

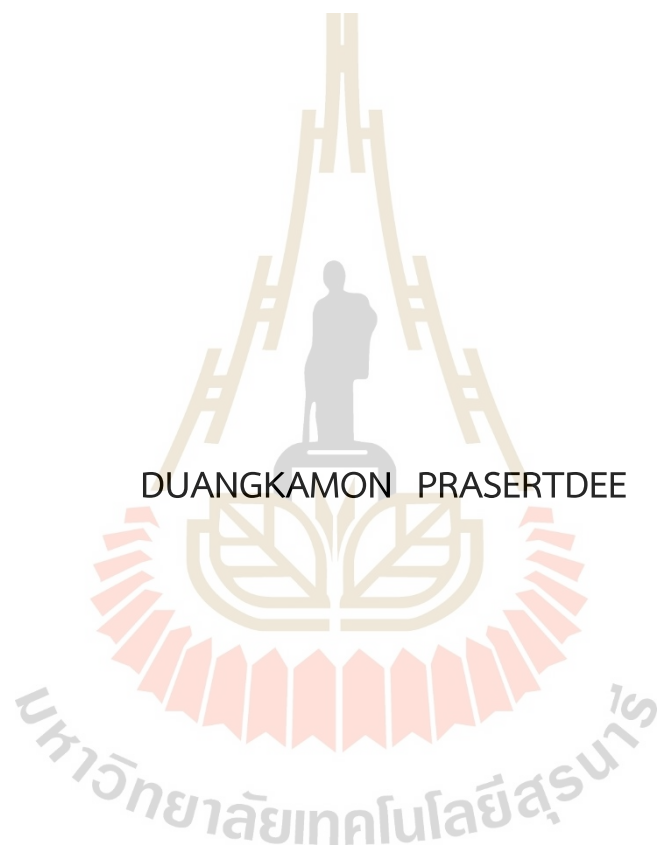
ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว
ในโหมดกระแสตรง



นางสาวดวงกมล ประเสริฐดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2566

HYBRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM
FOR EV QUICK CHARGE STATION IN DC MODE



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

ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

ในโหมดกระแสตรง

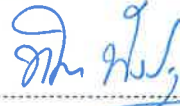
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.รุ่งเรือง พัฒนากุล)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.กীরติ ชยะกุลศิริ)

กรรมการ



(ผศ. ดร.ทศพล รัตน์นิยมชัย)

กรรมการ



(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ดวงกมล ประเสริฐดี: ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
แบบเร็วในโหมดกระแสตรง (HYBRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR EV QUICK
CHARGE STATION IN DC MODE)

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณ์รักษ์, 140 หน้า

คำสำคัญ: สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรง/ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์/ระบบเซลล์
เชื้อเพลิง/ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่/ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน

ปัจจุบันจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากราคา
น้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ประชาชนหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและยังมีอีกเหตุผล คือยาน
ยนต์ไฟฟ้าสามารถช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการขนส่งได้ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้า
ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ยานยนต์ไฟฟ้า
ต้องมีการอัดประจุลงแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ เมื่อจำนวนยาน
ยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยพบว่าสถานีอัด
ประจุไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการใช้ไฟฟ้าระบบโครงข่ายเป็นแหล่งพลังงานทำให้นยานยนต์ไฟฟ้าสามารถลด
การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการขนส่งแต่มาเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการ
ผลิตไฟฟ้าแทน หากต้องการให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่าย
สามารถทำได้โดยพิจารณาแหล่งพลังงานของสถานีอัดประจุเป็นพลังงานทดแทนเนื่องจากแหล่ง
พลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและบางแหล่งพลังงาน
สามารถใช้ได้แบบไม่มีวันหมด เช่น แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการ
ศึกษาร่วมกับการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่
ให้ทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่และเพื่อเป็นการรองรับการพัฒนาของแบตเตอรี่
จึงมีการใช้แบตเตอรี่จำนวน 2 ชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไท
ทานเนตไอออน ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง โดยได้ออกแบบและสร้างระบบการ
จัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง ผลการทดสอบ
ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง
พบว่าระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบโดยเกิดการผสมผสานพลังงานจากระบบ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานี
อัดประจุไฟฟ้า และแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดสามารถทำงานสลับกันได้ ส่งผลให้สถานีอัดประจุไฟฟ้านี้มี
การใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพียงช่วงเวลาที่ความเข้มแสงน้อยกว่า 500 W/m^2 เท่านั้น ทำ
ให้สถานีอัดประจุนี้ใช้พลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่าที่สุด

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา ดวงกมล ประเสริฐดี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.ทิพย์วรรณ

DUANGKAMON PRASERTDEE: HYBRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR EV
QUICK CHARGE STATION IN DC MODE

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. THIPWAN FANGSUWANNARAK, Ph.D., 140 PP.

Keyword: quick charge stations in DC mode/Solar panels system/Fuel cell system/Battery storage systems/ Hybrid energy management system

Currently, the number of electric vehicles in Thailand is increasing continuously due to the increment in fuel costs. In order to mitigate their expenses, they selected electric vehicles instead. Additionally, electric vehicles can reduce carbon emissions from the transportation sector since they do not use fossil fuels in their engines, which contribute to carbon dioxide emissions. However, electric vehicles need to be charged with electricity to power their motors, leading to the necessity of increasing the number of charging stations. It's found that most charging stations rely on grid electricity, enabling electric vehicles to reduce carbon emissions from the transportation sector but increasing carbon emissions from electricity generation instead. To reduce electricity consumption from the grid, charging stations can consider using alternative energy sources as renewable energy is a clean energy source that does not contribute to air pollution, and some renewable energy sources are available indefinitely, such as solar energy. Therefore, this thesis has studied the development of charging station by using solar panel systems and fuel cell systems working together with battery storage systems to support battery development. Therefore, two types of batteries with grid-connected systems are used as backup power sources. The energy management system is designed and built for quick-charge stations in direct current (DC) mode. The results of the energy management system tests for quick-charge stations in DC mode show that the control system can operate under the designed conditions by integrating energy from solar panels, fuel cell systems, and 2 type of battery storage systems to provide power for charging stations. The results of the hybrid energy management system for charging stations in DC mode showed that the control system could operate alternately. As a result, this charging stations only use grid electricity when the irradiation is less than 500 W/m^2 . Consequently, it is the most cost-effective use of alternative energy for this charging stations.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2023

Student's Signature Duangkamon Prasertdee

Advisor's Signature Thipwan Fangsuwannarak

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางอันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย รวมทั้งยังช่วยตรวจทาน แก้ไข รายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งมีความสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.กীরติ ชยะกุลคีรี รองศาสตราจารย์ ดร.กองพัน อารีรักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล รัตน์นิยมชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ ใน การวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเลขานุการประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ การติดต่อประสานงานและให้กำลังใจอย่างดียิ่ง มาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และรุ่นพี่ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจกับผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่มอบความรู้ต่าง ๆ ทั้งในอดีตจนถึง ปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

ดวงกมล ประเสริฐดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การผสมผสานพลังงาน.....	5
2.3 การจัดสรรพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	8
2.4 สรุป.....	13
3. สถานีอัดประจุไฟฟ้าและแหล่งพลังงานแบบไฮบริด.....	14
3.1 บทนำ.....	14
3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	14
3.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า.....	14
3.2.2 สถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	27
3.3.1	การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
3.3.2	วงจรแปลงผันแบบบัคค์และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	31
3.4	ระบบเซลล์เชื้อเพลิง.....	32
3.4.1	วงจรแปลงผันแบบบูสต์.....	34
3.5	ระบบกักเก็บพลังงาน.....	35
3.6	สรุป.....	36
4.	การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ควบคุมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว	
	โหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	37
4.1	บทนำ.....	37
4.2	การออกแบบระบบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	37
4.2.1	การออกแบบการติดตั้งแหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
4.2.2	การออกแบบและการติดตั้งเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง.....	48
4.2.3	ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่.....	59
4.2.4	ชุด on board charger.....	60
4.2.5	ผู้อัดประจุแบบปรับค่าได้.....	61
4.2.6	อุปกรณ์ในระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	63
4.3	สรุป.....	66
5.	ระบบการจัดการพลังงานและแพลตฟอร์มสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมด	
	กระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	68
5.1	บทนำ.....	68
5.2	ศึกษาและทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบพลังงานภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	68
5.3	การออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุแบบเร็วโหมดกระแสตรง.....	93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4	ผลการทดสอบระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า แบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	102
5.5	ระบบสื่อสารและแสดงข้อมูลด้าน IoT.....	109
5.6	สรุป.....	110
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	111
6.1	สรุป.....	111
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	112
	รายงานอ้างอิง.....	113
	ภาคผนวก ก. โค้ดของวงจรแปลงผันแบบบูสต์และระบบควบคุม.....	116
	ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	123
	ประวัติผู้เขียน.....	140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า.....	19
4.1	ข้อมูลจำเพาะของระบบกักเก็บพลังงาน.....	40
4.2	ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า.....	41
4.3	ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ที่พิจารณาค่าสะท้อนของแสง 20%.....	41
4.4	ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ที่มีการต่อแบบ 3 series box 2 parallel string.....	43
4.5	ข้อมูลจำเพาะของเซลล์เชื้อเพลิง.....	49
4.6	พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบของวงจรแปลงผันแบบบูสต์.....	53
4.7	พิกัดของอุปกรณ์แปลงผันแบบบูสต์.....	54
4.8	ข้อมูลเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้า (Sirius capacitor module) และแบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO).....	60
4.9	พิกัดของโซลิตสเตรรี่.....	66

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	อัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการดำเนินงานต่างๆ.....	1
1.2	การเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	2
2.1	ความผันผวนของความเข้มแสงตามสภาพภูมิอากาศ.....	6
2.2	ระบบที่ใช้แบตเตอรี่หลายขนาด.....	6
2.3	ระบบที่มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง และระบบกักเก็บพลังงานร่วมกัน.....	7
2.4	แรงดันไฟฟ้าที่บัสบาร์.....	7
2.5	แผนภาพการจัดการพลังงานของ Nizam and FX Rian.....	9
2.6	สถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ร่วมกับระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.7	สถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน.....	10
2.8	แผนภาพการจัดการพลังงานของ Biya et al.....	10
2.9	ผลลัพธ์การพลังงานของ Biya et al.....	11
2.10	แผนภาพการจัดการพลังงานของ Zhang et al.....	11
3.1	โครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด.....	15
3.2	โครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด.....	15
3.3	โครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่.....	16
3.4	โครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิง.....	16
3.5	ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนแต่ละชนิด.....	18
3.6	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	20
3.7	หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ.....	21
3.8	หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบปกติด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ.....	21
3.9	หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบเร็ว.....	21
3.10	รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 1.....	22
3.11	รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 2.....	23
3.12	รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 3.....	23
3.13	รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4.....	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ความแตกต่างของรูปแบบการอัดประจุทั้ง 4 โหมด.....	24
3.15 สถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ติดตั้งที่ปั้มน้ำบางจากสาขาชะอำปาร์ค จังหวัดเพชรบุรี.....	25
3.16 สถานีอัดประจุไฟฟ้าของบริษัททอวอไว่พระนคร สาขาวิภาวดี.....	26
3.17 สถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน.....	27
3.18 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
3.19 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	29
3.20 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	30
3.21 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	31
3.22 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัคค์.....	32
3.23 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	33
3.24 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์.....	34
4.1 องค์ประกอบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าภายในวิทยานิพนธ์.....	38
4.2 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่ติดตั้งภายในยานยนต์ไฟฟ้า.....	39
4.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 3 series box 2 parallel string.....	42
4.4 สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	43
4.5 ผลการติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่ได้ออกแบบ ที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	44
4.6 กำลังไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้แบบรายวัน ผ่านการจำลองในด้วยโปรแกรม PVSYSY.....	45
4.7 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สองหน้าผลิตได้ ผ่านการจำลองในด้วยโปรแกรม PVSYSY.....	45
4.8 โซล่าชาร์เจอร์ พิกัด 3 kW 60 A.....	46
4.9 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 series box 2 parallel string.....	47
4.10 เซลล์เชื้อเพลิงจากบริษัท Horizon พิกัดกำลังไฟฟ้า 200 W.....	49
4.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเซลล์เชื้อเพลิง.....	50
4.12 การทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง.....	51
4.13 ผลการทดสอบการทำงานของ fuel cell.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14	วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์.....53
4.15	วงจรขับเกจโดยใช้ IC TLP250.....55
4.16	องค์ประกอบภายในชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์.....56
4.17	วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์.....57
4.18	ผลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์.....58
4.19	แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้า.....59
4.20	แบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO).....59
4.21	on board charger.....61
4.22	ตู้ชาร์จประจุแบบปรับค่าได้.....62
4.23	พฤติกรรมการทำงานของ VC.....62
4.24	โมดูลวัด PZEM-017 พร้อมขั้วต่อ.....63
4.25	บอร์ดควบคุม STM32F103C6T6.....64
4.26	โซลิตสเตรีย.....66
5.1	ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 1.....69
5.2	พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 1.....70
5.3	ผลการทดสอบกรณีที่ 1.....71
5.4	ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 2.....72
5.5	พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 2.....73
5.6	ผลการทดสอบกรณีที่ 2.....74
5.7	ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 3.....75
5.8	พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 3.....76
5.9	ผลการทดสอบกรณีที่ 3.....77
5.10	ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 4.....78
5.11	พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 4.....79
5.12	ผลการทดสอบกรณีที่ 4.....80
5.13	ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 5.....81
5.14	พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 5.....82

สารบัญรูป (ต่อ)

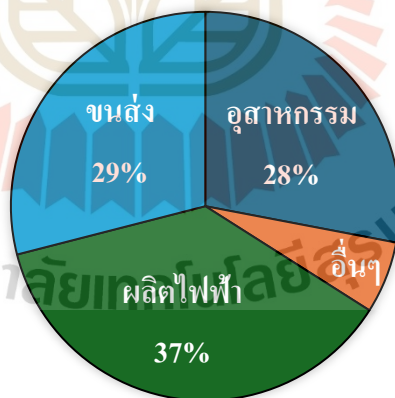
รูปที่	หน้า
5.15 ผลการทดสอบกรณีที่ 5.....	83
5.16 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 6.....	84
5.17 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 6.....	85
5.18 ผลการทดสอบกรณีที่ 6.....	86
5.19 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 7.....	87
5.20 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 7.....	88
5.21 ผลการทดสอบกรณีที่ 7.....	89
5.22 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 8.....	90
5.23 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 8.....	91
5.24 ผลการทดสอบกรณีที่ 8.....	92
5.25 ไดอะแกรมระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน.....	94
5.26 แผนผังการทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน.....	95
5.27 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 1.....	96
5.28 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 2.....	97
5.29 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 3.....	98
5.30 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 4.....	99
5.31 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 5.....	100
5.32 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 6.....	101
5.33 ผลการทดสอบระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน.....	103
5.34 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 08:12 – 09:20 น.....	104
5.35 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 09:25 – 10:06 น.....	105
5.36 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 10:12 – 11:40 น.....	105
5.37 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 11:48 – 13:30 น.....	106
5.38 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 15:12 – 16:00 น.....	107
5.39 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 16:04 – 17:00 น.....	107
5.40 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 17:06 – 17:50 น.....	108
5.41 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 17:56 – 19:20 น.....	109
5.42 แพลตฟอร์มสำหรับแสดงข้อมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้า.....	110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

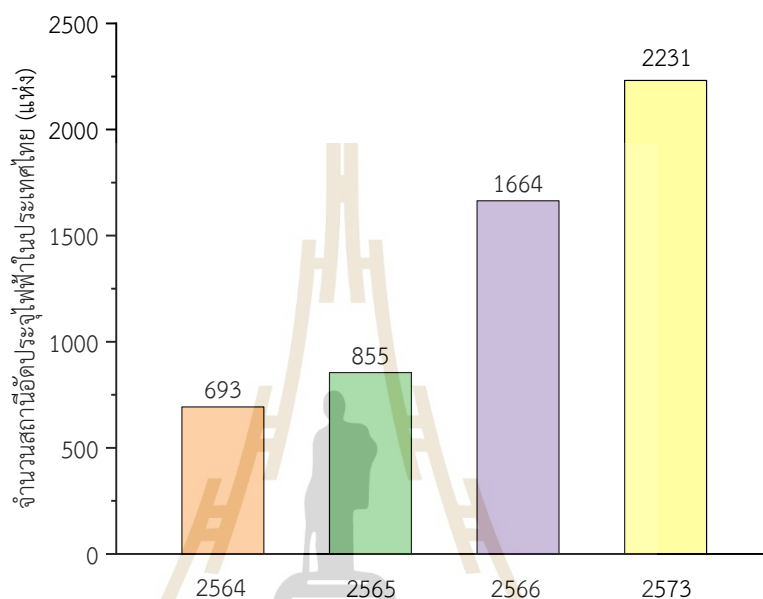
ปัจจุบันจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่ายอดจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้ารวมทุกประเภท ตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2566 มีการจดทะเบียนใหม่ทั้งสิ้น 100,219 คัน เติบโต 380% เมื่อเทียบกับปี 2565 ที่มียอดจดทะเบียนเพียง 20,816 คัน และมีการคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าเป็นผลมาจากหลายปัจจัย โดยปัจจัยที่สำคัญ คือ เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการขนส่ง เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปรากฏการณ์ของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นได้ทั้งตามธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยพบว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุที่สำคัญของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกอย่างรวดเร็วเพราะมนุษย์เป็นตัวการหลักในการสร้างและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ รวมไปถึงภาคการขนส่ง เป็นต้น สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการทำงานต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 1.1 โดยภาคการผลิตไฟฟ้ามีส่วนสูงที่สุดถึง 37%



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการทำงานต่างๆ

จากข้อมูลของสมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย (EVAT) ระบุว่าสถานีอัดประจุไฟฟ้ามีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้า แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุตั้งรูปที่ 1.2 โดยพบว่าสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีการติดตั้งแล้วนิยมใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้ให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการขนส่งได้แต่ไปเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการผลิตไฟฟ้าแทน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าทั้งที่เป็นสถานีอัดประจุหรือแม้แต่การอัดประจุไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยนิยมใช้ไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า

จากระบบโครงข่ายไฟฟ้าจึงส่งผลให้โรงไฟฟ้าต้องผลิตกำลังไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มคนที่ใช้นานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้หากต้องการให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายสามารถทำได้โดยพิจารณาแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้และยังช่วยลดการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าได้อีกด้วย



รูปที่ 1.2 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

แหล่งพลังงานทดแทน คือ พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้เป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น แต่เนื่องจากพลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์มีความผันผวนสูง ดังนั้นการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) เพื่อลดความผันผวนของไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นทางเลือกที่ดียิ่ง

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงดำเนินการศึกษาการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน โดยใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนให้ทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ และเพื่อเป็นการรองรับการพัฒนาของแบตเตอรี่จึงมีการใช้แบตเตอรี่จำนวน 2 ชนิดโดยใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง ทำการศึกษาและออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงให้ผสมผสานพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของภาระโหลด เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าและใช้พลังงานทดแทนให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานโดยมีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง
- 1.2.2 เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าด้วยวิธีการจัดสรรพลังงานแบบผสมผสาน
- 1.2.3 เพื่อสร้างแพลตฟอร์มแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับนำข้อมูลมาวิเคราะห์

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

ระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงจะนำมาใช้งานที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว พิกัด 48 V 200 A ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษากระบวนการผสมผสานระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้มีแรงดันที่เหมาะสมที่จุดร่วมบัสบาร์
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการผสมผสานระหว่างระบบพลังงานและระบบกักเก็บพลังงานให้มีแรงดันที่เหมาะสมที่จุดร่วมบัสบาร์
- 1.4.3 ออกแบบเงื่อนไขการทำงาน สร้างระบบรวมถึงวิเคราะห์การทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงและทดสอบ
- 1.4.4 ศึกษาและสร้างแพลตฟอร์มระบบควบคุมการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงให้สามารถแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงาน
- 1.5.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับออกแบบเงื่อนไขการทำงาน สร้างระบบรวมถึงวิเคราะห์การทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงและทดสอบ

1.5.3 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแพลตฟอร์มออกแบบเงื่อนไขการทำงาน สร้างระบบ รวมถึงวิเคราะห์การทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า แบบเร็วในโหมดกระแสตรงและทดสอบ



บทที่ 2

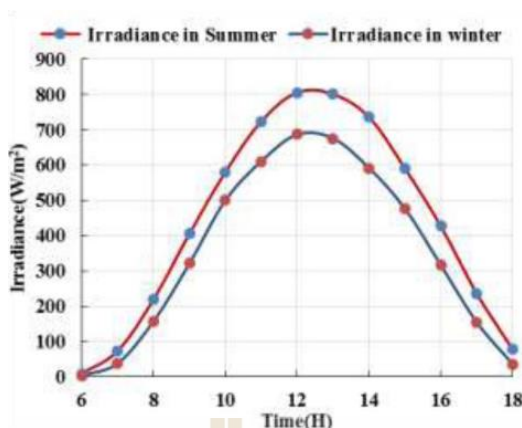
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมพลังงานทดแทนมาใช้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วเพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรพลังงานและการออกแบบการจัดสรรพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

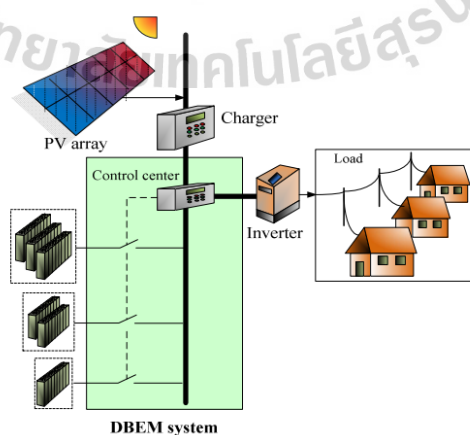
2.2 การผสมผสานพลังงาน

ปัจจุบันพลังงานทดแทนเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในการลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้และบางแหล่งพลังงานยังเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดไป ยกตัวอย่างเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ทั้งนี้หากต้องการนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทนด้วยกันหรือแม้กระทั่งการนำมาใช้ร่วมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าต้องอาศัยการผสมผสานพลังงานเพื่อจัดสรรพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมในการเลือกใช้เป็นอย่างมาก คือ แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานลม และระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยพบว่าแหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีความผันผวนตามความเข้มแสงหรือสภาพภูมิอากาศของสถานที่นั้น ๆ ดังรูปที่ 2.1 โดยการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผ่านวงจรแปลงผันแรงดันที่มีการใช้ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อแปลงผันระดับแรงดันให้มีค่าเท่ากับแรงดันของระบบและเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตได้ (Naik et al., 2012, Almi et al., 2014, Sangpanich et al., 2014, Reddy et al., 2015, Kumar et al., 2016, Rao et al., 2021)



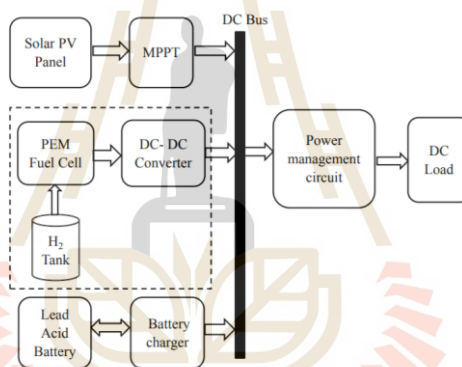
รูปที่ 2.1 ความผันผวนของความเข้มแสงตามสภาพภูมิอากาศ
ที่มาภาพ: (Reddy et al., 2015)

โดยการนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานควรนำมาใช้ควบคู่กับระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่เพื่อรองรับความผันผวนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Naik et al., 2012, Sangpanich et al., 2014, Rao et al., 2021) ทั้งนี้การติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงโหนดของระบบ ซึ่งค้นพบว่าการเลือกใช้งานระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่สามารถเลือกใช้ขนาดของแบตเตอรี่ที่ต่างกันได้ด้วยวิธีการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานแบบกระจาย (Decentralized Battery Storage Control :DBSC) เพื่อแยกการทำงานของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.2 โดยเชื่อว่าจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ใช้แบตเตอรี่กลุ่มเดียว เนื่องจากระบบพลังงานทดแทนแบบสแตนด์อโลน (Standalone) จะใช้ตัวควบคุมการชาร์จเพียงตัวเดียวโดยจัดกลุ่มแบตเตอรี่ทั้งหมดต่อขนานกัน โดยที่แบตเตอรี่ชุดนั้นต้องมีความจุและสถานะการชาร์จเริ่มต้นเท่ากัน หากไม่เท่ากันส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ลดลง (Sangpanich et al., 2014)



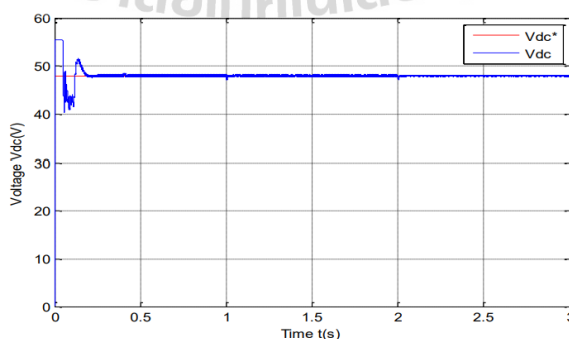
รูปที่ 2.2 ระบบที่ใช้แบตเตอรี่ขนาดต่างกัน
ที่มาภาพ: (Sangpanich et al., 2014)

ในปัจจุบันยังพบว่ายังมีแหล่งพลังงานสะอาดที่ได้รับความนิยม คือ ระบบเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell system) เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ไม่มีความผันผวนทำงานโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนไฮโดรเจนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมีพฤติกรรมการทำงานคล้ายกับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งการเลือกพิกัดในการติดตั้งต้องมีการคำนึงโหลดของระบบและยังพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงนั้นเป็นแหล่งพลังงานที่เริ่มมีการพัฒนาและจะได้รับความนิยมมากในอนาคต (Stambouli., 2011, Ghoniem et.al., 2023) โดยมีการนำเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้งานร่วมกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งโดยปกติแล้วระบบเซลล์เชื้อเพลิงหากต้องการนำไปใช้งานจะต้องผ่านวงจรแปลงผันแรงดันเพื่อควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ (Naik et al., 2012, Reddy et al., 2015, Kumar et al., 2016, Rao et al., 2021) โดยพบว่าการนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานต้องทำการออกแบบระบบการจัดสรรพลังงานที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากจะต้องมีค่าแรงดันที่บัสเท่ากัน ดังรูปที่ 2.4 เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยในช่วงแรกของการเริ่มต้นระบบบัพแรงดันไฟฟ้ากระแสเพื่อประมาณ $15 V_{dc}$



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของระบบที่มีการใช้พลังงานร่วมกันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานร่วมกัน

ที่มาภาพ: (Reddy et al., 2015)



รูปที่ 2.4 แรงดันไฟฟ้าที่บัสบาร์ (DC Bus)

ที่มาภาพ: (Almi et al., 2014)

นอกจากนี้ยังมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับพลังงานลม โดยใช้วิธี neuro-fuzzy เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานลม (Almi et al., 2014) ทั้งนี้ยังพบว่ามีมีการนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานลมและระบบเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ร่วมกัน โดยมีการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อควบคุมการจัดสรรพลังงานในสภาวะโหลดที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดการจัดสรรพลังงานที่ดีที่สุด (Rao et al., 2021)

2.3 การจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า

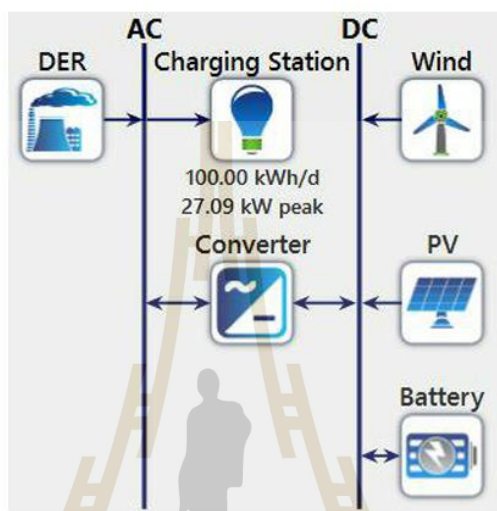
ในปัจจุบันเริ่มมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำคัญให้แก่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานจากกริดไฟฟ้า ทั้งนี้การนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าจะต้องมีการออกแบบการจัดการพลังงานให้เพียงพอต่อพฤติกรรมกริดการนำยานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาชาร์จประจุเนื่องจากเป็นโหลดทางไฟฟ้าที่มีการผันผวนตามพฤติกรรมการใช้งาน โดยพบว่าหากต้องนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความพร้อมของสถานที่ อาทิเช่น สภาพภูมิอากาศในสถานที่นั้น ๆ หรือแม้แต่พื้นที่ในการติดตั้งตัวอย่างงานวิจัยที่มีการนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุดังนี้

Lu et al., 2014 นำเสนอการจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่มีการผสมผสานพลังงานระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้า ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีการยกตัวอย่างเปรียบเทียบ 2 กรณี คือ กรณีที่สถานีอัดประจุใช้ระบบกักเก็บพลังงาน พิกัด 200 kWh และกรณีที่สถานีอัดประจุใช้ระบบกักเก็บพลังงาน พิกัด 500 kWh พบว่าในกรณีที่ใช้ระบบกักเก็บพลังงาน 500 kWh สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันได้มากกว่าแต่ใช้ต้นทุนในการติดตั้งสูงกว่าสถานีที่ใช้ระบบกักเก็บพลังงาน 200 kWh ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโหลดของสถานีและระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

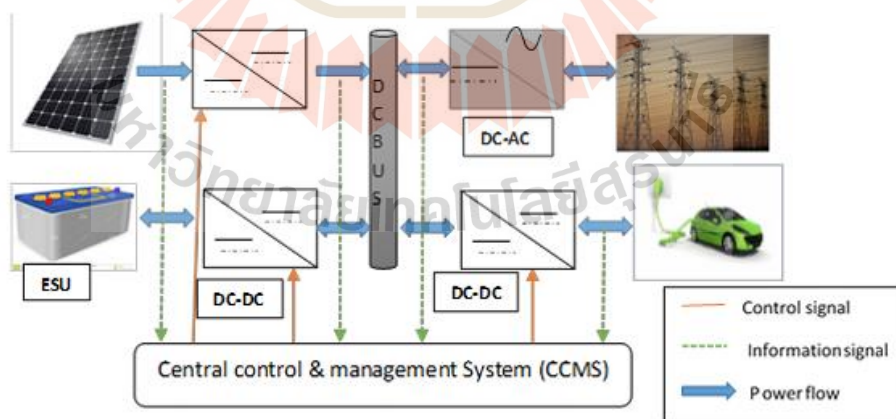
Nizam and FX Rian., 2018 นำเสนอโครงสร้างที่ดีที่สุดของระบบไฟฟ้าไฮบริดสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสสลับในพื้นที่ชนบท โดยยกตัวอย่างที่ Labuan bajo ประเทศอินโดนีเซีย โดยกล่าวว่า ความพร้อมของพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ชนบทเป็นกุญแจสำคัญในการกระจายเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและเพิ่มอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน การใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานจากลมและพลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายขนาดเล็ก พบว่าหากสถานที่ที่ได้ทำงานวิจัยมีพลังงานที่อุดมสมบูรณ์มาก สามารถรองรับการใช้พลังงานของสถานีอัดประจุได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยการออกแบบการควบคุมรวมไปถึงผังการทำงานให้ครอบคลุมทั้งระบบจึงจะก่อให้เกิดการนำพลังงานมาใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด แสดงแผนภาพการจัดการพลังงาน ดังรูปที่ 2.5

Youssef et al., 2018 นำเสนอสถานีอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสตรงแบบ 2 ประเภท คือ สถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน พบว่าการออกแบบการทำงานของสถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักต้องมีการคำนึงถึงโหลดและมีความซับซ้อนในการออกแบบมากกว่าสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นหลักเนื่องจากพลังงานที่ได้จากระบบแผง

เซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่คงที่จึงต้องมีการออกแบบพิกัดการติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเพื่อให้มีพลังงานเพียงพอสำหรับรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามาใช้บริการ สามารถแสดงรูปโครงสร้างของระบบดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ โดยคาดคะเนว่าในอนาคตการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงจะได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากใช้เวลาในการอัดประจุเร็วกว่าการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ

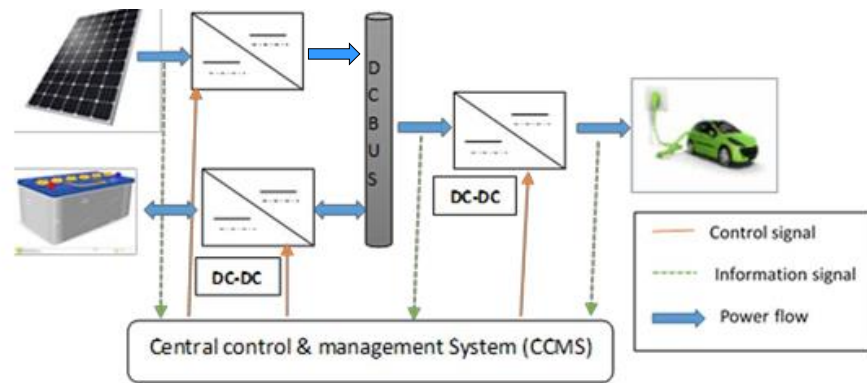


รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดการพลังงานของ Nizam and FX Rian
ที่มาภาพ: (Nizam and FX Rian)



รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมของสถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

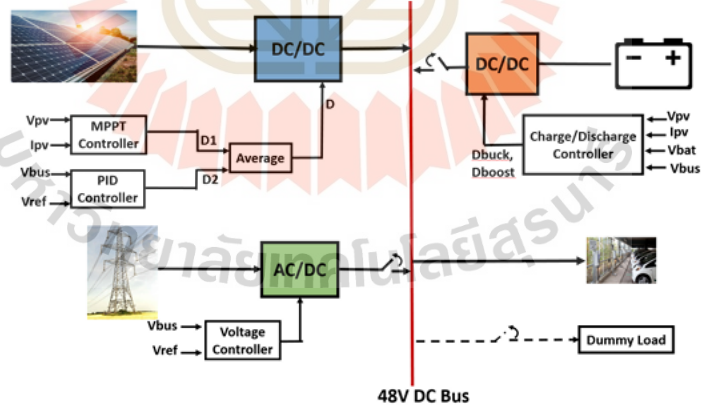
ที่มาภาพ: (Youssef et al., 2018)



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมของสถานีอัดประจุที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

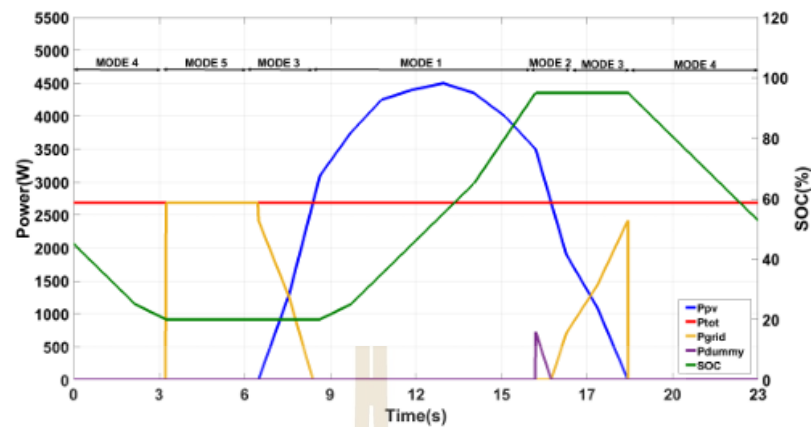
ที่มาภาพ: (Youssef et al., 2018)

Biya et al., 2019 นำเสนอแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบและการจัดการพลังงานของสถานีอัดประจุที่ขับเคลื่อนด้วยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบจัดเก็บพลังงานแบบเตอเรีย (BESS) พร้อมกริดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID) ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟที่ต้องการ โดยพิจารณาอัลกอริทึมเพื่อควบคุมการทำงานที่แตกต่างกัน 5 โหมด โดยมีการผสมผสานพลังงานและผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



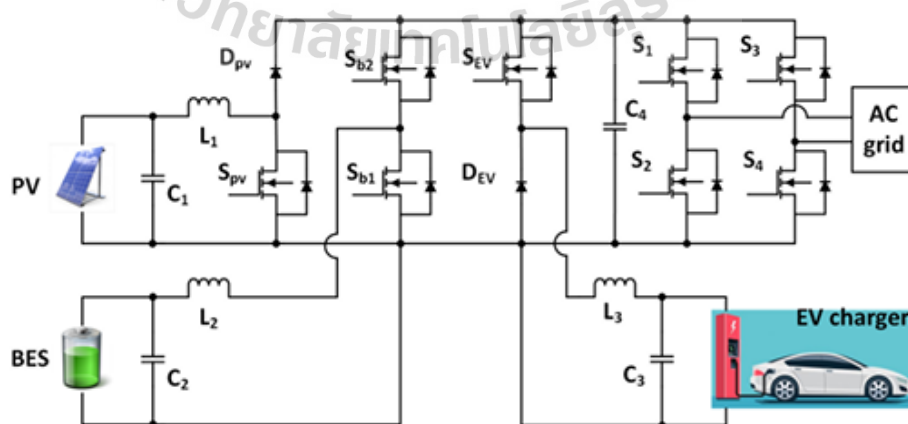
รูปที่ 2.8 แผนภาพการจัดการพลังงานของ Biya et al

ที่มาภาพ: (Biya et al., 2019)



รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์การจัดการพลังงานของ Biya et al
ที่มาภาพ: (Biya et al., 2019)

Zhang et al., 2019 นำเสนอสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสตรง โดยสร้างแบบจำลอง สถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบหลายพอร์ตคอนเวอร์เตอร์ที่ผสมรวมกับการผลิตไฟฟ้าจากระบบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่โดยใช้โปรแกรม ANSYS Twin Builder มีการควบคุมและการทำงานร่วมกันของการผลิตไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สถานีชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า และการจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ให้มีการรักษาเสถียรภาพที่ดีขึ้น การทำงานของระบบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความไม่แน่นอนโดยผันผวนตามความเข้มของแสง ทั้งนี้ต้องเกิดการออกแบบ พิกัดการติดตั้งของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เพียงพอต่อจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามา รับบริการเพื่อใช้ลดจากใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ทั้งนี้ยังนำเสนอผลการจำลองเพื่อยืนยัน ผลประโยชน์ในโหมดต่างๆ ของการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า แบบหลายพอร์ตที่เสนอนี้พร้อมการกำหนดค่า PV-BES โดยมีการจัดการพลังงาน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนภาพการจัดการพลังงานของ Zhang et al
ที่มาภาพ: (Zhang et al., 2019)

Bhadra et al., 2020 นำเสนอการออกแบบและการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบไฮบริดสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุไฟฟ้าใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกัน ระบบทำงานร่วมกันเพื่อลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยสถานีอัดประจุจะใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า โดยตรงเมื่อมีพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เมื่อไม่มีพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สถานีอัดประจุจะใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า แต่ถ้าไม่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการ สถานีอัดประจุจะส่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยที่ผลลัพธ์ของบทความนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ ที่ได้ดำเนินการออกแบบการควบคุมระบบการจัดสรรพลังงาน โดยพบว่ารูปแบบการชาร์จแบบไฮบริดที่พัฒนาแล้วสามารถใช้ได้และเป็นตัวเลือกการชาร์จที่ประหยัดพลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

Verma et al., 2020 นำเสนอสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแปลงพลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยมีชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นพลังงานสำรองเพื่อให้สามารถให้พลังงานแก่ยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าเป็นโหมดกระแสตรง โดยควบคุมการออกแบบเพื่อให้ใช้แหล่งพลังงานแต่ละแหล่งอย่างมีประสิทธิภาพไม่กระทบต่อการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าและการจ่ายโหลดในครัวเรือน

จากการทบทวนปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการผสมผสานพลังงานและการออกแบบการจัดสรรพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า พบว่ามีงานวิจัยมากมายที่ให้ข้อสนับสนุนถึงความเป็นไปได้ของการผสมผสานพลังงาน โดยพบว่าการผสมผสานพลังงานนั้นสามารถทำได้แต่ต้องมีการควบคุม กล่าวคือ หากมีการนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานควรมีการใช้ร่วมกับ Maximum Power Point Tracking (MPPT) เพื่อแปลงผันแรงดันให้เหมาะสมกับโหลดและเพื่อเป็นการใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด เช่นเดียวกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงหากมีการนำมาใช้งานแบบผสมผสานจะต้องมีการแปลงผันแรงดันให้มีความเหมาะสมกับแหล่งพลังงานอื่นของระบบก่อน และหากมีการนำแหล่งพลังงานหลายแหล่งมาผสมผสานกันทุกแหล่งพลังงานจะต้องมีพิกัดของแรงดันเท่ากันที่แรงดันของแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการไหลย้อนของกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้หากมีการใช้งานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน พบว่า ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่สามารถรองรับความผันผวนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยทำหน้าที่กักเก็บพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนที่ระบบไม่มีโหลดมาใช้งานและตอนที่ระบบมีโหลดได้ และพบว่าแหล่งพลังงานดังกล่าวที่กล่าวมานั้นสามารถนำมาประยุกต์เป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้ทั้งแบบกระแสตรงและกระแสสลับ

2.4 สรุป

บทที่ 2 นี้ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้ทราบถึงแนวทางและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องของเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยที่จะนำมาปรับใช้ในวิทยานิพนธ์และส่งผลให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำแหล่งพลังงานสะอาด นั่นคือ แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยมีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อรองรับความผันผวนของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานหลักให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสตรง โดยในบทถัดไปนำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้



บทที่ 3

สถานีอัดประจุไฟฟ้าและแหล่งพลังงานแบบไฮบริด

3.1 บทนำ

ปัจจุบันเริ่มมีการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าอย่างแพร่หลายเพื่อรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยพบว่านอกเหนือจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายแล้วนั้นยังสามารถนำแหล่งพลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้ โดยแหล่งพลังงานทดแทนนั้น ได้แก่ ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัพคักและการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เซลล์เชื้อเพลิง วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์และระบบกักเก็บพลังงาน มีรายละเอียดต่อไปนี้

3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า

ปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยพบว่ายอดการจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าของปีงบประมาณ 2566 มีจำนวนถึง 73,341 คันซึ่งเติบโตจากปีงบประมาณ 2565 ถึง 399.05% การเพิ่มขึ้นของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการที่กระทรวงคมนาคมสนับสนุนให้ประชาชนหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อแก้ปัญหามลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5 ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่

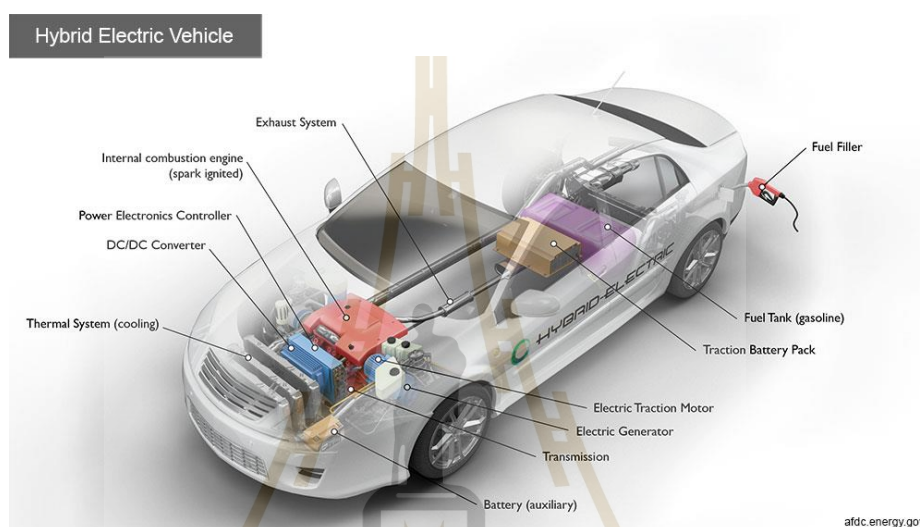
3.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV)

ยานยนต์ไฟฟ้า คือ ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีทั้งการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ แบ่งได้เป็น 4 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

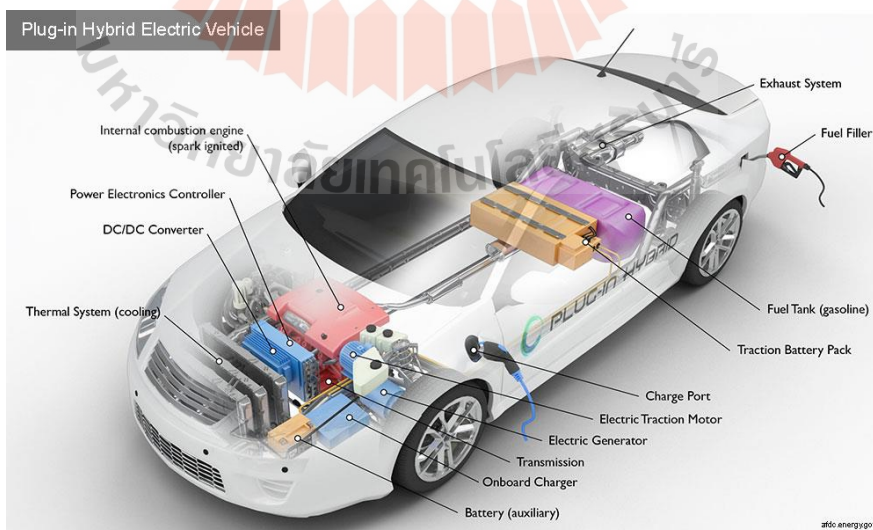
1. ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ใช้เครื่องยนต์สันดาปร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อน แสดงโครงสร้างภายในของยานยนต์ ดังรูปที่ 3.1
2. ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) มีลักษณะการทำงานและอุปกรณ์คล้ายยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด แต่มีข้อแตกต่าง คือ มีระบบอัดประจุไฟฟ้าจากภายนอก เพื่อช่วยให้ยานยนต์ไฟฟ้าขับขี่ได้ระยะทางไกลกว่า แต่มีราคาสูงเนื่องจากใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ แสดงโครงสร้างภายในของยานยนต์ ดังรูปที่ 3.2

3. ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว แสดงโครงสร้างภายในของยานยนต์ ดังรูปที่ 3.3

4. ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) ใช้มอเตอร์เป็นหลักในการขับเคลื่อน แต่ใช้แหล่งพลังงานเป็นก๊าซไฮโดรเจนซึ่งอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา โดยเชื่อว่ายานยนต์ชนิดนี้จะสามารถเข้ามาทดแทนยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ได้เนื่องจากการใช้งานของแบตเตอรี่มีความจำกัดต้องมีการอัดประจุ (Edwards et al., 2018) แสดงโครงสร้างภายในของยานยนต์ ดังรูปที่ 3.4

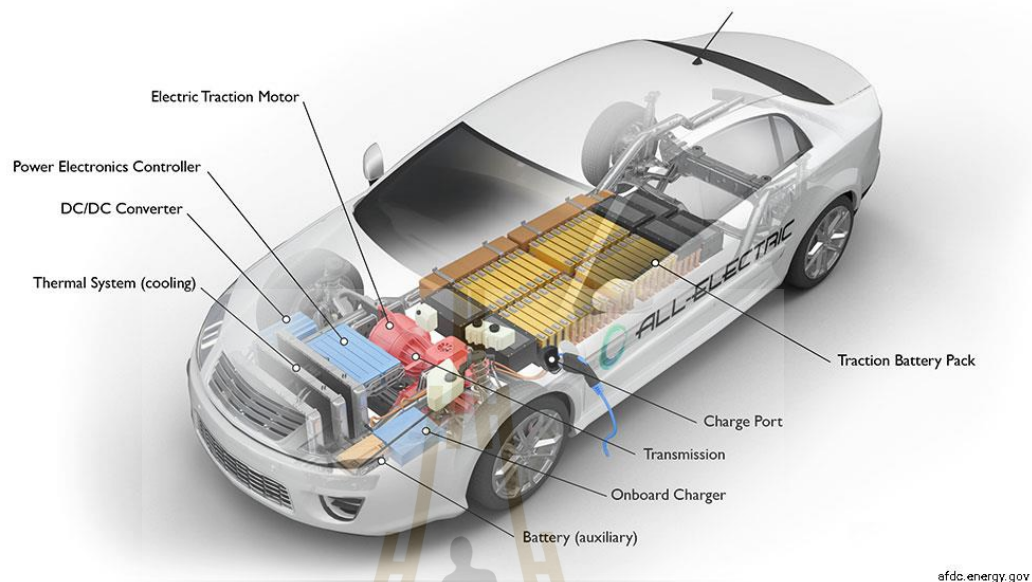


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด
ที่มาภาพ: <https://afdc.energy.gov/vehicles/> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]



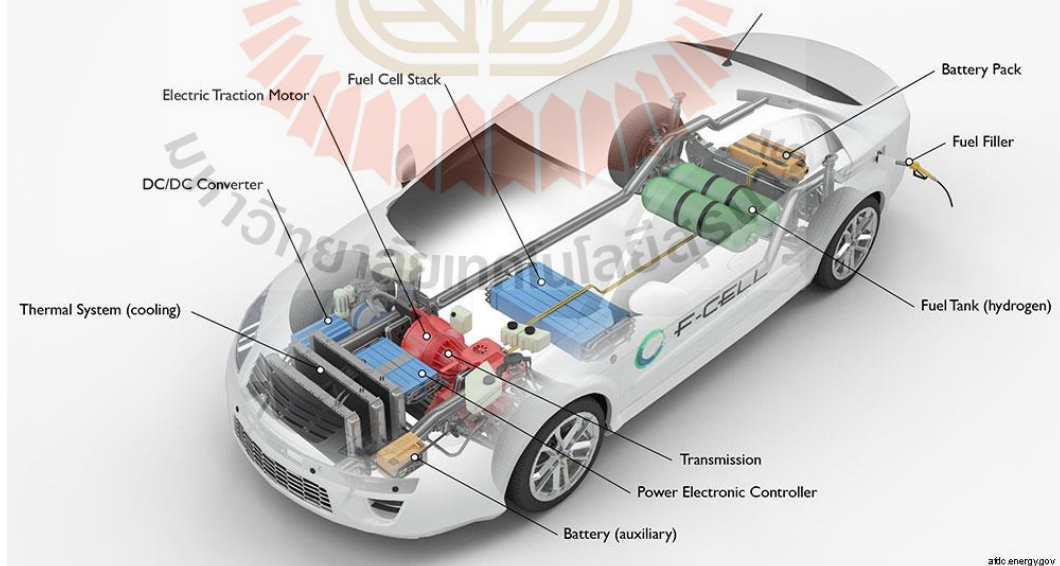
รูปที่ 3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด
ที่มาภาพ: <https://afdc.energy.gov/vehicles/> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]

All-Electric Vehicle



รูปที่ 3.3 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่
ที่มาภาพ: <https://afdc.energy.gov/vehicles/> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]

Hydrogen Fuel Cell Vehicle



รูปที่ 3.4 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิง
ที่มาภาพ: <https://afdc.energy.gov/vehicles/> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]

ในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นความสำคัญที่ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่เนื่องจากเป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการขนส่งได้และเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยแบตเตอรี่ที่ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้ามีหลากหลายประเภท ดังต่อไปนี้

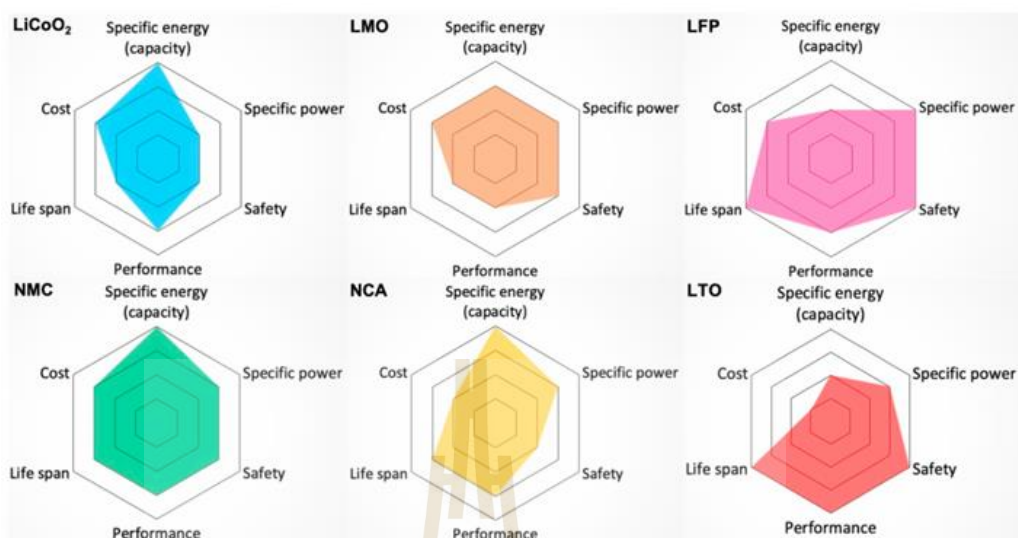
1. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้มาตั้งแต่ยุคยานยนต์เครื่องสันดาป เพื่อใช้จุดสตาร์ทเครื่องยนต์ จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบแอร์ วิทยุ หรือห้องโดยสาร ในยุคของยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดยังคงทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสตาร์ทมอเตอร์ขับเคลื่อน รวมไปถึงระบบภายในยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แบตเตอรี่น้ำ แบตเตอรี่แห้ง แบตเตอรี่กึ่งแห้ง แบตเตอรี่ตะกั่วกรดนิยมนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่สำรองในยานยนต์ไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากมีอายุการใช้งานสั้น และมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำจึงไม่เหมาะนำมาใช้เป็นพลังงานหลักให้กับยานยนต์ไฟฟ้า

2. แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Nickel-metal Hydride Battery / Ni-MH) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่นานกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้และมีพฤติกรรมการคายประจุสูง

3. แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery / Ni-Cd) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถเก็บกระแสไฟฟ้าได้มาก มีรอบการชาร์จ (Charges Cycle) อยู่ที่ประมาณ 500 - 1,000 ครั้งแต่มีข้อจำกัดเรื่อง Memory Effect ทำให้ต้องใช้พลังงานให้หมดก่อนจึงสามารถนำมาชาร์จใหม่ได้

4. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium Ion Battery / Li-ion) เป็นเทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่นิยมที่สุดในปัจจุบัน โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล หรือคอมพิวเตอร์เน็ตบุ๊ก เป็นต้น โดยมีความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถรองรับการชาร์จไฟได้อย่างรวดเร็ว (รองรับเทคโนโลยี Quick Charge) จ่ายไฟได้เสถียรและคงที่ และยังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ (Reuseable) มีรอบการชาร์จ (Charges Cycle) อยู่ที่ประมาณ 500 - 10,000 ครั้ง

โดยในปัจจุบันพบว่ามีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ส่งผลให้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน มีหลากหลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน (Yu et al., 2019) แสดงการเปรียบเทียบค่าลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแต่ละชนิด ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแต่ละชนิด
ที่มาภาพ: (Yu et al., 2019)

5. แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Supercapacitors) เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีประสิทธิภาพการเก็บไฟฟ้าได้สูงกว่าแบตเตอรี่อิเล็กโทรไลต์แบบเหลวทั่วไป มีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีพฤติกรรมการชาร์จไฟฟ้าได้เร็วกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น มีรอบการชาร์จอยู่ที่ประมาณ 10,000 ครั้ง (Ahmed et al., 2019) ปัจจุบันยังไม่มีการใช้ Supercapacitor เป็นแหล่งพลังงานหลักของยานยนต์ไฟฟ้า แต่มักถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยเพิ่มอัตราเร่งตอนออกสตาร์ท หรือตอนออกโค้งอย่างรวดเร็วของยานยนต์ไฮบริดระดับ Super Car หลากหลายรุ่น

โดยแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมเพื่อนำใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 5 ประเภทที่กล่าวมานั้นต่างมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากการพัฒนาขึ้นตามการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยสามารถนำลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่แต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้เกิดการเลือกใช้งานชนิดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมแก่ระบบการใช้งาน โดยลักษณะเฉพาะที่นำมาเปรียบเทียบมีดังนี้

- 1) ความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density)
- 2) ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power Density)
- 3) อัตราการคายประจุสูงสุด (Maximum Discharge)
- 4) ประสิทธิภาพในการชาร์จ (Charge Efficiency)
- 5) จำนวนครั้งในการใช้งาน (Life Cycle)

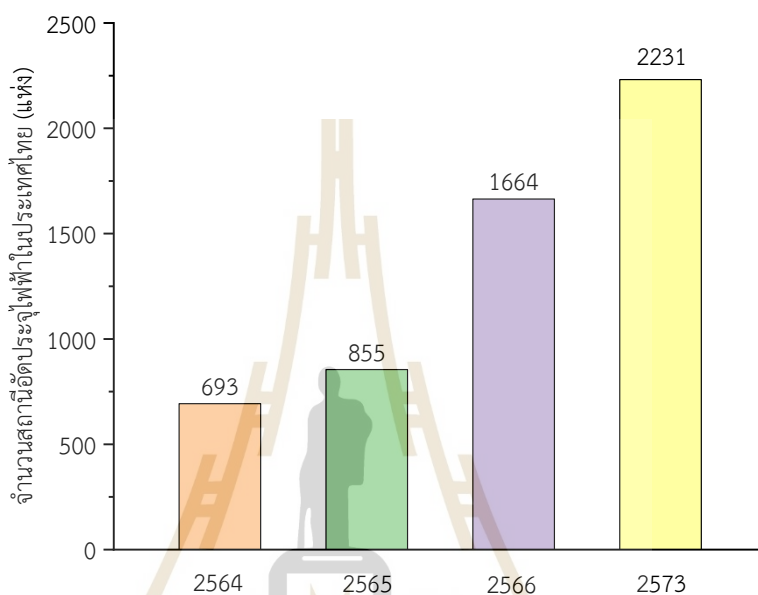
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า

Type of battery	Energy Density (Wh/L)	Power Density (W/kg)	Maximum Discharge (Rate)	Charge Efficiency (%)	Life Cycle (Number of cycles)
Lead acid	50-90	100-200	6-10C	60-80	200-400
Ni-Cd	50-70	100-150	20C	60-80	300-1000
Ni-MH	160-240	100-500	15C	70-90	500-1000
Li-ion	125-600	500-5000	80C	≥95	≥2000
Supercapacitors	300-600	500-7000	125C	≥95	≥10000

จากตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมเพื่อนำมาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยพบว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีคุณสมบัติของความหนาแน่นพลังงาน ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า อัตราการคายประจุสูงสุด ประสิทธิภาพในการชาร์จและจำนวนครั้งในการใช้งานสูงสุด ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจึงเหมาะสมอย่างยิ่งแก่การนำมาใช้ร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าทั้งในด้านของการติดตั้งไว้บนรถและการนำมาเป็นระบบกักเก็บพลังงาน จากการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันส่งผลให้เกิดการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อให้สามารถรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันและที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ทั้งนี้สถานีอัดประจุไฟฟ้ามีหลายประเภทซึ่งได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

3.2.2 สถานีอัดประจุไฟฟ้า

สถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า คือ สถานที่ที่ยานยนต์หรือยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมาอัดประจุหรือชาร์จแบตเตอรี่ได้ ซึ่งในปัจจุบันจากข้อมูลของสมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย (EVAT) ระบุว่าสถานีอัดประจุไฟฟ้ามีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นแสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

โดยสถานีอัดประจุไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

1. การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สาย เป็นรูปแบบการอัดประจุหลักที่แพร่หลายอยู่ในทุกประเทศ เนื่องจากมีความคุ้มค่าในการลงทุน ประสิทธิภาพสูง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการจัดการพลังงานได้ โดยสามารถจำแนกการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายตามระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การอัดประจุแบบช้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Slow Charge) เป็นการอัดประจุระดับ 1 (Level 1) ซึ่งเป็นรูปแบบการอัดประจุขั้นพื้นฐานและถูกใช้มากที่สุดในโลก แต่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นสถานีบริการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากมีการใช้เวลาในการอัดประจุนาน โดยสามารถแสดงหัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบช้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบช้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา: (กระทรวงพลังงาน)

2) การอัดประจุแบบปกติด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Normal Charge) เป็นการอัดประจุระดับ 2 (Level 2) สามารถอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 22 kW เหมาะสำหรับการอัดประจุในพื้นที่ที่สาธารณะหรือสถานที่ที่ผู้คนที่ต้องจอดรถไว้เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น ลานจอดรถและห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ทั้งนี้การอัดประจุในรูปแบบนี้เป็นที่นิยมในการติดตั้งไว้ที่บ้าน สามารถแสดงหัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบปกติด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบปกติด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

3) การอัดประจุแบบเร็ว (Quick Charge) มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ การอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Quick Charge) และการอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Quick Charge) ซึ่งทั้งสองรูปแบบสามารถทำการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจนถึงระดับ 80% ภายในระยะเวลาอันสั้น แต่เนื่องจากวิธีการอัดประจุนี้ใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างสูง จึงทำให้ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส วิธีการอัดประจุนี้จึงเหมาะกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบสาธารณะ (EV Station) ที่ต้องการความรวดเร็วในการชาร์จ โดยสามารถแสดงหัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบเร็ว ดังรูปที่ 3.9

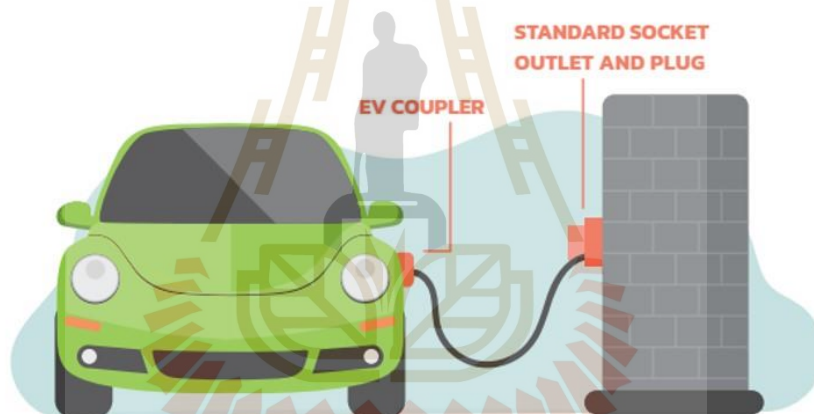


รูปที่ 3.9 หัวจ่ายที่รองรับการอัดประจุแบบเร็ว
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

2. การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย เป็นการอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้การอัดประจุแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีสายไฟในระหว่างการอัดประจุ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนาประสิทธิภาพในการชาร์จอยู่

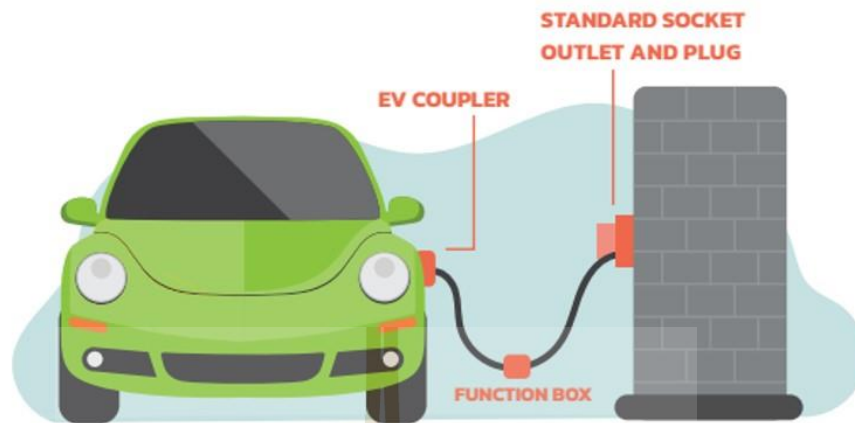
โดยในปัจจุบันสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้มีการพัฒนารูปแบบการเชื่อมต่อในการอัดประจุและระดับความปลอดภัยเพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับผู้เข้ามาใช้บริการ โดยสามารถแบ่งรูปแบบของการเชื่อมต่อได้ 4 โหมด ดังต่อไปนี้

โหมดที่ 1 (Mode 1) เป็นการอัดประจุแบบชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านตัวรับมาตรฐานที่มีการติดตั้งทั่วไปในบ้านพักอาศัย มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 16 A ซึ่งภายในโหมดนี้ระบบไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยต้องผ่านมาตรฐานความปลอดภัยและมีการติดตั้งสายดิน อุปกรณ์ตัดไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว สามารถแสดงรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 1 ได้ รูปที่ 3.10



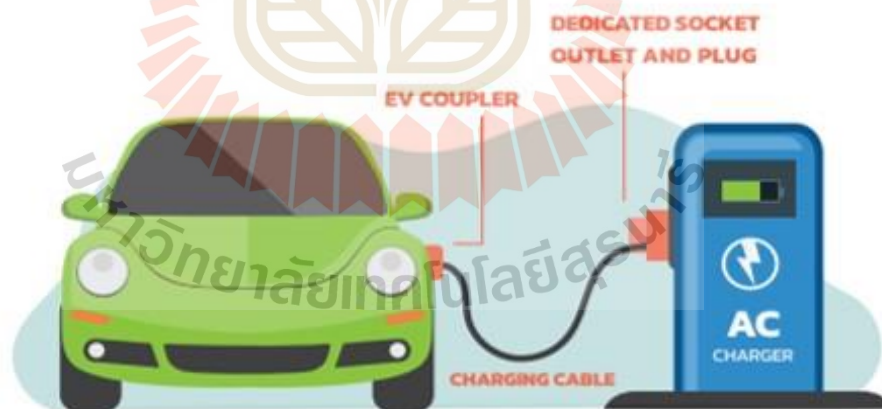
รูปที่ 3.10 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 1
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

โหมดที่ 2 (Mode 2) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส หรือ 3 เฟส ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านตัวรับที่ติดตั้งทั่วไปตามบ้านพักอาศัย โดยการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 2 มีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าติดตั้งมาพร้อมกับสายเคเบิลเพื่อความปลอดภัยที่เพิ่มมากขึ้นจากโหมดที่ 1 สามารถแสดงรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 2 ดังรูปที่ 3.11



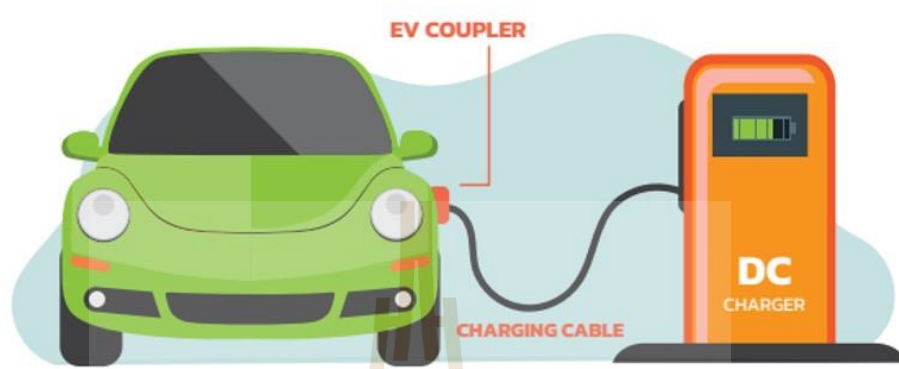
รูปที่ 3.11 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 2
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

โหมดที่ 3 (Mode 3) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก มีการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและควบคุมความปลอดภัยได้ดีกว่าโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 สามารถแสดงรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 3 ดังรูปที่ 3.12



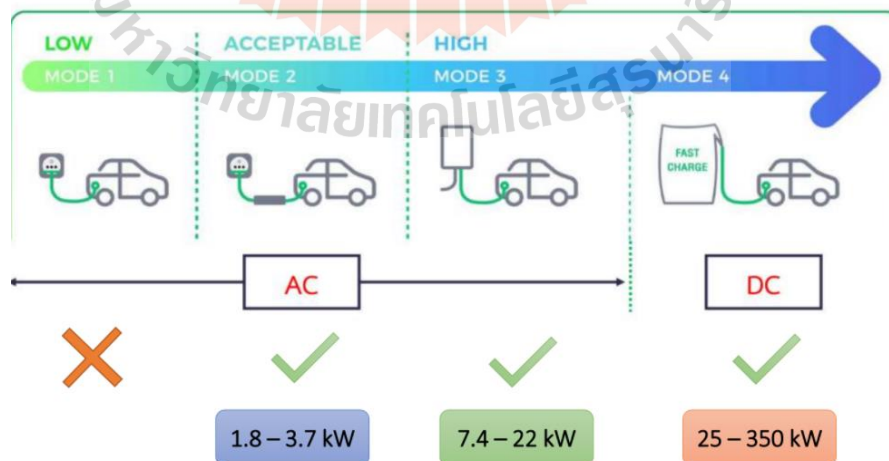
รูปที่ 3.12 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 3
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

โหมดที่ 4 (Mode 4) เป็นการอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยตรงโดยเครื่องอัดประจุไฟฟ้ามีระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยที่ยานยนต์ไฟฟ้าถูกต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้า แสดงรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4 ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าทั้ง 4 โหมดเป็นเพียงมาตรฐานสำหรับการอัดประจุไฟฟ้า โดยโหมดที่ 1 – 3 เป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนโหมดที่ 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้โหมดที่ 1 และ 2 เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการอัดประจุที่บ้านพักอาศัย ส่วนโหมดที่ 3 และโหมดที่ 4 เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นมาตรฐานสำหรับสถานีให้บริการอัดประจุไฟฟ้าหรือสถานที่ให้บริการอัดประจุไฟฟ้าในห้างสรรพสินค้าเพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน โดยสามารถแสดงความแตกต่างของรูปแบบการอัดประจุทั้ง 4 โหมดได้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ความแตกต่างของรูปแบบการอัดประจุทั้ง 4 โหมด
ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นมีรูปแบบของสถานีที่แตกต่างกันออกไป โดยในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ ตามแหล่งพลังงานที่ใช้ ดังต่อไปนี้

1. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid) เป็นรูปแบบการติดตั้งสถานีที่มีการติดตั้งเครื่องอัดประจุไฟฟ้า (EV Charger) ในสถานี โดยภายในสถานีอัดประจุนี้นี้มีการนำพลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้ามาใช้เป็นแหล่งให้พลังงาน ยกตัวอย่างสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีการติดตั้งที่ปั้มบางจาก สาขาชะอำปาร์ค จังหวัดเพชรบุรี ดังรูปที่ 3.15



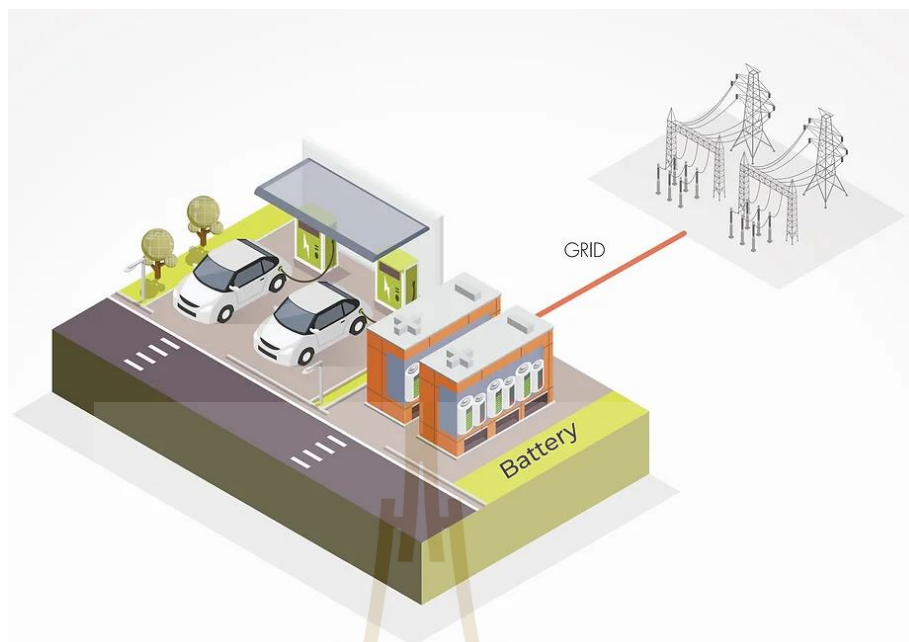
รูปที่ 3.15 สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าติดตั้งที่ปั้มบางจากสาขาชะอำปาร์ค จังหวัดเพชรบุรี
ที่มาภาพ: <https://mgronline.com/local/detail> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]

2. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบโครงข่ายไฟฟ้า เป็นรูปแบบของสถานีที่มีการใช้แหล่งพลังงานมากกว่า 1 แหล่งมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานี โดยมีการใช้แหล่งพลังงานจากการไฟฟ้าร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น ซึ่งแหล่งพลังงานอื่นในที่นี้สามารถยกตัวอย่างได้ เช่น แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานจากลม เป็นต้น ยกตัวอย่างสถานีอัดประจของวอลโว่ พระนคร สาขาวิภาวดี แสดงดังรูปที่ 3.16 โดยสถานีนี้มีการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยใช้แผงโซล่าเซลล์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากนั้นนำกระแสไฟที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องอัดประจุชาร์จไฟ (Wall box) เพื่อชาร์จไฟให้กับยานยนต์ไฟฟ้า (EV) แต่ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ไม่เพียงพอต่อการใช้งานระบบก็จะดึงกระแสไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้ามาทดแทนโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.16 สถานีอัดประจุไฟฟ้าของบริษัทวอลโว่พระนคร สาขาวิภาวดี
ที่มาภาพ: <http://www.togetherdriven.com/car/volvo> [เข้าถึงเมื่อ 21 ก.พ. 2567]

3. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน เป็นรูปแบบของสถานีที่มีการนำระบบกักเก็บพลังงานมาใช้เพื่อกักเก็บพลังงานไว้ในช่วงที่ค่าไฟถูก ยกตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลา 22:00 -09:00 น. อัตราค่าไฟแบบ TOU มีราคาถูกกว่าในช่วง 09:00 – 22:00 น. ถ้าในช่วง 22:00 -09:00 น. ไม่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการและระบบกักเก็บพลังงานไม่ได้อยู่ในสถานะเต็ม สถานีรูปแบบนี้ทำการอัดประจุในช่วงเวลาดังกล่าวแล้วนำไปให้บริการอัดประจุไฟฟ้าในช่วงที่ราคาค่าไฟแพง แสดงรูปแบบของสถานี ดังรูปที่ 3.17



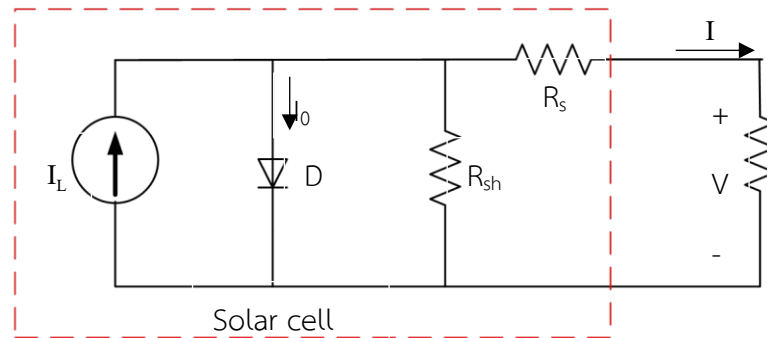
รูปที่ 3.17 สถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

ที่มาภาพ: (กระทรวงพลังงาน)

ในวิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบโครงข่ายไฟฟ้า แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบโครงข่ายไฟฟ้า คือ ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์เชื้อเพลิง แต่เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความผันผวนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเกิดการประยุกต์โดยมีการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรองรับความผันผวนนี้

3.3 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงให้ได้ออกมาเป็นกระแสไฟฟ้า โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถได้กระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งาน โดยที่คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสขนานกับไดโอด ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยคุณลักษณะทางกระแสต้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \frac{q(V + IR_s)}{AKT} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

โดยที่	I	คือ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
	I_L	คือ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแสงตกกระทบ (A)
	I_0	คือ กระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด (A)
	q	คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} (C)
	T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{K}$)
	A	คือ ตัวประกอบทางอุดมคติ
	K	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} J/ $^{\circ}\text{K}$
	V	คือ แรงดันที่ขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์ (V)
	R_s	คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)
	R_{sh}	คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง (Radiation Intensity) และอุณหภูมิสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (3.2)

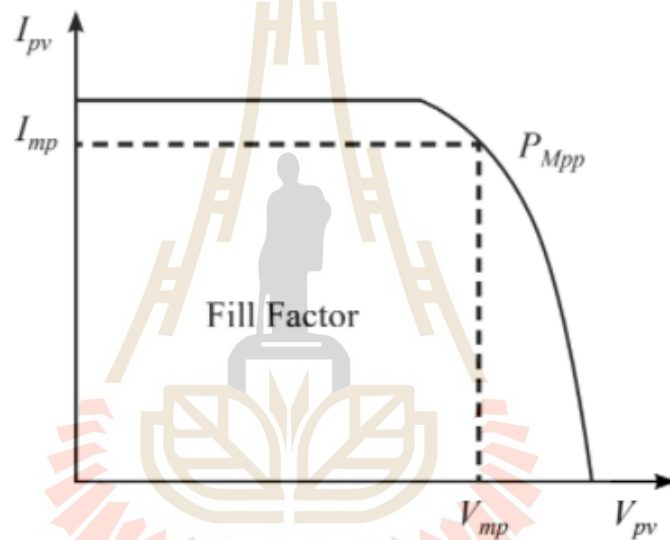
$$I = (I_{sc} + K_i(T - T_{ref})) \times \frac{\lambda}{1000} \quad (3.2)$$

K_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสตรงจอร์ ($A/^\circ C$)

T_{ref} คือ ค่าอุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ $25^\circ C$ หรือ $298^\circ K$

λ คือ ค่าความเข้มแสง (W/m^2)

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน (I-V Curve) หากอุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ กราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งมีจุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point : MPP) อยู่ที่ตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_{mp} และกระแสไฟฟ้าสูงสุด I_{mp} โดยประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.19 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (3.3)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

FF คือ ฟิลล์แฟคเตอร์ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.4)

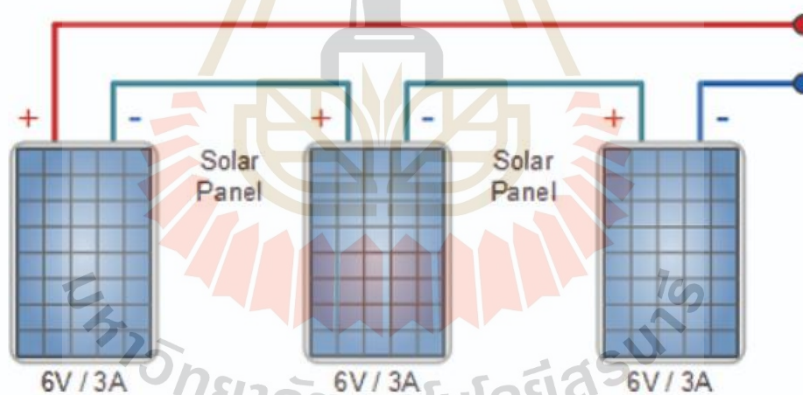
$$FF = \frac{V_{mp}I_{mp}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (3.4)$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

3.3.1 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

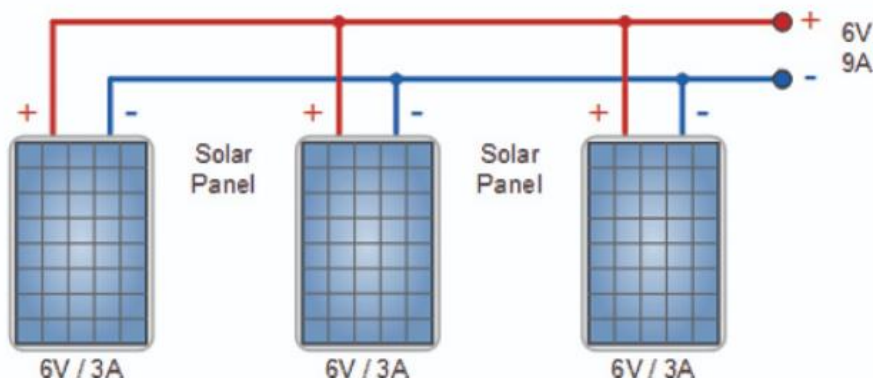
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับนิยมอย่างมากในการนำมาใช้เพื่อลดค่าไฟฟ้าการใช้ไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ทั้งนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพิกัด 1 แผง ประมาณ 300 – 600 W เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อความต้องการของโหลดจึงต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันเพื่อให้ได้พิกัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้งานมี 2 แบบดังต่อไปนี้

1. การต่อแบบอนุกรม คือ การต่อเอาขั้วบวกและขั้วลบต่อเข้าหากัน (ต่อสลับขั้วกัน) การต่ออนุกรมนี้ทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าคงเดิม นิยมใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มแรงดันให้เท่ากับแรงดันที่โหลดต้องการ ยกตัวอย่างการต่อแบบอนุกรม ดังรูปที่ 3.20 โดยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 6 V กระแสไฟฟ้า 3 A มาต่ออนุกรมกัน 3 แผง จะได้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแรงดัน 18 V และกระแสไฟฟ้า 3 A



รูปที่ 3.20 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

2. การต่อแบบขนาน คือ การต่อแบบขั้วบวกต่อกับขั้วบวก ขั้วลบต่อกับขั้วลบ (ขั้วเหมือนกันต่อเข้าด้วยกัน) การต่อขนานทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนแรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการใช้กระแสไฟฟ้ามาก ยกตัวอย่างการต่อขนานได้ ดังรูปที่ 3.21 โดยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 6 V กระแสไฟฟ้า 3 A มาต่อขนานกัน 3 แผง จะได้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแรงดัน 6 V และกระแสไฟฟ้า 9 A



รูปที่ 3.21 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

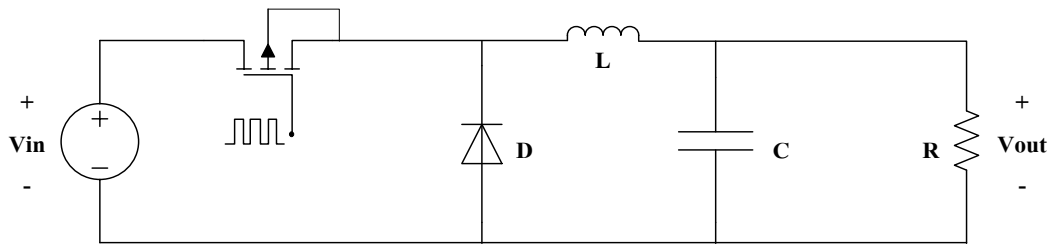
โดยพบว่าหากมีการนำแผงโซลาร์เซลล์มาต่อกันต้องมีการคำนึงถึงอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) สายไฟกระแสตรง เนื่องจากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันทั้งแบบขนานและอนุกรม จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ในการเลือกใช้สายไฟต้องคำนึงถึงพิกัดกระแสและแรงดัน โดยต้องทำการออกแบบสายไฟให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบทางไฟฟ้า

2) MC4 Connector โดย MC ย่อมาจาก Multi-Contact และ 4 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน่วยมิลลิเมตร โดย MC4 เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อทางไฟฟ้าที่นิยมใช้สำหรับเชื่อมต่อสายไฟของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน ทั้งนี้หากมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบขนานจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น ทำให้ในการเลือกใช้พิกัดของ MC4 ต้องให้ความสำคัญกับพิกัดของกระแส โดยพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำไปคูณกับค่า safety factor (1.25) เพื่อหาค่ากระแสสูงสุดของระบบแล้วจึงนำไปเลือกพิกัดของ MC4

3.3.2 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัคค์และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานต้องมีการคำนึงถึงพิกัดของโหลด เนื่องจากหากนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานให้กับโหลดที่มีพิกัดแรงดันมากกว่าจะส่งผลให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถเป็นแหล่งพลังงานได้ เนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าจะไหลจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำและหากนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปเป็นแหล่งพลังงานให้กับโหลดที่มีพิกัดแรงดันน้อยกว่ามากจะส่งผลให้เกิดความต่างศักย์มากอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ จึงทำให้ต้องมีการแปลงผันแรงดันจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนแล้วจึงนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน โดยเนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีผลรวมของค่าแรงดันมากกว่าแรงดันของโหลด จึงต้องมีการใช้วงจรแปลงผันแบบบัคค์เพื่อลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบักคัก

จากรูปที่ 3.22 พบว่าสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักคักได้ดังสมการที่ (3.5)

$$V_{out} = DV_{in}$$

โดยที่	V_{out}	คือ แรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักคัก (V)
	V_{in}	คือ แรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบักคัก (V)
	D	คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของวงจรแปลงผันแบบบักคัก
	L	คือ ตัวเหนี่ยวนำ (H)
	C	คือ ตัวเก็บประจุ (F)
	R	คือ ตัวต้านทาน (Ω)

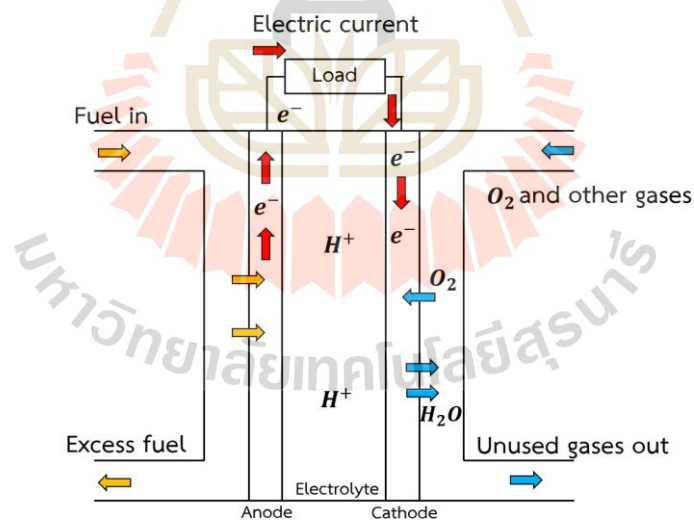
โดยในวิทยานิพนธ์จะนำวงจรแปลงผันแบบบักคัก โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่เพื่อให้จุดทำงานของแรงดันอินพุตเข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

การเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่โดยอาศัยการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) คือ ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบที่เอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุลงในแบตเตอรี่

3.4 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง (Proton Exchange Membrane :PEM Fuel) เป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่เริ่มได้รับความสนใจที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีความผันผวน โดยเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ แอโนดและแคโทด สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าด้วยหลักการไฟฟ้าเคมี โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วอิเล็กโทรดในแต่ละด้าน เซลล์เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ คือ ก๊าซไฮโดรเจนถูกจ่ายเข้าที่ขั้วแอโนด ส่วนก๊าซออกซิเจนจะเข้าทางขั้วแคโทดทำหน้าที่เป็นสารออกซิแดนท์และใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าก๊าซไฮโดรเจน ผลของปฏิกิริยาทางเคมีทำให้เกิดไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (e^-) ที่หลุดออกมาจากอะตอมของไฮโดรเจน ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของ เซลล์เชื้อเพลิง คือ ไฟฟ้ากระแสตรง ความร้อน และน้ำบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 3.23

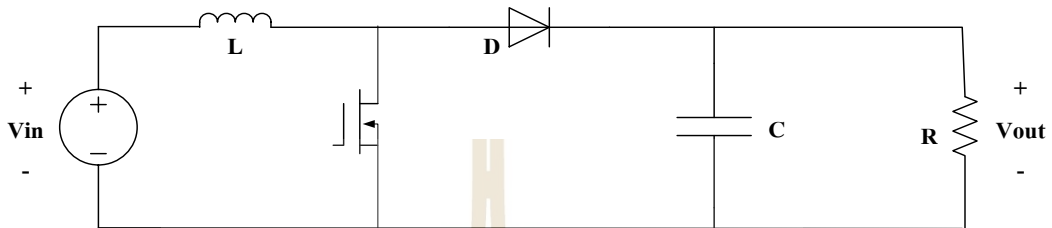
อธิบายตามทฤษฎีหลักการทางเคมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงตามรูป มี 2 สมการดังสมการที่ (3.6) และ (3.7)



รูปที่ 3.23 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

3.4.1 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัส

เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีค่าแรงดันน้อยกว่าแรงดันของระบบกักเก็บพลังงาน จึงต้องมีการใช้วงจรแปลงผันแบบบัสเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบัส ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัส

โดยสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้จากสมการที่ (3.8)

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (3.8)$$

โดยที่ V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัส (V)

V_{in} คือ แรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัส (V)

D คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของวงจรแปลงผันแบบบัส

R คือ ตัวต้านทาน (Ω)

ค่าความเหนี่ยวนำ (L) คือ ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำได้ ดังสมการที่ 3.9

$$L = \frac{V_{in}(V_{out} - V_{in})}{f \Delta I_L V_{out}} \quad (3.9)$$

โดยที่ L คือ ตัวเหนี่ยวนำ (H)

f คือ ความถี่ (Hz)

ΔI_L คือ กระแสไฟฟ้าพลั่ว (A)

ค่าตัวเก็บประจุ (C) คือ ตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถหาค่าตัวเก็บประจุได้ดัง สมการที่ 3.10

$$C = \frac{I_{out}(V_{out} - V_{in})}{f \Delta V_C V_{out}} \quad (3.10)$$

โดยที่ C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

ΔV_C คือ แรงดันไฟฟ้าพลั่ว (V)

3.5 ระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงานถูกพัฒนาและใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งในระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการนำระบบกักเก็บพลังงานมากักเก็บพลังงานไว้ในช่วงที่ราคาค่าไฟถูก แล้วนำพลังงานจากระบบกักเก็บพลังงานไปใช้ในช่วงที่ราคาค่าไฟแพง หรือแม้แต่การนำระบบกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ในระบบที่มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดการผันผวนของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพฤติกรรมผลิตไฟฟ้าตามความเข้มของแสง กล่าวคือเมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าออกมาได้มากแต่ไม่มีโหลดหรือผลิตไฟฟ้าได้เกินกว่าความต้องการของโหลด ก็นำพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินนี้ไปกักเก็บไว้ที่ระบบกักเก็บพลังงาน โดยสามารถแบ่งประเภทของระบบกักเก็บพลังงานได้ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System: BESS) เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่มีการนำแบตเตอรี่มากักเก็บพลังงานส่วนเกินหรือกักเก็บพลังงานในช่วงที่ราคาค่าไฟถูกแล้วนำพลังงานที่กักเก็บไว้ไปใช้ในตอนที่โหลดมีความต้องการการใช้พลังงานงานไฟฟ้ามากหรือนำไปใช้ในตอนที่ราคาค่าไฟแพง โดยระบบกักเก็บพลังงานประเภทนี้นิยมอย่างมากในระบบที่มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าสูงจึงต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อรองรับความผันผวน

2. โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydro Plant) เป็นระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการเก็บและผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยระบบนี้ใช้หลักการของการเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของพลังในระบบน้ำ เมื่อมีความต้องการในการผลิตพลังงานไฟฟ้า น้ำจะถูกปล่อยให้ไหลลงผ่านเครื่องกลไฟฟ้าเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับสามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องสูบน้ำเมื่อต้องการเก็บพลังงาน และเป็นเครื่องผลิตไฟฟ้าเมื่อต้องการใช้งานได้ ระบบนี้มักถูกใช้ในการจัดการกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การใช้งานมากในช่วงเวลากลางวันและต้องการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น และการใช้งานน้อยในช่วงเวลากลางคืน โดยสามารถเก็บพลังงานในช่วงเวลานี้ไว้ใช้ในเวลาที่มีความต้องการมากขึ้น ทำให้เป็นการใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. ระบบกักเก็บพลังงานด้วยเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับพลังงานลม (Wind-Hydrogen Hybrid System) เป็นระบบที่มีการกักเก็บพลังงานในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจน กล่าวคือเมื่อกังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าได้เกินกว่าความต้องการของโหลด จะเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินนี้ไปเข้าสู่เครื่องแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolyser) ทำหน้าที่แยกน้ำออกจนได้เป็นก๊าซออกซิเจนกับก๊าซไฮโดรเจน โดย

เมื่อผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะถูกนำไปกักเก็บไว้ที่ถังบรรจุและเมื่อโพลดมีความต้องการไฟฟ้าสูงก็จะนำก๊าซไฮโดรเจนในถังที่กักเก็บไว้มาผลิตไฟฟ้าผ่านเซลล์เชื้อเพลิง

3.6 สรุป

ในบทที่ 3 นี้นำเสนอมาตรฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัคค์และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เซลล์เชื้อเพลิง วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์และระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งเป็นรายละเอียดพื้นฐานสำหรับทำความเข้าใจที่ถูกนำมาปรับให้เหมาะสมกับระบบภายในวิทยานิพนธ์ซึ่งจะนำเสนอในบทถัดไป โดยในบทถัดไปกล่าวถึงหลักการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน



บทที่ 4

การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ควบคุมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว โหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

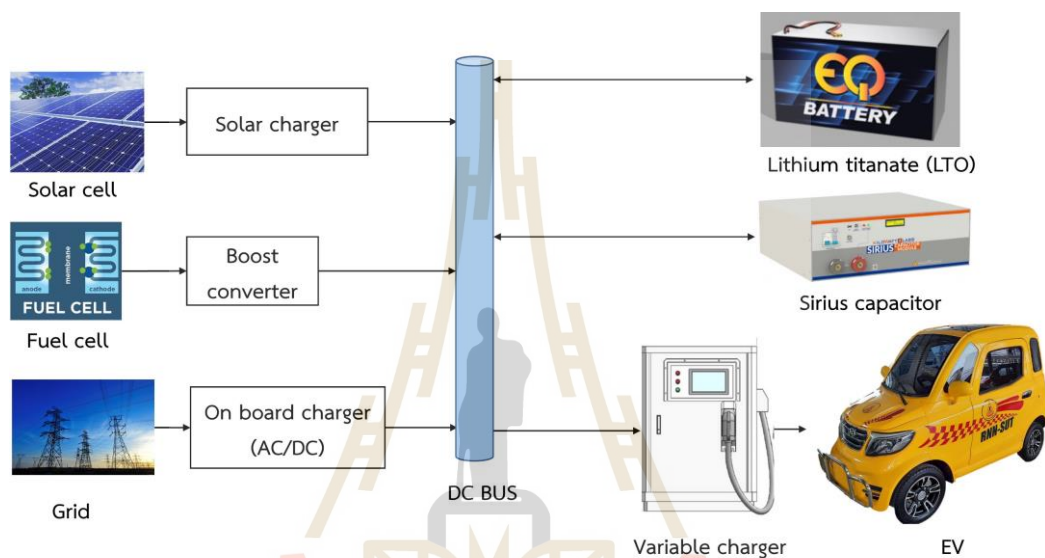
4.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกับแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบโครงข่ายไฟฟ้า แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้านอกระบบโครงข่ายไฟฟ้า คือ เซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์เชื้อเพลิง แต่เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความผันผวนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเกิดการประยุกต์โดยมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่เพื่อรองรับความผันผวนนี้และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่นั้นมีหลายประเภท ทั้งนี้เพื่อให้เป็นการรองรับการพัฒนาของระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่แพร่หลาย ภายในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิด LTO และแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงานร่วมกัน และเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า สถานีอัดประจุนี้จึงพิจารณาให้เป็นสถานีที่ผสมผสานพลังงานระหว่างแหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานเป็นหลัก โดยมีแหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง

4.2 การออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมดกระแสตรง ที่มีการนำแหล่งพลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์เชื้อเพลิงมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยมีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อรองรับการผันผวนของการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยรูปที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พัฒนาซึ่งประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานร่วมกับโซล่าชาร์จเจอร์เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกให้มีค่าเหมาะสมแรงดันของแบตเตอรี่และเป็นการดึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด เซลล์เชื้อเพลิงทำงานร่วมกับวงจรแปลงผันแบบบูสต์เพื่อเพิ่มแรงดันให้มีค่าเท่ากับแบตเตอรี่ มีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเป็นตัวกักเก็บพลังงานในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากแต่ไม่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาอัดประจุ โดยมีระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ต่างชนิดกัน 2 ชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิด LTO และแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงานร่วมกัน

นอกจากนี้ยังมีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรองในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอหรืออยู่ในช่วงเวลากลางคืนแต่เนื่องจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ระบบที่วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเป็นระบบกระแสตรง ทำให้ต้องมีการเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยทำการเรียงกระแสผ่าน on board charger โดยส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแบบผสมผสานไปยังยานยนต์ไฟฟ้าผ่าน Variable charger (VC) พิกัด 48 V 200 A ที่มีหัวชาร์จ 2 ประเภท คือ หัวอัดประจุแบบ GB และแบบคียบ โดยที่หัวอัดประจุแบบคียบสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามทีโหลดต้องการ



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พัฒนา

4.2.1 การออกแบบและการติดตั้งระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบพิกัดของพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

1) การประมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าภายในสถานี

สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นสถานีที่ใช้พลังงานหลักจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์เชื้อเพลิง ทำให้ต้องมีการออกแบบแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด โดยภายในสถานีที่พิจารณามีการแบ่งโหลดออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. ยานยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งแบตเตอรี่ on-board ชนิด LTO พิกัด 48 V 40 AH ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่ติดตั้ง on-board ในยานยนต์ไฟฟ้า

พิจารณาให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีพฤติกรรมมาอัดประจุไฟที่สถานีอัดประจุแล้วนำรถไปวิ่งทดสอบ การใช้งานพบว่า แบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 48-49 V หรือ %SOC มีค่ามากกว่า 85% ขณะทดสอบวิ่งที่ความเร็ว 17 km/hr. พบว่ายานยนต์ไฟฟ้าสามารถขับได้ระยะทาง 20 กิโลเมตร โดยใช้เวลาประมาณ 1.30 - 2 ชั่วโมง กำหนดให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีพฤติกรรมไปทดสอบและกลับมาอัดประจุเป็นจำนวน 3 รอบ/วัน

$$\text{โหลดยานยนต์ไฟฟ้า} = 1.92 \text{ kWh} \times 3 = 5.76 \text{ kWh/day}$$

2. แบตเตอรี่ที่ทำหน้าที่เป็นระบบกักเก็บพลังงาน (BESS) ภายในสถานีแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะของระบบกักเก็บพลังงาน

Type of Storage System	Sirius Capacitor	LTO
ความจุพลังงาน (Capacity of Module: kWh)	3.55	1.92
แรงดันไฟฟ้า (Nominal Voltage: V)	48	48
ความจุมาตรฐาน (Standard capacity: Ah)	74	40
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Full charge voltage: V)	54	52
ค่าสถานะประจุ (Initial state of charge: (SOC))	98	98
อัตราการชาร์จ (Charging rate)	1.7C	1C

โหลดของระบบกักเก็บพลังงาน = 3.55 kWh + 1.92 kWh = 5.47 kWh/day

เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าโหลดรวมทั้งหมดของระบบที่พิจารณามีค่าเท่ากับ

Total Load = โหลดยานยนต์ไฟฟ้า + โหลดของระบบกักเก็บพลังงาน

Total Load = 5.76 kWh + 5.47 kWh = 11.23 kWh/day

2) การหาพิกัดของระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากที่รู้การประมาณโหลดของระบบได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาพิกัดแผงและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยภายในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเนื่องจากสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ทั้งแผงทางด้านหน้าและด้านหลัง แผงทางด้านหลังสามารถรับแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวของการติดตั้งโดยที่แต่ละพื้นผิวมีค่าการสะท้อนที่แตกต่างกัน ทำการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าพิกัด 430 W แสดงข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าแสดงสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 โดยที่ข้อมูลจำเพาะนี้เป็นข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านหน้าเท่านั้น หากต้องการได้พิกัดรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าต้องทำการพิจารณาถึงค่าการสะท้อน ซึ่งพื้นผิวของสถานีอัดประจุนี้ คือ พื้นคอนกรีตที่มีค่าการสะท้อนของแสง 20% ตารางที่ 4.3 แสดงการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า

Bifacial solar cell	
Maximum power (W)	430.00
Voltage at maximum power (V_{mp}/V)	40.60
Current at maximum power (I_{mp}/A)	10.60
Open circuit voltage (V_{oc}/V)	48.90
Short circuit current (I_{sc}/A)	11.30
Operating temperature ($^{\circ}C$)	25

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณา Abedo

Bifacial solar cell	
Maximum power (W)	516.00
Voltage at maximum power (V_{mp}/V)	48.72
Current at maximum power (I_{mp}/A)	12.71
Open circuit voltage (V_{oc}/V)	58.68
Short circuit current (I_{sc}/A)	13.56
Operating temperature ($^{\circ}C$)	25

จากค่าการประมาณโหลดและพิกัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าพิกัด 516 W สามารถคำนวณหาจำนวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{จำนวนแผง} = \frac{\text{Total Load} \times \text{Recharge factor} \times (1 + \text{Mppt loss})}{\text{Peak sun hours}} \quad (4.1)$$

$$\text{จำนวนแผง} = \frac{11.23 \text{ kWh/day} \times 1.20 \times 1.10}{5 \text{ hr/day}} = 2.96472 \text{ kW}$$

$$\text{จำนวนแผง} = \frac{2964.72 \text{ W}}{516 \text{ W}} = 5.74 \approx 6 \text{ แผง}$$

โดยที่ Total load คือ ผลรวมของการประมาณโหลด
 Recharge factor คือ ค่าแฟกเตอร์ตัวปรับคูณโดยมีค่า
 1.15 < หากไม่ใช่โหลดที่สำคัญ

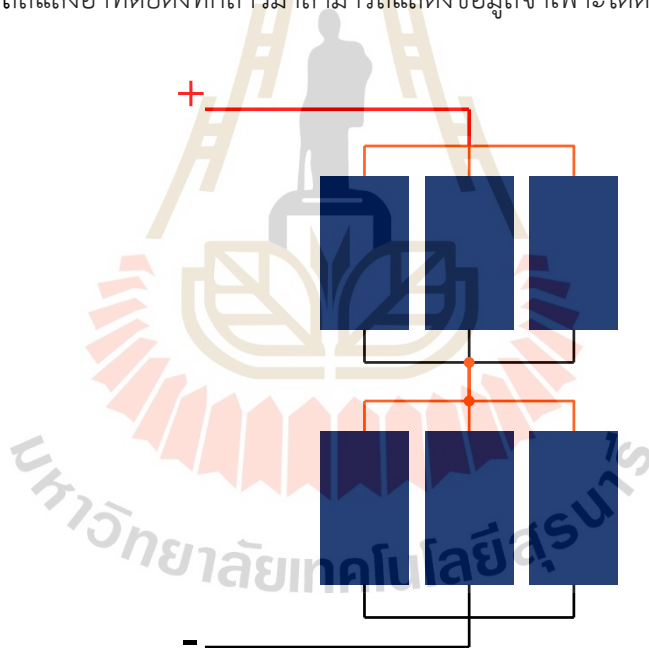
1.2 < ค่าเริ่มต้นสำหรับระบบต่างๆ

1.3 < หากระบบมีความสำคัญที่ต้องใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

Mppt loss คือ ค่าชดเชยการสูญเสีย

Peak Sun hour คือ ค่าระยะเวลาการมีแสงที่ 1 kW/m²/day

จากการคำนวณหาจำนวนแผงพบว่าหากต้องการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 516 W จำนวน 6 แผง โดยหลังจากได้พิกัดและจำนวนการติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นำมาต่อแบบขนานกัน 2 ชุด ชุดละ 3 แผง แล้วนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อแบบขนานแล้ว 2 ชุดมาต่อแบบอนุกรมกัน ซึ่งภายในวิทยานิพนธ์นี้ขอเรียกว่า การต่อแบบ 3 series box 2 parallel string ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากต้องการกระแสให้มีค่าเพียงพอสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้เวลาน้อยที่สุด แต่กระแสที่ได้ต้องไม่เกินพิกัดของกระแสที่รับได้ของระบบกักเก็บพลังงานที่แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังที่กล่าวมาสามารถแสดงข้อมูลจำเพาะได้ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 3 series box 2 parallel string

3) ชาร์จเจอร์สำหรับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การเลือกชาร์จเจอร์นั้นขึ้นอยู่กับพิกัดของระบบที่พิจารณา โดยที่ชาร์จเจอร์แบบ PWM (Pulse Width Module) เหมาะสมกับระบบที่มีกำลังไฟไม่เกิน 100 W ส่วนชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) เหมาะสมกับระบบที่มีขนาดใหญ่หรือมีกำลังไฟมากกว่า 100 W วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ชาร์จเจอร์ MPPT

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่มีการต่อแบบ 3 series box 2 parallel string

Bifacial solar cell	
Maximum power (W)	3,096.00
Voltage at maximum power (V_{mp}/V)	97.44
Current at maximum power (I_{mp}/A)	38.13
Open circuit voltage (V_{oc}/V)	117.36
Short circuit current (I_{sc}/A)	40.68
Operating temperature ($^{\circ}C$)	25

ดำเนินการติดตั้งระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่ได้ออกแบบและติดตั้งที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดย หมายเลข 1 คือ ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า
 หมายเลข 2 คือ โพลานอมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มแสง
 หมายเลข 3 คือ ยานยนต์ไฟฟ้า
 หมายเลข 4 คือ ตู้อัดประจุไฟฟ้าแบบปรับค่ากระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 4.5 การติดตั้งระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่ได้ออกแบบที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า

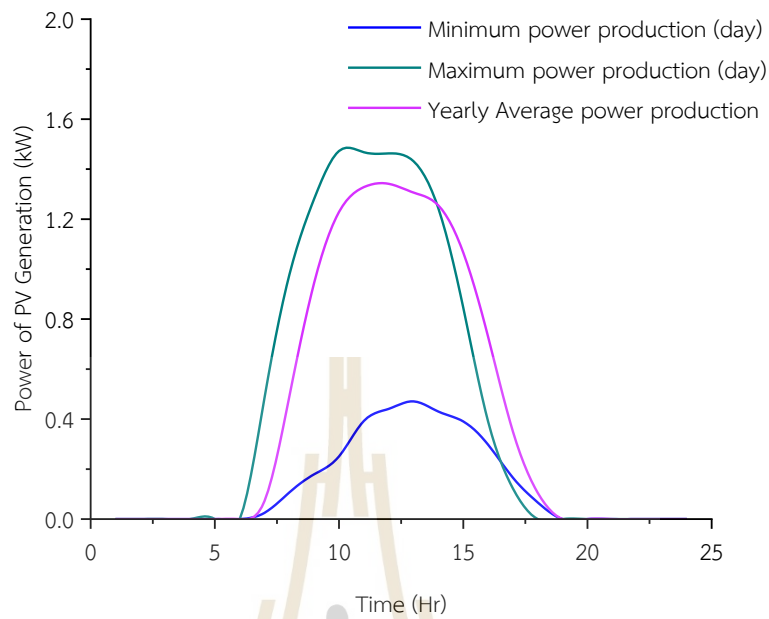
4) ผลการจำลองการติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า

จำลองผลการติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าจำนวน 6 แผง โดยทำการต่อแบบขนานกัน 3 แผง 2 ชุดแล้วนำมาต่อแบบอนุกรมกันทำให้ได้กำลังการติดตั้ง คือ 3.096 kW_p จำลองผลโดยใช้โปรแกรม PVSYSYS 7.3 เลือกการติดตั้งโดยมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

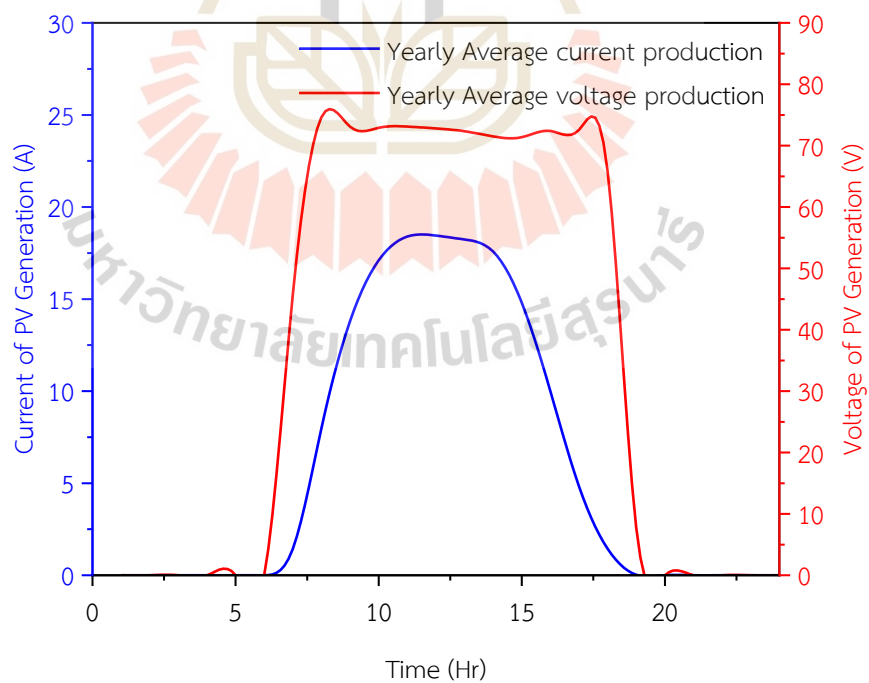
Location : Suranaree University of Technology

Azimuth : 265° tilted panels : 15°

โดยจากการจำลองพบพฤติกรรมการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงหรือสภาพภูมิอากาศในสถานที่นั้น ๆ รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มากที่สุดของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ได้น้อยที่สุดของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ โดยพบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดและน้อยที่สุด คือ 11.18 kW/day และ 3.22 kW/day ตามลำดับ และมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้เท่ากับ 10.22 kW/day โดยพบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดจากรูปที่ 4.7 พบว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีรายชั่วโมงที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้อยู่ในช่วง 68-75 V และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีรายชั่วโมงที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้พบว่ามีค่าสูงสุด คือ 18.44 A โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มแสงของสถานที่นั้น ๆ



รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้แบบรายวันจากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PVSYSY



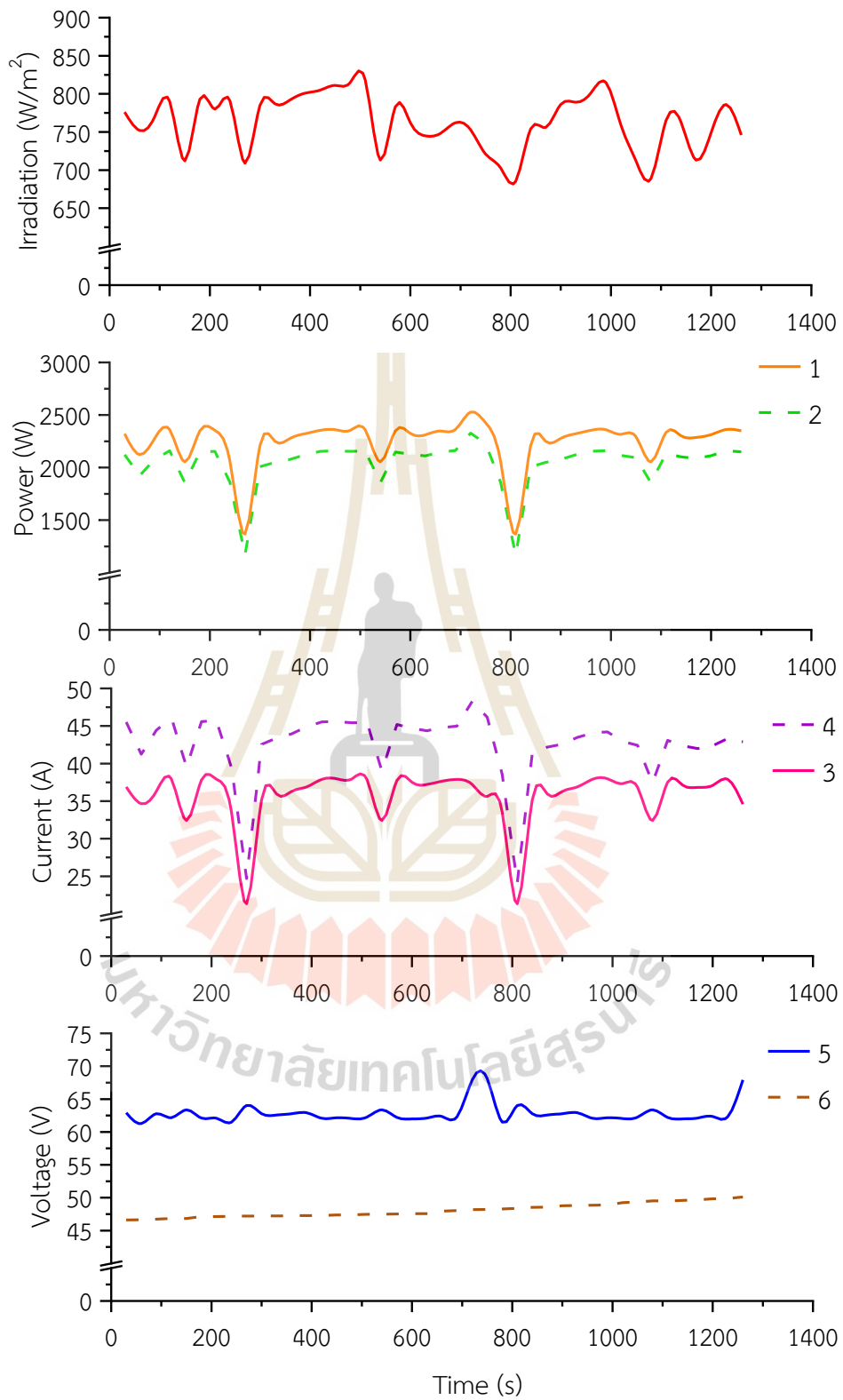
รูปที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สองหน้าผลิตได้จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PVSYSY

5) ผลการทดสอบระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่ทำงานร่วมกับโซล่าชาร์จเจอร์

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีพิกัดและการต่อดังตารางที่ 4.4 จากพิกัดแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์พบว่ามีความแรงดันที่สูงกว่าระบบกักเก็บพลังงานจึงต้องเกิดการลดแรงดันเพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมกับระบบกักเก็บพลังงาน โดยภายในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เป็น โซล่าชาร์จเจอร์จากบริษัท Apple green พิกัด 3.4 kW 60 A แสดงอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.8 ทำการต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโซล่าชาร์จเจอร์ โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้าเป็นโหลดซึ่งได้ทำการวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ๆ พบพฤติกรรมทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 โซล่าชาร์จเจอร์ พิกัด 3.4 kW 60 A



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ 3 series box 2 parallel string

- โดย หมายเลข 1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้หรือกำลังไฟฟ้าขาเข้าโซล่าชาร์จเจอร์
- หมายเลข 2 คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของโซล่าชาร์จเจอร์
- หมายเลข 3 คือ กระแสไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้หรือกระแสไฟฟ้าขาเข้าโซล่าชาร์จเจอร์
- หมายเลข 4 คือ กระแสไฟฟ้าขาออกของโซล่าชาร์จเจอร์
- หมายเลข 5 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้หรือกระแสไฟฟ้าขาเข้าโซล่าชาร์จเจอร์
- หมายเลข 6 คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกของโซล่าชาร์จเจอร์หรือแรงดันไฟฟ้าที่ชุดอัดประจุ

จากผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของสถานีที่แสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าความเข้มของแสงนั้นมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตกำลังไฟฟ้าผันผวนตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ติดตั้งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าส่งผลให้ในช่วงเวลาที่ความเข้มแสงมากแสงจะตกกระทบไปที่พื้นคอนกรีตของสถานีอัดประจุและสะท้อนกลับไปทางด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ค่าความเข้มแสงที่วัดได้และกำลังไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้ามีพฤติกรรมไม่สอดคล้องกันเล็กน้อยเพราะความเข้มแสงที่วัดได้เป็นความเข้มแสงที่วัดจากแผงเซลล์แสงแบบหน้าเดียวไม่ได้คิดถึงการสะท้อนโดยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่มีพิสัยการติดตั้ง 3.1 kW_p เมื่อมีความเข้มแสงใกล้เคียงห้องทดสอบ (1000 W/m^2) ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากถึง 2.5 kW กระแสไฟฟ้า 38 A และแรงดันไฟฟ้า 75 V ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และเมื่อนำระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าต่อเข้ากับโซล่าชาร์จเจอร์เพื่ออัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าพบว่า โซล่าชาร์จเจอร์ทำการแปลงผันแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลงมาให้มีแรงดันเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าส่งผลให้กระแสไฟฟ้าขาออกของโซล่าชาร์จเจอร์มีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าขาเข้าตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ($P_{in} = P_{out}$) แต่พบว่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าโซล่าชาร์จเจอร์มีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าขาออกของโซล่าชาร์จเจอร์นั้นเป็นเพราะเกิดการสูญเสียให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในโซล่าชาร์จเจอร์

4.2.2 การออกแบบและการติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง

เนื่องจากในระบบที่วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเป็นการศึกษาการใช้พลังงานทดแทนเข้ามาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้า จึงพิจารณาใช้เซลล์เชื้อเพลิงจากบริษัท Horizon พิกัดกำลังไฟฟ้า 200 W และแรงดัน 24 V ดังรูปที่ 4.10 เพื่อเป็นกรณีศึกษาว่าเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสามารถทำงานร่วมกับพลังงานชนิดอื่นได้ ทั้งนี้การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.995% และมีความดันอยู่ในช่วง $0.45\text{-}0.55 \text{ bar}$ หรือตาม

ข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 4.5 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงต้องมีการควบคุมการป้อนก๊าซไฮโดรเจน อุณหภูมิ การเปิดพัดลมระบายความร้อน เพื่อเป็นการควบคุมให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



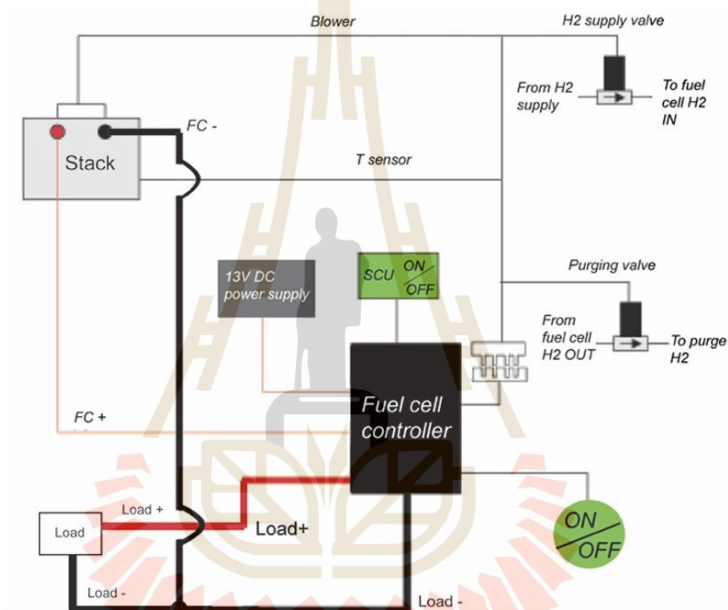
รูปที่ 4.10 เซลล์เชื้อเพลิงจากบริษัท Horizon พิกัดกำลังไฟฟ้า 200 W

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจำเพาะของเซลล์เชื้อเพลิง

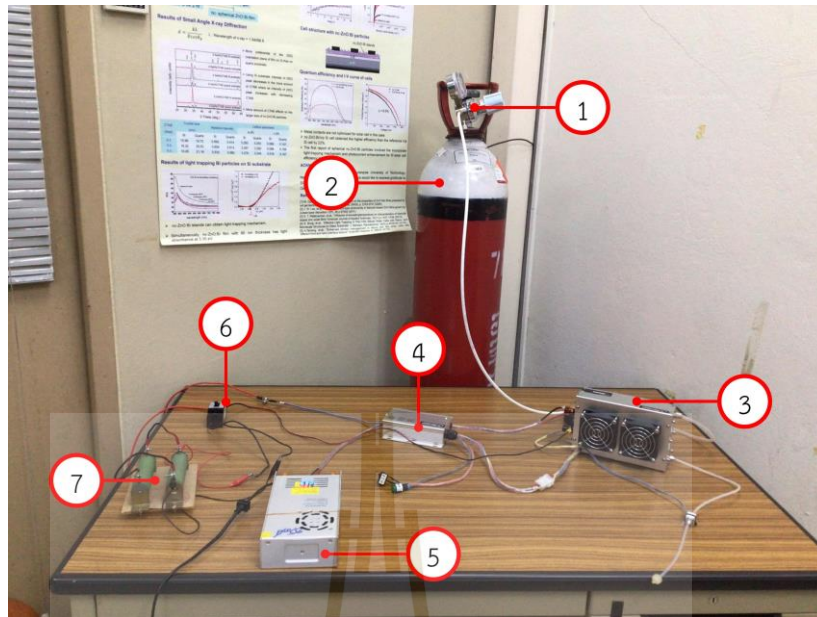
Type of fuel cell	Proton Exchange Membrane (PEM)
Number of cells	40
Rated Power (W)	200
Nominal voltage (V)	24
Nominal current (A)	8.3
Hydrogen pressure (bar)	0.45-0.55
Hydrogen purity	$\geq 99.995\%$

ผลการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ในการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 4.11 โดยใช้ตัวมีโหนด 160 W เป็นโหนด รูปที่ 4.12 แสดงขณะดำเนินการทดสอบ ทำการปรับตั้งค่าแรงดันเกจของไฮโดรเจนให้มีค่าเท่ากับ 0.45 bar แล้วจึงเปิดวาล์วให้ไฮโดรเจนไหลเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง แล้วจึงเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของโหนด พฤติกรรมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแสดง ดังรูปที่ 4.13 พบว่าในช่วงเริ่มต้นการทำงานหรือก่อนการเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์เซลล์เชื้อเพลิงจะยังไม่ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาเนื่องจากยังไม่มีโหนด ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าสูงประมาณ 30 V แต่เมื่อทำการเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เชื่อมต่อกับโหนด เซลล์เชื้อเพลิงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 150 W กระแสไฟฟ้า 5 – 6 A และแรงดันไฟฟ้า 22 – 25 V

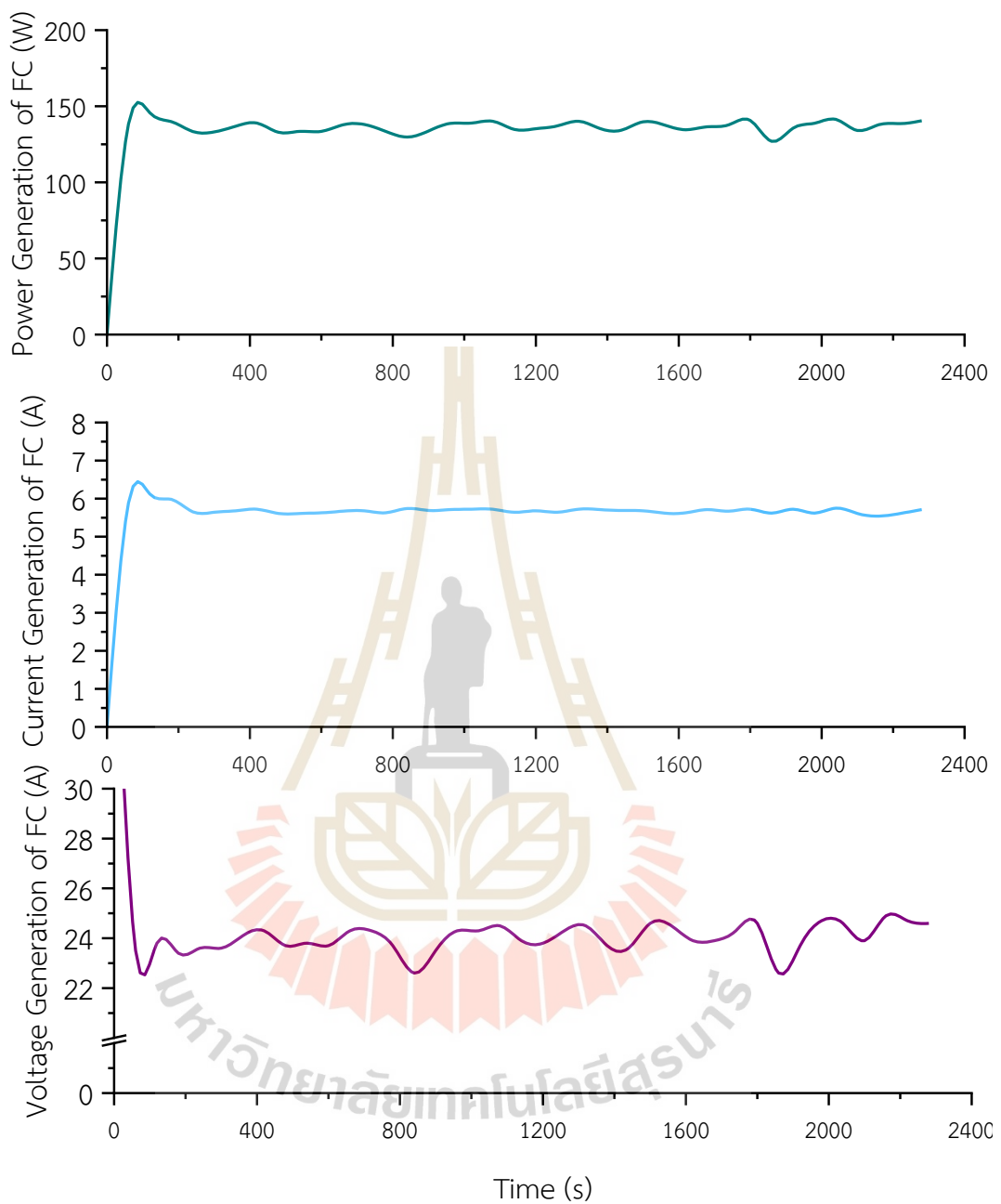


รูปที่ 4.11 ไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 4.12 การทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง

- โดย
- | | |
|-----------|---|
| หมายเลข 1 | คือ วาล์วสำหรับปรับความดันของไฮโดรเจน |
| หมายเลข 2 | คือ ถังไฮโดรเจน |
| หมายเลข 3 | คือ เซลล์เชื้อเพลิง |
| หมายเลข 4 | คือ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง |
| หมายเลข 5 | คือ แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับจ่ายพลังงานให้หมายเลข 4 |
| หมายเลข 6 | คือ เซอร์คิตเบรกเกอร์ของโหลด |
| หมายเลข 7 | คือ ดัมมี่โหลดพิกัด 160 W 10 โอห์ม |

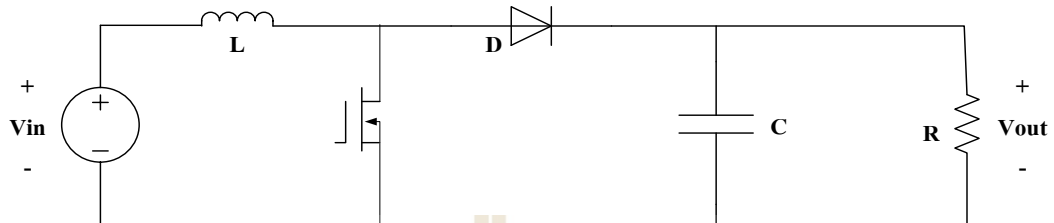


รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

1) การออกแบบและสร้างชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์

หลังจากทำการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่า แรงดันและกระแสที่ผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 22-25 V และ 5-6 A ตามลำดับ ซึ่งแรงดันขาออกของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นน้อยกว่าแรงดันของระบบกักเก็บพลังงานที่ต้องการจึงต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยวงจรแปลงผันแบบบูสต์ ซึ่งภายในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการจัดทำวงจรแปลงผันแบบบูสต์ขึ้น โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ประกอบด้วย สวิตช์ มอสเฟต

(MOSFET) ไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ แสดงวงจรรูปที่ 4.14 โดยการออกแบบอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรต้องคำนึงถึงพิกัดของแรงดันและกระแส เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในวงจร



รูปที่ 4.14 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบัสต์

โดยมีพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบัสต์ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบัสต์

แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_{in} :V)	24
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out} :V)	53
กระแสไฟฟ้าขาออก (I_o :A)	4.7
กระแสไฟฟ้าพลั่ว (ΔI_L : A)	< 0.417
แรงดันไฟฟ้าพลั่ว (ΔV_C : V)	< 0.53
ความถี่ (f : กิโลเฮิร์ตซ์)	31.25

จากพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.6 สามารถนำมาคำนวณค่า L , C และ d ได้ดังสมการที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ดังต่อไปนี้

$$L = \frac{V_{in}(V_{out} - V_{in})}{f \Delta I_L V_{out}} \quad (4.2)$$

ดังนั้น

$$L = \frac{24(53 - 24)}{31.25 \times 10^3 \times 0.417 \times 53} = 1.01 \text{mH}$$

$$C = \frac{I_{out}(V_{out} - V_{in})}{f \Delta V_C V_{out}} \quad (4.3)$$

ดังนั้น

$$C = \frac{4.7 \times (53 - 24)}{31.25 \times 10^3 \times 0.53 \times 53} = 137.76 \mu\text{F}$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (4.4)$$

ดังนั้น
$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{24}{53} = 0.54 \text{ หรือ } 54\%$$

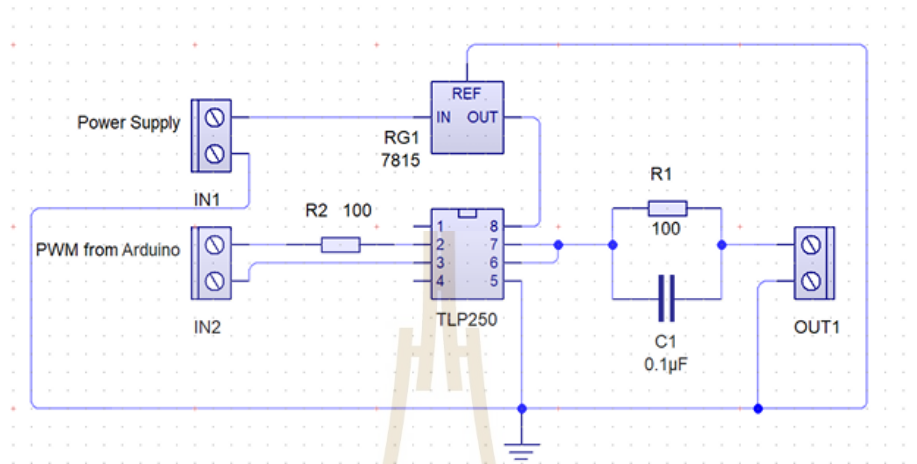
โดยที่	V_{out}	คือ แรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัสต์ (V)
	V_{in}	คือ แรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัสต์ (V)
	D	คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของวงจรแปลงผันแบบบัสต์
	L	คือ ตัวเหนี่ยวนำ (H)
	f	คือ ความถี่ (Hz)
	ΔI_L	คือ กระแสไฟฟ้าพลั่ว (A)
	C	คือ ตัวเก็บประจุ (F)
	ΔV_C	คือ แรงดันไฟฟ้าพลั่ว (V)

เมื่อได้พิกัดของ L และ C จึงเลือกใช้อุปกรณ์ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบัสต์

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
มอสเฟต	130 A, 200 V	IRFP4668PbF
ไดโอด	80 A, 600 V	RURG8060
ตัวเหนี่ยวนำ	1 mH	-
ตัวเก็บประจุ	2200 μ F, 100 V	Electrolytic Capacitor
ตัวต้านทานไฟฟ้า	100 Ω , 1/2 W	-

ดำเนินการออกแบบวงจรขั้วเกจเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยใช้ IC TLP250 เป็นตัวขับขาเกจของมอเตอร์ และ IC 7815 เป็นไฟเลี้ยงให้วงจรขั้วเกจ แสดงวงจรขั้วเกจ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงจรขั้วเกจโดยใช้ IC TLP250

เนื่องจากชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์ต้องมีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ทำให้ต้องมีการออกแบบวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า ใช้ Arduino Mega ในการวัดแต่เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดมีค่ามากกว่า 5 V ซึ่งมากเกินไปที่ port Arduino Mega รับได้ ทำให้ต้องใช้หลักการแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ดังสมการที่ 4.5 เพื่อลดระดับแรงดันให้ port Arduino Mega สามารถอ่านค่าได้

โดย มีเงื่อนไขสำหรับการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้างานนี้

$$V_{\text{out}} = 5 \text{ V}$$

$$V_{\text{in}} = 30 \text{ V}$$

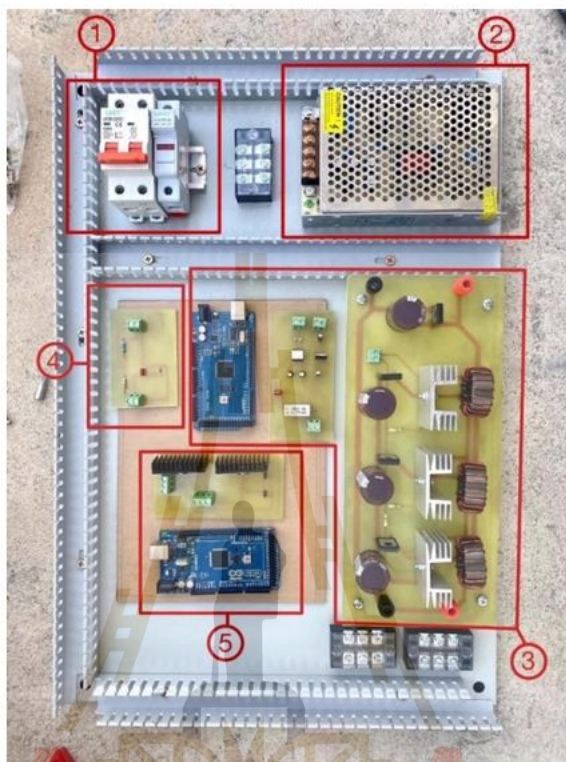
$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\text{หลักการแบ่งแรงดัน} \quad V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.5)$$

$$\text{จะได้} \quad 5 = \frac{30 \times 20 \times 10^3}{R_1 + (20 \times 10^3)}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

จากการออกแบบพารามิเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันแบบบูสต์สามารถนำมาสร้างเป็นชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 องค์ประกอบภายในชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์

- โดยที่
- หมายเลข 1 คือ ชุดอุปกรณ์ป้องกัน
 - หมายเลข 2 คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 V 3 A
 - หมายเลข 3 คือ ชุดวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 4 คือ วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า
 - หมายเลข 5 คือ วงจรพัลลวมระบายความร้อน

2) ผลการทดสอบการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์

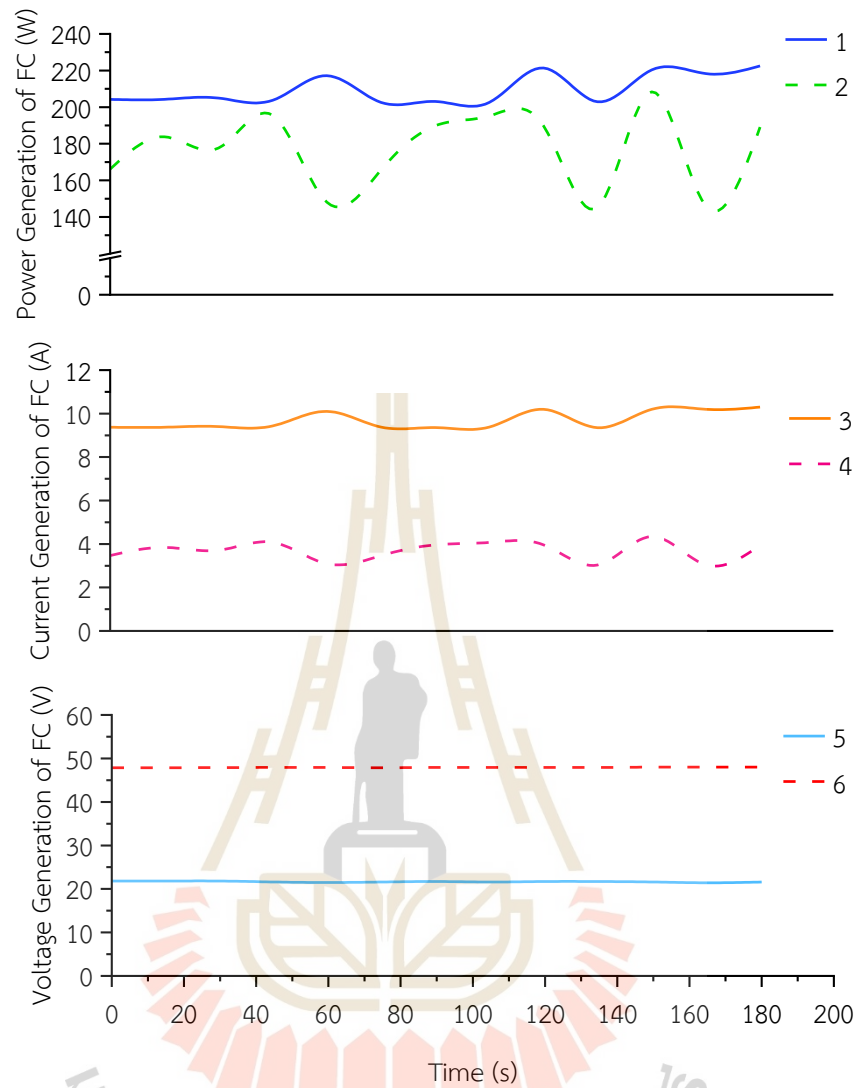
นำวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่ได้เชื่อมต่อสายไฟเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 4.17 มาทำการทดสอบโดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเป็นโหลด พบว่าชุดวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์ที่จัดทำขึ้น สามารถแปลงผันแรงดันไฟฟ้า 21 – 24 V ให้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้แสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.18 และพบว่าชุดวงจรแปลงผันแบบบูสต์ทำงานโดยมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 80 ถึง 96 %



รูปที่ 4.17 วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์

โดยวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติจำนวน 1 บทความ โดยจะแสดงบทความฉบับสมบูรณ์ไว้ในภาคผนวก ข. ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดวงกมล ประเสริฐดี, ทิพย์วรรณ ฟังสุวรรณรักษ์. วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ของเซลล์เชื้อเพลิงในระบบพลังงานทดแทนแบบไฮบริด สำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46 (EECON-46). : 158-161



รูปที่ 4.18 ผลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์

- โดย
- หมายเลข 1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้หรือกำลังไฟฟ้าขาเข้า
วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 2 คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 3 คือ กระแสไฟฟ้าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้หรือกระแสไฟฟ้าขาเข้า
วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 4 คือ กระแสไฟฟ้าขาออกของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 5 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้หรือแรงดันไฟฟ้าขาเข้า
วงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์
 - หมายเลข 6 คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกจากวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์

4.2.3 ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่

ระบบกักเก็บพลังงานในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบตเตอรี่ต่างชนิดกัน 2 ชนิดคือ

1. แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Sirius capacitor module) ดังรูปที่ 4.19 และมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 4.8 จากตารางพบว่าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้ารองรับอัตราการอัดประจุได้ถึง 1.7C หรือ 125.80 A หรือกล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้านี้รองรับการอัดประจุแบบเร็วเนื่องจากมีอัตราอัดประจุมากแสดงว่าสามารถรับกระแสที่มากทำให้ใช้เวลาในการอัดประจุน้อยลง



รูปที่ 4.19 แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Sirius capacitor module)

2. แบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO) ดังรูปที่ 4.20 และมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 4.8 จากตารางพบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนตรองรับอัตราการอัดประจุ 1C หรือ 40 A โดยหากอัดประจุด้วยกระแส 40 A ใช้เวลา 1 ชั่วโมงจึงอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนตเต็ม แต่หากใช้กระแสสำหรับอัดประจุที่ต่ำกว่า 40 A ก็จะใช้เวลาในการอัดประจุนานมากขึ้น



รูปที่ 4.20 แบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO)

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้า (Sirius capacitor module) และแบตเตอรี่ลิเทียมไททาเนต (LTO)

ชนิดของระบบกักเก็บพลังงาน	แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า	LTO
ความจุพลังงาน (Capacity of Module; kWh)	3.55	1.92
แรงดันไฟฟ้า (Nominal Voltage; V)	48	48
ความจุมาตรฐาน (Standard capacity; Ah)	74	40
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Full charge voltage; V)	54	52
แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (cut-off voltage; V)	38	40
อัตราการอัดประจุ (Charging rate; A)	1.7C (125.80)	1C (40)
อัตราคายประจุสูงสุด (Max discharge current; A)	1.7C (125.80)	2.5C (100)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO มีข้อมูลจำเพาะที่แตกต่างกันส่งผลให้พฤติกรรมการทำงานแตกต่างกันด้วย ทั้งอัตราการอัดประจุ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด อัตราการคายประจุสูงสุดหรือแม้แต่ความจุมาตรฐาน ซึ่งข้อมูลจำเพาะเหล่านี้ส่งผลต่อการนำแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดไปใช้ทำให้ไม่สามารถใช้แบตเตอรี่ 2 ชนิดนี้พร้อมกันได้ ต้องมีการกำหนดเลือกใช้ โดยพิจารณาจากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้ามียุทธการอัดประจุ ความจุมาตรฐานและอัตราการคายประจุสูงสุดที่สูงกว่า LTO ทำให้ภายในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าก่อนแล้วจึงพิจารณา LTO หรือกล่าวคือหากแบตเตอรี่ 2 ชนิดนี้อยู่ในสถานะพร้อมใช้ทั้งคู่ระบบควบคุมภายในสถานีอัดประจุจะเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไฟฟ้าก่อนเสมอ

4.2.4 ชุด On Board Charger

วิทยานิพนธ์นี้มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้ามาเป็นแหล่งพลังงานสำรองให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แต่สถานีอัดประจุที่พิจารณาและองค์ประกอบภายในระบบเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ทำให้ต้องทำการเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งเลือกใช้อุปกรณ์เรียงกระแสเป็น on board charger พิกัด 48 V 20 A ดังรูปที่ 4.21 โดยชุด on board charger จะถูกใช้สำหรับอัดประจุระบบกักเก็บพลังงานทั้ง 2 ชนิดในกรณีที่ความเข้มของแสงน้อยหรือกล่าวคือในกรณีที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้น้อย ทำให้ต้องเกิดการผสมผสานพลังงานสำหรับอัดประจุระบบกักเก็บพลังงานให้ไวที่สุดแต่เมื่อผสมผสานพลังงานแล้วกระแสไฟฟ้าต้องไม่เกินพิกัดอัตราการอัดประจุ



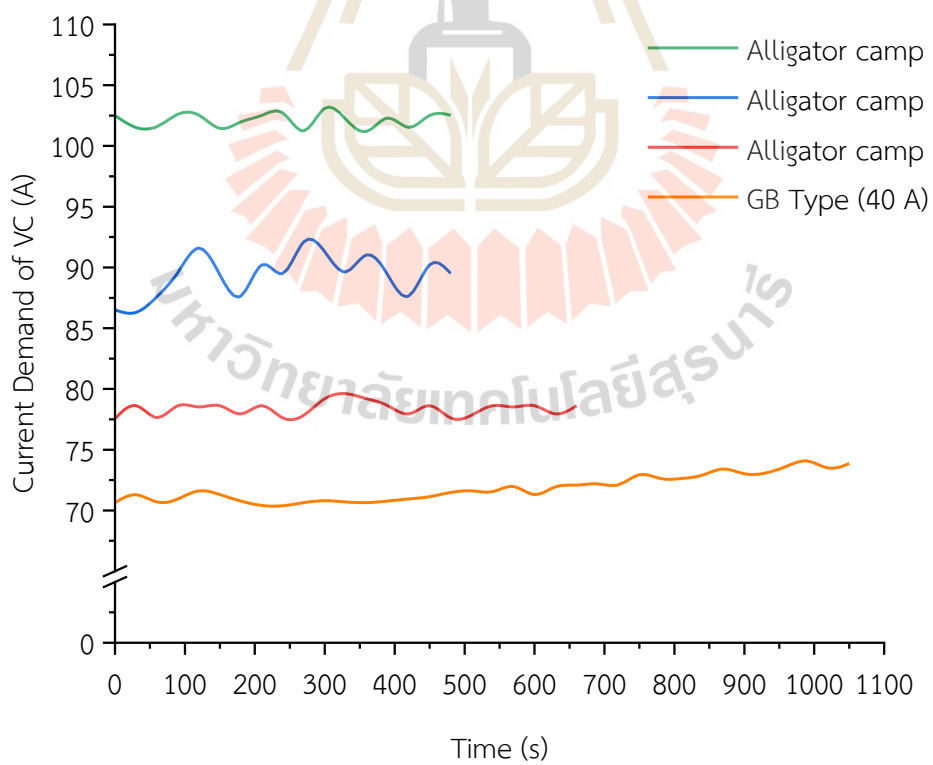
รูปที่ 4.21 On Board Charger

4.2.5 ตู้อัดประจุไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

ตู้อัดประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Charger : VC) เป็นตู้ชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าพิกัด 48 V 200 A จัดทำโดยบริษัทแพนไดร์ฟ มีหัวชาร์จ 2 ประเภท ได้แก่ หัวชาร์จแบบ GB จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 40 A และหัวชาร์จแบบคียบที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 36 – 48 V และกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 5 – 200 A ดังรูปที่ 4.22 ผลการทดสอบพฤติกรรมการทำงานของ VC พบว่ามีการดึงกระแสสูงกว่าความต้องการของโหนด แสดงดังรูปที่ 4.23 พบว่าพฤติกรรมการดึงกระแสของ VC เมื่อนำหัวชาร์จแบบ GB ชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ชนิด LTO ซึ่งมีพิกัด ดังตารางที่ 4.8 พบว่า VC มีความต้องการกระแสไฟฟ้าในช่วง 70-75 A ซึ่งเกินกว่าความต้องการของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งบนยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากพิกัดของแบตเตอรี่ชนิด LTO มีพิกัดกระแสเพียง 40 A ทำให้พบว่าหากใช้หัวชาร์จ GB VC ดึงกระแสมากกว่าโหนดประมาณ 30 A เช่นเดียวกับหัวชาร์จแบบคียบเมื่อทำการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ชนิดอื่นเป็น 50 A 60 A และ 70 A ตามลำดับ พบว่า VC ดึงกระแสไฟฟ้าประมาณ 80 A 90 A และ 100 A ตามลำดับ จึงทำให้สรุปได้ว่า VC มีพฤติกรรมดึงกระแสไฟฟ้าเกินกว่าความต้องการของโหนดประมาณ 30 A (โหนดในที่นี้ คือ ยานยนต์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ที่นำมาอัดประจุ) เนื่องจาก VC ถูกออกแบบมาให้เป็นตู้ชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าแบบไม่ใช้แหล่งจ่ายภายนอก ทำให้ต้องมีการแบ่งกำลังไฟฟ้าไปเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใน VC



รูปที่ 4.22 ตู้อัดประจุแบบปรับค่าได้



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่อัดประจุจาก VC ให้กับแบตเตอรี่ชนิด LTO

4.2.6 อุปกรณ์ในระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโหมด กระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์ เชื้อเพลิง ระบบกักเก็บพลังงานและ VC พบว่าต้องมีการออกแบบระบบควบคุมการทำงานเพื่อให้เกิด การผสมผสานพลังงานอย่างคุ้มค่า เพื่อลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าและควบคุมการ เลือกใช้ระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งการออกแบบนี้จะนำเสนอในบทที่ 5 โดยในหัวข้อนี้แนะนำเสนออุปกรณ์ ที่ใช้สำหรับการควบคุมดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. เซ็นเซอร์สำหรับวัดกระแสและแรงดันทางไฟฟ้า

เซ็นเซอร์สำหรับวัดกระแสและแรงดันทางไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เป็น โมดูล วัด PZEM-017 ดังรูปที่ 4.24 เป็นโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้งานร่วมกับ ชันต์ (shunt) เพื่อขยายย่านการวัดกระแสไฟฟ้าให้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น



รูปที่ 4.24 โมดูลวัด PZEM-017 พร้อมชันต์ (shunt)

คุณสมบัติสำคัญของโมดูลวัด PZEM-017 มีดังนี้

- 1) วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Measurement) สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 6.5-100VDC โดยมีความแม่นยำสูงต่อการวัดแรงดันไฟฟ้า DC
- 2) วัดกระแสไฟฟ้า (Current Measurement) สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ในช่วง 0-100A โดยมีความแม่นยำสูงต่อการวัดกระแสไฟฟ้า DC
- 3) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้า (Power Calculation) สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า (Active Power) และค่าพลังงานสะสม (Energy) จากการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า DC

4) อินเทอร์เน็ตการเชื่อมต่อ (Interface Connectivity) มีอินเทอร์เน็ตการเชื่อมต่อผ่านสายไฟฟ้าแบบ RS485 หรือ TTL Serial ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือบอร์ดอื่นๆ เพื่อการควบคุมและตรวจสอบข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

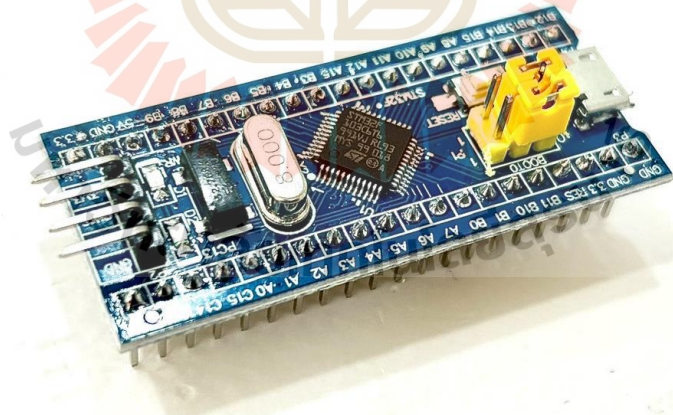
5) ระบบควบคุมและการจัดการ (Control and Management) สามารถควบคุมและจัดการการวัดและคำนวณข้อมูลพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อ

6) ความเสถียรและทนทาน PZEM-016 มีการออกแบบให้มีความเสถียรและทนทานต่อสภาวะการใช้งานต่าง ๆ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในสภาวะที่ต้องการความเสถียรและประสิทธิภาพในการวัดและคำนวณข้อมูลพลังงานไฟฟ้า DC

PZEM-017 จึงเป็นโมดูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในระบบไฟฟ้า DC เพื่อวัดแรงดัน กระแส และคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

2. บอร์ดควบคุม STM32F103C6T6

STM32F103C6T6 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในซีรีส์ STM32 ของบริษัท STMicroelectronics นำมาใช้เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมให้ทำงานตามผังงานทำงานที่ได้ออกแบบไว้และใช้เป็นโมดูลสื่อสารกับ PZEM-017 สำหรับการอ่านค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น และยังเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายและเหมาะสำหรับการใช้งานในหลาย ๆ แอปพลิเคชันที่ต้องการความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลแบบ Real-Time รวมถึงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.25 บอร์ดควบคุม STM32F103C6T6

คุณสมบัติสำคัญของบอร์ดควบคุม STM32F103C6T6 มีดังนี้

- 1) แกนประมวลผล (CPU Core) มี ARM Cortex-M3 32-bit ที่มีความเร็วในการทำงานสูงสุดที่ 72 MHz
- 2) หน่วยความจำแฟลชสำหรับโหลดโปรแกรมขนาด 32 KB

- 3) หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 10 KB
- 4) โมดูลสื่อสาร (Communication Interfaces) รองรับหลายโปรโตคอลสื่อสารรวมถึง SPI, I2C, USART, USB, CAN เป็นต้น ทำให้เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ
- 5) โมดูล ADC (Analog-to-Digital Converter) มีพีเจอาร์ ADC แบบ 12-bit ที่มีความถี่การแปลงสูงสุดที่ 1 MSPS (Million Samples Per Second) ให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
- 6) โมดูล GPIO (General Purpose Input/Output) มีชุดขา I/O ที่ใช้งานได้หลากหลาย เพื่อการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
- 7) สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรม: มีอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ เช่น STM32CubeMX, STM32CubeIDE และโปรแกรมบน IDE อื่น ๆ ที่รองรับการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32
- 8) ความยืดหยุ่นในการทำงาน: มีการต่อเข้าร่วมกับโมดูลอื่น ๆ และการใช้งานร่วมกับความยืดหยุ่นของการต่อเข้าร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ทำให้ STM32F103C6T6 เหมาะสำหรับใช้ในหลากหลายแอปพลิเคชัน

3. โซลิตสเตรีเลย์

โซลิตสเตรีเลย์ (SSW) เป็นรีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสแต่ใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างภาคควบคุมซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง โดยจะมีระบบกราวด์ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจรและการรบกวนซึ่งกันและกันได้ สามารถทำงานได้เร็วมากโดยใช้ช่วงเวลาการตอบสนองเพียง 10 มิลลิวินาที ใช้แรงดันในการควบคุมต่ำเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3-32 VDC ดังรูปที่ 4.26 และแสดงพิกัด ดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.26 โซลิดสเตตรีเลย์

ตาราง 4.9 พิกัดของโซลิดสเตตรีเลย์

ชื่ออุปกรณ์	พิกัดแรงดันควบคุม	พิกัดแรงดันเอาต์พุต	พิกัดกระแสเอาต์พุต
SSW 1	3 – 32 VDC	5 – 60 VDC	100 A
SSW 2			100 A
SSW 3			100 A
SSW 4			100 A
SSW 5			100 A
SSW 6			40 A

4.3 สรุป

บทที่ 4 นี้ นำเสนอการออกแบบสถานีอัดประจุแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสานระหว่างระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบกักเก็บพลังงานและไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า ได้ทำการออกแบบและทดสอบการทำงานของแต่ละระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบกักเก็บพลังงานและ VC พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพฤติกรรมผลิตกำลังไฟฟ้าตามความเข้มแสง หากความเข้มแสงมากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มาก แต่ถ้าความเข้มแสงน้อยระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้น้อย

เมื่อทำการต่อระบบตามที่ได้ทำการออกแบบ คือ 3 series box 2 parallel string ให้พิกัดกระแส 38.14 A พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากในวิทยานิพนธ์เป็นเพียงการศึกษาจึงเลือกใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีพิกัด 200 W เพื่อเป็นกรณีศึกษาว่า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสามารถทำงานร่วมกับพลังงานชนิดอื่นได้ ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงแล้วผ่านวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสต์แล้วนั้นมีค่าประมาณ 4 A หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของ VC พบว่า VC มีความต้องการกระแสอย่างน้อย 70 A ถึงเริ่มทำงาน ซึ่งพบว่าหากผสมผสานพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานจะเพียงพอต่อความต้องการของ VC ทั้งนี้เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ภายในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO จากผลการทดสอบและข้อมูลจำเพาะพบว่า แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO ไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้เนื่องจากมีพิกัดแรงดันและข้อมูลจำเพาะที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของ VC และสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้จากแหล่งพลังงานสำรองจากโครงข่ายไฟฟ้าได้เมื่อแหล่งพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ



บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ระบบการทำงานและการจัดการพลังงานสำหรับ สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

5.1 บทนำ

ในบทนี้นำเสนอระบบการจัดการพลังงานและแพลตฟอร์มสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงแบบผสมผสาน ประกอบด้วยผลการทดสอบของระบบในกรณีสอบต่าง ๆ 8 กรณี สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบผสมผสาน Variable Charger มีความต้องการกระแสอย่างน้อย 70 A ถึงเริ่มทำงาน จากการใช้พลังงานผสมผสานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่จะมีพลังงานเพียงพอต่อความต้องการของ VC และพบข้อจำกัดของระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่อื่นประกอบไปด้วยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO ที่มีข้อมูลจำเพาะและพฤติกรรมการทำงานที่แตกต่างกันทำให้ไม่สามารถใช้งานไปพร้อมกันได้ ทั้งนี้การที่มีข้อมูลจำเพาะที่แตกต่างกันหากมีการนำไปใช้งานพร้อมกันอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่สถานีและผู้ใช้งานได้ จากข้อจำกัดนี้จึงก่อให้เกิดการจัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของ VC และมีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลของผู้ดูแลระบบและผู้เข้ามาใช้บริการจึงได้ดำเนินการสร้างแพลตฟอร์มสำหรับแสดงข้อมูลการใช้พลังงานภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้านี้ โดยจากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

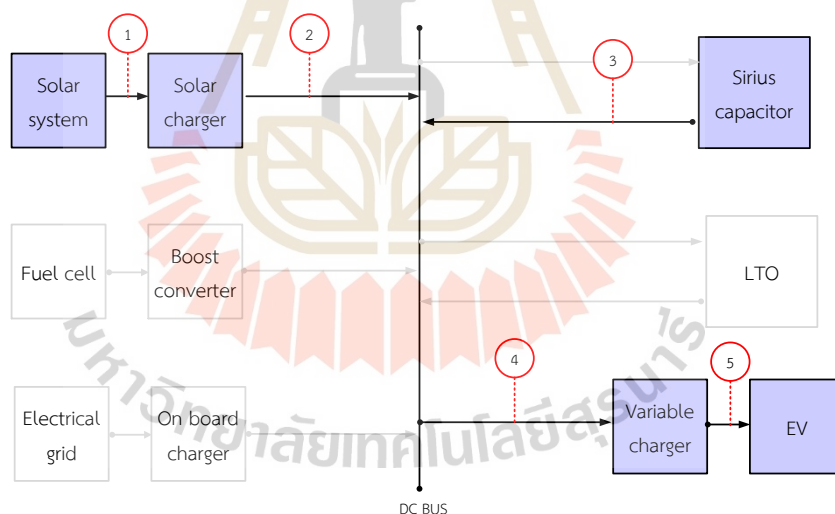
5.2 ศึกษาและทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบพลังงานภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า

ก่อนทำการออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานจำเป็นต้องทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง VC ระบบโครงข่ายไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO เพื่อเป็นข้อยืนยันว่าแต่ละอุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างปลอดภัย จึงได้แบ่งการทดสอบเป็น 8 กรณี โดยยังไม่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ทดสอบการทำงานร่วมกันของแหล่งจ่ายจากระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC และอัดประจุไฟฟ้าให้กับ EV แสดงในรูปที่ 5.1

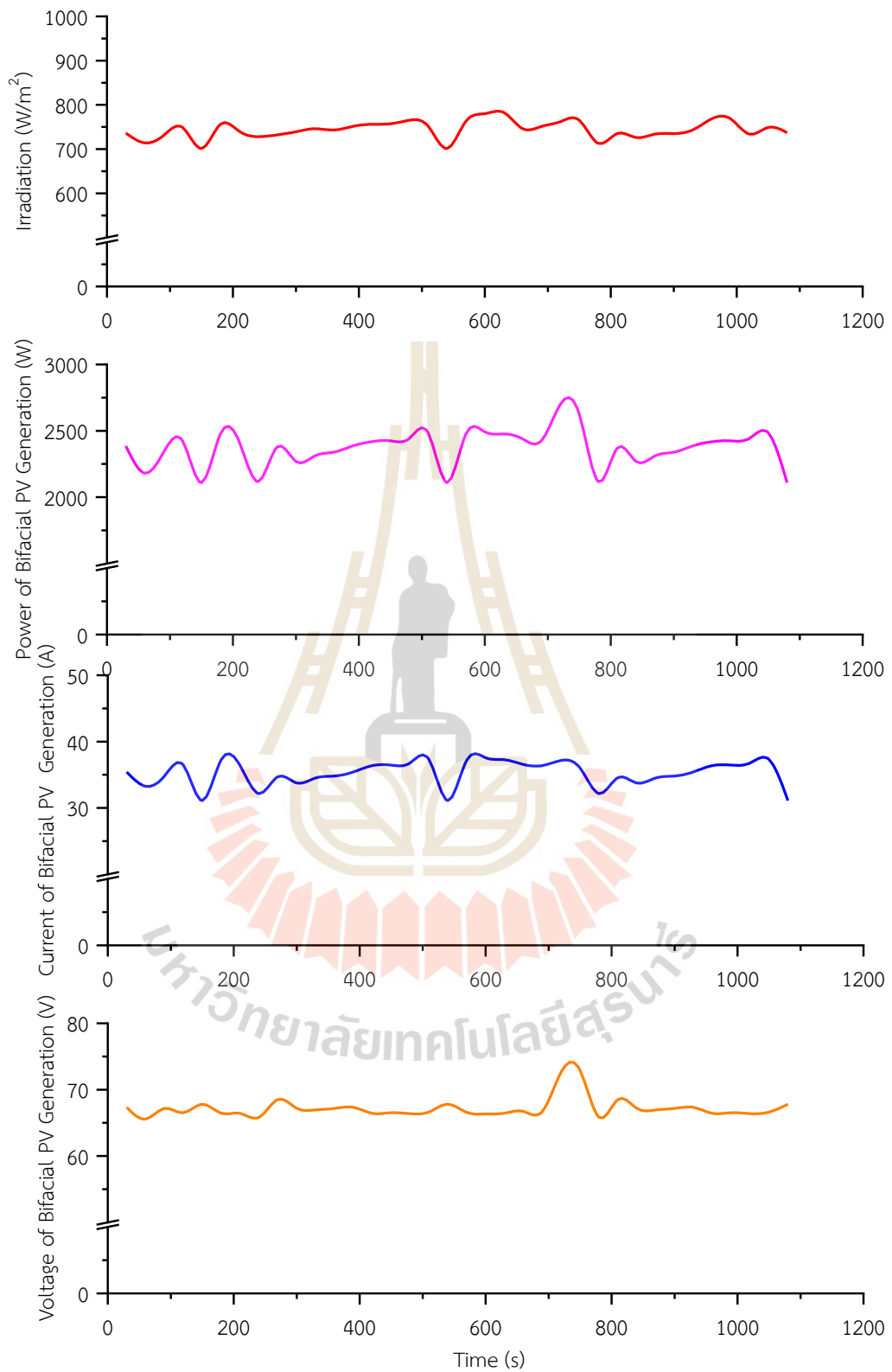
ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนเต็มทีแรงดัน 53 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวชาร์จแบบ GB พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพฤติกรรมผลิตพลังงานไฟฟ้าตามความเข้มของแสง ดังรูปที่ 5.2

จากรูปที่ 5.3 VC ต้องการกระแสมากถึง 70 A หากใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว VC ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากกระแสไม่เพียงพอ แต่เมื่อผสมผสานพลังงานระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเกิดการรวมกันระหว่างกระแสที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้และกระแสที่แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าคายออกไปที่โหนดซึ่งในที่นี่ คือ ยานยนต์ไฟฟ้า โดยแรงดันที่บัสบาร์มีค่าเท่ากับแรงดันที่แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

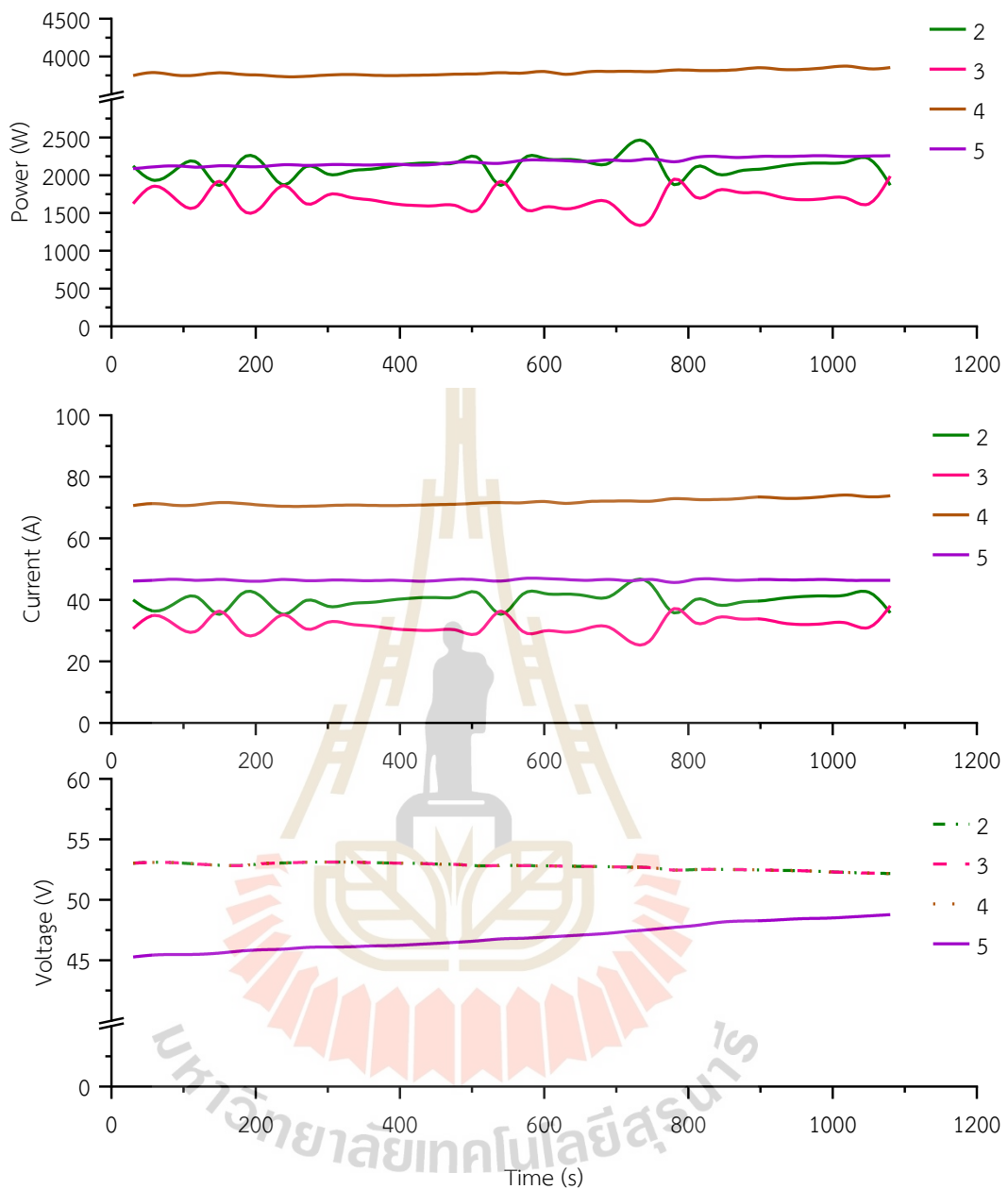


รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 1

- | | | |
|-----|---|--|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ VC ต้องการ |
| | 5 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ EV ต้องการ |



รูปที่ 5.2 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 1



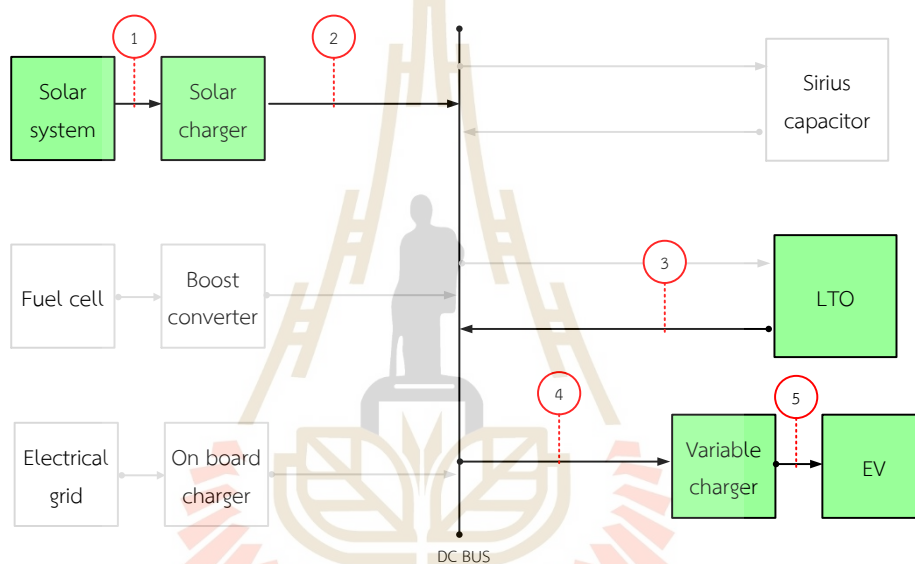
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า และ LTO เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตจนเต็มที่แรงดัน 52 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.4 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตและโซลาร์ชาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัว

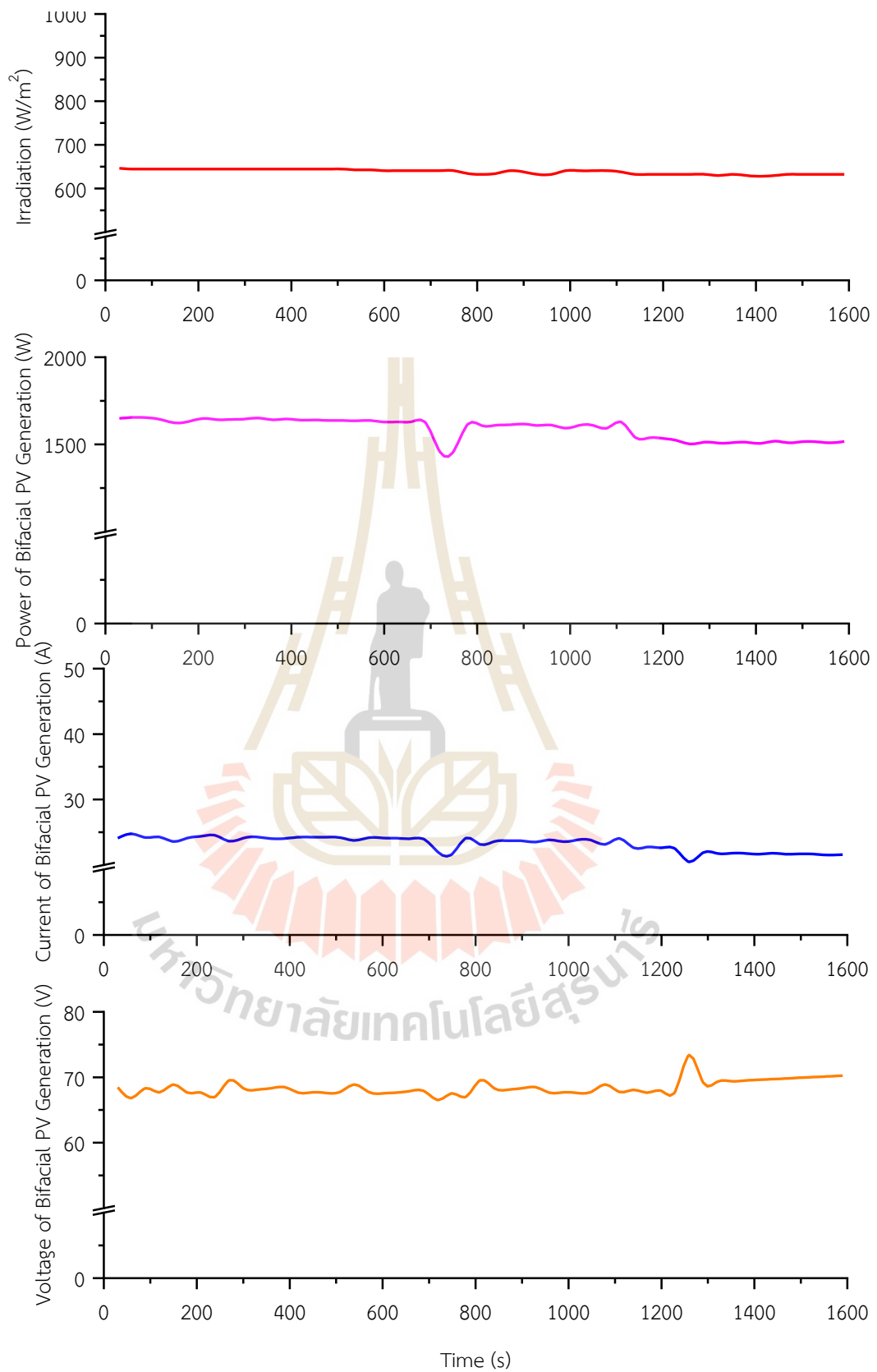
ชาร์จแบบ GB พบพฤติกรรมการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูป ที่ 5.5 และเนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบความเข้มของแสงมีค่าค่อนข้างคงที่ทำให้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 5.6 VC ต้องการกระแสมากถึง 70 A หากใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว VC ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากกระแสไม่เพียงพอ แต่เมื่อมีการใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและ LTO ร่วมกันจะเกิดการรวมกันระหว่างกระแสที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้และกระแสที่ LTO คายออกไปที่โหนดซึ่งในที่นี้ คือ ยานยนต์ไฟฟ้าและมีแรงดันบัสบาร์เท่ากับแรงดันที่ LTO

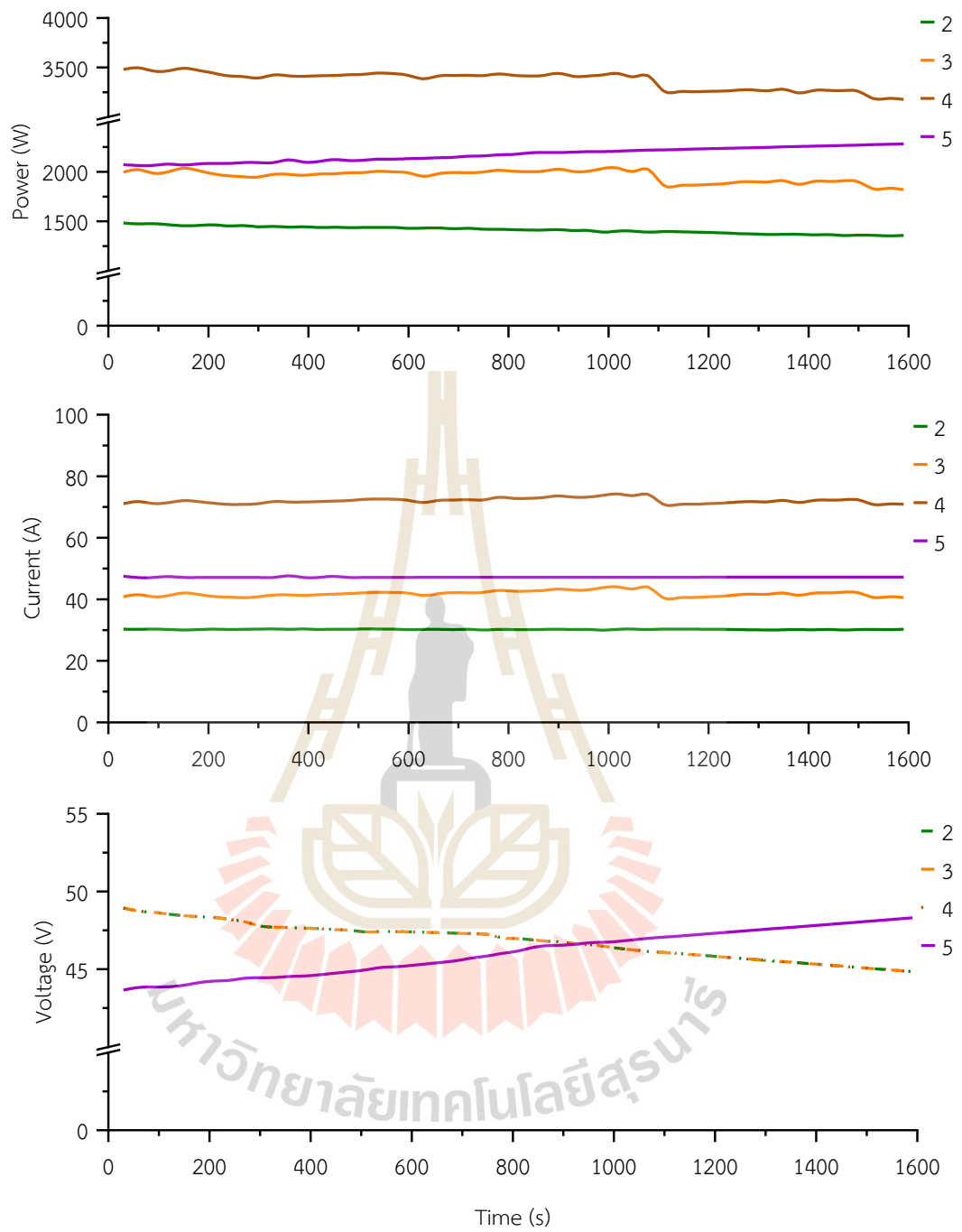


รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 2

- โดย
- 1 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้
 - 2 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์
 - 3 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของ LTO
 - 4 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ VC ต้องการ
 - 5 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ EV ต้องการ



รูปที่ 5.5 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 2

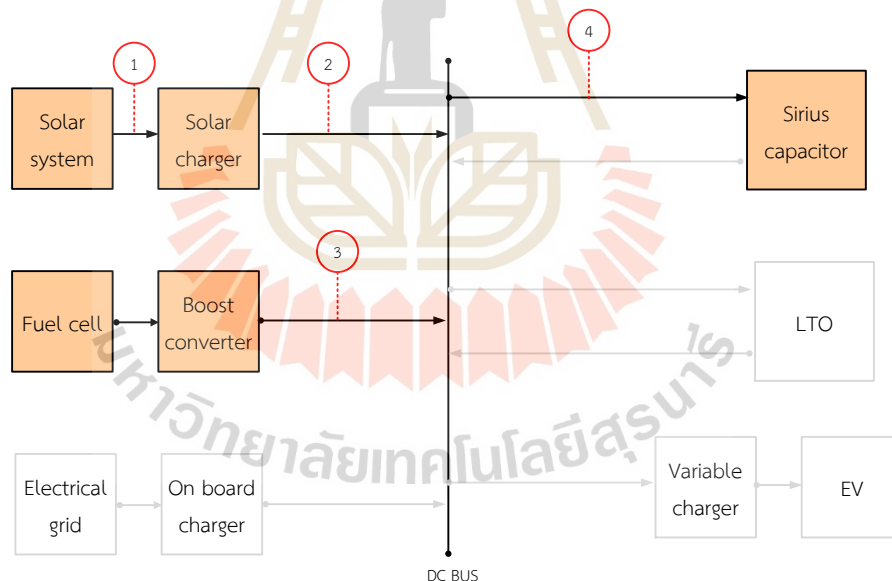


รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบกรณีที่ 2

กรณีศึกษาที่ 3 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับอัดแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

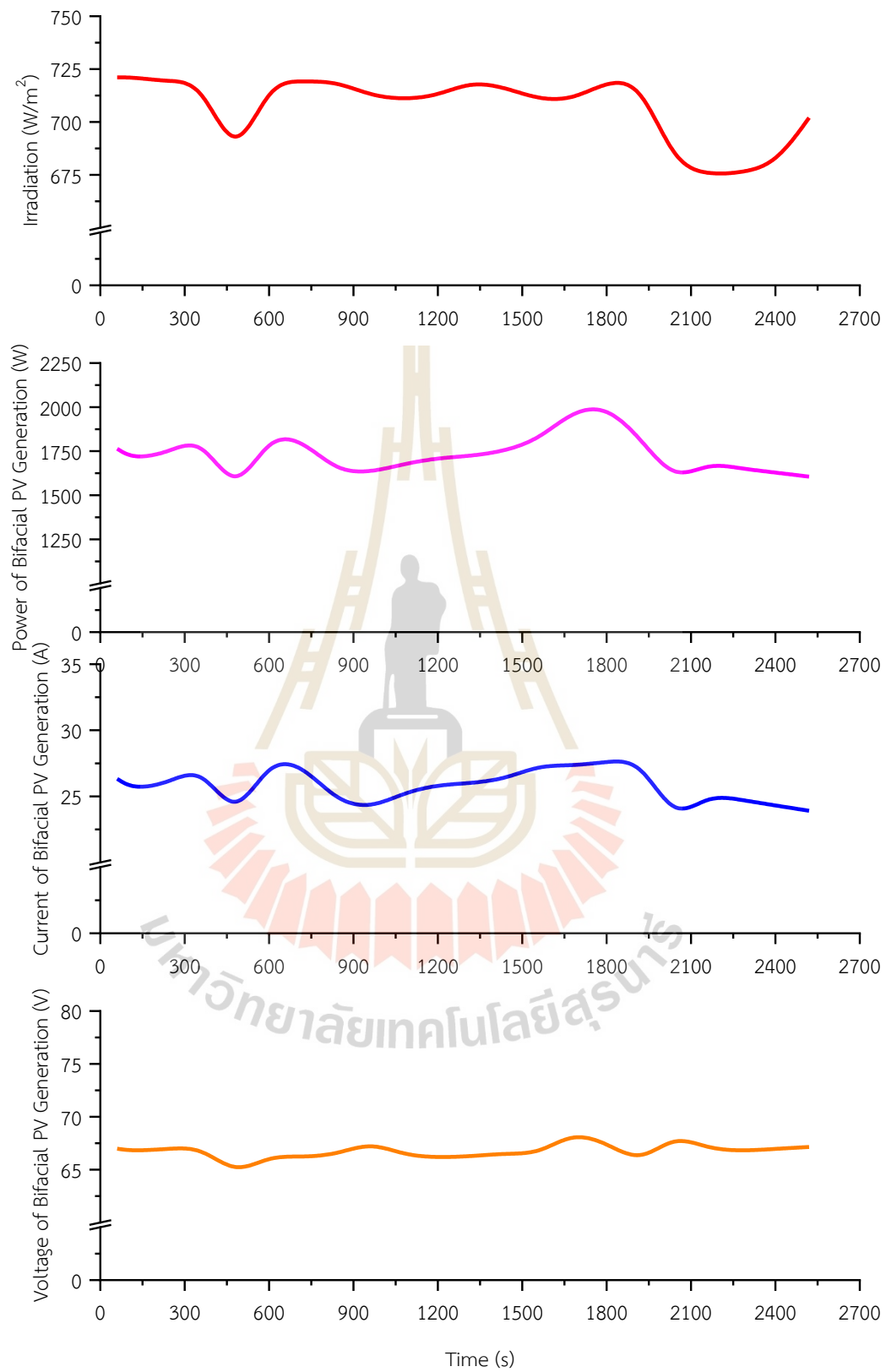
ก่อนทดสอบได้ทำการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนมีแรงดันเหลือ 44 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.7 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า วงจรแปลงผันแบบบูสต์และโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ จากรูปที่ 5.8 พบว่าความเข้มของแสงมีความผันผวนเล็กน้อยส่งผลให้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผันผวนตามไปด้วย

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 5.9 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและยังพบว่ากระแสที่อัดเข้าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเกิดจากการรวมกันของกระแสที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่ผลรวมของกระแสที่ใช้สำหรับการอัดประจุในการทดสอบนี้ไม่เกินค่าอัตราการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

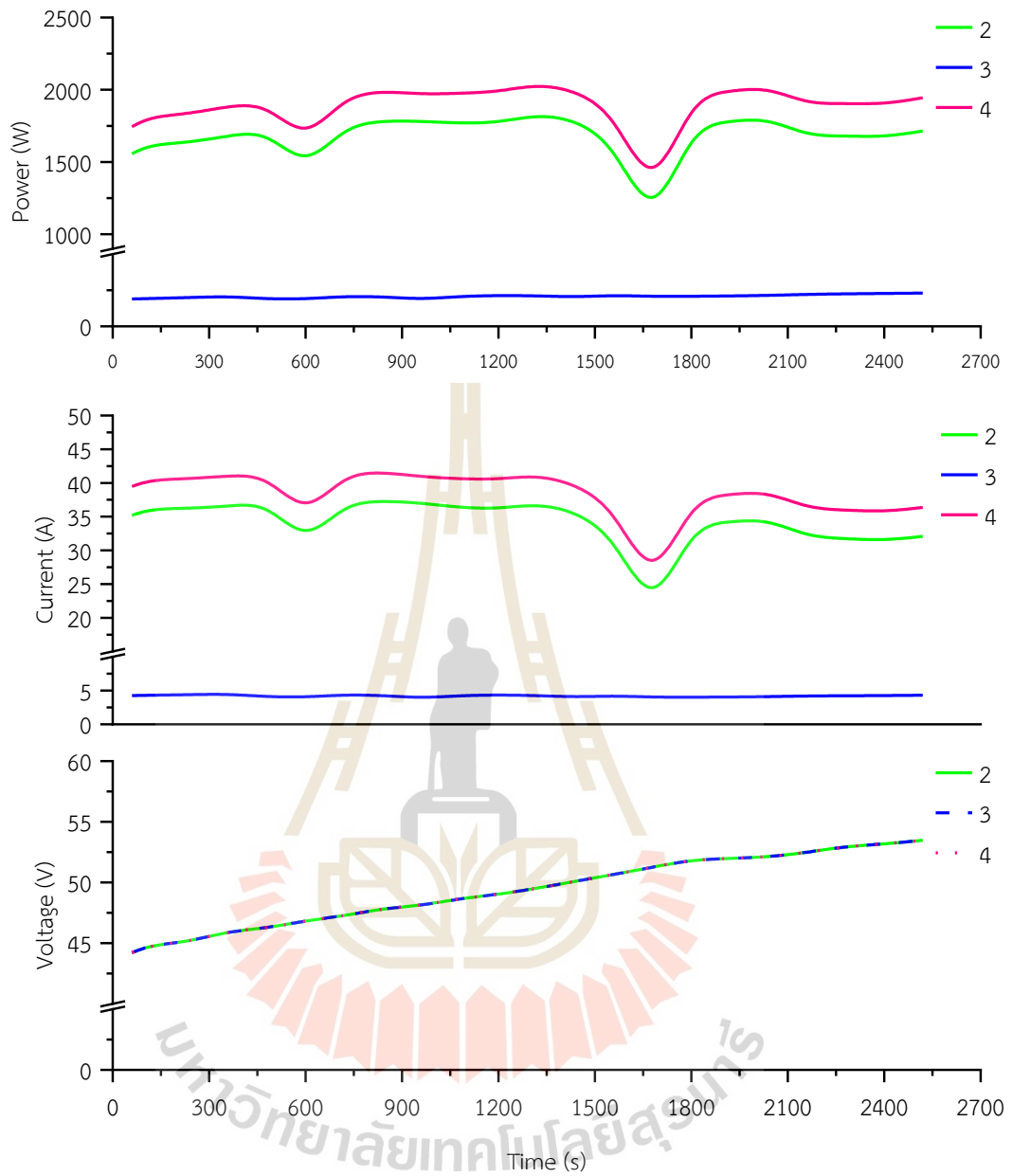


รูปที่ 5.7 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีศึกษาที่ 3

- | | | |
|-----|---|--|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์ |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า |



รูปที่ 5.8 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 3

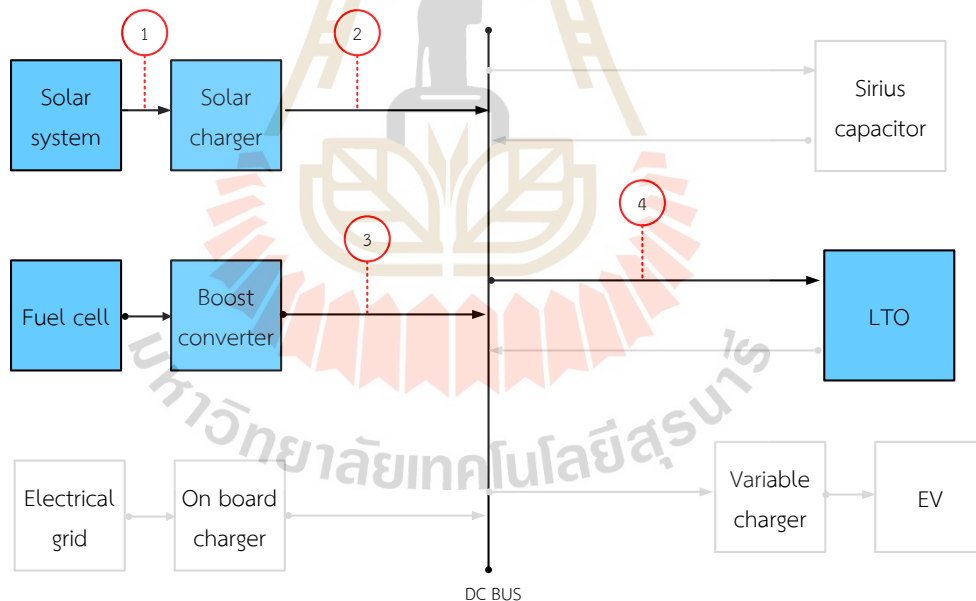


รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบกรณีที่ 3

กรณีศึกษาที่ 4 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับอัดประจุ LTO

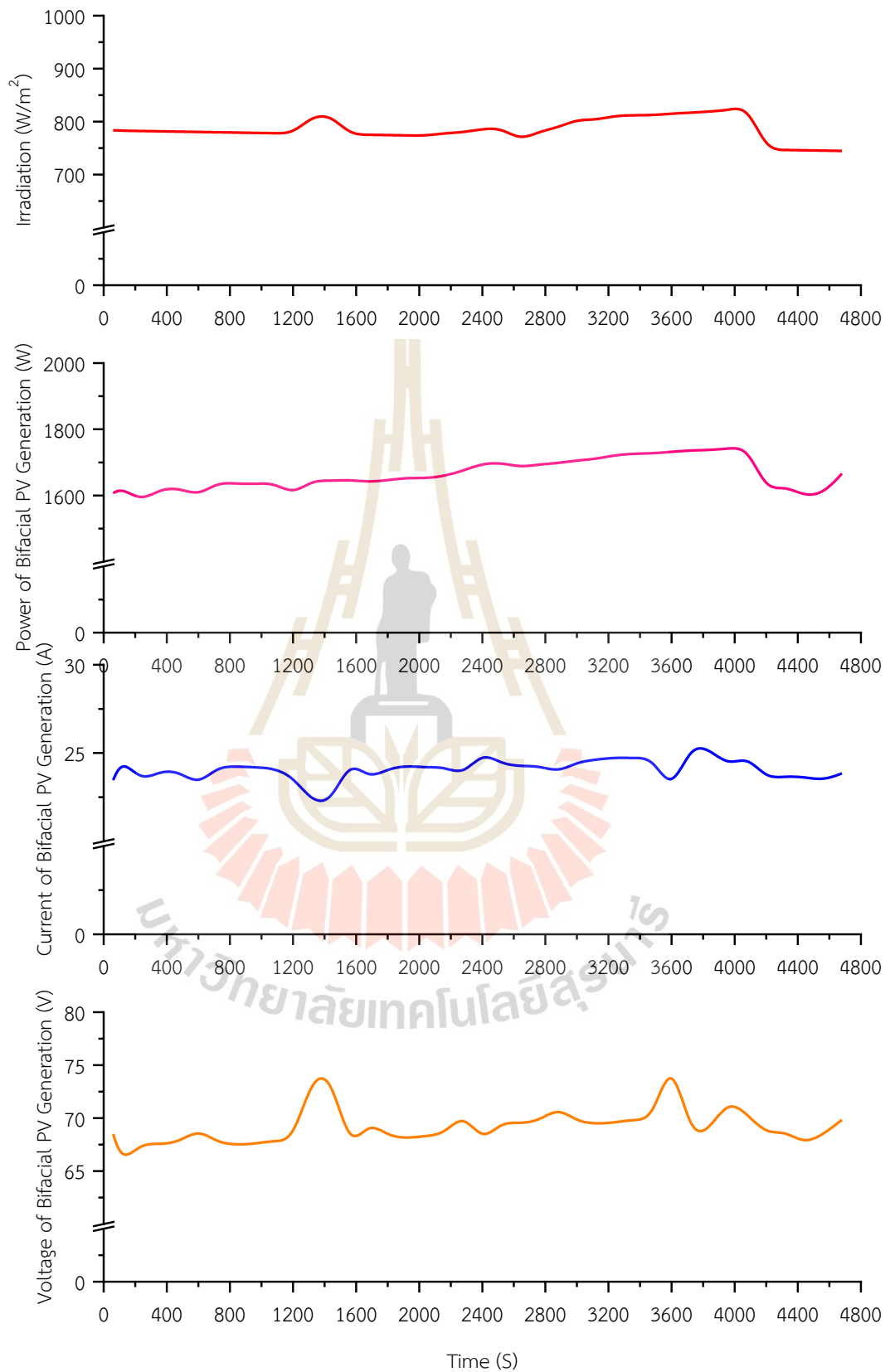
ก่อนทดสอบได้ทำการคายประจุของ LTO จนมีแรงดันเหลือ 44 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.10 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของ LTO วงจรแปลงผันแบบบูสต์และโซล่าชาร์จเจอร์ พบว่าความเข้มแสงของเวลาที่ทดสอบมีความผันผวนเพียงชั่วขณะส่งผลให้ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผันผวนตามไปด้วย แสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.11

จากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.12 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้ LTO ได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของ LTO และพบว่ากระแสที่อัดเข้าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตเกิดจากการรวมกันของกระแสที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่ผลรวมของกระแสที่ใช้สำหรับการอัดประจุในการทดสอบนี้ไม่เกินค่าอัตราการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

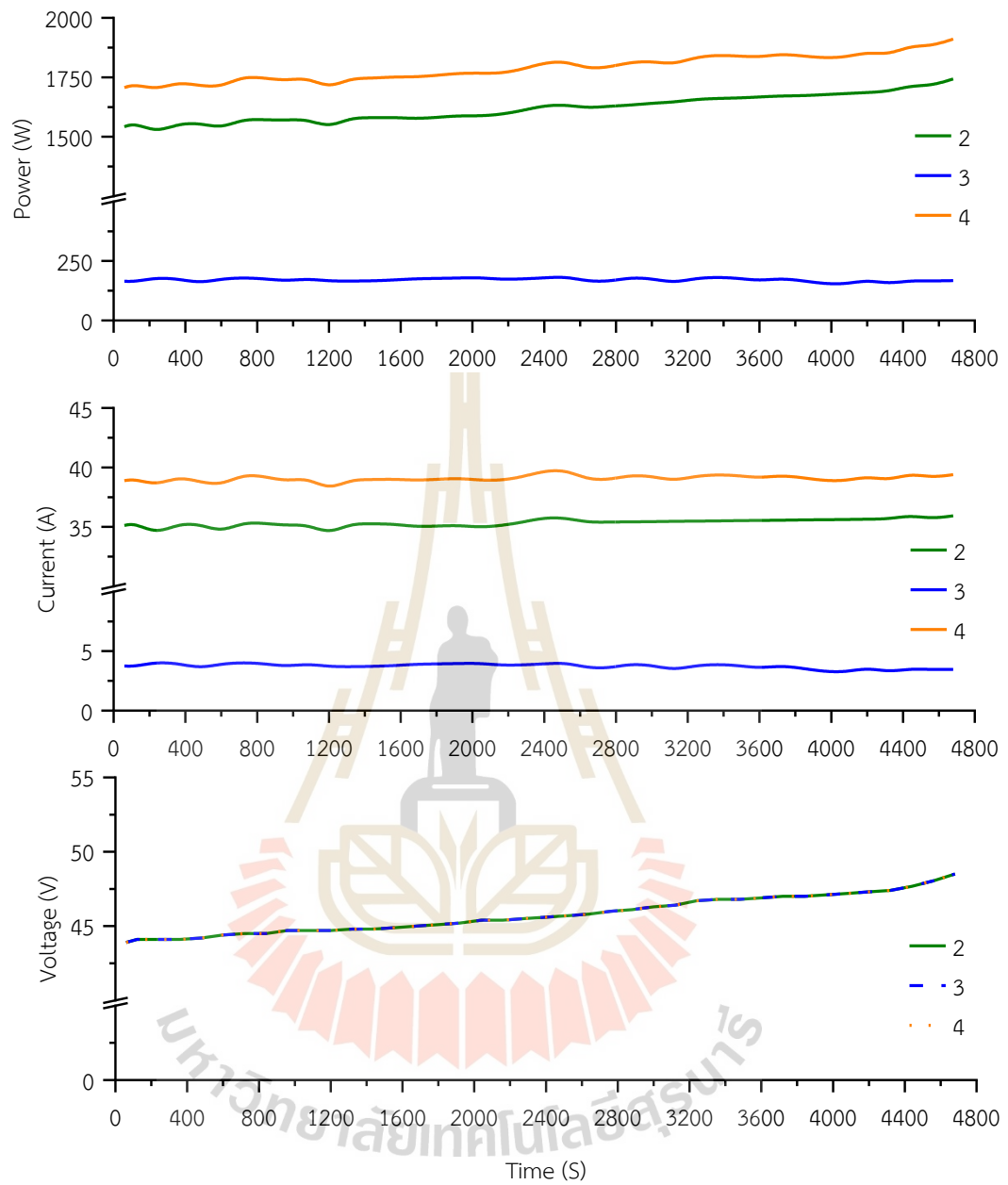


รูปที่ 5.10 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 4

- | | | |
|-----|---|--|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์ |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของ LTO |



รูปที่ 511 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 4

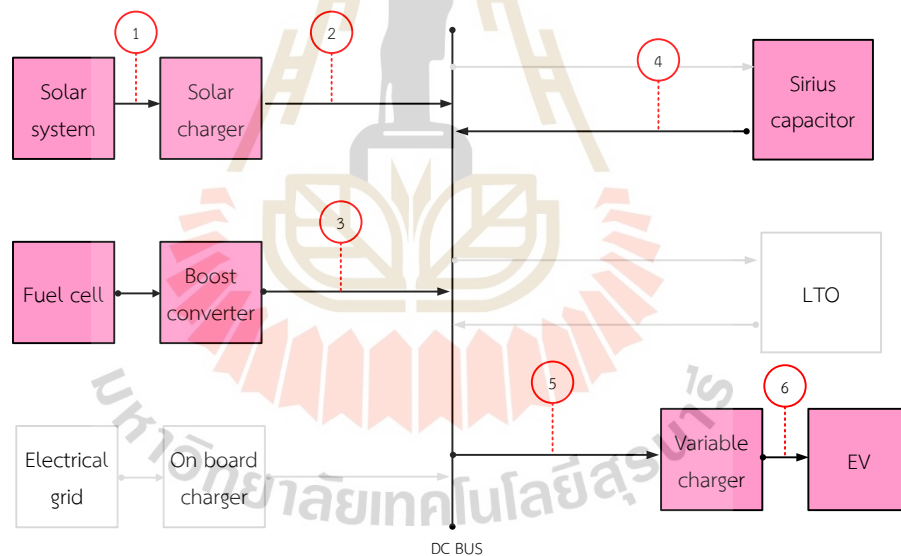


รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบกรณีที่ 4

กรณีที่ 5 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

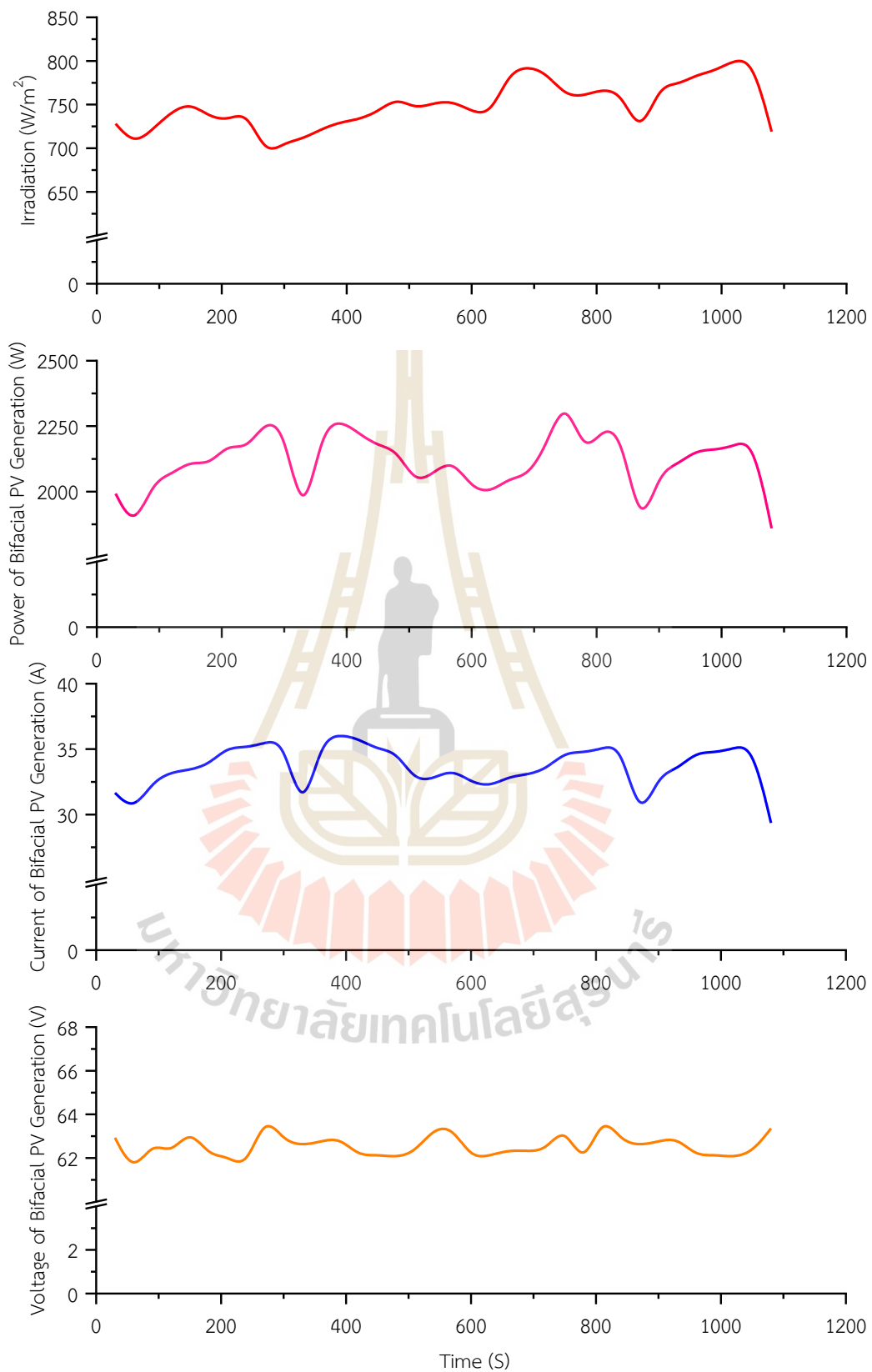
ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนเต็มที่มีแรงดัน 53 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.13 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิด ไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อ ความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บ ประจุไฟฟ้า วงจรแปลงผันแบบบูสต์และโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัด ประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวชาร์จแบบ GB พบว่าในเวลาที่ทำการทดสอบความเข้มแสงมีความผัน ผวนอยู่มากโดยมีค่าอยู่ในช่วง 700 – 800 W/m² ส่งผลให้พลังงานที่ได้จากระบบพลังงานจากเซลล์ แสงอาทิตย์มีความผันผวนตามไปด้วย แสดงพฤติกรรม ดังรูปที่ 5.14

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.15 พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบ เซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ให้แก่ VC ได้ โดยมีแรงดันเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

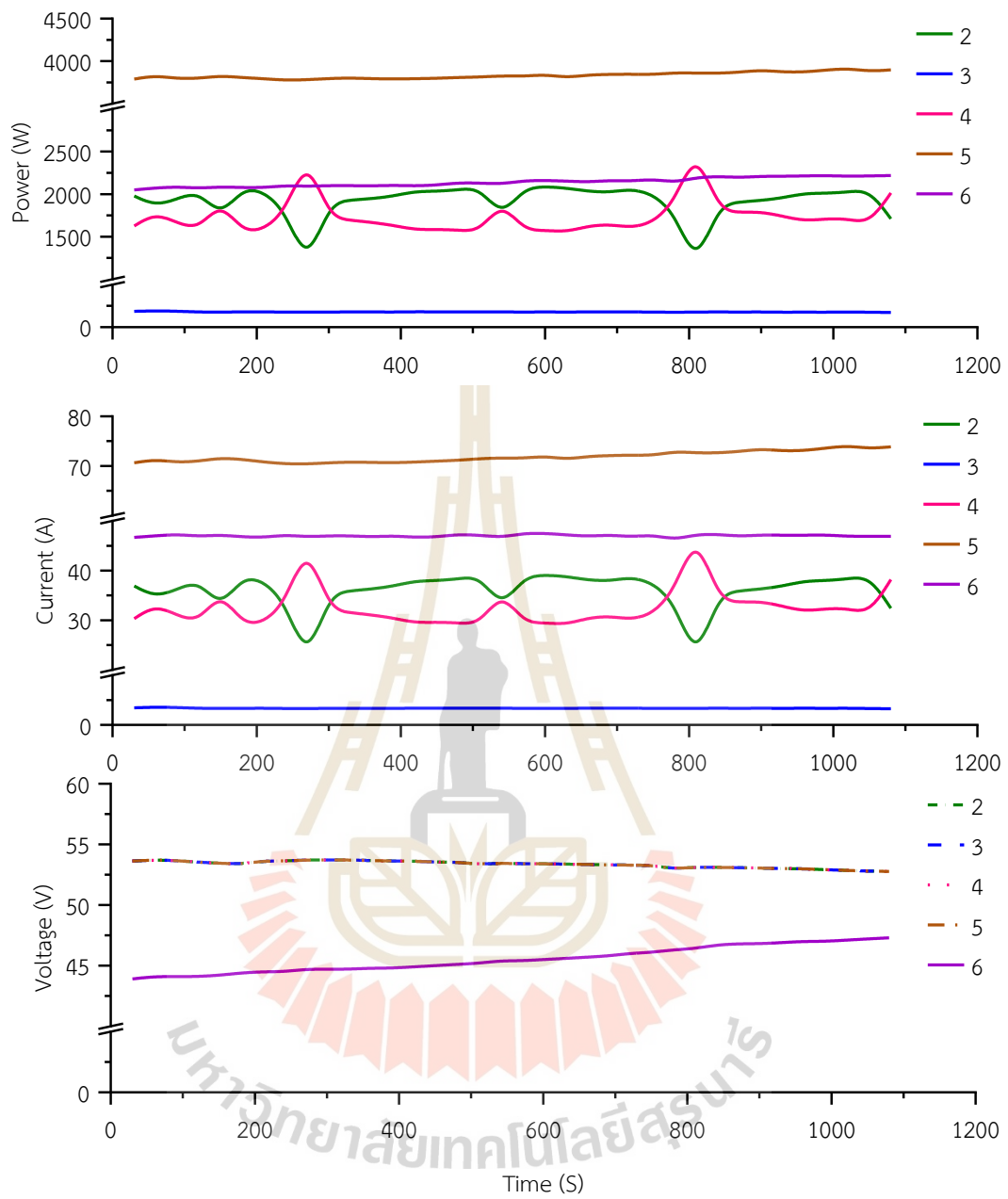


รูปที่ 5.13 ไตอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 5

- | | | |
|-----|---|---|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่าน ชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์ |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า |
| | 5 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ VC ต้องการ |
| | 6 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ EV ต้องการ |



รูปที่ 5.14 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 5

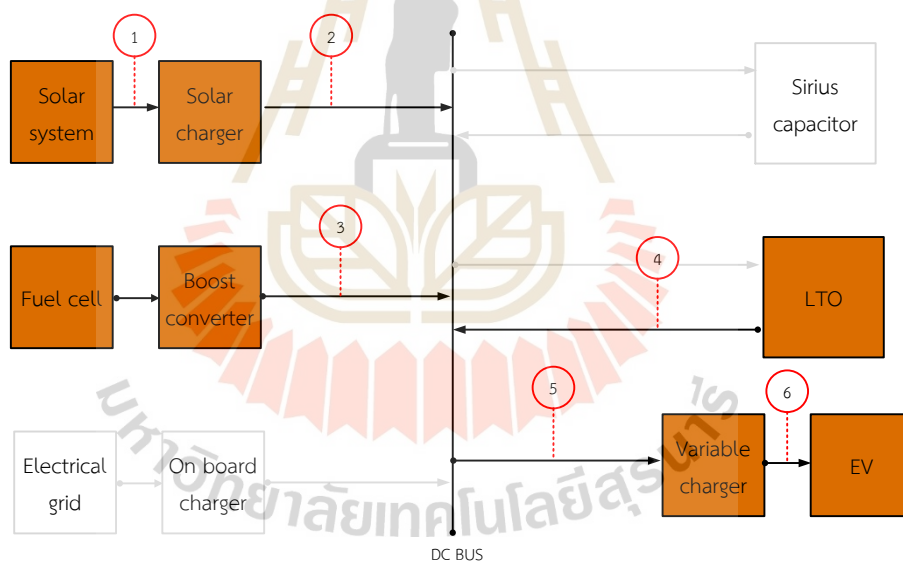


รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบกรณีที่ 5

กรณีศึกษาที่ 6 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและ LTO เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

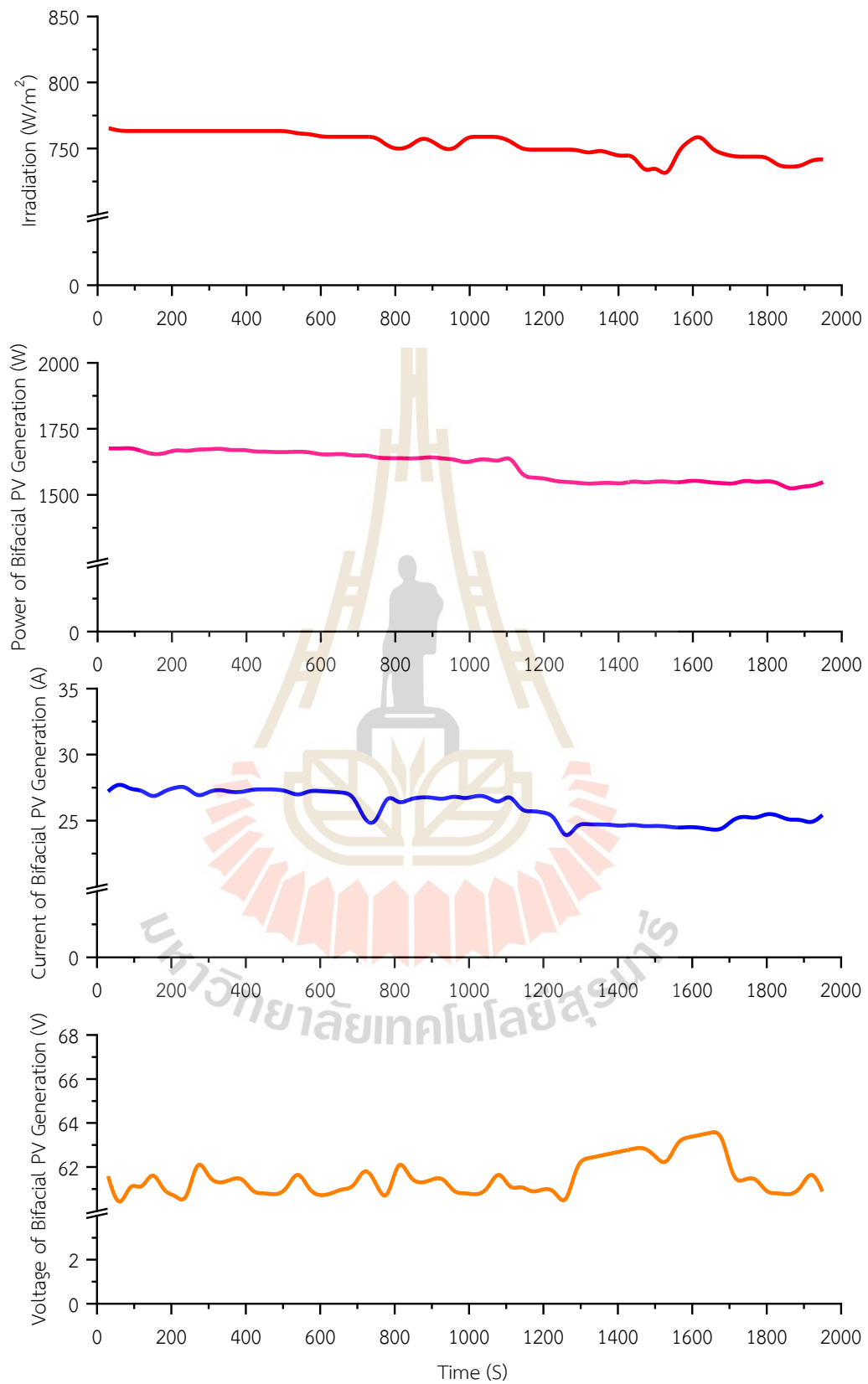
ก่อนทดสอบได้ทำการอัด LTO จนเต็มทีแรงดัน 52 V แล้วจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.16 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของ LTO วงจรแปลงผันแบบบูสต์และโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวชาร์จแบบ GB โดยพบว่าในเวลาที่ทำการทดสอบค่าความเข้มของแสงอยู่ในช่วงประมาณ 750 W/m^2 ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อยู่ในช่วง 22.5 - 27.5 A และแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 60 - 64 V แสดงผลการทดสอบของระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.17

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.18 พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและ LTO สามารถทำงานร่วมกันเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้แก่ VC ได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของ LTO

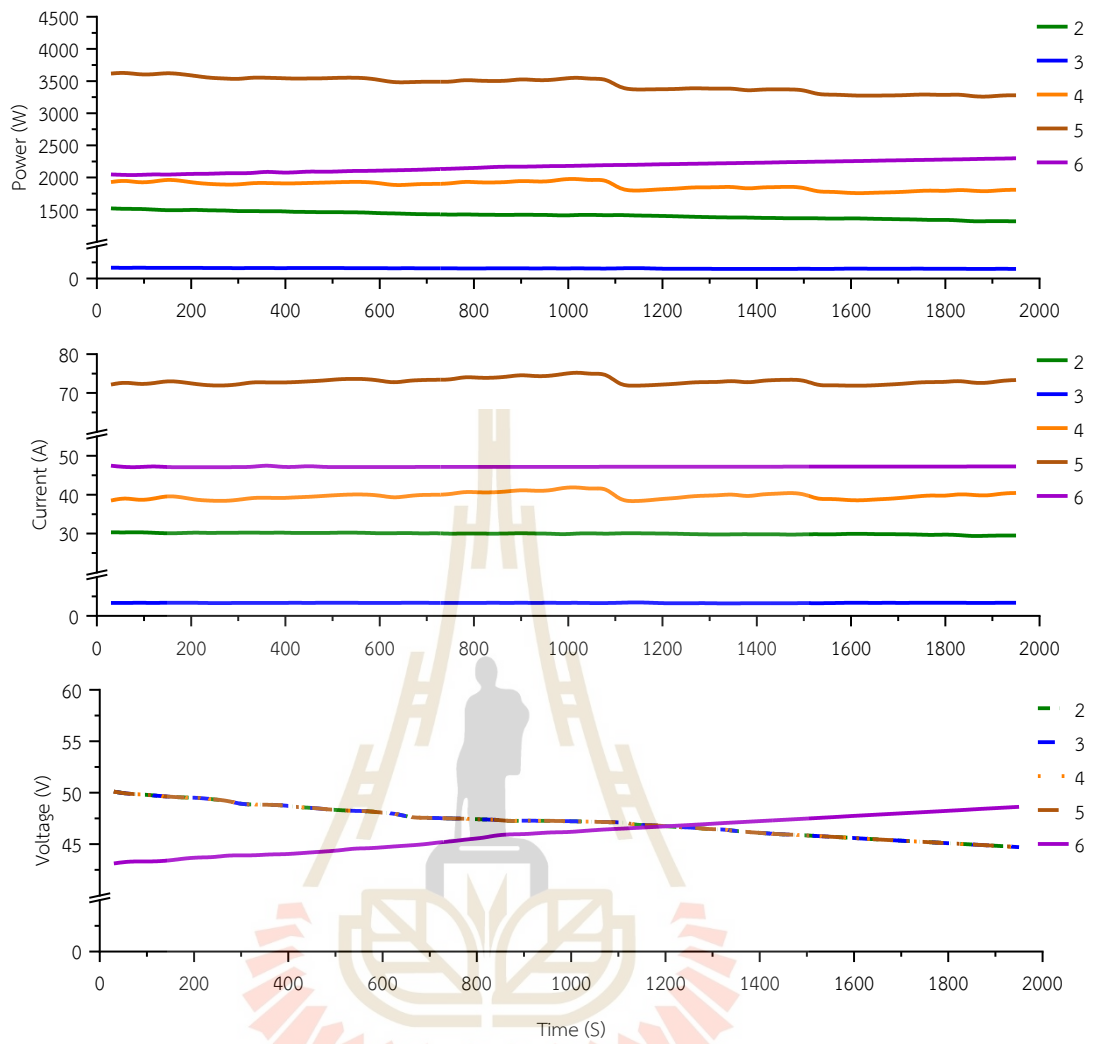


รูปที่ 5.16 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 6

- | | | |
|-----|---|--|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์ |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของ LTO |
| | 5 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ VC ต้องการ |
| | 6 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ EV ต้องการ |



รูปที่ 5.17 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 6

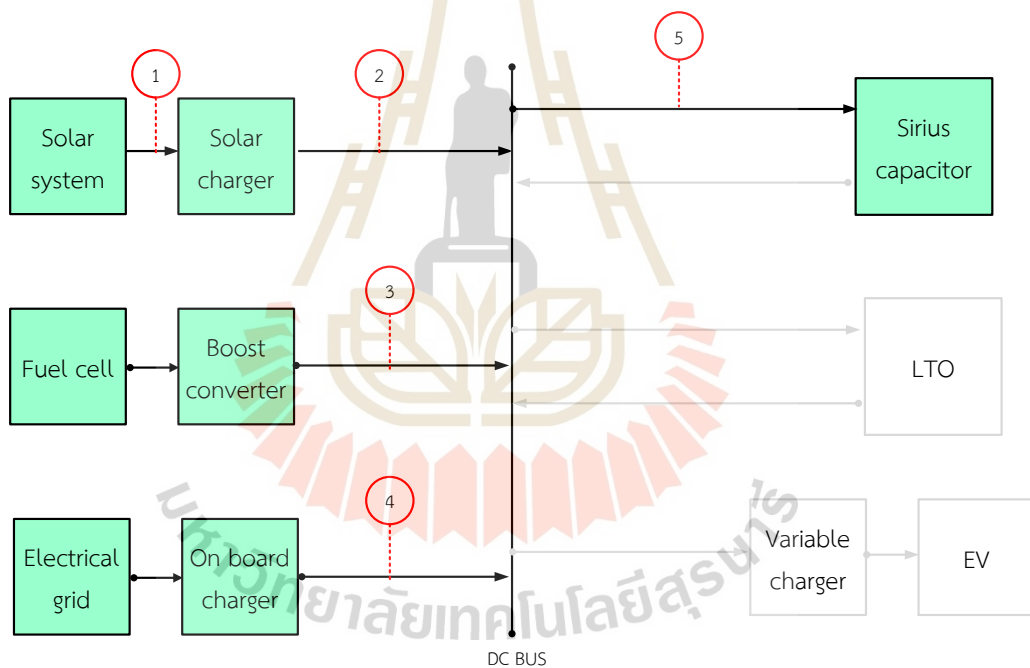


รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบกรณีที่ 6

กรณีที่ 7 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

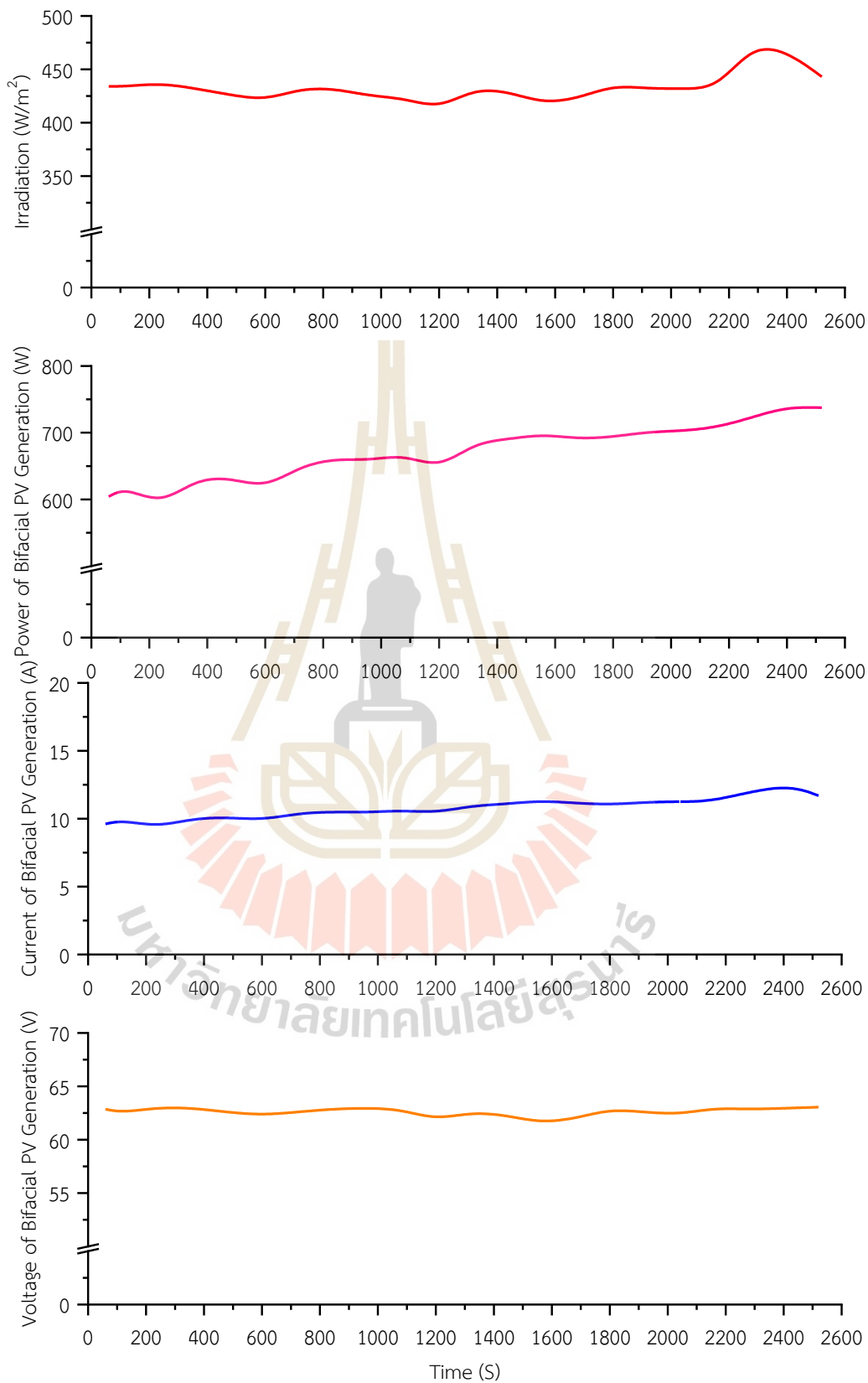
ก่อนการทดสอบได้ทำการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนมีแรงดันเหลือ 45 V แล้วจึงนำมาทดสอบดังรูปที่ 5.19 โดยทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทุกตัวก่อนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ หลังจากนั้นปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า วงจรแปลงผันแบบบูสต์ โซล่าชาร์จเจอร์และ on board charger ตามลำดับ โดยในกรณีนี้ทำการทดสอบในเวลาที่มีความเข้มแสงน้อยโดยพบว่าเมื่อความเข้มแสงมีค่าประมาณ $425 - 450 \text{ W/m}^2$ จะส่งผลให้ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง 10 A และแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 65 V แสดงพฤติกรรม ดังรูปที่ 5.20

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.21 พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

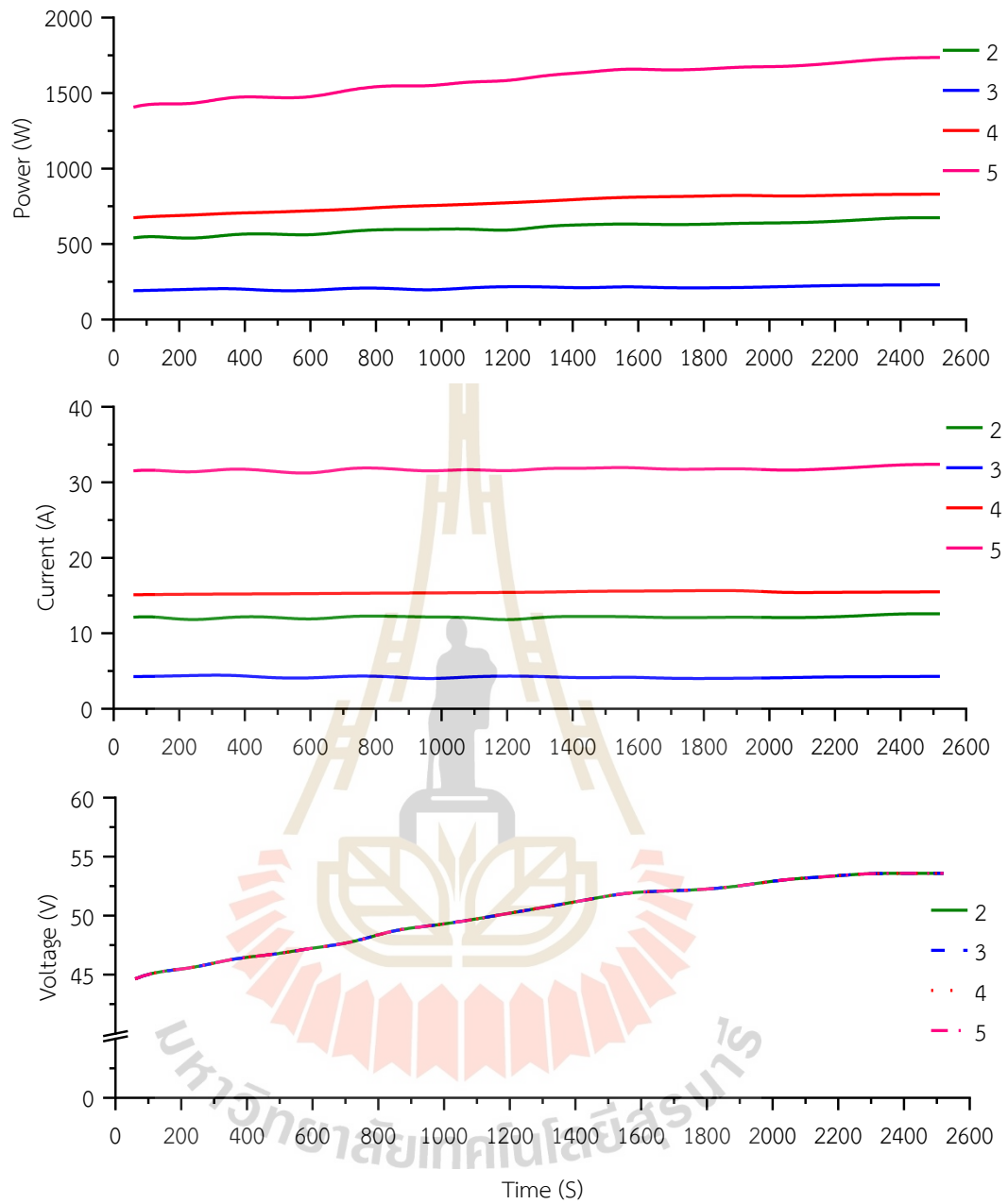


รูปที่ 5.19 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีที่ 7

- | | | |
|-----|---|---|
| โดย | 1 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้ |
| | 2 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์ |
| | 3 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์ |
| | 4 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ผ่านการแปลงด้วย on board charger |
| | 5 | คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า |



รูปที่ 5.20 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 7

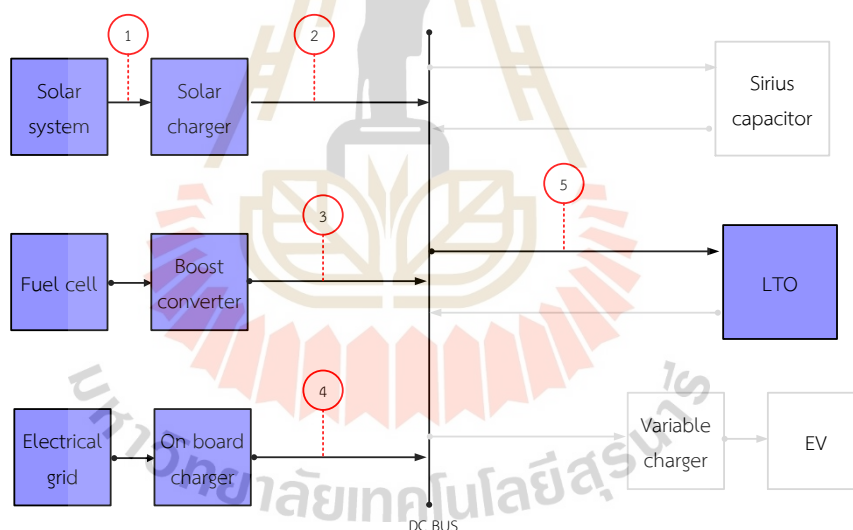


รูปที่ 5.21 ผลการทดสอบกรณีที่ 7

กรณีศึกษาที่ 8 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงระบบโครงข่ายไฟฟ้าและ LTO

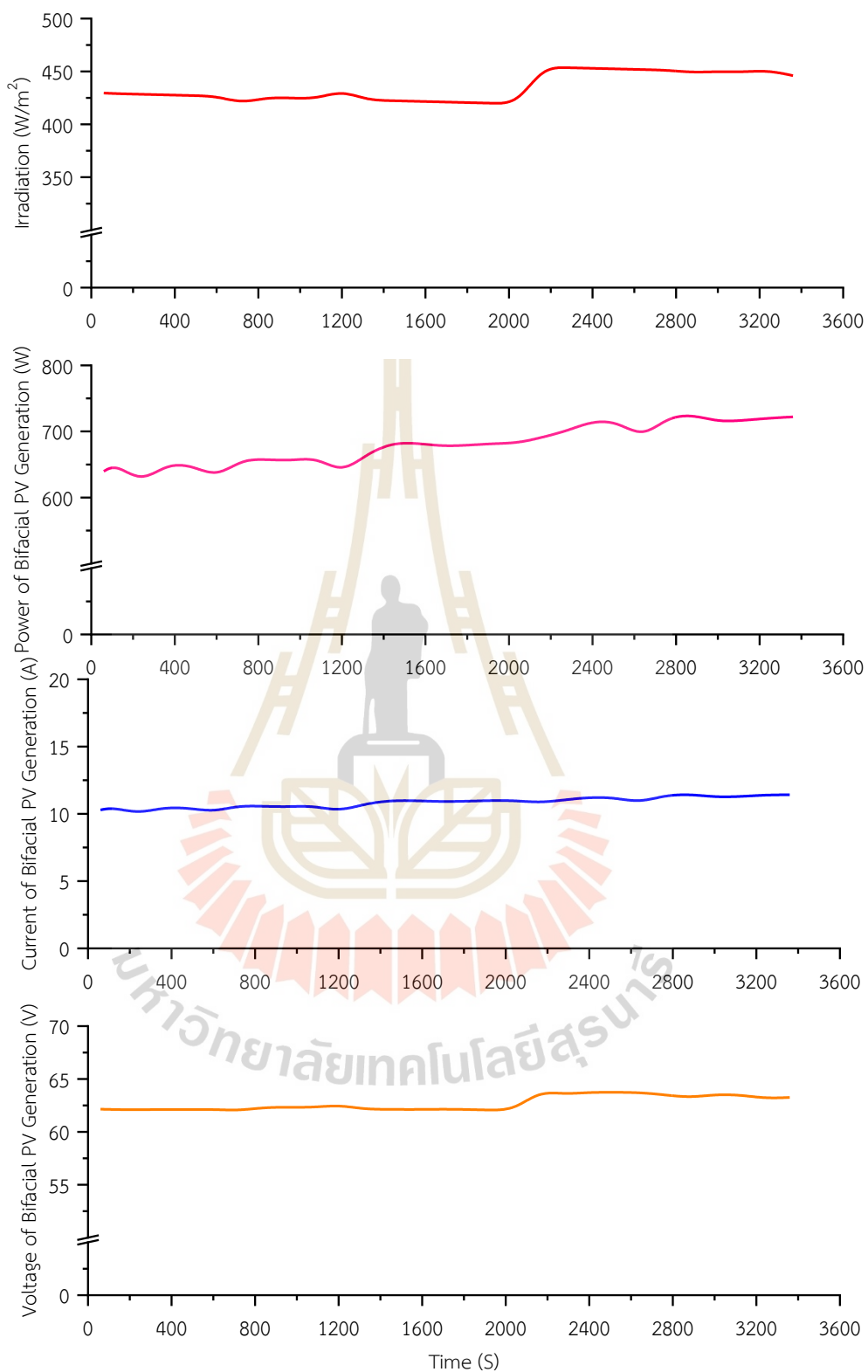
ก่อนทำการทดสอบได้ทำการคายประจุของ LTO จนมีแรงดันเหลือ 46 V แล้วจึงมาทดสอบโดยต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 5.22 โดยก่อนการต่ออุปกรณ์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทุกตัวเพื่อความปลอดภัย หลังจากนั้นปิดเบรกเกอร์ของ LTO วงจรแปลงผันแบบบูสต์ โซล่าชาร์จเจอร์ และ on board charger ตามลำดับ โดยทำการทดสอบในเวลาที่มีความเข้มแสงน้อยเพื่อต้องการให้กระแสที่ใช้ในการอัด LTO ไม่เกินพิกัดอัตราการอัด 1C หรือ 40 Ah พบว่าที่ความเข้มแสงประมาณ 450 W/m² ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะไม่เกิน 15 A และแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 60 – 65 V แสดงพฤติกรรม ดังรูปที่ 5.23

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.24 พบว่าระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้ LTO ได้ โดยมีแรงดันที่巴士เท่ากับแรงดันของ LTO และพบว่าหากค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่เกิน 20 A จะสามารถนำมาผสมผสานกับแหล่งพลังงานอื่นได้โดยที่ยังไม่เกินอัตราการอัดของ LTO

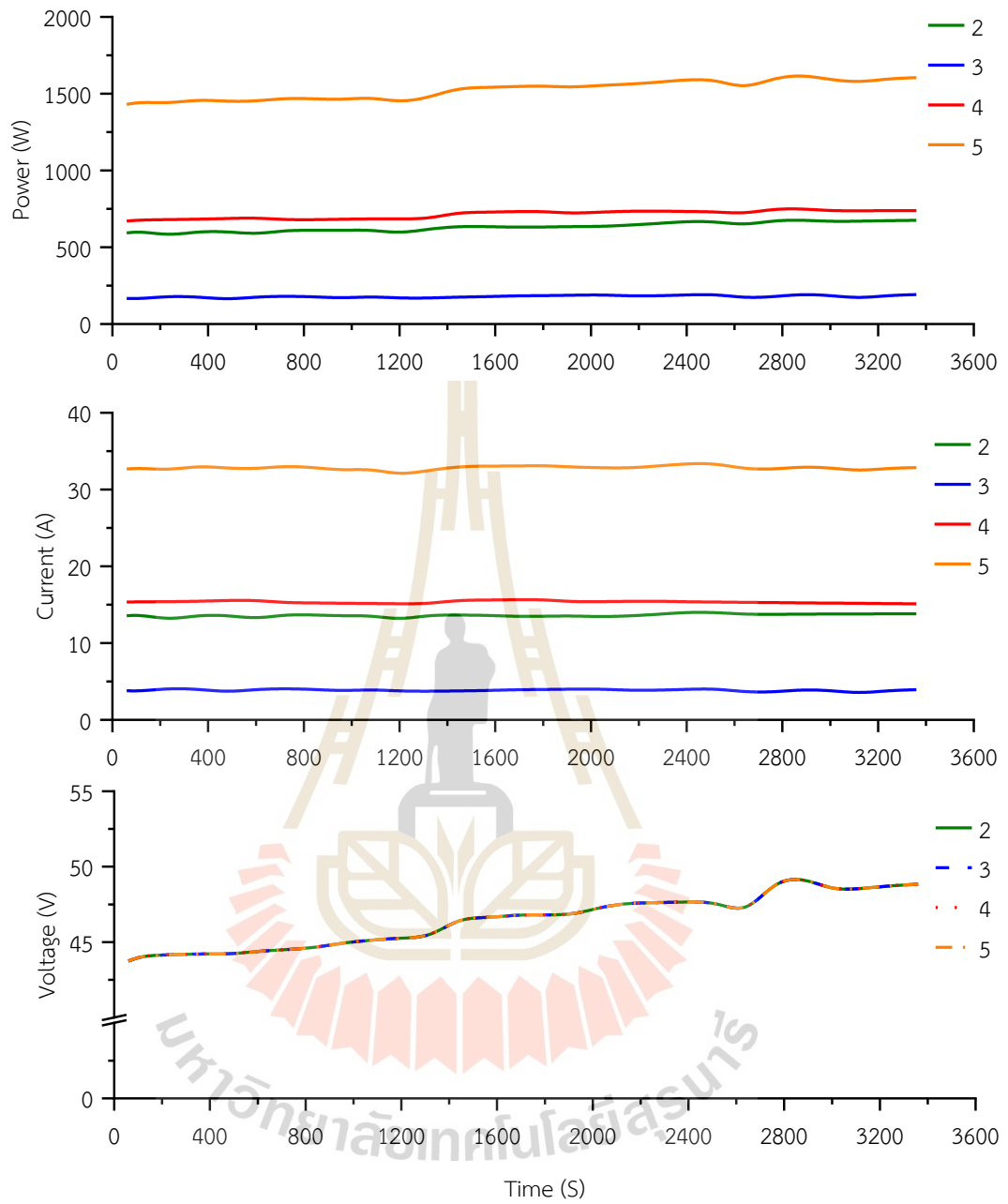


รูปที่ 5.22 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 8

- โดย
- 1 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตได้
 - 2 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเมื่อผ่านชาร์จเจอร์
 - 3 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันแบบบูสต์
 - 4 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ผ่านการแปลงด้วย on board charger
 - 5 คือ จุดวัดค่าไฟฟ้าของ LTO



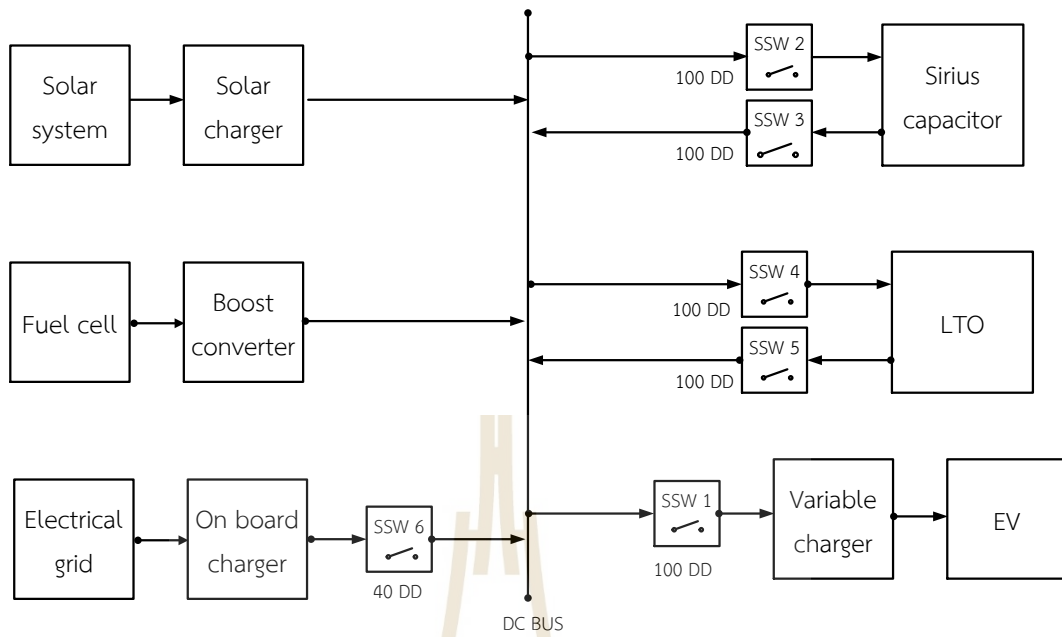
รูปที่ 5.23 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 8



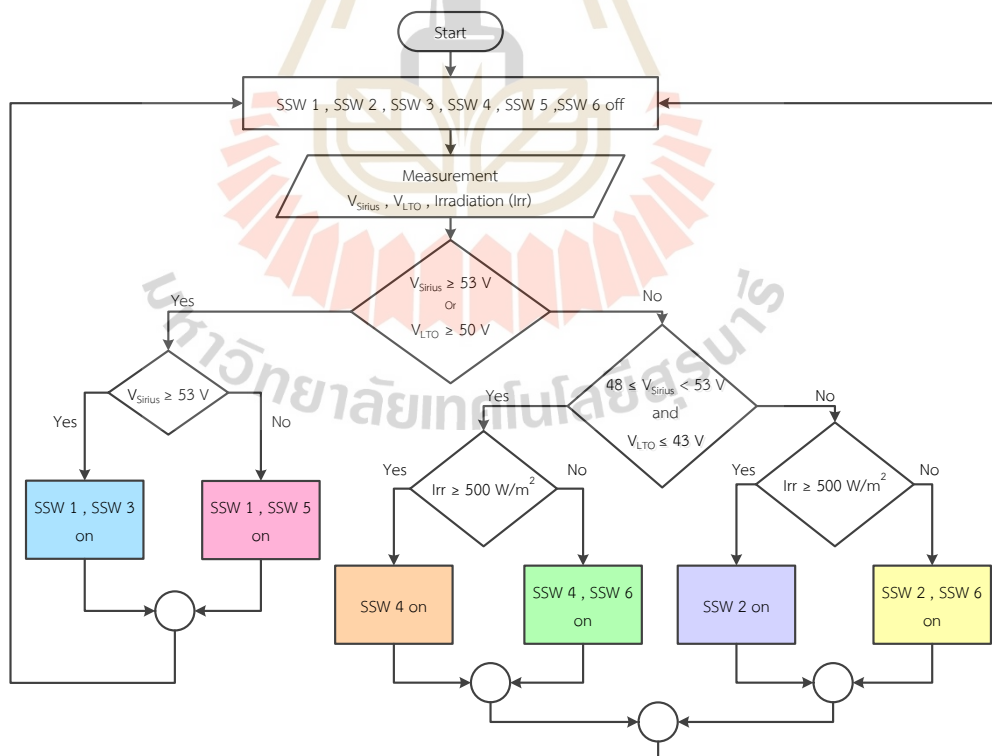
รูปที่ 5.24 ผลการทดสอบกรณีที่ 8

5.3 การออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุแบบเร็วโหมดกระแสตรงที่ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากผลการทดสอบที่แยกทดสอบเป็นกรณีทั้ง 8 กรณี พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบโครงข่ายไฟฟ้า VC และระบบกักเก็บพลังงานที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO สามารถทำงานร่วมกันได้ แต่ต้องมีการแยกการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO ให้ทำงานไม่พร้อมกัน กล่าวคือ หากระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC หรือกำลังอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าระบบต้องทำการปลดแบตเตอรี่ LTO ออกเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และในทำนองเดียวกันหากระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานเลือกใช้ LTO เป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC หรือกำลังอัดประจุให้กับ LTO ระบบต้องทำการปลดแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าออก ระบบโครงข่ายไฟฟ้าถูกนำมาใช้สำหรับอัดประจุระบบกักเก็บพลังงาน ทั้งนี้การนำระบบโครงข่ายเข้ามาเป็นอีกแหล่งพลังงานของการอัดประจุต้องคำนึงถึงอัตราการอัดของระบบกักเก็บพลังงาน เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้กันมีอัตราการอัดประจุที่ต่างกัน โดยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้ารองรับอัตราการอัดได้ถึง 1.7C หรือ 125.8 A แต่ LTO รองรับอัตราการอัดเพียง 1C หรือ 40 A และจากการทดสอบการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าพบว่าเมื่อความเข้มแสงมากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากหรือประมาณ 30 A ทำให้หากมีการใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในวันที่ความเข้มแสงมาก ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าร่วมกันกระแสที่ได้จะเกินพิกัดอัตราการอัดประจุ ดังนั้นในโหมดการอัดประจุของระบบกักเก็บพลังงานจึงต้องพิจารณาความเข้มแสง โดยจากการทดสอบการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า พบว่าที่ความเข้มแสงน้อยกว่า 500 W/m² ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าผลิตกระแสได้ไม่เกิน 20 A เมื่อนำมารวมกับกระแสที่ได้จากระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าแล้วจะไม่เกินอัตราการอัดของระบบกักเก็บพลังงาน จึงสามารถแสดงแผนผังการทำงานและไดอะแกรมของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานได้ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26



รูปที่ 5.25 ไดอะแกรมระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน



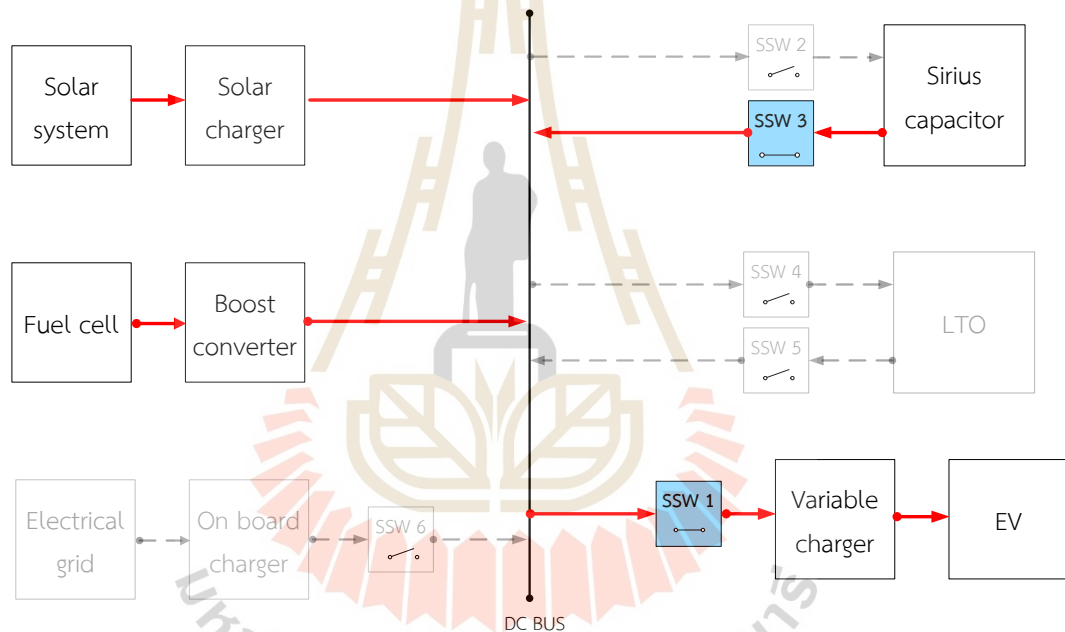
รูปที่ 5.26 แผนผังการทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน

จากแผนผังการทำงานและไดอะแกรมของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานมีการเพิ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับการจัดการพลังงานแบบผสมผสานซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เป็นโซลิดสเตตรีเลย์ (SSW) และใช้บอร์ด STM32F103C6T6 ในการควบคุมการทำงานของ SSW โดย SSW แต่ละตัวมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1) SSW 1 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าหรือ LTO อยู่ในสถานะเต็มพร้อมเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามาใช้บริการ และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและLTO อยู่ในสถานะไม่เต็ม
- 2) SSW 2 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อระบบต้องอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อทำการอัดประจุจนแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเต็ม โดย SSW 2 ห้ามทำงานในโหมดเดียวกันกับ SSW 1 SSW 3 SSW 4 และ SSW 5
- 3) SSW 3 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าถูกอัดจนเต็มพร้อมเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อระบบต้องอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดย SSW 3 ต้องทำงานในโหมดตรงข้ามกับ SSW 2 SSW 4 และ SSW 5 แต่ต้องทำงานในโหมดเดียวกับ SSW 1
- 4) SSW 4 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อระบบต้องอัดประจุให้กับLTO และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อทำการอัดประจุจน LTO เต็ม โดย SSW 4 ห้ามทำงานในโหมดเดียวกันกับ SSW 1 SSW 2 SSW 3 และ SSW 5
- 5) SSW 5 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อ LTO ถูกอัดจนเต็มพร้อมเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อระบบต้องอัดประจุให้กับ LTO โดย SSW 5 ต้องทำงานในโหมดตรงข้ามกับ SSW 2 SSW 3 และ SSW 4 แต่ต้องทำงานในโหมดเดียวกับ SSW 1
- 6) SSW 6 จะปิดวงจร (Normally Closed; NC) เมื่อระบบต้องการใช้พลังงานจากระบบโครงข่าย และเปิดวงจร (Normally Open: NO) เมื่อระบบไม่ต้องการใช้พลังงานจากระบบโครงข่าย

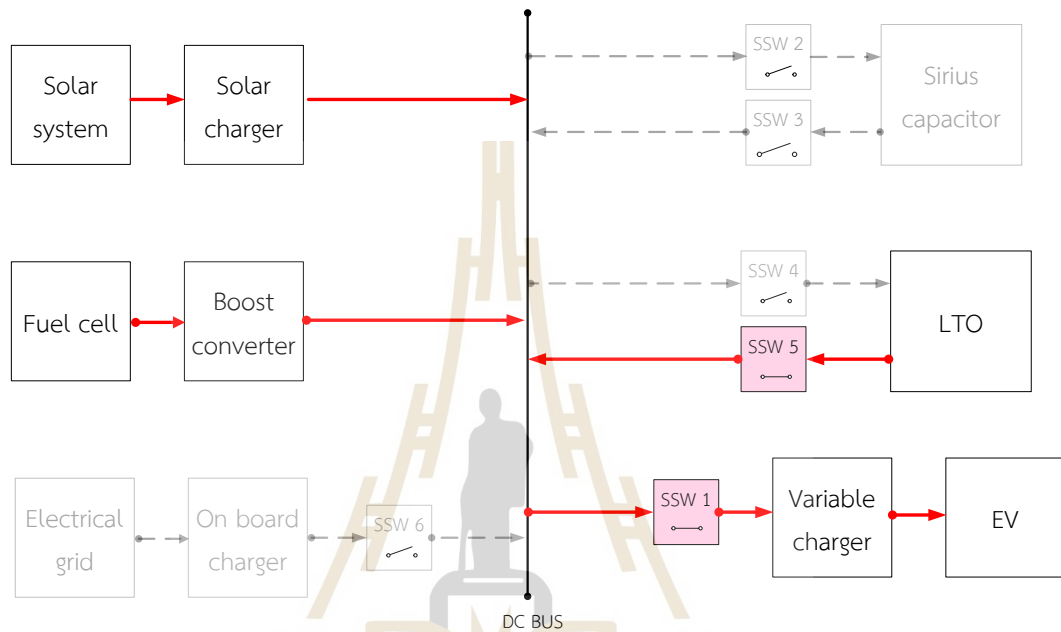
จากแผนผังการทำงานและไดอะแกรมของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสามารถแบ่งการทำงานของจัดการพลังงานแบบผสมผสานได้เป็น 6 โหมดดังต่อไปนี้

โหมดที่ 1 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งในโหมดนี้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องอยู่ในสถานะเต็ม หรือถ้าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและLTO อยู่ในสถานะเต็มทั้งคู่ ให้ระบบจัดการพลังงานเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าก่อนเนื่องจากมีอัตราการอัดประจุและคายประจุมากกว่า โดยในโหมดนี้ SSW 1 และ SSW 3 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 2 SSW 4 SSW 5 และ SSW 6 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.27



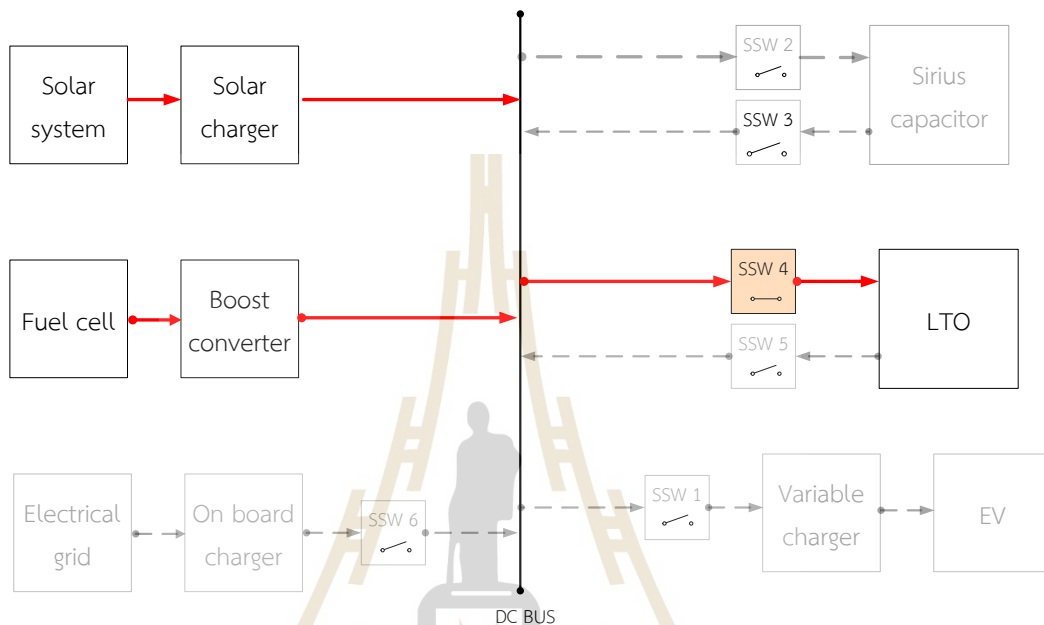
รูปที่ 5.27 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 1

โหมดที่ 2 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและ LTO ซึ่งในโหมดนี้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททานเนตต้องอยู่ในสถานะเต็ม โดยในโหมดนี้ SSW 1 และ SSW 5 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 2 SSW 3 SSW 4 และ SSW 6 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.28



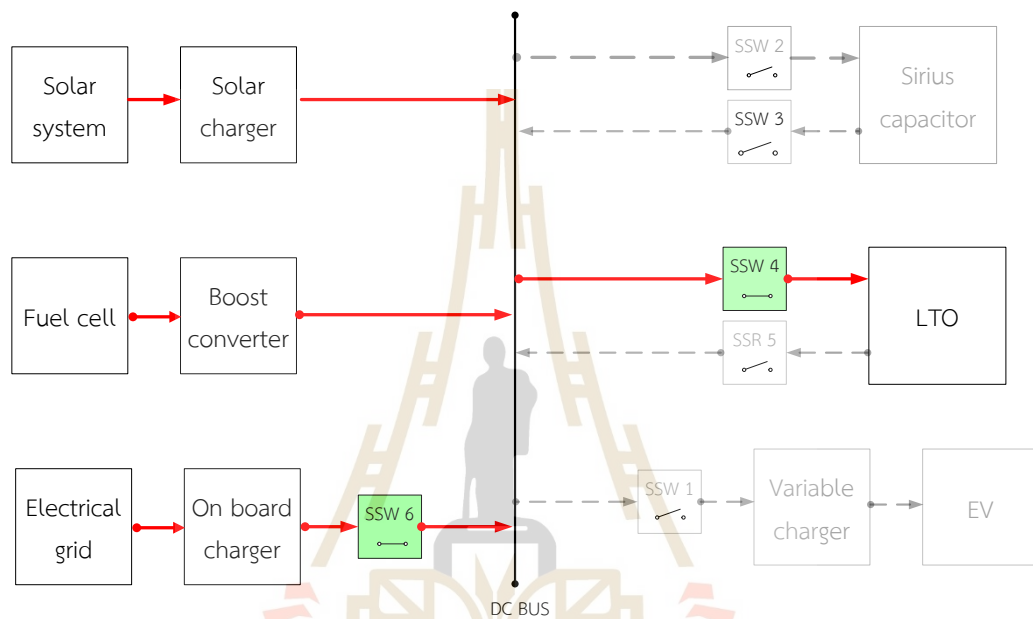
รูปที่ 5.28 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 2

โหมดที่ 3 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงาน ในโหมดนี้ระบบกักเก็บพลังงาน คือ LTO ซึ่ง LTO ต้องอยู่ในสถานะไม่เต็มและหากความเข้มแสงมีค่ามากกว่า 500 W/m^2 ให้ทำการอัดประจุ LTO ด้วยระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โหมดนี้ SSW 4 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 1 SSW 2 SSW 3 SSW 5 และ SSW 6 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.29



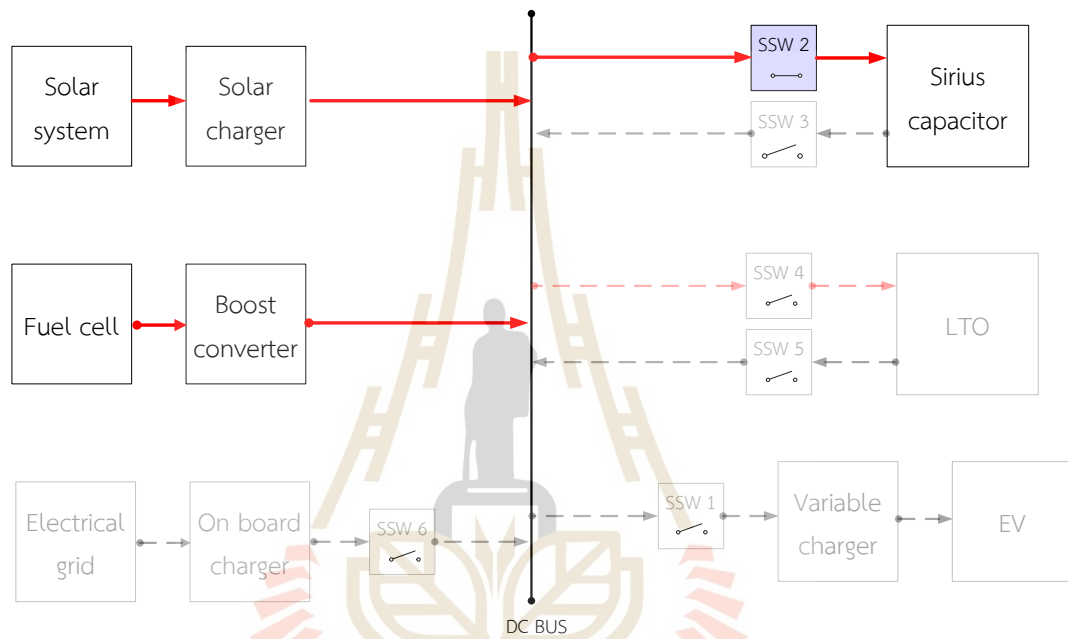
รูปที่ 5.29 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 3

โหมดที่ 4 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงาน ในโหมดนี้ระบบกักเก็บพลังงาน คือ LTO ซึ่งในโหมดที่ 4 นี้มีการทำงานคล้ายกับ โหมดที่ 3 ต่างกันที่โหมดที่ 4 ทำงานในกรณีที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 500 W/m² ทำการอัดประจุ LTO ด้วยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบ เซลล์เชื้อเพลิง และระบบโครงข่ายไฟฟ้า โหมดนี้ SSW 4 และ SSW 6 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 1 SSW 2 SSW 3 และ SSW 5 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.30



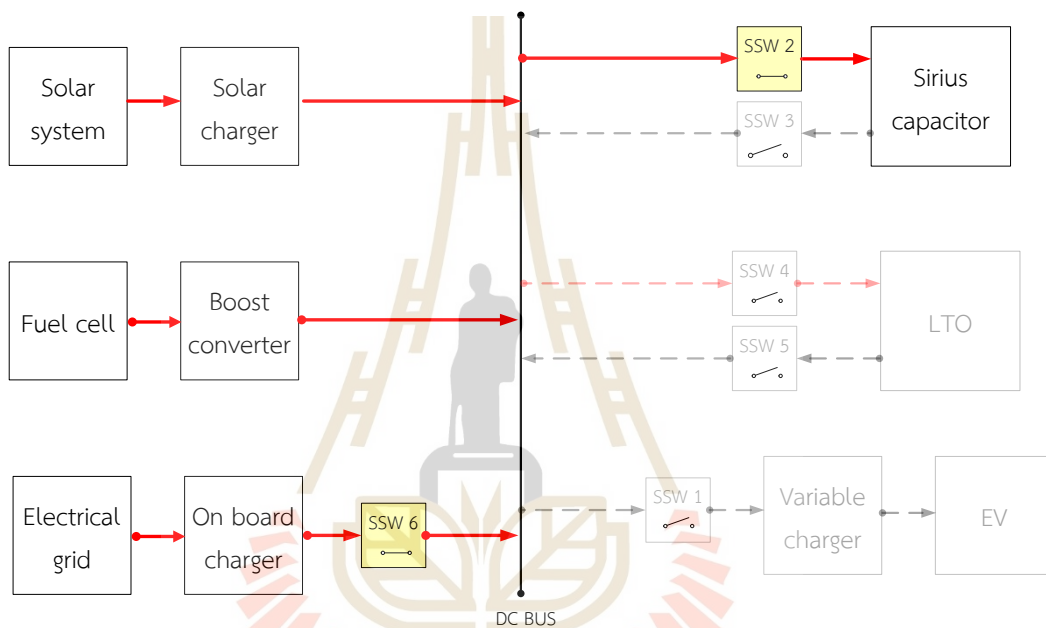
รูปที่ 5.30 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 4

โหมดที่ 5 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงาน ในโหมดนี้ระบบกักเก็บพลังงาน คือ แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องอยู่ในสถานะไม่เต็ม โดยมีข้อเงื่อนไขเพิ่มเติม คือ หากความเข้มแสงมีค่ามากกว่า 500 W/m^2 ให้การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้วยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โหมดนี้ SSW 2 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 1 SSW 3 SSW 4 SSW 5 และ SSW 6 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 5

โหมดที่ 6 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงาน ในโหมดนี้ระบบกักเก็บพลังงาน คือ แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งในโหมดที่ 6 นั้นมีการทำงานคล้ายกับโหมดที่ 5 ต่างกันที่โหมดที่ 6 ทำงานในกรณีที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 500 W/m^2 ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และระบบโครงข่ายไฟฟ้า โหมดนี้ SSW 2 และ SSW 6 ทำงานแบบ NC ส่วน SSW 1 SSW 3 SSW 4 และ SSW 5 ทำงานแบบ NO ดังรูปที่ 5.32

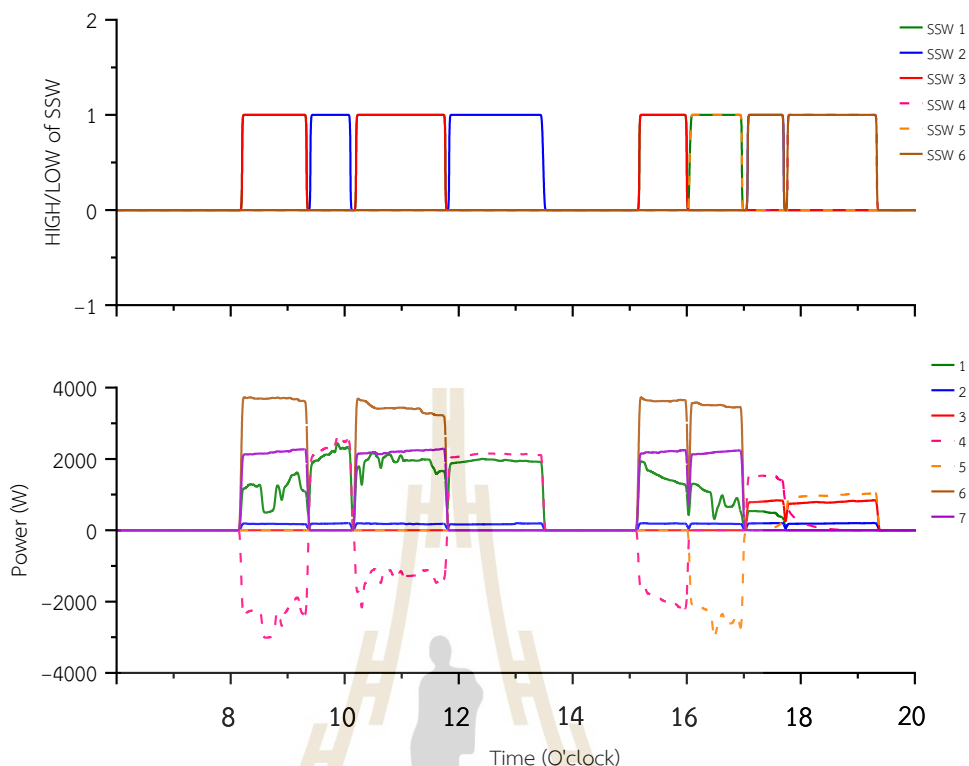


รูปที่ 5.32 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 6

5.4 ผลการทดสอบของระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

ผลการทดสอบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุสามารถแสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.33 พบว่าระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุสามารถทำงานได้ตามผังการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 5.25 โดยระบบควบคุมทำงานในโหมดที่ 1 และ 2 ในกรณีที่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาอัดประจุโดยมีการเลือกผสมผสานพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า เซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าก่อนตามเงื่อนไขแต่ถ้าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าไม่ได้อยู่ในสถานะที่พร้อมใช้ระบบควบคุมทำการผสมผสานพลังงานจาก LTO แทน โดยระบบกักเก็บพลังงานทั้ง 2 ชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO มีค่าเป็นบวกในกรณีที่กำลังถูกอัดประจุและมีค่าเป็นลบเมื่อโตนนำพลังงานไปใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ระบบควบคุมทำงานในโหมดที่ 3 – 6 สำหรับกรณีที่ไม่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาทำการอัดประจุระบบควบคุมสามารถผสมผสานพลังงานที่มีนั้นคือพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อทำการอัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงานที่ถูกใช้ไป ระบบทำการใช้พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้คัมค่าที่สุดก่อน แต่ถ้าความเข้มของแสงน้อยกว่า 500 W/m^2 ตามที่ได้ออกแบบเงื่อนไขไว้ ระบบทำการนำพลังงานจากระบบโครงข่ายผ่าน on board charger มาใช้เพื่อผสมผสานพลังงานให้สามารถอัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงานให้เต็มไว้ที่สุดเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้ามาใช้บริการในครั้งถัดไป

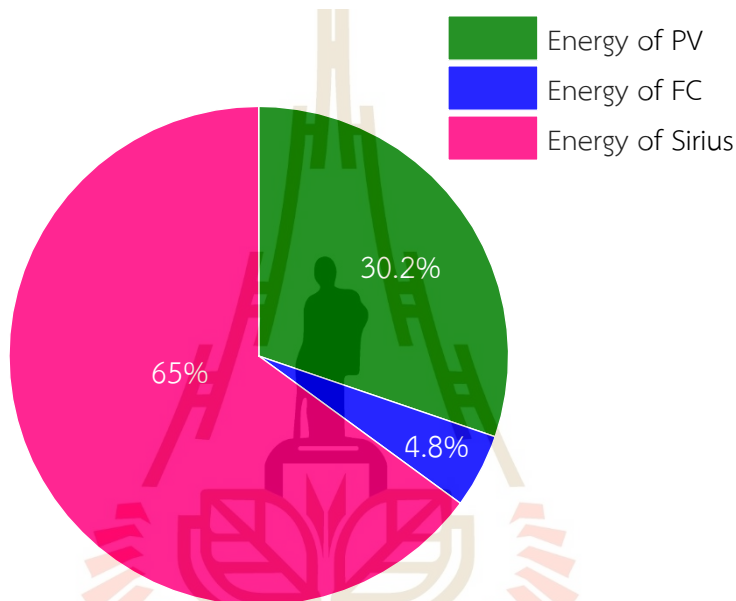




รูปที่ 5.33 ผลการทดสอบระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว
ในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน

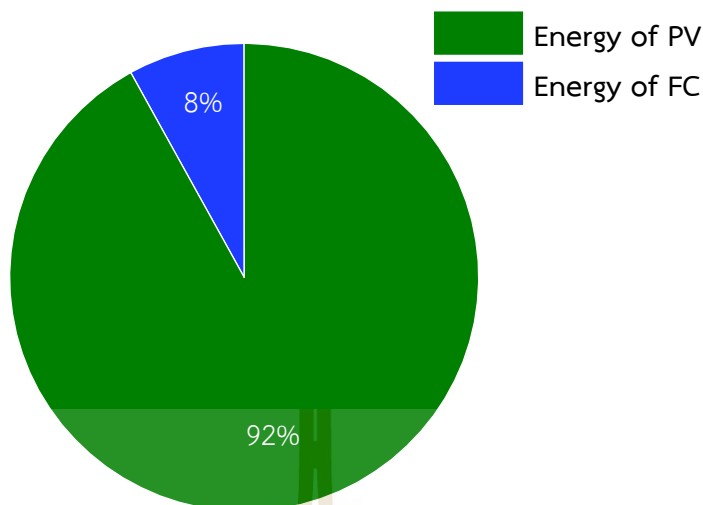
- โดย
- หมายเลข 1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า
 - หมายเลข 2 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบเซลล์เชื้อเพลิง
 - หมายเลข 3 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบโครงข่ายไฟฟ้า
 - หมายเลข 4 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยมีค่าเป็นบวกเมื่อเกิดการอัดประจุและมีค่าเป็นลบเมื่อคายประจุ
 - หมายเลข 5 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จาก LTO โดยมีค่าเป็นบวกเมื่อเกิดการอัดประจุและมีค่าเป็นลบเมื่อคายประจุ
 - หมายเลข 6 คือ กำลังไฟฟ้าที่ VC ใช้ในการอัดประจุ
 - หมายเลข 7 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การศึกษานี้ได้ทดสอบการทำงานตลอดวัน ทำการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใช้อัดประจุระบบกักเก็บพลังงานในแต่ละช่วงเวลา จากผลการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงเวลา 08:12 น. - 09:20 น. มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการอัดประจุระบบการจัดการพลังงาน ทำงานในโหมดที่ 1 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 30.2 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 4.8 % และพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเท่ากับ 65 %



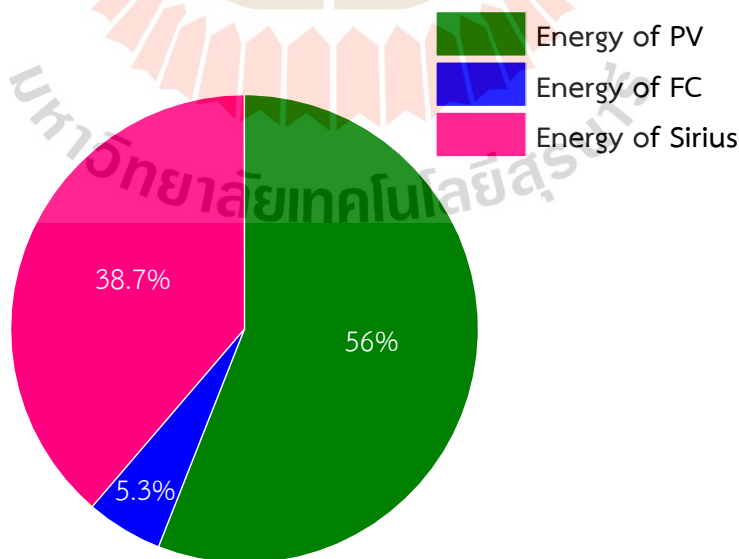
รูปที่ 5.34 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ขณะอัดประจุไฟฟ้าให้กับ EV ในช่วงเวลา 08:12 น. - 09:20 น.

ในช่วงเวลา 09:25 น. - 10:06 น. เป็นช่วงเวลาในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ระบบการจัดการพลังงานทำงานในโหมดที่ 5 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 92 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 8 %



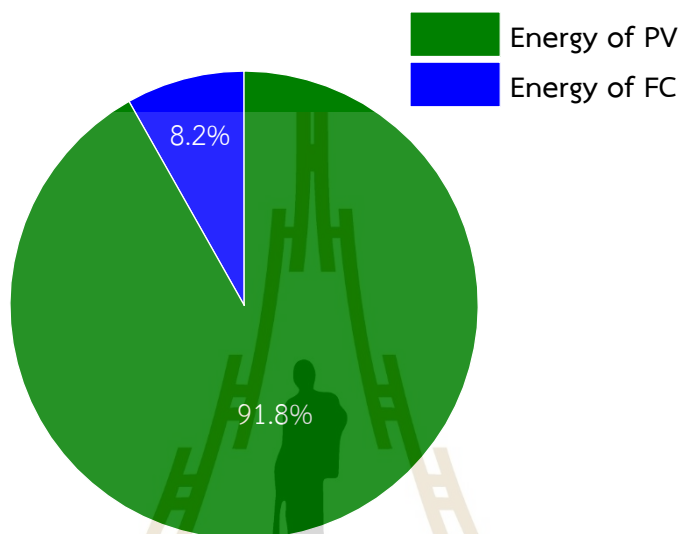
รูปที่ 5.35 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 09:25 น. - 10:06 น.

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 10:12 น. - 11:40 น. มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการอัดประจุ ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานทำงานในโหมดที่ 1 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 56 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 5.3 % และพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเท่ากับ 38.7 %



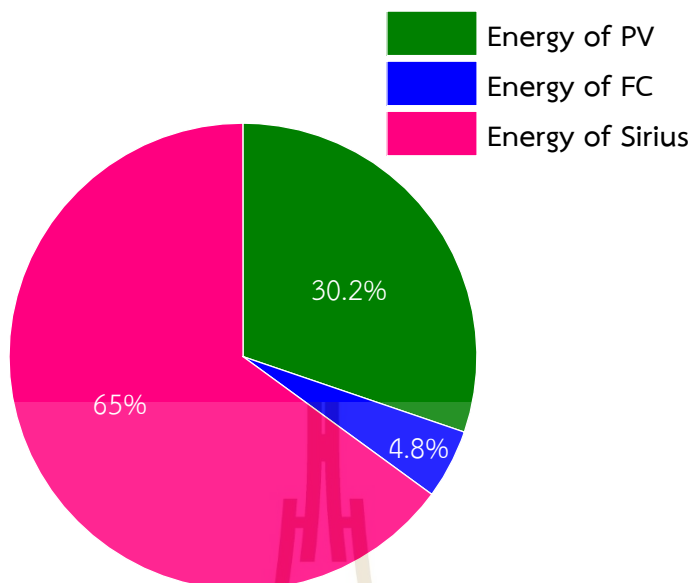
รูปที่ 5.36 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 10:12 น. - 11:40 น.

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 11:48 น. – 13:30 น. เป็นช่วงเวลาในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานทำงานในโหมดที่ 5 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 91.8 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 8.2 %



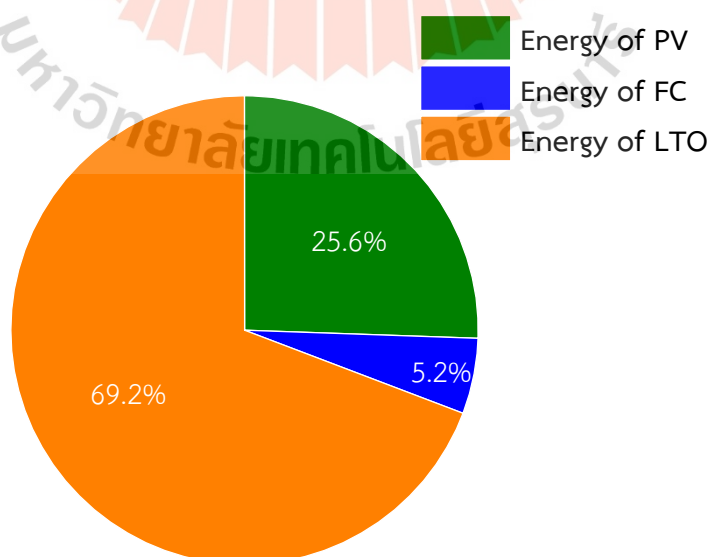
รูปที่ 5.37 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 11:48 น. – 13:30 น.

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 15:12 น. – 16:00 น. มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการอัดประจุ ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานสำหรับใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ มีการผสมผสานพลังงาน ดังรูปที่ 5.38 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 30.2 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง 4.8 % และพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า 65 %



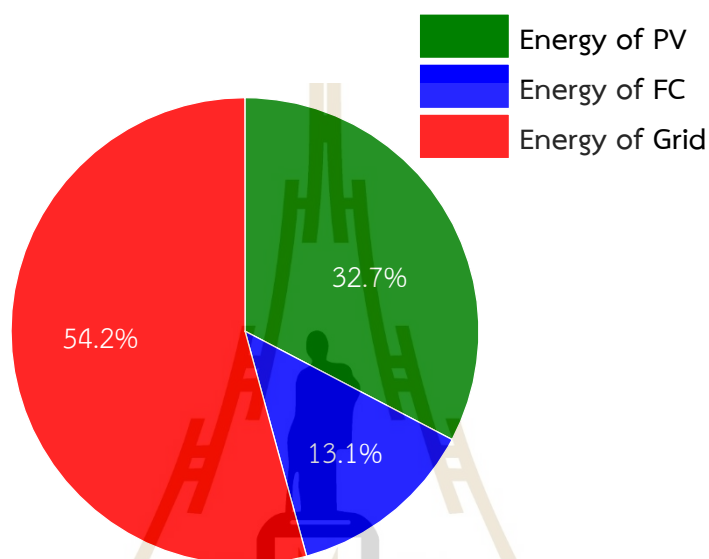
รูปที่ 5.38 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 15:12 น. – 16:00 น.

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 16:04 น. – 17:00 น. มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการอัดประจุ ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานทำงานในโหมดที่ 2 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแบตเตอรี่ชนิด LTO เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 25.6 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 5.2 % และพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิด LTO เท่ากับ 69.2 %



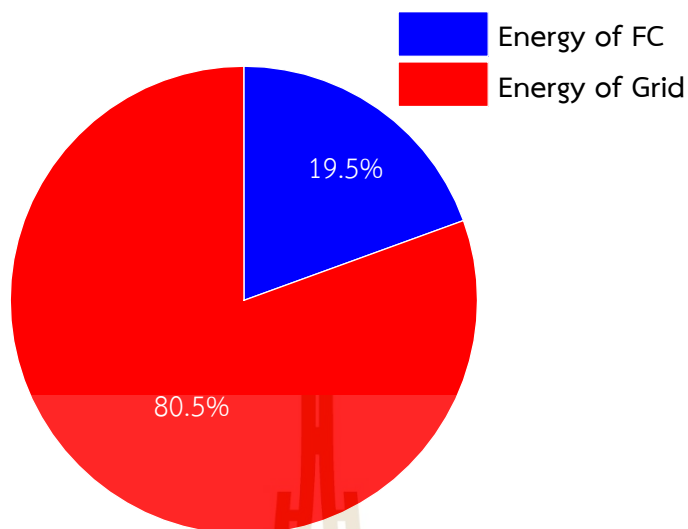
รูปที่ 5.39 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 16:04 น. – 17:00 น.

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 17:06 น. – 17:50 น. เป็นช่วงเวลาในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานทำงานในโหมดที่ 6 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าเท่ากับ 32.7 % พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 13.1 % และพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเท่ากับ 54.2 %



รูปที่ 5.40 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 17:06 น. – 17:50 น.

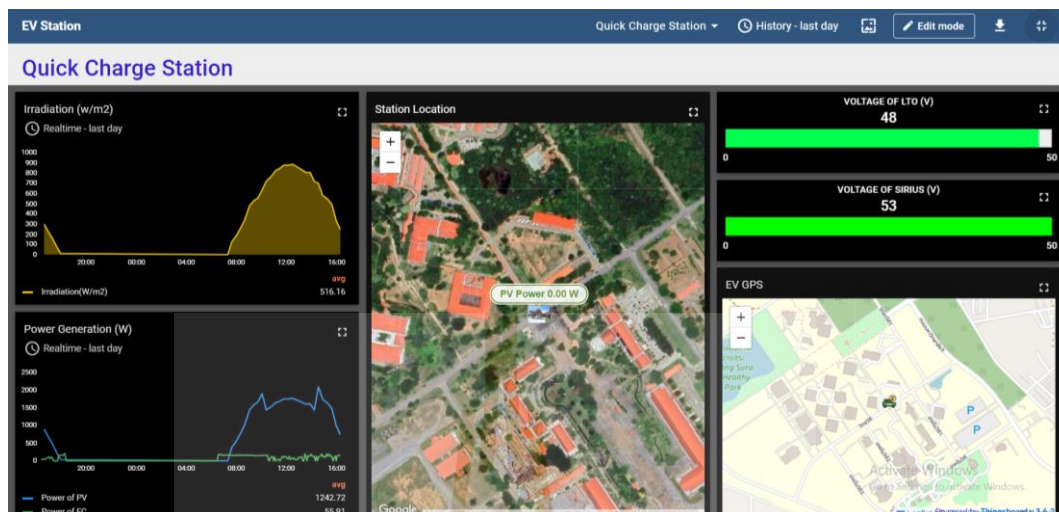
จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 17:56 น. – 19:20 น. เป็นช่วงเวลาในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิด LTO ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานสำหรับใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยมีการผสมผสานพลังงาน ดังรูปที่ 5.41 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิด LTO โดยคิดเป็นสัดส่วน คือ พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง 19.5 % และพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า 80.5 %



รูปที่ 5.41 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 17:56 น. – 19:20 น.

5.5 ระบบสื่อสารและแสดงข้อมูลด้าน IoT

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการจัดทำแพลตฟอร์มสำหรับแสดงข้อมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อความสะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลของผู้ดูแลระบบและผู้เข้ามาใช้บริการ โดยเลือกใช้ Thingsboard platform เนื่องจากเป็นแพลตฟอร์มโอเพนซอร์ส (Open-Source Platform) แบบพร้อมใช้งานสำหรับการจัดการข้อมูลของอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตแบบสรรพสิ่ง (IoT - Internet of Things) และการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ไปยังพื้นที่บริการคลาวด์ (Cloud Service) หรือฐานข้อมูล โดยได้ทำการออกแบบแพลตฟอร์มแสดงการผสมผสานพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อแสดงข้อมูลให้ผู้เข้ามาใช้บริการสามารถเข้าถึงและทราบถึงแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุซึ่งประกอบด้วย แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ แหล่งพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง แหล่งพลังงานจากระบบกักเก็บพลังงานและแหล่งพลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยใช้บอร์ดควบคุม STM32F103C6T6 และ ESP32 ในการควบคุมและอ่านค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าด้วยโมดูลวัด PZEM-017 รวมไปถึงเซ็นเซอร์ตรวจจับพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วนำค่าที่ได้มาเก็บในฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) แล้วส่งขึ้นไปยัง node-red หลังจากนั้นจึงส่งไปแสดงค่าบน Thingsboard platform ที่ได้มีการแสดงผลผ่านหน้าจอ PC ไว้ ดังรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 แพลตฟอร์มสำหรับแสดงข้อมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าบนหน้าจอ PC

5.6 สรุป

เนื้อหาในบทที่ 5 นำเสนอระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสานให้เพียงพอต่อความต้องการของ VC ผลการทดสอบพบว่าระบบที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถผสมผสานพลังงานและทำงานร่วมกันได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ยังทำให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าสามารถรองรับการนำยานยนต์ไฟฟ้ามาอัดประจุได้อย่างต่อเนื่อง และจากการผสมผสานพลังงานทำให้สถานีอัดประจุนี้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่ความเข้มแสงน้อยเท่านั้น ทั้งนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากโมดูลวัดไปแสดงบนแพลตฟอร์มของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อให้ผู้เข้ามาใช้บริการทราบถึงแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่มีแหล่งพลังงานคือ ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ 2 ชนิดและมีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

1. ได้องค์ความรู้จากการศึกษาข้อมูลและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าและแหล่งพลังงานแบบไฮบริด รายละเอียดได้นำเสนอไว้ในส่วนของบทที่ 3
2. ได้องค์ความรู้สำหรับออกแบบและทดสอบอุปกรณ์คู่ควบของสถานีอัดประจุ โดยเริ่มต้นการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าจากการพิจารณาโหลดทางไฟฟ้าของสถานีเนื่องจากสถานีอัดประจุนี้เป็นสถานีอัดประจุที่ใช้พลังงานทดแทนเป็นหลักจึงต้องให้ความสำคัญกับความต้องการของโหลด ซึ่งโหลดทางไฟฟ้าของสถานีนี้คือ ยานยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงาน 2 ชนิด เมื่อพิจารณาโหลดจนแล้วเสร็จจึงสามารถคำนวณหากำลังการติดตั้งของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าได้ ซึ่งภายในวิทยานิพนธ์นี้ติดตั้งอยู่ที่ 3.09 kW_p ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากภายในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงมีการติดตั้งอยู่ที่พิกัด 200 W โดยระบบเซลล์มีพิกัดแรงดัน 24 V ทำให้ก่อนนำมาใช้ต้องผ่านการแปลงผันแรงดันให้มีค่าเท่ากับแรงดันของระบบกักเก็บพลังงานก่อนนั่นคือ 48 V ทำให้ต้องเกิดการสร้างวงจรแปลงผันแบบบูสต์ขึ้น หลังจากนั้นทำการทดสอบอุปกรณ์คู่ควบภายในสถานี โดยรายละเอียดในส่วนนี้ได้นำเสนอไว้ในส่วนของบทที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปว่าในบทที่ 4 ได้พิกัดการติดตั้งของแหล่งพลังงานแบบไฮบริด ได้ผลการจำลองและผลการทดสอบของแหล่งพลังงานแบบไฮบริด ได้วงจรแปลงผันแบบบูสต์และได้ผลการทดสอบอุปกรณ์คู่ควบภายในสถานีอัดประจุ

3. ได้ระบบควบคุมการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ใช้พลังงานแบบผสมผสาน โดยจากผลการนำเสนอในบทที่ 4 พบว่าหากนำแหล่งพลังงานมาผสมผสานกันจะสามารถเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC ได้ แต่ต้องเกิดการออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้เกิดการผสมผสานที่ดีที่สุดและลดการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายให้ได้มากที่สุด โดยการออกแบบและผลการทดสอบของระบบควบคุมได้นำเสนอไว้ในบทที่ 5 พบว่าระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้โดยเกิดการผสมผสานพลังงานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าและแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดสามารถสลับกันทำงานตามที่ได้ออกแบบการควบคุมไว้ ส่งผลให้สถานีอัดประจุไฟฟ้านี้มีการใช้พลังงานจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพียงช่วงเวลาที่ความเข้มแสงน้อยกว่า 500 W/m^2 เท่านั้น
4. ได้แพลตฟอร์มสำหรับแสดงข้อมูลของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในระบบที่วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเป็นการศึกษาการใช้พลังงานทดแทนเข้ามาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้า จึงพิจารณาใช้เซลล์เชื้อเพลิงจากบริษัท Horizon พิกัดกำลังไฟฟ้า 200 W ซึ่งจากผลการดำเนินงานพบว่าระบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสามารถทำงานร่วมกับแหล่งพลังงานอื่นได้ โดยทำหน้าที่คล้ายกับ power supply ทำให้หากต้องการลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่ความเข้มแสงน้อยควรเพิ่มพิกัดของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุแทนพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รายงานอ้างอิง

- Affif, A., Rahman, S. M., Azad, A. T., Zaini, J., Islan, M. A., & Azad, A. K. (2019). Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage–A review. **Journal of Energy Storage**, 25, 100852.
- Almi, M. F., Arrouf, M., Belmili, H., Boulouma, S., & Bendib, B. (2014). Energy management of wind/PV and battery hybrid system. **International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA)**, 4(1), 30-38.
- Bhadra, S., Mukhopadhyay, P., Bhattacharya, S., Debnath, S., Jhampati, S., & Chandra, A. (2020, September). Design and development of solar power hybrid electric vehicles charging station. In **2020 IEEE 1st International Conference for Convergence in Engineering (ICCE)** (pp. 285-289). IEEE.
- Biya, T. S., & Sindhu, M. R. (2019, June). Design and power management of solar powered electric vehicle charging station with energy storage system. In **2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)** (pp. 815-820). IEEE.
- Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., David, W. I., & Brandon, N. P. (2008). Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. **Energy policy**, 36(12), 4356-4362.
- Ghoniem, R. M., Alahmer, A., Rezk, H., & As' ad, S. (2023). Optimal design and sizing of hybrid photovoltaic/fuel cell electrical power system. **Sustainability**, 15(15), 12026.
- Kumar, K., Mudgal, A., Thapliyal, M., Srivastava, J., & Dutta, V. (2016, March). Implementation and analysis of PV-FC hybrid system using design parameters obtained from TRNSYS© model. In **2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS)** (pp. 1-5). IEEE.
- Liu, Y., Tang, Y., Shi, J., Shi, X., Deng, J., & Gong, K. (2014). Application of small-sized SMES in an EV charging station with DC bus and PV system. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, 25(3), 1-6.

- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074.
- Naik, A., Udaykumar, R. Y., & Kole, V. (2012, December). Power management of a hybrid PEMFC-PV and Ultracapacitor for stand-alone and grid connected applications. In **2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)** (pp. 1-5). IEEE.
- Nizam, M., & Wicaksono, F. R. (2018, October). Design and optimization of solar, wind, and distributed energy resource (DER) hybrid power plant for electric vehicle (EV) charging station in rural area. In **2018 5th international conference on electric vehicular technology (ICEVT)** (pp. 41-45). IEEE
- Rao, T. E., Elango, S., & Swamy, G. G. (2021, February). Power management strategy between PV-wind-fuel hybrid system. In **2021 7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)** (pp. 101-107). IEEE.
- Reddy, K. A., Srinivas, K., & Ayyappan, G. S. (2015, November). Simulation of power management circuit in a standalone solar photovoltaic-fuel cell-battery hybrid power system. In **2015 IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems/Petroleum and Chemical Industry Conference (ICPSPCIC)** (pp. 168-173). IEEE.
- Sangpanich, U. (2014, December). A novel method of decentralized battery energy management for stand-alone PV-battery systems. In **2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)** (pp. 1-5). IEEE.
- Stambouli, A. B. (2011). Fuel cells: The expectations for an environmental-friendly and sustainable source of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4507-4520.
- Verma, A., & Singh, B. (2020, January). Integration of solar PV-wecs and DG set for EV charging station. In **2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)** (pp. 1-6). IEEE.
- Youssef, C., Fatima, E., & Chakib, A. (2018, May). A technological review on electric vehicle DC charging stations using photovoltaic sources. In **IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 353, No. 1, p. 012014)**. IOP Publishing.

Zhang, Y., He, J., & Ionel, D. M. (2019, June). Modeling and control of a multiport converter based EV charging station with PV and battery. In **2019 IEEE Transportation electrification conference and EXPO (ITEC)** (pp. 1-5). IEEE.





ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คําสั่งของงานวิจัยและพัฒนาแบบบูรณาการและระบบควบคุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

*****
        โค้ดการทำงานของบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ของวงจรแปลงผันแบบบูสต์
*****

int analogPin = A3;
int analogRead_value = 0;
float DD;

void setup()
{
    TCCR0B = 0;
    TCCR0B |= (1 << CS00);
    TCCR1B = 0;
    TCCR1B |= (1 << CS10);
    TCCR3B = 0;
    TCCR3B |= (1 << CS30);

    Serial.begin(9600);
    pinMode(12,OUTPUT);
}

void loop()
{
    analogRead_value = analogRead(analogPin);
    float scale_voltage = map(analogRead_value,0,1023,0,3000);
    float Final_voltage = scale_voltage/100;
    float voltage = 0.9827*Final_voltage + 0.6521 ;
    if ( (voltage>= 20) && (voltage<=24.5) )

```

```
    {  
        DD = (1 - (voltage/48) ) * 100;  
        float D = map(DD,0,100,0,255);  
        analogWrite(12,D);  
    }  
else  
    {  
        analogWrite(12,26);  
    }  
Serial.print(voltage);  
Serial.print(" V ");  
Serial.println(" ");  
}
```

```

*****
โค้ดการทำงานของบอร์ด STM32F103C6T6 สำหรับควบคุมการทำงานของโซลิดสเตตรีเลย์
*****

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // INPUT
  pinMode(PB0, INPUT);
  Vsirius = digitalRead(PB0);

  pinMode(PB1, INPUT);
  VLTO = digitalRead(PB1);

  pinMode(PB10, INPUT);
  Irr = digitalRead(PB10);

  // OUTPUT
  pinMode(PA8, OUTPUT); //SSW1 VAR
  pinMode(PA9, OUTPUT); //SSW2 Charge sirius
  pinMode(PA10, OUTPUT); //SSW3 Discharge sirius
  pinMode(PA11, OUTPUT); //SSW4 Charge LTO
  pinMode(PA12, OUTPUT); //SSW5 Discharge LTO
  pinMode(PA15, OUTPUT); //SSW6 Grid
}

void loop() {

  digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);

```

```

if ((VSisius >= 53) || (VLTO >= 50)) //Check status of ESS
{
    if (VSisius >= 53) //charge EV via Sirius,PV and FC
    {
        digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(PA8,PA10, HIGH);
    }
    else //charge EV via LTO,PV and FC
    {
        digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(PA8,PA12, HIGH);
    }
}
else
{
    if ((48<=VSisius < 53) && (VLTO <= 43))
    {
        if (Irr >= 500 )
        {
            // Check Irr
            digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);
            delay(1000);
            digitalWrite(PA11, HIGH);
        }
    }
}

```

```
    if(VLTO >=50)
    {
        digitalWrite(PA11, LOW);
    }
}
else
{
    digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(PA11,PA15, HIGH);
    if(VLTO >=50)
    {
        digitalWrite(PA11, LOW);
    }
}
}
else
{
    // charge LTO
    if (lrr >= 500 )
    {
        digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(PA9, HIGH);
        if(VSirius >=53)
        {
```

```
digitalWrite(PA9,PA15, LOW);  
    }  
}  
else  
{  
    digitalWrite(PA8,PA9,PA10,PA11,PA12,PA15, LOW);  
    delay(1000);  
    digitalWrite(PA9,PA15, HIGH);  
    if(VSirius >=53)  
    {  
        digitalWrite(PA9,PA15, LOW);  
    }  
}  
}  
}  
}
```


ภาคผนวก ข
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Design Power Management of Solar-Fuel Hybrid Sources with Energy Storage System for Quick Charge Station

Duangkamon Prasertdee
School of Electrical Engineering,
Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology,
Thailand,
Duangkamonpsd@gmail.com

Thipwan Fangsuwanarak
School of Electrical Engineering,
Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology,
Thailand,
*thipwan@sut.ac.th

Abstract— Electric vehicles (EVs) are effective to reduce global gas emissions and to become the important component of the transport sector. Therefore, the EVs charging infrastructure is very essential to develop at the same time. DC-charging station using renewable energy sources is substantially promoted due to increased environmental awareness and reduced grid power consumption. In this paper, charging-discharging power management of photovoltaic-fuel cells hybrid sources with energy storage system is investigated for the quick charge station. In addition, grid-tied solar-FC hybrid systems are designed and allocated by using an algorithm optimization selector controller. The energy allocation can properly correlate to the energy needs for an EVs with the least grid consumption.

Keywords— Quick Charge Station, Energy Storage System, PV-Fuel Cell Hybrid Sources

I. INTRODUCTION

Currently, the greenhouse effect is occurring, which causes from the exhaust emissions (CO_2 , CO , and NO_x) of transportation sector, which is traditionally exploiting fossil fuel in the combustion engine. The electric vehicle (EVs) was invented by Professor Sibrandus Stratingh in 1835[1], after that EVs have continuously developed, and the charging infrastructure has also progressed simultaneously.

Among this sub-infrastructure, there is not only the used grid electricity for EV charging station system but also renewable energy-assisted are attracting a considerably interest due to cost reduction and rise in efficiency of the photovoltaic (PV) modules. Today, fuel cell technology is increasingly attended due to its potential to change the rules in the transportation sector. Moreover, fuel cell (FC) system is able to be recharged in the closed-loop system with grid electricity. Thus, an upward trend in the increased number of EVs will lead to expansion of the charging stations establishment constructing with alternative energy sources in the future.

Nonetheless, PV generated electricity as a non-firm energy is its instability. Thus, hybrid systems incorporate PV, batteries and a supplemental charging source are considered increasingly. The installation of energy storage system (ESS) is able to mitigate the electricity fluctuations of renewable energy. However, there is still a general lack of published hybrid-source knowledge that incorporate PV, FC, batteries and a supplemental source as grid-tied system. A battery

energy storage system (BESS) is responsible for storing excess energy from the electrical transmission system by charging into the battery during low power consumption.

Typically, the load on renewable energy is always constant, giving the power allocation system with a simple algorithm [2][3]. In the case of EV load, time-period variation of EV energy requirement is necessary to be designed a complex energy allocation system in order to obtain properly power management.

In this article, the conjunction with renewable energy technologies in on-grid solar-FC hybrid system is investigated for EV quick charge (DC-charging system) application with BESS. In addition, the use of solar-FC hybrid energy as a main source in the DC-charging station is studies with power charging-discharging management. The DC-charging station with on-grid solar-FC hybrid system is designed and discussed in Section II. In order to receive a suitable EVs charging-discharging situation in our case study, the situation conditions consist of 4-case described in Section III. MATLAB Simulink (version 2019) is available for simulating the results of optimized hybrid-energy allocation system called as an algorithm optimization selector controller (AOSC). These simulation results are discussed in Section

II. CHARGING STATION TEPOLOGY

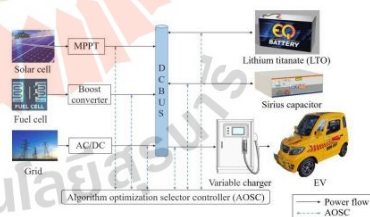


Fig. 1 Diagram of the charging station

Figure. 1 shows a diagram of the DC-charging station in this work. The component installation standards for a charging station are concerned, according to the regulation of Metropolitan Electricity Authority [4]. The DC-quick charging system with the rates of 53V_{dc} and 200A_{dc} is designed to appropriately work with AOSC.

2021 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI 2021)
October 20-22, 2021, Nakhon Ratchasima, THAILAND

A. Solar module and MPPT charge controller

The electrical loads here are divided into 2 part

1. Electric vehicles (EVs) 48 V 40 Ah requires the energy charging 8-time a day
2. ENERGY STORAGE SYSTEM INCLUDING A SIRIUS CAPACITOR 48 V, 74 Ah and a lithium titanate (LTO) battery 48 V, 40 Ah.

Table I. Specifications of the Solar panel;

Bifacial solar cell	
Maximum power (W)	430
Voltage at maximum power (V_{mp} /V)	40.6
Current at maximum power (I_{mp} /A)	10.60
Open circuit voltage (V_{oc} /V)	48.9
Short circuit current (I_{sc} /A)	11.30
Operating temperature ($^{\circ}$ C)	25

The specification of used solar panel is detailed in Table I. According to a designing procedure of an off-grid solar electric system, the amount of solar needed using an MPPT controller is determined [5]. The determined 6-solar panels produce enough energy with 2-series 3-parallel combination. The solar system provides 2.58 kW_p, 81.2 V_{mp}, and 31.8 A_{mp} in ratings. Maximum power point tracking controller (MPPT) is an important DC to DC component that optimizes the match between the PV array and the battery bank using the rate of 48 V 60 A.

B. Fuel cell with Boost converter

Fuel cell (FC) is a device with quiet operation and low emission that produces electricity through the electrochemical process by converting hydrogen and oxygen molecules into DC electricity without the combustion reaction [6]. A high efficiency charge over a broad turndown ratio of FC system provides several strategies opportunities for this work.

Table II. Specifications of the Fuel cell stack;

Type of fuel cell	PEM
Number of cells	40
Rated Power (W)	200
Nominal voltage (V)	24
Nominal current (A)	8.3
Hydrogen pressure (bar)	0.45-0.55
Hydrogen purity	≥99.995%

Table II shows the specifications of the Fuel cell stack to be used. Since 24V of FC rate, a boost converter was produced for stepping up DC-DC [7] voltage from 24 V_{DC} to 48 V_{DC}.

C. Grid electricity

For the backup power source of this charging station is 220 V_{AC} grid power is provided to ensure the continuous operation of this charging station. It uses a on board charger to convert from 220 V_{AC} to 48 V_{DC}.

D. Energy storage system

Battery Energy Storage System (BESS) is primarily intended to reduce the volatility caused by a surge in the PV generated. BESS stores the surplus power from the power transmission system and then it will discharge into the EVs load under the defined conditions.

In order to provide more strategies opportunities, different types of BESS: a Sirius capacitor and a lithium titanate (LTO) battery are used for energy backup as specified in Table III

Table III. The specifications of Sirius capacitor and LTO;

Type of Storage System	Sirius	LTO
Nominal Voltage (V)	48	48
Ampere hour rating (Ah)	74	40
Full charge voltage (V)	54	52
Initial state of charge (SOC)	98	98
Charging rate	1.7C	1C

E. EVs

An EVs operating by 1200 W-DC motor has the LTO battery and its battery management system (BMS) on board.

F. Variable charger

The variable charger acts as a charge controller, which is adjustable the desired voltage and current under rating of 53 V 200 A for charging EV. It has 2-plug types: the GB type and the alligator clamp.

III. CONTROL CONDITION OF CHARGING CHARGEING - DISCHARGEING

The control system based on the AOSC design conditions of the variable charger is demonstrated in this study. The operating conditions are classified into 4 conditions for suitable energy allocation.

Condition I: Discharging via solar-FC hybrid system if the energy storage system is at full capacity. There are 3 cases in this condition as follows:

- *Case A: Discharging via only solar system.*

Firstly, the AOSC chooses to connect with the solar energy system and senses the percentage of state of charge (%SoC) expansion rate of EV battery. If the value of %SoC expansion rate still presents in the specific range of 3.33-5.33, the variable charger will continue transmitting the solar energy to EV battery until %SoC reaching 98%. When the value is not in the condition, the AOSC will arrange to disconnect the solar energy system and then allocate to *Case B*.

- *Case B: Discharging via solar-FC hybrid systems.*

The AOSC selects to connect with the solar and FC hybrid systems and senses the %SoC expansion rate of the EVs battery. The variable charger will continue transmitting the solar and FC hybrid systems to EV battery until %SoC reaching 98%. When the value is not in the condition, the AOSC will arrange

to disconnect the solar-FC hybrid system and then allocate to Case C.

- Case C: Discharging via grid-tied solar-FC hybrid system.

The AOSC selects to connect with the grid tied solar-FC hybrid system and senses the %SoC expansion rate of the EV battery. When the value is not in the condition, the AOSC will arrange to disconnect the grid-tied solar-FC hybrid system and then allocate to another condition.

Condition II: Discharging via only energy storage system if the solar-FC hybrid energy is low.

Condition III: Discharging via directly grid electricity if both of solar-FC hybrid energy and BESS system are at the low-level.

Condition IV: Charging the BESS system from solar-FC hybrid energy when the BESS has low %SoC and no EV load.

IV. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

After designing the components inside the charging station, we will do the simulation of the following parts.

A. Solar cell

PVsyst 7.2 License is used for the study of sizing, simulation and data analysis of complete solar PV system. The parameters of PV installation is defined as Location: Suranaree University of Technology, Azimuth = 265°, tilted panels = 15° and the meteorological data importing from Meteonorm 7.3. The average DC peak capacity of 6 solar panels in a year produces of 10.22 kWh/day is obtained from the PVsyst 7.2 simulation as shown in Figure 2 (a). The daily maximum and minimum power productions of 11.18 kWh/day and 3.22 kWh/day, respectively are obtained as illustrated in Figure 2(b) in the time-distribution. It is found the strong power peak around at noon for a clear-sky day. However, the behavior of solar cells power generation depends on the solar irradiation and climatic conditions. The average annual power produced by the solar cell for an average year. It is noticed that the average daily power production in a year is very close to a daily maximum power, which implies that there are a few days in the year providing less power production.

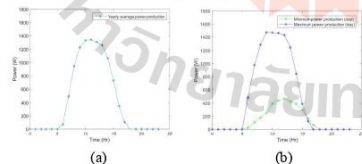


Fig. 2 Yearly average power production (a) and daily solar power production (b)

B. Fuel cell with Boost converter

MATLAB/Simulink is used for simulating the operation data of a FC system. The simulate result of power production is shown in Figure. 3. It is found

the steady power produced from the FC after the initial condition about 1 hr. It is relatively stable and provides the continuous power because FC dynamic is slow [3]. Thus, this FC mechanism is considered for system design. After 1 hr, FC system supplies the output current, voltage and power constantly to the load without any disturbance.

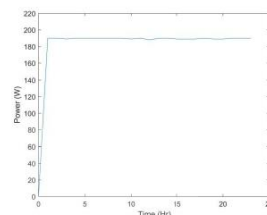


Fig. 3 Annual average output of fuel cell.

C. Energy storage system (ESS)

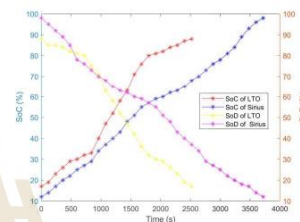


Fig. 4 Behavior of energy storage system

The charging behavior of the ESS is experimentally tested in this work. The experimental result shows the percentage of state of charge (%SoC) and the percentage of state of discharge (%SoD) of a Sirius capacitor and a LTO battery with non-linear curves as shown in Figures 4. Generally, the %SoC of battery is defined as the ratio of current capacity to the nominal capacity. Nominal capacity provided by the manufacturer represents the maximum amount of charge stored in the battery [8]. Thus, %SoC can be written as follows:

$$\%SoC = \frac{Q(t)}{Q_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

where $Q(t)$ is current capacity

Q_0 is nominal capacity

The AOSC is able to calculate the %SoC and its expansion rate of the ESS in the station and the EVs. The %SoC expansion rate can be written as follows:

$$= \frac{\%SoC_k - \%SoC_{k-1}}{\Delta t} \cdot 100\% \quad (2)$$

where $\%SoC_k$ is current value of %SoC

$\%SoC_{k-1}$ is old value of %SoC

The calculate values are used for considering condition allocation by the AOSC operation.

2021 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI 2021)
October 20-22, 2021, Nakhon Ratchasima, THAILAND

D. Algorithm Optimization Selector Controller

The various power sources of the DC quick charge station behave the change all the time. The AOSC must be designed to relate to the defined conditions.

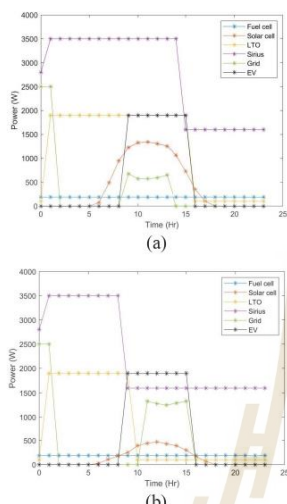


Fig. 5 Power profiles of each system for yearly average solar-FC hybrid system (a) and lowest solar-FC hybrid system (b)

Condition I

In Condition I, the energy is allocated for the variable charger discharging via solar-FC hybrid system if the energy storage system is at full capacity. It was found that during 8.00 a.m. - 04.00 p.m. When the EVs is charged up, AOSC will allocate the energy. The simulated energy profile is shown in Figure. 5(a). It is explained that the power source as Case C with discharging via the grid-tied solar-FC hybrid system was allocated since at the time the hybrid sources producing less power. It is noticed that Case A and B in the Condition I provide the most effective and worthwhile discharge situation of the quick charge station. It is due to the least power consumption of the grid electricity.

Condition II

In Condition II, the energy is allocated for the variable charger discharging via the only energy storage system if the solar-FC hybrid energy is low. It was found that between 03.00 p.m. - 04.00 p.m. of Figure. 5(a) and between 03.00 p.m. - 04.00 p.m. of Figure. 5(b) when the EVs is charged up, the AOSC will allocate. The AOSC will firstly consider ESS from the Sirius capacitor and LTO, subsequently. The ESS will be charged during the absence of EVs charging.

Condition III

In Condition III, the energy is allocated for the variable charger Discharging via directly grid

electricity if both of the solar-FC hybrid energy and BESS system are at the low-level. The Condition III will be considered after the Condition II has already occurred or it found Discharging via grid electricity between 11.00 p.m. - 04.00 a.m. for charging energy storage system show in Figure. 5(a) and 5(b).

Condition IV

The Condition IV is related to the AOSC selecting the specific option of charging BESS from solar-FC hybrid energy when the BESS has low %SoC and no EV load.

V. CONCLUSIONS

The control system based on the AOSC design conditions of the variable charger has 4 operating conditions for suitable energy allocation in the DC-quick charging application. The AOSC system can fully support the operation of the variable charger with discharging via the grid-tied solar-FC hybrid system to an EV battery. This can mitigate the non-firm of a renewable energy hybrid system. Addition, the operating Condition I with the variable charger discharging via solar-FC hybrid system provide the most effective discharge situation for the DC-quick charge station since the least power consumption of the grid electricity. The energy allocation topology in this work can be a strategic opportunity for the DC-quick charge station presenting a grid-tied Solar-FC hybrid

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge Suranaree University of Technology (SUT) for financial supports. This work has been partially supported by the Research Network NANOTEC (RNN) program of the National Nanotechnology Center (NANOTEC), NSTDA, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (MHESI), Thailand.

References

- [1] Electric vehicle, https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle [online]
- [2] T.S. Biya, "Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System", Proceedings of the Third International Conference on Electronics Communication and Aerospace Technology, 2019
- [3] K. Ashok Reddy, "Simulation of power management circuit in a standalone Solar Photovoltaic-Fuel Cell- Battery Hybrid Power System", Proceedings of the IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems / Petroleum and Chemical Industry Conference (ICPS/PCIC), 2015
- [4] Standards for the charging station, <https://www.mea.or.th/profile/3361/3440> [online]
- [5] Designing an Off Grid Solar Electric System, <https://pveducation.com> [online]
- [6] Tourkia Lajnef, Slim Abid, and Anis Ammous " Modeling, Control, and Simulation of a Solar Hydrogen/Fuel Cell Hybrid Energy System for Grid-Connected Applications" Volume 2013, Article ID 352765
- [7] Mahmoud Samiei Moghaddam, Amin Hajizadeh, "Control of Hybrid PV/Fuel Cell/Battery Power Systems", IEEE member.
- [8] M. Iwan Wahyuddin, "State of Charge (SoC) Analysis and Modeling Battery Discharging Parameters", Proceedings of International Conference on Science and Technology (ICST), 2018

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ETM-0001



**แพลตฟอร์มการจัดการพลังงานสถานีอัดประจุไฟฟ้ารถ EV ด้วยระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์
แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน**

**Power Management Platform of EV Charging Station with Combining
Photovoltaic and Energy Storage System**

ดวงกมล ประเสริฐดี¹, ผศ. ดร.ทิพย์วรรณ พึ่งสุวรรณรักษ์², พีรภูมิ รัตนวิชัย³ และ ผศ.ดร.การุญ พึ่งสุวรรณรักษ์⁴

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: thipwan@sut.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคการขนส่ง โดยยานยนต์ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นมีหลากหลายประเภท ในบทความนี้ได้ศึกษายานยนต์ไฟฟ้าแบบติดตั้งแบตเตอรี่เนื่องจากเป็นระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจึงไม่มีการปล่อยไอเสียออกมา โดยแบตเตอรี่ในระบบที่ศึกษาเป็นประเภท Secondary battery หรือแบตเตอรี่ที่อัดประจุไฟฟ้าซ้ำได้ จากการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ได้นำเสนอในบทความนี้ใช้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานเพื่อมุ่งเน้นสำหรับลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้ามีแพลตฟอร์มสำหรับจัดการพลังงานในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยพิจารณาให้ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเป็นหลัก และพลังงานไฟฟ้าจากระบบ Grid power line เป็นระบบสำรองเมื่อพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หรือระบบกักเก็บพลังงานไม่เพียงพอต่อการอัดประจุไฟฟ้าให้แก่ EV ยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในการศึกษานี้ได้ติดตั้งแบตเตอรี่ชนิด Lithium Titanate Oxide (LTO) พิกัด 48 V 40 Ah และได้ติดตั้งระบบติดต่อสื่อสารภายในยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อส่งและเก็บข้อมูลที่สำคัญ อาทิเช่น พิกัดของยานยนต์ไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และแสดงสถานะของแบตเตอรี่ โดยนำส่งข้อมูลมาเก็บและแสดงผลที่แพลตฟอร์มที่ได้มีการออกแบบไว้เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับยานยนต์ไฟฟ้า ผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำยานยนต์ไฟฟ้าที่มีสถานะ SOC ต่ำกว่า 20% จะใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าประมาณ 30-45 นาที

คำหลัก: ยานยนต์ไฟฟ้า ยานยนต์ไฟฟ้าแบบติดตั้งแบตเตอรี่ ระบบติดต่อสื่อสาร

Abstract

The development of electric vehicles today has greatly increased to reduce carbon dioxide emissions in the transport sector. The electric vehicles that have been developed are of various types. In this article, we examined battery electric vehicles because they are driven by electric motors so no emissions are possible. The battery in the study system is a secondary battery or rechargeable battery from the electrical connection at the charging station. The charging stations presented in this paper use photovoltaic energy sources in

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ETM-0001



combination with energy storage systems to focus on reducing fossil fuel use. Inside the charging station, there is a platform for managing the energy in charging electric vehicles. The main consideration is to use energy from solar cells, energy storage systems and electric power from the grid power line as a backup system when the photovoltaic power or storage system is insufficient to charge the EV. The electric vehicle used in this study was equipped with a Lithium Titanate Oxide battery (LTO) rated 48 V 40 A and installed a communication system within electric vehicles to transmit and store important data such as the rating of electric vehicles, electric power and battery status by bringing the data to collect and display the results at a platform that has been designed to study energy management to be suitable for electric vehicles. The test results showed that when an electric vehicle with an SOC status of less than 20% it takes about 30-45 minutes to charge.

Keywords: Electric vehicles, Electric vehicles on board battery and IoT Platform

1 บทนำ

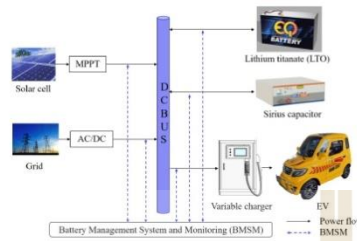
ปัจจุบันภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลก และน้ำในมหาสมุทร โดยมีการคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นได้ทั้งตามธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยพบว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุที่สำคัญของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมนุษย์เป็นตัวการหลักในการสร้างและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ การตัดไม้ทำลายป่า รวมไปถึงภาคการขนส่ง ด้วยสาเหตุนี้จึงเกิดการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าควบคู่กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องยนต์สันดาป โดยสถานีอัดประจุไฟฟ้าในปัจจุบันนิยมใช้ไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าจึงจะไม่สามารถลดภาวะเรือนกระจกได้เนื่องจากจะเป็นการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคการขนส่งแต่ไปเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้หากต้องการให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าสามารถทำได้โดยพิจารณาแหล่งพลังงานเป็นพลังงานทดแทนเนื่องจากแหล่งพลังงานทดแทนเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้

แหล่งพลังงานทดแทน คือ พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมัน เชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้เป็น 2 ประเภท คือ

พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้นและพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น แต่เนื่องจากพลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไม่เสถียร ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) เพื่อลดความผันผวนของไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน [1-3]

ในบทความนี้ศึกษาการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานร่วมกับ ESS และมีกำลังไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าเป็นพลังงานสำรองในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้และ ESS มีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของยานยนต์ไฟฟ้า [4-6] โดยทำการศึกษาและออกแบบระบบการจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานทดแทนและ ESS ให้เพียงพอต่อความต้องการของภาระโหลด เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าและใช้พลังงานทดแทนให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด โดยมีการติดตั้งระบบติดต่อสื่อสารภายในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่างๆภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อส่งและเก็บข้อมูลที่สำคัญ อาทิเช่น พิกัดของยานยนต์ไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และแสดงสถานะของแบตเตอรี่ โดยนำส่งข้อมูลมาเก็บและแสดงผลที่แพลตฟอร์มเพื่อให้ผู้ใช้บริการหรือผู้ดูแลสถานีเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2 โครงสร้างของสถานีอัดประจุไฟฟ้า



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่มีการใช้ Battery Management System and Monitoring (BMSM) ในการจัดสรรพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของยานยนต์ไฟฟ้า

2.1 พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 1 พบว่าโหลดทางไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ชนิด Lithium Titanate Oxide (LTO) พิกัด 48 V 40 AH โดย
2. ระบบกักเก็บพลังงานที่ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ชนิด Lithium Titanate Oxide (LTO) พิกัด 48 V 40 AH จำนวน 1 ชุด และ Siirus Capacitor พิกัด 48 V 74 AH จำนวน 1 ชุด

จากโหลดทางไฟฟ้าข้างต้นสามารถนำมาประมาณโหลดเพื่อนำไปคำนวณหาพิกัดและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีพฤติกรรมนำไปวิ่งทดสอบและกลับมาชาร์จเป็นจำนวน 3 ครั้ง
การประมาณโหลด = 1.92 kWh x 3
= 5.76 kWh/day

2. ระบบกักเก็บพลังงานพิจารณาโดยใช้จนหมดและนำกลับมาชาร์จจำนวน 1 ครั้ง
การประมาณโหลด = 3.55 kWh + 1.92 kWh
= 5.47 kWh/day
เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าโหลดรวมทั้งหมดของระบบที่พิจารณามีค่าเท่ากับ

$$5.76 \text{ kWh} + 5.47 \text{ kWh} = 11.23 \text{ kWh/day}$$

เมื่อประมาณโหลดที่จำเป็นต่อระบบได้แล้วสามารถคำนวณพิกัดแผงและจำนวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในการติดตั้งได้พิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า เนื่องจากสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ทั้งแผงทางด้านหน้าและด้านหลังโดยแผงทางด้านหลังสามารถรับแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวของการติดตั้งซึ่งในบทความนี้พื้นผิวคือพื้นคอนกรีตที่มีค่าการสะท้อนของแสง 20% โดยมีการติดตั้งไว้ที่หลังคาที่ทำมุมเอียง 15 องศา

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า

เซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า	
Maximum power (W)	516.00
Voltage at maximum power (V_{mp}/V)	40.60
Current at maximum power (I_{mp}/A)	12.71
Open circuit voltage (V_{oc}/V)	49.50
Short circuit current (I_{sc}/A)	13.82
Operating temperature ($^{\circ}C$)	25

จากการประมาณโหลดและกำหนดการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัดตามตารางที่ 1 สามารถคำนวณหาจำนวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\text{Total load} \times \text{recharge factor} \times (1 + \text{mppt loss})}{\text{peak sun hours}} \quad (1)$$

$$= \frac{(11.23 \text{ kWh/day} \times 1.20 \times 1.10)}{5 \text{ hr/day}} = 2.96472 \text{ kW}$$

$$= \frac{2964.72 \text{ W}}{516 \text{ W}} = 5.74 \text{ แผง}$$

โดยที่

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ETM-0001



Total load คือ ผลรวมของการประมาณโหลด

recharge factor คือ ค่าแฟกเตอร์ตัวปรับคูณ

mpppt loss คือ ค่าชดเชยการสูญเสีย

Peak Sun Hour คือ ระยะเวลาที่แสงมีค่า 1 kW/m²/day

เพราะฉะนั้นหากต้องการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดจะต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 516 วัตต์จำนวน 6 แผง โดยหลังจากได้พิกัดและจำนวนการติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะนำมาต่อแบบขนานกัน 2 ชุด ชุดละ 3 แผง แล้วนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อแบบขนานแล้ว 2 ชุดมาต่อแบบอนุกรมกัน เนื่องจากต้องการกระแสให้มีค่าเพียงพอที่ต้องไม่เกินพิกัดของกระแสที่รับได้ของระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งเมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งที่กล่าวมาจะสามารถแสดงข้อมูลจำเพาะได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าทีต่อแบบขนานกัน 2 ชุด ชุดละ 3 แผง แล้วนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อแบบขนานกัน 2 ชุดมาต่อแบบอนุกรม

เซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า	
Maximum power (W)	3096
Voltage at maximum power (V_{mp} /V)	81.20
Current at maximum power (I_{mp} /A)	38.13
Open circuit voltage (V_{oc} /V)	99.00
Short circuit current (I_{sc} /A)	41.46
Operating temperature (°C)	25

2.2 พลังงานจากกริดการไฟฟ้า

สำหรับแหล่งพลังงานสำรองของสถานีชาร์จนี้ไม่มีกำลังไฟจากกริดการไฟฟ้า 1 เฟส 220 V_{AC} สำหรับรองรับความผันผวนของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ On board charger เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 V_{AC} เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 48 V_{DC}

2.3 ระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดความผันผวนที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดย

BESS ทำหน้าที่เก็บพลังงานส่วนเกินจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะปล่อยเข้าสู่โหลด โดยระบบกักเก็บพลังงานในบทความนี้ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ชนิด Lithium Titanate Oxide (LTO) พิกัด 48 V 40 AH จำนวน 1 ชุด และ Sirius Capacitor พิกัด 48 V 74 AH จำนวน 1 ชุด ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลจำเพาะได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำเพาะของระบบกักเก็บพลังงาน

Type of Storage System	Sirius	LTO
Capacity of Module (kWh)	3.55	1.92
Nominal Voltage (V)	48	48
Ampere hour rating (Ah)	74	40
Full charge voltage (V)	54	52
Initial state of charge (SOC)	98	98
Charging rate	1.7C	1C

2.4 ยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้าในบทความนี้มีกริดติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1200 วัตต์และติดตั้งแบตเตอรี่ชนิด Lithium Titanate Oxide (LTO) พิกัด 48 V 40 AH จำนวน 1 ชุด ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 3

2.5 Variable Charger

Variable Charger (VC) เป็นตัวควบคุมการชาร์จกระแสตรง ซึ่งสามารถปรับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ต้องการภายใต้พิกัด 53 V 200 A สำหรับกริดชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า มีปลั๊ก 2 ชนิดคือ GB และที่หนีบปากจะเข็ที่สามารถปรับแรงดันและกระแส

2.6 Battery Management System and Monitoring (BMSM)

BMSM คือ ระบบการจัดการพลังงานสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงให้สามารถรองรับพฤติกรรมกริดเข้ามาชาร์จประจุของยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นการไหลที่มีความผันผวนและเพื่อลดการใช้กำลังไฟจากกริดไฟฟ้า โดยมีการใช้ IoT Platform เพื่อแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

2.7 Internet of Things (IoT) Platform

IoT คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ตโดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้ช่วยให้สามารถสั่งการควบคุมการใช้งาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ปัจจุบันเริ่มมีการนำ IoT เข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายอาทิเช่น การทำ Smart home, การทำ Smart farming [9] หรือแม้แต่การทำ Smart grids

Thingsboard คือ IoT Platform ที่บทความนี้เลือกใช้ เพื่อแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อแสดงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานอาทิเช่น สถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า สถานะของระบบกักเก็บพลังงานหรือแม้แต่การติดตามตำแหน่งของยานยนต์ไฟฟ้า

3 การจำลองผลและผลการจำลองผล

3.1 พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จำลองผลการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าจำนวน 6 แผง โดยทำการต่อแบบขนานกัน 3 แผงสองชุดแล้วนำมาต่อแบบอนุกรมกันทำให้ได้กำลังการติดตั้งคือ 3.096 kW_p ทำการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม PVSYSYS 7.3 มีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

Location

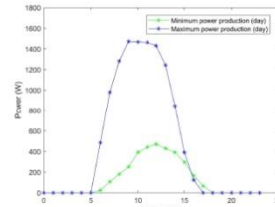
: Suranaree University of Technology

Azimuth : 265° tilted panels : 15°

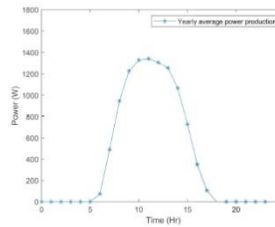
โดยพบพฤติกรรมการผลิตกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 2 และ 3 การผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงหรือสภาพภูมิอากาศในสถานที่นั้นๆ [7,8]

รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวันที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดกับวันที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้น้อยที่สุด โดยพบว่าวันที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้รวมสูงสุดและน้อยที่สุดมีค่ากับเท่า 11.18 kW/day และ 3.22 kW/day ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้โดยมีค่าเท่ากับ

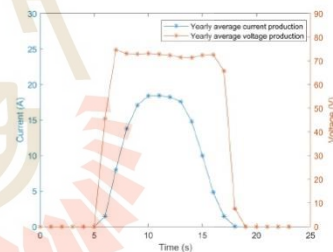
10.22 kW/day โดยพบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกับวันที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดใน 1 ปี



รายวัน



รูปที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี



รูปที่ 4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 4 พบว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีรายชั่วโมงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้อยู่ในช่วง 68-75 V และพบว่าแสดงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีรายชั่วโมงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้พบว่ามีค่าสูงสุดคือ 18.44 A โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มแสงของสถานที่นั้นๆ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ETM-0001

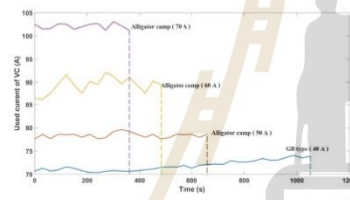


4 การทดสอบและผลการทดสอบ

ทำการทดสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 Variable Charger

ทำการทดสอบพฤติกรรมการทำงานของ VC โดยใช้ Sirius capacitor เป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC และมี LTO เป็นโหลด ทำการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนกระแสทางด้านเอาต์พุตเพื่อสังเกตพฤติกรรมการทำงานของ VC โดยทำการปรับเปลี่ยนกระแสเอาต์พุตจาก 50 A, 60 A และ 70 A ตามลำดับและใช้ pzem-017 ทำงานร่วมกับ esp32 และ rs485 เพื่อทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ node-red หลังจากนั้นจะทำงานส่งข้อมูลจาก node-red ไปแสดงที่ thingsboard IoT Platform ที่ได้มีการออกแบบไว้ พบว่าการทำงานของ VC มีพฤติกรรมดังกระแสสูงกว่าความต้องการของโหลด โดยแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 พฤติกรรมการทำงานของ VC

จากรูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมการทำงานของ VC โดยพบว่ากระแสเกินกว่าที่โหลดต้องการ (โหลดในที่นี้คือ ยานยนต์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ที่นำมาชาร์จ) โดยเนื่องมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใน VC ต้องการกำลังไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการทำงาน

4.2 ยานยนต์ไฟฟ้า

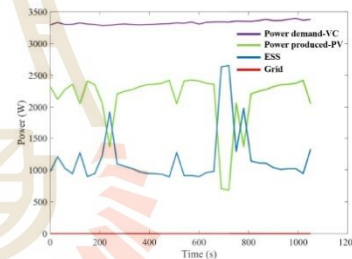
เมื่อนำยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ที่แสดงดังรูปที่ 6 เมื่อนำไปวิ่งทดสอบ พบว่า หากก่อนทดสอบแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บน EV มีค่าแรงดันประมาณ 48-49 V หรือ %SOC มีค่ามากกว่า 85% โดยทำการวิ่งทดสอบด้วยความเร็ว 17 km/hr. พบว่า EV สามารถวิ่งได้ 20 km โดยใช้เวลาประมาณ 1.30 - 2 ชั่วโมง



รูปที่ 6 แบตเตอรี่ที่ติดตั้งภายในยานยนต์ไฟฟ้า

4.3 ทดสอบอัดประจุไฟฟ้า EV ด้วยระบบพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

จากพฤติกรรมการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ VC พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC ได้โดยตรงเนื่องจากมีพิกัดของกระแสไม่เพียงพอต่อความต้องการของ VC ทำให้ต้องเกิดการจัดสรรพลังงานโดยใช้พลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานร่วมกัน โดยมีผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ทดสอบอัดประจุไฟฟ้า EV ด้วยระบบพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

เมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้บริการอัดประจุไฟฟ้า BMSM ภายในสถานีจะทำการจัดสรรพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดซึ่งโหลดในที่นี้คือ VC ที่จะส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานไปยังยานยนต์ไฟฟ้า โดยพบว่า BMSM จัดสรรพลังงานให้มีการทำงานร่วมกันระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของ VC ยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาทำ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



ETM-0001

อัดประจุไฟฟ้ามีสถานะแบตเตอรี่ก่อนชาร์จอยู่ที่ 26% ชาร์จโดยใช้หัวชาร์จ GB ใช้เวลาในการชาร์จทั้งหมดประมาณ 20 นาทีโดยใช้เวลาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานคังรูปที่ 7 และพบว่าหากอยู่ในวันที่สภาพอากาศดี ไม่มีเมฆบัง สถานีอัดประจุไฟฟ้าแห่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากกริดการไฟฟ้า

5 Thingsboard IoT Platform

ทำการออกแบบคังรูปที่ 8 โดยแสดงข้อมูลที่จำเป็นของสถานีคือ สถานะของระบบกักเก็บพลังงาน ความเข้มแสงพลังงานที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สถานะของยานยนต์ไฟฟ้ารวมไปถึงการติดตามตำแหน่งของยานยนต์ไฟฟ้า

6 บทสรุป

สถานีอัดประจุไฟฟ้า EV ด้วยระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานในบทความนี้มีผู้ใช้ BMSM เพื่อจัดการพลังงานให้สามารถรองรับพฤติกรรม การเข้ามาชาร์จประจุของยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นการะโหลดที่มีความผันผวนและเพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้า จากกริดไฟฟ้าโดยพบว่าระบบพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานสามารถทำงานร่วมกันได้หากมีการจัดสรรที่ดี โดยต้องมีการคำนึงถึงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบ อาทิเช่น ระบบเซลล์

แสงอาทิตย์ ระบบกักเก็บพลังงานรวมถึง VC เพื่อให้ได้การจัดสรรพลังงานที่ดีและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดยในบทความนี้พบว่าหากสภาพอากาศมีแดดจัดหรือมีเมฆน้อยสถานีอัดประจุจะชาร์จ EV ด้วยแหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานโดยไม่ต้องใช้พลังงานสำรองจากกริดการไฟฟ้า

การแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้ผู้ใช้บริการทราบถึงข้อมูลต่างๆที่สำคัญนั้นจำเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ถึงการพร้อมให้บริการของสถานีอัดประจุไฟฟ้าจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีแสดงข้อมูลที่จำเป็นต่อผู้มาใช้บริการ อาทิเช่น สถานะของระบบกักเก็บพลังงาน ความเข้มแสงหรือเมฆแต่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

7 กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (SUT) สำหรับการสนับสนุนทางการเงิน งานนี้ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจากโครงการ Research Network NANOTEC (RNN) ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) สวทช. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (MHESI) ประเทศไทย



รูปที่ 8 แพลตฟอร์มสำหรับแสดงสถานะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36
วันที่ 19-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



8 เอกสารอ้างอิง

- [1] Naik, A., Udaykumar, R. Y. and Kole. "Power management of a hybrid PEMFC-PV and ultracapacitor for stand-alone and grid connected applications." 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). IEEE, 2012
- [2] U. Sangpanich. "A novel method of decentralized battery energy management for stand-alone PV-battery systems." 2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). IEEE, 2014.
- [3] T. Eswara Rao, S. Elango and G. Gantaiah Swamy. "Power Management Strategy Between PV-Wind-fuel Hybrid System." 2021 7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). IEEE, 2021.
- [4] M. F. Almi, M. Arrouf, H.Belmili, S. Boulouma and B. Bendib. "Energy management of wind/PV and battery hybrid system." International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA) 4.1 (2014): 30-38.
- [5] K. Ashok Reddy, K. Srinivas and G.S. Ayyappan. "Simulation of power management circuit in a standalone solar photovoltaic-fuel cell-battery hybrid power system." 2015 IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems/Petroleum and Chemical Industry Conference (ICPSPCIC). IEEE, 2015.
- [6] K. Kumar, A. Mudgal, M. Thapliyal, J. Srivastava and V. Dutta. "Implementation and analysis of PV-FC hybrid system using design parameters obtained from TRNSYSQ model." 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS). IEEE, 2016.
- [7] M. Nizam and F. X. Rian Wicaksono. "Design and Optimization of Solar, Wind, and Distributed Energy Resource (DER) Hybrid Power Plant for Electric Vehicle (EV) Charging Station in Rural Area." 2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT). IEEE, 2018.
- [8] Y. Zhang, J. He, and D.M. Ionel. "Modeling and control of a multiport converter-based EV charging station with PV and battery." 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). IEEE, 2019.
- [9] R. Peerawoot, T. Fangsuwannarak, and S. Laohawiroj. "Monitoring System of Smart Cassava Farm with Solar Energy by Using Internet of Things." 2021 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). IEEE, 2021.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46
 The 46th Electrical Engineering Conference (EECON-46)
 วันที่ 15-17 พฤศจิกายน 2566 ณ คิวน่า พลาซ่า กระจับปี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



**วงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ของเซลล์เชื้อเพลิงในระบบพลังงานทดแทนแบบไฮบริดสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า
 แบบเร็วในโหมดกระแสตรง
 Boost converter on fuel cells in hybrid renewable energy system
 for DC-quick charging station**

ควงกมล ประเสริฐจิต¹ และ ทิพย์วรรณ พึ่งสุวรรณรัมย์²

¹สำนักวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี duangkamonpsd@gmail.com

²สำนักวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี thipwan@g.su.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่มีการใช้แหล่งพลังงานจากพลังงานทดแทนซึ่งประกอบไปด้วยระบบโซลาร์เซลล์และเซลล์เชื้อเพลิง โดยมีระบบกักเก็บพลังงานชนิดตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อรองรับความผันผวนของแหล่งพลังงานทดแทน ซึ่งระบบโซลาร์เซลล์ทำงานร่วมกับ Maximum Power Point Tracking (MPPT) เซลล์เชื้อเพลิงทำงานร่วมกับบูสต์คอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีพฤติกรรมของการผลิตกระแสและแรงดันเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา บทความนี้จึงนำเสนอวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ของเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถลดค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันเข้าเปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ: บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เซลล์เชื้อเพลิง สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรง

Abstract

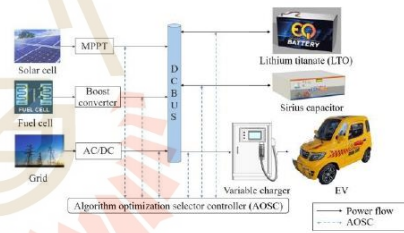
In this study the quick-charging station in DC mode is supplied by the renewable energy sources comprising solar and fuel cells energy. It has an energy storage system to mitigate fluctuations of renewable energy sources. The solar cell system works with MPPT and the fuel cell works with the boost converter. Since fuel cells have a behavior to produce the unconstant current and voltage, in this paper, a boost converter circuit of a fuel cell is presented for maintaining the output voltage when the input voltage changes.

Keywords: boost converter, fuel cells, fast charging station in DC mode

1. องค์ประกอบของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

รูปที่ 1 แสดงไออะแกรมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในโหมดกระแสตรงที่ผลิตแรงดัน 48 V ที่มีการนำแหล่งพลังงานทดแทนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์เชื้อเพลิงมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยมีระบบกักเก็บพลังงานซึ่งในบทความนี้เลือกใช้เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อบรรเทาการผันผวนของพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์[1-3] เซลล์แสงอาทิตย์

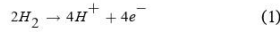
ทำงานร่วมกับ Maximum Power Point Tracking (MPPT) เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่แมกซ์และเป็นการดึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด เซลล์เชื้อเพลิงทำงานร่วมกับวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์เพื่อคงค่าแรงดันให้มีความอยู่ในช่วง 48 V ในระบบมีตัวกักเก็บพลังงาน ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์เชื้อเพลิงผลิตกำลังไฟฟ้าเกินการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการใช้รีคิฟไฟฟ้านี้เป็นแหล่งพลังงานสำรองในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอหรืออยู่ในช่วงเวลากลางคืน โดยจะส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบพลังงานไปยังยานยนต์ไฟฟ้าที่ผ่าน Variable charger (VC) พิกัด 48 V 200 A ที่มีหัวชาร์จ 2 ประเภท คือ หัวชาร์จแบบและหัวชาร์จแบบ GB โดยที่หัวชาร์จแบบเก็บสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ตามที่โหลดต้องการ



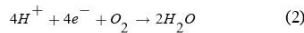
รูปที่ 1 ไออะแกรมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในงานวิจัยนี้

2. เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cells; FC)

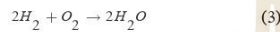
FC เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีจากเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งให้เป็นกระแสไฟฟ้าผ่านทางปฏิกิริยาเคมีของไอออนไฮโดรเจนประจุบวกกับออกซิเจนหรือตัวให้ออกซิเดชันอื่น โดยมีหลักการทำงาน คือ เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วคือขั้วแอโนด(ขั้วลบ) และขั้วแคโทด(ขั้วบวก) รอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วแอโนดให้แก๊สไฮโดรเจนเข้าไป แก๊สไฮโดรเจน (O₂) แพร่ผ่านแอโนด แก๊สไฮโดรเจนถูกเร่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาให้ไฮโดรเจนไอออนกับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนถูกส่งผ่านเข้าไปในสายไฟเกิดกระแสไฟฟ้า จากนั้นเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดดังสมการที่ 1



ที่ขั้วแคโทด ให้แก๊สออกซิเจน (O₂) จากอากาศเข้าไปที่ขั้วแคโทด เมื่อไฮโดรเจนไอออน (H⁺) กับอิเล็กตรอน (e⁻) ซึ่งเคลื่อนที่มายังขั้วแคโทดทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนจากอากาศที่ไปเข้าไปเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำจากแพลตตินัมจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้น้ำบริสุทธิ์ออกมา ดังสมการที่ 2



โดยปฏิกิริยารวมของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นการรวมตัวของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊ส ออกซิเจนเกิดเป็นน้ำ ดังสมการที่ 3



โดยในบทความนี้ได้เลือกใช้เซลล์เชื้อเพลิง H-200 PEM FUEL CELL 200W พิกัด 200 วัตต์ 24 โวลต์ 8.3 แอมป์ จากบริษัท Horizon เมื่อทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้ลมที่มีไหล 160 วัตต์เป็นโหลด พบว่าพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงให้ค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยที่มีค่าอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 A 22 – 25 V และ 120 – 150 W ตามลำดับ

3. วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็น วงจรที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ทางด้านเอาต์พุตให้มีความสูงกว่าแรงดันทางด้านอินพุตที่ป้อนเข้ามาในวงจร วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ใช้ MOSFET หรือ ไอจีบีที (IGBT) การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ มีส่วนประกอบใหญ่แบ่งออกเป็นสอง ส่วนคือ ส่วนของวงจรทวนแรงดันและวงจรรวม

การออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เกี่ยวข้องกับค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle ; k) ค่าของกานวนเหนี่ยวนำ ค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

ค่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle; k) คือค่าที่บ่งบอกถึงระยะเวลาการทำงานของตัวอุปกรณ์ ในหนึ่งคาบ ซึ่งในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์สามารถหาได้ดังสมการที่ 4

$$V_{o,av} = \frac{V_S}{1 - k} \quad (4)$$

โดยที่ V_{o,av} คือ แรงดันเฉลี่ยของออกค่าเท่ากับ 48 V_{dc} V_S คือ แรงดันเฉลี่ยขาเข้ากำหนดให้เท่ากับ 24 V_{dc} ตัวเหนี่ยวนำที่หน้าที่เก็บพลังงาน ในช่วง T_{on} เพื่อไปทวนแรงดันในช่วง T_{off} ซึ่งสามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ 5

$$L = \frac{V_S(V_{o,av} - V_S)}{f\Delta I_L V_{o,av}} \quad (5)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

f คือ ความถี่ (Hz)

ΔI_L คือ Ripple current (A)

ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ชาร์จประจุและส่งไปยังโหลด ในขณะที่วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์อยู่ในช่วง T_{on} ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$C = \frac{I_{o,av}(V_{o,av} - V_S)}{f\Delta V_C V_{o,av}} \quad (6)$$

โดยที่ C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (F)

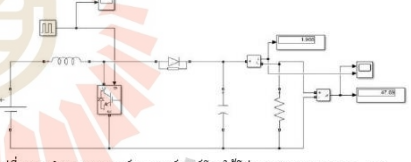
ΔV_C คือ Ripple Voltage (V)

จากสมการที่ 4 5 และ 6 สามารถออกแบบพารามิเตอร์ของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

Duty Cycle; k (%)	50
L (mH)	0.921
C (μF)	139
ΔI _L	< 0.417 A
ΔV _C	< 0.48 V
f (kHz)	31.25

จากพารามิเตอร์ในตารางที่ 1 เมื่อนำมาจำลองผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink แสดงผลดังรูปที่ 2 พบว่าผลการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงให้ค่าแรงดันที่ได้อยู่ในช่วง 22-25 โวลต์ซึ่งต้องการให้เท่ากับ 24 โวลต์ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ได้ออกแบบให้รองรับกับแรงดันอินพุตโดยทำการออกแบบเงื่อนไขเพื่อทำการควบคุมและปรับค่า Duty Cycle อัตโนมัติเพื่อให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตคงที่อยู่ที่ 48 โวลต์เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงไปด้วยระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control)



รูปที่ 2 การจำลองวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink

3.1 เงื่อนไขการออกแบบสำหรับ Boost Converter ด้วย Arduino Mega 2560

เงื่อนไขการออกแบบได้กำหนดให้ค่า Duty Cycle สามารถปรับค่าได้อัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3 มีการกำหนดเงื่อนไขเพื่อหาค่า Duty Cycle ผ่านแรงดันอินพุตโดยจากรูปพบว่า เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ 20 – 24.5 โวลต์จะนำแรงดันอินพุตไปคำนวณค่า Duty Cycle ตามสมการที่ 4 และทำการเปลี่ยนค่า Duty Cycle อัตโนมัติเพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ที่ 48 โวลต์ แต่เมื่อแรงดันอินพุตไม่ได้อยู่ในช่วงที่

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46
 The 46th Electrical Engineering Conference (EECON-46)
 วันที่ 15-17 พฤศจิกายน 2566 ณ คิวน่า พลาซ่า กระจับปี่ อ่างทอง จังหวัดกระบี่



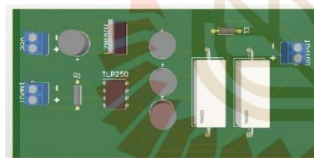
กำหนดจะไม่ให้วงจรทำงานเนื่องจากแรงดันอาจน้อยหรือมากกว่า
 พิกัดของอุปกรณ์ในวงจรมอดูเลเตอร์



รูปที่ 3 แผนผังโคdexควบคุมการทำงานของมอดูเลเตอร์

3.2 ออกแบบวงจรขับเกทและทดสอบ

ในการสร้างวงจรขับเกทประกอบด้วย IC TLP250 และ IC 7815 ในการสร้างสัญญาณจะมี TLP250 เป็นตัวขับขาเกทของมอสเฟต และมี IC 7815 เป็นไฟเลี้ยงให้วงจรขับเกท จะได้วงจรตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ออกแบบแผ่น PCB ของวงจรถิบเกทโดยใช้โปรแกรม Altium

ดำเนินการทดสอบ โดยการจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรเท่ากับ 20 V ซึ่งจะทดสอบการจ่ายสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณพัลส์ และวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร ทำการทดสอบ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 สัญญาณอินพุตรูปพัลส์ที่มีความกว้างสัญญาณเท่ากับ 25% กรณีที่ 2 สัญญาณ อินพุตรูปพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 50% และกรณีที่ 3 สัญญาณอินพุตรูปพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 75% แสดงดังรูปที่ 5(ก) 5(ข) และ 5(ค) ตามลำดับ



(ก) (ข)

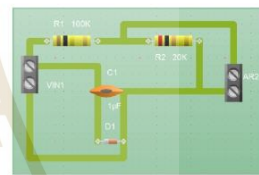


(ค)

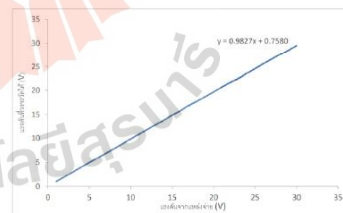
รูปที่ 5 ความกว้างของสัญญาณขับเกท

3.3 ออกแบบวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าและทดสอบ

วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า ในบทความนี้เลือกใช้หลักการแบ่งแรงดันของวงจร Voltage divider เชื่อมต่อ Arduino ทำหน้าที่วัดแรงดันจากเซลล์เชื้อเพลิงไปยังวงจรมอดูเลเตอร์ ซึ่งการใช้ Arduino วัดแรงดันที่มากกว่า 5 V ต้องทำการแบ่งแรงดันลงมาให้แรงดันสูงสุดอยู่ในระดับ 5 V เป็นแรงดันที่เหมาะสมสำหรับ port Arduino แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ออกแบบแผ่น PCB ของวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Circuit Wizard การทดสอบวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า ทำได้โดยการจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจรในช่วง 0-30 V และวัดแรงดันของวงจรที่อ่านได้และนำไปพล็อตกราฟหาสมการเส้นตรงของวงจร ดังรูปที่ 7 เพื่อนำสมการที่ได้ไปทำการปรับแก้ค่าการตรวจจิบค่าแรงดัน ไฟฟ้าที่ได้ให้ออกมาแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 7 กราฟสมการเส้นตรงของวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

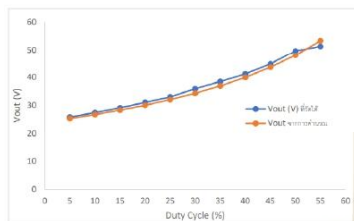
3.4 ทดสอบชุดวงจรมอดูเลเตอร์ที่ไม่มีเงื่อนไข

ทดสอบ โดยการอัท โหลดอัลกอลิทึมแบบไม่มีเงื่อนไข โดยใช้ Dummy load 160 W และใช้ไฟแทนซีโอมิเตอร์ในการปรับค่า Duty cycle

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46
 The 46th Electrical Engineering Conference (EECON-46)
 วันที่ 15-17 พฤศจิกายน 2566 ณ คิวน่า พลาซ่า กระบี่ อ่าวนาง จังหวัดกระบี่



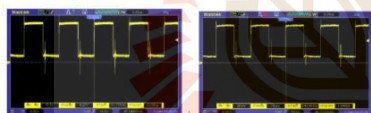
ซึ่งปรับโบทเทนซีโวลต์โอมิเตอร์ให้มีค่าตั้งแต่ 0% จนถึง ประมาณ 55% พบว่าเมื่อปรับค่า Duty cycle ให้เพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าใกล้เคียงจากการคำนวณตาม สมการที่ 4 ซึ่งสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบการวัดและการคำนวณของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Duty Cycle กับแรงดันเอาต์พุตของวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์แบบไม่มีเงื่อนไข

3.5 ทดสอบชุดวงจรบูสต์แบบมีเงื่อนไข

ทดสอบโดยการอัทโพลออลลิทิมคอนรูปที่ 3 โดยใช้ Dummy load 160 W กำหนดให้วงจรทำงานในช่วงที่แรงดันอินพุตเท่ากับ 20-24 V แรงดันเอาต์พุตที่ได้เท่ากับ 48 V ซึ่งได้ทำการปรับค่า Duty cycle โดยอัตโนมัติตามเงื่อนไขของอัลกอริทึมแบบมีเงื่อนไข โดยกรณีที่แรงดันอินพุตไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด กำหนดให้วงจรทำงานที่ Duty cycle 10% และมีแรงดันอินพุตอยู่ในช่วง 20-24 V กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าใกล้เคียง 48 V หรือเท่ากับ 48 V โดยมีค่า error สูงสุดเท่ากับ 7.5% ที่แรงดันอินพุตเท่ากับ 20.7 V รวมถึงทดสอบการคงค่าแรงดันอินพุตในช่วง 21-24 V พบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าใกล้เคียง 48 V โดยมีค่า error อยู่สูงสุดเท่ากับ 3.96% จากนั้นวัดสัญญาณพัลส์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 9



(ก) กรณีที่แรงดันอินพุตเท่ากับ 21.3 V (ข) กรณีที่แรงดันอินพุตเท่ากับ 23.3 V
 รูปที่ 9 สัญญาณพัลส์ของการทำงาน

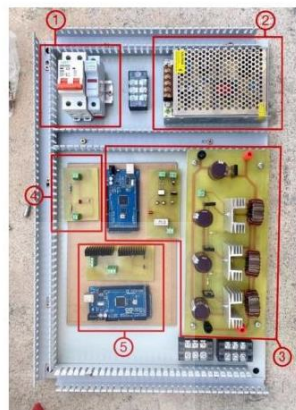
3.6 ทดสอบรวมทั้งระบบ

ทดสอบโดยกรนำชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มาต่อเพื่อซาวร์จด์ดับเบิ้ลประจวบยิ่งยวด พบว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ใกล้เคียง 48 V และประสิทธิภาพการทำงานของชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์อยู่ในช่วง 65% ถึง 96%

4. ชิ้นงาน

- องค์ประกอบภายในตู้คอนโทรลเป็นดังรูปที่ 10
- หมายเลข 1 คือ ชุดอุปกรณ์ป้องกัน (เบรกเกอร์ 20 A และฟิวส์ 10 A)
- หมายเลข 2 คือ แหล่งจ่ายไฟขนาด 24V 3A
- หมายเลข 3 คือ ชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
- หมายเลข 4 คือ วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

หมายเลข 5 คือ วงจรพัลลวมระบายความร้อน



รูปที่ 10 องค์ประกอบภายในตู้คอนโทรลเป็น

5. สรุป

จากการทดสอบชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์แบบมีเงื่อนไขสามารถปรับเปลี่ยนค่า duty cycle ได้อัตโนมัติสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่แบบเร็วในโหมดกระแสตรงและพบว่าชุดวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์แบบมีเงื่อนไขสามารถทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้อย่างปลอดภัย อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนแรงดันอินพุตที่อยู่ในช่วง 20-24 V ให้เป็นแรงดันเอาต์พุต 48 V ได้และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ 85% นอกจากนี้วงจรพัลลวมระบายอากาศยังสามารถลดอุณหภูมิของมอเตอร์สพขณะทำงาน เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Naik, A., Udaykumar, R. Y. and Kole. "Power management of a hybrid PEMFC-PV and ultracapacitor for stand-alone and grid connected applications." 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). IEEE, 2012
- [2] U. Sangpanich. "A novel method of decentralized battery energy management for stand-alone PV-battery systems." 2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). IEEE, 2014.
- [3] T. Eswara Rao, S. Elango and G. Gantiah Swamy. "Power Management Strategy Between PV-Wind-fuel Hybrid System." 2021 7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). IEEE, 2021.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวดวงกมล ประเสริฐดี เกิดเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ.2540 ที่อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ.2562 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ.2562 โดยในขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เป็นผู้สอนรายวิชาปฏิบัติการต่างๆของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและมีผลงานตีพิมพ์ดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ข

