

การออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

การออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดรง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง

ธนวัฒน์ นิลขาว

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อักรินทร์ อินทนิเวศน์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง
ชื่อผู้เขียน	นายธนวัฒน์ นิลขาว
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง การดำเนินการเริ่มต้นด้วย การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมแบบสเตปและแบบพีชชีลอจิก สัญญาณพัลส์ทั้งสองแบบถูกสร้างด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในภาควงจรขับและอุปกรณ์กำลังชนิดเฟด ซึ่งทำหน้าที่สวิตช์แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสองแหล่ง ให้เป็นไปตามสัดส่วนของแต่ละอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ เงื่อนไขการทดสอบกับโหลดกระแสตรง สามารถแบ่งได้ตามขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลด ภายใต้เงื่อนไขอัลกอริทึม ขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และระบบรักษาเสถียรภาพแรงดันทางอินพุตด้วยแบตเตอรี่ ผลการทดสอบพบว่าระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ใช้อัลกอริทึมแบบพีชชีควบคุมสัญญาณพัลส์สำหรับสวิตช์เลือกแหล่งจ่าย ที่มีการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดน้อยกว่าโหลดและมีระบบเสถียรภาพแรงดันทางอินพุตด้วยแบตเตอรี่ ให้ประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยสูงสุดที่ 92.07% ขณะที่ระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ใช้อัลกอริทึมแบบสเตป ที่มีการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดน้อยกว่าโหลดและมีระบบเสถียรภาพแรงดันทางอินพุตด้วยแบตเตอรี่ ให้ประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเพียง 88.01% และเมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของระบบพบว่า ระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ใช้อัลกอริทึมแบบพีชชี ที่มีการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดมากกว่าโหลดและไม่มีระบบเสถียรภาพแรงดันทางอินพุตด้วยแบตเตอรี่ มีระยะเวลาการคืนทุนที่สั้นที่สุดที่ 6.28 ปี

คำสำคัญ : ระบบแบ่งปันภาระโหลดกระแสตรง, พลังงานแสงอาทิตย์, ประหยัดพลังงานไฟฟ้า, อัลกอริทึมพีชชีลอจิก

Title	DESIGN OF A LOAD SHARING SYSTEM USING SOLAR ENERGY IN COMBINED WITH GRID UTILITY FOR DC LOADS
Author	Mr. Thanawat Ninkhoa
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Chawaroj Jaisin

ABSTRACT

The objective of this research is to design a load sharing system using solar energy integrated with electric utility power source for direct current load. Methodology starts with development of step size and fuzzy logic algorithm to generate as control pulse signals. Both control pulse signals are generated by the microcontroller and are used for driver circuit and power MOSFET devices that switch the two power sources in according to the suitable proportion of each designed algorithm. An experimental design for direct current loads consist of loading sizes testing, algorithms testing, various solar panel testing and stabilizer system for input side with battery testing. The results of load sharing system testing reveal that load sharing system using fuzzy algorithm that controls the pulse signal for switching the two power sources to loads using the small solar panel as well as install the battery on input side of system, the average system efficiency is 92.07%. While the load sharing system using step size algorithm, the small solar panel as well as install the battery on input side of system, the average system efficiency was 88.01%. Considering the payback period of the load sharing system it was found that the system using fuzzy algorithm that install the big solar panel and without stabilization system with battery on input side provides the shortest payback period at 6.28 years.

Keywords : Load Sharing System, Solar energy, Energy Saving, Fuzzy logic algorithm

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยการเอื้อเฟื้อข้อมูล ความรู้ สถานที่ และงานวิจัยที่เป็นประโยชน์รวมถึงความร่วมมือของหลายๆ ท่านที่สนับสนุนผู้วิจัยจากเริ่มต้นจนประสบความสำเร็จจนได้งานวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียวขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานขอขอบคุณ คำแนะนำจากบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถหลายท่าน โดยเฉพาะ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ ได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักในการทำวิจัย รวมถึง ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์ ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และได้ให้ความรู้ ฝึกฝนความสามารถ และได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอดจนให้ความดูแลเป็นอย่างดีผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้อบรมเลี้ยงดูให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีได้ขาดตกบกพร่อง และเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ จนทำให้งานวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จตามเป้าหมายที่ต้องการทุกประการ

ธนวัฒน์ นิลขาว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญตาราง.....	ต
รายการสัญลักษณ์.....	ถ
สัญลักษณ์.....	ถ
อักษรย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ขอบเขตงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และการตรวจสอบเอกสาร	4
เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.....	4
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	4
รูปแบบการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
เทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์.....	11
พีซีลोजิก	11
ฟังก์ชันสมาชิก.....	12

การประยุกต์ใช้.....	14
การคำนวณพีซีเบื้องต้น.....	16
ตัวอย่างการคำนวณพีซี.....	16
เทคโนโลยีด้านฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	20
ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า.....	22
วงจรเรียงกระแส.....	23
มอสเฟตกำลัง.....	25
วงจรขับมอสเฟต.....	28
วงจรแบ่งแรงดัน.....	29
สัญญาณทางไฟฟ้า.....	30
การตรวจเอกสาร.....	32
สมมติฐานการวิจัย.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	39
กิจกรรมที่ 1 ศึกษาข้อมูลระบบไฟฟ้าในโรงเรียนปลูกพืช.....	40
กิจกรรมที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของระบบแบ่งปันภาระโหลด.....	40
กิจกรรมที่ 3 การพัฒนาอัลกอริทึมการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลด.....	46
กิจกรรมที่ 4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลด.....	52
กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	55
ผลการทดสอบการออกแบบระบบ.....	55
วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการแบ่งภาระโหลด.....	55
วงจรขับมอสเฟต.....	57
วงจรเพาเวอร์มอสเฟต.....	58

ผลการทดสอบการทำงานของระบบในกรณีต่างๆ	60
1. ผลการเก็บข้อมูลจากโรงเรือนการเกษตรโดยใช้พลังงานจากระบบสายส่งการไฟฟ้า	60
2. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเต็ปเงื่อนไข ไม่มี แบตเตอรี่เสริม และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด	61
3. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเต็ปเงื่อนไข โดยใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด	63
4. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเต็ปเงื่อนไข โดยไม่ ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด	66
5. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเต็ปเงื่อนไข โดยใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด	68
6. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีแอลจิก โดยไม่ใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด	71
7. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีแอลจิก โดยใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด	73
8. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีแอลจิก โดยไม่ใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด	76
9. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีแอลจิก โดยใช้ แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด	78
10. ผลการทดสอบการใช้งานจริงในภาคสนาม	81
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ	83
1. กรณีมีและไม่มีแบตเตอรี่เพื่อรักษาความเสถียรให้กับระบบ	83
2. กรณีระบบใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์ในการควบคุมการทำงาน	85
3. กรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	86
ผลการวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานและเศรษฐศาสตร์	87
การคำนวณต้นทุนทางพลังงาน	88
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	92

สรุปผลการทดลอง.....	92
ข้อเสนอแนะ.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการวิจัยและงานวิจัยที่เผยแพร่.....	97
ประวัติผู้วิจัย.....	125



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงผลกระทบของความเข้มแสงในการผลิตไฟฟ้า	1
ภาพที่ 2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิต	6
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
ภาพที่ 4 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม (Series Connection)	8
ภาพที่ 5 การต่อโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน (Parallel Connection).....	9
ภาพที่ 6 จำลองการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม.....	10
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบฟิวซี.....	11
ภาพที่ 8 ฟังก์ชันฟิวซีสมาชิก (Membership Function)	13
ภาพที่ 9 การใช้ฟิวซีลอจิกควบคุมโดยตรง	14
ภาพที่ 10 การใช้ฟิวซีลอจิกควบคุมแบบไปข้างหน้า.....	15
ภาพที่ 11 การใช้ฟิวซีลอจิกควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัว	16
ภาพที่ 12 แสดงการระบุค่าความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิ.....	17
ภาพที่ 13 ผลการอนุมานฟิวซีแบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 1	17
ภาพที่ 14 ผลการอนุมานฟิวซีแบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 2	18
ภาพที่ 15 ผลการอนุมานฟิวซีแบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 3	18
ภาพที่ 16 ผลการอนุมานฟิวซีแบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 4	18
ภาพที่ 17 ผลการอนุมานฟิวซีแบบ Mamdani	19
ภาพที่ 18 ผลรวมฟิวซีด้วยวิธีการ COA.....	19
ภาพที่ 19 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3.....	21
ภาพที่ 20 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบหม้อแปลง.....	22
ภาพที่ 21 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งโหมด	23
ภาพที่ 22 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซีกบวก.....	24

ภาพที่ 23 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นด้านลบ	24
ภาพที่ 24 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง	25
ภาพที่ 25 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด N และ P	26
ภาพที่ 26 แสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในการใช้งานมอสเฟตชนิด N และ P.....	26
ภาพที่ 27 การต่อวงจรไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของมอสเฟตชนิด N	27
ภาพที่ 28 การต่อวงจรไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของมอสเฟตชนิด P	27
ภาพที่ 29 วงจรขับมอดเฟตแบบทรานซิสเตอร์	28
ภาพที่ 30 วงจรขับมอดเฟตแบบสำเร็จรูปในรูปแบบ IC	28
ภาพที่ 31 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด.....	29
ภาพที่ 32 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด.....	30
ภาพที่ 33 การเทียบเทียบสัญญาณดิจิตอลแบบสี่เหลี่ยมเทียบกับสัญญาณดิจิตอลแบบสามเหลี่ยม .	31
ภาพที่ 34 ความกว้างของสัญญาณดิจิตอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์	31
ภาพที่ 35 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดจ์ระหว่าง 2 แหล่งจ่ายแวงเซลล์แสงอาทิตย์และกัณฑ์ลม.....	32
ภาพที่ 36 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดจ์ระหว่างแวงเซลล์แสงอาทิตย์และกัณฑ์ลมแบบมีแบตเตอรี่สำรอง พลังงาน.....	33
ภาพที่ 37 ภาพไดอะแกรมตำแหน่งอุปกรณ์ในการจัดการแหล่งจ่ายพลังงาน.....	34
ภาพที่ 38 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบด้วยฟังก์ชันพีซีซีลอจิก.....	35
ภาพที่ 39 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้าและสัญญาณ PWM ในการทำงานของ MOSFET.....	35
ภาพที่ 40 ไดอะแกรมวงจรแสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจาก 2 แหล่งใน U.P.S.....	36
ภาพที่ 41 ภาพไดอะแกรมการวางระบบไฮบริดจ์ในการจ่ายไฟฟ้าร่วมของระบบ (AC / DC / DS)..	36
ภาพที่ 42 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดจ์จากแหล่งจ่าย 2 แหล่งโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง.....	37
ภาพที่ 43 แผนไดอะแกรมการดำเนินงานวิจัย.....	39
ภาพที่ 44 ไดอะแกรมรวมของระบบแบ่งปันภาระโหลด	41
ภาพที่ 45 รูปแบบการเขียนวงจรไฟฟ้า (Circuit diagram).....	42

ภาพที่ 46 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลและสร้างสัญญาณ PWM.....	42
ภาพที่ 47 แสดงส่วนประกอบของวงจรขับมอสเฟต	44
ภาพที่ 48 แสดงไดอะแกรมส่วนประกอบในภาคเพาเวอร์มอสเฟต	45
ภาพที่ 49 ซอฟต์แวร์ Arduino Software (IDE).....	46
ภาพที่ 50 เงื่อนไขการทำงานแบบปรับพัลส์แบบสเตปเงือนไซ.....	47
ภาพที่ 51 แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงือนไซ	48
ภาพที่ 52 การทำงานของฟัซซี่ลอจิกประกอบไปด้วย Fuzzyfication, FuzzyInference , Defuzzyfication	50
ภาพที่ 53 แสดงสัญญาณไฟฟ้าจากอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก	50
ภาพที่ 54 แสดงแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งอินพุต	51
ภาพที่ 55 แสดงแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งอินพุต	52
ภาพที่ 56 เงื่อนไขในการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า พื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดรง.....	55
ภาพที่ 57 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในขาเอาต์พุต 9 และ 10 .56	56
ภาพที่ 58 แสดงสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	56
ภาพที่ 59 แสดงระยะเดดไทม์ของการสวิทช์	56
ภาพที่ 60 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าในการออกแบบวงจรขับมอสเฟต	57
ภาพที่ 61 แสดงสัญญาณ PWM ที่ถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์.....	57
ภาพที่ 62 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าในการออกแบบวงจรเพาเวอร์มอสเฟต	58
ภาพที่ 63 แสดงแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบ.....	58
ภาพที่ 64 แสดงแบบจำลองกำลังไฟฟ้าในการใช้งานของโรงเรือนเกษตร	60
ภาพที่ 65 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงือนไซ	61
ภาพที่ 66 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของวงจรรระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน.....	62

ภาพที่ 67 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ	63
.....	
ภาพที่ 68 แสดงการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ.....	64
ภาพที่ 69 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน.....	65
ภาพที่ 70 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ	66
.....	
ภาพที่ 71 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบบการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ	67
ภาพที่ 72 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ	68
.....	
ภาพที่ 73 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบบการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ	69
ภาพที่ 74 แสดงการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ.....	70
ภาพที่ 75 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก ..	71
ภาพที่ 76 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบการปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก	72
ภาพที่ 77 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก ..	73
ภาพที่ 78 กราฟประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ ...	74
ภาพที่ 79 แสดงการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ.....	75
ภาพที่ 80 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก ..	76
ภาพที่ 81 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ ...	77
ภาพที่ 82 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก ..	78
ภาพที่ 83 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ ...	79
ภาพที่ 84 แสดงกำลังไฟฟ้าจากการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังการทดสอบโหลด	80
ภาพที่ 85 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีการติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบเพื่อรักษาแรงดันทางด้านเอาต์พุต	84
ภาพที่ 86 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีใช้อัลกอริทึมในการปรับพัลส์ในการควบคุมระบบ	85

ภาพที่ 87 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	86
ภาพที่ 88 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตำแหน่งมหาวิทยาลัยแม่โจ้.....	90



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางแสดงระยะเวลาในการใช้งานอุปกรณ์.....	38
ตารางที่ 2 ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนปลูกพืช และชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ.....	40
ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ขับมอสเฟตรหัส BD139.....	44
ตารางที่ 4 ตารางข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสเฟตรหัส IRF4905	46
ตารางที่ 5 ตารางข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดรหัส RFN60TS6D	46
ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลการทำงานโดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแต็ปเงื่อนไซ	48
ตารางที่ 7 เงื่อนไขฐานกฎเกณฑ์ฟิชซีในการอนุमानและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของกระบวนการ	49
ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลการทำงานโดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟิชซีลอจิก	51
ตารางที่ 9 ตารางแสดงกรณีเงื่อนไซในการทดสอบ	81
ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยและพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการใช้งาน	82
ตารางที่ 11 ข้อมูลจำเพาะจากการทดสอบระบบ	87
ตารางที่ 12 ตารางแสดงความพลังงานแสงอาทิตย์ ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	88
ตารางที่ 13 ตารางแสดงการคำนวณข้อมูลทางด้านไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน	91
ตารางที่ 14 ราคาอุปกรณ์ร่วมในการติดตั้งระบบแบ่งปันภาระไหลด	116
ตารางที่ 15 ราคาต้นทุนในการติดตั้งระบบในกรณีต่างๆ	116

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

Area	พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์	m ²
C _{GH,After}	ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	Baht /Year
C _{GH,Befor}	ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	Baht /Year
Cost _E	ค่าไฟฟ้า	Baht
C _{SAVE}	ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	Baht /Year
C _{System}	ต้นทุนการปรับปรุงระบบ	Baht
I _{max}	ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	A
P _E	พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน	kWh/m ² /Day
P _{GH,net,Befor}	พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนก่อนปรับปรุง	kWh/Year
P _{GH,net/year}	พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนรายปี	kWh/Year
P _{GH,SAVE}	ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือน	kWh/Year
P _{max}	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	W
PPT	ระยะเวลาการคืนทุน	Year
P _{S,net /Month}	พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์รายเดือน	Wh/Month
P _{S,net/year}	พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์รายปี	kWh/Year
P _{S,net}	พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์รายวัน	Wh/Day
n	จำนวนวัน	Day
R	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทาน	Ω
Solar _{Eff}	ประสิทธิภาพแปลงแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า	%
V _{AC}	ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	V
V _{DC}	ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	V
V _{max}	ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	V
V _{Output}	ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก	V
V _{Peak}	ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด	V
V _S	ค่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย	V

อักษรย่อ

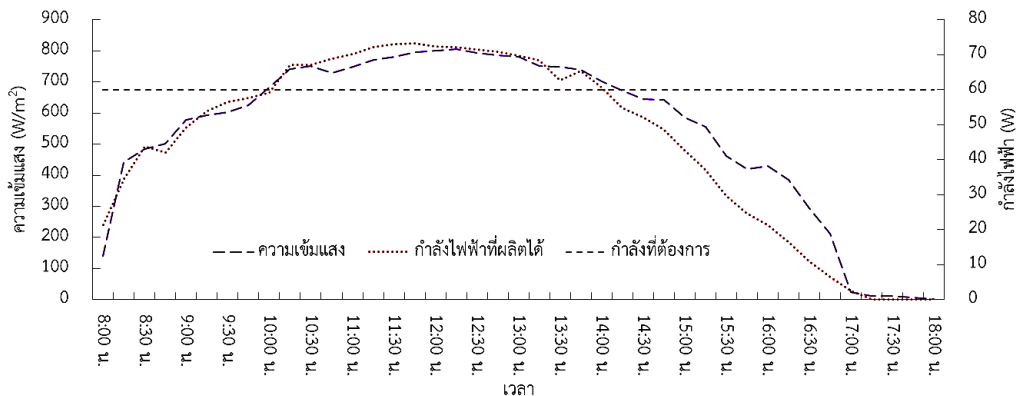
A	Current
AC	Alternating Current Electricity
ADC	Analog to Digital Converter
Bit	Binary digit
COA	Center of Area
D	Drain
DC	Direct Current Electricity
G	Gate
I/O	INOUT/OUTPUT data Port
IC	Integrated Circuit
MCU	Microcontroller Unit
N	MOSFET N channel (PNP)
P	MOSFET P channel (NPN)
PID	Proportional Integral Derivative
PWM	Pulse Width Modulation
S	Source
SMD	Surface Mount Device
V	Voltage

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันทั้งในภาคการเกษตรถึงภาคอุตสาหกรรมปัญหา
ค่าไฟฟ้าที่มีราคาสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนของผลผลิตและการลงทุนจึงทำให้การเลือกใช้
พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกเป็นที่นิยมในการใช้ทั่วโลกแต่ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นใน
ระหว่างการใช้งานซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่ในแต่ละวัน เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการผลิตและการจ่ายพลังงานของแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ (Solar Cell Module) โดยตรงทำให้เสถียรภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละ
ช่วงเวลาไม่คงที่แสดงดังภาพที่ 1 จึงทำให้การทำงานของระบบการผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand
Alone Off Grid) ที่ไม่ใช้แบตเตอรี่ในการสะสมพลังงานไฟฟ้าจึงทำให้มีปัญหาในการจ่ายพลังงาน
ไฟฟ้าที่ไม่คงที่กับอุปกรณ์ไฟฟ้า



ภาพที่ 1 แสดงผลกระทบของความเข้มแสงในการผลิตไฟฟ้า

และยังประสบปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Electricity, AC) ที่เกิดจากการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับประเภทมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสสลับ ที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) ทำให้ในระบบกระแสสลับมีค่าสูญเสีย
พลังงานไฟฟ้าในการทำงานเพิ่มขึ้น จากปัญหาดังกล่าวที่ประกอบไปด้วย ปัญหาต้นทุนค่าไฟฟ้า
ปัญหาความไม่ต่อเนื่องในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และปัญหาการสูญเสีย
พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

จึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยจะนำร่องการใช้งานระบบกับระบบโรงเรือนปลูกพืชทางการเกษตรที่ใช้ที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแหล่งพลังงานเดิม โดยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนเพาะปลูกพืชเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Electricity, DC) เนื่องจากระบบไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้สูงสุดในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง และเพื่อแก้ปัญหาความไม่ต่อเนื่องในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่ในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า และเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งของการไฟฟ้าให้กับเกษตรกรที่ใช้ระบบปลูกพืชแบบโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือน

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์แบ่งปันภาระโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน
2. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์แบ่งปันภาระโหลดทางไฟฟ้าในกรณีต่างๆ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบแบ่งปันภาระโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง
2. ทดสอบโดยใช้หลอดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้า 12V ในการจำลองกำลังไฟฟ้าในการใช้งานเทียบเคียงอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนแทนโหลดจริง
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบภายใต้อัลกอริทึมต่าง ๆ
4. ประเมินระยะเวลาคืนทุนทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานของระบบในกรณีที่ปริมาณกำลังงานเฉลี่ยที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าและมากกว่าปริมาณกำลังงานเฉลี่ยของโหลดที่ต้องการ
6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานของระบบกรณีใช้และไม่ใช้แบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าทางอินพุตของระบบ

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ออกแบบและสร้างระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับโรงเรือนต้นแบบที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ได้ทราบถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของก่อนและหลังการปรับปรุงพัฒนาระบบในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ
3. ได้ทราบระยะเวลาคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับโรงเรือนต้นแบบที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง



บทที่ 2

ทฤษฎี และการตรวจเอกสาร

ได้ทำการรวบรวมทฤษฎี และเอกสารที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับงานวิจัยการออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยมีการแบ่งทฤษฎีและการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเทคโนโลยีที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายและเกิดการยอมรับในการใช้และในการพัฒนาเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าในการทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบพื้นฐานจากสายส่งการไฟฟ้า โดยใช้รังสีอาทิตย์ที่มีอยู่อย่างมากมายในธรรมชาติ แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานในเรื่องของการใช้งานด้วยลักษณะการทำงานที่ต้องใช้รังสีอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าจึงใช้งานได้ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น และมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและมีปริมาณมากมหาศาลจากธรรมชาติและเป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตามธรรมชาติเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดไป และมีศักยภาพสูงโดยพลังงานจากแสงอาทิตย์จะสามารถแบ่งตามการผลิตพลังงานได้เป็นทั้งพลังงานไฟฟ้า และความร้อนในปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อุปกรณ์ที่รับรังสีอาทิตย์ เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน ที่มีราคาถูก มาผ่านกระบวนการทางเคมีในการผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ที่เคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า (Semi-Conductor) เมื่อมีรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะแยกออกสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเมื่ออิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ครบวงจร จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขึ้น โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย คือ สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดมาวางซ้อนกันโดยมีชั้นระหว่างสารทั้ง 2 ชนิดที่ เรียกว่า (P-N Junction)

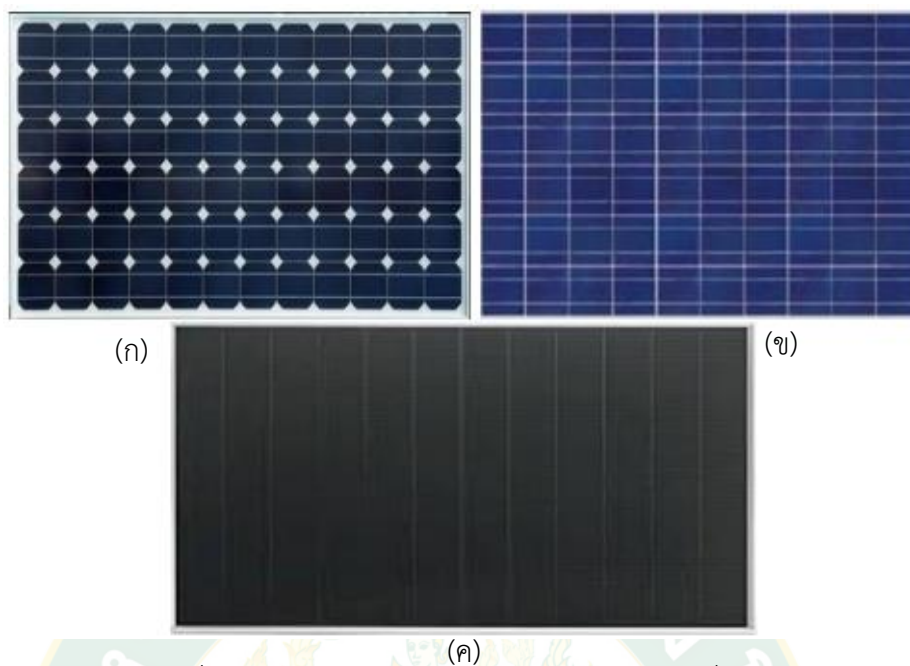
การผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1839 (Saga, 2010) และในปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และได้นำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon)

แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) (Kayes และคณะ, 2011), อินเดียมฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ประเภทหลักแสดงดังภาพที่ 2 ได้แก่

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนโดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรกเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Solar Cell) มีประสิทธิภาพโดยประมาณ 15-20% (Huang และคณะ, 2014) และเซลล์แสงอาทิตย์อีกหนึ่งประเภทได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก มีประสิทธิภาพประมาณ 10-17% (Kayes และคณะ, 2011)

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแบบบาง (Amorphous Silicon Solar Cell) (Meier และคณะ, 2004) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง $0.5 \mu\text{m}$ หรือเท่ากับ 0.0005 mm น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% (Yan และคณะ, 2010)

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Bauhuis และคณะ, 2009) แคดเมียมเทลลูไรด์ และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ เป็นต้น ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้จะแบ่งออกเป็นชนิดผลึกเดี่ยว และผลึกรวมโดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับกิจการด้านอวกาศ



ภาพที่ 2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิต

(ก.) Monocrystalline Silicon Solar Cell

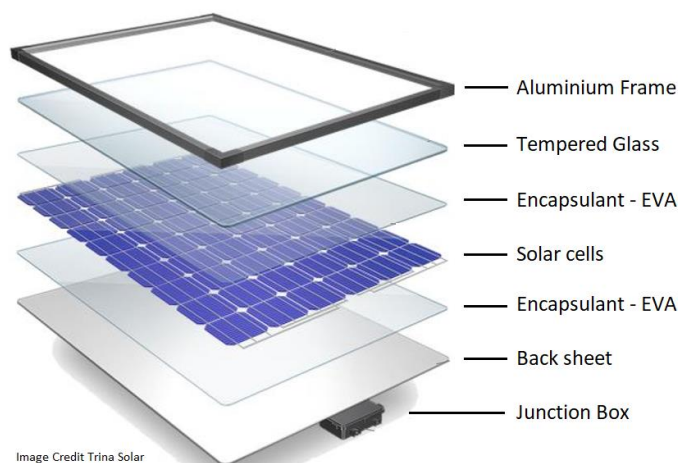
(ข.) Polycrystalline Silicon Solar Cell

(ค.) Amorphous Silicon Solar Cell

(ที่มา: <https://www.klcbright.com/solarcellpanel-mono-poly-thinfiln.php>, 05/08/2561)

รูปแบบการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะทำเป็นแผงที่เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาประกอบเข้าด้วยกัน และใช้กระจกปิดด้านบนและด้านล่างจะปิดด้วยวัสดุที่เหมาะสมตามที่โรงงานนั้นๆ ที่ผลิตขึ้นมาซึ่งจะช่วยป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์จากความชื้น การขีดข่วน และการแตกหักจากการกระแทกแสดงดังภาพที่ 3



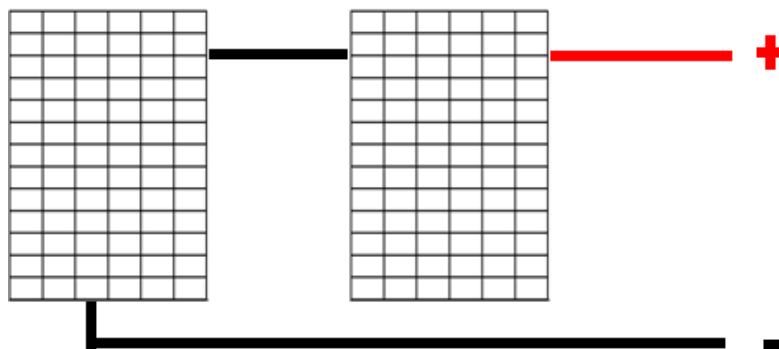
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา <http://www.spower.co.th/spower-solar.php>)

โดยการออกแบบการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกันหลายๆ เซลล์เข้าด้วยกันจะมีความสำคัญต่อการกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบ และอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ความสำคัญอยู่ที่การกำหนด ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage, V) และ กระแสไฟฟ้า (Current, A) สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์การเลือกอุปกรณ์มาประกอบกันเพื่อให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ไม่เกิดความเสียหายแก่ระบบโดยรูปแบบการต่อเซลล์แสงอาทิตย์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

การต่อโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม (Series Connection) จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามจำนวนของแผงที่ต่อรวมกัน โดยหลักการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมแสดงดังภาพที่ 4 และวิธีการคำนวณสามารถแสดงดังสมการที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม (Series Connection)

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = V_1 + V_2 + V_3 + V_n$$

สมการที่ 1

$$\text{กระแสไฟฟ้า} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

สมการที่ 2

เมื่อ

V = ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I = ค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

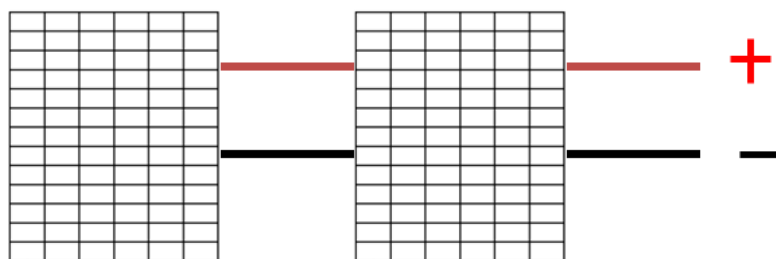
n = ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**กรณีใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมสามารถต่อเพื่อให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นตามความต้องการของผู้ออกแบบระบบแต่ต้องไม่สูงเกินกว่าค่าตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่กำหนดจากผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีที่นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากันไม่ควรนำมาต่ออนุกรมร่วมกันในระบบ

2. การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน (Parallel Connection) เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน ควรจะต้องใช้แผงที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากันในการต่อใช้งานในระบบ โดยหลักการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานแสดงดังภาพที่ 5 และการคำนวณการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานแสดงดังสมการที่ 3 และ 4



ภาพที่ 5 การต่อโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน (Parallel Connection)

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = V_1 = V_2 = V_3 = V_n$$

สมการที่ 3

$$\text{กระแสไฟฟ้า} = I_1 + I_2 + I_3 + I_n$$

สมการที่ 4

เมื่อ

V = ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

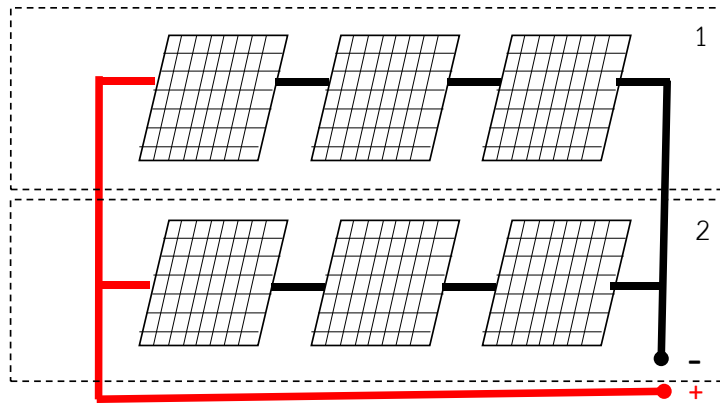
I = ค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

n = ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

**กรณีใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน

3. การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม (Series-Parallel Connection) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกันระหว่างแบบอนุกรมและแบบขนาน เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามขนาดที่ต้องการของผู้ออกแบบระบบใช้งาน โดยใช้หลักการของการต่อแบบอนุกรม และแบบขนาน การต่อแบบขนานแรงดันไฟฟ้าจะเท่าเดิมและได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และการต่อแบบอนุกรมจะค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และค่ากระแสไฟฟ้าเท่าเดิม โดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสานจะสามารถคำนวณการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังสมการที่ 5 และ 6



ภาพที่ 6 จำลองการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม

จากภาพที่ 6 แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม สามารถคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้าชุดที่ 1} = V_{1-1} + V_{1-2} + V_{1-3} + V_{N-n}$$

สมการที่ 5

$$\text{แรงดันไฟฟ้าชุดที่ 2} = V_{2-1} + V_{2-2} + V_{2-3}$$

$$\text{แรงดันไฟฟ้ารวม} = V_1 = V_2$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าชุดที่ 1} = I_{1-1} = I_{1-2} = I_{1-3} = I_{N-n}$$

สมการที่ 6

$$\text{กระแสไฟฟ้าชุดที่ 2} = I_{2-1} = I_{2-2} = I_{2-3}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้ารวม} = I_1 + I_2$$

เมื่อ

$$V = \text{ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)}$$

$$I = \text{ค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)}$$

$$N = \text{ชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิจารณา}$$

$$n = \text{ลำดับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิจารณา}$$

**กรณีใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่ากัน

เทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์

ฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นตรรกะการคิดในกระบวนการทำงานของระบบควบคุมที่มีความแตกต่างจากการใช้เงื่อนไขแบบลอจิกบูลีน (Boolean Logic) ที่ประกอบไปด้วยเงื่อนไขคำว่า ใช่ – ไม่ใช่ หรือ 0 และ 1 ในการควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Dunn, 1973) ฟัซซีลอจิกนี้เป็นตรรกะหลายระดับที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกในชุดข้อมูล (Degree of membership) โดยใช้ค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ไปถึง 1 เพื่อบอกถึงความเป็นสมาชิกโดยค่า 0 แทนความไม่เป็นสมาชิกในกลุ่ม และในขณะที่ 1 จะแทนสมาชิกในกลุ่มดังนั้นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 จะสามารถแทนระดับความเป็นสมาชิกที่อยู่ในกลุ่มจากน้อยไปมากโดยทำให้ฟัซซีลอจิกมีลักษณะเด่นในด้านความละเอียดในข้อมูลถึงทำให้มีข้อดีดังนี้ (Jaisin และคณะ, 2019; Yen และLangari, 1999)

ฟัซซีลอจิกเป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง จึงไม่จำเป็นต้องใช้งานกับระบบที่มีอินพุต (Input) ที่มีค่าแน่นอนหรือปราศจากสัญญาณรบกวนที่มีความคลุมเครือได้อย่างหลากหลาย

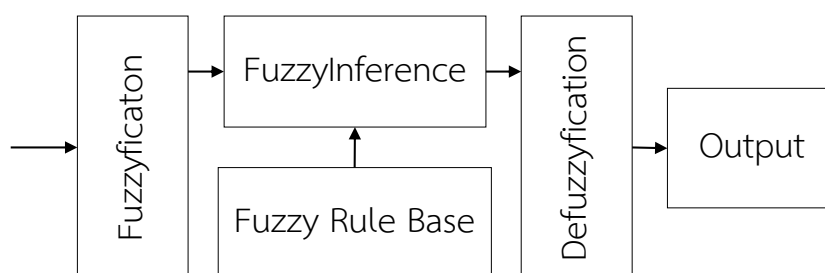
ฟัซซีลอจิกประมวลผลด้วยการใช้กฎที่กำหนดหรือนิยามด้วยผู้ใช้ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกในการปรับแต่งระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

ฟัซซีลอจิกไม่มีข้อจำกัดของจำนวนอินพุตหรือเอาต์พุต (Input/Output) ทำให้การออกแบบระบบสามารถทำได้หลากหลายสามารถใช้เซนเซอร์ (Sensor) ตรวจจับที่มีความแม่นยำต่ำ และมีราคาถูกได้หลายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในขณะที่ความยุ่งยากและราคารวมของระบบไม่เพิ่มขึ้น

ฟัซซีลอจิกมีโครงสร้างที่สามารถแบ่งแยกเป็นหน่วยประมวลผลย่อยๆ ได้ ทำให้ได้ระบบที่มีการกระจายการทำงานง่ายต่อการดูแลและปรับปรุงแก้ไข

ฟัซซีลอจิกสามารถใช้กับงานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ได้ ทำให้ลดภาระการคำนวณหาแบบจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

ซึ่งจะมีกระบวนการการทำงานของฟัซซีลอจิกแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการดังนี้ (Jaisin และคณะ, 2019)



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบฟัซซี

กระบวนการที่ 1 การทำฟัซซี่ (Fuzzyfication) คือจากการรับค่าอินพุตที่ได้จากการประมวลผลก่อนจะถูกแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกโดยสมาชิกจะถูกจัดให้เป็นกลุ่มๆ เพื่อใช้ในการอนุมาน

กระบวนการที่ 2 กลไกการอนุมาน (Inference engine) เป็นส่วนของการนำเอากฎต่างๆ ที่กำหนดไว้จะถูกอนุมานเป็นตัวแปรในการตัดสินใจของระบบ เมื่อระบบได้คำนวณค่าตัวแปรเสร็จสิ้นระบบจะใช้ตัวแปรนั้นๆ ในการดำเนินงานต่อไป ยกตัวอย่างเช่นระบบตรวจวัดพบว่า อุณหภูมิจากตัวตรวจวัดที่ 1 กำลัง “ร้อนขึ้น” อย่าง “รวดเร็ว” ระบบจะทำการพิจารณาค่าอินพุตพร้อมกับตรวจสอบโดยใช้ฐานกฎเกณฑ์ฟัซซี่เป็นเงื่อนไขในการอนุมานการเปิดเครื่องทำความเย็น “แรงที่สุด” เป็นต้น ผลลัพธ์การดำเนินงานทางฟัซซี่ที่ได้ยังคงอยู่ในเทอมของค่าเชิงภาษา

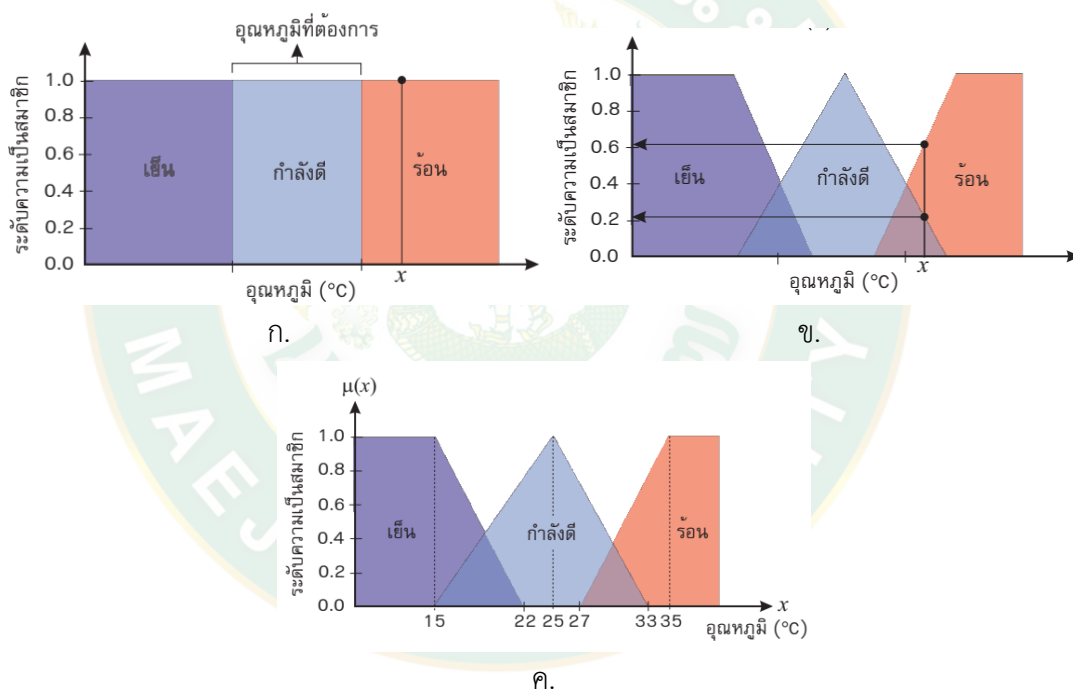
ฐานกฎเกณฑ์ฟัซซี่ (Fuzzy rule base) กฎในระบบฟัซซี่ถือเป็นหัวใจในการดำเนินการควบคุม กฎดังกล่าวสามารถมาจากเงื่อนไขที่หลากหลายรวมไปถึงสามารถให้ผลลัพธ์ที่มากกว่า 1 ผลลัพธ์ได้ ตัวควบคุมที่มีอินพุตและเอาต์พุตมากกว่าหนึ่งจะเรียกว่า MIMO (Multi-Input Multi-Output) ในขณะที่ตัวควบคุมที่มีเพียงหนึ่งอินพุตและเอาต์พุตจะเรียกว่า SISO (Single-Input Single-Output) โดยปกติแล้ว ระบบที่เป็น SISO จะทำการควบคุมสัญญาณค่าความผิดพลาดเพียงอย่างเดียว ซึ่งในบางกรณีอาจจะมีการใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าสะสมของค่าความผิดพลาดร่วมด้วย

กระบวนการที่ 3 การทำดีฟัซซี่ (Defuzzification) ผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากกลไกการอนุมานจะอยู่ในรูปเช่น เปิดเครื่องทำความเย็น “แรงที่สุด” หรือลดเครื่องทำความร้อน “ลงพอประมาณ” และอื่นๆ ในกระบวนการนี้จะแปลงผลทางภาษาเป็นค่าผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบ เช่น การสั่งให้เปิดเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้น 25% เป็นต้น

ฟังก์ชันสมาชิก

ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) พิจารณาฟังก์ชันสมาชิกระหว่างเซต A และฟัซซี่เซตแสดงดังภาพที่ 8 ขอบเขตระหว่างเซตของเซตชัดเจนจะถูกแบ่งโดยเส้นตรงในแนวนตั้ง ดังนั้นความเป็นสมาชิกของตัวแปรใดๆ จะถูกแบ่งด้วยเส้นขอบ เซตนี้อย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้ามสำหรับฟัซซี่เซต ขอบเขตระหว่างเซตจะมีความเหลื่อมล้ำระหว่างเซต แสดงด้วยเส้นตรงที่มีความชันซึ่งทำให้ค่าของตัวแปรสามารถมีค่าความเป็นสมาชิกเหลื่อมล้ำระหว่าง 2 เซตได้ (หรืออาจจะมากกว่า 2 เซต) ฟังก์ชันสมาชิกนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบฟัซซี่ลอจิกสามารถจำลองความรู้จากผู้เชี่ยวชาญเข้าสู่ระบบได้ เพราะในการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกมีองค์ประกอบรูปร่างของฟังก์ชันต่างๆ ที่ต้องพิจารณาได้แก่ ความสูง (ปกติจะให้ค่าเป็นบรรทัดฐานเท่ากับ 1.0) ความกว้าง (แสดงถึงช่วงความเป็นสมาชิกของเซตนั้นๆ) ความชันของเส้นขอบ (แสดงถึงความเป็นฟัซซี่) จุดศูนย์ กลาง หรือการเหลื่อมล้ำของ

ฟังก์ชันสมาชิกของแต่ละเซต องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญผู้ซึ่งสามารถระบุความถูกต้องของตัวแปรภายในระบบได้ เช่นผู้เชี่ยวชาญสามารถบอกได้ว่าค่าอุณหภูมิใดที่ถือว่า “ร้อน” “กำลังดี” หรือ “เย็น” ซึ่งแต่ละระบบมีค่าอุณหภูมินี้แตกต่างกันไป (ในระบบห้องพักที่อยู่อาศัย อุณหภูมิห้องที่ 25°C ถือว่าเป็นอุณหภูมิที่กำลังดี ในขณะที่ระบบโรงงาน อุณหภูมิที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ในสภาพปกติหรือสูญเสียยาน้อยที่สุดถือเป็นอุณหภูมิที่ต้องการ) ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่าส่วนหนึ่งของฐานความรู้ของระบบฟัซซีลอจิกอยู่ที่ฟังก์ชันสมาชิกนั่นเองโดยปกติทั่วไปจะมีการใช้รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบสามเหลี่ยม อย่างไรก็ตามรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกสามารถเป็นแบบอื่นๆ ได้เช่นรูปประฆังคว่ำ รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปทรงเอ็กโปเนนเชียล รูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นทำให้การสร้างระบบในคอมพิวเตอร์มีความยุ่งยากขึ้นด้วย สำหรับฟังก์ชันสมาชิกที่เป็นแบบสามเหลี่ยม (หรือสี่เหลี่ยมคางหมู) ซึ่งมีเส้นขอบเขตที่เป็นเชิงเส้น



ภาพที่ 8 ฟังก์ชันฟัซซีสมาชิก (Membership Function)

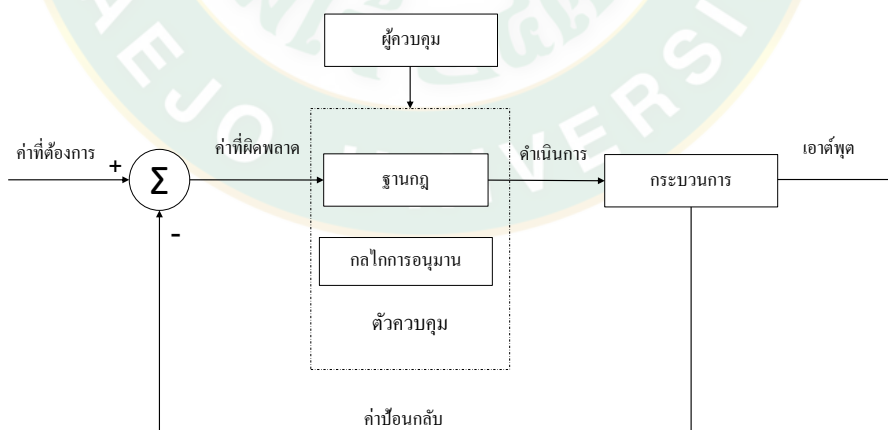
- ก. ฟังก์ชันสมาชิก A ของตัวแปรอุณหภูมิที่ต้องการ
- ข. ฟังก์ชันสมาชิกที่แจกแจงของตัวแปรอุณหภูมิ
- ค. ฟังก์ชันสมาชิกตัวแปรอุณหภูมิจากการแจกแจง

การประยุกต์ใช้

ในการใช้งานพีซีลอจิกในการควบคุมเชิงวิศวกรรมโดยทั่วไปจะรู้จักในชื่อของการออกแบบระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative, PID) ที่มีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ระบบในเครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว ตู้เย็น และระบบต่างๆ ในอุตสาหกรรมที่ใช้พีซีลอจิกในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยการคำนวณเปรียบเสมือนภาษาพูดแทนตัวเลขได้ เช่นคำว่า “มากขึ้นเล็กน้อย” “ลดลงเล็กน้อย” ซึ่งไม่ใช่การใช้ตัวเลขในการสั่งการ เช่น “มากขึ้นจาก 5 เป็น 5.2” เป็นต้น ดังนั้นระบบควบคุมแบบพีซีลอจิกในลักษณะคลุมเครือนี้จะควบคุมด้วยประโยคแทนการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการควบคุม ค่า อินพุต/เอาต์พุต โดยการใช้ฐานกฎเกณฑ์พีซีซีในการตัดสินใจที่เกิดจากการควบคุมแทนการใช้ผู้ควบคุมในการสั่งการควบคุมในทางวิศวกรรมสามารถประยุกต์ใช้การควบคุมได้ดังต่อไปนี้ (Bezdek, 1981)

การควบคุมโดยตรง

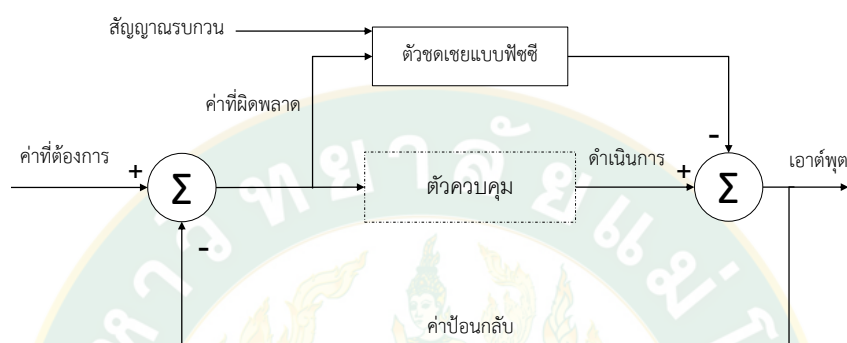
การควบคุมโดยตรง (Direct Control) เป็นการควบคุมจากพีซีลอจิกโดยตรง จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีซีจะอยู่ในส่วนหน้าก่อนที่เอาต์พุตจะถูกป้อนกลับ และเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการจะถูกเปรียบเทียบกับค่าอินพุตที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น ตัวควบคุมจะดำเนินการในการแก้ไขโดยการใช้ฐานกฎเกณฑ์พีซีซี ตามวิธีที่กำหนดหรือออกแบบไว้ในส่วนควบคุม ตัวควบคุมแบบพีซีประเภทนี้ถูกพัฒนาและนำมาใช้แทนตัวควบคุมแบบพีไอดีแสดงดังภาพที่ 9 (Hagras, 2004; Schouten และคณะ, 2002)



ภาพที่ 9 การใช้พีซีลอจิกควบคุมโดยตรง

การควบคุมแบบไปข้างหน้า

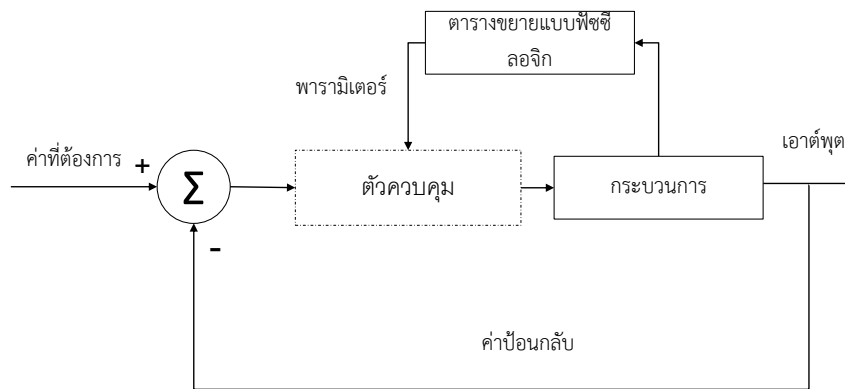
การควบคุมแบบไปข้างหน้า (Feedforward Control) เป็นการประยุกต์เอาฟuzzyลอจิกมาเป็นตัวชดเชยการทำงานของตัวควบคุมในการควบคุมแบบไปข้างหน้า ตัวชดเชยแบบฟuzzyที่อาศัยสัญญาณรบกวนเป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าจะทำการชดเชย และในระบบควบคุมอาจจะเป็นระบบการทำงานแบบพีไอดีโดยใช้ค่าชดเชยแบบฟuzzyในการชดเชยการทำงานของตัวควบคุมในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การใช้ฟuzzyลอจิกควบคุมแบบไปข้างหน้า

การควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัว

การควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัว (Parameter Adaptive Control) ในกรณีที่ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีจุดทำงานเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเริ่มต้นที่ตั้งไว้ เราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมให้สอดคล้องกับจุดทำงานใหม่ได้ด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราขยายแบบฟuzzy (Fuzzy gain scheduling) ตัวควบคุมที่มีตารางการขยายแบบฟuzzyจะประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบเชิงเส้น ที่ซึ่งมีค่าของพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปจากจุดทำงานเดิม อินพุตที่วัดจากตัวตรวจจับจะถูกใช้เป็นตัวแปรในการจัดตาราง (Scheduling Variable) ที่ซึ่งใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเดิม การปรับค่าดังกล่าวจะอยู่ในรูปของตารางค้นหา (look-up table) แสดงดังภาพที่ 11 แผนผังทั่วไปของการควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัวแบบฟuzzyลอจิก



ภาพที่ 11 การใช้ฟuzzy ลอจิกควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัว

การคำนวณฟuzzy เบื้องต้น

การคำนวณฟuzzy ลอจิกซึ่งเป็นการแปลผลเชิงภาษาเป็นจำนวนทางคณิตศาสตร์ในขั้นตอน Defuzzification โดยทั่วไปนิยมใช้การหาจุดกึ่งกลางของเซตที่ทับซ้อนกันของสมาชิกในกลุ่มฟuzzy เพื่อนำมาแปลงค่าทางฟuzzy เป็นตัวแปร ด้วยวิธีการหาจุดกึ่งกลางระหว่างฟuzzy (Center of Area, COA) จากสมการที่ 7 (Jaisin และคณะ, 2019; Yen และ Langari, 1999)

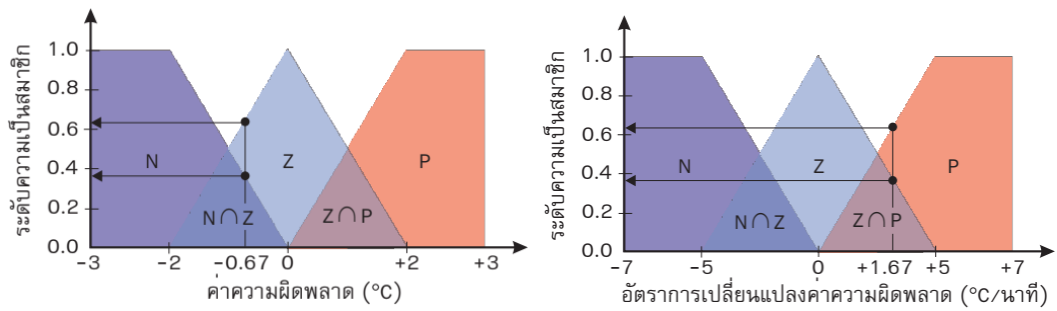
$$COA = \frac{\int_a^b \mu A(x) x dx}{\int_a^b \mu A(x) dx}$$

สมการที่ 7

- เมื่อ
- COA = ค่าการแปลผลทางฟuzzy
- μA = ค่าความเป็นสมาชิกในเงื่อนไขของฟuzzy

ตัวอย่างการคำนวณฟuzzy

กำหนดค่าความผิดพลาดของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าความผิดพลาด -0.67 °C และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด +1.67 °C/min แสดงดังภาพที่ 12 โดยการคำนวณหาระดับการทำงานของพัดลมในเครื่องปรับอากาศโดยอาศัยการคำนวณทางฟuzzy ลอจิกดังตัวอย่างต่อไปนี้

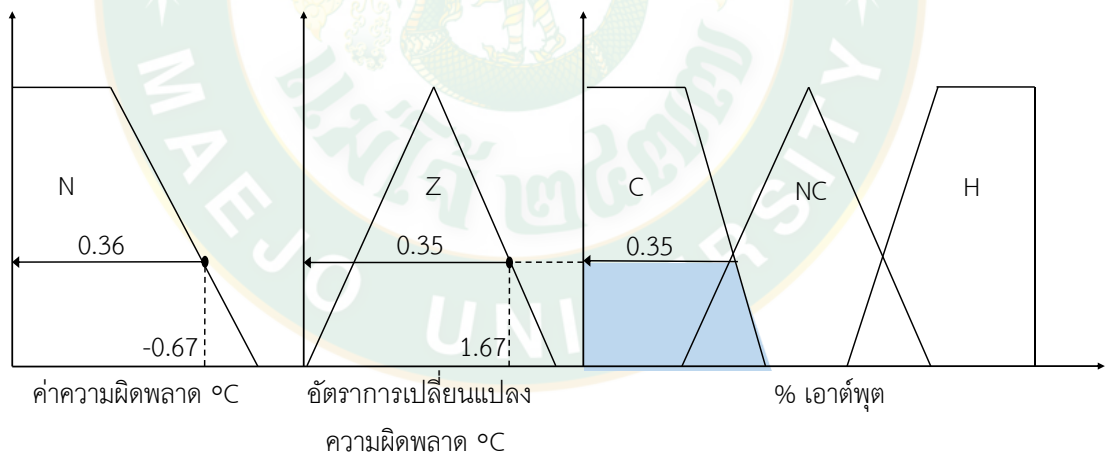


ภาพที่ 12 แสดงการระบุค่าความเป็นสมาชิกของค่าอุณหภูมิ

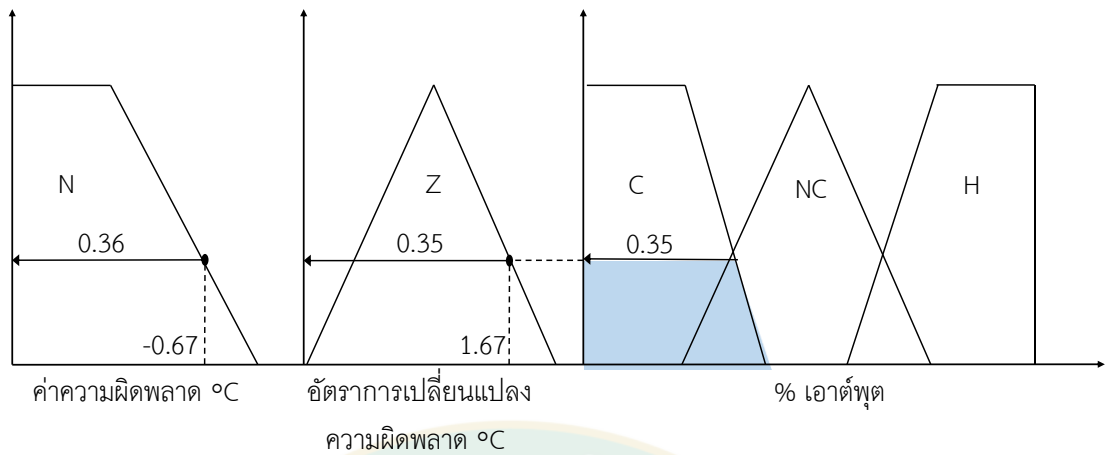
จากการหาค่าความเป็นสมาชิกของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดพบว่ามีค่าระดับความเป็นสมาชิกดังนี้

- ค่าความผิดพลาด $-0.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีระดับความเป็นสมาชิก ในกรณี N และ Z เป็น 0.36 และ 0.62
- ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด $+1.67\text{ }^{\circ}\text{C/นาฬิกา}$ มีระดับความเป็นสมาชิก ในกรณี Z และ P เป็น 0.36 และ 0.62

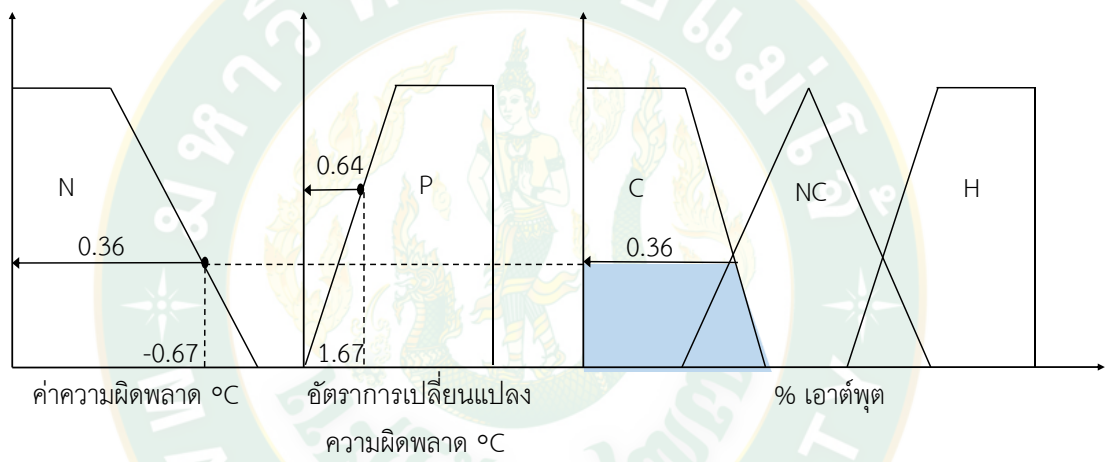
จากข้อมูลความเป็นสมาชิกทั้งหมดถูกคำนวณค่าฟัซซี่โดยอาศัยฐานกฎเกณฑ์ฟัซซี่ โดยอุณหภูมิที่กำหนดอยู่ในเงื่อนไขทางฟัซซี่ทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยแสดงการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani เป็นแผนภาพแสดงดังภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 16



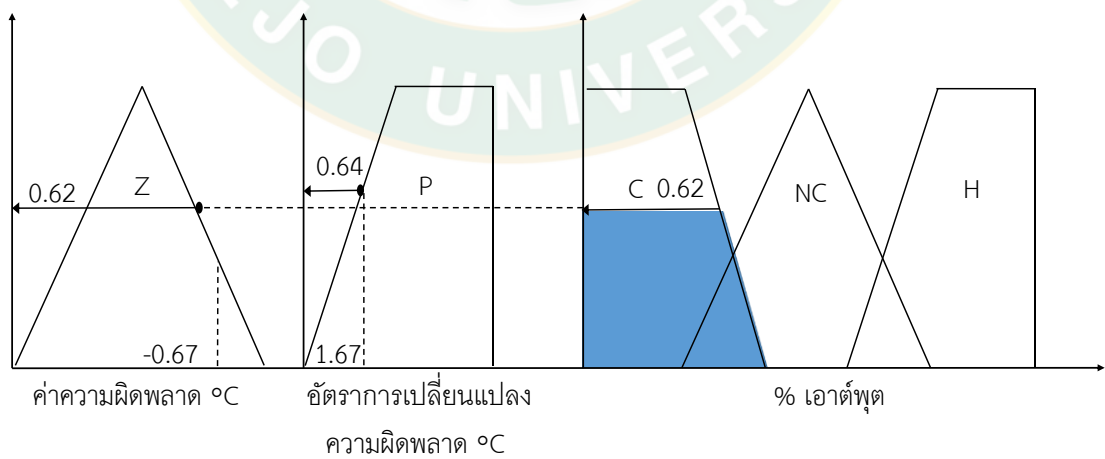
ภาพที่ 13 ผลการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 1



ภาพที่ 14 ผลการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 2

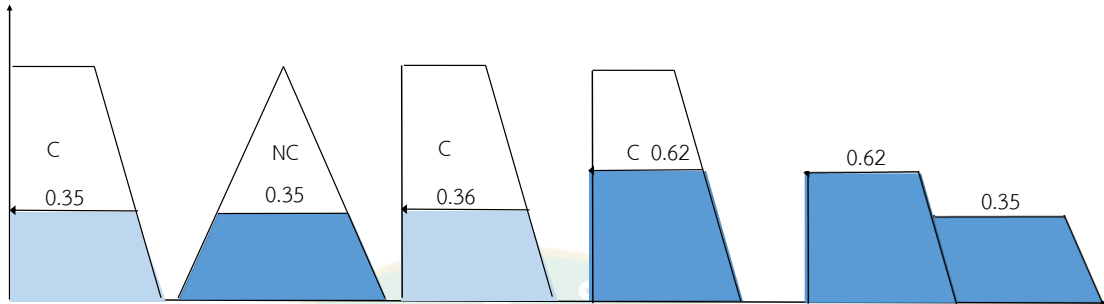


ภาพที่ 15 ผลการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 3



ภาพที่ 16 ผลการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani ในเงื่อนไขที่ 4

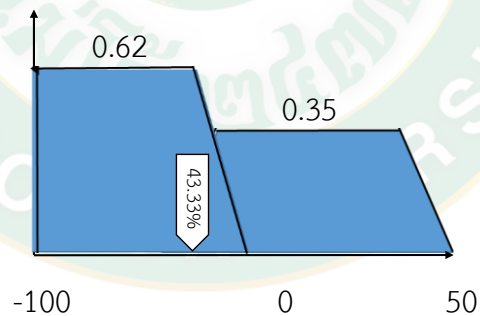
ในการอนุมานค่าความทางฟัซซี่แบบ COA จากสมการที่ 7 เป็นการหาตำแหน่งกึ่งกลางพื้นที่ใต้กราฟของระดับความเป็นสมาชิกที่ทับซ้อนกัน (Intersection) แสดงดังภาพที่ 17 และแสดงการคำนวณได้ดังนี้



ภาพที่ 17 ผลการอนุมานฟัซซี่แบบ Mamdani

$$COA = \frac{(-100 - 83.33 - 66.67 - 50 - 33.33) \times 0.62 + (-16.67 + 0 + 16.67 + 33.33)}{0.62 + 0.62 + 0.62 + 0.62 + 0.62 + 0.35 + 0.35 + 0.35 + 0.35} = -43.33\%$$

ผลจากการคำนวณทางฟัซซี่ในการแปลความหมายเชิงภาษาในการปรับความแรงพัดลมในเครื่องปรับอากาศให้เป็นค่าทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการ COA ด้วยการสั่งให้ระบบปรับการทำงานของพัดลมในเครื่องปรับอากาศให้มีค่าอยู่ที่ 43.33% แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ผลรวมฟัซซี่ด้วยวิธีการ COA

เทคโนโลยีด้านฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit, MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และจุดเชื่อมต่อสัญญาณ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุไว้ในชุดเดียวกันที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาของอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ซึ่งเป็นการใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้านดิจิทัลและอนาล็อก (Digital and Analog) ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ ระบบบัตรคิว ระบบตอกบัตรพนักงาน และอื่นๆ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet network) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาการมาจนถึงปัจจุบัน (Neamen, 2009) เช่น

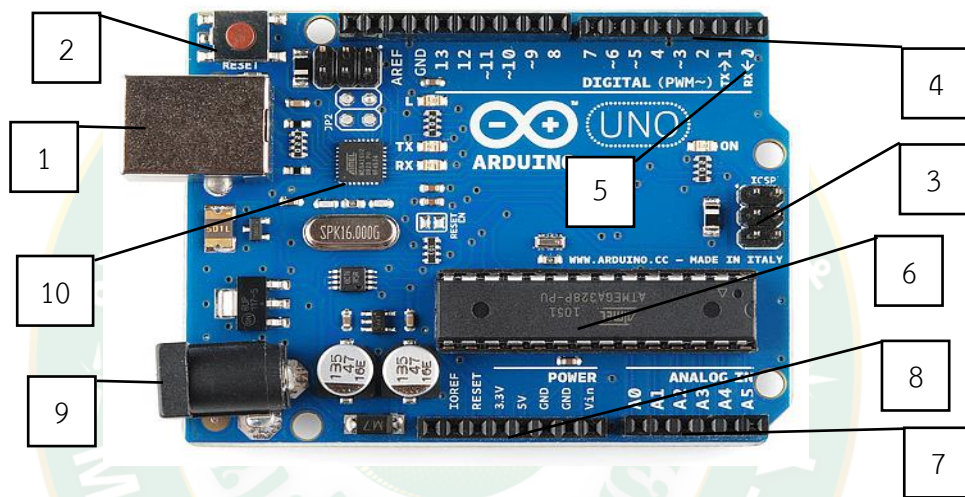
อาดูอินโอ (Arduino) เป็นภาษาอิตาลีโดยเป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ AVR ในรูปแบบอิสระ (Open Source) โดยมีวิธีการในการออกแบบและพัฒนาสำหรับต้นฉบับของสินค้า และความรู้ โดยเฉพาะซอฟต์แวร์ที่ถูกพิจารณาว่าเป็นทั้งรูปแบบหนึ่งในการออกแบบ และแผนการในการดำเนินการที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ได้ และความสามารถในการเพิ่มชุดคำสั่งเริ่มต้น (Boot Loader) เข้าไปที่ตัวชิพประมวลผลจึงทำให้การเขียนโปรแกรม (Upload Code) เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษาซี และผู้ใช้งานยังพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้ ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขาอินพุตและเอาต์พุตของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ ตัวอย่างเช่น เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเชื่อมต่อกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานโดยบอร์ด Arduino มีจุดเด่นที่ทำให้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายดังนี้ (Evans, 2011)

1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ราคาไม่แพง
2. มีกลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนา Arduino Community
3. ซอร์ฟแวร์ที่ถูกเปิดให้ใช้งานอย่างอิสระทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้

หลายด้าน

4. สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ด้วย Cross Platform

โดย Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกทีผลิติดอกมามีขนาด 68.6 x 53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมา เฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนามาจากรุ่น R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิป เป็นแบบ Surface Mount Device (SMD) เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจาก ราคาไม่แพง และส่วนใหญ่ที่พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้เป็นบอร์ดหลักในการใช้งาน โดยมี ส่วนประกอบดังนี้



ภาพที่ 19 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

จากภาพที่ 19 สามารถอธิบายความหมายของตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ดังนี้

1. USB Port ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ ATmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม VisualComport บน ATmega16U2
4. I/O Port เป็น Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx / Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port เป็น ATmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU เป็น ATmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port เป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณแอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

8. Power Port คือ ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วย ไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin

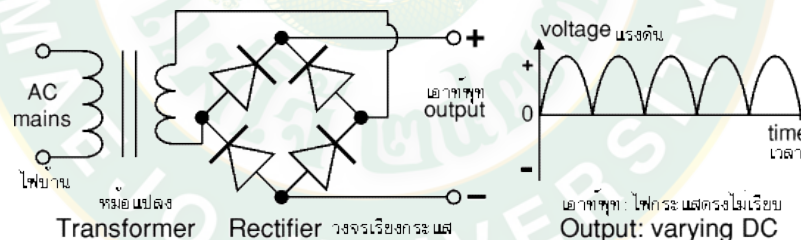
9. Power Jack เป็นส่วนรับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ ATmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดยมีอุปกรณ์ ATmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน ATmega16U2

อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า

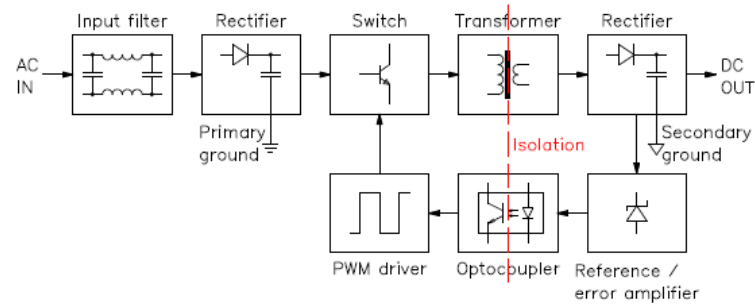
อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้า (Power Supply) คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยเทคนิคต่างๆ และลักษณะการทำงานของอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้างานนี้ (Pressman และคณะ, 2007)

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบหม้อแปลง (Transformer power supply) เป็น อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรไฟฟ้าหนึ่งโดยอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปกติจะใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูง และไฟฟ้าแรงต่ำ หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าจากจำนวนขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก และจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าตามแรงดันอินพุต เป็นอัตราส่วนจากจำนวนขดลวดผ่านไดโอดที่ทำหน้าที่ในการบังคับแปลงทิศทางกระแสไฟฟ้าให้ไปทางเดียวกัน เป็นหลักการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแสดงดังภาพที่ 20 (Reclamation และคณะ, 2011)



ภาพที่ 20 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบหม้อแปลง

2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่ง (Switching power supply) เป็น แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคนิคการสวิตช์ความถี่สูงควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงที่ความถี่สูงในการทำงาน แบบสวิตชิ่ง (Switch mode) สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาได้แสดงไดอะแกรมการทำงานดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิงโหมด

วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าให้วิ่งไปทางเดียวกัน หรือเรียกว่า ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณได้แก่ ไดโอด (Diode) ชนิดของวงจรเรียงกระแสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier Circuit) 2. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1. เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นซีกบวก และ 2. เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นซีกลบ

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นทางบวกและลบ (Half-wave Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวกเป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกบวกของไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้แรงดันที่ได้จากการเรียงกระแส เอาต์พุตที่ออกมาเพียงช่วงบวกของไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้นแสดงดังภาพที่ 22 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้จากสูตรแสดงดังสมการที่ 8

$$V_{DC} = 0.318 V_{Peak} = 0.45 V_{AC} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ

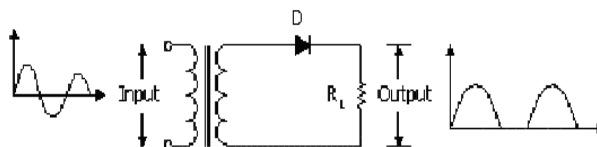
V_{DC} = ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V)

V_{Peak} = ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด (V)

V_{AC} = ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V)

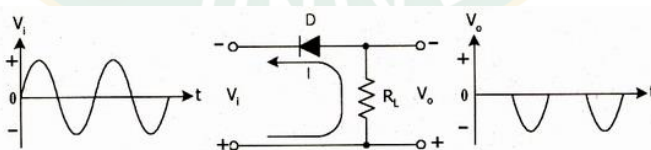
แต่แรงดันไฟตรงที่ได้จะยังไม่สม่ำเสมอมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ที่เรียกว่าพัลส์ดีซี (Pulse DC) ในการใช้งานจะต้องทำสัญญาณไฟฟ้าสม่ำเสมอโดยใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในการเพิ่มและคายประจุไฟฟ้าทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้สม่ำเสมอขึ้นและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเป็น

ไฟฟ้าด้านบวก ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จะทำการประจุแรงดันในช่วงพัลส์ดีซีมีค่าเพิ่มขึ้นและจะคายประจุในช่วงที่พัลส์ดีซีมีค่าลดลงจะเป็นไปในลักษณะเช่นนี้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจะสม่ำเสมอมากขึ้น ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีค่ามากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ก็ยิ่งมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้ตัวประจุไฟฟ้าจะต้องทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยดูจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าจากผู้ผลิต



ภาพที่ 22 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซีกบวก

วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นเป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อกระแสไฟฟ้าจ่ายทางด้านเพสลบจะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดสามารถนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขั้วลบของหม้อแปลงผ่านโหลดเข้าทางขาแคโทด ออกทางแอโนด ครบวงจรที่ขั้วลบของหม้อแปลง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขั้วลบของโหลดมีศักย์เป็นลบขั้วลางมีศักย์เป็นบวกเมื่อขั้วลบของหม้อแปลงได้รับเฟสบวกขั้วลางเทียบศักย์ได้เฟสลบแสดงดังภาพที่ 23 จะทำให้ไดโอดไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะไดโอดได้รับไบอัสกลับ ในช่วงนี้จึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าออกมาที่โหลดเมื่อต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจร ตัวเก็บประจุก็จะทำหน้าที่ประจุแรงดันไฟฟ้าในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง และจะคายประจุไฟฟ้าในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าลดลง โดยจะสอดคล้องกับคลื่นที่ขาดหายให้เชื่อมต่อกัน เป็นการทำให้แรงดันไฟฟ้าสม่ำเสมอยิ่งขึ้น การใช้วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะได้ไฟกระแสตรงออกมาในลักษณะพัลส์ครึ่งคลื่นเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเห็นว่าประสิทธิภาพประมาณ 40% เท่านั้น

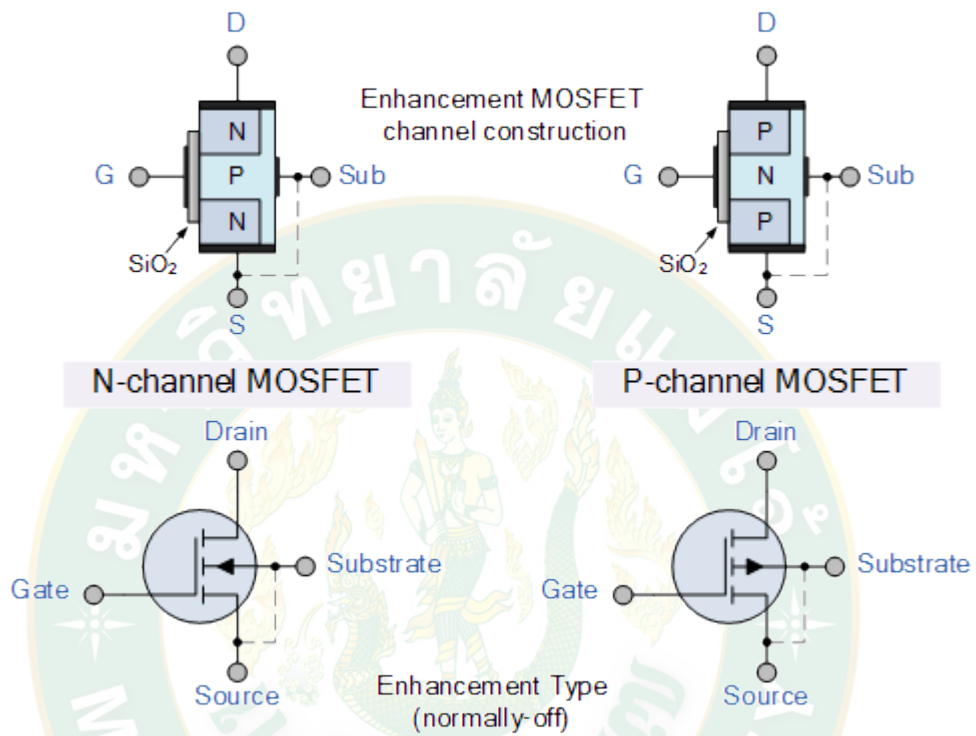


ภาพที่ 23 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นด้านลบ

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกเอาต์พุตได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับวงจร โดยไม่มีส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับถูกตัดออกไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง (Center Tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟส

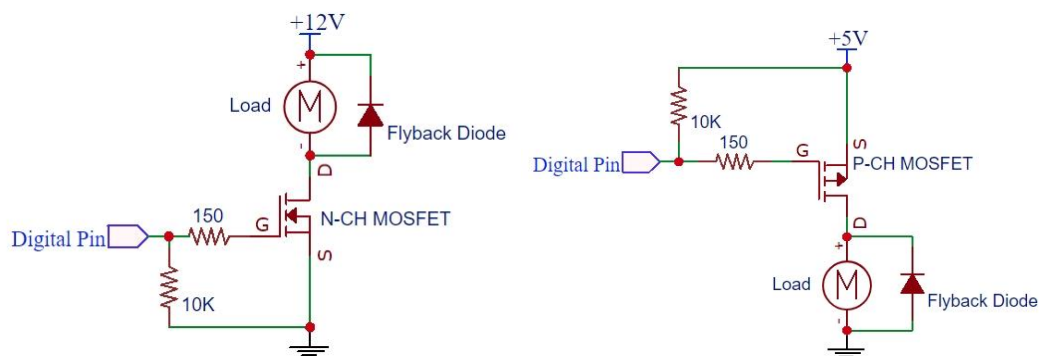
อิเล็กตรอน หรือโฮลล์ ซึ่งเป็นพาหะข้างมาก (Majority Carrier) ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) หรือมอสเฟตชนิดพี (PMOS) จึงทำให้สามารถแบ่งมอสเฟตออกเป็น โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ชนิด (Negative MOSFET, NPN) และชนิด (Positive MOSFET, PNP) โดยแต่ละชนิดมีสัญลักษณ์ประจำอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด N และ P

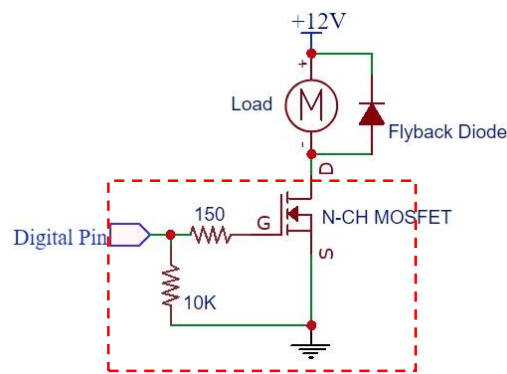
ชนิดของมอสเฟตและการประยุกต์ใช้

มอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดโดยที่แต่ละชนิดจะมีลักษณะการต่อวงจรไฟฟ้าในการใช้งานอุปกรณ์ตัวมอสเฟตที่แตกต่างกันออกไป โดยสังเกตจากตำแหน่งการติดตั้งโหนดในวงจรไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรไฟฟ้าต่างๆ แสดงดังภาพที่ 26



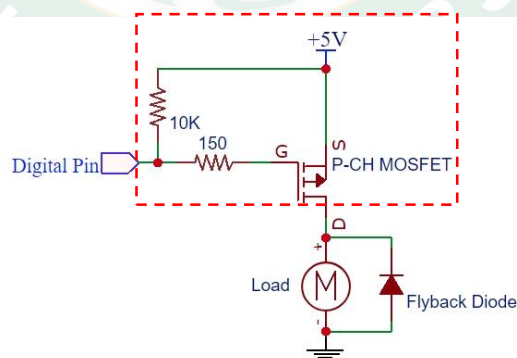
ภาพที่ 26 แสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในการใช้งานมอสเฟตชนิด N และ P

มอสเฟตชนิด N จะประกอบไปด้วยขาเกต (G) ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) โดยมอสเฟตชนิดนี้จะมีลักษณะการต่อใช้งานโพลตไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อมายังขาเดรนของมอสเฟต และขาซอร์ส ของมอสเฟตไปต่อกราวด์โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับกราวด์ของวงจรไฟฟ้า จึงทำให้มอสเฟตชนิด N ทำงานร่วมกับไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้ามี่ศักย์ต่ำเสมอ และสามารถจ่ายสัญญาณควบคุมการทำงานของมอสเฟตได้ที่ขาเกตของมอสเฟต โดยมีตัวต้านทานในการจำกัดแรงดันไบอัสให้กับมอสเฟต และใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีศักย์สูงในการเปิดการนำกระแสของมอสเฟตแสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การต่อวงจรไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของมอสเฟตชนิด N

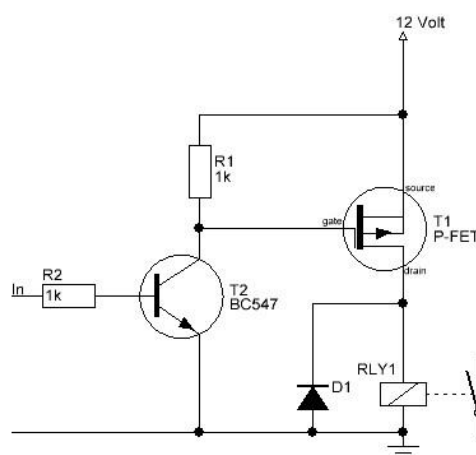
มอสเฟตชนิด P จะมีขาในการเชื่อมต่อขาในการใช้งานคล้ายกับมอสเฟตชนิด N แต่มีข้อแตกต่างในการเชื่อมต่อวงจรในการใช้งาน ทำให้มอสเฟตชนิดนี้จะติดตั้งโพลตเข้ากับกราวด์ของวงจรไฟฟ้าและจึงทำให้มอสเฟตชนิด P ทำงานร่วมกับไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้ามี่ศักย์สูงเสมอ และสามารถจ่ายสัญญาณควบคุมการทำงานของมอสเฟตได้ที่ขาเกตของมอสเฟตเช่นเดียวกันกับมอสเฟตชนิด N แต่จะใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีศักย์ต่ำในการเปิดการนำกระแสของมอสเฟตแสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การต่อวงจรไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของมอสเฟตชนิด P

วงจรขับมอสเฟต

วงจรขับมอสเฟต (Gate Drive MOSFET) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุปกรณ์มอสเฟตโดยการต่อวงจรที่รับสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิตอลมาจากระบบควบคุมที่ไม่สามารถทำการควบคุมอุปกรณ์มอสเฟตได้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม การสร้างวงจรขับมอสเฟตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเบส (B) ที่เหมาะสมกับสัญญาณดิจิตอลที่ระบบควบคุมจ่ายออกมาและไปต่อกับขาเกต (G) ของมอสเฟตเพื่อเป็นการปรับสัญญาณทางไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทำงานของมอสเฟตแสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 วงจรขับมอสเฟตแบบทรานซิสเตอร์

และอีกยังมีวิธีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พวกวงจรมือถือคัปเปิลเลอร์ (Opto-coupler) และทรานซิสเตอร์เป็นส่วนประกอบรวมอยู่ในตัวเดียวแสดงดังภาพที่ 30 เช่น IC TLP250 เป็นต้น



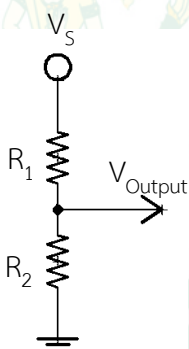
ภาพที่ 30 วงจรขับมอสเฟตแบบสำเร็จรูปในรูปแบบ IC

วงจรแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Dividers) ประกอบด้วยความต้านทาน R_1 และ R_2 ต่ออนุกรมคร่อมแหล่งจ่ายไฟแรงดันจากแหล่งจ่ายถูกแบ่งระหว่างความต้านทานทั้ง 2 ให้แรงดัน เอาต์พุต V_{Output} ซึ่งก็คือแรงดันคร่อม R_2 ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดค่า R_2 กับ R_1 วงจรแบ่งแรงดันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Nonloaded Voltage Divider) และวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด

วงจรถ่วงแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด คือ จะมีความคล้ายกับวงจรถ่วงแบบอนุกรมทุกๆ ไป ซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งแรงดันได้หลายๆ ค่า เพื่อนำไปจ่ายให้กับโหลดที่ต้องการแรงดันในระดับต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไปแสดงดังภาพที่ 31 ซึ่งทั้งนี้แรงดันไฟฟ้าที่ถูกแบ่งทั้งหมดจะนำมาจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าเพียงตัวเดียวเท่านั้น วงจรถ่วงแบ่งแบบไม่ต่อโหลดจึงการคำนวณแบบไม่ต้องนำโหลดมาพิจารณา



ภาพที่ 31 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด

โดยสามารถแสดงการคำนวณแรงดันเอาต์พุตจากวงจรถ่วงแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 9

$$V_{Output} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_S$$

สมการที่ 9

เมื่อ

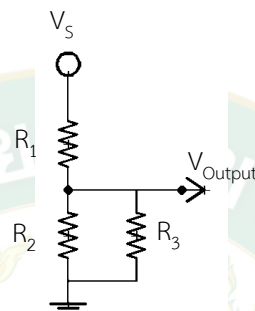
V_{Output} = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า (V)

V_S = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ใช้ในวงจร (V)

R_n = ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทาน (Ω)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด

ในวงจรอนุกรมที่คำนวณค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานต่างๆ เมื่อนำเอาโหลด (RL) มาต่อคร่อมตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งก็จะได้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลดอย่างไรก็ตามจะต้องมีการคำนวณค่ากระแสของแหล่งจ่ายให้เพียงพอต่อการจ่ายกระแสให้โหลดด้วย เพราะเนื่องจากถ้าโหลดใช้กระแสมาก แรงดันที่จ่ายให้โหลดจะลดลงจากกรณีที่ไม่มีโหลดแสดงดังภาพที่ 32 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด



ภาพที่ 32 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด

โดยสามารถแสดงการคำนวณแรงดันเอาต์พุตจากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 10

$$V_{\text{Output}} = \frac{R_2}{R_1 + \left(\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L}} \right)} \times V_S$$

สมการที่ 10

เมื่อ

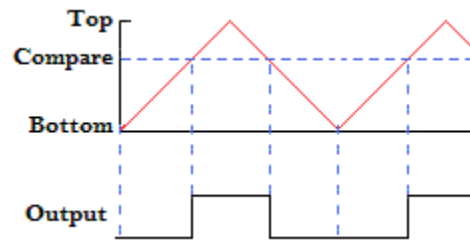
V_{Output} = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า (V)

V_S = แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ใช้ในวงจร (V)

R_n = ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทาน (Ω)

สัญญาณทางไฟฟ้า

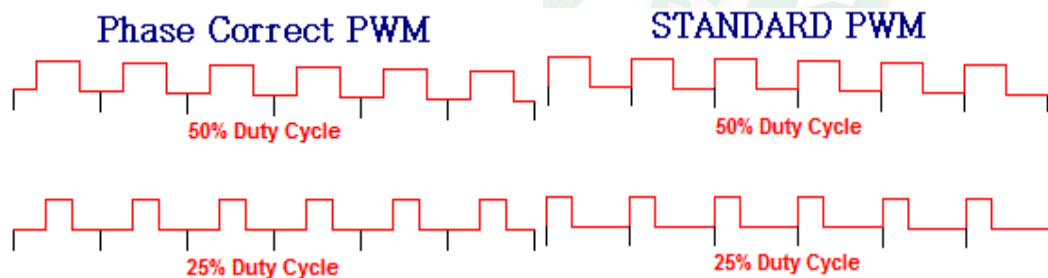
PWM (Pulse Width Modulation) คือการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกัน ตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ความกว้างของพัลส์คงที่ และความกว้างของพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด (Amplitude) ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังภาพที่ 33 (Teikari และคณะ, 2012)



ภาพที่ 33 การเทียบเทียบสัญญาณดิจิทัลแบบสี่เหลี่ยมเทียบกับสัญญาณดิจิทัลแบบสามเหลี่ยม

ในระบบดิจิทัลนั้นจะมีสัญญาณเพียงแค่ระดับสัญญาณสูง (High) และระดับสัญญาณ (Low) โดยเปรียบเทียบการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมด้วยสัญญาณอนาล็อก เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์, การควบคุมความสว่างของหลอดไฟ ฯลฯ ในระบบดิจิทัลจะไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์ดังกล่าวได้ตรงๆ จำเป็นต้องใช้สัญญาณ PWM ในการควบคุมโดยจะสามารถปรับความกว้างสัญญาณ (Duty cycle) ได้โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น ที่ 50% Duty cycle แสดงดังภาพที่ 34 หมายถึงความกว้างสัญญาณที่เป็น High 50% และความกว้างสัญญาณที่เป็น Low 50%

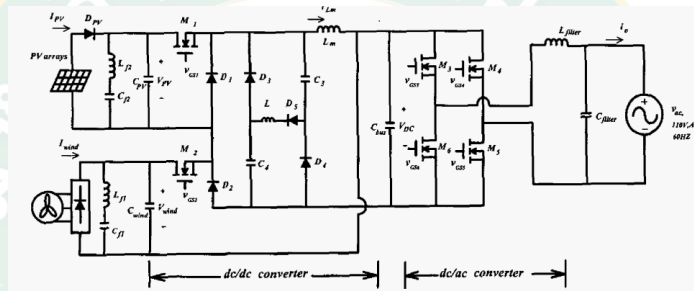
25% Duty cycle หมายความว่าความกว้างสัญญาณเป็น High 25% และความกว้างสัญญาณเป็น Low 75% และ 80% Duty cycle หมายความว่าความกว้างสัญญาณเป็น High 80% และความกว้างสัญญาณเป็น Low 20%



ภาพที่ 34 ความกว้างของสัญญาณดิจิทัลจากการไมโครคอนโทรลเลอร์

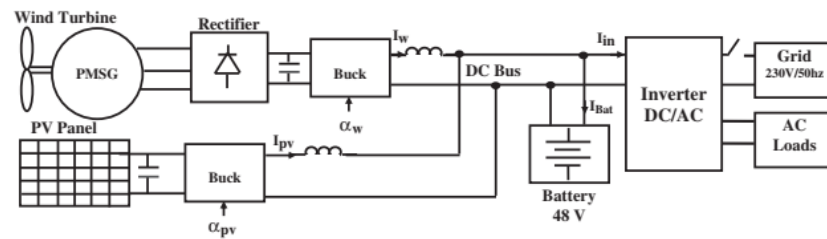
การตรวจเอกสาร

(Chen และคณะ, 2005) ทำการออกแบบระบบไฮบริดจ์พลังงานไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับกังหันลม โดยใช้วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า DC/DC Converter และ DC/AC Converter เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเหมาะสมกับการทำงานของ Inverter โดยใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบสัญญาณ PWM เพื่อให้วงจร Converter ทำงานในการรักษาแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับ Inverter ทำให้ในระบบนี้รองรับการใช้งานไฟฟ้ากระแสสลับ 110V 60Hz 1kW ในระบบนี้ไม่มีการนำเอาแบตเตอรี่มาเก็บพลังงานไฟฟ้าทำให้อยู่ขนาดวงจรให้เล็กลงได้และเป็นการลดต้นทุนการผลิตและการดูแลรักษาอุปกรณ์แต่ยังมีข้อเสียในการจ่ายพลังงานให้กับโหลดในเรื่องของความเสถียรเวลาพลังงานผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการภายนอกจะปิดการทำงานลงแสดงดังภาพที่ 35



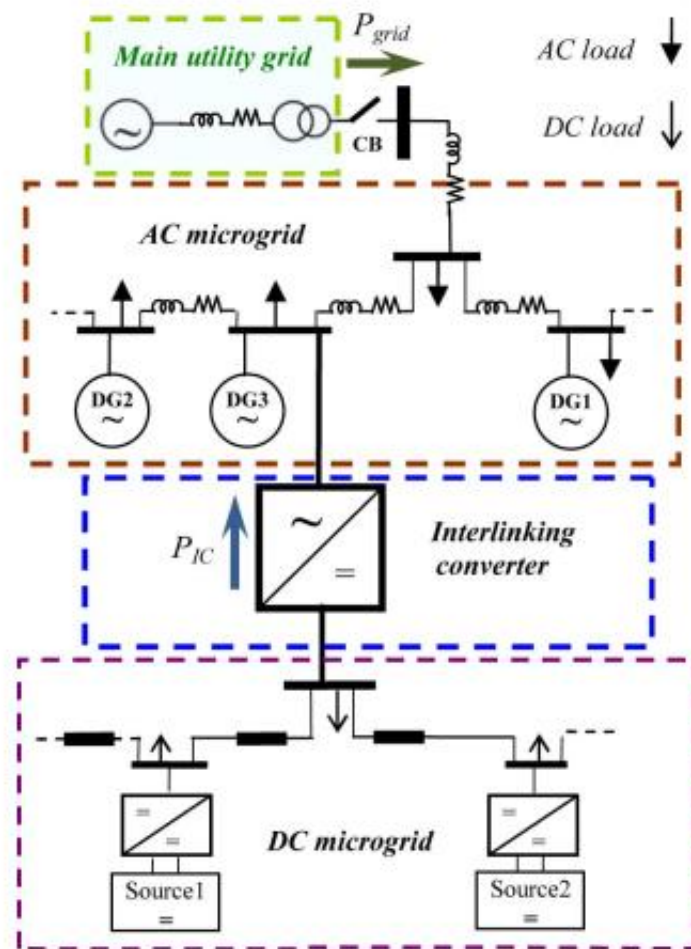
ภาพที่ 35 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดจ์ระหว่าง 2 แหล่งจ่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม

(Dali และคณะ, 2010) ทำการออกแบบระบบผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมแบบไฮบริดจ์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50Hz โดยการออกแบบระบบไฟฟ้าโดยมีวงจรเรียงกระแสจากกังหันลมจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้ตรงกับพลังงานไฟฟ้าที่มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง ไปยังแบตเตอรี่ ขนาด 12V 38 Ah ต่อกันแบบอนุกรม 4 ชุด การร่วมกันของพลังงานจะใช้แบบ DC BUS ที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระหว่าง 43 – 54V แต่ยังคงขาดการควบคุมการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายและยังมีแบตเตอรี่ในระบบทำให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนของระบบและค่าบำรุงรักษาสูงขึ้นแสดงดังภาพที่ 36



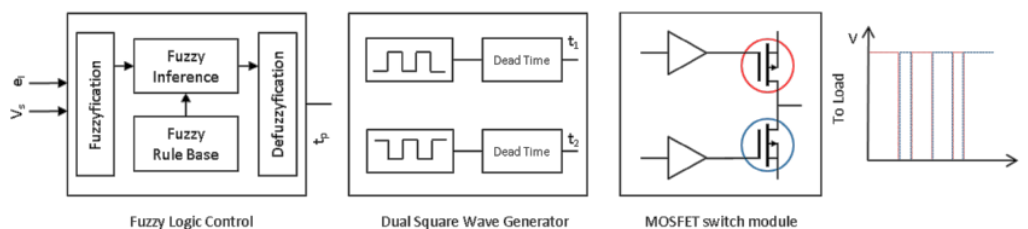
ภาพที่ 36 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมแบบมีแปดเตอร์สำรองพลังงาน

(Eghtedarpour และ Farjah, 2014) ได้ทำการศึกษาระบบควบคุมและการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบไฮบริดไฟฟ้าในระบบกระแสตรงและกระแสสลับในระบบจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยระบบจะทำการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประกอบการทำงานของระบบควบคุมการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยการสวิตช์ตัดการทำงานจากระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากการแหล่งพลังงานทดแทน ทำให้ระบบนี้ใช้งานได้ทั้งไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และไฟฟ้ากระแสตรง ขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งานของโหลดโดยไฟฟ้าจะผ่าน Inverter อีกครั้งเพื่อปรับให้เข้ากับโหลดประเภทไฟฟ้ากระแสสลับแสดงดังภาพที่ 37



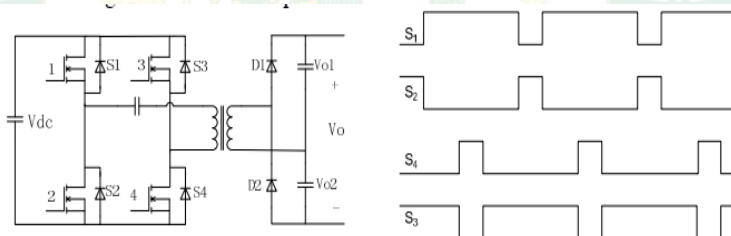
ภาพที่ 37 ภาพไดอะแกรมตำแหน่งอุปกรณ์ในการจัดการแหล่งจ่ายพลังงาน

(Jaisin และคณะ, 2019) ได้ออกแบบต้นแบบของระบบจ่ายพลังงานร่วมเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงทางการเกษตรที่ใช้ในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยโดยใช้เทคนิค (Time-Division Multiplexing) โดยใช้มอสเฟตควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า 2 ชุดเพื่อสลับระหว่างการจ่ายพลังงาน 2 แหล่งจ่ายไฟฟ้า ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณ PWM ที่มีลักษณะสัญญาณเฟสตรงกันข้าม 180 องศา โดยใช้ตัวควบคุมพีซีแอลจิกในการคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า และนำต้นแบบไปประยุกต์ใช้กับระบบสาธารณสุขภูมิภาคทางการเกษตรและทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้อย่างทั่วถึงสามารถแสดงไดอะแกรมการควบคุมแสดงดังภาพที่ 38



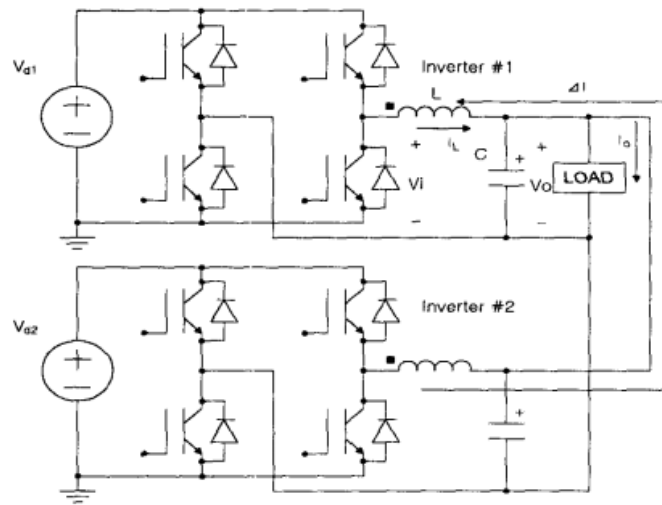
ภาพที่ 38 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบด้วยฟังก์ชันฟัซซีลอจิก

(Jin และคณะ, 2011) ได้ทำการออกแบบระบบเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบวงจรการทำงานโดยอาศัยหลักการของวงจร DC/DC converter ในการแปลงพลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรง จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้กับมอเตอร์สูบน้ำโดยการนำเอาโมสเฟต มาทำงานเป็นสวิทช์ของทำให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงๆ ตามสัญญาณ PWM ที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อไปสร้างสัญญาณไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์กระแสสลับ จากข้อเด่นของการใช้ MOSFET เป็นอุปกรณ์ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์โดยที่มีการสูญเสียพลังงานที่ต่ำจึงได้ใช้ MOSFET และการใช้สัญญาณ PWM มาใช้ในการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบแบ่งปันภาระโหลดแสดงดังภาพที่ 39



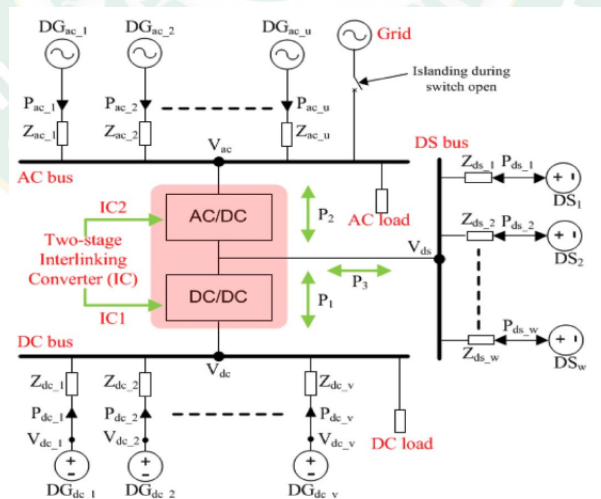
ภาพที่ 39 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้าและสัญญาณ PWM ในการทำงานของ MOSFET

(Lee และคณะ, 1998) ได้ออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าจาก Uninterruptible Power Supply (UPS) โดยการนำเอาระบบมาขนานกันเพื่อการจ่ายไฟฟ้าจาก 2 แหล่งให้กับโหลดด้วยการใช้ IGBT แทน MOSFET เพื่อให้ได้รับโหลดได้สูงขึ้น โดยใช้หลักการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า PWM จากคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมการสวิทช์ IGBT เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั่วไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับไปใช้กับโหลด โดยจะมี feed back ค่าแรงดันไฟฟ้าทางอินพุต และเอาต์พุต ของวงจรไฟฟ้าเพื่อมาใช้ในการปรับสัญญาณ PWM ในการสวิทช์ใช้แหล่งจ่าย จึงได้นำเอาเทคนิคของการควบคุมและการ feed back ของสัญญาณต่างๆ เพื่อจะนำมาประยุกต์ใช้กับระบบแบ่งปันภาระโหลดแสดงดังภาพที่ 40



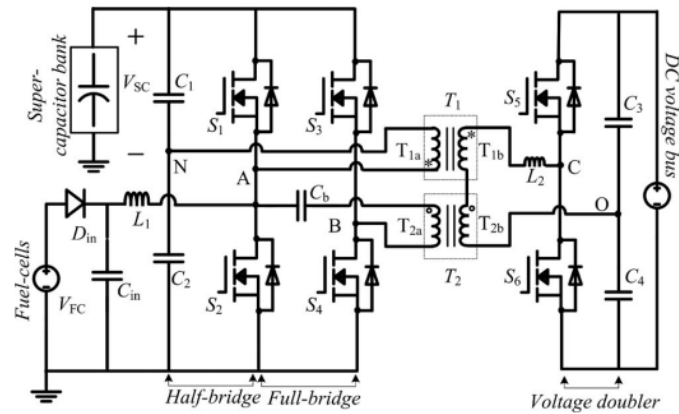
ภาพที่ 40 ไดอะแกรมวงจรแสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจาก 2 แหล่งใน U.P.S.

(Wang และคณะ, 2015) ได้ศึกษาการควบคุมการใช้งานของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสตรง และ it[ไฟฟ้าจากอุปกรณ์เก็บพลังงาน (AC / DC / DS) จะอาศัยระบบไฮบริดจ์อัตโนมัติ ในการจ่ายไฟฟ้าร่วมกับระบบไฟฟ้าร่วมขนาดเล็ก เป็นการนำเสนอการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 แหล่งจากระบบไฟฟ้าเข้าหากันโดยใช้ระบบ Inverter และ Converter ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบ ของกระแสไฟฟ้าให้ตรงกันกับแหล่งที่จะเปลี่ยนแปลงโดยใช้หลักการของ Power sharing ในการจัด การพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมการใช้งานของโหลดแต่ละระบบของการใช้ไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ภาพไดอะแกรมการวางระบบไฮบริดจ์ในการจ่ายไฟฟ้าร่วมของระบบ (AC / DC / DS)

(Zhang และคณะ, 2012) ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบร่วมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงและซูเปอร์คาปาซิเตอร์แบบระบบไฮบริดจ์ โดยการสร้างสัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมมอสเฟตในการสวิตช์ความถี่สูง 100kHz ในการขับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบความถี่สูงโดยการใช้แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่หม้อแปลง 30 – 50V และแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต 400V ความสามารถในการรับโหลดสูงสุด 1kW แสดงดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ไดอะแกรมวงจรไฮบริดจ์จากแหล่งจ่าย 2 แหล่งโดยใช้หม้อแปลงความถี่สูง

สมมติฐานการวิจัย

เบื้องต้นที่ได้ทำการศึกษาพบว่าการใช้โรงเรือนในการเพาะปลูกพืชมีความนิยมมากขึ้น และอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนทำงานด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จึงมีแนวคิดในการใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง โดยการทดแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากสามารถใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยตรงทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในการแปลงระบบการจ่ายไฟฟ้ารวมทั้งค่าการสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ จึงเริ่มทำการศึกษาเรื่องอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในโรงเรือนจาก “สถานีเกษตรหลวงแม่สาใหม่ หมู่ที่ 10 ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่” โดยศึกษาระยะเวลาในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งการไฟฟ้าสามารถสรุปสมมติฐานในการวิจัยทดสอบความสามารถของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรงเพื่อเป็นไปตามเงื่อนไขเดียวกันในการทดสอบดังนี้

1. อุปกรณ์โหลดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบใช้ขนาดเทียบเคียงกำลังการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงเรือน ในการทดสอบประกอบไปด้วย พัดลมหมุนเวียนอากาศภายใน ระบบระเหยน้ำปรับอากาศ (Evaporative cooling system) และระบบปั๊มน้ำ
2. ใช้หลอดไฟฟ้าเป็นโหลดเสมือนเทียบเคียงกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในโรงเรือน
3. ระยะเวลาในการใช้งานอุปกรณ์โดยแสดงดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

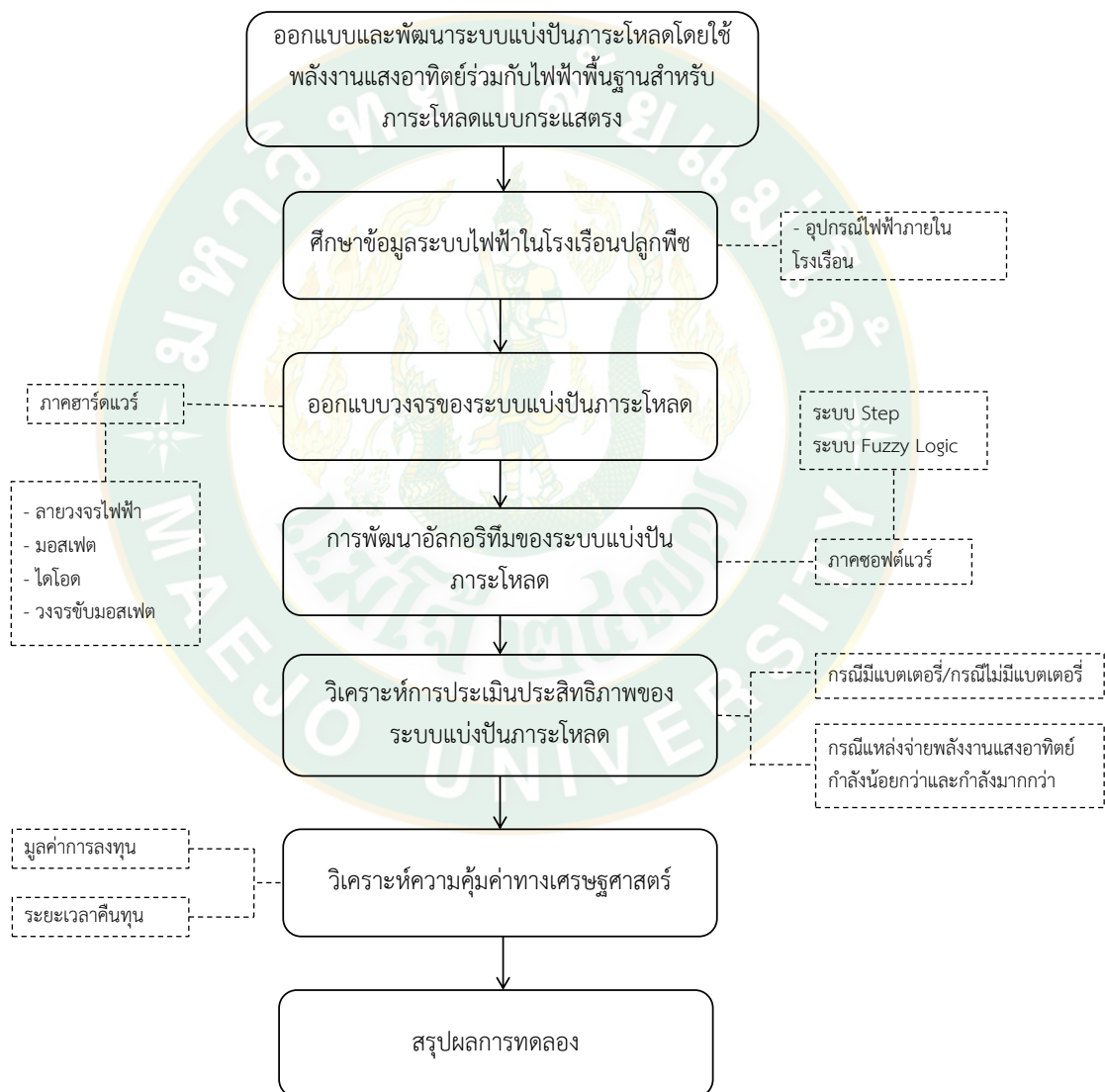
ตารางที่ 1 ตารางแสดงระยะเวลาในการใช้งานอุปกรณ์

ตารางเวลาการทำงาน	ระยะเวลา												
	6:00 - 7:00 น.	7:00 - 8:00 น.	8:00 - 9:00 น.	9:00 - 10:00 น.	10:00 - 11:00 น.	11:00 - 12:00 น.	12:00 - 13:00 น.	13:00 - 14:00 น.	14:00 - 15:00 น.	15:00 - 16:00 น.	16:00 - 17:00 น.	17:00 - 18:00 น.	
ระบบ Evaporative Cooling				●	●	●	●	●	●				
ระบบพัดลมอากาศภายใน		●	●						●	●			
ระบบให้น้ำพืช	●	●		●	●		●	●				●	●

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยออกแบบและพัฒนาระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง มีวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 43 ต่อไปนี้



ภาพที่ 43 แผนไดอะแกรมการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ถูกแบ่งออกเป็น 6 กิจกรรม เพื่อความเข้าใจในการศึกษาและวิเคราะห์สรุปข้อมูลงานวิจัยดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ 1 ศึกษาข้อมูลระบบไฟฟ้าในโรงเรือนปลูกพืช

ศึกษาระบบไฟฟ้าโรงเรือนปลูกพืชโดยศึกษาการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยการสำรวจค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงชั่วโมงการทำงานมีข้อมูลดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

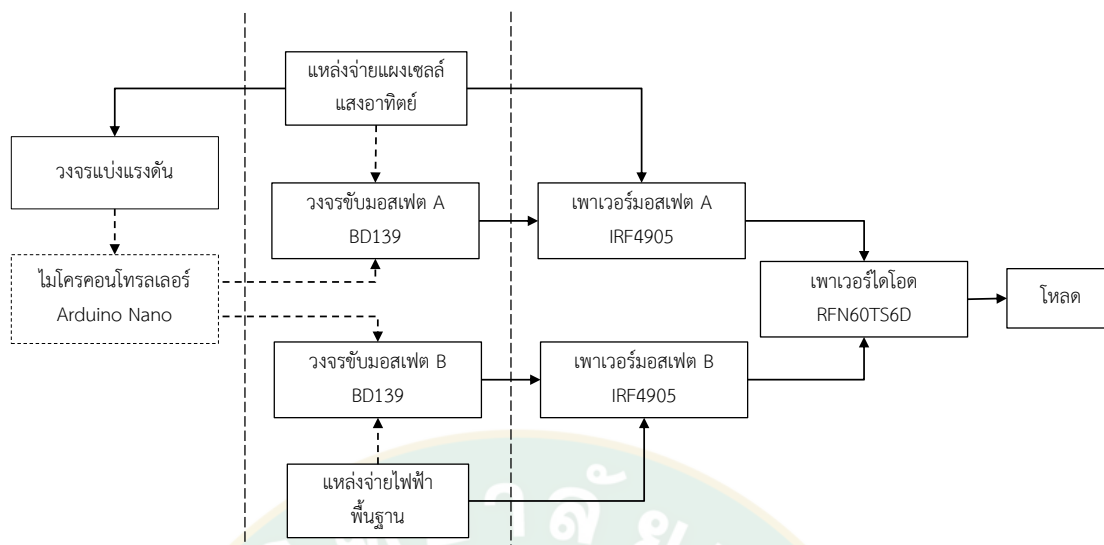
ตารางที่ 2 ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรือนปลูกพืช และชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)	ระยะเวลาในการทำงานต่อวัน (จำนวนครั้ง/ระยะเวลา)	ชั่วโมงการทำงานต่อวัน (h/d)
ระบบ Evaporative Cooling	300	1 ครั้ง ครั้งละ 6 ชั่วโมง	6
ระบบพัดลมอากาศภายในโรงเรือน	100	2 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง	4
ระบบให้น้ำพืช	200	4 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที	1

จากข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำรวจจาก สถานีเกษตรหลวงแม่สาใหม่ พบว่ามีช่วงเวลาการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 9:00 – 9:15 น. และ 12:00 – 12:15 น. ช่วงเวลาละไม่เกิน 15 นาทีโดยมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 500W ดังนั้นจึงได้ออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ที่ไม่น้อยกว่า 500W

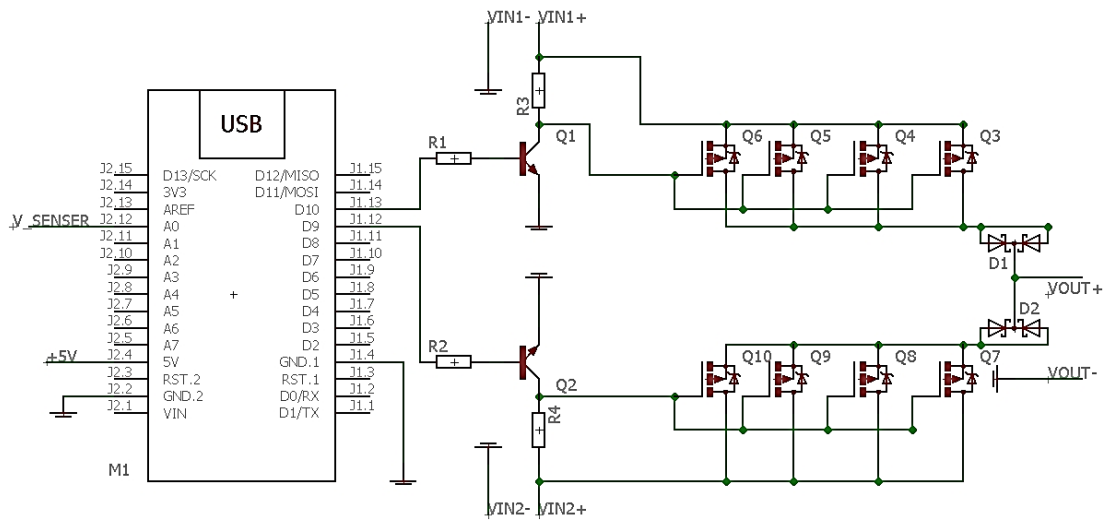
กิจกรรมที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของระบบแบ่งปันภาระโหลด

การออกแบบวงจรแบ่งปันภาระโหลดการออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์สามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 3 ส่วน คือ วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการแบ่งภาระโหลด วงจรขับมอเตอร์ และวงจรเพาเวอร์มอสเฟต โดยมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ไดอะแกรมรวมของระบบแบ่งป็นภาระหลอด

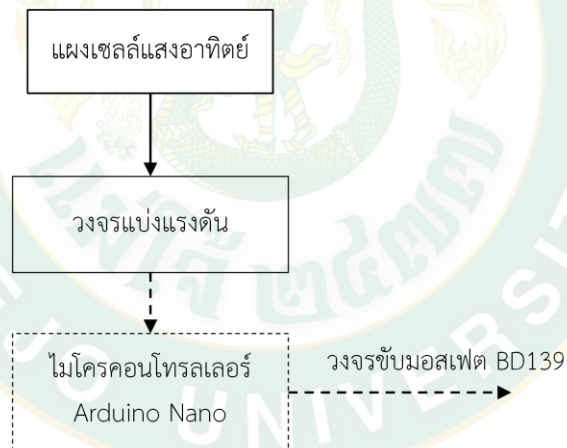
จากภาพที่ 44 จะแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 จะเป็นส่วนการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของระบบแบ่งป็นภาระหลอดโดยใช้สัญญาณ PWM โดยการกำหนดค่าความกว้างสัญญาณในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านวงจรแบ่งแรงดันให้มีค่าระหว่าง 0 – 5V เพื่อใช้ในการกำหนดความกว้างสัญญาณ PWM ในขาที่ A0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 2 ชุดที่เป็นสัญญาณรูป 4 เหลี่ยมที่มีเฟสตรงกันข้าม 180 องศา โดยจะมีระยะความกว้างสัญญาณสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตโดยผ่านวงจรขับมอสเฟตในส่วนที่ 2 โดยในส่วนนี้จะปรับปรุงสัญญาณที่มีขนาดและแรงดันไฟฟ้าเพียงพอในการขับการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต จึงอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ชุดใหม่ที่มีลักษณะสัญญาณตรงกับสัญญาณ PWM ชุดที่ 1 จ่ายให้กับวงจรขับมอสเฟต A และในวงจรขับมอสเฟต B จะอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานเพื่อสร้างสัญญาณ PWM ชุดใหม่เพื่อจ่ายให้กับวงจรเพาเวอร์มอสเฟต B โดยมีลักษณะสัญญาณตรงกับสัญญาณ PWM ชุดที่ 2 และในส่วนที่ 3 จะเป็นส่วนควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดโดยทำงานตามสัญญาณที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านวงจรขับมอสเฟต 2 ชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านเพาเวอร์ไดโอด เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าในขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 1 นำกระแส โดยไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่เพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 2 ที่จะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 2 เสียหายจากกระแสไหลย้อนกลับ โดยการออกแบบวงจรไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม Eagle pcb V. 9.5.0 ซึ่งเปิดให้ใช้งานฟรีในพื้นที่การออกแบบวงจรขนาด 80 cm² เพื่อใช้ในการศึกษาเรียนรู้การออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดการออกแบบแสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 รูปแบบการเขียนวงจรไฟฟ้า (Circuit diagram)

วงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้าควบคุมการแบ่งภาระโหลด

ในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลด ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรแบ่งแรงดันแสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลและสร้างสัญญาณ PWM

ในการสร้างสัญญาณ PWM โดยการนำสัญญาณอินพุตจากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาคำนวณค่าความกว้างสัญญาณของสัญญาณ PWM ด้วยตัวอย่างสมการการคำนวณ Analog to Digital Converter (ADC) ขนาด 10 Bit ดังสมการที่ 11 (Evans, 2011)

$$ADC = \frac{V_{in} \times Bit_{resolution}}{V_{reference}}$$

สมการที่ 11

เมื่อ

ADC	=	ค่าสัญญาณดิจิทัลจากสัญญาณอนาล็อก
V_{in}	=	แรงดันไฟฟ้าอินพุตในการแปลงสัญญาณ (V)
$Bit_{resolution}$	=	ค่าความละเอียดในการแปลงสัญญาณ
$V_{reference}$	=	แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในวงจร ADC (V)

เมื่อได้ค่าสัญญาณ ADC ที่มีค่าระหว่าง 0 – 1023 โดยนำค่า ADC ที่ได้ไปกำหนดค่าในการสร้างสัญญาณ PWM ที่มีขนาด 8 Bit จากคุณสมบัติของบอร์ด Arduino Nano โดยมีค่าระหว่าง 0 – 255 ในขา 9 และ 10 ของบอร์ด Arduino Nano และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะสัญญาณที่มีเฟสตรงกันข้าม 180 องศา ดังสมการที่ 12 (Evans, 2011)

$$PWM = \frac{ADC \times Bit_{resolution,PWM}}{Bit_{resolution,ADC}}$$

สมการที่ 12

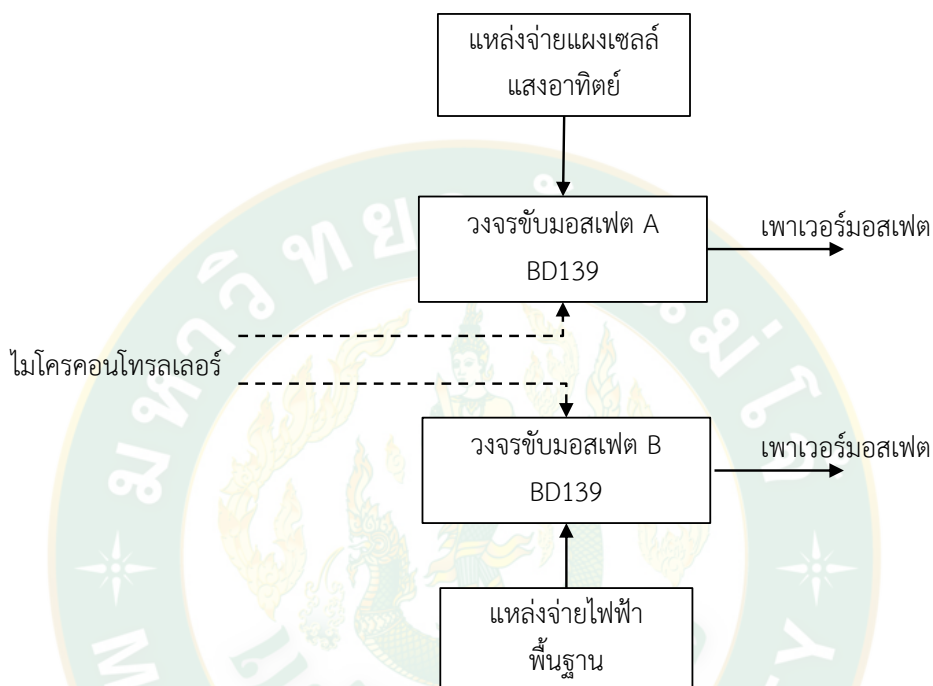
เมื่อ

PWM	=	ค่าสัญญาณดิจิทัลของสัญญาณ PWM
ADC	=	ค่าสัญญาณดิจิทัลจากสัญญาณอนาล็อก
$Bit_{resolution,PWM}$	=	ค่าความละเอียดในการแปลงสัญญาณ PWM
$Bit_{resolution,ADC}$	=	ค่าความละเอียดในการแปลงสัญญาณ ADC

การทดสอบสัญญาณที่ได้โดยการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าในการแปลงสัญญาณด้วย ADC โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าด้วยจอร์แบ่งแรงดันไฟฟ้าในการสร้างระดับสัญญาณ PWM 4 ระดับ ได้แก่ 0% 25% 50% 75% และที่ 100% เพื่อดูการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบแบ่งปันภาระโหลด

วงจรขับมอสเฟต

ในส่วนของวงจรขับมอสเฟตจะใช้ทรานซิสเตอร์รหัส BD139 จำนวน 2 ชุดในการขยายสัญญาณไฟฟ้าให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพียงพอต่อการควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งมีรายละเอียดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ดังตารางที่ 3 และสามารถแสดงไดอะแกรมในส่วนวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตแสดงดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 แสดงส่วนประกอบของวงจรขับมอสเฟต

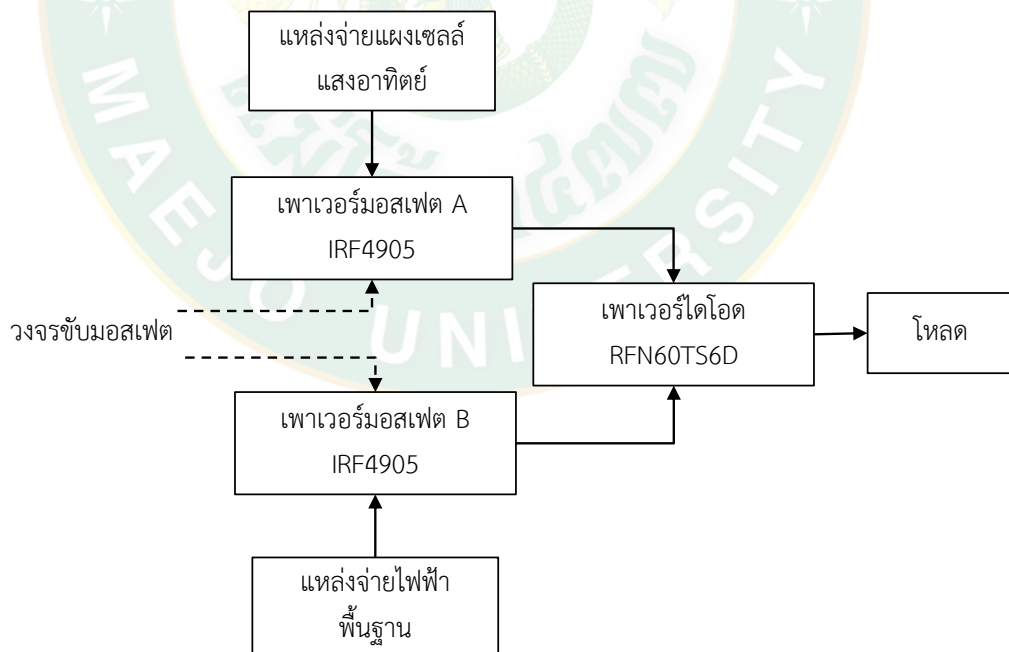
ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ขับมอสเฟตรหัส BD139

Parameter	Max.	Units
แรงดันด้าน (Drain)	-55	V
แรงดันไฟฟ้าด้าน (CBO)	80	V
กระแสด้าน (Base)	1.5	A
กำลังที่รองรับ (Pc)	12.5	W
แรงดันด้าน (EBO)	5	V
ระยะเวลาในการสวิตช์ (T _r)	<50	μS

การทดสอบการปรับปรุงสัญญาณให้เหมาะสมในการขับการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตโดยผ่านชุดวงจรขับมอสเฟตที่ใช้ทรานซิสเตอร์รหัส BD139 จำนวน 2 ชุดในการขยายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผลการทดสอบจะสอดคล้องกับการจ่ายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะมีขนาดและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการขับเพาเวอร์มอสเฟต

วงจรเพาเวอร์มอสเฟต

ในส่วนของการออกแบบภาคเพาเวอร์มอสเฟตและเพาเวอร์ไดโอดที่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าจากการใช้งานของอุปกรณ์ในโรงเรือนสูงสุดที่ 500W โดยการออกแบบจะมีการออกแบบเกินค่าโหลดปกติที่ 20% เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์จึงต้องออกแบบวงจรให้รองรับกำลังการใช้งานไฟฟ้าเท่ากับ 600W แสดงดังภาพที่ 48 โดยเลือกเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องสามารถรองรับการตอบสนองความถี่ในการสวิตช์ที่จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านอุปกรณ์ขับมอสเฟตชนิด PNP ที่ความเร็วในการสวิตช์ 31KHz หรือเท่ากับ $32.2\mu\text{s}$ และสามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าที่เทียบเท่าหรือมากกว่า 29.38V จึงได้เลือกใช้ มอสเฟตรหัส IRF4905 โดยมีคุณสมบัติอุปกรณ์ตามที่ต้องการแสดงดังตารางที่ 4 และการเลือกใช้ไดโอดจะใช้เงื่อนไขเดียวกับมอสเฟตสามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 29.38V กระแสไฟฟ้า 54.16A จึงเลือกใช้ไดโอดรหัส RFN60TS6D โดยมีคุณสมบัติอุปกรณ์ตามที่ต้องการดังตารางที่ 5 ต่อไปนี้



ภาพที่ 48 แสดงไดอะแกรมส่วนประกอบในภาคเพาเวอร์มอสเฟต

ตารางที่ 4 ตารางข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสเฟตทรหัส IRF4905

Parameter	Max.	Units
แรงดันไฟฟ้าด้าน (Drain)	-55	V
กระแสไฟฟ้าด้าน (Drain)	-75	A
กำลังที่รองรับด้าน (Drain)	200	W
แรงดันไฟฟ้าด้าน	-4	V
พลังงานที่ใช้ในการทำงาน	20	mJ
ระยะเวลาในการสวิตช์ (T _r)	99	nS

ตารางที่ 5 ตารางข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดทรหัส RFN60TS6D

Parameter	Max.	Units
แรงดันไฟฟ้า (V)	600	V
กระแส (A)	60	A
แรงดันไฟฟ้าทดกร่อม (Vd)	1.55	V
รองรับความถี่ (f)	60	μS

กิจกรรมที่ 3 การพัฒนาอัลกอริทึมการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลด

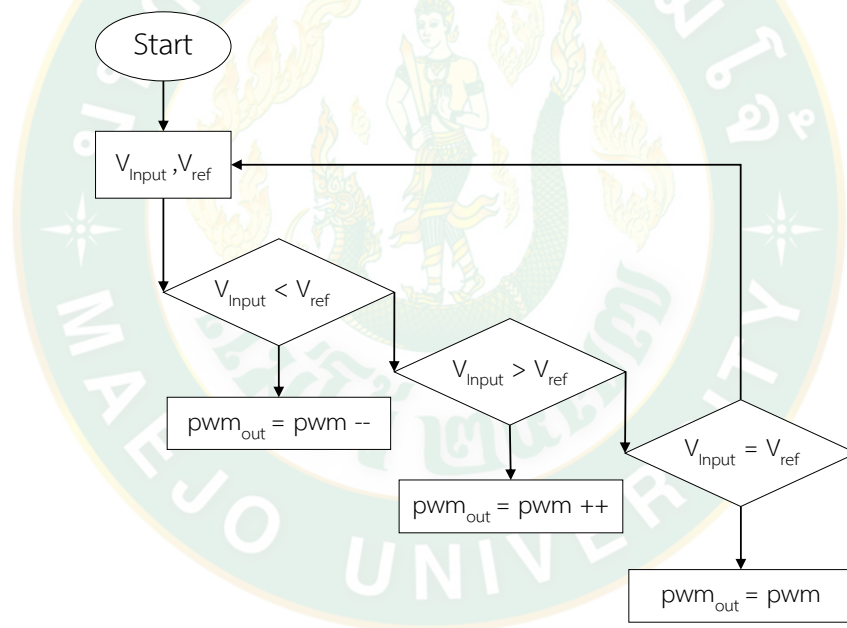
การพัฒนาอัลกอริทึมการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบไปด้วยอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ และอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซซีลोजิก ซึ่งในภาคซอฟต์แวร์ และการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งแบตเตอรี่ ประกอบไปด้วยการพัฒนาการเขียนโปรแกรมการทำงานผ่านทางโปรแกรม Arduino Software (IDE) แสดงดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 ซอฟต์แวร์ Arduino Software (IDE)

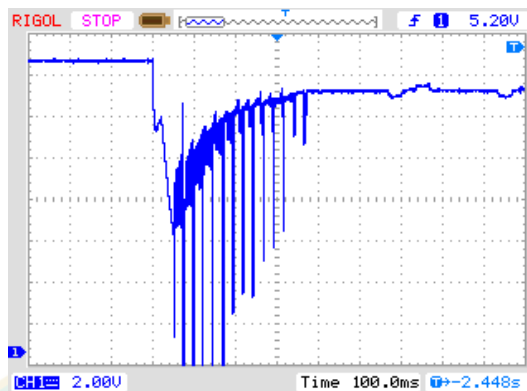
การพัฒนาอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

ซึ่งในการพัฒนารูปแบบการควบคุมการทำงานของระบบถูกพัฒนาเป็น 2 รูปแบบคือ การทำงานแบบสเตปเงื่อนไข ในการสร้างสัญญาณ PWM โดยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano รับสัญญาณอินพุตที่มาจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ และถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขสัญญาณควบคุม PWM จะถูกผลิตขึ้นและจะค่อยๆ เพิ่ม หรือ ลดลงครั้งละ 1 สเตป เช่น แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสัญญาณ PWM จะถูกลดความกว้างของสัญญาณพัลส์ 1 สเตปต่อรอบการเปรียบเทียบเงื่อนไข เพื่อที่จะรักษาแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เท่ากับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง จนถึงจุดสมดุลการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าของระบบจะหยุดความกว้างของสัญญาณพัลส์จนกว่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 เงื่อนไขการทำงานแบบปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

จากลักษณะการทำงานแบบสแตปเงื่อนไซ ที่มีลักษณะการทำงานครึ่งละ 1 สเตป ซึ่งลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจากการทำงานของอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไซแสดงดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไซ

จะสังเกตเห็นว่ารูปแบบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไซมีลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 50 และจะสิ้นสุดการปรับพัลส์เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตถึงระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงจะคงที่ค่าความกว้างสัญญาณของสัญญาณ PWM ทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงหรือเรียกว่า อยู่ในสภาวะสมดุลจากจ่ายกำลังไฟฟ้า จึงมีการทดสอบการตอบสนองของอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไซซึ่งได้ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลการทำงานโดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไซ

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	117.8	119.58	204.65	32.73	86.21

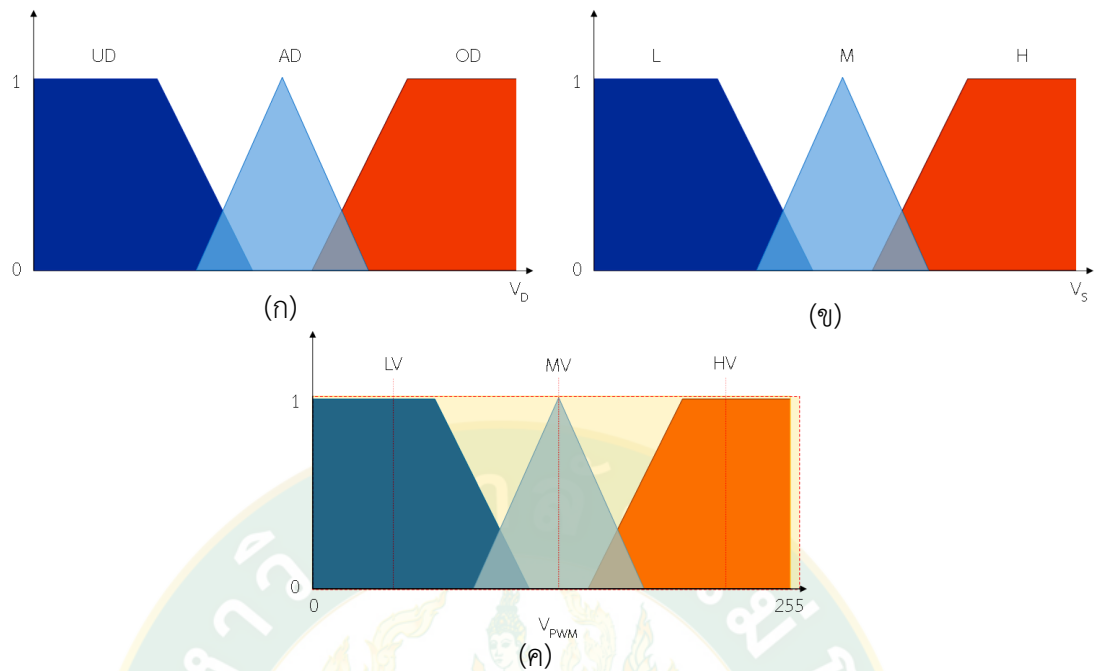
การพัฒนาอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟuzzyลอจิก

การพัฒนาอัลกอริทึมในแบบที่ 2 คือ การนำเอาการทำงานของฟuzzyลอจิกฟังก์ชันใช้ใน คำนวณค่าการสั่งสร้างสัญญาณ PWM ในควบคุมการสวิตช์เพาเวอร์มอสเฟตในการจ่ายกำลังไฟฟ้า จาก 2 แหล่งจ่ายการทำงานของฟuzzyลอจิก ประกอบไปด้วย Fuzzyfication, FuzzyInference และ Defuzzyfication โดยเริ่มจากกระบวนการ Fuzzyfication คือรับค่าอินพุตซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Voltage, V_S) และอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Voltage drop, V_D) โดยมีจำนวนสมาชิกของ (V_S) ประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าอินพุตต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง (L) แรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับแรงดันอ้างอิง (M) และ แรงดันไฟฟ้าอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิง (H) แสดงดังภาพที่ 52 (ข.) ขณะที่จำนวนสมาชิกของ (V_D) ประกอบไปด้วยอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงน้อย (Under drop, UD) อัตราแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Stable drop, SD) และอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงมาก (Over drop, OD) แสดงดังภาพที่ 52 (ก.) จากนั้นตัวแปรในกลุ่มของจำนวนสมาชิกจะถูกอนุมานเพื่อหาผลลัพธ์ของกระบวนการด้วย Fuzzy Inference ซึ่งจะใช้ฐานกฎเกณฑ์ฟuzzyมาเป็นเรื่องอื่นในการอนุมานและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของ กระบวนการแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เงื่อนไขฐานกฎเกณฑ์ฟuzzyในการอนุมานและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของกระบวนการ

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

ในขั้นตอนสุดท้ายคือ Defuzzyfication เป็นขั้นตอนในการแปลงผลลัพธ์ทางภาษาให้อยู่ในรูปของ จำนวนจริง เพื่อใช้ในการกำหนดความกว้างสัญญาณของสัญญาณ PWM จะประกอบไปด้วยสัญญาณ PWM ในระดับต่ำ (Low value, LV) สัญญาณ PWM ในระดับปานกลาง (Medium value, MV) และสัญญาณ PWM ในระดับสูง (High value, HV) แสดงดังภาพที่ 52



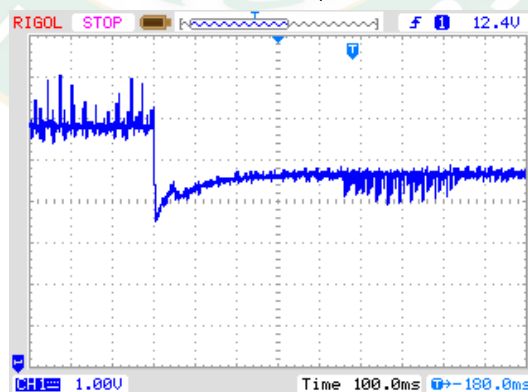
ภาพที่ 52 การทำงานของฟัซซี่ลอจิกประกอบไปด้วย Fuzzyfication, FuzzyInference , Defuzzyfication

(ก.) ฟังก์ชันสมาชิกของอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (V_D)

(ข.) ฟังก์ชันสมาชิกของแรงดันไฟฟ้าอินพุต (V_S)

(ค.) แปลงผลลัพธ์ทางฟัซซี่กำหนดความกว้างสัญญาณ PWM (V_{PWM})

จากลักษณะการทำงานของอัลกอริทึมในการควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 แสดงสัญญาณไฟฟ้าจากอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก

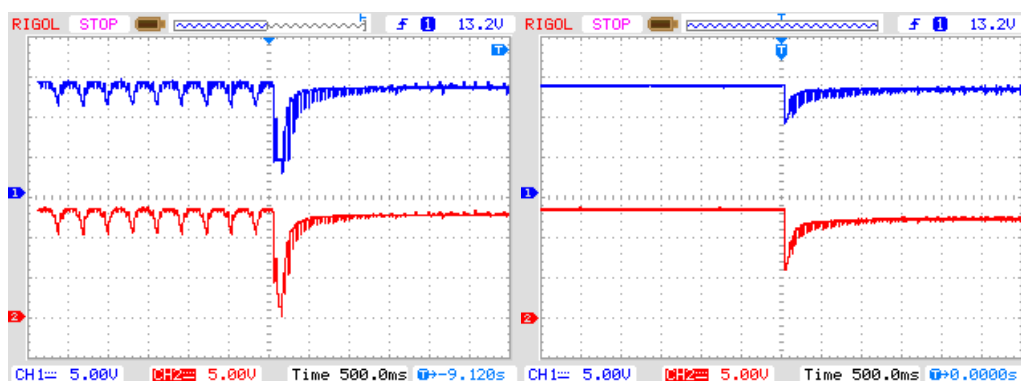
จะสังเกตได้ว่าลักษณะสัญญาณ PWM ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์จะมีลักษณะคล้ายกันกับอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงือนไซ ซึ่งจะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีลักษณะที่สม่ำเสมอกว่า และใช้ระยะเวลาในการปรับสัญญาณที่เร็วกว่าแบบสเตปเงือนไซ เนื่องจากการทำงานของอัลกอริทึมมีการประเมินค่าสัญญาณ PWM ที่แม่นยำในการสร้างสัญญาณ PWM จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่และเข้าสู่ภาวะสมดุลการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าได้เร็วกว่า โดยแสดงข้อมูลการทดสอบจากการพัฒนาอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลอจิกแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลการทำงานโดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลอจิก

Fuzzy						
Load (W)	Response time (mS)	P _{input,1} (W)	P _{input,2} (W)	P _{output} (W)	P _{Loss} (W)	Eff (%)
50	95	30.6	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

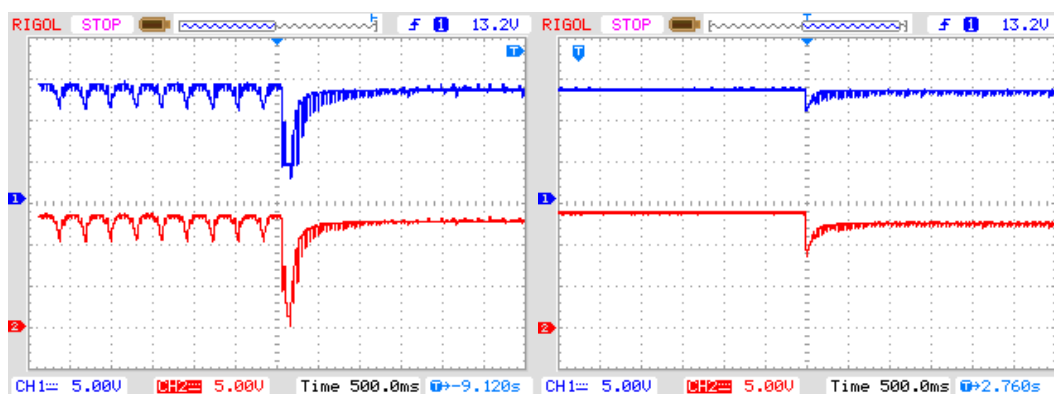
การวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งแบตเตอรี่

จากขอบเขตการศึกษาในการวางตำแหน่งแบตเตอรี่ในการเพิ่มเสถียรภาพของระบบจากการทดสอบโดยการจำลองการเพิ่มโหลดอย่างรวดเร็วและการจ่ายโหลดอย่างฉับพลัน พบว่าการวางตำแหน่งแบตเตอรี่ไว้ทางด้านอินพุตของระบบฝั่งแหล่งจ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลโดยตรงทำให้แรงดันด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และแรงดันไฟฟ้าทางต้นเอาต์พุตเพื่อจ่ายให้โหลดนั้นตกลงอย่างมากทำให้โหลดมีจังหวะการหยุดการทำงานไปชั่วขณะโดยแสดงแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งแบตเตอรี่แสดงดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 แสดงแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งอินพุต

และเมื่อนำแบตเตอรี่มาทดสอบการติดตั้งทางด้านเอาต์พุตของระบบก่อนโหลดของระบบทำให้มีผลโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุต พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าตกเล็กน้อยและโหลดยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยแสดงแรงดันไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 แสดงแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งอินพุต

สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบทำให้ทราบความแตกต่างที่ส่งผลกับการทำงานของโหลดในตำแหน่งการติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งเอาต์พุตของระบบจะมีเหมาะสมและความจำเป็นมากกว่าเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกลงทำให้มีผลโดยตรงกับการทำงานของโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อใช้งาน ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอารูปแบบการติดตั้งแบตเตอรี่จากทดสอบและวิเคราะห์ผลไปประยุกต์ในการทดลองกรณีติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพการทำงานของระบบ

กิจกรรมที่ 4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลด

สมการการประเมินประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรงสามารถคำนวณได้โดยแบ่งเป็น 2 กรณีจากการทดสอบโดยใช้แบตเตอรี่และไม่ใช้แบตเตอรี่เสริมเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้างดสมการที่ 13 ต่อไปนี้

กรณีไม่มีแบตเตอรี่

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{Solar}} + P_{\text{DC}}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ

Efficiency = ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (%)

P_{Out} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (W)

P_{Solar} = กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

P_{DC} = กำลังไฟฟ้าจาก switching power supply (W)

ในกรณีที่มีแบตเตอรี่ในการเพิ่มความเสถียรให้กับระบบไฟฟ้านั้นสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบวงจรไฟฟ้าเป็น 2 กรณีโดยกรณีที่ 1 ระบบมีจ่ายประจุเข้าแบตเตอรี่ และกรณีที่ 2 แบตเตอรี่ถูกคายให้กับระบบโดยการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของระบบถูกแบ่งเป็น 2 กรณีจากสมการที่ 14

กรณีระบบมีชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}} + P_{\text{Batt}}}{P_{\text{Solar}} + P_{\text{DC}}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 14}$$

เมื่อ

Efficiency = ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (%)

P_{Out} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (W)

P_{Batt} = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ (W)

P_{Solar} = กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

P_{DC} = กำลังไฟฟ้าจาก switching power supply (W)

กรณีระบบมีชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{Solar}} + P_{\text{DC}} + P_{\text{Batt}}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 15}$$

Efficiency = ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (%)

P_{Out} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (W)

P_{Batt} = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าแบตเตอรี่ (W)

P_{Solar} = กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

P_{DC} = กำลังไฟฟ้าจาก switching power supply (W)

กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของระบบในการช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า ในแต่ละรูปแบบการทำงานของระบบ เพื่อหาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสมที่สุดในการลงทุนในการเลือกใช้ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยใช้การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย (Simple Payback Period) ดังสมการที่ 16 ต่อไปนี้

$$\text{Payback time} = \frac{\text{Cost}}{\text{Saving cost}}$$

สมการที่ 16

เมื่อ

Payback time = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

Cost = ต้นทุนราคากระบบ และติดตั้งระบบ (Baht)

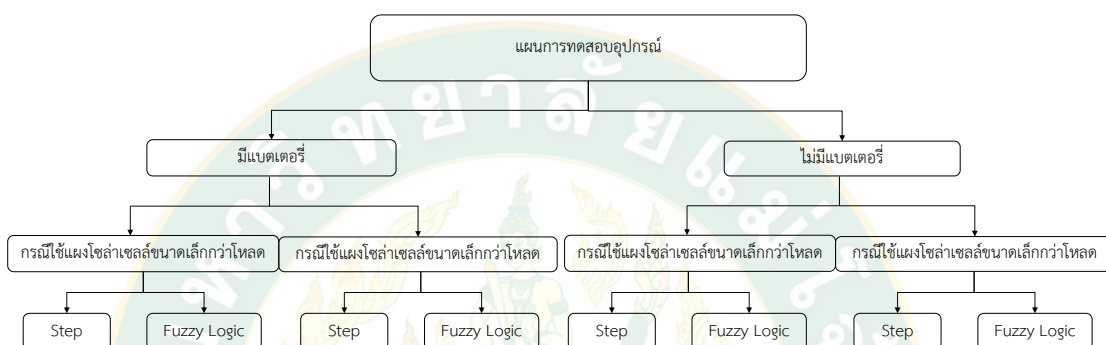
Saving cost = ผลประหยัดจากการใช้ระบบ (Baht/year)



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอในส่วนผลการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการออกแบบวงจร และส่วนของกรณีการทดสอบระบบโดยจะแบ่งออกเป็น 8 กรณีแสดงดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 เงื่อนไขในการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง

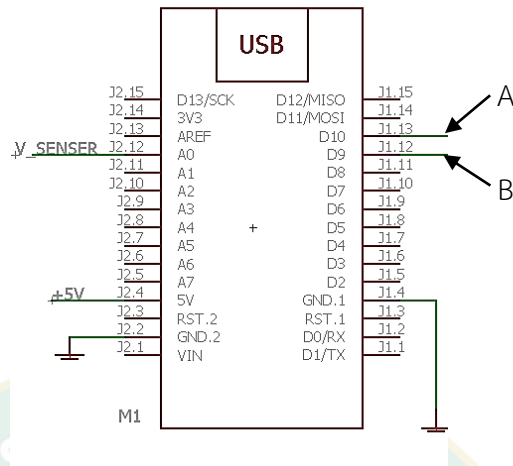
ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ผลการทดสอบการออกแบบระบบ ผลการทดสอบการทำงานของระบบในกรณีต่างๆ โดยใช้หลอดไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าเทียบเท่าอุปกรณ์ภายในโรงเรือน โดยมีระยะเวลาตามตารางใช้งานจริงของโรงเรือนโดยสามารถวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของการทำงานในกรณีต่างๆ และวิเคราะห์ระยะเวลาการคืนทุนของระบบได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบการออกแบบระบบ

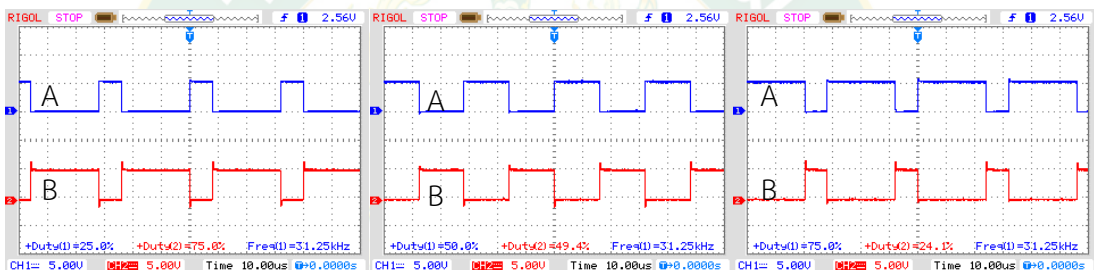
ในการทดสอบระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการแบ่งภาระโหลด วงจรขับมอเตอร์ และวงจรเพาเวอร์มอเตอร์ โดยมีผลการทดสอบจากการออกแบบดังนี้

วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการแบ่งภาระโหลด

สัญญาณควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano โดยนำแรงดันไฟฟ้าจากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าให้มีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 – 5V เป็นสัญญาณอนาล็อกอินพุตในการเปรียบเทียบในการสร้างสัญญาณ PWM ที่มีขนาดความละเอียดสัญญาณเอาต์พุตขนาด 8 Bit หรือ 0 – 255 สเตป โดยมีผลการทดสอบการสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความกว้างสัญญาณดังนี้ 25% 50% และ 75% ตามลำดับแสดงดังภาพที่ 58 โดยสามารถวัดสัญญาณ PWM ที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จากตำแหน่งขาเอาต์พุตที่ 9 และ 10 แสดงดังภาพที่ 57

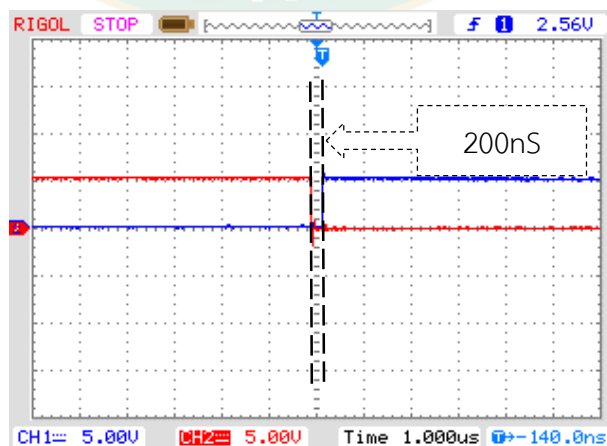


ภาพที่ 57 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในขาเอาต์พุต 9 และ 10



ภาพที่ 58 แสดงสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์

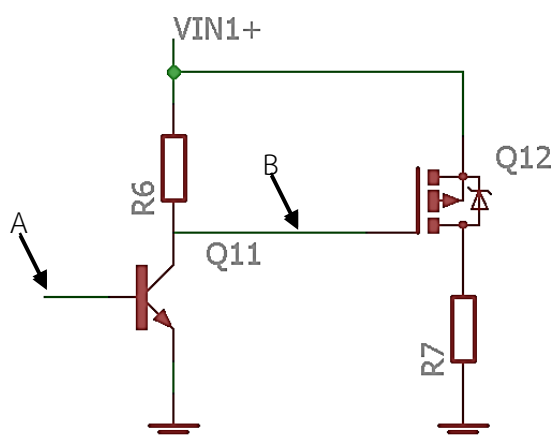
จากการทดสอบการสร้างสัญญาณ PWM ในตำแหน่งขาเอาต์พุตของบอร์ด Arduino Nano ขาที่ 9 และ 10 ดังภาพที่ 57 พบว่าค่าสัญญาณมีความถี่เฉลี่ยที่ 31kHz ที่แรงดันไฟฟ้า 5V โดยสัญญาณทั้ง 2 ชุดมีเฟสตรงกันข้าม 180 องศา และมีระยะเดดไทม์ขนาด 200ns เพื่อป้องกันการจ่ายพลังงานทั้ง 2 แหล่งจ่ายพร้อมกันให้พาเวอร์มอสเฟตเกิดความเสียหายแสดงดังภาพที่ 59



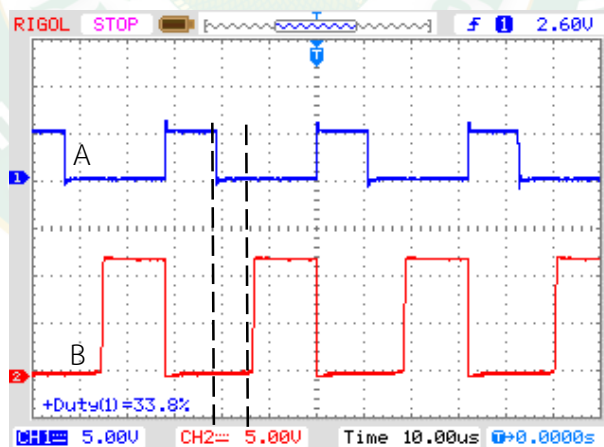
ภาพที่ 59 แสดงระยะเดดไทม์ของการสวิตช์

วงจรขับมอสเฟต

จากการออกแบบวงจรขับมอสเฟตในการขยายสัญญาณที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 5V ซึ่งไม่เพียงพอต่อการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานจึงต้องอาศัยวงจรขับมอสเฟต โดยปรับปรุงขนาดสัญญาณและกระแสให้เหมาะสมเพื่อขับเพาเวอร์มอสเฟตโดยสามารถตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าได้แสดงดังภาพที่ 60 จึงมีผลการได้ทำการทดสอบขยายสัญญาณ PWM โดยใช้ทรานซิสเตอร์ BD139 แสดงดังภาพที่ 61



ภาพที่ 60 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าในการออกแบบวงจรขับมอสเฟต

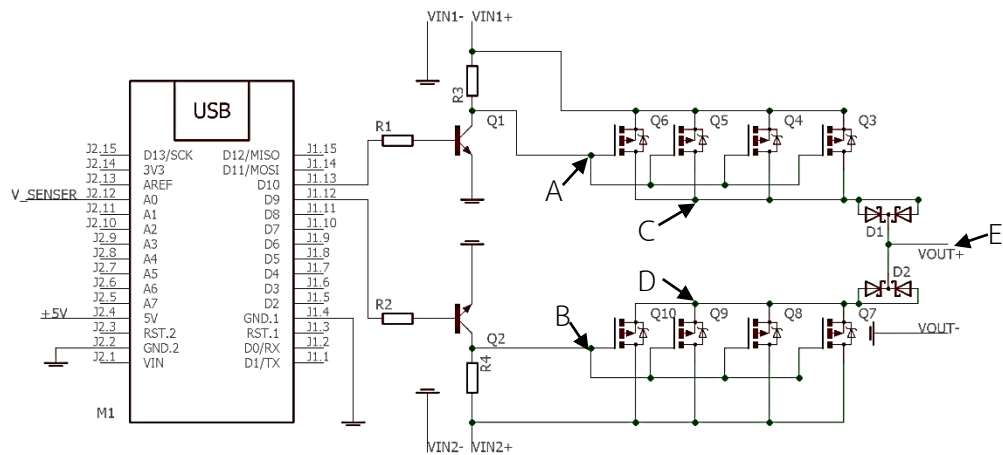


ภาพที่ 61 แสดงสัญญาณ PWM ที่ถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์

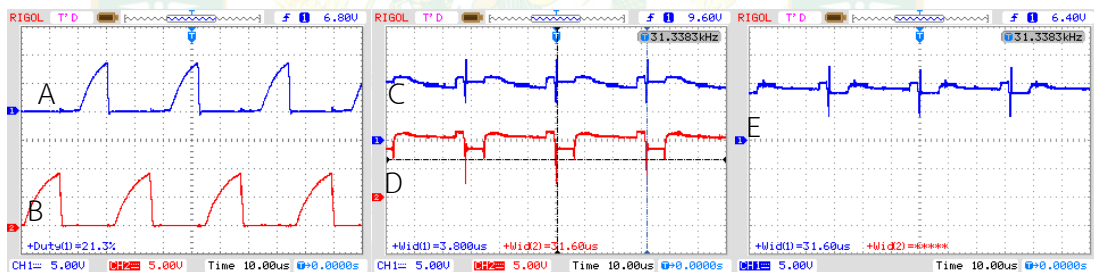
จากการทดสอบการขยายสัญญาณ PWM ในการขับมอสเฟตให้มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เหมาะสมในการทำงานของมอสเฟตในขณะที่ไม่มีโหลดพบว่า สามารถขยายสัญญาณไฟฟ้าจาก 5V เป็น 12V ความถี่ 31kHz และยังสามารถรับกระแสในการขับมอสเฟตที่ 1.5A แต่ยังมีภาระหน่วงเวลาของสัญญาณในขอบขาขึ้นของ สัญญาณ PWM ในช่วง 5 – 10 μ s แต่ไม่ส่งผลในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต และยังสามารถสวิตช์ได้อย่างปกติ

วงจรเพาเวอร์มอสเฟต

ในการทดสอบวงจรเพาเวอร์มอสเฟตทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจาก 2 แหล่งจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าขนาด 50W เพื่อวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในการแบ่งปันภาระโหลดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยวัดสัญญาณไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าจากระบบแบ่งปันภาระโหลดในตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 62 และแสดงแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบได้แสดงดังภาพที่ 63



ภาพที่ 62 แสดงตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าในการออกแบบวงจรเพาเวอร์มอสเฟต



ก.

ข.

ค.

ภาพที่ 63 แสดงแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบ

ก. แสดงสัญญาณ PWM ในการขับมอสเฟต

ข. แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะการทำงานของเพาเวอร์ A และ B

ค. แสดงแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากการทำงานของระบบ

จากการทดสอบพบว่า สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยการสวิตช์ด้วยความถี่ 31kHz และรูปสัญญาณจากวงจรขับมอสเฟตเปลี่ยนแปลงไปแสดงดัง ก. ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติภายในเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าประจุไฟฟ้าจึงทำให้ต้องใช้เวลาในการชาร์จประจุ จึงทำให้รูปแบบสัญญาณ PWM จากวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตเปลี่ยนแปลงไปจากสัญญาณเดิม และยังสามารควบคุมการสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟตได้อย่างสมบูรณ์แสดงดัง ข. โดยการวัดแรงดันไฟฟ้าที่

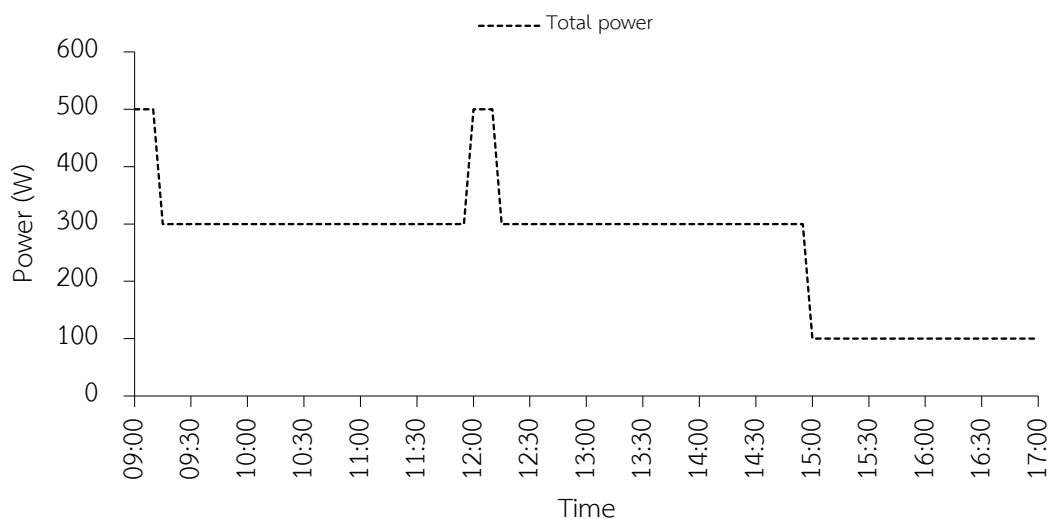
เกิดจากการสวิตช์ตามสัญญาณ PWM พบว่าเมื่อเพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 1 ได้รับสัญญาณ High ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 1 นำกระแสไฟฟ้าและเพาเวอร์มอสเฟตชุดที่ 2 จะสลับการทำงานกันตลอดการทำงานของระบบ จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบในการจ่ายให้กับโหลดมีค่าคงที่แสดงดัง ค. และสามารถรองรับโหลดการทำงานสูงสุด 600W โดยที่เกิความร้อนสะสมที่เพาเวอร์มอสเฟตอยู่ในระดับต่ำ



ผลการทดสอบการทำงานของระบบในกรณีต่างๆ

1. ผลการเก็บข้อมูลจากโรงเรียนการเกษตรโดยใช้พลังงานจากระบบสายส่งการไฟฟ้า

ข้อมูลกำลังไฟฟ้าจากการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าภายในโรงเรียนที่ประกอบไปด้วยระบบให้น้ำพืช ระบบพัดลมอากาศภายในโรงเรียน และระบบ Evaporative Cooling มีการใช้ไฟฟ้าตามเวลาการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 64

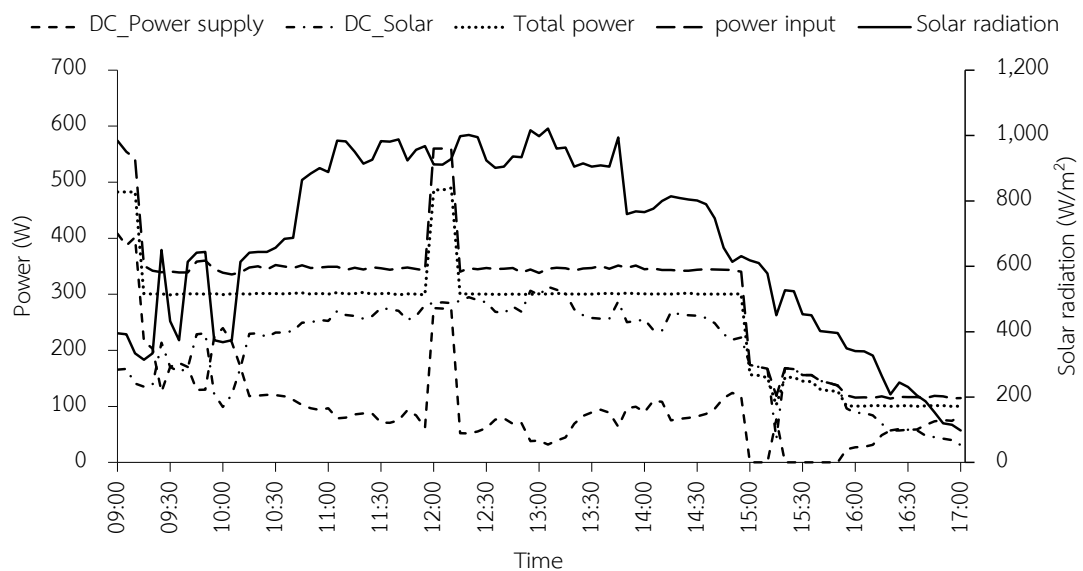


ภาพที่ 64 แสดงแบบจำลองกำลังไฟฟ้าในการใช้งานของโรงเรียนเกษตร

ในช่วงเวลา 9:00 – 9:15 น. และ 12:00 – 12:15 น. มีการทำงานของระบบรดน้ำ และระบบ Evaporative Cooling มีกำลังไฟฟ้ารวม 500W ช่วงเวลา 9:15 – 12:00 น. และ 12:15 – 13:00 น. เป็นช่วงการทำงาน of ระบบ Evaporative Cooling ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 300W และสุดท้ายในช่วงเวลา 13:00 – 17:00 น. เป็นการทำงาน of ระบบพัดลมอากาศภายในโรงเรียน โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าที่แรงดัน 220V_{AC} มีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 2,100Wh/d

2. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข ไม่มีแบตเตอรี่เสริม และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด

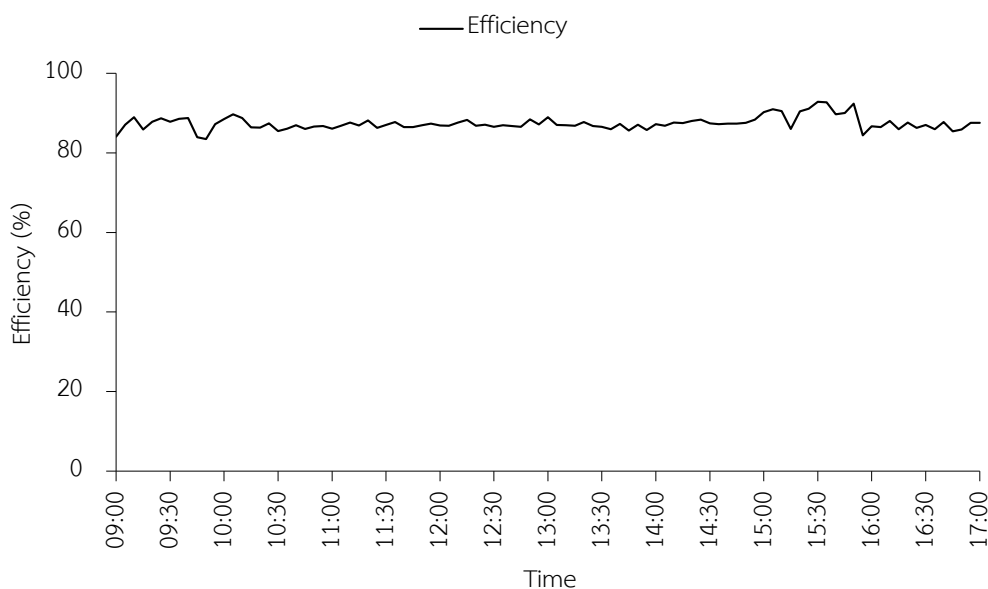
ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข ไม่มีแบตเตอรี่เสริม และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด โดยการทดสอบที่ภาระโหลดทางไฟฟ้าขนาด 100W 300W และ 500W และได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ที่ 720W กระแสไฟฟ้า (I_{max}) 41.08A และมีแรงดันไฟฟ้า (V_{max}) 17.54V ข้อมูลการทดสอบประกอบไปด้วย ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งการไฟฟ้า ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 65



ภาพที่ 65 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

การทดสอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าในลักษณะแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าโหลด ในวันที่ 16 กันยายน 2562 ลักษณะท้องฟ้าปลอดโปร่งมีเมฆเล็กน้อยจะเห็นได้ว่าในช่วงการใช้กำลังไฟฟ้าสูงช่วงเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งต่อกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 80 : 20 ในช่วงเช้า และ 50 : 50 ในช่วงเที่ยง โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งและแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 408.35W และ 168.81W ตามลำดับ ในช่วงเช้า และ 274.73W และ 285.45W ตามลำดับ ในช่วงเที่ยง ในขณะที่ช่วงเวลา 10:30 – 12:00 น. และช่วง 12:15 – 15:00 น. มีการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็นมากกว่า 80% ของการใช้กำลังไฟฟ้ารวม และในเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจะเห็นได้ว่าระบบได้ตัด

การใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟจากสายส่งและใช้เพียงไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าพิกัดของโหลด

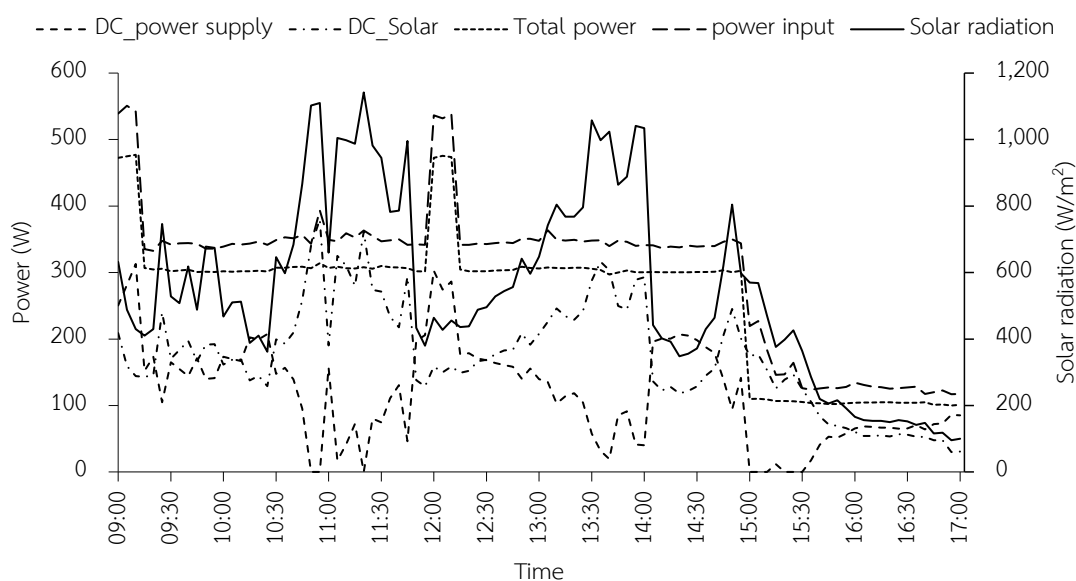


ภาพที่ 66 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานตลอดการทำงานทั้งวันพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรแบ่งปันภาระโหลดเฉลี่ยอยู่ที่ 87.41% โดยระบบจะควบคุมแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่เฉลี่ย 12.15V ตลอดการทำงาน และในช่วงเวลา 15:00 – 16:00 น. จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงถึง 92.68% เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าพิกัดของโหลด ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดสูงถึง 16.42V ขณะที่ระบบไฟฟ้าจากสายส่งถูกตัดออกไป กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจึงลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในช่วงดังกล่าวจึงสูงขึ้นแสดงดังภาพที่ 66

3. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด

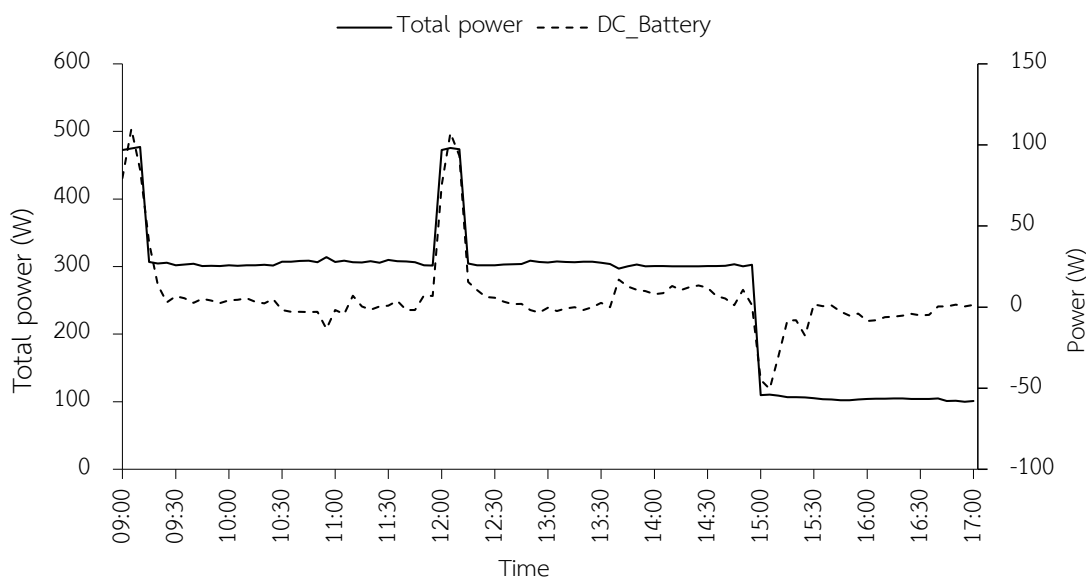
ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด โดยใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W แสดงดังภาพที่ 67



ภาพที่ 67 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ

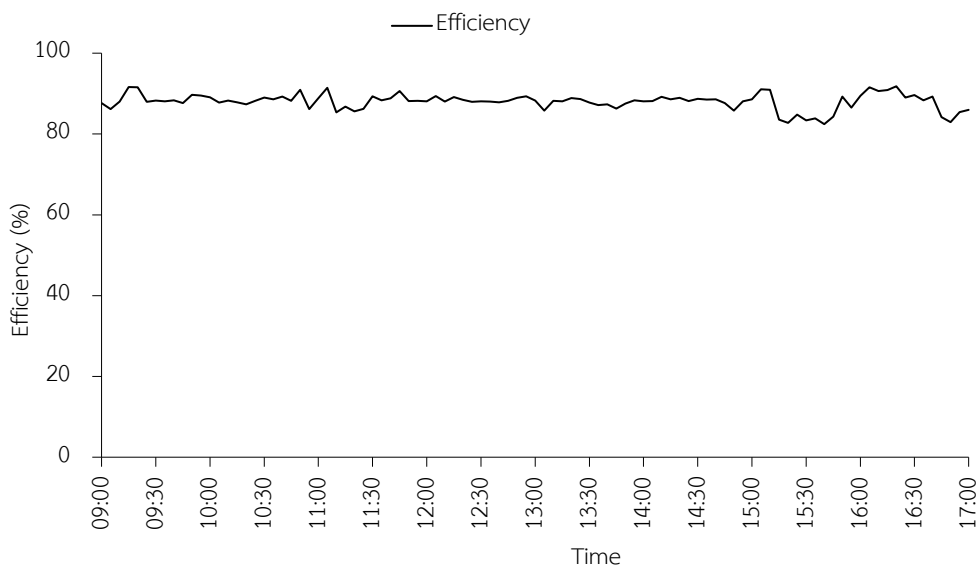
จากการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไซ ใช้แบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพการจ่ายไฟ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลดจากการทดสอบวันที่ 24 กันยายน 2562 สภาวะลักษณะท้องฟ้ามีเมฆมากเป็นส่วนใหญ่ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องในแต่ละเวลาในการทำงานในช่วงเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์รวมขนาด 500W เป็นเวลา 15 นาที พบว่าการจ่ายพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานจากสายส่ง และจ่ายแบตเตอรี่ที่ติดตั้งเพื่อรักษาเสถียรภาพมีค่าเป็น 250.33W, 209.01W และ 79.48W ในช่วงเช้า และ 302.52W, 156.65W และ 75.18W ในช่วงเที่ยงตามลำดับ หรือเป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ : แบตเตอรี่ได้เป็น 46 : 38 : 16 ในช่วงเช้า และ 56 : 29 : 15 ในช่วงเที่ยงตามลำดับ ในช่วงเวลา 10:50, 11:20 และ 15:00 – 15:30 น. ระบบได้ตัดไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าพื้นฐานเข้าอุปกรณ์เนื่องจากพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานของอุปกรณ์ขนาด 300W ในช่วงบ่าย และ 100W ในช่วงเย็น

กรณีของการใช้แบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าช่วงเวลาการสับเปลี่ยนภาระโหลดของอุปกรณ์ในการทดสอบจาก 500W เป็น 300W และ 100W จะมีการชาร์จและคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้กับระบบตามการสับเปลี่ยนภาระโหลดโดยซีกบวกเป็นการคายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังระบบ และซีกลบเป็นการชาร์จประจุกลับเข้ามายังแบตเตอรี่ แสดงดังภาพที่ 68



ภาพที่ 68 แสดงการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ

การสับเปลี่ยนโหลดจาก 500W เป็น 300W พบว่าแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลดลงจึงทำให้กระแสไฟฟ้าบางส่วนไหลเข้าไปชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ด้วยกำลังเฉลี่ย 2.92W อย่างช้า จนเริ่มการสับเปลี่ยนโหลดอีกครั้งในเวลา 12:00 น. จาก 300W เป็น 500W พบว่าพลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่จ่ายให้กับอุปกรณ์ด้วยกำลังเฉลี่ย 91.92W และหลังจาก 12:10 น. ได้สับเปลี่ยนโหลดจาก 300W เป็น 100W ทำให้มีการชาร์จประจุแบตเตอรี่อีกครั้งด้วยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 8.49W เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเหลือเพียงพอในการจ่ายให้โหลด

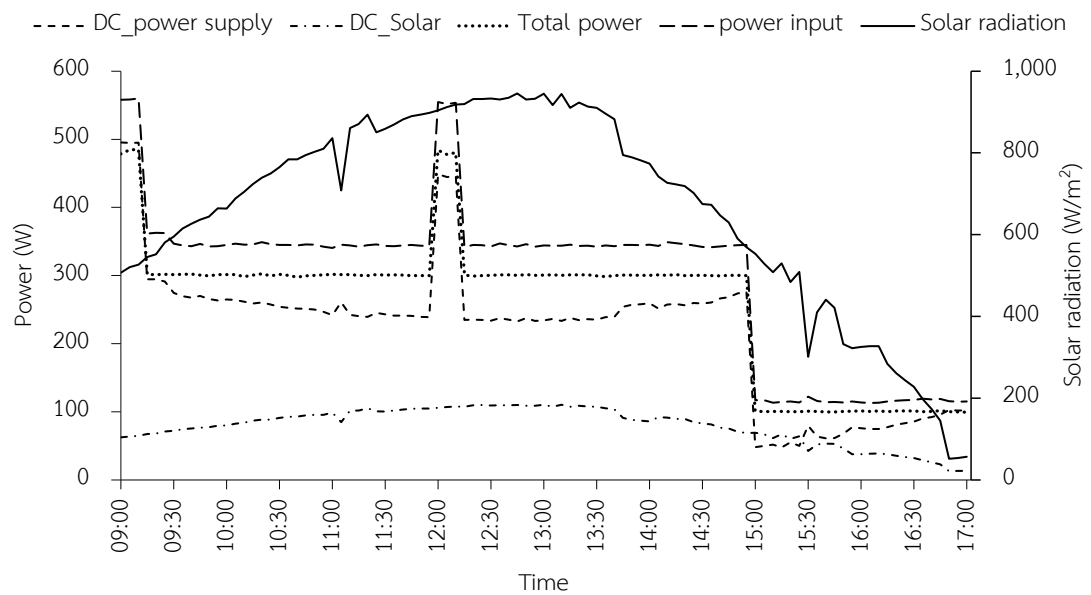


ภาพที่ 69 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน

การประเมินด้านประสิทธิภาพการทำงานในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. โดยภาระโหลดทางกำลังไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W มีการบันทึกบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 82.43 - 91.85% และค่าเฉลี่ยที่ 88.01% ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรระบบได้ดีกว่าแบบไม่ติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพการทำงานทั้งนี้การรักษาระดับด้านเอาต์พุตให้คงที่โหลดใช้กำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจึงมีผลในการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพแสดงดังภาพที่ 69

4. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด

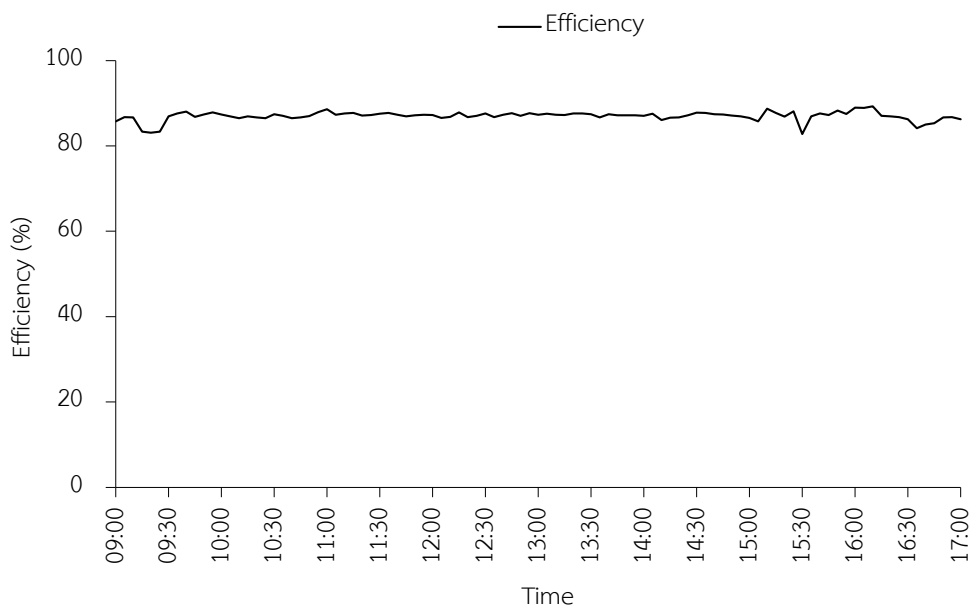
ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐาน สำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด โดยใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตสูงสุดที่ 240W 13.48A ที่ 17.85V แสดงข้อมูลดังภาพที่ 70



ภาพที่ 70 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

จากการทดสอบในวันที่ 17 กันยายน 2562 สภาพลักษณะท้องฟ้าปลอดโปร่งมีเมฆเล็กน้อย ในการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดในกรณีที่กำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่ากำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีกำลังสูงสุดในเวลา 13:10 น. ที่กำลังการผลิตไฟฟ้า 110.31W ในช่วงเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าวรวมสูงสุด 559.80W และ 554.55W ตามลำดับคิดเป็นอัตราส่วนการใช้กำลังไฟฟ้าวรวมโดยพิจารณาการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐาน : แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 88 : 22 ในช่วงเช้า และ 81 : 19 ในช่วงบ่าย ในเวลา 15:00 น. ระบบได้สับเปลี่ยนภาระโหลดเหลือเพียง 100W ทำให้อัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 41 : 59 ของการจ่ายใช้ไฟฟ้าวรวม ในช่วงเวลา 9:10 – 12:00 น. และช่วง 12:10 – 15:00 น. ได้ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 345.18W คิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 73 : 27 ของการจ่ายไฟฟ้าทั้งหมด จะเห็นได้ว่าเมื่อความสามารถในการผลิตไฟฟ้าต่ำลงจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดการผลิตขนาดกำลัง

น้อยลงทำให้อัตราส่วนการใช้กำลังไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งเพิ่มขึ้น และทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบแสดงดังภาพที่ 71

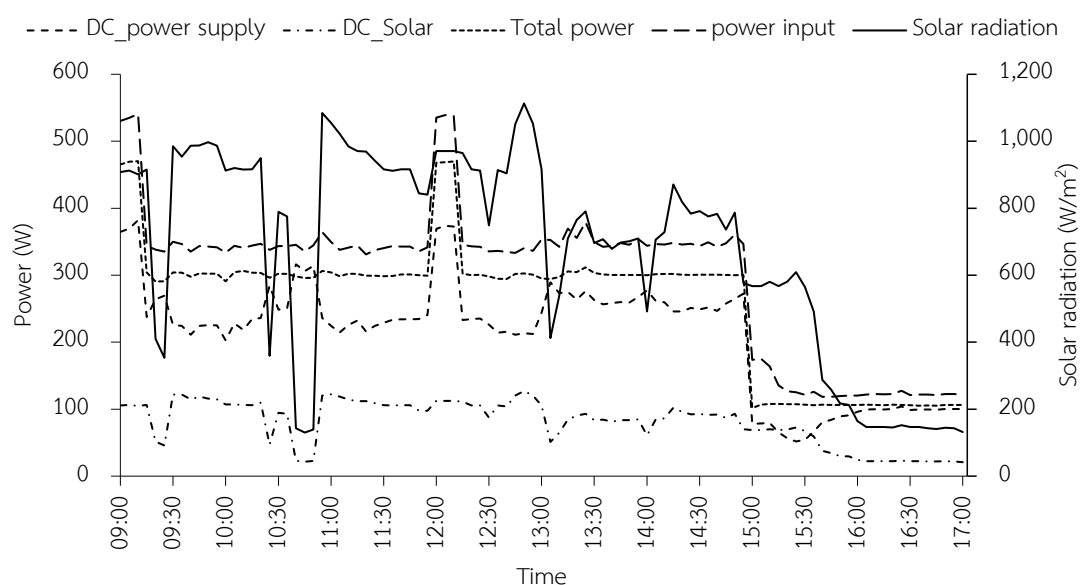


ภาพที่ 71 แสดงประสิทธิภาพการทำงานในระบบแบบการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดขนาด 100W 300W และ 500W โดยการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานจากการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 82.79 – 89.30% และค่าเฉลี่ยที่ 87.00% ซึ่งมากกว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตมากกว่าโหลดเนื่องจากกำลังไฟฟ้าจากส่วนของแหล่งจ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงทำให้พลังงานสูญเสียที่มีค่าต่ำลงไปด้วย

5. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด

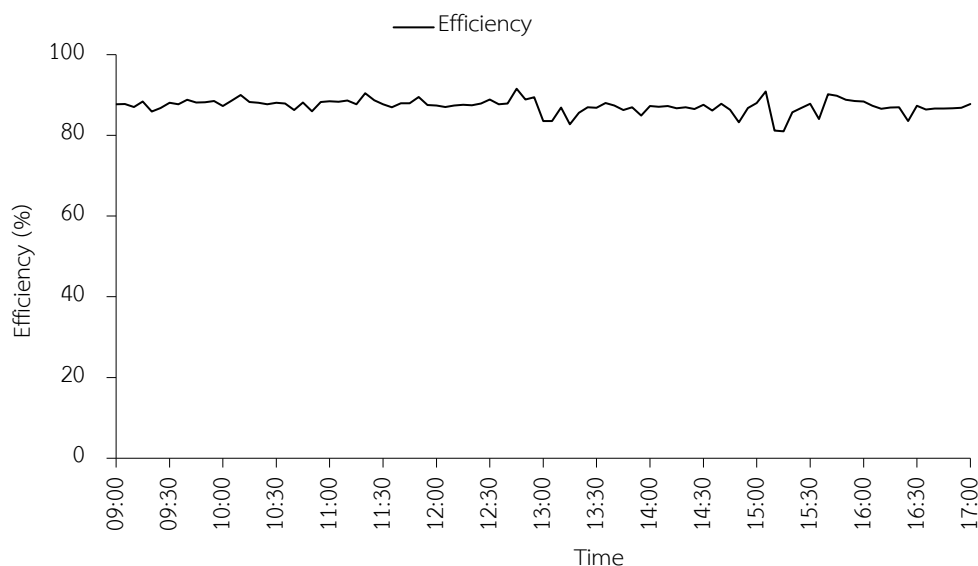
ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด โดยใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W โดยติดตั้งแบตเตอรี่ทางด้านเอาต์พุตเพื่อใช้รักษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในการจ่ายให้โหลดแสดงข้อมูลดังภาพที่ 72



ภาพที่ 72 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

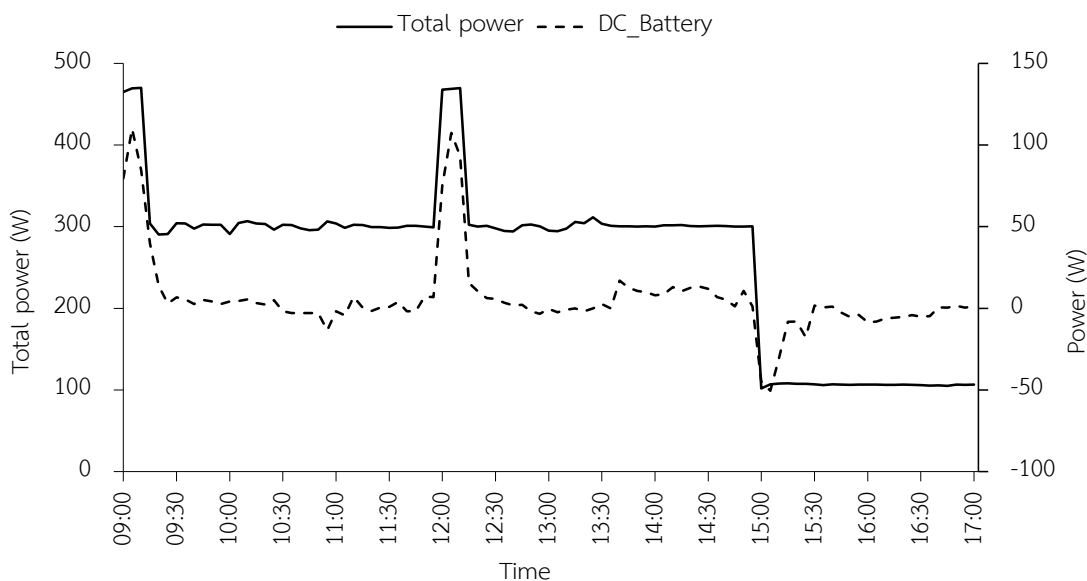
จากการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้การปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข ใช้แบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพการจ่ายไฟ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลดจากการวันที่ 25 กันยายน 2562 ทดสอบสภาวะลักษณะท้องฟ้ามีเมฆมากเป็นส่วนใหญ่ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องในแต่ละเวลาในการทำงานในช่วงเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์รวมขนาด 500W เป็นเวลา 15 นาที พบว่าการกำลังไฟฟ้าจากสายส่งจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจ่ายแบตเตอรี่ที่ติดตั้งไว้ในการรักษาเสถียรภาพคิดเป็น 372.19W 105.68W และ 57.33W ในช่วงเช้า และ 371.82W 112.42W และ 52.99W ในช่วงเที่ยงตามลำดับ เป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ : แบตเตอรี่เป็น 70 : 20 : 10 ในช่วงเช้า และ 69 : 21 : 10 ในช่วงเที่ยง ในเวลา 15:00 น. เป็นต้นไประบบได้สับเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นที่ 100W กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับโหลดจึงได้แบ่งสัดส่วนไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งไฟฟ้า : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ : แบตเตอรี่คิดเป็น 45 : 40 : 16 ของ

ไฟฟ้าในระบบ ซึ่งในการประเมินประสิทธิภาพในระบบที่ติดตั้งแบตเตอรี่นั้นได้ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าในระบบที่มีลักษณะเงื่อนไขขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดียวกันแสดงดังภาพที่ 73



ภาพที่ 73 แสดงประสิทธิภาพการทำงานในระบบแบบการปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข

ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของวงจรในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดขนาด 100W 300W และ 500W โดยการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานจากการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 81.02 – 91.52% และค่าเฉลี่ยที่ 87.27%

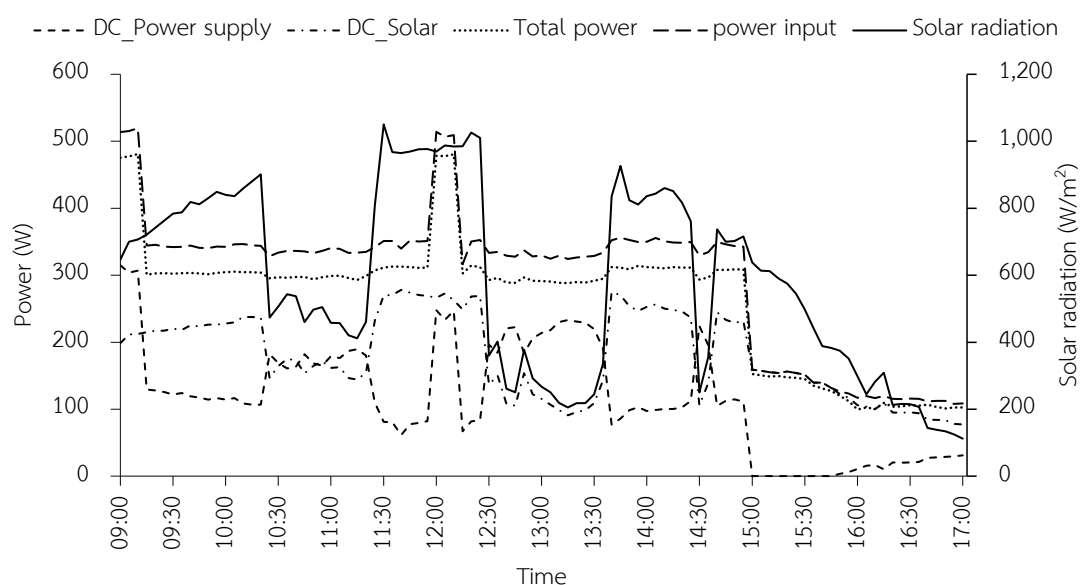


ภาพที่ 74 แสดงการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ

จากภาพที่ 74 ในการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งกับระบบเพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลาการสับเปลี่ยนภาระโหลดของอุปกรณ์ในการทดสอบจาก 500W เป็น 300W และ 100W พบว่ามีการชาร์จและคลายประจุไฟฟ้าให้กับระบบตามการสับเปลี่ยนภาระโหลดโดยกำหนดให้ซีกบวกเป็นการคลายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ และซีกลบเป็นการชาร์จประจุของแบตเตอรี่แสดงดังภาพที่ 74 จากการทดสอบการสับเปลี่ยนโหลดจาก 500W เป็น 300W พบว่าหลังจากการสับเปลี่ยนในเวลา 9:10 น. เป็นต้นไป พบว่ามีการชาร์จสลับคายประจุตลอดเวลาโดยมีผลมาจ่ายค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่คงที่ และในเวลา 12:00 น. สับเปลี่ยนจาก 300W เป็น 500W พบว่าพลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่ถูกนำออกมาจ่ายให้กับอุปกรณ์ด้วยกำลังเฉลี่ย 52.99W และหลังจาก 12:10 น. ได้สับเปลี่ยนโหลดจาก 300W เป็น 100W ทำให้มีการชาร์จประจุแบตเตอรี่อีกครั้งด้วยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 11.76W และหยุดการชาร์จในเวลา 15:30 น. เนื่องจากการแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจ่ายให้กับโหลด

6. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด

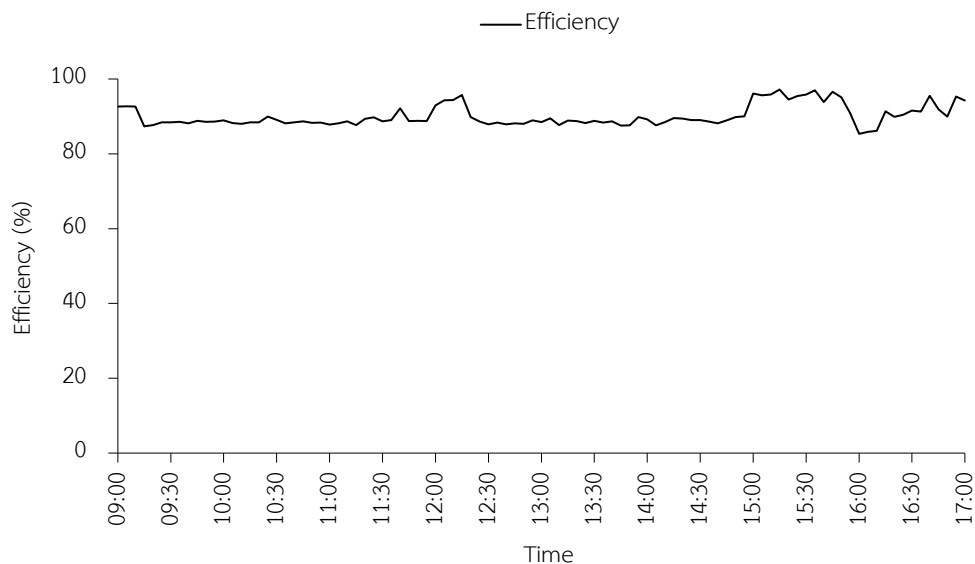
ผลการทดสอบการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด และใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตรวมสูงสุดที่ 720W 41.08A ที่ 17.54V แสดงดังภาพที่ 75



ภาพที่ 75 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก

จากการทดสอบระบบในเวลา 9:00 – 17:00 น. ในวันที่ 18 กันยายน 2562 สภาพลักษณะท้องฟ้าปลอดโปร่งมีเมฆเล็กน้อยเป็นบางส่วนทำให้ค่าความเข้มแสงไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าสูงสุดในเวลา 11:40 น. ผลิตไฟฟ้าได้ 278.28W ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 965 W/m² เวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. ได้มีการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าขนาด 500W ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์รวมขนาด 500W เป็นเวลา 15 นาที พบว่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 308.61W และพลังงานจากสายส่งเฉลี่ย 207.45W ในช่วงเช้า 242.66W และไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งเฉลี่ย 267.23W ในช่วงเที่ยงตามลำดับ เป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็น 60 : 40 ในช่วงเช้า และ 48 : 52 ในช่วงเที่ยง ในเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจะเห็นได้ว่าระบบได้ตัดไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งใช้เพียงไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

เนื่องจากไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงได้ตัดการจ่ายไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้า

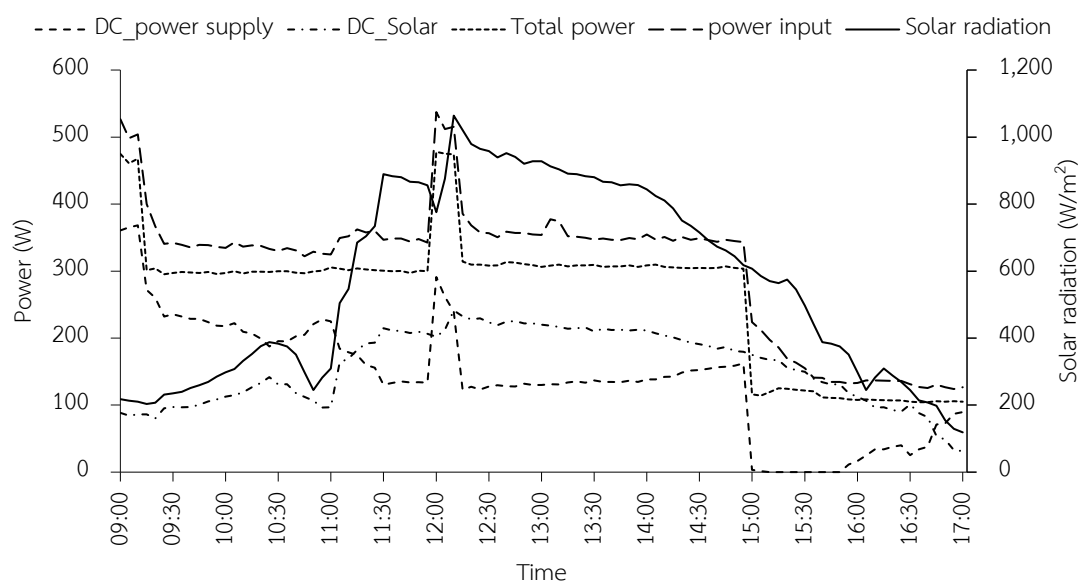


ภาพที่ 76 แสดงประสิทธิภาพการทำงานในระบบการปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก

จากภาพที่ 76 การประเมินด้านประสิทธิภาพการทำงานในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. โดยภาระโหลดการจ่ายไฟที่ 100W 300W และ 500W โดยบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าในการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 85.32% – 97.17% และค่าเฉลี่ยที่ 90.11% และจะสูงสุดในเวลา 15:00 – 15:30 น. เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าพิกัดของโหลด ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดสูงถึง 15.73V ขณะที่ระบบไฟฟ้าจากสายส่งถูกตัดออกไป

7. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด

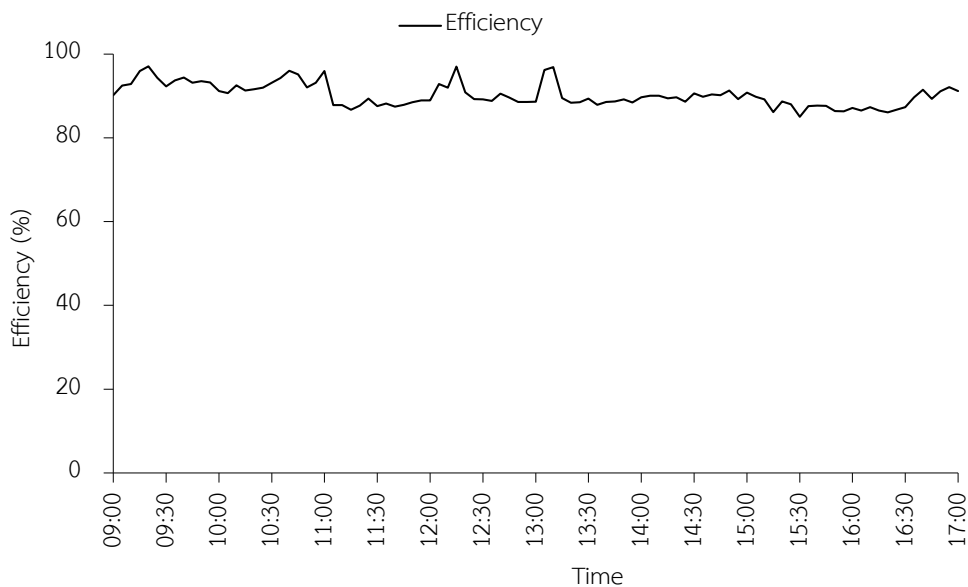
ผลการทดสอบการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก โดยการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด และใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตรวมสูงสุดที่ 720W 41.08A ที่ 17.54V แสดงดังภาพที่ 77



ภาพที่ 77 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีซีลอจิก

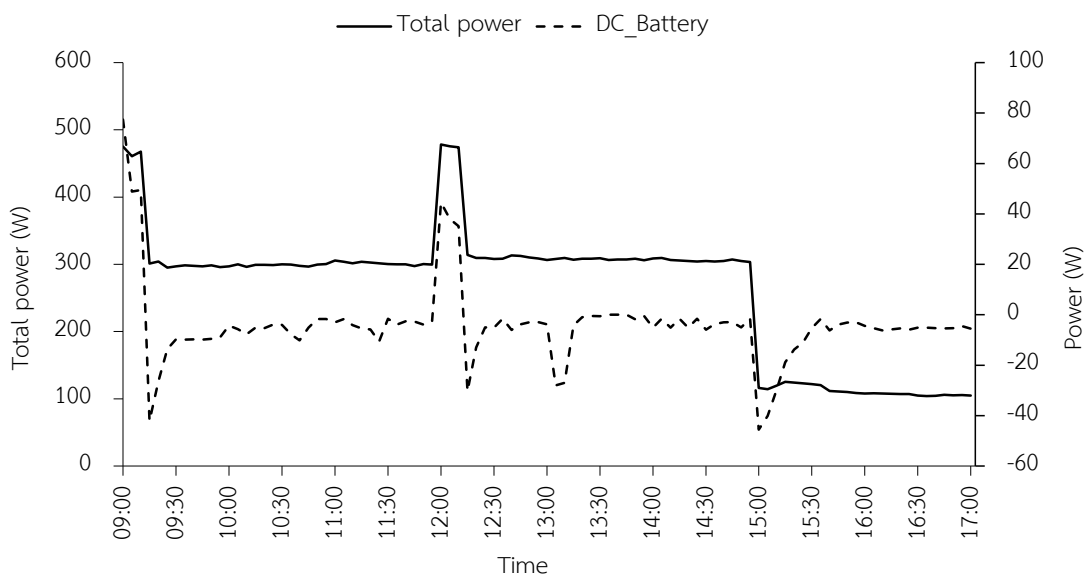
การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรงการทดสอบทดสอบในวันที่ 20 กันยายน 2562 มีลักษณะท้องฟ้ามีเมฆมากในช่วงเช้าและปลอดโปร่งในช่วง 11:30 น. เป็นต้นไป จากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีความไม่ต่อเนื่องในเวลาดังกล่าว ผลการทดสอบพบว่า 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งต่อกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 72 : 17 : 11 ในช่วงเช้า และ 51 : 42 : 8 ในช่วงเที่ยง โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งและแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิด 364.70W 86.28W และ 58.59W ตามลำดับ ในช่วงเช้า และ 264.04W 218.46W และ 39.22W ตามลำดับ ในช่วงเที่ยง ในขณะที่ช่วงเวลา 10:30 – 12:00 น. และช่วง 12:15 – 15:00 และในเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจะเห็นได้ว่าระบบได้ตัดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟจากสายส่งและใช้เพียงไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเนื่องจาก

ติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ทำให้กระแสไฟฟ้าบางส่วนไปชาร์จประจุทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่และไม่เกินพิกัดของโหลดในการทำงาน



ภาพที่ 78 กราฟประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ

จากการประเมินด้านประสิทธิภาพช่วง 9:00 – 11:00 น. เป็นช่วงแสงอาทิตย์ถูกเมฆบังทำให้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังน้อยทำให้พลังงานที่สูญเสียในระบบฝั่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำไปด้วยทำให้ประสิทธิภาพในช่วงเวลาดังกล่าวเพิ่มขึ้น โดยการประเมินในกรณีนี้ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 85.01 – 97.08% และผลเฉลี่ย 90.21% ซึ่งมากกว่าระบบที่ใช้อัลกอริทึมเดียวกันในกรณีไม่ติดตั้งแบตเตอรี่แสดงดังภาพที่ 78

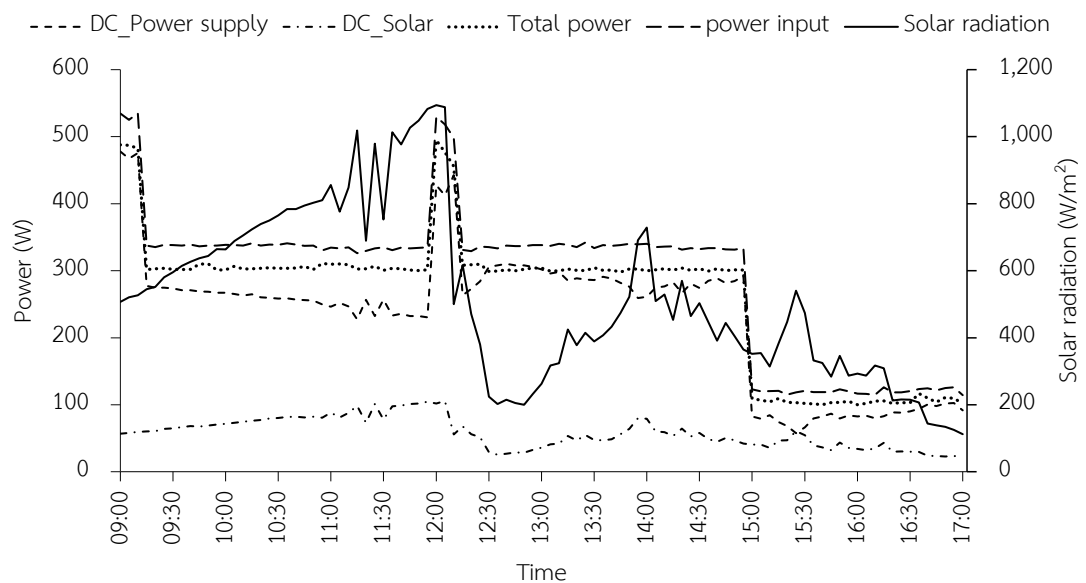


ภาพที่ 79 แสดงการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบ

จากภาพที่ 79 ในการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งกับระบบเพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลาการสับเปลี่ยนภาระโหลดของอุปกรณ์ในการทดสอบจาก 500W เป็น 300W และ 100W พบว่ามีการชาร์จประจุในช่วงทดสอบโหลดที่ 300W และ 100W ด้วยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 7.24W เนื่องจากประสิทธิภาพการเก็บพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นคลายประจุตลอดเวลาจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไปชาร์จประจุแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา

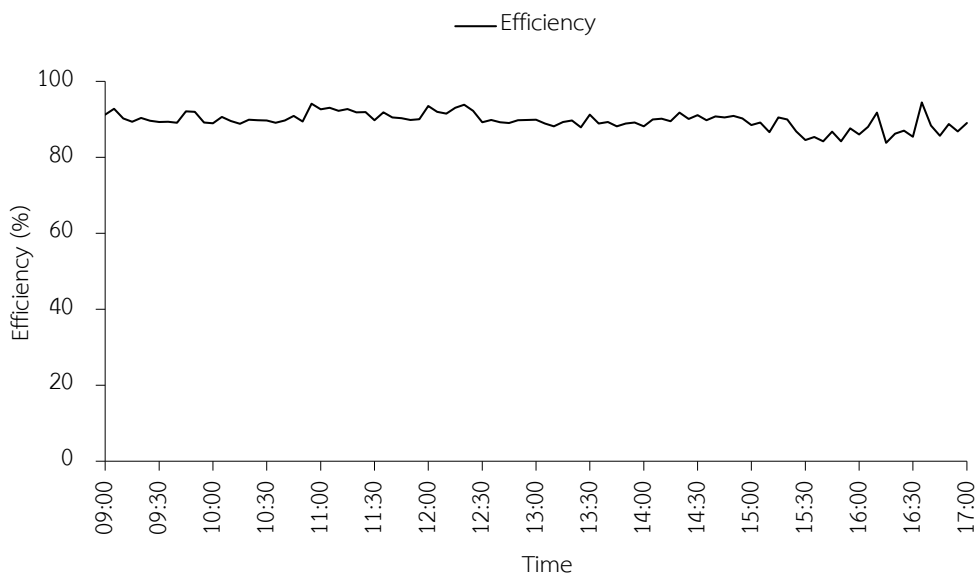
8. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิก โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด

ผลการทดสอบการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิก โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตรวมสูงสุดที่ 240W 13.48A ที่ 17.85V แสดงดังภาพที่ 80



ภาพที่ 80 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิก

จากการทดสอบระบบในเวลา 9:00 – 17:00 น. ในวันที่ 22 กันยายน 2562 สภาพลักษณะท้องฟ้าปลอดโปร่งในช่วงเช้าและมีเมฆมากในช่วงบ่ายทำให้ค่าความเข้มแสงในช่วงบ่ายไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าสูงสุดในเวลา 12:05 น. สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 105.75W ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1,088 W/m² และในช่วงเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. ได้มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่ 500W ตามเงื่อนไขการจำลองระบบได้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์รวมขนาด 500W เป็นเวลาช่วงละ 15 นาที พบว่าการจ่ายพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 58.03W และพลังงานจากสายส่งเฉลี่ย 473.40W ในช่วงเช้า และ 87.82W และพลังงานจากสายส่งเฉลี่ย 427.60W ในช่วงเที่ยงตามลำดับ สามารถคิดเป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 98 : 11 ในช่วงเช้า และ 17 : 83 ในช่วงเที่ยง และเวลา 15:00 – 17:00 น. จะเห็นได้ว่าระบบได้สับเปลี่ยนโหลดใช้ที่ 100W สามารถคิดเป็นสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง : แผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 70 : 30 ได้ผลการประหยัดและทดแทนการใช้พลังงานจากระบบสายส่งไปได้ 467.05Wh/day

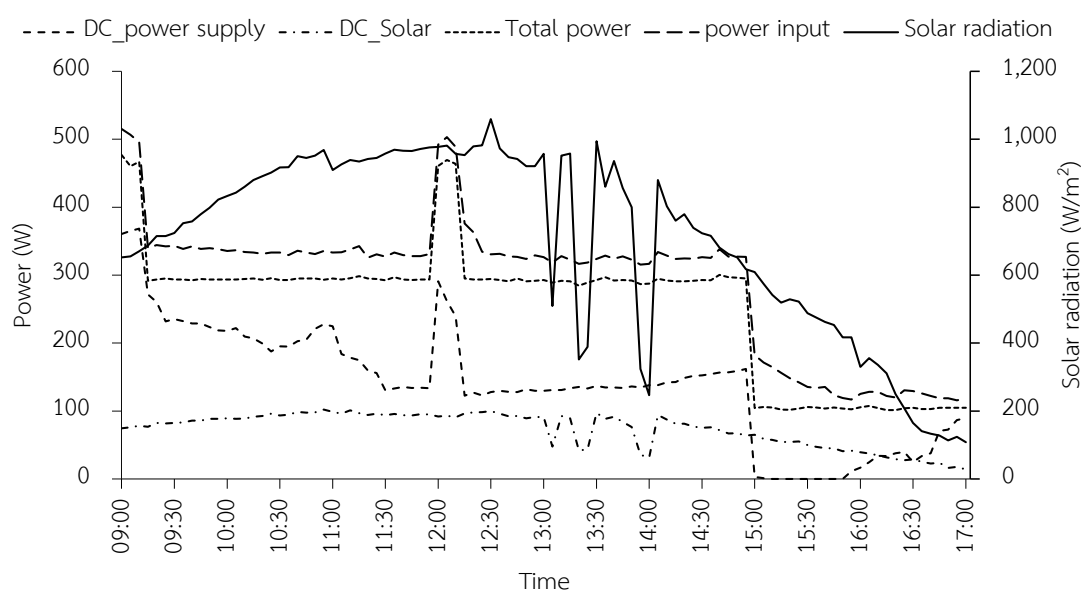


ภาพที่ 81 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแปลงป้อนภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ

จากภาพที่ 81 การทดสอบทางด้านประสิทธิภาพการทำงานในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. โดยภาระโหลดการจ่ายไฟที่ 100W 300W และ 500W โดยบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าในการคำนวณ ประสิทธิภาพการทำงานพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 85.32 – 97.17% และค่าเฉลี่ยที่ 85.32%

9. ผลการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลोजิก โดยใช้แบตเตอรี่ และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด

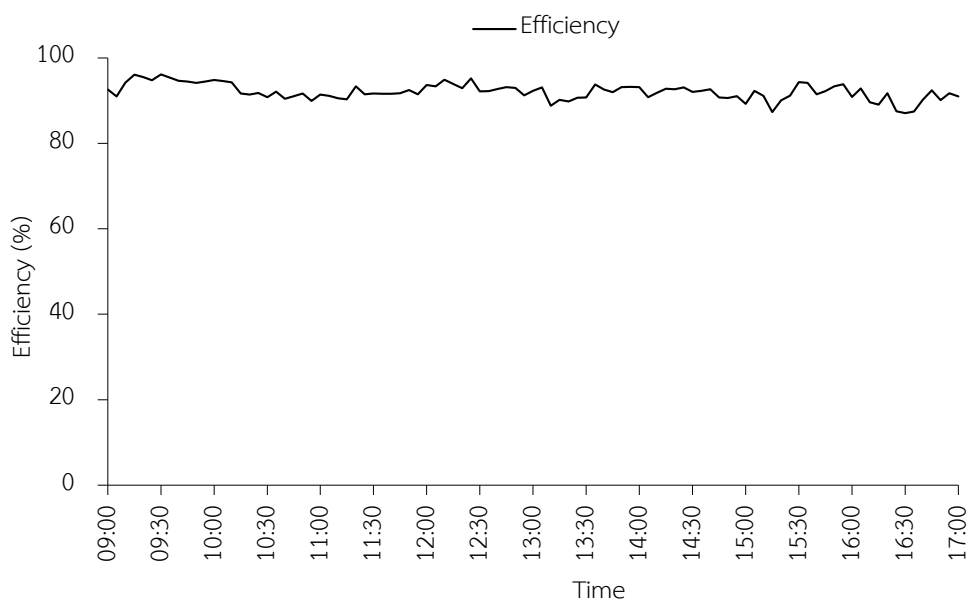
การทดสอบการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลोजิก โดยการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลด และใช้ภาระโหลดไฟฟ้าที่ 100W 300W และ 500W และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตรวมสูงสุดที่ 240W 13.48A ที่ 17.85V แสดงดังภาพที่ 82



ภาพที่ 82 แสดงค่าความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลोजิก

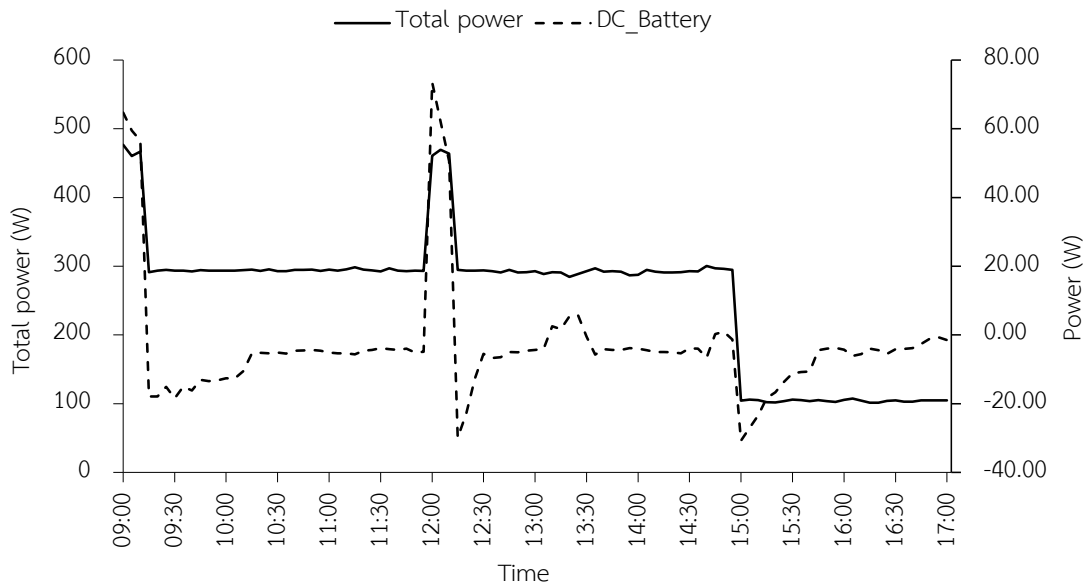
การทดสอบระบบที่ติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตในวันที่ 23 กันยายน 2562 สภาพลักษณะท้องฟ้าปลอดโปร่ง พบว่ากำลังไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งให้กำลังกับระบบไม่คงที่ในเวลา 9:30 – 11:30 น. เนื่องจากระบบได้ใช้กำลังไฟฟ้าบางส่วนในการชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงหลังจากทดสอบกับโหลดขนาด 500W เสร็จจึงมีระยะเวลาในการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่จึงต้องนำไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งมาช่วยจ่ายเข้าระบบทำให้ในช่วงผลการทดสอบเวลา 9:00 – 9:10 น. และ 12:00 – 12:10 น. มีการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งต่อกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็น 73 : 15 : 12 ในช่วงเช้า และ 69 : 19 : 12 ในช่วงเที่ยง โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่คิดเป็น 368.98W 76.36W และ 60.26 W ตามลำดับ ในช่วงเช้า และ 340.59 W 92.00W และ 62.08W ในช่วงเที่ยงในเวลา 15:00 น. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดขนาด 100W เพียงพอระบบได้ตัดการจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งออก เนื่องจากกรณีนี้มี

แบตเตอรี่เพื่อใช้ในการรักษาเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตนั้นถูกชาร์จประจุเข้าในแบตเตอรี่จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าไม่สูงเกินพิกัดของโหลด และทำให้ประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่แสดงดังภาพที่ 83



ภาพที่ 83 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของวงจรในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดขนาด 100W 300W และ 500W โดยการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานจากการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าพบว่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 87.05 – 96.14% และค่าเฉลี่ยที่ 92.07%



ภาพที่ 84 แสดงกำลังไฟฟ้าจากการชาร์จและคลายประจุของแบตเตอรี่และกำลังการทดสอบโหลด

จากภาพที่ 84 ในการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งกับระบบเพื่อรักษาเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลาการสับเปลี่ยนภาระโหลดของอุปกรณ์ในการทดสอบจาก 500W เป็น 300W และ 100W พบว่ามีการชาร์จประจุในช่วงทดสอบโหลดที่ 300W และ 100W ด้วยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 7.59W เนื่องจากประสิทธิภาพการเก็บพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นคลายประจุตลอดเวลาจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไปชาร์จประจุแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา

10. ผลการทดสอบการใช้งานจริงในภาคสนาม

จากการทดสอบระบบสามารถสรุปการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในแต่ละกรณีได้โดยสามารถแบ่งตามเงื่อนไขในการทดสอบแบ่งเป็น 8 เงื่อนไขแสดงดังตารางตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงกรณีเงื่อนไขในการทดสอบ

เงื่อนไข	อัลกอริทึม		Battery		Solar Supply	
	Step	Fuzzy logic	Battery	No_Battery	High	Low
1	✓			✓	✓	
2	✓		✓		✓	
3	✓			✓		✓
4	✓		✓			✓
5		✓	✓		✓	
6		✓	✓			✓
7		✓		✓	✓	
8		✓		✓		✓

1. (Step-No_Batt-High) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

2. (Step- Batt-High) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

3. (Step-No_Batt-Low) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังน้อยกว่าโหลด

4. (Step- Batt-Low) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไข โดยติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังน้อยกว่าโหลด

5. (Fuzzy-No_Batt-High) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิก โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

6. (Fuzzy-Batt-High) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิก โดยติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

7. (Fuzzy-No_Batt-Low) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

8. (Fuzzy-No_Batt-Low) = เงื่อนไขการอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซี่ลอจิก โดยติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพทดสอบโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังมากกว่าโหลด

จากการทดสอบการใช้งานจริงของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดรงโดยใช้โหลดหลอดไฟที่ใช้กำลังไฟฟ้าเทียบเท่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรียนสามารถได้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานและพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยและพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการใช้งาน

เงื่อนไข	ประสิทธิภาพเฉลี่ย %	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ Wh/day
Step-No_Batt-High	87.41%	1,660.42
Step- Batt-High	88.01%	1,406.08
Step-No_Batt-Low	87.00%	642.08
Step- Batt-Low	87.27%	652.92
Fuzzy-No_Batt-High	90.11%	1,454.40
Fuzzy-Batt-High	90.21%	1,269.07
Fuzzy-No_Batt-Low	89.62%	467.05
(Fuzzy-No_Batt-Low	92.07%	593.52

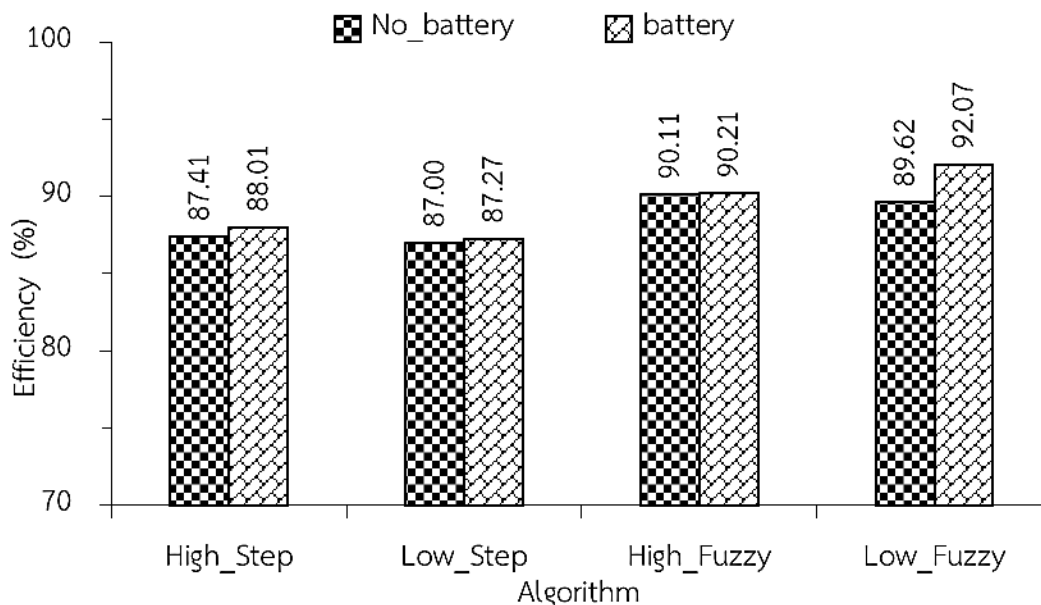
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ผลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ถูกแบ่งเป็นการวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ ดังนี้ต่อไปนี้เป็นประสิทธิภาพการทำงานของระบบในอัลกอริทึมต่างๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของระบบในกรณีที่ปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าและมากกว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโหลดที่ต้องการ และการวิเคราะห์การทำงานของระบบกรณีใช้และไม่ใช้แบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพการทำงานในการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงโหลดของระบบ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากสมการที่ 8 ในกรณีที่ไม่มีแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพการทำงาน สมการที่ 9 ในกรณีระบบมีชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่ และสมการที่ 10 ในกรณีระบบมีชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่โดยนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบภายใต้กรณีต่างๆ โดยใช้ความเข้มแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรคงที่ในการแสดงค่าประสิทธิภาพของระบบภายใต้อัลกอริทึมต่างๆ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 แบบดังนี้

1. กรณีมีแบตเตอรี่เพื่อรักษาความเสถียรให้กับระบบ
2. กรณีไม่มีแบตเตอรี่เพื่อรักษาความเสถียรให้กับระบบ
3. กรณีกำลังผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลดใช้งาน
4. กรณีกำลังผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลดใช้งาน

1. กรณีมีและไม่มีแบตเตอรี่เพื่อรักษาความเสถียรให้กับระบบ

ในกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบเพื่อรักษาแรงดันทางด้านเอาต์พุตในกรณีที่สับเปลี่ยนขนาดโหลดจาก 300W ไปเป็น 500W จะทำให้แรงดันเอาต์พุตตกลงต่ำกว่าค่าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะรองรับได้ในขณะหนึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายได้ การติดตั้งแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตในแต่ละกรณีส่งผลให้กับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ แสดงดังภาพที่ 85

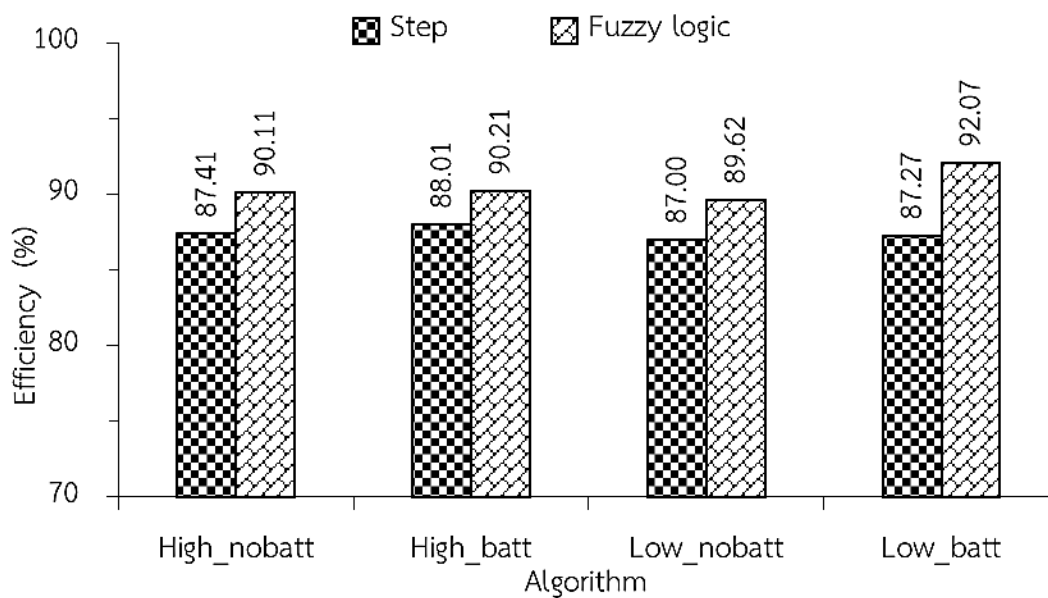


ภาพที่ 85 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีการติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ เพื่อรักษาแรงดันทางด้านเอาต์พุต

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาเสถียรภาพการจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของระบบแบ่งปันภาระโหลด พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชซีลจิกสามารถทำประสิทธิภาพสูงสุดในกรณีที่ติดตั้งแบตเตอรี่ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กกว่าโหลดมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 92.07% และในระบบการทำงานด้วยอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเจ็อนไอสามารถทำประสิทธิภาพสูงสุดในกรณีที่ติดตั้งแบตเตอรี่ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดมากกว่าโหลดมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 88.01% และในกรณีอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชซีลจิกที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดมากกว่าโหลดทั้ง ติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยใกล้เคียงกันเฉลี่ยที่ 90.11% และ 90.21% เนื่องจากแบตเตอรี่สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตให้คงที่จึงทำให้การทำงานของโหลด และการทำงานในการสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมระบบมีความเปลี่ยนแปลงน้อยทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า

2. กรณีระบบใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์ในการควบคุมการทำงาน

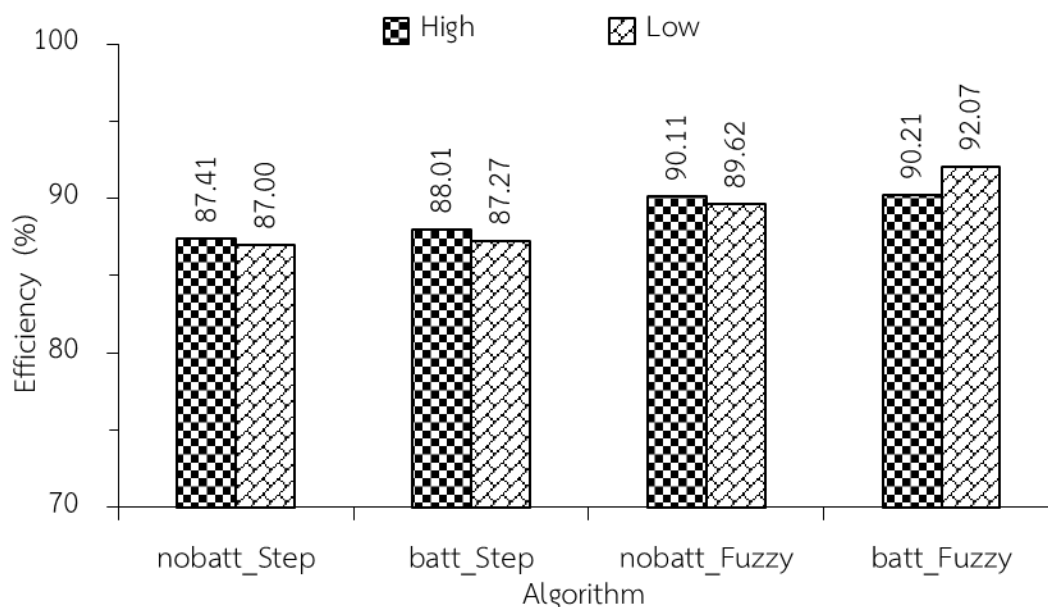
อัลกอริทึมถูกพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาการตอบสนองของระบบในช่วงการสับเปลี่ยนโหลดที่ไวขึ้นเพื่อความต่อเนื่องของกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต และส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในกรณีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 86



ภาพที่ 86 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีใช้อัลกอริทึมในการปรับพัลส์ในการควบคุมระบบ จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทดสอบในกรณีใช้อัลกอริทึมต่างๆ พบว่าการใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิกให้ประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ย 92.07% ที่ในกรณีติดตั้งแบตเตอรี่และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าโหลด ซึ่งการใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเจ็อนไซม์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยน้อยกว่าโดยมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ยที่ 88.01% อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิกจึงส่งผลให้กำลังการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบต่ำกว่าอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเจ็อนไซม์

3. กรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันภาระโหลดในกรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโดยแสดงประสิทธิภาพการทำงานในกรณีต่างๆ ในการทำงานโดยมีค่าประสิทธิภาพแสดงดังภาพที่ 87



ภาพที่ 87 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันภาระโหลดที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าและน้อยกว่าโหลดที่ใช้ พบว่าประสิทธิภาพการทำงานกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่าโหลดที่ใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีช็อลจิก โดยติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ยที่ 92.07% และกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตมากกว่าโหลดที่ใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีช็อลจิก โดยติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 90.21% ซึ่งจะเห็นว่าโดยปกติจากการทดสอบในกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้งานของโหลด เนื่องจากในระบบการทำงานของการปรับพัลส์แบบพีซีช็อลจิกสามารถคำนวณการจ่ายสัญญาณ PWM ได้อย่างแม่นยำและในกรณีการทดสอบในกรณีที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าทำให้สัญญาณไฟฟ้าในการคำนวณทางพีซีช็อลจิกเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการใช้งานของโหลด และประกอบกับการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบจึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดในทุกกรณีปรับพัลส์แบบพีซีช็อลจิกโดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 90.11% และอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงือนไซ โดยติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 88.01% และอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตป

เงื่อนไข โดยไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพต่ำสุดเฉลี่ยที่ 87.41% จะเห็นได้ว่ากรณีการทดสอบในเงื่อนไขกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าโหลด กรณีใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิก โดยติดตั้งแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากการทำงานและแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของระบบนี้สูงกว่าเกิดจากมีแบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานและเศรษฐศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานและเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุนของระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรงโดยใช้ข้อมูลการทดสอบในด้านของประสิทธิภาพการทำงานจากตารางที่ 10 จึงได้จัดทำสมการทางคณิตศาสตร์ในการหาผลประโยชน์และระยะเวลาคืนทุนของระบบโดยคิดจากค่าประสิทธิภาพของการทำงานของระบบโดยผู้วิจัยได้สรุปเป็นข้อมูลจากการทดสอบระบบแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลจำเพาะจากการทดสอบระบบ

ข้อมูล	ตัวแปร	หน่วย	หมายเหตุ
พื้นที่รับแสง (A_{rea})	4.8025	m^2	**กรณีแผงโซลาร์มีกำลังการผลิตมากกว่าโหลด
	1.6875	m^2	**กรณีแผงโซลาร์มีกำลังการผลิตน้อยกว่าโหลด
ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ($\text{Solar}_{\text{Eff}}$)	9	%	
การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือน ($P_{\text{GH,net}}$)	2,100	Wh/day	

ตารางที่ 12 ตารางแสดงความพลังงานแสงอาทิตย์ ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เดือน	kWh/m ² /day	เดือน	kWh/m ² /day
มกราคม	4.953	กรกฎาคม	5.159
กุมภาพันธ์	5.235	สิงหาคม	5.13
มีนาคม	5.614	กันยายน	5.123
เมษายน	6.151	ตุลาคม	4.807
พฤษภาคม	5.814	พฤศจิกายน	4.499
มิถุนายน	5.212	ธันวาคม	4.502

การคำนวณต้นทุนทางพลังงาน

การพิจารณาผลการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับระบบแบ่งปันภาระโหลด โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง ในสถานะที่ความเข้มแสงอาทิตย์ต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณเป็นระยะเวลาคืนทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 12 ร่วมกับการประเมินราคาต้นทุนการติดตั้งระบบแสดงดังตารางที่ 14 และตารางที่ 15 ในสมการต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1) คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\text{พื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A}_{\text{rea}}) \quad 4.8025 \quad \text{m}^2$$

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar_{Eff})

$$9 \quad \%$$

$$\text{ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยต่อวัน (P}_E) \quad 4.953 \quad \text{kWh/m}^2/\text{day}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิ (P}_{S,\text{net}} = P_E \times \text{Solar}_{\text{Eff}} \times A_{\text{rea}})$$

$$1,641.29 \quad \text{Wh/day}$$

ขั้นตอนที่ 2) คำนวณพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิ (P}_{S,\text{net}}) \quad 1,641.29 \quad \text{Wh/day}$$

$$\text{จำนวนวันในเดือน (n)} \quad 31 \quad \text{day}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (P1}_{S,\text{net}}/\text{Month} = P_{S,\text{net}} \times n)$$

$$66,365 \quad \text{Wh/Month}$$

ขั้นตอนที่ 3) คำนวณพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปี

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ } (P_{S,\text{net}/\text{year}} = P1_{S,\text{net}/\text{Month}} + P2_{S,\text{net}/\text{Month}} + \dots + P12_{S,\text{net}/\text{Month}})$$

517.54 kWh/year

ขั้นตอนที่ 4) คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิ } (P_{S,\text{net}/\text{year}})$$

817.54 kWh/year

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิ } (P_{GH,\text{net}/\text{year}} = P_{GH} \times \text{Eff}_{\text{SYS}})$$

876.90 kWh/year

$$\text{พลังงานไฟฟ้า } (P_{GH,\text{SAVE}} = P_{GH,\text{net}} - P_{S,\text{net}})$$

59.36 kWh/year

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้า } (Cost_E)$$

4 Baht/kWh

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้าก่อนติดตั้ง } (C_{GH,\text{Befor}} = P_{GH,\text{net},\text{Befor}} \times Cost_E)$$

3,066.00 Baht/year

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้าหลังติดตั้ง } (C_{GH,\text{After}} = P_{GH,\text{SAVE}} \times Cost_E)$$

237.43 Baht/year

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้ารวม } (C_{\text{SAVE}} = C_{GH,\text{Befor}} - C_{GH,\text{After}})$$

2,828.57 Baht/year

ขั้นตอนที่ 5) คำนวณระยะเวลาคืนทุนระบบ

$$\text{ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบ } (C_{\text{System}})$$

18,410 Baht

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน } (PPT = C_{\text{System}} / C_{\text{SAVE}})$$

6.51 year

จากข้อมูลสามารถนำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด และได้ทำสมการในการคำนวณผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสตรง โดยนำพลังงานแสงอาทิตย์รายปีจาก โปรแกรม HomerPro V 3.13.3(Evaluation Edition) แสดงดังภาพที่ 88 ซึ่งเปิดให้ใช้งานฟรีครั้งแรงเป็นเวลา 15 วัน โดยเก็บรวบรวมค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ผู้วิจัยสนใจและนำมาวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนของเงื่อนไขการทดสอบแต่ละกรณีได้แสดงดังตารางที่ 13 ต่อไปนี้

HOMER Pro Microgrid Analysis Tool x64 3.13.3 (Evaluation Edition)

FILE LOAD COMPONENTS RESOURCES PROJECT HELP

Solar GHI Solar DNI Wind Temperature Fuels Hydrokinetic Hydro Biomass Custom

Design Results Library View

Home

Calculate

SEARCH

Remove

Import... Import and Edit... Library: Download From Internet...

SOLAR GHI RESOURCE

Choose Data Source: Enter monthly averages Import from a time series data file or the library

Monthly Average Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) Data

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0.647	4.953
Feb	0.608	5.235
Mar	0.578	5.614
Apr	0.584	6.151
May	0.535	5.814
Jun	0.478	5.212
Jul	0.475	5.159
Aug	0.484	5.130
Sep	0.515	5.123
Oct	0.540	4.807
Nov	0.574	4.499
Dec	0.615	4.502

Annual Average (kWh/m²/day): 5.18

Downloaded at 2019-09-30 9:00:28 PM from: National Renewable Energy Lab database. CellNumber: 260078 CellDimensions: 40km x 40km CellMidpointLatitude: 18.857 CellMidpointLongitude: 98.877

Scaled Annual Average (kWh/m²/da): 5.18

Plot... Export...

SUGGESTIONS: Model does not match results

HOMER Pro

2100 2019-09-30

ภาพที่ 88 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตำแหน่งมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ตารางที่ 13 ตารางแสดงการคำนวณข้อมูลทางด้านไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน

เงื่อนไข	ประสิทธิภาพ		การใช้ไฟฟ้าสุทธิ		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง		จาก		ระยะเวลาคืน	
	เฉลี่ย (%)	รายปี (kWh/year)	รายปี (kWh/year)	รายปี (kWh/year)	สายส่ง (%)	เซลล์แสงอาทิตย์ (%)	เซลล์แสงอาทิตย์ (%)	ทุน	ทุน	(Year)
Step-No_Batt-High	87.41	876.90	876.90	59.36	6.77	93.23	93.23	6.51		
Step- Batt-High	88.01	870.92	870.92	53.38	6.13	93.87	93.87	7.18		
Step-No_Batt-Low	87.00	881.03	881.03	593.77	67.39	32.61	32.61	15.49		
Step- Batt-Low	87.27	878.31	878.31	591.04	67.29	32.71	32.71	18.2		
Fuzzy-No_Batt-High	90.11	850.63	850.63	850.63	3.89	96.11	96.11	6.28		
Fuzzy-Batt-High	90.21	849.68	849.68	32.14	3.78	92.22	92.22	6.97		
Fuzzy-No_Batt-Low	89.62	855.28	855.28	568.01	66.41	33.59	33.59	13.48		
Fuzzy-Batt-Low	92.07	832.52	832.52	545.25	65.49	34.51	34.51	14.44		

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องการออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรงมีข้อสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการออกแบบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดตรงสามารถสรุปได้ว่า

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบเพื่อรักษาแรงดันทางด้านเอาต์พุต กรณีที่ติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าโดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 92.07% โดยใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลจิก และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าโหลดใช้งาน และในกรณีไม่ติดตั้งแบตเตอรี่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 90.11% โดยใช้ อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลจิกโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าโหลดใช้งาน
2. การวิเคราะห์กรณีระบบใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งได้พัฒนาอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนและพีซีลจิก พบว่าการปรับพัลส์แบบพีซีลจิกมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 92.07% ในกรณีติดตั้งแบตเตอรี่ และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าโหลดใช้งาน และในอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบสเตปเงื่อนไปมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 88.01% ในกรณีติดตั้งแบตเตอรี่ และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าโหลดใช้งาน
3. การวิเคราะห์กรณีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงแบ่งการทดสอบเป็นกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าและน้อยกว่าโหลดพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่าโหลดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 92.07% ในกรณีใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลจิก และติดตั้งแบตเตอรี่ให้กับระบบ และในกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าโหลดพบว่า มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 90.21% ในกรณีใช้อัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลจิก และติดตั้งแบตเตอรี่ให้กับระบบ
4. ระยะเวลาการคืนทุนพิจารณาทั้ง 8 เงื่อนไขในเงื่อนไขอัลกอริทึมปรับพัลส์แบบพีซีลจิกที่ไม่ใช้แบตเตอรี่ในการรักษาเสถียรภาพของระบบและใช้กับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากกว่าโหลดให้ระยะเวลาการคืนทุนที่สั้นที่สุดที่ 6.28 ปี

ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบระบบแบ่งปันภาระโหลดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับภาระโหลดแบบกระแสดังกล่าวยังมีจุดบกพร่องในส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมที่ยังไม่ครอบคลุมลักษณะแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตเกินที่เกิดจากกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากเกินไปในการใช้งานของโหลดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินส่งผลให้อุปกรณ์ทำงานเกินพิกัดที่กำหนดอาจเกิดความเสียหายจึงต้องพัฒนาโปรแกรมการควบคุมเพื่อที่จะรองรับเหตุการณ์ดังกล่าวที่จะเกิดขึ้น
2. การออกแบบระบบที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าบ้านจากการไฟฟ้าที่เป็นกระแสสลับในการใช้งานที่กำลังเท่ากับระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ จะต้องใช้กระแสสูง จึงต้องใช้ขนาดของสายไฟและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทนกระแสไฟฟ้าได้สูง จึงเป็นข้อจำกัดในการพัฒนางจรไฟฟ้าที่รองรับการใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่
3. ในการทดสอบในแต่ละวันเนื่องด้วยปัจจัยที่มีผลในการทดสอบ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ส่งผลกับค่าประสิทธิภาพของการทำงานมีการกระจายของข้อมูลและมีความเปลี่ยนแปลงมากในช่วงดังกล่าว
4. เนื่องจากการจำกัดแรงดันไฟฟ้าในการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ 12V ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นลดลงเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายจำกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดในการใช้งานจึงไม่สามารถนำใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้มีประสิทธิภาพ แก้ไขโดยปรับแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับแรงดันสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามคุณสมบัติจากผู้ผลิต

บรรณานุกรม

- Bauhuis, G. J., Mulder, P., Haverkamp, E. J., Huijben, J. C. C. M. และ Schermer, J. J. 2009. 26.1% thin-film GaAs solar cell using epitaxial lift-off. **Solar Energy Materials and Solar Cells**,93(9), 1488-1491.
- Bezdek, J.C. 1981. **Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms**. Plenum Press.
- Chen, Y. M., Hung, S. C., Cheng, C. S. และ Liu, Y. C. 2005. **Multiinput inverter for grid-connected hybrid PV/wind power system**. 6-10 March 2005.
- Dali, Mehdi, Belhadj, Jamel และ Roboam, Xavier. 2010. Hybrid solar-wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management – Experimental investigation. **Energy**,35(6), 2587-2595.
- Dunn, J. C. 1973. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters. **Journal of Cybernetics**,3(3), 32-57.
- Eghtedarpour, N. และ Farjah, E. 2014. Power Control and Management in a Hybrid AC/DC Microgrid. **IEEE Transactions on Smart Grid**,5(3), 1494-1505.
- Evans, B. 2011. **Beginning Arduino Programming**. Apress.
- Hagras, H. A. 2004. A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**,12(4), 524-539.
- Huang, Fuzhi, Dkhissi, Yasmina, Huang, Wenchao, Xiao, Manda, Benesperri, Iacopo, Rubanov, Sergey, Zhu, Ye, Lin, Xiongfeng, Jiang, Liangcong, Zhou, Yecheng, Gray-Weale, Angus, Etheridge, Joanne, McNeill, Christopher R., Caruso, Rachel A., Bach, Udo, Spiccia, Leone และ Cheng, Yi-Bing. 2014. Gas-assisted preparation of lead iodide perovskite films consisting of a monolayer of single crystalline grains for high efficiency planar solar cells. **Nano Energy**,10(10-18).
- Jaisin, Chawaroj, Intaniwet, Akarin, Nilkhoa, Tanawat, Maneechukate, Thongchai, Mongkon, Sulaksana, Kongkraphan, Parin และ Polvongsri, Sarawut. 2019. A prototype of a low-cost solar-grid utility hybrid load sharing system for

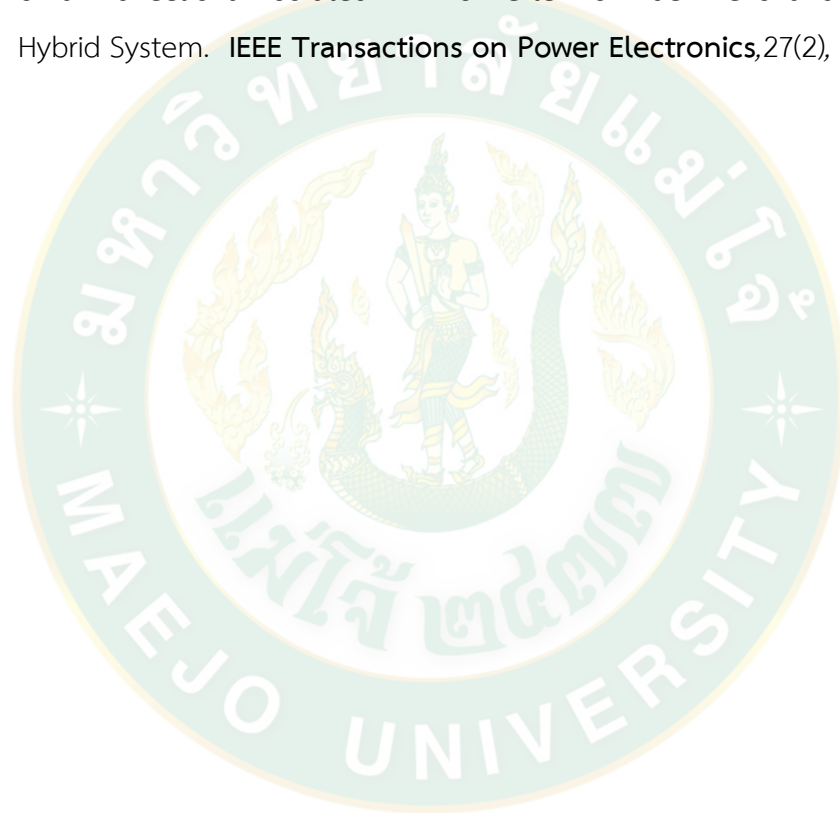
- agricultural DC loads. **International Journal of Energy and Environmental Engineering.**
- Jin, Chuanlin, Wang, Bingxing, Jiang, Dongliu และ Jiang, Wei. 2011. Energy Conversion Stage Design of Solar Water Pump in a Nanofiltration System. **Energy Procedia**,12(1049-1056).
- Kayes, B. M., Nie, H., Twist, R., Spruytte, S. G., Reinhardt, F., Kizilyalli, I. C. และ Higashi, G. S. 2011. **27.6% Conversion efficiency, a new record for single-junction solar cells under 1 sun illumination.** 19-24 June 2011.
- Lee, C. S., Kim, S., Kim, C. B., Hong, S. C., Yoo, J. S., Kim, S. W., Kim, C. H., Woo, S. H. และ Sun, S. Y. 1998. **Parallel UPS with a instantaneous current sharing control.** 31 Aug.-4 Sept. 1998.
- Meier, J., Spitznagel, J., Kroll, U., Bucher, C., Faÿ, S., Moriarty, T. และ Shah, A. 2004. Potential of amorphous and microcrystalline silicon solar cells. **Thin Solid Films**,451-452(518-524).
- Neamen, D.A. 2009. **Microelectronics Circuit Analysis and Design.** McGraw-Hill Education.
- Pressman, A.I., Billings, K. และ Morey, T. 2007. **Switching Power Supply Design, 3rd Ed.** McGraw-Hill Education.
- Reclamation, Bureau Of, Interior, U.S.D. และ Research, T.S.G.H. 2011. **Transformers: Basics, Maintenance and Diagnostics.** Books Express Publishing.
- Saga, Tatsuo. 2010. Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production. **NPG Asia Materials**,2(3), 96-102.
- Schouten, N. J., Salman, M. A. และ Kheir, N. A. 2002. Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**,10(3), 460-468.
- Teikari, Petteri, Najjar, Raymond P., Malkki, Hemi, Knoblauch, Kenneth, Dumortier, Dominique, Gronfier, Claude และ Cooper, Howard M. 2012. An inexpensive Arduino-based LED stimulator system for vision research. **Journal of Neuroscience Methods**,211(2), 227-236.
- Wang, P., Jin, C., Zhu, D., Tang, Y., Loh, P. C. และ Choo, F. H. 2015. Distributed Control for Autonomous Operation of a Three-Port AC/DC/DS Hybrid Microgrid. **IEEE**

Transactions on Industrial Electronics,62(2), 1279-1290.

Yan, Baojie, Yue, Guozhen, Xu, Xixiang, Yang, Jeffrey และ Guha, Subhendu. 2010. High efficiency amorphous and nanocrystalline silicon solar cells. **physica status solidi (a)**,207(3), 671-677.

Yen, John และ Langari, Reza. 1999. **Fuzzy Logic: Intelligence, Control, And Information**. Pearson Education.

Zhang, Z., Ouyang, Z., Thomsen, O. C. และ Andersen, M. A. E. 2012. Analysis and Design of a Bidirectional Isolated DC Converter for Fuel Cells and Supercapacitors Hybrid System. **IEEE Transactions on Power Electronics**,27(2), 848-859.





ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการวิจัยและงานวิจัยที่เผยแพร่



การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ ๔
ด้านสารสนเทศ การเกษตร การจัดการ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration,
Engineering, Sciences and Technology: IAMBEST 2019

เกียรติบัตรฉบับนี้ ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ธันวาคม นิลขาว ชวโรจน์ ใจสิน ธงชัย มณีชูเกตุ ปุณยสิริ บุญเบ้ง และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย
เรื่อง “การออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดิจิทัลเพื่อกاهشการสูญเสียพลังงานทางการเกษตร”

วันที่ ๓๐ - ๓๑ พฤษภาคม ๒๕๖๒
ณ โรงแรมทินิตี้ ระนอง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,

Business administration, Engineering, Science and Technology



การออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคไทม์ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์ สำหรับปั้มน้ำทางการเกษตร

Design of a Load Sharing System on Time Division Multiplexer Technique for Agricultural Water Pump

ธนวัฒน์ นิลขาว¹ ชาวโรจน์ ใจสิน¹ ธงชัย มณีชูเกตุ¹ ปุณยสิริ บุญเป็ง² และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์¹
Thanawat Ninkhoa¹, Chawaroj Jaisin¹, Thongchai Maneechukate¹, Poonyasiri Boonpeng² and Akarin Intanivet¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai

*Corresponding author: chawaroj@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคไทม์ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำทางการเกษตร อุปกรณ์ในการทดลองประกอบไปด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 80 W จำนวน 3 แผง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 V 800 W ปั้มน้ำเกษตรกระแสตรงขนาด 360 W และชุดควบคุมการแบ่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพร้อมซึ่งถูกออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายสัญญาณควบคุมผ่านเกตไดรฟ์เวอร์ เพื่อขับพาวเวอร์มอสเฟตสำหรับควบคุมสัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างโซลาร์เซลล์กับไฟฟ้าพื้นฐาน สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เทคนิค time division multiplexer จ่ายสัญญาณแบบ 2 ช่องที่มีเฟสตรงกันข้ามพร้อมเดดไทม์ ทดสอบกับปั้มน้ำกระแสตรงในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 2,796.28 Wh/day โดยเป็นพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์คิดเป็น 30.6% และไฟฟ้าจากไฟฟ้าพื้นฐานเป็น 69.4 % เกิดผลประหยัดไฟฟ้าทั้งหมด 30.6 %

คำสำคัญ: ไทม์ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์, ระบบแบ่งปันโหลดกระแสตรง, ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

Abstract

The aim of this research is to design a load sharing system by using time division multiplexer technique for agricultural water pump. The devices for an experiment consist of 80 W solar panel used three panels, 12 V / 800 W DC power supply, 360 W DC water pump, and the load sharing system. The load sharing system could generate a control signal by microcontroller and send the signal to gate driver ICs in order to drive the power MOSFET for controlling the ratio of energy between solar cell and grid utility. The control signal is divided into two square waves which are 180° out of phase (opposite sides) as well as insert the dead time between two square waves. The experiment is tested on 9:00 to 17:00 for 3 days. The result shows the average energy consumption as 2,796.28 Wh/day sharing from the solar cell as 30.6 % approximately while the grid utility is pulled as 69.4%. Hence, this system offers the feasibility of hybridization of renewable energy and grid utility in which the technology is easily accessible by agriculturists throughout the world.

Keywords: time division multiplexer, load sharing system, energy saving

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,

Business administration, Engineering, Science and Technology



บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ใช้ในภาคการเกษตร แต่ปัญหาค่าไฟฟ้าที่มีราคาสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้นในประเทศไทยในปี 2002 - 2017 อยู่ที่ 22,034 - 42,433 MW (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2562) ทำให้ส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนของผลผลิตซึ่งเกิดกับกลุ่มเกษตรกรที่ใช้บิ๊มน้ำตลอดเวลาและใช้มากที่สุดในช่วงกลางวัน จึงทำให้การเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในการใช้ในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากภายในประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งประเทศอยู่ที่ 15 - 20 MJ/m²·day (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560) แต่พบปัญหาเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่ในแต่ละวัน เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า สิ่งเหล่านี้มีผลกระทบต่อการผลิตและการจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงทำให้เสถียรภาพของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่ ทำให้การทำงานของบิ๊มน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์และไม่ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บพลังงานไฟฟ้ามีปัญหาในการทำงานในช่วงเวลาดังกล่าวอาจทำให้เกิดความเสียหายให้กับตัวมอเตอร์บิ๊มน้ำได้

จึงพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานทดแทนเพื่อจัดการลดปัญหาทางด้านเสถียรภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและลดการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง จึงได้ทำการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่คือใช้หม้อแปลงเฟล็กเซอร์สำหรับบิ๊มน้ำทางการเกษตร โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่งโดยที่ระบบจะมองและปรับใช้ไฟฟ้าจากไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้เป็นหลัก ทั้งนี้ในภาคเกษตรกรรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากซึ่งประสบปัญหาเรื่องการจ่ายพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบ โดยเฉพาะการสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ที่มีการเสื่อมสภาพและมีราคาแพงในการดูแลรักษาหรือเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ จึงเป็นแนวคิดในการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่คือใช้หม้อแปลงเฟล็กเซอร์สำหรับบิ๊มน้ำทางการเกษตรขึ้นมา

วิธีการศึกษา

การศึกษาปัญหาที่เกิดจากจุดอ่อนของการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์โดยพบว่าปัญหาการผลิตไฟฟ้าลดลงในช่วงเวลาต่างๆ ที่เกิดจากปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่ถูกกลุ่มเมฆบดบังแสงอาทิตย์ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงส่งผลให้ระบบบิ๊มน้ำทำงานไม่ราบรื่นและทำให้เกิดความเสียหายกับบิ๊มน้ำเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกจึงได้คิดระบบในการช่วยจัดการการจ่ายไฟฟ้าให้กับบิ๊มน้ำโดยใช้เทคนิค Time Division Multiplexer โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบและเตรียมอุปกรณ์

การออกแบบจะถูกแบ่งเป็นภาคซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ ภาคซอฟต์แวร์จะใช้คอมพิวเตอร์ในการพัฒนาด้วยโปรแกรม Arduino IDE (D. A. Neamen, 2009) ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano การแบ่งปันกำลังไฟฟ้าอาศัยเทคนิค Time Division Multiplexer เพื่อกำหนดสัดส่วนการบิ๊มน้ำ สัญญาณไฟฟ้าควบคุมไปยังอุปกรณ์กำลัง โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าอ้างอิงมาจากแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ มาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม (square waves) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ จำนวน 2 ชุด โดยสัญญาณไฟฟ้าควบคุมจะมีลักษณะของเฟสที่ตรงกันข้าม 180° พร้อมเดดไทม์ (Dead time) ดังแสดงใน Figure 1 ทั้งนี้เพื่อให้สัญญาณขอขาขึ้นและขอลงของสัญญาณไฟฟ้าควบคุมทั้งสองซ้อนทับกัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความร้อนที่มอเตอร์ และสัญญาณทั้งสองจะถูกขยายด้วย IC ขับมอเตอร์เฟต (Gate driver) เบอร์ TLP250

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business administration, Engineering, Science and Technology



ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีขนาดเหมาะสมเพื่อที่จะไปขับมอสเฟตเบอร์ IRF4905 สำหรับสวิทซ์แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างโซลาเซลล์และไฟฟ้าพื้นฐาน

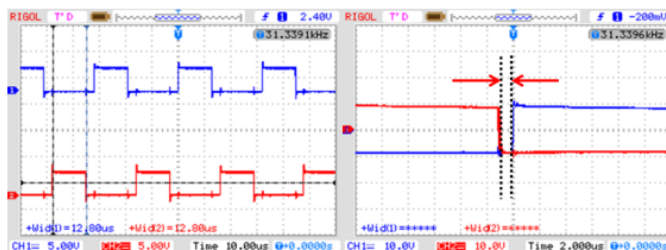


Figure 1 สัญญาณควบคุมที่มีลักษณะเฟสตรงกันข้ามพร้อมด้วยระยะเดดไทม์

ภาคฮาร์ดแวร์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมพลังงานไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำประกอบด้วย 1.พาวเวอร์มอสเฟต 2.พาวเวอร์ไดโอด 3.IC ขับมอสเฟต ดังแสดงใน Figure 2 โดยการทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) สร้างสัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมเพื่อจ่ายให้กับ IC ขับมอสเฟต สัญญาณที่จ่ายออกมาจะมี % duty cycle จำนวน 2 ชุด ที่มีเฟสตรงกันข้ามและสามารถปรับเปลี่ยนตามค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาเซลล์ผลิตได้จากความเข้มแสงอาทิตย์ในเวลานั้นๆ เพื่อปรับให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าร่วมกับไฟฟ้าพื้นฐานให้เพียงพอต่อการใช้งานของปั้มน้ำ สัญญาณดังกล่าวจะถูกจ่ายให้กับ IC ขับมอสเฟตเพื่อขยายสัญญาณและแยกกราวด์ (Ground, GND) ระหว่างระบบไฟฟ้าส่วนควบคุมและส่วนกำลังให้แยกออกจากกัน และสามารถใช้ลดสัญญาณรบกวนจากส่วน Power MOSFET ไปรบกวนไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณที่ขยายออกมาจาก IC ขับมอสเฟตจ่ายให้กับมอสเฟตในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายระหว่างแผงโซลาเซลล์และไฟฟ้าพื้นฐานให้กับโหลดตามสัดส่วนตามกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาเซลล์ผลิตได้

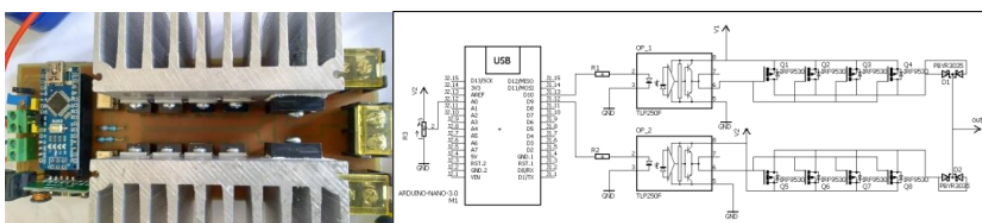


Figure 2 ไดอะแกรมวงจรแบ่งปันกำลังไฟฟ้า

2. วิธีการทดลอง

การทดสอบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับปั้มน้ำทางการเกษตรโดยเลือกใช้แผงโซลาเซลล์ขนาด 80 W จำนวน 3 แผงต่อแบบขนาน แต่ละแผงมีคุณสมบัติในการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงใน Table 1 แผงโซลาเซลล์ถูกติดตั้งโดยหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ทำมุมเยื้องในแนวราบให้สอดคล้องกับเส้นละติจูด (Latitude) ของสถานที่ทำการทดลอง (H. Moghadam, F. F. Tabrizi, and A. Z. Sharak, 2011) (M. Benghanem, 2011) โดยจะทำการทดลองที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business administration, Engineering, Science and Technology



มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (18°55'31.0"N 99°01'31.9"E) จึงได้ตั้งมุมเงยแผงโซล่าเซลล์ในแนวราบทำมุม 18.9° และใช้ปั้มน้ำกระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brush dc motor) ที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 360 W ดังแสดงใน Table 1 พร้อมด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Switching Power Supply) มีขนาดรองรับโหลด 800 W ดังแสดงใน Table 1 อุปกรณ์ทั้งหมดถูกจัดวาง ดังแสดงใน Figure 3 โดยการเก็บผลการทดสอบในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. บันทึกค่าพารามิเตอร์ทุก 5 นาที เป็นเวลา 3 วัน

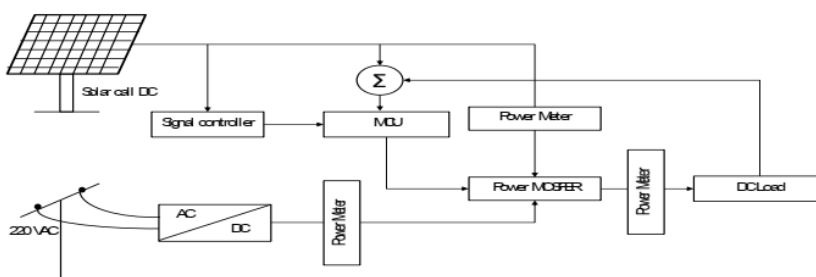


Figure 3 แผนภาพอุปกรณ์การทดลอง

จากรูปที่ 3 ประกอบด้วยแผงโซล่าเซลล์ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำ โดยผ่านชุดควบคุมแบ่งปันกำลังไฟฟ้า มีชุดตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าฝั่งแผงโซล่าเซลล์เพื่อใช้ในการกำหนดและสั่งจ่ายสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ตามเงื่อนไขการทำงานที่ได้พัฒนาโปรแกรมไว้ เพื่อควบคุมการสวิตช์ของมอเตอร์ในชุด Power MOSFET สำหรับสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำ (DC load) โดยมีการวัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าสะสมตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานไฟฟ้า สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ โดยนำมาคำนวณตาม ดังสมการที่ 1 ดังนี้

สมการหาประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{\text{Power}_{\text{Total}} \text{ (W)}}{\text{Power}_{\text{Solar}} \text{ (W)} + \text{Power}_{\text{DC}} \text{ (W)}} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

- Efficiency = ประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า (%)
- Power_{Total} = กำลังไฟฟ้าที่ปั้มน้ำใช้งานจริง (W)
- Power_{Solar} = กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้จากแผงโซล่าเซลล์ (W)
- Power_{DC} = กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้จาก switching power supply (W)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business administration, Engineering, Science and Technology



Table 1 ข้อมูลด้านไฟฟ้าของอุปกรณ์

Equipment	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)
	V_{oc}	V_{max}	I_{sc}	I_{max}	P_{max}
Solar Panel	21.8	17.4	4.95	4.59	80
DC water pump	-	12	-	-	360
Switching Power Supply	-	12	-	67	800

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบแปลงพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคนิคไมโครดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำ และค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ประหยัดรายชั่วโมง โดยที่มีอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย 1.แผงโซล่าเซลล์ 2. ปั้มน้ำกระแสตรง 3.วัตต์มิเตอร์ 4.เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า (Oscilloscope) 5.วงจรควบคุมจัดการการจ่ายพลังงานงานร่วม 6.แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงใน Figure 4

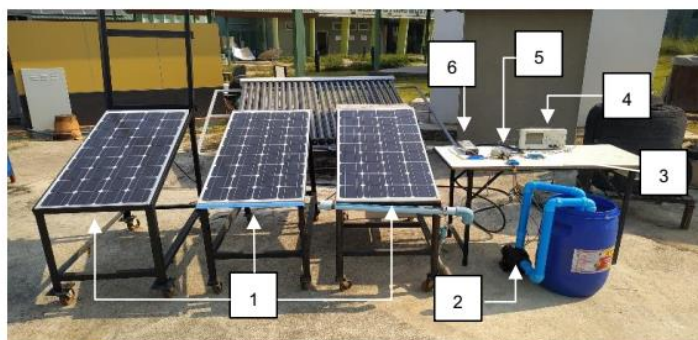


Figure 4 สถานที่และอุปกรณ์การทดลอง

ผลการทดสอบระบบแปลงพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคนิคไมโครดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำทางการเกษตรในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. ที่ติดตั้งในการทดลองดังแสดงใน Figure 4 โดยข้อมูลการทำงานของระบบที่ถูกรวบรวมประกอบไปด้วย การใช้พลังงานไฟฟ้า สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบแปลงพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคนิคไมโครดิวิชั่นมัลติเพลกเซอร์สำหรับปั้มน้ำ และค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ประหยัดรายชั่วโมงดังแสดงใน Table 2

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology

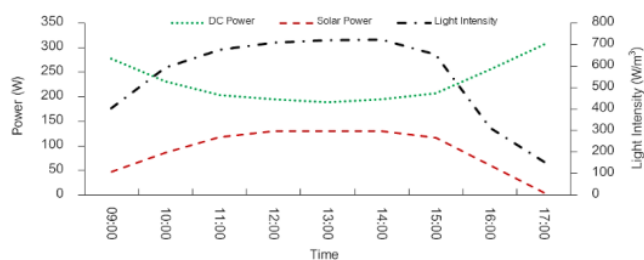


Figure 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าที่ระบบเลือกใช้และความเข้มของแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มน้ำในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ โดยให้กำลังไฟฟ้าสูงถึง 130.06 W ในช่วงเวลา 12:00 - 14:30 น. ส่งผลให้ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าลดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานลดลงตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ป้อนเข้าสู่ระบบดังแสดงใน Figure 5 แสดงให้เห็นการปรับสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมการสวิทช์ของ Power MOSFET โดยสร้างสัญญาณมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อปรับสัดส่วนการจ่ายไฟฟ้าให้สามารถวัดได้จาก Oscilloscope แสดงให้เห็นการจ่ายสัญญาณช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ 20 % - 25 % และ 40 % - 4 % ในช่วงเวลา 9:00 - 10:00 น. และ 13:00 - 17:00 น. ตามลำดับดังแสดงใน Figure 6 โดยในเวลา 17:00 น. เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ระบบสั่งจ่ายก่อนที่ระบบจะตัดสัญญาณ (Cut Off) การจ่ายพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าระบบ เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้มีค่าลดลงไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบเป็นเหตุทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output) ไปยังปั๊มน้ำมีค่าเฉลี่ยต่ำลงจึงจำเป็นต้องตัดการจ่ายพลังงานจากแผงโซลาร์เข้าระบบ โดยสัญญาณชุดที่ 1 สีเหลืองแสดงสัญญาณควบคุมการสวิทช์จากฝั่งไฟฟ้าพื้นฐาน และชุดที่ 2 สีฟ้าแสดงสัญญาณควบคุมการสวิทช์จากฝั่งไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์

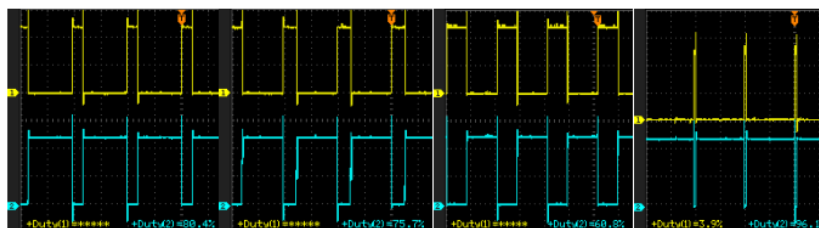


Figure 6 แสดงลักษณะของสัญญาณควบคุม MOSFET ในสถานะต่างๆ

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business administration, Engineering, Science and Technology

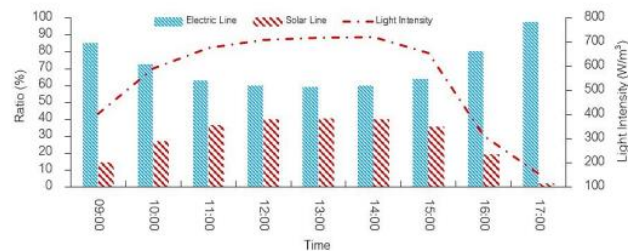


Figure 7 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การทำงานของระบบในการแบ่งการจ่ายไฟฟ้าตามปริมาณความเข้มแสง

จากกราฟการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยมีช่วงเวลาที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์สูงสุดในช่วงเวลา 12:00 - 14:00 น. โดยระบบสามารถแบ่งปันกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์คิดเป็น 40.77 % ขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานร่วมโดยประมาณ 59.23 % ทำให้ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าสร้างผลประหยัดพลังงานได้สูงสุดราว 40.77 % ในช่วงเวลา 13:00 - 14:00 น. ตามพลังงานไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ และเมื่อพิจารณาผลเฉลี่ยทั้งวันจะสามารถสร้างผลประหยัดได้ 30.6 % ดังแสดงใน Figure 7 โดยคิดเป็น 824.93 Wh/day โดยที่ยังคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. พบว่าประสิทธิภาพการทำงานอยู่ที่ 96.8 - 97.9 % ดังแสดงใน Table 2 โดยคำนวณจากสมการที่ 1 ซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปในรูปของความร้อนในตัวพาวเวอร์มอสเฟตและ IC ชิปมอสเฟต

Table 2 The experimental parameters

Time	Light Intensity	Power (W)				Ratio (%)		Efficiency (%)	Energy saving (Wh/day)
		DC Power	Solar Power	Total Power	Net Power	Electric Line	Solar Line		
09:00	405	277.26	47.51	314.77	324.77	85.37	14.63	96.9	47.51
10:00	592	231.38	86.49	307.86	317.86	72.79	27.21	96.9	134.00
11:00	676	203.28	117.48	310.76	320.76	63.38	36.62	97.4	251.47
12:00	710	195.38	129.82	315.19	325.19	60.08	39.92	97.9	381.29
13:00	720	188.96	130.06	309.02	319.02	59.23	40.77	97.6	511.35
14:00	722	195.47	130.06	315.53	325.53	60.05	39.95	97.5	641.42
15:00	654	207.07	116.37	313.43	323.43	64.02	35.98	96.6	757.78
16:00	314	255.93	61.35	307.29	317.29	80.66	19.34	95.8	819.14
17:00	154	306.65	5.79	302.44	312.44	98.15	1.85	96.8	824.93

สรุป

ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ที่มีตัวขับเคลื่อนเพลกเซอร์สำหรับปั๊มน้ำทางการเกษตรโดยใช้ Arduino nano เป็นอุปกรณ์จ่ายสัญญาณไฟฟ้าควบคุม ผ่าน IC ชิปมอสเฟต เพื่อสวิตซ์การทำงานของ Power MOSFET จำนวน 2 ชุด โดยสัญญาณควบคุมมีลักษณะเฟสที่ตรงกันข้าม 180° โดยสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 80 W จำนวน 3 แผงและไฟฟ้า

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4

The 4th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business administration, Engineering, Science and Technology



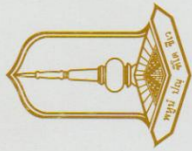
พื้นฐานให้กับบิมน้ำทางการเกษตรได้อย่างต่อเนื่อง ในเวลา 9:00 - 17:00 น. โดยที่บิมน้ำทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลการทดลองทางด้านการทำงานของโปรแกรมในการจัดการสัดส่วนการจ่ายไฟฟ้าทำให้เกิดผลประหยัดไฟฟ้าโดยตรงสูงสุด 40.77 % ในช่วงเวลา 13:00 - 14:00 น. ที่กำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์สูงสุด 130.06 W และเฉลี่ยตลอดทั้งวันสามารถทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานได้ 30.6 % คิดเป็นผลประหยัดรวมตลอดทั้งวันได้ 824.93 Wh/day โดยมีการนำไฟฟ้าพื้นฐานเข้ามาเสริมคิดเป็น 69.4 % คิดเป็นการใช้พลังงานรวมทั้งหมด 2,796.28 Wh/day และยังสามารถคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ที่ 96.8 - 97.9 % ดังแสดงใน Table 2

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2562. คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-electricity?Orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-electricity?Orders[publishUp]=publishUp&issearch=1). (12 มีนาคม 2562).
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2560. โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปี 2560. http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=solar_energy. (12 มีนาคม 2562).
- D. A. Neamen. 2009. Microelectronics Circuit Analysis and Design: McGraw-Hill Education.
- H. Moghadam, F. F. Tabrizi, and A. Z. Sharak. 2011. Optimization of solar flat collector inclination. Desalination, vol. 265, pp. 107-111.
- M. Benghanem, 2011. Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. Applied Energy, vol. 88, pp. 1427-1433.



มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ เพื่อแสดงว่า

การเปรียบเทียบสมรรถนะของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
สำหรับระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดิจิทัลขั้นผลิตเฟลกเซอร์

โดย

ธันวัดน์ นิลขาว

เป็นผลงานที่ได้รับการคัดเลือกให้นำเสนอ ภาคบรรยาย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ในการประชุมทางวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย ครั้งที่ ๑๕”

วันที่ ๕ - ๖ เดือน กันยายน พุทธศักราช ๒๕๖๒ ณ โรงแรมสยามธาราพาเลซ จังหวัดมหาสารคาม

(รองศาสตราจารย์ประยุทธ์ ศรีโกล)

ผู้อำนวยการแผนกอธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

การเปรียบเทียบสมรรถนะของซอฟต์แวร์ควบคุมสำหรับระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคไทม์ดิวิชันมัลติเพลกเซอร์

Comparison of the performances of the control software for the load sharing system on time division multiplexing techniques

ชนวัฒน์ นิลขาว¹, ชวโรจน์ ใจสิน^{2*}, ปุณยสิริ บุญเป็ง³

Thanawat Ninkhoa¹, Chawaroj Jaisin^{2*}, Poonyasiri Boonpeng³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคไทม์ดิวิชันมัลติเพลกเซอร์ ในการปรับพัลส์แบบสเตปเว็อนไซและเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกในการสร้างสัญญาณ PWM สำหรับขับมอเตอร์ในการสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายทั้งสองโดยสัญญาณ PWM สร้างขึ้นโดยรับแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและแบ่งออกเป็น 2 ชุดที่มีลักษณะเฟสสัญญาณตรงกันข้าม 180 องศา โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12V 800W จำนวน 2 ชุดในการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และไฟฟ้าจากสายส่งในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบระบบกับหลอดไฟ 12V 50, 100, 150 และ 200W พบว่าการตอบสนองการทำงานเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยใช้การปรับพัลส์แบบพีชชีลอจิกใช้เวลาน้อยกว่าการปรับพัลส์แบบสเตป 130ms ที่โหลด 150W และให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าเฉลี่ยที่ 89.00% มากกว่าเดิม 4.28% สูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบน้อยกว่าเฉลี่ยที่ 16.60W น้อยกว่า 4.09W เมื่อเทียบกับเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปเว็อนไซ

คำสำคัญ: ไทม์ดิวิชันมัลติเพลกเซอร์, พีชชีลอจิก, ระบบแบ่งปันโหลดกระแสตรง

Abstract

The aim of this research is to develop a software for a load sharing system by using time division multiplexer technique. The step pulse generator and Fuzzy logic controller are employed to generate the PWM for driving two power MOSFETs to switch between two applicable power supplies. 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). While, the two power sources for supplying into this system is 12V 800W adjustable switching power supply (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, 150 and 200W of lamps. The experimental result of the steady state

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

response between the step pulse generator and Fuzzy logic controller shows that the all of steady state response of Fuzzy logic controller is less than the step pulse generator 130ms at 150W. While the average efficiency 89.00% and loss of power 16.60W, the Fuzzy logic controller is better than the step pulse generator too.

Keywords: Time Division Multiplexer, Fuzzy logic, Load Sharing System

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคที่อยู่อาศัย การเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดต่างๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการลดภาระค่าไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเกษตร มีเกษตรกรจำนวนไม่น้อยที่ได้ประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เพื่อทดแทนไฟฟ้าจากสายส่ง และเพื่อลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าเกษตรกรนิยมใช้ไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์แบบต่อตรงและไม่ค่อยนิยมใช้แบตเตอรี่มาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้และเพื่อเพิ่มเสถียรให้กับระบบโซลาร์เซลล์ เนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูง และมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นั้นๆ มีกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปัญหาพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและลดลงตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความไม่ราบเรียบในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอาจเสียหายจากสาเหตุ Over voltage และ Under voltage อย่างเช่นงานวิจัยของ N. Mazouz และ A. Midoun (1) ได้นำเอาเทคนิคพัลส์ช็อลจิกเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณควบคุมวงจรปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ระบบสูบน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 51W จำนวน 10 แผงต่อแบบอนุกรม โดยการพัฒนาพัลส์ช็อลจิกควบคุมในการจ่ายไฟฟ้าเข้ามอเตอร์เพื่อให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้มากที่สุด

งานวิจัยของ Mokeddem, Midoun และคณะ (2) ได้นำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูบน้ำโดยตรงโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 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) ได้ใช้พัลส์ช็อลจิก ในการติดตามและกำหนดจุดการทำงานที่ให้อ

พลังงานสูงสุดของระบบปั๊มน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ PWM จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้นมีจุดอ่อนในด้านการใช้งานในกรณีที่ไม่มีระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าระบบจะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุดตลอดทั้งวันเนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันทำให้ระบบอาจมีการลดจำนวนรอบการทำงานของมอเตอร์เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าในการทำงานไว้ไม่ให้เกิดผลเสียต่อมอเตอร์ และมีจุดเด่นในเรื่องการใช้พัลส์ช็อลจิกเข้ามาควบคุมการจ่ายสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ในการควบคุมการทำงานของระบบทำให้ระบบทำงานได้อย่างเสถียรและการเลือกใช้แหล่งจ่ายพลังงานสำรอง (Hybrid power) ทำให้เป็นทางเลือกใหม่ในการผสมผสานการใช้พลังงานทดแทน จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในโดยการนำเอาระบบพัลส์ช็อลจิกมาใช้ในการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวิชันมัลติเพลกเซอร์ (Time Division Multiplexer) เพื่อใช้ในการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ และไฟฟ้าจากสายส่ง โดยจะให้เลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้เป็นหลักและเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อเป็นการรักษาความเสถียร (Backup) ของระบบซึ่งจะทำให้ระบบนี้สามารถทดแทนการใช้แบตเตอรี่ได้ ซึ่งจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพทางพลังงานและลดต้นทุนทางด้านแบตเตอรี่ลงได้ โดยการออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวิชันมัลติเพลกเซอร์ จะอาศัยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากระบบแผงโซลาร์เซลล์ที่จะมีการแปรเปลี่ยนตามสภาวะของภาระทางไฟฟ้า กล่าวคือถ้ามีภาระทางไฟฟ้ามากกว่าที่ระบบจะสามารถจ่ายให้ได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์จะต่ำลง แต่ถ้าภาระทางไฟฟ้ามีน้อยกว่าที่ระบบสามารถจ่ายได้ ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์จะอยู่ในเกณฑ์สูง จากหลักการดังกล่าว

จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมที่ทำหน้าที่ชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเข้าสู่ระบบ ให้มีความเหมาะสมกับภาระโหลดขนาดต่างๆได้ โดยในงานวิจัยนี้ นอกจากจะพัฒนาออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็นมัลติเพลกเซอร์แล้ว ยังจะได้ทดสอบและพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการตัดสินใจสำหรับชดเชยและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ แบ่งออกเป็นสองแบบ ได้แก่ เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปเว็ชโดยอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันจากระบบโซลาร์เซลล์ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) (4) โดยจะอ้างอิงจากสัญญาณแรงดันและอัตราการเปลี่ยนแปลงจากระบบโซลาร์เซลล์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็นมัลติเพลกเซอร์สำหรับควบคุมและชดเชยกำลังงานเข้าสู่ระบบร่วมกับระบบโซลาร์เซลล์ โดยแบ่งวิธีการศึกษาและดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การออกแบบวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็นมัลติเพลกเซอร์

ในการออกแบบอุปกรณ์ในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งประกอบไปด้วยแผงโซลาร์เซลล์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) ขนาด 12V 800W ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่ในการจัดการและกำหนดการเลือกจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสองแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อใช้งาน ดังแสดงใน Figure 1

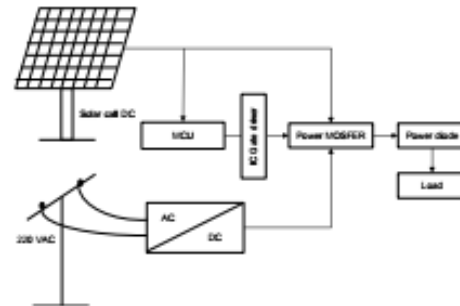


Figure 1 Configurations of a hybrid power supply system

ภายในวงจรระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าได้ออกแบบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU, Arduino Nano) (5) ทรานซิสเตอร์ซิมมอสเฟต (BD139), พาวเวอร์ไดโอด (RFN60TS6D) และพาวเวอร์มอสเฟต (IRF4095) การทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อประมวลผลและประมาณระดับกำลังไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ สำหรับสร้างเงื่อนไขและกำหนดขนาดของตัวแปรในการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพัลส์สี่เหลี่ยม (PWM) ที่มีคาบเวลา (duty cycle) ต่างกัน (ขึ้นอยู่กับระดับกำลังไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์) จำนวน 2 ชุดสัญญาณที่มีลักษณะของเฟสตรงข้ามกัน 180 องศาจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ซิมมอสเฟต จำนวน 2 ชุด ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายให้มีขนาดและกำลังมากพอสำหรับที่ควบคุมพาวเวอร์มอสเฟตจำนวน 2 ชุด ซึ่งพาวเวอร์มอสเฟตทั้ง 2 ชุดจะทำงานแบบสลับกันขึ้นกับสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้ามาดังแสดงใน Figure 2 เพื่อทำหน้าที่สลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างระบบโซลาร์เซลล์กับไฟฟ้าจากสายส่ง โดยสัญญาณเอาท์พุทจะถูกกรองด้วยตัวเก็บประจุเพื่อทำให้มีสัญญาณที่เรียบขึ้นก่อนป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป

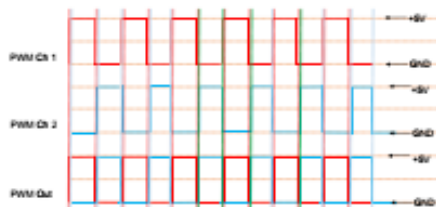


Figure 2 Time-division multiplexing input and output

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพัชชีลอจิก

เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปคือการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตป มีขั้นตอนโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano รับสัญญาณอินพุตที่มาจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ (V_{input}) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขสัญญาณควบคุม PWM จะถูกผลิตขึ้นและจะค่อยๆ เพิ่มหรือลดลงครั้งละ 1 สเตป เช่น $V_{input} < V_{ref} = PWM -$ จะเป็นการลดคาบเวลาของสัญญาณลงเพื่อที่จะรักษาแรงดัน V_{input} ให้เท่ากับ V_{ref} จนถึงจุดสมดุลการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าของระบบ (ภาระทางไฟฟ้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่าย) ระบบจะหยุดการเพิ่มและลดคาบเวลาจนกว่า V_{input} จะเปลี่ยนแปลงสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงใน Figure 3

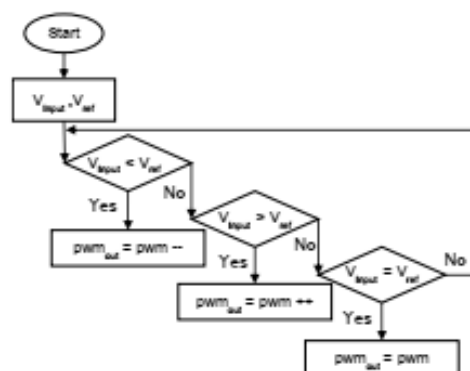


Figure 3 Pulse stepping algorithm

ขณะที่การพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบพัชชีลอจิก จะมีรายละเอียดของการพัฒนา ประกอบไปด้วย Fuzzyfication, FuzzyInference, Defuzzyfication (4,8) ดังแสดงใน Figure 4

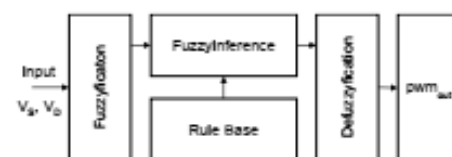


Figure 4 Fuzzy logic control diagram

โดยเริ่มจากกระบวนการ Fuzzyfication รับค่าอินพุตประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Voltage, V_s) และอัตราแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Voltage drop, V_o) โดยที่ FuzzySet ของ (V_s) ประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุตต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง (L) แรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับแรงดันอ้างอิง (M) และแรงดันไฟฟ้าอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิง (H) ดังแสดงใน Figure 5 ขณะที่ FuzzySet ของ (V_o) ประกอบไปด้วยอัตราแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลงน้อย (Under drop, UD) อัตราแรงดันที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Stable drop, SD) และอัตราแรงดันที่เปลี่ยนแปลงมาก (Over drop, OD) ดังแสดงใน Figure 6

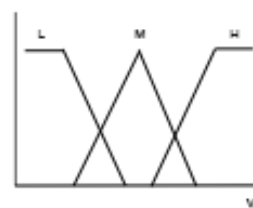


Figure 5 Fuzzy logic membership function of solar voltage signal input

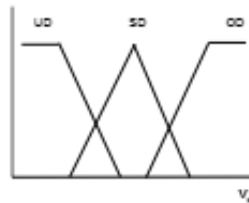


Figure 6 Fuzzy logic membership function of changing ratio of solar voltage signal input

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

Table 1 Fuzzy rule table

V_s	L	L	L	M	M	M	H	H	H
V_s	UD	SD	OO	UD	SD	OO	UD	SD	OO
V_{pwm}	LV	LV	MV	MV	MV	HV	MV	HV	HV

ขั้นตอนสุดท้ายคือ Defuzzyfication เป็นขั้นตอนในการแปลงผลลัพธ์ทางฟัซซีให้อยู่ในรูปของจำนวนจริงเพื่อใช้ในการกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM เออร์ทุกของสัญญาณ 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

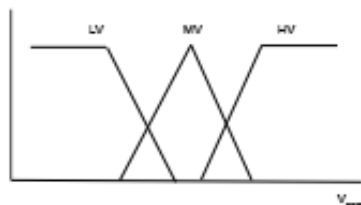


Figure 7 Fuzzy logic membership function of PWM period output

3. การทดสอบสมรรถนะของระบบแบ่งปัน

กำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็นมัลติเพลกเซอร์

ขั้นตอนในการทดสอบจะอาศัยโหลดไฟขนาดกำลังต่างๆ เป็นโหลดจำลองของระบบมีขนาดกำลังตั้งแต่ 50, 100, 150 และ 200W ซึ่งจะถูกนำไปทดสอบทั้งในระบบการแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปและการปรับพัลส์แบบฟัซซีลอจิก เพื่อประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบเวลาในการตอบสนองของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบทั้งสอง โดยระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าจะกำหนดการจ่ายกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยจำลองการจ่ายไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ด้วยสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลายที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ 50 : 50 ตามขนาดกำลังของโหลดที่นำมาทดสอบเป็นการกำหนดให้เกิดลักษณะการทำงานเดียวกันในการเปรียบเทียบการทำงานตามเงื่อนไขการทดสอบ สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้า ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

- เมื่อ Eff = ประสิทธิภาพ (%)
- Power_{Total} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้ (W)
- Power_{input,1} = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่1 (W)
- Power_{input,2} = กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่2 (W)

การตอบสนองการทำงานของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล พิจารณาจากระยะเวลาที่ระบบรักษาแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ (Steady State) หลังจากการใส่โหลดเข้าสู่ระบบเพื่อดูการตอบสนองในการปรับการทำงานของระบบโดยใช้เวลาเป็นการบอกลักษณะการทำงานในการตอบสนองเข้าสู่ภาวะสมดุลกำลังไฟฟ้าขณะที่การสูญเสียในระบบแบ่งปันกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็นมัลติเพลกเซอร์ จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

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

เมื่อ Loss	=	กำลังงานที่สูญเสียในระบบ (W)
P	=	กำลังไฟฟ้า (W)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (V)
I	=	กระแสไฟฟ้า (A)
$P_{\text{input},N}$	=	กำลังไฟฟ้าที่เข้าระบบแบ่งเป็น กำลังไฟฟ้า (W)
P_{output}	=	กำลังไฟฟ้าที่ออกจากระบบ แบ่งเป็นกำลังไฟฟ้า (W)

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสแตป และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การตอบสนองการทำงาน ของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุล และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้ เริ่มต้นด้วยผลทดสอบด้านการตอบสนองการทำงาน ของระบบในการเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการปรับพัลส์เพื่อให้แรงดันเอาท์พุทคงที่และเป็นไปตามแรงดันที่อ้างอิงไว้

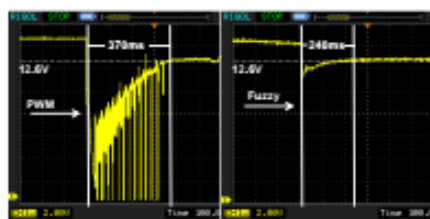


Figure 8 Response timing between the pulse stepping and fuzzy logic control

จาก Figure 8 เป็นการทดสอบที่โหลดตัวอย่าง โหลดขนาด 150W มีการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยการนำค่าที่ดีที่สุดจากการทดสอบพบว่ามีความเร็วในการตอบสนองและเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยเทคนิคการปรับ

พัลส์แบบสแตปที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 230, 370, 370 และ 400ms ตามลำดับ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W ใช้เวลาในการตอบสนองที่ 95, 160, 240 และ 320ms ตามลำดับ ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่แรงดัน 12.6V ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มกำลังของโหลดที่ใช้ในการทดสอบทำให้ใช้ระยะเวลาในการปรับการทำงานเข้าสู่สภาวะสมดุลนานขึ้นเนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าไม่ทันกับการเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ายิ่งโหลดใช้กำลังการเริ่มต้นมากการตกของแรงดันไฟฟ้าก็จะมากตามไปด้วยจึงทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะสมดุล ในส่วนของประสิทธิภาพของระบบแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งที่ควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์แบบสแตปที่คำนวณจากสมการที่ 1 ที่โหลดขนาดต่าง ๆ โดยข้อมูลทางไฟฟ้าจากสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 1 (input₁) จำลองพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งที่จ่ายเข้าระบบแบ่งเป็น และข้อมูลทางไฟฟ้าจาก สวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายชุดที่ 2 (input₂) ได้จำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์โดยจำลองตั้งค่ากระแสจากสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยจำกัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามเงื่อนไขการทดสอบข้างต้นเพื่อจำลองการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์เข้าระบบแบ่งเป็น ดังแสดงข้อมูลผลการทดสอบใน

Table 2 และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าระหว่างพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งควบคุมด้วยเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกดังแสดงข้อมูลใน

Table 3

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

PWM										
Load	V _{Input,1}	V _{Input,2}	V _{Output}	I _{Input,1}	I _{Input,2}	I _{Output}	P _{Input,1}	P _{Input,2}	P _{Output}	Eff
(W)	(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(W)	(W)	(W)	%
50	13.60	14.10	12.70	2.21	2.96	4.34	30.06	41.74	55.12	76.77
100	13.60	14.20	12.49	4.28	4.65	8.55	58.21	66.03	106.79	85.96
150	13.62	14.10	12.28	6.25	6.42	12.60	85.13	90.52	154.73	88.09
200	13.56	14.20	12.24	8.54	8.21	16.72	115.80	116.58	204.65	88.07

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

fuzzy										
Load	V _{Input,1}	V _{Input,2}	V _{Output}	I _{Input,1}	I _{Input,2}	I _{Output}	P _{Input,1}	P _{Input,2}	P _{Output}	Eff
(W)	(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(W)	(W)	(W)	%
50	13.60	13.50	12.96	2.25	2.30	4.27	30.60	31.05	55.34	89.76
100	13.60	13.40	12.49	4.48	4.19	8.45	60.93	56.15	105.54	90.15
150	13.60	13.40	12.28	6.70	6.40	12.67	91.12	85.76	155.59	87.96
200	13.60	13.30	12.11	8.70	8.36	16.70	118.32	111.19	202.24	88.12

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบแบ่งบันโดยใช้เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 76.77%, 85.96%, 88.09% และ 88.07% ตามลำดับ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกที่โหลดที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 89.76%, 90.15%, 87.96% และ 88.12% ตามลำดับ ขณะที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้งานของภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ได้ผลการทดสอบการสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับระบบแบ่งบันโดยใช้เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตปที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 16.67W, 17.45W, 20.92W และ 27.73W ตามลำดับ และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกที่โหลดที่โหลด 50, 100, 150 และ 200W เฉลี่ยอยู่ที่ 6.31W, 11.53W, 21.29W และ 27.27W ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของ

ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการทดสอบการทำงานที่โหลดขนาดต่างๆ นั้นหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยจะเปลี่ยนเป็นความร้อนที่เกิดจากความต้านทานภายในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบการตอบสนองของระบบแบ่งบันกำลังไฟฟ้าเข้าสู่สถานะสมดุลจากโปรแกรมการทำงานของระบบแบ่งบันกำลังไฟฟ้าโดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าสมดุลไว้ที่ 12.6V โดยใช้เทคนิคการปรับพัลส์แบบสเตป และเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกพบว่า เทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพีชชีลอจิกใช้เวลา 240ms ที่โหลด 150W ในการจัดการปรับแต่งสัญญาณควบคุมในการ Startup ของอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้าสู่สถานะ

สมคูลได้เร็วกว่าเทคนิคการปรับพัลส์แบบสแตปที่ใช้เวลา 370ms ที่โหลด 150W มีผลทำให้การปรับพัลส์ด้วยเทคนิคการปรับพัลส์ด้วยพัชชีลจิกเร็วกว่าเป็นเวลา 130ms ที่โหลด 150W เนื่องจากการทำงานแบบใช้พัชชีในการกำหนดการจ่ายสัญญาณพัลส์โปรแกรมจะจ่ายสัญญาณให้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสายส่งมารอในระบบในสภาวะไม่มีโหลด (Standby) จึงทำให้การตอบสนองทดสอบการเริ่มทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทตกน้อยกว่าเพราะเหตุนี้ทำให้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะสมคูลได้เร็วกว่า และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแปลงบิ้นโดยใช้เทคนิคการปรับพัลส์แบบสแตปและแบบพัชชีลจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 84.70% และ 89.0% ตามลำดับทำให้ระบบปรับพัลส์ด้วยพัชชีลจิกมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.28% โดยค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในระบบแปลงบิ้นที่ใช้เทคนิคการปรับพัลส์แบบสแตปและแบบพัชชีลจิกเฉลี่ยอยู่ที่ 20.89W และ 16.60W ตามลำดับทำให้สูญเสียพลังงานลดลง 4.09W จึงทำให้ระบบแปลงบิ้นกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคใหม่ดีวีซีเอ็มดีเฟลกเซอร์โดยใช้การปรับพัลส์ด้วยพัชชีลจิกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการปรับพัลส์แบบสแตปเงื่อนไขเนื่องจากการทำงานแบบพัชชีในการกำหนดการสร้างสัญญาณพัลส์มีความแม่นยำในการกำหนดค่าและคงค่านั้นจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากแผงโซล่าเซลล์และการใช้งานของโหลด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ. เชียงใหม่

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับ

บัณฑิตศึกษา 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. Yen J, Langari R. *Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information*: Prentice Hall; 1999.
5. Evans B. *Beginning Arduino Programming*: Apress; 2011.
6. Jaisin C, Intaniwet A, Nilkhoo T, Maneechukate T, Mongkon S, Kongkrapan 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.

ตารางที่ 14 ราคาอุปกรณ์ร่วมในการติดตั้งระบบแบ่งปันภาระโหลด

ชุดแผงโซลาร์ขนาดใหญ่	11,410
ชุดแผงโซลาร์ขนาดเล็ก	3,700
วงจรแบ่งปังกำลังไฟฟ้า	5,000
สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย 12V 800W	2,000
แบตเตอรี่ 12V 35Ah	2,075

ตารางที่ 15 ราคาต้นทุนในการติดตั้งระบบในกรณีต่างๆ

Step-No_Batt-High	18,410
Step- Batt-High	20,485
Step-No_Batt-Low	10,700
Step- Batt-Low	12,775
Fuzzy-No_Batt-High	18,410
Fuzzy-Batt-High	20,485
Fuzzy-No_Batt-Low	10,700
Fuzzy-Batt-Low	12,775

High_nobatt_		High_batt_Ste		Low_nobatt_		Low_batt_Ste		High_nobatt_		High_batt_Fu		Low_nobatt_		Low_batt_Fuz	
Step	p	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici
		radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency
		ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion
395	84.03	632.0	87.65	507	85.76	908	87.70	647	92.60	218.0	90.19	507	91.22	652	92.60
392	87.09	488.0	86.16	520	86.73	913	87.75	700	92.67	213.0	92.49	520	92.77	655	90.95
334	88.95	430.0	88.03	527	86.66	901	86.98	707	92.60	210.0	92.82	527	90.23	670	94.21
314	85.88	410.0	91.62	545	83.32	915	88.38	721	87.33	203.0	95.95	545	89.39	687	96.04
334	87.81	430.0	91.54	552	83.10	410	85.92	742	87.70	207.0	97.08	552	90.37	715	95.49
650	88.65	746.0	87.98	581	83.32	354	86.78	763	88.40	231.0	94.33	581	89.62	715	94.76
432	87.77	528.0	88.29	595	86.91	985	88.07	784	88.42	235.0	92.31	595	89.29	724	96.14
374	88.51	508.0	88.10	615	87.60	954	87.68	788	88.52	240.0	93.70	615	89.39	753	95.37
614	88.76	618.0	88.33	626	88.01	987	88.80	819	88.14	251.0	94.42	626	89.11	758	94.63
642	83.94	488.0	87.65	637	86.79	987	88.13	812	88.80	259.0	93.17	637	92.10	779	94.45
644	83.43	678.0	89.73	644	87.38	997	88.20	830	88.54	269.0	93.53	644	92.00	798	94.12
374	87.20	674.0	89.52	664	87.86	987	88.48	849	88.58	285.0	93.20	664	89.20	822	94.47
368	88.48	468.0	89.11	664	87.35	913	87.26	840	88.93	298.0	91.16	664	89.00	833	94.84
374	89.65	510.0	87.76	688	86.95	920	88.61	836	88.19	308.0	90.69	688	90.65	843	94.59

High_nobatt_	High_batt_Ste	High_batt_Fu	Low_nobatt_	Low_batt_Ste	High_nobatt_	High_batt_Fu	Low_nobatt_	Low_batt_Fuz							
Step	p	Step	p	Fuzzy	zzy	Fuzzy	zy								
Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar							
radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat							
ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion							
614	88.72	512.0	88.30	705	86.47	915	90.00	859	87.98	332.0	92.51	705	89.53	860	94.26
642	86.38	388.0	87.85	724	86.92	916	88.23	880	88.43	352.0	91.28	724	88.80	880	91.66
644	86.30	410.0	87.34	739	86.70	949	88.04	901	88.43	376.0	91.62	739	89.93	891	91.44
644	87.41	362.0	88.22	750	86.52	360	87.71	474	89.98	388.0	91.94	750	89.75	902	91.77
657	85.49	646.0	89.01	765	87.45	789	88.03	506	89.10	383.0	93.14	765	89.71	917	90.79
684	86.05	598.0	88.61	784	87.07	775	87.85	543	88.13	375.0	94.24	784	89.08	918	92.06
687	86.93	684.0	89.24	784	86.50	143	86.26	537	88.39	351.0	95.99	784	89.67	950	90.44
864	86.00	866.0	88.24	795	86.66	131	88.14	460	88.65	298.0	95.13	795	90.87	945	91.04
884	86.57	1102.	90.96	803	87.01	139	85.96	497	88.29	245.0	92.06	803	89.43	952	91.64
		0													
900	86.74	1110.	86.19	810	87.95	1084	88.24	505	88.32	282.0	93.15	810	94.14	968	89.92
		0													
888	86.09	660.0	88.82	836	88.61	1055	88.44	458	87.81	309.0	95.92	856	92.62	909	91.44
984	86.79	1005.	91.42	708	87.32	1022	88.28	457	88.17	504.0	87.84	776	93.02	926	91.09

High_nobatt_	High_batt_Ste	Low_nobatt_	Low_batt_Ste	High_nobatt_	High_batt_Fu	Low_nobatt_	Low_batt_Fuz								
Step	p	Step	p	Fuzzy	zzy	Fuzzy	zy								
Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici								
radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency								
ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion								
	0														
982	87.60	998.0	85.35	861	87.61	984	88.61	421	88.67	547.0	87.79	848	92.23	939	90.56
950	86.84	987.0	86.79	870	87.74	971	87.70	412	87.68	685.0	86.69	1018	92.74	934	90.27
914	88.13	1142.	85.58	893	87.10	969	90.44	461	89.35	704.0	87.70	689	91.84	942	93.35
	0														
926	86.28	982.0	86.22	850	87.24	942	88.67	809	89.76	734.0	89.39	979	91.94	945	91.50
983	86.97	945.0	89.32	859	87.53	916	87.68	1050	88.69	889.0	87.56	753	89.79	958	91.65
981	87.73	782.0	88.37	870	87.73	911	86.97	968	89.04	883.0	88.18	1013	91.84	969	91.58
988	86.49	786.0	88.83	882	87.33	916	87.91	965	92.17	880.0	87.47	977	90.49	966	91.60
924	86.45	996.0	90.66	890	86.95	916	87.91	969	88.77	867.0	87.87	1027	90.30	965	91.70
956	86.94	434.0	88.16	893	87.17	845	89.46	976	88.82	865.0	88.51	1048	89.82	971	92.49
968	87.33	380.0	88.21	898	87.30	841	87.52	977	88.72	856.0	88.93	1083	90.01	976	91.50
912	86.90	464.0	88.07	904	87.26	971	87.39	969	92.99	776.0	88.95	1094	93.49	977	93.63
911	86.82	428.0	89.40	912	86.59	971	87.01	987	94.32	876.0	92.82	1088	91.94	981	93.34

Step	p			Step			p			Fuzzy			zzy			Fuzzy			zy			
	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	
928	87.64	456.0	88.03	918	86.77	971	87.38	984	94.36	1064.	91.95	500	91.52	957	94.88							
998	88.26	436.0	89.15	919	87.86	964	87.57	985	95.70	1021.	96.99	617	93.03	953	93.88							
1002	86.84	438.0	88.44	932	86.73	916	87.42	1026	89.81	979.0	90.84	471	93.85	979	92.90							
995	87.05	488.0	87.95	932	87.06	913	87.88	1010	88.60	965.0	89.23	380	92.22	982	95.19							
924	86.52	496.0	88.11	933	87.62	749	88.85	360	87.84	958.0	89.16	224	89.23	1059	92.16							
901	86.91	528.0	88.00	931	86.72	914	87.67	402	88.32	939.0	88.82	202	89.86	973	92.21							
905	86.75	544.0	87.85	935	87.28	904	87.90	261	87.84	952.0	90.52	215	89.25	947	92.69							
936	86.55	556.0	88.24	946	87.66	1051	91.52	251	88.15	941.0	89.59	205	89.06	942	93.13							
934	88.44	642.0	88.96	930	87.05	1113	88.86	378	87.98	920.0	88.57	200	89.78	921	92.93							
1016	87.15	596.0	89.36	932	87.65	1052	89.42	292	88.94	928.0	88.59	232	89.86	921	91.21							
998	88.96	648.0	88.27	945	87.30	916	83.54	267	88.50	928.0	88.60	263	89.90	957	92.29							
1021	86.98	742.0	85.78	917	87.56	413	83.52	251	89.50	913.0	96.16	317	88.91	509	93.12							

High_nobatt_	High_batt_Ste	Low_nobatt_	Low_batt_Ste	High_nobatt_	High_batt_Fu	Low_nobatt_	Low_batt_Fuz								
Step	p	Step	p	Fuzzy	zzy	Fuzzy	zy								
Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici								
radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency								
ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion								
960	86.91	804.0	88.23	944	87.32	539	86.87	219	87.68	904.0	96.89	324	88.15	952	88.83
963	86.80	768.0	88.08	910	87.21	710	82.72	205	88.89	891.0	89.46	425	89.26	958	90.17
905	87.72	768.0	88.89	923	87.62	765	85.59	218	88.76	889.0	88.35	378	89.69	352	89.81
915	86.76	796.0	88.66	913	87.60	790	86.92	218	88.21	883.0	88.47	415	87.87	389	90.67
905	86.51	1058.	87.81	910	87.45	696	86.85	245	88.78	880.0	89.39	389	91.26	994	90.72
909	85.92	998.0	87.15	896	86.68	707	88.00	336	88.37	867.0	87.89	407	88.92	860	93.74
905	87.30	1024.	87.36	882	87.45	678	87.38	835	88.69	865.0	88.57	433	89.31	936	92.59
994	85.62	864.0	86.30	795	87.18	697	86.26	926	87.51	856.0	88.65	474	88.18	856	91.96
760	87.04	888.0	87.51	789	87.15	701	86.92	824	87.60	859.0	89.18	522	88.89	800	93.17
768	85.73	1041.	88.34	782	87.18	710	84.90	811	89.82	857.0	88.41	691	89.19	324	93.24
766	87.24	1034.	88.12	774	87.04	492	87.25	836	89.20	844.0	89.69	729	88.17	247	93.14

High_nobatt_	High_batt_Ste	Low_nobatt_	Low_batt_Ste	High_nobatt_	High_batt_Fu	Low_nobatt_	Low_batt_Fuz								
Step	p	Step	p	Fuzzy	zzy	Fuzzy	zy								
Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici								
radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency								
ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion								
0															
776	86.82	442.0	88.16	742	87.57	706	87.05	844	87.61	824.0	90.07	509	89.96	880	90.78
800	87.58	402.0	89.24	727	86.06	729	87.24	860	88.47	811.0	90.05	529	90.14	803	91.83
814	87.49	392.0	88.61	723	86.64	871	86.69	851	89.57	787.0	89.43	453	89.53	760	92.76
809	88.03	348.0	88.94	719	86.65	819	86.94	817	89.40	751.0	89.69	570	91.77	779	92.62
804	88.31	356.0	88.18	702	87.20	784	86.53	761	89.03	735.0	88.65	465	90.11	739	93.07
801	87.40	372.0	88.72	675	87.78	792	87.54	250	89.03	715.0	90.58	503	91.13	723	92.05
790	87.23	430.0	88.50	673	87.75	775	86.17	356	88.64	692.0	89.81	447	89.77	716	92.28
747	87.33	464.0	88.60	647	87.42	783	87.80	737	88.13	673.0	90.35	391	90.77	681	92.64
657	87.36	620.0	87.68	630	87.35	736	86.34	700	88.96	662.0	90.17	444	90.48	662	90.74
614	87.55	804.0	85.80	590	87.14	787	83.21	702	89.83	644.0	91.27	405	90.91	652	90.60
631	88.36	598.0	88.08	569	86.94	576	86.73	716	90.04	618.0	89.25	365	90.24	617	91.03
618	90.22	570.0	88.61	553	86.55	568	87.99	638	96.08	607.0	90.78	352	88.48	609	89.27
610	90.98	568.0	91.08	529	85.78	568	90.84	614	95.65	585.0	89.79	354	89.18	574	92.27

Step	p			Step			p			Fuzzy			zzy			Fuzzy			zy			
	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	Solar	Effici	radiat	
578	90.49	470.0	90.92	508	88.70	580	81.18	612	95.80	570.0	89.17	314	86.60	542	91.08							
450	85.99	376.0	83.57	530	87.76	568	81.02	590	97.17	564.0	86.14	383	90.51	519	87.33							
527	90.43	398.0	82.76	484	86.87	581	85.73	575	94.48	575.0	88.68	447	89.99	529	90.07							
524	91.10	426.0	84.78	509	88.12	609	86.73	545	95.42	545.0	87.98	540	86.84	522	91.17							
453	92.86	364.0	83.38	301	82.79	565	87.80	497	95.80	497.0	85.01	474	84.55	488	94.33							
450	92.69	286.0	83.89	410	86.95	492	84.04	442	96.97	442.0	87.57	332	85.33	475	94.11							
402	89.66	220.0	82.43	441	87.60	288	90.19	388	93.85	388.0	87.70	325	84.21	462	91.47							
399	90.04	206.0	84.33	421	87.21	258	89.82	383	96.59	383.0	87.63	284	86.75	453	92.24							
396	92.35	216.0	89.29	332	88.29	218	88.83	375	95.11	375.0	86.39	346	84.21	417	93.32							
349	84.43	192.0	86.56	322	87.49	212	88.47	351	90.86	351.0	86.32	287	87.65	417	93.83							
341	86.68	166.0	89.48	325	88.98	165	88.39	298	85.32	298.0	87.10	293	86.04	330	90.87							
340	86.46	156.0	91.59	327	88.94	147	87.32	245	85.83	245.0	86.50	287	88.03	356	92.82							
327	88.02	154.0	90.61	327	89.30	147	86.59	282	86.13	282.0	87.31	317	91.80	336	89.63							
265	85.96	154.0	90.90	284	87.04	147	86.87	309	91.34	309.0	86.51	309	83.84	311	89.08							

High_nobatt_		High_batt_Ste		Low_nobatt_		Low_batt_Ste		High_nobatt_		High_batt_Fu		Low_nobatt_		Low_batt_Fuz	
Step		p		Step		p		Fuzzy		zzy		Fuzzy		zy	
Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici	Solar	Effici
radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency	radiat	ency
ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion	ion
208	87.60	150.0	91.85	261	86.91	146	86.94	213	89.88	288.0	86.07	213	86.19	250	91.74
245	86.28	156.0	89.04	244	86.76	152	83.51	216	90.42	269.0	86.69	216	87.03	208	87.51
231	86.98	152.0	89.62	228	86.25	147	87.33	215	91.53	245.0	87.34	215	85.43	165	87.05
205	85.94	142.0	88.31	197	84.13	147	86.40	207	91.27	214.0	89.66	207	94.46	141	87.47
187	87.77	148.0	89.30	173	85.04	143	86.63	144	95.49	208.0	91.49	144	88.37	133	90.14
154	85.37	116.0	84.16	145	85.29	141	86.66	139	91.86	198.0	89.28	139	85.65	128	92.41
120	85.84	118.0	82.92	52	86.66	144	86.69	134	89.95	154.0	91.12	134	88.78	114	90.10
115	87.55	96.0	85.44	53	86.76	143	86.84	125	95.30	129.0	92.08	125	86.80	124	91.74
98	87.55	100.0	85.97	56	86.27	132	87.76	112	94.26	119.0	91.15	112	89.02	108	90.99

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายชนวัฒน์ นิลขาว
เกิดเมื่อ 26 กรกฎาคม 2537
ประวัติการศึกษา 2560 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัย
พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

