การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไขกับแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

Comparison of the performance of step conditional and fuzzy logic pulse adjustment for power sharing systems

ธนวัฒน์ นิลขาว[1], ชวโรจน์ ใจสิน[2]*, ปุณยสิริ บุญเป็ง[3]

Thanawat Ninkhoa[1], Chawaroj Jaisin[2]*, Poonyasiri Boonpeng[3]

Received: 22 May 2019 ; Revised: 23 September 2019 ; Accepted: 18 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัลกอริทึงการปรับพัลส์แบบสเตปและการปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิกในการสร้างสัญญาณ PWM สำหรับขับมอสเฟตในการสวิทช์เลือกแหล่งจ่ายทั้ง 2 แหล่งด้วยสัญญาณ PWM สร้างขึ้นโดยรับแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและแบ่งออกเป็น 2 ชุดที่มีลักษณะเฟสสัญญาณตรงกันข้าม 180 องศา โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ขนาดพิกัดกำลัง 800 วัตต์ จำนวน 2 ชุดในการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์และไฟฟ้าจากสายส่ง ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบระบบกับหลอดไฟ 12 โวลต์ ขนาดพิกัดกำลัง 50 100 150 และ 200 วัตต์ พบว่าการตอบสนองการปรับสัญญาณควบคุมจากเริ่มต้นการทำงานของโหลดโดยอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขเฉลี่ย 136.25 มิลลิวินาที ประสิทธิภาพการทำงานระบบอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 89.00% และสูงกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.89% และมีค่าสูญเสียกำลังในวงจรเฉลี่ย 16.60 วัตต์ และน้อยกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่มีค่ากำลังสูญเสียเฉลี่ย 22.70 วัตต์ ทำให้อัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกจึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

คำสำคัญ: ไทม์ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์ ฟัซซี่ลอจิก ระบบแบ่งปันโหลดกระแสตรง

Abstract

The aim of this research is to develop an algorithm to control a load sharing system. The step pulse adjustment algorithm and the fuzzy logic pulse adjustment algorithm were used to generate the PWM signal for driving MOSFET to switch between two power sources by the PWM signal. The PWM is generated by the internal timer from a microcontroller and is divided into two square waves which are 180° out of phase (opposite sides). The two power sources for supplying this system are 12V 800W adjustable switching power supplies (One represents the solar cell system and one for grid utility). In this research, the light bulbs are taken to be testing loads consisting of 12V 50 100

---

[1] *นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290*

[2] *อาจารย์, สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290*

[3] *อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300*

[1] *Graduate students, Engineering Program in Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290*

[2] *Asst. Professor, Engineering Program in Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290*

[3] *Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300*

* *Corresponding author: (053)-333194 chawaroj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com*

150 and 200W of lamps. The experimental result of the steady state response to the control signal from the startup of the load was recorded. A Fuzzy Logic algorithm can maintain the output voltage to equilibrium faster than step pulse average 136.25ms. The efficiency of the Fuzzy Logic algorithm system can work at an average efficiency of 89.00% and higher than the step pulse algorithm at an average efficiency of 83.89%. The Fuzzy Logic algorithm has average power loss of 16.60W which is less than the step pulse algorithm with an average power loss of 22.70W. The Fuzzy Logic algorithm is suitable for use in the research system sharing power at the DC.

Keywords: Time Division Multiplexer Fuzzy logic Load Sharing System

บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคที่อยู่อาศัย การเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดต่างๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการลดภาระค่าไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเกษตร มีเกษตรกรจำนวนไม่น้อยที่ได้ประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนจากโซล่าเซลล์เพื่อทดแทนไฟฟ้าจากสายส่ง และเพื่อลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้า เกษตรกรนิยมใช้ไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์แบบต่อตรงและไม่ค่อยนิยมใช้แบตเตอรี่มาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้และเพื่อเพิ่มเสถียรให้กับระบบโซล่าเซลล์ เนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูงและมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นั้นๆ มีกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปัญหาพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความไม่ราบเรียบในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอาจเสียหายจากสาเหตุ Over voltage และ Under voltage อย่างเช่น งานวิจัยของ N. Mazouz และ A. Midoun[1] ได้นำเอาเทคนิคฟัซซี่ลอจิกเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณควบคุมวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ระบบสูบน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายจากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 51W จำนวน 10 แผงต่อแบบอนุกรม โดยการพัฒนาฟัซซี่ลอจิกควบคุมในการจ่ายไฟฟ้าเข้ามอเตอร์เพื่อให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ให้มากที่สุด

งานวิจัยของ Mokeddem, Midoun และคณะ[2] ได้นำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูบน้ำโดยตรงโดยใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 51W ต่ออนุกรมจำนวน 15 แผงและนำมาต่อขนานกัน 2 ชุด กับปั๊มน้ำขนาด 80 L/min, 750W, 2,850 rpm โดยอัตราการไหลที่เวลา 10.00 น. ให้อัตราการไหลสูงสุดที่ 65 L/min

งานวิจัยของ Kumar P และคณะ[3] ได้ใช้ฟัซซี่ลอจิกในการติดตามและกำหนดจุดการทำงานที่ให้พลังงานสูงสุดของระบบปั๊มน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ PWM จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้นมีจุดอ่อนในด้านการใช้งานในกรณีที่ไม่มีระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าระบบจะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุดตลอดทั้งวันเนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันทำให้ระบบอาจมีการลดจำนวนรอบการทำงานของมอเตอร์เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าในการทำงานไว้ไม่ให้เกิดผลเสียต่อมอเตอร์ และมีจุดเด่นในเรื่องการใช้ฟัซซี่ลอจิกเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)[4] ในการควบคุมการทำงานของระบบทำให้ระบบทำงานได้อย่างเสถียรและการเลือกใช้แหล่งจ่ายพลังงานสำรอง (Hybrid power) ทำให้เป็นทางเลือกใหม่ในการผสมผสานการใช้พลังงานทดแทน จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในโดยการนำเอาระบบฟัซซี่ลอจิกมาใช้ในการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

เพื่อใช้ในการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ และไฟฟ้าจากสายส่ง โดยจะให้เลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ที่ผลิตได้เป็นหลักและเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อเป็นการรักษาความเสถียร (Backup) ของระบบซึ่งจะทำให้ระบบนี้สามารถทดแทนการใช้แบตเตอรี่ได้ ซึ่งจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพทางพลังงานและลดต้นทุนทางด้านแบตเตอรี่ลง โดยการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากระบบแผงโซล่าเซลล์ที่จะมีการแปรเปลี่ยนตามสภาวะของภาระทางไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อมีภาระทางไฟฟ้ามากกว่าที่ระบบจะสามารถจ่ายให้ได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์จะต่ำลง แต่เมื่อภาระทางไฟฟ้ามีน้อยกว่าที่ระบบสามารถจ่ายได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์จะอยู่ในเกณฑ์สูง จากหลักการดังกล่าวจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมที่ทำหน้าที่ชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเข้าสู่ระบบ ให้มีความเหมาะสมกับภาระโหลดขนาดต่างๆได้ โดยในงานวิจัยนี้นอกจากจะพัฒนาออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ทดสอบและพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการตัดสินใจ สำหรับชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อไขโดยอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์ และเทคนิค

การปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) โดยจะอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันและอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าโดยการออกแบบวงจรและทดสอบการตอบสนองการชดเชยกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวงจร และพลังงานที่สูญเสียในระบบ โดยแบ่งวิธีการศึกษาและดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การออกแบบวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

ในการออกแบบอุปกรณ์ในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่ง[5] ประกอบไปด้วยแผงโซล่าเซลล์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) ขนาดรองรับโหลดไม่เกิน 12V 800W ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่ในการจัดการและกำหนดการเลือกจ่ายกำลังไฟฟ้าจาก 2 แหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อใช้งาน ดังแสดงใน Figure 1

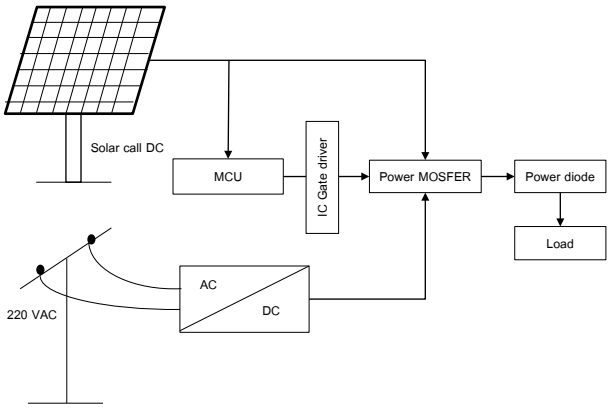

Figure 1 Configurations of a hybrid power supply system

ภายในวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าได้ออกแบบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU, Arduino Nano)[6] ทรานซิสเตอร์ขับมอสเฟตรหัส BD139[7], พาวเวอร์ไดโอดรหัส RFN60TS6D[8] และพาวเวอร์มอสเฟตรหัส IRF4905PBF[9] โดยการทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากแผงโซล่าเซลล์ เพื่อประมวลผลคาบเวลาของสัญญาณ PWM สำหรับสร้างเงื่อนไขและกำหนดขนาดของตัวแปรในการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพัลส์สี่เหลี่ยม (PWM) ที่มีคาบเวลา (duty cycle) ต่างกันขึ้นอยู่กับระดับกำลังไฟฟ้าที่ระบบโซล่าเซลล์ผลิตขึ้น โดยสัญญาณ PWM จำนวน 2 ชุดจะที่มีลักษณะของสัญญาณตรงข้ามกัน 180 องศา จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ขับมอสเฟต จำนวน 2 ชุด ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายให้มีขนาดและกำลังมากพอสำหรับที่ควบคุมพาวเวอร์มอสเฟต จำนวน 2 ชุด ซึ่งพาวเวอร์มอสเฟตทั้ง 2 ชุดจะทำงานแบบสลับกันขึ้นกับสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้ามาดังแสดงใน Figure 2 เพื่อทำหน้าที่สลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างระบบโซล่าเซลล์กับไฟฟ้าจากสายส่ง ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป

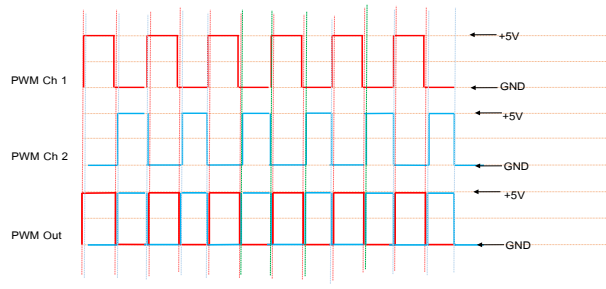

Figure 2 Time-division multiplexing input and output

2. การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิก

เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปคือ การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปมีขั้นตอนการออกแบบในงานวิจัยนี้ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano รับสัญญาณอินพุตที่มาจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ (V_{input}) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขสัญญาณ PWM จะถูกผลิตขึ้นและจะค่อยๆ เพิ่มหรือลดลงครั้งละ 1 สเตป เช่น $V_{input} < V_{ref}$ จะถูกปรับลดคาบเวลาของสัญญาณ PWM เพื่อที่จะรักษาแรงดัน V_{input} ให้เท่ากับ V_{ref} จนถึงจุดสมดุลการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าของระบบ ระบบจะหยุดการเพิ่มและลดคาบเวลาจนกว่า V_{input} จะเปลี่ยนแปลงสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงใน Figure 3

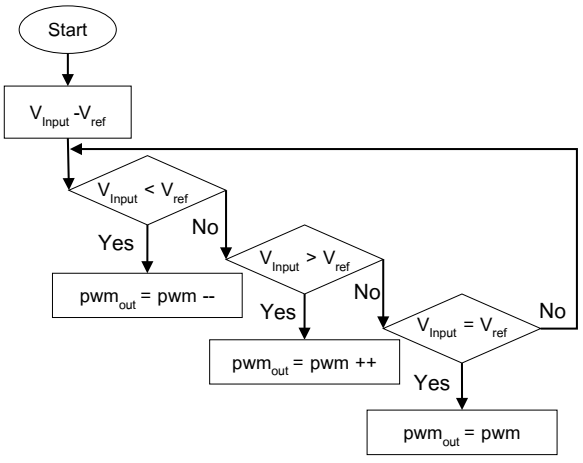

Figure 3 Pulse stepping algorithm

ขณะที่การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก จะมีขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมประกอบไปด้วย Fuzzyficaton, FuzzyInference, Defuzzyfication[5,10,11] ดังแสดงใน Figure 4

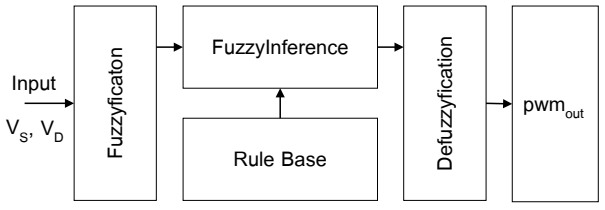

Figure 4 Fuzzy logic control diagram

โดยเริ่มจากกระบวนการ Fuzzyfication รับค่าอินพุตประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ (Solar Voltage, V_s) และอัตราแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากแผงโซล่าเซลล์ (Solar Voltage drop , V_d) โดยที่ FuzzySet ของ (V_s) ประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุตต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง (L) แรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับแรงดันอ้างอิง (M) และแรงดันไฟฟ้าอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิง (H) ดังแสดงใน Figure 5 ขณะที่ Fuzzy-Set ของ (V_d) ประกอบไปด้วยอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงน้อย (Under drop, UD) อัตราแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Stable drop, SD) และอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงมาก (Over drop, OD) ดังแสดงใน Figure 6

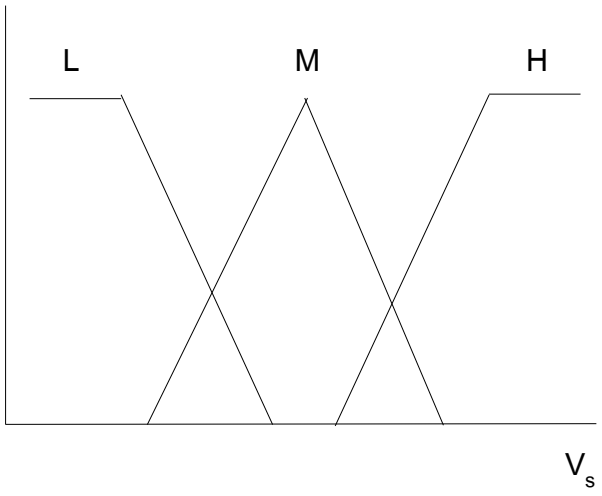

Figure 5 Fuzzy logic membership function of solar voltage signal input

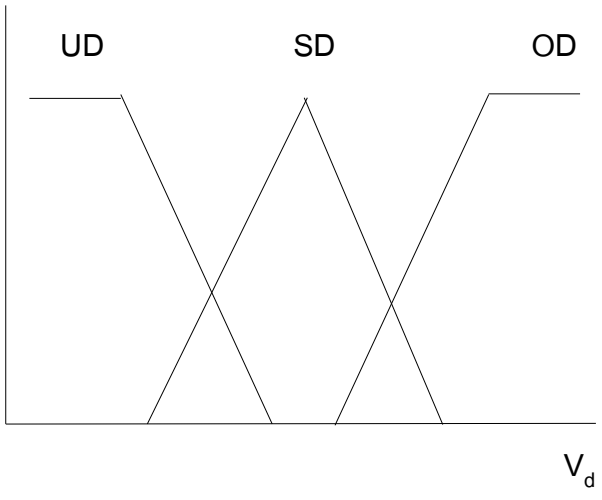

Figure 6 Fuzzy logic membership function of changing ratio of solar voltage signal input

จากนั้นตัวแปรในกลุ่มของ FuzzySet จะถูกอนุมานเพื่อหาผลลัพธ์ของกระบวนการด้วย Fuzzy Inference ซึ่งจะใช้กฎฐาน (Rule Base)[12] มาเป็นเงื่อนไขในการอนุมานและตัดสินผลลัพธ์ของกระบวนการ โดยกฎฐานดังแสดงใน Table 1

Table 1 Fuzzy rule table

V_s	**L**	**L**	**L**	**M**	**M**	**M**	**H**	**H**	**H**
V_d	UD	SD	OD	UD	SD	OD	UD	SD	OD
V_{pwm}	LV	LV	MV	MV	MV	HV	MV	HV	HV

ขั้นตอนสุดท้ายคือ Defuzzyfication เป็นขั้นตอนในการแปลงผลลัพธ์ทางฟัซซี่ให้อยู่ในรูปของจำนวนจริง เพื่อใช้ในการกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM เอาต์พุตของสัญญาณ PWM ประกอบด้วยสัญญาณ PWM ในระดับต่ำ (Low value, LV) สัญญาณ PWM ในระดับปานกลาง (Medium value, MV) และสัญญาณ PWM ในระดับสูง (High value, HV) ดังแสดงใน Figure 7 โดยค่าที่ได้จะนำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

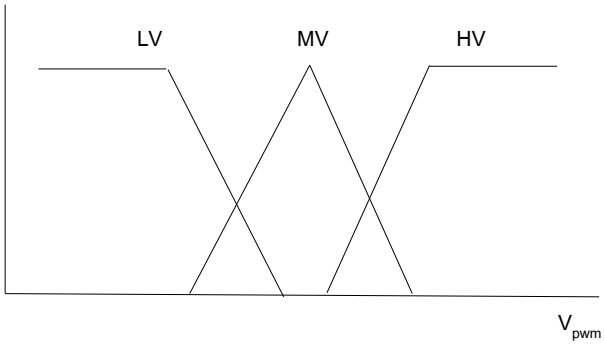

Figure 7 Fuzzy logic membership function of PWM period output

3. การทดสอบสมรรถนะของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนในการทดสอบจะอาศัยหลอดไฟ 12V ขนาด 50 100 150 และ 200W เป็นโหลดจำลองของระบบ ซึ่งจะถูกนำไปทดสอบทั้งในระบบการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและการปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก เพื่อประเมินประสิทธิภาพ เปรียบเทียบเวลาในการตอบสนองของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ โดยระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าจะกำหนดใช้อัตราส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 50 : 50 ตามขนาดกำลังของโหลดที่นำมาทดสอบเป็นการกำหนดให้เกิดลักษณะการทำงานเดียวกันในการเปรียบเทียบการทำงานตามเงื่อนไขการทดสอบ สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้[13]

$$Eff = \frac{Power_{Total}}{Power_{Input,1} + Power_{Input,2}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ Eff = ประสิทธิภาพ (%)

$Power_{Total}$ = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้ (W)

$Power_{Input,1}$ = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่1 (W)

$Power_{Input,2}$ = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่2 (W)

การตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล พิจารณาจากระยะเวลาที่ระบบรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ (Steady State) หลังจากการใส่โหลดเข้าสู่ระบบเพื่อดูการตอบสนองในการปรับการทำงานของระบบโดยใช้เวลาเป็นการบอกลักษณะการทำงานในการตอบสนองเข้าสู่สภาวะสมดุลกำลังไฟฟ้าขณะที่การสูญเสียในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้[14]

$$P = V \times I \quad (2)$$

$$Loss = \left(P_{input,1} + P_{input,2}\right) - \left(P_{output}\right) \quad (3)$$

เมื่อ Loss = กำลังงานที่สูญเสียในระบบ (W)

P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

$P_{input,N}$ = กำลังไฟฟ้าที่เข้าระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (W)

P_{output} = กำลังไฟฟ้าที่ออกจากระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (W)

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตป และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกในการเปรียบเทียบหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้ จากการทดสอบการตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการปรับพัลส์เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่และเป็นไปตามแรงดันที่อ้างอิงไว้

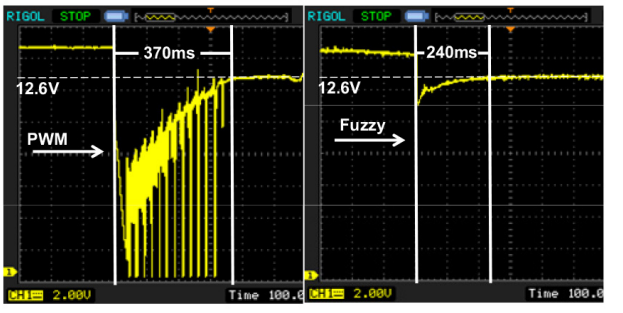

Figure 8 Response timing between the pulse stepping and fuzzy logic control

จาก Figure 8 เป็นการทดสอบการตอบสนองที่โหลดตัวอย่างขนาด 150W มีการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยการนำค่าที่ดีที่สุดจากการทดสอบพบว่า มีค่าเวลาในการตอบสนองและเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยเทคนิคการปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิกและแบบสเตปที่โหลด 50 100 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 230 360 370 และ 400ms ตามลำดับ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 95 160 240 และ 320ms ตามลำดับ ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่แรงดันไฟฟ้า 12.6V เนื่องการการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทดสอบโหลดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 12V ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มโหลดที่ใช้ในการทดสอบทำให้ใช้ระยะเวลาในการปรับการทำงานเข้าสู่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าไม่ทันกับการเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ายิ่งค่าโหลดใช้กำลังสูงขึ้นการเริ่มต้นทำให้แรงดันไฟฟ้าตกเพิ่มขึ้น จะต้องใช้เวลานานขึ้นในการชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะสมดุล

ในส่วนของประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าจาก Table 2 และ Table 3 ที่ควบคุมด้วยด้วยอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบสามารถคำนวณประสิทธิภาพได้จากสมการที่ 1 โดยข้อมูลทางไฟฟ้าจากสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 1 ($input,_1$) ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจาก AC เป็น DC จากสายส่งที่จ่ายเข้าระบบแบ่งปัน และข้อมูลทางไฟฟ้าจาก สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 2 ($input,_2$) ได้จำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์โดยจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยตั้งค่าสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยการจำกัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันเพื่อเสมือนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ตามเงื่อนไขการทดสอบข้างต้น โดยแสดงข้อมูลประสิทธภาพการทำงานของวงจรแบ่งปันภาระโหลดได้ดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

Table 2 The parameters of the hybrid power supply system in pulse stepping mode

PWM						
Load	**Response time**	$P_{input,1}$	$P_{input,2}$	P_{output}	P_{Loss}	**Eff**
(W)	**(ms)**	**(W)**	**(W)**	**(W)**	**(W)**	**(%)**
50	230	30.06	41.74	55.12	16.68	76.77
100	360	58.21	66.03	106.79	17.48	85.96
150	370	86.13	92.52	154.73	23.92	86.61
200	400	117.80	119.58	204.65	32.73	86.21

Table 3 The parameters of the hybrid power supply system in fuzzy logic control mode

Fuzzy						
Load	**Response time**	$P_{input,1}$	$P_{input,2}$	P_{output}	P_{Loss}	**Eff**
(W)	**(ms)**	**(W)**	**(W)**	**(W)**	**(W)**	**(%)**
50	95	30.60	31.05	55.34	6.31	89.76
100	160	60.93	56.15	105.54	11.54	90.15
150	240	91.12	85.76	155.59	21.29	87.96
200	320	118.32	111.19	202.24	27.27	88.12

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันด้วยอัลกอริทึมการปรับพัลส์แบบสเตปที่โหลดและอัลกอริทึมการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 76.77% 85.96% 88.09% และ 88.07% ตามลำดับ และอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 89.76% 90.15% 87.96% และ 88.12% ตามลำดับ และการศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าอัลกอริทึมการปรับพัลส์แบบสเตปที่โหลดและ อัลกอริทึมการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50 100 150 และ 200W มีผลการสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เฉลี่ยอยู่ที่ 16.68W 17.48W 23.92W และ 32.73W ตามลำดับ และและอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 6.31W 11.53W 21.29W และ 27.27W ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการทดสอบการทำงานที่โหลดขนาดต่างๆ กล่าวเมื่อกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Conductor loss)โดยจะเปลี่ยนเป็นความร้อนที่เกิดจากความต้านทานภายในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ และสัญญาณการสวิทช์ (Switching losses)

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบระยะเวลาในการตอบสนองการปรับสัญญาณควบคุมจากเริ่มต้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลเป็นผลมาจากการ Startup ของโหลดอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถจัดการระบบในการรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้ไวกว่า อัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไข เฉลี่ยตลอดการทดสอบเร็วกว่า 136.25ms

การทดสอบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานของวงจรไฟฟ้าของระบบอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 89.00% และสูงกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่สามารถทำงานที่ประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.89%

การประเมินกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในวงจรจากการทดสอบระบบอัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกจากตลอดการทดสอบมีค่ากำลังสูญเสียเฉลี่ย 16.60W และน้อยกว่าอัลกอริทึมแบบสเตปเงื่อนไขที่มีค่ากำลังสูญเสียตลอกการทดสอบเฉลี่ย 22.70W จากการทดสอบทั้ง 2 อัลกอริทึมที่สภาวะการทดสอบและเงื่อนไขเดียวกัน อัลกอริทึมฟัซซี่ลอจิกสามารถให้การทำงานในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด จาก 2 แหล่งจ่ายได้ดีกว่า และเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียวในการสนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากศูนย์วิจัยนวัตกรรมเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

1. Mazouz N, Midoun A. Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2011;33(10):1623-30.
2. Mokeddem A, Midoun A, Kadri D, Hiadsi S, Raja IA. Performance of a directly-coupled PV water pumping system. Energy Conversion and Management. 2011;52(10):3089-95.
3. Kumar P, Gupta A, Pachauri RK, Chauhan YK, editors. Utilization of Energy Sources in Hybrid PV/FC Power Assisted Water Pumping System. 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology; 2015 13-14 Feb. 2015.
4. Wang X, Sala G, Zhang H, Gu C, Buticchi G, Formentini A, et al. Torque Ripple Reduction in Sectored Multi Three-Phase Machines Based on PWM Carrier Phase Shift. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019:1-.
5. Jaisin C, Intaniwet A, Nilkhoa T, Maneechukate T, Mongkon S, Kongkraphan P, et al. A prototype of a low-cost solar-grid utility hybrid load sharing system for agricultural DC loads. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2019;10(1):137-45.

6. arduino nano v3 manual 2018. Available from: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf.
7. NPN SILICON TRANSISTOR BD139 2018. Available from: https://alltransistors.com/pdf view.php?doc=bd139.pdf&dire=_utc.
8. ROHM Super Fast Recovery Diode RFN60 TS6D 2018. Availablefrom: https://www.es. co.th /Schemetic /PDF/RFN60TS6D.PDF.
9. HEXFET Power MOSFET P-Channel IRF4905 2018. Available from: https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/IRF4905-IR.PDF.
10. Yen J, Langari R. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information: Prentice Hall; 1999.
11. Li X, Wen H, Hu Y, Jiang L. A novel beta parameter based fuzzy-logic controller for photovoltaic MPPT application. Renewable Energy. 2019;130:416-27.
12. Al-Majidi SD, Abbod MF, Al-Raweshidy HS. A novel maximum power point tracking technique based on fuzzy logic for photovoltaic systems. International Journal of Hydrogen Energy. 2018;43(31):14158-71.
13. Sahouane N, Dabou R, Ziane A, Neçaibia A, Bouraiou A, Rouabhia A, et al. Energy and economic efficiency performance assessment of a 28 kWp photovoltaic grid-connected system under desertic weather conditions in Algerian Sahara. Renewable Energy. 2019;143:1318-30.
14. Dhimish M, Holmes V, Mehrdadi B, Dales M. Comparing Mamdani Sugeno fuzzy logic and RBF ANN network for PV fault detection. Renewable Energy. 2018;117:257-74.