = V_S I_S = V_S I_L \quad (2.27)$$

$$\frac{V_o^2}{R} = V_S I_L \quad (2.28)$$

$$V_o = \frac{V_S}{1-D} \quad (2.29)$$

$$V_S I_L = \frac{\left(\frac{V_S}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.30)$$

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดสามารถคำนวณหาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส ดังในสมการที่ (2.7)

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.32)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.33)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.34)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.35)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาหาความเหนี่ยวนำเป็นแบบและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สามารถคำนวณหาได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.34)

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) = 0 \quad (2.36)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.37)$$

$$I_{L,min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.38)$$

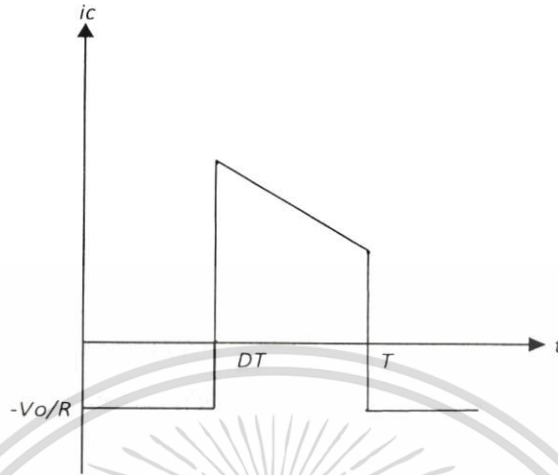
การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจากสมการที่ (2.38) สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่า  $D$  หรือค่าความต้านทานโหลด  $R$  หรือค่าความถี่ของการสวิตช์  $f$

#### 2.4.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆได้ เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มากจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่พอยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ (2.17)



รูปที่ 2.17 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C\Delta V_o = I_0\Delta t_{on} \quad (2.39)$$

$$I_0 = \frac{V_o}{R} \quad (2.40)$$

$$\Delta t_{on} = DT \quad (2.41)$$

$$\Delta V_o = \frac{I_0\Delta t_{on}}{C} = \frac{V_oDT}{RC} \quad (2.42)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} \quad (2.43)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.44)$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกจะทำได้โดยการลดค่าเข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหันพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนแปลงรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไปโดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับความเร็วของลม ความยาวของใบพัดและสถานที่ติดตั้งกังหันลม

## 2.6 ชนิดกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งกังหันลมออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุนได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

### 2.6.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบทำให้สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง กังหันลมแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลมปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบนี้้น้อยมาก

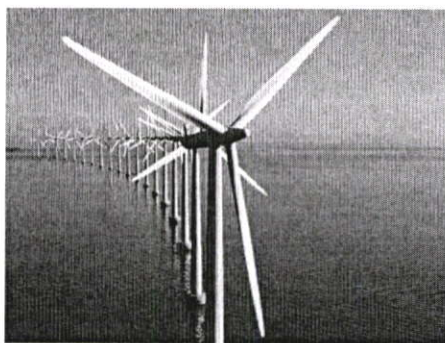


รูปที่ 2.18 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง

### 2.6.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลมเรียกว่าหางเสือและมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอนได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์(Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับ เครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 กังหันลมแกนหมุนแนวนอนแบบ 3-BLADES

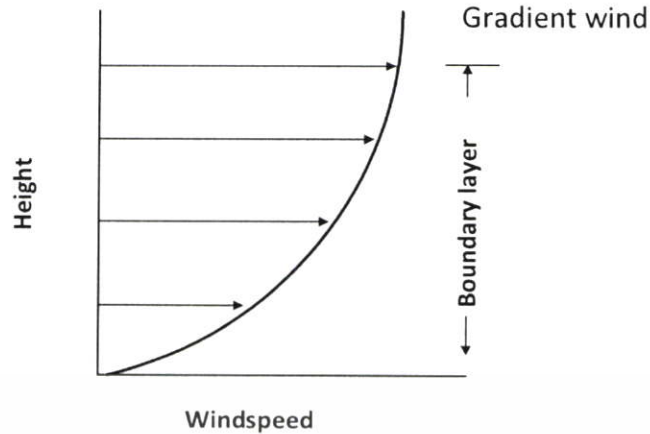


รูปที่ 2.20 กังหันลมแนวแกนนอนแบบ MULTI-BLADES

## 2.7 ความเร็วและกำลังลม

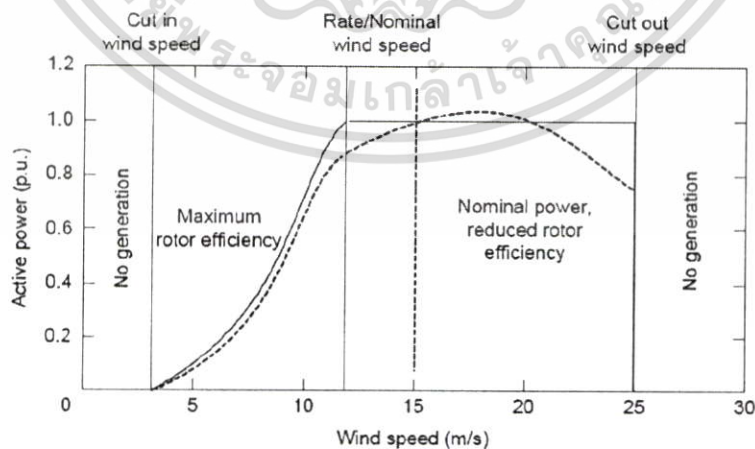
กังหันลมจะใช้ประโยชน์จากลมที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้นหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดินเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วยใน “ระดับต่ำ” แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงต้านจะลดลงและความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.21) ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตร เกือบไม่มีแรงฝัดความเร็วลมเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศเช่นเดียวกันกับทิศทางของลมจากประสบการณ์ที่ผ่านมา พบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นก็ขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลมเท่าๆกัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกันเมื่อพุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมากผล คือ แรงลัพธ์ที่ได้ ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ลักษณะความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมแต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1 - 3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 - 15 เมตรต่อวินาทีเป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมได้ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งค่าขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วลมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 คุณสมบัติของกังหันลม

กำลังจากการไหลของลมสำหรับกังหันลมจะแสดงในสมการที่ 2.45

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^3 \quad (2.45)$$

เมื่อ  $\rho_a$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ  
 $V_w$  คือ ความเร็วของลม (m/s)  
 $A_T$  คือ พื้นที่หน้าตัด ( $m^2$ )

เมื่อกระแสลมผ่านกังหันลมพลังงานจลน์จะถูกส่งผ่านไปยัง rotor ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะอธิบายจากค่า Power Coefficient ( $C_p$ ) โดย  $C_p$  เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังที่เกิดจากกังหันลมกับพลังงานจลน์ของกังหันลม ซึ่งพลังงานจลน์ของกังหันลมจะแสดงในสมการที่ 2.46 และค่า Power Coefficient ( $C_p$ ) จะแสดงในสมการที่ 2.47

$$E = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \quad (2.46)$$

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho_a A_T V^3} \quad (2.47)$$

ตามที่กฎของ Betz ได้กล่าวไว้ ไม่มีกังหันลมที่สามารถได้รับพลังงานจลน์เกิน 59.3 เปอร์เซ็นต์ ค่า Power Coefficient ( $C_p$ ) ในอุดมคติของกังหันลมคืออัตราส่วนของกำลังสูงสุดซึ่งได้มาจากลมซึ่งใช้พลังงานทั้งหมดจากลม ซึ่งค่า factor เท่ากับ 0.593 คือ Betz Coefficient ซึ่ง ค่า Betz Coefficient เป็นค่า fraction สูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่มาจากกระแสลมที่สามารถรับมาได้ค่า  $C_p$  ของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆอาทิเช่นค่า rotor blade เป็นต้น ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อจะให้ค่า  $C_p$  เป็นค่าสูงสุดซึ่งสมการของแรงและแรงบิดจะแสดงในสมการที่ 2.48 และ 2.49 ตามลำดับ

$$F = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^2 \quad (2.48)$$

$$T = \frac{1}{2} \rho_a A_T V_w^2 R \quad (2.49)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของกังหันลม

อัตราส่วนระหว่างค่าแรงบิดจริงที่เพิ่มขึ้นจากค่ารัศมีของกังหันลมกับค่าแรงบิดจากทฤษฎีเราจะเรียก อัตราส่วนนี้ว่า  $C_T$  โดยที่  $C_T$  มีค่าตามสมการที่ 2.50

$$C_T = \frac{2T_T}{\rho_a A_T V^2 R} \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ  $\rho_a A_T V^2 R$  นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $T_T$  เป็นค่าแรงบิดจริง

อัตราส่วนระหว่างความเร็วของกังหันและความเร็วลม เราจะเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Tip speed ratio ( $\lambda$ ) ซึ่งค่า Tip speed Ratio จะแสดงดังสมการที่ 2.51

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V} = \frac{2\pi NR}{V} \quad (2.51)$$

โดยที่  $\Omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของกังหัน

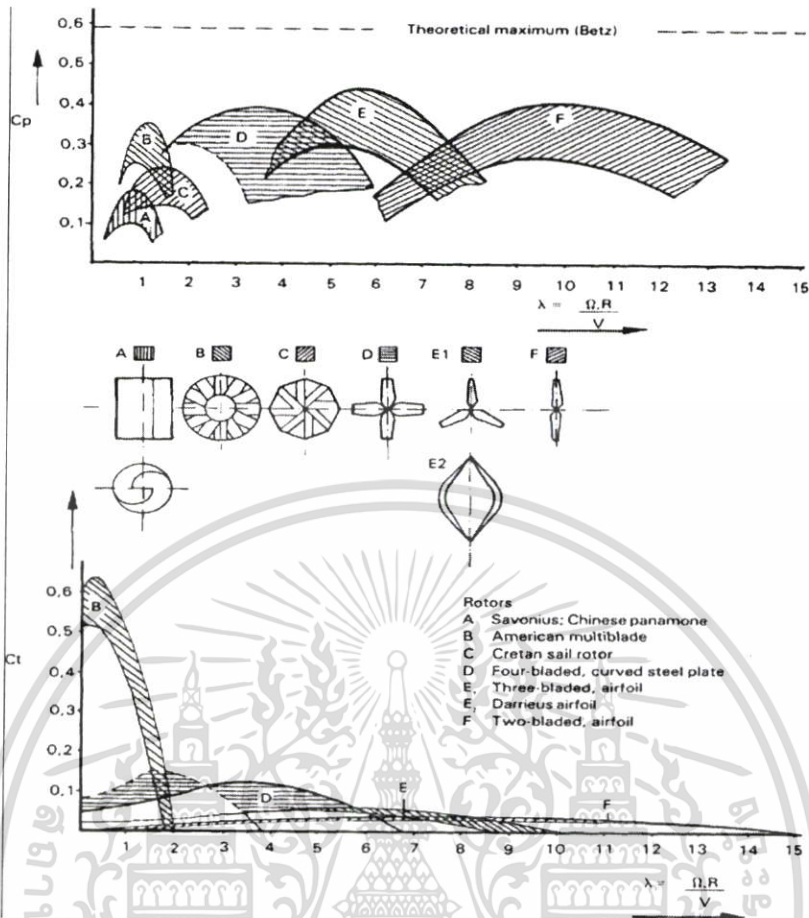
$R$  คือ รัศมีของกังหัน

$V$  คือ ความเร็วลม

ซึ่งจากสมการจะพบว่าค่า Power Coefficient และ ค่า Torque Coefficient จะขึ้นกับ Tip speed ratio ทั้งสิ้น ซึ่งค่า Tip speed ratio เป็นอัตราส่วนระหว่าง  $C_p$  และ  $C_T$  ซึ่งจะแสดงในสมการที่ 2.52

$$\frac{C_p}{C_T} = \frac{R\Omega}{V} = \lambda \quad (2.52)$$

ประสิทธิภาพที่กังหันสามารถดึงกำลังไฟฟ้ามาได้นั้นจะขึ้นกับการเข้ากันของใบพัดและกระแสลม จากเส้นโค้ง  $C_p - \lambda$  จะแสดงการประสิทธิภาพของใบพัดต่างๆ ซึ่งจะไม่ขึ้นกับขนาดของใบพัดและพารามิเตอร์ จากตัวอย่างเส้นโค้ง  $C_p - \lambda$  สำหรับใบพัดรูปแบบต่างๆนั้นจะแสดงใน รูปที่ 2.7 ซึ่งตามปกติค่า Power Coefficient ของกังหันลมจะเพิ่มขึ้นตามค่า Tip speed ratio จนถึงค่าสูงสุด และจะลดลงเมื่อค่า Tip speed ratio เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของ  $C_p - \lambda$  จะแสดงในตัวอย่างเส้นโค้งในรูปที่ 2.7 เช่นกัน

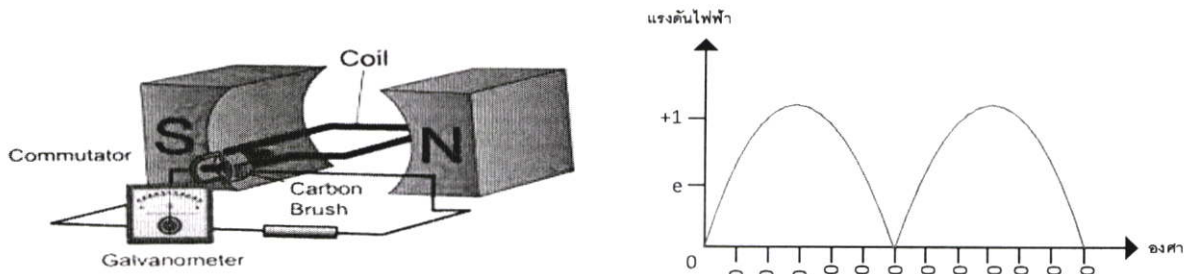


รูปที่ 2.23 ประสิทธิภาพของกังหันลมแบบต่างๆ

## 2.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการนำเอาเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมาทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำกำลังกลมาขับเคลื่อนที่เพลลาของเครื่องกล ซึ่งหลักการของเครื่องกำเนิดคือการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและในรูปที่ 2.24(ก) แสดงการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อทำการหมุนเครื่องกลไฟฟ้าจากตำแหน่ง 0 องศา ถึงตำแหน่ง 360 องศา จะได้แรงดันไฟฟ้าในซีกบวกดังรูปที่ 2.24(ข) และความแตกต่างระหว่างการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่จุดที่ต่อไฟฟ้าออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าใช้ Slip ring จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ถ้าใช้ Brush(แปรงถ่าน) จะได้ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.24 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.25 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งตามลักษณะการต่อได้ 4 ลักษณะ

ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Generator)
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Generator)
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Generator)

โดยสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ขดลวดที่อยู่ในส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กกับขดลวด

อาร์เมเจอร์ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แสดงลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.26 ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

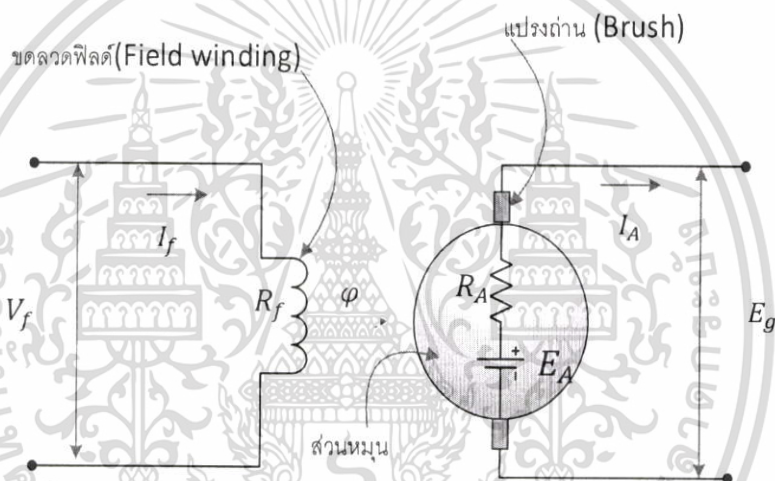
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมาป้อนให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ไปสร้างให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์เมเจอร์เมื่อพิจารณาในส่วนของอาร์เมเจอร์ เมื่อใช้กฎของแรงดันเคอร์ชอฟฟ์ และสามารถเขียนแรงดันไฟฟ้าในวงจรรอาร์เมเจอร์ได้ดังสมการที่ 2.53 และแรงดันที่ส่งออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้เป็นไปตามสมการ 2.53

$$E_A = E_g + I_A R_A \quad (2.53)$$

$$E_g = E_A - I_A R_A \quad (2.54)$$

เมื่อทำการพิจารณาสมการแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจากสมการที่ 2.54 พบว่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่จ่ายออกจากอาร์เมเจอร์เสมอ เพราะแรงดันส่วนหนึ่งจะไปตกคร่อมที่ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.26 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

ในการคำนวณหาคุณลักษณะดังรูปที่ 2.26 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และมีค่าตัวแปรต่างของวงจรดังนี้

เมื่อ  $V_f$  = แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์

$E_g$  = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด

$E_A$  = แรงดันไฟฟ้า อาร์เมเจอร์

$I_f$  = กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์หรือกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก

$I_A$  = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

$R_f$  = ค่าความต้านทานของขดลวดฟิลด์

$R_A$  = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

$\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ถ้าทราบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้สามารถหาขนาดของเครื่องต้นกำลังมาหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยทั่วไปขนาดของเครื่องต้นกำลังที่จะนำมาหมุนจะต้องมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 2.55

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_{loss}} \times 100\% \quad (2.55)$$

เมื่อ

$P_0$  = กำลังไฟฟ้านำออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

$P_{loss}$  = กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

## 2.11 การตามรอยจุดที่กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุด (MPPT)

วิธีการในการควบคุม MPPT เพื่อหา กำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีโดยจะพิจารณาในส่วนของวิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method) P&O ซึ่งนอกเหนือจากวิธีนี้ยังมีอีกหลายวิธีที่สามารถหาควบคุมระบบกังหันลมไฟฟ้าให้มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ดังนี้

- วิธีเพิ่มค่าความนำ (incremental conductance) หลักการของวิธีนี้ คือ ทำโดยการหาค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ถ้าไม่เท่ากับศูนย์จะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์เป็นขั้นๆ จนกระทั่งจุดทำงานวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดวิธีนี้มีข้อดีในแง่ของความสามารถในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอย่างทันทีทันใดแต่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณมากและเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวเมื่อต้องการลดเวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้น้อยลง วิธีนี้ยังคงมีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์เช่นเดียวกับวิธีการรบกวน

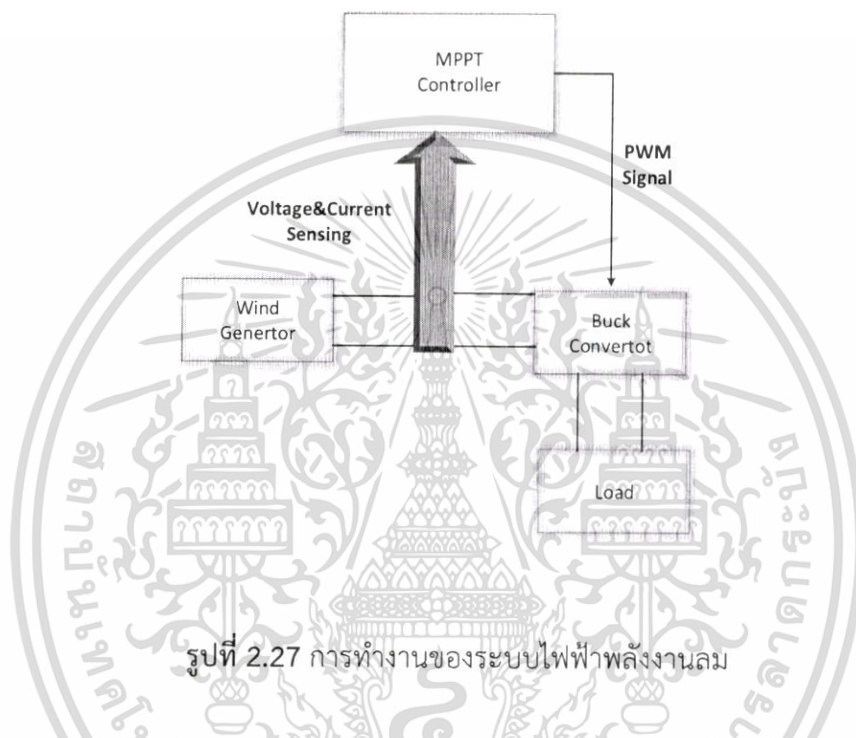
- Tip speed ratio (TSR) control วิธีการควบคุม TSR เป็นการควบคุมความเร็วในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อรักษา TSR ให้เป็นค่าสูงสุด เพื่อให้เกิดพลังงานสูงสุด วิธีนี้ต้องใช้ทั้งความเร็วลมและความเร็วกังหันที่จะวัดหรือประมาณ และนอกจากนี้ยังต้องทราบการทำให้ TSR มีค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุด

- Power signal feedback (PSF) control วิธีการควบคุมแบบนี้จะต้องทราบกราฟกำลังสูงสุดของกังหันลมและต้องตามรอยเส้นกราฟกำลังผ่านระบบควบคุม กราฟกำลังสูงสุดที่จะต้องได้จากแบบจำลองหรือการทดลองของแต่ละใบพัด ซึ่งวิธีนี้กำลังไฟฟ้าอ้างอิงจะได้โดยการบันทึกกราฟกำลังสูงสุดหรือใช้สมการกำลังทางกลของกังหันลมที่ความเร็วลมหรือความเร็วโรเตอร์ถูกนำมาใช้เป็นค่าอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.1 แบบจำลองระบบ

การทำงานของระบบพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมนั้นประกอบด้วย กังหันลมต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.27 ในส่วนของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรมแปลง กระแสตรง (DC-DC Converter) แต่สามารถควบคุมขนาดของแรงดันขาเข้าและขาออกได้โดย อัตราส่วนระหว่างโวลต์ขาเข้าและขาออกจะถูกควบคุมโดยสัญญาณ PWM จากวงจรควบคุม MPPT โดยที่ตัวควบคุม MPPT จะทำการอ่านแรงดันและกระแสที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำมา กำหนดสัญญาณ PWM



รูปที่ 2.27 การทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานลม

### 2.11.2 วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method)

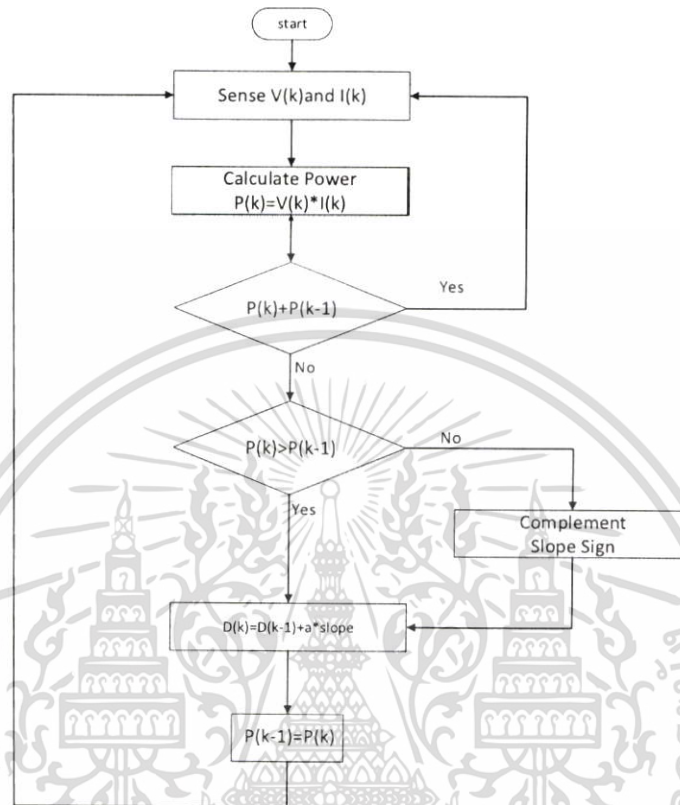
P&O

หลักการการทำงานเป็นคาบเวลาโดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ซึ่ง ขั้นตอนดังกล่าวคือขั้นตอนการรบกวน หลังจากนั้นจะทำการวัดกำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ที่ได้ จากการรบกวน แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ในคาบเวลาปัจจุบันกับ คาบเวลาก่อน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ให้จุดทำงานวิ่งเข้าหาจุดจ่าย กำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีอัลกอริธึมง่ายและมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่เกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวและไม่สามารถหา จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอย่างทันทีทันใดอีกทั้งใน การหากำลังไฟฟ้าของดีซีเจนเนอเรเตอร์ต้องใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมา คำนวณหากำลังไฟฟ้าจึงเกิดความยุ่งยากในการใช้งานและความซับซ้อนในการคำนวณ

วิธีการของ P&O จะทำงานด้วยการปรับค่ารอบการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์นั้นคือ การปรับค่าแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสังเกตกำลังไฟฟ้าเพื่อนำไปเพิ่มหรือ เหยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดรอบการทำงานในรอบการทำงานถัดไป ถ้าเพิ่มรอบการทำงานแล้วกำลังเพิ่มขึ้น ดังนั้นทิศทางของการรบกวนในรอบถัดไปจะไปในทิศทางเดิม ในทางตรงกันข้าม ถ้ารบกวนแล้วกำลังมีค่าลดลง ทิศทางของสัญญาณรบกวนต้องตรงข้ามจากรอบก่อนหน้า



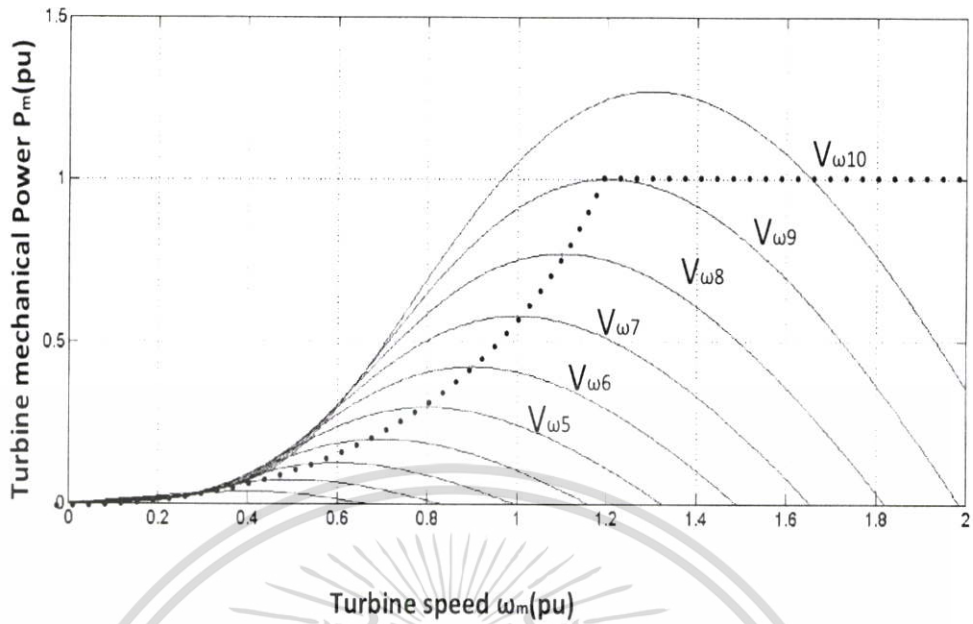
รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของวิธีการ P&O

โดยเทคนิคนี้จะทำการปรับเพิ่มค่าตัวตั้งไซเคิลทีละนิตแล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า ณ ปัจจุบันเทียบกับค่าที่วัดก่อนหน้า ถ้ามีค่ามากกว่าก็จะปรับค่าตัวตั้งไซเคิลเพิ่มขึ้น ถ้ามีค่าน้อยกว่าก็จะทำการปรับลดค่าตัวตั้งไซเคิลแล้วทำการเปรียบเทียบอีกครั้ง

### 2.11.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ความเร็วโรเตอร์ และตัวตั้งไซเคิล

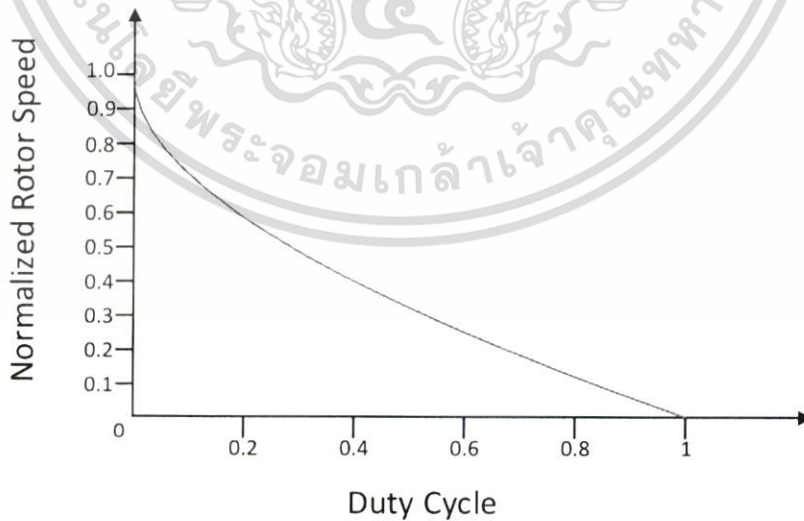
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ค่าความเร็วโรเตอร์ต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.29 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะแตกต่างกันเมื่อความเร็วโรเตอร์ต่างกันดังนั้นความเร็วโรเตอร์ควรหมุนที่ความเร็วเหมาะสม ที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความเร็วโรเตอร์ที่ความเร็วลมค่าต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ ( $\omega$ ) กับ ดิวตี้ไซเคิล ( $D$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ความเร็วโรเตอร์ ( $\omega$ ) จะวัดโดยให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของวัฏจักรการทำงาน ( $D$ ) ในขณะที่ต่อกับโหลดที่มีค่าคงที่ เมื่อโหลดไม่มากพอจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการสะดุด



รูปที่ 2.30 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์ ( $\omega$ ) กับดิวตี้ไซเคิล ( $D$ )

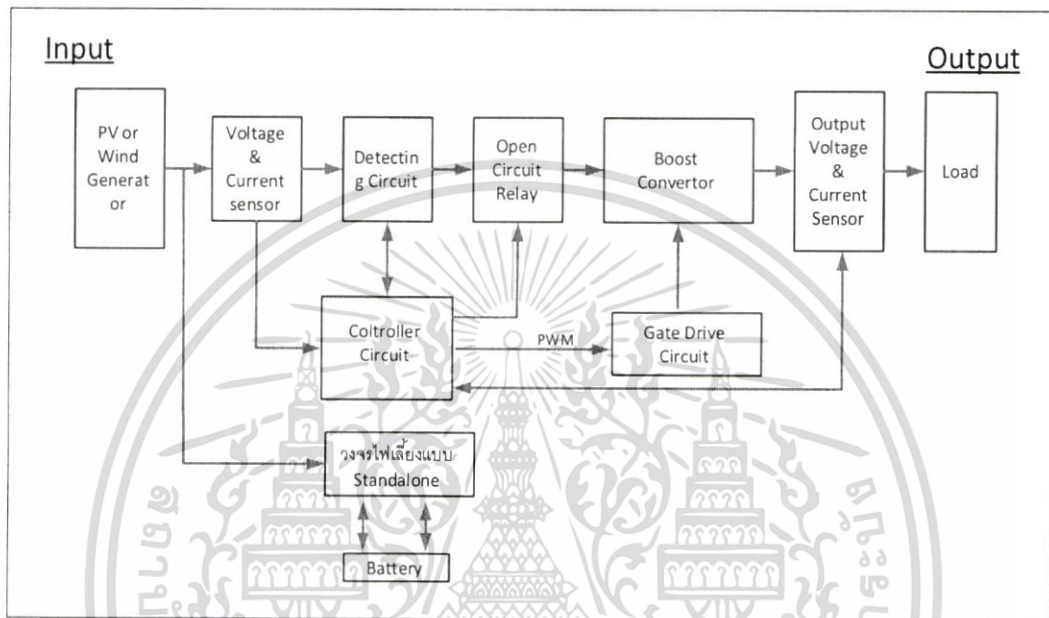
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ

### 3.1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง MPPT

#### 3.1.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง MPPT



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง MPPT

#### 3.1.2 การทำงานของเครื่อง MPPT ที่ออกแบบ

ในโครงงานนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่เรียกว่า Perturb & Observe and Fractional Open Circuit Voltage Techniques ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ 2 เทคนิค คือ เทคนิค P&O และเทคนิค Fractional Open Circuit Voltage ซึ่งจะช่วยให้ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้แล้วในโครงงานนี้ยังได้นำเสนอตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถทำงานกับ เซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลม โดยตัวเครื่องสามารถตรวจจับได้อัตโนมัติและตัดสินใจได้ว่า ขณะนั้นแหล่งจ่ายที่ต่ออยู่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์หรือกักเก็บลม เพื่อสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างเหมาะสมที่สุด

เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) จะรับค่ากระแสและแรงดันจากชุดตรวจจับสนแรงและแรงดัน แล้วทำการตัดสินใจว่าแหล่งจ่ายที่ต่ออยู่นั้น คือเซลล์แสงอาทิตย์หรือกักเก็บลม หลังจากนั้น MPPT จะทำการประมวลผลและสร้างสัญญาณขับมอเตอร์ให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า และวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า โดยทำการกำหนดให้มีค่าตัวที่ใช้เคลซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หรือกักเก็บลม ให้ทำงานในย่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

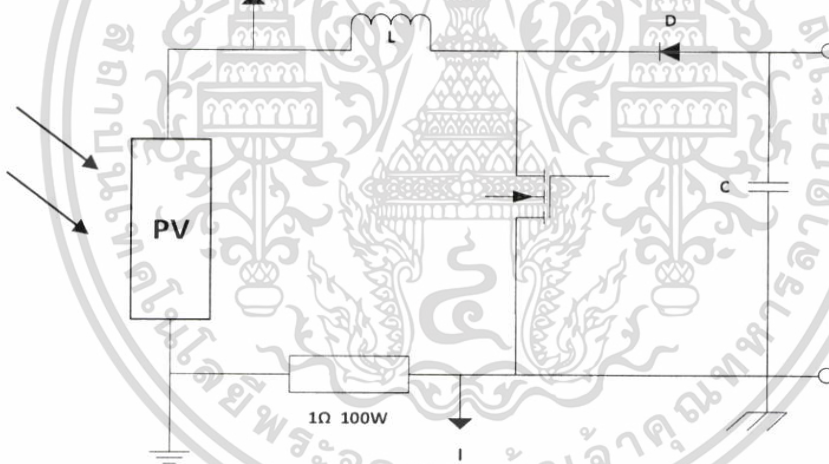
### 3.2 การออกแบบวงจรและจัดสร้างชิ้นงานจริง

#### 3.2.1 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter)

วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ชนิดหนึ่งที่สามารถให้แรงดันขาออกมีค่ามากขึ้นตามต้องการ โดยการปรับค่าตัวชี้เซลล์ดั่งวงจรในรูปที่ 3.2 การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 โหมด คือโหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องการปรับแรงดันขาออกจะไม่ได้ขึ้นกับค่าตัวชี้เซลล์เพียงอย่างเดียว แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้งานเพียงโหมดกระแสต่อเนื่องเท่านั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตแสดงได้ตามสมการที่ (3.1)

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

โดยที่  $V_o$  คือ แรงดันขาออก  $V_i$  คือ แรงดันขาเข้า และ  $D$  คือ ค่าตัวชี้เซลล์



รูปที่ 3.2 วงจรทบทแรงดันไฟฟ้า ( BOOST CONVERTER ) เชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์

##### 3.2.1.1 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ ( Inductance )

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่า  $L$  ที่มีค่ามากกว่าค่า  $L_{min}$  ได้จากการคำนวณนั้น ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

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

$D$  คือ ดิวตี้ไซเคิล

$R$  คือ โหลดความต้านทาน

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

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

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

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

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

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

จะเลือกใช้

$$L = 600 \mu H$$

### 3.2.1.2 การหาค่าตัวเก็บประจุ ( Capacitance )

การหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของวงจรบัพระดับแรงไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก

สมการที่ (3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ

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

โดยที่ในที่นี้กำหนดให้  $r$  มีค่าเท่ากับ 1%

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

$D$  คือ ดิวตี้ไซเคิล

$R$  คือ โหลดความต้านทาน

โดยค่าที่ออกแบบตมี ดังนี้

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

$$D = 1/3$$

$$R = 15 \Omega$$

$$r = 0.01$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.3 จะได้

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

$$C = 55.5556 \mu F$$

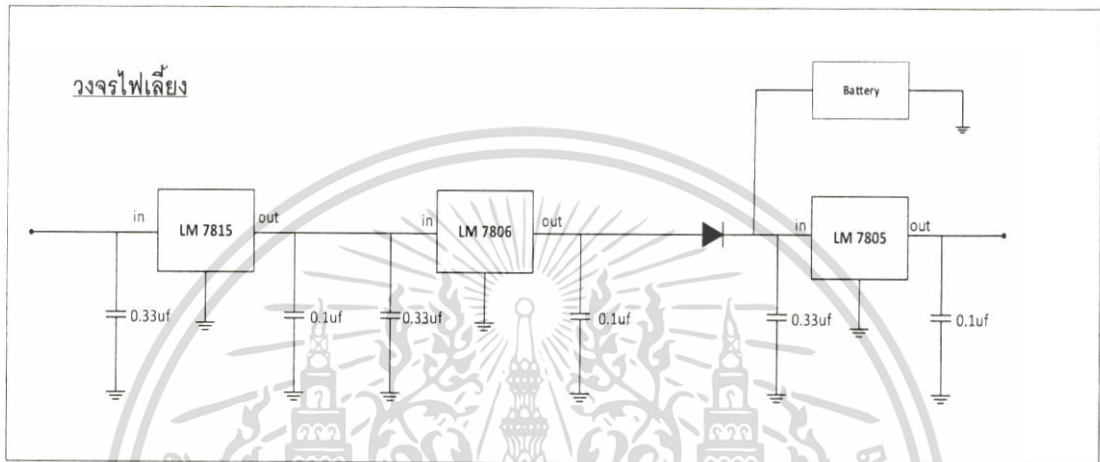
ในโครงการนี้เลือกใช้

$$C = 1000 \mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 +6 และ +15 โวลต์ แบบ standalone

ใช้วงจร Regulator สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 +6 และ +15 โวลต์ โดยใช้ IC เบอร์ LM7805, LM7806, LM7815 โดยทางด้านขาเข้ารับไฟมาจาก เซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับระบบควบคุมการทำงาน

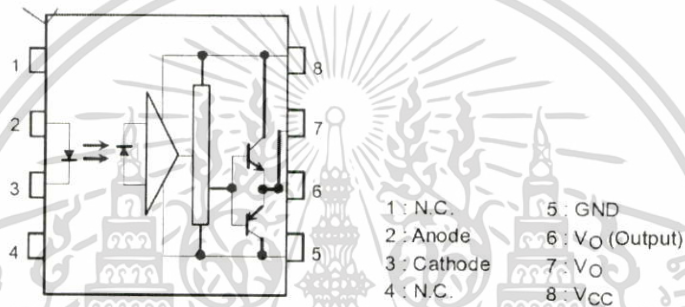
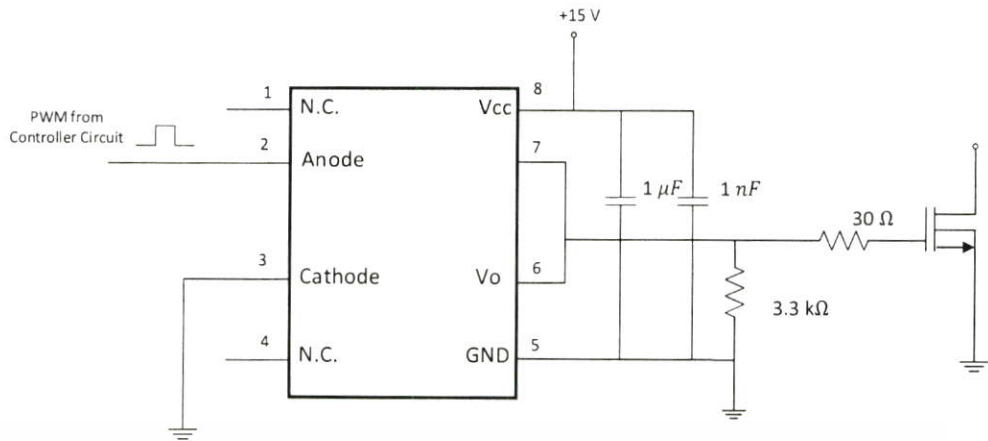


รูปที่ 3.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 +6 และ +15 โวลต์

### 3.2.3 วงจรขับเคลื่อนแบบแยกกันทางไฟฟ้า

ในการทำงานวงจรแปลงผันแบบทระดับแรงดัน จึงเป็นต้องมีวงจรขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการสวิตช์มอสเฟต ในช่วงที่สวิตช์ทำงานวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถให้พลังงานมากเพียงพอเพื่อให้สวิตช์ทำงานได้ตลอดช่วงการทำงาน ( $t_{on}$ ) ในขณะที่เดียวกันวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถไบแอสกลับเพื่อควบคุมสวิตช์ให้หยุดทำงานตลอด

ซึ่งวงจรขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมการปิด-เปิดของมอสเฟต นอกจากนี้วงจรขับเคลื่อนจะเป็นตัวขยายสัญญาณควบคุมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่สามารถขับสวิตช์ได้ เพื่อลดความเสียหายภายในวงจรจึงใช้ไอซีเบอร์ TLP250 เป็นชนิด Opto Isolated Gate Drive มีหน้าที่แยกไฟแรงสูงกับแรงต่ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Opto Isolator กับส่วนที่เป็น current boost โดยใช้แสงเป็นตัวกลางในการเชื่อมระบบโดยใช้แสงที่ได้ไปขับในส่วนของ current boost เพื่อขยายกระแสขึ้นให้มากขึ้นเพื่อขับมอสเฟตและขณะที่นำไปใช้งานต้องมีการต่อตัวต้านทาน เพื่อจำกัดกระแสเข้า Opto Isolator ด้วย วงจรขับเคลื่อนแสดงดังรูป 3.6



รูปที่ 3.4 วงจรขับเกต

### 3.2.4 วงจรที่ใช้ควบคุม

ใช้บอร์ด Arduino Nano 3.0 เป็นวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของ MPPT

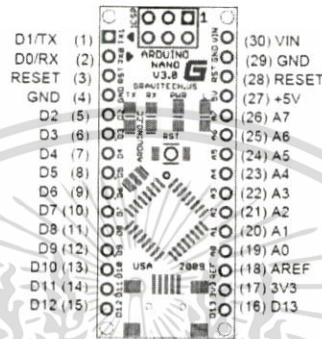
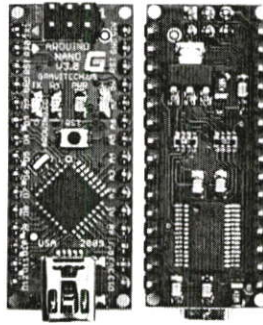
#### 3.2.4.1 Arduino Nano

Arduino Nano เป็นบอร์ดขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลเหมือนกับรุ่น UNO แต่มีจำนวน input/output น้อยกว่าเพราะต้องการให้มีขนาดเล็ก เวลาใช้งานอาจจะต่อกับ Prototype Board หรือ ต่อเชื่อมกับ PCB ที่สร้างขึ้นใช้งานเฉพาะกิจได้ และเช่นเดียวกับบอร์ด Arduino รุ่นอื่น Arduino Nano สามารถโปรแกรมได้โดยตรงผ่าน USB port โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์แยกต่างหากเพื่อ Upload โปรแกรม

#### 3.2.4.2 Arduino Nano 3.0

Arduino Nano 3.0 เป็น Arduino ที่ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 เช่นเดียวกับ Arduino Uno ความสามารถจึงเท่ากัน แตกต่างที่ Arduino Nano 3.0 ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โดยตัดส่วนของ Socket ที่ไม่จำเป็นออก และยังคงความสามารถในการติดต่อผ่าน USB port เหมือนบอร์ด Arduino ตัวใหญ่ไว้ อาจจะเรียกได้ว่า Arduino Nano 3.0 ตัวนี้ คือ Arduino Uno ขนาดย่อส่วนลงมา

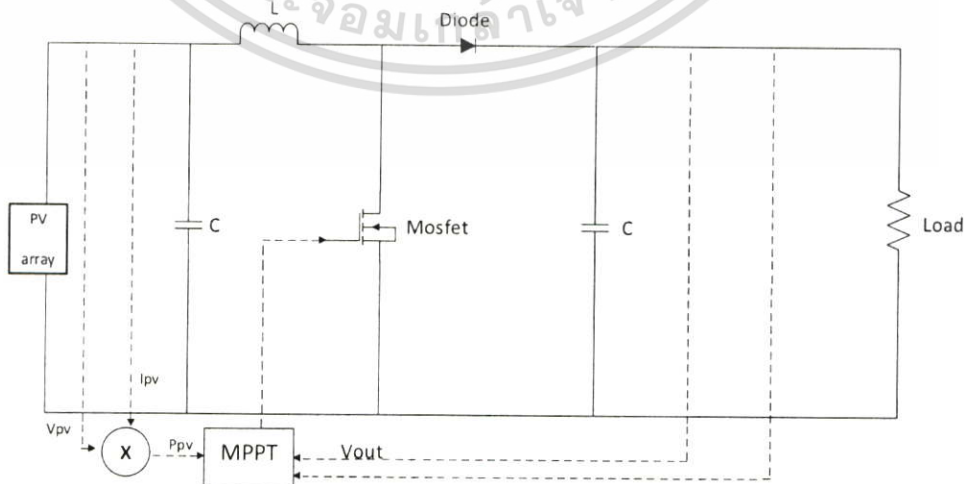
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างบอร์ด ARDUINO NANO 3.0

### 3.3 การวัดสัญญาณ (sensor)

ในการออกแบบการรับสัญญาณอินพุตของค่ากระแสและแรงดันสำหรับการติดตามจุดกำลังสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสอ้างอิงในการนำไปสร้างสัญญาณตัวดีไซเคิลสำหรับการทำงานของสวิตช์ของตัวแปลงผันแบบทบระดับ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ Arduino ที่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน +3.3 โวลต์ สำหรับใช้ในการประมวลผล วิธีการวัดสัญญาณดังรูป



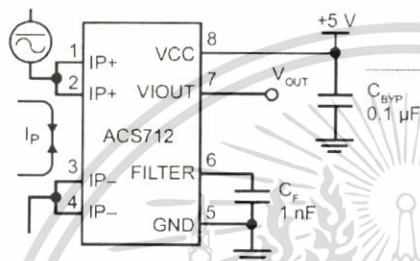
รูปที่ 3.6 วงจรวัดกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

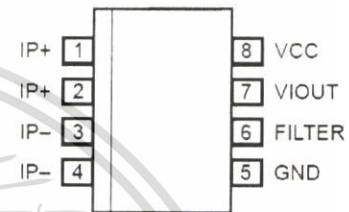
### 3.3.1 การวัดกระแสเข้าและออกโดยใช้ไอซีตรวจจับกระแส(Current Sensor)

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

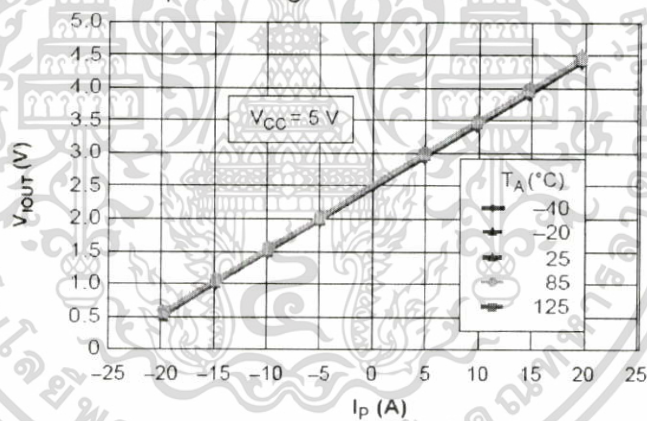
#### Typical Application



#### Pin-out Diagram



#### Output Voltage versus Sensed Current

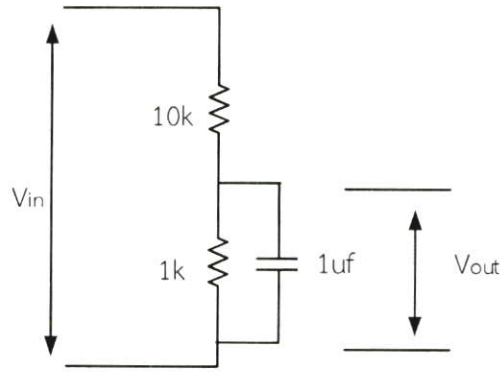


รูปที่ 3.7 วงจรวัดกระแสและแรงดัน

### 3.3.2 การวัดสัญญาณแรงดัน

ทำการวัดโดยการต่อขานานตัวต้านทานค่ามากระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวแปลงผันแบบทบระดับเพื่อทำการลดอัตราส่วนแรงดันให้ระดับที่ต้องการ 0-3 โวลต์เป็นอินพุตให้กับระบบควบคุม โดยใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

### 3.3.3 แรงดันขาเข้า ( $V_{in}$ )

การคำนวณหาค่าความต้านทานในวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า สำหรับวัดสัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นอินพุต ( $V_{in}$ ) ให้กับตัวควบคุม โดยมีขนาดแรงดันสูงสุด 55 โวลต์ ต้องการแรงดันสำหรับตัวควบคุม 0 - 5 โวลต์ แทนค่าในสมการ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (3.4)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5V}{15V} \quad (3.5)$$

ดังนั้น เลือกใช้  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$  ทำให้สามารถทำการวัดแรงดันขาเข้าได้สูงสุดประมาณ 55 โวลต์

### 3.3.4 แรงดันขาออก ( $V_{out}$ )

สำหรับวัดสัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) ของวงจรแปลงผันทบระดับให้กับตัวควบคุม โดยมีขนาดแรงดันสูงสุด 505 โวลต์ ต้องการแรงดันสำหรับตัวควบคุม 0 - 3.3 โวลต์ แทนค่าในสมการ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (3.6)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5V}{505V} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เลือกใช้  $R_1 = 1M\Omega$  และ  $R_2 = 10 k\Omega$  ทำให้สามารถทำการวัดแรงดันขาเข้าได้สูงสุดประมาณ 505 โวลต์

### 3.4 การประมวลผลส่วนโปรแกรมควบคุม

การประมวลผลของโปรแกรมควบคุมชุดตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เริ่มจาก Mode 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการรับค่าแรงดันเปิดวงจร( $V_{oc}$ ) จากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการแปลงค่าสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ A/D ในไมโครโปรเซสเซอร์แล้วทำการปรับแรงดันให้ได้ 70% ของ  $V_{oc}$  ซึ่งจะทำให้ระบบงานที่จุดใกล้แรงดัน mpp

2. ใน Mode 2 เป็นส่วนที่จะพิจารณาว่าขณะนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงหรือไม่ โดยการนำค่าแรงดันและกำลังไฟฟ้าก่อนหน้ามาตัดสินใจ และเมื่อแรงดัน  $V_{oc}$  มีค่าคงที่แล้ว จะไปสู่ Mode 3 ต่อไป

3. ใน Mode 3 เป็นการทำงานแบบเทคนิคการรบกวนและการสังเกต Perturb & Observe (P&O) มีขั้นตอนคือ

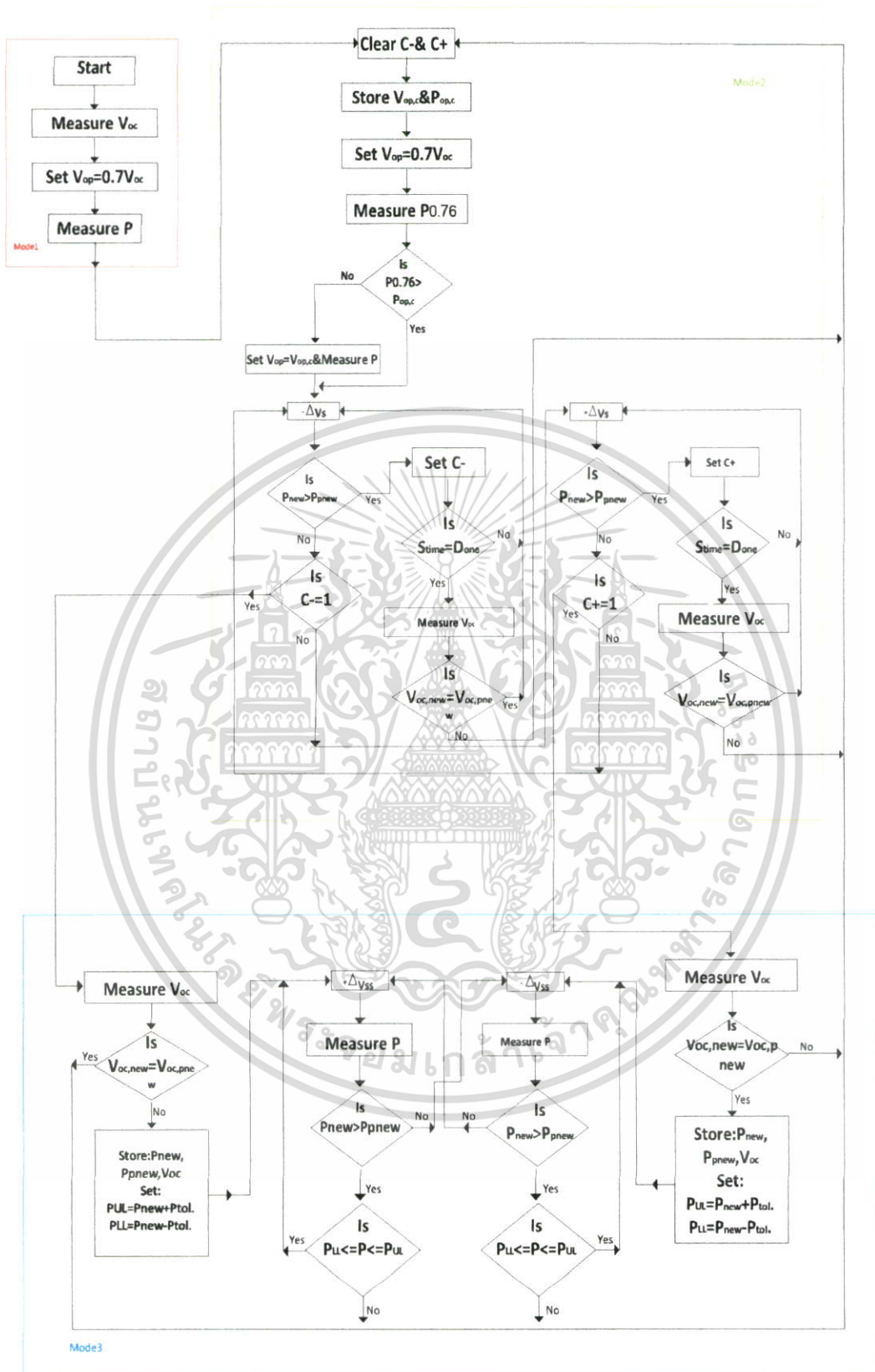
- ทำการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์
- นำค่าแรงดันและกระแสที่ค่าไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ นำค่ากำลังงานค่าแรกเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิง

- เมื่อค่าของความเข้มแสง อุณหภูมิ หรือจุดทำงานเปลี่ยนไป ค่าของกระแสและแรงดันจะเปลี่ยนไปด้วยเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าใหม่เข้ามาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันและกระแสค่าแรกที่เก็บได้ เพื่อทำการปรับค่าตัวดีไซเคิลให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้จุดที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าแรงดันและกระแสที่รับเข้ามาใหม่ก็จะเป็นค่าอ้างอิงใหม่ต่อไป

- ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่มีทิศทางเดิม และทำการเก็บค่ากำลังไฟฟ้าใหม่นี้ไว้เป็นกำลังไฟฟ้าอ้างอิงแทน แล้วจึงทำการเปรียบเทียบกับจุดทำงานใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

- หากกำลังไฟฟ้าใหม่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าเดิม (ความชันเป็นลบ)ก็จะเปลี่ยนจุดการทำงานไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิม จนกว่าค่ากำลังไฟฟ้านำมาเปรียบเทียบกับค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง

- โปรแกรมจะทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ตลอดเวลาและเมื่อค่ากำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่มากกว่าที่กำหนด(จะเกิดในสภาวะที่ ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง) โปรแกรมจะกลับไปทำงานที่ Mode 2 และเมื่อความเข้มแสงคงที่โปรแกรมก็จะทำงานที่ Mode 3 อีกครั้งไปเรื่อยๆ ดังแสดงใน Flowchart



รูปที่ 3.9 FLOWCHART การทำงานของ MPPT ที่นำเสนอ

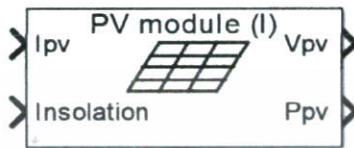
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

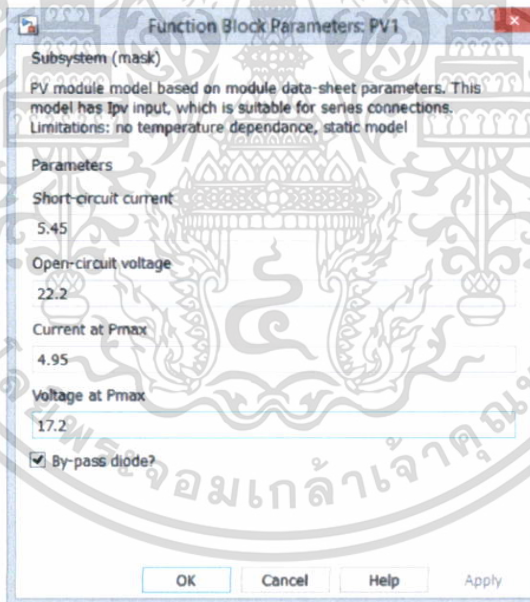
#### 4.1 การสร้างแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ PV model

ในการทดลองนี้ได้ใช้แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์



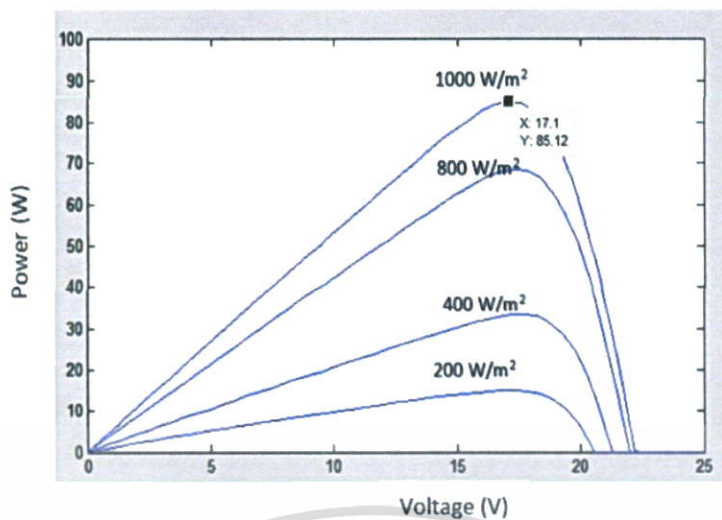
รูปที่ 4.1 แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

ตั้งค่า parameter ของ PV module ดังรูป

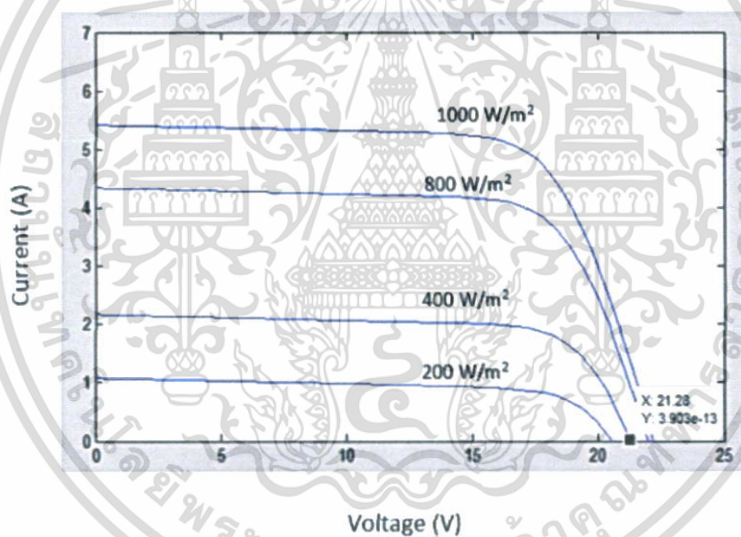


รูปที่ 4.2 แสดงการตั้งค่าของ PV MODULE ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ



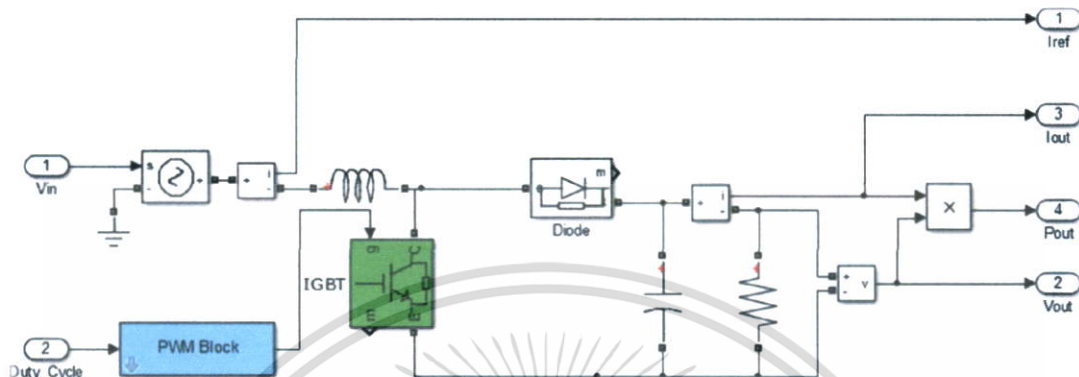
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ ความเข้มแสงค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การสร้างวงจร Boost converter

สร้างวงจร boost converter โดยใช้อุปกรณ์จาก SimPowerSystems Library

ดังรูปที่แสดง



รูปที่ 4.5 แบบจำลอง วงจร BOOST CONVERTER ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

โดยค่าparameter ที่ใช้คือ

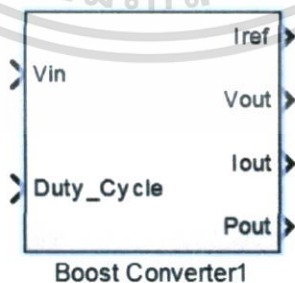
Inductance =  $900e-6$  H

Capacitor =  $2000e-6$  F

Resistance = 15 ohm

PWM Switching Frequency = 10 kHz

ทำการรวมวงจร Boost Converter เป็น Subsystem

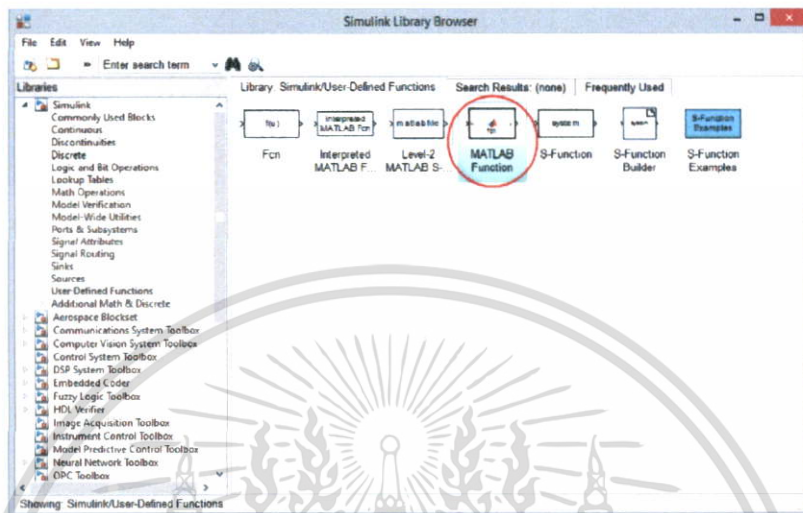


รูปที่ 4.6 SUBSYSTEM ของวงจร BOOST CONVERTER ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 สร้างวงจร MPPT (P&O)

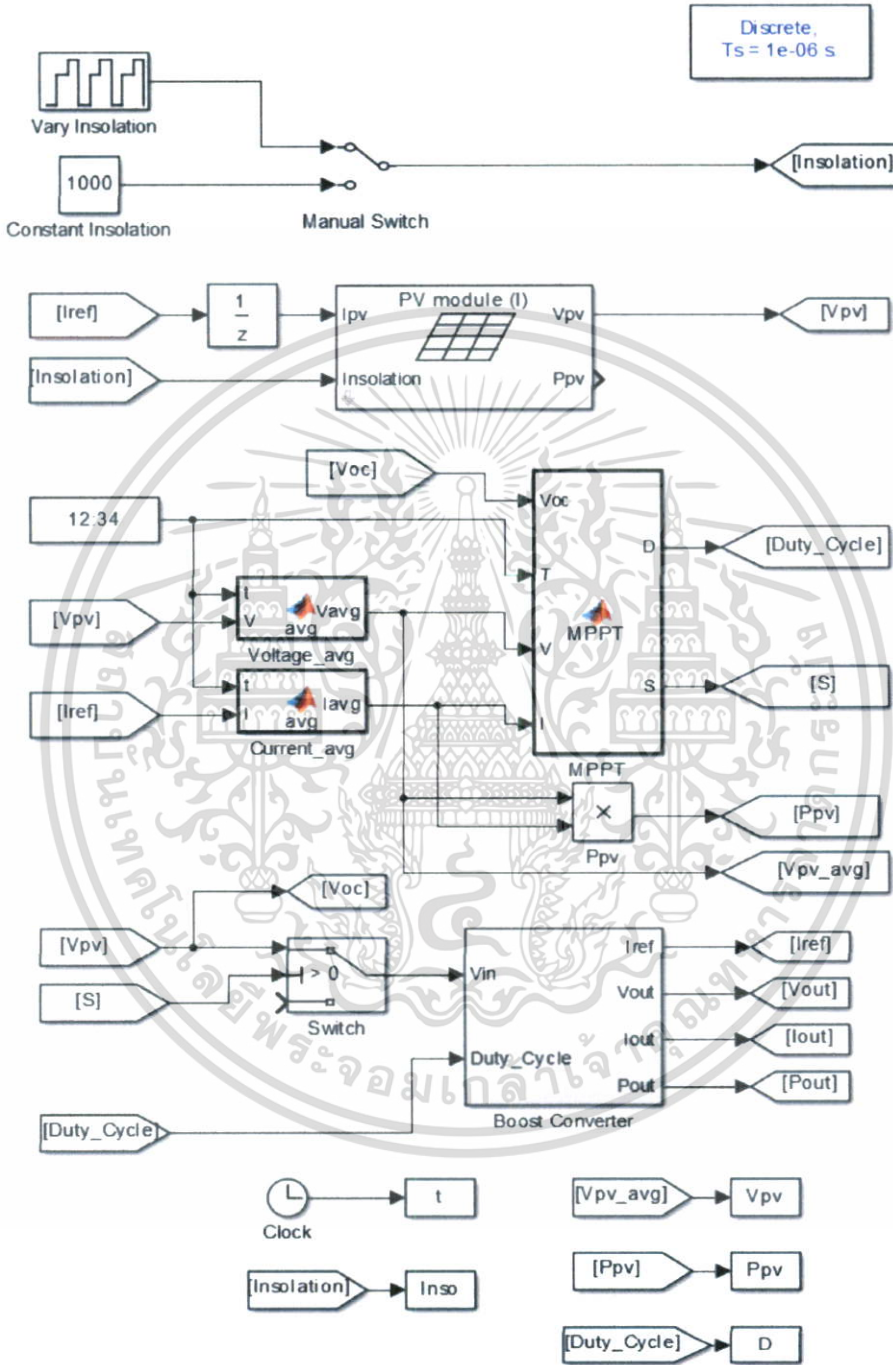
ในการทดลองนี้จะสร้างวงจร MPPT โดยใช้ Block MATLAB Function ในการคำนวณค่า Duty Cycle จาก จากกระแสและแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็น input ของ MPPT เลือกใช้ MATLAB Function ดังรูป



รูปที่ 4.7 BLOCK-MATLAB FUNCTION ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

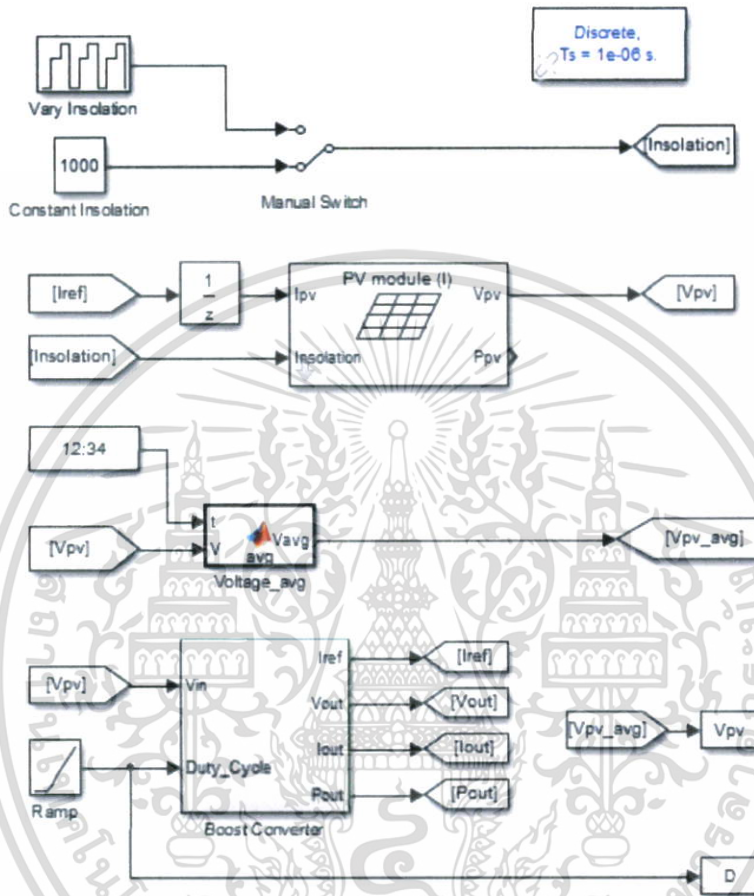
4.4 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และ Boost converter



รูปที่ 4.8 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และ BOOST CONVERTER ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

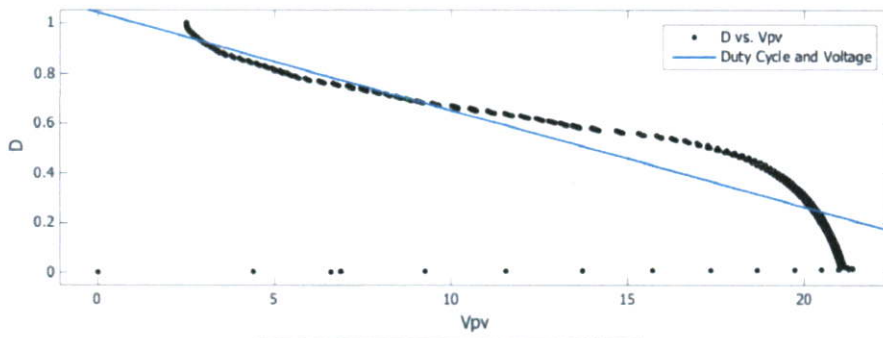
เนื่องจากในขั้นตอนการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O และ Fractional Open circuit Voltage มีขั้นตอนที่ต้องตั้งค่าแรงดันจุดทำงานไปที่ 70% และ 76% ของแรงดันเปิดวงจร แต่ค่า Output ของ MPPT นั้นเป็นค่า Duty Cycle และจากการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ได้ความสัมพันธ์ของ แรงดัน( $V_{pv}$ ) และค่า Duty Cycle



รูปที่ 4.9 วงจรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของแรงดัน( $V_{pv}$ ) และค่า DUTY CYCLE

ทำ Curve Fitting เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน( $V_{pv}$ ) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial ดีกรี 1 2 3 และ 4

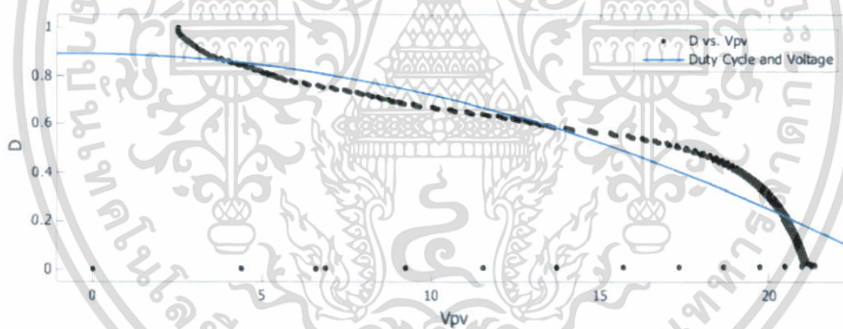
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Linear model Poly1:  
 $f(x) = p1 \cdot x + p2$   
 Coefficients (with 95% confidence bounds):  
 $p1 = -0.03881 (-0.03884, -0.03878)$   
 $p2 = 1.041 (1.04, 1.041)$

Goodness of fit:  
 SSE: 1.212e+04  
 R-square: 0.8587  
 Adjusted R-square: 0.8587  
 RMSE: 0.1085

รูปที่ 4.10 CURVE FITTING ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า DUTY CYCLE โดยใช้ สมการ POLYNOMIAL DEGREE 1

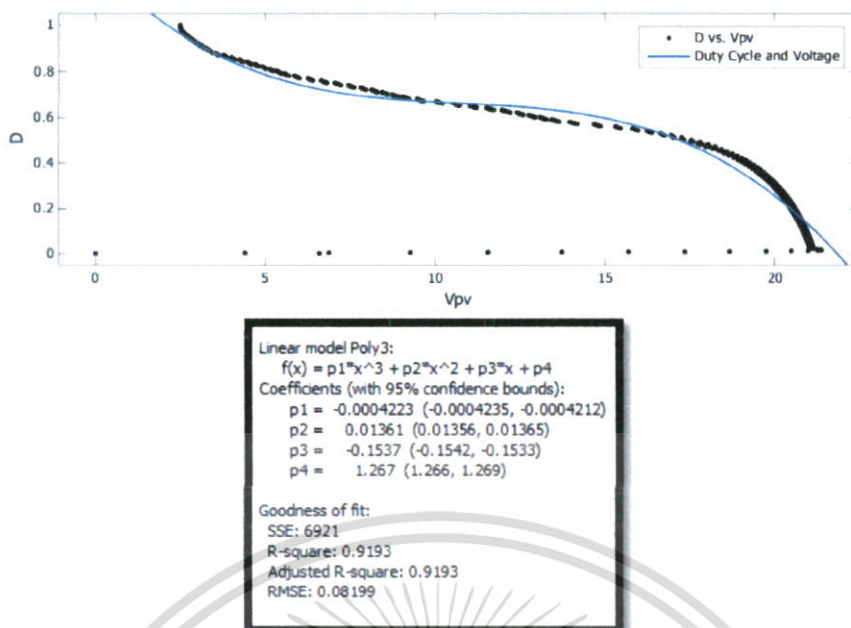


Linear model Poly2:  
 $f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$   
 Coefficients (with 95% confidence bounds):  
 $p1 = -0.0015 (-0.001507, -0.001494)$   
 $p2 = -0.002035 (-0.002205, -0.001865)$   
 $p3 = 0.8908 (0.89, 0.8916)$

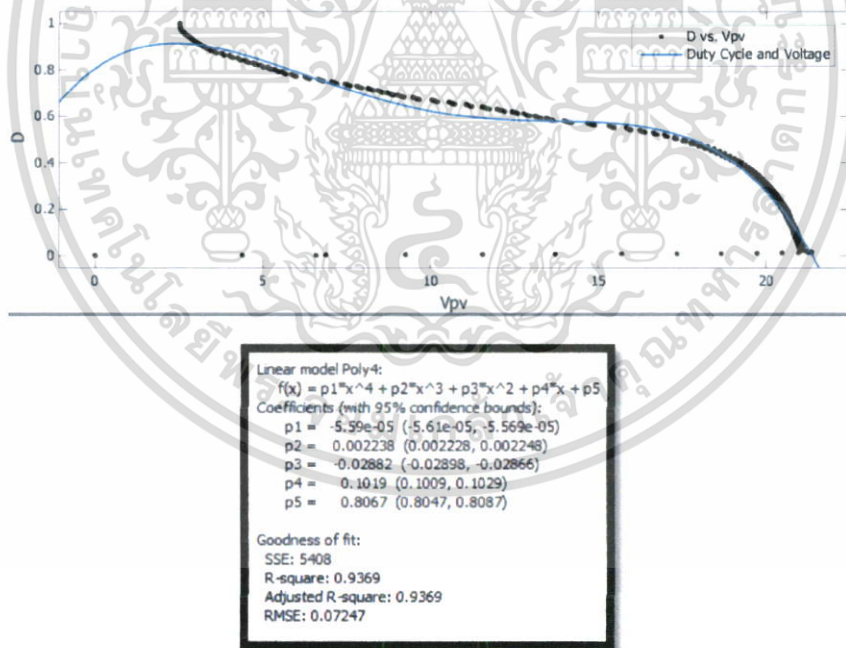
Goodness of fit:  
 SSE: 1.028e+04  
 R-square: 0.8802  
 Adjusted R-square: 0.8802  
 RMSE: 0.0999

รูปที่ 4.11 CURVE FITTING ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า DUTY CYCLE โดยใช้ สมการ POLYNOMIAL DEGREE 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 CURVE FITTING ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า DUTY CYCLE โดยใช้ สมการ POLYNOMIAL DEGREE 3



รูปที่ 4.13 Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน(Vpv) และค่า Duty Cycle โดยใช้ สมการ Polynomial Degree 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า การทำ Curve Fitting ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน( $V_{pv}$ ) และค่า Duty Cycle ที่ให้ผลลัพธ์แม่นยำและเหมาะสมก็คือ Polynomial Degree 3 ทำให้ได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน( $V_{pv}$ ) และค่า Duty Cycle เป็น

$$D(V_{pv}) = C_1 V_{pv}^3 + C_2 V_{pv}^2 + C_3 V_{pv} + C_4 \quad (3.7)$$

เมื่อ

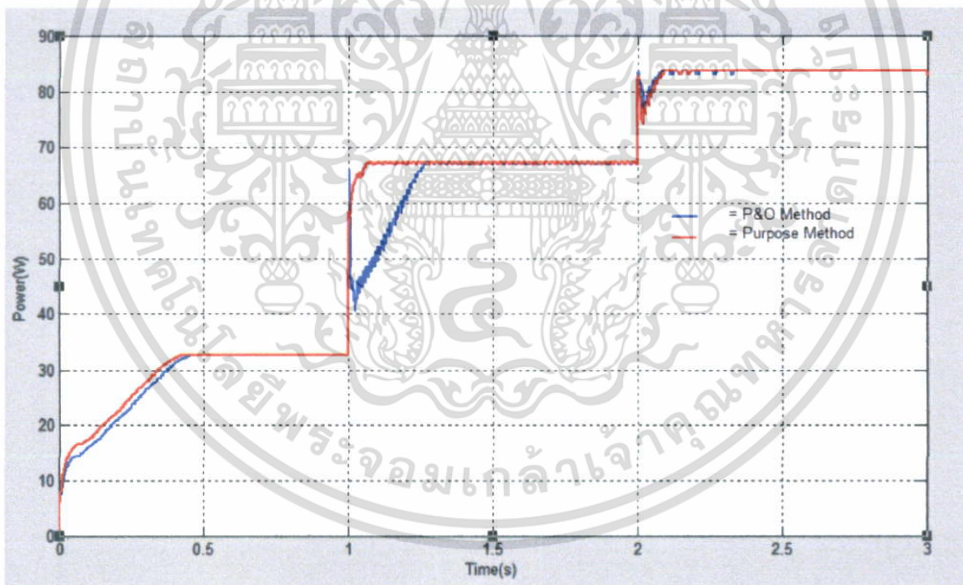
$$C_1 = -0.0004223$$

$$C_2 = 0.01361$$

$$C_3 = -0.1537$$

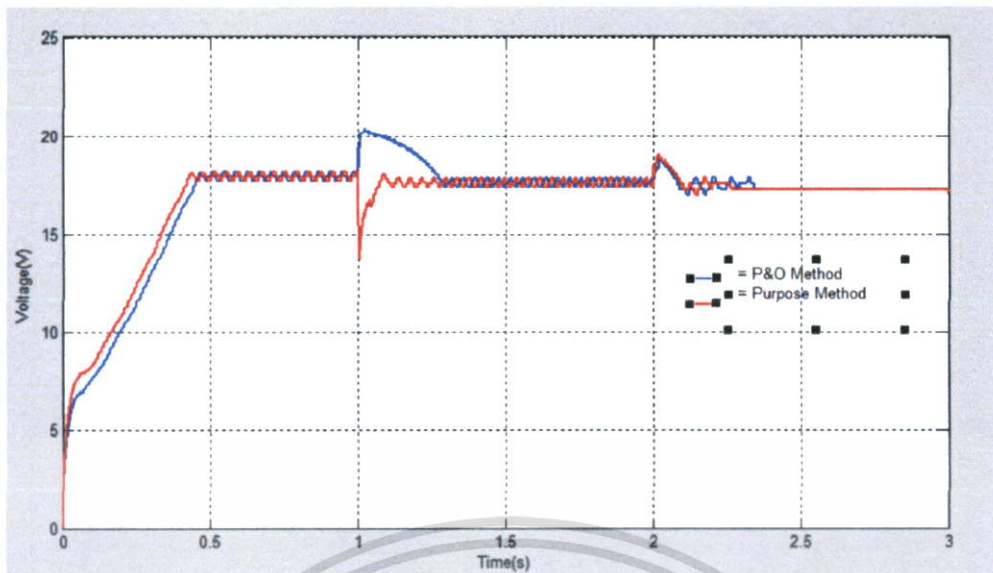
$$C_4 = 1.267$$

ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ

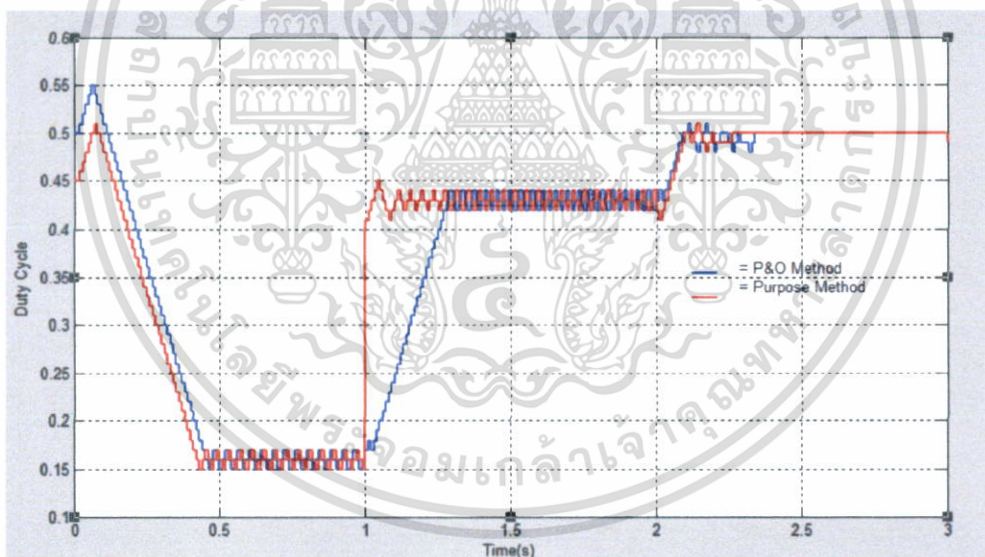


รูปที่ 4.14 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (แรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา)

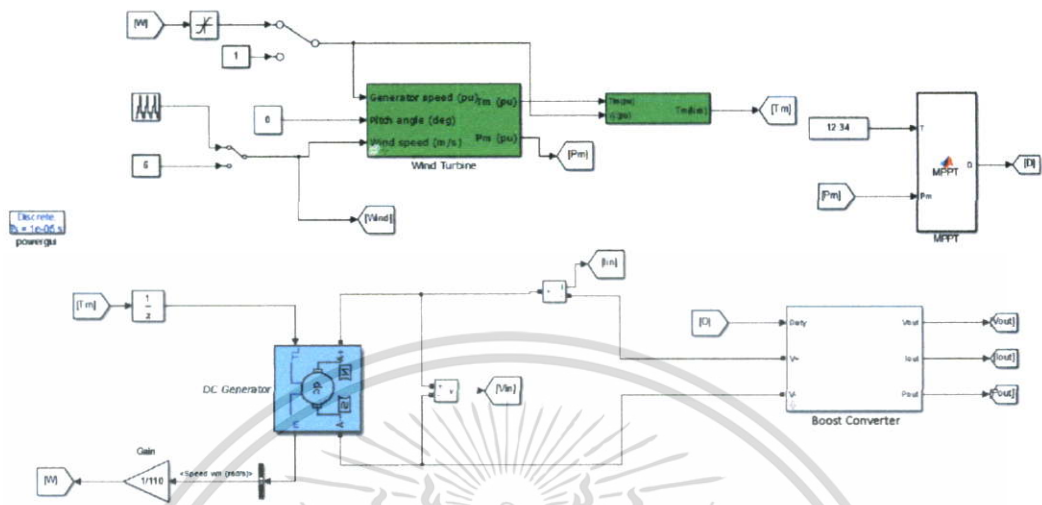


รูปที่ 4.16 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (Duty Cycle เทียบกับเวลา)

จากการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอ สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วกว่า P&O โดยเฉพาะช่วงที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงมาก เทคนิคที่นำเสนอจะทำการปรับ Duty Cycle เพื่อให้ได้แรงดันที่ 70% ของแรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด(MPP) ทำให้วิธีการที่นำเสนอสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงได้ดีกว่าเทคนิค P&O

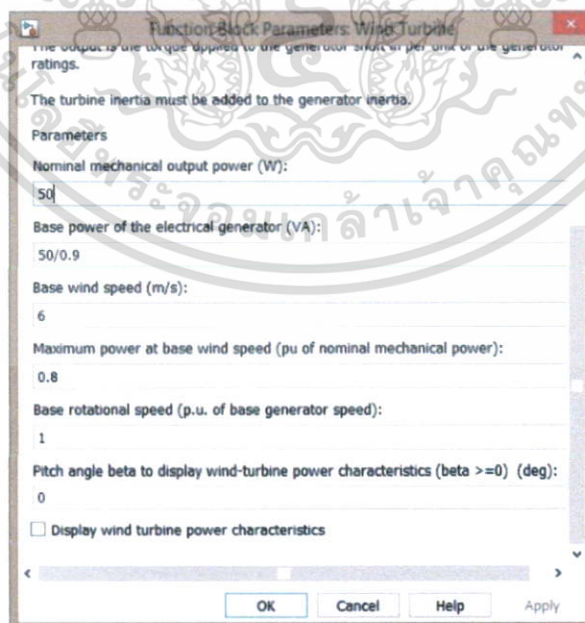
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ กังหันลม และ Boost converter



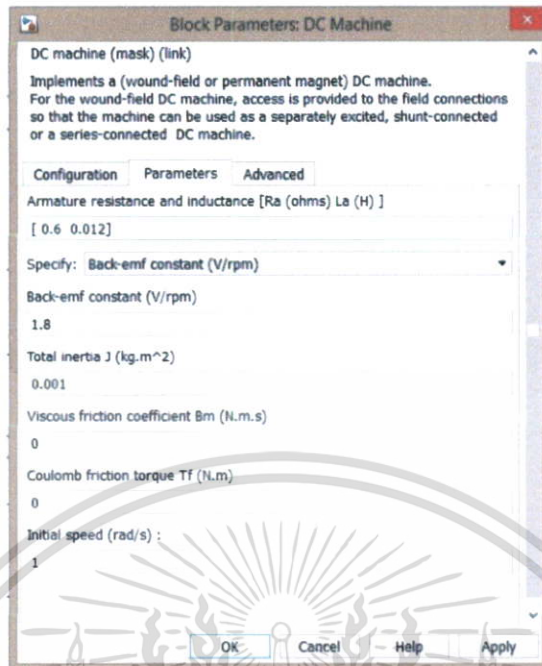
รูปที่ 4.17 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ กังหันลม และ BOOST CONVERTER ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

การตั้งค่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s



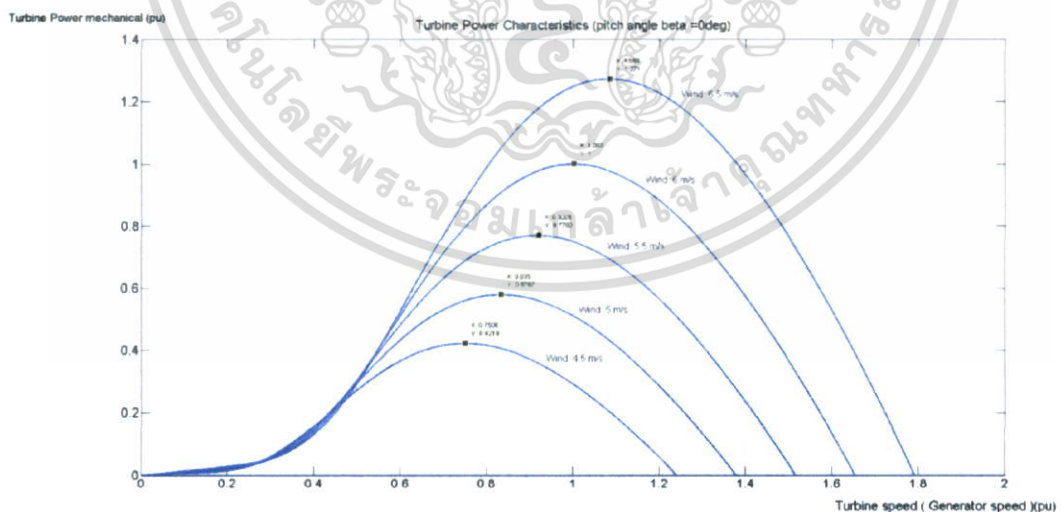
รูปที่ 4.18 การตั้งค่ากังหันลมในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



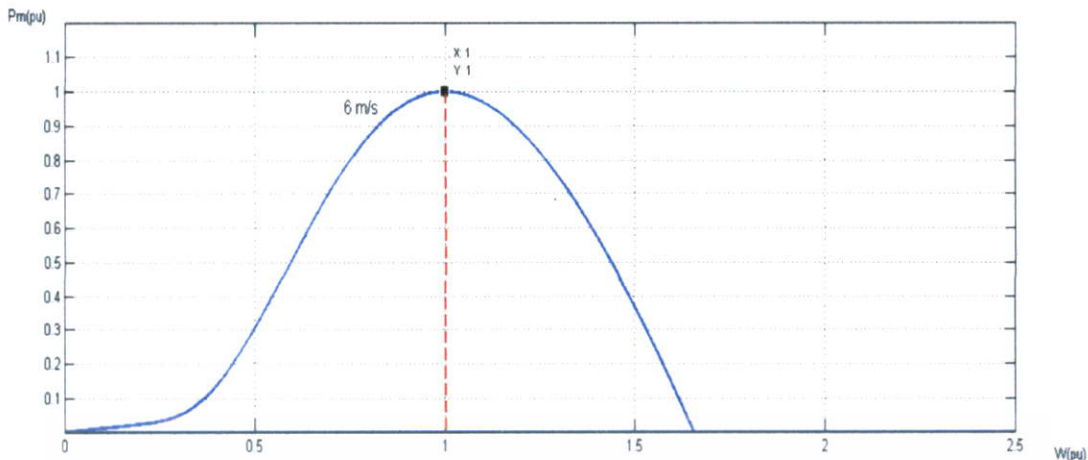
รูปที่ 4.19 การตั้งค่า DC GENERATOR ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

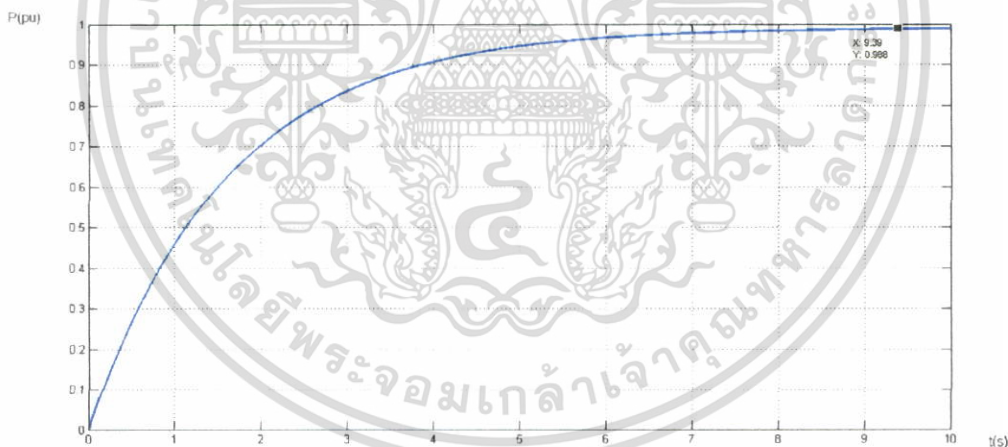


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงคุณลักษณะระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต กับ ความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์ยูนิต ที่ความเร็วลมค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

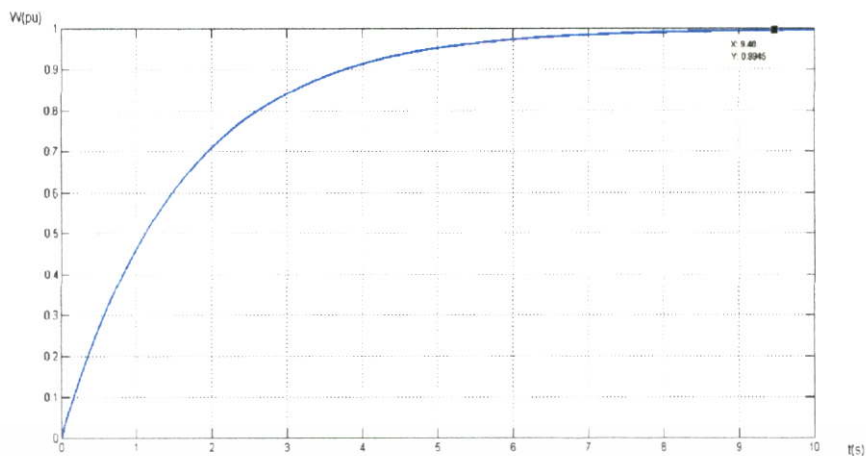


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงคุณลักษณะระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ กับ ความเร็วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s  
ผลการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

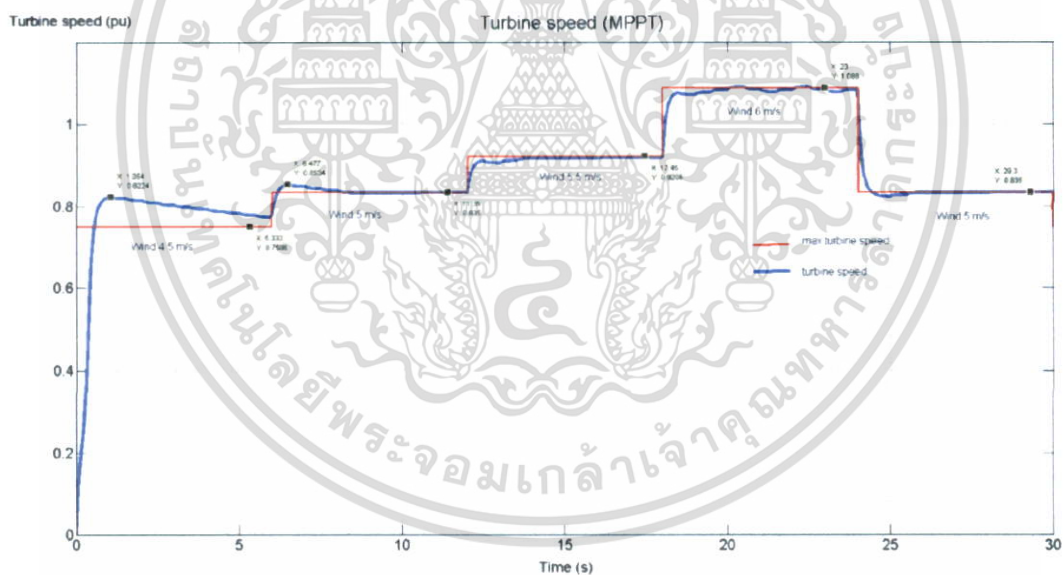


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่ากำลังทางกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่เกิดจากการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมคงที่ 6m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

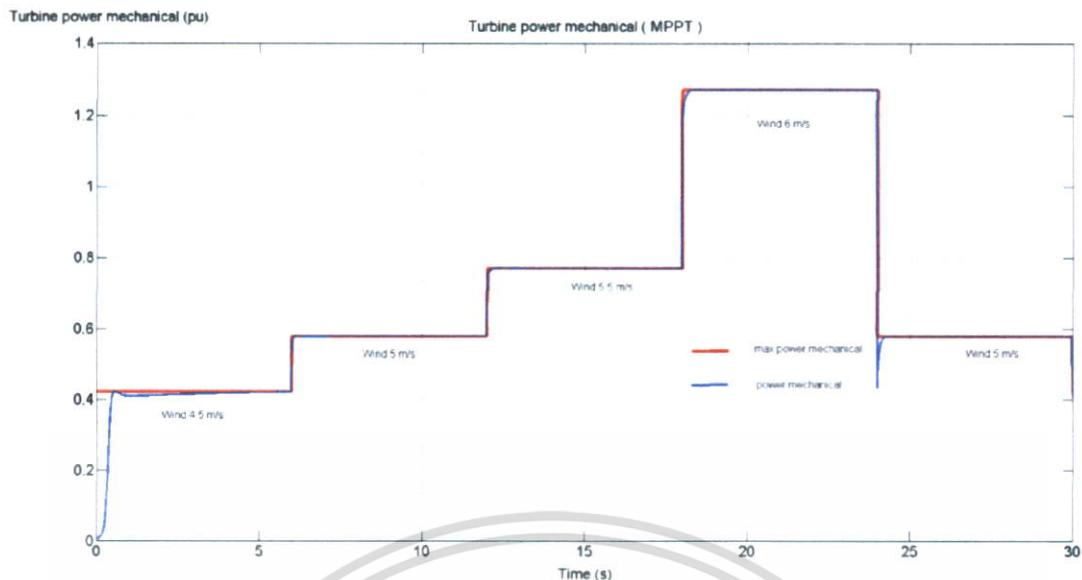


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าความเร็วการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ที่เกิดจากการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมคงที่ 6M/S

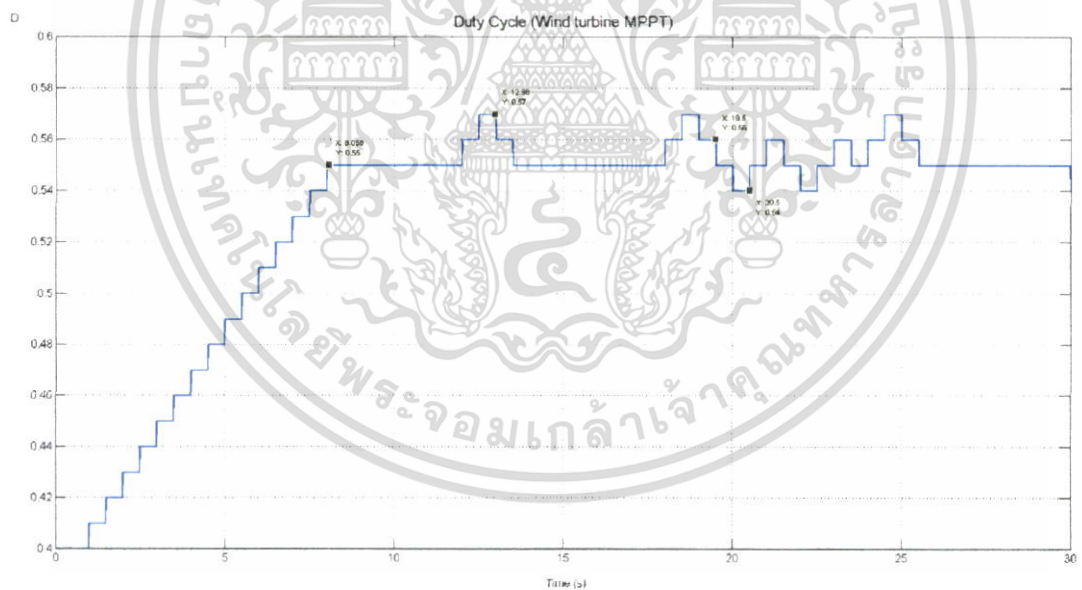


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วยเปอร์เซ็นต์กับเวลา ที่ได้จากการทดลองด้วยการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังทางกลของกังหันลมผลิตไฟฟ้ากับเวลา ที่ได้จากการทดลองด้วยการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด



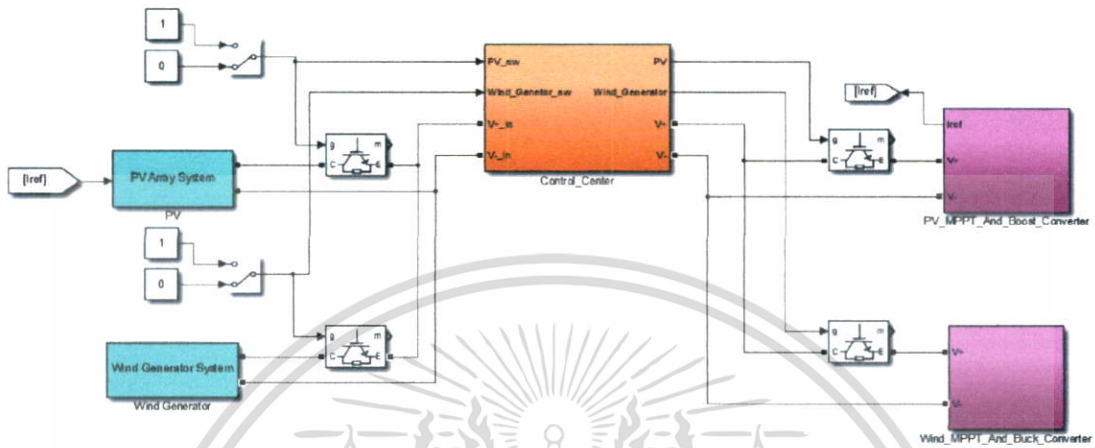
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า DUTY CYCLE เทียบกับเวลา ที่เกิดการจำลองการตามรอยไฟฟ้าสูงสุด

จากการจำลองการทำงานในโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ถูกต้องตามคุณลักษณะของกังหันลม โดยใช้เทคนิค P&O ร่วมกับวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า(Boost Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

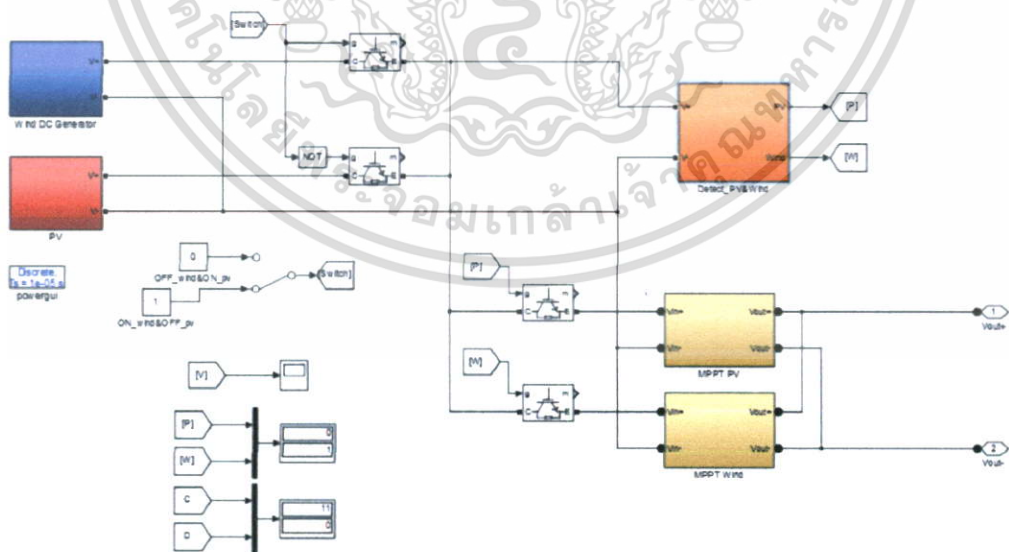
#### 4.6 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และกังหันลม

โดยมี บล็อก Control Center ทำหน้าที่วิเคราะห์และตัดสินใจว่าแหล่งจ่ายที่ต่ออยู่นั้นเป็น เซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลม เพื่อทำการเลือกวงจร MPPT ให้ถูกต้องตามชนิดแหล่งจ่าย



รูปที่ 4.27 วงจรการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์ของ MPPT ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์ และกังหันลมในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

#### 4.7 วงจรการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.28 วงจรการจำลองการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้าโปรแกรม MATLAB SIMULINK

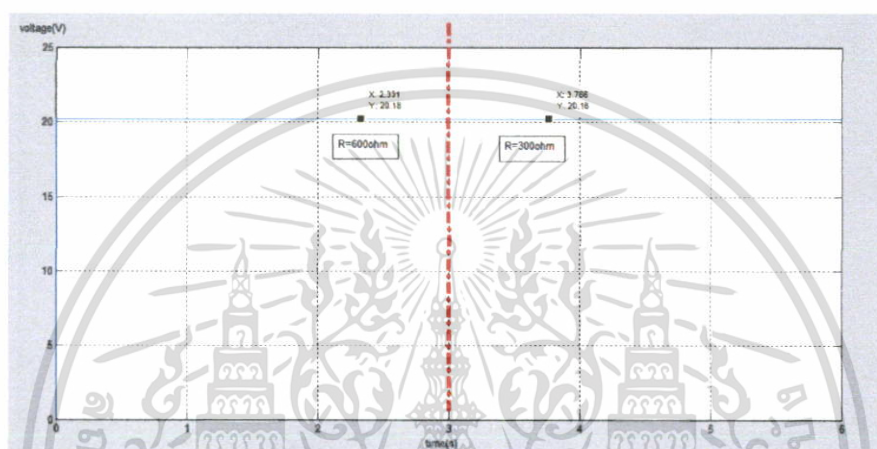
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.1 หลักการการตรวจจับ

แนวคิดหลักการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดใดนั้นคือผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโพลดที่มีการเพิ่มหรือลด ว่ามีผลต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และ กังหันลมผลิตไฟฟ้าอย่างไร

4.7.2 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโพลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า

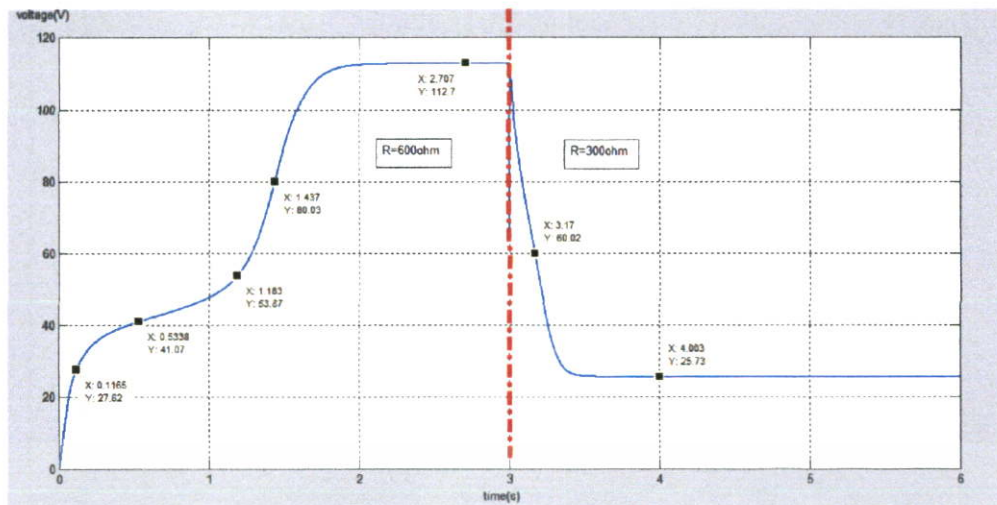
4.7.2.1 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโพลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เมื่อทำการจำลองโดยการลดโพลดลงจากเดิม(ต่อโพลดขนานกับโพลดเดิมเพื่อลดโพลดลง)



รูปที่ 4.29 กราฟผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโพลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโพลด (โพลดลดลงจากเดิม) จะมีผลกระทบต่อระดับแรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์น้อยมาก แสดงว่าระดับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโพลด

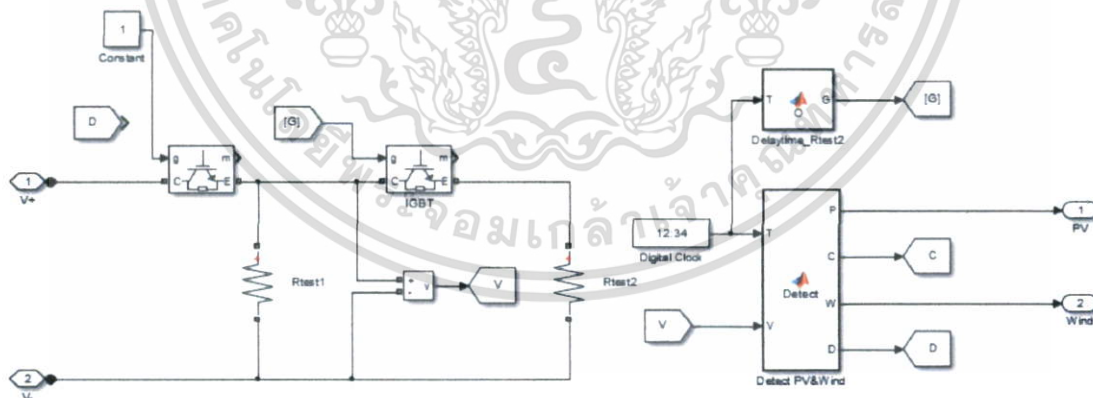
4.7.2.2 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโพลดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เมื่อทำการจำลองโดยการลดโพลดลงจากเดิม(ต่อโพลดขนานกับโพลดเดิมเพื่อลดโพลดลง)



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เมื่อทำการจำลองโดยการลดโหลดลงจากเดิม ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

จากกราฟจะเห็นว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าต้องใช้เวลาดังหนึ่งก่อนที่ระดับแรงดันจะเข้าสู่สภาวะคงตัวและเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วทำการลดโหลดลงจะเห็นว่าระดับแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าระดับแรงดันของกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างมาก

#### 4.8 วงจรการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้ารูปแบบการ ซิมวงจรถวจจับ



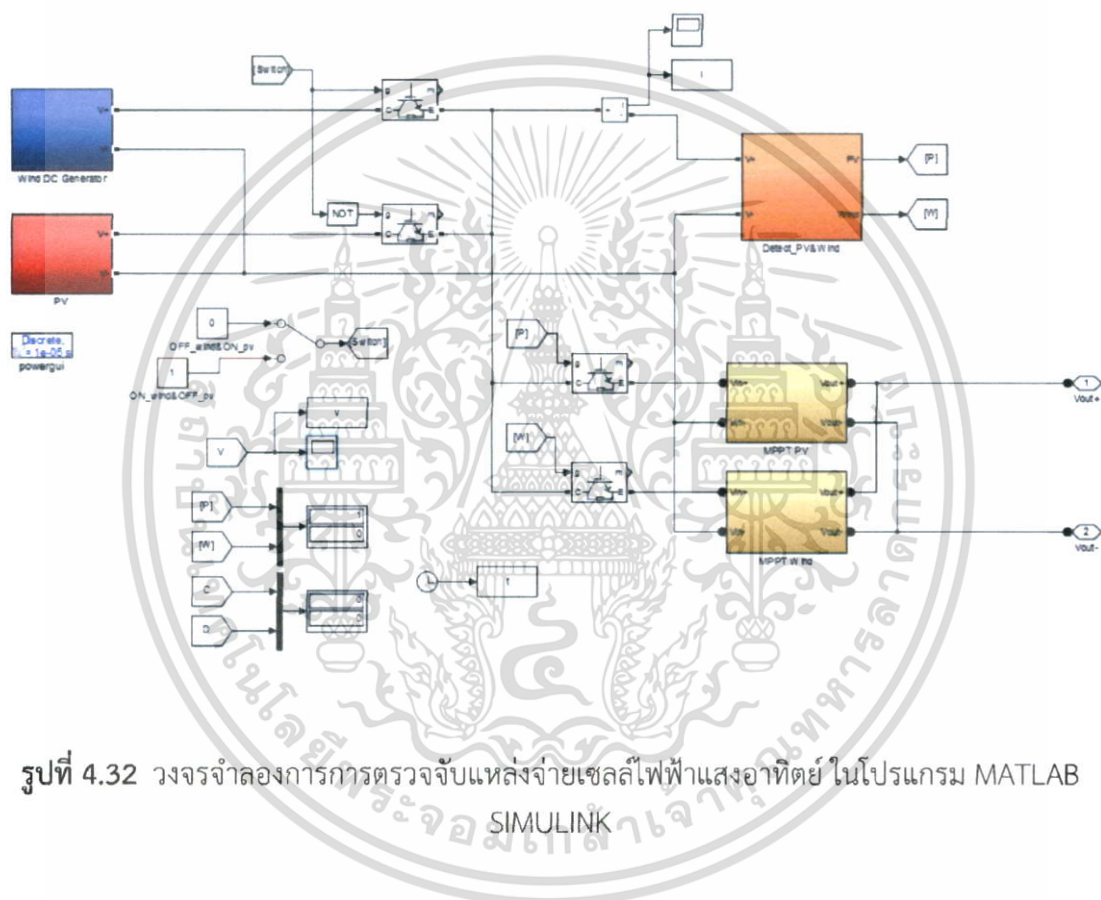
รูปที่ 4.31 วงจรถวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้ารูปแบบการ ซิมวงจรถวจจับ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

หลักการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายใดคือ ต่อโหลด Rtest1 ก่อนและรอเวลาชั้กพักเพื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวจึง ต่อโหลด Rtest2 เข้าไปเพื่อสัดขนาดของโหลดรวมและตัวจับว่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำมาวิเคราะห์ตามคุณลักษณะที่จำลองมาว่าเป็นแหล่งจ่ายชนิดใดโดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงดันที่ลดลง และนับผ่านตัวแปล c จนเมื่อวิเคราะห์ได้จะส่งค่า 1 ออกที่ p และ 0 ออกที่ w เมื่อเป็นเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ หรือจะส่งค่า 0 ออกที่ p และ 1 ออกที่ w เมื่อเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อที่จะไป on mppt ของแหล่งจ่ายชนิดนั้น และเมื่อเลือกได้จะส่งค่า d=0 ออกมาเพื่อตัดวงจรตรวจจับออก

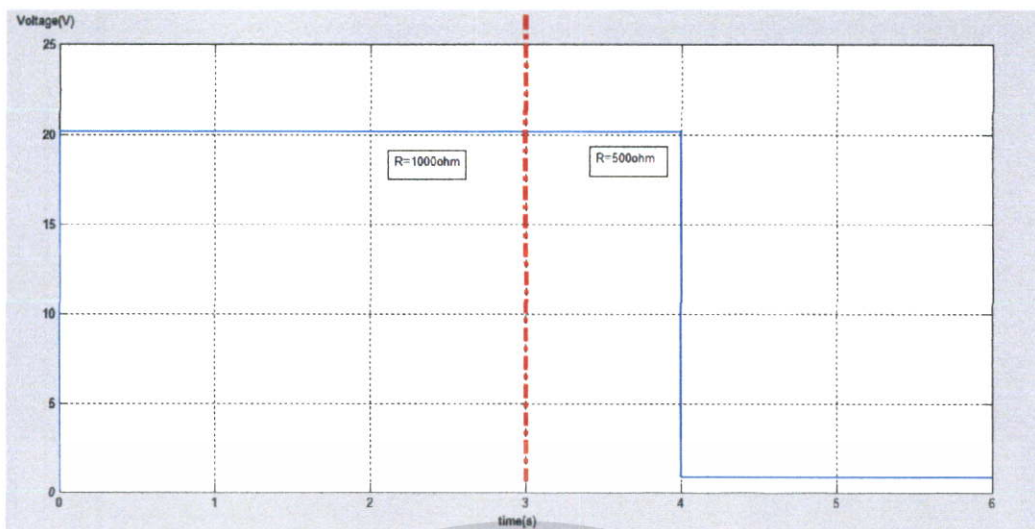
การเลือก Rtest นั้นต้องดูแหล่งกำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันของแหล่งจ่ายด้วย เนื่องจากจะทำให้เกิดกระแสสูง และต้องดูว่าเมื่อ Rtest1 และ Rtest2 ขนานกัน ค่า R รวมต้องไม่น้อยเกินไป เนื่องจากจะเกิดกระแสพุ่งสูง

#### 4.8.1 การตรวจจับแหล่งจ่ายเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์

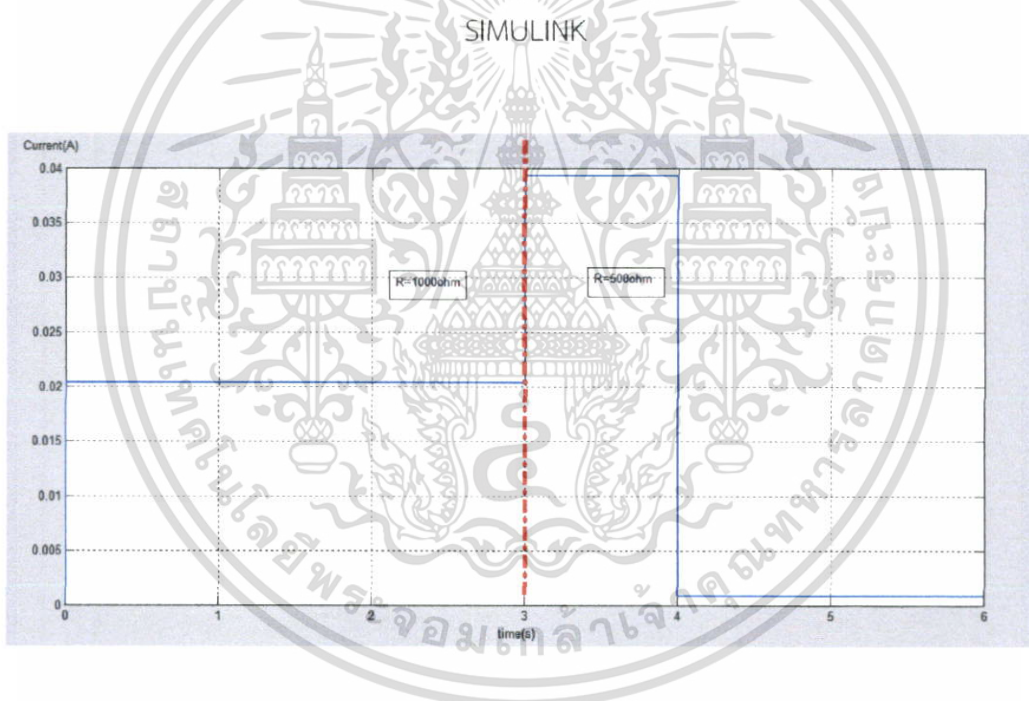


รูปที่ 4.32 วงจรจำลองการการตรวจจับแหล่งจ่ายเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



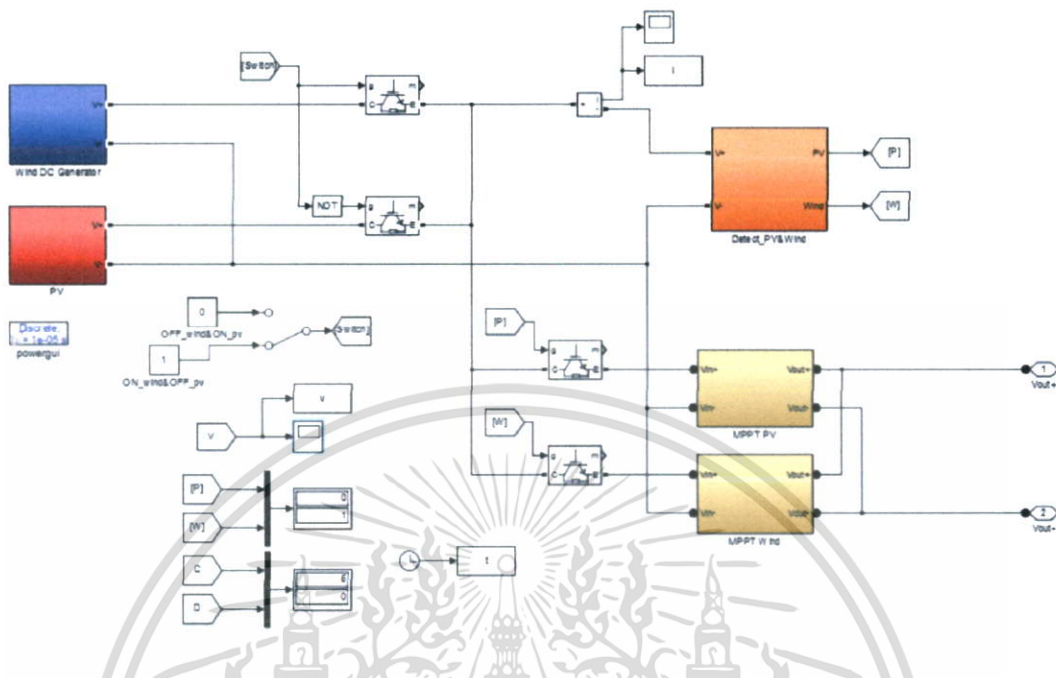
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB



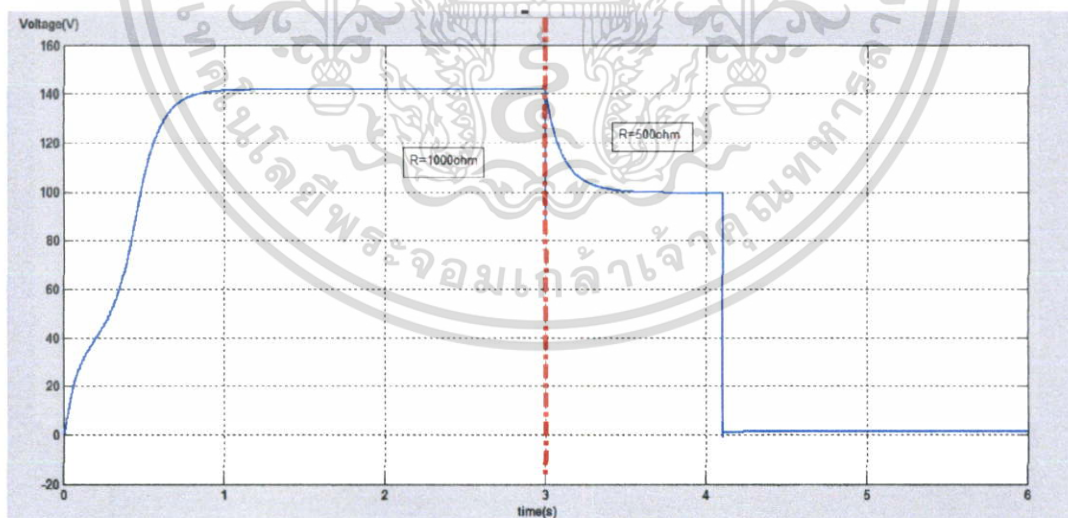
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 การตรวจจับแหล่งจ่ายกักหน้ลผลิตไฟฟ้า

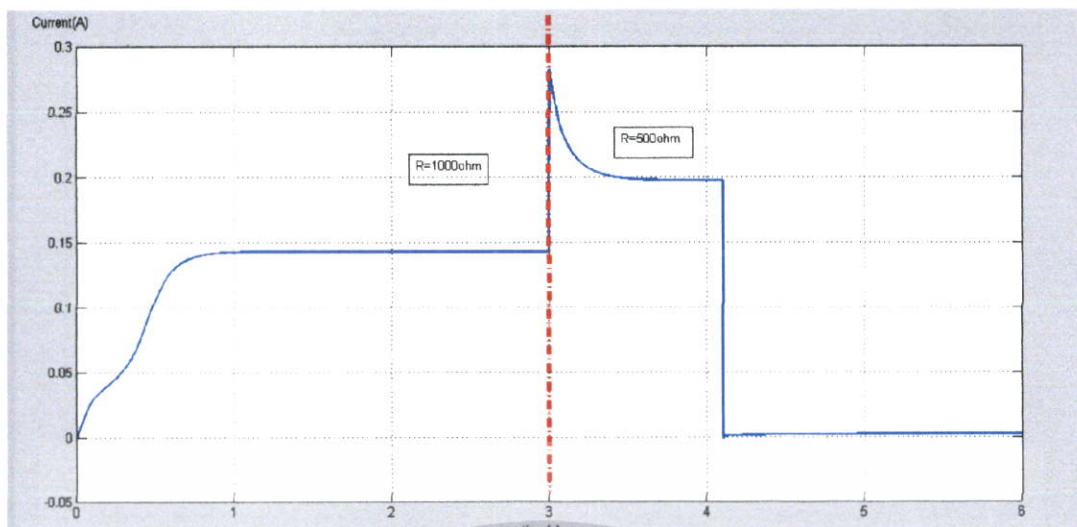


รูปที่ 4.35 วงจรจำลองการการตรวจจับการตรวจจับแหล่งจ่ายกักหน้ลผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

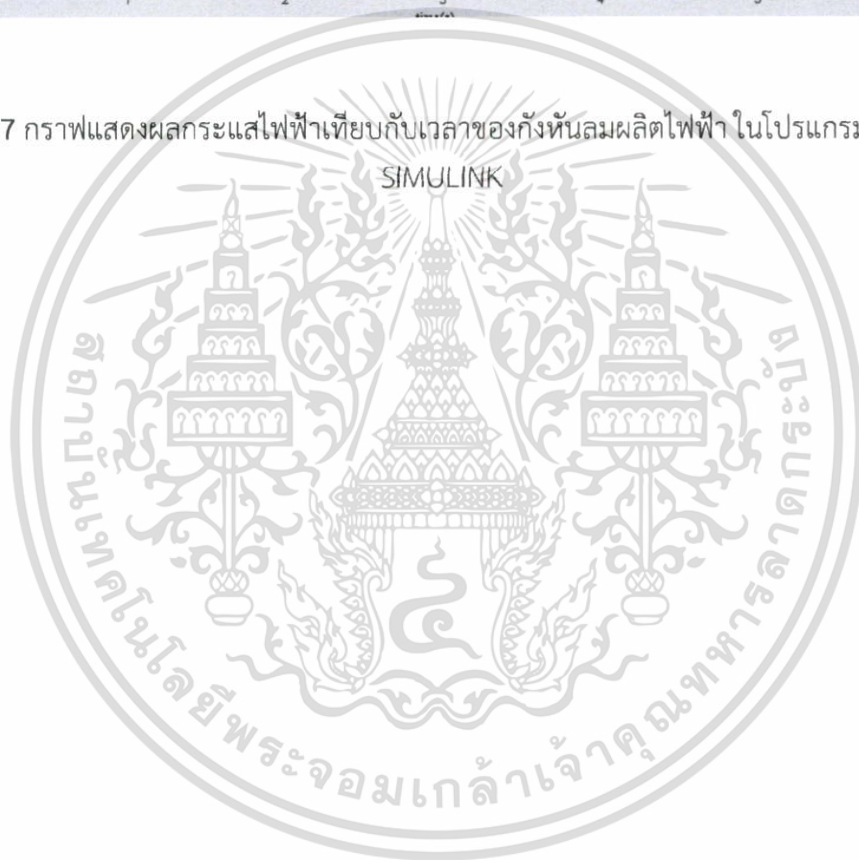


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาของกักหน้ลผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาของกัณฑ์ลผลิตไฟฟ้า ในโปรแกรม MATLAB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาแรงดันขณะเปิดวงจร กระแสลัดวงจร แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ จุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ในขณะนั้นโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ ดังรูปที่ 5.1

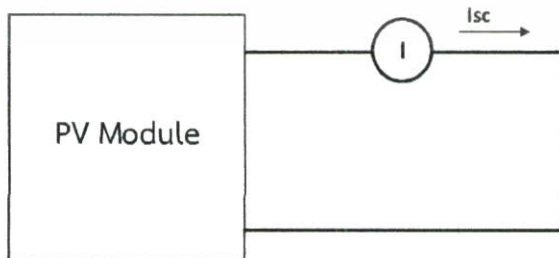
#### 5.1 การทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

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. ต่อโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ปรับความต้านทานและวัดค่ากระแสและแรงดันในทุกขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ดังรูปที่ 5.1 ค)
4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 – 3 มาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน และ แรงดันกับกระแส ที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์

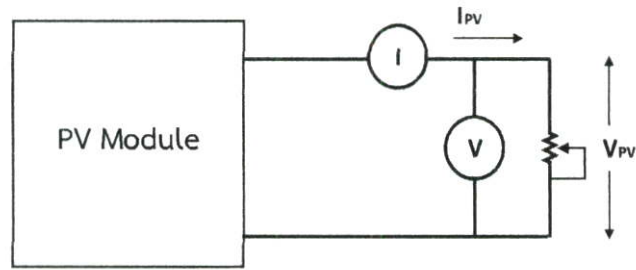


ก) การวัดแรงดันขณะเปิดวงจร



ข) การวัดกระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค) การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

### รูปที่ 5.1 การวัดคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดความเข้มแสงจะใช้โซล่าพาวเวอร์มิเตอร์ (Solar Power Meter) ในการวัดความเข้มแสงจากแสงดวงอาทิตย์ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ ) แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 โซล่าพาวเวอร์มิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 5.1.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการทดลองที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 400 วัตต์/ตารางเมตร 530 วัตต์/ตารางเมตร และ 680 วัตต์/ตารางเมตร โดยบันทึกค่าแรงดัน กระแส และกำลัง เมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลง ลงในตารางที่ 5.1

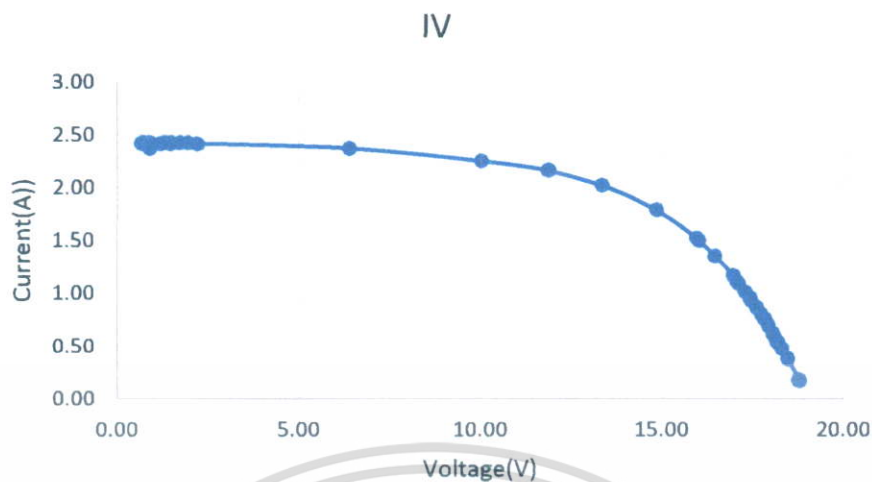
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร

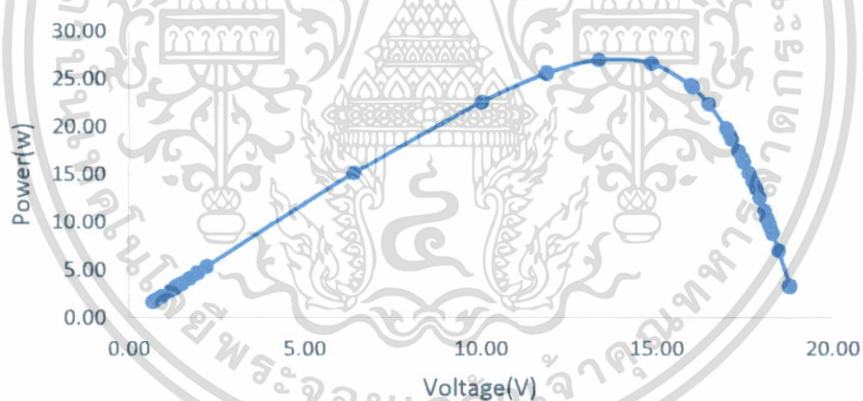
Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
0.90	2.37	2.13	11.87	2.16	25.58
0.90	2.38	2.14	13.36	2.02	26.95
0.89	2.40	2.14	14.85	1.79	26.59
0.90	2.41	2.16	15.97	1.52	24.33
0.90	2.41	2.16	16.03	1.50	24.11
0.89	2.41	2.14	16.48	1.35	22.33
0.89	2.40	2.15	16.97	1.17	19.79
0.93	2.41	2.23	17.08	1.11	19.04
0.71	2.41	1.72	17.12	1.09	18.71
0.70	2.41	1.68	17.31	1.01	17.46
0.70	2.42	1.70	17.44	0.95	16.59
0.71	2.42	1.72	17.47	0.93	16.28
0.85	2.42	2.05	17.63	0.86	15.14
0.77	2.42	1.87	17.74	0.80	14.23
0.93	2.42	2.25	17.84	0.76	13.48
0.67	2.42	1.62	17.93	0.70	12.52
1.19	2.41	2.87	18.07	0.62	11.21
0.75	2.42	1.82	18.14	0.57	10.40
1.29	2.42	3.11	18.18	0.54	9.91
1.35	2.42	3.27	18.20	0.54	9.88
1.46	2.41	3.53	18.23	0.52	9.54
1.50	2.42	3.62	18.30	0.48	8.80
1.72	2.42	4.16	18.47	0.38	6.99
2.21	2.41	5.34	18.79	0.18	3.38
1.94	2.42	4.69	18.79	0.17	3.24
6.40	2.37	15.14	18.79	0.17	3.28
10.03	2.25	22.54	18.76	0.18	3.30
11.89	2.16	25.62			

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 26.95 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.4 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 400 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 530 วัตต์/ตารางเมตร

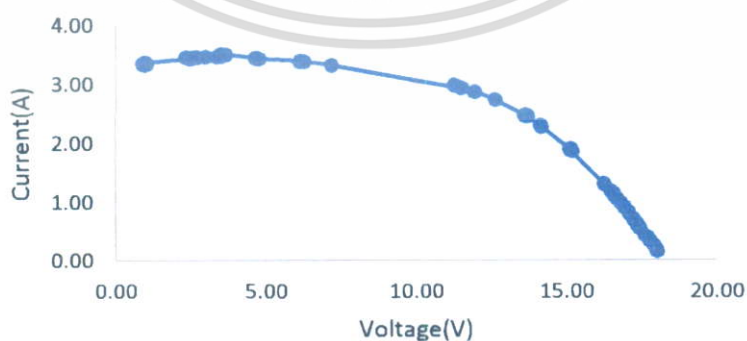
Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
0.98	3.35	3.30	13.67	2.47	33.70
1.01	3.35	3.38	13.69	2.45	33.58
1.02	3.34	3.40	14.14	2.30	32.53
1.02	3.34	3.40	14.16	2.29	32.43
0.95	3.33	3.17	14.17	2.29	32.40
0.89	3.34	2.99	14.18	2.28	32.38
0.90	3.34	3.00	15.13	1.90	28.80
0.90	3.34	3.00	15.15	1.89	28.68
0.90	3.35	3.01	15.18	1.88	28.52
0.97	3.35	3.24	15.18	1.88	28.50
0.96	3.36	3.22	15.20	1.87	28.47
0.98	3.36	3.28	15.13	1.89	28.65
0.96	3.36	3.24	15.11	1.89	28.54
0.94	3.36	3.15	16.25	1.31	21.32
2.49	3.43	8.52	16.57	1.13	18.77
2.47	3.43	8.46	16.47	1.19	19.54
2.46	3.43	8.44	16.55	1.15	18.98
2.46	3.43	8.45	16.58	1.12	18.59
2.44	3.44	8.40	16.68	1.06	17.68
2.54	3.44	8.75	16.68	1.06	17.69
2.31	3.45	7.96	16.79	0.99	16.70
2.64	3.45	9.09	16.82	0.98	16.55
2.68	3.45	9.27	16.93	0.91	15.41
2.71	3.45	9.35	16.91	0.92	15.56
2.98	3.46	10.31	17.05	0.84	14.25
3.36	3.46	11.64	17.07	0.82	13.94
3.50	3.47	12.14	17.21	0.72	12.43
3.51	3.51	12.31	17.35	0.63	10.92
3.50	3.50	12.26	17.33	0.64	11.08
3.66	3.50	12.81	17.32	0.64	11.12
4.71	3.44	16.20	17.44	0.56	9.85
4.64	3.44	15.97	17.45	0.56	9.80
4.64	3.44	15.95	17.44	0.57	9.94
4.70	3.43	16.13	17.62	0.44	7.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

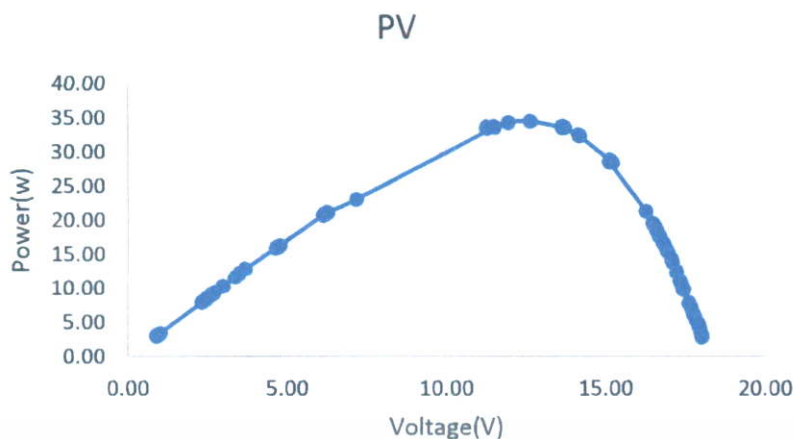
Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
4.70	3.43	16.14	17.68	0.41	7.21
4.76	3.43	16.35	17.67	0.42	7.33
6.13	3.39	20.78	17.77	0.35	6.15
6.13	3.38	20.74	17.75	0.34	6.12
6.12	3.38	20.71	17.85	0.29	5.24
6.26	3.38	21.14	17.85	0.29	5.21
7.17	3.32	23.07	17.89	0.27	4.79
11.50	2.93	33.65	17.91	0.25	4.41
11.47	2.94	33.71	17.91	0.25	4.46
11.25	2.98	33.50	17.94	0.23	4.21
11.26	2.98	33.60	17.98	0.19	3.45
11.94	2.87	34.31	18.01	0.18	3.18
12.62	2.73	34.49	18.00	0.17	3.12
13.70	2.45	33.58	18.01	0.17	2.97
13.63	2.47	33.66	18.01	0.16	2.85
13.62	2.47	33.62	18.01	0.16	2.84
13.63	2.47	33.60	18.02	0.16	2.85
13.61	2.48	33.75	18.01	0.16	2.91
13.67	2.46	33.69	18.01	0.16	2.93

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 530 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 33.70 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์  
ที่ความเข้มแสง 530 วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 680 วัตต์/ตาราง  
เมตร

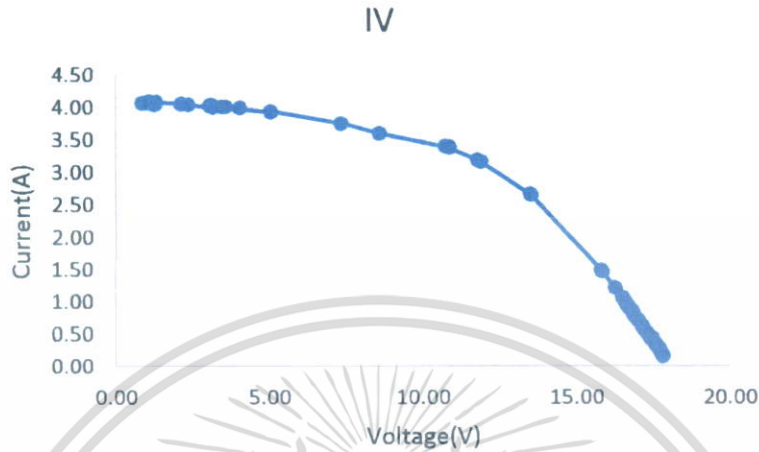
Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
0.90	4.07	3.66	16.62	0.97	16.05
0.90	4.07	3.67	16.62	0.96	15.98
0.91	4.07	3.70	16.68	0.93	15.50
0.84	4.07	3.41	16.73	0.90	15.13
0.90	4.07	3.67	16.83	0.84	14.21
1.00	4.08	4.09	16.83	0.84	14.22
0.96	4.07	3.89	16.83	0.85	14.28
1.24	4.07	5.04	16.84	0.84	14.19
1.24	4.04	5.02	16.83	0.84	14.18
1.26	4.04	5.10	16.88	0.80	13.42
1.30	4.08	5.31	16.91	0.77	13.06
1.07	4.08	4.36	16.99	0.72	12.18
1.08	4.08	4.39	16.99	0.72	12.17
1.08	4.09	4.43	16.99	0.72	12.24
2.13	4.06	8.65	16.99	0.72	12.24
2.13	4.05	8.61	17.03	0.70	11.91
2.12	4.05	8.59	17.14	0.62	10.55
2.35	4.04	9.48	17.15	0.62	10.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

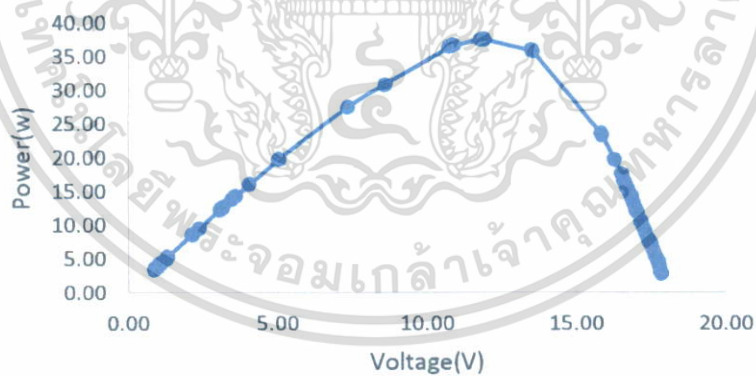
Voltage(V)	Current(A)	Power(W)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
3.15	4.00	12.63	17.15	0.61	10.52
3.15	4.01	12.64	17.15	0.61	10.48
3.11	4.01	12.49	17.22	0.56	9.65
3.10	4.02	12.48	17.28	0.52	8.97
3.06	4.02	12.29	17.28	0.52	9.07
3.05	4.02	12.26	17.38	0.46	7.91
3.05	4.03	12.27	17.39	0.45	7.85
4.03	3.99	16.10	17.42	0.43	7.57
3.57	4.01	14.31	17.42	0.44	7.70
3.44	4.01	13.80	17.43	0.44	7.64
3.15	4.02	12.67	17.45	0.42	7.41
3.10	4.02	12.46	17.45	0.43	7.47
3.10	4.03	12.51	17.47	0.42	7.41
3.12	4.01	12.52	17.47	0.43	7.42
5.03	3.93	19.75	17.48	0.42	7.30
5.03	3.94	19.80	17.48	0.41	7.13
7.32	3.75	27.45	17.48	0.41	7.10
8.57	3.60	30.85	17.49	0.40	7.03
10.87	3.38	36.72	17.56	0.35	6.20
10.80	3.39	36.58	17.57	0.35	6.14
10.72	3.40	36.46	17.62	0.32	5.60
11.77	3.19	37.53	17.64	0.30	5.34
11.89	3.17	37.64	17.69	0.28	4.90
11.88	3.16	37.57	17.70	0.27	4.72
13.52	2.65	35.83	17.73	0.26	4.56
13.52	2.65	35.80	17.73	0.26	4.57
13.48	2.67	36.03	17.73	0.25	4.38
15.85	1.47	23.33	17.75	0.23	4.07
15.82	1.49	23.58	17.75	0.23	4.02
16.27	1.21	19.68	17.80	0.18	3.12
16.50	1.07	17.57	17.82	0.16	2.87
16.57	1.01	16.65	17.82	0.16	2.89
16.61	0.98	16.29	17.82	0.16	2.88
16.63	0.96	15.99	17.82	0.17	2.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ความเข้มแสง 680 วัตต์/ตารางเมตร ได้จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ 37.64 วัตต์ นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส แสดงดังรูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน แสดงดังรูปที่ 5.8



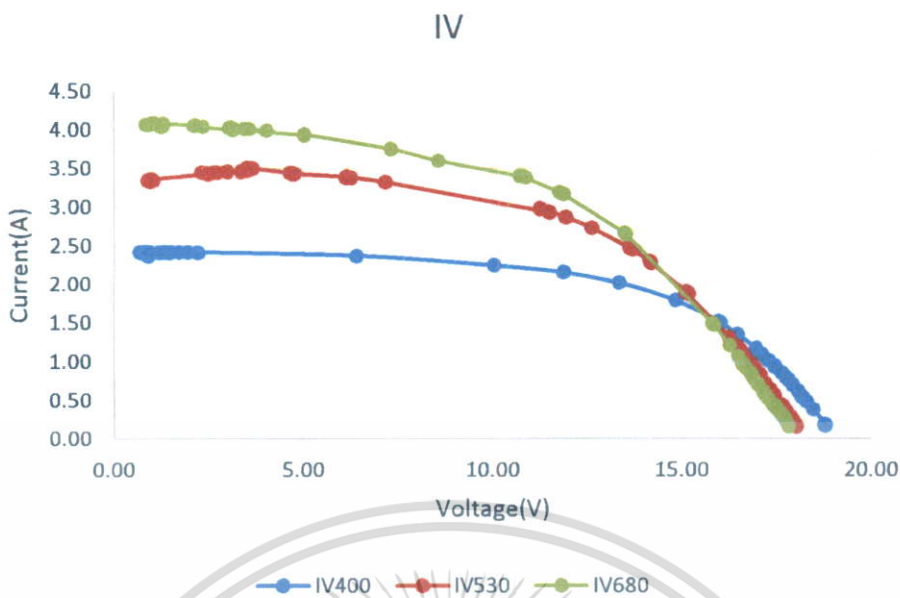
รูปที่ 5.7 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 680 วัตต์/ตารางเมตร



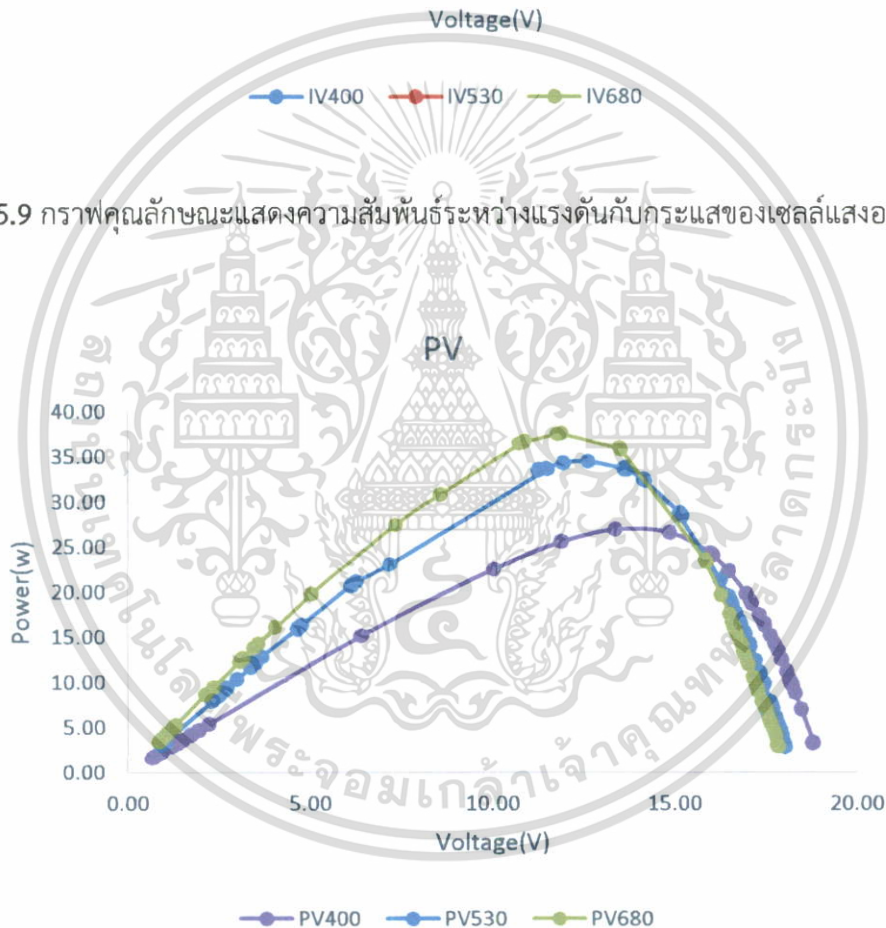
รูปที่ 5.8 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 680 วัตต์/ตารางเมตร

จากกราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์และกราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับมารวมเป็นในกราฟเดียวได้ดังรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5.10 กราฟคุณลักษณะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการเปรียบเทียบผลของกราฟคุณลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างทดลองจริงกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทดลองจริงมีค่ากำลังสูงสุดที่น้อยกว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิของสภาพอากาศที่ร้อนซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของแผงและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 ผลการทดลองคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิล

ทำการทดลองหากราฟคุณลักษณะทางด้านขาออกโดยการเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิล ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.9 ที่สภาวะความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 420 วัตต์/ตารางเมตร 610 วัตต์/ตารางเมตร และ 740 วัตต์/ตารางเมตร โดยการต่อแบตเตอรี่และไม่ต่อ

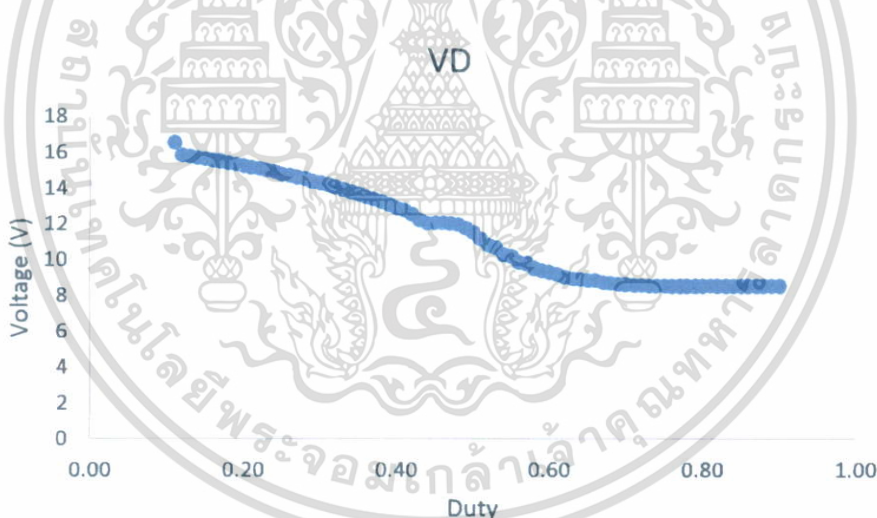
**ตารางที่ 5.4** ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (w)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (w)
0.11	16.56	1.12	18.59	0.52	10.83	2.47	26.73
0.12	15.85	1.35	21.34	0.53	10.67	2.47	26.35
0.13	15.79	1.42	22.44	0.54	10.29	2.47	25.41
0.14	15.71	1.42	22.33	0.55	10.21	2.47	25.20
0.15	15.66	1.42	22.25	0.56	9.87	2.47	24.37
0.16	15.56	1.50	23.28	0.57	9.79	2.47	24.17
0.17	15.51	1.50	23.20	0.58	9.53	2.47	23.54
0.18	15.42	1.50	23.07	0.59	9.40	2.47	23.21
0.19	15.35	1.57	24.11	0.60	9.32	2.47	23.00
0.20	15.26	1.57	23.97	0.61	9.19	2.47	22.68
0.21	15.17	1.65	24.96	0.62	9.04	2.47	22.32
0.22	15.11	1.65	24.86	0.63	8.95	2.47	22.09
0.23	15.01	1.65	24.70	0.64	8.91	2.47	21.99
0.24	14.94	1.72	25.70	0.65	8.86	2.47	21.88
0.25	14.78	1.72	25.44	0.66	8.84	2.47	21.82
0.26	14.73	1.80	26.44	0.67	8.74	2.47	21.59
0.27	14.62	1.80	26.25	0.68	8.71	2.47	21.51
0.28	14.55	1.80	26.12	0.69	8.65	2.47	21.36
0.29	14.41	1.87	26.95	0.70	8.63	2.47	21.29
0.30	14.30	1.87	26.75	0.71	8.60	2.47	21.23
0.31	14.21	1.94	27.63	0.72	8.59	2.47	21.19
0.32	14.07	2.02	28.41	0.73	8.57	2.47	21.16
0.33	13.95	2.02	28.17	0.74	8.57	2.47	21.14
0.34	13.79	2.09	28.87	0.75	8.56	2.47	21.13
0.35	13.68	2.09	28.66	0.76	8.55	2.47	21.12
0.36	13.52	2.17	29.34	0.77	8.55	2.47	21.11
0.37	13.40	2.17	29.07	0.78	8.55	2.47	21.11
0.38	13.26	2.24	29.76	0.79	8.55	2.47	21.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

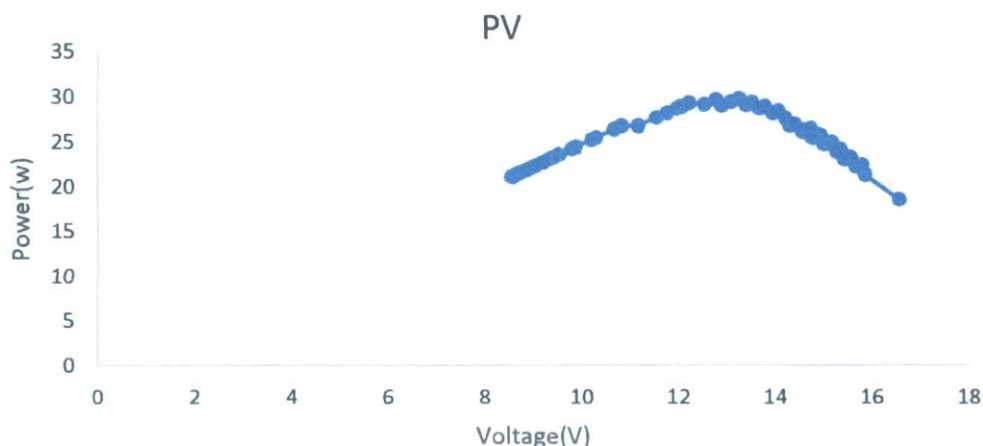
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (w)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (w)
0.39	13.09	2.24	29.38	0.80	8.55	2.47	21.11
0.40	12.90	2.24	28.94	0.81	8.56	2.47	21.12
0.41	12.78	2.32	29.63	0.82	8.55	2.47	21.12
0.42	12.54	2.32	29.08	0.83	8.55	2.47	21.12
0.43	12.23	2.39	29.28	0.84	8.55	2.47	21.11
0.44	12.04	2.39	28.83	0.85	8.55	2.47	21.11
0.45	12.06	2.39	28.86	0.86	8.55	2.47	21.11
0.46	12.07	2.39	28.88	0.87	8.55	2.47	21.11
0.47	12.05	2.39	28.84	0.88	8.55	2.47	21.12
0.48	11.97	2.39	28.65	0.89	8.55	2.47	21.11
0.49	11.77	2.39	28.17	0.90	8.55	2.47	21.12
0.50	11.55	2.39	27.64	0.90	8.56	2.47	21.13
0.51	11.17	2.39	26.74	0.90	8.56	2.47	21.13



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 5.12** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตั้งไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

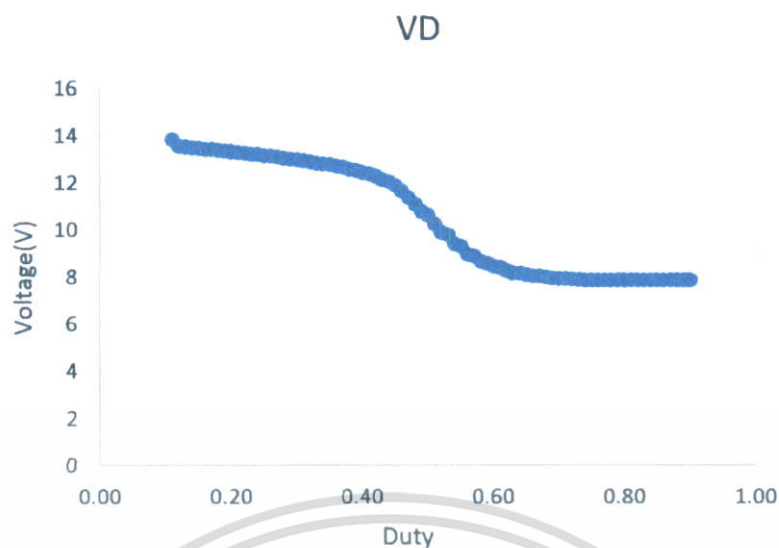
**ตารางที่ 5.5** ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตั้งไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	power (W)
0.11	13.84	2.02	27.95	0.52	9.90	2.39	23.69
0.12	13.56	2.09	28.40	0.53	9.80	2.39	23.45
0.13	13.54	2.09	28.35	0.54	9.42	2.39	22.56
0.14	13.50	2.09	28.27	0.55	9.32	2.39	22.31
0.15	13.48	2.09	28.24	0.56	8.97	2.39	21.48
0.16	13.44	2.09	28.16	0.57	8.89	2.39	21.29
0.17	13.43	2.09	28.13	0.58	8.67	2.39	20.76
0.18	13.39	2.17	29.04	0.59	8.57	2.39	20.51
0.19	13.37	2.09	28.01	0.60	8.47	2.39	20.27
0.20	13.33	2.17	28.92	0.61	8.42	2.39	20.16
0.21	13.30	2.17	28.85	0.62	8.27	2.39	19.79
0.22	13.28	2.17	28.80	0.63	8.18	2.39	19.58
0.23	13.24	2.17	28.73	0.64	8.16	2.39	19.52
0.24	13.22	2.17	28.68	0.65	8.10	2.39	19.38
0.25	13.17	2.17	28.57	0.66	8.06	2.39	19.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.26	13.15	2.17	28.53	0.67	8.05	2.39	19.26
0.27	13.11	2.24	29.42	0.68	8.00	2.39	19.15
0.28	13.06	2.24	29.31	0.69	7.96	2.39	19.06
0.29	13.01	2.24	29.21	0.70	7.95	2.39	19.04
0.30	13.00	2.24	29.17	0.71	7.93	2.39	18.97
0.31	12.95	2.24	29.06	0.72	7.91	2.39	18.94
0.32	12.90	2.24	28.95	0.73	7.89	2.39	18.89
0.33	12.84	2.24	28.82	0.74	7.88	2.39	18.86
0.34	12.82	2.24	28.76	0.75	7.87	2.39	18.84
0.35	12.80	2.32	29.67	0.76	7.87	2.39	18.83
0.36	12.72	2.32	29.50	0.77	7.87	2.39	18.83
0.37	12.67	2.32	29.38	0.78	7.87	2.39	18.83
0.38	12.59	2.32	29.19	0.79	7.86	2.39	18.82
0.39	12.55	2.32	29.11	0.80	7.87	2.39	18.83
0.40	12.45	2.32	28.88	0.81	7.86	2.39	18.82
0.41	12.40	2.32	28.76	0.82	7.86	2.39	18.82
0.42	12.31	2.32	28.55	0.83	7.86	2.39	18.82
0.43	12.15	2.39	29.09	0.84	7.86	2.39	18.81
0.44	12.07	2.39	28.89	0.85	7.86	2.39	18.81
0.45	11.90	2.39	28.47	0.86	7.86	2.39	18.82
0.46	11.64	2.39	27.86	0.87	7.86	2.39	18.82
0.47	11.36	2.39	27.18	0.88	7.86	2.39	18.83
0.48	11.10	2.39	26.57	0.89	7.86	2.39	18.82
0.49	10.79	2.39	25.83	0.90	7.86	2.39	18.82
0.50	10.61	2.39	25.41	0.90	7.87	2.39	18.83
0.51	10.25	2.39	24.52				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 420 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

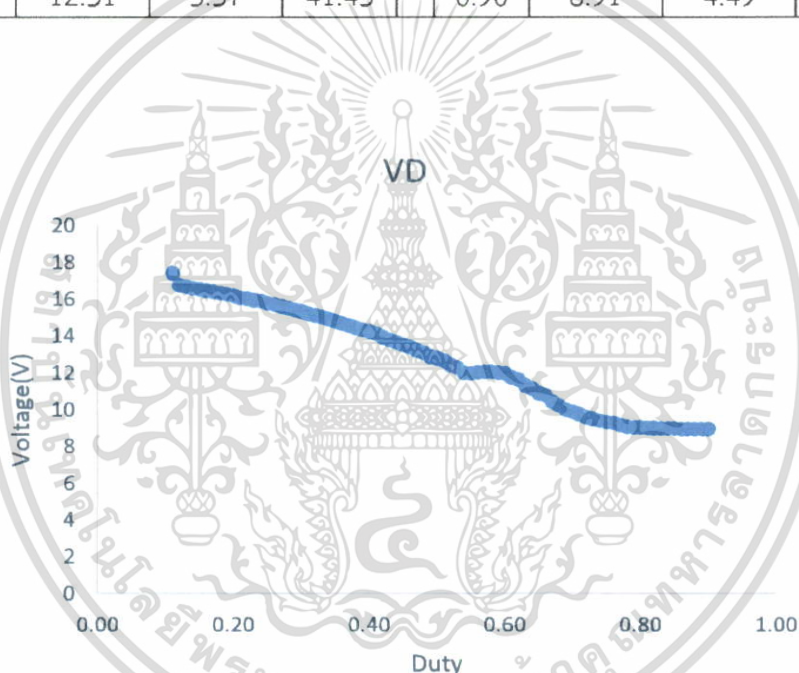
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.11	17.44	1.12	19.56	0.54	12.04	3.44	41.44
0.12	16.77	1.42	23.83	0.55	11.99	3.52	42.16
0.13	16.71	1.42	23.75	0.56	12.06	3.59	43.32
0.14	16.61	1.50	24.86	0.57	12.09	3.67	44.30
0.15	16.54	1.50	24.74	0.58	12.08	3.74	45.18
0.16	16.49	1.50	24.66	0.59	12.04	3.81	45.95
0.17	16.43	1.57	25.81	0.60	11.99	3.89	46.64
0.18	16.34	1.57	25.66	0.61	11.78	3.96	46.71
0.19	16.29	1.65	26.82	0.62	11.66	4.04	47.09
0.20	16.20	1.65	26.66	0.63	11.34	4.11	46.67
0.21	16.09	1.72	27.68	0.64	11.17	4.19	46.78
0.22	16.04	1.72	27.60	0.65	10.90	4.26	46.46
0.23	15.96	1.80	28.66	0.66	10.80	4.34	46.84
0.24	15.90	1.80	28.55	0.67	10.45	4.41	46.11
0.25	15.80	1.87	29.54	0.68	10.25	4.41	45.25
0.26	15.72	1.87	29.41	0.69	10.02	4.49	44.95
0.27	15.61	1.94	30.36	0.70	9.92	4.49	44.52
0.28	15.53	1.94	30.21	0.71	9.78	4.49	43.89
0.29	15.41	2.02	31.13	0.72	9.58	4.49	43.00
0.30	15.35	2.02	31.00	0.73	9.51	4.49	42.67
0.31	15.20	2.09	31.83	0.74	9.40	4.49	42.19
0.32	15.11	2.17	32.77	0.75	9.33	4.49	41.88
0.33	15.03	2.17	32.60	0.76	9.30	4.49	41.72
0.34	14.93	2.24	33.50	0.77	9.19	4.49	41.23
0.35	14.81	2.32	34.35	0.78	9.08	4.49	40.74
0.36	14.69	2.32	34.08	0.79	9.02	4.49	40.50
0.37	14.57	2.39	34.89	0.80	9.02	4.56	41.14
0.38	14.46	2.47	35.70	0.81	9.00	4.49	40.40
0.39	14.35	2.47	35.42	0.82	8.99	4.49	40.33
0.40	14.26	2.54	36.26	0.83	8.98	4.49	40.30
0.41	14.15	2.62	37.06	0.84	8.98	4.49	40.28
0.42	13.95	2.69	37.56	0.85	8.97	4.56	40.92
0.43	13.79	2.77	38.18	0.86	8.96	4.56	40.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่สู่สาธารณะ

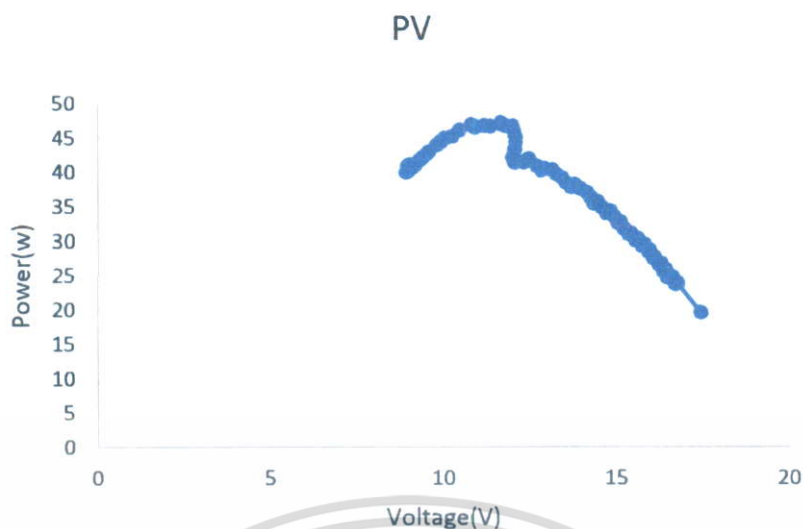
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.44	13.67	2.77	37.84	0.87	8.96	4.49	40.21
0.45	13.53	2.84	38.45	0.88	8.94	4.49	40.13
0.46	13.42	2.92	39.15	0.89	8.95	4.49	40.16
0.47	13.26	2.99	39.69	0.90	8.95	4.49	40.15
0.48	13.14	3.07	40.29	0.90	8.94	4.49	40.10
0.49	12.91	3.14	40.56	0.90	8.93	4.49	40.09
0.50	12.82	3.14	40.27	0.90	8.92	4.49	40.05
0.51	12.70	3.22	40.85	0.90	8.92	4.49	40.02
0.52	12.47	3.37	41.97	0.90	8.91	4.49	40.01
0.53	12.31	3.37	41.43	0.90	8.91	4.49	40.01



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าดีวตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

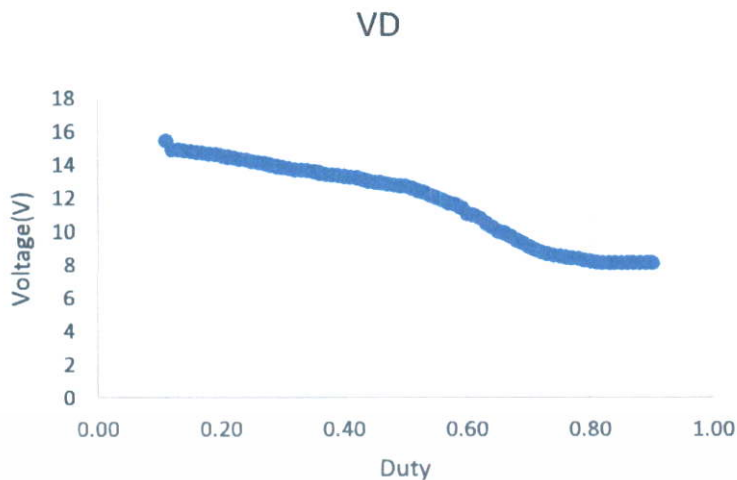
ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.11	15.47	2.09	32.41	0.57	11.73	3.59	42.12
0.12	14.92	2.32	34.60	0.58	11.63	3.67	42.62
0.13	14.90	2.32	34.56	0.59	11.44	3.74	42.78
0.14	14.85	2.32	34.45	0.60	11.08	3.81	42.29
0.15	14.80	2.39	35.43	0.61	10.98	3.89	42.71
0.16	14.75	2.39	35.31	0.62	10.82	3.96	42.91
0.17	14.71	2.39	35.22	0.63	10.52	4.04	42.49
0.18	14.65	2.39	35.07	0.64	10.28	4.11	42.30
0.19	14.61	2.47	36.06	0.65	10.03	4.19	42.03
0.20	14.55	2.47	35.92	0.66	9.93	4.26	42.34
0.21	14.47	2.47	35.72	0.67	9.72	4.34	42.17
0.22	14.42	2.54	36.68	0.68	9.49	4.41	41.88
0.23	14.33	2.54	36.44	0.69	9.32	4.41	41.15

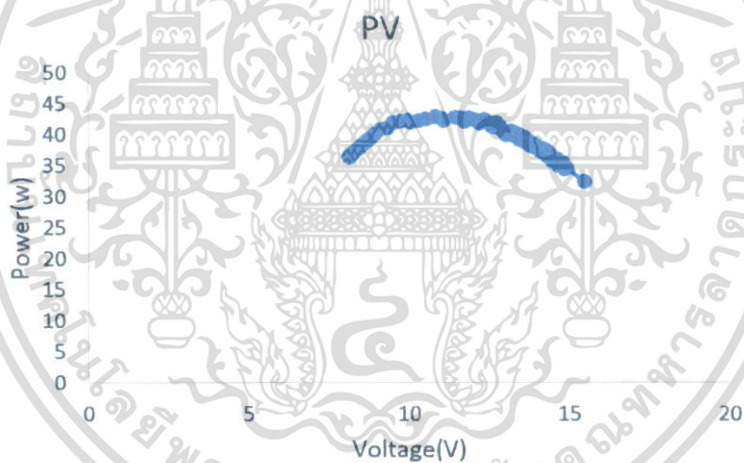
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.24	14.30	2.62	37.43	0.70	9.11	4.49	40.87
0.25	14.21	2.62	37.21	0.71	8.93	4.49	40.08
0.26	14.15	2.62	37.04	0.72	8.79	4.49	39.43
0.27	14.08	2.69	37.91	0.73	8.69	4.49	39.02
0.28	14.00	2.69	37.70	0.74	8.58	4.49	38.53
0.29	13.89	2.77	38.45	0.75	8.54	4.49	38.33
0.30	13.85	2.77	38.35	0.76	8.47	4.49	38.01
0.31	13.78	2.77	38.13	0.77	8.44	4.49	37.87
0.32	13.71	2.84	38.97	0.78	8.39	4.49	37.67
0.33	13.68	2.84	38.90	0.79	8.29	4.49	37.23
0.34	13.64	2.84	38.77	0.80	8.24	4.49	36.96
0.35	13.58	2.92	39.61	0.81	8.17	4.49	36.67
0.36	13.50	2.92	39.40	0.82	8.15	4.49	36.58
0.37	13.43	2.92	39.17	0.83	8.14	4.49	36.55
0.38	13.39	2.99	40.06	0.84	8.14	4.49	36.53
0.39	13.36	2.99	39.97	0.85	8.13	4.49	36.49
0.40	13.30	2.99	39.79	0.86	8.13	4.49	36.49
0.41	13.28	2.99	39.73	0.87	8.13	4.49	36.48
0.42	13.21	3.07	40.53	0.88	8.13	4.49	36.48
0.43	13.11	3.07	40.21	0.89	8.13	4.49	36.48
0.44	13.02	3.07	39.94	0.90	8.13	4.49	36.48
0.45	12.94	3.14	40.67	0.90	8.12	4.49	36.46
0.46	12.92	3.14	40.58	0.90	8.13	4.49	36.48
0.47	12.84	3.22	41.29	0.90	8.12	4.49	36.45
0.48	12.79	3.22	41.14	0.90	8.13	4.49	36.47
0.49	12.73	3.29	41.91	0.90	8.13	4.49	36.47
0.50	12.71	3.29	41.82	0.90	8.12	4.49	36.46
0.51	12.57	3.29	41.37	0.90	8.12	4.49	36.43
0.52	12.46	3.37	41.95	0.90	8.12	4.49	36.45
0.53	12.34	3.44	42.45	0.90	8.12	4.49	36.43
0.54	12.17	3.44	41.88	0.90	8.12	4.49	36.44
0.55	12.04	3.52	42.34	0.90	8.12	4.49	36.43
0.56	11.88	3.59	42.67	0.90	8.12	4.49	36.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 610 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

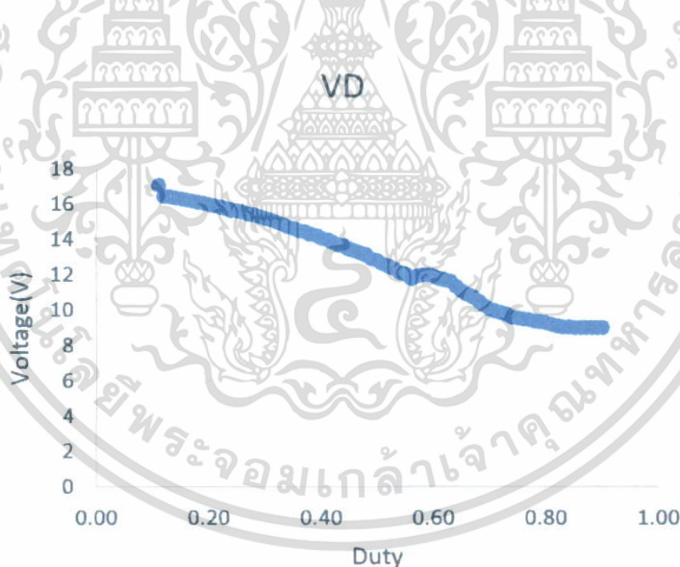
ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตัดโซ่เคิลที่  
ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

**ตารางที่ 5.8** ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตัดโซ่เคิลที่ความ  
เข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.11	17.08	1.05	17.88	0.54	12.09	3.44	41.59
0.12	16.44	1.35	22.14	0.55	12.02	3.44	41.35
0.13	16.42	1.35	22.11	0.56	11.78	3.59	42.31
0.14	16.34	1.35	22.00	0.57	11.92	3.59	42.79
0.15	16.29	1.42	23.16	0.58	11.99	3.67	43.94
0.16	16.22	1.42	23.05	0.59	11.99	3.74	44.85
0.17	16.17	1.42	22.98	0.60	11.91	3.81	45.42
0.18	16.09	1.50	24.07	0.61	11.78	3.89	45.82
0.19	16.04	1.50	24.00	0.62	11.71	4.04	47.31
0.20	15.97	1.57	25.09	0.63	11.60	4.11	47.73
0.21	15.89	1.57	24.97	0.64	11.33	4.19	47.48
0.22	15.83	1.65	26.06	0.65	11.06	4.26	47.18
0.23	15.75	1.65	25.92	0.66	10.91	4.34	47.32
0.24	15.65	1.72	26.93	0.67	10.76	4.41	47.50
0.25	15.59	1.80	27.99	0.68	10.51	4.49	47.16
0.26	15.54	1.80	27.89	0.69	10.25	4.56	46.78
0.27	15.43	1.87	28.85	0.70	10.06	4.64	46.67
0.28	15.39	1.87	28.79	0.71	9.95	4.71	46.90
0.29	15.26	1.94	29.69	0.72	9.85	4.79	47.17
0.30	15.17	1.94	29.51	0.73	9.77	4.79	46.76
0.31	15.08	2.02	30.46	0.74	9.57	4.86	46.52
0.32	14.97	2.09	31.36	0.75	9.53	4.86	46.35
0.33	14.84	2.09	31.08	0.76	9.47	4.94	46.74
0.34	14.70	2.17	31.89	0.77	9.43	5.01	47.25
0.35	14.60	2.17	31.68	0.78	9.34	5.09	47.50
0.36	14.49	2.24	32.53	0.79	9.32	5.09	47.39
0.37	14.42	2.24	32.36	0.80	9.27	5.09	47.15
0.38	14.28	2.32	33.11	0.81	9.17	5.09	46.66
0.39	14.21	2.39	34.02	0.82	9.07	5.16	46.82
0.40	14.06	2.47	34.71	0.83	9.03	5.16	46.62

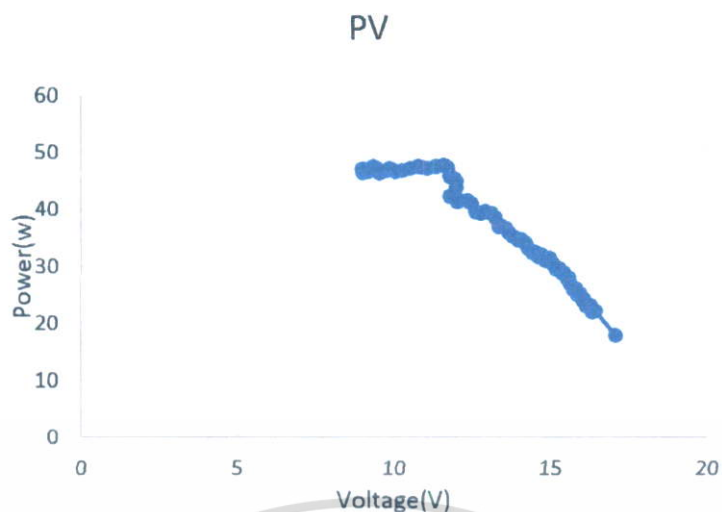
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.41	13.97	2.47	34.50	0.84	9.02	5.16	46.57
0.42	13.82	2.54	35.14	0.85	9.01	5.16	46.52
0.43	13.67	2.62	35.80	0.86	9.01	5.16	46.48
0.44	13.59	2.69	36.59	0.87	9.00	5.16	46.47
0.45	13.41	2.77	37.12	0.88	9.00	5.16	46.45
0.46	13.34	2.77	36.91	0.89	9.00	5.16	46.44
0.47	13.22	2.92	38.58	0.90	9.00	5.16	46.43
0.48	13.11	2.99	39.22	0.90	8.99	5.24	47.10
0.49	12.90	3.07	39.57	0.90	8.99	5.16	46.42
0.50	12.78	3.07	39.20	0.90	9.00	5.16	46.43
0.51	12.60	3.14	39.57	0.90	9.00	5.24	47.11
0.52	12.47	3.29	41.04	0.90	8.99	5.24	47.06
0.53	12.33	3.37	41.51	0.90	9.00	5.24	47.10



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวรีซิสเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

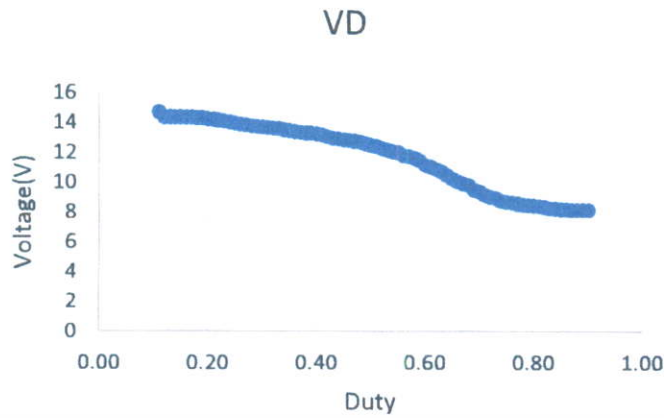
ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวรีซิสเคิลที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.11	14.71	2.24	33.01	12.41	12.41	3.22	39.93
0.12	14.37	2.47	35.47	12.29	12.29	3.29	40.44
0.13	14.37	2.39	34.39	12.18	12.18	3.37	40.98
0.14	14.36	2.47	35.46	12.04	12.04	3.37	40.52
0.15	14.37	2.47	35.46	12.00	12.00	3.44	41.28
0.16	14.36	2.47	35.45	11.81	11.81	3.52	41.53
0.17	14.36	2.47	35.44	11.73	11.73	3.59	42.11
0.18	14.32	2.47	35.34	11.63	11.63	3.67	42.62
0.19	14.31	2.47	35.32	11.45	11.45	3.74	42.84
0.20	14.25	2.47	35.18	11.16	11.16	3.81	42.58
0.21	14.20	2.54	36.12	11.03	11.03	3.89	42.90
0.22	14.15	2.54	35.99	10.88	10.88	4.04	43.93
0.23	14.10	2.54	35.86	10.70	10.70	4.11	44.02
0.24	14.03	2.62	36.73	10.47	10.47	4.19	43.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Duty	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.25	13.97	2.62	36.57	10.24	10.24	4.26	43.67
0.26	13.90	2.62	36.39	10.03	10.03	4.34	43.52
0.27	13.85	2.62	36.27	9.91	9.91	4.49	44.48
0.28	13.80	2.62	36.13	9.81	9.81	4.49	44.01
0.29	13.76	2.69	37.05	9.49	9.49	4.64	43.99
0.30	13.70	2.69	36.91	9.37	9.37	4.64	43.47
0.31	13.68	2.69	36.83	9.13	9.13	4.79	43.70
0.32	13.64	2.77	37.76	9.00	9.00	4.86	43.76
0.33	13.59	2.77	37.60	8.92	8.92	4.86	43.36
0.34	13.51	2.77	37.41	8.75	8.75	4.94	43.18
0.35	13.44	2.84	38.20	8.69	8.69	4.94	42.91
0.36	13.40	2.84	38.10	8.63	8.63	5.01	43.26
0.37	13.36	2.84	37.97	8.56	8.56	5.01	42.93
0.38	13.30	2.92	38.79	8.52	8.52	5.09	43.35
0.39	13.29	2.92	38.76	8.47	8.47	5.09	43.10
0.40	13.23	2.92	38.59	8.43	8.43	5.09	42.88
0.41	13.17	2.99	39.39	8.41	8.41	5.09	42.76
0.42	13.05	2.99	39.03	8.33	8.33	5.16	42.97
0.43	12.96	2.99	38.78	8.25	8.25	5.16	42.57
0.44	12.93	3.07	39.65	8.22	8.22	5.16	42.43
0.45	12.85	3.07	39.41	8.17	8.17	5.16	42.16
0.46	12.81	3.07	39.28	8.16	8.16	5.16	42.12
0.47	12.76	3.14	40.09	8.15	8.15	5.24	42.69
0.48	12.71	3.14	39.93	8.15	8.15	5.24	42.68
0.49	12.58	3.14	39.54	8.14	8.14	5.24	42.64
0.50	12.48	3.14	39.20	8.14	8.14	5.16	42.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



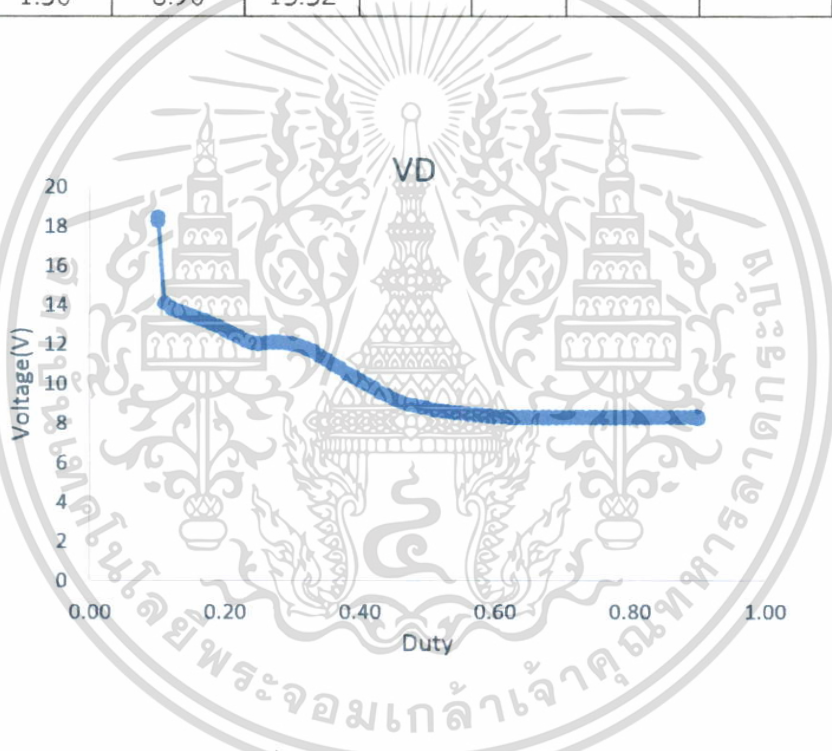
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 740 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

## 5.2 การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวชี้เซลล์ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.39	1.50	10.39	15.54		0.82	1.42	8.31	11.81
0.40	1.50	10.19	15.25		0.83	1.42	8.31	11.82
0.41	1.50	9.99	14.95		0.84	1.42	8.32	11.82
0.42	1.50	9.80	14.66		0.85	1.42	8.32	11.82
0.43	1.50	9.55	14.29		0.86	1.42	8.32	11.82
0.44	1.50	9.42	14.09		0.87	1.42	8.33	11.84
0.45	1.50	9.24	13.83		0.88	1.42	8.33	11.84
0.46	1.50	9.11	13.63		0.89	1.42	8.33	11.84
0.47	1.50	8.98	13.43		0.90	1.42	8.34	11.85
0.48	1.50	8.90	13.32					



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

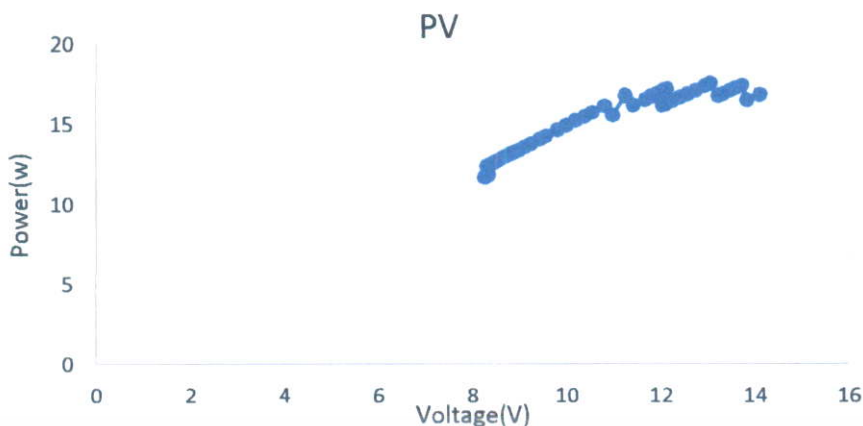
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าความถี่  
ไซเคิลที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)	open circuit	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.10	0.22	18.29	4.11			0.49	1.50	8.82
0.10	0.15	18.48	2.76		0.50	1.50	8.78	13.14
0.10	0.15	18.48	2.76		0.51	1.50	8.67	12.98
0.10	0.15	18.48	2.76		0.52	1.50	8.64	12.93
0.10	0.15	18.48	2.76		0.53	1.50	8.58	12.84
0.11	1.20	14.11	16.89		0.54	1.50	8.54	12.78
0.12	1.20	13.83	16.55		0.55	1.50	8.53	12.76
0.13	1.27	13.72	17.45		0.56	1.50	8.48	12.69
0.14	1.27	13.58	17.27		0.57	1.50	8.45	12.64
0.15	1.27	13.48	17.15		0.58	1.50	8.42	12.60
0.16	1.27	13.33	16.95		0.59	1.50	8.38	12.54
0.17	1.27	13.22	16.82		0.60	1.50	8.35	12.50
0.18	1.35	13.05	17.57		0.61	1.50	8.35	12.49
0.19	1.35	12.93	17.41		0.62	1.50	8.32	12.45
0.20	1.35	12.75	17.16		0.63	1.50	8.30	12.42
0.21	1.35	12.57	16.92		0.64	1.50	8.30	12.42
0.22	1.35	12.41	16.71		0.65	1.50	8.30	12.42
0.23	1.35	12.23	16.46		0.66	1.50	8.30	12.42
0.24	1.35	12.08	16.26		0.67	1.50	8.30	12.42
0.25	1.35	12.04	16.22		0.68	1.50	8.30	12.42
0.26	1.35	12.10	16.29		0.69	1.50	8.30	12.42
0.27	1.42	12.13	17.23		0.70	1.50	8.30	12.42
0.28	1.42	12.12	17.23		0.71	1.42	8.30	11.80
0.29	1.42	12.09	17.18		0.72	1.42	8.30	11.80
0.30	1.42	12.05	17.13		0.73	1.42	8.30	11.80
0.31	1.42	11.95	16.99		0.74	1.42	8.30	11.80
0.32	1.42	11.80	16.77		0.75	1.42	8.30	11.80
0.33	1.42	11.68	16.60		0.76	1.42	8.30	11.80
0.34	1.42	11.42	16.23		0.77	1.42	8.30	11.80
0.35	1.50	11.25	16.83		0.78	1.42	8.30	11.80
0.36	1.42	10.98	15.61		0.79	1.42	8.31	11.81
0.37	1.50	10.81	16.18		0.80	1.42	8.31	11.81
0.38	1.50	10.55	15.78		0.81	1.42	8.31	11.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 5.24** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 18.48 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 12.94 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 17.41 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 17.45 วัตต์ ที่แรงดัน 13.72 โวลต์

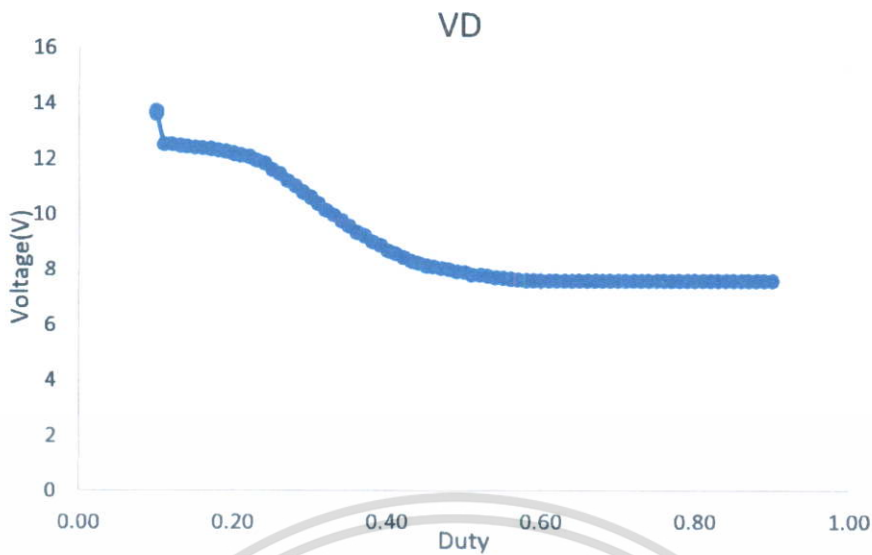
การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวต้อไฮเซลล์ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

**ตารางที่ 5.11** ทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวต้อไฮเซลล์ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

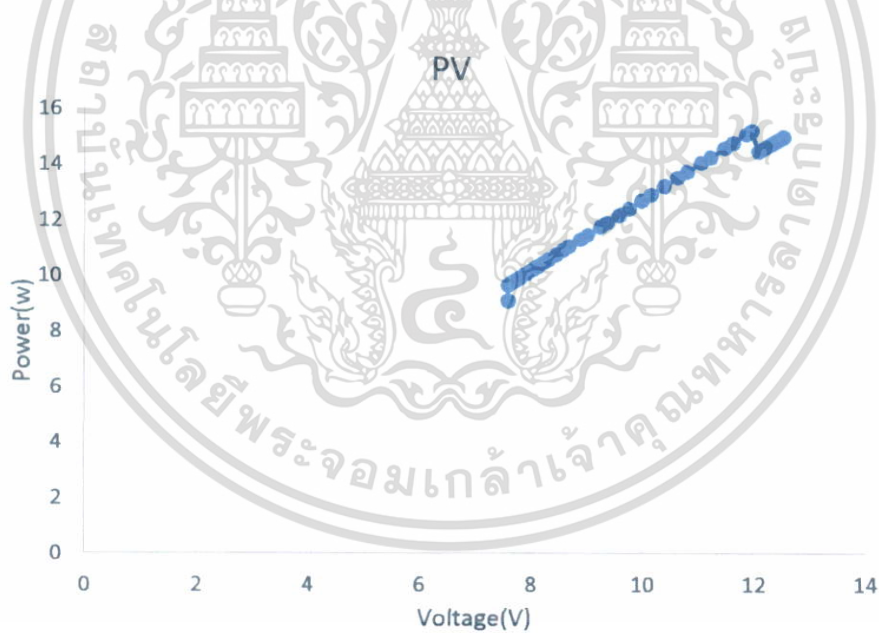
Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)	open circuit	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.10	1.20	13.64	16.33		open circuit	0.50	1.27	7.91
0.10	1.20	13.68	16.38	0.51		1.27	7.81	9.94
0.10	1.20	13.71	16.41	0.52		1.27	7.80	9.91
0.10	1.20	13.72	16.42	0.53		1.27	7.77	9.88
0.10	1.20	13.73	16.43	0.54		1.27	7.71	9.80
0.11	1.20	12.52	14.98	0.55		1.27	7.70	9.79
0.12	1.20	12.52	14.98	0.56		1.27	7.66	9.74
0.13	1.20	12.48	14.93	0.57		1.27	7.64	9.72
0.14	1.20	12.46	14.91	0.58		1.27	7.61	9.67
0.15	1.20	12.41	14.85	0.59		1.27	7.60	9.66
0.16	1.20	12.39	14.83	0.60		1.27	7.59	9.65
0.17	1.20	12.36	14.79	0.61		1.27	7.59	9.65
0.18	1.20	12.31	14.73	0.62	1.27	7.59	9.65	

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.19	1.20	12.28	14.69		0.63	1.27	7.59	9.65
0.20	1.20	12.19	14.59		0.64	1.27	7.59	9.65
0.21	1.20	12.13	14.52		0.65	1.27	7.59	9.65
0.22	1.20	12.07	14.45		0.66	1.27	7.59	9.65
0.23	1.27	11.95	15.20		0.67	1.27	7.59	9.65
0.24	1.27	11.85	15.07		0.68	1.27	7.59	9.65
0.25	1.27	11.62	14.78		0.69	1.27	7.59	9.65
0.26	1.27	11.46	14.58		0.70	1.27	7.59	9.65
0.27	1.27	11.21	14.25		0.71	1.27	7.59	9.65
0.28	1.27	11.04	14.04		0.72	1.20	7.59	9.08
0.29	1.27	10.79	13.72		0.73	1.20	7.59	9.09
0.30	1.27	10.62	13.51		0.74	1.20	7.59	9.08
0.31	1.27	10.38	13.21		0.75	1.27	7.59	9.65
0.32	1.27	10.14	12.90		0.76	1.20	7.59	9.08
0.33	1.27	9.97	12.68		0.77	1.20	7.59	9.08
0.34	1.27	9.75	12.40		0.78	1.27	7.59	9.65
0.35	1.27	9.57	12.17		0.79	1.20	7.59	9.09
0.36	1.27	9.35	11.90		0.80	1.20	7.59	9.09
0.37	1.27	9.23	11.74		0.81	1.20	7.59	9.08
0.38	1.27	9.01	11.46		0.82	1.20	7.59	9.08
0.39	1.27	8.89	11.30		0.83	1.20	7.59	9.09
0.40	1.27	8.68	11.04		0.84	1.20	7.59	9.09
0.41	1.27	8.58	10.91		0.85	1.20	7.59	9.09
0.42	1.27	8.45	10.74		0.86	1.20	7.59	9.09
0.43	1.27	8.31	10.57		0.87	1.20	7.59	9.09
0.44	1.27	8.23	10.47		0.88	1.20	7.59	9.09
0.45	1.27	8.13	10.34		0.89	1.20	7.59	9.09
0.46	1.27	8.10	10.30		0.90	1.20	7.59	9.09
0.47	1.27	8.03	10.21		0.90	1.20	7.59	9.09
0.48	1.27	8.00	10.18					
0.49	1.27	7.92	10.07					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าตัวชี้เซลล์ที่ ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

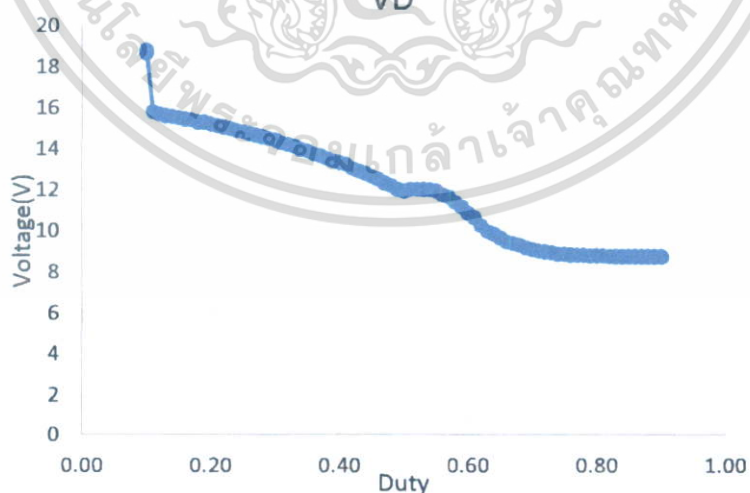
แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 13.72 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 9.60 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 12.40 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 15.20 วัตต์ ที่แรงดัน 11.95 โวลต์ การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวต้านทานที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวต้านทานที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.10	0.22	18.66	4.19	open circuit	0.51	2.99	12.04	36.01
0.10	0.15	18.80	2.81		0.52	3.07	12.04	36.92
0.10	0.15	18.80	2.81		0.53	3.07	12.03	36.90
0.10	0.15	18.80	2.81		0.54	3.14	12.01	37.74
0.10	0.15	18.80	2.81		0.55	3.22	11.95	38.44
0.11	1.35	15.81	21.28		0.56	3.29	11.75	38.68
0.12	1.42	15.70	22.32		0.57	3.29	11.65	38.33
0.13	1.42	15.61	22.18		0.58	3.37	11.39	38.34
0.14	1.42	15.57	22.12		0.59	3.44	11.15	38.36
0.15	1.50	15.52	23.22		0.60	3.44	10.84	37.32
0.16	1.50	15.45	23.11		0.61	3.44	10.63	36.57
0.17	1.57	15.40	24.20		0.62	3.44	10.25	35.26
0.18	1.57	15.30	24.04		0.63	3.44	9.97	34.29
0.19	1.57	15.30	24.03		0.64	3.44	9.83	33.84
0.20	1.65	15.21	25.03		0.65	3.44	9.65	33.22
0.21	1.65	15.13	24.90		0.66	3.44	9.47	32.59
0.22	1.72	15.07	25.93		0.67	3.44	9.39	32.30
0.23	1.72	15.00	25.81		0.68	3.44	9.32	32.08
0.24	1.72	14.90	25.63		0.69	3.44	9.19	31.62
0.25	1.80	14.84	26.65		0.70	3.44	9.11	31.34
0.26	1.80	14.75	26.47		0.71	3.44	9.01	31.00
0.27	1.87	14.67	27.43		0.72	3.44	8.98	30.89
0.28	1.87	14.60	27.30		0.73	3.44	8.95	30.78
0.29	1.94	14.51	28.22		0.74	3.44	8.87	30.54
0.30	1.94	14.44	28.09		0.75	3.44	8.86	30.48
0.31	2.02	14.30	28.88		0.76	3.44	8.83	30.38
0.32	2.09	14.22	29.79		0.77	3.44	8.82	30.35

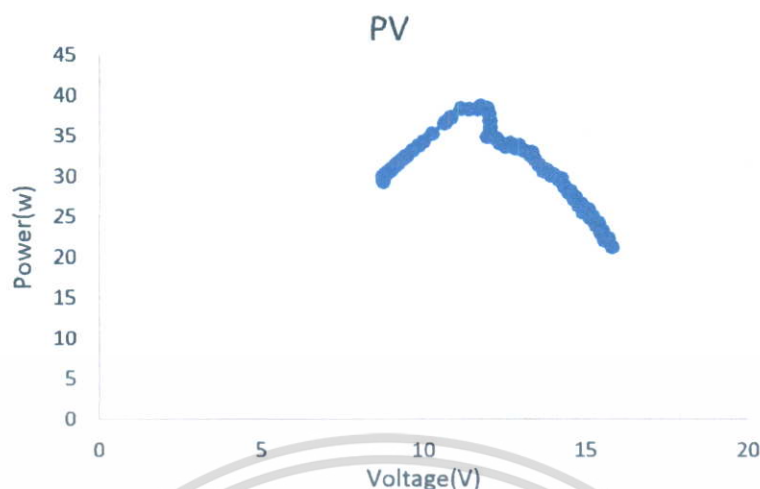
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.33	2.09	14.15	29.63		0.78	3.44	8.81	30.31
0.34	2.17	13.98	30.32		0.79	3.44	8.80	30.27
0.35	2.17	13.91	30.17		0.80	3.44	8.78	30.22
0.36	2.24	13.76	30.88		0.81	3.44	8.78	30.20
0.37	2.24	13.68	30.69		0.82	3.44	8.77	30.18
0.38	2.32	13.55	31.41		0.83	3.44	8.76	30.16
0.39	2.39	13.41	32.10		0.84	3.44	8.76	30.14
0.40	2.47	13.33	32.91		0.85	3.44	8.76	30.13
0.41	2.47	13.26	32.72		0.86	3.44	8.76	30.14
0.42	2.54	13.06	33.21		0.87	3.44	8.76	30.13
0.43	2.62	12.92	33.81		0.88	3.44	8.75	30.10
0.44	2.62	12.80	33.52		0.89	3.44	8.75	30.10
0.45	2.69	12.66	34.10		0.90	3.44	8.75	30.10
0.46	2.69	12.52	33.73					
0.47	2.77	12.33	34.12					
0.48	2.84	12.22	34.73					
0.49	2.92	12.03	35.09					
0.50	2.92	11.95	34.87					



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าดิวตีไซเคิลที่ ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 300 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 18.08 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 13.16 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 32.72 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 38.68 วัตต์ ที่แรงดัน 11.75 โวลต์

การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

ตารางที่ 5.13 ผลทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)	open circuit	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.10	0.97	16.81	16.35		0.51	2.92	11.87	34.63
0.10	0.97	16.89	16.42		0.52	2.99	11.67	34.90
0.10	0.97	16.89	16.42		0.53	3.07	11.59	35.55
0.10	0.97	16.87	16.41		0.54	3.14	11.31	35.54
0.10	0.97	16.85	16.38		0.55	3.14	11.15	35.04
0.11	2.09	14.25	29.85		0.56	3.22	10.92	35.11
0.12	2.09	14.17	29.67		0.57	3.22	10.75	34.56
0.13	2.09	14.15	29.63		0.58	3.22	10.28	33.06
0.14	2.17	14.09	30.56		0.59	3.22	10.14	32.62
0.15	2.17	14.04	30.46		0.60	3.29	9.84	32.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (w)
0.16	2.17	13.94	30.24		0.61	3.22	9.61	30.91
0.17	2.24	13.92	31.23		0.62	3.29	9.33	30.72
0.18	2.24	13.83	31.03		0.63	3.29	8.96	29.50
0.19	2.24	13.79	30.95		0.64	3.29	8.92	29.35
0.20	2.32	13.71	31.80		0.65	3.29	8.76	28.83
0.21	2.32	13.66	31.69		0.66	3.29	8.61	28.35
0.22	2.32	13.61	31.55		0.67	3.29	8.52	28.06
0.23	2.39	13.57	32.47		0.68	3.29	8.48	27.92
0.24	2.39	13.53	32.40		0.69	3.29	8.42	27.71
0.25	2.39	13.47	32.25		0.70	3.29	8.33	27.43
0.26	2.39	13.44	32.18		0.71	3.29	8.22	27.04
0.27	2.39	13.41	32.10		0.72	3.29	8.17	26.88
0.28	2.47	13.36	32.99		0.73	3.29	8.14	26.79
0.29	2.47	13.33	32.91		0.74	3.29	8.12	26.72
0.30	2.47	13.30	32.82		0.75	3.29	8.11	26.68
0.31	2.47	13.26	32.74		0.76	3.29	8.08	26.58
0.32	2.47	13.22	32.63		0.77	3.29	8.06	26.52
0.33	2.54	13.19	33.54		0.78	3.29	8.05	26.49
0.34	2.54	13.11	33.33		0.79	3.29	8.05	26.49
0.35	2.54	13.08	33.26		0.80	3.29	8.04	26.46
0.36	2.54	12.99	33.04		0.81	3.29	8.04	26.45
0.37	2.54	12.98	33.00		0.82	3.29	8.04	26.46
0.38	2.62	12.92	33.82		0.83	3.29	8.04	26.46
0.39	2.62	12.87	33.71		0.84	3.29	8.04	26.46
0.40	2.62	12.82	33.56		0.85	3.29	8.04	26.45
0.41	2.62	12.79	33.48		0.86	3.29	8.04	26.45
0.42	2.69	12.73	34.28		0.87	3.29	8.04	26.45
0.43	2.69	12.65	34.06		0.88	3.29	8.03	26.44
0.44	2.69	12.56	33.83		0.89	3.29	8.03	26.43
0.45	2.77	12.50	34.59		0.90	3.29	8.03	26.43
0.46	2.77	12.43	34.40		0.90	3.29	8.02	26.41
0.47	2.77	12.32	34.09					
0.48	2.84	12.24	34.80					
0.49	2.84	12.08	34.33					
0.50	2.92	12.04	35.12					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าดิวตี้ไซเคิลที่ ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 500 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 16.89 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 11.82 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 34.63 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 35.55 วัตต์ ที่แรงดัน 11.59 โวลต์

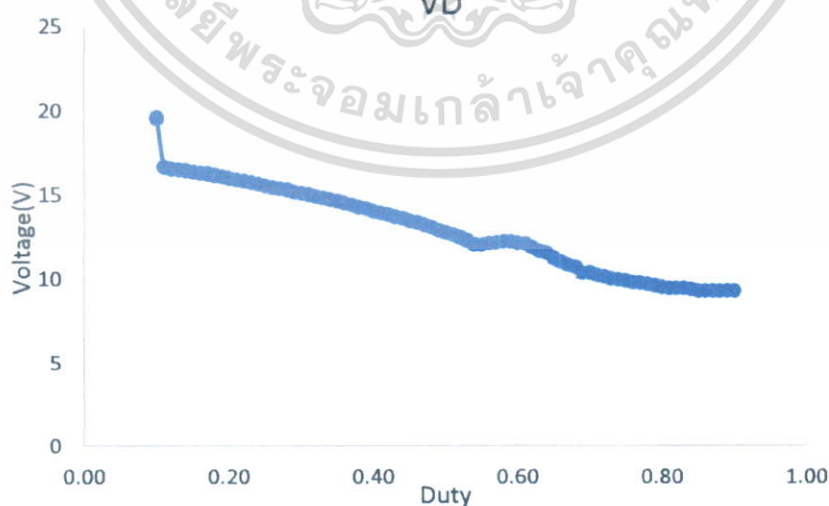
การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัววัดไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

**ตารางที่ 5.14** ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าตัววัดไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.10	0.00	19.51	0.00	open circuit	0.51	3.22	12.63	40.63
0.10	0.00	19.62	0.00		0.52	3.29	12.47	41.04
0.10	0.00	19.62	0.00		0.53	3.37	12.27	41.29
0.10	0.00	19.62	0.00		0.54	3.44	12.03	41.39
0.10	0.00	19.62	0.00		0.55	3.52	12.04	42.31
0.11	1.35	16.65	22.42		0.56	3.59	12.14	43.59
0.12	1.42	16.54	23.51		0.57	3.59	12.17	43.71
0.13	1.42	16.50	23.45		0.58	3.74	12.22	45.71
0.14	1.42	16.44	23.36		0.59	3.81	12.23	46.66
0.15	1.50	16.38	24.51		0.60	3.89	12.14	47.21
0.16	1.50	16.31	24.40		0.61	3.89	12.10	47.07
0.17	1.50	16.25	24.32		0.62	4.04	11.89	48.01
0.18	1.57	16.16	25.39		0.63	4.11	11.67	48.01
0.19	1.57	16.09	25.27		0.64	4.19	11.56	48.43
0.20	1.65	15.99	26.32		0.65	4.26	11.24	47.94
0.21	1.65	15.89	26.14		0.66	4.34	11.03	47.85
0.22	1.65	15.82	26.04		0.67	4.41	10.83	47.81
0.23	1.72	15.72	27.05		0.68	4.49	10.73	48.16
0.24	1.72	15.63	26.89		0.69	4.56	10.36	47.25
0.25	1.80	15.54	27.90		0.70	4.56	10.38	47.37
0.26	1.80	15.47	27.76		0.71	4.64	10.24	47.49
0.27	1.87	15.39	28.77		0.72	4.64	10.13	46.98
0.28	1.87	15.31	28.62		0.73	4.71	10.02	47.22
0.29	1.94	15.17	29.50		0.74	4.71	9.97	46.98
0.30	2.02	15.11	30.52		0.75	4.71	9.90	46.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

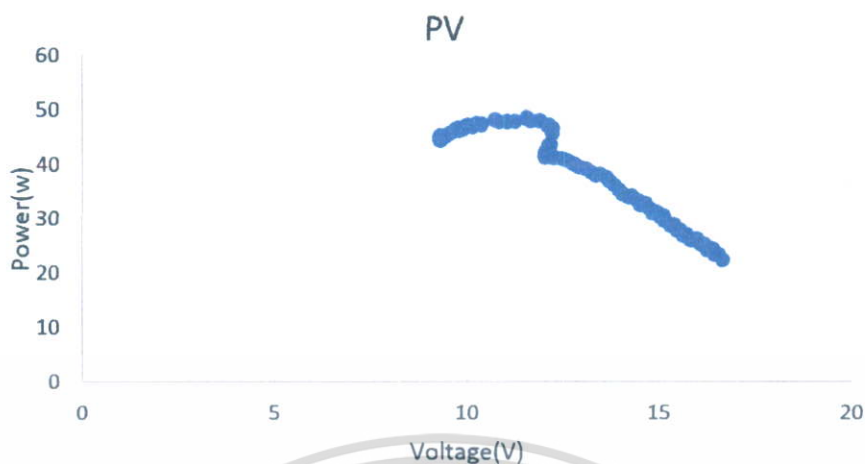
Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.31	2.02	15.03	30.35		0.76	4.71	9.80	46.20
0.32	2.09	14.92	31.26		0.77	4.79	9.76	46.73
0.33	2.09	14.82	31.05		0.78	4.79	9.70	46.43
0.34	2.17	14.72	31.93		0.79	4.79	9.60	45.97
0.35	2.24	14.63	32.83		0.80	4.79	9.52	45.59
0.36	2.24	14.50	32.54		0.81	4.79	9.46	45.29
0.37	2.32	14.41	33.42		0.82	4.79	9.46	45.27
0.38	2.39	14.27	34.16		0.83	4.79	9.45	45.24
0.39	2.39	14.20	33.98		0.84	4.79	9.40	45.02
0.40	2.47	14.03	34.63		0.85	4.86	9.31	45.26
0.41	2.54	13.93	35.43		0.86	4.86	9.31	45.25
0.42	2.62	13.83	36.20		0.87	4.86	9.30	45.20
0.43	2.69	13.70	36.90		0.88	4.86	9.29	45.17
0.44	2.77	13.62	37.69		0.89	4.79	9.29	44.48
0.45	2.84	13.45	38.24		0.90	4.79	9.30	44.51
0.46	2.84	13.35	37.96					
0.47	2.92	13.23	38.58					
0.48	2.99	13.10	39.19					
0.49	3.07	12.91	39.60					
0.50	3.14	12.78	40.14					



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าดีวตีไซเคิลที่

ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่

แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 19.62 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 13.73 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 36.90 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 48.43 วัตต์ ที่แรงดัน 11.56 โวลต์ การทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

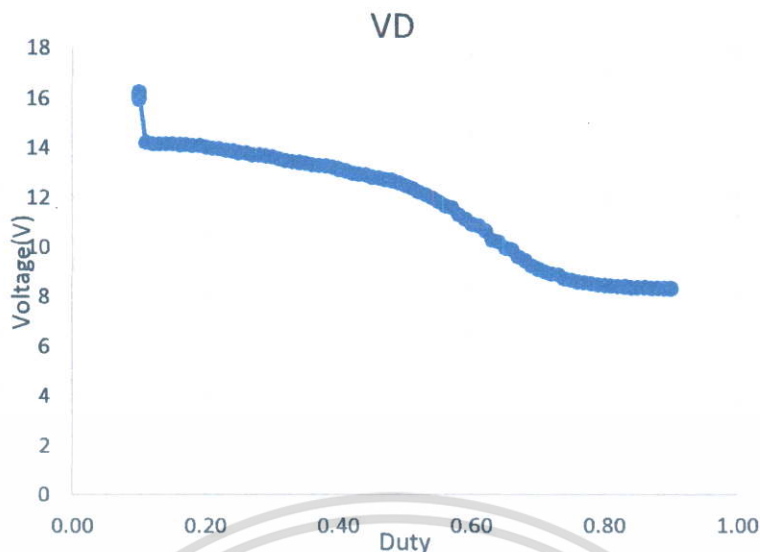
ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองการวัดแรงดันเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	open circuit	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.10	1.50	15.98	23.90		0.51	3.22	12.39	39.84
0.10	1.42	16.09	22.86		0.52	3.29	12.23	40.25
0.10	1.42	16.22	23.05		0.53	3.37	12.12	40.79
0.10	1.42	16.21	23.03		0.54	3.44	12.00	41.28
0.10	1.42	16.26	23.11		0.55	3.44	11.84	40.75
0.11	2.39	14.23	34.07		0.56	3.52	11.67	41.02
0.12	2.47	14.17	34.98		0.57	3.59	11.60	41.64
0.13	2.47	14.16	34.96		0.58	3.74	11.31	42.32
0.14	2.47	14.16	34.95		0.59	3.74	11.13	41.64
0.15	2.47	14.17	34.98	0.60	3.89	10.94	42.54	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.16	2.47	14.14	34.91		0.61	3.96	10.86	43.06
0.17	2.47	14.15	34.92		0.62	4.04	10.67	43.10
0.18	2.47	14.11	34.83		0.63	4.11	10.30	42.39
0.19	2.47	14.10	34.80		0.64	4.19	10.21	42.76
0.20	2.47	14.04	34.66		0.65	4.26	9.96	42.45
0.21	2.54	13.99	35.59		0.66	4.34	9.89	42.92
0.22	2.54	13.97	35.54		0.67	4.41	9.59	42.31
0.23	2.54	13.90	35.36		0.68	4.49	9.44	42.36
0.24	2.62	13.87	36.31		0.69	4.56	9.22	42.08
0.25	2.62	13.81	36.15		0.70	4.56	9.11	41.58
0.26	2.62	13.79	36.11		0.71	4.64	8.99	41.68
0.27	2.62	13.72	35.91		0.72	4.71	8.90	41.94
0.28	2.69	13.70	36.90		0.73	4.71	8.87	41.79
0.29	2.69	13.67	36.82		0.74	4.71	8.70	41.01
0.30	2.69	13.64	36.73		0.75	4.71	8.66	40.81
0.31	2.69	13.56	36.51		0.76	4.79	8.57	41.05
0.32	2.77	13.50	37.37		0.77	4.79	8.56	40.97
0.33	2.77	13.44	37.20		0.78	4.79	8.51	40.75
0.34	2.77	13.42	37.14		0.79	4.79	8.47	40.56
0.35	2.84	13.39	38.06		0.80	4.79	8.44	40.42
0.36	2.84	13.33	37.88		0.81	4.79	8.42	40.29
0.37	2.84	13.30	37.80		0.82	4.86	8.40	40.83
0.38	2.84	13.27	37.71		0.83	4.86	8.39	40.77
0.39	2.92	13.23	38.59		0.84	4.86	8.37	40.70
0.40	2.92	13.16	38.41		0.85	4.86	8.36	40.64
0.41	2.92	13.08	38.17		0.86	4.86	8.35	40.60
0.42	2.99	13.00	38.89		0.87	4.86	8.34	40.56
0.43	2.99	12.95	38.75		0.88	4.86	8.34	40.53
0.44	2.99	12.92	38.66		0.89	4.79	8.33	39.90
0.45	3.07	12.83	39.36		0.90	4.86	8.32	40.46
0.46	3.07	12.80	39.25					
0.47	3.14	12.74	40.02					
0.48	3.14	12.70	39.90					
0.49	3.14	12.60	39.59					
0.50	3.22	12.49	40.19					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 700 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อต่อแบตเตอรี่

แรงดันเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 16.22 โวลต์ ซึ่งค่า 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเท่ากับ 11.35 โวลต์ ซึ่งได้กำลังประมาณ 42.32 วัตต์ ค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 43.10 วัตต์ ที่แรงดัน 10.67 โวลต์

จากการทดลองทดสอบการเปิดวงจรของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และ เปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ โดยที่มีการต่อและไม่ต่อแบตเตอรี่ เพื่อวัดค่าแรงดัน 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจรเพื่อประมาณค่าจุดกำลังสูงสุดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ พบว่าค่าแรงดัน 0.7 เท่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงดันเปิดวงจร นั้นมีค่าเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามที่คาดการณ์ไว้และ พบว่าในช่วงที่มีค่าความสว่างของแสงอาทิตย์น้อยนั้น ค่าแรงดัน 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจร มีค่าเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อไม่ต่อแบตเตอรี่ แต่เมื่อความสว่างของแสงอาทิตย์มีค่ามากขึ้น ค่าแรงดัน 0.7 เท่าของแรงดันเปิดวงจร มีค่าเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อต่อแบตเตอรี่

### 5.3 ผลการทดลองคุณลักษณะกึ่งहनผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล

ทำการทดลองหากราฟคุณลักษณะทางด้านขาออกโดยการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.9 ที่สภาวะความต้านทาน 3 ระดับ คือ 760 โอห์ม 590 โอห์ม 390 โอห์ม

ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งहनผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความต้านทาน 760 โอห์ม

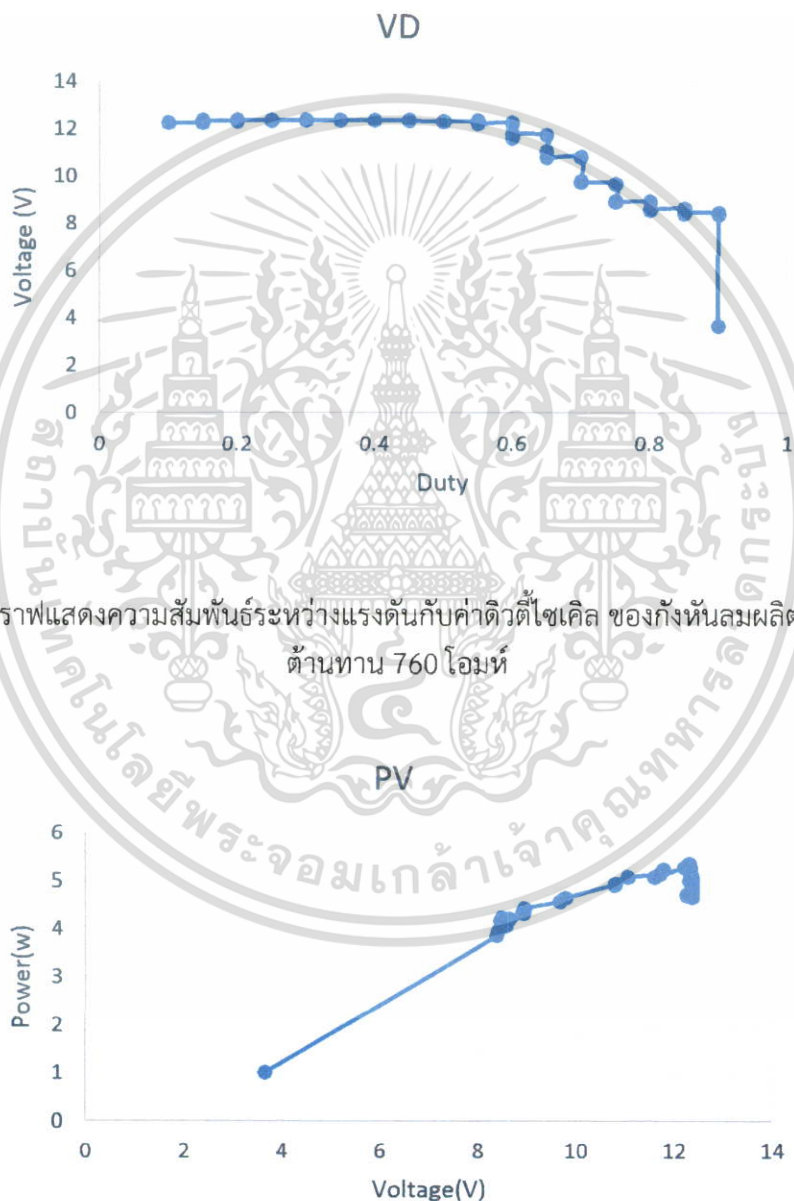
ตารางที่ 5.16 ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งहनผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลที่ความต้านทาน 760 โอห์ม

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.10	0.39	12.26	4.73	0.55	0.43	12.33	5.25
0.10	0.39	12.26	4.73	0.55	0.44	12.30	5.36
0.10	0.39	12.26	4.73	0.55	0.43	12.21	5.27
0.15	0.38	12.26	4.70	0.60	0.43	12.25	5.30
0.15	0.38	12.36	4.70	0.60	0.44	11.60	5.08
0.15	0.38	12.36	4.66	0.60	0.44	11.78	5.23
0.20	0.38	12.34	4.72	0.65	0.44	11.72	5.15
0.20	0.38	12.36	4.74	0.65	0.46	11.05	5.08
0.20	0.38	12.36	4.75	0.65	0.46	10.79	4.92
0.25	0.38	12.35	4.72	0.70	0.46	10.80	4.94
0.25	0.39	12.36	4.82	0.70	0.47	9.78	4.65
0.25	0.39	12.36	4.77	0.70	0.47	9.75	4.63
0.30	0.39	12.36	4.77	0.75	0.47	9.67	4.57
0.30	0.40	12.36	4.89	0.75	0.50	8.94	4.43
0.30	0.39	12.36	4.82	0.75	0.49	8.91	4.34
0.35	0.39	12.36	4.81	0.80	0.48	8.93	4.32
0.35	0.39	12.36	4.84	0.80	0.47	8.56	4.06
0.35	0.39	12.36	4.87	0.80	0.49	8.61	4.18
0.40	0.39	12.36	4.87	0.85	0.49	8.64	4.20
0.40	0.40	12.36	4.98	0.85	0.47	8.41	3.96
0.40	0.41	12.36	5.02	0.85	0.50	8.48	4.23
0.45	0.40	12.36	5.00	0.90	0.49	8.46	4.17
0.45	0.41	12.36	5.09	0.90	0.46	8.38	3.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)		Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.45	0.40	12.35	4.98		0.90	0.27	3.66	1.01
0.50	0.41	12.31	5.01					
0.50	0.42	12.31	5.17					
0.50	0.42	12.32	5.19					



รูปที่ 5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าดีวตีไซเคิล ของกึ่งहनผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 760 โอห์ม

รูปที่ 5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน ของกึ่งहनผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 760 โอห์ม

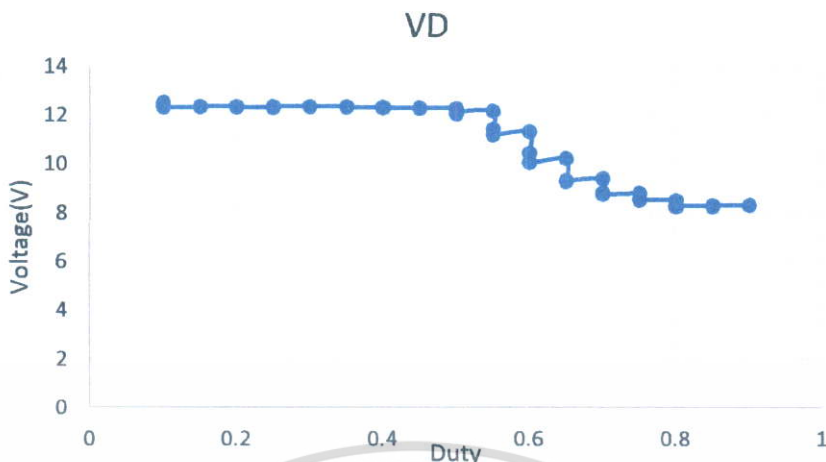
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตีไซเคิลที่ความต้านทาน 590 โอห์ม

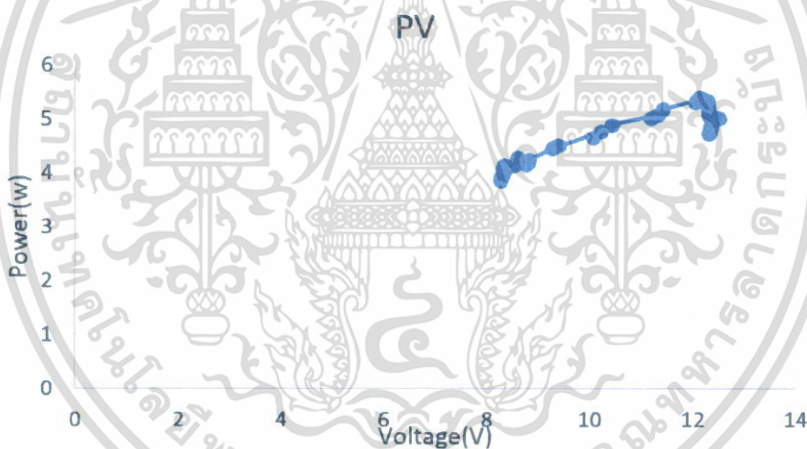
ตารางที่ 5.17 ผลการทดลองคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตีไซเคิลที่ความต้านทาน 590 โอห์ม

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.10	0.40	12.52	5.01	0.55	0.44	12.18	5.38
0.10	0.40	12.52	5.01	0.55	0.45	11.43	5.18
0.10	0.39	12.34	4.82	0.55	0.45	11.20	5.01
0.15	0.39	12.35	4.81	0.60	0.45	11.33	5.08
0.15	0.39	12.36	4.86	0.60	0.47	10.44	4.89
0.15	0.39	12.36	4.82	0.60	0.46	10.07	4.65
0.20	0.39	12.36	4.88	0.65	0.47	10.23	4.77
0.20	0.39	12.36	4.88	0.65	0.48	9.28	4.45
0.20	0.39	12.34	4.75	0.65	0.48	9.32	4.48
0.25	0.38	12.32	4.73	0.70	0.48	9.40	4.51
0.25	0.39	12.35	4.85	0.70	0.48	8.82	4.24
0.25	0.39	12.36	4.86	0.70	0.47	8.77	4.15
0.30	0.40	12.36	4.90	0.75	0.47	8.81	4.19
0.30	0.40	12.36	5.00	0.75	0.50	8.60	4.28
0.30	0.40	12.36	5.00	0.75	0.49	8.55	4.16
0.35	0.40	12.36	5.00	0.80	0.48	8.52	4.13
0.35	0.41	12.34	5.10	0.80	0.47	8.27	3.85
0.35	0.41	12.33	5.05	0.80	0.48	8.33	3.99
0.40	0.41	12.33	5.05	0.85	0.47	8.30	3.92
0.40	0.41	12.31	5.09	0.85	0.47	8.28	3.91
0.40	0.42	12.31	5.18	0.85	0.49	8.32	4.07
0.45	0.43	12.31	5.23	0.90	0.49	8.33	4.06
0.45	0.43	12.30	5.34	0.90	0.49	8.33	4.09
0.45	0.43	12.30	5.31	0.90	0.50	8.33	4.13
0.50	0.43	12.30	5.23				
0.50	0.44	12.06	5.31				
0.50	0.44	12.14	5.40				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าตัวตัดไซเคิล ของกึ่งहनผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 590 โอห์ม



รูปที่ 5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน ของกึ่งहनผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 590 โอห์ม

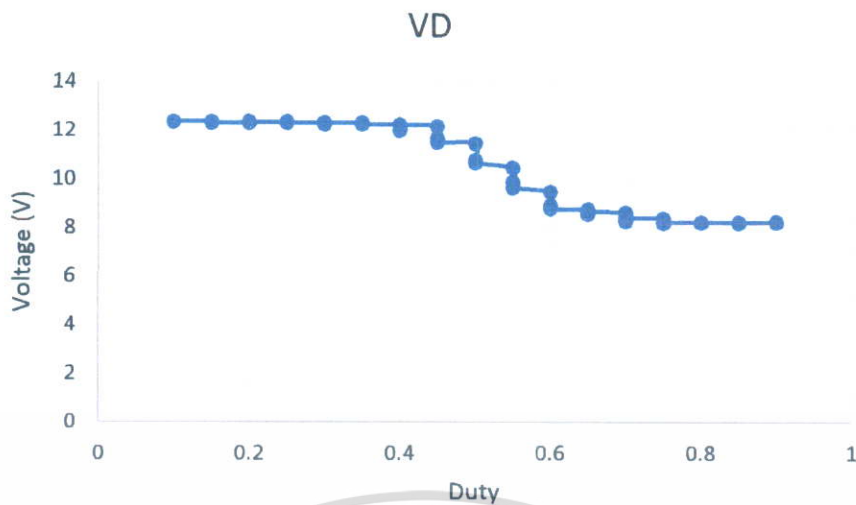
ผลการทดลองคุณลักษณะของกึ่งहनผลผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตัดไซเคิลที่ความต้านทาน 390 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 ผลการทดลองคุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยวิธีเปลี่ยนค่าตัวตีไซเคิลที่ความ  
ต้านทาน 390 โอห์ม

Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Duty	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
0.10	0.41	12.35	5.06	0.55	0.47	10.45	4.91
0.10	0.41	12.35	5.06	0.55	0.48	9.85	4.75
0.10	0.40	12.36	4.93	0.55	0.47	9.64	4.57
0.15	0.40	12.36	4.90	0.60	0.47	9.46	4.46
0.15	0.40	12.36	4.97	0.60	0.49	8.91	4.32
0.15	0.40	12.32	4.96	0.60	0.47	8.77	4.09
0.20	0.40	12.31	4.91	0.65	0.47	8.75	4.10
0.20	0.41	12.34	5.05	0.65	0.48	8.55	4.10
0.20	0.41	12.33	5.05	0.65	0.49	8.65	4.26
0.25	0.41	12.33	5.09	0.70	0.49	8.61	4.21
0.25	0.42	12.34	5.18	0.70	0.47	8.27	3.92
0.25	0.42	12.31	5.12	0.70	0.48	8.38	4.06
0.30	0.42	12.32	5.13	0.75	0.49	8.38	4.12
0.30	0.42	12.25	5.13	0.75	0.48	8.19	3.91
0.30	0.42	12.30	5.22	0.75	0.49	8.22	4.04
0.35	0.42	12.30	5.22	0.80	0.49	8.22	4.04
0.35	0.44	12.25	5.34	0.80	0.48	8.22	3.97
0.35	0.43	12.25	5.27	0.80	0.48	8.22	3.98
0.40	0.43	12.22	5.29	0.85	0.48	8.22	3.97
0.40	0.45	11.98	5.34	0.85	0.49	8.22	4.01
0.40	0.45	12.20	5.46	0.85	0.48	8.21	3.91
0.45	0.45	12.16	5.47	0.90	0.49	8.22	3.99
0.45	0.46	11.67	5.35	0.90	0.49	8.23	4.02
0.45	0.46	11.49	5.26	0.90	0.49	8.23	4.05
0.50	0.45	11.45	5.19				
0.50	0.47	10.76	5.05				
0.50	0.46	10.64	4.95				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าดิวตี้ไซเคิล ของกัณฑ์ผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 390 โอห์ม



รูปที่ 5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันไฟฟ้า ของกัณฑ์ผลผลิตไฟฟ้าที่ความต้านทาน 390 โอห์ม

จากการทดลองพบว่าที่โหลดความต้านทานค่าต่างกันจะให้ผลของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดันที่แตกต่างกัน และพบว่าเมื่อมีจุดแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงสามารถที่จะทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

**5.4 การทดลองและผลการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกัณฑ์ผลผลิตไฟฟ้าแบบปรับได้แบบอัตโนมัติ**

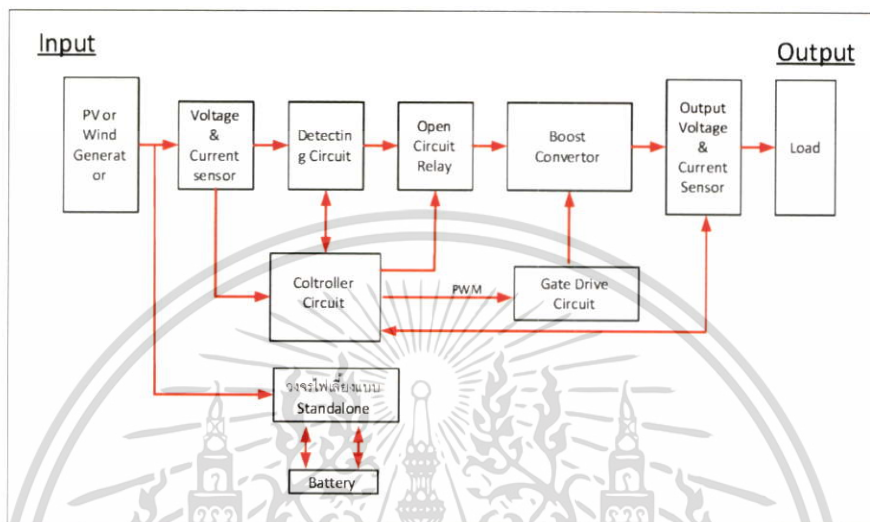
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการเทคนิคที่นำเสนอในระบบเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

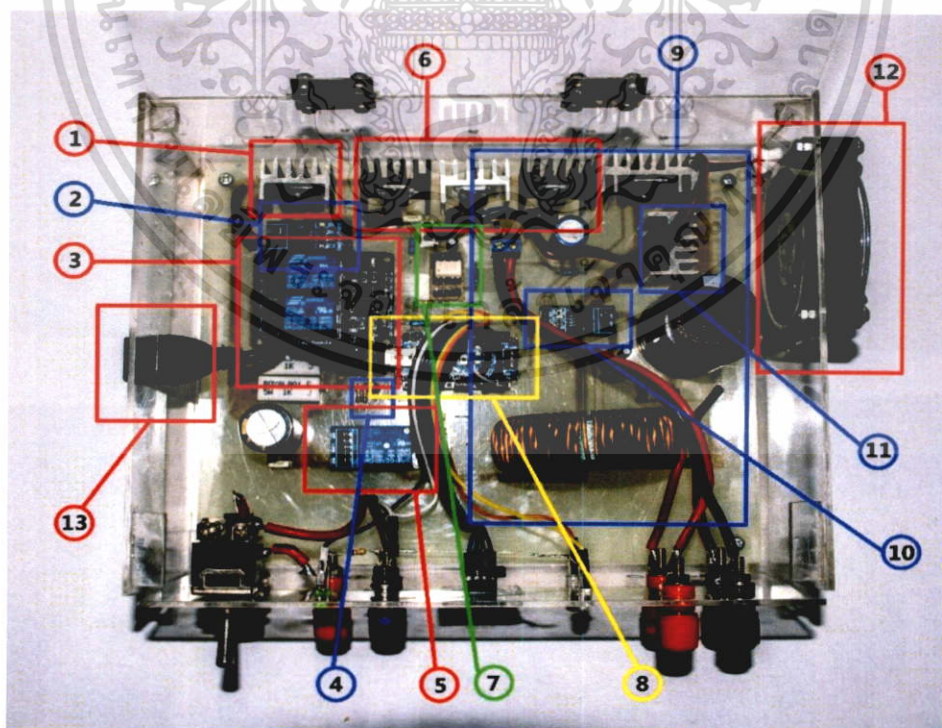
2 การทดลอง คือ ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงคงที่ และที่สภาวะความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง และในระบบกักเก็บผลิตไฟฟ้าที่สภาวะความเร็วลมคงที่และความเร็วลมไม่คงที่

#### 5.4.1 วงจรและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองวิธีจะมีการทดลองที่เหมือนกันแล้ว นำผลกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบ โดยใช้วงจรดังรูปที่ 5.41 ในการทดลองซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้



รูปที่ 5.41 แผนภาพวงจรที่ใช้ในการทดลอง

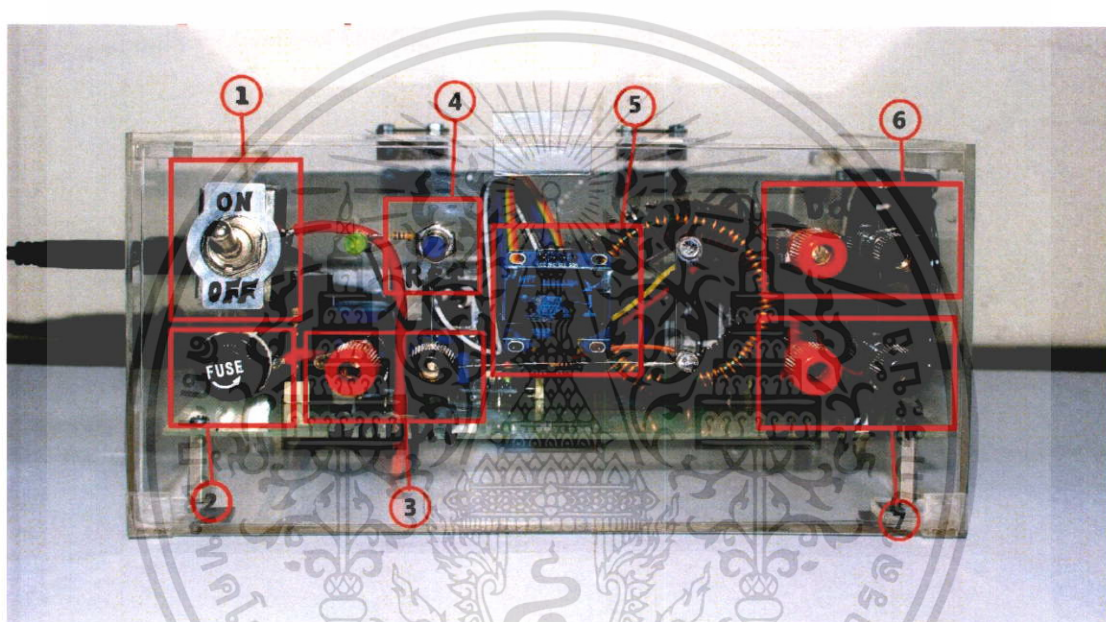


รูปที่ 5.42 วงจรจริงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรการทดลอง

1. Diode Input	8. Controller Circuit
2. Current sensor Input	9. Boost Converter
3. Detecting Circuit	10. Current sensor Output
4. Voltage sensor Input	Voltage sensor Output
5. Open circuit Relay	11. Diode Output
6. วงจรไฟเลี้ยงแบบ standalone	12. พัดลมระบายความร้อน
7. Gate Drive Circuit	13. USB connector



รูปที่ 5.43 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

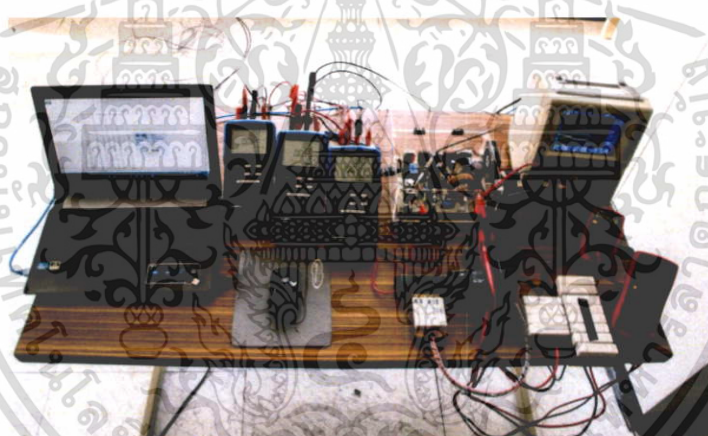
ตารางที่ 5.19 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรการทดลอง

1. Switch ON-OFF	5. จอ OLED
2. Fuse	6. Battery input
3. Input	7. Output
4. Reset	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

1. นำวงจรมาต่อโหนดขนาด 20 โอห์ม โดยมีแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง



รูปที่ 5.44 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2. ทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองวิธีที่ค่าความเข้มแสงคงที่ที่ 3 ระดับ คือ 520 วัตต์/ตารางเมตร 650 วัตต์/ตารางเมตร และ 780 วัตต์/ตารางเมตร
3. ทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองวิธีที่ค่าความเข้มแสงคงที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. เปรียบเทียบสองวิธี ในกรณีความเข้มแสงคงที่และไม่คงที่
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้กับกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 2 ระดับ แบบลมคงที่และลมไม่คงที่
6. ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีที่นำเสนอด้วยพิกัด 500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงคงที่

ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 520 วัตต์/ตารางเมตร 650 วัตต์/ตารางเมตร และ 780 วัตต์/ตารางเมตร

5.4.2.1 ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสงทดสอบคุณสมบัติ 520 วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์

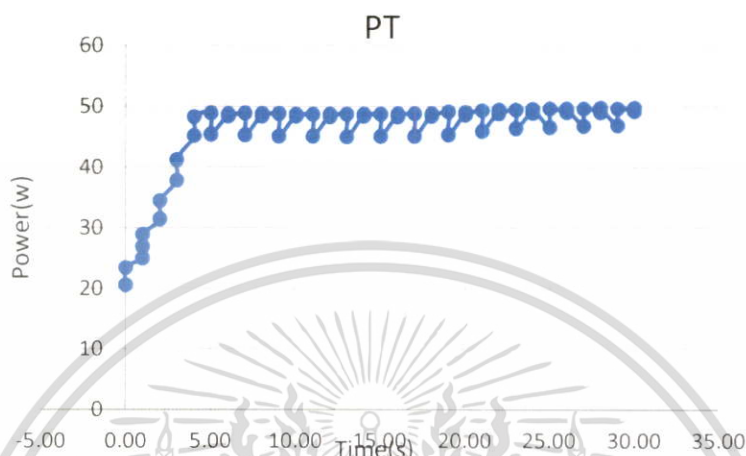


รูปที่ 5.45 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

รูปที่ 5.46 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

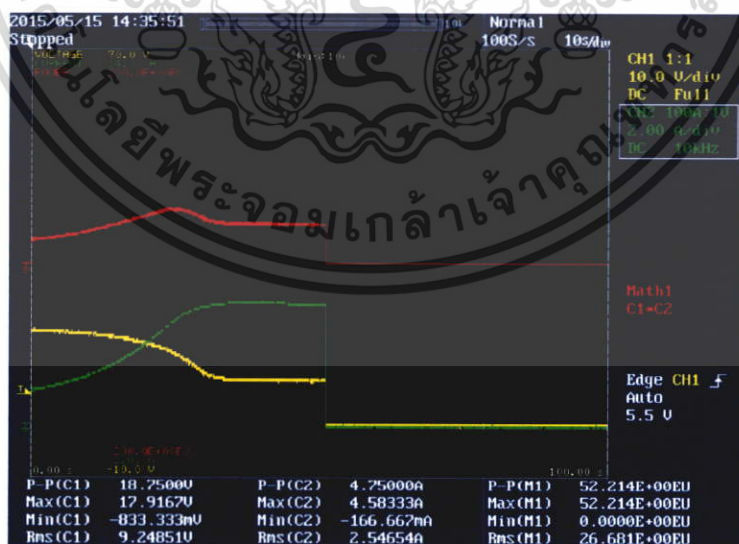
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.45 และรูปที่ 5.46 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 520วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 50.67วัตต์ แรงดันประมาณ 12.87 โวลต์ กระแสประมาณ 3.94 แอมป์  
ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.47 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.47 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 49.86 วัตต์ แรงดัน 12.37 โวลต์ กระแส 4.03 แอมป์

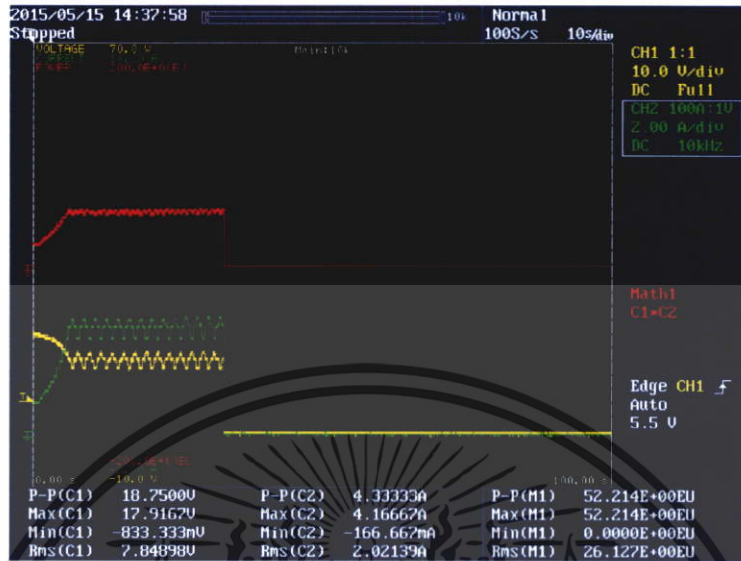


รูปที่ 5.48 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.48 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 520วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 52.21 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.73 โวลต์ กระแสประมาณ 4.10 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

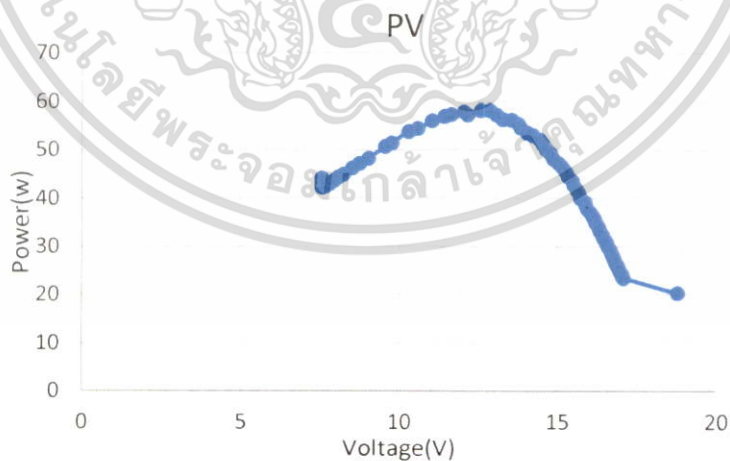
ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520  
วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.49 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

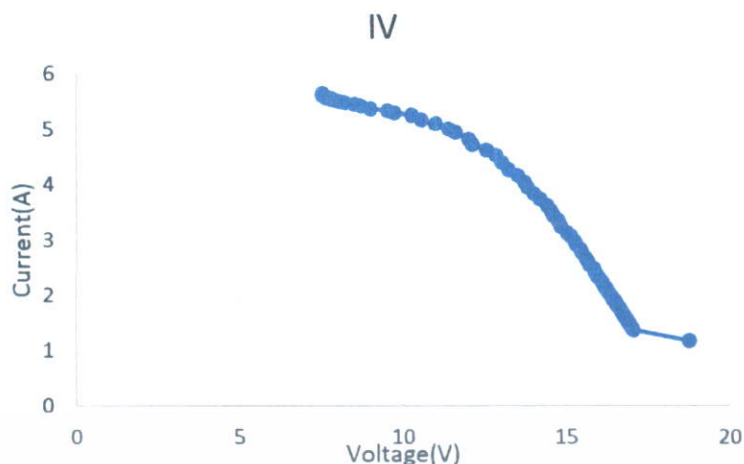
5.4.2.2 ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสงทดสอบคุณสมบัติ 650 วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



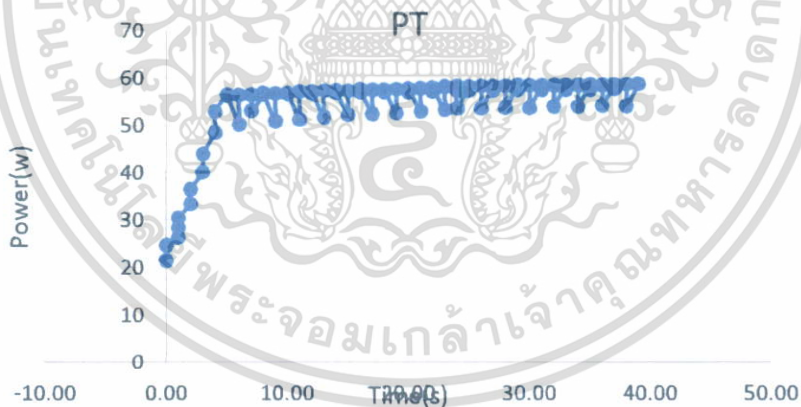
รูปที่ 5.50 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า  
แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

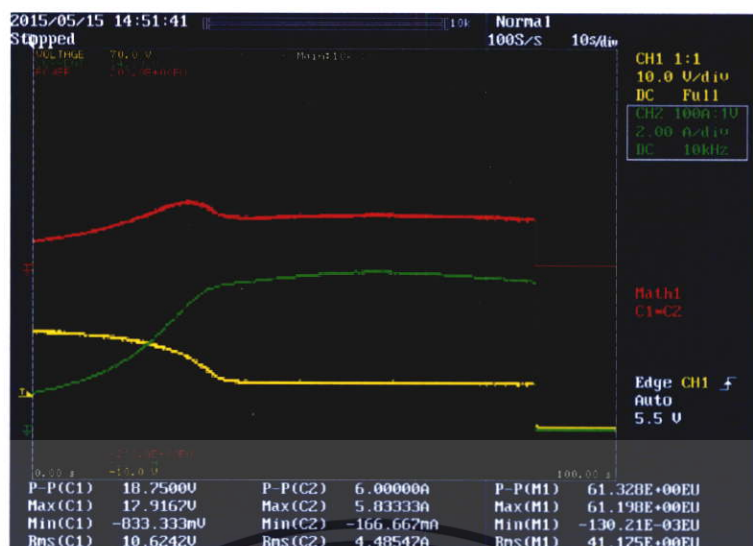
จากรูปที่ 5.50 และรูปที่ 5.51 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/  
ตารางเมตร ได้กำลัง 58.22 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.83 โวลต์ กระแสประมาณ 4.54 แอมป์  
ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 650  
วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.52 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต  
ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.52 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความ  
เข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 58.77 วัตต์ แรงดัน 12.01 โวลต์ กระแส 4.89 แอมป์

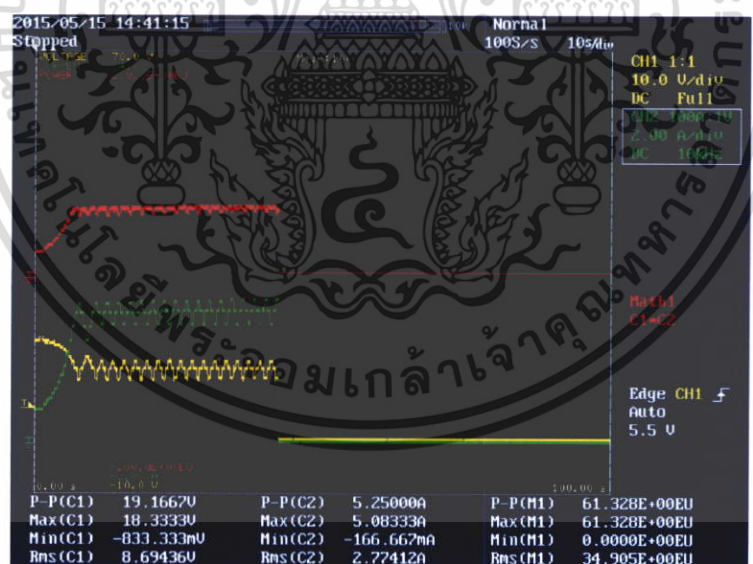
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.53 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.53 จากราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 650วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 61.33 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.54 โวลต์ กระแสประมาณ 4.89 แอมป์

ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร



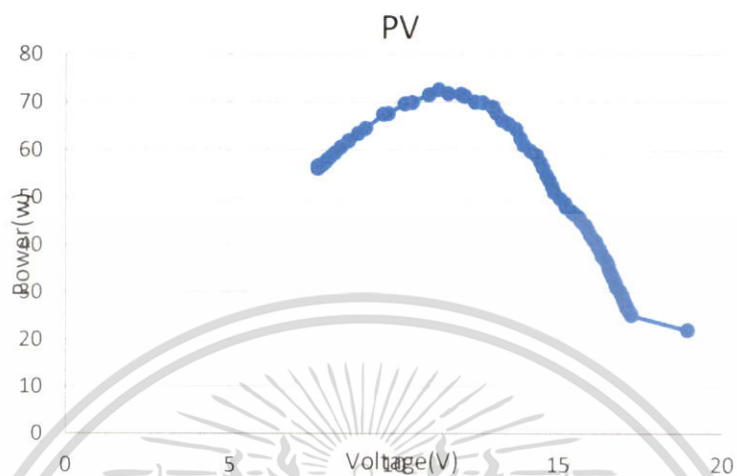
รูปที่ 5.54 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.54 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 60.00-61.33 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง วัตต์ แรงดัน 11.50-13.50 โวลต์ กระแส 4.00-5.00 แอมป์

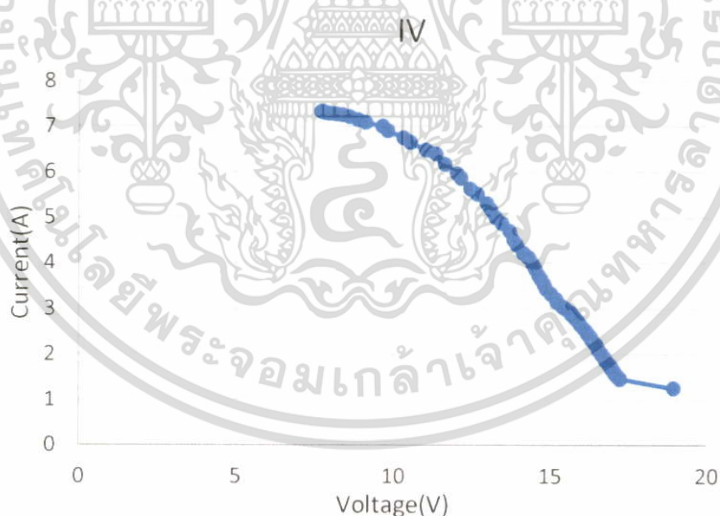
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.3 ทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสงทดสอบ  
คุณสมบัติ 780 วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.55 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า  
แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

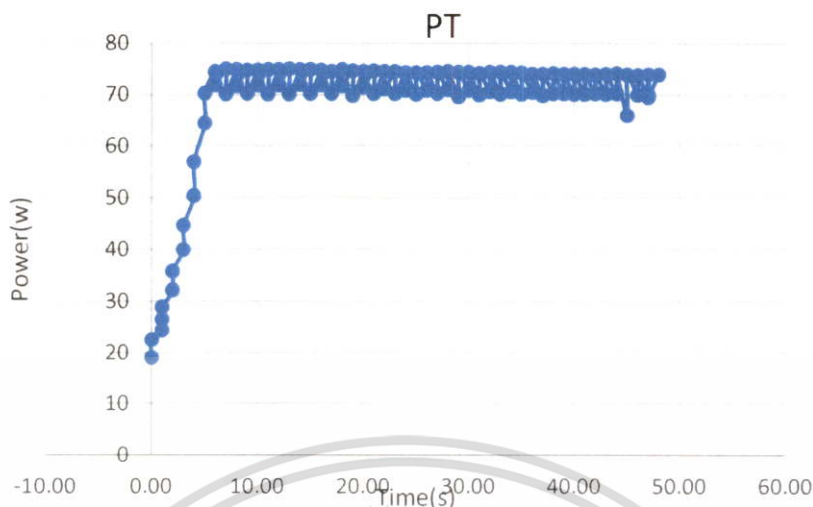


รูปที่ 5.56 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า  
แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.55 และรูปที่ 5.56 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/  
ตารางเมตร ได้กำลัง 72.58 วัตต์ แรงดันประมาณ 11.34 โวลต์ กระแสประมาณ 6.40 แอมป์

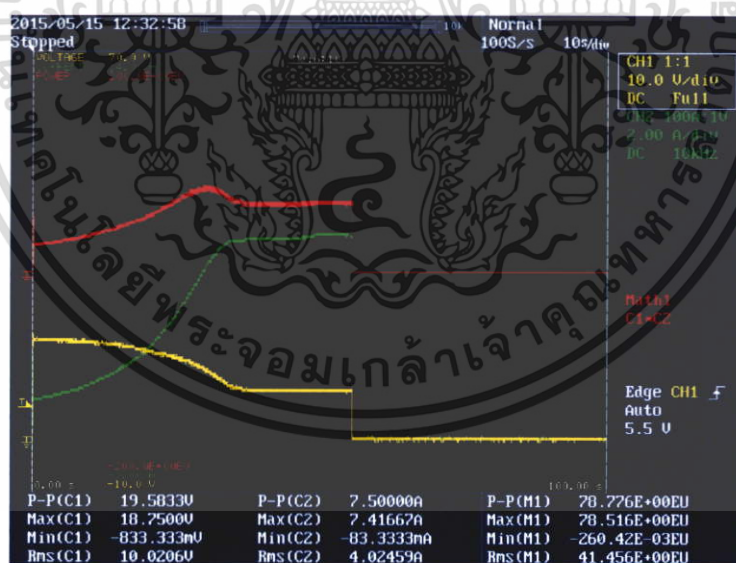
ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780  
วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.57 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 75.8 วัตต์ แรงดัน 12.07 โวลต์ กระแส 6.28 แอมป์

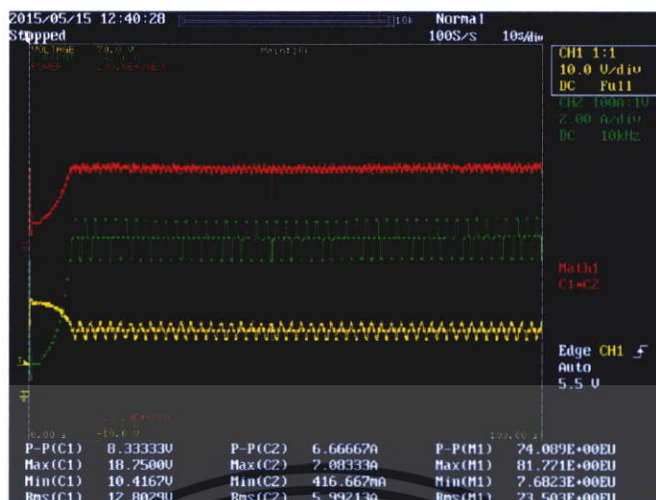


รูปที่ 5.58 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.58 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 74.09 วัตต์ แรงดันประมาณ 10.90 โวลต์ กระแสประมาณ 6.80 แอมป์

ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



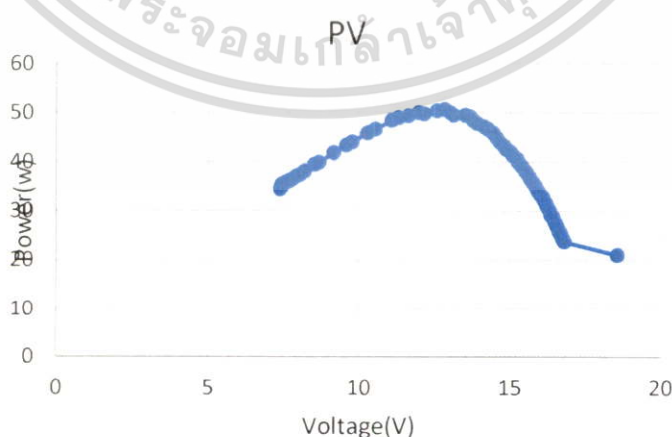
รูปที่ 5.59 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.59 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 74.09-81.77 วัตต์ แรงดัน 10.50-14.50 โวลต์ กระแส 6.67-7.08 แอมป์

5.4.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่ ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกที่ความเข้มแสง 3 ระดับ คือ 520 วัตต์/ตารางเมตร 650 วัตต์/ตารางเมตร และ 780 วัตต์/ตารางเมตร

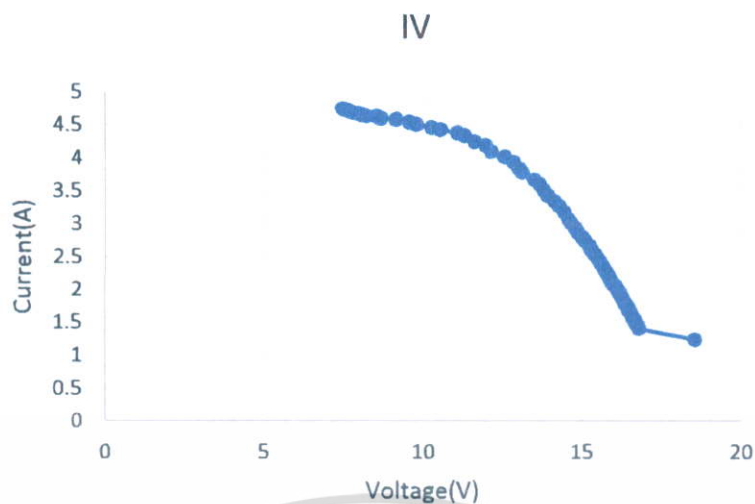
5.4.3.1 ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีที่นำเสนอที่ความเข้มแสงทดสอบคุณสมบัติ 520วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



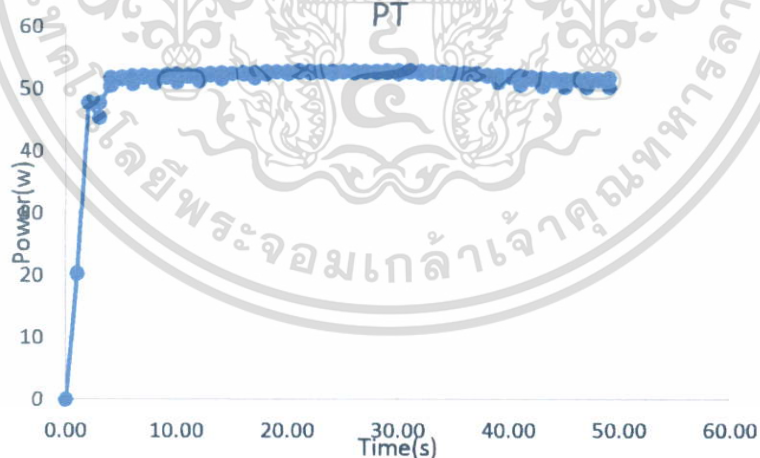
รูปที่ 5.60 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า

แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.61 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.61 และรูปที่ 222 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 520วัตต์/ ตารางเมตร ได้กำลัง 50.67วัตต์ แรงดันประมาณ 12.87 โวลต์ กระแสประมาณ 3.94 แอมป์ ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.62 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้โดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตาราง เมตร

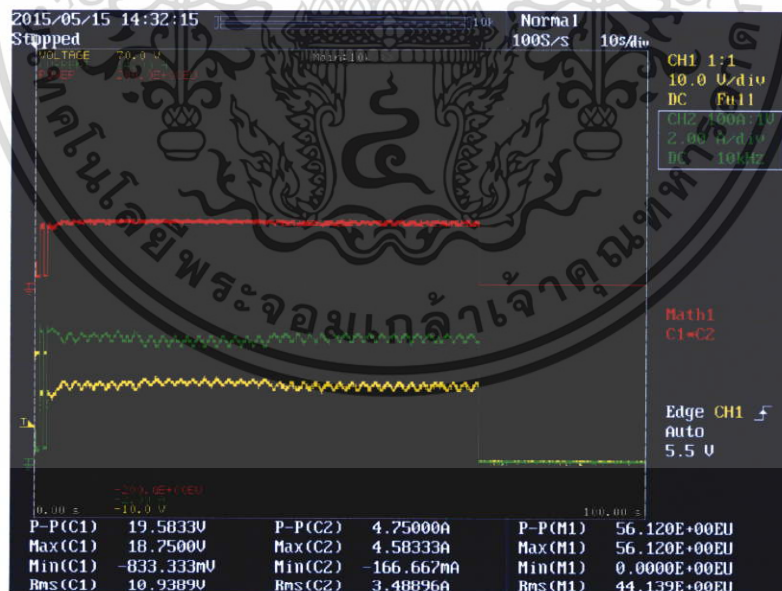
จากรูปที่ 5.62 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 52.95 วัตต์ แรงดัน 12.56 โวลต์ กระแส 4.21 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.63 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.63 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 52.21 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.73 โวลต์ กระแสประมาณ 4.10 แอมป์ ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร



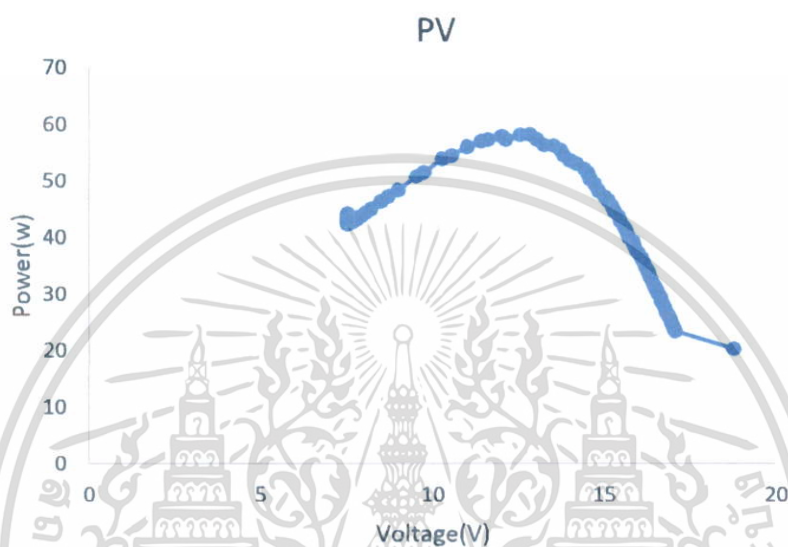
รูปที่ 5.64 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.64 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 520 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 55.55-56.125 วัตต์ แรงดัน 12.00-12.73 โวลต์ กระแส 4.58-4.75 แอมป์

5.4.3.2 ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



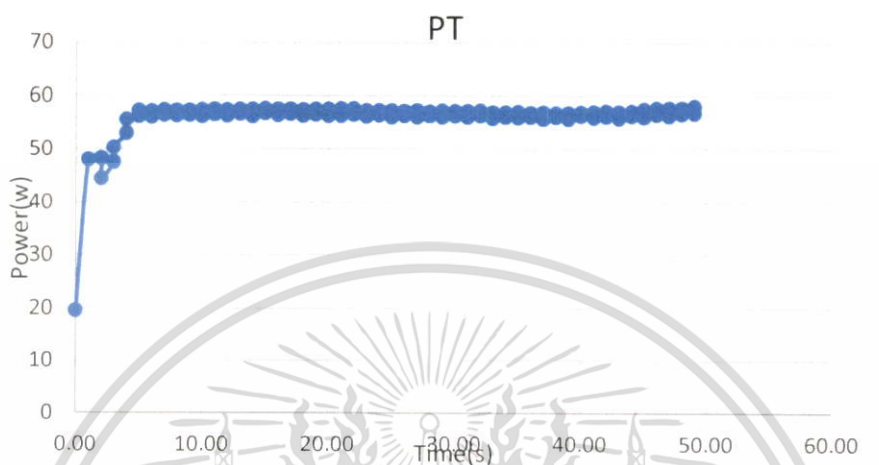
รูปที่ 5.65 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.66 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

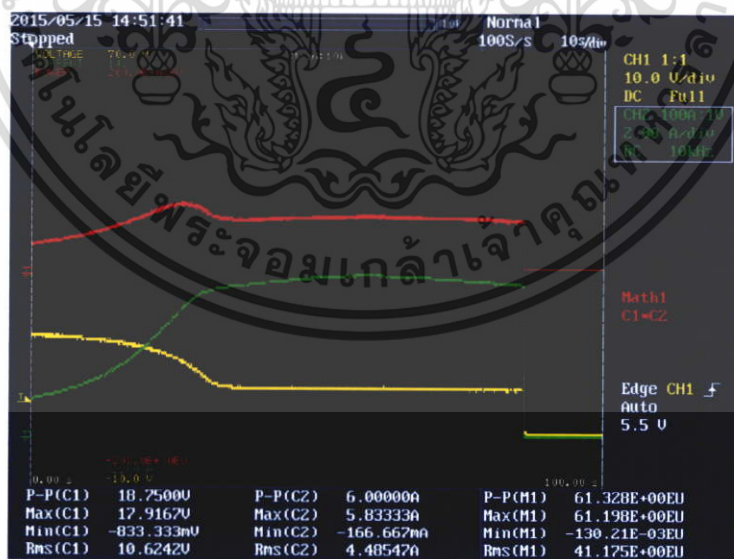
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.65 และรูปที่ 5.66 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 58.22 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.83 โวลต์ กระแสประมาณ 4.54 แอมป์ ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.67 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.67 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 64.15 วัตต์ แรงดัน 12.91 โวลต์ กระแส 4.97 แอมป์

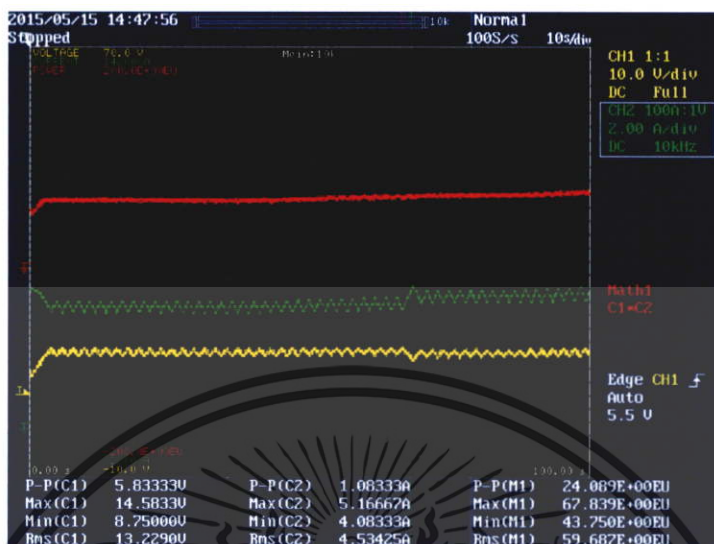


รูปที่ 5.68 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.68 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 61.33 วัตต์ แรงดันประมาณ 12.54 โวลต์ กระแสประมาณ 4.89 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 650  
วัตต์/ตารางเมตร

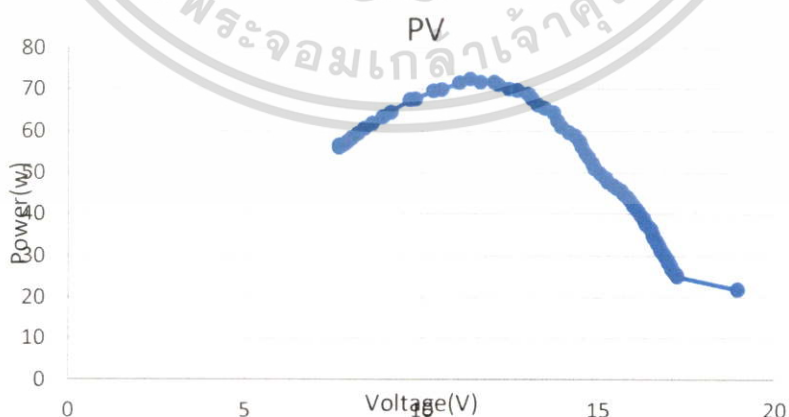


รูปที่ 5.69 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตาราง  
เมตร

จากรูปที่ 5.69 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง  
650 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 62.00 - 63.00 วัตต์ แรงดัน 12.00-13.00 โวลต์ กระแส 4.00 - 4.40  
แอมป์

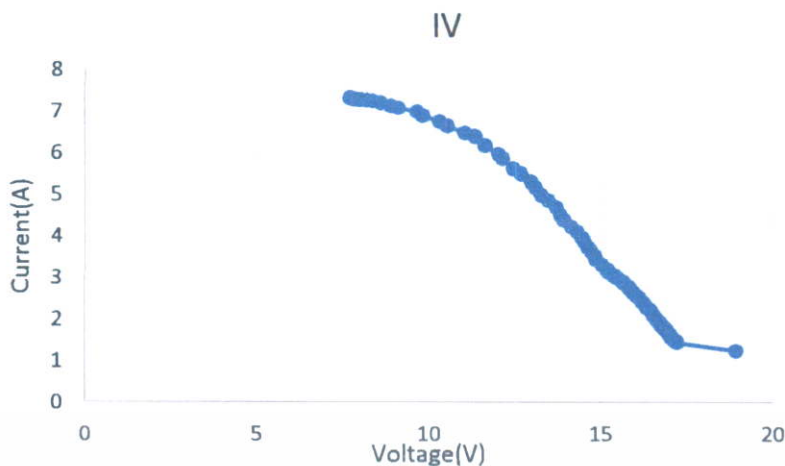
5.2.2.3 ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการที่นำเสนอ ที่ความ  
เข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

- การทดสอบคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.70 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า  
แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.71 กราฟแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส และ แรงดันของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.70 และรูปที่ 5.71 จากราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 72.58 วัตต์ แรงดันประมาณ 11.34 โวลต์ กระแสประมาณ 6.40 แอมป์ ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.72 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

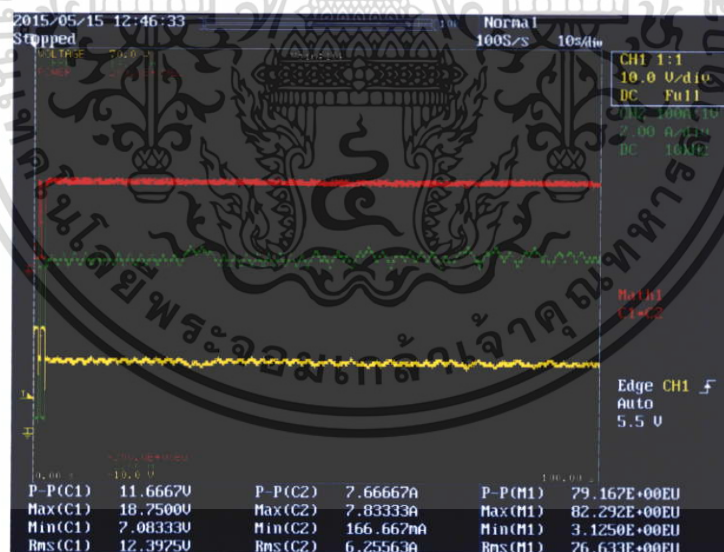
จากรูปที่ 5.72 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 75.93 วัตต์ แรงดัน 12.03 โวลต์ กระแส 6.31 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.73 กราฟแสดงคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.73 จากกราฟคุณลักษณะที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 74.09 วัตต์ แรงดันประมาณ 10.90 โวลต์ กระแสประมาณ 6.80 แอมป์ ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.74 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

จากรูปที่ 5.74 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลัง 74.00 - 75.00 วัตต์ แรงดัน 11.00 - 12.00 โวลต์ กระแส 6.00 - 7.00 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกต กับวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงคงที่

จะเห็นได้ว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกต และ วิธีการที่นำเสนอจบว่าทั้งสองวิธีการนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริงในช่วงค่าความเข้มแสงค่าต่างๆ ซึ่งตรงกับค่าคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แตกต่างกันที่ความเร็วการเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วิธีการที่นำเสนอเร็วกว่าและแตกต่างกันที่การแกว่งของค่ากำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันโดยมีค่าดังนี้

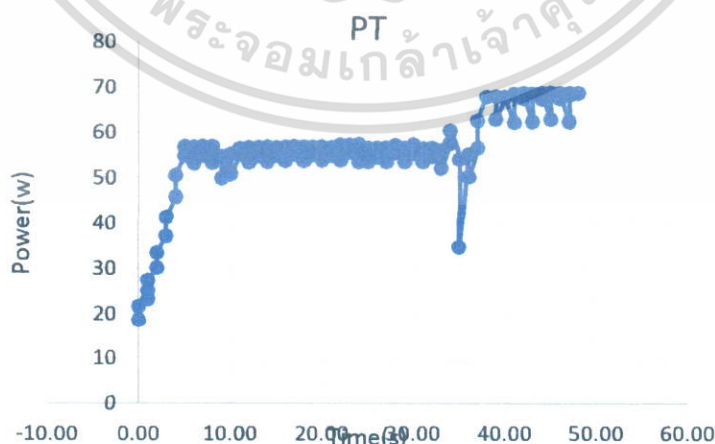
ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงคงที่

ความเข้มแสง	ความเข้มแสงคงที่			
	การแกว่งของแรงดันเฉลี่ย (โวลต์)		การแกว่งของกำลังเฉลี่ย (วัตต์)	
	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ	วิธีการรบกวนและสังเกต	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
520	1.41	0.53	1.94	0.58
650	1.47	0.55	2.95	1.06
780	1.49	0.33	3.92	0.85

5.4.5 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง โดยจะแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ

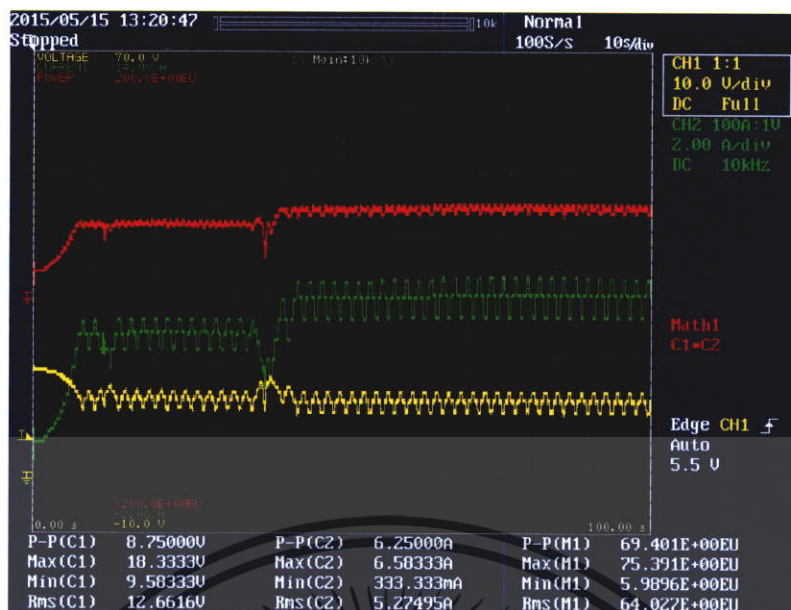
1. ความเข้มแสงที่ 650 เพิ่มขึ้นเป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร
2. ความเข้มแสงที่ 780 เพิ่มขึ้นเป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร



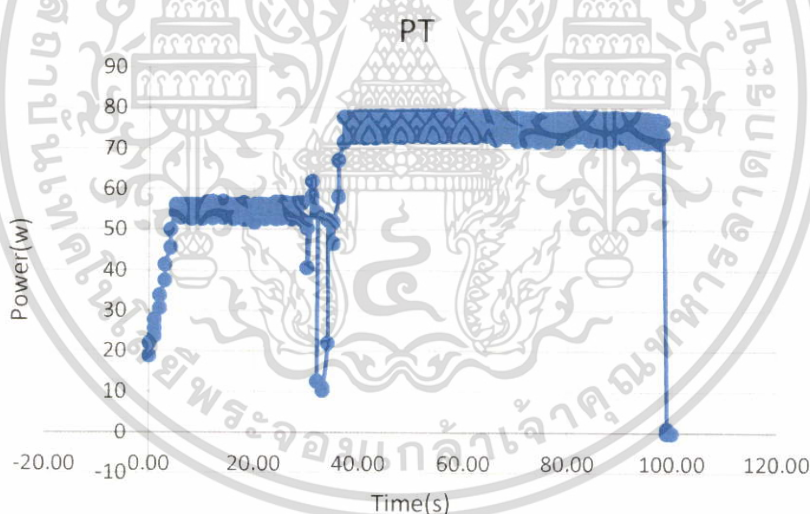
รูปที่ 5.75 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการ

เปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.76 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.77 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร

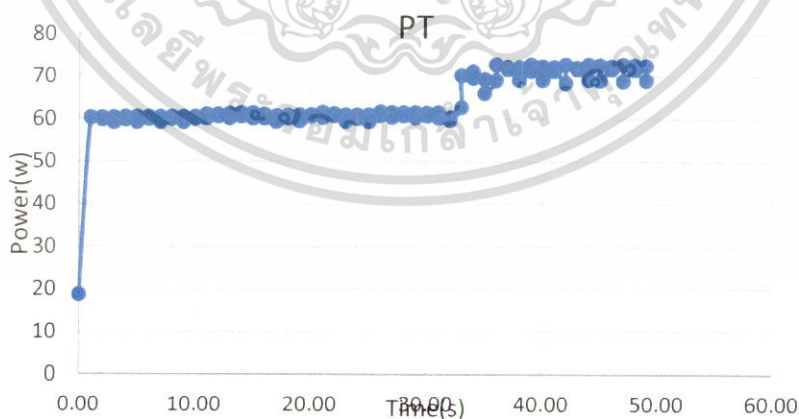
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.78 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร

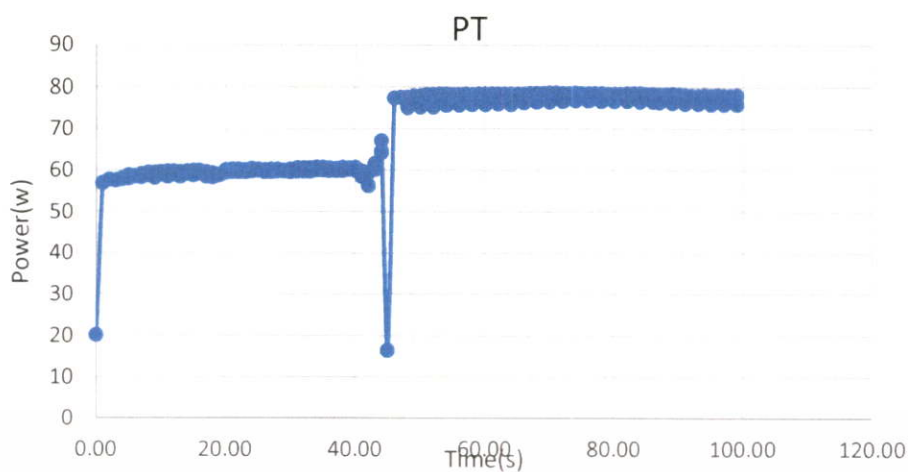
5.4.6 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง  
ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง โดยจะแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ

1. ความเข้มแสงที่ 650 เพิ่มขึ้นเป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร
2. ความเข้มแสงที่ 780 เพิ่มขึ้นเป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร

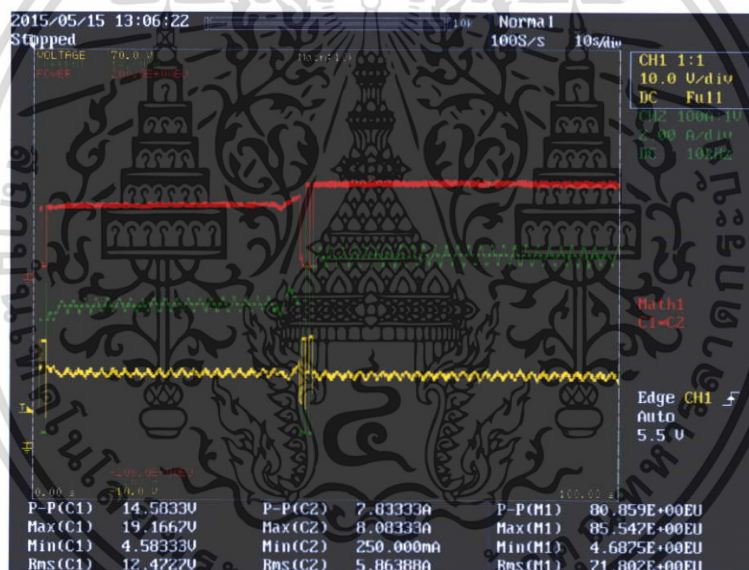


รูปที่ 5.79 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 650 เป็น 780 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.80 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.81 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงจาก 780 เป็น 820 วัตต์/ตารางเมตร

5.4.7 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างวิธีการรบกวนและสังเกตกับวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง

จากการทดลองข้างต้นสามารถเปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองวิธีพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตเนื่องจากเมื่อเราทำการวัดแรงดันเปิดดวงจรแล้วจะสามารถกระโดดค่าแรงดันไปที่จุดใกล้ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จากค่า 0.7 เท่าของค่าแรงดันเปิดดวงจรและวิธีการที่นำเสนอยังให้ค่าการกระเพื่อมของแรงดันน้อยกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตดังตารางที่ 5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

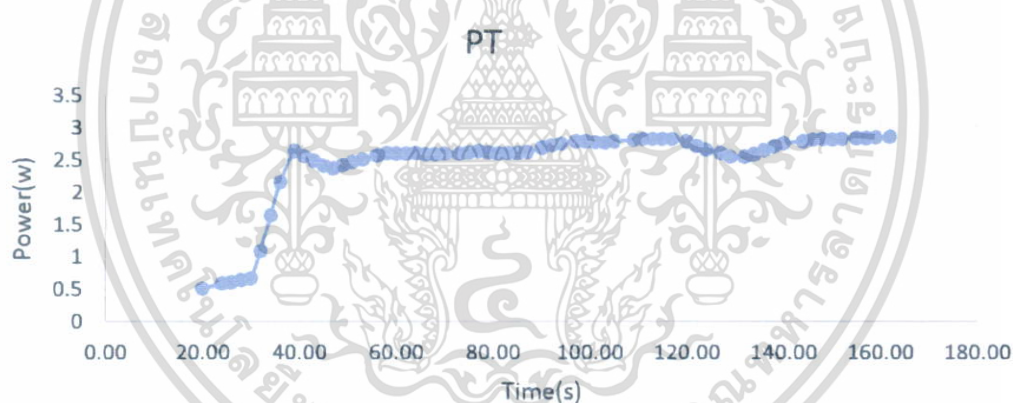
## ตารางที่ 5.20 เปรียบเทียบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 วิธีที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง				
ความเข้มแสง	การกระเพื่อมเฉลี่ย			
	วิธีรบกวนและสังเกต		วิธีเทคนิคที่นำเสนอ	
	แรงดัน(โวลต์)	กำลัง(วัตต์)	แรงดัน(โวลต์)	กำลัง(วัตต์)
650-780	1.5	4	0.5	1
780-820	1.5	4	0.5	1

5.4.8 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมคงที่

ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2 ระดับคือ 6 เมตร/วินาที และ 8 เมตร/วินาที

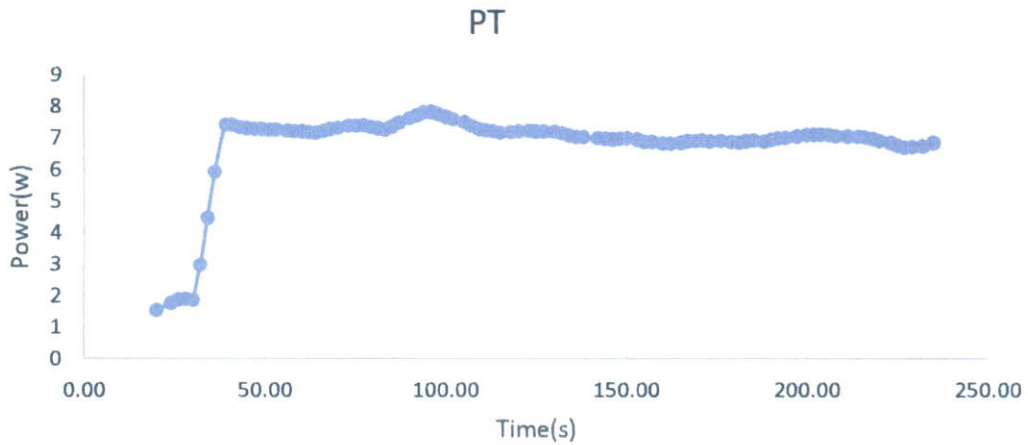
5.4.8.1 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.82 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 5.82 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 2.79 วัตต์

5.4.8.2 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.83 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที

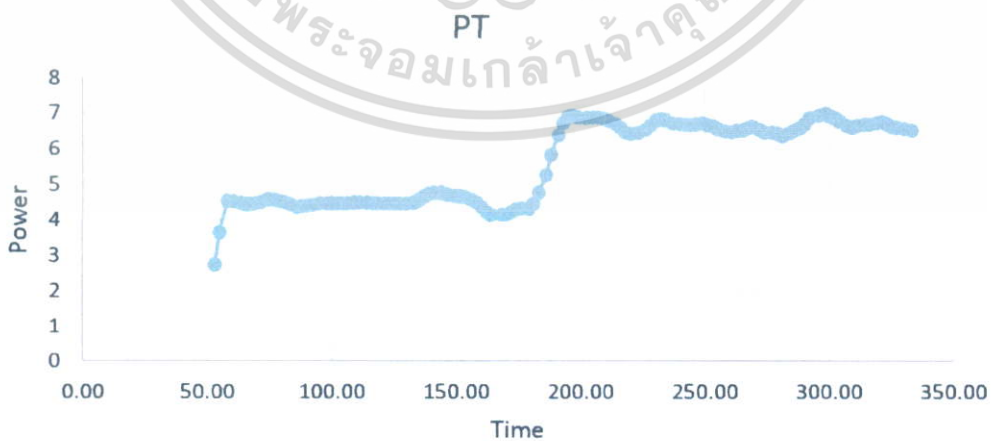
จากรูปที่ 5.83 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 7 วัตต์

5.4.9 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลง

ทำการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านขาออกเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง โดยจะแบ่งเป็น 2 การทดลองคือ

1. ความเร็วลมที่ 6 เพิ่มขึ้นเป็น 8 เมตร/วินาที
2. ความเร็วลมที่ 7 เพิ่มขึ้นเป็น 8.5 เมตร/วินาที

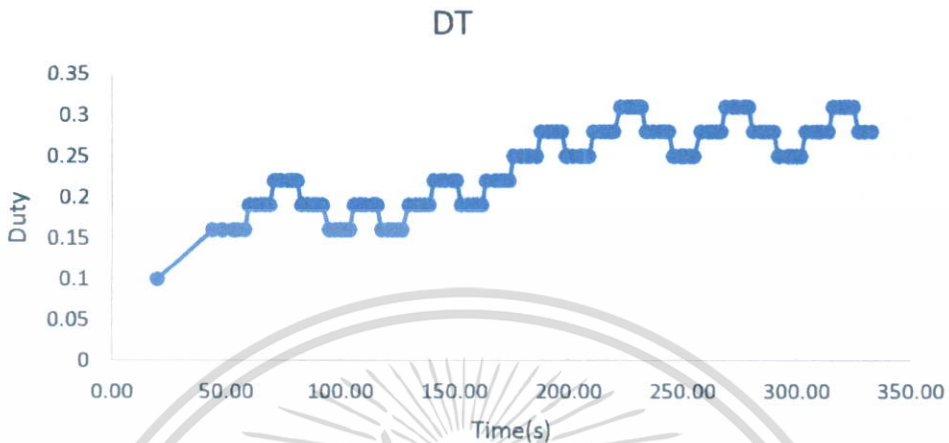
5.4.9.1 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ความเร็วลมที่ 6 เพิ่มขึ้นเป็น 8 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.84 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการ

เปลี่ยนแปลงจาก 6 เป็น 8 เมตร/วินาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

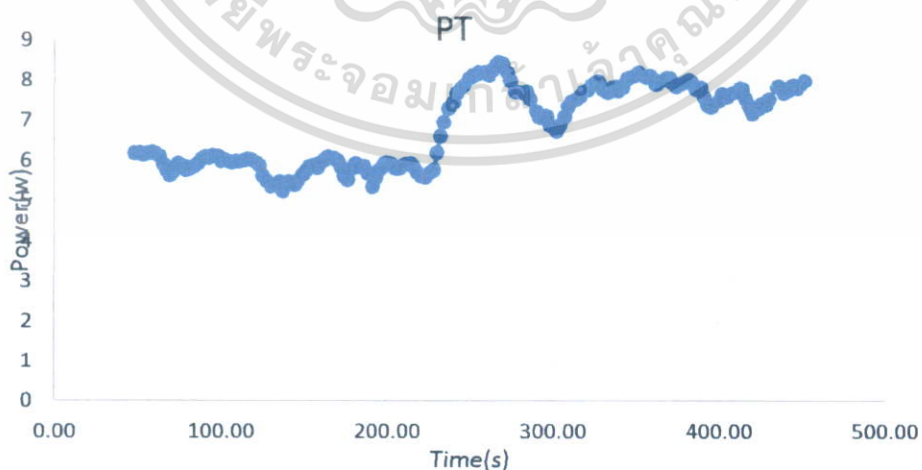
จากรูปที่ 5.84 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมช่วงแรก 6 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 4.5 วัตต์ และ ที่ความเร็วลมช่วงหลัง 8 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 7 วัตต์



รูปที่ 5.85 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 6 เป็น 8 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 5.85 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมช่วงแรก 6 เมตร/วินาที ได้ตัวต้นอยู่ที่ประมาณ 0.2 และ ที่ความเร็วลมช่วงหลัง 8 เมตร/วินาที ได้ตัวต้นอยู่ที่ประมาณ 0.3

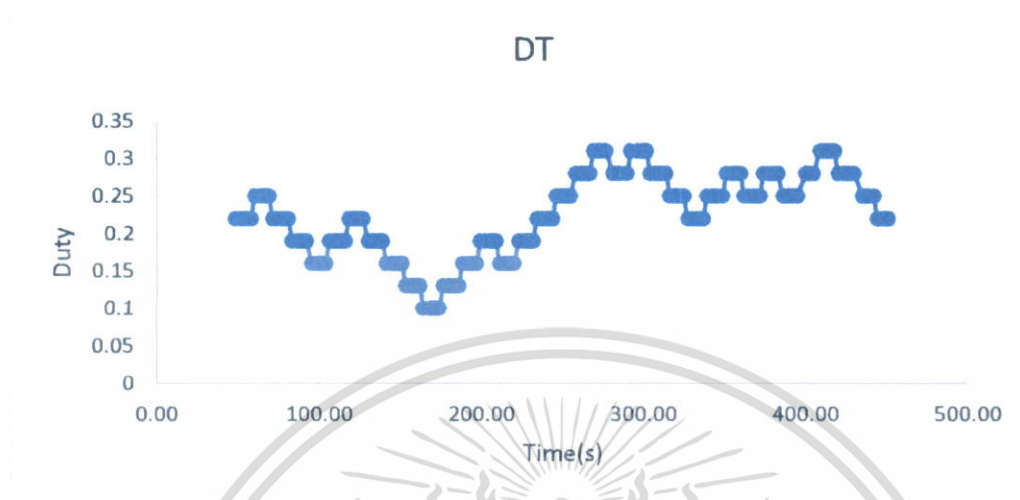
5.4.9.2 การทดสอบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ความเร็วลมที่ 7 เพิ่มขึ้นเป็น 8.5 เมตร/วินาที



รูปที่ 5.86 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 7 เป็น 8.5 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.86 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมช่วงแรก 6 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 6 วัตต์ และ ที่ความเร็วลมช่วงหลัง 8 เมตร/วินาที ได้กำลังประมาณ 8 วัตต์



รูปที่ 5.87 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจาก 7 เป็น 8.5 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 5.87 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเร็วลมช่วงแรก 6 เมตร/วินาที ได้ตัวต้นอยู่ที่ประมาณ 0.2 และ ที่ความเร็วลมช่วงหลัง 8 เมตร/วินาที ได้ตัวต้นอยู่ที่ประมาณ 0.3

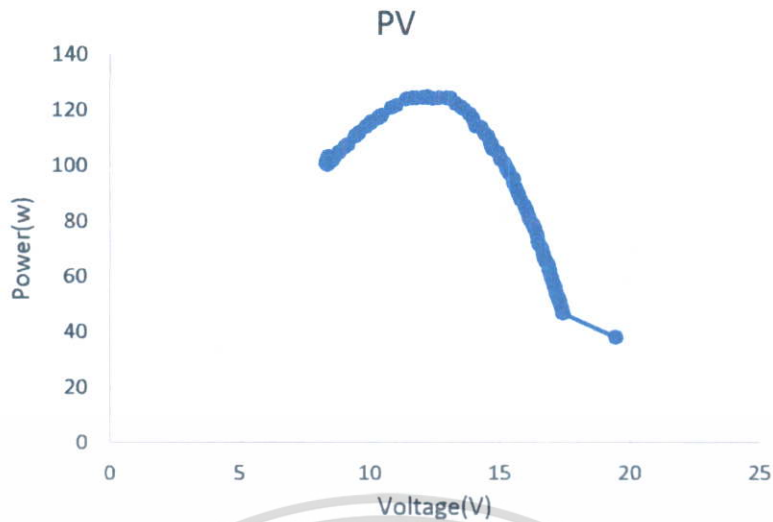
#### 5.4.10 การทดลองติดตามจุดกำลังสูงสุดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์พิกัด 500

วัตต์

การทดลองนี้จะใช้วงจรทอนระดับแรงดันโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 แผง ทั้งหมดขนานกัน ซึ่งใน 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีฟารามิเตอร์ดังนี้

ขนาดกำลังสูงสุด	125 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6 โวลต์
กระแสไฟฟ้่าลัดวงจร	7.64 แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่ก่าำลังสูงสุด	17 โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่ก่าำลังสูงสุด	7.36 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.88 กราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

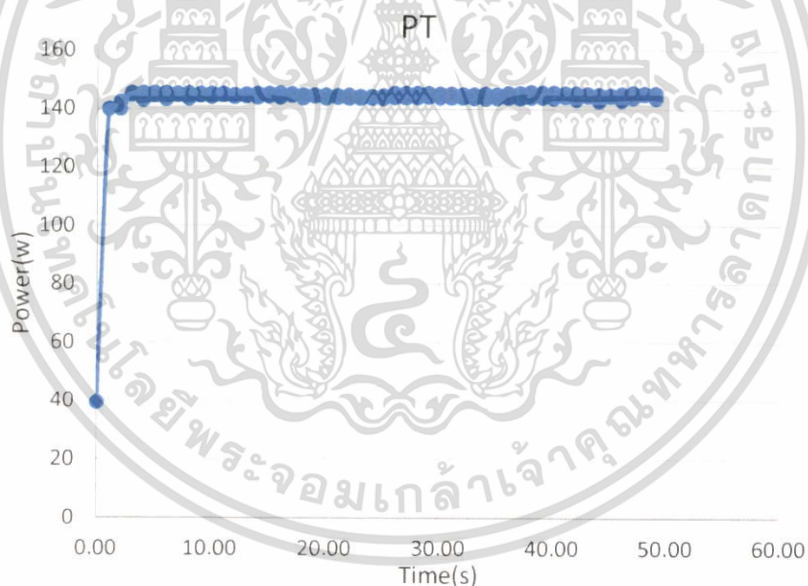


รูปที่ 5.89 กราฟคุณลักษณะของแรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

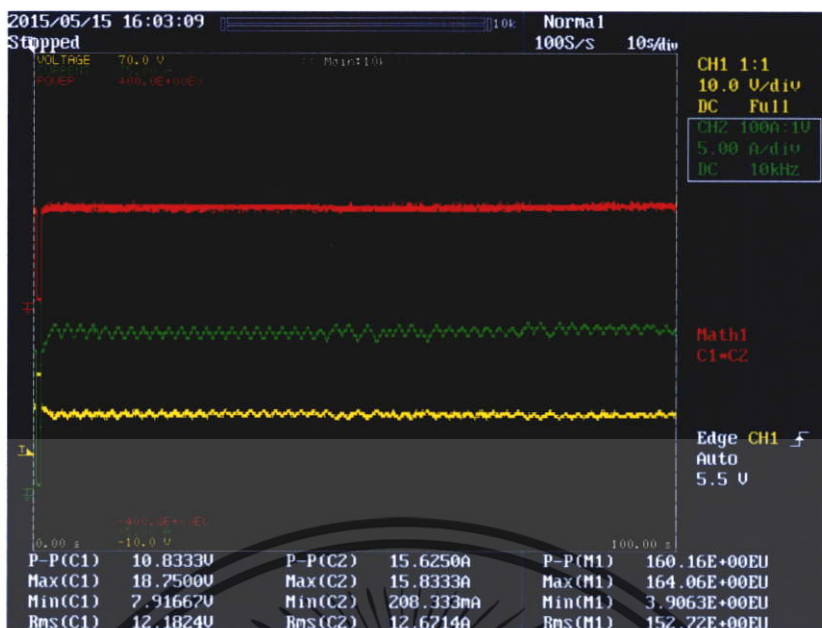


รูปที่ 5.90 กราฟคุณลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

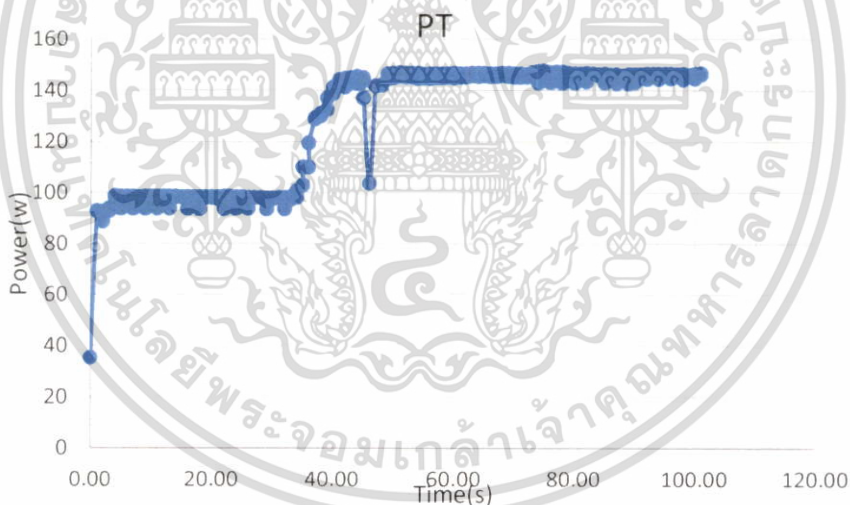


รูปที่ 5.91 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

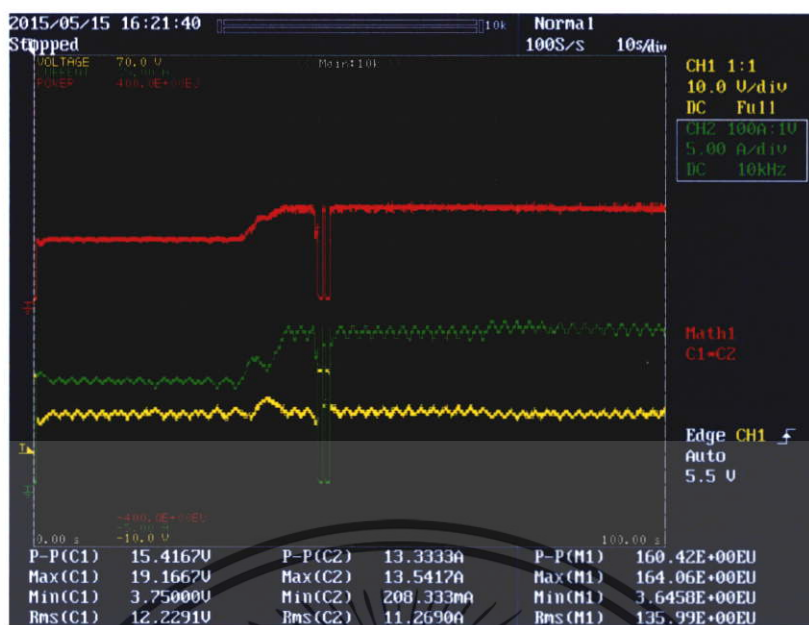


รูปที่ 5.92 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร



รูปที่ 5.93 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตาราง เมตร เปลี่ยนเป็นแสง 750 วัตต์/ตารางเมตร

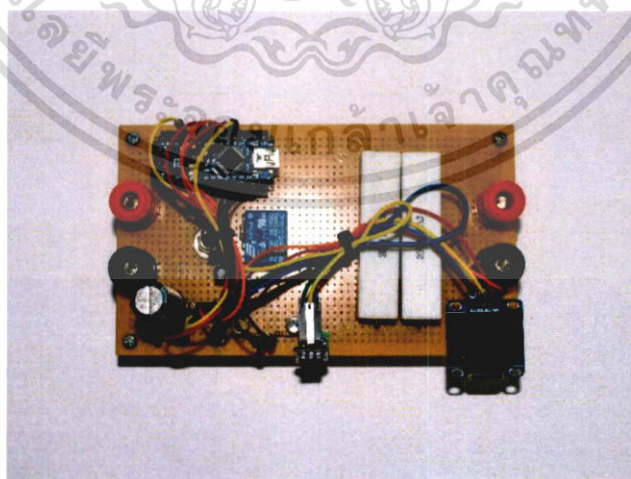
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.94 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 650 วัตต์/ตารางเมตร เปลี่ยนเป็นแสง 750 วัตต์/ตารางเมตร

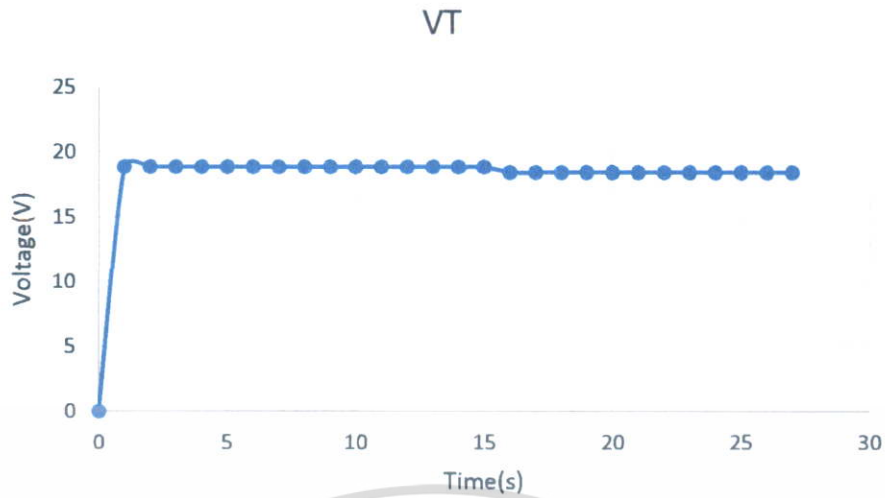
5.4.11 การทดลองการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า

ทำการทดลองโดยการต่อโหลดขนาด 1000 โอห์มเข้าไปกับแหล่งจ่ายและทำการลดโหลดลงโดยการต่อโหลดขนาด 1000 โอห์ม เข้าไปขนานเพื่อลดโหลดเป็น 500 โอห์ม เพื่อดูผลกระทบของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลด

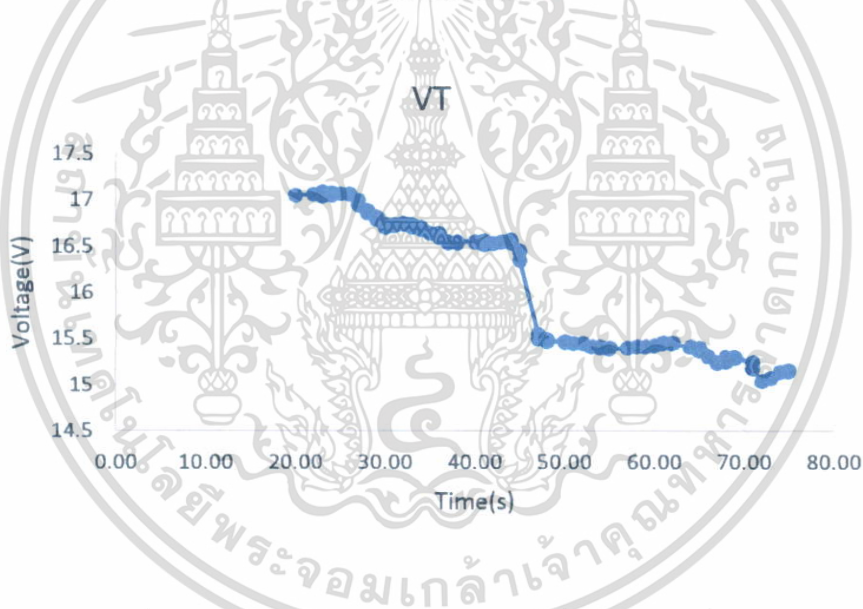


รูปที่ 5.95 รูปวงจรทดสอบการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือ กังหันลมผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.96 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเทียบกับเวลาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดของเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.97 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเทียบกับเวลาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์นั้นจะมีการตอบสนองต่อโหลดของแรงดันไฟฟ้าที่ไววกว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ จึงนำความแตกต่างนี้มาใช้ในการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดใด โดยอาศัยการวัดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน(เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า) โดยใช้วิธีการที่นำเสนอได้ผลการทดลองเป็นไปตามที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และแสดงให้เห็นว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอนั้น ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตแบบปกติ จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองเป็นหัวข้อแยกย่อยได้ดังนี้

##### 6.1.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า

6.1.1.1 จากการทดลองเปลี่ยนค่าตัวตั้งไซเคิลและค่าความต้านทานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า พบว่ามีคุณลักษณะที่มีจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แรงดันค่าหนึ่ง ทำให้สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกตได้

6.1.1.2 กังหันลมผลิตไฟฟ้ามีการตอบสนองต่อโหลดช้ากว่าเซลล์แสงอาทิตย์ ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงจำเป็นต้องมีการหน่วงเวลามากกว่า

6.1.1.3 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูง ที่ประมาณ 70% ของแรงดันเปิดวงจร จึงใช้การคำนวณนี้มาใช้ในวิธีการที่นำเสนอได้

##### 6.1.2 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

6.1.2.1 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตแบบปกติ เพราะมีการกระโดดค่าแรงดันไปที่ 70% ของแรงดันเปิดวงจรทันทีในตอนเริ่มต้น

6.1.2.2 ผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ มีการแกว่งของแรงดันและกระแสน้อยกว่าการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังเกตแบบปกติ

6.1.2.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้ แต่ใช้เวลานานกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะกังหันลมไฟฟ้ามีการตอบสนองต่อโหลดที่ช้า

##### 6.1.3 การทำงานแบบstandalone

จากวงจรที่สร้างจริงนั้น สามารถทำงานแบบstandaloneได้ แต่อาจเกิดปัญหาได้ในสภาวะที่แหล่งจ่ายมีกำลังไฟฟ้าต่ำ (ความเข้มแสงน้อย, ความเร็วลมต่ำ) อาจทำให้ไฟเลี้ยงของวงจรตรวจจับกระแส มีค่าไม่คงที่และเกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าได้ จึงแก้ปัญหาโดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำรองให้กับวงจร

##### 6.1.4 การตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า

จากคุณลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการตอบสนองต่อโหลดไววกว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ จึงนำความแตกต่างนี้มาใช้ในการตรวจจับว่าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดใดโดยอาศัยการวัดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

### 6.2.1 วงจรไฟเลี้ยงแบบstandaloneที่ออกแบบ

สามารถรับแรงดันขาเข้าสูงสุดที่ 35 โวลต์ ทำให้การทำงานที่กำลังไฟฟ้าสูงๆ จะมีกระแสไหลในวงจรในปริมาณมาก ทำให้เกิดความร้อนและความสูญเสียในวงจร

### 6.2.2 จากผลการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ในแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการทดลองภายใต้แสงอาทิตย์มีปัจจัยภายนอกอื่นได้แก่ สภาพอากาศในแต่ละวันไม่เหมือนกันบางวันอาจมีเมฆมากทำให้ได้ความเข้มแสงน้อย บางวันอาจไม่มีเมฆทำให้ได้ความเข้มแสงมาก เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นควรทดลองในห้องจำลองความเข้มแสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Taftic,K.Agbossou,M.L. Doumbia,A.Cheriti, "An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems", **Renewable Energy 33 (2008)** 1508-1516
- [2] H.TarikDuru, "A maximum power tracking algorithm based on  $I_{mpp} = f(p_{max})$  Function for matching passive and active load to a photovoltaic generator"**Solar Energy 80 (2006)** 812-822
- [3] T. Kawamura, K.Harada, Y.Ishihara ,T.Todaka,Toshiro ,H.Nakamura, M.Imataki "Analysis of MPPT characteristics in photovoltaic power system"**Solar Energy Materials and Solar Cells 47 (1997)** 155-156
- [4] Hiroshi Nagayoshi, "I-V curve simulation by multi-module simulator using I-V magnifier circuit", **Solar Energy Material & Solar Cells 82 (2004)** 159-167
- [5] G.De Casare, D.Caputo, A.Nascetti, "maximum power point tracker for portable photovoltaic systems with resistive-like load"**Solar Energy 80 (2006)** 982-988
- [6] T.Ikegami,T.Maezono,F.Nakanishi,Y.Yamakata,K.Ebihara, "Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and it application to optimal operation of PV system" ,**Renewable Energy 32 (2007)** 1611-1622
- [7] Wai Chen, Hui,Shen,Bifenshu,Hong Qin,Tao Deng, "Evaluation of performance of MPPT devices in PV systems with storage batteries"**Renewable Energy 32 (2007)** 1611-1622
- [8] Hiroshi Matsukawa, Koukichikoshi,Hirotakakoizumi,kosukekurokawa,Masayasu Hamada,Lui Bo, "Dynamic evaluation of maximum power point tracking operation with PV array simulator" ,**Solar Energy Materials & Solar Cells 75 (2003)** 537-546
- [9] A.Mellit,H.Rezzouk,A.Messai,B.Medjahed, "FPGA-based real time implementation of MPPT-controller for photovoltaicSystems" ,**Renewable Energy 36 (2011)** 1652-1661
- [10] Theodore Amissah OCRAN,CAOJunyi,CAOBiggang,SUNXinghua, "Artificial Neural Network maximum power point tracker for Solar Electric Vehicle Research and Development Center for electric Vehicle",**Xi'anJiaotong University,Xi'an 710049,China**
- [11] F.Bouchafaa,I.Hamzaoui,A.Hadjamma, "Fuzzy Logic Control The Tracking Of Maximum Power Point Of a PV Systems", **Energy Procedia 6 (2011)** 633-642
- [12] A.B.G.Bahgat,N.H.Helwa.G.E.Ahmad,E.T.ElShenawy, "Maximum power point tracking controller for PV Systems using neural networks", **Renewable Energy 30 (2005)** 1257-1286
- [13] D.Lalili,A.Mellit,N.Lourci,B.Medjahed,E.M.Berkouk, "Input output feedback linearization control and variable step size MPPT algorithm of a grid-connected photovoltaic inverter", **Renewable Energy 36 (2011)** 3282-3291

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Panagiotis E.Kakosimos, Anotonios G.Kladas, "Implementation of photovoltaic array MPPT through fixed step predictive control technique", **Renewable Energy** 36 (2011) 2508-2514



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

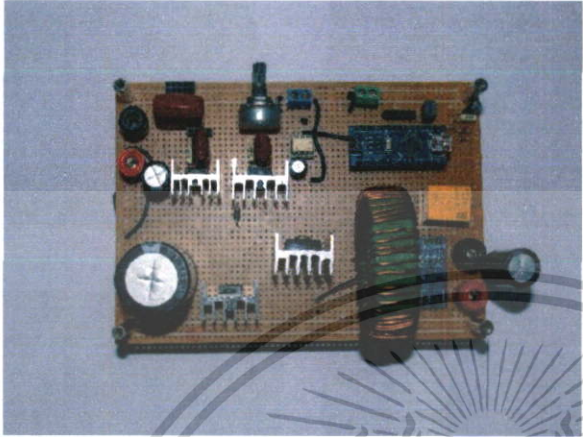
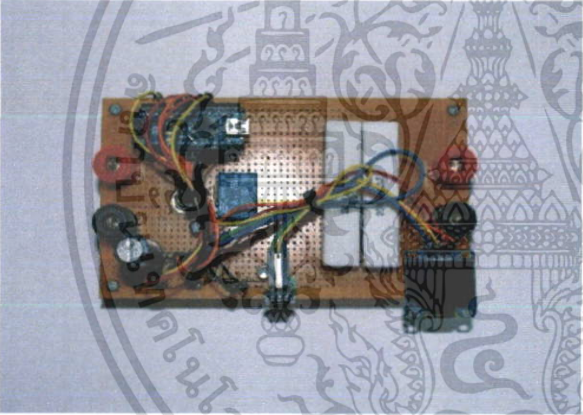
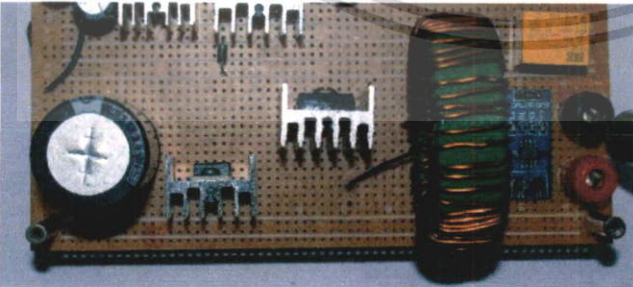


ภาคผนวก ก

**เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์**

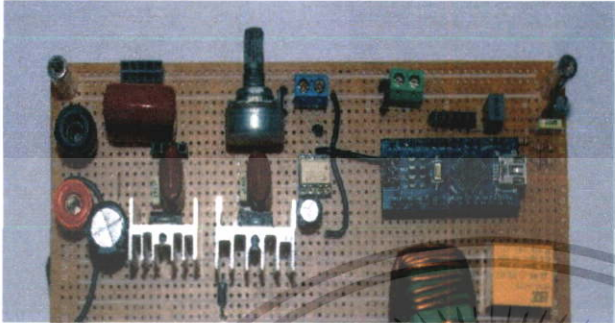
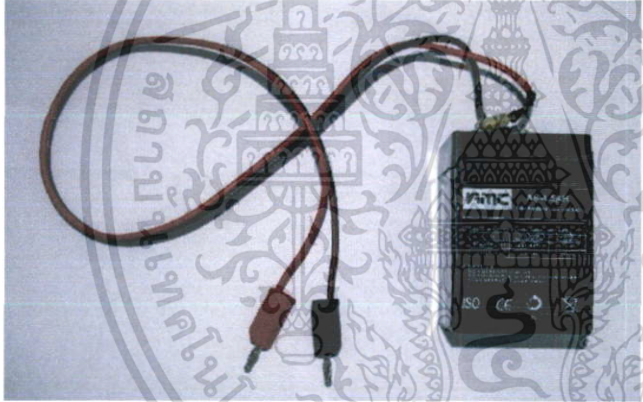
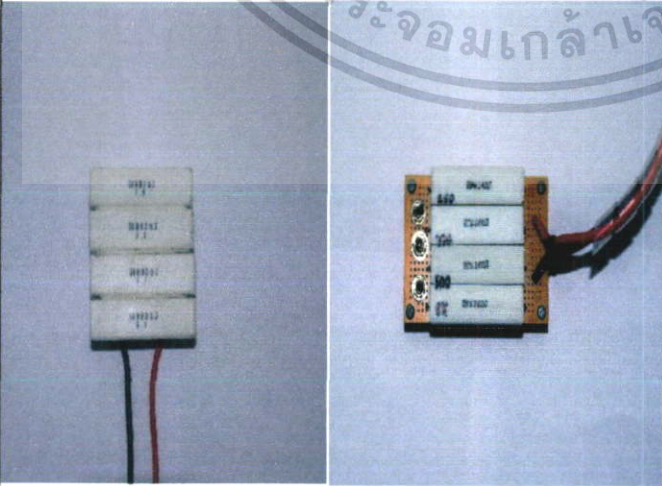
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด</p>
	<p>วงจร Detecting</p>
	<p>วงจรทระดับแรงดัน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

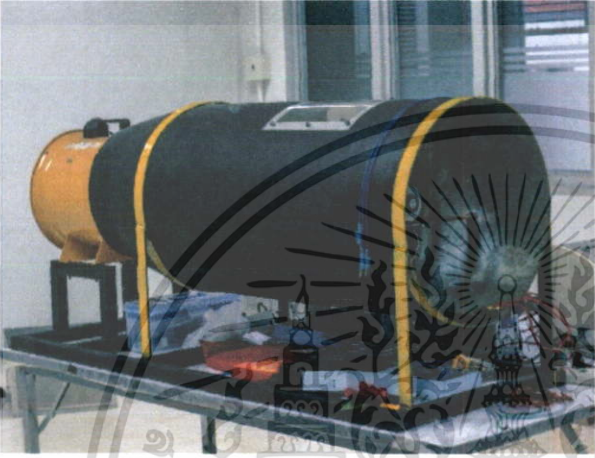
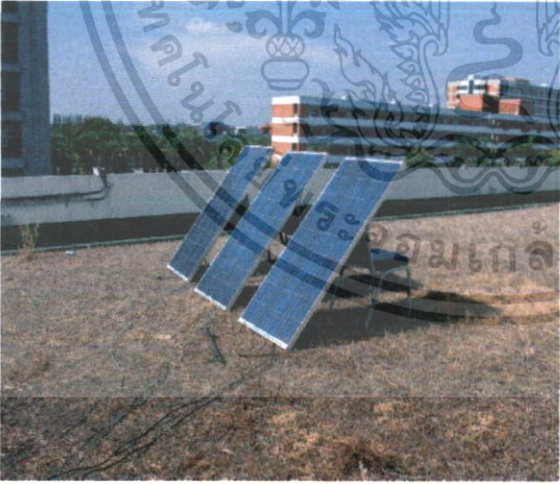
รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>ชุดคอนโทรล Arduino Nano 3.0</p>
	<p>ไมโครคอนโทรลเลอร์</p>
	<p>ภาระทางไฟฟ้า</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

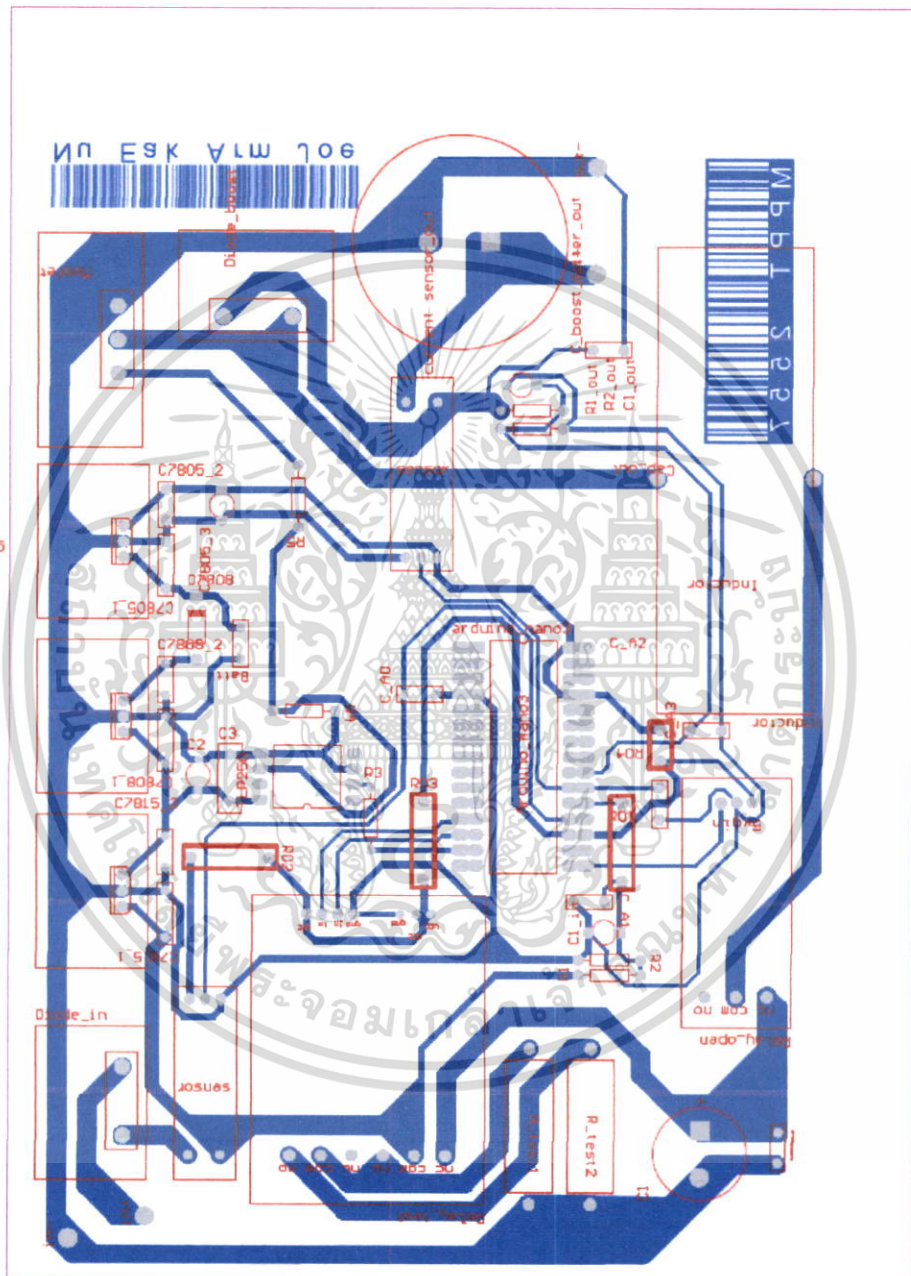
## อุปกรณ์ที่ใช้ในปริญานิพนธ์

รูปภาพ	รายละเอียด
	<p>กังหันลมผลิตไฟฟ้า</p>
	<p>เซลล์แสงอาทิตย์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน COMPACT AND AUTOMATIC ADJUSTABLE MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES

หัตถชัย วิมานจันทร์, อนุสรณ์ ตันเมฆา, อภิลักษณ์ อัครนิโรจน์, อรรถชัย ประสงค์กุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail: projectMPPT57@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบลูกผสม ที่เรียกว่า ระบายวงและตั้งคู้กับสัดส่วนแรงดันเปิด มาใช้ร่วมกับในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้งเซลล์แสงอาทิตย์และลม โดยเรียกเทคนิคนี้ว่าเทคนิค Hybrid P&O ข้อเสียของเทคนิคการระบายวงและตั้งคู้คือการใช้เวลานานในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงมาและเกิดการแกว่งรอบๆจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะเข้าสู่จุดสูงสุด เทคนิค Hybrid P&O ที่นำเสนอจะเริ่มต้นด้วยการวัดแรงดันเปิดวงจรแล้วกำหนดค่าแรงดันจุดทำงานไปที่ 70% ของแรงดันเปิดวงจร ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP) ขั้นตอนนี้จะช่วยลดเวลาในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในกรณีที่แสงมีการเปลี่ยนแปลงมาก หลังจากนั้นใช้เทคนิค P&O ในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แท้จริงสำหรับกรตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าใช้เทคนิค P&O ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นหลักเนื่องจากไม่สามารถเปิดวงจรได้ เครื่องตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอจะสามารถปรับตัวได้แบบอัตโนมัติสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

## Abstract

This paper presents the maximum power point tracking (MPPT) for renewable energy sources (photovoltaic and wind turbines). Using the hybrid technique called "P&O and Fractional open circuit voltage techniques" (Hybrid P&O) to track maximum power point in both PV and wind energy. The drawback of P&O technique is the time consuming of the process of finding the maximum power point when the light intensity has been varying and there is an oscillation on the maximum power point (MPP). The Hybrid P&O can solve this problem by first measuring the open-circuit voltage and set the control point of the PV to 70% of the open circuit voltage which is normally the point closed to the maximum power point (MPP). Then, the P&O technique is applied to determine the actual maximum power point. This procedure reduces the tracking time. For wind turbine tracking, the P&O technique is only applied due to the open circuit in this system is not allowed. In our proposed design, the tracking method of maximum power point (MPP) is selected for photovoltaic systems or wind turbines automatically.

Keywords: photovoltaic wind turbines MPPT P&O Hybrid P&O

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญและจำเป็นต่อชีวิตประจำวันมากและนับวันจะร่อยหรอหมดลงไปไม่ช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่ได้จากแก๊สธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหิน ซึ่งนอกจากจะหายากขึ้นทุกวันแล้ว ขั้นตอนการการผลิตยังยุ่งยากซับซ้อนและทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วยในหลายประเทศจึงได้ช่วยกันรักษาสถิติสิ่งแวดล้อมและเร่งพัฒนาหาถึงพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานจากน้ำ พลังงานลม พลังงานจากแก๊ส พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น

พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะมีการใช้เพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานที่สามารถหาใช้ได้ง่าย และประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเอกชน จึงจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังนาที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงและแบ่งเบาภาระการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้อีกด้วย

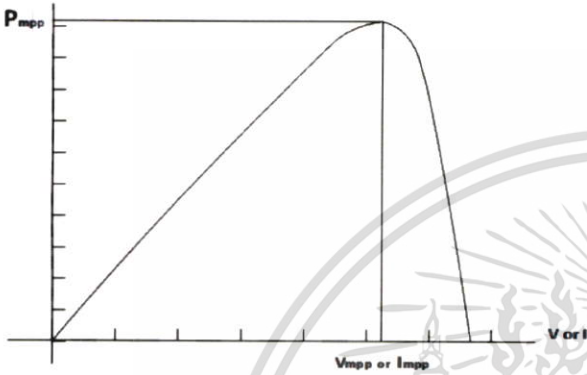
ในการนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้นั้นหากสามารถทำงานที่ให้ผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่ามากที่สุดหรือเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็จะส่งผลให้ได้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงคุ้มค่าแก่การลงทุนมีผู้วิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญกับการตามรอยหาจุดกำลังสูงสุด ตัวอย่างเช่น Taftic และคณะ [1] นำเสนอการปรับปรุงค่าการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยวิธีการวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรวิธีนี้ช่วยลดการแกว่งของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดและเพิ่ม สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ โดยวิธี multi I-V magnifier circuit ในวงจรแสดงผลตอบสนองที่ประยุกต์ประสิทธิภาพเฉลี่ยให้กับระบบ TankDuru [2] นำเสนอการปรับคู้ระบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานอยู่ในช่วงที่ได้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้วิธีควบคุมกระแสวงปิด Kawamura และคณะ [3] ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของการตามรอยหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ผลต่างของแรงดันเพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด Nagayoshi [4] เสนอการจำลองคุณลักษณะ I-V curve ที่เกี่ยวกับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดผลที่ได้คือค่าเอาท์พุทกระแสและแรงดันมีค่าใกล้เคียงค่าจริงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้ได้เสนอเทคนิคการตรรกะกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบถูกผสมระหว่างเทคนิคครบกวนและตั้งคด(p&o)[5] กับเทคนิคตัดส่วนแรงดันเปิดวงจร(Fractional Open circuit Voltage) [6] ทำให้การตรรกะกำลังไฟฟ้าสูงสุดใช้เวลาน้อยลงจากวิธีการรบกวนและตั้งคดแบบปกติ และการแกว่งของกระแสและแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 1 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ามากที่สุดคือจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

2.2 หลักการเทคนิค P&O

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ ซึ่งน้อยองแพร่หลาย เทคนิค P&O จะเป็นการปรับค่าแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปในทิศทางที่ค่ากำลังไฟเพิ่มขึ้นตลอดเวลาไปตามกราฟคุณลักษณะ เมื่อถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (จุดยอด) ค่าแรงดันยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ตารางที่ 1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O

ทิศทางกรเปลี่ยนแปลงแรงดัน	ทิศทางกรเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	ทิศทางกรเปลี่ยนแปลงแรงดันครั้งต่อไป
เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม
เพิ่ม	ลด	ลด
ลด	เพิ่ม	ลด
ลด	ลด	เพิ่ม

จากตารางที่ 1 หลักการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเทคนิค P&O จะเห็นว่าถ้าหากกำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีค้ลดลงไปจากเดิม ระบบจะเปลี่ยนทิศทางกรเปลี่ยนแปลงแรงดันไปในทิศทางตรงกันข้าม ทั้งนี้ก็เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้า

เพิ่มขึ้นนั่นเอง เนื่องจากกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนในที่สุดค่ากำลังไฟฟ้าของระบบจะแกว่งอยู่รอบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

2.3 หลักการเทคนิค Fractional Open circuit Voltage

เทคนิคนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการที่ 1

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{oc} \tag{1}$$

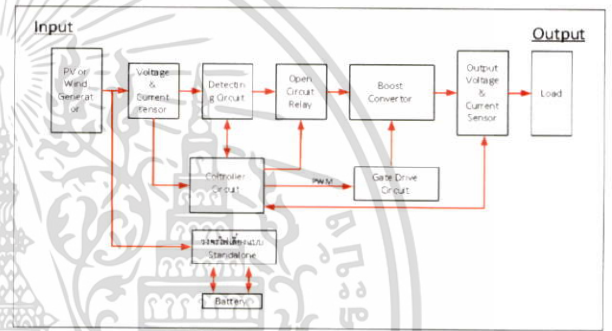
เมื่อ  $k_1$  คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่า  $k_1$  จะถูกคำนวณจากกราฟสังเกตค่าเส้ตัวระหว่างค่าแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับค่าแรงดันเปิดวงจร ซึ่งพบว่าค่า  $k_1$  มีค่าประมาณ 0.71-0.78

3. การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ

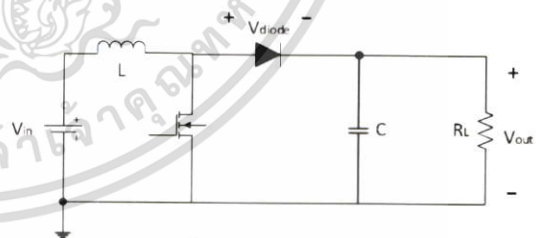
3.1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องตรรกะกำลังไฟฟ้า

สูงสุดที่ออกแบบ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องตรรกะกำลังไฟฟ้าสูงสุด

3.2 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า



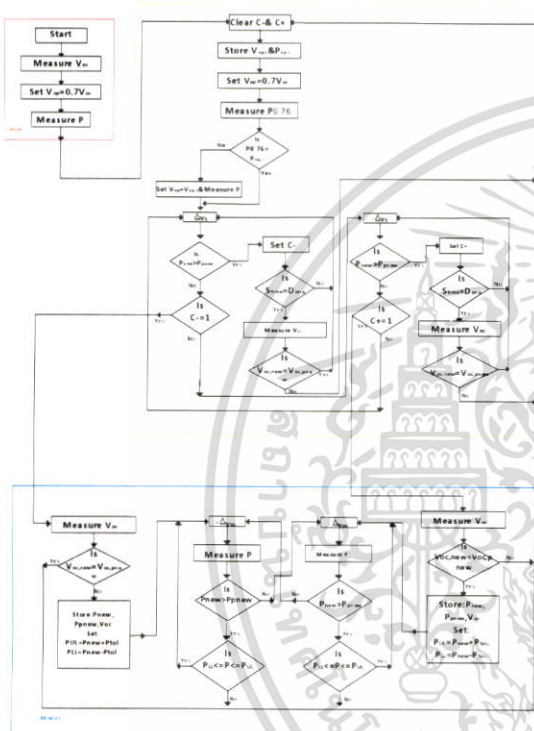
รูปที่ 3 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า

เป็นวงจรแปลงหม้กำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-to-DC Converter) ที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้า เมื่อกระทางไฟฟ้าคงที่ การปรับค้ตัวดีไซเกิลของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า จึงสามารถควบคุมแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

3.3 การทำงานของเครื่อง MPPT ที่ออกแบบ

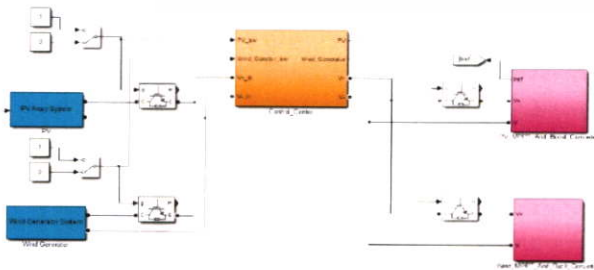
เครื่องตรรกะกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) ดังรูปที่ 2 จะรับค้กระแสและแรงดันจากชุดตรวจจับกระแสและแรงดัน แล้วทำการตัดสินใจ ว่าแหล่งจ่ายที่ต่ออยู่นั้น คือเซลล์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอาทิตย์หรือกิ่งหันลม หลังจากนั้น MPPT จะทำการประมวลผลและสร้างสัญญาณขับมอเตอร์ให้กับวงจรหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยทำการกำหนดค่าให้มีค่าคือตัวชี้วัดซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์หรือกิ่งหันลม ให้ทำงานเป็นย่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยในโครงงานนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่เรียกว่า Perturb & Observe and Fractional Open Circuit Voltage Techniques ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ 2 เทคนิคคือ เทคนิค P&O และ เทคนิค Fractional Open Circuit Voltage ซึ่งจะช่วยให้ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

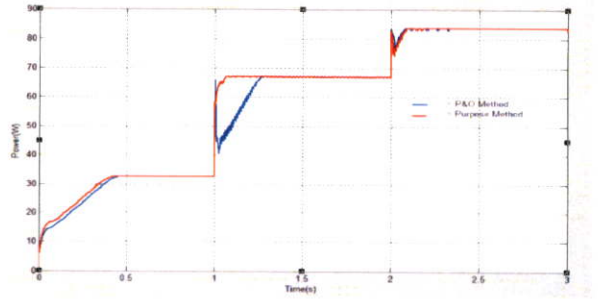


รูปที่ 4 FLOWCHART การทำงานของ MPPT ที่นำเสนอ

4. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



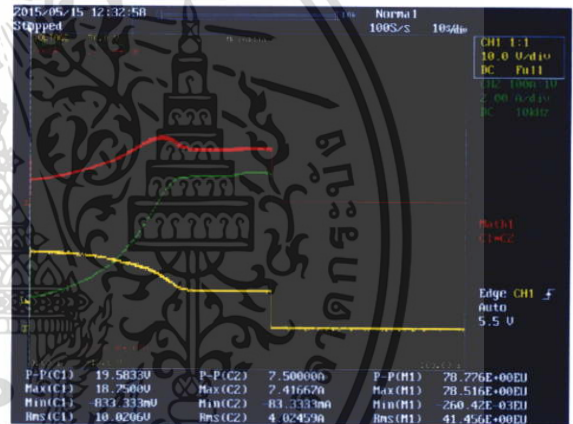
รูปที่ 5 รวงรบบ้างของ MPPT ในโปรแกรม MATLAB/Simulink



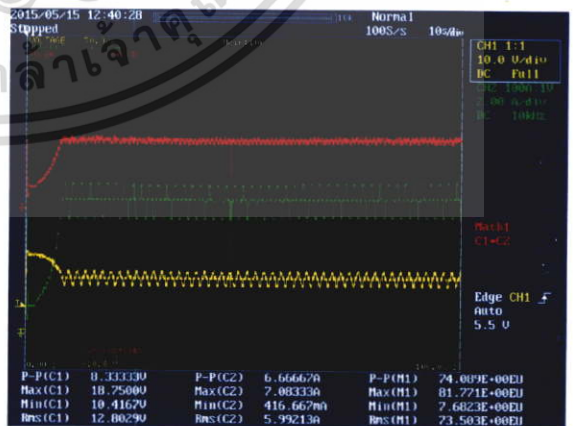
รูปที่ 6 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสง 400 800 และ 1000 วัตต์ค่าตารางเมตร โดยเทคนิค P&O เทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ (กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา)

จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ในรูปที่ 5 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคที่นำเสนอ สามารถทำงานได้เร็วกว่าเทคนิค P&O ดังแสดงในรูปที่ 6

5. ผลการทดลอง

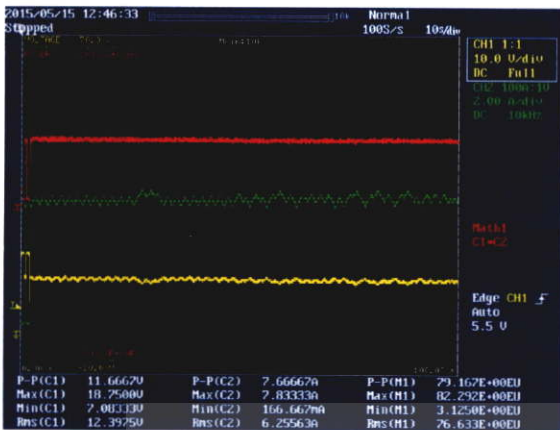


รูปที่ 7 กราฟแสดงสัญญาณและของเซลล์ไฟฟ้าแรงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 780 วัตต์ตารางเมตร



รูปที่ 8 กราฟการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกตที่ความเข้มแสง 780 วัตต์ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอที่ความเข้มแสง 780 วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการรบกวนและสังคดกับวิธีการที่นำเสนอ

ความเข้มแสง	การแกว่งของแรงดัน (โวลต์)		การแกว่งของกำลัง (วัตต์)	
	วิธีการรบกวนและสังคด	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ	วิธีการรบกวนและสังคด	วิธีเทคนิคที่นำเสนอ
520	2	1	10	2
650	3	1	10	2
780	3	1	10	2

จากการทดลองควบคุมรอยก่าำลังไฟฟ้าสูงสุดพบว่า การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคที่นำเสนอในรูปที่ 9 สามารถทำงานได้เร็วกว่าเทคนิค P&O ในรูปที่ 8 และมีการกระเทือนของแรงดันและกระแสที่น้อยกว่า เทคนิครบกวนและสังคดแบบปกติ ดังแสดงในตารางที่ 2

### 6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดปรับตัวได้แบบอัตโนมัติและกะทัดรัดสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน(เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า) โดยใช้วิธีการที่นำเสนอได้ผลการทดลองเป็นไปตามที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และแสดงให้เห็นว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังคดแบบปกติ จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองเป็นหัวข้อแยกย่อยได้ดังนี้

#### 1. คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า

1.1 จากการทดลองเปลี่ยนค่าความเข้มแสงและค่าความต้านทานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า พบว่ามีคุณลักษณะที่มีจุดก่าำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แรงดันค่าหนึ่ง ทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังคดได้

1.2 กังหันลมผลิตไฟฟ้า มีการตอบสนองต่อโหลดช้ากว่าเซลล์แสงอาทิตย์ ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงจำเป็นต้องมีการหน่วงเวลามากกว่า

1.3 พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดแรงดันที่ให้ก่าำลังไฟฟ้าสูง ที่ประมาณ 70% ของแรงดันเปิดวงจร จึงใช้การคำนวณนี้มาใช้ในวิธีการที่นำเสนอได้

#### 2. ผลการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด

2.1 ผลการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังคดแบบปกติ เพราะมีการกระโดดค่าแรงดันไปที่ 70% ของแรงดันเปิดวงจรทันทีในตอนเริ่มต้น

2.2 ผลการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการที่นำเสนอ มีการแกว่งของแรงดันและกระแสที่น้อยกว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังคดแบบปกติ

2.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้ แต่ใช้เวลานานกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะกังหันลมไฟฟ้ามีการตอบสนองต่อโหลดที่ช้า

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Taftic,K.Agbossou,M.L. Dombia,A.Cheriti, "An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems", **Renewable Energy 33 (2008)** 1508-1516
- [2] H.TarikDuru, "A maximum power tracking algorithm based on  $I_{mpp} = f(p_{max})$  Function for matching passive and active load to a photovoltaic generator" **Solar Energy 80 (2006)** 812-822
- [3] Kawamura, K.Harada, Y.Ishihara, T.Todaka,Toshiro .H.Nakamura, M.Imataki "Analysis of MPPT characteristics in photovoltaic power system" **Solar Energy Materials and Solar Cells 47 (1997)** 155-156
- [4] Hiroshi Nagayoshi, "I-V curve simulation by multi-module simulator using I-V magnifier circuit", **Solar Energy Material & Solar Cells 82 (2004)** 159-167
- [5] Ahmed M. Atallah, Almoataz Y. Abdelaziz, and Raihan S. Jumaah "IMPLEMENTATION OF PERTURB AND OBSERVE MPPT OF PV SYSTEM WITH DIRECT CONTROL METHOD USING BUCK AND BUCKBOOST CONVERTERS", *An international Journal (EEIEJ), Vol. 1, No. 1*
- [6] Dzung Phan Quoc, Quang Nguyen Nhat, Phuong Le Minh, Khoa Le Dinh, Vu Nguyen Truong Dan and Anh Nguyen Bao "The New Combined Maximum Power Point Tracking Algorithm Using Fractional Estimation in Photovoltaic Systems", *IEEE PEDS 2011*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นาย หัสชัย วิมานจันทร์ (เอก)

เกิดวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ 72/9 หมู่ 6 ต.ท่าทราย อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000

ปีการศึกษา 2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Tel. 0847-415-9392 E-mail: hassachai99@Gmail.com



นาย อนุสรณ์ ตันเมธา (นุ)

เกิดวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ 716/1 หมู่ 1 ต.ปากพะยูน อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง 93120

ปีการศึกษา 2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหารเทารังสีประชา  
สรรค์

ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Tel. 084-996-7775 E-mail: a.tanmetha@Gmail.com



นาย อภิรักษ์ อัครนิโรจน์ (โจ)

เกิดวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535

ที่อยู่ 138 ซอย รมเกล้า 27 แขวง/เขต ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพรตพิทยพยัต

ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Tel. 082-7897057 E-mail: Evangelion28147@Gmail.com



นาย อรรคชัย ประสงค์กุล (อาร์ม)

เกิดวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ.2535

ที่อยู่ 13 หมู่9 ต.ทรัพย์พระยา อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์ 31110

ปีการศึกษา 2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนางรอง

ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Tel. 086-334-1617 E-mail: pan\_paan@windowslive.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้