

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 จุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์	5
1.8 การจัดรูปแบบรายงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	6
2 ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 บทนำ	8
2.2 หลักการพื้นฐานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิด NMC แรงดันต่ำ.....	9
2.3 หลักการชาร์จแบตเตอรี่แบบฟิกส์ CC-CV.....	11
2.4 ระบบสื่อสาร CAN และ CANopen สำหรับระบบแบตเตอรี่	14
2.5 ระบบสื่อสารและการควบคุมในระดับ Supervisory Layer	16
2.6 การจัดเก็บและติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์	18
2.7 การคำนวณพลังงานและต้นทุนการชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำ	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
2.9	การวิเคราะห์ช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap Analysis)	34
2.10	สรุป	36
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
3.1	บทนำ	37
3.2	สถาปัตยกรรมระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำ	39
3.3	การพัฒนาเครื่องชาร์จแบบฟิกส์ CC-CV สำหรับระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จ	42
3.4	การสื่อสารข้อมูลระหว่างแบตเตอรี่และตู้ชาร์จผ่าน CANopen และ MQTT	49
3.5	โครงสร้างการแลกเปลี่ยนข้อมูลสำหรับเลือกโปรไฟล์การชาร์จ	55
3.6	การพัฒนาระบบควบคุมด้วย Mini PLC-H3 (redPLC or Node-RED)	56
3.7	สรุป	71
4	ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	72
4.1	บทนำ	72
4.2	การตั้งค่าการทดลองของระบบชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำ	73
4.3	การตรวจสอบการเลือกโปรไฟล์การชาร์จผ่าน CANopen	74
4.4	การส่งข้อมูล CAN ID ไปยัง Node-RED และการควบคุมการชาร์จผ่าน MQTT	76
4.5	การเก็บข้อมูลและการแสดงผลของระบบ	79
4.6	สรุปผลการทดลอง	92
5	บทสรุป	93
5.1	สรุปผลงานวิจัย	93
5.2	ข้อเสนอแนะข้อจำกัดของงานวิจัย	94
5.3	ข้อเสนอแนะในการพัฒนาในอนาคต	94
	รายการอ้างอิง	96
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	101
	ภาคผนวก ข	138
	ประวัติผู้เขียน	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบชาร์จ 41
3.2	การกำหนด CAN ID สำหรับแบตเตอรี่แต่ละระบบ 44
3.3	การเชื่อมต่อ Diff Switch กับ GPIO ของ ESP32 47
3.4	การเชื่อมโยง CAN ID กับระบบรีเลย์ควบคุม 48
3.5	การแมปรีจิสเตอร์ Modbus RTU สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าฝั่ง AC ของ PM2200 ...64
3.6	การแมปรีจิสเตอร์ Modbus RTU สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าฝั่ง DC ของ PZEM-017 67
4.1	ผลการตรวจสอบการเลือกโปรไฟล์การชาร์จจากค่า CAN ID 75
4.2	ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วง On-Peak ในแต่ละรอบชาร์จ 82
4.3	ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off-Peak ในแต่ละรอบชาร์จ 82
4.4	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องชาร์จเดลต้าชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละโปรไฟล์.....91

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	พฤติกรรมแรงดันและกระแสในกระบวนการชาร์จแบบฟิกส์ CC-CV 12
2.2	สถาปัตยกรรมการสื่อสารและการควบคุมของระบบแบตเตอรี่ผ่านเครือข่าย CAN 16
2.3	อัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) ประเภทที่ 1.3 22
3.1	สถาปัตยกรรมระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จแบตเตอรี่ NMC ผ่าน CANopen - Modbus RTU 38
3.2	โครงสร้างระบบเลือกโปรไฟล์การชาร์จผ่าน CANopen และ Modbus RTU 40
3.3	แผนภาพการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าและระบบควบคุมภายในตู้ชาร์จ 42
3.4	วงจรควบคุมแรงดันและกระแสของเครื่องชาร์จแบบฟิกส์ CC-CV 43
3.5	การเลือกโปรไฟล์การชาร์จผ่าน Relay RS485 สำหรับระบบฟิกส์ CC-CV 43
3.6	การรับและส่ง CAN ID ระหว่างกล่องแบตเตอรี่ NMC และตู้ชาร์จผ่าน CANopen 45
3.7	บอร์ดสื่อสาร CANopen สำหรับระบบแบตเตอรี่และเลือกโปรไฟล์การชาร์จ 46
3.8	การกำหนดค่าแรงดันและกระแสของระบบฟิกส์ CC-CV ผ่าน Diff Switch 47
3.9	การส่งข้อมูล CANopen จากกล่องแบตเตอรี่ผ่าน ESP32 ผ่านสาย CAN-high/CAN-low.....50
3.10	การรับข้อมูล CANopen ที่ตู้ชาร์จผ่าน ESP32 ผ่านสาย CAN-high/CAN-low 52
3.11	การส่งข้อมูล CAN ID, Voltage และ Current ไปยัง Node-RED ผ่าน MQTT.....54
3.12	การสื่อสารข้อมูลจาก CAN Bus สู่อุปกรณ์ redPLC-NodeRED ผ่านโปรโตคอล MQTT 56
3.13	การเชื่อมต่อ Mini PLC-H3 ร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันฝั่งกำลังของเครื่องชาร์จ 57
3.14	การพัฒนาแบบ Supervisory Control บน Node-RED สำหรับเลือกโปรไฟล์การชาร์จ .59
3.15	การควบคุม Relay RS485 สำหรับเลือกโปรไฟล์ฟิกส์ CC-CV ของเครื่องชาร์จเดลิต้า 60
3.16	ลำดับการ Trigger Relay RS485 ภายหลังการคัดแยก CAN ID สำหรับฟิกส์ค่า CC-CV ..61
3.17	การติดตามพลังงานไฟฟ้าฝั่ง AC ด้วย PM2200 ผ่าน Modbus RTU.....63
3.18	การอ่านและบันทึกข้อมูลพลังงานจาก PM2200 บน Node-RED.....65
3.19	การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าฝั่ง DC ด้วย PZEM-017 ร่วมกับ Shunt Resistor 50A.....66
3.20	การจัดเก็บข้อมูลพลังงานฝั่ง DC จาก PZEM-017 ลงใน InfluxDB ผ่าน Node-RED.....68
3.21	ระบบฐานข้อมูล InfluxDB สำหรับจัดเก็บข้อมูลแบบ Time-series ของระบบชาร์จ 69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22	การกำหนด Data Source ของ Grafana สำหรับเชื่อมต่อฐานข้อมูล InfluxDB 70
4.1	การตั้งค่าการทดลองของระบบชาร์จแบตเตอรี่ NMC แรงดันต่ำ 74
4.2	ผลการตรวจสอบการเลือกโปรไฟล์การชาร์จผ่าน CAN ID ของแบตเตอรี่แต่ละระบบ 76
4.3	การส่งข้อมูล CAN ID จาก ESP32 ไปยัง Node-RED ผ่านโปรโตคอล MQTT 78
4.4	การจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าฝั่ง AC จาก PM2200 ลงใน Google Sheets 80
4.5	การแสดงผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าฝั่ง AC ผ่าน Grafana Dashboard ของระบบ 72V 15A.. 81
4.6	ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลแรงดันและกระแสในฐานข้อมูล InfluxDB จากมิเตอร์ฝั่ง DC 83
4.7	กราฟแสดงการชาร์จแบตเตอรี่ในโปรไฟล์ 72V15A แสดงพฤติกรรม CC-CV ผ่าน Grafana 84
4.8	กราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ 72V 15A แสดงผ่าน Grafana.... 85
4.9	กราฟแสดงการชาร์จแบตเตอรี่ในโปรไฟล์ 24V5A แสดงพฤติกรรม CC-CV ผ่าน Grafana 86
4.10	กราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ 24V5A แสดงผ่าน Grafana 86
4.11	กราฟแสดงการชาร์จแบตเตอรี่ในโปรไฟล์ 48V5A แสดงพฤติกรรม CC-CV ผ่าน Grafana 87
4.12	กราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ 48V5A แสดงผ่าน Grafana 87
4.13	กราฟแสดงการชาร์จแบตเตอรี่ในโปรไฟล์ 60V5A แสดงพฤติกรรม CC-CV ผ่าน Grafana 88
4.14	กราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ 60V5A แสดงผ่าน Grafana..... 88
4.15	พฤติกรรมกระแสไฟฟ้าที่ไม่ต่อเนื่องระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่โปรไฟล์ 60V 5A 89
4.16	พฤติกรรมการ Balancing ของแบตเตอรี่และข้อมูลแรงดันรายเซลล์จากระบบ BMS 90