

บทที่ 4

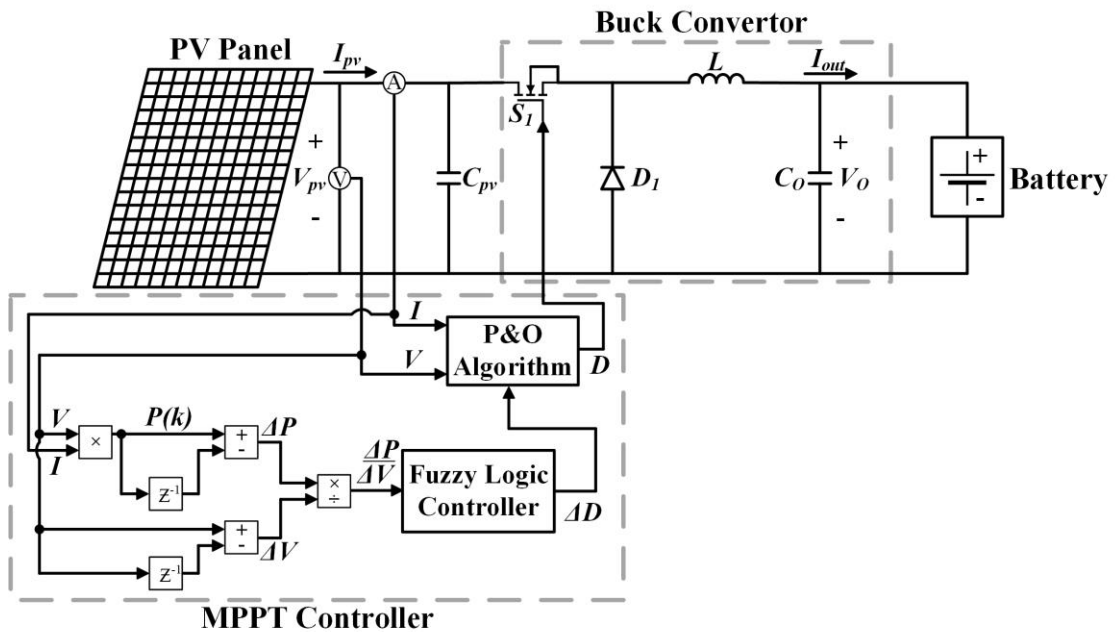
การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย หลักการ P&O-FLC

4.1 บทนำ

การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 จะอาศัยค่า ΔD ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง PV ซึ่งถ้าเลือกกำหนดค่า ΔD ไม่เหมาะสมจะทำให้ระบบทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของการทำงานการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกตร่วมกับตัวควบคุมฟัซซีซึ่งจะเรียกโดยย่อว่า P&O-FLC โดยนำตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Logic Controller : FLC) มาแก้ไขปัญหาในการเลือกกำหนดค่า ΔD ที่เหมาะสมกับระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O ซึ่งจะทำให้ผลตอบสนองของระบบมีความรวดเร็วในการเข้าสู่สภาวะคงตัวและลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว ในบทนี้จะอธิบายการทำงานของการทำงานการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี (ทศพร ณรงค์สิทธิ์, 2557; โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, 2561; ชวริย์ เลื่อนพั่งเทียม, 2560) ที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าที่พิจารณา การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB การเขียนโปรแกรมตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับใช้ในชุดอุปกรณ์ทดสอบ ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ด้วยหลักการ P&O กับหลักการ P&O ร่วมกับตัวควบคุมฟัซซี

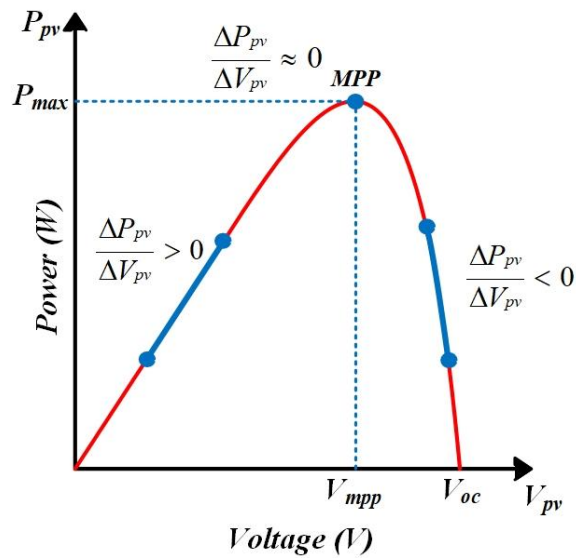
4.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC แสดงดังรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.1 ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะมีส่วนประกอบคล้ายกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O ในบทที่ 3 แต่จะแตกต่างกันตรงส่วนของ MPPT Controller ที่มีตัวควบคุมฟัซซีเข้ามาเพิ่มซึ่งตัวควบคุมฟัซซีจะนำมาออกแบบและทำการกำหนดค่า ΔD 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 ΔD เข้ามาเพิ่มเพื่อใช้ในการเพิ่มหรือลดค่า D ในการนำไปจ่ายให้แก่สวิตช์ของวงจรลดทอนแรงดันเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันของแผง PV โดยอธิบายการหาค่า ΔD ที่ได้จากตัวควบคุมฟัซซีรวมถึงการทำงานของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC โดยความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้อินพุตของตัวควบคุมฟัซซีคือค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า $\left(\frac{\Delta P}{\Delta V}\right)$ และเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีคือค่าการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ (ΔD) จากกราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) แสดงดังรูปที่ 4.2



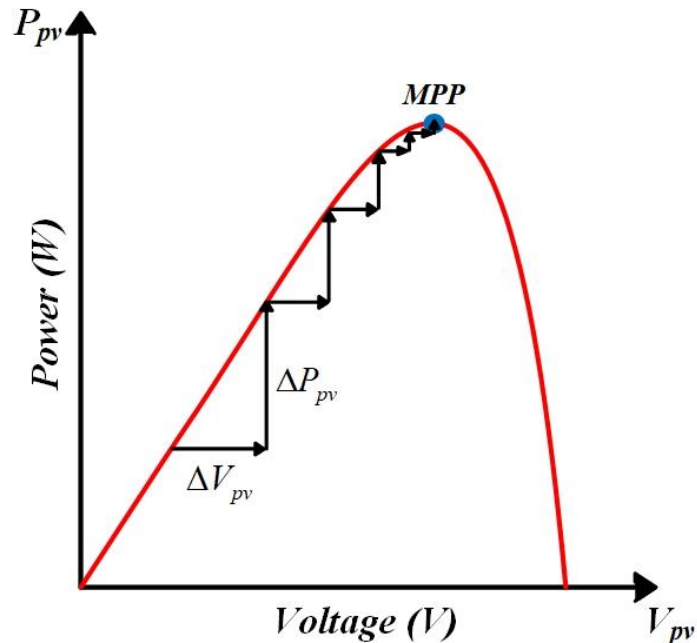
รูปที่ 4.2 กราฟลักษณะเฉพาะกำลังไฟฟ้าเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve)

จากกราฟสามารถปรับเปลี่ยนแรงดันแผง PV ให้ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้โดยจะอธิบายการทำงานได้ดังสมการที่ (4-1)

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

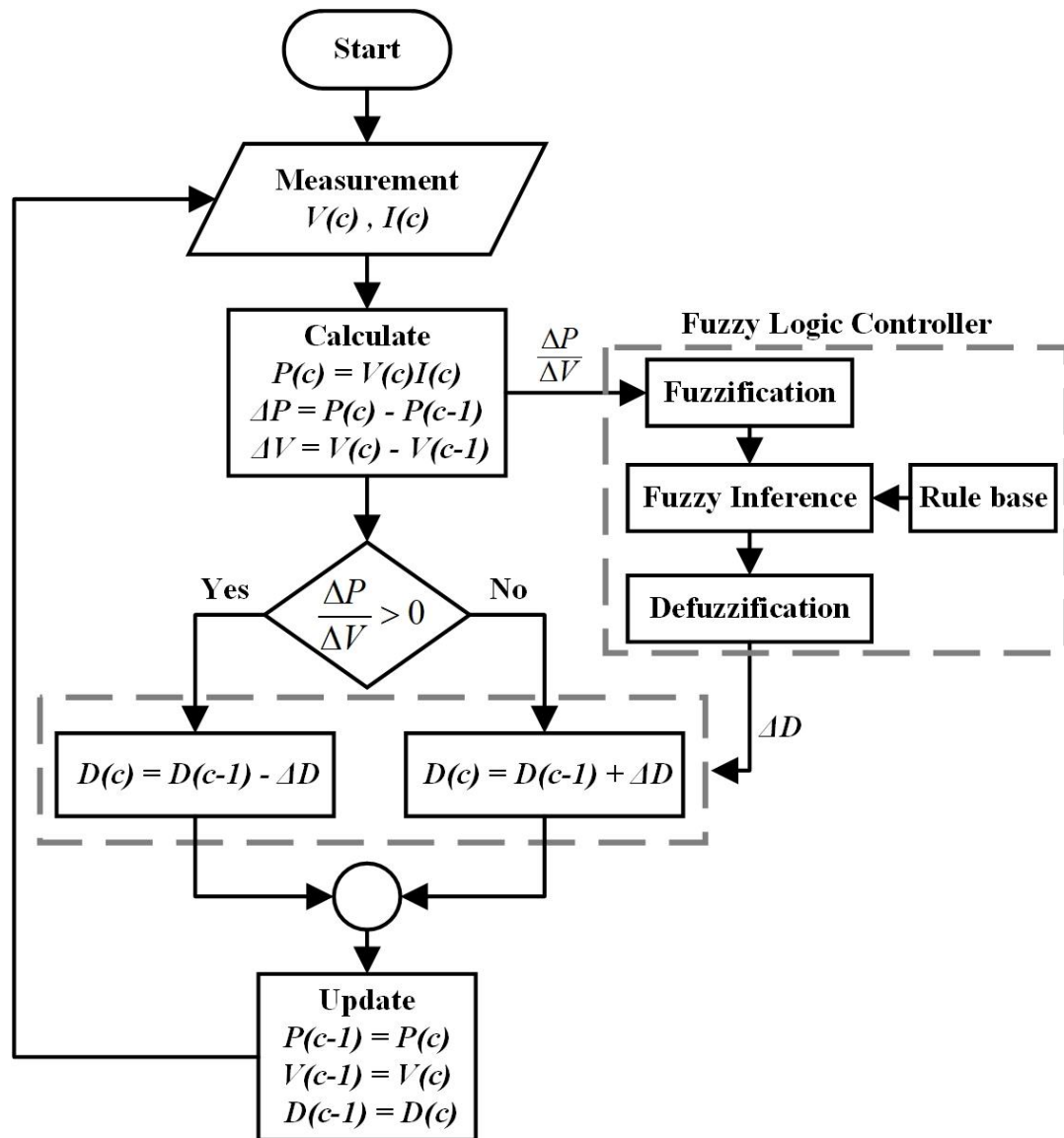
ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC วิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลา โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าของแผง PV และจะวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แล้วนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของแผง PV ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลาก่อนหน้าเพื่อพิจารณาการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของแผง PV โดยการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของแผง PV จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่า D ของวงจรถอดทอนแรงดัน เพื่อให้จุดการทำงานของแผง PV เข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น ๆ ดังนั้นจึงนำพีชชีลอจิกเข้ามาช่วยกำหนดค่า ΔD 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 ΔD ให้มีขนาดกว้างซึ่งจะส่งผลให้แรงดัน V_{pv} มีการเปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อจุดการทำงานเข้าใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะทำการปรับ ΔD ให้มีขนาดน้อย จะส่งผลให้แรงดัน V_{pv} มีการเปลี่ยนแปลงน้อย จนเข้าสู่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด แผนผังการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC แสดงดังรูปที่ 4.4



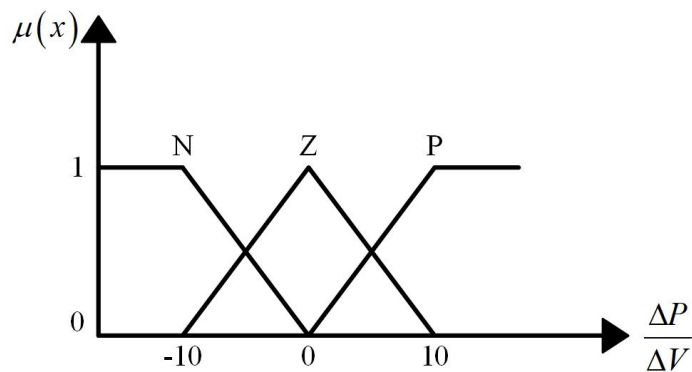
รูปที่ 4.4 แผนผังการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

4.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

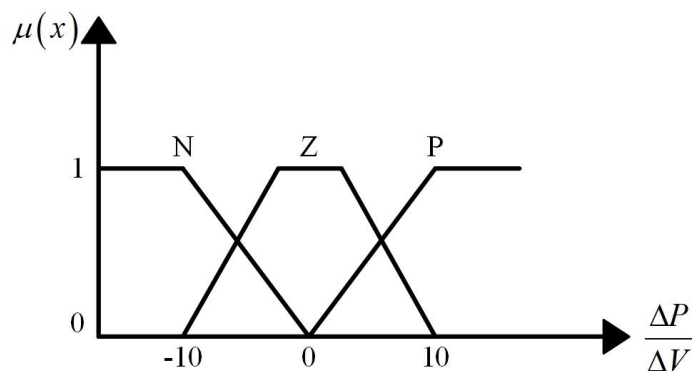
ตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะประกอบไปด้วย การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก การออกแบบค่าตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา การออกแบบกฎของฟัซซี การอนุมานและการรวมกฎฟัซซี และการทำ Defuzzification ซึ่งการออกแบบในโครงสร้างต่าง ๆ ต้องเหมาะสมกับระบบที่นำไปใช้งาน ซึ่งอธิบายรายละเอียดของการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีได้ดังนี้

4.3.1 การเลือกรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก

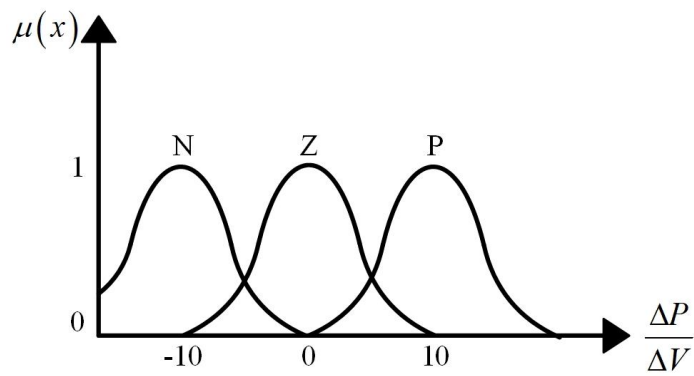
การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyต้องมีกำหนดค่าความเป็นสมาชิกอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyด้วยรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก การออกแบบรูปร่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับระบบที่จะนำไปใช้ ซึ่งในที่นี่จะกำหนดรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของฟuzzy ออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู รูปสี่เหลี่ยมคางหมู รูปเกาส์เซียน รูประฆังคว่ำ ซึ่งแสดงดังรูป 4.5 ถึง 4.8 ตามลำดับ โดยการทดสอบจะทดสอบกับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของระบบแผง PV ขนาด 40 W ที่ความเข้มแสง 1,000 W/m² อุณหภูมิ 25 °C บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB และกำหนดให้ใช้โครงสร้าง ของตัวควบคุมฟuzzyเหมือนกันหมด ได้แก่ ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาอินพุตและเอาต์พุต กฎฟuzzy และวิธีอนุมานแบบ Takagi-Sugeno ที่มีการทำDefuzzificationด้วยการหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยการทดสอบจะพิจารณาเฉพาะผลของรูปร่างฟังก์ชันที่มีผลต่อการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น เวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวและกำลังไฟฟ้าของระบบเท่านั้น ผลการทดสอบจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.1



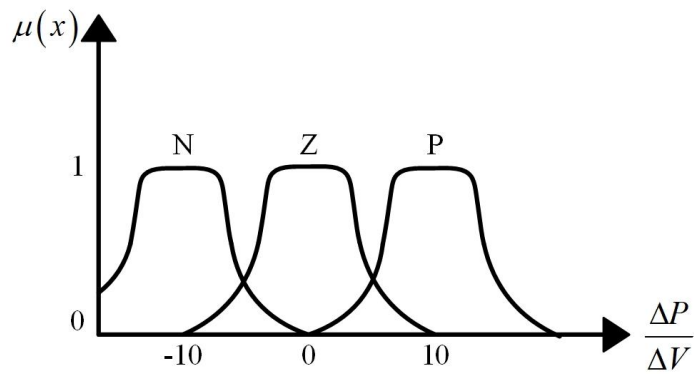
รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู



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/m² อุณหภูมิ 25 °C พบว่าฟังก์ชันสมาชิกอินพุตรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมูมีเวลาเข้าที่ 0.4 s และได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัวของระบบเท่ากับ 39.942 W ซึ่งให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุตในรูปร่างอื่น ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ฟังก์ชันสมาชิกอินพุตรูปสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมูและส่วนของเอาต์พุตจะใช้วิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกจะเป็นลักษณะเส้นตรงโทนเป็นค่าคงที่แทนการใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกแบบฟัซซีเซต วิธีอนุมานดังกล่าวที่นำมาใช้นั้นมีความง่ายในการรวมกฎหาค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุต

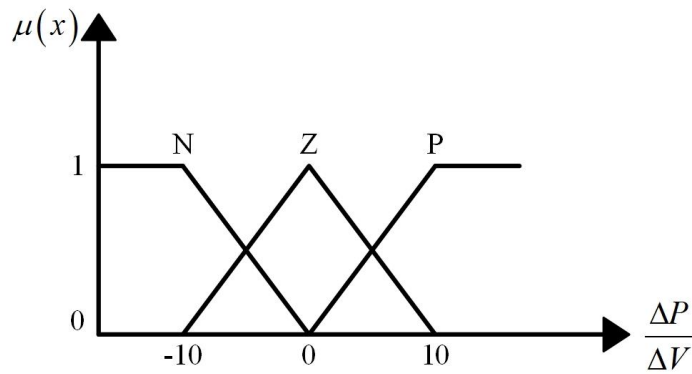
4.3.2 การออกแบบตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา

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

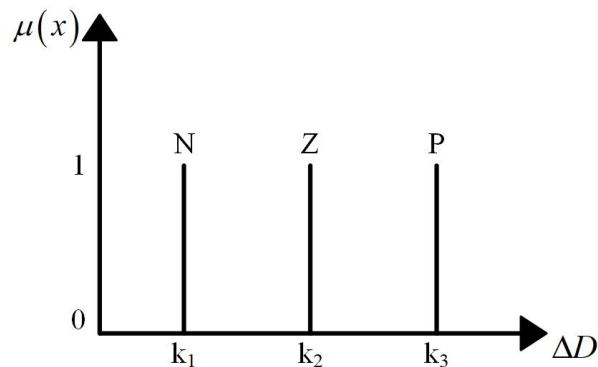
ตารางที่ 4.2 ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซีสำหรับระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC

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	ΔD	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

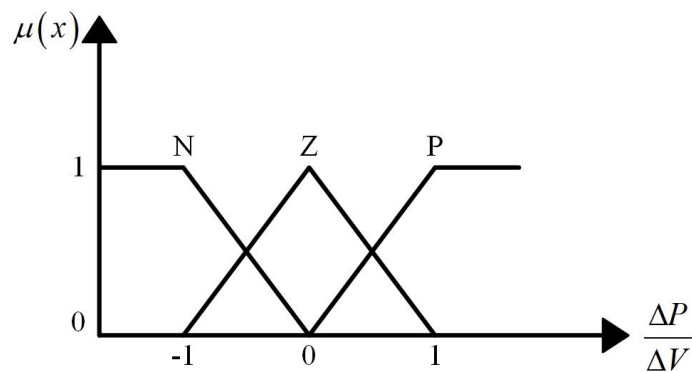


รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

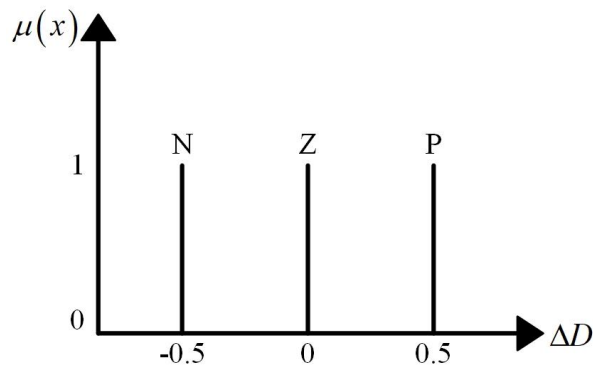
จากรูปฟังก์ชันสมาชิกอินพุตจะกำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง $[-10,+10]$ และค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุตที่ตำแหน่ง k_1, k_2, k_3 มีค่าเท่ากับ $-0.04, 0, +0.04$ ตามลำดับ

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 ΔD เพื่อเพิ่มแรงดันของแผง PV โดยถ้า $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ มีค่าเป็นบวกมากแสดงว่าจุด

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

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

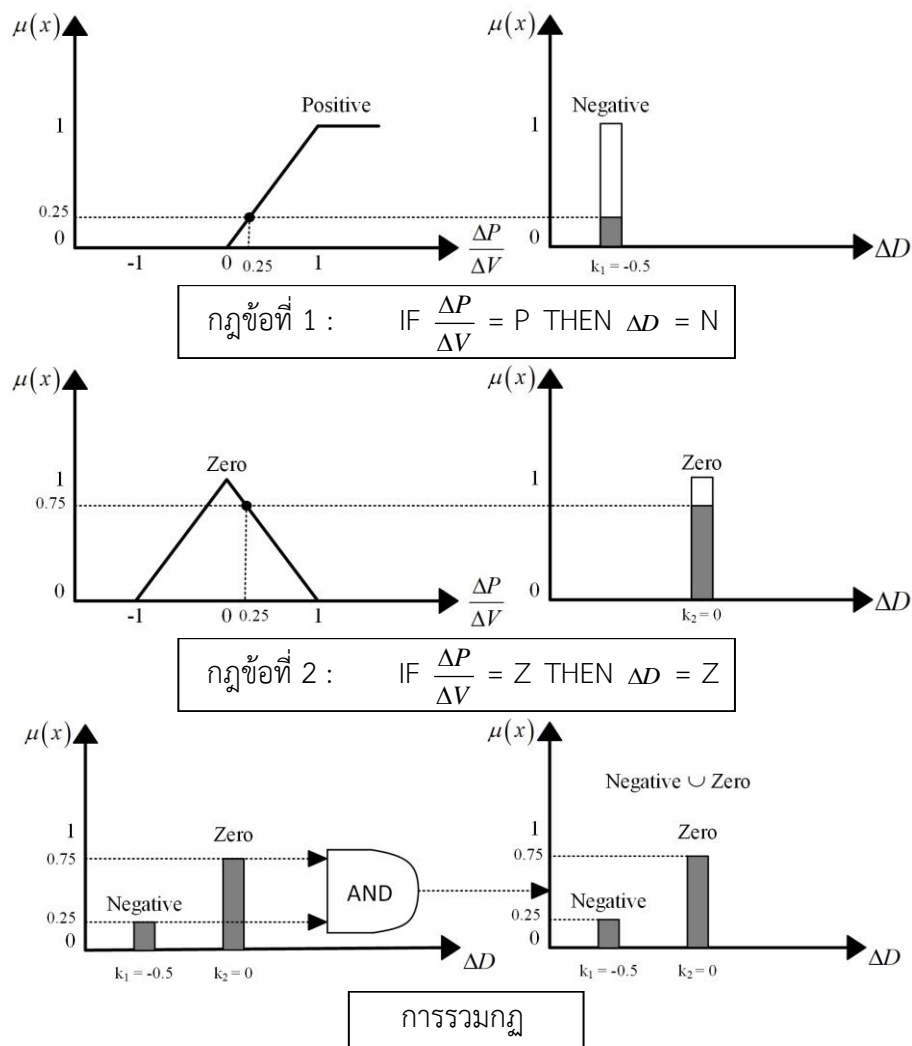
ถ้าอินพุต $\frac{\Delta P}{\Delta V} < 0$ แล้วเอาต์พุต $\Delta D = P$ หมายความว่าถ้าค่าความชัน $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ มีค่าเป็นลบให้ทำการปรับเพิ่มค่า ΔD เพื่อลดแรงดันของแผง PV โดยถ้า $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ มีค่าเป็นลบมากแสดงว่าจุดการทำงานอยู่ห่างจากจุด MPPT มาก จะกำหนดให้ค่าเอาต์พุต ΔD ที่จ่ายออกมามีค่ามากเพื่อให้จุดการทำงานเข้าสู่จุด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

จากกฎทั้ง 3 ข้อเบื้องต้นสรุปได้ว่าถ้าจุดการทำงานของแผง PV อยู่ห่างจากจุด MPPT มากตัวควบคุมฟัซซีจะทำการปรับค่า ΔD ให้มีค่ามากเพื่อให้จุดการทำงานของระบบเข้าสู่จุด MPPT ได้เร็วขึ้น และถ้าจุดการทำงานของแผง PV อยู่ใกล้จุด MPPT ตัวควบคุมฟัซซีจะทำการปรับค่า ΔD 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 $\left(\frac{\Delta P}{\Delta V}\right)$

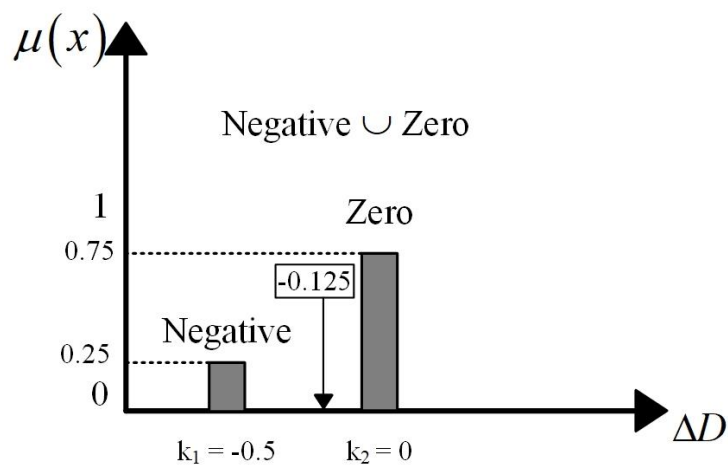
เท่ากับ 0.250 โดยค่าอินพุต $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ จะตกอยู่ในตำแหน่งฟัซซีเซตค่าเชิงภาษา Z (Zero) และ P (Positive) ซึ่งเข้าเงื่อนไขในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของกฎฟัซซีทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุต ΔD อยู่ในเซตเส้นตรงโทน Negative และ Zero มีค่าคงที่ -0.5 และ 0 ตามลำดับ ต่อมาจะทำการรวมกฎ โดยวิธีการประมวลค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเซต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



รูปที่ 4.13 การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno

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

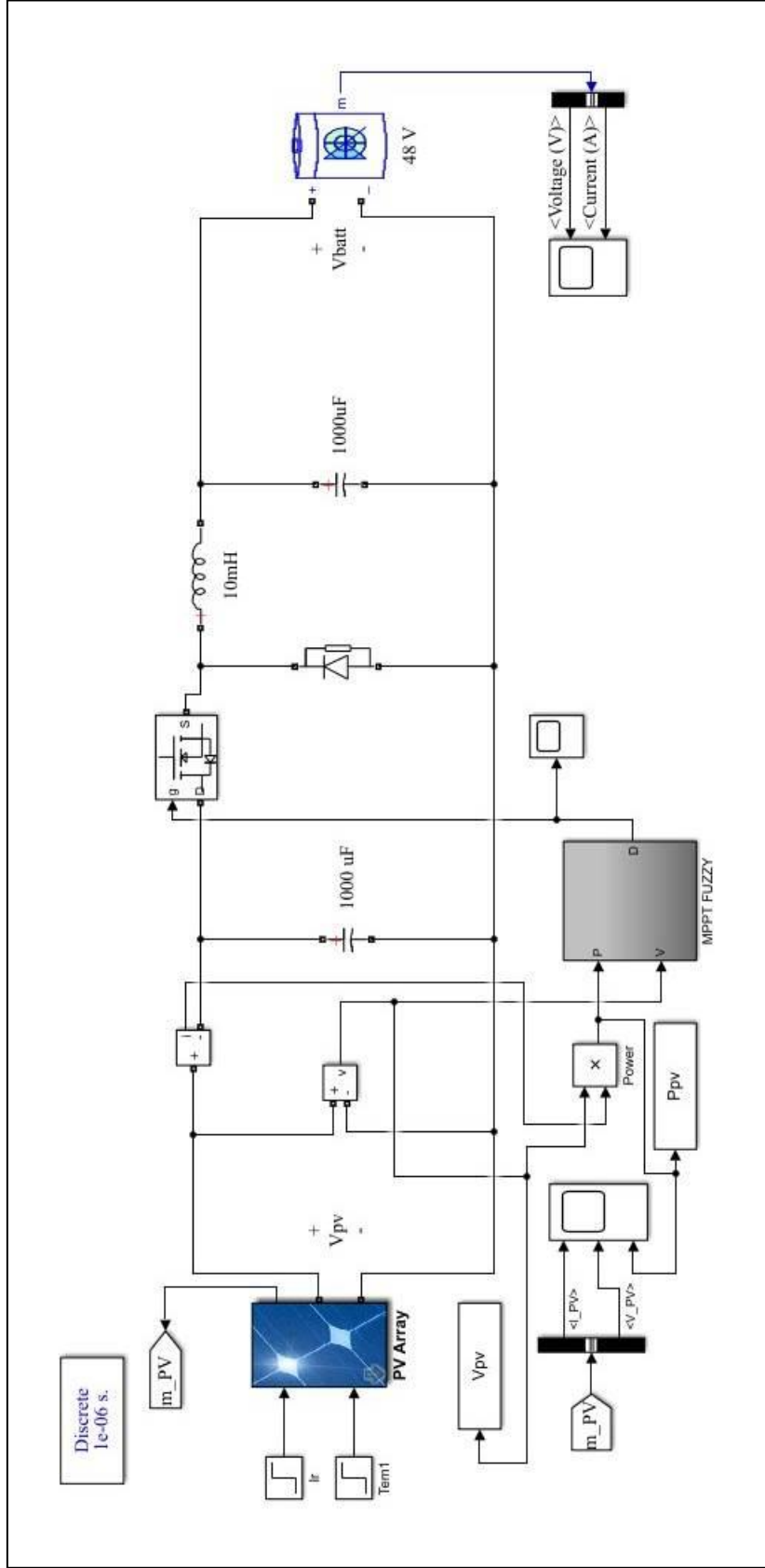
- เมื่อ ΔD_n คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรหน้าที่ของตัวควบคุมฟัซซีที่ตำแหน่ง n
 x_n คือ ค่าความเป็นสมาชิกแต่ละเอาต์พุต
 y_n คือ เอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ



รูปที่ 4.14 ค่าเอาต์พุตชัดเจนจากการทำDefuzzificationโดยใช้วิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย

4.4 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

จากการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีที่นำมาใช้กับหลักการ 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



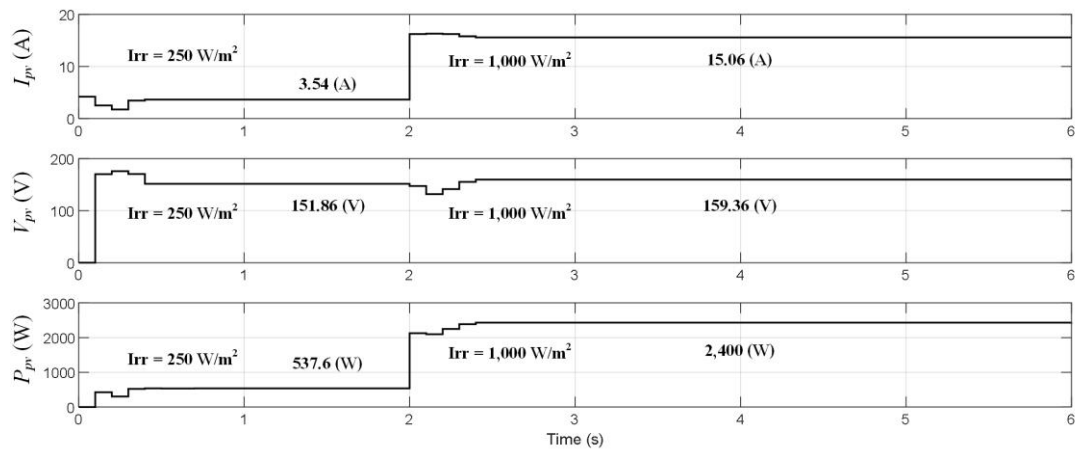
รูปที่ 4.15 การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ของชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

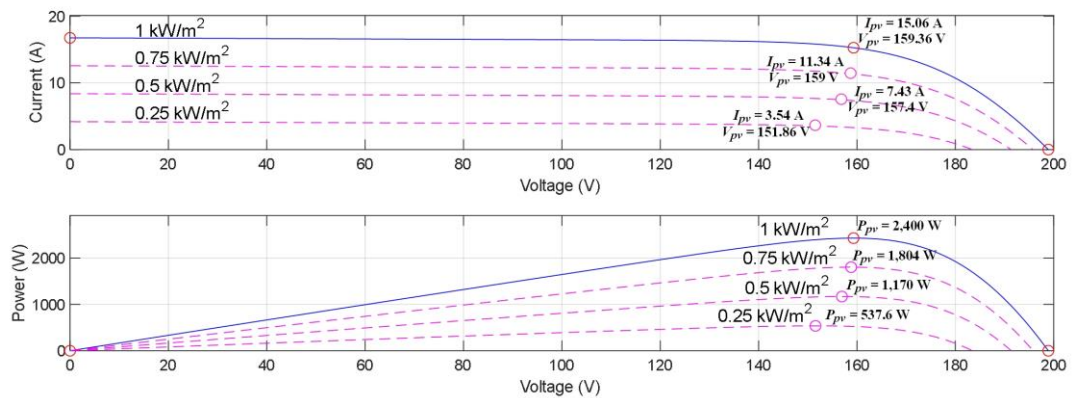
พารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	ค่าของพารามิเตอร์
P_{mpp}	300 W
V_{mpp}	37.5 V
I_{mpp}	8.25 A
V_{oc}	46.3 V
I_{sc}	8.87 A
พารามิเตอร์วงจรลดทอนแรงดัน	ค่าของพารามิเตอร์
V_{pv}	159.3 V
V_{batt}	48 V
C_{pv}	1000 μ F
C_o	1000 μ F
L	10 mH
f_{sw}	10 kHz

การจำลองสถานการณ์ระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC จะใช้ชุดบล็อก SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB คล้ายกับหลักการ P&O ในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งในหัวข้อนี้จะมีตัวควบคุมพีซีเข้ามาช่วยในการคำนวณและปรับค่า ΔD ที่เหมาะสมให้แก่ระบบตามการออกแบบตัวควบคุมพีซีก่อนจะส่งค่า ΔD 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 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 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 ΔD 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

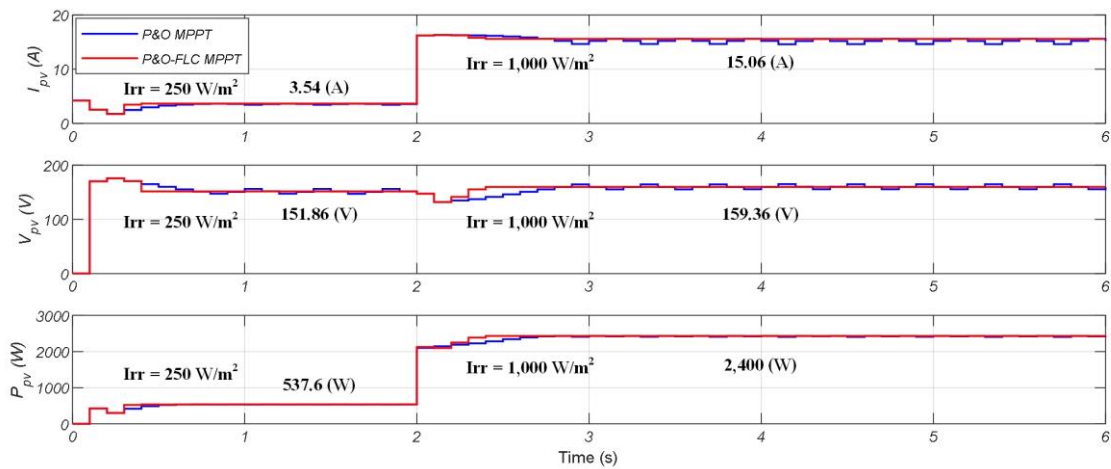
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองสถานการณ์ของระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O และระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC การจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 วิธีจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

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 μ F
C_o	1000 μ 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^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 4.18 ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 2 วิธี

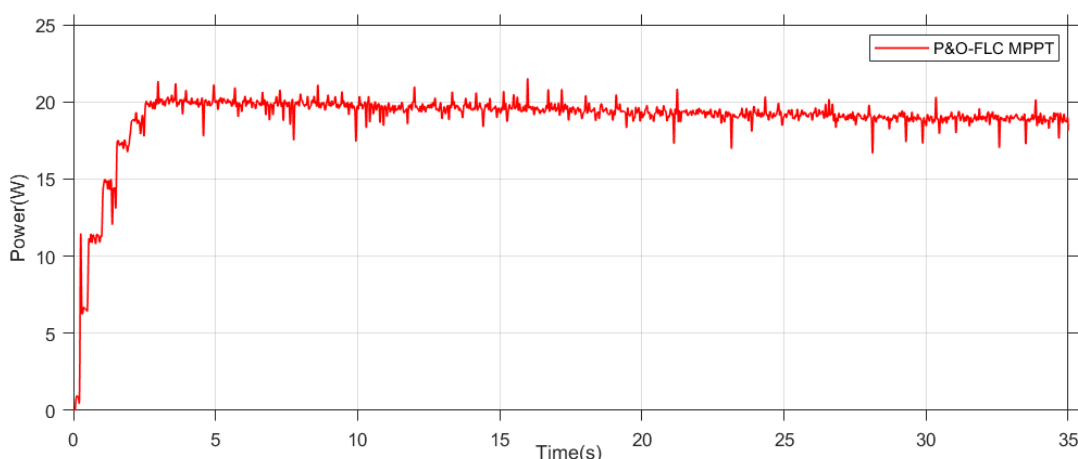
จากรูปที่ 4.18 ผลการจำลองสถานการณ์ของทั้ง 2 วิธี ช่วงที่ 1 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 250 W/m^2 จะได้ $I_{pv} = 3.54 \text{ A}$, $V_{pv} = 151.86 \text{ V}$ และ $P_{pv} = 537.6 \text{ W}$ ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงที่ 2 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ จะได้ $I_{pv} = 15.06 \text{ A}$, $V_{pv} = 159.36 \text{ V}$ และ $P_{pv} = 2,400 \text{ W}$ จากการจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 ช่วง พบว่าช่วงที่ 1 ที่ความเข้มแสงเท่ากับ 250 W/m^2 กำลังไฟฟ้าของหลักการ P&O มีเวลาเข้าที่ 0.6 s และเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าน้อย ส่วนหลักการ P&O-FLC มีเวลาเข้าที่ 0.3 s ซึ่งเร็วกว่าหลักการ P&O 0.3 s และที่สภาวะคงตัวไม่เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาช่วงที่ 2 ที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงจาก 250 W/m^2 ไปเป็น $1,000 \text{ W/m}^2$ กำลังไฟฟ้าของหลักการ P&O มีเวลาเข้าที่ 2.8 s และเกิดการสั่นของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว ส่วนหลักการ P&O-FLC มีเวลาเข้าที่ 2.4 s ซึ่งเร็วกว่าหลักการ P&O 0.4 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 ผลิตรายออกมาได้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV จากการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ จะ แสดงดังรูปที่ 4.19

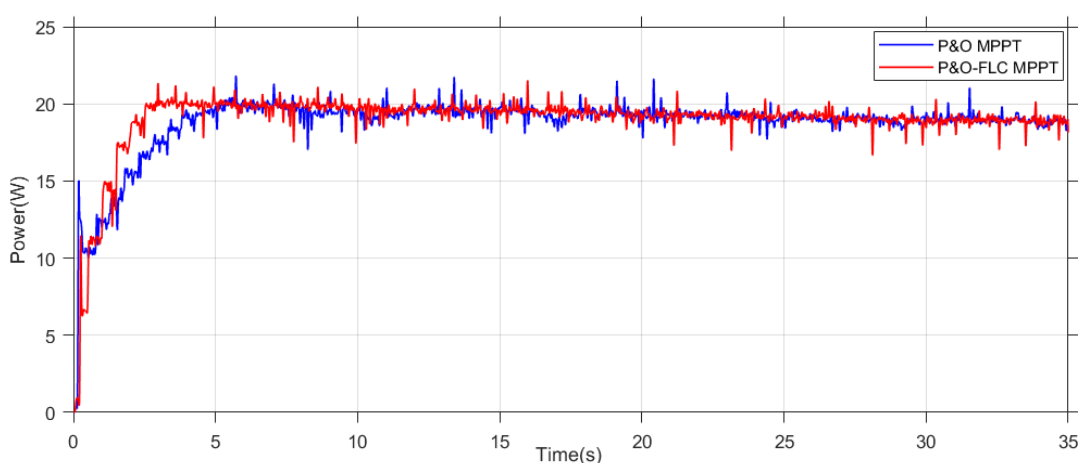


รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV จากการทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยหลักการ P&O-FLC ที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$

จากกราฟจะได้กำลังไฟฟ้าที่แผง PV ผลิตได้ที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ อยู่ที่ 19.2 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 ที่สภาวะคงตัวจะเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อย 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 ΔD ที่เหมาะสมให้แก่ระบบจึงทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยระบบการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยหลักการ P&O-FLC ที่นำเสนอในบทนี้ได้ทำการตีพิมพ์บทความในงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43 โดยใช้หัวข้อชื่อ “การควบคุมตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีฟuzzyลอจิกที่อิงวิธีการรบกวนและการสังเกตสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ” ซึ่งจะแสดงในภาคผนวก จ