**สารบัญภาพ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ภาพที่ |  | หน้า |
|   | 2-1 | การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer (Ad Hoc Mode) | 4 |
|  | 2-2 | การเชื่อมต่อแบบ Client/Server (Infrastructure Mode) | 5 |
|  | 2-3 | รูปแบบของ OSI model | 8 |
|  | 2-4 | การทำงานของ Modbus | 10 |
|  | 2-5 | ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus RTU | 11 |
|  | 2-6 | รูปแบบการทำงานของเมซเน็ตเวิร์ค | 12 |
|  | 2-7 | โครงสร้างตาข่ายแบบสมบูรณ์ | 13 |
|  | 2-8 | โครงสร้างตาข่ายแบบบางส่วน | 13 |
|  | 2-9 | หลักการทำงานของ MQTT Protocol | 15 |
|  | 2-10  | บอร์ด Raspberry pi model B+ | 16 |
|  | 2-11 | โมดูล ESP32 | 16 |
|  | 2-12 | โมดูล TTL to RS485 level serial UART | 17 |
|  | 2-13 | มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า  | 17 |
|  | 2-14 | รูปแบบการทำงานของ Blynk Application | 19 |
|  | 2-15 | โมเดลบ้านอัจฉริยะ | 20 |
|  | 3-1 | **บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงาน** | 22 |
|  | 3-2 | ภาพโครงสร้างอุปกรณ์ของมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยระบบ IoT | 23 |
|  | 3-3 | แบบการเดินสายไฟของระบบ | 25 |
|  | 3-4 | มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า | 26 |
|  | 3-5 | เบรกเกอร์ | 26 |
|  | 3-6 | ฟิวส์ | 27 |
|  | 3-7 | ตู้สวิตช์บอร์ด | 27 |
|  | 3-8 | ระบบที่วางไว้ภายในตู้สวิตช์บอร์ดที่ติดตั้ง | 28 |
|  | 3-9 | ตู้สวิตช์บอร์ดได้ทำการออกแบบไว้โดยโปรแกรม Solid Work | 28 |
|  | 3-10 | ตู้สวิตช์บอร์ดที่ทำการติดตั้งจริง  | 29 |

**สารบัญภาพ (ต่อ)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ภาพที่ |  | หน้า |
|   | 3-11 | บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างการทำงาน | 30 |
|  | 3-12 | การทำงานของ MQTT และ Mesh Network | 31 |
|  | 3-13 | การทำงานของ MODBUS และ Mesh Network | 32 |
|  | 3-14 | การทดลองสื่อสารระหว่าง ESP32 กับ Node Red | 33 |
|  | 3-15 | การต่อใช้งานระหว่าง Li-Ion Battery 18650 2500mAh กับ ESP32 | 34 |
|  | 3-16 | การต่อใช้งานระหว่าง TTL to RS 485 กับ ESP32 และชุดแหล่งจ่ายไฟ | 34 |
|  | 3-17 | จอแสดงผล Node-RED Dashboard | 35 |
|  | 3-18 | จอแสดงผล Grafana Dashboard ผ่าน Local Wireless Network ด้วยคอมพิวเตอร์ | 36 |
|  | 3-19 | หน้าต่างแสดงผล Grafana Dashboard | 37 |
|  | 3-20 | แบบจำลองการติดตั้งโครงงานชั้น 6 และ 7 อาคาร 89 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ | 38 |
|  | 3-21 | ระยะห่างระหว่าง Node 1 และ Node 2 | 39 |
|  | 3-22 | ระยะห่างระหว่าง Node 2 และ Node 3 กับพื้น | 39 |
|  | 3-23 | ระยะห่างระหว่าง Node 3 และ Node 4 | 39 |
|  | 3-24 | ระยะห่างระหว่าง Node 4 และ Server | 40 |
|  | 3-25 | ภาพระยะการกระจายสัญญาณของ node 1 หน้าห้องน้ำชั้น 7 อาคาร 89 | 40 |
|  | 3-26 | ภาพระยะการกระจายสัญญาณของ node 2 ประตูบันไดหนีไฟชั้น 7 อาคาร 89 | 41 |
|  | 3-27 | ภาพระยะการกระจายสัญญาณของ node 3 ประตูบันไดหนีไฟชั้น 6 อาคาร 89 | 41 |
|  | 3-28 | ภาพระยะการกระจายสัญญาณของ node 4 หน้าห้องปฏิบัติการชั้น 6 อาคาร 89 | 41 |
|  | 4-1 | การทดสอบการแสดงผลกระแสไฟฟ้า | 44 |
|  | 4-2 | การทดสอบการแสดงผลแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างเฟส | 45 |
|  | 4-3 | การทดสอบการแสดงผลแรงเคลื่อนไฟฟ้า | 45 |
|  | 4-4 | การทดสอบการแสดงผลกำลังไฟฟ้า | 46 |
|  | 4-5 | การทดสอบการแสดงผลเพาเวอร์แฟคเตอร์ | 46 |
|  | 4-6 | การเชื่อมต่อระหว่างชั้น 7 และชั้น 6 | 47 |

**สารบัญภาพ (ต่อ)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ภาพที่ |  | หน้า |
|  | 4-7 | การเชื่อมต่อระหว่างชั้น 6 และชั้น 5 | 47 |
|  | 4-8 | การเชื่อมต่อระหว่างชั้น 7 ชั้น 6 และชั้น 5 | 47 |
|  | 4-9 | การป้อนค่า Registers | 49 |
|   | 4-10 | ป้อน Register กระแสไฟฟ้า | 50 |
|  | 4-11 | ค่า Register กระแสไฟฟ้าเฟส 1 | 50 |
|  | 4-12 | ป้อน Register ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 | 51 |
|  | 4-13 | ค่า Register แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 | 51 |
|  | 4-14 | ป้อน Register ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฟสที่ 1 | 52 |
|  | 4-15 | ค่า Register แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฟสที่ 1 | 52 |
|  | 4-16 | ป้อน Register ค่ากำลังไฟฟ้าเฟสที่ 1 | 53 |
|  | 4-17 | ค่า Register กำลังไฟฟ้าเฟสที่ 1 | 53 |
|  | 4-18 | ป้อน Register ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เฟสที่ 1 | 54 |
|  | 4-19 | ค่า Register เพาเวอร์แฟคเตอร์เฟสที่ 1 | 54 |
|  | 4-20 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าใน 1 สัปดาห์ | 58 |
|  | 4-21 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันจันทร์ที่ 1 ก.พ 2564 | 58 |
|  | 4-22 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันอังคารที่ 2 ก.พ 2564 | 59 |
|  | 4-23 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันพุธที่ 3 ก.พ 2564 | 59 |
|  | 4-24 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันพฤหัสบดีที่ 4 ก.พ 2564 | 60 |
|  | 4-25 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันศุกร์ที่ 5 ก.พ 2564 | 60 |
|  | 4-26 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันเสาร์ที่ 6 ก.พ 2564 | 61 |
|  | 4-27 | การใช้งานกระแสไฟฟ้าในวันอาทิตย์ที่ 7 ก.พ 2564 | 61 |
|  | ข-1 | โครงสร้างการเดินสายเพาเวอร์มิเตอร์และความปลอดภัย | 88 |
|  | ข-2 | การต่อใช้งานระหว่าง Li-Ion Battery 18650 2500mAh กับ ESP32 | 88 |
|  | ข-3 | การต่อใช้งานระหว่าง TTL to RS 485 กับ ESP32 และชุดแหล่งจ่ายไฟ | 89 |