

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำแบบอัตโนมัติผ่านเครือข่าย CANopen ร่วมกับระบบควบคุมและติดตามข้อมูลพลังงานของระบบชาร์จ โดยใช้แนวคิด Supervisory system เพื่อเชื่อมโยง Communication layer, Execution layer และ Monitoring layer เข้าด้วยกัน ทั้งนี้ระบบใช้ ESP32 เป็น CANopen node สำหรับรับและส่งข้อมูล CAN ID เพื่อเลือกโปรไฟล์การชาร์จ ก่อนส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT ไปยัง Node-RED ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผล ควบคุมรีเลย์ผ่าน Modbus RTU และจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล InfluxDB สำหรับการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time ผ่าน Grafana Dashboard

ผลการทดลองในบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเลือกโปรไฟล์การชาร์จได้อย่างถูกต้องตามค่า CAN ID ที่กำหนด และสามารถควบคุมกระบวนการชาร์จแบบ CC-CV ได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกโปรไฟล์แบตเตอรี่ ได้แก่ 24V5A, 48V5A, 60V5A และ 72V15A โดยค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสะสม มีพฤติกรรมสอดคล้องกับทฤษฎีของการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบ CC-CV ทั้งในฝั่ง AC และ DC นอกจากนี้ ระบบยังสามารถจัดเก็บข้อมูลลงใน Google Sheets และ InfluxDB เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน คำนวณต้นทุนด้านพลังงานผ่านโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU และประเมินประสิทธิภาพของระบบชาร์จได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการคำนวณประสิทธิภาพของระบบชาร์จ พบว่าระบบมีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วงประมาณ 95 ถึง 96% ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากฝั่ง AC ไปยังฝั่ง DC ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขการชาร์จแบบ CC-CV ของแต่ละโปรไฟล์แบตเตอรี่ ทั้งนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าความไม่สมดุลของแรงดันระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ส่งผล

ต่อเสถียรภาพของกระบวนการชาร์จในช่วง CV โดยระบบ BMS จะทำการ Balancing และตัดต่อการชาร์จเพื่อป้องกันแรงดันเกินของเซลล์ อย่างไรก็ตาม ระบบ Monitoring และ Supervisory layer ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับพฤติกรรมผิดปกติดังกล่าวผ่าน Grafana Dashboard และข้อมูลจากระบบ BMS ได้อย่างชัดเจน

โดยสรุป ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานร่วมกันระหว่าง CANopen, MQTT, Modbus RTU, Node-RED, InfluxDB และ Grafana ได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งในด้านการควบคุม การติดตามข้อมูล และการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำ ส่งผลให้งานวิจัยนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาระบบชาร์จแบตเตอรี่แบบ Supervisory system ที่มีความยืดหยุ่น มีเสถียรภาพ และสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบชาร์จแบตเตอรี่ในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะข้อจำกัดของงานวิจัย

แม้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพในการควบคุมกระบวนการชาร์จแบบ CC-CV แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะในส่วนของจัดการสมดุลแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าความไม่สมดุลของแรงดันระหว่างเซลล์ส่งผลให้ระบบ BMS ต้องทำการ Balancing และตัดต่อการชาร์จในช่วง CV ส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีลักษณะไม่ต่อเนื่องในช่วงของการชาร์จ ทั้งนี้ข้อจำกัดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบชาร์จไม่ได้ขึ้นอยู่กับเครื่องชาร์จเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสมรรถนะของระบบแบตเตอรี่และ BMS ที่ใช้งานร่วมกันด้วย

นอกจากนี้ ระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จในงานวิจัยนี้ยังคงเป็นรูปแบบ Predefined charging profile ซึ่งไม่สามารถปรับค่ากระแสและแรงดันแบบ adaptive ตามสถานะของแบตเตอรี่ได้แบบ real-time อีกทั้งการทดลองยังดำเนินการในระดับ Prototype ภายในห้องปฏิบัติการ ทำให้ยังไม่ได้มีการทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงระยะยาวหรือภายใต้โหลดที่หลากหลาย รวมถึงยังไม่มี การนำข้อมูลเชิงลึกจาก BMS เช่น State of Charge (SOC), State of Health (SOH) และอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่มาเข้าร่วมในการตัดสินใจของระบบควบคุม

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาในอนาคต

สำหรับแนวทางการพัฒนาต่อยอดในอนาคต สามารถพัฒนาระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จให้รองรับ Adaptive charging profile เพื่อให้ระบบสามารถปรับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าได้ตามสถานะของแบตเตอรี่แบบ Real-time โดยอ้างอิงข้อมูลจากระบบ BMS เช่น SOC, SOH และ

อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาระบบ Supervisory layer ให้รองรับ Fault detection และ Predictive monitoring เพื่อใช้สำหรับตรวจจับความผิดปกติของระบบชาร์จและแบตเตอรี่ล่วงหน้า รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้เทคนิค Machine learning หรือ Data analytics ร่วมกับข้อมูลที่จัดเก็บใน InfluxDB เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบและคาดการณ์ความผิดปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ระบบยังสามารถต่อยอดให้รองรับ Multi-charger หรือ Multi-battery system เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมหรือระบบจัดการพลังงานขนาดใหญ่ในอนาคต