

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

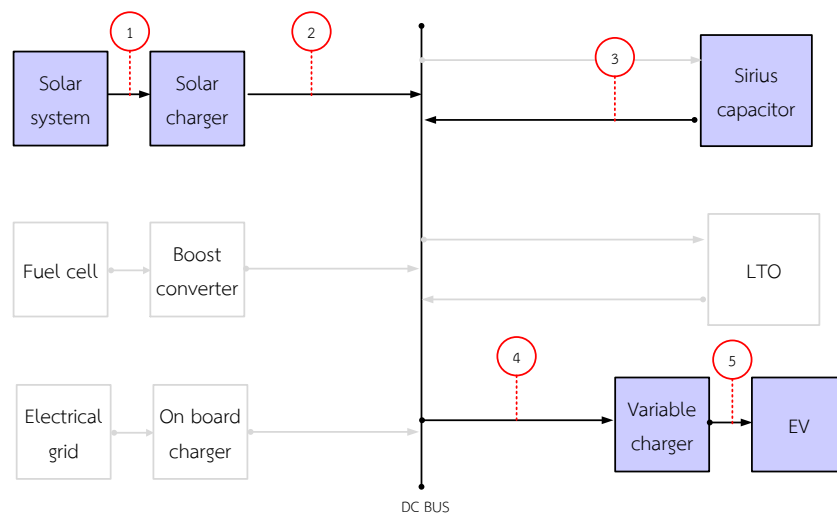
5.2 ศึกษาและทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบพลังงานภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า

ก่อนทำการออกแบบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานจำเป็นต้องทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง VC ระบบโครงข่ายไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและ LTO เพื่อเป็นข้อยืนยันว่าแต่ละอุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างปลอดภัย จึงได้แบ่งการทดสอบเป็น 8 กรณี โดยยังไม่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ทดสอบการทำงานร่วมกันของแหล่งจ่ายจากระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC และอัดประจุไฟฟ้าให้กับ EV แสดงในรูปที่ 5.1

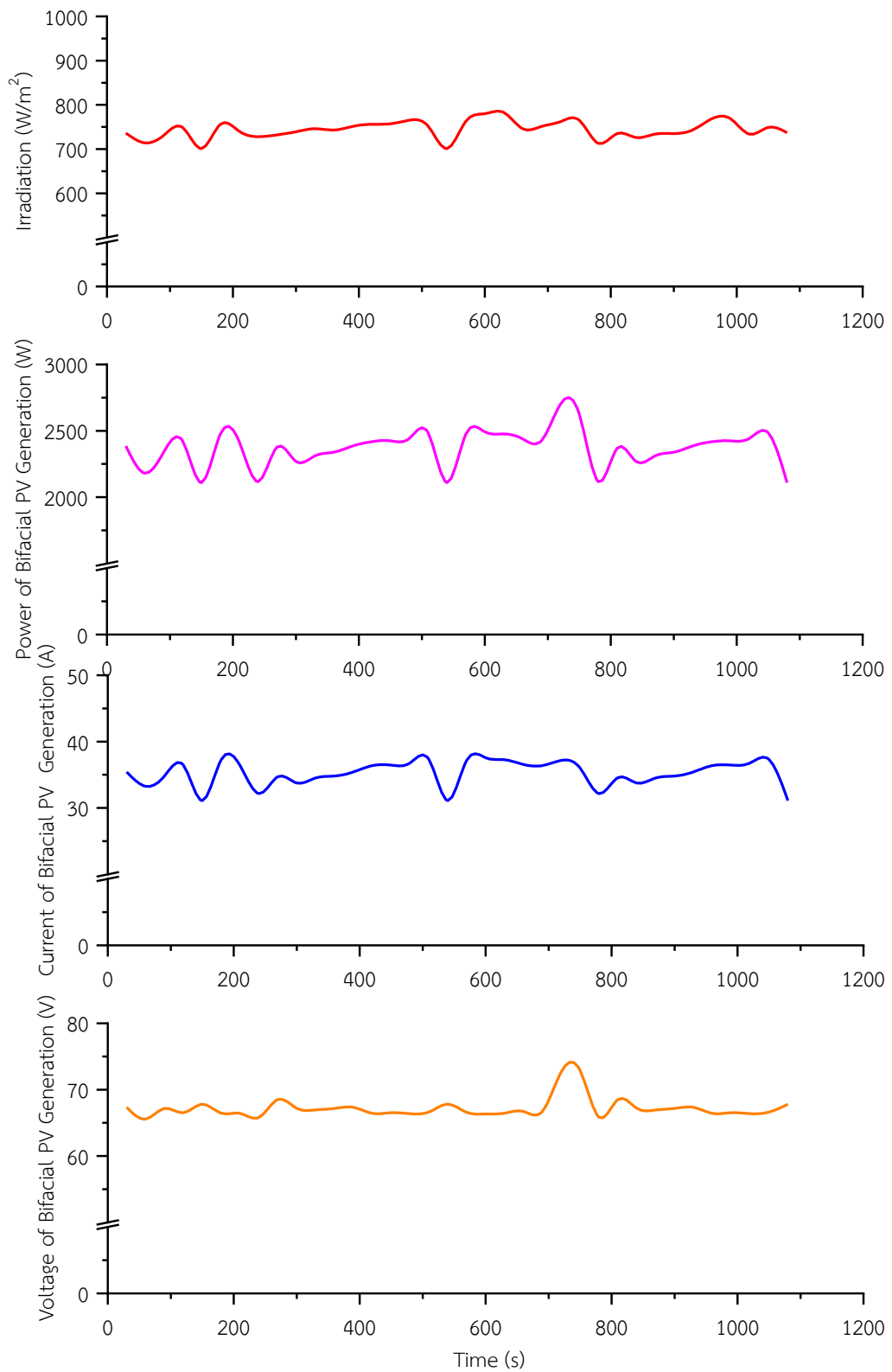
ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนเต็มที่แรงดัน 53 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและโซลาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวชาร์จแบบ GB พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพฤติกรรมผลิตพลังงานไฟฟ้าตามความเข้มของแสง ดังรูปที่ 5.2

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

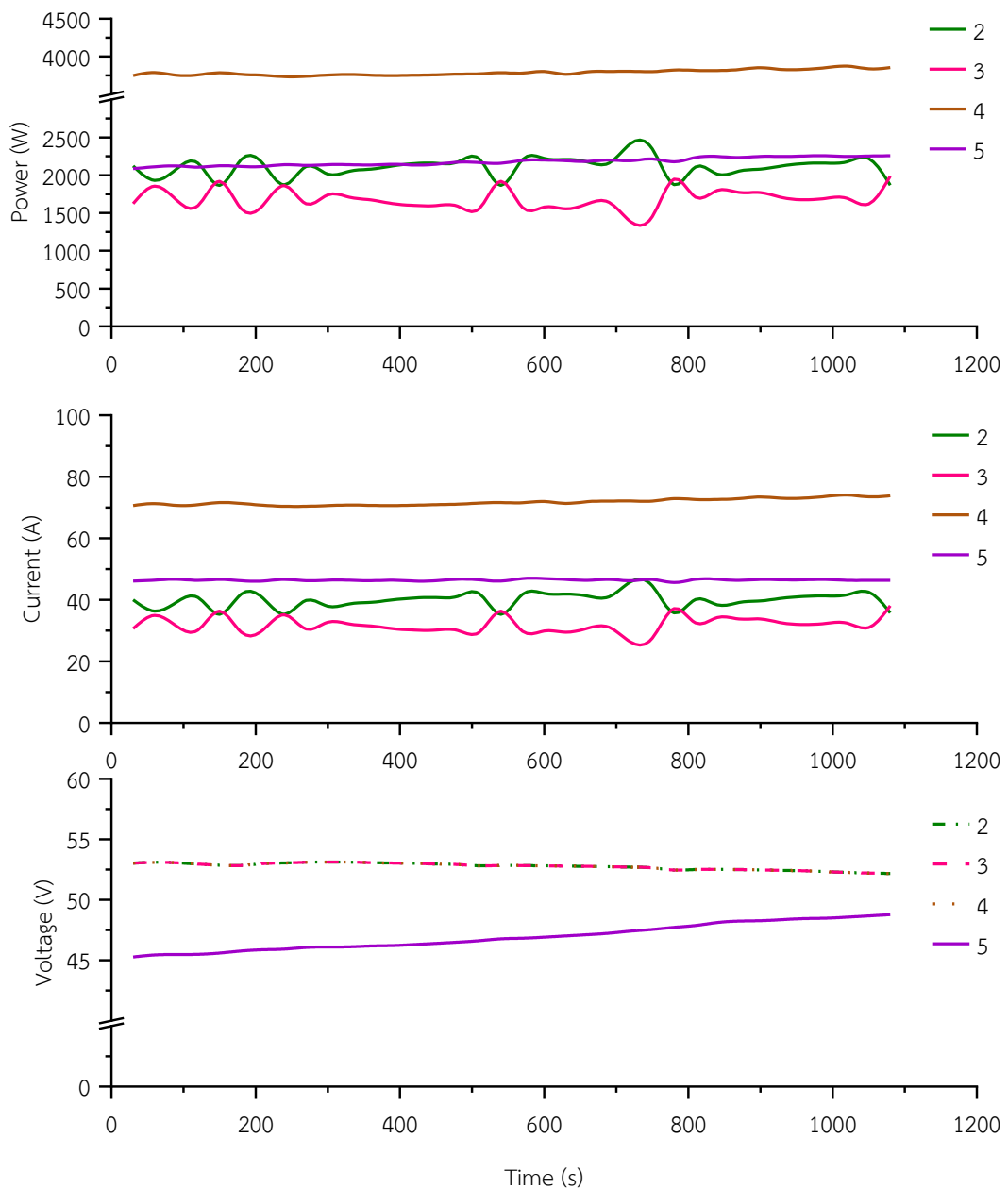


รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 1

- | | | |
|-----|---|--|
| 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



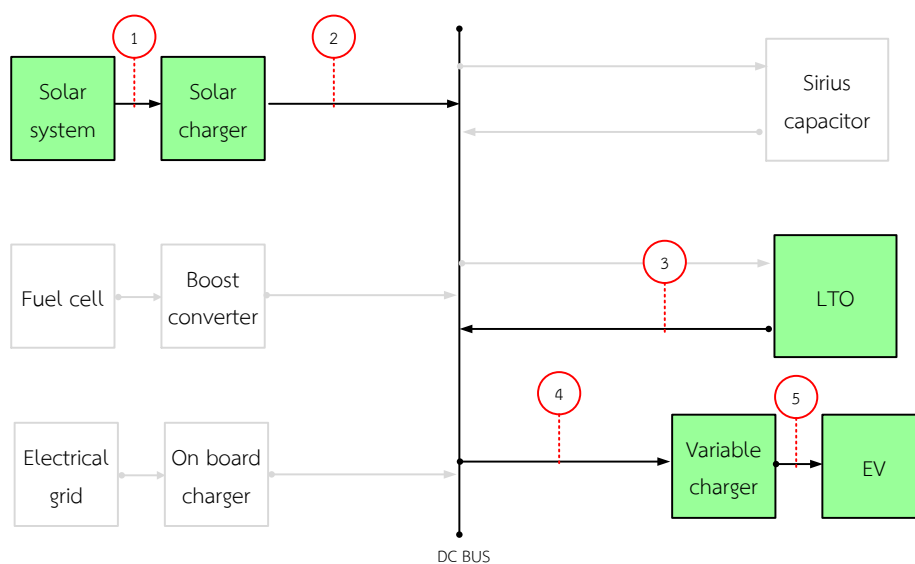
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า และ LTO เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตจนเต็มที่แรงดัน 52 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.4 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิด ไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตและโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ แล้วจึงเปิด VC เพื่อทำการอัดประจุให้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัว

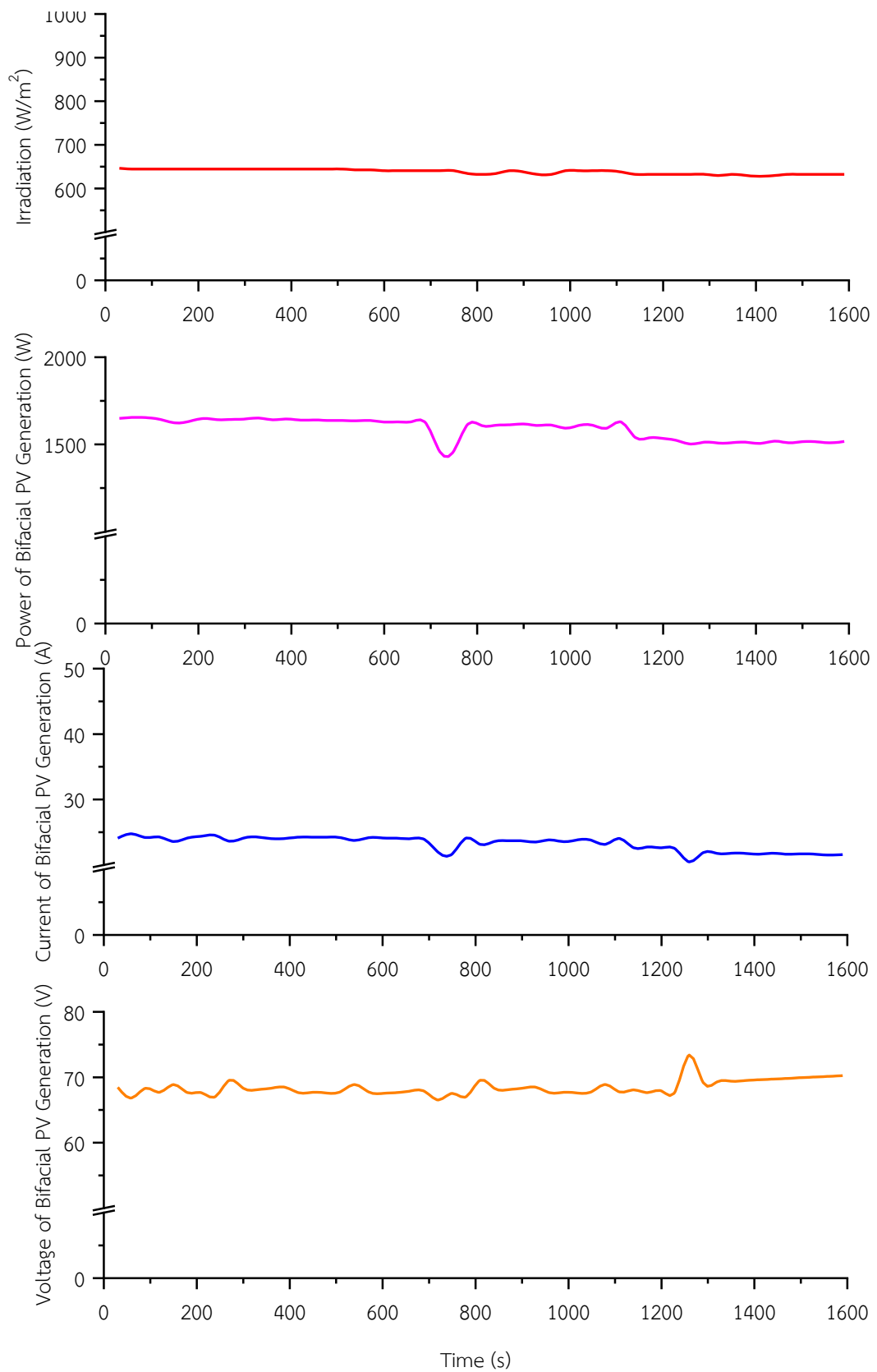
ชาร์จแบบ GB พบพฤติกรรมการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูป ที่ 5.5 และเนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบความเข้มของแสงมีค่าค่อนข้างคงที่ทำให้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกัน

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

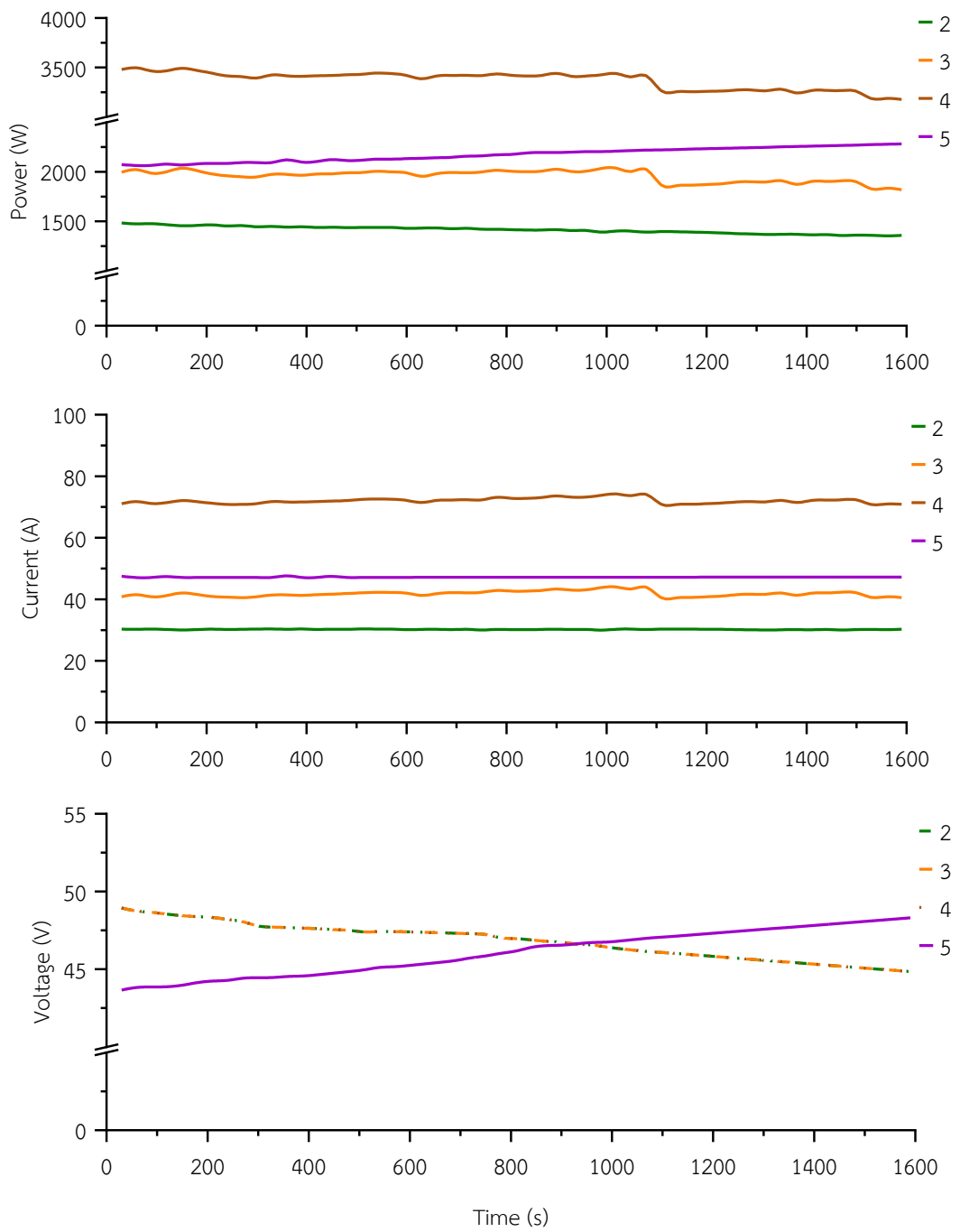


รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีที่ 2

- 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

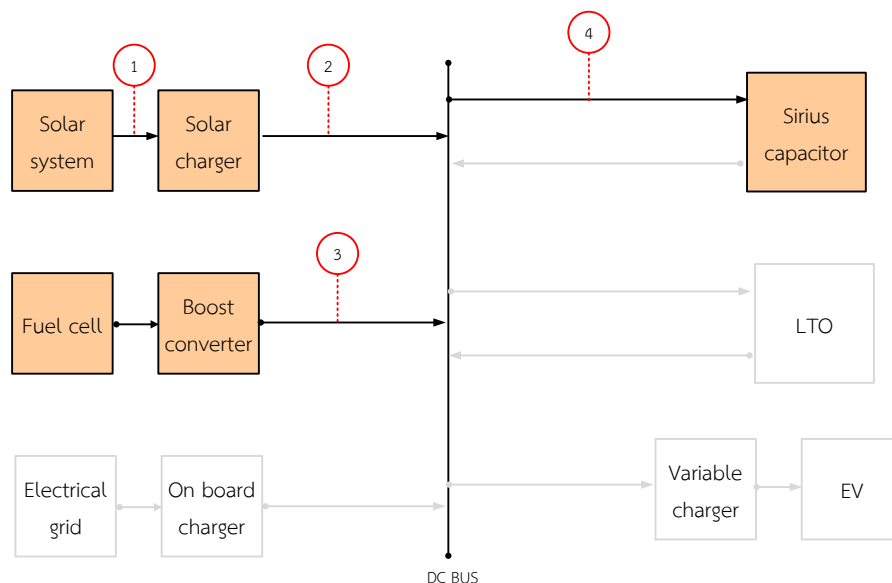


รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบกรณีที่ 2

กรณีศึกษาที่ 3 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับอัดแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

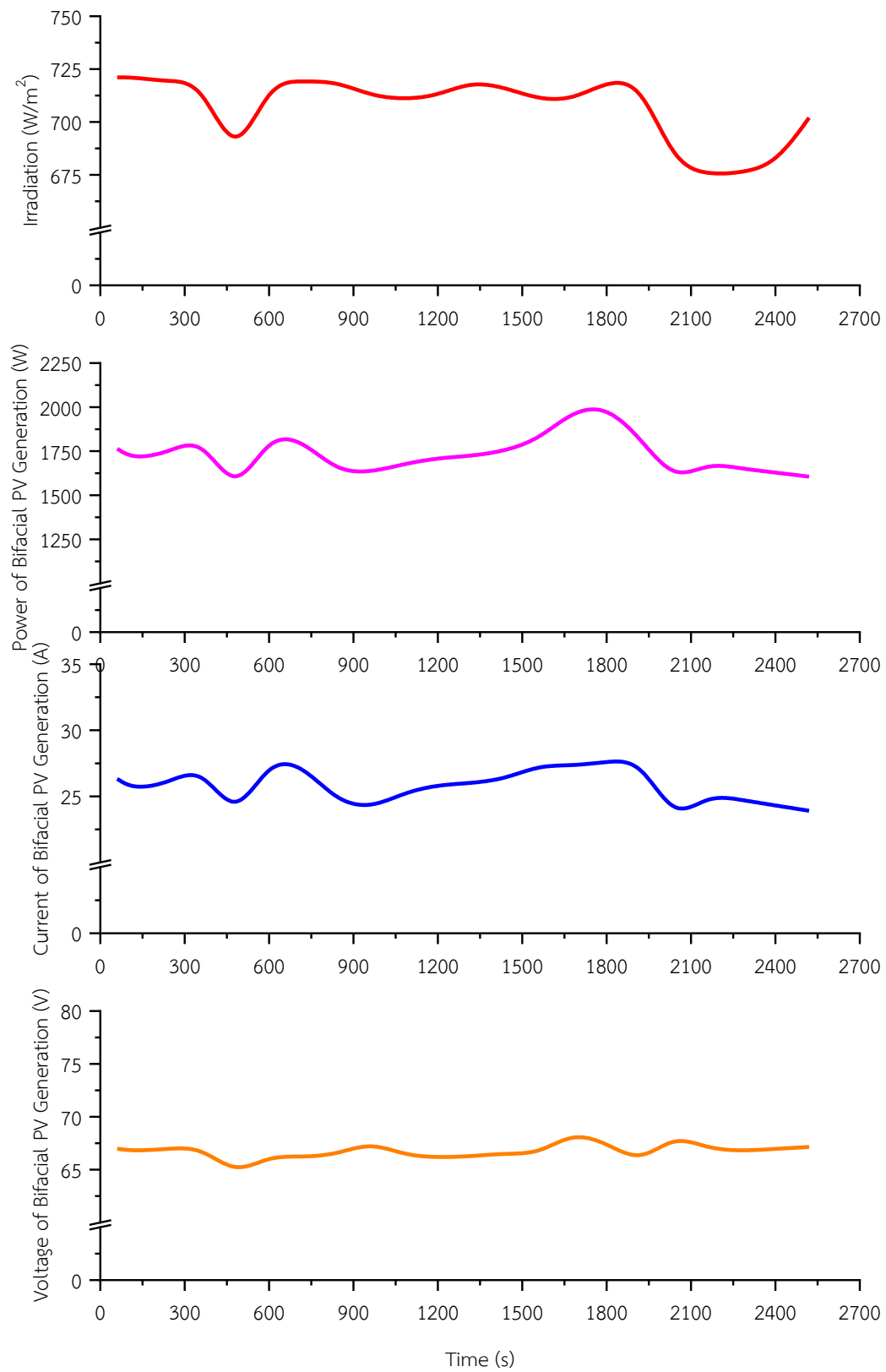
ก่อนทดสอบได้ทำการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนมีแรงดันเหลือ 44 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.7 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า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

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 5.9 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าและยังพบว่ากระแสที่อัดเข้าแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเกิดจากการรวมกันของกระแสที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่ผลรวมของกระแสที่ใช้สำหรับการอัดประจุในการทดสอบนี้ไม่เกินค่าอัตราการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

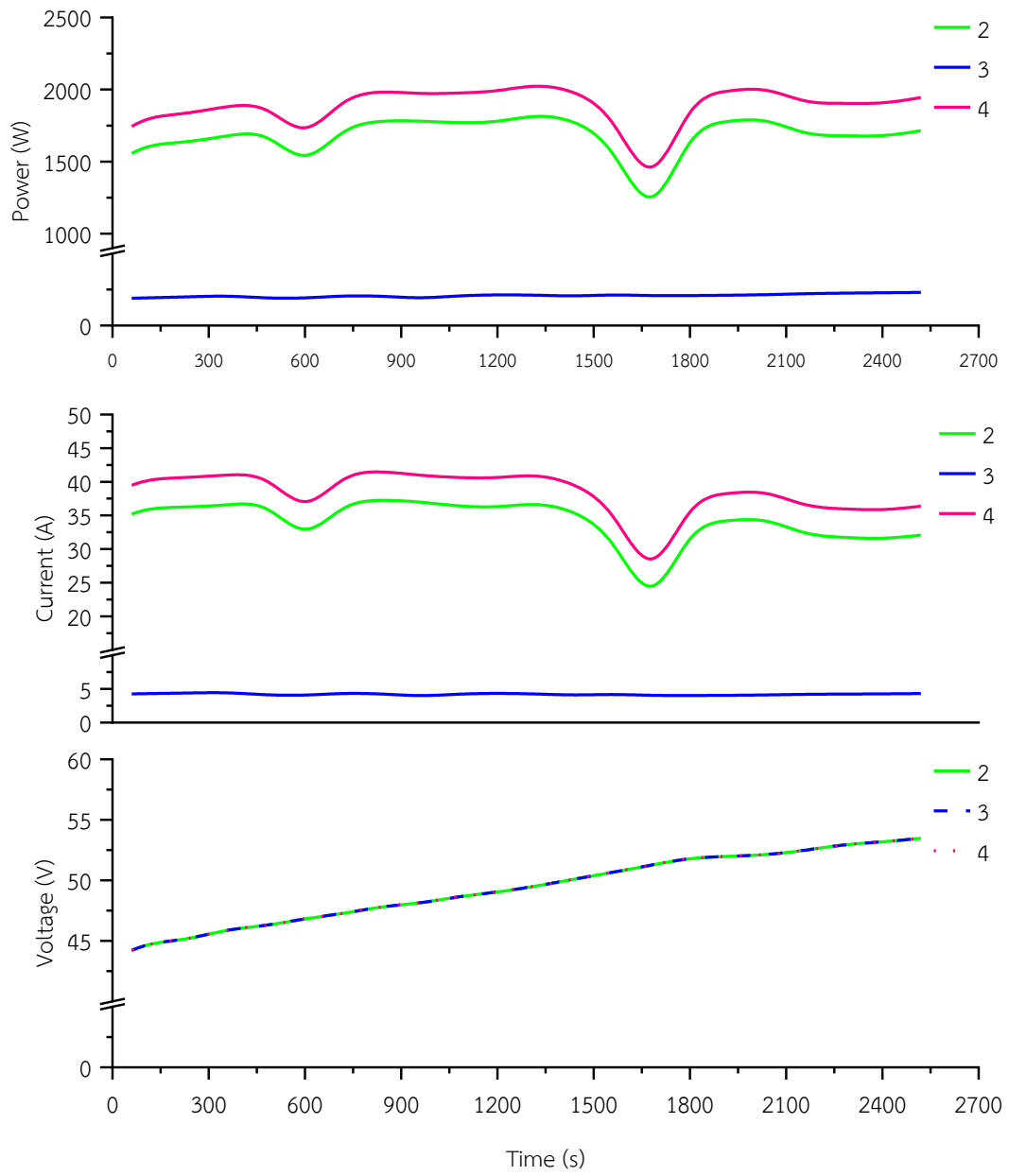


รูปที่ 5.7 ไดอะแกรมการทดสอบกรณีศึกษาที่ 3

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



รูปที่ 5.8 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีนี้ 3

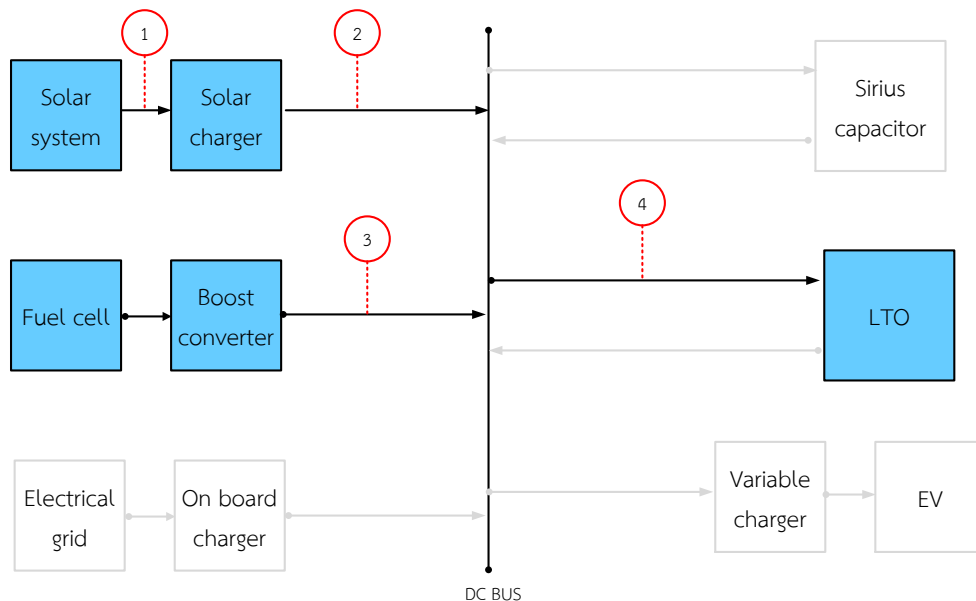


รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบกรณีที่ 3

กรณีศึกษาที่ 4 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับอัดประจุ LTO

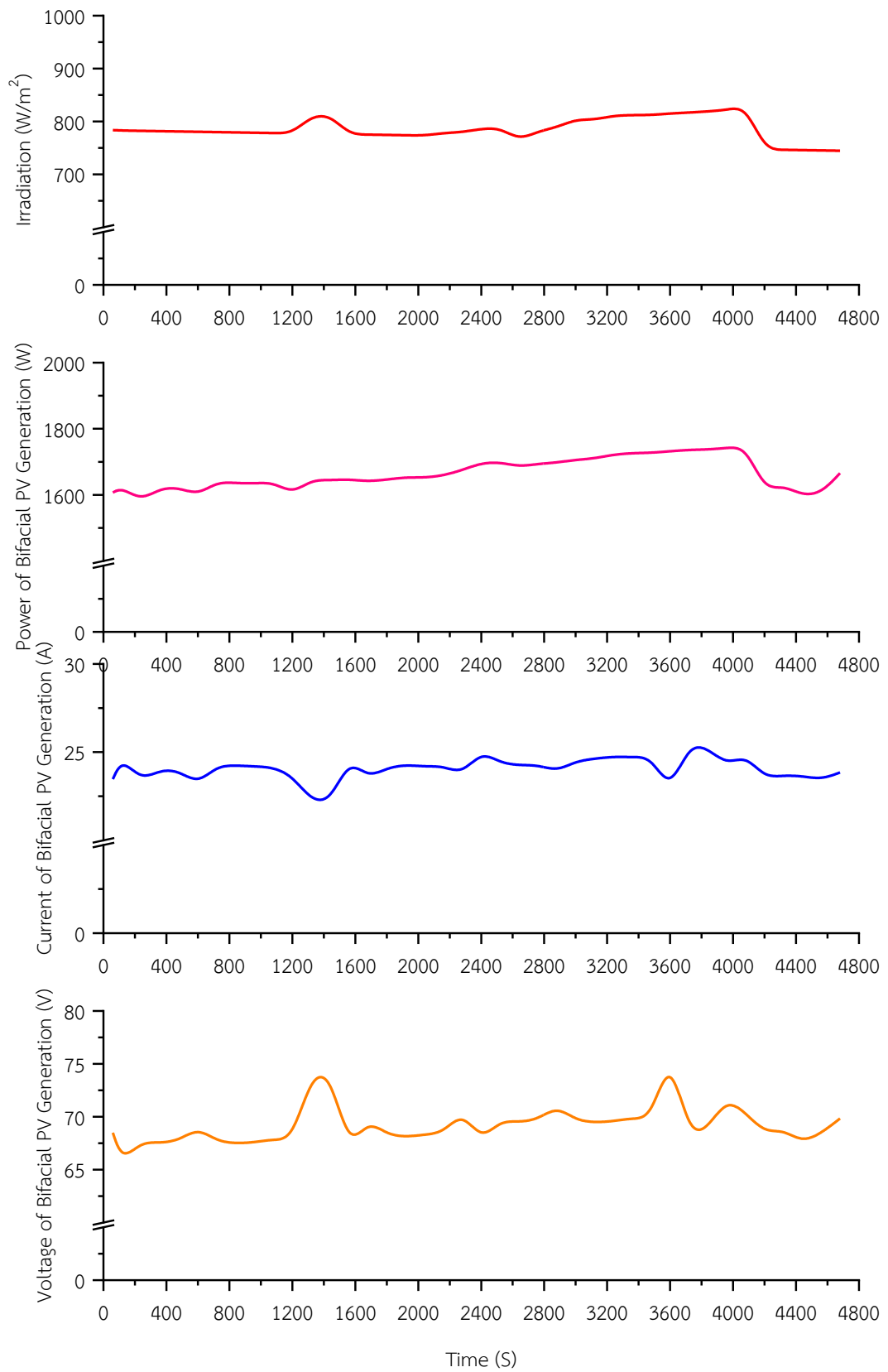
ก่อนทดสอบได้ทำการคายประจุของ LTO จนมีแรงดันเหลือ 44 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.10 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของ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

จากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.12 ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้ LTO ได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของ LTO และพบว่ากระแสที่อัดเข้าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตเกิดจากการรวมกันของกระแสที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าและระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่ผลรวมของกระแสที่ใช้สำหรับการอัดประจุในการทดสอบนี้ไม่เกินค่าอัตราการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไททาเนตที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

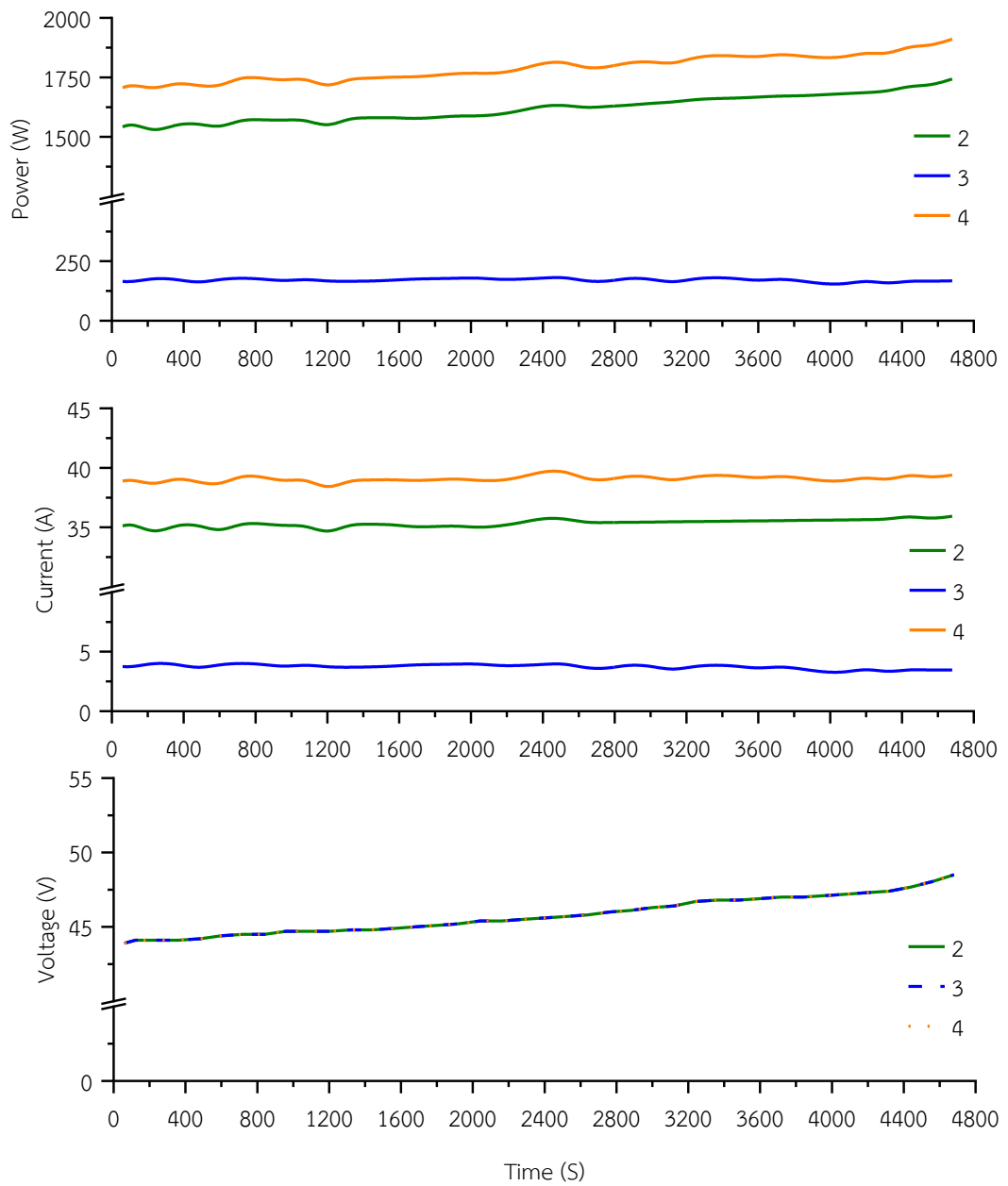


รูปที่ 5.10 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 4

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



รูปที่ 511 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีนี้ที่ 4

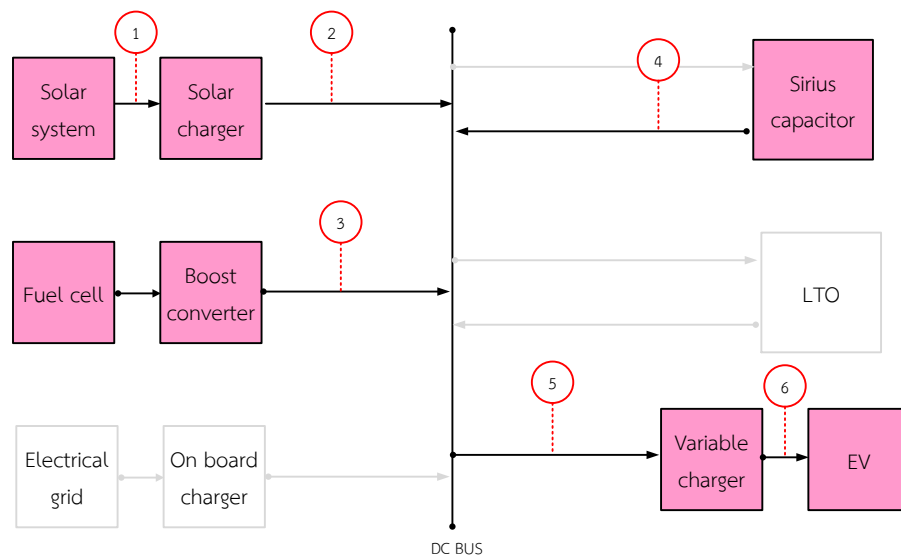


รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบกรณีที่ 4

กรณีศึกษาที่ 5 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

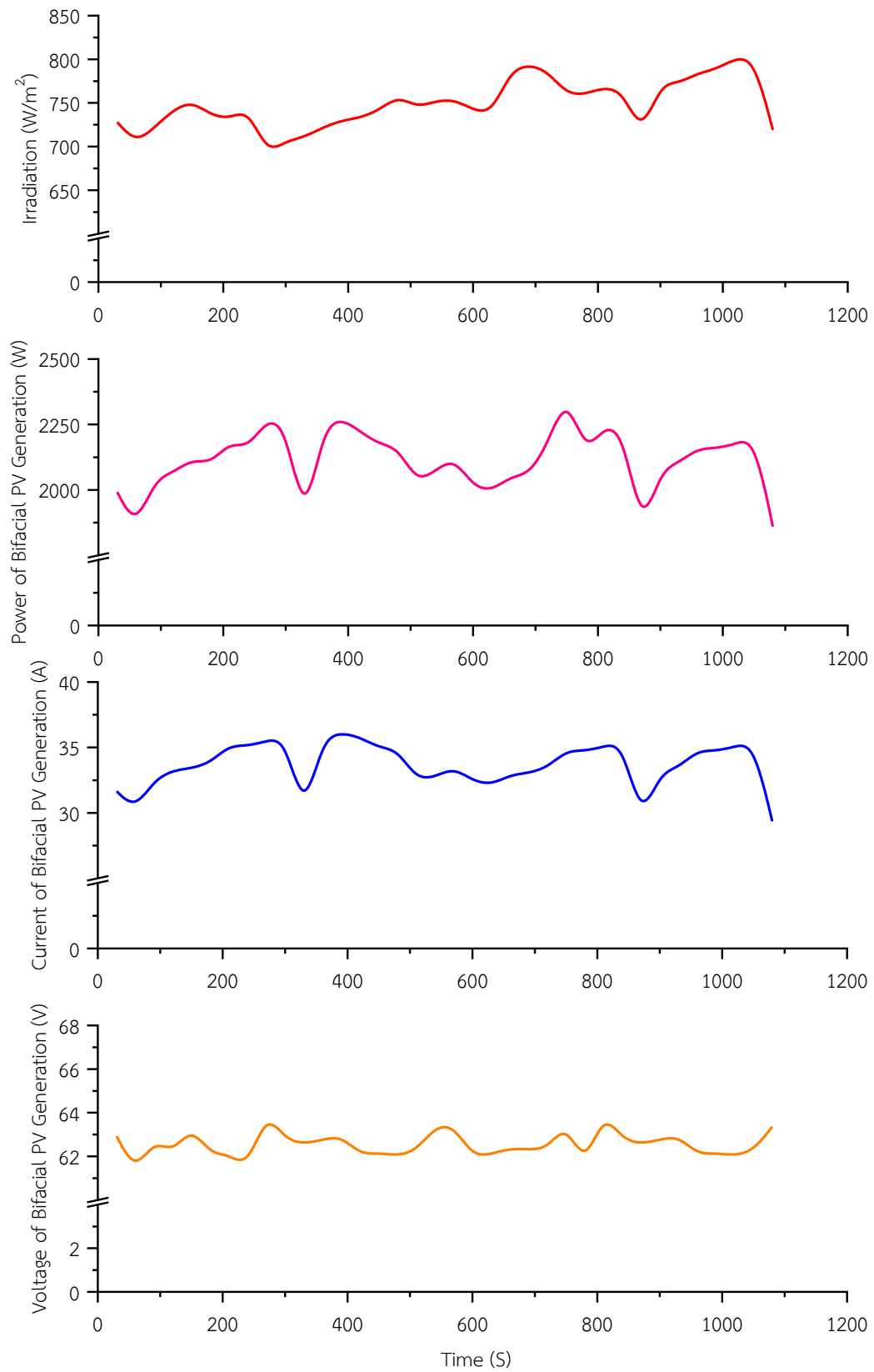
ก่อนทดสอบได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนเต็มที่มีแรงดัน 53 V หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.13 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิด ไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อ ความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บ 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

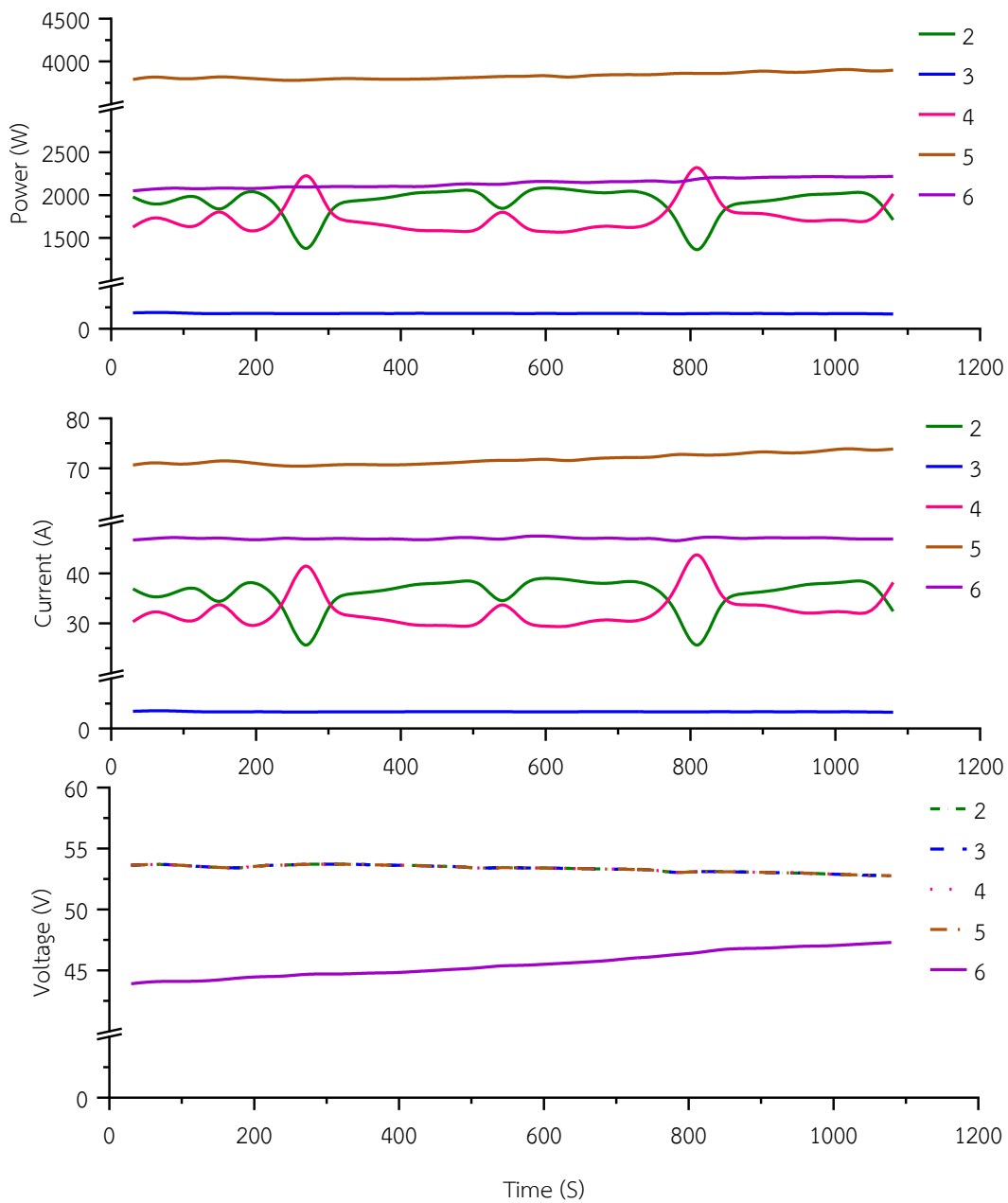


รูปที่ 5.13 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 5

- | | | |
|-----|---|---|
| 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

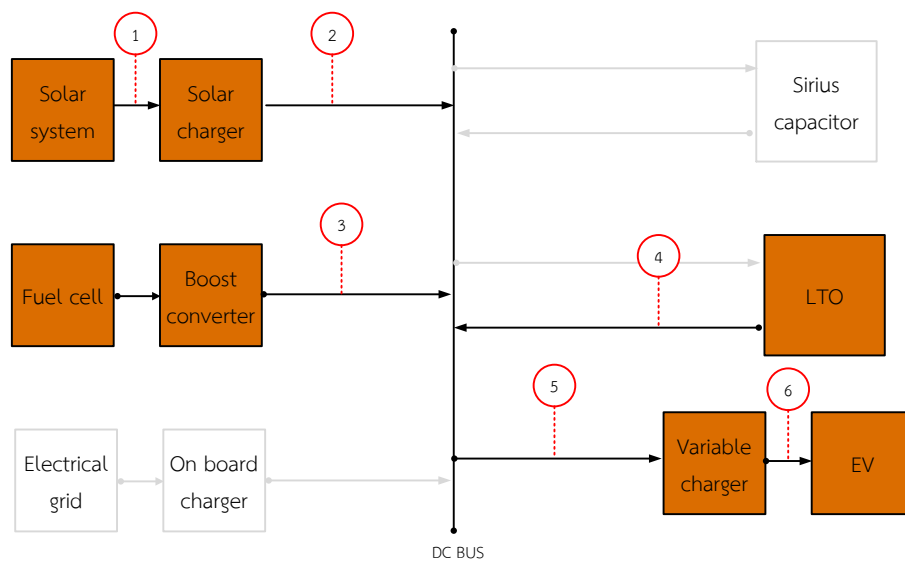


รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบกรณีที่ 5

กรณีศึกษาที่ 6 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและ LTO เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ VC

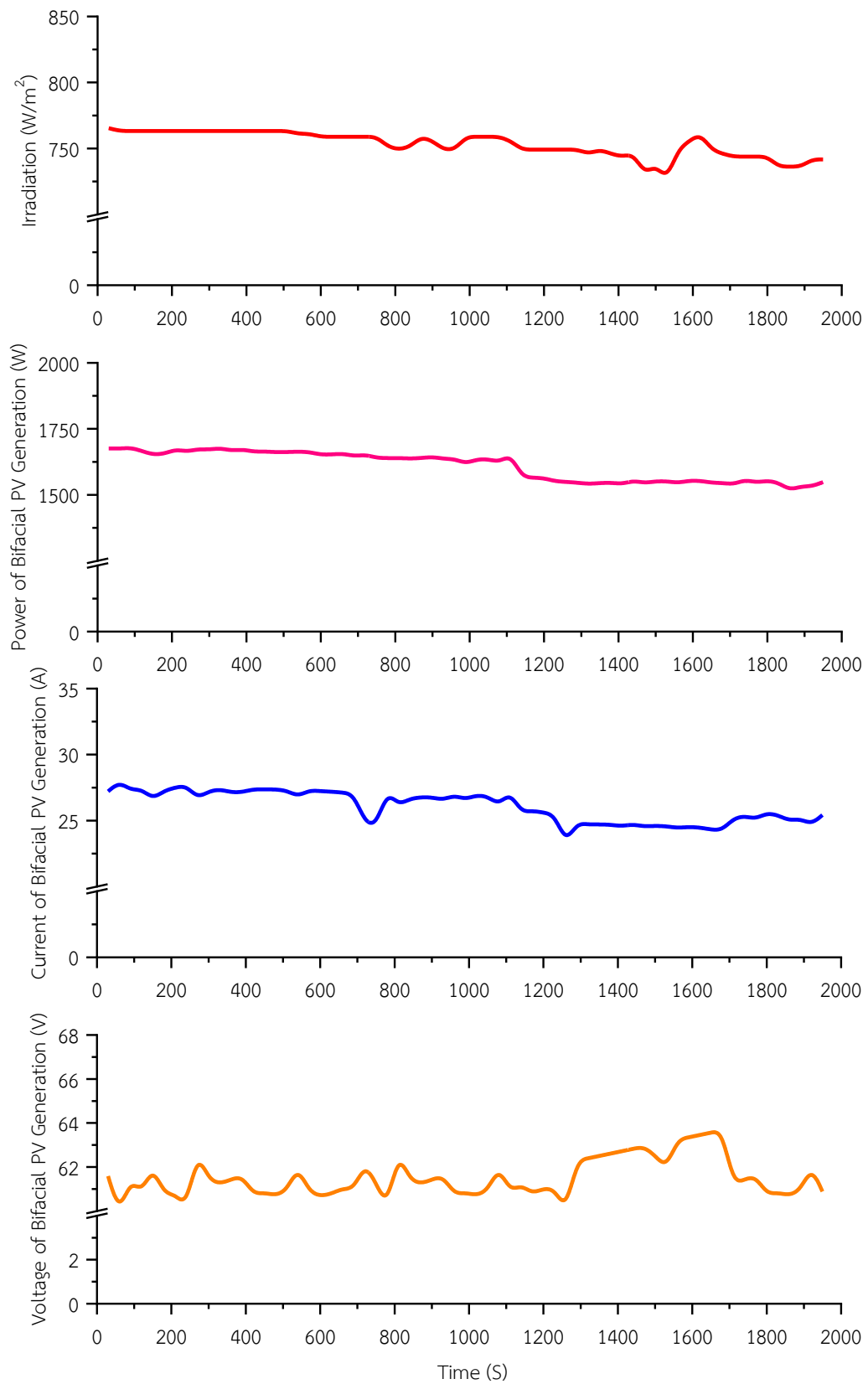
ก่อนทดสอบได้ทำการอัด LTO จนเต็มทีแรงดัน 52 V แล้วจึงนำมาทดสอบ ดังรูปที่ 5.16 โดยอุปกรณ์แต่ละตัวต้องมีเบรกเกอร์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทั้งนี้ก่อนต่ออุปกรณ์ร่วมกันที่บัสบาร์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย หลังจากต่ออุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงทำการปิดเบรกเกอร์ของ LTO วงจรแปลงผันแบบบูสต์และโซล่าชาร์จเจอร์ตามลำดับ 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

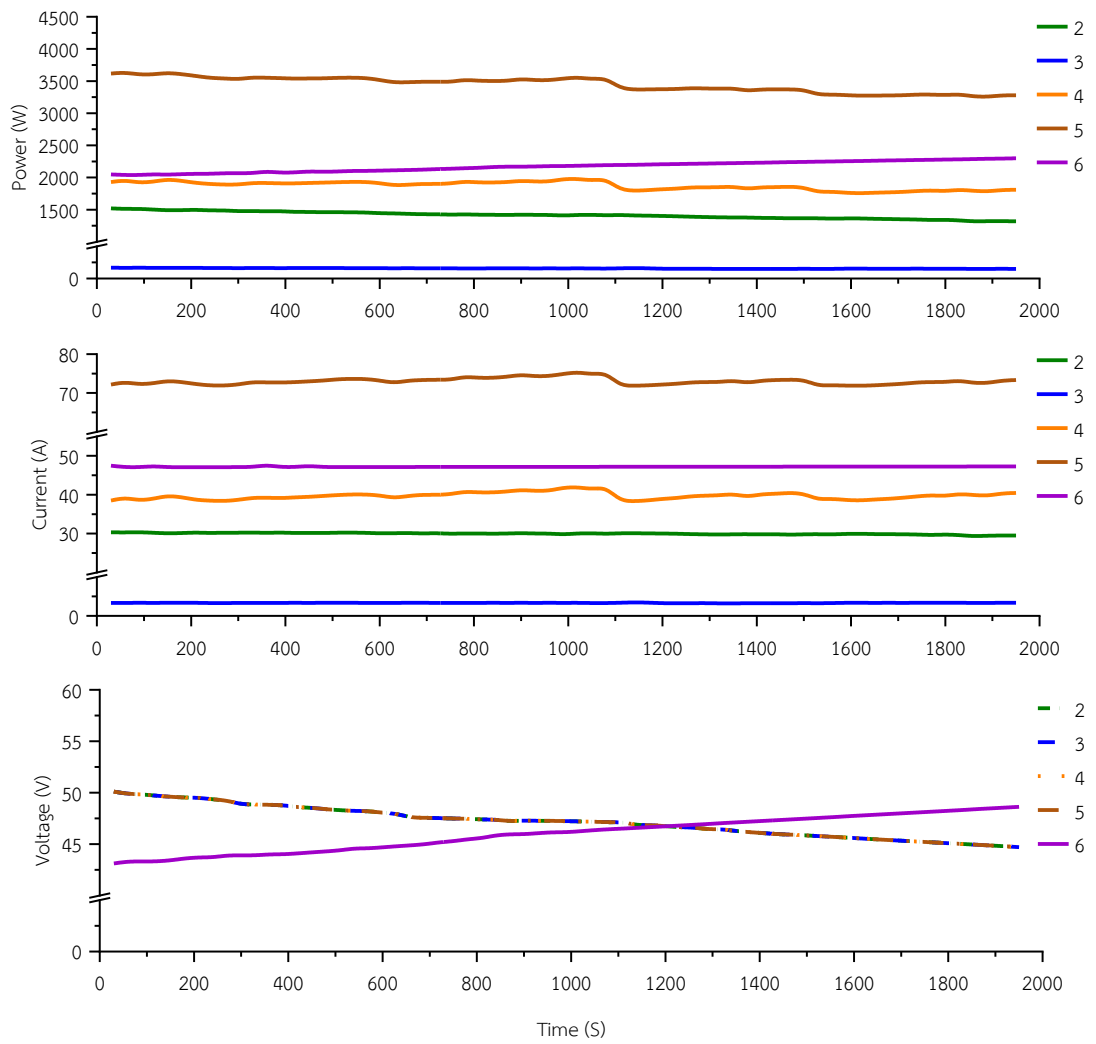


รูปที่ 5.16 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 6

- | | | |
|-----|---|--|
| 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

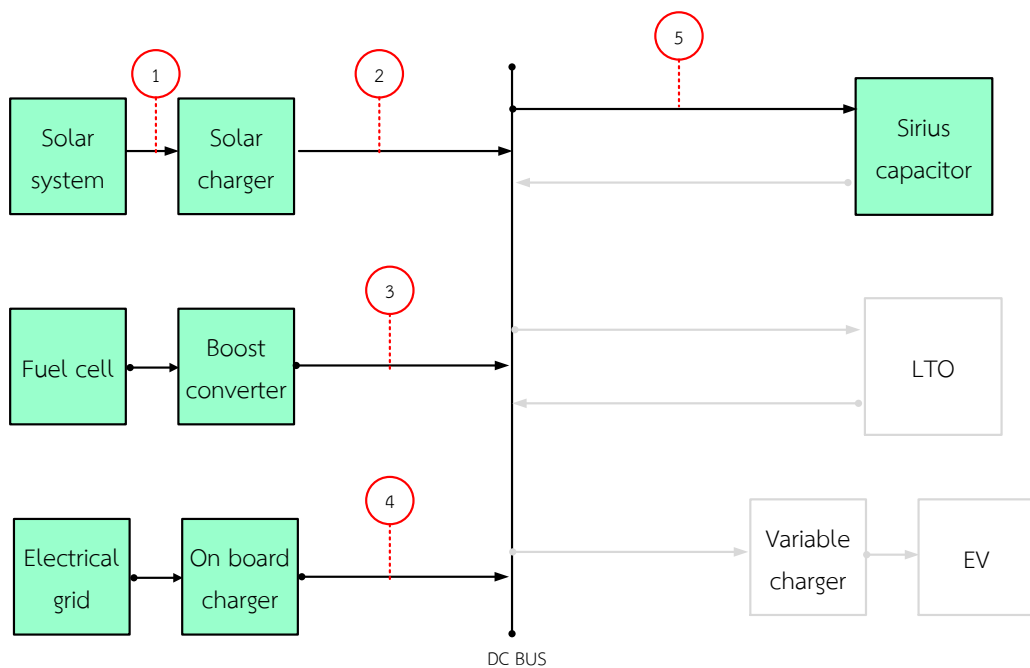


รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบกรณีที่ 6

กรณีศึกษาที่ 7 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบโครงข่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

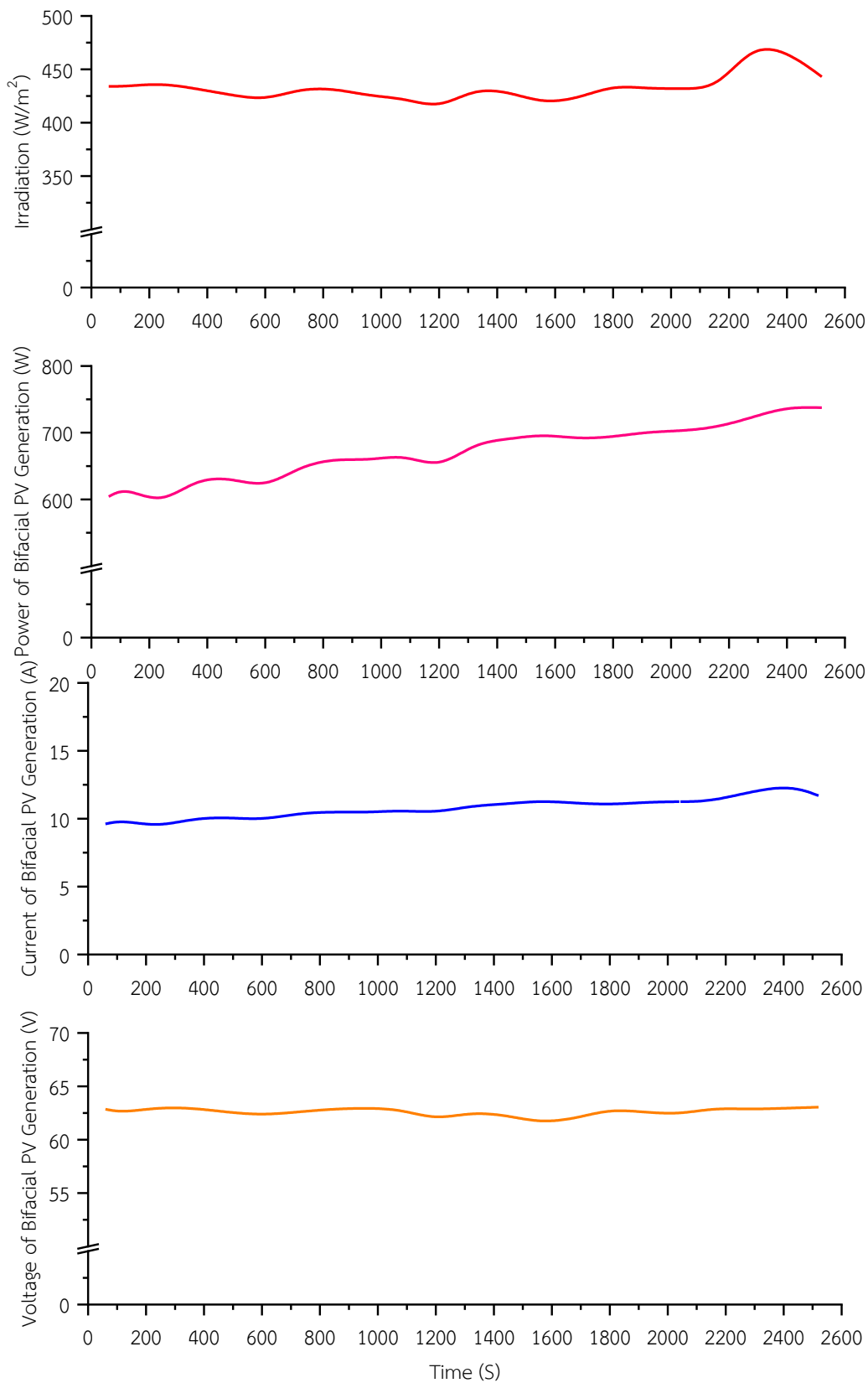
ก่อนการทดสอบได้ทำการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าจนมีแรงดันเหลือ 45 V แล้วจึงนำมาทดสอบดังรูปที่ 5.19 โดยทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทุกตัวก่อนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ หลังจากนั้นปิดเบรกเกอร์ของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า วงจรแปลงผันแบบบูสต์ โซล่าชาร์จเจอร์และ on board charger ตามลำดับ โดยในกรณีนี้ทำการทดสอบในเวลาที่มีความเข้มแสงน้อยโดยพบว่าเมื่อความเข้มแสงมีค่าประมาณ 425 – 450 W/m² จะส่งผลให้ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง 10 A และแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 65 V แสดงพฤติกรรม ดังรูปที่ 5.20

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.21 พบว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

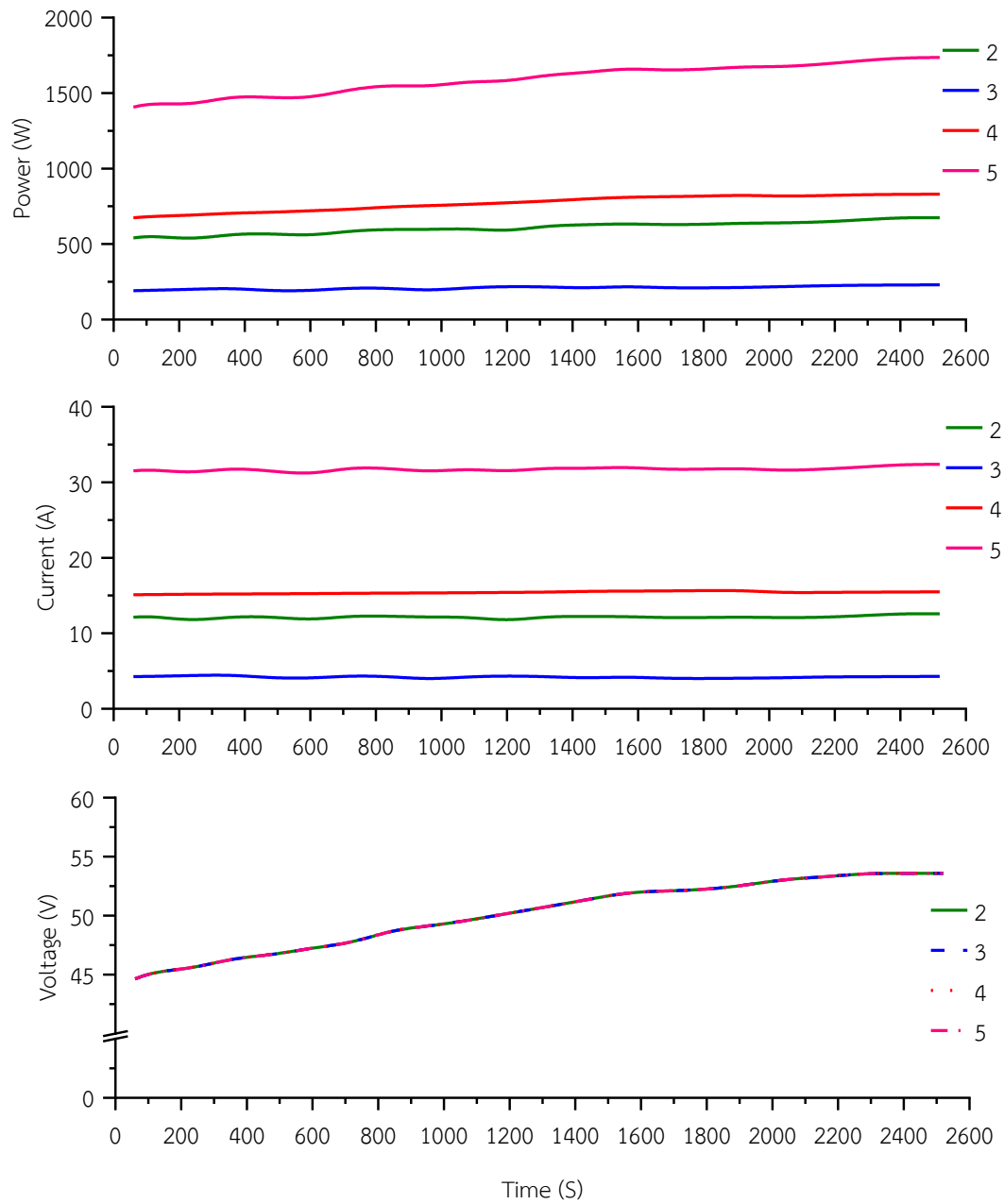


รูปที่ 5.19 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 7

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



รูปที่ 5.20 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 7

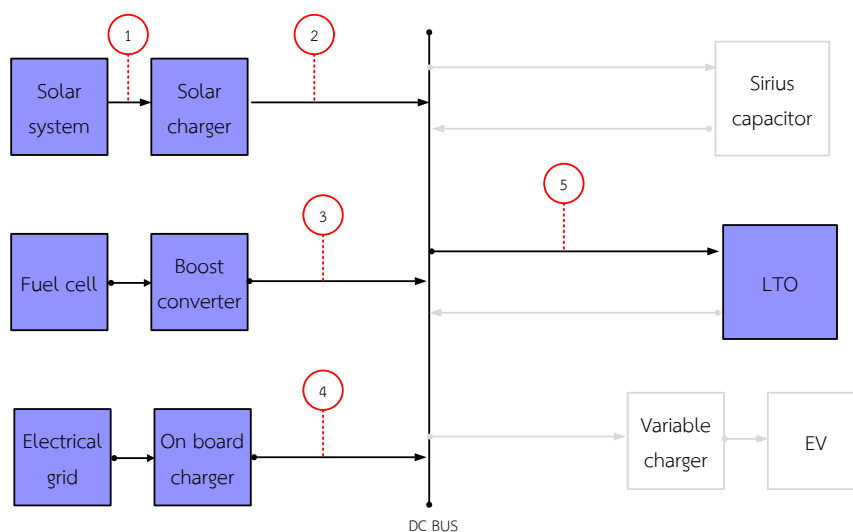


รูปที่ 5.21 ผลการทดสอบกรณีที่ 7

กรณีศึกษาที่ 8 ทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงระบบโครงข่ายไฟฟ้าและ LTO

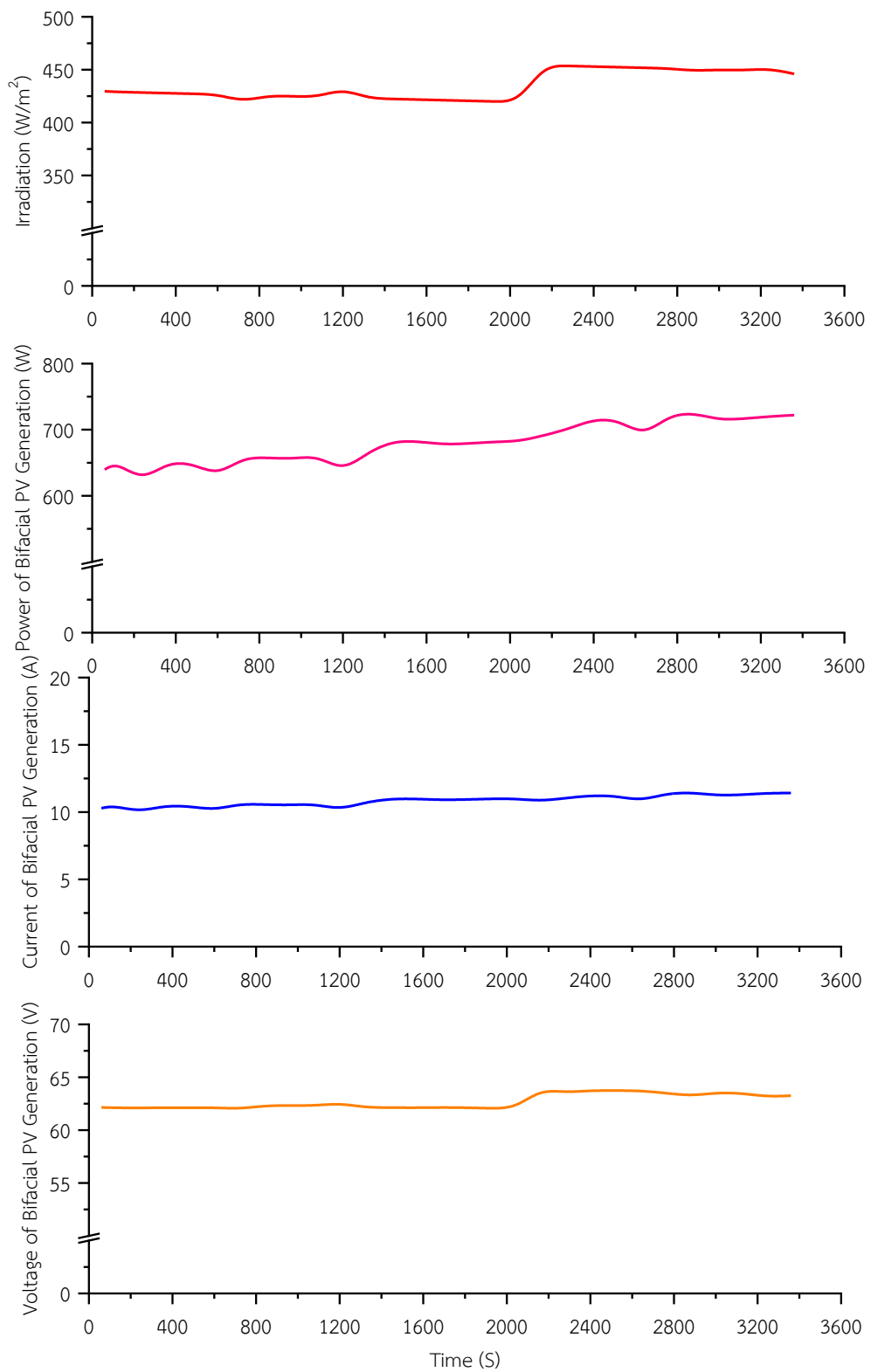
ก่อนทำการทดสอบได้ทำการคายประจุของ LTO จนมีแรงดันเหลือ 46 V แล้วจึงมาทดสอบโดยต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 5.22 โดยก่อนการต่ออุปกรณ์ต้องทำการเปิดเบรกเกอร์ของอุปกรณ์ทุกตัวเพื่อความปลอดภัย หลังจากนั้นปิดเบรกเกอร์ของ LTO วงจรแปลงผันแบบบูสต์ โซล่าชาร์จเจอร์ และ on board charger ตามลำดับ โดยทำการทดสอบในเวลาที่มีความเข้มแสงน้อยเพื่อต้องการให้กระแสที่ใช้ในการอัด LTO ไม่เกินพิกัดอัตราการอัด 1C หรือ 40 Ah พบว่าที่ความเข้มแสงประมาณ 450 W/m^2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะไม่เกิน 15 A และแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 60 – 65 V แสดงพฤติกรรม ดังรูปที่ 5.23

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.24 พบว่าระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันในการอัดประจุให้ LTO ได้ โดยมีแรงดันที่บัสบาร์เท่ากับแรงดันของ LTO และพบว่าหากค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากระบบพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่เกิน 20 A จะสามารถนำมาผสมผสานกับแหล่งพลังงานอื่นได้โดยที่ยังไม่เกินอัตราการอัดของ LTO

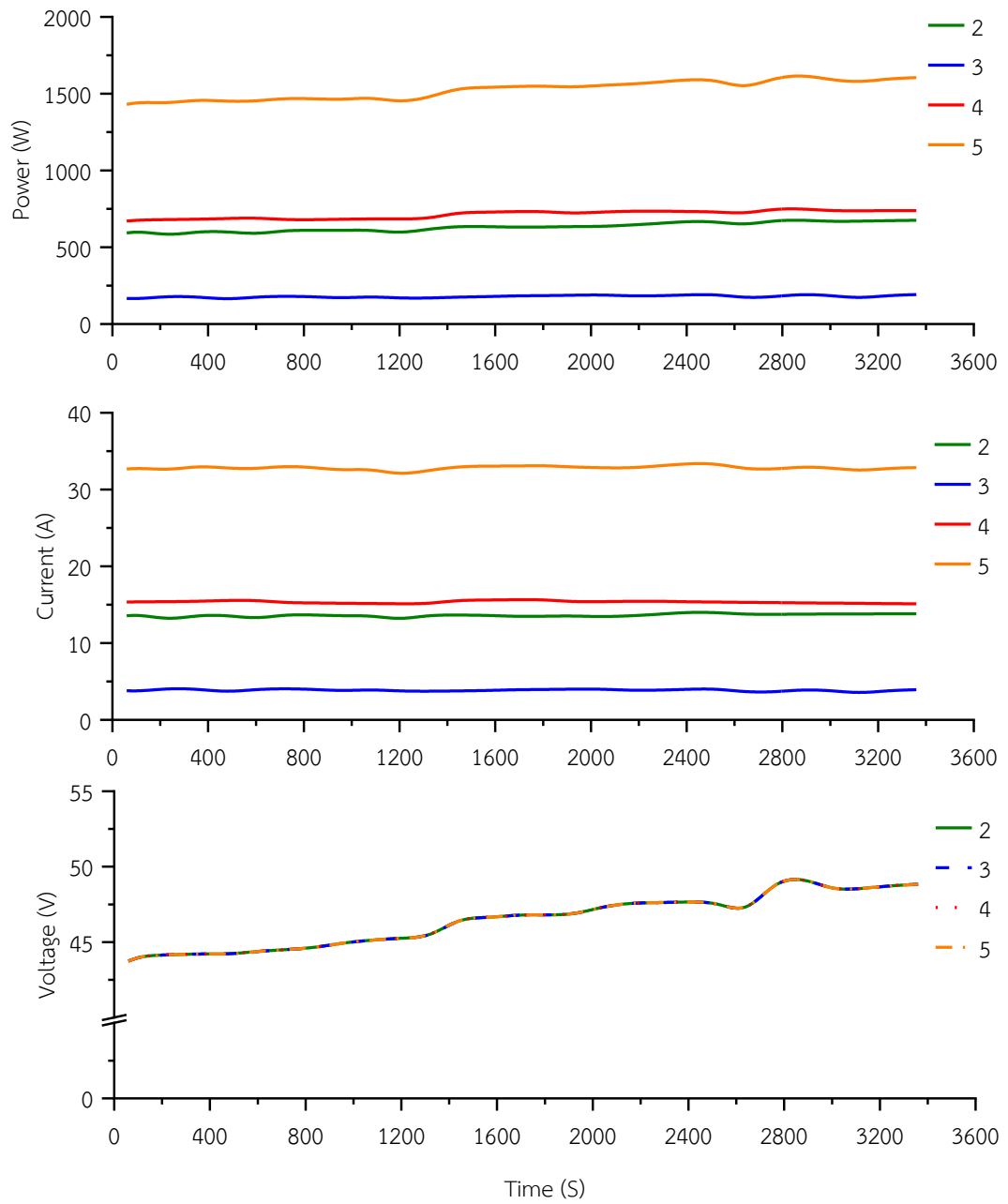


รูปที่ 5.22 ไดอะแกรมการทดสอบการทำงานกรณีศึกษาที่ 8

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



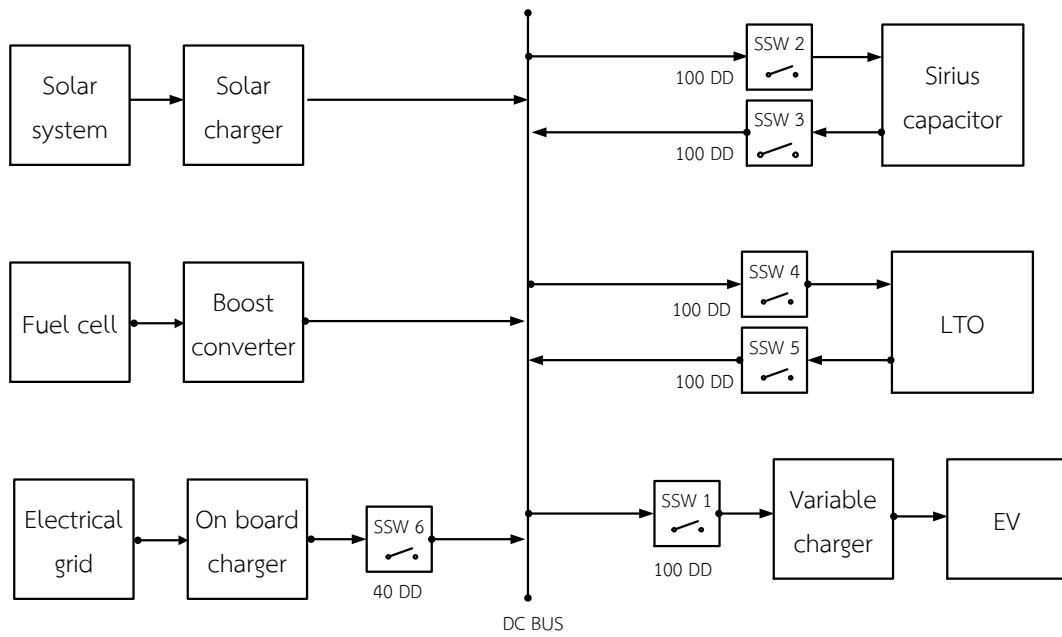
รูปที่ 5.23 พฤติกรรมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้าในกรณีที่ 8



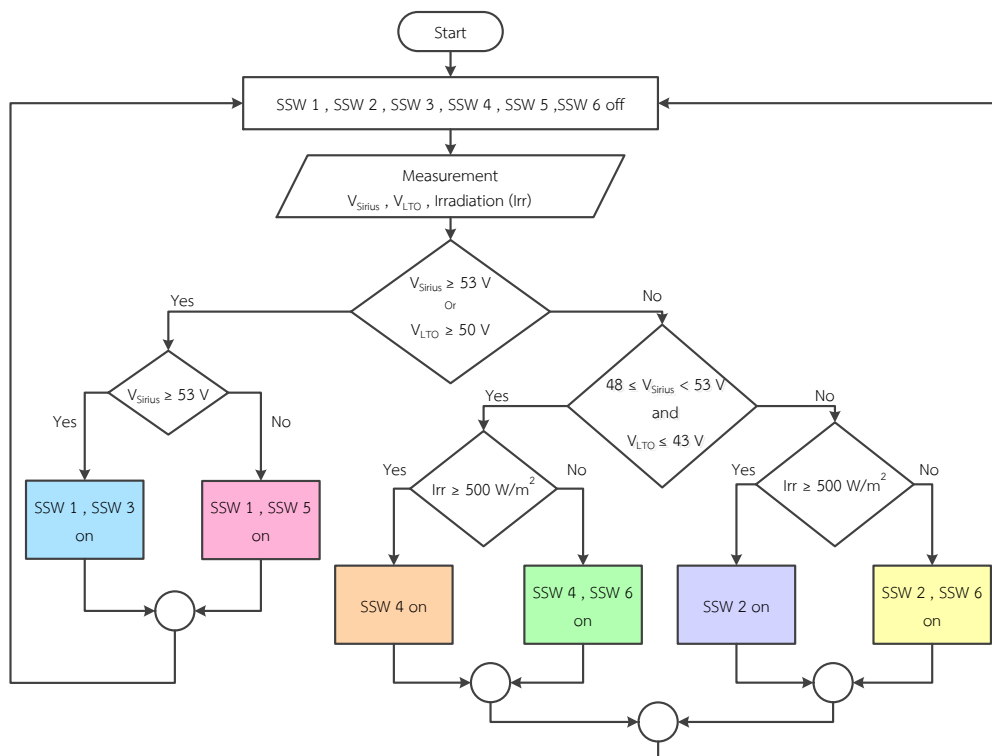
รูปที่ 5.24 ผลการทดสอบกรณีที่ 8

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 เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้มีอัตราการอัดประจุที่ต่างกัน โดยแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟารองรับอัตราการอัดได้ถึง 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



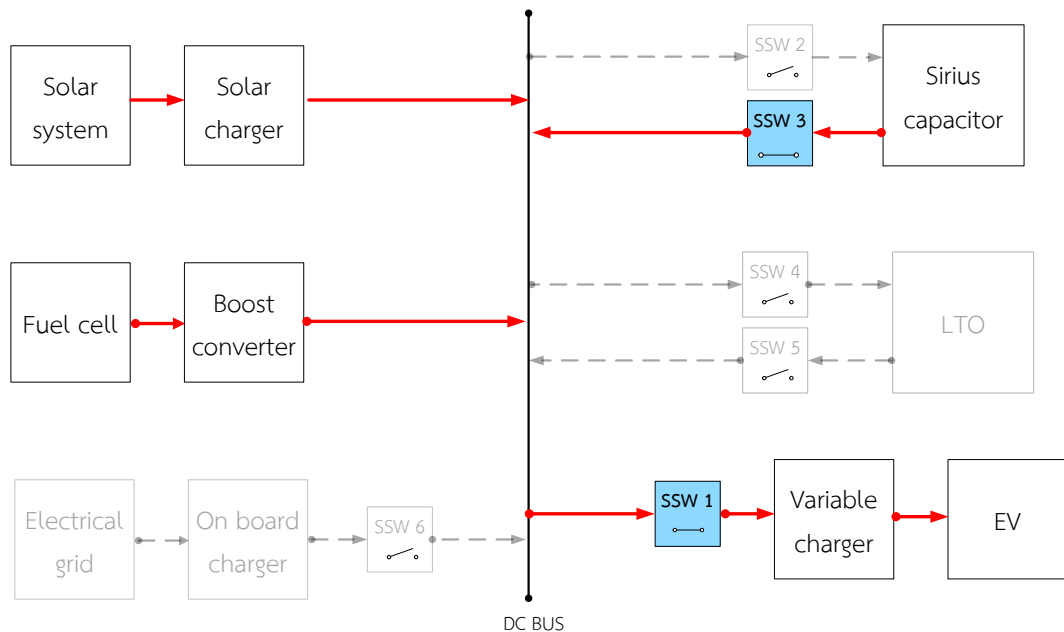
รูปที่ 5.26 แผนผังการทำงานของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน

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

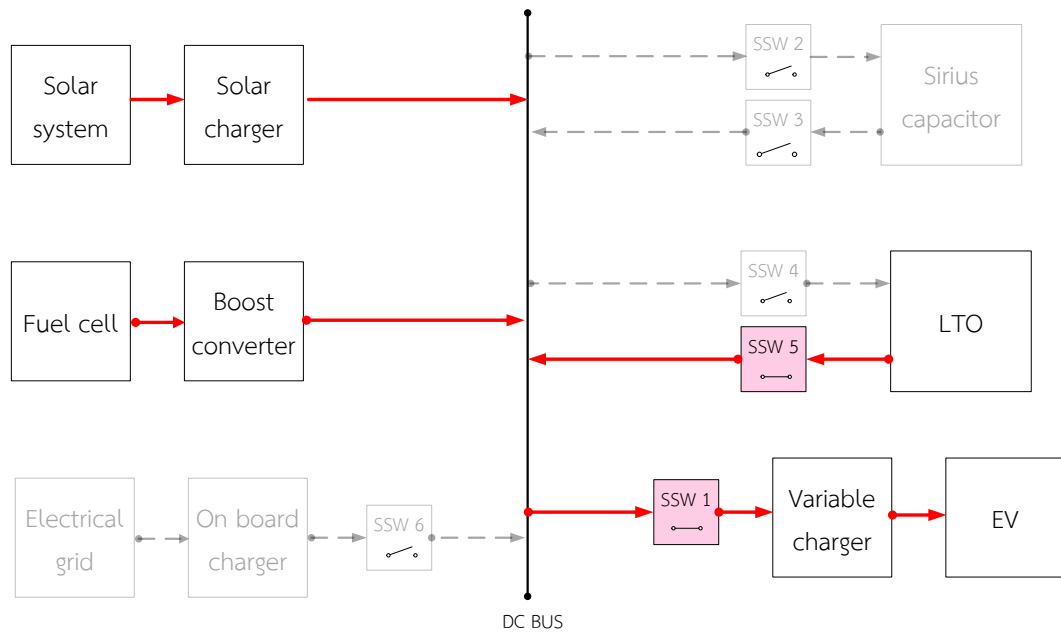
จากแผนผังการทำงานและไดอะแกรมของระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสามารถแบ่งการทำงานของจัดการพลังงานแบบผสมผสานได้เป็น 6 โหมดดังต่อไปนี้

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



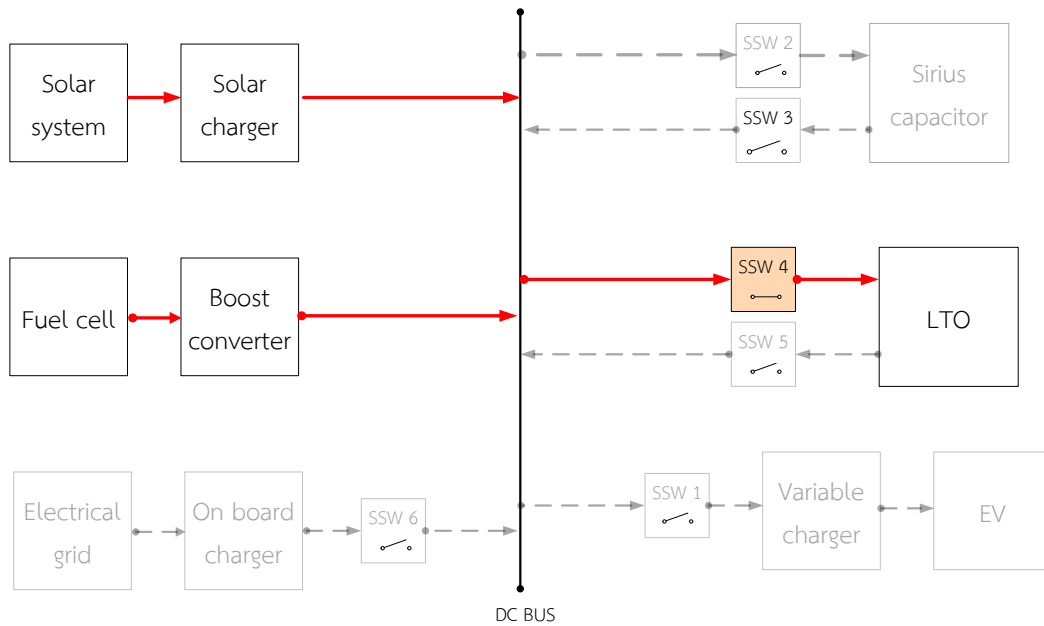
รูปที่ 5.27 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 1

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



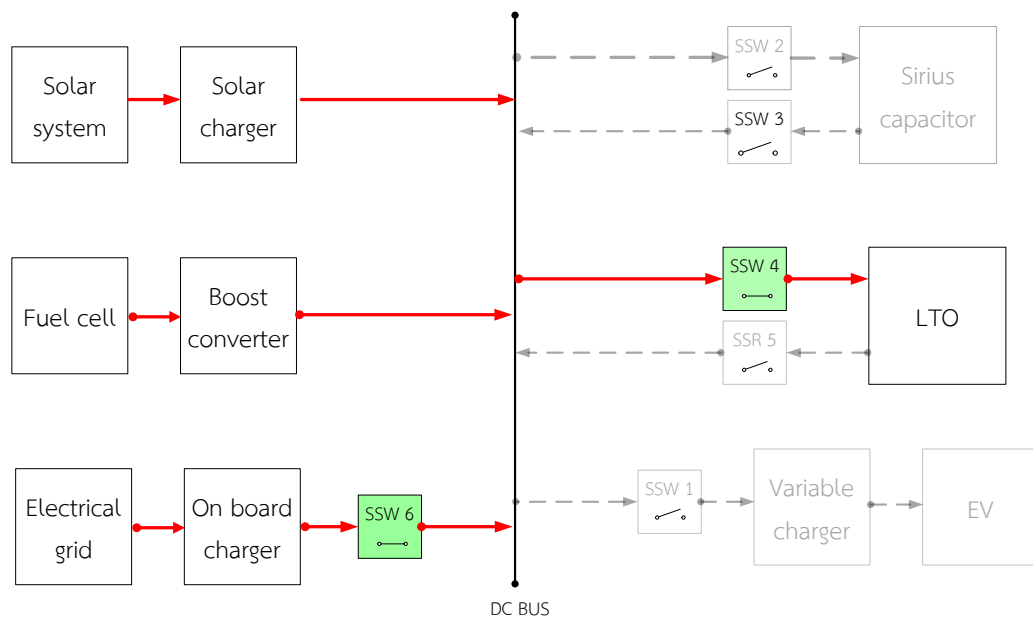
รูปที่ 5.28 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 2

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



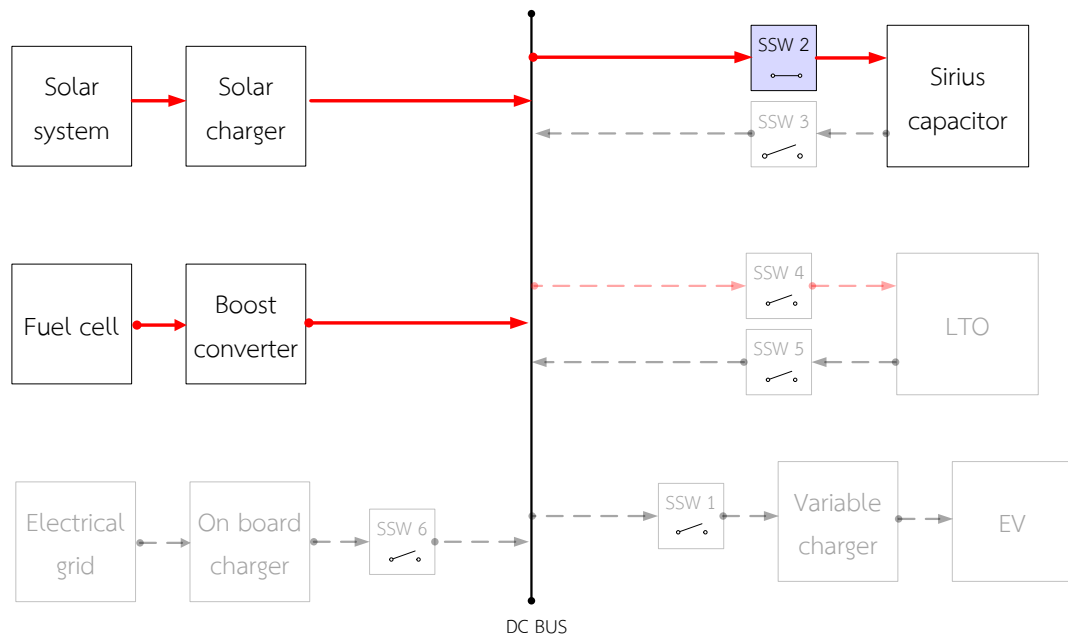
รูปที่ 5.29 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 3

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



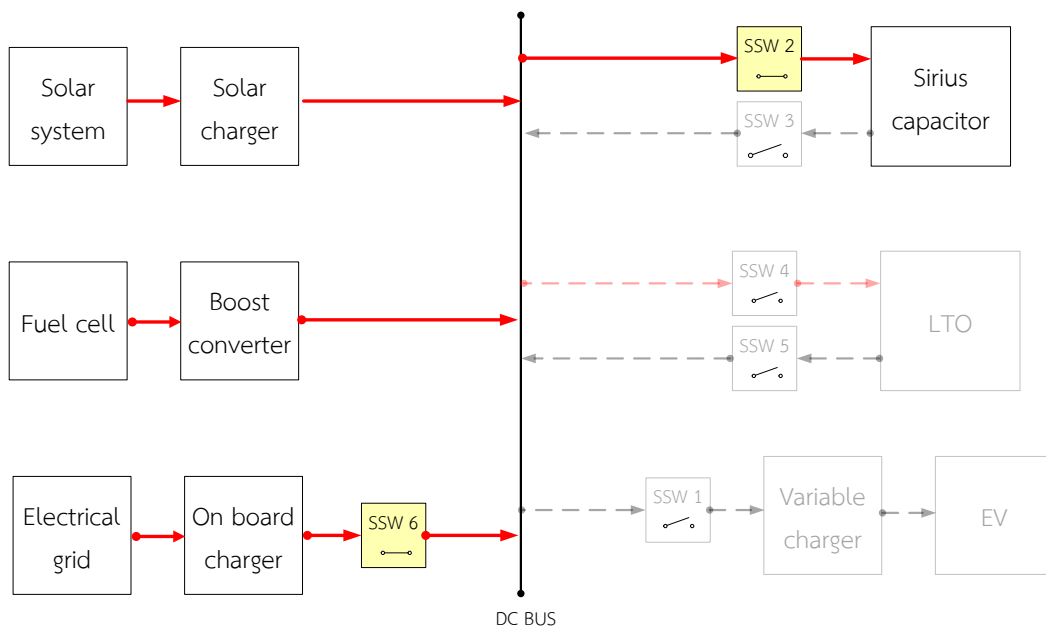
รูปที่ 5.30 การทำงานของ SSW ในโหมดที่ 4

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

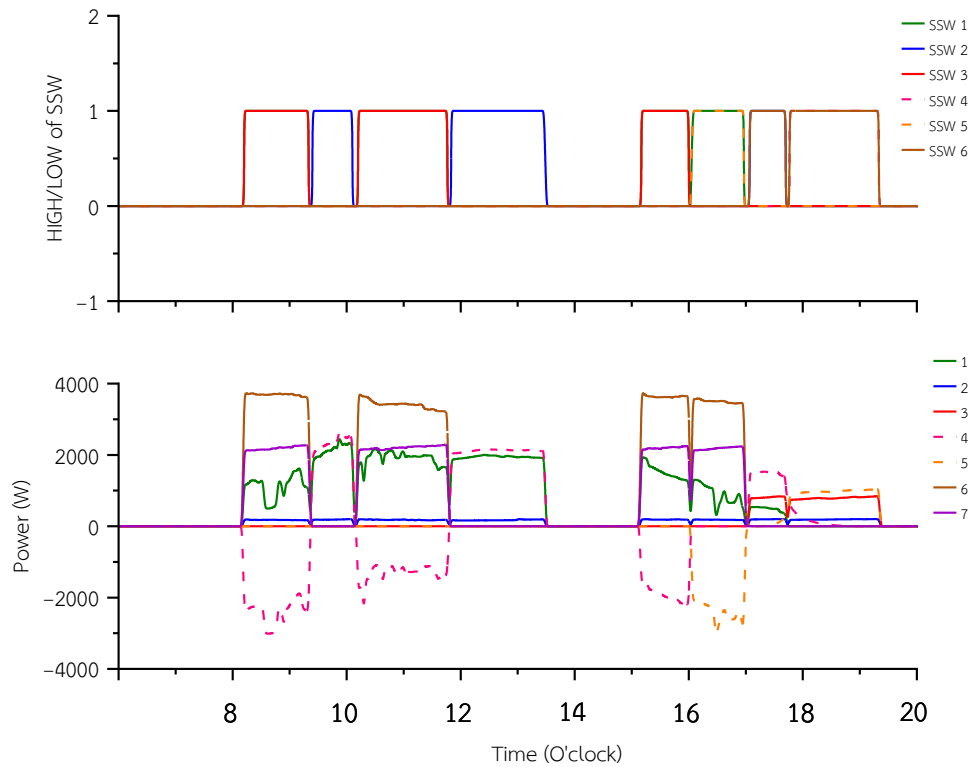
โหมดที่ 6 จัดการพลังงานแบบผสมผสานเพื่ออัดประจุให้กับระบบกักเก็บพลังงาน ในโหมดนี้ระบบกักเก็บพลังงาน คือ แบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งในโหมดที่ 6 นั้นมีการทำงานคล้ายกับโหมดที่ 5 ต่างกันที่โหมดที่ 6 ทำงานในกรณีที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 500 W/m^2 ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 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

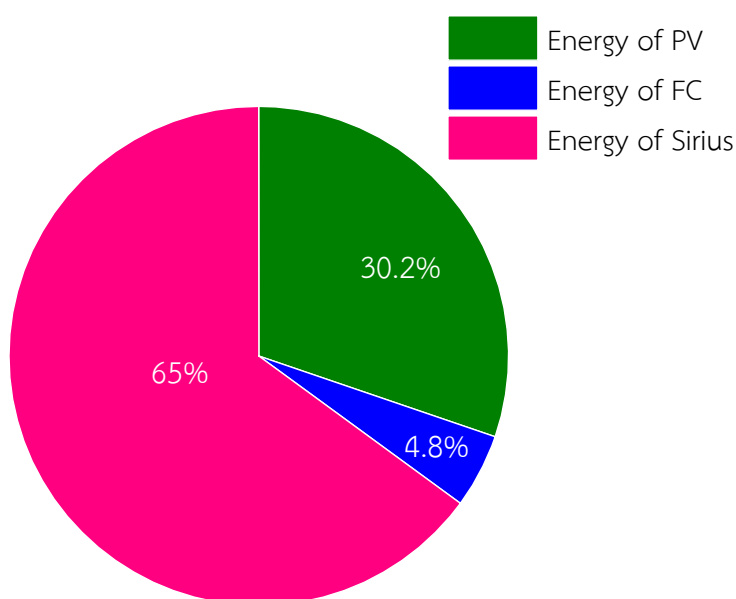
ผลการทดสอบระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุสามารถแสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.33 พบว่าระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานสำหรับสถานีอัดประจุสามารถทำงานได้ตามผังการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 5.25 โดยระบบควบคุมทำงานในโหมดที่ 1 และ 2 ในกรณีที่มียานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาอัดประจุโดยมีการเลือกผสมผสานพลังงานจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า 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

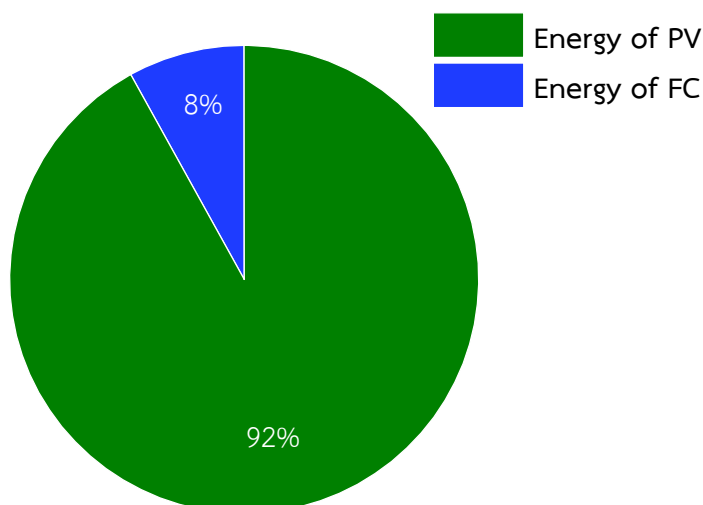
โดย หมายเลข 1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสองหน้า
 หมายเลข 2 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบเซลล์เชื้อเพลิง
 หมายเลข 3 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบโครงข่ายไฟฟ้า
 หมายเลข 4 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จากแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยมีค่าเป็น
 บวกเมื่อเกิดการอัดประจุและมีค่าเป็นลบเมื่อคายประจุ
 หมายเลข 5 คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จาก LTO โดยมีค่าเป็นบวกเมื่อเกิดการอัดประจุ
 และมีค่าเป็นลบเมื่อคายประจุ
 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 %



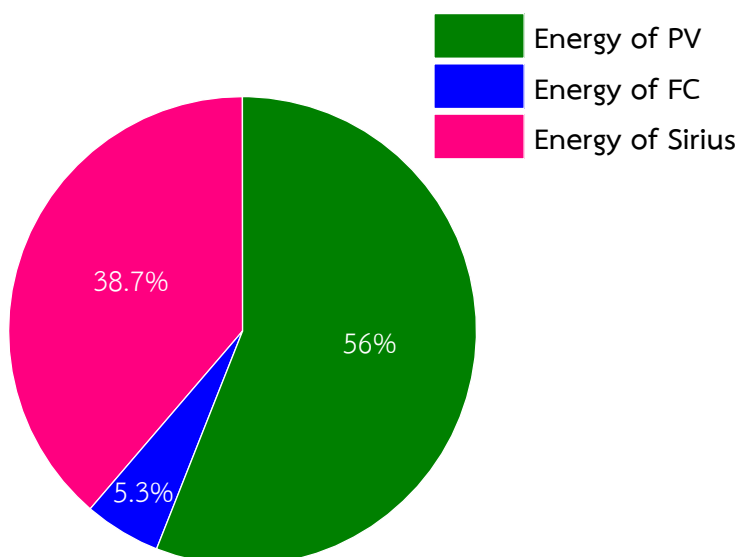
รูปที่ 5.34 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ขณะอัดประจุไฟฟ้าให้กับ EV ในช่วงเวลา 08:12 น. - 09:20 น.

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



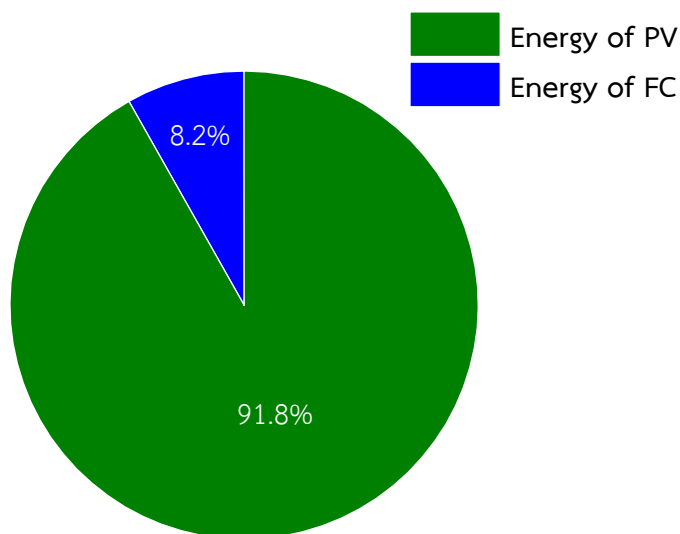
รูปที่ 5.35 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 09:25 น. - 10:06 น.

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 %



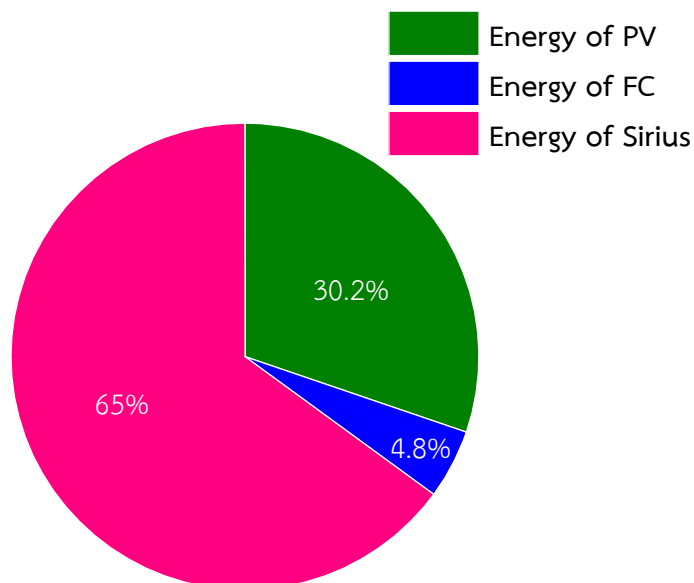
รูปที่ 5.36 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 10:12 น. - 11:40 น.

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



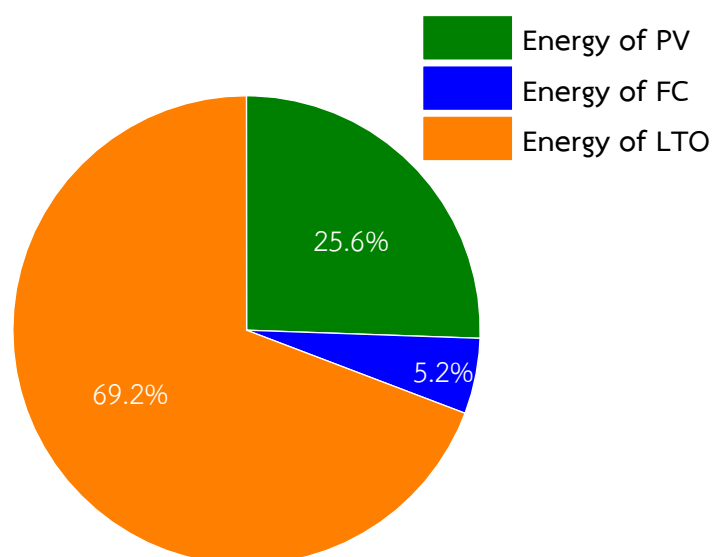
รูปที่ 5.37 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 11:48 น. – 13:30 น.

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 %



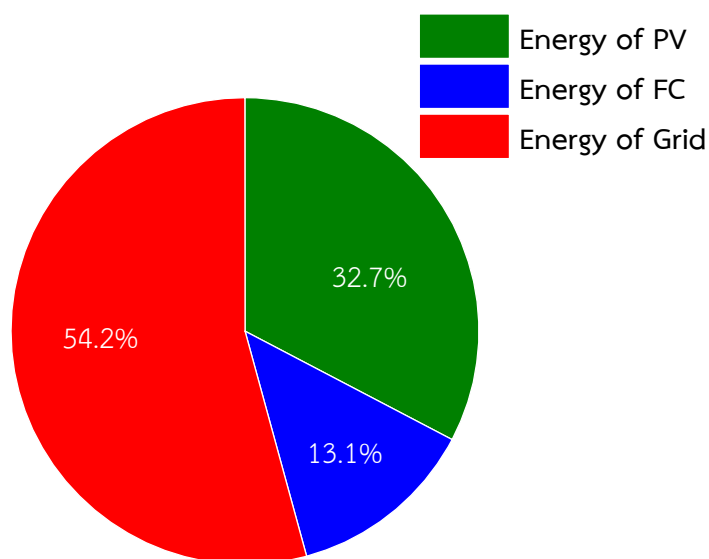
รูปที่ 5.38 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 15:12 น. – 16:00 น.

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



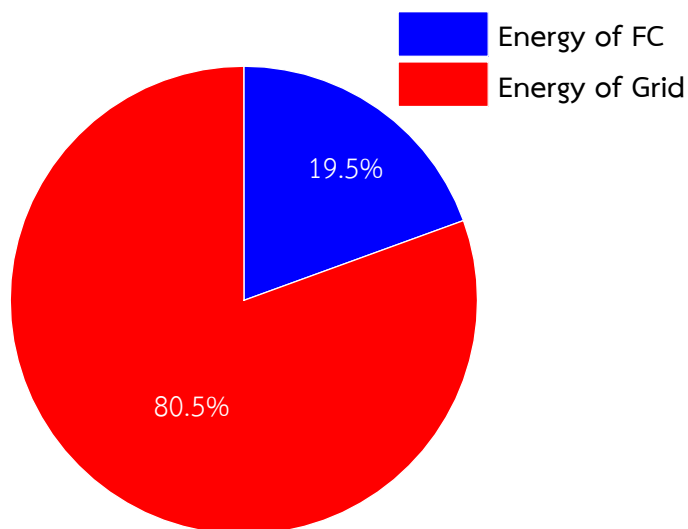
รูปที่ 5.39 สัดส่วนพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 16:04 น. – 17:00 น.

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.

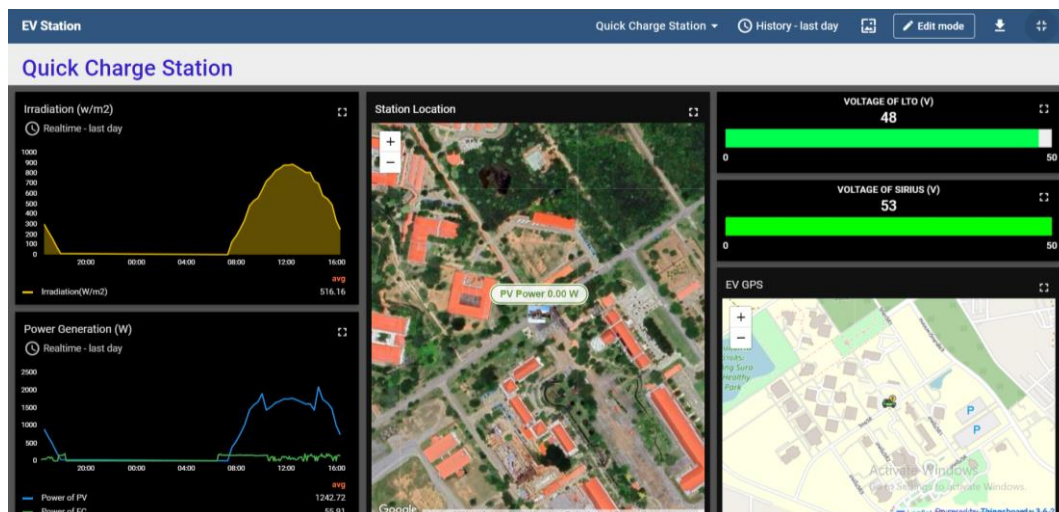
จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลา 17:56 น. – 19:20 น. เป็นช่วงเวลาในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิด LTO ระบบการจัดการพลังงานสามารถผสมผสานพลังงานสำหรับใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า โดยมีการผสมผสานพลังงาน ดังรูปที่ 5.41 มีการใช้แหล่งพลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงและระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิด 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 ทั้งนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากโมดูลวัดไปแสดงบนแพลตฟอร์มของสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อให้ผู้เข้ามาใช้บริการทราบถึงแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุนยานยนต์ไฟฟ้า