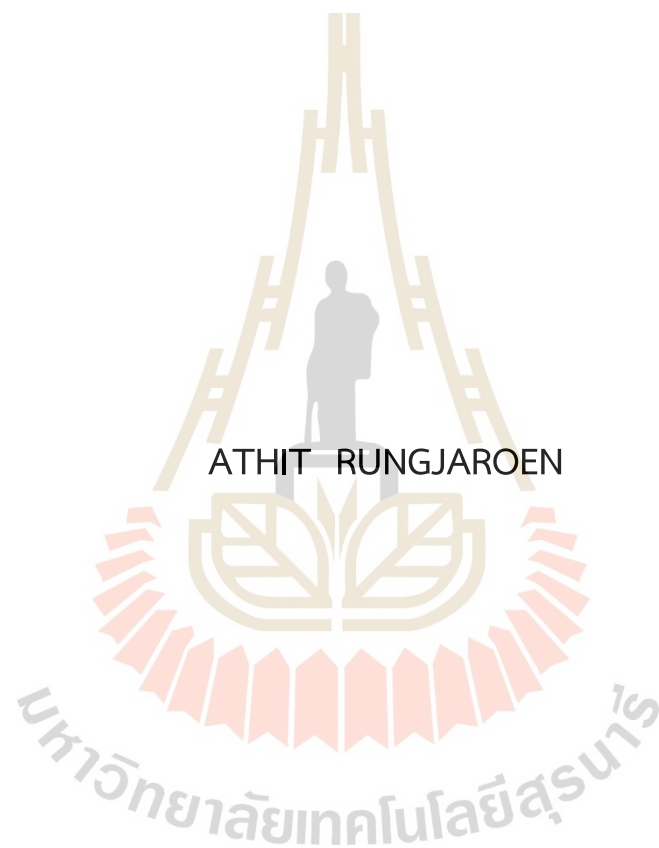


การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ  
ด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมพีชซี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2566

MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF STAND-ALONE PV  
SYSTEM BY USING P&O METHOD CO-OPERATE WITH FUZZY  
CONTROLLER



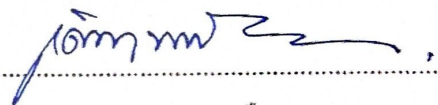
ATHIT RUNGJAROEN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2023

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ  
ด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมพีซซี

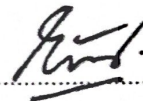
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ.ดร.เดชา พวงดาวเรือง)

ประธานกรรมการ



(รศ.ดร.กองพัน อารีรักษ์)

กรรมการ(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



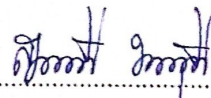
(ผศ.ดร.โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง)

กรรมการ(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)



(รศ.ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

กรรมการ



(ผศ.ดร.สุดารัตน์ ขวัญอ่อน)

กรรมการ



(รศ.ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ.ดร.พรศิริ จงกล)

รักษาการแทนคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อริษฐ์ รุ่งเจริญ : การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระด้วย  
วิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzy (MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
OF STAND - ALONE PV SYSTEM BY USING P&O METHOD CO-OPERATE WITH  
FUZZY CONTROLLER)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ก้องพันธ์ อารีรักษ์, 114 หน้า.

คำสำคัญ : ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด/ระบบแผง PV/วิธีการรบกวนและสังเกต/วิธีฟuzzy  
ลอจิก

ปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีความทันสมัยขึ้นอย่างมาก แหล่ง  
พลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นแหล่ง  
พลังงานที่ยั่งยืนรวมถึงยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดไม่สร้างมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จากการศึกษา  
พบว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด  
เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงขณะนั้น ดังนั้น  
วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดย  
ใช้วิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับฟuzzyลอจิก วิธีการรบกวนและการสังเกตมีอัลกอริทึมที่เรียบง่าย  
แต่วิธีการนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ให้เหมาะสม การควบคุมจึงมี  
ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงนำเอาวิธีฟuzzyเข้ามาใช้ร่วมกับวิธีการรบกวนและการสังเกตในการ  
กำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ให้ปรับเปลี่ยนได้อย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน  
การตอบสนองของระบบให้ดีขึ้น วิทยานิพนธ์นี้อาศัยผลการจำลองสถานการณ์ผ่านชุดบล็อก  
กำลังไฟฟ้า SIMULINK ในโปรแกรม MATLAB บนคอมพิวเตอร์ รวมถึงการสร้างชุดอุปกรณ์ทดสอบ  
การตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยใช้วิธีการรบกวนและสังเกต  
ร่วมกับฟuzzyลอจิก เพื่อแสดงว่าวิธีการควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ สามารถตามรอยจุดกำลัง  
สูงสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงได้ในเวลาอันสั้นและช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุด  
กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่า ตลอดจนสามารถถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าเมื่อ  
เปรียบเทียบกับวิธีการรบกวนและการสังเกต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา..... อริษฐ์ รุ่งเจริญ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ก้องพันธ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... เคน

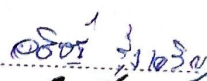
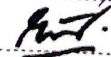



ATHIT RUNGJAROEN : MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF STAND - ALONE  
PV SYSTEM BY USING P&O METHOD CO-OPERATE WITH FUZZY CONTROLLER.  
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KONGPAN AREERAK, Ph.D., 114 PP.

Keyword : Maximum Power Point Tracking/PV System/Perturb and Observe Method/  
Fuzzy Logic Method

Currently, the production of electricity from renewable energy sources has increased significantly. The popular renewable energy source today is solar energy. Solar energy is sustainable, clean, and environmentally friendly. From many research works, generating electricity from solar cells requires a maximum power point tracking (MPPT) system to extract the maximum power at the current irradiance intensity. Therefore, this thesis proposes maximum power point tracking of stand-alone photovoltaic systems using perturb and observe (P&O) method co-operating with fuzzy logic controller. The P&O method is a simple algorithm. However, this approach requires appropriate duty cycle rate of change ( $\Delta D$ ) for optimal performance. To determine the suitable  $\Delta D$ , fuzzy logic method is applied along with the P&O method to adjust the duty cycle effectively. This enhances the system's responsiveness and efficiency. The thesis uses the simulation of SIMULINK/MATLAB on computer, and creates hardware of stand-alone photovoltaic systems to verify the effectiveness of the proposed MPPT algorithm. The results show that the proposed control method effectively tracks the maximum power point when there are changes in irradiance intensity. It also reduces the oscillation at the maximum power point. Moreover, it can extract more electricity from photovoltaic compared to the conventional P&O method.

School of Electrical Engineering  
Academic Year 2023

Student's Signature.....   
Advisor's Signature.....   
Co-Advisor Signature..... 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดี ทั้งด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.กองพันธ์ อารีรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกริช ภัคดีโต และนายรัฐพล โพธิ์สังข์ นักศึกษาระดับปริญญาเอกของรองศาสตราจารย์ ดร.กองพันธ์ อารีรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมไปถึงช่วยตรวจและแก้ไขงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความสมบูรณ์ขึ้น อีกทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีให้กับผู้วิจัยเสมอมา รองศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ศรีแก้ว ที่ได้สอนและให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องปัญญาประดิษฐ์ในแต่ละวิชจนผู้วิจัยได้มีความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ที่จะนำมาใช้ประโยชน์แก่งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความรู้ทางวิชาการอย่างดีมาโดยตลอด

ขอบคุณบุคลากร ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด จนผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

อธิษฐ์ รุ่งเจริญ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ

## บทที่

<b>1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
<b>2 ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	5
2.1 บทนำ .....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ .....	5
2.3 สรุป .....	11
<b>3 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&amp;O</b> .....	12
3.1 บทนำ .....	12
3.2 ระบบที่พิจารณา .....	12
3.3 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์.....	16
3.4 การสร้างชุดทดสอบ .....	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า .....	20
3.4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	25
3.4.3 วงจรจุดชนวนเกท .....	27
3.4.4 วงจรลดทอนแรงดัน .....	28
3.4.5 แหล่งจ่ายในชุดอุปกรณ์ทดสอบ .....	30
3.5 การทดสอบหาค่าพิกัดลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	30
3.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O .....	31
3.7 สรุป .....	33
<b>4 การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&amp;O-FLC .....</b>	<b>35</b>
4.1 บทนำ .....	35
4.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา .....	35
4.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี .....	39
4.3.1 การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก .....	40
4.3.2 การออกแบบตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา .....	42
4.3.3 การออกแบบกฎฟัซซี .....	44
4.3.4 การอนุมานฟัซซีและการทำDefuzzification .....	45
4.4 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ .....	47
4.5 การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ .....	51
4.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC .....	53
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ .....	54
4.8 สรุป .....	55
<b>5 การออกแบบและการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด</b> <b>ด้วยหลักการ P&amp;O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 KW สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์</b> <b>แบบอิสระ .....</b>	<b>56</b>
5.1 บทนำ .....	56
5.2 ระบบที่พิจารณา .....	56
5.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี .....	57



## สารบัญ (ต่อ)

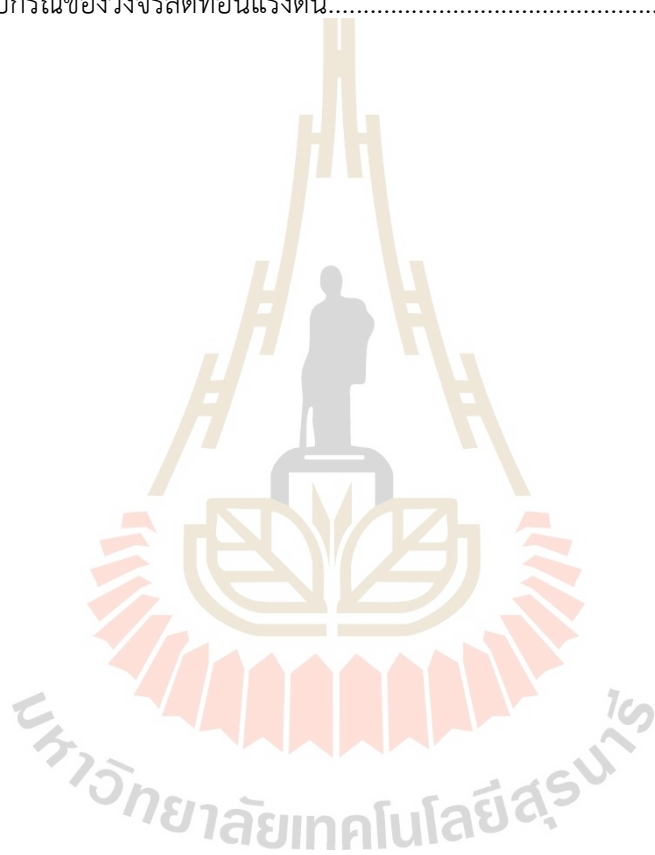
	หน้า
5.4 การจำลองสถานการณ์.....	57
5.5 การสร้างชุดทดสอบ.....	57
5.5.1 จงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	58
5.5.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	61
5.5.3 วงจรจุดชนวนเกท.....	62
5.5.4 วงจรลดทอนแรงดัน.....	63
5.5.5 สวิตช์และฟิวส์.....	65
5.5.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือแหล่งจ่ายไฟในชุดต้นแบบชุดควบคุม.....	66
5.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW ...	67
5.7 สรุป.....	71
<b>6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>72</b>
6.1 สรุป.....	72
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนโปรแกรม MATLAB.	78
ภาคผนวก ข. โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	80
ภาคผนวก ค. โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนโปรแกรม MATLAB.....	85
ภาคผนวก ง. โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	89
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	114

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย หลักการ P&O สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....5
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย วิธีพีชชีลอจิกสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....8
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟาร์มที่มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วม กับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....10
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอย จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....16
3.2	ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....23
3.3	ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....24
3.4	พิกัดอุปกรณ์ของวงจรลดทอนแรงดัน.....29
3.5	ผลการทดสอบหาค่า $\Delta D$ .....33
4.1	ผลการทดสอบรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระบบการตามรอยจุด กำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของระบบแผง PV ขนาด 40W.....41
4.2	ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟuzzyสำหรับระบบการตาม รอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC.....42
4.3	ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้า สูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLCบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....49

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.4	ค่าพารามิเตอร์ของการเปรียบเทียบการจำลองทั้ง 2 วิธีบนคอมพิวเตอร์.....	51
5.1	ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....	60
5.2	พิกัดอุปกรณ์ของวงจรลดทอนแรงดัน.....	65



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O.....	12
3.2	กราฟลักษณะเฉพาะแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์(P-V Curve).....	14
3.3	แผนภาพการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O.....	15
3.4	การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ด้วยหลักการ P&O ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB.....	17
3.5	ผลการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ด้วยหลักการ P&O.....	18
3.6	กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ.....	18
3.7	โครงสร้างชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O.....	19
3.8	ชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O.....	20
3.9	โครงสร้างวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	21
3.10	วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	21
3.11	โครงสร้างวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....	22
3.12	วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....	22
3.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง และแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	23
3.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง และแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....	25
3.15	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560.....	26
3.16	วงจรจุดชนวนเกท.....	28
3.17	วงจรลดทอนแรงดัน.....	30
3.18	กราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ที่ความเข้มแสง 1,000 W/m <sup>2</sup> .....	31
3.19	การทดสอบชุดอุปกรณ์ทดสอบด้วยหลักการ P&O.....	32
3.20	ผลการทดสอบหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ).....	33



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC.....36
4.2	กราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ แสงอาทิตย์ (P-V Curve).....37
4.3	การลู่เข้าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....38
4.4	แผนผังการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC.....39
4.5	ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู.....40
4.6	ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....40
4.7	ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน.....41
4.8	ฟังก์ชันสมาชิกรูปประฆังคว่ำ.....41
4.9	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต.....43
4.10	ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต.....43
4.11	ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต.....44
4.12	ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต.....44
4.13	การอนุมานฟuzzyแบบ Takagi-Sugeno.....46
4.14	ค่าเอาต์พุตชัดเจนจากการทำDefuzzificationโดยใช้วิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย.....47
4.15	การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย หลักการ P&O-FLC ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB.....48
4.16	ผลการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ด้วยหลักการ P&O-FLC.....50
4.17	กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ.....50
4.18	ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 2 วิธี.....52
4.19	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV จากการทดสอบ การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่ความเข้มแสง 1,000 W/m <sup>2</sup> .....53

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC.....54
5.1	ชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW.....58
5.2	โครงสร้างวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....59
5.3	วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....59
5.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและ แรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า.....60
5.5	Arduino shield ที่ใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....61
5.6	พารามิเตอร์ของวงจรจุดขนวนเกท.....62
5.7	วงจรจุดขนวนเกท.....62
5.8	ไอจีบีทีแบบมอดูลที่ใช้ในวงจรลดทอนแรงดัน.....63
5.9	ฮีตซิงก์ระบายความร้อน.....63
5.10	วงจรลดทอนแรงดัน.....65
5.11	วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือแหล่งจ่ายไฟในชุดต้นแบบชุดควบคุม.....66
5.12	โรงเรือนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....67
5.13	ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW.....67
5.14	กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ที่ทำการทดสอบ.....68
5.15	ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของทั้ง 2 วิธี.....69
5.16	ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ทั้ง 2 วิธี.....70

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญต่อมนุษย์มาก เนื่องจากปัจจุบันประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องมีจำนวนเพิ่มขึ้น แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ อาทิ การผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ การผลิตไฟฟ้าจากนิวเคลียร์ การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน เป็นต้น ในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน จากก๊าซธรรมชาติ และจากนิวเคลียร์ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนจึงได้รับความนิยมมากขึ้นและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากวิธีดังกล่าวได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก พลังงานทดแทนที่เป็นที่นิยมนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันก็คือ พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ไม่หมดสิ้นแถมยังเป็นพลังงานสะอาดและไม่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะใช้หลักการโฟโตเอฟเฟค (Photovoltaic Effect) โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ในการแปลงพลังงาน แต่ยังมีข้อเสียคือ มีต้นทุนการผลิตและติดตั้งสูง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปจะให้ค่ากำลังเอาต์พุตตามที่โหลดต้องการเท่านั้นจึงทำให้ดึงพลังงานสูงสุดที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point : MPP) มาใช้งานได้ไม่ได้ ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point tracking : MPPT) เพื่อสามารถดึงพลังงานสูงสุดในสถานะแวดล้อมต่าง ๆ วิธีควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน (Trishan ESRAM and Patrick L. Chapman, 2007) อาทิ วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage: VOC) วิธีเทียบสัดส่วนกระแสขณะลัดวงจร (Short Circuit Current: ISC) วิธีเพิ่มค่าความนำ (Incremental Conductance: IncCond) (S. Uma Ramani, Sathish Kumar Kollimalla, B. Arundhati, 2017; Kriti Jain, Prof. Manju Gupta, Dr. Aashish Kumar Bohre, 2018) วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and

Observation Method: P&O) (ปทุมพร วงศ์ใหญ่, กองพัน อารีรักษ์และกองพล อารีรักษ์, 2558; D. K. Sharma, G.Purohit, 2012; Alivarani Mohapatra, Byamakesh Nayak and Chidurala Saiprakash, 2019; Ratil H Ashique, Zainal Salam, Jubaer Ahmed, 2015; Maissa Farhat, Oscar Barambones, Lassaad Sbita, 2016; Murari Lal Azad, Soumya Das, Pradip Kumar Sadhu, Biplab Satpati, Anagh Gupta, P. Arvind, 2017) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network : ANN) (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552) วิธีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Control : FLC) (Mohammed Abdul Khader Aziz Biabani, Fazeel Ahmed, 2016; Savita Baraskar, Sachin Kumar Jain, Prabim K. Padhy, 2016; Jaldeep Kumar, Bhuvnesh Rathor, Prakash Bahrani, 2018; Mohammed Zerouali, Salaheddine Zouirech, Abdelghani El Ougli, Belkasssem Tidhaf, Hafida Zrouri, 2019; Theerawut Chaiyatham, Issarachai Ngamroo, 2017; Dikshita Nath, Tilok Boruah, 2020; Bibhu Prasad Ganthia, Rosalin Pradhan, Sibani Das, Sibani Ganthia, 2017; Dilovan Haji, Naci Genc, 2018) เป็นต้น วิธีที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งวิธีที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดในปัจจุบันคือ วิธีการรบกวนและการสังเกต เนื่องจากมีอัลกอริทึมในการทำงานที่ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัวทำให้ไม่สามารถหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถูกต้อง วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟัซซีหรือเรียกโดยย่อว่า หลักการ P&O-FLC มาช่วยแก้ปัญหาและข้อเสียดังกล่าวของวิธีการรบกวนและการสังเกตหรือหลักการ P&O วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการยืนยันวิธีการที่นำเสนอผ่านชุดบล็อกกำลังไฟฟ้า SIMULINK ของโปรแกรม MATLAB พร้อมเปรียบเทียบผลการจำลองของหลักการ P&O กับหลักการ P&O-FLC และยืนยันว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในเวลาอันสั้นและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหลักการ P&O

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาและค้นคว้าความรู้เกี่ยวกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

1.2.2 เพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

1.2.3 เพื่อสร้างความรู้เกี่ยวกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้งานได้

1.2.4 ศึกษาและดำเนินการสร้างชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ในการยืนยันผลระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด สำหรับการทดสอบกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ



### 1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นวงจรลดทอนแรงดันมีแหล่งจ่ายอินพุตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W โหลดคือ แบตเตอรี่ขนาด 12 V

1.3.2 ระบบที่จะนำไปทดสอบที่ฟาร์มเป็นวงจรลดทอนแรงดัน มีแหล่งจ่ายอินพุตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.4 kW โหลดคือ แบตเตอรี่ขนาด 48 V

1.3.3 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์อาศัยชุดบล็อกกำลังไฟฟ้า SIMULINK ของโปรแกรม MATLAB

1.3.4 การสร้างชุดทดสอบควบคุมด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzy ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 แรงดันของแผง PV ต้องมากกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ เนื่องจากระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนำมาใช้ร่วมกับวงจรลดทอนแรงดัน

1.4.2 ตัวควบคุมฟuzzyใช้สำหรับออกแบบการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ) ของวงจรลดทอนแรงดันที่ใช้ในวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับฟuzzyลอจิกเท่านั้น

1.4.3 การยืนยันผลและตรวจสอบความถูกต้องของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวิทยานิพนธ์ อาศัยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB และผลทดสอบจากอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับวิธีการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV

1.5.2 ได้แก้ปัญหาและพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.3 ได้รับความรู้เกี่ยวกับตัวควบคุมฟuzzyและการออกแบบตัวควบคุมฟuzzy

1.5.4 ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรมและแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด บนโปรแกรม MATLAB

1.5.5 ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรมและการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR พร้อมทั้งการใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ ทางไฟฟ้า

1.5.6 ได้รับประสบการณ์ในการสร้างอุปกรณ์ทดสอบสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการและในระบบฟาร์มอัจฉริยะของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.7 ได้รับการตีพิมพ์บทความวิจัยเผยแพร่ในระดับชาติ / นานาชาติ

## 1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท แต่ละบทนำเสนอเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบแผง PV แบบอิสระ

บทที่ 3 นำเสนอระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O โดยอธิบายถึงวิธีการทำงานของหลักการ P&O การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ อธิบายการออกแบบชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ และผลการทดสอบฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้น

บทที่ 4 นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ในบทนี้จะอธิบายการทำงานของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ระหว่างการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC และการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทั้งสองวิธีที่กล่าวมาเบื้องต้น

บทที่ 5 อธิบายการออกแบบการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบไฟฟ้าที่พิจารณา การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyที่จะนำไปใช้งานร่วมกับระบบดังกล่าว การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ การสร้างชุดทดสอบฮาร์ดแวร์ และผลการทดสอบชุดฮาร์ดแวร์

บทที่ 6 คือบทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวกมีทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ภาคผนวก ก. ภาคผนวก ข. ภาคผนวก ค. ภาคผนวก ง. ภาคผนวก จ.

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ระบบแผง PV แบบอิสระจำเป็นต้องมีระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อถึงประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC และจากงานวิจัยในอดีตได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV กันอย่างต่อเนื่องและมีอยู่หลายวิธี ในบทนี้ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

#### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในบทนี้ของวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวิธีโดยเรียงลำดับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และอธิบายถึงสาระสำคัญของงานวิจัยแต่ละงานวิจัยไว้พอสังเขป แสดงได้ดัง ตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2007	Trishan Efram and Patrick L. Chapman.	บทความนี้กล่าวถึงวิธีการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 19 วิธี และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในแต่ละวิธี

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2012	D. K. Sharma and G. Purohit	บทความนำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตแบบก้าวหน้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะใช้วิธีการรบกวนและสังเกตแบบเดิมเพิ่มอัลกอริทึมในการคำนวณจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการรบกวนและสังเกตแบบเดิมให้ดียิ่งขึ้น วิธีการดังกล่าวมีข้อดีคือเพิ่มความเร็วในการเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ณ สภาวะคงตัว
2015	ปทุมพร วงศ์ใหญ่, กองพัน อารีรักษ์ และ กองพล อารีรักษ์	บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบจะพิจารณาการทำงานจากการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าในคาบเวลาก่อนหน้า และทำการรบกวนโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของวงจรลดทอนแรงดัน ข้อดีของวิธีดังกล่าวคือเป็นอัลกอริทึมที่นิยมนำมาใช้งานและง่ายต่อการควบคุม ข้อเสียคือต้องปรับค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของวงจรลดทอนแรงดันให้เหมาะสมกับระบบที่นำไปใช้งาน



ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและ  
สังเกตสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2017	HAYDER Wafa, BEN HAMED Mouna and ABID Aicha	บทความนี้นำเสนอผลกระทบต่อการปรับค่าวัฏจักร หน้าที่ในอัลกอริทึมของวิธีการรบกวนและสังเกต สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การทดสอบจะใช้ แบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB โดยการปรับ ค่าวัฏจักรหน้าที่จากวงจรแปลงผันแบบบัสให้มีค่าที่ เหมาะสมที่สุด ระบบจึงจะทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ ข้อดีคือสามารถเลือกปรับค่าวัฏจักร หน้าที่ให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อเสียถ้าปรับค่าวัฏจักรหน้าที่ไม่เหมาะสมระบบจะ ทำงานได้ไม่ดีและไม่มีประสิทธิภาพ
2019	Alivarani Mohapatra, Byamakesh Nayak and Chidurala Saiprakash	บทความนี้เสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ได้ โดยใช้วงจร ลดทอนแรงดันในการเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ จาก ผลการจำลองสถานการณ์สามารถปรับปรุงผลการ ตอบสนองในสถานะชั่วคราวเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะ คงตัวได้เร็วยิ่งขึ้น รวมถึงช่วยลดการแกว่งของ กำลังไฟฟ้า ณ สภาวะคงตัว นอกจากนี้ยังมีการ นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกตแบบ ดั้งเดิม

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีฟuzzyลอจิกสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2016	Mohammed Abdul Khader Aziz Biabani and Fazeel Ahmed	บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตและวิธีฟuzzyลอจิก โดยนำวิธีการรบกวนและสังเกตแบบดั้งเดิมมาใช้งาน และทำการเปรียบเทียบกับการนำวิธีฟuzzyลอจิกมาใช้งานในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลการทดลองสรุปได้ว่าการนำตัวควบคุมฟuzzyมาใช้งานสามารถทำให้ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตแบบดั้งเดิม
2016	Savita Baraskar, Sachin Kumar Jain and Prabim K. Padhy	บทความนี้กล่าวถึงการนำวิธีการรบกวนและสังเกตมาใช้งานร่วมกับวิธีฟuzzyลอจิก การทดสอบจะใช้แบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB บทความนี้จะนำตัวควบคุมฟuzzyมาช่วยในการปรับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้กับระบบ ผลการทดสอบปรากฏว่าการนำวิธีการรบกวนและสังเกตมาใช้งานร่วมกับตัวควบคุมฟuzzyจะให้ผลการตอบสนองของระบบที่เร็วกว่าและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวได้ดีกว่าวิธีการรบกวนและสังเกตแบบดั้งเดิม ข้อดีของวิธีนี้คือช่วยให้ระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ข้อเสียคือผู้ใช้งานต้องเข้าใจการทำงานของระบบที่ตัวเองกำลังทดสอบอยู่อย่างแท้จริง ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถปรับค่าต่าง ๆ ของระบบให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีพีชชีลอจิกสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2018	Jaldeep Kumar, Bhuvnesh Rathor And Prakash Bahrani	บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีพีชชีลอจิก วิธีการรบกวนและสังเกต โดยนำมาใช้ร่วมกับวงจรลดทอนแรงดัน ผลการทดสอบจะเปรียบเทียบระหว่างวิธีพีชชีลอจิก วิธีการรบกวนและสังเกต และวิธีที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้ง 3 วงจรและทั้ง 3 วิธี ปรากฏว่าวิธีพีชชีลอจิกให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าวิธีการรบกวนและสังเกต และวิธีที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด
2019	Mohammed Zerouali, Salaheddine Zouirech, Abdelghani El Ougli, Belkassem Tidhaf, and Hafida Zrouri	บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวิธีการรบกวนและสังเกตและวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบดั้งเดิม โดยการนำตัวควบคุมพีชชีเข้ามาใช้งานกับทั้ง 2 วิธี การทดสอบจะใช้แบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB และทดสอบที่สภาวะแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวควบคุมพีชชีถูกใช้สำหรับการปรับค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของวงจรแปลงผันแบบบัสให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดสอบปรากฏว่าการนำตัวควบคุมพีชชีเข้ามาใช้งานร่วมกับทั้ง 2 วิธีดังกล่าวจะทำให้ระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าวิธีการรบกวนและสังเกต และวิธีการเพิ่มค่าความนำแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟาร์มที่มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2017	Theerawut Chaiyatham And Issarachai Ngamroo	บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ด้วยวิธี fuzzy gain scheduling of proportional–integral–derivative (FGS-PID) โดยได้นำเอาฟuzzy logic เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ $K_p$ , $K_i$ และ $K_d$ ของตัวควบคุม PID เพื่อปรับปรุงผลการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวและสภาวะคงตัวของกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น การทดสอบจะใช้การจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่าง ๆ เทียบกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ระบบที่มีตัวควบคุม PID ระบบที่มีตัวควบคุม Ziegler–Nichols PID (ZN-PID) ผลทดสอบปรากฏว่าวิธี FGS-PID สามารถปรับปรุงให้สภาวะชั่วคราวของระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้นและเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมต่าง ๆ ที่ได้นำไปเปรียบเทียบ
2017	Soediby, Sjamsjul Anam, Isa Hafidz, Gusti Rinaldi Zulkarnain, and Mochamad Ashari	บทความนี้นำเสนอระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตโดยนำวิธีนี้มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผง PV เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง โดยความเข้มแสงปกติของฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ที่ $610 \text{ W/m}^2$ ผลการจำลองสถานการณ์การผลิตกำลังไฟฟ้าโดยมีวิธีการรบกวนและสังเกตเข้ามาช่วยทำให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ $8,167 \text{ kW}$ โดยคิดเป็น 90 % ของความต้องการพลังงานในพื้นที่ที่ผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผง PV

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทราบว่าวิธีที่นิยมนำมาใช้งานที่สุด คือวิธีการรบกวนและสังเกตเนื่องจากมี อัลกอริทึมการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน จากงานวิจัยของ(ปทุมพร วงศ์ใหญ่, กองพันธ์ อารีรักษ์ และกองพล อารีรักษ์, 2015) และ (HAYDER Wafa, BEN HAMED Mouna, ABID Aicha, 2017) จะเห็นว่าการกำหนดขนาดของการเปลี่ยนแปลง ( $\Delta D$ ) ของวงจรถอดถอนแรงดันต้องกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับระบบจึงจะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้ากำหนด ( $\Delta D$ ) ไม่เหมาะสมให้กับระบบ จะทำให้ระบบไม่สามารถทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้และอาจเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัว เพื่อแก้ปัญหาในการกำหนด ( $\Delta D$ ) ของวงจรถอดถอนแรงดัน ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเอาวิธีฟuzzyลอจิกเข้ามาใช้งานร่วมกับหลักการ P&O เนื่องจากวิธีฟuzzyลอจิกนั้นเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และยังสามารถออกแบบการใช้งานได้หลากหลายตามความเหมาะสมของระบบที่พิจารณาโดยใช้ความเชี่ยวชาญจากผู้ใช้งาน วิธีฟuzzyลอจิกจะช่วยให้การกำหนด ( $\Delta D$ ) ที่เหมาะสมให้กับระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O ให้ดีขึ้น

### 2.3 สรุป

การสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้กล่าวถึงวิธีต่าง ๆ ของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด รวมถึงหลักการการทำงานของวิธีต่าง ๆ โดยวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จากงานวิจัยในอดีตที่ทำการสำรวจมาข้างต้นนับว่าเป็นความรู้พื้นฐานที่ช่วยในการศึกษาและเป็นแนวทางที่สำคัญในการดำเนินงานวิจัย เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ดียิ่งขึ้น

### บทที่ 3

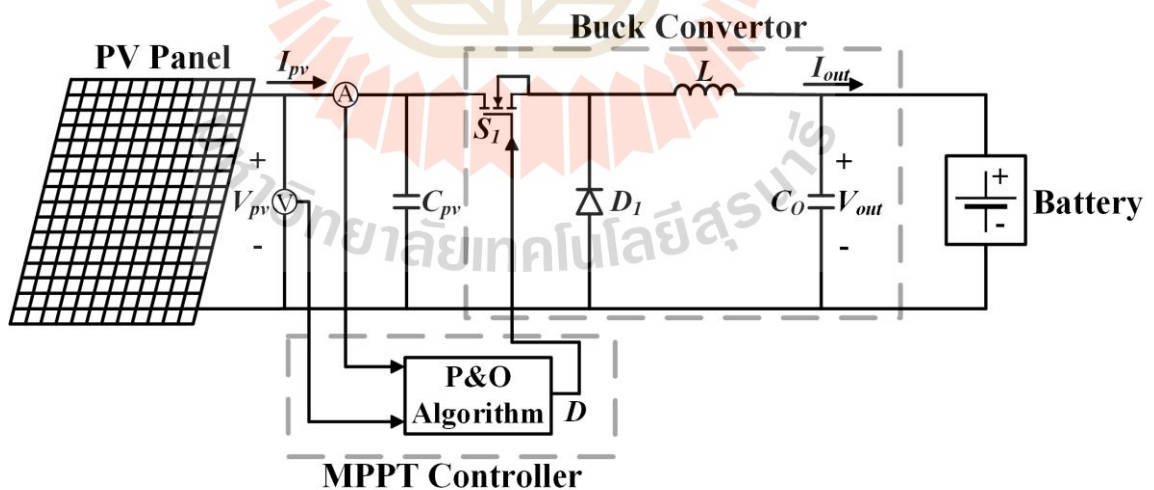
## ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O

### 3.1 บทนำ

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในบทที่ 2 พบว่าระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีที่จะนำเสนอในบทนี้ คือ วิธีการรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation) หรือเรียกโดยย่อว่าหลักการ P&O โดยจะนำมาใช้กับวงจรลดทอนแรงดันเพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายหลักการทำงานของหลักการ P&O การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ รวมถึงการอธิบายการสร้างชุดทดสอบของหลักการ P&O และผลการทดสอบของชุดทดสอบขนาดพิกัด 40 W

### 3.2 ระบบที่พิจารณา

ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O



จากรูปที่ 3.1 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ประกอบด้วยแผง PV (Photovoltaic) ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O จะนำมาใช้กับวงจรลดทอนแรงดัน เพื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงขณะนั้น และเนื่องจากเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานสำรองซึ่งในที่นี้คือแบตเตอรี่

หลักการทำงานของหลักการ P&O จะทำงานเป็นคาบเวลาการปรับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขั้นตอนของการรบกวน จากนั้นจะวัดกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้าแล้วทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าในคาบเวลาปัจจุบันและคาบเวลาก่อนหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาคำนวณว่าควรเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle:  $D$ ) หรือค่า  $D$  ของวงจรลดทอนแรงดัน เพื่อให้จุดการทำงานเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงนั้น ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของวงจรลดทอนแรงดันเป็นดังสมการที่ (3-1)

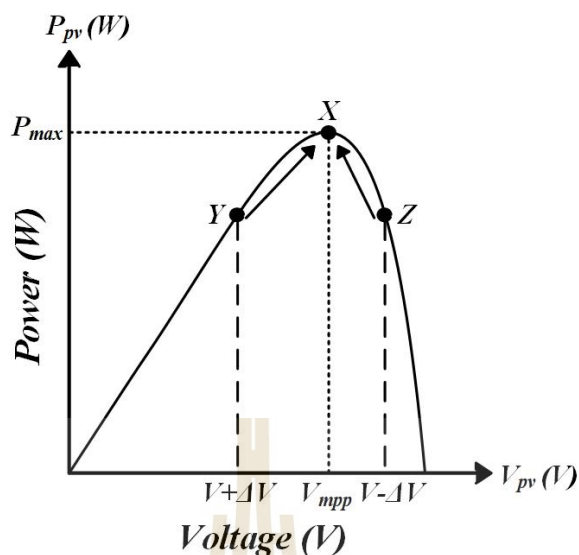
$$V_{out} = DV_{pv} \quad (3-1)$$

เมื่อ  $D$  คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ของวงจรลดทอนแรงดัน

จากสมการที่ (3-1) กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับแรงดันแบตเตอรี่ที่เป็นค่าคงที่  $V_o = V_{batt}$  พิจารณาแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับแรงดันที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด  $V_{pv} = V_{mpp}$  สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่า  $D$  ของวงจรลดทอนแรงดันตามสมการที่ (3-1) จะได้ว่า

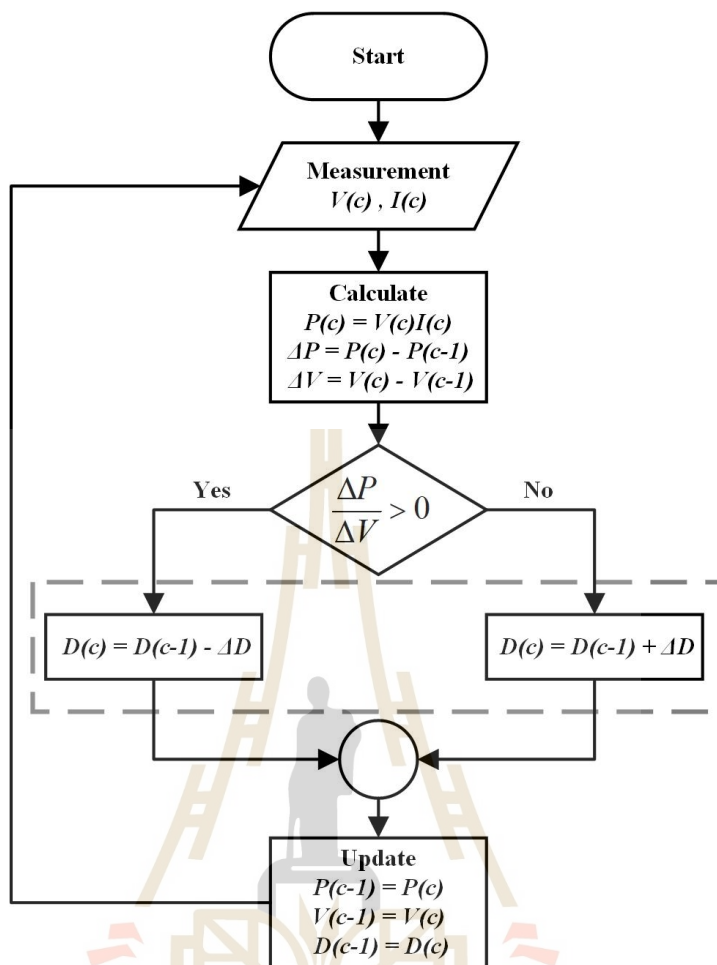
$$V_{pv} = \frac{V_{batt}}{D} \quad (3-2)$$

กราฟลักษณะเฉพาะแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟลักษณะเฉพาะแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve)

จากรูปที่ 3.2 คือกราฟลักษณะเฉพาะแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) เมื่อพิจารณาจุดการทำงานจากตำแหน่ง Y ไปตำแหน่ง X จะทำให้ค่าผลต่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\Delta P$ ) ในคาบเวลาก่อนหน้าและในคาบเวลาปัจจุบันมีค่าเพิ่มขึ้น  $+\Delta P$  และค่าผลต่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\Delta V$ ) ในคาบเวลาก่อนหน้าและในคาบเวลาปัจจุบันมีค่าเพิ่มขึ้น  $+\Delta V$  ดังนั้น  $\frac{\Delta P}{\Delta V} \geq 0$  เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องทำการปรับเพิ่มแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จากสมการที่ (3-2) ถ้าแรงดันแบตเตอรี่มีค่าคงที่ และต้องการเพิ่มแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องทำการปรับค่า ( $D$ ) ของวงจรลดทอนแรงดันให้มีค่าลดลง  $D-\Delta D$  และเมื่อพิจารณาตำแหน่งการทำงานจากตำแหน่ง Z ไปตำแหน่ง X จะทำให้ค่า ( $\Delta P$ ) ในคาบเวลาก่อนหน้าและในคาบเวลาปัจจุบันมีค่าเพิ่มขึ้น  $+\Delta P$  และค่า ( $\Delta V$ ) ในคาบเวลาก่อนหน้าและในคาบเวลาปัจจุบันมีค่าลดลง  $-\Delta V$  ดังนั้น  $\frac{\Delta P}{\Delta V} \leq 0$  เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องทำการปรับลดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จากสมการที่ (3-2) ถ้าแรงดันแบตเตอรี่มีค่าคงที่ และต้องการลดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องทำการปรับค่า ( $D$ ) ของวงจรลดทอนแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้น  $D+\Delta D$  จากการพิจารณาการทำงานข้างต้นจะได้แผนภาพการตามรอยจุดของหลักการ P&O ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O

แผนภาพการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ตามรูปที่ 3.3 เริ่มต้นจากการกำหนดค่า  $P(0) = 0W$  และ  $V(0) = 0V$  จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการวัดค่ากระแส  $I(c)$  และแรงดัน  $V(c)$  ของแผง PV เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์  $P(c) = V(c) \times I(c)$  ค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคาบเวลา ก่อนหน้า และคาบเวลาปัจจุบัน  $\Delta P = P(c) - P(c-1)$   $\Delta V = V(c) - V(c-1)$  ต่อมาเป็นการเทียบค่า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าศูนย์ ถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V} \geq 0$  อัลกอริทึมต้องทำการปรับค่า  $D$  ลดลง  $D(c) = D(c-1) - \Delta D$  และถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V} \leq 0$  อัลกอริทึมต้องทำการปรับค่า  $D$  เพิ่มขึ้น  $D(c) = D(c-1) + \Delta D$  จากนั้นจะทำการอัปเดตค่ากำลังไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและค่า  $D$  ในคาบเวลา ก่อนหน้า  $P(c-1)$ ,  $V(c-1)$ ,  $D(c-1)$  และทำการเริ่มต้นทำงานใหม่เรื่อย ๆ จนกว่าจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ในวิทยานิพนธ์นี้การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์จะกำหนดให้ค่า  $(\Delta D) = 0.01$  และสำหรับชุดทดสอบค่า  $\Delta D$  ได้จากการทดสอบชุดอุปกรณ์ในหัวข้อ 3.6

### 3.3 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

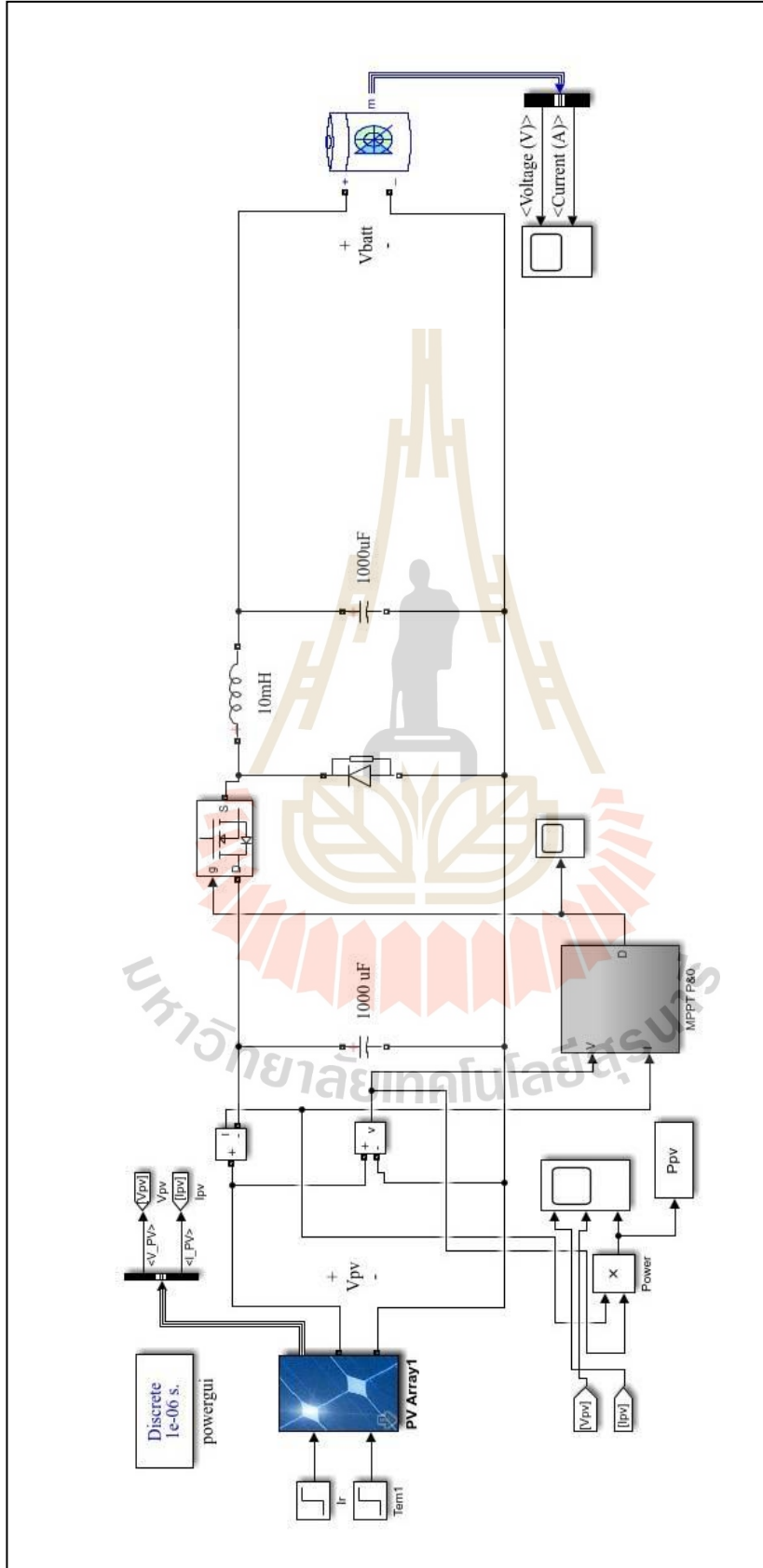
ในหัวข้อนี้จะยืนยันการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O ว่าสามารถดึงกำลังสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูป 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแสดงได้ดังตาราง 3.1 และโปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนโปรแกรม MATLAB จะแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

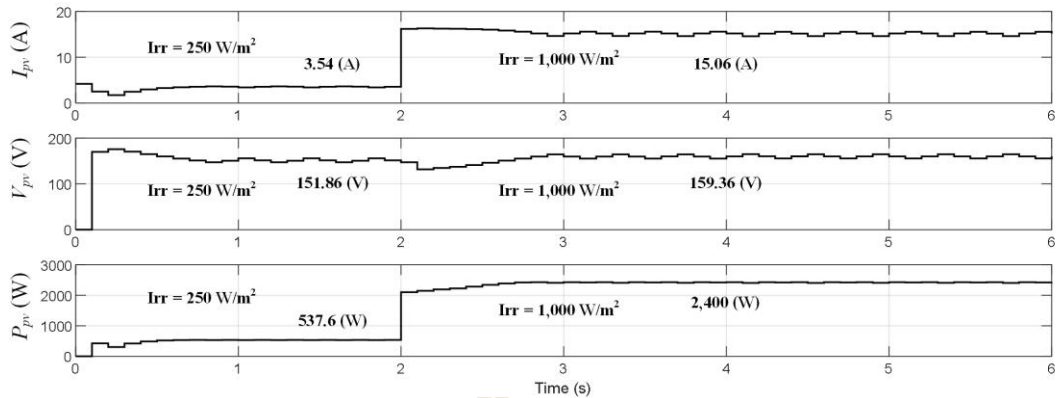
พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าของพารามิเตอร์
$P_{mpp}$	300 W
$V_{mpp}$	37.5 V
$I_{mpp}$	8.25 A
$V_{oc}$	46.3 V
$I_{sc}$	8.87 A
พารามิเตอร์วงจรลดทอนแรงดัน	ค่าของพารามิเตอร์
$V_{pv}$	159.3 V
$V_{batt}$	48 V
$C_{pv}$	1000 $\mu$ F
$C_o$	1000 $\mu$ F
$L$	10 mH
$f_{sw}$	10 kHz

การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ประกอบไปด้วย แผง PV ขนาด 300 W ต่ออนุกรม 4 แผงและต่อขนานกัน 2 ชุด รวมเป็น 2.4 kW วงจรลดทอนแรงดัน และมีเอาต์พุตเป็นแบตเตอรี่ขนาด 48 V การจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า  $I_{pv}$ ,  $V_{pv}$  และ  $P_{pv}$  ผลการจำลองสถานการณ์แสดงดังรูปที่ 3.5 และจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

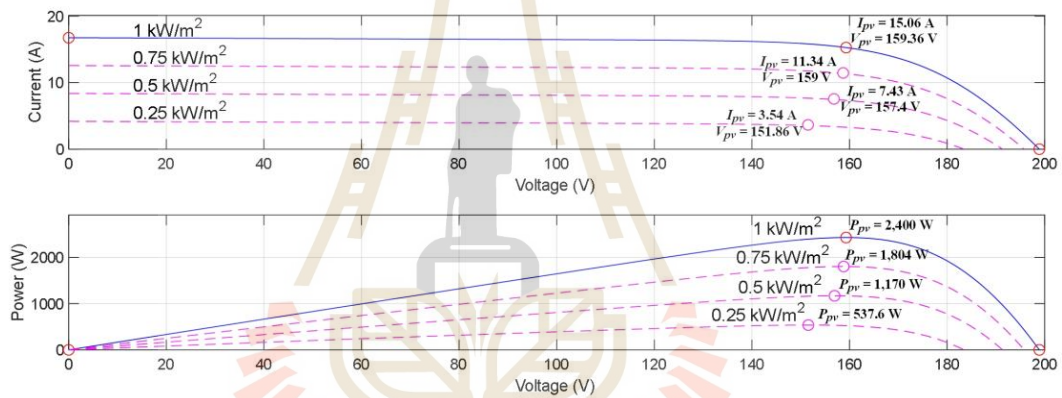
- ช่วงที่ 1 s ที่ 0 ถึง 2 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ 250 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ 25 °C
- ช่วงที่ 2 s ที่ 2 ถึง 6 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ 25 °C



รูปที่ 3.4 การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ด้วยหลักการ P&O ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.5 ผลการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ด้วยหลักการ P&O



รูปที่ 3.6 กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ

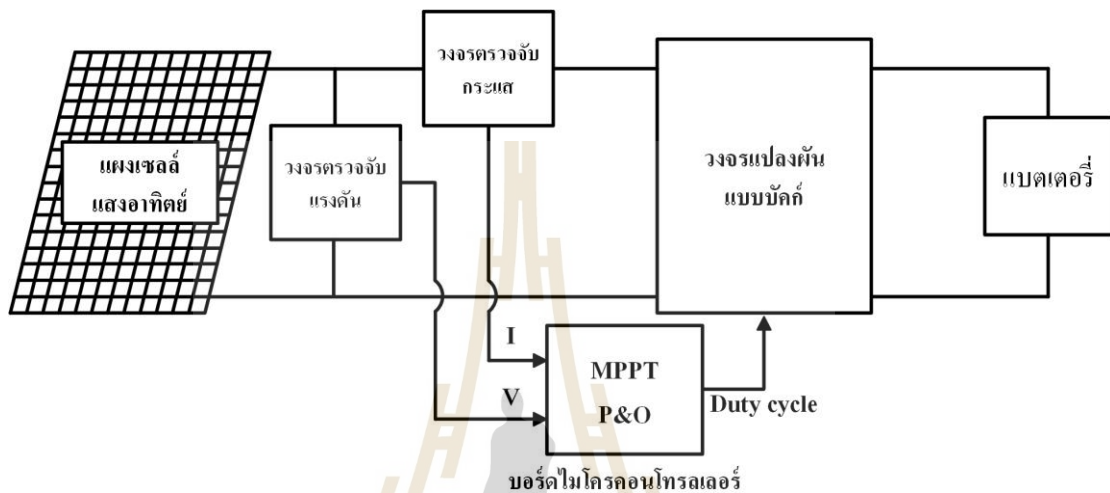
จากรูปที่ 3.5 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 1 ที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $250 W/m^2$  จะได้  $I_{pv} = 3.54 A$ ,  $V_{pv} = 151.86 V$  และ  $P_{pv} = 537.6 W$  ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 2 ที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $1,000 W/m^2$  จะได้  $I_{pv} = 15.06 A$ ,  $V_{pv} = 159.36 V$  และ  $P_{pv} = 2,400 W$  ในรูปที่ 3.6 จะเป็นกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ โดยจะใช้ในการยืนยันผลการจำลองสถานการณ์ว่า ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้

จากผลการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O นั้นสามารถดึงกำลังสูงสุดได้เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับกราฟคุณลักษณะของแผง PV ในรูปที่ 3.6



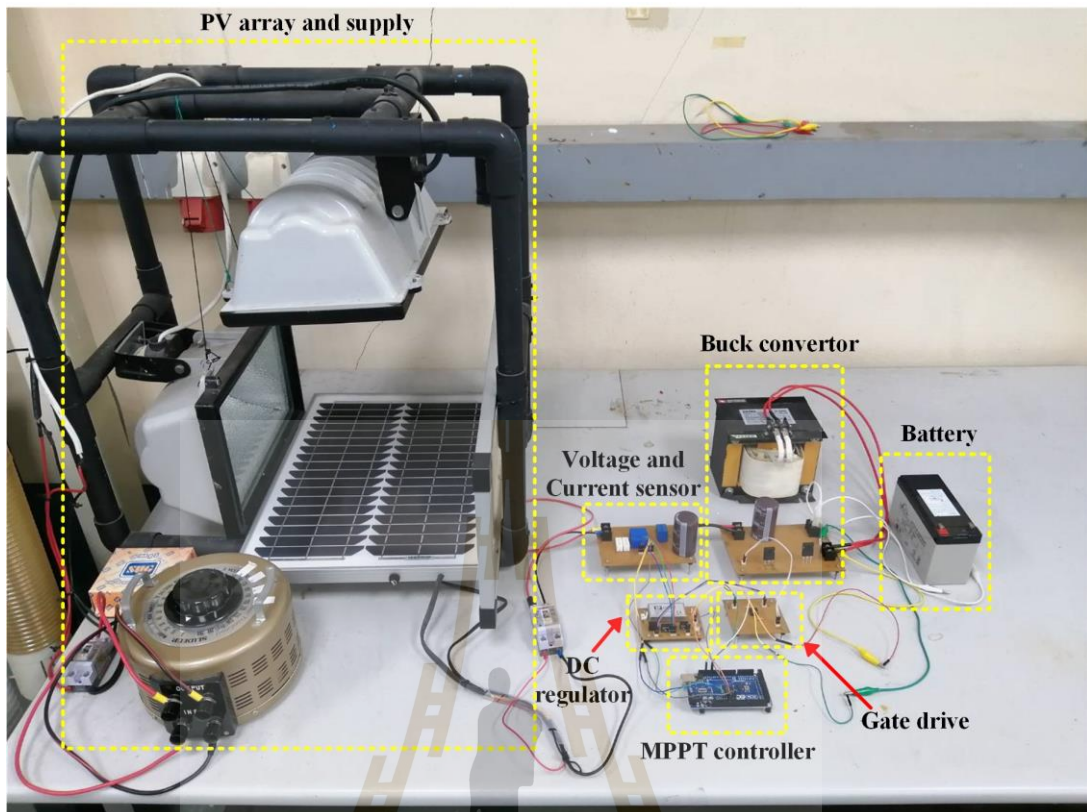
### 3.4 การสร้างชุดทดสอบ

จากหัวข้อที่ 3.3 เพื่อเป็นการยืนยันว่าการจำลองสถานการณ์ด้วยหลักการ P&O ที่ได้นำเสนอไปสามารถนำมาใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงได้ทำการสร้างชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O โครงสร้างชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O

ชุดทดสอบที่สร้างขึ้นเบื้องต้นจะนำมาใช้งานกับแผง PV ขนาด 40 W ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ใช้งานได้จริง ก่อนดำเนินการสร้างชุดทดสอบต้นแบบสำหรับนำไปใช้กับแผง PV ขนาด 2.4 kW ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.5 โครงสร้างชุดทดสอบจะประกอบไปด้วย แผง PV ขนาด 40 W วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยวงจรทำการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าแล้วส่งค่าที่วัดได้ไปให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลตามหลักการการทำงานของหลักการ P&O ปรับตั้งค่า  $D$  แล้วนำไปจ่ายให้แก่สวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดันเพื่อปรับให้แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ค่า  $V_{mpp}$  ซึ่งเป็นจุดที่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้ ชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O แสดงดังรูปที่ 3.8 รายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



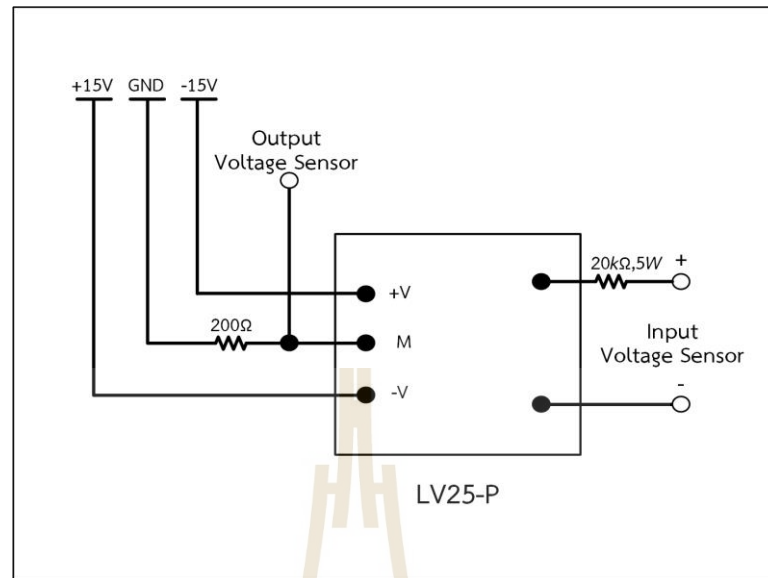
รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O

### 3.4.1 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ชุดวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เป็นวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเบอร์ LV25-P พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีค่าอยู่ที่ 500 V กระแส 10 mA วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าต้องใช้ไฟเลี้ยง +15V, 0V และ -15V ต้องออกแบบค่าความต้านทานแรงสูงเพื่อที่กระแสจะได้ไม่เกินพิกัดที่กำหนด สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานตามสมการที่ (3-3) โดยกำหนดแรงดันต้านแรงสูงเท่ากับ 200V จะได้ค่าความต้านทานต้านแรงสูงเท่ากับ  $20k\Omega$

$$R_{HV} = \frac{V_{HV}}{I_{HV}} = \frac{200}{10 \times 10^{-3}} = 20k\Omega \quad (3-3)$$

ค่าความต้านทานต้านแรงต่ำใช้ค่าความต้านทานที่ปรับจูนโดยการทดสอบไม่ให้แรงดันไฟฟ้าเกิน 5 V ซึ่งเป็นแรงดันที่บอร์ด Arduino สามารถรับและอ่านได้ โดยเลือกใช้ค่าความต้านทานต้านแรงต่ำที่เท่ากับ 200  $\Omega$  โครงสร้างวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจะแสดงดังรูป 3.9 และวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจะแสดงดังรูป 3.10

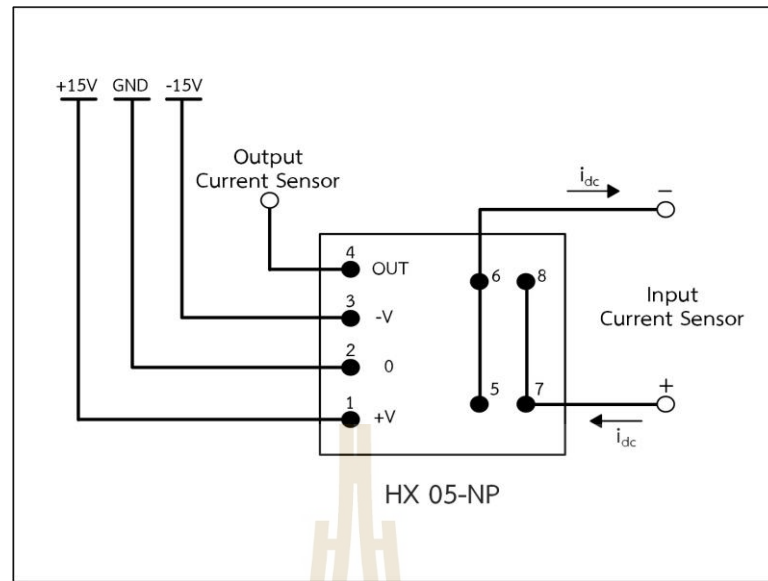


รูปที่ 3.9 โครงสร้างวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

ชุดวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะใช้วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเบอร์ HX 05-NP พิกัด 30 A โดยทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้า ต้องใช้ไฟเลี้ยง +15V, 0V และ -15V โครงสร้างวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะแสดงดังรูป 3.11 และวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะแสดงดังรูป 3.12



รูปที่ 3.11 โครงสร้างวงจรถวายวัดกระแสไฟฟ้า



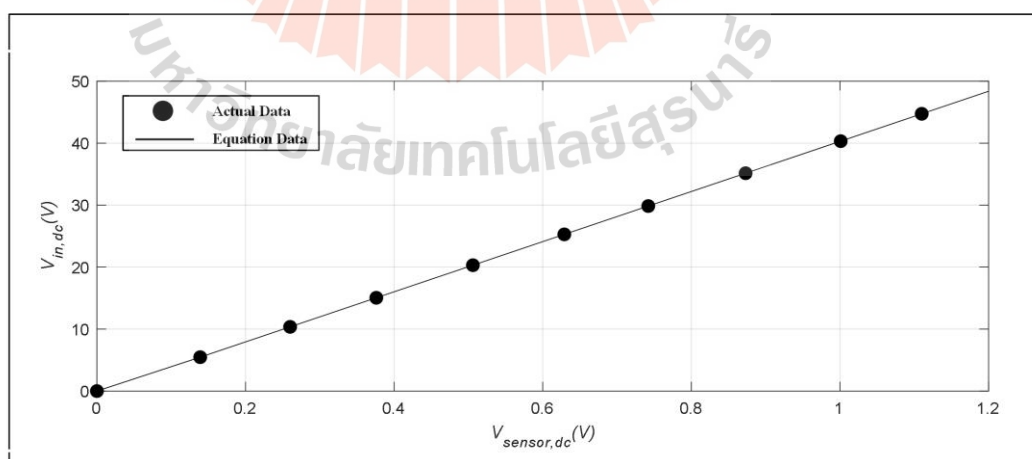
รูปที่ 3.12 วงจรถวายวัดกระแสไฟฟ้า

การทดสอบวงจรถวายวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ทำการทดสอบโดยการเพิ่มค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง DC ปรับค่าได้พิกัด 0-30V, 3A ผลการทดสอบวงจรถวายวัดแรงดันไฟฟ้าและวงจรถวายวัดกระแสไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

$V_{in,dc} (V)$	$V_{sensor,dc} (V)$
0	0
5	0.139
10	0.260
15	0.376
20	0.506
25	0.629
30	0.742
35	0.873
40	1.001
45	1.11
50	1.241

จากตาราง 3.2 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ได้ดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้ออกมามีลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถนำไปหาฟังก์ชันสมการโดยใช้คำสั่งการหาสมการเส้นตรงจากโปรแกรม Matlab สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ (3-4)

$$V_{in,dc} = 40.445V_{sensor,dc} - 0.154 \quad (3-4)$$

เมื่อ  $V_{in,dc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง (V)

$V_{sensor,dc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (V)

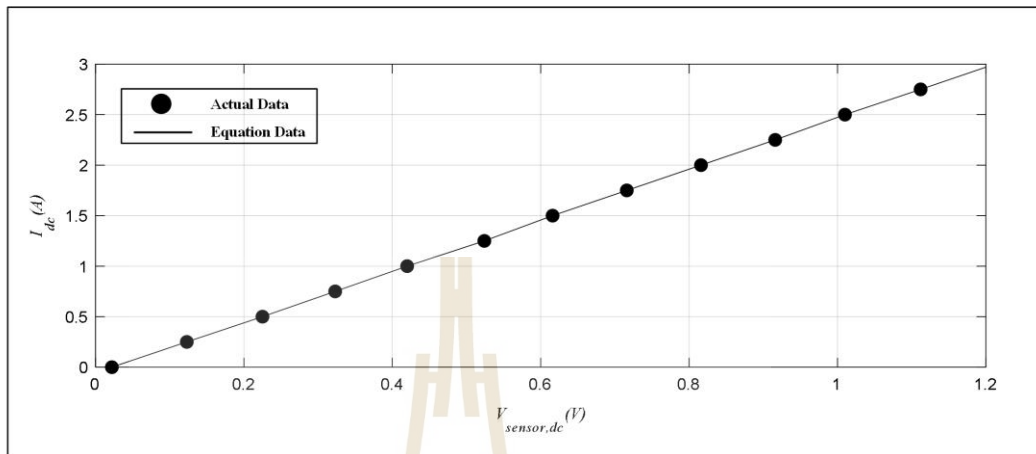
สมการที่ (3-4) เป็นสมการที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

$I_{dc}$ (A)	$V_{sensor,Idc}$ (V)
0	0.022
0.25	0.123
0.5	0.225
0.75	0.323
1	0.420
1.25	0.524
1.5	0.616
1.75	0.716
2	0.816
2.25	0.916
2.5	1.010
2.75	1.112
3	1.212



จากตาราง 3.3 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ได้ดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้ออกมามีลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถนำไปหาฟังก์ชันสมการโดยใช้คำสั่งการหาสมการเส้นตรงจากโปรแกรม Matlab สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ (3-5)

$$I_{dc} = 2.5294V_{sensor,Idc} - 0.0634 \quad (3-5)$$

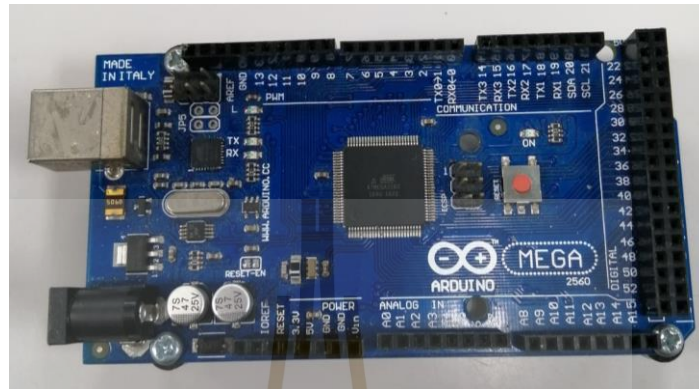
เมื่อ  $I_{dc}$  คือ กระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง (A)  
 $V_{sensor,Idc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (V)

สมการที่ (3-5) เป็นสมการที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้คำนวณและแปลงแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง

### 3.4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

วิทยานิพนธ์นี้จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560 มาทำการคำนวณค่า  $D$  เพื่อใช้ควบคุมสวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดัน และนำมาใช้งานในการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-Width-Modulation : PWM) ด้วยไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 และใช้งานพอร์ตแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลโดยจะแปลงสัญญาณอนาล็อกจากวงจร

ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณในอัลกอริทึมของหลักการ P&O บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560 แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560

- การใช้งานพอร์ตสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการรับค่าจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลหรือแปลง ADC (Analog to digital converter) ความละเอียด 10 บิต (10-bit resolution) ที่แรงดัน +5V เมื่อแปลง ADC จะได้ค่าตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 – 1024 โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีมอดูล ADC จำนวน 16 ช่องสัญญาณ คือ ADC0 – ADC15 โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ช่องสัญญาณ ADC0 สำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อกของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิตอล และ ADC1 สำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อกของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิตอล การแปลง ADC จำนวนได้ดังสมการที่ (3-6)

$$ADC = \frac{V_{sensor} \times 1024}{V_{REF}} \quad (3-6)$$

โดยที่  $V_{sensor}$  คือ แรงดันอินพุตของวงจรตรวจวัด  
 $V_{REF}$  คือ แรงดันอ้างอิงซึ่งตั้งไว้ที่ 5V

- การสร้างสัญญาณ PWM กับไทมเมอร์/เคาน์เตอร์1  
การสร้างสัญญาณ Phase and Frequency Correct Pulse Width Modulation  
เป็นการสร้างเฟสและความถี่ของสัญญาณ PWM ความละเอียดสูง โดยคำนวณได้ตามสมการ (3-7)

$$f_{pwm} = \frac{f_{clk}}{2 \times N \times TOP} \quad (3-7)$$

โดยที่  $f_{clk}$  คือ ความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ (16 MHz)  
 $TOP$  คือ ค่าที่กำหนดให้กับรีจิสเตอร์ ICR1 ซึ่งมีขนาด 16 บิต  
 $N$  คือ ค่าปริสเกลเลอร์ (ตัวลดทอนสัญญาณ) ในที่นี้กำหนดให้  $N = 1$

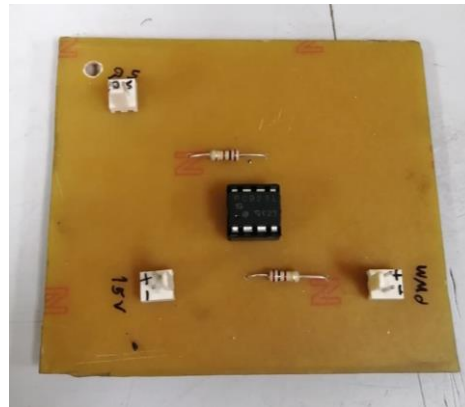
กำหนดความถี่สวิทช์เท่ากับ 10 kHz ดังนั้นจากสมการที่ (3-7) สามารถหาค่าที่กำหนดให้กับรีจิสเตอร์ ICR1 ได้ดังนี้

$$TOP = \frac{16 \times 10^6}{2 \times 1 \times 10^3} = 800$$

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ช่องสัญญาณ PWM 11 เป็นพอร์ตเอาต์พุตของสัญญาณ PWM โดยการนำสัญญาณพัลส์ไปสั่งให้สวิทช์ทำงานต้องผ่านวงจรจุดชนวนเกทหรือวงจรแยกโดดสัญญาณ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหาย ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ไอซีเบอร์ PC923 ในการแยกโดดสัญญาณซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

### 3.4.3 วงจรจุดชนวนเกท

วงจรจุดชนวนเกทหรือวงจรแยกโดดสัญญาณถูกออกแบบขึ้นเพื่อควบคุมสวิทช์มอสเฟตของวงจรลดทอนแรงดันและแยกกราวด์ของวงจรไฟฟ้าด้านแรงต่ำกับวงจรไฟฟ้าด้านแรงสูงเพื่อไม่ให้กราวด์ฝั่งแรงต่ำและแรงสูงเชื่อมกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าฝั่งแรงต่ำและแรงสูง วงจรจุดชนวนเกทใช้ ไอซีเบอร์ PC923 วงจรจุดชนวนเกทแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรจุดชนวนเกท

### 3.4.4 วงจรลดทอนแรงดัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรลดทอนแรงดันจะประกอบไปด้วย MOSFET ไดโอด ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ วิธีออกแบบจะต้องคำนึงถึงพิกัดของกระแสและแรงดันที่จะนำมาใช้กับวงจรเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ในวงจร ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรทำหน้าที่กรองสัญญาณเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้เกิดการสั่นของสัญญาณที่น้อยที่สุด การเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมช่วยให้ค่าแรงดันพลิว  $\Delta V_{out}$  (ripple voltage) และค่ากระแสพลิว  $\Delta I_L$  (ripple current) มีระดับที่เหมาะสม สามารถออกแบบค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้ตามสมการที่ (3-8) และ (3-9) ตามลำดับ

$$C = \frac{(1-D)V_{out}}{8Lf_s^2 \Delta V_{out}} \quad (3-8)$$

$$L = \frac{V_{out}(V_{in} - V_{out})}{f_s \Delta I_L V_{in}} \quad (3-9)$$

การออกแบบจะกำหนดแรงดันอินพุตให้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดของแผง PV และแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ เงื่อนไขการออกแบบอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

$$V_{in} = 43V$$

$$V_{out} = 13.8V$$

$$f_s = 10kHz$$

$$\Delta V_{out} \leq 1mV$$

$$\Delta I_L \leq 0.07A$$

จากเงื่อนไขพิจารณาสมการที่ (3-8) และ (3-9) สามารถออกแบบได้ดังนี้

$$L = \frac{13.8(43-13.8)}{10 \times 10^3 \times 0.07 \times 43} = 13.387 \text{mH}$$

เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ  $15\text{mH}$  และจากสมการที่ (3-1)  $V_{out} = DV_{pv}$  โดยในที่นี้  $V_{pv} = V_{in}$  และ  $V_{in} = 43\text{V}$  ,  $V_{out} = 13.8\text{V}$  จะได้  $D = 0.31$  นำไปแทนค่าเพื่อคำนวณขนาดตัวเก็บประจุ

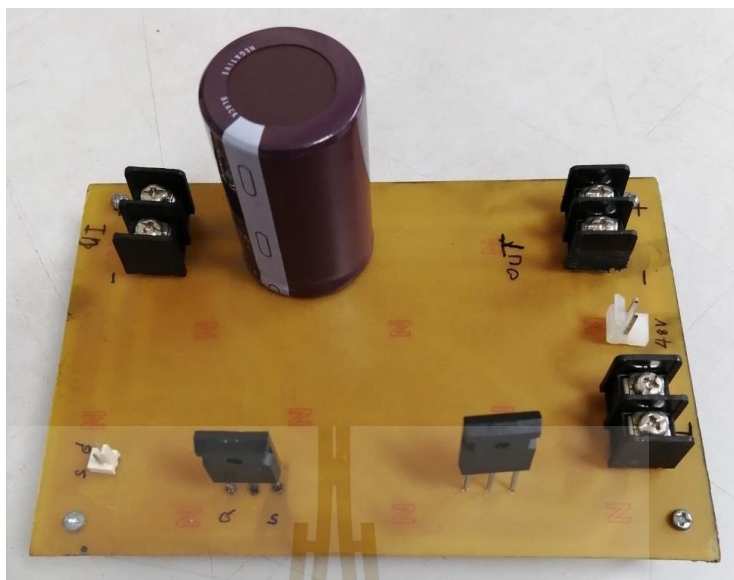
$$C = \frac{(1-0.31)13.8}{8 \times 15 \times 10^{-3} \times (10 \times 10^3)^2 \times 1 \times 10^{-3}} = 793.5 \mu\text{F}$$

ใช้ตัวเก็บประจุขนาด  $1000\mu\text{F}$  พิกัดอุปกรณ์ที่เลือกใช้แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรลดทอนแรงดัน

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
มอสเฟต	200V, 130A	เบอร์ IRFP4668
ไดโอด	600V, 60A	เบอร์ MUR6060PT
ตัวเก็บประจุ	1000 $\mu\text{F}$ , 450V	Electrolytic Capacitor
ตัวเหนี่ยวนำ	15mH, 60V, 5A	DC Choke

วงจรลดทอนแรงดันที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรลดทอนแรงดัน

### 3.4.5 แหล่งจ่ายในชุดอุปกรณ์ทดสอบ

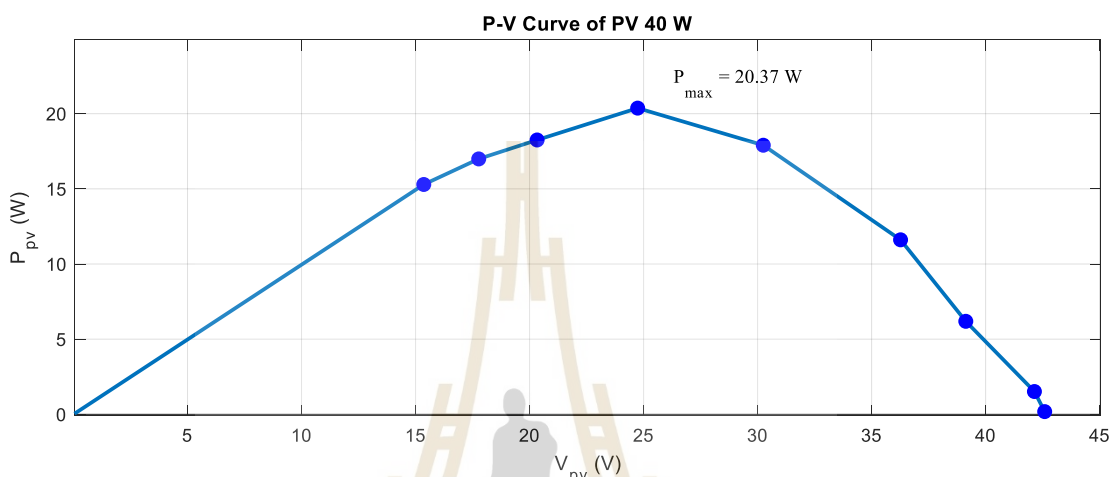
แหล่งจ่ายให้แก่วงจรต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 แหล่งจ่ายโดยจะใช้ไอซีรักษา ระดับแรงดันเป็นแหล่งจ่ายให้แก่ชุดอุปกรณ์ทดสอบซึ่งประกอบไปด้วย ไอซีเบอร์ IL1215S ทำการ จ่ายไฟ +15V -15V ให้แก่วงจรจุดชนวนเกท ไอซีเบอร์ NMV1215SC ทำการจ่ายไฟ +15V -15V 0V ให้แก่วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ไอซีเบอร์ MEE1S1212SC ทำการจ่ายไฟ +12V -12V ให้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และไอซีทั้งหมดนี้จะใช้แหล่งพลังงานสำรองหรือแบตเตอรี่ ขนาด 12V และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15V มาเป็นตัวจ่ายไฟให้กับไอซีดังกล่าวแต่ละตัว เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจรไอซีทุกตัวที่นำมาใช้นั้นจะเป็นไอซีที่แยกกราวด์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (dc/dc isolator) ทั้งหมด

### 3.5 การทดสอบหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ขนาด 40 W ที่สภาวะความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  เพื่อนำกราฟคุณลักษณะที่ได้มายืนยันผลการทดสอบการ ตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของชุดอุปกรณ์ทดสอบขนาด 40 W การทดสอบหา กราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แผง PV ขนาด 40 W ใน ห้องปฏิบัติการ โดยปรับ แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟสให้ได้ค่าความเข้มแสงจากหลอดไฟเป็น  $1,000 \text{ W/m}^2$  ซึ่งจะใช้ เครื่องมือวัดความเข้มแสง (lux meter) ทำการวัดค่าความเข้มแสงให้ได้คงที่เท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  จากนั้นจะให้แผง PV เริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยการปรับค่าความต้านทานแบบปรับ



ค่าได้จากค่าสูงสุดไปค่าต่ำที่สุดและนำเอาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของแผง PV ในแต่ละตำแหน่งที่ปรับค่า แล้วนำข้อมูลที่นำมาพล็อตเป็นกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 40 W ที่ใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ จะได้กราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าแผง PV ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาที่ 40 W ได้ ซึ่งตามทฤษฎีแผง PV จะผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  ณ อุณหภูมิ  $25^\circ \text{C}$  แต่ในการทดสอบนั้นอุณหภูมิของแผง PV มีค่ามากกว่า  $25^\circ \text{C}$  ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะดูค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  เท่านั้น ซึ่งจากกราฟจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ  $22.06 \text{ W}$  และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ดังกล่าวจะนำไปยืนยันผลของการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O ว่าสามารถถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ณ ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  ได้ในหัวข้อต่อไป

### 3.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O

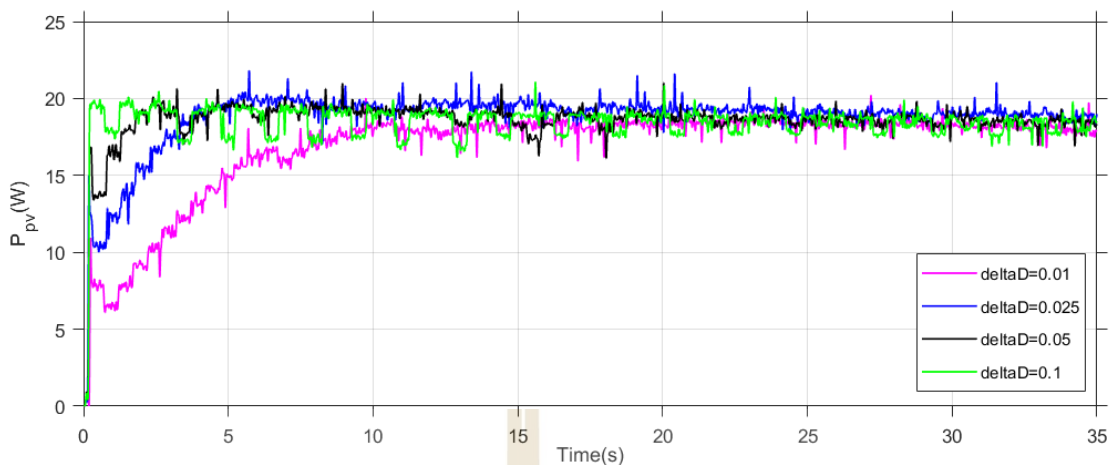
การทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของชุดอุปกรณ์จะดำเนินการทดสอบโดยใช้แผง PV ขนาด 40 W ในห้องปฏิบัติการและชุดอุปกรณ์ที่ทำการสร้างขึ้น การทดสอบชุดอุปกรณ์ทดสอบจะทำการปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟสให้ได้ค่าความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  เท่านั้น จากนั้นจะทำการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV และนำมาคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้าของแผง PV ที่ผลิตออกมาได้ โดยการทดสอบชุดอุปกรณ์ทดสอบด้วยหลักการ

P&O แสดงดังรูปที่ 3.19 โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.19 การทดสอบชุดอุปกรณ์ทดสอบด้วยหลักการ P&O

สำหรับการทดสอบจะทำการทดสอบหาค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมให้แก่ระบบโดยทำการทดสอบที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  เท่านั้นและกำหนดให้  $\Delta D$  เท่ากับ 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 ตามลำดับ ผลการทดสอบการหาค่า  $\Delta D$  จะพิจารณาจากช่วงเวลาของการเข้าสู่สภาวะคงตัว กำลังไฟฟ้าและการสั้นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวเท่านั้น ผลการทดสอบจะแสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV ดังรูปที่ 3.20 และตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.20 ผลการทดสอบหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ )

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบหาค่า  $\Delta D$

ค่าของ $\Delta D$	เวลาเข้าที่ (s)	กำลังไฟฟ้าที่ สถานะคงตัว (W)
0.01	10.8	18.17
0.025	5.5	19.05
0.05	3.1	18.68
0.1	0.3	18.69

จากตารางที่ 3.5 สังเกตได้ว่าที่  $\Delta D = 0.025$  (เส้นสีน้ำเงิน) มีเวลาเข้าที่ 5.5 s ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะคงตัวเท่ากับ 19.05 W และที่สถานะคงตัวเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าน้อย ดังนั้นสำหรับหลักการ P&O ในวิทยานิพนธ์เลือกใช้  $\Delta D = 0.025$

### 3.7 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O ซึ่งประกอบด้วยหลักการงานของหลักการ P&O การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การสร้างชุดอุปกรณ์ทดสอบเพื่อยืนยันว่าการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O นำไปใช้งานในทางปฏิบัติได้จริง การหารากาพคุณลักษณะของแผง PV ที่ใช้ในการทดสอบ การหาค่า  $\Delta D$  และผลการทดสอบของชุดอุปกรณ์ด้วยหลักการ P&O จากผลการทดสอบพบว่า การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้ ข้อดีของการตามรอย

จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหลักการ P&O คือเป็นวิธีที่ง่าย อัลกอริทึมการทำงานไม่ซับซ้อน ข้อเสียคือถ้า กำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่  $\Delta D$  ให้ระบบไม่เหมาะสม การทำงานและการตอบสนอง ของระบบจะไม่มีประสิทธิภาพโดยถ้าค่า  $\Delta D$  มีค่ามากจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็ว การสั่น ของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวจะมาก ถ้าค่า  $\Delta D$  มีค่าน้อยจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวช้า การสั่น ของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวจะน้อย เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานของหลักการ P&O จึงได้นำตัว ควบคุมพีซีเอ็มมาใช้งานร่วมกับหลักการ P&O โดยจะเปรียบเทียบผลของการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้า สูงสุดด้วยหลักการ P&O และวิธีการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ซึ่งจะ นำเสนอไว้ในบทที่ 4



## บทที่ 4

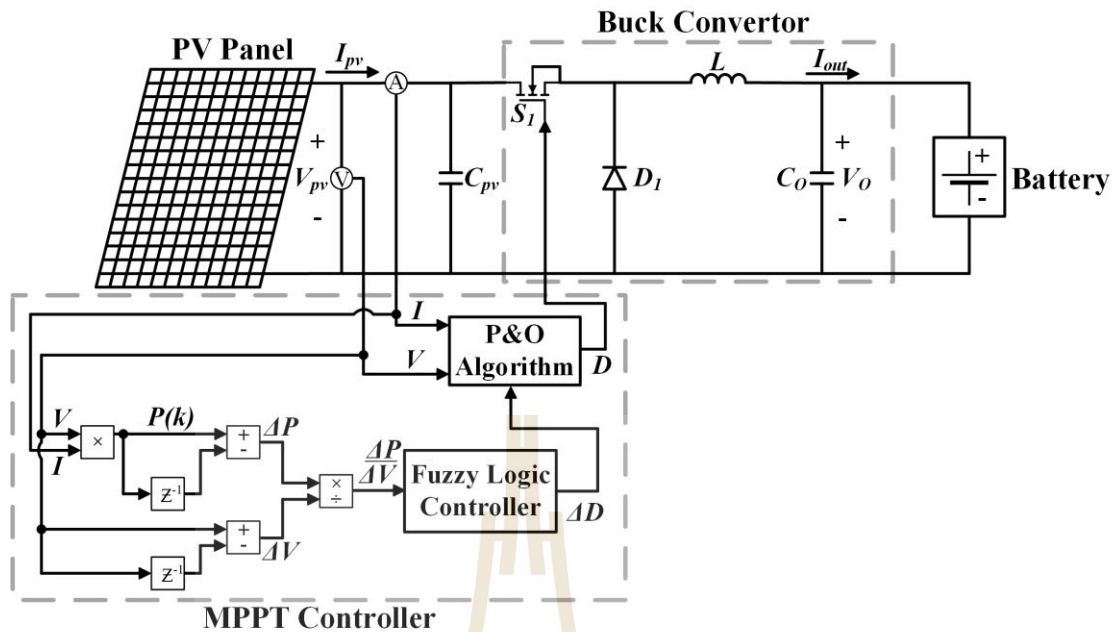
### การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย หลักการ P&O-FLC

#### 4.1 บทนำ

การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 จะอาศัยค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ซึ่งถ้าเลือกกำหนดค่า  $\Delta D$  ไม่เหมาะสมจะทำให้ระบบทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟัซซีซึ่งจะเรียกโดยย่อว่า P&O-FLC โดยนำตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Logic Controller : FLC) มาแก้ไขปัญหาในการเลือกกำหนดค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมกับระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O ซึ่งจะทำให้ผลตอบสนองของระบบมีความรวดเร็วในการเข้าสู่ภาวะคงตัวและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว ในบทนี้จะอธิบายการทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี (ทศพร ณรงค์สิทธิ์, 2557; โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, 2561; ชวริย์ เกื้อนพิงเทียม, 2560) ที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าที่พิจารณา การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การเขียนโปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับใช้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบ ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ด้วยหลักการ P&O กับหลักการ P&O ร่วมกับตัวควบคุมฟัซซี

#### 4.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

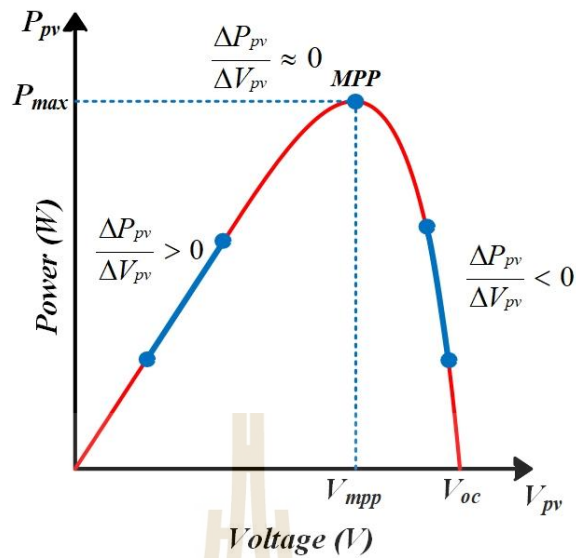
การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC แสดงดังรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.1 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะมีส่วนประกอบคล้ายกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 แต่จะแตกต่างกันตรงส่วนของ MPPT Controller ที่มีตัวควบคุมฟัซซีเข้ามาเพิ่มซึ่งตัวควบคุมฟัซซีจะนำมาออกแบบและทำการกำหนดค่า  $\Delta D$  เหมาะสมให้แก่ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O เพื่อเพิ่มหรือลดค่า  $D$  ที่จ่ายให้แก่สวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดัน (buck converter) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงขณะนั้น



รูปที่ 4.1 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

การทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC มีขั้นตอนการทำงานคล้ายกับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O โดยมีส่วนของการหาค่า  $\Delta D$  เข้ามาเพิ่มเพื่อใช้ในการเพิ่มหรือลดค่า  $D$  ในการนำไปจ่ายให้แก่สวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดันเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันของแผง PV โดยอธิบายการหาค่า  $\Delta D$  ที่ได้จากตัวควบคุมฟัซซีรวมถึงการทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC โดยความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้อินพุตของตัวควบคุมฟัซซีคือค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta V}\right)$  และเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีคือค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ) จากกราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) แสดงดังรูปที่ 4.2





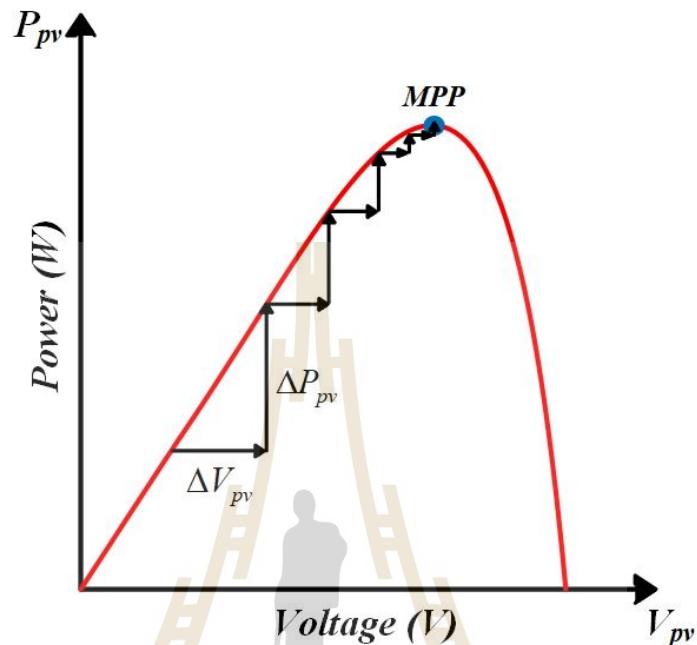
รูปที่ 4.2 กราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve)

จากกราฟสามารถปรับเปลี่ยนแรงดันแผง PV ให้ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้โดยจะอธิบายการทำงานได้ดังสมการที่ (4-1)

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} > 0 \text{ Left of MPP} \\ \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} \approx 0 \text{ at MPP} \\ \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} < 0 \text{ Right of MPP} \end{array} \right\} \quad (4-1)$$

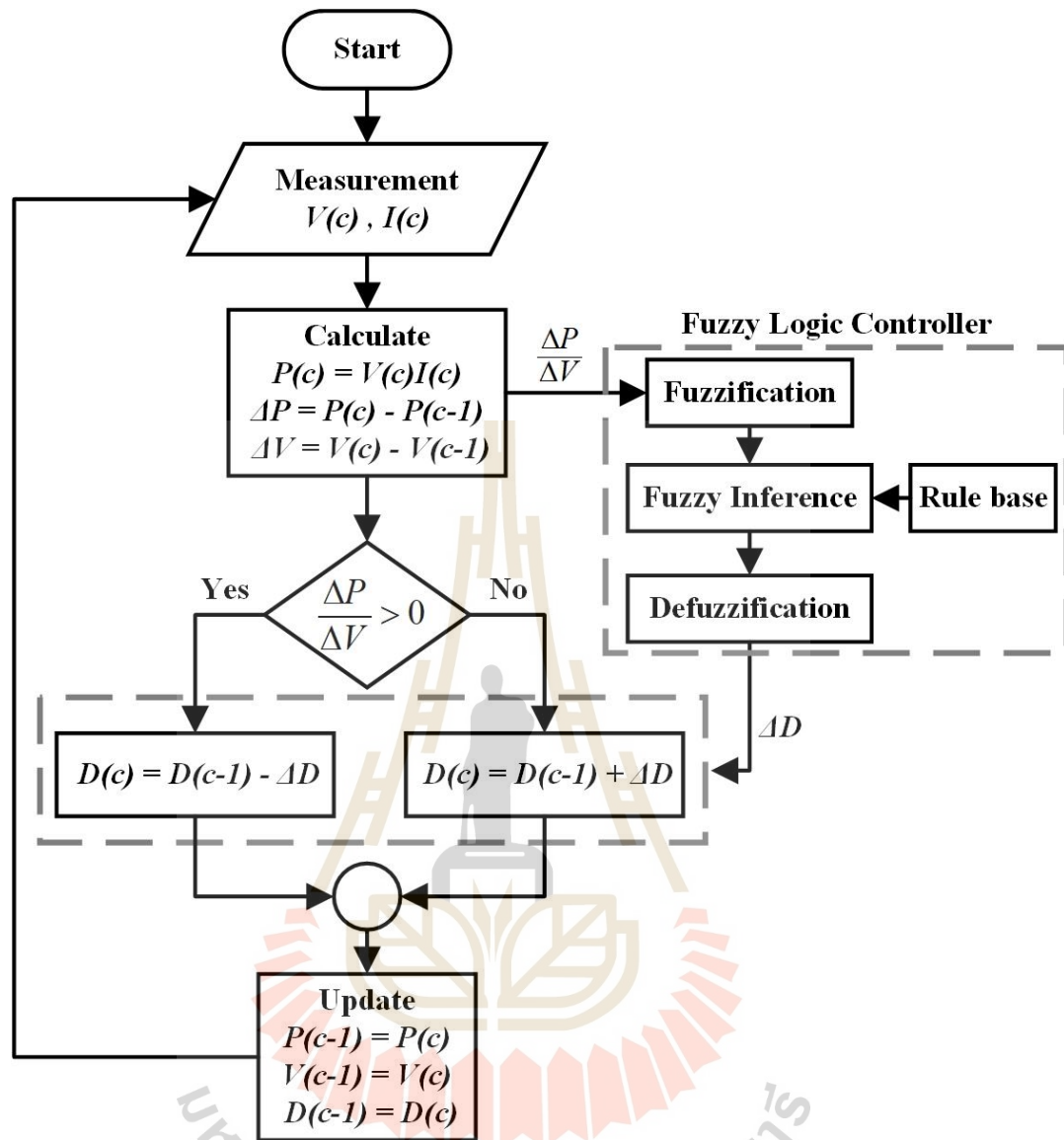
ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC วิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลา โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าของแผง PV และจะวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แล้วนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของแผง PV ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนหน้าเพื่อพิจารณาการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของแผง PV โดยการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของแผง PV จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่า  $D$  ของวงจรถอดทอนแรงดัน เพื่อให้จุดการทำงานของแผง PV เข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น ๆ ดังนั้นจึงนำพีชชีลอจิกเข้ามาช่วยกำหนดค่า  $\Delta D$  โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta V}\right)$  ถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าห่างจากศูนย์มากแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก จึงกำหนดให้ การปรับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มีขนาดกว้าง และถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าห่างจากศูนย์น้อยหรือเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสูดน้อย จึงกำหนดให้ การปรับค่า

การเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มีขนาดเล็กเพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัว โดยแสดงการเปลี่ยนจุดการทำงานดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การลู่เข้าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การควบคุมของอัลกอริทึมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะเริ่มจากการวัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตของแผง PV จากนั้นคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อพิจารณาจุดการทำงานของอัลกอริทึมตามรูปที่ 4.2 และจะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันของแผง PV โดยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ที่จ่ายให้แก่สวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดัน เมื่อจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากพีซีลอจิกจะทำการปรับ  $\Delta D$  ให้มีขนาดกว้างซึ่งจะส่งผลให้แรงดัน  $V_{pv}$  มีการเปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อจุดการทำงานเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะทำการปรับ  $\Delta D$  ให้มีขนาดน้อย จะส่งผลให้แรงดัน  $V_{pv}$  มีการเปลี่ยนแปลงน้อย จนเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด แผนผังการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC แสดงดังรูปที่ 4.4



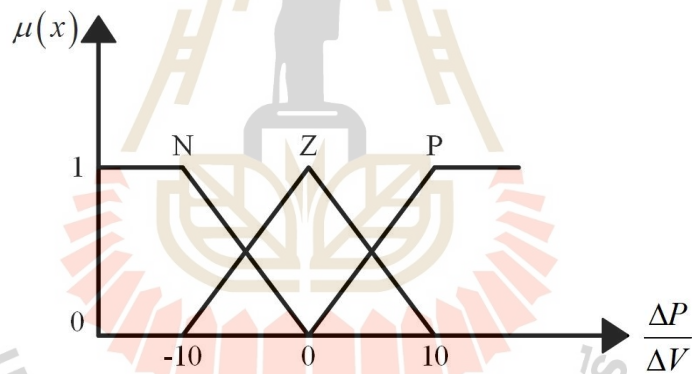
รูปที่ 4.4 แผนผังการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

### 4.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

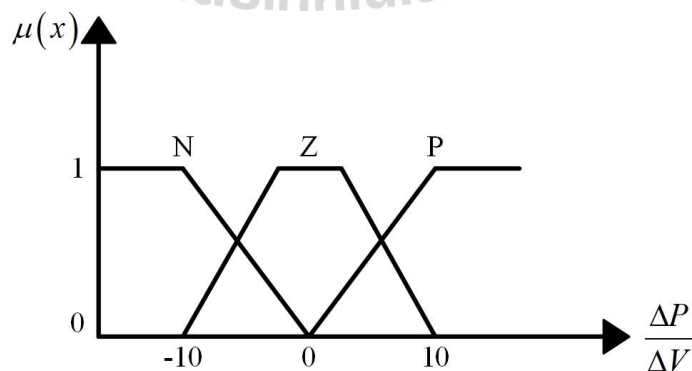
ตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะประกอบไปด้วย การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก การออกแบบค่าตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา การออกแบบกฎของฟัซซี การอนุมานและการรวมกฎฟัซซี และการทำ Defuzzification ซึ่งการออกแบบในโครงสร้างต่าง ๆ ต้องเหมาะสมกับระบบที่นำไปใช้งาน ซึ่งอธิบายรายละเอียดของการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีได้ดังนี้

### 4.3.1 การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก

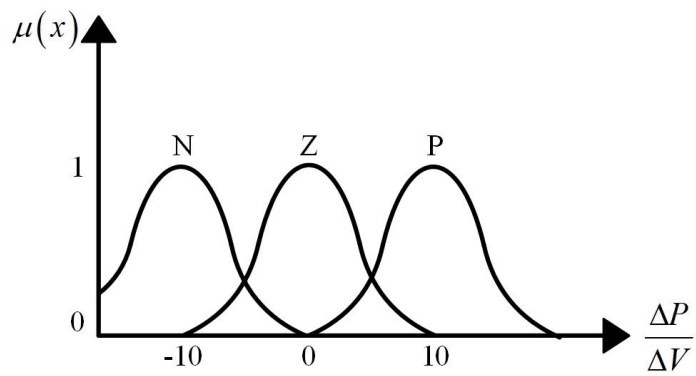
การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyต้องมีกำหนดค่าความเป็นสมาชิกอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyด้วยรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก การออกแบบรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับระบบที่จะนำไปใช้ ซึ่งในที่นี้จะกำหนดรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของฟuzzy ออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู รูปสี่เหลี่ยมคางหมู รูปเกาส์เซียน รูประฆังคว่ำ ซึ่งแสดงดังรูป 4.5 ถึง 4.8 ตามลำดับ โดยการทดสอบจะทดสอบกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของระบบแผง PV ขนาด 40 W ที่ความเข้มแสง 1,000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิ 25 °C บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB และกำหนดให้ใช้โครงสร้าง ของตัวควบคุมฟuzzyเหมือนกันหมด ได้แก่ ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาอินพุตและเอาต์พุต กฎฟuzzy และวิธีอนุมานแบบ Takagi-Sugeno ที่มีการทำDefuzzificationด้วยการหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยการทดสอบจะพิจารณาเฉพาะผลของรูปร่างฟังก์ชันที่มีผลต่อการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น เวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวและกำลังไฟฟ้าของระบบเท่านั้น ผลการทดสอบจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.1



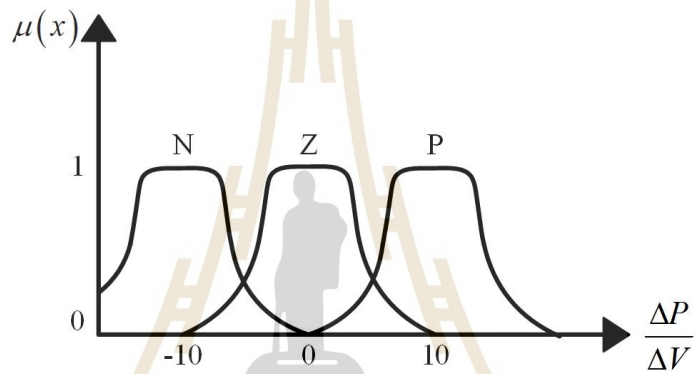
รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 4.6 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน



รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันสมาชิกรูปประฆังคว่ำ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของระบบแผง PV ขนาด 40 W

รูปร่างฟังก์ชัน	เวลาเข้าที่ (s)	กำลังไฟฟ้าที่สถานะคงตัว (W)
รูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู	0.4	39.942
รูปสี่เหลี่ยมคางหมู	0.4	39.887
รูปเกาส์เซียน	1.7	39.880
รูปประฆังคว่ำ	3	38.173

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของระบบแผง PV ขนาด 40 W ที่ความเข้มแสง

1,000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิ 25 °C พบว่าฟังก์ชันสมาชิกอินพุตรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมูมีเวลาเข้าที่ 0.4 s และได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวของระบบเท่ากับ 39.942 W ซึ่งให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุตในรูปร่างอื่น ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ฟังก์ชันสมาชิกอินพุตรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมูและส่วนของเอาต์พุตจะใช้วิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกจะเป็นลักษณะเส้นตรงโทนเป็นค่าคงที่แทนการใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกแบบฟัซซีเซต วิธีอนุมานดังกล่าวที่นำมาใช้นั้นมีความง่ายในการรวมกฎหาค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุต

#### 4.3.2 การออกแบบตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา

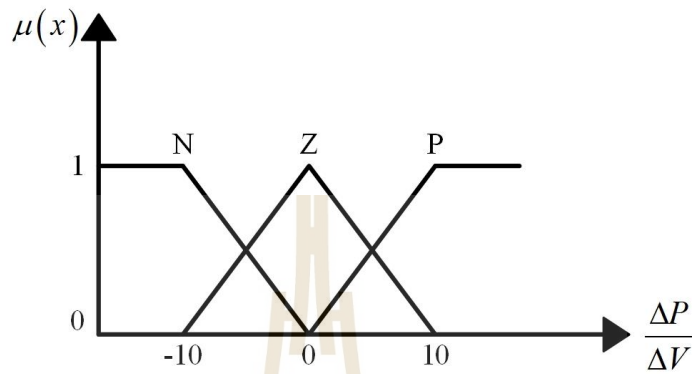
กระบวนการ Fuzzification หรือการกำหนดค่าฟังก์ชันเซตรวมถึงการกำหนดค่าตัวแปรทางภาษาสำหรับการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟัซซีมีค่าตัวแปรภาษาอินพุต 1 ตัวคือ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ( $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ ) โดยกำหนดฟังก์ชันสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องจากฟังก์ชันสมาชิกในรูปร่างดังกล่าวเป็นฟังก์ชันสมาชิกที่ให้ผลตอบแทนได้ดีกว่าฟังก์ชันสมาชิกในรูปร่างอื่น ๆ เมื่อนำมาใช้ในระบบที่พิจารณา กำหนดค่าเชิงภาษาอินพุตจำนวน 3 ค่า คือ N (Negative) , Z (Zero) และ P (Positive) และมีค่าตัวแปรภาษาเอาต์พุต 1 ตัวคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ) กำหนดให้มีค่าเชิงภาษาเอาต์พุตจำนวน 3 ค่าคือ N (Negative), Z (Zero) และ P (Positive) เช่นกัน สามารถดูความหมายของค่าตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษาได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซีสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

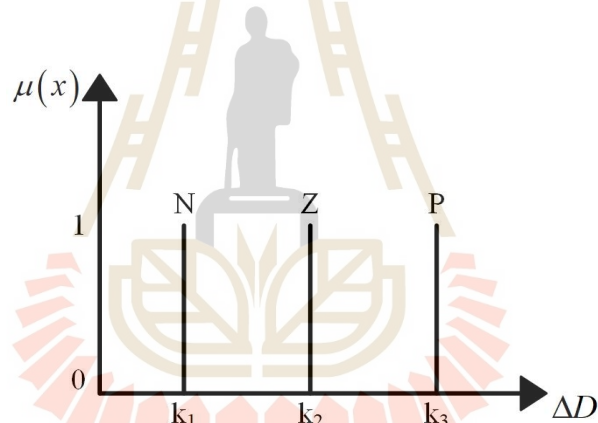
ค่าของระบบ	ตัวแปรภาษาและความหมาย		ค่าเชิงภาษาและความหมาย	
	ตัวแปรภาษา	ความหมาย	ค่าเชิงภาษา	ความหมาย
อินพุต	$\frac{\Delta P}{\Delta V}$	ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า	Negative	$\frac{\Delta P}{\Delta V} < 0$
			Zero	$\frac{\Delta P}{\Delta V} \approx 0$
			Positive	$\frac{\Delta P}{\Delta V} > 0$
เอาต์พุต	$\Delta D$	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่	Negative	ลดลง
			Zero	ไม่เปลี่ยนแปลง
			Positive	เพิ่มขึ้น



จากตารางที่ 4.2 ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟuzzyที่จะนำไปใช้กับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถแสดงเป็นลักษณะรูปร่างฟังก์ชันอินพุตและเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต

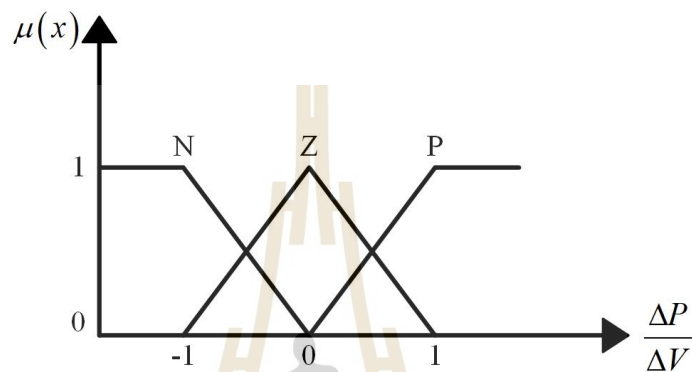


รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

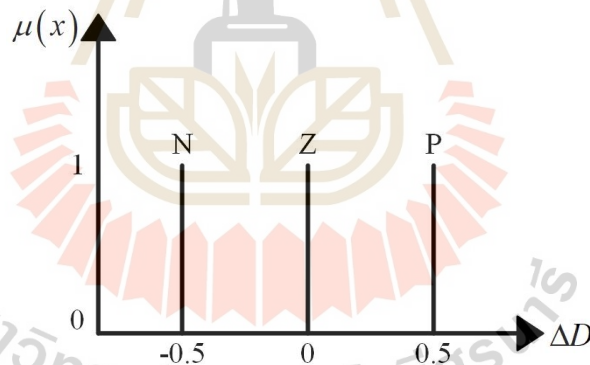
จากรูปฟังก์ชันสมาชิกอินพุตจะกำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง  $[-10,+10]$  และค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุตที่ตำแหน่ง  $k_1, k_2, k_3$  มีค่าเท่ากับ  $-0.04, 0, +0.04$  ตามลำดับ

ค่าความเป็นระดับสมาชิกแต่ละฟuzzyเซตของแต่ละระบบที่จะนำไปใช้งานนั้นมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากตัวแปรอินพุตที่วัดค่าเข้ามาอาจอยู่นอกเหนือเขตเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะนำตัวควบคุมฟuzzyไปใช้กับระบบแผง PV ขนาด 40 W และ 2.4 kW ซึ่งเป็นระบบที่แตกต่างกันออกไป ต้องดำเนินการแปลงค่าตัวแปรอินพุตเหล่านี้ให้อยู่ในขอบเขตเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนดด้วยค่าสเกล (scaling) หรือค่าเกน (gain factor) ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าการทำนอร์มัลไลซ์ (normalization) ตัวอย่างเช่น ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วง  $[-10,+10]$  ถ้ากำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง  $[-1,+1]$  ต้องทำการ

คุณค่าที่วัดได้ด้วย (1/10) เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเอาตัวควบคุมฟuzzy ที่ผ่านการทำนอร์มัลไลซ์แล้วมาใช้งานและจะแสดงลักษณะรูปร่างฟังก์ชันอินพุตและเอาต์พุตที่ทำนอร์มัลไลซ์ได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบชุดทดสอบของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ในหัวข้อที่ 4.4 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

### 4.3.3 การออกแบบกฎฟuzzy

จากการออกแบบค่าเชิงภาษาอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzy จำนวน 3 ค่า จะสามารถทำการออกแบบกฎฟuzzy ได้จำนวน 3 กฎ สามารถแสดงรายละเอียดและอธิบายความหมายของกฎฟuzzy ทั้ง 3 กฎ ได้ดังต่อไปนี้

กฎข้อที่ 1 : IF  $\frac{\Delta P}{\Delta V} = P$  THEN  $\Delta D = N$

ถ้าอินพุต  $\frac{\Delta P}{\Delta V} > 0$  แล้วเอาต์พุต  $\Delta D = N$  หมายความว่าถ้าค่าความชัน  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นบวกให้ทำการปรับลดค่า  $\Delta D$  เพื่อเพิ่มแรงดันของแผง PV โดยถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นบวกมากแสดงว่าจุด

การทำงานอยู่ห่างจากจุด MPPT มาก จะกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $\Delta D$  ที่จ่ายออกมามีค่ามากเพื่อให้จุดการทำงานเข้าสู่จุด MPPT ได้เร็ว และถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นบวกน้อยแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุด MPPT น้อยจะกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $\Delta D$  ที่จ่ายออกมามีค่าน้อยเพื่อให้จุดการทำงานเข้าสู่จุด MPPT และลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว

กฎข้อที่ 2 : IF  $\frac{\Delta P}{\Delta V} = Z$  THEN  $\Delta D = Z$

ถ้าอินพุต  $\frac{\Delta P}{\Delta V} \approx 0$  แล้วเอาต์พุต  $\Delta D = Z$  หมายความว่าถ้าค่าความชัน  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเข้าใกล้ 0 มาก ๆ จนมีค่าเกือบเท่ากับ 0 แสดงว่าจุดการทำงานอยู่ที่จุด MPPT ดังนั้นไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุต  $\Delta D$

กฎข้อที่ 3 : IF  $\frac{\Delta P}{\Delta V} = N$  THEN  $\Delta D = P$

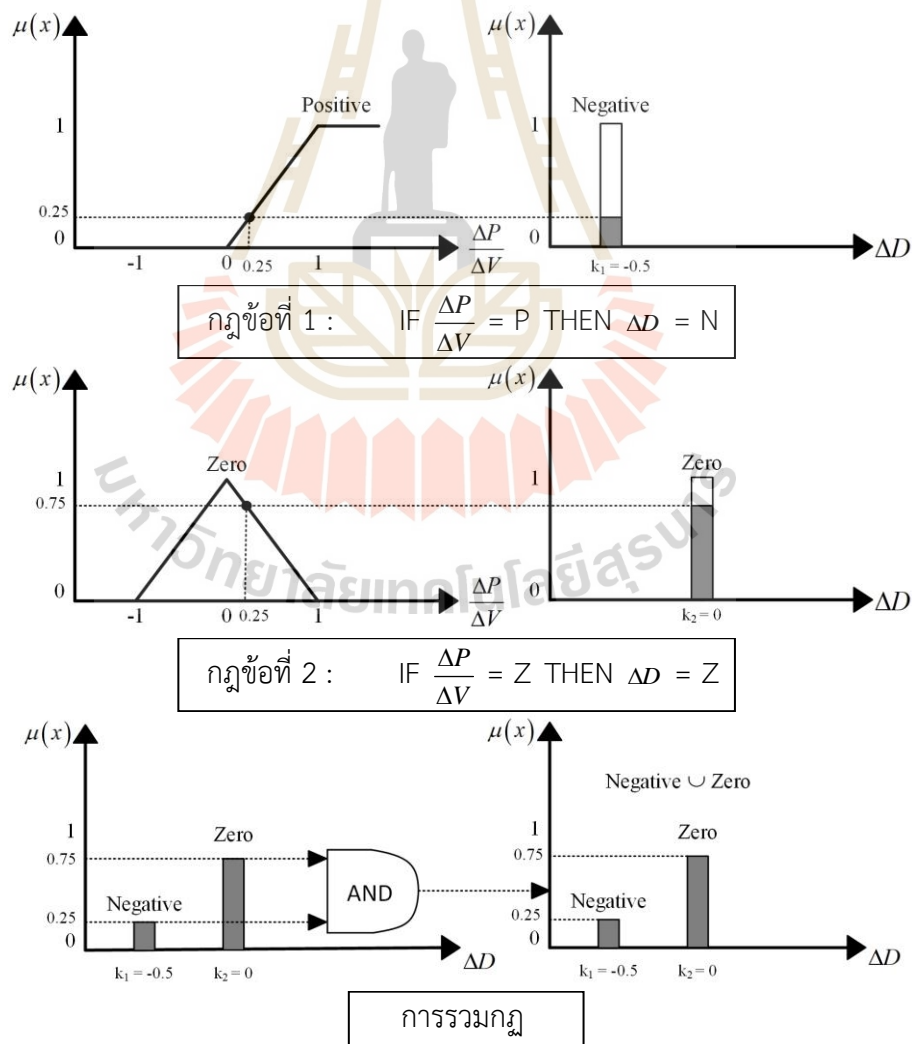
ถ้าอินพุต  $\frac{\Delta P}{\Delta V} < 0$  แล้วเอาต์พุต  $\Delta D = P$  หมายความว่าถ้าค่าความชัน  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นลบให้ทำการปรับเพิ่มค่า  $\Delta D$  เพื่อลดแรงดันของแผง PV โดยถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นลบมากแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุด MPPT มาก จะกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $\Delta D$  ที่จ่ายออกมามีค่ามากเพื่อให้จุดการทำงานเข้าสู่จุด MPPT ได้เร็ว และถ้า  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  มีค่าเป็นลบน้อยแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุด MPPT น้อยจะกำหนดให้ค่าเอาต์พุต  $\Delta D$  ที่จ่ายออกมามีค่าน้อยเพื่อให้จุดการทำงานเข้าสู่จุด MPPT และลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว

จากกฎทั้ง 3 ข้อเบื้องต้นสรุปได้ว่าถ้าจุดการทำงานของแผง PV อยู่ห่างจากจุด MPPT มากตัวควบคุมฟัซซีจะทำการปรับค่า  $\Delta D$  ให้มีค่ามากเพื่อให้จุดการทำงานของระบบเข้าสู่จุด MPPT ได้เร็วขึ้น และถ้าจุดการทำงานของแผง PV อยู่ใกล้จุด MPPT ตัวควบคุมฟัซซีจะทำการปรับค่า  $\Delta D$  ให้มีค่าน้อยเพื่อให้จุดการทำงานของระบบเข้าสู่จุด MPPT และไม่ทำให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว จากการออกแบบกฎของฟัซซีจำนวน 3 กฎสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

#### 4.3.4 การอนุมานฟัซซีและการทำDefuzzification

การอนุมานฟัซซีเป็นกระบวนการที่ส่งค่าอินพุตของระบบที่รับเข้ามาไปเป็นค่าเอาต์พุต โดยใช้ทฤษฎีทางฟัซซี ซึ่งประกอบไปด้วย การทำฟัซซี การประเมินกฎฟัซซี การรวมกฎและการทำDefuzzification ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno สำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ชั้นแรกได้ทำการทำฟัซซีดังรูปที่ 4.13 โดยให้อินพุตค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ( $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ )

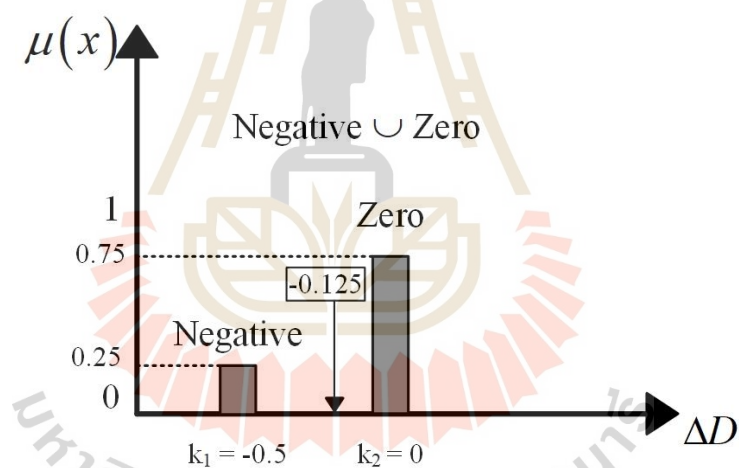
เท่ากับ 0.250 โดยค่าอินพุต  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  จะตกอยู่ในตำแหน่งฟัซซีเซตค่าเชิงภาษา Z (Zero) และ P (Positive) ซึ่งเข้าเงื่อนไขในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของกฎฟัซซีทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุต  $\Delta D$  อยู่ในเซตเส้นตรงโทน Negative และ Zero มีค่าคงที่ -0.5 และ 0 ตามลำดับ ต่อมาจะทำการรวมกฎ โดยวิธีการประมวลค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเซต Negative และ Zero โดยใช้ตัวกระทำ AND เพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุตสูงสุดของแต่ละเซตและรวมผลลัพธ์ของความความเป็นสมาชิกเอาต์พุตเข้าด้วยกันให้เป็นเซตเดียวกันด้วยตัวกระทำฟัซซีแบบ Union ขั้นตอนสุดท้ายคือการทำ Defuzzification เพื่อหาค่าเอาต์พุตชัดเจนโดยใช้วิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 4.14 โดยสามารถแสดงการคำนวณวิธีหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยได้ดังสมการที่ (4-2) จากการคำนวณจะได้ค่าเอาต์พุตชัดเจนเท่ากับ -0.125 ซึ่งหมายความว่าตัวควบคุมฟัซซีจะทำการให้ค่า  $\Delta D$  เท่ากับ -0.125 กับหลักการ P&O เพื่อทำการเพิ่มแรงดันของแผง PV ให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 4.13 การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno

$$\begin{aligned}
 \Delta D_n &= \frac{\sum x_n y_n}{\sum x_n} & (4-2) \\
 &= \frac{(x_1(\text{Negative}) \times k_1) + (x_2(\text{Zero}) \times k_2)}{x_1(\text{Negative}) + x_2(\text{Zero})} \\
 &= \frac{(0.25 \times (-0.5)) + (0.75 \times 0)}{0.25 + 0.75} \\
 &= -0.125
 \end{aligned}$$

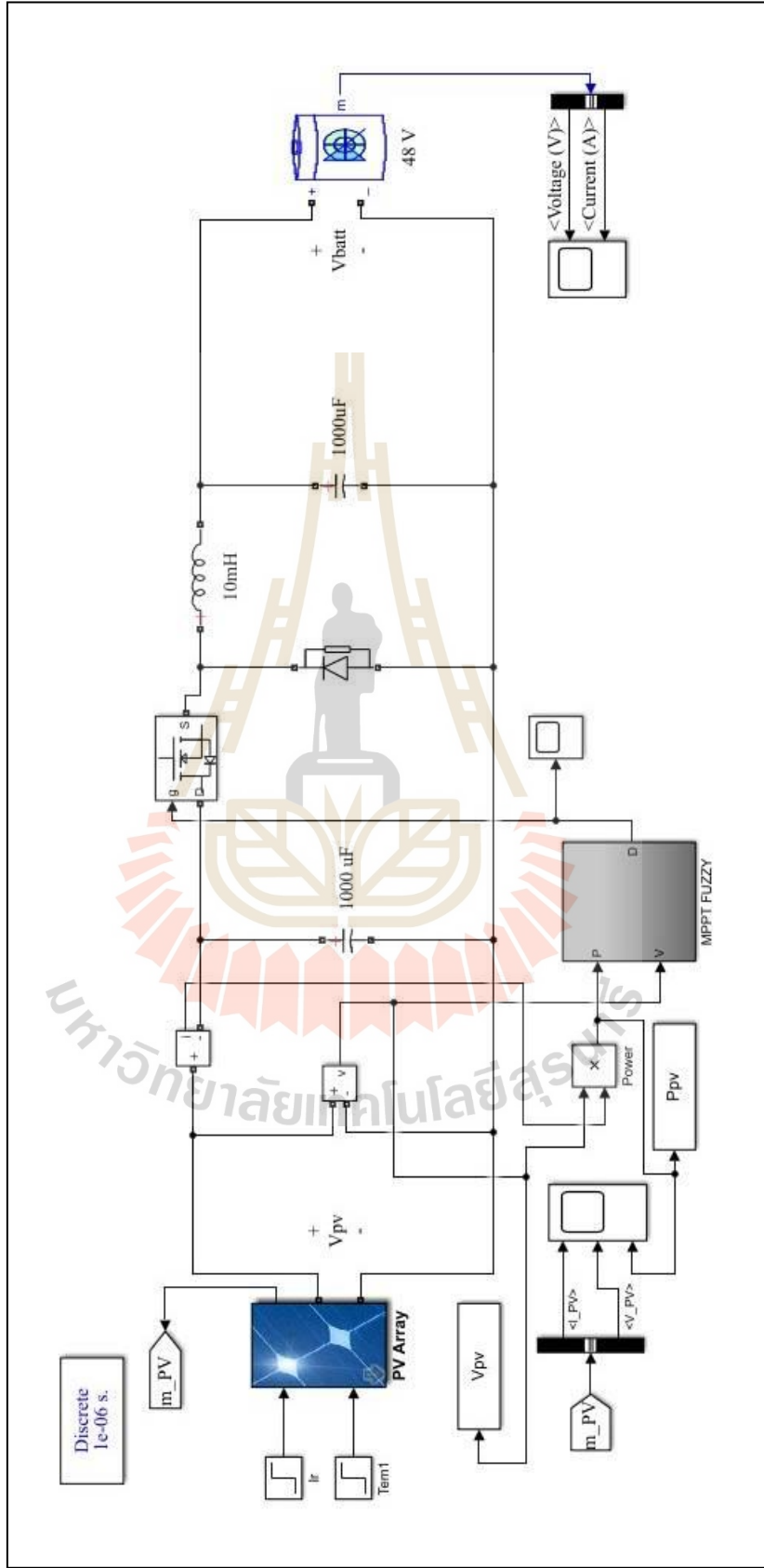
เมื่อ  $\Delta D_n$  คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของตัวควบคุมพีชซีที่ตำแหน่ง  $n$   
 $x_n$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกแต่ละเอาต์พุต  
 $y_n$  คือ เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ



รูปที่ 4.14 ค่าเอาต์พุตชัดเจนจากการทำDefuzzificationโดยใช้วิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย

#### 4.4 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

จากการออกแบบตัวควบคุมพีชซีที่นำมาใช้กับหลักการ P&O ในหัวข้อที่ผ่านมา เพื่อยืนยันว่าระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC นั้นสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้ จะทำการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 4.15 ค่าพารามิเตอร์ของระบบจะแสดงดังตารางที่ 4.3 และโปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนโปรแกรม MATLAB จะแสดงในภาคผนวก ค



รูปที่ 4.15 การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB

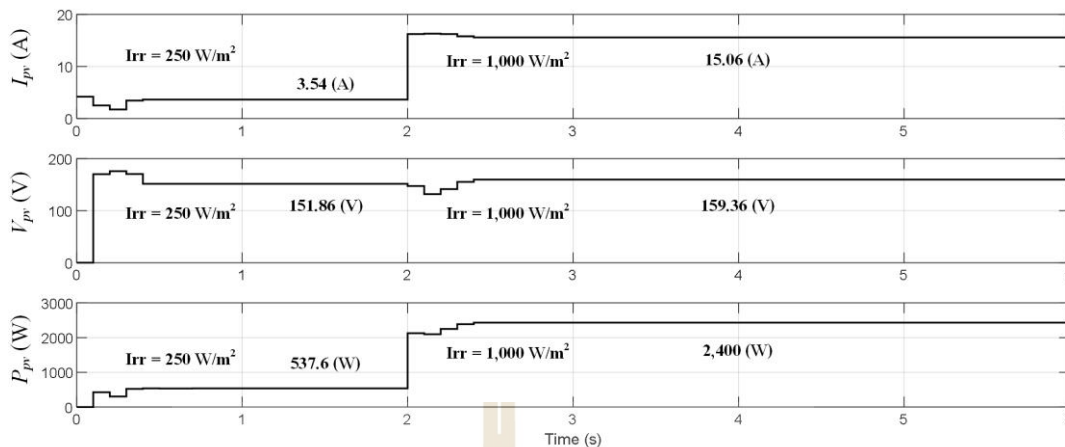


ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

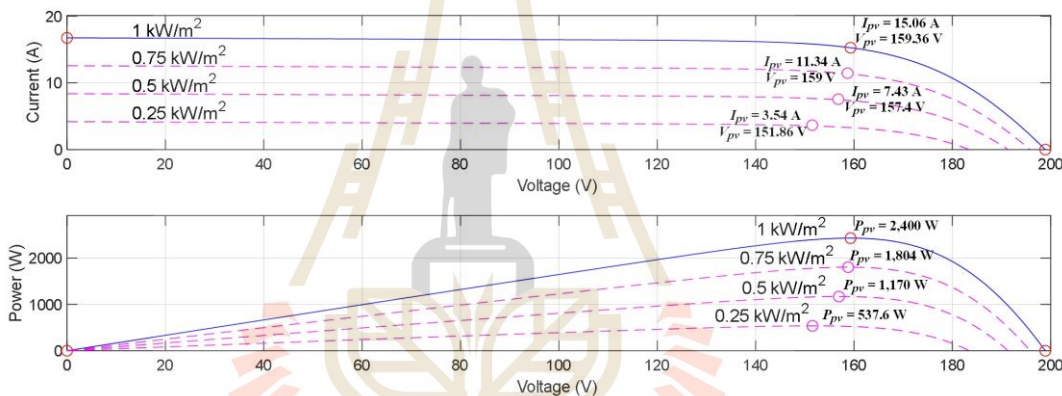
พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าของพารามิเตอร์
$P_{mpp}$	300 W
$V_{mpp}$	37.5 V
$I_{mpp}$	8.25 A
$V_{oc}$	46.3 V
$I_{sc}$	8.87 A
พารามิเตอร์วงจรลดทอนแรงดัน	ค่าของพารามิเตอร์
$V_{pv}$	159.3 V
$V_{batt}$	48 V
$C_{pv}$	1000 $\mu$ F
$C_o$	1000 $\mu$ F
$L$	10 mH
$f_{sw}$	10 kHz

การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะใช้ชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB คล้ายกับหลักการ P&O ในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งในหัวข้อนี้จะมีตัวควบคุมพีซีเข้ามาช่วยในการคำนวณและปรับค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมให้แก่ระบบตามการออกแบบตัวควบคุมพีซีก่อนจะส่งค่า  $\Delta D$  ที่ได้ไปให้กับหลักการ P&O การจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า  $I_{pv}$ ,  $V_{pv}$  และ  $P_{pv}$  ผลการจำลองสถานการณ์แสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเหมือนกับหลักการ P&O ดังนี้

- ช่วงที่ 1 s ที่ 0 ถึง 2 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ  $250 \text{ W/m}^2$  และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ช่วงที่ 2 s ที่ 2 ถึง 6 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองสถานการณ์ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ด้วยหลักการ P&O-FLC



รูปที่ 4.17 กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.16 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 1 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ  $250 \text{ W/m}^2$  จะได้  $I_{pv} = 3.54 \text{ A}$ ,  $V_{pv} = 151.86 \text{ V}$  และ  $P_{pv} = 537.6 \text{ W}$  ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 2 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  จะได้  $I_{pv} = 15.06 \text{ A}$ ,  $V_{pv} = 159.36 \text{ V}$  และ  $P_{pv} = 2,400 \text{ W}$  ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าไม่เกิดการสั้นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวนั้นเป็นเพราะตัวควบคุมพีซีซีที่ออกแบบได้ทำการกำหนดค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมให้แก่ระบบและในรูปที่ 4.17 จะเป็นกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาด 2.4 kW ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ โดยจะใช้ในการยืนยันผลการจำลองสถานการณ์ว่า ณ ความเข้มแสงต่าง ๆ ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้

จากผลการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC นั้นสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ณ ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงมีความเร็วในการเข้าสู่สภาวะคงตัวและลดการสั้นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวเมื่อเทียบกับหลักการ P&O ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

#### 4.5 การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

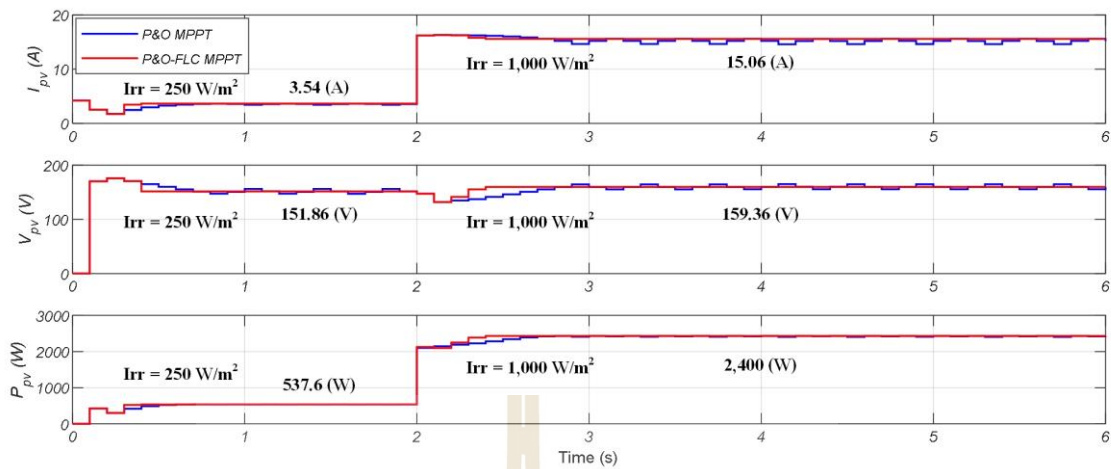
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองสถานการณ์ของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC การจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 วิธีจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของการเปรียบเทียบการจำลองทั้ง 2 วิธีบนคอมพิวเตอร์

พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าของพารามิเตอร์
$P_{mpp}$	300 W
$V_{mpp}$	37.5 V
$I_{mpp}$	8.25 A
$V_{oc}$	46.3 V
$I_{sc}$	8.87 A
พารามิเตอร์วงจรลดทอนแรงดัน	ค่าของพารามิเตอร์
$V_{pv}$	159.3 V
$V_{batt}$	48 V
$C_{pv}$	1000 $\mu$ F
$C_o$	1000 $\mu$ F
$L$	10 mH
$f_{sw}$	10 kHz

การจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า  $I_{pv}$ ,  $V_{pv}$  และ  $P_{pv}$  ของทั้ง 2 วิธี ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้ง 2 วิธี แสดงดังรูปที่ 4.18 การจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้

- ช่วงที่ 1 s ที่ 0 ถึง 2 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ 250 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ 25 °C
- ช่วงที่ 2 s ที่ 2 ถึง 6 จะกำหนดค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิของแผง PV เท่ากับ 25 °C



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 2 วิธี

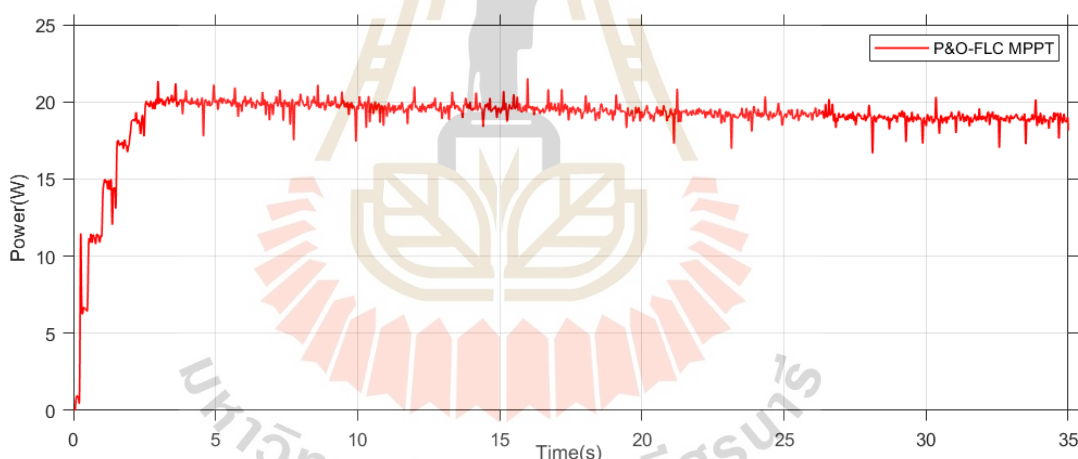
จากรูปที่ 4.18 ผลการจำลองสถานการณ์ของทั้ง 2 วิธี ช่วงที่ 1 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ  $250 \text{ W/m}^2$  จะได้  $I_{pv} = 3.54 \text{ A}$ ,  $V_{pv} = 151.86 \text{ V}$  และ  $P_{pv} = 537.6 \text{ W}$  ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 2 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  จะได้  $I_{pv} = 15.06 \text{ A}$ ,  $V_{pv} = 159.36 \text{ V}$  และ  $P_{pv} = 2,400 \text{ W}$  จากการจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 ช่วง พบว่าช่วงที่ 1 ที่ความเข้มแสงเท่ากับ  $250 \text{ W/m}^2$  กำลังไฟฟ้าของหลักการ P&O มีเวลาเข้าที่  $0.6 \text{ s}$  และเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าน้อย ส่วนหลักการ P&O-FLC มีเวลาเข้าที่  $0.3 \text{ s}$  ซึ่งเร็วกว่าหลักการ P&O  $0.3 \text{ s}$  และที่สภาวะคงตัวไม่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาช่วงที่ 2 ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก  $250 \text{ W/m}^2$  ไปเป็น  $1,000 \text{ W/m}^2$  กำลังไฟฟ้าของหลักการ P&O มีเวลาเข้าที่  $2.8 \text{ s}$  และเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว ส่วนหลักการ P&O-FLC มีเวลาเข้าที่  $2.4 \text{ s}$  ซึ่งเร็วกว่าหลักการ P&O  $0.4 \text{ s}$  และที่สภาวะคงตัวไม่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า

จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผง PV ได้ ณ ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงมีความเร็วในการเข้าสู่สภาวะคงตัวและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวเมื่อเทียบกับหลักการ P&O

#### 4.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

การทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของชุดอุปกรณ์ทดสอบ ดำเนินการทดสอบโดยใช้แผง PV ขนาด 40 W ในห้องปฏิบัติการและชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.4 โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะ แสดงในภาคผนวก ง

การทดสอบดำเนินการทดสอบลักษณะเดียวกันกับการทดสอบชุดอุปกรณ์ด้วยหลักการ P&O โดยปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟสให้แก่อโหลดไฟสปอร์ตไลท์จนได้ค่าความเข้มแสงเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  เท่านั้น จากนั้นจะทำการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV เข้าไปยังบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้าและหาจุดการทำงานของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ตาม อัลกอริทึมของหลักการ P&O-FLC ที่แผง PV ผลผลิตออกมาได้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV จากการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  จะ แสดงดังรูปที่ 4.19

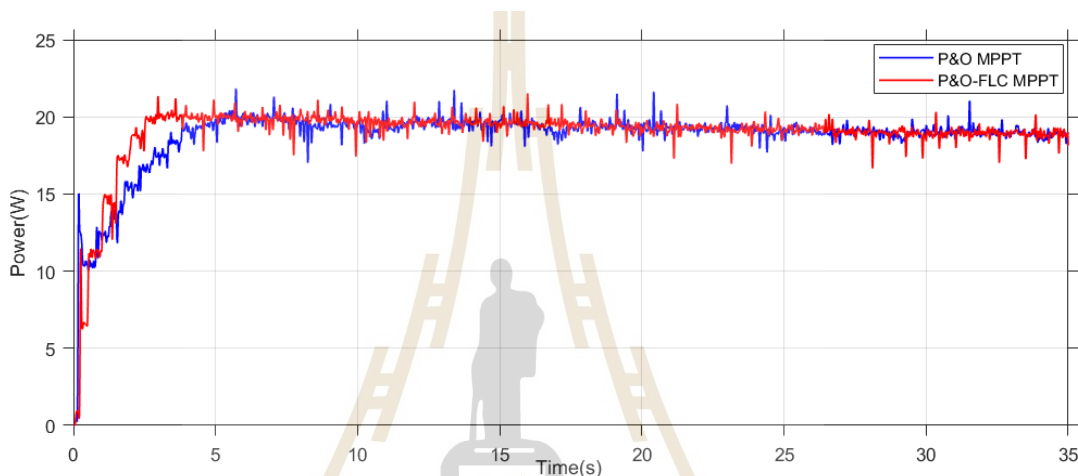


รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV จากการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยหลักการ P&O-FLC ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$

จากกราฟจะได้กำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  อยู่ที่  $19.2 \text{ W}$  เมื่อนำกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้จากหลักการ P&O-FLC ไปเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  รูปที่ 3.18 ในหัวข้อที่ 3.5 แสดงถึงการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถถึงกำลังไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นชุดอุปกรณ์ทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้

#### 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ

การทดสอบผลของชุดอุปกรณ์ทดสอบของหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC ทั้ง 2 วิธี ที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 3.6 และหัวข้อที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.4 โดยใช้โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ที่แสดงในภาคผนวก ข ในส่วนของหลักการ P&O-FLC ใช้โปรแกรมควบคุมแสดงดังภาคผนวก ง ซึ่งการทดสอบ จะทำการทดสอบที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  เท่านั้น ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ของทั้ง 2 วิธี เปรียบเทียบกันแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่ากราฟการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) มีเวลาเข้าที่ 6 s และกราฟการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC (เส้นกราฟสีแดง) มีเวลาเข้าที่ 3 s ซึ่งเวลาเข้าที่จะเร็วกว่าหลักการ P&O อยู่ 3 s กำลังไฟฟ้าที่ได้จากหลักการ P&O จะอยู่ที่ 19.05 W ที่สภาวะคงตัวจะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้น้อย และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากหลักการ P&O-FLC จะอยู่ที่ 19.2 W ที่สภาวะคงตัวการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจะน้อยกว่าหลักการ P&O โดยทั้ง 2 วิธีจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ในรูปที่ 3.18 ดังนั้นชุดอุปกรณ์ทดสอบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ได้เร็วกว่าหลักการ P&O แบบดั้งเดิม



#### 4.8 สรุป

ในบทนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ประกอบไปด้วยการทำงานของหลักการ P&O-FLC การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyที่จะนำมาใช้กับระบบที่พิจารณาโดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำตัวควบคุมฟuzzyมาใช้กับระบบแผง PV ขนาด 40 W และ 2.4 kW ดังนั้นเพื่อให้นำไปใช้งานกับระบบที่เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่ต้องปรับจูนสมาชิกอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyใหม่ จึงจำเป็นต้องทำนอร์มัลไลซ์ตัวควบคุมฟuzzy การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ของหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC รวมถึงการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ทดสอบด้วยหลักการ P&O และผลการทดสอบชุดอุปกรณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบของทั้ง 2 วิธีจะเห็นได้ว่าการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอมีการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าหลักการ P&O และลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวเนื่องจากตัวควบคุมฟuzzyจะทำการกำหนดค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมให้แก่ระบบจึงทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอในบทนี้ได้ทำการตีพิมพ์บทความในงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43 โดยใช้หัวข้อชื่อ “การควบคุมตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟuzzyลอจิกที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ” ซึ่งจะแสดงในภาคผนวก จ

## บทที่ 5

### การออกแบบและการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้า สูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW สำหรับระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

#### 5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC มาทดสอบใช้งานกับแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW และการออกแบบชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC โดยได้นำเอาองค์ความรู้ของบทที่ 3 และบทที่ 4 มาช่วยในการพิจารณาออกแบบชุดต้นแบบชุดควบคุมขนาดพิกัด 2.4 kW เพื่อยืนยันว่าระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถนำไปใช้กับระบบแผง PV ที่พิกัด 2.4 kW ตามที่ออกแบบไว้และระบบสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ซึ่งเนื้อหาจะประกอบไปด้วย ระบบที่พิจารณา การออกแบบตัวควบคุมพีซีซีที่นำมาใช้กับระบบแผง PV ขนาด 2.4 kW การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การสร้างชุดทดสอบ และผลการทดสอบของชุดทดสอบด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW

#### 5.2 ระบบที่พิจารณา

ในบทนี้จะนำเอาระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC มาใช้งานกับแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ซึ่งระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในบทนี้จะใช้ระบบเดียวกันกับระบบที่พิจารณาในหัวข้อที่ 3.1 และ 4.1 ส่วนประกอบภายในระบบและหลักการทำงานของระบบที่พิจารณาสามารถดูรายละเอียดได้จากหัวข้อที่ 3.1 และ 4.1 ในบทที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

### 5.3 การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy

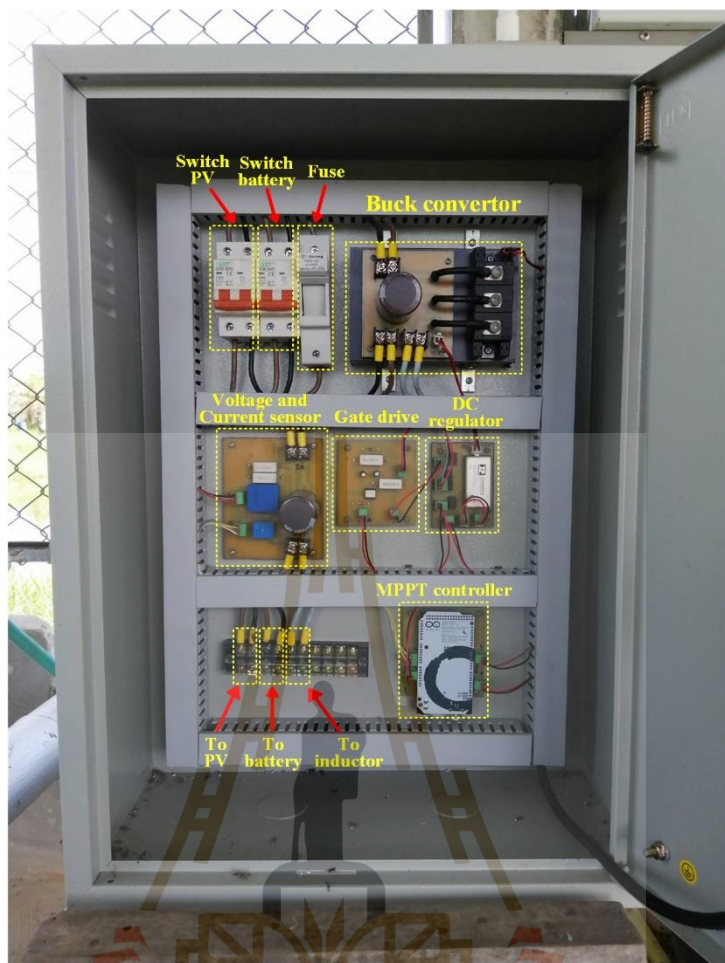
ตัวควบคุมฟuzzyที่จะนำมาใช้กับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW นั้นจะต้องทำการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyโดยเริ่มตั้งแต่ การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก การออกแบบตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา การออกแบบกฎฟuzzy การอนุมานฟuzzy และการทำDefuzzification โดยตัวควบคุมฟuzzyที่นำมาใช้กับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW จะใช้ตัวควบคุมฟuzzyที่ได้ผ่านการทำนอร์มัลไลซ์มาแล้ว วิธีการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyสามารถศึกษารายละเอียดได้ในหัวข้อ 4.3 ในบทที่ 4

### 5.4 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์จะใช้ชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB เหมือนกับระบบในรูปที่ 3.4 และ 4.15 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์จะใช้ค่าเดียวกับตารางที่ 3.1 และ 4.3 โดยการจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า  $I_{pv}$ ,  $V_{pv}$  และ  $P_{pv}$  ผลการจำลองสถานการณ์จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง เหมือนกับในหัวข้อที่ 3.3 และ 4.4 โดยผลการจำลองสถานการณ์ของทั้ง 2 ระบบจะแสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นผลการจำลองสถานการณ์ของหลักการ P&O เปรียบเทียบกับหลักการ P&O-FLC โดยรายละเอียดการจำลองสถานการณ์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหัวข้อที่ 3.3, 4.4 และ 4.5 ในบทที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

### 5.5 การสร้างชุดทดสอบ

เพื่อเป็นการยืนยันว่าการจำลองสถานการณ์ด้วยหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC สามารถนำมาใช้ในการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบแผง PV ที่พิกัด 2.4 kW ได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW โดยจะทำการสร้างเป็นตู้อุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย แผง PV ขนาด 2.4 kW วงจรตรววัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า วงจรจุดชวนวนเกท วงจรคงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรลดทอนแรงดัน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมด้วยหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC ชุดต้นแบบชุดควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 วิธีและรายละเอียดการออกแบบชุดต้นแบบชุดควบคุมจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

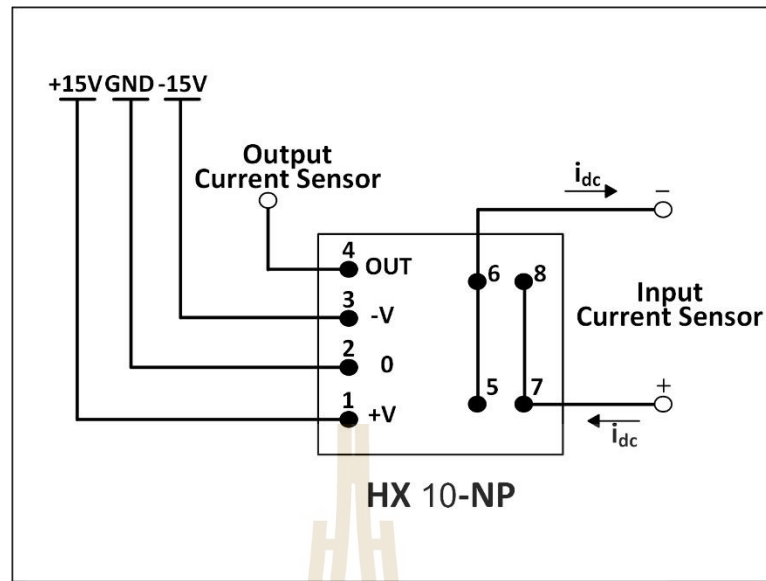


รูปที่ 5.1 ชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC  
ขนาดพิกัด 2.4 kW

### 5.5.1 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะใช้วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเบอร์ LV25-P พิกัดการแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจจับได้อยู่ที่ 500 V และกระแส 10mA ซึ่งเป็นตัวเดียวกันที่ใช้กับชุดทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 โดยรายละเอียดการออกแบบและการทดสอบหาสมการที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้คำนวณในการแปลงแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในหัวข้อที่ 3.4.1 ในบทที่ 3

วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะใช้วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเบอร์ HX 10-NP พิกัด 30 A โดยทำหน้าที่ในการวัดกระแสไฟฟ้า ต้องใช้ไฟเลี้ยง +15V, 0V และ -15V โครงสร้างวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะแสดงดังรูป 5.2 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 โครงสร้างวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า



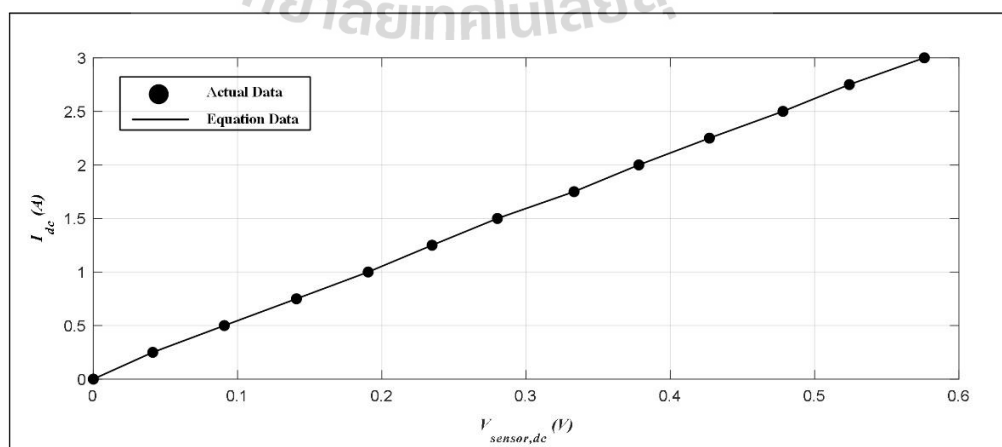
รูปที่ 5.3 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

การทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC ปรับค่าได้พิสัย 0-30 V, 3 A ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

$I_{dc}$ (A)	$V_{sensor,Idc}$ (V)
0	0
0.25	0.041
0.5	0.090
0.75	0.140
1	0.190
1.25	0.234
1.5	0.280
1.75	0.333
2	0.378
2.25	0.427
2.5	0.478
2.75	0.524
3	0.576

จากตารางที่ 5.1 นำผลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า แสดงได้ดังรูป 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า



จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้ออกมามีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถสมการของกราฟโดยใช้คำสั่งการหาสมการเส้นตรงจากโปรแกรม Matlab สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ (5-1)

$$I_{dc} = 5.1985V_{sensor,Idc} + 0.0226 \quad (5-1)$$

เมื่อ  $I_{dc}$  คือ กระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง (A)  
 $V_{sensor,Idc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (V)

สมการที่ (3-5) เป็นสมการที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้คำนวณในการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง

### 5.5.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

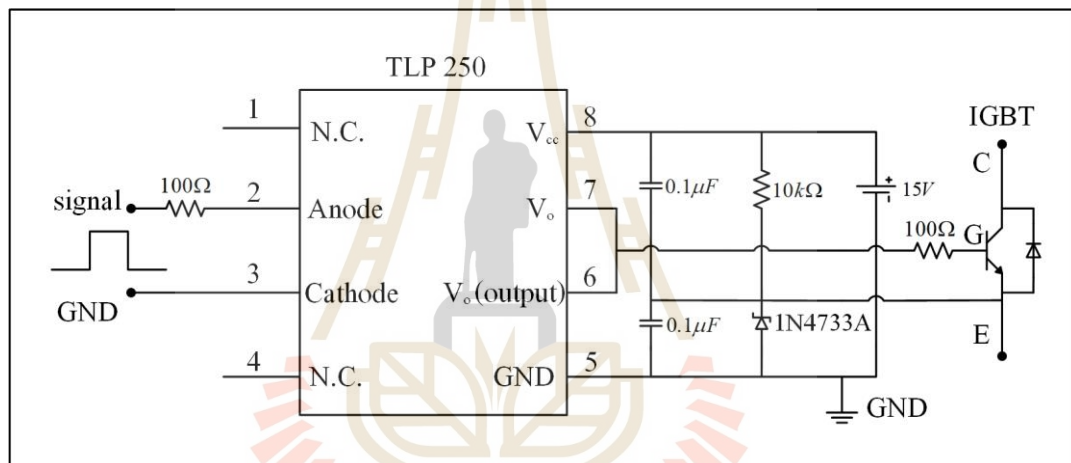
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้กับชุดต้นแบบชุดควบคุมที่สร้างขึ้นจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 2560 เหมือนกับชุดทดสอบที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.4 ในบทที่ 3 การสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-Width-Modulation : PWM) ด้วยไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 และการใช้งานพอร์ตสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหัวข้อ 3.4.2 ในบทที่ 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชุดต้นแบบชุดควบคุมนี้จะทำการสร้างอุปกรณ์ Arduino shield ในการนำมาใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการติดตั้งในตู้ของชุดต้นแบบชุดควบคุมและรับค่าต่าง ๆ เข้ามาคำนวณในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งสัญญาณ PWM ไปให้แก่สวิทช์ของวงจรลดทอนแรงดัน ชุด Arduino shield ที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 Arduino shield ที่ใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

### 5.5.3 วงจรจุดชนวนเกท

วงจรจุดชนวนเกทหรือวงจรแยกโดดสัญญาณออกแบบมาเพื่อควบคุม IGBT ของ วงจรลดทอนแรงดันและแยกกราวด์ของวงจรไฟฟ้าด้านแรงสูงกับวงจรไฟฟ้าด้านแรงต่ำเพื่อไม่ใ้ กราวด์ฝั่งแรงสูงและแรงต่ำและแรงสูงเชื่อมต่อกัน เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายในฝั่ง แรงต่ำและแรงสูง วงจรจุดชนวนเกทหรือวงจรแยกโดดสัญญาณที่ใช้ในที่นี่จะใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อทาง แสงหรือเรียกว่า ออปโตคัปปลิง (photo-coupling) อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานคือ ยี่ห้อ TOSHIBA เบอร์ TLP205 การออกแบบพารามิเตอร์ของวงจรจุดชนวนเกทจะใช้การทดสอบจากการป้อนสัญญาณ อินพุตและพิจารณาสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่สั่งให้ IGBT ของวงจรลดทอนแรงดัน สามารถทำงานได้ ซึ่งพารามิเตอร์ของวงจรจุดชนวนเกทแสดงดังรูปที่ 5.6 และวงจรจุดชนวนเกทที่ สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 5.7



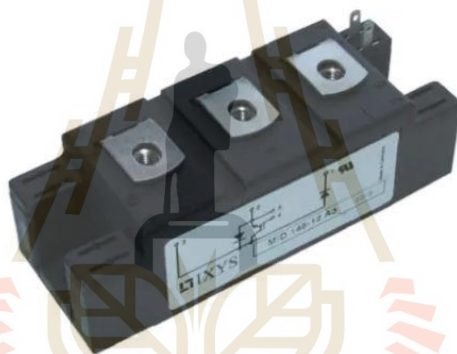
รูปที่ 5.6 พารามิเตอร์ของวงจรจุดชนวนเกท



รูปที่ 5.7 วงจรจุดชนวนเกท

#### 5.5.4 วงจรลดทอนแรงดัน

การออกแบบอุปกรณ์ในวงจรลดทอนแรงดันสำหรับชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW จะพิจารณาจากค่ากระแสและแรงดันสูงสุดจากการใช้งาน โดยค่ากระแสสูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.74A และค่าแรงดันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 185.2 V การออกแบบต้องเผื่อค่าประกอบนิรภัยไว้ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ การเลือกอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานต้องทนกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า  $22.175 \text{ A}$  ( $17.74 \times 1.25$ ) และทนแรงดันได้มากกว่า  $231.5 \text{ V}$  ( $185.2 \times 1.25$ ) ในวงจรลดทอนแรงดันจะประกอบไปด้วย ไอจีบีทีแบบมอดูล ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ฮีตซิงก์ระบายความร้อน โดยไอจีบีทีแบบมอดูลที่นำมาใช้งานกับวงจรลดทอนแรงดันคือยี่ห้อ IXYS เบอร์ MDI 145-12 A3 มีค่าพิกัดแรงดันเท่ากับ 1200 V และค่าพิกัดกระแสเท่ากับ 160 A ไอจีบีทีแบบมอดูลและฮีตซิงก์ระบายความร้อนที่นำมาใช้งานแสดงดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 ไอจีบีทีแบบมอดูลที่ใช้ในวงจรลดทอนแรงดัน



รูปที่ 5.9 ฮีตซิงก์ระบายความร้อน

ซึ่งตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรทำหน้าที่กรองสัญญาณเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้มีการสั่นของสัญญาณให้น้อยที่สุด การเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่

เหมาะสมจะช่วยให้ค่าแรงดันพลิว  $\Delta V_{out}$  (ripple voltage) และค่ากระแสพลิว  $\Delta I_L$  (ripple current) อยู่ในระดับที่เหมาะสม สามารถออกแบบค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการ (5-2) และ (5-3) ตามลำดับ

$$C = \frac{(1-D)V_{out}}{8Lf_s^2 \Delta V_{out}} \quad (5-2)$$

$$L = \frac{V_{out}(V_{in} - V_{out})}{f_s \Delta I_L V_{in}} \quad (5-3)$$

การออกแบบจะกำหนดแรงดันอินพุตให้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดของแผง PV และแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ เงื่อนไขการออกแบบอุปกรณ์มีดังนี้

$$V_{in} = 159.3V$$

$$V_{out} = 48V$$

$$f_s = 10kHz$$

$$\Delta V_{out} \leq 3mV$$

$$\Delta I_L \leq 0.25A$$

จากเงื่อนไขพิจารณาสมการที่ (5-2) และ (5-3) สามารถออกแบบได้ดังนี้

$$L = \frac{48(159.3 - 48)}{10 \times 10^3 \times 0.25 \times 159.3} = 13.414mH$$

เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ  $15mH$  และจากสมการที่ (3-1)  $V_{out} = DV_{pv}$  โดยในที่นี้  $V_{pv} = V_{in}$  และ  $V_{in} = 159.3V$ ,  $V_{out} = 48V$  จะได้  $D = 0.301$  นำไปแทนค่าเพื่อหาขนาดตัวเก็บประจุ

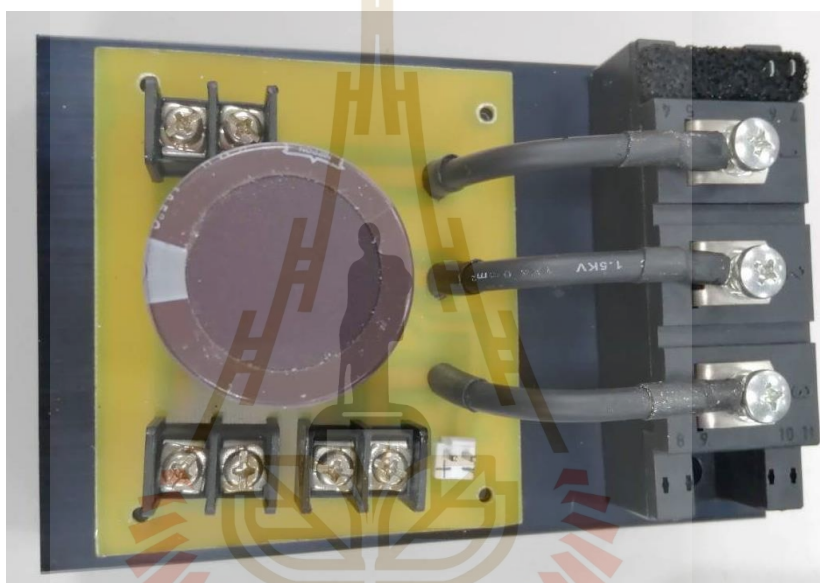
$$C = \frac{(1-0.301)48}{8 \times 15 \times 10^{-3} \times (10 \times 10^3)^2 \times 3 \times 10^{-3}} = 932\mu F$$

เลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด  $1000\mu F$  พิกัดอุปกรณ์ที่เลือกใช้แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรลดทอนแรงดัน

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
ไอจีบีทีแบบมอดูล	1200V, 160A	เบอร์ MDI 145-12 A3
ตัวเก็บประจุ	1000 $\mu$ F, 450V	Electrolytic Capacitor
ตัวเหนี่ยวนำ	15mH, 250V, 40A	DC Choke

วงจรลดทอนแรงดันที่ออกแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 วงจรลดทอนแรงดัน

### 5.5.5 สวิตช์และฟิวส์

สวิตช์ที่นำมาใช้กับชุดต้นแบบชุดควบคุมที่พิกัดกระแสสูงสุดเท่ากับ 17.74 A และค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ 185.2 V จะใช้เป็นเบรกเกอร์คู่ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับงานแผง PV ยี่ห้อ LIKET เบอร์ LKTB1-50/PV ขนาดพิกัด 500 V, 63A โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 คือส่วนที่รับไฟมาจากแผง PV ก่อนเข้าสู่วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยจะมีกระบอกฟิวส์ป้องกันกระแสเกินเชื่อมต่อระหว่างเบรกเกอร์กับวงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า กระบอกฟิวส์ที่นำมาใช้ในชุดต้นแบบชุดควบคุมจะใช้กระบอกฟิวส์ยี่ห้อ Yinrong เบอร์ YRPV-63 ซึ่งในกระบอกฟิวส์จะมีลิ้นคัทฟิวส์ทรงกระบอกขนาดพิกัด 1500 V<sub>dc</sub>, 63 A เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินจากระบบแผง PV เมื่อทำการเปิดเบรกเกอร์ในส่วนที่ 1



ส่วนที่ 2 คือส่วนที่รับไฟมาจากแบตเตอรี่ขนาด 48 V เชื่อมต่อระหว่างเอาต์พุตของ วงจรลดทอนแรงดันและแบตเตอรี่ ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รับไฟเข้ามาจ่ายให้กับวงจรควบคุม แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับส่วนควบคุมได้แก่ วงจรตรวจวัด แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรจุดชนวนเกทของชุดต้นแบบชุด ควบคุม

#### 5.5.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือแหล่งจ่ายไฟในชุดต้นแบบชุดควบคุม

วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในที่นี้จะใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงยี่ห้อ XP เบอร์ JCK2048S12 ซึ่งมีพิกัดแรงดันอินพุตอยู่ระหว่าง 38 – 75 V<sub>dc</sub> แรงดัน เอาต์พุตเท่ากับ 12 V<sub>dc</sub> โดยอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 48 V และจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 V ให้แก่อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าทั้งหมด 3 ตัว ได้แก่ ไอซีเบอร์ IL1215S ทำการจ่ายไฟ +15V -15V ให้แก่วงจรจุดชนวนเกท ไอซีเบอร์ NMV1215SC ทำการจ่ายไฟ +15V -15V 0V ให้แก่วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ไอซีเบอร์ MEE1S1212SC ทำการ จ่ายไฟ +12V -12V ให้แกบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในชุดต้นแบบชุด ควบคุมเกิดอันตรายและเกิดความเสียหาย ภายในวงจรไอซีทุกตัวที่นำมาใช้นั้นจะเป็นไอซีที่แยก กราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (dc/dc isolator) ทั้งหมด วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือ แหล่งจ่ายไฟในชุดต้นแบบชุดควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือแหล่งจ่ายไฟในชุดต้นแบบชุดควบคุม



## 5.6 ผลการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4kW

ชุดต้นแบบชุดควบคุมที่สร้างขึ้นดังกล่าวจะนำไปใช้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ให้กับโรงเรือนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.12 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW จะแสดงดังรูป 5.13



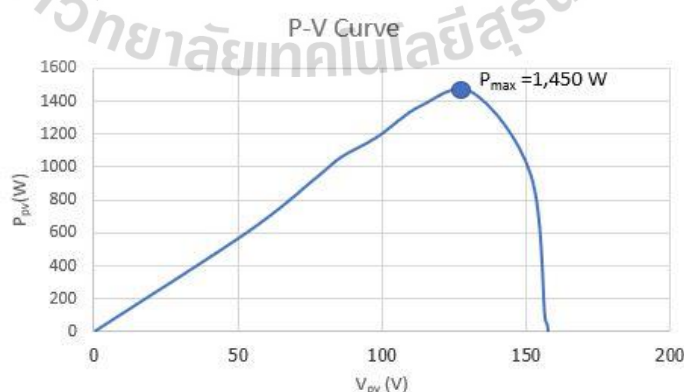
รูปที่ 5.12 โรงเรือนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.13 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW

โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ การทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW และการทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW จากนั้นจะนำผลการทดสอบทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งก่อนการทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW จะต้องทำการทดสอบหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ก่อนเพื่อนำกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ที่ทดสอบได้มายืนยันว่าระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ทำการทดสอบนั้นสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

วิธีการทดสอบหากราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW นั้นจะทำได้โดยการต่อแผง PV เข้ากับชุดต้นแบบชุดทดสอบโดยให้โหนดของระบบเป็นแบตเตอรี่ขนาด 48 V และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มาควบคุมการปรับเพิ่มลดค่าวัฏจักรหน้าที่โดยควบคุมการปรับค่าวัฏจักรหน้าที่ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในชุดต้นแบบชุดควบคุม เนื่องจากการทดสอบไม่สามารถควบคุมปริมาณความเข้มแสงให้มีค่าคงที่ได้ ดังนั้นจะเลือกช่วงเวลาในการทดสอบ ณ เวลาที่ท้องฟ้าโปร่งแสงแดดจ้าไม่มีเมฆบังแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้กราฟคุณลักษณะของแผง PV ที่ไม่คลาดเคลื่อน ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์จะใช้เซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Radiation Sensor) มาทำการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ การทดสอบจะเริ่มจากเปิดระบบของชุดต้นแบบชุดควบคุม จากนั้นจะทำการปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าวัฏจักรหน้าที่เริ่มต้นจาก 100% แล้วค่อย ๆ ลดลงไปจนได้ค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 0 % และทำการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่แผง PV จ่ายออกมาแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้าของแผง PV ในแต่ละจุดที่ทำการปรับค่าตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตเป็นกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 กราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ที่ทำการทดสอบ

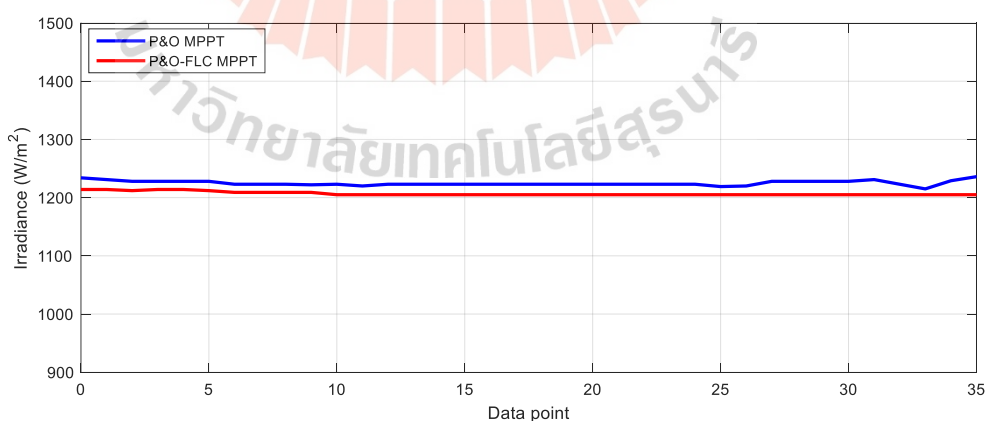
จากกราฟคุณลักษณะของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ในรูปที่ 5.14 ซึ่งได้ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2565 ช่วงเวลาประมาณ 13.00 น. ถึงเวลา 13.15 น. ค่าความเข้มแสงขณะทดสอบหากราฟคุณลักษณะของแผง PV ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งอยู่ที่โรงเรือนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีค่าเท่ากับ  $1,232 \text{ W/m}^2$  โดยสามารถอ่านค่าความเข้มแสงอาทิตย์ผ่านชุดข้อมูลที่อยู่ในระบบคลาวด์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ขณะทำการทดลองอยู่ที่  $1,450 \text{ W}$

การทดสอบชุดต้นแบบชุดควบคุมจะเริ่มทำการทดสอบในช่วงเวลา 13.30 น. – 16.00 น. โดยประมาณ การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดสอบดังนี้

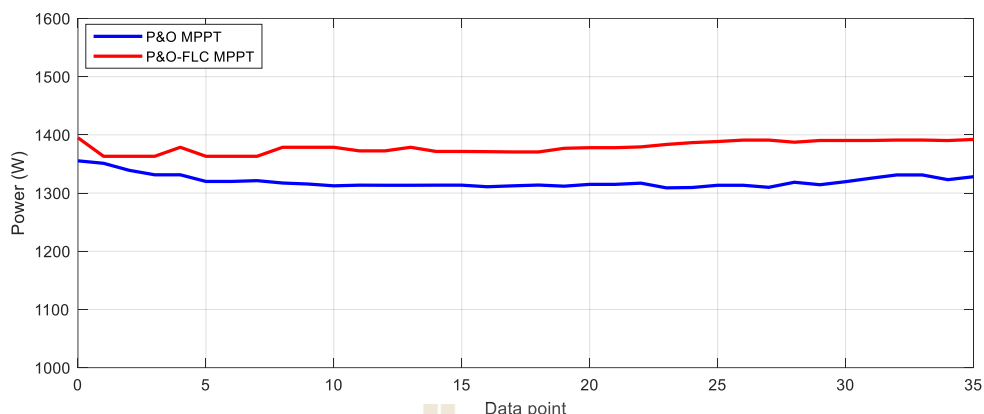
ช่วงที่ 1 จะทำการทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW และทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ณ ช่วงเวลา 13.30 น. จนถึงเวลาประมาณ 14.30 น.

ช่วงที่ 2 จะทำการทดสอบระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW และเก็บข้อมูลจากการทดสอบ ณ ช่วงเวลา 15.00 น. จนถึงเวลาประมาณ 16.00 น.

ผลการทดสอบของทั้ง 2 วิธีจะพิจารณาช่วงเวลาที่ค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกันและกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตออกมาได้ จากนั้นจะนำผลการทดสอบทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน โดยผลการทดสอบค่าความเข้มแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของทั้ง 2 วิธี



รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ทั้ง 2 วิธี

จากรูปที่ 5.15 จะสังเกตว่าค่าความเข้มแสงในตอนที่ทำกรทดสอบด้วยหลักการ P&O (เส้นสีน้ำเงิน) มีค่าประมาณ  $1,223 \text{ W/m}^2$  และค่าความเข้มแสงในตอนที่ทำกรทดสอบด้วยหลักการ P&O-FLC (เส้นสีแดง) มีค่าประมาณ  $1,205 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเข้มแสงตอนที่ทดสอบด้วยหลักการ P&O อยู่ที่ประมาณ  $18 \text{ W/m}^2$  เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ด้วยหลักการ P&O (เส้นสีน้ำเงิน) จะอยู่ที่ประมาณ  $1,320 \text{ W}$  และกำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ด้วยวิธีการรบกวนและการสังเกตร่วมกับตัวควบคุมพีซีซี (เส้นสีแดง) จะอยู่ที่ประมาณ  $1,380 \text{ W}$  ซึ่งมากกว่าการทดสอบด้วยหลักการ P&O ประมาณ  $60 \text{ W}$  เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ทั้ง 2 วิธีผลิตออกมาได้จากแผง PV ไปเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะของแผง PV รูปที่ 5.14 จะมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผง PV สามารถผลิตออกมาได้ ดังนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผง PV ด้วยหลักการ P&O-FLC จะมีค่ามากกว่าการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผง PV ด้วยหลักการ P&O แม้ค่าความเข้มแสงในการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยหลักการ P&O-FLC จะต่ำกว่าหลักการ P&O

จากรูปที่ 5.16 ถ้าพิจารณาเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผง PV ต่อหน้าที่ของทั้ง 2 วิธี โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟหลักการ P&O จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผง PV ได้ทั้งหมดประมาณ  $46,200 \text{ J}$  และหลักการ P&O-FLC จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผง PV ได้ทั้งหมดประมาณ  $48,300 \text{ J}$  ซึ่งจะมากกว่าหลักการ P&O อยู่ประมาณ  $2,100 \text{ J}$  ดังนั้นหลักการ P&O-FLC สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของแผง PV ได้มากกว่าหลักการ P&O

## 5.7 สรุป

ในบทนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ขนาดพิกัด 2.4 kW สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งประกอบไปด้วยระบบที่พิจารณา การออกแบบตัวควบคุมพีซี การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การสร้างชุดทดสอบ โดยจะทำการสร้างชุดต้นแบบชุดควบคุมที่นำมาใช้กับระบบแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW การทดสอบการใช้งานจะทดสอบด้วยกันทั้งหมด 2 วิธีคือหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC ผลการทดสอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีจะนำมาเปรียบเทียบกัน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้จากหลักการ P&O-FLC มีค่ามากกว่าหลักการ P&O แม้ว่าค่าความเข้มแสงจะน้อยกว่าหลักการ P&O และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์อาทิตย์ด้วยหลักการ P&O-FLC มีค่ามากกว่าหลักการ P&O เช่นเดียวกัน ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอในบทนี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรมของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนเมษายน - มิถุนายน 2567 ประเภท บทความวิจัย โดยใช้หัวข้อชื่อ “การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยพีซีลอจิก ร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ” ซึ่งจะแสดงในภาคผนวก จ



## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC เพื่อให้แผงเซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ณ ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลง วิทยานิพนธ์นี้เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีต่าง ๆ จากการศึกษาค้นคว้าปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายวิธีด้วยกัน โดยในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ด้วยกันทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ หลักการ P&O และ หลักการ P&O-FLC ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้านำเสนอไว้ในบทที่ 2

การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้งานเนื่องจากมีอัลกอริทึมในการใช้งานที่ง่าย แต่ต้องมีการกำหนดค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมให้แก่ระบบที่ใช้งาน การทำงานของหลักการ P&O จึงจะมีประสิทธิภาพ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบที่พิจารณาจะอธิบายการทำงานของหลักการ P&O การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB พบว่าการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ การสร้างชุดทดสอบโดยในวิทยานิพนธ์นี้ทำการสร้างชุดทดสอบขึ้นมาใช้กับระบบแผง PV ขนาด 40 W ในห้องปฏิบัติการและอธิบายการออกแบบชุดทดสอบในแต่ละวงจร ซึ่งชุดทดสอบจะประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 1 เฟสแบบปรับค่าได้ แผง PV วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า วงจรจุดชนวนเกท วงจรลดทอนแรงดัน วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแบตเตอรี่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะเขียนโปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ไว้ การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ของชุดทดสอบที่สร้างขึ้นจะกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 0.025 และทำการทดสอบที่ความเข้มแสง 1,000 W/m<sup>2</sup> ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O สามารถตามรอยจุด



กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV ไปเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะของแผง PV แต่หลักการ P&O ยังมีข้อเสียคือ ถ้ากำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้กับระบบไม่เหมาะสม ระบบจะทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวอาจจะช้าและเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบให้ดียิ่งขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเอาตัวควบคุมฟuzzyมาใช้งานร่วมกับหลักการ P&O เพื่อนำมากำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ที่เหมาะสมให้แก่ระบบ

การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและการสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzyได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบที่พิจารณาและหลักการทำงานของหลักการ P&O-FLC การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyโดยจะอธิบายหลักการและวิธีออกแบบตัวควบคุมฟuzzyในแต่ละขั้นตอน การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งหลักการ P&O-FLC สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ระหว่างหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC ผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่าหลักการ P&O-FLC มีเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่าหลักการ P&O รวมไปถึงช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะคงตัวอีกด้วย ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ด้วยหลักการ P&O-FLC สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ และเมื่อนำผลการทดสอบชุดทดสอบระหว่างหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC มาเปรียบเทียบกับหลักการ P&O-FLC สามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มีประสิทธิภาพกว่าหลักการ P&O

จากผลการทดสอบชุดทดสอบขนาด 40 W ของวิธีการรบกวนและการสังเกตและวิธีการรบกวนและการสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzyในห้องปฏิบัติการยืนยันได้ว่าทั้ง 2 วิธีสามารถตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ดังนั้นจึงได้ทำการสร้างชุดต้นแบบชุดทดสอบขึ้นมาเพื่อจะนำไปใช้ทดสอบกับระบบแผง PV ขนาดพิกัด 2.4 kW ที่โรงเรียนควบคุมการจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งนำเสนอในบทที่ 5 โดยจะประกอบไปด้วย ระบบที่พิจารณา การจำลองสถานการณ์ การออกแบบชุดต้นแบบชุดควบคุมซึ่งจะอธิบายรายละเอียดการออกแบบแต่ละในวงจรไว้ ผลการทดสอบของชุดต้นแบบชุดทดสอบจะนำผลการทดสอบของหลักการ P&O และหลักการ P&O-FLC มาเปรียบเทียบกับ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าวิธีการรบกวนและการสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzyสามารถทำให้แผง PV ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากกว่าวิธีการรบกวนและการสังเกตแม้ความเข้มแสงจะต่ำกว่าวิธีการรบกวนและการสังเกตอยู่เล็กน้อย ถ้าเปรียบเทียบในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าวิธีการรบกวนและการสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟuzzyสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้มากกว่าวิธีการรบกวนและการสังเกต

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรเพิ่มแนวโน้มของค่าความชันของ  $\frac{\Delta P}{\Delta V}$  เข้าไปเป็น input ของตัวควบคุมพีชชีอีก 1 input เพื่อให้การทำงานของตัวควบคุมพีชชีละเอียดยิ่งขึ้น
- ควรทำการทดสอบเก็บข้อมูลตลอดทั้งวันหรือทั้งสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาในอนาคตต่อไป



## รายการอ้างอิง

- ปทุมพร วงศ์ใหญ่, กองพันธ์ อารีรักษ์ และกองพล อารีรักษ์. (2015). ระบบตามรอยกำลังงานสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยใช้วิธีรบกวนและสังเกต. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38) 18 – 20 พฤศจิกายน 2558 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย., หน้า 393–396.
- ปทุมพร วงศ์ใหญ่. (2558). ระบบควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว (2552). ปัญญาเชิงคำนวณ. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ทศพร ณรงค์ฤทธิ์. (2557). การออกแบบตัวควบคุมพีชซีแบบปรับตัวสำหรับวงจรรอกกำลังแยกที่ฟแบบขนานในระบบสามเฟสสมดุล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง. (2561). การควบคุมตามรอยกำลังสูงสุดด้วยวิธีการควบคุมแบบพีชซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตสำหรับระบบกึ่งหั่นลมผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชวริย์ เลื่อนพั่งเทียม. (2560). การตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระด้วยวิธีอิงกระแสที่มีตัวควบคุมพีชซี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Trishan Eram, Patrick L. Chapman (2007). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transaction on Energy Conversion*. Vol.22, No2, : 439-449.
- S. Uma Ramani, Sathish Kumar Kollimalla, B. Arundhati (2017). Comparative Study of P&O and Incremental Conductance method for PV System. in ICCPCT
- Kriti Jain, Prof. Manju Gupta, Dr. Aashish Kumar Bohre (2018). Implementation and Comparative Analysis of P&O and INC MPPT Method for PV System. in *IEEE*

- D. K. Sharma, G.Purohit (2012). Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) of a Solar Photo-Voltaic System. **in IEEE**
- Alivarani Mohapatra, Byamakesh Nayak and K.B.Mohanty (2014). Current Based Novel Adaptive P&O MPPT Algorithm for Photovoltaic System Considering Sudden Change in the Irradiance. **IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) : 602-610.**
- Ratil H Ashique, Zainal Salam, Jubaer Ahmed (2015). An Adaptive P&O MPPT Using a Sectionalized Piece-wise Linear P-V Curve. **in IEEE**
- Maissa Farhat, Oscar Barambones, Lassaad Sbita (2016). A Real-Time Implementation of MPPT-Based on P&O Method. **in IEEE**
- Murari Lal Azad, Soumya Das, Pradip Kumar Sadhu, Biplab Satpati, Anagh Gupta, P. Arvind (2017). P&O algorithm based MPPT technique for solar PV System under different weather conditions. **in ICCPCT**
- Mohammed abdul khader aziz biabani, Fazeel Ahmed (2016). Maximum power point tracking of photovoltaic panels using perturbation and observation method and fuzzy logic control based method. **International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)**
- Savita Baraskar, Sachin Kunmar Jain, and Prabim K.Padhy (2016). Fuzzy logic assisted P&O based improved MPPT for photovoltaic systems. **in Proc. ICETEESSES – 16**
- Jaldeep Kumar, Jaldeep Kumar, Prakash Bahrani (2018). Fuzzy and P&O MPPT Techniques for Stabilized the Efficiency of Solar PV System. **in GUCON, Greater Noida, UP, India.**
- Mohammed Zerouali, Salaheddine Zouirech, Abdelghani El Ougli, Belkassem Tidhaf, Hafida Zrouri (2019). Improvement of Conventional MPPT Techniques P&O and INC by Integration of Fuzzy Logic. **in IEEE**
- Theerawut Chaiyatham, Issarachai Ngamroo (2017). Improvement of Power System Transient Stability by PV Farm With Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller. **IEEE SYSTEMS JOURNAL, VOL. 11, NO. 3**
- Dikshita Nath, Tilok Boruah (2020). P&O and Fuzzy based MPPT for PV System. **in IEEE**

Bibhu Prasad Ganthia, Rosalin Pradhan, Sibani Das, Sibani Ganthia (2017). Analytical Study of MPPT based PV System using Fuzzy Logic Controller. **in ICECDS**

Dilovan Haji, Naci Genc (2018). Fuzzy and P&O Based MPPT Controllers under Different Conditions. **in ICRERA, Paris, FRANCE**

HAYDER Wafa, ABID Aicha, BEN HAMED Mouna (2017). Steps of duty cycle effects in P&O MPPT algorithm for PV system. **in IEEE**

Soedibyo, Sjamsjul Anam, Isa Hafidz, Gusti Rinaldi Zulkarnain, and Mochamad Ashari (2017). MPPT Design on Solar Farm Using Perturb and Observe Technique Considering Tilt Angle and Partial Shading in Giligenting Island. **International Seminar on Intelligent Technology and Its Applicatio**





ภาคผนวก ก

โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O

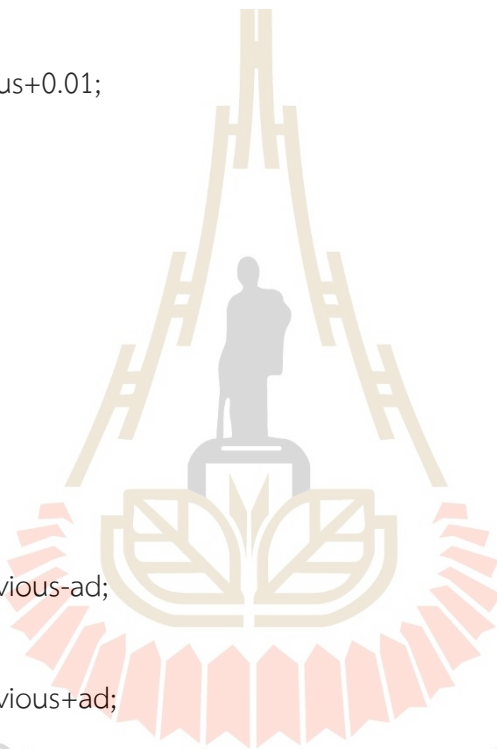
บนโปรแกรม MATLAB



```
*****  
โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนโปรแกรม MATLAB
```

```
*****  
function duty=mppt(delD,dutyprevious,t)
```

```
if t<0.5  
    if delD >= 0  
        duty=dutyprevious-0.01;  
    else  
        duty=dutyprevious+0.01;  
    end  
else  
if delD >= 2  
    ad=0.01;  
else  
    ad=0.01;  
end  
    if delD >= 0  
        duty=dutyprevious-ad;  
    else  
        duty=dutyprevious+ad;  
    end  
end  
end
```



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, stylized emblem in the background. It features a central figure of a person sitting on a throne, surrounded by a decorative border. The text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' is written in a semi-circle at the bottom of the logo.

ภาคผนวก ข

โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

*****
โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
*****

```

```

int Sw;
int DriveON = 0, Action = 0;
long previousTime = 0;
float Ts = 1;
float count = 0;
float Stepsize = 0.05;
float Vpv = 0, Ipv = 0;
float V_Voltage_Sen = 0, V_Current_Sen = 0;
float Ppv, Ppv_n = 0, Vpv_n = 0, dP, dV, K;
float Duty, D_initial=0, D_initial_old=0;
float deltaD;
int port_PWM = 11;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(3, INPUT_PULLUP);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode(port_PWM, OUTPUT);
    TCCR1A = (1<<COM1A1)|(1<<COM1A1);
    TCCR1A |= (1<<COM1B1)|(1<<COM1B1);
    TCCR1B = (1<<WGM13)|(0<<WGM12);
    TCCR1A |= (0<<WGM11)|(0<<WGM10);
    TCCR1B |= (0<<CS12)|(0<<CS11)|(1<<CS10);
    ICR1 = 800;
    OCR1A = 0;
    OCR1B = 0;
    TCNT1=0;
}

```

```
void loop() {
  call_SW();
  if(millis() - previousTime > Ts*1000)
  {
    previousTime = millis();
    Voltage_sensor();
    Current_sensor();
    Check_Vpv();
    MPPT_P_O();
    count = count + Ts;
  }
}

void call_SW()
{
  Sw = digitalRead(3);
  if (Sw == 0) {
    digitalWrite(13, HIGH);
    DriveON = 1;
  }
  else {
    digitalWrite(13, LOW);
    DriveON = 0;
  }
}

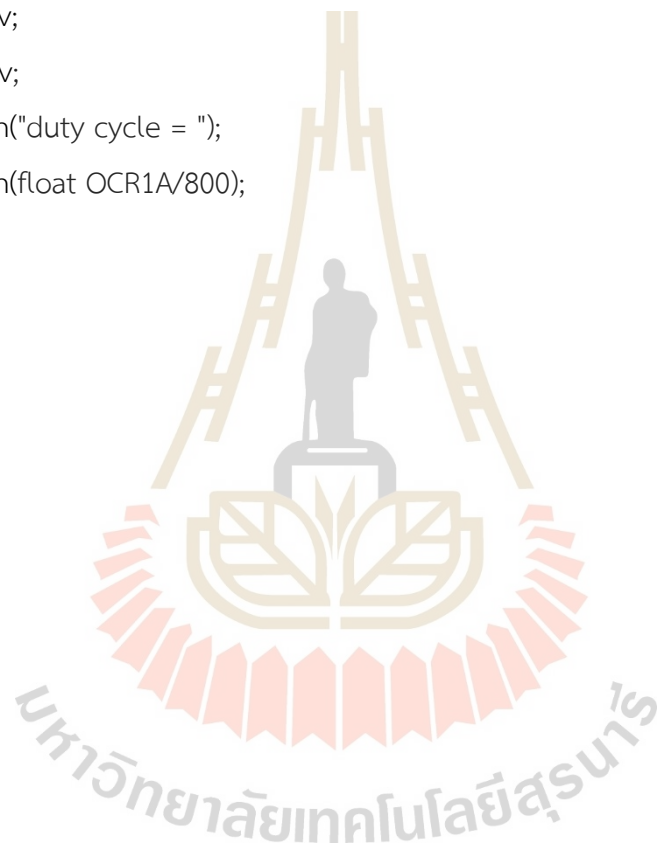
void Voltage_sensor()
{
  float Read_Voltage_sensor = analogRead(A0);
  V_Voltage_Sen = Read_Voltage_sensor*5.0/1023.0;
  Vpv = 40.445*V_Voltage_Sen - 0.154;
  Vpv = constrain(Vpv,0,200);
}
```

```

}
void Current_sensor()
{
float Read_Current_sensor = analogRead(A1);
V_Current_Sen = Read_Current_sensor*5.0/1023.0;
Ipv = 5.1985*V_Current_Sen + 0.0226;
Ipv = constrain(Ipv,0,30);
}
void Check_Vpv()
{
if (DriveON != 0 && Vpv > 48) {
D_initial = 0.5;
Action = 1;
}
else {
D_initial = 0;
Action = 0;
}
}
void MPPT_P_O()
{
Ppv = Vpv*Ipv;
dP = Ppv - Ppv_n;
dV = Vpv - Vpv_n;
K = Stepsize;
if (dP*dV > 0)
{
deltaD = -K;
}
else

```

```
{  
  deltaD = K;  
}  
Duty = (D_initial + deltaD)*Action;  
Duty = constrain(Duty,0,1);  
OCR1A = 800*(Duty);  
D_initial = Duty;  
Ppv_n = Ppv;  
Vpv_n = Vpv;  
Serial.println("duty cycle = ");  
Serial.println(float OCR1A/800);  
delay(500);  
}
```





ภาคผนวก ค

โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนโปรแกรม

MATLAB

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\*\*\*\*\*  
 โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนโปรแกรม MATLAB  
 \*\*\*\*\*

```
function deltaD = fuzzy(dPdV)
```

```
q=dPdV;
```

```
mfn1=0;
```

```
mfn2=0;
```

```
mfn3=0;
```

```
mf1=0;
```

```
mf2=0;
```

```
mf3=0;
```

```
d1=0;
```

```
d2=0;
```

```
d3=0;
```

```
if q<=0
```

```
    if q<=-1
```

```
        mfn1=1;
```

```
    elseif q>-1&&q<=0
```

```
        mfn1=(-q)/1;
```

```
    end
```

```
else
```

```
    mfn1=0;
```

```
end
```

```
if q>=-1&&q<=1
```

```
    if q==0
```

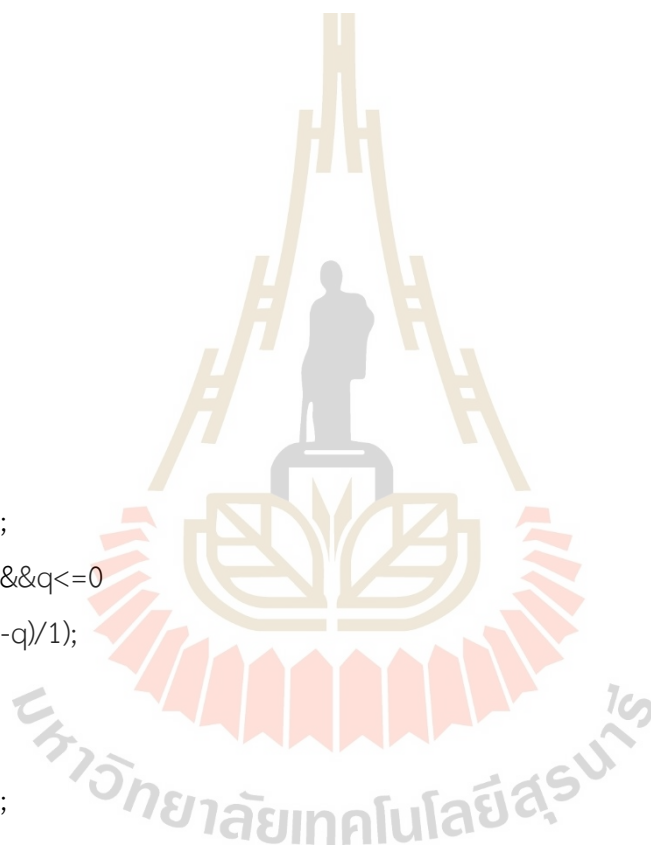
```
        mfn2=1;
```

```
    elseif q<0&&q>=-1
```

```
        mfn2=(1+q)/(1);
```

```
    elseif q>0&&q<=1
```

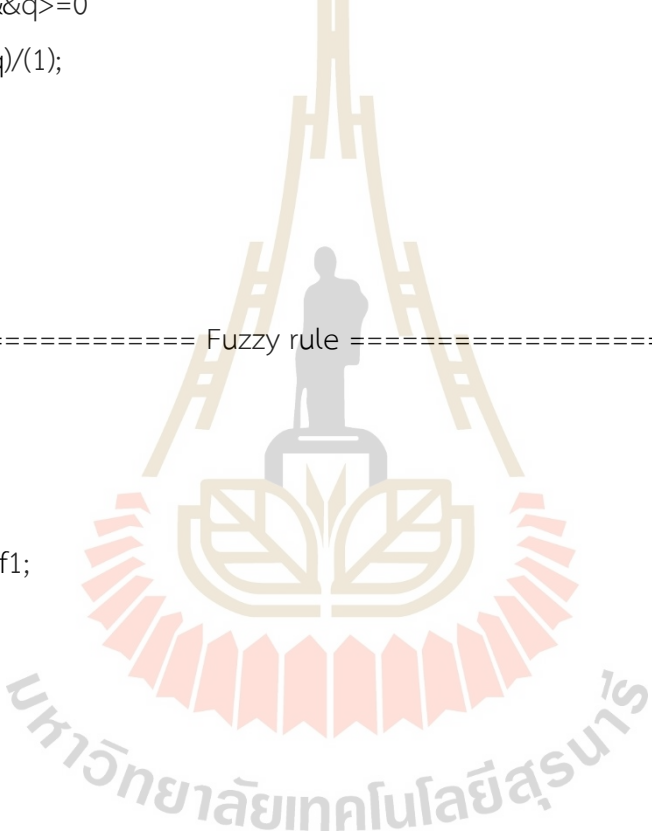
```
        mfn2=(1-q)/(1);
```



```

end
else
    mfn2=0;
end
if q>=0
    if q>=1
        mfn3=1;
    elseif q<1&&q>=0
        mfn3=(q)/(1);
    end
else
    mfn3=0;
end
%===== Fuzzy rule =====%
%re 1
if mfn1>0
    mf1=mfn1;
    d1=0.04*mf1;
else
    mf1=0;
    d1=0;
end
%re 2
if mfn2>0
    mf2=mfn2;
    d2=0*mf2;
else
    mf2=0;
    d2=0;
end
%re 3

```



```
if mfn3>0
    mf3=mfn3;
    d3=-0.04*mf3;
else
    mf3=0;
    d3=0;
end
num=(d1+d2+d3);
den=(mf1+mf2+mf3);
if den==0
    den=1e-12;
end
deltaD = num/den;
end
```





ภาคผนวก ง

โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนบอร์ด  
ไมโครคอนโทรลเลอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

*****
โปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
*****

/**P&O setup**/
int Sw;
int DriveON = 0, Action = 0;
long previousTime = 0;
float Ts = 1;
float count = 0;
float Vpv = 0, Ipv = 0;
float V_Voltage_Sen = 0, V_Current_Sen = 0;
float Ppv, Ppv_n = 0, Vpv_n = 0, dP, dV, N, k=0.025;
float Duty, D_initial, D_initial_old, DD;
int port_PWM = 11;
/**Fuzzy setup**/
float q = 0, deltaD;
float mfn1=0, mfn2=0, mfn3=0;
float mf1=0, mf2=0, mf3=0;
float d1=0, d2=0, d3=0;
float num=0, den=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(port_PWM, OUTPUT);
  TCCR1A = (1<<COM1A1)|(1<<COM1A1);
  TCCR1A |= (1<<COM1B1)|(1<<COM1B1);
  TCCR1B = (1<<WGM13)|(0<<WGM12);
  TCCR1A |= (0<<WGM11)|(0<<WGM10);
  TCCR1B |= (0<<CS12)|(0<<CS11)|(1<<CS10);
}

```



```
ICR1 = 800;
OCR1A = 0;
OCR1B = 0;
TCNT1=0;
}
void loop() {
  call_SW();
  if(millis() - previousTime > Ts*1000)
  {
    previousTime = millis();
    Voltage_sensor();
    Current_sensor();
    Check_Vpv();
    MPPT_P_O();
    count = count + Ts;
  }
}
void call_SW()
{
  Sw = digitalRead(3);
  if (Sw == 0) {
    digitalWrite(13, HIGH);
    DriveON = 1;
  }
  else {
    digitalWrite(13, LOW);
    DriveON = 0;
  }
}
void Voltage_sensor()
{
```

```

float Read_Voltage_sensor = analogRead(A0);
  V_Voltage_Sen = Read_Voltage_sensor*5.0/1023.0;
  Vpv = 40.445*V_Voltage_Sen - 0.154;
  Vpv = constrain(Vpv,0,200);
}
void Current_sensor()
{
float Read_Current_sensor = analogRead(A1);
  V_Current_Sen = Read_Current_sensor*5.0/1023.0;
  Ipv = 5.1985*V_Current_Sen + 0.0226;
  Ipv = constrain(Ipv,0,30);
}
void Check_Vpv()
{
if (DriveON != 0 && Vpv > 48) {
  D_initial = 0.5;
  Action = 1;
}
else {
  D_initial = 0;
  Action = 0;
}
}
void MPPT_P_O()
{
/**/ calculate ***/
  Ppv = Vpv*Ipv;
  dP = Ppv - Ppv_n;
  dV = Vpv - Vpv_n;
/**/ input general ***/
  q = ((dP*dV)/100);

```

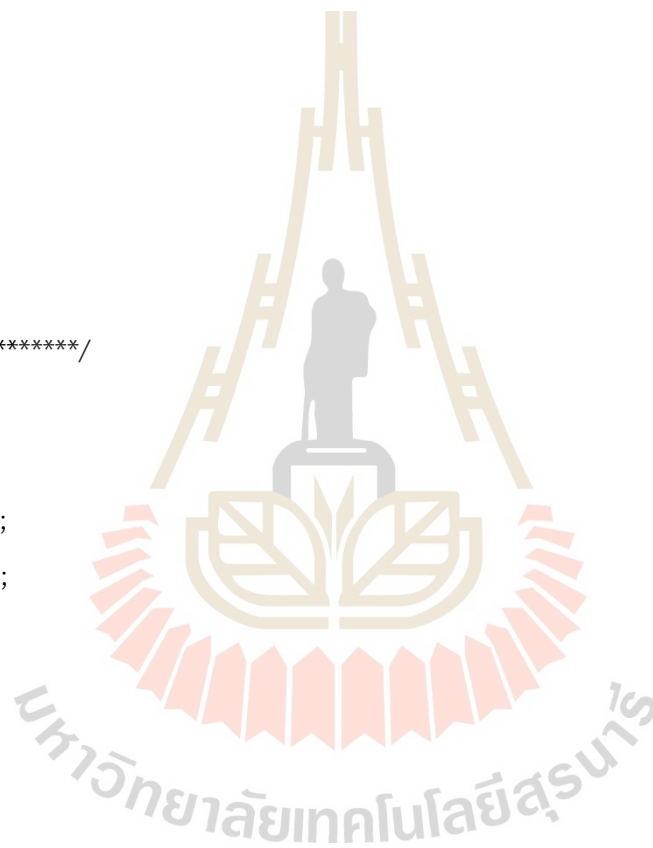
```
/****** fuzzy Negative *****/  
if (q<=0)  
{  
    if (q<=-1)  
    {  
        mfn1=1;  
    }  
    else if (q>-1&&q<=0)  
    {  
        mfn1=(-q)/1;  
    }  
}  
else  
{  
    mfn1=0;  
}  
/****** fuzzy Cross Negative Zero Positive *****/  
if (q>=-1&&q<=1)  
{  
    if (q==0)  
    {  
        mfn2=1;  
    }  
    else if (q<0&&q>=-1)  
    {  
        mfn2=(q+1)/(1);  
    }  
    else if (q>=0&&q<=1)  
    {  
        mfn2=(1-q)/(1);  
    }  
}
```

```

}
else
{
    mfn2=0;
}
/***** fuzzy Positive *****/
if (q>=0)
{
    if (q>=1)
    {
        mfn3=1;
    }
    else if (q<1&&q>=0)
    {
        mfn3=(q)/(1);
    }
}
else
{
    mfn3=0;
}
/*%===== Fuzzy rule =====%*/
/***** re 1 *****/
if (mfn1>0)
{
    mf1=mfn1;
    d1=k*mf1;
}
else
{
    mf1=0;
}

```

```
d1=0;
}
/***** re 2 *****/
if (mfn2>0)
{
    mf2=mfn2;
    d2=0*mf2;
}
else
{
    mf2=0;
    d2=0;
}
/***** re 3 *****/
if (mfn3>0)
{
    mf3=mfn3;
    d3=-k*mf3;
}
else
{
    mf3=0;
    d3=0;
}
/***** Defuzzification *****/
num=(d1+d2+d3);
den=(mf1+mf2+mf3);
if (den==0)
{
    den=1e-12;
}
```



```
deltaD = (num/den);
/***** P&O base on Fuzzy *****/
N = deltaD;
if (dP/dV>0)
{
    DD = -N;
}
else
{
    DD = N;
}
Duty = (D_initial + DD)*Action;
Duty = constrain(Duty,0,1);
OCR1A = 800*(Duty); // Duty cycle
D_initial = Duty;
Ppv_n = Ppv;
Vpv_n = Vpv;
Serial.println("duty cycle = ");
Serial.println(float OCR1A/800);
delay(500);
}
```





ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

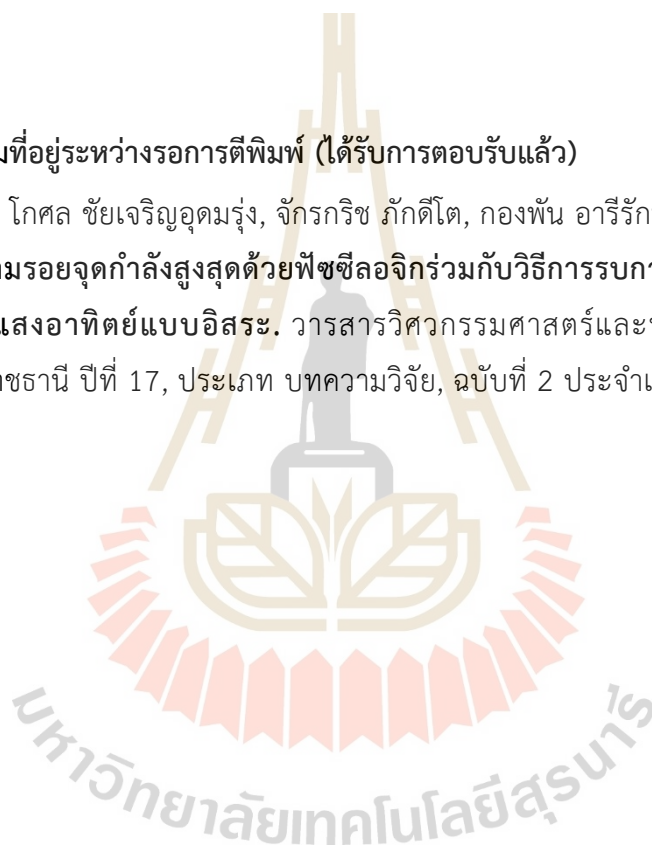
## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

### รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

อชิษฐ์ รุ่งเจริญ, โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, จักรกริช ภัคดีโต, กองพัน อารีรักษ์, กองพล อารีรักษ์, และ อาทิตย์ ศรีแก้ว. การควบคุมตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟuzzyลอจิกที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43 (EECON43), โรงแรมท็อปแลนด์ จังหวัด พิษณุโลก, หน้าที่ 198-201.

### รายชื่อบทความที่อยู่ระหว่างรอการตีพิมพ์ (ได้รับการตอบรับแล้ว)

อชิษฐ์ รุ่งเจริญ, โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, จักรกริช ภัคดีโต, กองพัน อารีรักษ์, และกองพล อารีรักษ์. การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟuzzyลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรมมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 17, ประเภท บทความวิจัย, ฉบับที่ 2 ประจำเดือนเมษายน - มิถุนายน 2567.



การควบคุมตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟuzzyลอจิกที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต  
สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

The Maximum Power Point Tracking Control Using Fuzzy Logic Control Base On P&O Method  
for Stand-alone Photovoltaic System

อณิษฐ์ รุ่งเจริญ<sup>1</sup> โทศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง<sup>2</sup> อัครกริช กักลิโต<sup>3</sup> กองพัน อารีรัมย์<sup>1</sup> กองพล อารีรัมย์<sup>1</sup> และ อาทิตย์ ศรีแก้ว<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี kongpan@sut.ac.th

<sup>2</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>3</sup>ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

PE-10

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยใช้วิธีฟuzzyที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต ซึ่งวิธีดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแบบบักก์ วิธีการรบกวนและการสังเกตมีข้อดีที่เรียบง่าย อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle : D) ให้เหมาะสม การควบคุมจึงจะมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในบทความนี้จะอาศัยวิธีฟuzzyเข้ามาประยุกต์ใช้ในการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ให้มีการปรับเปลี่ยนได้อย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบให้ดียิ่งขึ้น การยืนยันวิธีการควบคุมที่นำเสนออาศัยผลการจำลองสถานการณ์ผ่านชุดบล็อกกำลังไฟฟ้า SIMULINK ของโปรแกรม MATLAB ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมที่นำเสนอ สามารถเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในเวลาอันสั้นและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนและการสังเกต

**คำสำคัญ:** การตามรอยจุดกำลังสูงสุดระบบเซลล์แสงอาทิตย์, วิธีการรบกวนและการสังเกต, วิธีฟuzzyลอจิก

Abstract

This paper presents the maximum power point tracking for stand-alone photovoltaic systems using fuzzy methods based on perturbation and observation methods. Such method applied to buck converters. perturbation and observation methods is the simplicity of the algorithm. However, The efficacy of this method depend on determine the step size for algorithm. Therefore, this paper using the fuzzy method to apply to determine step size. To be adjusted appropriately to improve the system response efficiency. The efficiency of the proposed method is confirmed via the program MATLAB/Simulink. The simulation results show that the proposed method can reach the maximum power point in a short time and reduce the oscillation of the power at the maximum power point better than the perturbation and observation methods.

**Keywords:** The Maximum Power Point Tracking PV Systems , P&O , Fuzzy Logic Methods

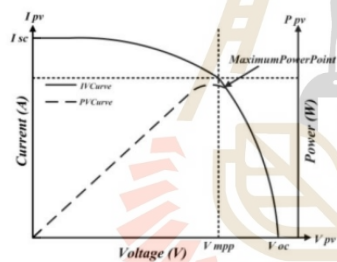
1. บทนำ

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้ปัจจุบันพลังงานทดแทนมีบทบาทมากขึ้น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าใช้หลักการของโฟโตโวลเทก (Photovoltaic Effect) โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ในการแปลงพลังงาน แลมีข้อเสียคือใช้ต้นทุนการผลิตและติดตั้งสูง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปจะให้ค่ากำลังเอาต์พุตตามที่โหลดต้องการเท่านั้นจึงไม่สามารถดึงพลังงานสูงสุดที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (Maximum Power Point : MPP) มาใช้งานได้ ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point tracking : MPPT) เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในบทความนี้จึงนำเสนอวิธีฟuzzyที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตเนื่องจากวิธีการรบกวนและการสังเกตโดยทั่วไปจะมีการแกว่งของค่าวัฏจักรหน้าที่และค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ทำให้ไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงอาศัยวิธีฟuzzyลอจิกเข้ามาใช้งานร่วมด้วยเพื่อนำมาช่วยลดการแกว่งของค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ภายได้ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลานั้น ๆ ดังนั้นในบทความนี้จึงนำวิธีฟuzzyลอจิกเข้ามาใช้งานร่วมกับวิธีการรบกวนและการสังเกต ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่มีฟuzzyลอจิกนั้น สามารถลดการแกว่งของค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวและมีสมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าวิธีการรบกวนและการสังเกตโดยทั่วไป

**2. หลักการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)**

การติดตั้งงานที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ ที่ความเข้มแสงในสภาวะต่าง ๆ มาใช้งานจะอาศัยการทำงานของวิธีพีซีซี ที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและได้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุด จากงานวิจัยในอดีตถึงปัจจุบันพบว่า วิธีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่ใช้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายวิธี อาทิ วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method: P&O) [1] วิธีเชิงปัญญาประดิษฐ์ อาทิ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีพีซีซี ลอจิก [2] เป็นต้น ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีพีซีซีที่อิงวิธีการรบกวน และการสังเกต

ลักษณะเฉพาะของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อกระแสที่จ่ายได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าอุณหภูมิ และปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่สามารถสร้างกราฟลักษณะเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ตามรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $P_{max}$ )

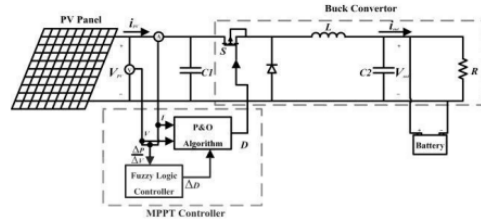


รูปที่ 1 ลักษณะเฉพาะของกระแส แรงดัน และกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 1 กราฟลักษณะเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่เป็นเชิงเส้น โดยปกติค่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับโหลดทำให้ไม่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ แต่สามารถเลือกจุดทำงานให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mpp}$ ) จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

**3. ระบบที่พิจารณา**

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยวิธีพีซีซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตแสดงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand-alone system) ระบบตามรอยกำลังสูงสุดโดยวิธีพีซีซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต วิธีดังกล่าวจะนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงพันแบบบัก (buck converter) เพื่อหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และโหมดเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง



รูปที่ 2 ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยวิธีพีซีซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต

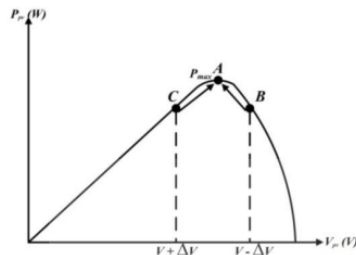
การตามรอยจุดกำลังสูงสุดโดยวิธีพีซีซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต หลักการนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์คือขั้นตอนของการรบกวน หลังจากนั้นจะวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการรบกวนโดยใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหากำลังไฟฟ้าแล้วเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ภายในเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงกฎจักรหน้าทีของวงจรแปลงพันแบบบักเพื่อให้จุดการทำงานเข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงขณะนั้นมากที่สุด จึงนำไปสู่การใช้วิธีพีซีซีลอจิกเข้ามากำหนดค่าอัตราการผลิตแปลงกฎจักรหน้าทีโดยเมื่อค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ( $\Delta P/\Delta V$ ) มีค่ามากหมายความว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ให้ทำการปรับค่าอัตราการผลิตแปลงกฎจักรหน้าทีให้มีขนาดกว้าง ในทางกลับกันเมื่อค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยหมายความว่าจุดการทำงานอยู่ใกล้จากจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ให้ทำการปรับค่าอัตราการผลิตแปลงกฎจักรหน้าทีให้มีขนาดเล็ก เพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงพันแบบบัก เป็นดังสมการที่ (1)

$$V_o = DV_{pv} \tag{1}$$

เมื่อต้องการให้แรงดันอินพุตของระบบมีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด  $V_{pv} = V_{mpp}$  และเอาต์พุตของระบบคือแบตเตอรี่ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต  $V_o = V_{bat}$  จากสมการที่ (1) จะได้ว่า

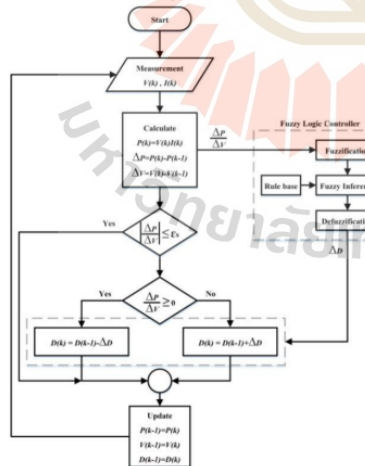
$$V_{pv} = \frac{V_{bat}}{D} \tag{2}$$

PE-10



รูปที่ 3 แผนภาพการควบคุมจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและการสังเกต

รูปที่ 3 เป็นกราฟลักษณะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) จากรูปที่ 3 โดอะแกรมการควบคุมจุดกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต จากกราฟเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุด B ไปยังจุด A จะทำให้ผลต่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์  $\Delta P$  มีค่าเพิ่มขึ้น  $+\Delta P$  และผลต่างของแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์  $\Delta V$  มีค่าลดลง  $-\Delta V$  ดังนั้นจะได้  $(\Delta P/\Delta V) \leq 0$  เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องทำการลดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ จากสมการที่ (2) ถ้าแรงดันเบตเตอร์มีค่าคงที่และต้องการลดแรงดันคือปรับค่าวัฏจักรหน้าที่ (D) เพิ่มขึ้น  $D + \Delta D$  และพิจารณาการเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุด C ไปยังจุด A จะได้ค่าผลต่างของแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น  $+\Delta V$  ดังนั้นค่า  $(\Delta P/\Delta V) \geq 0$  และเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องทำการเพิ่มแรงดัน โดยปรับค่าวัฏจักรหน้าที่ลดลง  $D - \Delta D$  สุดท้ายจะได้ฟังก์ชันโดอะแกรมการควบคุมจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตดังรูปที่ 4

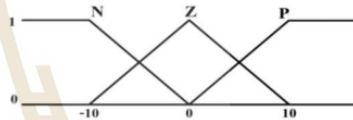


รูปที่ 4 แผนภาพการควบคุมการรบกวนจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกต

4. การควบคุมฟัซซี

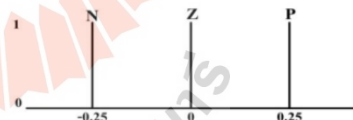
จากรูปที่ 2 แสดงการควบคุมฟัซซีที่ออกแบบสำหรับการควบคุมจุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ประกอบด้วยอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่รับเข้ามาในระบบ จากนั้นทำการออกแบบตัวแปรทางภาษาของอินพุต ได้แก่ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีกำหนดเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ )

กระบวนการ Fuzzification หรือการกำหนดค่าฟังก์ชันเซตรวมถึงการกำหนดค่าตัวแปรทางภาษาสำหรับการควบคุมจุดกำลังสูงสุด มีค่าตัวแปรภาษา 1 ตัว ได้แก่ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 โดยมีตัวแปรทางภาษาสำหรับแต่ละฟัซซีเซตแทนด้วย N (Negative), Z (Zero) และ P (Positive)



รูปที่ 5 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต ( $\Delta P/\Delta V$ )

ในส่วนเอาต์พุตคือการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ แสดงดังรูปที่ 6 กำหนดค่าเชิงภาษาในรูปแบบเส้นตรงโตน 3 เส้น ได้แก่ N, Z และ P ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่จะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนให้ค่าวัฏจักรหน้าที่ค่าใหม่เพื่อส่งการให้ตัวควบคุมฟัซซีทำการเพิ่มหรือลดเพื่อให้ได้จุดกำลังสูงสุดและลดการแกว่งของค่าวัฏจักรหน้าที่และกำลังไฟฟ้าในช่วงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 6 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต ( $\Delta D$ )

กฎฟัซซี คือเงื่อนไขที่ใช้ตัดสินใจของการควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งอาศัยการพิจารณาพฤติกรรมของวงจร โดยรูปแบบของกฎจะอยู่ในรูปของ IF-THEN ดังนั้นระบบการควบคุมจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยใช้วิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตได้ออกแบบจำนวนกฎของฟัซซีจำนวน 3 กฎ ซึ่งกฎฟัซซีทั้ง 3 กฎนี้ถูกออกแบบมาสำหรับคำนวณค่าเอาต์พุต ( $\Delta D$ ) มีรายละเอียดดังนี้

กฎฟัซซีของการควบคุมฟัซซีสำหรับควบคุมค่าเอาต์พุต  $\Delta D$

กฎข้อที่ 1 IF  $(\Delta P/\Delta V) = N$  THEN  $\Delta D = P$

กฎข้อที่ 2 IF  $(\Delta P/\Delta V) = Z$  THEN  $\Delta D = Z$

กฎข้อที่ 3 IF  $(\Delta P/\Delta V) = P$  THEN  $\Delta D = N$

การอนุมานและการรวมกฎ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริง การเลือกใช้กฎและรวมกฎสำหรับการควบคุมกำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยวิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรวมกฎและการสังเกตจะใช้การอนุมานแบบ Sugeno

กระบวนการสุดท้าย คือ Defuzzification เป็นส่วนของการแปลงเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกฎที่อยู่ในรูปแบบค่าเชิงภาษาให้เป็นรูปแบบค่าเชิงตัวเลข สามารถใช้จากสมการที่ (3) ในการหาค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังจักรหน้าที่ของตัวควบคุมฟัซซี ส่งผลให้ได้กำลังจักรหน้าที่ของตัวควบคุมฟัซซีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้จุดกำลังสูงสุดและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในช่วงสภาวะอยู่ตัว

$$\Delta D_n = \frac{\sum x_n y_n}{\sum x_n} \quad (3)$$

เมื่อ  $\Delta D_n$  คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังจักรหน้าที่ของตัวควบคุมฟัซซีที่ตำแหน่ง  $n$

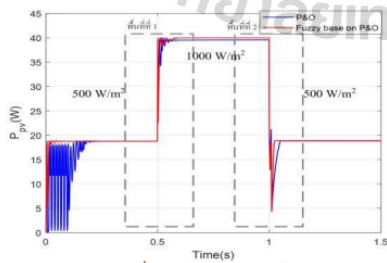
$x_n$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเอาต์พุต

$y_n$  คือ เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ

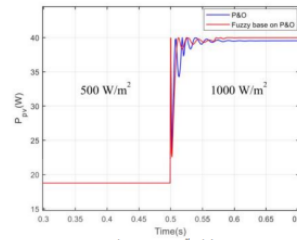
**5. ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์**

การจำลองสถานการณ์ในบทความนี้อาศัยโปรแกรม MATLAB ได้ดังรูปที่ 7 โดยจะแสดงการทำงานของวงจร 2 ช่วง โดยรูปที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจาก 500 W/m<sup>2</sup> ไปเป็น 1000 W/m<sup>2</sup> และรูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจาก 1000 W/m<sup>2</sup> ไปเป็น 500 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ

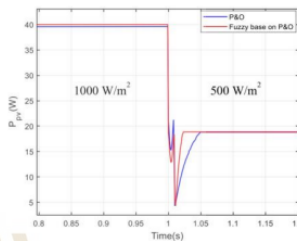
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Panel) ที่พิจารณาที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง 1000 W/m<sup>2</sup> และอุณหภูมิ 25 °C
- แรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) = 43.125 V , กระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) = 1.1 A
- แรงดันที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mpp}$ ) = 38.8 V
- กำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P_{mpp}$ ) = 40 W
- วงจรแปลงผันแบบบัสก์ ; ความถี่ในการสวิตช์ ( $f_{sw}$ ) = 10 kHz
- แรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) = 42 V ; ตัวเก็บประจุ(Capacitor)  $C_f$  = 100 uF
- $C_i$  = 2200 uF ; ความเหนี่ยวนำ (Inductance) = 10 mH



รูปที่ 7 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 8 ภาพขยายพื้นที่ที่ 1



รูปที่ 9 ภาพขยายพื้นที่ที่ 2

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 คือกราฟกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงที่เวลา  $t = 0.5$  วินาที และที่  $t = 1$  วินาที ช่วงแรกกำลังไฟฟ้าจะแกว่งไม่คงที่เนื่องจากอัลกอริทึมที่ทำงานและหาค่าวัฏจักรหน้าที่ที่เหมาะสม เพื่อจะทำให้แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด โดยกราฟกำลังไฟฟ้าของวิธีการรวมกฎและการสังเกต (เส้นสีน้ำเงิน) จะเกิดการแกว่งก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวและเมื่อเทียบกับวิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรวมกฎและการสังเกต (เส้นสีแดง) จะสังเกตว่ากราฟมีการแกว่งก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวน้อยกว่าวิธีการรวมกฎและการสังเกตรวมถึงเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้เร็วกว่าและสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงในขณะนั้นได้

**6. สรุป**

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟัซซีที่อิงวิธีการรวมกฎและการสังเกตสามารถช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดก่อนเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้ และสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปได้ดีกว่าวิธีการรวมกฎและการสังเกตอย่างมีประสิทธิภาพ

**7. เอกสารอ้างอิง**

[1] ปทุมพร วงศ์ใหญ่ กองพันธ์ อริวัณท์ และกองพล อริวัณท์, “ระบบตามรอยกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยวิธีการรวมกฎและการสังเกตที่มีกรปรับตัว,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38, อุตรดิตถ์, 18-20 พฤศจิกายน 2558.

[2] Savita Baraskar, Sachin Kumar Jain, and Prabim K. Padhy “Fuzzy logic assisted P&O based improved MPPT for photovoltaic systems,” in Proc. ICETEES-16, March 2016.

PE-10





ที่ อว 0604.8.1.3/1948

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
เลขที่ 85 ถ.สถลมารค  
ต.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ  
จ.อุบลราชธานี 34190

12 ตุลาคม 2566

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

เรียน คุณกองพัน อารีรักษ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง “การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟิสิกส์ลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัสระ” โดยมีผู้เขียนร่วมคือ อธิษฐ์ รุ่งเจริญ(ชื่อแรก), โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, จักรกริช ภักดีโต, กองพล อารีรักษ์ เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม ตามความทราบนั้น บัดนี้ บทความดังกล่าวของท่าน ได้ผ่านการประเมินจากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 คน จากหลากหลายสถาบัน ตามแนวทางของประกาศ ก.พ.อ. และกองบรรณาธิการ ได้พิจารณาเห็นชอบในการนำบทความของท่าน เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรมปีที่ 17 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนเมษายน - มิถุนายน 2567 ประเภท บทความวิจัย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ท่านจะให้ความสนใจในการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)  
บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

สำนักงานกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม  
โทร. 045 -353319 อีเมลอิเล็กทรอนิกส์ : engj\_assistant@ubu.ac.th



บทความวิจัย

## การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟuzzyลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

### Maximum power point tracking of stand-alone photovoltaic system using Fuzzy Logic based on P&O method

อธิษฐ์ รุ่งเจริญ<sup>1</sup> โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง<sup>2</sup> จักรกริช ภัคดีโต<sup>3</sup> กองพัน อารีรักษ์<sup>1\*</sup> กองพล อารีรักษ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

<sup>3</sup> ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

Athit Rungjaroen<sup>1</sup> Koson Chaicharoenadomrung<sup>2</sup> Jakkrit Pakdeeto<sup>3</sup> Kongpan Areerak<sup>1\*</sup> Kongpol Areerak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Electrical Engineering, Instituted of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

<sup>2</sup> Department of Electrical Engineering Technology, College of Industrial Technology, KMUTNB, Bangkok 10800

<sup>3</sup> Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, KMUTNB, Bangkok 10800

\* Corresponding author.

E-mail: kongpan@sut.ac.th; Telephone: 0 4422 4520

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบที่พิจารณาประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับวงจรแปลงผันแบบบักกิ้งและใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งเก็บพลังงาน ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยทั่วไปจะใช้วิธีการรบกวนและสังเกตเนื่องจากมีการควบคุมที่ง่าย ประสิทธิภาพของวิธีการรบกวนและสังเกตขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณควบคุม โดยใช้อัตราค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ) เป็นสัญญาณควบคุมฟuzzyลอจิกสามารถนำมาใช้งานกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ซึ่งทำให้มีการนำไปใช้ได้กับระบบหลายระบบ ในบทความนี้อาศัยฟuzzyลอจิกกำหนดค่า  $\Delta D$  ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม วิธีการที่นำเสนอจะยืนยันประสิทธิภาพโดยใช้ Simulink ในโปรแกรม MATLAB การทดสอบในห้องปฏิบัติการและชุดต้นแบบขนาด 2.4 kW ที่นำไปใช้กับโรงเรือนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการจำลองและผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเข้าสู่จุดกำลังสูงสุดได้เร็วกว่าและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกต

#### คำสำคัญ

การตามรอยจุดกำลังสูงสุด ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีการรบกวนและสังเกต วิธีฟuzzyลอจิก

#### Abstract

This paper presents a maximum power point tracking (MPPT) for stand-alone photovoltaic (PV) system. The considered system consists of a PV panel connected to a buck converter and a battery used as energy storage. The MPPT commonly used perturb and observe (P&O) method because the control is simple. The efficiency of the P&O MPPT method depends on the appropriate step size of control signal. The duty cycle rate of change ( $\Delta D$ ) was used as a step size of control signal. Fuzzy logic control (FLC) can be used for non-linear tasks, resulting in a wide variety of applications. In this paper, FLC is used to determine the  $\Delta D$  to optimize to increase the control efficiency. The proposed MPPT method performance is proven by using MATLAB/Simulink, Laboratory prototype and 2.4kW prototype applied to water distribution control house of the university farm, Suranaree University of Technology. The simulation and experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed MPPT method. The proposed algorithm can

provide the faster maximum power convergence and can reduce steady-state power fluctuations better than those of P&O method.

**Keywords**

Maximum power point tracking; PV system; Perturb and Observe method; Fuzzy logic method

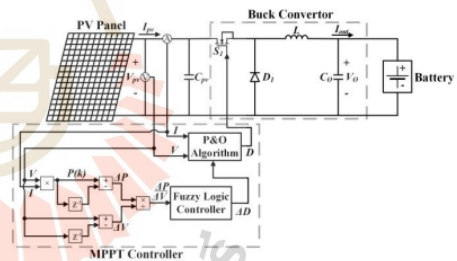
**1. คำนำ**

พลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่มีความนิยมและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งพลังงานทดแทนที่ผู้คนให้ความสนใจและนิยมนำมาใช้ เพราะเป็นพลังงานทดแทนที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ สภาพแวดล้อมนั้น ๆ ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานสูงสุดได้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ วิธีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายวิธีสามารถศึกษาได้จาก [1] วิธีที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือวิธีการรบกวนและสังเกต [2-13] เนื่องจากวิธีนี้มีอัลกอริทึมที่ง่ายต่อการนำมาใช้งาน วิธีการเพิ่มค่าความนำ [7-10] และยังมีวิธีเชิงปัญญาประดิษฐ์ อาทิ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network : ANN) วิธีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Control : FLC) [8,10,11,13-16] วิธีทางปัญญาประดิษฐ์จะมีข้อดีในการควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีและมีผลการตอบสนองที่รวดเร็ว แต่วิธีเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาระบบหรือข้อมูลในการฝึกสอนที่เพียงพอระบบจึงจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดี ดังนั้น ในบทความนี้จึงนำเสนอวิธีฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกต[10,13] โดยวิธีการรบกวนและสังเกตโดยทั่วไปจะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัว ภายใต้ความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะแวดล้อมนั้น ๆ ทำให้ไม่สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้อง จึงต้องนำวิธีฟัซซีลอจิกเข้ามาใช้งานร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตเพื่อช่วยให้เข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วขึ้นและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัว จากผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าวิธีฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตสามารถลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะอยู่ตัวและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบให้ดียิ่งขึ้น โดยจะทำการยืนยันผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ของวิธีดังกล่าวจากชุดอุปกรณ์

ทดสอบที่สร้างขึ้นมาทั้งหมด 2 ชุด ชุดแรกจะเป็นชุดที่ใช้ทดสอบกับแผงโซลาเซลล์ขนาด 40 W ในห้องปฏิบัติการและชุดที่สองเป็นชุดที่ใช้ทดสอบกับแผงโซลาเซลล์ขนาด 2,400 W ที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**2. ระบบที่พิจารณา**

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand-alone system) ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกต วิธีดังกล่าวนำมาใช้กับวงจรแปลงผันแบบบัก (buck converter) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงขณะนั้น และมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งจากกำลังไฟฟ้าสำรอง



รูปที่ 1 ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตซึ่งในที่นี้คือแรงดันแผง PV ( $V_{pv}$ ) และเอาต์พุต ( $V_o$ ) ของวงจรแปลงผันแบบบัก เป็นดังสมการที่ (1)

$$V_o = DV_{pv} \tag{1}$$

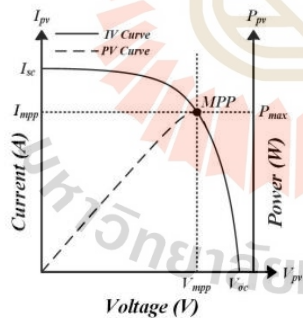
เมื่อ  $D$  คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่



จากสมการที่ (1) พิจารณาให้แรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับแรงดันแบตเตอรี่  $V_o = V_{max}$  สามารถกำหนดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ให้เท่ากับแรงดันที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด  $V_{pv} = V_{mpp}$  โดยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ของวงจรแปลงผันแบบบัสค์

**2.1 หลักการควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (MPPT)**

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปต้องอาศัยระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในสภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ สภาวะนั้น ๆ ซึ่งการควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดนั้นมีด้วยกันอยู่หลายวิธี อาทิ วิธีการหาค่าความนำ (Incremental conductance : Inc Con) วิธีการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation Method: P&O) วิธีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Control : FLC) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเฉพาะของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า เมื่อปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้กระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิมีค่าคงที่สามารถสร้างกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามรูปที่ 2

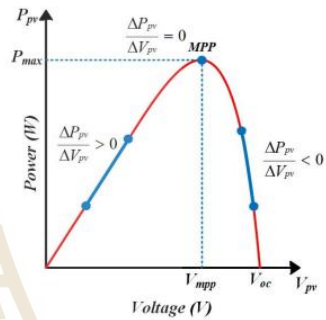


รูปที่ 2 กราฟลักษณะเฉพาะของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2 กราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เป็นเชิงเส้น ค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ไม่สามารถดึง

กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ดังนั้นการนำระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดมาใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{mpp}$ ) เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ณ สภาวะแวดล้อมนั้น ๆ

กราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) แสดงดังรูปที่ 3



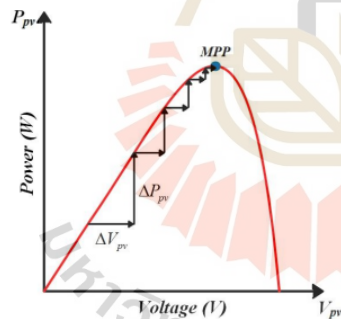
รูปที่ 3 กราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve)

จากรูปที่ 3 สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและอธิบายจุดการทำงานได้ดังสมการที่ (2)

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} > 0 & \text{ Left of MPP} \\ \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} = 0 & \text{ at MPP} \\ \Delta P_{pv} / \Delta V_{pv} < 0 & \text{ Right of MPP} \end{aligned} \right\} (2)$$

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ วิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และจะวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แล้วนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนหน้าเพื่อ

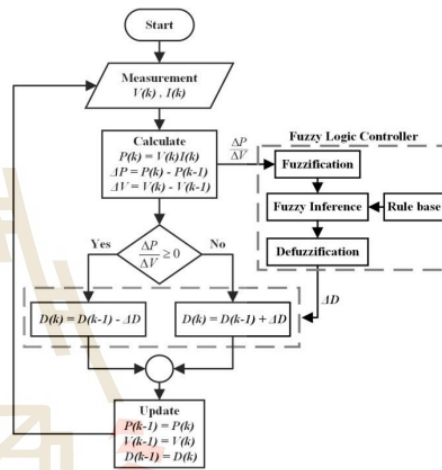
พิจารณาการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ เพื่อให้จุดการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น ๆ ดังนั้นจึงนำฟuzzyลอจิกเข้ามาช่วยในการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่  $\Delta D$  โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ( $\Delta P / \Delta V$ ) ถ้า  $\Delta P / \Delta V$  มีค่าห่างจากศูนย์มากแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดมาก จึงกำหนดให้การปรับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มีขนาดกว้าง และถ้า  $\Delta P / \Delta V$  มีค่าห่างจากศูนย์น้อยหรือเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดน้อย จึงกำหนดให้การปรับค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มีขนาดเล็กเพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในสภาวะอยู่ตัว โดยแสดงการเปลี่ยนจุดการทำงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การควบคุมของอัลกอริทึมจะเริ่มจากการวัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อพิจารณาจุดการทำงานของอัลกอริทึมตามรูปที่ 3 และจะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันอิงจากสมการที่ (1) โดยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ เมื่อจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุด MPP ฟuzzyลอจิกจะทำการปรับ  $\Delta D$  ให้มีขนาดกว้างซึ่งจะ

ส่งผลให้แรงดัน  $V_{pv}$  มีการเปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อจุดการทำงานเข้าใกล้จุด MPP จะทำการปรับ  $\Delta D$  ให้มีขนาดน้อยจนเข้าสู่จุด MPP รูปที่ 5 แสดงแผนผังการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟuzzyลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ



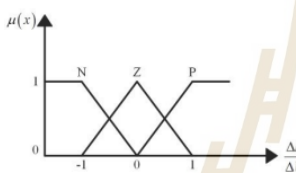
รูปที่ 5 แผนภาพอัลกอริทึมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีที่นำเสนอ

2.2 การควบคุมฟuzzy

จากรูปที่ 1 การควบคุมฟuzzyที่ออกแบบสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยฟuzzyลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ อินพุตของระบบคือค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า เอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyคือค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $\Delta D$ ) กระบวนการของฟuzzyลอจิกจะแบ่งออกเป็นดังนี้

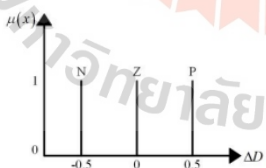
กระบวนการ Fuzzification หรือการกำหนดค่าฟังก์ชันเซตรวมถึงการกำหนดค่าตัวแปรทางภาษาสำหรับการตามรอยจุดกำลังสูงสุด มีค่าตัวแปรภาษา 1 ตัวคือ ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า โดย

กำหนดฟังก์ชันสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องจากฟังก์ชันสมาชิกในรูปแบบดังกล่าวเป็นฟังก์ชันสมาชิกที่ให้ผลตอบสนองได้ดีกว่าฟังก์ชันสมาชิกในรูปแบบอื่น ๆ เมื่อนำมาใช้ในระบบที่พิจารณา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6 มีตัวแปรทางภาษาสำหรับแต่ละฟัซซีเซตแทนด้วย N (Negative) , Z (Zero) และ P (Positive) เพื่อให้การควบคุมฟัซซีนี้สามารถนำไปใช้กับระบบอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้เป็น general เพื่อที่จะไม่ต้องทำการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันสมาชิกเมื่อนำไปใช้งานกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 6 ฟังก์ชันสมาชิกอินพุต

เอาต์พุตคือการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่กำหนดค่าเชิงภาษาเป็นรูปแบบเส้นตรงทอน 3 เส้น ได้แก่ N,Z,P โดยจะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ และส่งการให้ตัวควบคุมฟัซซีทำการเพิ่มหรือลดค่าวัฏจักรหน้าที่ เพื่อให้ได้จุดกำลังไฟที่สูงสุดและลดการแกว่งของกำลังไฟในสภาวะอยู่ตัว ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตของฟัซซีแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

กฎฟัซซี เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดสินใจการทำงานของ การควบคุมฟัซซี โดยพิจารณาจากการทำงานของวงจร รูปแบบกฎจะใช้รูปแบบ IF-THEN ดังนั้นการตามรอยจุดกำลัง

สูงสุดด้วยฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้ออกแบบกฎการทำงาน ของระบบไว้ 3 กฎ เพื่อคำนวณค่าเอาต์พุต (ΔD) ดังนี้

กฎฟัซซีของการควบคุมฟัซซีสำหรับควบคุมค่าเอาต์พุต ΔD

กฎข้อที่ 1 IF (ΔP/ΔV) = N THEN ΔD = P

กฎข้อที่ 2 IF (ΔP/ΔV) = Z THEN ΔD = Z

กฎข้อที่ 3 IF (ΔP/ΔV) = P THEN ΔD = N

การอนุมานและการรวมกฎคือการตรวจสอบข้อเท็จจริง การใช้กฎและการรวมกฎของการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วย ฟัซซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระใช้การอนุมานแบบ Sugeno

กระบวนการ Defuzzification เป็นกระบวนการสุดท้าย ในการแปลงเอาต์พุตที่ได้จากการรวมกฎในรูปแบบค่าเชิงภาษา ให้เป็นค่าเชิงตัวเลข โดยใช้สมการที่ (3) การควบคุมฟัซซีจะหา ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่เพื่อให้ได้ค่าวัฏจักรหน้าที่ที่ เหมาะสมของระบบทำให้ระบบสามารถทำงานที่จุดกำลังไฟที่ สูงสุดและลดการแกว่งของกำลังไฟในสภาวะอยู่ตัว

$$\Delta D_s = \frac{\sum x_n y_n}{\sum x_n} \quad (3)$$

เมื่อ  $\Delta D_s$  คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของตัวควบคุม ฟัซซีที่ตำแหน่ง  $n$

$x_n$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเอาต์พุต

$y_n$  คือ เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ

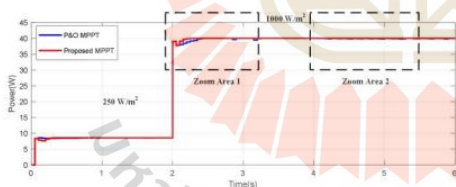
### 3. ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์และผลการ ทดสอบชุดอุปกรณ์

ผลการจำลองสถานการณ์ในบทความอาศัยโปรแกรม MATLAB การจำลองสถานการณ์จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2400 W โดยระบบแรกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W ตารางที่ 1 จะแสดงค่าพารามิเตอร์ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W

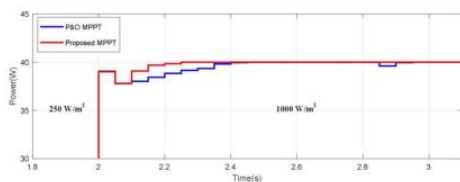
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W

พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าพารามิเตอร์
$P_{max}$	40 W
$V_{mpp}$	38.73 V
$I_{mpp}$	1.033 A
$V_{oc}$	43.125 V
$I_{sc}$	1.1 A

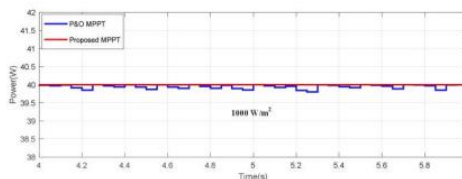
รูปที่ 8 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง รูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนความเข้มแสงจาก 250 W/m<sup>2</sup> ไปเป็น 1000 W/m<sup>2</sup> ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 2 และรูปที่ 10 แสดงสภาวะอยู่ตัวของกำลังไฟฟ้าในระบบที่ความเข้มแสง 1,000 W/m<sup>2</sup> ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระด้วยวิธีที่นำเสนอ (เส้นสีแดง) จะมีการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้เร็วกว่าและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการรบกวนและสังเกต (เส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 8 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 40 W

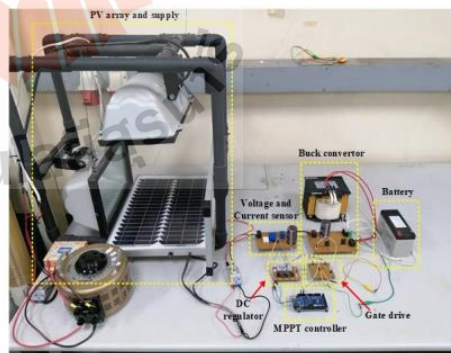


รูปที่ 9 ภาพขยายพื้นที่ 1 ของรูปที่ 8



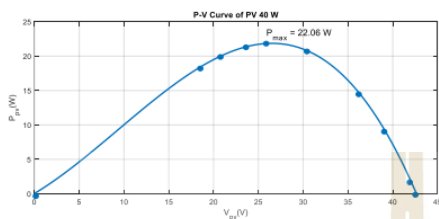
รูปที่ 10 ภาพขยายพื้นที่ 2 ของรูปที่ 8

การยืนยันผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์จะอาศัยชุดทดสอบต้นแบบขนาดพิกัด 40 W ซึ่งประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพิกัด 40 W, แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์จำลองด้วยไฟสปอร์ตไลท์, Buck converter, Voltage and Current sensor, DC regulator, Gate drive, MPPT controller (Arduino board), and Battery โดยทำการทดลองที่ความเข้มแสงจำลอง 1,000 W/m<sup>2</sup> ในห้องปฏิบัติการภาพรวมชุดทดสอบแสดงในรูปที่ 11 ผลการทดสอบ P-V Curve แสดงในรูปที่ 12 จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 22.06 W โดยจะใช้ข้อมูลนี้เป็นค่าอ้างอิงของจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลการทดสอบต้นแบบแสดงในรูปที่ 13 จากรูปแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอ (เส้นสีแดง) มีการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้เร็วกว่าวิธี P&O (เส้นสีน้ำเงิน) รวมถึงสามารถช่วยในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะอยู่ตัว และสามารถทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

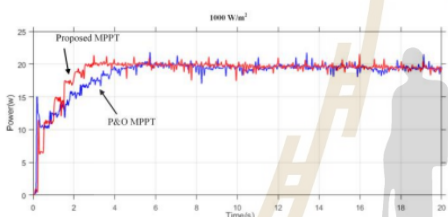


รูปที่ 11 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระขนาด 40 W





รูปที่ 12 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 W



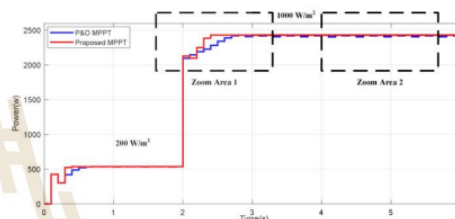
รูปที่ 13 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ของแผงโซลาเซลล์ขนาด 40 W

ระบบที่ 2 เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2,400 W โดยระบบที่ 2 จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W จำนวน 8 แผงมาต่ออนุกรมกัน 4 แผง และนำมาต่อขนานกันทั้งหมด 2 ชุด รวมกันได้เป็นระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2,400 W ตารางที่ 2 จะแสดงค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W

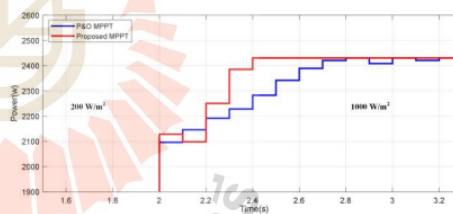
ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W

พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าพารามิเตอร์
$P_{max}$	300 W
$V_{mpp}$	37.5 V
$I_{mpp}$	8.25 A
$V_{oc}$	46.3 V
$I_{sc}$	8.87 A

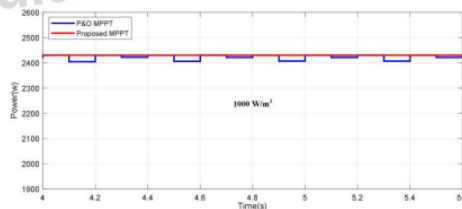
รูปที่ 14 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง รูปที่ 15 แสดงการเปลี่ยนความเข้มแสงจาก  $200 \text{ W/m}^2$  ไปเป็น  $1000 \text{ W/m}^2$  ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่วินาทีที่ 2 และรูปที่ 16 แสดงสถานะอยู่ตัวของกำลังไฟฟ้าในระบบที่ความเข้มแสง  $1,000 \text{ W/m}^2$  ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระด้วยวิธีที่นำเสนอ (เส้นสีแดง) จะเข้าสู่ภาวะอยู่ตัวได้เร็วกว่าและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ณ ภาวะอยู่ตัวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการควบคุมและสังเกต (เส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 14 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ของแผงโซลาเซลล์ขนาด 2,400 W



รูปที่ 15 ภาพขยายพื้นที่ 1 ของรูปที่ 14



รูปที่ 16 ภาพขยายพื้นที่ 2 ของรูปที่ 14

จากผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ที่สามารถยืนยันสมรรถนะการควบคุมของวิธีที่นำเสนอบนเบื้องต้นได้แล้ว จากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบต้นแบบขนาดพิกัด 2,400 W เพื่อนำไปทดสอบกับระบบแผงโซลาเซลล์ที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในรูปที่ 17 แสดงโรงเรียนควบคุมระบบจ่ายน้ำสำหรับแปลงเกษตรซึ่งมีแผงโซลาเซลล์ขนาด 2,400 W ชุดทดสอบต้นแบบ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 125 Ah จำนวน 8 ลูก ต่ออนุกรมกัน 4 ลูกและนำมาขนานกัน 2 ชุดมีค่าแรงดันเท่ากับ 48 V และตัวเหนี่ยวนำของวงจรแปลงผันแบบบับคัก แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 17 โรงเรียนควบคุมระบบจ่ายน้ำ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

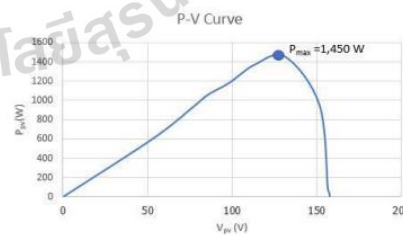


รูปที่ 18 ระบบการตามจุดกำลังสูงสุดของแผงโซลาเซลล์ขนาด 2,400 W ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัย



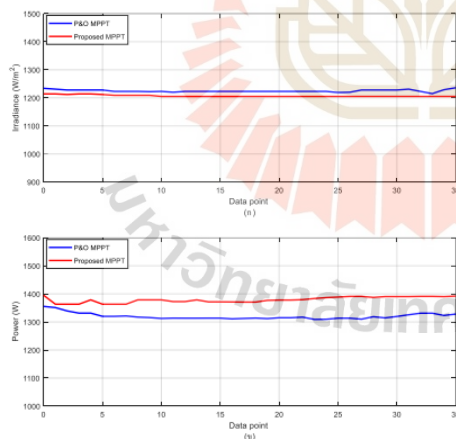
รูปที่ 19 ชุดทดสอบต้นแบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระขนาด 2,400 W

ภายในชุดทดสอบต้นแบบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้ Switch PV, Switch battery, Fuse, Buck convertor, Voltage and Current sensor, Gate drive, DC regulator, MPPT controller, Terminal block ซึ่งแสดงดังรูปที่ 19 โดยทำการทดลอง ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2565 เวลา 13.00 น. ถึงเวลา 15.00 น. ผลการทดสอบ P-V Curve ของแผงโซลาเซลล์ ค่าความเข้มแสงขณะทดสอบมีค่าเท่ากับ 1,232 W/m<sup>2</sup> ณ อุณหภูมิ 34°C ผลการทดสอบ P-V Curve แสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ฟาร์มมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 20 กราฟ P-V Curve แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1,450 W ณ ความเข้มแสง 1,232 W/m<sup>2</sup> ซึ่งค่าความเข้มแสงจะทำการวัดมาจากตัวเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงที่ได้ทำการติดตั้งอยู่ ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยและอ่านค่าผ่านชุดข้อมูลที่อยู่ในระบบคลาวด์ ผลการทดสอบที่ได้จากการควบคุม P&O กับวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกันแสดงในรูปที่ 21 ในรูปที่ 21 (ก) คือกราฟของค่าความเข้มแสงขณะทดสอบด้วยวิธี P&O (เส้นสีน้ำเงิน) และวิธีที่นำเสนอ (เส้นสีแดง) สังเกตได้ว่าค่าความเข้มแสงมีความใกล้เคียงกันในแต่ละจุด รูปที่ 21 (ข) คือค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาเซลล์ขณะทำการทดสอบของวิธี P&O (เส้นสีน้ำเงิน) และวิธีที่นำเสนอ (เส้นสีแดง) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงขณะทดสอบด้วยวิธีที่นำเสนอน้อยกว่าผลการทดสอบขณะทดสอบด้วยวิธี P&O อยู่เล็กน้อยในแต่ละจุดการทดสอบแต่กำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะมีค่ามากกว่าวิธี P&O ทุกจุดการทดสอบ ผลทดสอบชุดทดสอบต้นแบบแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากแผง PV ได้มากกว่าวิธี P&O



รูปที่ 21 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าชุดทดสอบต้นแบบของแผงโซลาเซลล์ขนาด 2,400 W

#### 4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยพีซีลอจิกร่วมกับวิธีการรบกวนและสังเกตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยได้นำเอาพีซีลอจิกเข้ามาช่วยในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะอยู่ตัวและการลู่เข้าสู่สภาวะอยู่ตัวให้เร็วขึ้น จากผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์และผลทดสอบชุดอุปกรณ์ของระบบแผงโซลาเซลล์ 40 W รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับชุดโซลาเซลล์ขนาด 2.4 kW ของฟาร์มมหาวิทยาลัย แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอสามารถช่วยในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะอยู่ตัวและมีการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้เร็วกว่าวิธี P&O การดำเนินงานวิจัยในอนาคตคาดว่าจะนำชุดทดสอบต้นแบบไปประยุกต์ใช้กับระบบแผงโซลาเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยที่อยู่ในการควบคุมดูแลของอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัยรวมถึงดำเนินการเก็บผลทดสอบจริงระบบ 2,400 W ให้มากขึ้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ประกอบการพัฒนาอัลกอริทึมระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดหรือฟังก์ชันสมาชิกของพีซีลอจิกเพื่อให้การตามรอยจุดกำลังสูงสุดมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกิตได้

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (SUT) และกลุ่มวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงานเครื่องจักรกล และการควบคุม (PEMC) ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย รวมทั้งสถานที่เครื่องมือต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Trishan Efram, Patrick L. Chapman "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" in IEEE Trans., Energy Conversion., Vol.22, No2, pp 439-449, July 2007
- [2] D. K. Sharma, G.Purohit, "Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power

- Point Tracking (MPPT) of a Solar Photo-Voltaic System” in IEEE, 2012
- [3] Ratil H Ashique, Zainal Salam, Jubaer Ahmed, “An Adaptive P&O MPPT Using a Sectionalized Piece-wise Linear P-V Curve” in IEEE, 2015
- [4] Maissa Farhat, Oscar Barambones, Lassaad Sbita “A Real-Time Implementation of MPPT-Based on P&O Method” in IEEE, 2016
- [5] HAYDER Wafa, ABID Aicha, BEN HAMED Mouna, “Steps of duty cycle effects in P&O MPPT algorithm for PV system” in IEEE, 2017
- [6] Murari Lal Azad, Soumya Das, Pradip Kumar Sadhu, Biplab Satpati, Anagh Gupta, P. Arvind “P&O algorithm based MPPT technique for solar PV System under different weather conditions” in ICCPCT, 2017
- [7] S. Uma Ramani, Sathish Kumar Kollimatta, B. Arundhati “Comparative Study of P&O and Incremental Conductance method for PV System” in ICCPCT, 2017
- [8] Aicha Djalab, Ali Teta, Mohamed Mounir Rezaoui, Mohamed Boudiaf, “Analysis of MPPT Methods: P & O, INC and Fuzzy Logic (CLF) for a PV System” in CEIT, 25-27 October 2018, Istanbul, Turkey
- [9] Kriti Jain, Prof. Manju Gupta, Dr. Aashish Kumar Bohre, “Implementation and Comparative Analysis of P&O and INC MPPT Method for PV System” in IEEE, 2018
- [10] Mohammed Zerouali, Salaheddine Zouirech, Abdelghani El Ougli, Belkassam Tidhaf, Hafida Zroui, “Improvement of Conventional MPPT Techniques P&O and INC by Integration of Fuzzy Logic” in IEEE, 2019
- [11] Dikshita Nath, Tilok Boruah, “P&O and Fuzzy based MPPT for PV System” in IEEE, 2020
- [12] Dr. szemes, Peter Tamas, Masoud Melhem, “Analyzing and modeling PV with “P&O” MPPT Algorithm by MATLAB/SIMULINK” in IEEE, 2020
- [13] Savita Baraskar, Sachin Kunmar Jain, and Prabim K.Padhy “Fuzzy logic assisted P&O based improved MPPT for photovoltaic systems,” in Proc. ICETESES – 16, March 2016
- [14] Bibhu Prasad Ganthia, Rosalin Pradhan, Sibani Das, Sibani Ganthia, “Analytical Study of MPPT based PV System using Fuzzy Logic Controller” in ICECDS, 2017
- [15] Dilovan Haji, Naci Genc, “Fuzzy and P&O Based MPPT Controllers under Different Conditions” in ICRERA, Paris, FRANCE, Oct. 14-17, 2018
- [16] Jaldeep Kumar, Jaldeep Kumar, Prakash Bahrani, “Fuzzy and P&O MPPT Techniques for Stabilized the Efficiency of Solar PV System” in GUCON, Greater Noida, UP, India. Sep 28-29, 2018

## ประวัติผู้เขียน

นายอิษฐ์ รุ่งเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 จบชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนเทศบาลวารินวิชาชาติ จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคเหนือ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อพ.ศ. 2562 และได้ทำการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับทุนการศึกษา “ทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก” ระหว่างที่ทำการศึกษาต่อในระดับปริญญาโทได้ทำหน้าที่เป็นผู้สอนปฏิบัติการทางไฟฟ้าของสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยผู้วิจัยมีความสนใจด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมอัตโนมัติและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

