

การประยุกต์ค่าผลตอบแทนความต้องการเพื่อควบคุมสถานีอัดประจุพาหนะ
เครื่องยนต์ไฟฟ้า

Demand Response Function for Electric Vehicle Charger



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

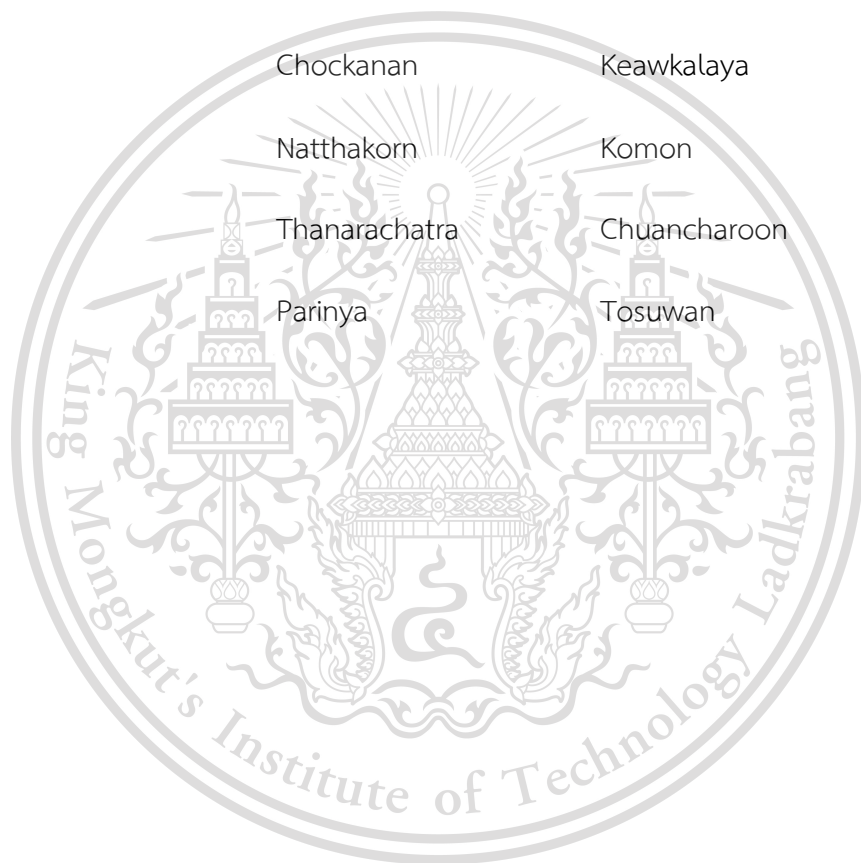
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Demand Response Function For Electric Vehicle Charger



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL
ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

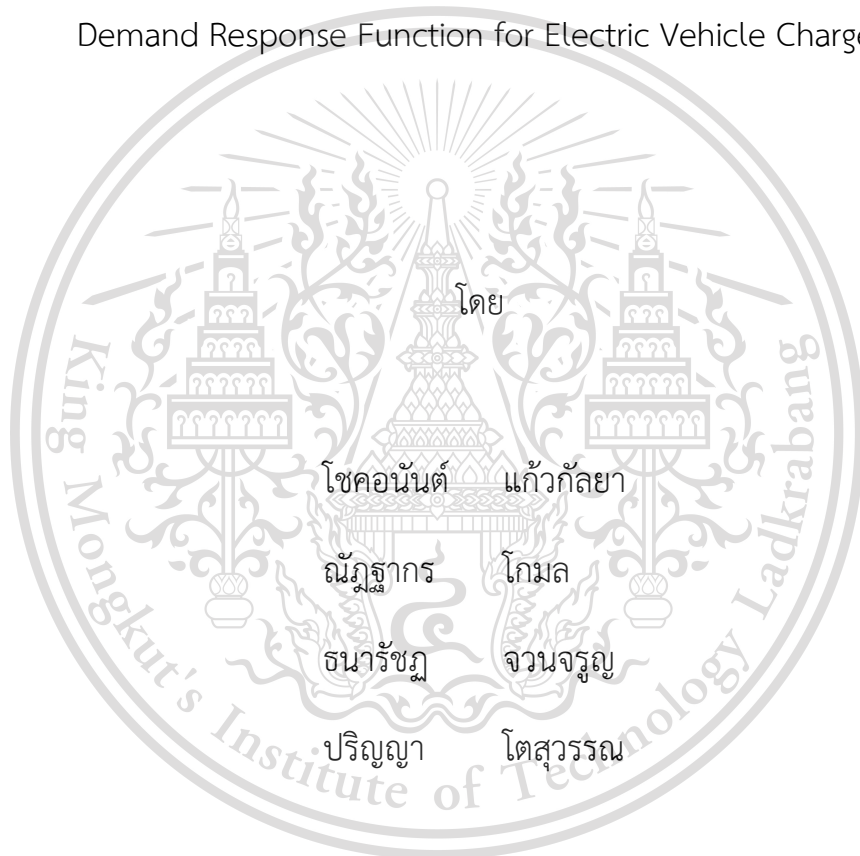
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การประยุกต์ค่าผลตอบสนองความต้องการเพื่อควบคุมสถานีอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์
ไฟฟ้า

Demand Response Function for Electric Vehicle Charger



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้ค่าผลตอบแทนความต้องการเพื่อควบคุมสถานีอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นายโชคนันต์ แก้วกัลยา
2. นายณัฐฐากร โกมล
3. นายธนารักษ์ จงนจรูญ
4. นายปริญญา ไตสุวรรณ




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การประยุกต์ค่าผลตอบแทนความต้องการเพื่อควบคุมสถานีอัดประจุพาหนะ
เครื่องยนต์ไฟฟ้า

โชคอนันต์	แก้วกัลยา	
ณัฐฐากร	โกมล	
ธนารัฐ	จวนจรรุญ	
ปริญญา	โตสุวรรณ	
รศ.ดร. สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ ชัยทัต	มณีอินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา	2563	

บทคัดย่อ

การศึกษาฟังก์ชันตอบสนองความต้องการ (DR) สำหรับเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เทคนิคที่นำเสนอคือ การป้องกันระบบไฟฟ้าให้อยู่ภายใต้กำลังไฟฟ้าที่พิกัดจากการที่มีการเพิ่มโหลดเครื่องอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า มีการพัฒนาวิธีการจัดการพลังงานสำหรับการจำกัดกระแสอัดประจุและเวลาในการอัดประจุ รวมทั้ง สถานะการอัดประจุ (SOC) เป็นพารามิเตอร์ในการพิจารณา วิธีการที่เสนอนี้ประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือ ส่วนการสื่อสาร ส่วนการวัดและส่วนของเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งการสื่อสารจะใช้โปรโตคอล OCPP1.6 สำหรับการควบคุมเครื่องอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าซึ่งสามารถส่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ เวลาในการอัดประจุและ กระแสไฟอัดประจุ เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาอัลกอริทึมการคำนวณสำหรับกำหนดพิกัดกระแสการอัดประจุ สำหรับเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์การวัดที่พัฒนาขึ้นใช้สำหรับการตรวจสอบกระแสไฟฟ้า , แรงดันไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ส่วนอุปกรณ์การวัดได้รับการทดสอบด้วยโหลดทดสอบ EVSE Charge Point และ ยานยนต์ไฟฟ้าจริง ซึ่งมีความแม่นยำที่ 99.5% การจำลองยังได้รับการพัฒนาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันโดยการจัดการ DR ของเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าตามข้อมูลลักษณะโหลดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชัน DR ที่นำเสนอสามารถจัดการ จำกัด กระแสชาร์จของเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ เทคนิคที่นำเสนอสามารถป้องกันความต้องการพลังงานที่พิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ภายใต้อาณัติของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของหม้อแปลงป้อนได้ การศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้เป็นการป้องกันที่มีประสิทธิภาพสำหรับหม้อแปลงป้อนและสามารถประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชัน DR เพื่อจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้ดูแลระบบไฟฟ้าสามารถพิจารณาแนวทางนี้เป็นหนึ่งในวิธีการ ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับป้องกันระบบป้อนไฟฟ้าสำหรับโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากในอนาคตอันใกล้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Demand Response Function For Electrical Vehicle Charger

Chockanan	Keawkalaya	
Natthakorn	Komol	
Thanarachatra	Chuancharun	
Parinya	Tosuwan	
Assoc. Prof. Dr. Surin	Khomfoi	Advisor
Chaitat	Maneeinn	Co-Advisor

ABSTRACT

A study of Demand Response (DR) function for an electrical vehicle (EV) charger is presented in this thesis. The proposed technique is to prevent the electrical system within the rated power by adding electric vehicle chargers loads to the electrical system. A power management method for limiting the charging current and charging time by using state of charge (SOC) as a parameter is developed. The proposed method consists of three parts: communication, measurement, and computer server. The communication is based on OCPP1.6 protocol for the controlling of electric vehicle chargers which can send various parameters of each electric vehicle charger to the server for using to calculate charging time and charging current. The computer server is developed a calculation algorithm for determining the charging current limit rating for electric vehicle chargers. The developed measurement unit is utilized for probing current, voltage, and power of EVs. The measured unit is tested with both EVSE Charge Point Test unit and an EV which has an accuracy of 99.5%. The simulation model is also developed for validating a DR management function of the electric vehicle charger according to Provincial Electricity Authority (PEA) load characteristic data. The results show that the proposed DR function can manage to limit of charging current of each electric vehicle charger appropriately. Also, the proposed

technique can prevent the rated power demand of the transformer feeder. The

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

study illustrates that this method is an effective protection for the feeder transformer and can be able to apply as a DR function to manage electrical energy more efficiently. Electrical utility can consider this approach as one of alternative methods to manage electrical power is a feeder for a large number of electric vehicle charger load in the near future.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **IV** cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย และอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาแนะนำแนวทางการเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการเสมอมา รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณภูมิพัฒน์ จำปาทอง นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.และพนักงานบริษัท พีจี อีเล็กทริก กรุ๊ป จำกัด ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์การทดลองในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ ให้ความรู้ทางด้าน การเขียนโปรแกรมสื่อสารกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า แนะนำแนวทางในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การทำหน้าจอบนหน้าเว็บไซต์ รวมทั้งการให้คำแนะนำด้านเทคนิคและวิชาการ จนทำให้โครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณบัณฑิต เพ็ญรัตน์ นักศึกษาระดับ มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy Applications Laboratory) ณ อาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนทุนทรัพย์และการจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำทดลอง รวมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ โดยเสมอมา

นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ น้อง ๆ ใน Renewable Energy Applications Laboratory ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนแล้วจบโครงการ

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อบรมสั่งสอน ส่งเสริมทางการศึกษา สนับสนุนทุกด้าน อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ในครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	X
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	5
1.4 วิธีการที่ใช้ในการโครงการ	5
1.5 ประโยชน์ที่รับการจากการวิจัย	6
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 บทนำ	8
2.2 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองความต้องการด้านโหลด	8
2.2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management : DSM)	8
2.2.2 การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response : DR)	11
2.3 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)	14
2.3.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า	14
2.3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าประเภท BEV ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย	15
2.4 รูปแบบของการอัดประจุไฟฟ้า	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and VI cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

2.5 ระบบการสื่อสารในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	20
2.6 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า (Characteristic of EV Battery)	21
2.6.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery : Li-On)	21
2.6.2 คุณลักษณะของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	22
2.7 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่	22
2.8 โพรโตคอล Open Charge Point Protocol (OCPP 1.6)	23
2.9 linear regression	26
2.11 หลักการสื่อสารบนพอร์ตซีเรียลเอสพีไอ (SPI communication)	28
2.12 ภาวะความต้องการกำลังไฟฟ้าเกินในหม้อแปลง	31
บทที่ 3 การออกแบบการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการออกแบบวงจร	32
3.1 บทนำ	32
3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	32
3.2.1 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	32
3.2.2 การตรวจรับข้อมูล	34
3.2.3 การจัดเรียงลำดับข้อมูล	34
3.2.4 การควบคุมระบบการจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	34
3.3 การออกแบบวงจร	35
3.3.1 ภาควัดค่าพารามิเตอร์	36
3.3.2 ภาควัดสื่อสารภายในวงจรแบบซีเรียลชนิด Serial peripheral interface (SPI)	39
3.4 การแปลงค่าดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to analog conversion)	40

บทที่ 4 การออกแบบและผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 4.1 บทนำ 44

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

4.2 การทดสอบการรับค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	44
4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	45
4.2.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง	45
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	45
4.2.4 ผลการทดลอง	46
4.2.5 สรุปผลการทดลอง	47
4.3 การทดสอบการส่งค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	48
4.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	48
4.3.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง	48
4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง	49
4.3.4 ผลการทดลอง	49
4.3.5 สรุปผลการทดลอง	50
4.4 การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับโหลดทดสอบ	51
4.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	51
4.4.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง	52
4.4.4 ผลการทดลอง	54
4.4.5 สรุปผลการทดลอง	54
4.5 การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า	55
4.5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	55

 4.5.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง 55

 4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษปรับและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and VIII cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

4.5.4 ผลการทดลอง	57
4.5.5 สรุปผลการทดลอง	58
4.6 การทดสอบจำลองการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกลขณะมียานยนต์ไฟฟ้าต่อ เข้าระบบไฟฟ้า	59
4.6.1 การจำลองคุณลักษณะของความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดอื่น	59
4.6.2 ข้อเสนอพื้นฐานสำหรับการทดลอง	61
4.6.3 ขั้นตอนการทดลอง	61
4.6.4 ผลการทดลอง	62
4.6.5 สรุปผลการทดลอง	63
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	64
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	64
5.2 ปัญหาระหว่างการดำเนินงาน	64
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการดำเนินงานในอนาคต	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	67
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์และเครื่องมือวัด	72
ภาคผนวก ค ภาพการทดลอง	75
ประวัติผู้เขียน	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กราฟสถิติจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าสะสม ระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ.2563	2
รูปที่ 1.2 ปัญหาความต้องการใช้ไฟฟ้าเกินพิกัดของระบบจำหน่าย	2
รูปที่ 1.3 โครงสร้างการทำงานของมาตรการ TOU ที่อ้างอิงตามโหลดสุทธิในปี ค.ศ. 2019 และ ค.ศ. 2030	3
รูปที่ 2.1 วิธีการในการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.2 แผนผังการจัดลำดับหมวดหมู่การตอบสนองด้านโหลด	11
รูปที่ 2.3 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 1	17
รูปที่ 2.4 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 2	18
รูปที่ 2.5 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 3	18
รูปที่ 2.6 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 4	19
รูปที่ 2.7 รูปแบบการอัดประจุของแบตเตอรี่ลิเธียม	22
รูปที่ 2.8 รูปแบบการสื่อสารของโปรโตคอล SPI	28
รูปที่ 2.9 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 0	29
รูปที่ 2.10 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 1	29
รูปที่ 2.11 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 2	30
รูปที่ 2.12 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 3	30
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของอัลกอริทึม	33
รูปที่ 3.2 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมและวัดส่งค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า	36
รูปที่ 3.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	36
รูปที่ 3.4 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส	38
รูปที่ 3.5 วงจรการสื่อสารระหว่าง ADE7758 กับ pin ของ NanoPi	39
รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของบอร์ด	39
รูปที่ 3.7 การวัดเทียบเพื่อแปลงค่าจากดิจิตอลเป็นอนาล็อก	40
รูปที่ 3.8 การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส A ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	41
รูปที่ 3.9 การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส A ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	41
รูปที่ 3.10 การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส B ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	42
รูปที่ 3.11 การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส B ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.12	การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส C ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.13	การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส C ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.1	การเตรียมอุปกรณ์ทดลองการสอบเทียบ	45
รูปที่ 4.2	การต่อวงจรเพื่อทดลองการสอบเทียบ	46
รูปที่ 4.3	กราฟกระแสไฟฟ้าด้านขาเข้าเครื่องอัดประจุไฟฟ้า	57
รูปที่ 4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า	57
รูปที่ 4.5	กราฟกระแสไฟฟ้าเทียบกับกราฟกำลังไฟฟ้าจากการทดลองอัดประจุ	58
รูปที่ 4.6	การคำนวณหาสมการโพลด์โดยใช้โปรแกรม MATLAB	59
รูปที่ 4.7	กราฟที่ได้จากการทำ curve fitting จากโปรแกรม MATLAB	60
รูปที่ 4.8	กราฟการทดลองในกรณีที่ไม่มีการทำงานของฟังก์ชัน	62
รูปที่ 4.9	กราฟการทดลองในกรณีที่มีการทำงานของฟังก์ชัน	63
รูปที่ ค.1	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1	76
รูปที่ ค.2	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1	76
รูปที่ ค.3	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1	77
รูปที่ ค.4	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2	77
รูปที่ ค.5	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2	78
รูปที่ ค.6	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2	78
รูปที่ ค.7	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3	79
รูปที่ ค.8	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.9	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3	80
รูปที่ ค.10	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4	80
รูปที่ ค.11	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4	81
รูปที่ ค.12	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4	81
รูปที่ ค.13	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5	82
รูปที่ ค.14	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5	82
รูปที่ ค.15	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5	83
รูปที่ ค.16	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6	83
รูปที่ ค.17	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6	84
รูปที่ ค.18	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6	84
รูปที่ ค.19	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7	85
รูปที่ ค.20	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7	85
รูปที่ ค.21	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.22	การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8	86
รูปที่ ค.23	การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8	87
รูปที่ ค.24	ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (สิงหาคม พ.ศ. 2563 - พฤษภาคม 2564)	7
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564	15
ตารางที่ 2.2 อนุกรมมาตรฐาน IEC 61851: Electric vehicle conductive charging system	16
ตารางที่ 3.1 สมการผลการสอบเทียบค่าแรงกันและกระแสไฟฟ้า 3 เฟสของอุปกรณ์ต้นแบบ	43
ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ	47
ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ	47
ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์ควบคุมตู้ชาร์จ	47
ตารางที่ 4.4 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดย Power meter HIOKI	49
ตารางที่ 4.5 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดยหน้าจอแสดงผลผ่านเว็บไซต์	50
ตารางที่ 4.6 การแสดงค่าค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดย DATABASE	50
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของกระแสอัดประจุ กับ ค่า PWM duty cycle	52
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองแสดงตามกระแสอัดประจุและค่า Duty Cycle ของ Control Pilot	54
ตารางที่ ข.1 รายการข้อมูลอุปกรณ์และเครื่องมือวัด	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, a **XIV** cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากสถานการณ์ปัจจุบันมนุษยชาติได้มีการพัฒนาด้านการคมนาคมอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว มากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้รถใช้ถนนกันมากขึ้นด้วย โดยก๊าซเสียที่ถูกปล่อยออกมานั้น ส่งผลทำลายสภาพแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะ อาทิ ฝุ่นควัน ก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น โดยเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในนั้นเป็นหนึ่งในต้นเหตุหลักของปัญหาดังกล่าว ซึ่งทำให้ผู้บริโภครเริ่มหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่จะสามารถช่วยลดปัญหาเรื่องมลภาวะจากท่อไอเสีย และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการซื้อเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนของยานยนต์สันดาปภายใน ซึ่งจากรายงานสถานการณ์ยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย ระหว่างปีพ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2563 โดยสมาคมยานยนต์ไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พบว่ามีจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าแบบ HEV และ PHEV สะสม ณ ปี พ.ศ. 2558 เป็นจำนวน 70,285 คัน และมีจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าแบบ HEV และ PHEV สะสม ณ ปีพ.ศ. 2563 เป็นจำนวน 165,976 คัน ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 95,691 คัน หรือเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 36.15 สำหรับจำนวน ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ BEV มีจำนวนสะสม ณ ปี พ.ศ. 2558 เป็นจำนวน 1,820 คัน และมีจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าแบบ BEV มีจำนวนสะสม ณ ปี พ.ศ. 2563 เป็นจำนวน 1,820 คัน 4,404 คัน ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 2,584 คัน หรือเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 41.97

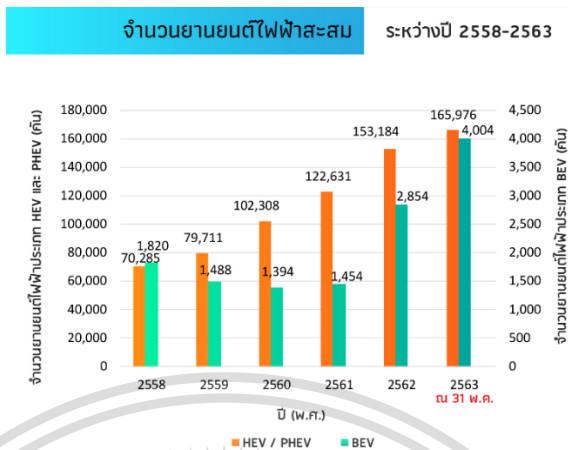
จากแนวโน้มการเติบโตของความต้องการไฟฟ้าและการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน จะมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าโดยตรง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลให้เกิดปริมาณของกลุ่มโหลดจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หากไม่มีการควบคุมและการจัดการที่เหมาะสมอาจทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดปัญหาที่ตามมา อาทิ เช่น ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานเกินพิกัดกำลังเป็นเวลานาน การจ่ายโหลดเกินพิกัดของสายไฟแรงต่ำ โดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีความต้องการโหลดสูงสุดที่น่าเป็นกังวล และยังเกิดปัญหากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้น และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากกลุ่มโหลดยานยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากถูกเพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาเดียวกันกับที่ระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (peak demand) ก็จะทำให้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากพิกัดอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละท้องถิ่นไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองการใช้งานรถไฟฟ้ามาตั้งแต่แรก หากไม่มีการคำนึงถึงผลจากการที่ผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและกำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบมีไม่เพียงพอ อาจส่งผลให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

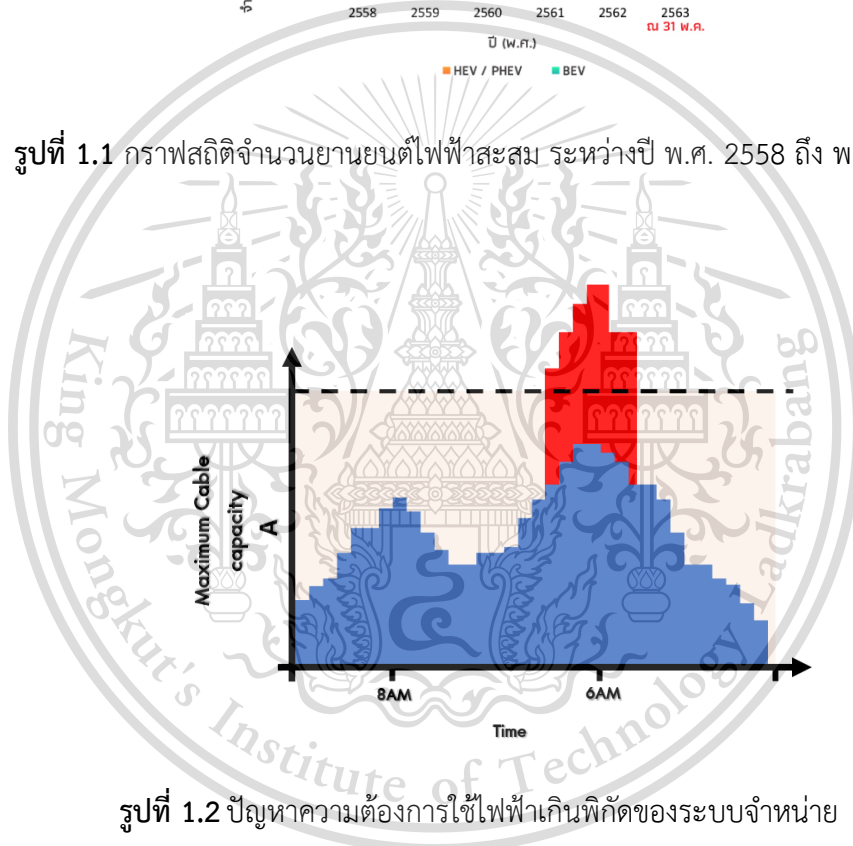
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง อาจเกิดปัญหาในระบบไฟฟ้าซึ่งมีความเสียหายมากมายมหาศาล ต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ



รูปที่ 1.1 กราฟสถิติจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าสะสม ระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ.2563

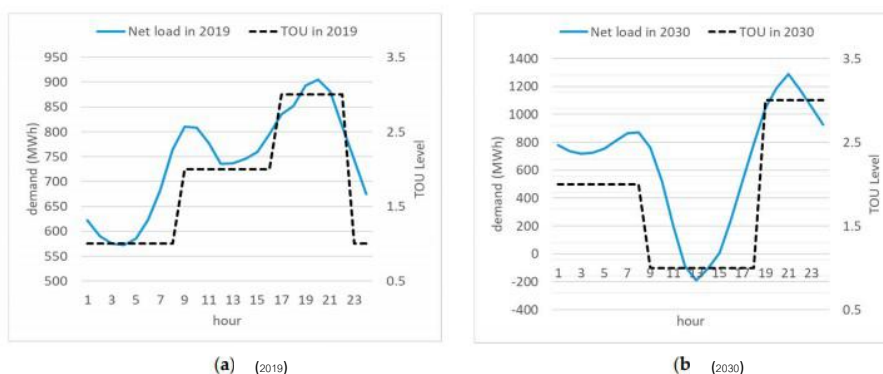


รูปที่ 1.2 ปัญหาความต้องการใช้ไฟฟ้าเกินพิกัดของระบบจำหน่าย

ซึ่งในปัจจุบันมีการแก้ปัญหาด้านการจัดการพลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการของ โหลด(Demand Response) อย่างหลากหลายไม่ว่าจะเป็นการใช้มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา การใช้ (Time of Use Rates) หรือใช้มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต (Critical Peak Pricing) ซึ่งจะ เห็นได้ว่ามาตรการดังกล่าวเป็นเพียงการจูงใจผู้ใช้งานเพื่อควบคุมโหลดทางอ้อมซึ่งไม่สามารถควบคุม เอกสารนี้เป็นโหลดได้แน่นอนและจากการศึกษาในช่วงเปลี่ยนผ่านช่วงเวลาจากช่วง on-peak ถึงช่วง off-peak อาจ ไม่ว่ากรณีใดส่งผลให้เกิดโหลดเกินได้ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าเลือกเวลาอัดประจุใกล้เคียงกันทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.3 โครงสร้างการทำงานของมาตรการ TOU ที่อ้างอิงตามโหลดสุทธิในปี ค.ศ. 2019 และ ค.ศ.

2030

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการทำการตอบสนองความต้องการของโหลด (Demand Response) กลุ่มยานยนต์ไฟฟ้าประเภทการอัดประจุที่ใช้หัวอัดประจุแบบชนิดที่ 2 โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปในเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งชุดอุปกรณ์นี้จะสามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ โดยมุ่งเน้นฟังก์ชันการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าของผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในที่สาธารณะ เพื่อรักษาความปลอดภัยของอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์จ่ายไฟ อาทิเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น โดยชุดอุปกรณ์นี้จะทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าและส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการประมวลผลให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภค (load pattern) แล้วคำสั่งการอัดประจุนี้ส่งไปยังชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งควบคู่กับเครื่องอัดประจุในแต่ละครัวเรือนของผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า โดยการทำงานของฟังก์ชันการตอบสนองของโหลดนี้จะเป็นการกระจายการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าให้ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันให้มีการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันได้รับพลังงานเพียงพอในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยคำนึงถึงพลังงานที่ผู้ใช้ต้องเพียงพอสำหรับการเดินทางในวันถัดไป ดังนั้น การตอบสนองความต้องการของโหลดที่นำเสนอนี้จะทำให้สามารถป้องกันปัญหาที่เด็กล่าวข้างต้นได้โดยไม่ต้องมีการจูงใจผู้ใช้ไฟฟ้า และยังทำให้ยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงได้อีก ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าและผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาความต้องการของความต้องการโหลดในระบบไฟฟ้าเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบควบคุมสำหรับการตอบสนองความต้องการโหลดของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยจากการติดตั้งเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่อาจมีการดึงกระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน

1.2.3. ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ให้งานเกินพิกัดเป็นเวลานานเกินกว่าช่วงเวลาที่ยอมรับได้เพื่อป้องกันการเสื่อมของฉนวนหม้อแปลงจากการสะสมความร้อนจากสภาวะความต้องการโหลดเกินพิกัด

1.2.4. เพื่อสร้างอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.2.5. ได้รับความรู้และความเข้าใจ ระบบและโครงสร้างพื้นฐาน ของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.2.6. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการคำสั่งการควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและสามารถเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาหรือการทำงานในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.1.1 งานวิจัยนี้ดำเนินการออกแบบฟังก์ชันในการชาร์จโดยใช้หัวชาร์จพิจารณาตามมาตรฐาน IEC 61851-1

1.1.2 งานวิจัยนี้สนใจเฉพาะมาตรฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระดับที่ 3 ซึ่งเป็นการชาร์จโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันอัดประจุ 150 – 920 โวลต์กระแสตรง สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส พิกัดการชาร์จไม่เกิน 60 แอมแปร์ ขนาดเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้ามีขนาดไม่เกิน 22.5 kW

1.1.3 ขนาดแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มีขนาด 28 kWh 33 kWh และ 44.5 kWh ซึ่งเป็นขนาดของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ BMW : i3s HYUNDAI : IONIQ Electric และ MG : ZS EV ตามลำดับ

1.1.4 ออกแบบฟังก์ชันการตอบสนองต่อโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้ายานยนต์ไฟฟ้าไม่ให้เกินพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า

1.1.5 สร้างต้นแบบอุปกรณ์ควบคุมและวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.1.6 ออกแบบหน้าจอแสดงผลการจำลองการทำงานของฟังก์ชันผ่านเว็บไซต์

1.4 วิธีการที่ใช้ในการโครงการ

1.1.7 ศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลต่อระบบไฟฟ้า

1.1.8 ออกแบบลายวงจรในการทำต้นแบบอุปกรณ์ควบคุมและวัดส่งค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

1.1.9 การสื่อสารกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับตัวบอร์ดคอนโทรลเลอร์ (Raspberry PI)

1.1.10 การสื่อสารกันระหว่างสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า (Charge Point) และระบบจัดการกลาง (Central System) หรือ OCPP 1.6

1.1.11 Linear Regression เพื่อใช้ในการคิดคะแนนลำดับความสำคัญในการ

พิจารณาการควบคุมกระแสการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับการจากการวิจัย

1.5.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านผู้ใช้ไฟฟ้า

1) สร้างความมั่นคงให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า จากการที่มีระบบการจัดการการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ทำให้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้ใช้จะมีพลังงานมากพอในการเดินทางในกิจกรรมประจำวัน

1.5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านระบบไฟฟ้า

1) ลดโอกาสที่หม้อแปลงจะต้องทำงานในสภาวะโหลดเกินเป็นระยะเวลาานาน และป้องกันไม่ให้หม้อแปลงทำงานเกินพิกัดที่รับได้ ซึ่งการที่มีการจัดการโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเป็นระบบ จะช่วยลดปัญหาหม้อแปลงไม่ให้เกิดการดึงกำลังไฟฟ้าให้ทำงานในสภาวะโหลดเกิน จะช่วยยืดอายุหม้อแปลงให้ใช้งานได้นานขึ้น

2) ป้องกันความเสียหายต่อสายส่งในระบบจำหน่าย จากการที่อาจมีการทำงานเกินพิกัดเป็นเวลานาน จากการปล่อยให้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าดึงโหลดแบบไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม

3) สร้างความมั่นคงให้กับประเทศ ซึ่งการไม่มีการจัดการโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า อาจทำให้เกิดสภาวะความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (peak demand) ซึ่งอาจมากกว่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้าในระบบ จนอาจเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับในบริเวณกว้าง (blackout) ซึ่งสร้างความสูญเสียมาก ต่อพื้นที่เศรษฐกิจ แหล่งท่องเที่ยว อุตสาหกรรม ฯลฯ ซึ่งกระทบโดยตรงต่อความมั่นคงของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (สิงหาคม พ.ศ. 2563 - พฤษภาคม 2564)

การดำเนินงาน	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.สำรวจและสืบค้นปัญหาจากการใช้ไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้า	■								
2.ศึกษาและค้นคว้าพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■							
2.1) ศึกษาความรู้พื้นฐานการอัดประจุของเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า	■	■							
2.2) ศึกษามาตรฐานการอัดประจุและมาตรฐานการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	■	■	■						
2.3) ศึกษาฟังก์ชันที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย	■	■	■						
2.4) ศึกษาอัลกอริทึมของการทำ Demand Response	■	■	■						
3.ทำการคิดและออกแบบฟังก์ชันการทำ Demand Response				■	■				
4.ศึกษาและหาวิธีในการทำให้ฟังก์ชันที่ออกแบบมีความเป็นไปได้					■	■			
5.ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบฟังก์ชันที่ออกแบบไว้					■	■			
6.ทดสอบและเก็บผลจากฟังก์ชันที่ได้ทำการออกแบบ						■	■		
7.วิเคราะห์ผลการทดลองฟังก์ชันที่นำมาใช้							■	■	
8.สรุปผลและเขียนข้อเสนอแนะ								■	■

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบฟังก์ชันการควบคุม การชาร์จแก้พหุพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัย ทั้งนี้การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าแก้พหุ พหุไฟฟ้ามีหลากหลายตัวแปรที่ต้องพิจารณา และมี ทฤษฎีของอุปกรณ์หลายตัวที่จำเป็นที่จะต้องทราบ เพื่อใช้ในการศึกษาและออกแบบชิ้นงานนี้รวมถึงการเขียนโปรแกรมพีซีภาษา เพื่อใช้ในการตรวจสอบ การใช้งานรวมถึงการรับข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ผล และตรวจสอบสถานะของผู้ใช้งาน แบบเรียลไทม์

2.2 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองความต้องการด้านโหลด

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองความต้องการด้านโหลด เป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับกำลังผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้า โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management : DSM)

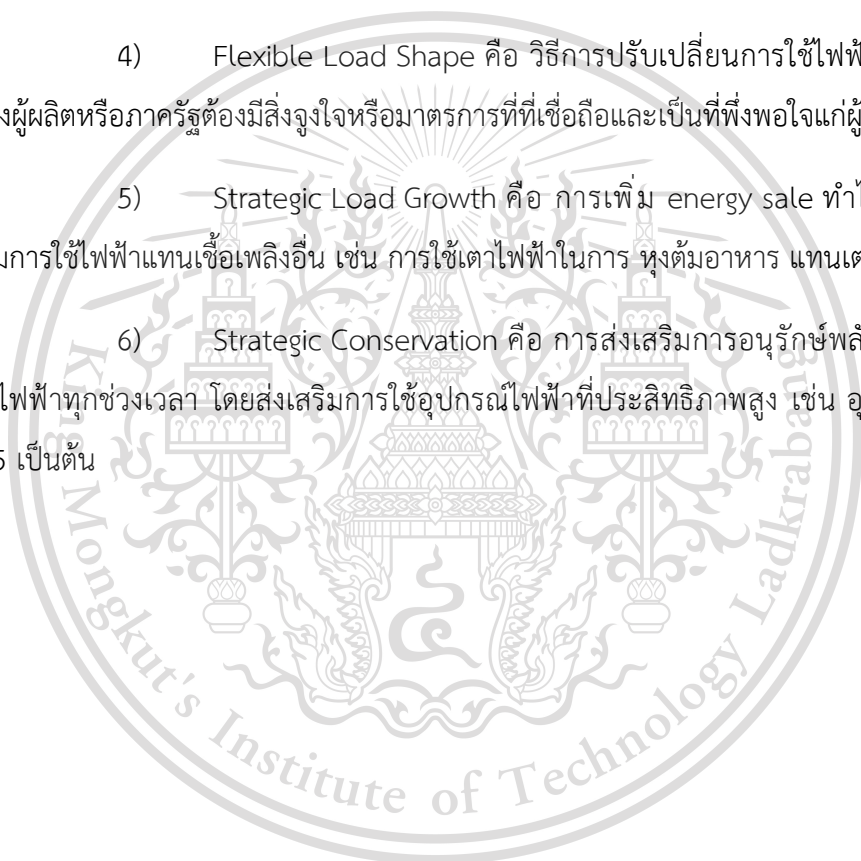
การจัดการด้านกาใช้ไฟฟ้า คือ การสนับสนุนให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อาจหมายถึงการลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ผลิตไฟฟ้าในการเลื่อนระยะเวลาในการสร้างโรงงานไฟฟ้าในอนาคตออกไปในระยะเวลาหนึ่งได้ และยังสามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามาทำการบริหารจัดการหรือพยากรณ์คาดการณ์การใช้ไฟฟ้าในอนาคตเพื่อวางแผนการผลิตไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้การพัฒนามาจากการจัดการความต้องการของโหลด (Load Management) ซึ่งเป็นการควบคุมการใช้พลังงานโดยวิธีต่างๆ ซึ่งจะมีการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ทางด้านผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถควบคุมความต้องการของโหลดไปได้ โดยในการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (DSM) นี้ จะมี 6 วัตถุประสงค์หลักในการจัดการ ดังนี้

1) Peak clipping คือ การจัดการให้ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลดลง

(Reduction of peak load) โดยทั่วไปจะใช้ การควบคุมเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยตรง โดย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือ กฟผ. เรียกวิธีการนี้ว่า Peak Cut

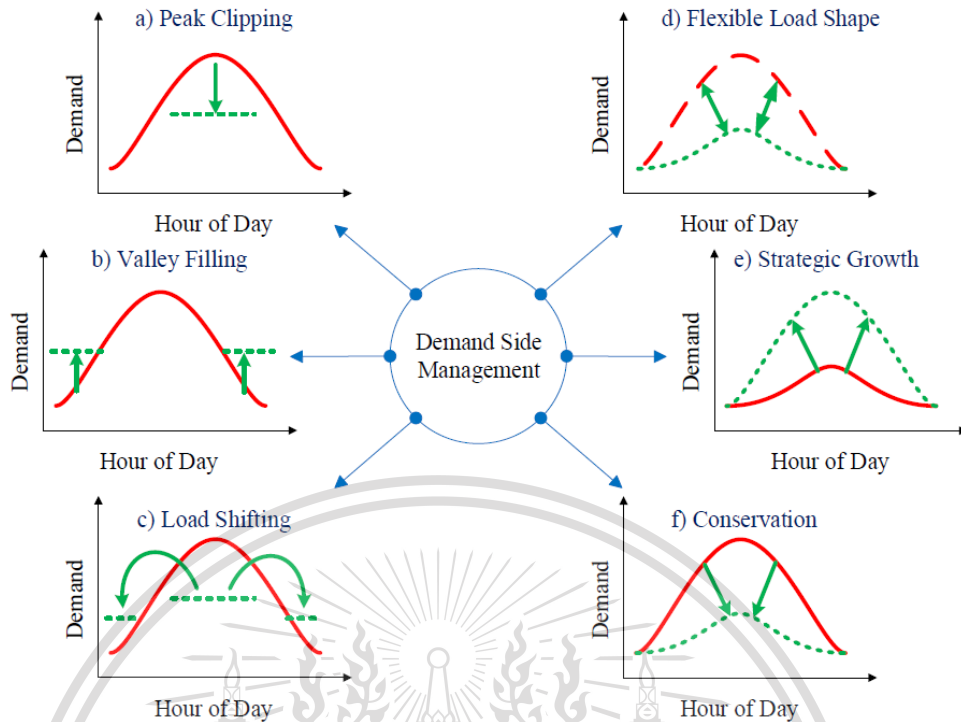
- 2) Valley Filling คือ การเพิ่มความต้องการในช่วง off-peak ซึ่งจะนิยมใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน (Energy Storage) ในช่วงที่มีต้นทุนค่าไฟฟ้าต่ำ เช่น การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงเวลา off-peak มากขึ้น เพื่อลดค่าไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้าที่กักเก็บไว้มาใช้ในช่วง on-peak เป็นต้น
- 3) Load Shifting คือ การเลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง on-peak มาสู่ off-peak ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าภายใน 1 วัน เป็นการเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าเอง โดยอาจจะมีการมาตรการสนับสนุนจากทางภาครัฐหรือผู้ผลิตไฟฟ้าในการจูงใจให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น
- 4) Flexible Load Shape คือ วิธีการปรับเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทางผู้ผลิตหรือภาครัฐต้องมีสิ่งจูงใจหรือมาตรการที่เชื่อถือและเป็นที่ยอมรับแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า
- 5) Strategic Load Growth คือ การเพิ่ม energy sale ทำได้โดยเพิ่มหรือส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าแทนเชื้อเพลิงอื่น เช่น การใช้เตาไฟฟ้าในการ หุงต้มอาหาร แทนเตาแก๊ส
- 6) Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่งช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา โดยส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประสิทธิภาพสูง เช่น อุปกรณ์ที่มีฉลากเบอร์ 5 เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



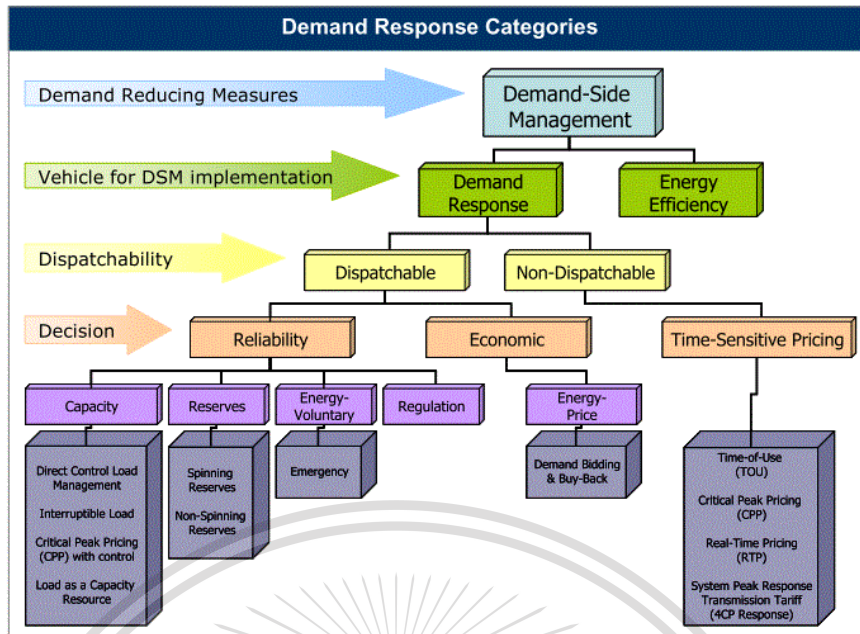
รูปที่ 2.1 วิธีการในการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (DSM) หากมองจากภาพรวม อาจจะนิยามได้ว่าเป็น “กิจกรรม หรือโปรแกรมที่จัดวางหรือออกแบบ (design) โดยตั้งใจให้มีผลต่อเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้การใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสม คือใช้ ทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงได้รับประโยชน์หรือความพึงพอใจเท่าเดิมหรือมากกว่า” โดยเราจะนำคำสำคัญคือ เวลาหรือปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมมีพิจารณา จะสามารถแบ่งโครงการออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Efficiency) โดยในบั้นนี้เราจะศึกษาเฉพาะการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 แผนผังการจัดลำดับหมวดหมู่การตอบสนองด้านโหลด

2.2.2 การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response : DR)

การกำหนดนิยามของการตอบสนองด้านโหลดนั้นได้มีการให้นิยามโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน คือ “การส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟเองจากรูปแบบการใช้ปกติ เพื่อตอบสนองต่อราคาค่าไฟในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) อันจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสภาวะวิกฤตด้านพลังงานไฟฟ้า และเสริมความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว”

โดยการทำการตอบสนองด้านโหลด (DR) หากพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมและแจกจ่ายกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า (Dispatchability) จะสามารถแบ่งได้ 2 กรณี คือ การแจกจ่ายไฟกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าได้ (Dispatchable) และ การแจกจ่ายไฟกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าไม่ได้ (Non-Dispatchable) หรือมาตรการกำหนดราคาตามเวลา (Time-Sensitive Pricing) ซึ่งจะมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) การแจกจ่ายไฟกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าได้ (Dispatchable) จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามกลไกการตอบสนอง

1.1) มาตรการตอบสนองด้านโหลดต่อความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability-based Options) เป็นมาตรการที่ต้องใช้เงินสนับสนุนพิเศษจากทางภาครัฐหรือผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางผู้จัดทำ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า การใช้มาตรการนี้เป็นรูปแบบการตอบสนองด้านโหลดต่อช่วงเวลาที่ความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าต่ำ เหตุการณ์ผิดปกติซึ่งมีความเสี่ยงต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ได้แก่

- มาตรการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control) เป็นมาตรการการควบคุมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยการทำข้อตกลงระหว่างผู้ดูแลระบบและผู้ใช้ไฟฟ้า โดยผู้ดูแลระบบสามารถสั่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าหรือตัดการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมโครงการได้ โดยจะมีค่าชดเชยที่ได้รับเป็น ค่าพลังไฟฟ้า (Availability Payment) ซึ่งปกติแล้วผู้เข้าร่วมโครงการมักจะเป็นลูกค้าครัวเรือนหรือลูกค้าธุรกิจขนาดเล็ก

- มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถงดจ่ายไฟฟ้าได้ (Curtailable /Interruptible Tariff) เป็นมาตรการมีการกำหนดเงินสนับสนุนพิเศษหรือได้รับค่าไฟฟ้าในอัตราพิเศษ จะมีข้อตกลงระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าสำหรับปริมาณและจำนวนครั้งที่จะเรียกใช้งานการลดการใช้ไฟฟ้า

- มาตรการตอบสนองแบบฉุกเฉิน (Emergency Demand Response Program) เป็นมาตรการจ่ายเงินสนับสนุนให้กับลูกค้าสำหรับการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงขณะที่ปริมาณกำลังไฟฟ้าสำรองลดต่ำลงซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ โดยค่าชดเชยที่ได้รับแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าพลังไฟฟ้า (Availability Payment) และ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Payment)

- มาตรการประมูลหรือซื้อคืน (Demand Bidding/Buyback Program) เป็นมาตรการที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเสนอที่จะลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามราคาค่าไฟฟ้าที่ถูกกำหนดโดยตลาดซื้อขายไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นลูกค้าขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 1 MW ขึ้นไป โดยตลาดซื้อขายไฟฟ้ามักจะตอบรับข้อเสนอเมื่อลูกค้าเสนอราคาค่าไฟที่ลดได้ถูกกว่าราคาไฟฟ้าที่ตลาดไฟฟ้ากำหนด โดยค่าชดเชยที่ได้รับ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Payment) ที่ลูกค้าเสนอ

- มาตรการตลาดกำลังไฟฟ้า (Capacity Market Program) เป็นมาตรการที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเสนอที่จะลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบของกำลังผลิตของระบบเพื่อทดแทนโรงไฟฟ้า โดยปกติผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับการแจ้งในวันที่จะเกิดเหตุการณ์ โดยค่าชดเชยที่ได้รับแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าพลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า

1.2) มาตรการตอบสนองด้านโหลดต่อกลไกราคา (Price-based Options) เป็นรูปแบบการตอบสนองด้านโหลดโดยใช้กลไกราคา ตั้งราคาค่าไฟฟ้าให้มีราคาสูงในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง หรือช่วงที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ผิดปกติในระบบไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และส่งเสริมการนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนไปใช้ประโยชน์ในภาคการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนของระบบไฟฟ้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้า หรือหลีกเลี่ยงไปใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาอื่นที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ ซึ่งมีราคา
ค่าไฟฟ้าถูกกว่า ได้แก่

- มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Rates) เป็นอัตราค่า
ไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate) โดยค่าไฟจะแพงในช่วงที่ระบบมี
ความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก (On Peak) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจาก
การไฟฟ้าต้องเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงทุกชนิดทั้งที่มีราคาถูกและแพง แต่ในช่วงที่ระบบมี
ความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) ค่าไฟจะถูกกว่า เนื่องจากการไฟฟ้าสามารถเลือกเดินเครื่อง
โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงราคาถูกได้ ดังนั้น อัตราค่าไฟฟ้าแบบนี้ จึงเป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุน
การผลิตไฟฟ้าที่แท้จริงอีกประเภทหนึ่ง

- มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต (Critical Peak Pricing) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่มี
อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU เป็นพื้นฐานแต่เพิ่มอัตราพิเศษที่แพงขึ้นไปอีก หลายเท่าตัวในช่วง On Peak
ปกติของ TOU

- มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าส่วนลดช่วงวิกฤต (Peak Time Rebate) เป็นอัตราค่า
ไฟฟ้าซึ่งโดยปกติจะอยู่บนโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปกติ (Flat Rate) ซึ่งจะได้รับค่าชดเชย ถ้าสามารถ
ลดการใช้ไฟฟ้าในขณะช่วงเวลาวิกฤตของระบบได้ (Peak time) โดยลูกค้าสามารถตัดสินใจที่จะลด
การใช้ไฟฟ้าในเวลาดังกล่าวได้

- มาตรการอัตราค่าไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบัน (Real Time Pricing) เป็นการกำหนด
อัตราค่าไฟฟ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ ชั่วโมงเพื่อสะท้อนถึงต้นทุนของระบบที่เปลี่ยนแปลง
ตลอดเวลา เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงเวลาของวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)

ยานยนต์ไฟฟ้า หมายถึง ยานยนต์หรือยานยนต์พาหนะที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามีการขับเคลื่อน หรือ ยานยนต์ที่มีเครื่องยนต์มาใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งในส่วนของ การขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้าเก็บสะสมในแบตเตอรี่ หรือการอัดประจุไฟฟ้าจากภายนอกหรือการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง

2.3.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า

1) **ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle – HEV)** เป็นยานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ลูกสูบต้นกำลังในการขับเคลื่อนเป็นหลัก ซึ่งจะมีการใช้เครื่องยนต์ลูกสูบต้นกำลังและมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนร่วมกัน ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ยังสามารถนำพลังงานกลหรือพลังงานที่สูญเสียจากการเบรกเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในรูปแบบเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าต่อไป ส่งผลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในทั่วไป

2) **ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Vehicle – PHEV)** เป็นยานยนต์ที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าชนิด HEV โดยสามารถอัดประจุไฟฟ้าจากภายนอกมาเก็บที่แบตเตอรี่ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าในระยะทางที่ไกลขึ้น เนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าพร้อมกันจาก 2 แหล่งพลังงาน จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง รวมทั้งมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่า HEV โดยยานยนต์ไฟฟ้าประเภทนี้มีการออกแบบอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

1. Extended range EV (EREV) โดยยานยนต์ไฟฟ้า PHEV ชนิดนี้จะเน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน จึงค่อยดึงพลังงานจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมาใช้

2. Blended PHEV จะมีการทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า จึงทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าชนิดนี้วิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแบบ EREV

3) **ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery electric Vehicle, BEV)** เป็นยานยนต์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน (ไม่มีเครื่องยนต์) และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้นในการเคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้น ระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อีกทั้งช่วยให้ไม่มีการปล่อยมลพิษและ CO₂ จากยานยนต์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4) ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell electric vehicle, FCEV)

เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีได้มาจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากไฮโดรเจน ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยเทคโนโลยีนี้ยังมีข้อจำกัดทางด้านความปลอดภัยและต้นทุนที่สูง แต่หากมีการพัฒนาต่อยอดจะทำให้เป็นคำตอบของเทคโนโลยีพลังงานสะอาดที่แท้จริง

2.3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าประเภท BEV ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยเพื่อทราบถึงประเภทตัวชาร์จ ระยะทางในการชาร์จสูงสุดในหน่วยกิโลเมตร และขนาดของแบตเตอรี่ โดยสามารถดูได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564

รุ่นยานยนต์ไฟฟ้า	ประเภทตัวชาร์จ	ระยะทางวิ่งสูงสุด (km)	ขนาดแบตเตอรี่ (kWh)
Audi : e-tron 55 quattro	AC Type 2 , CCS2	417	95
BMW : i3s	AC Type 2 , CCS2	280	33
BYB : e6	AC Type 2	400	80
BYD : M3, T3	AC Type2	300	50.3
FORM : ONE	AC Type2	160	11.8
HYUNDAI : KONA Electric	AC Type 2 , CCS2	312(SE) / 482 (SEL)	39.2(SE) / 64 (SEL)
HYUNDAI : IONIQ Electric	AC Type 2 , CCS2	280	28
JAHUAR : I-PACE	AC Type 2 , CCS2	470	90
KIA : ALL-New Soul EV	AC Type 2 , CCS1	452	64
LEXUS : UX 300e	AC Type 2 , DC CHAdemo	360	54
MG : EP Wagon EV	AC Type 2 , CCS2	380	50.3
MG : ZS EV	AC Type 2 , CCS2	337	44.5
MINI Cooper : SE	AC Type 2 , CCS2	217	32.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งาน และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

NISSAN : LEAF	AC Type 1 , DC CHAdeMO	311	40
POESCHE : TAYCAN	AC Type 2 , CCS2	407(4S) / 447(Turbo) / 412 9Turbo S)	79 (4S) / 93 (Turbo & Turbo S)
TAKANO : TTE 500	AC Type 2, CCS2	100	11
TESLA : Model 3	AC Type 2, CCS2	386	62
VOLVO : XC40 Recharge	AC Type 2	418	78

2.4. รูปแบบของการอัดประจุไฟฟ้า

จากอนุกรมมาตรฐาน IEC 61851: Electric vehicle conductive charging system เป็นมาตรฐานด้านระบบอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ครอบคลุมทั้งระบบอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง สามารถดูรายละเอียด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 อนุกรมมาตรฐาน IEC 61851: Electric vehicle conductive charging system

มาตรฐาน	ขอบข่าย
IEC 61851-1:2010 Ed 2.0 Part 1 : General Requirements	ข้อกำหนดทั่วไป
IEC 61851-21:2001 Ed 1.0 Part 21 : Electrical vehicle requirements for conduction connection to an a.c./d.c. supply	ข้อกำหนดของยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับการเชื่อมต่อผ่านตัวนำไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง
IEC 61851-22:2001 Ed 1.0 Part 22 : electric vehicle charging station	ข้อกำหนดสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ
IEC 61851-23:2010 Ed 1.0 Part 23 : DC electric vehicle charging station	ข้อกำหนดสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง และข้อกำหนดทั่วไปสำหรับ Control Communication ระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้า

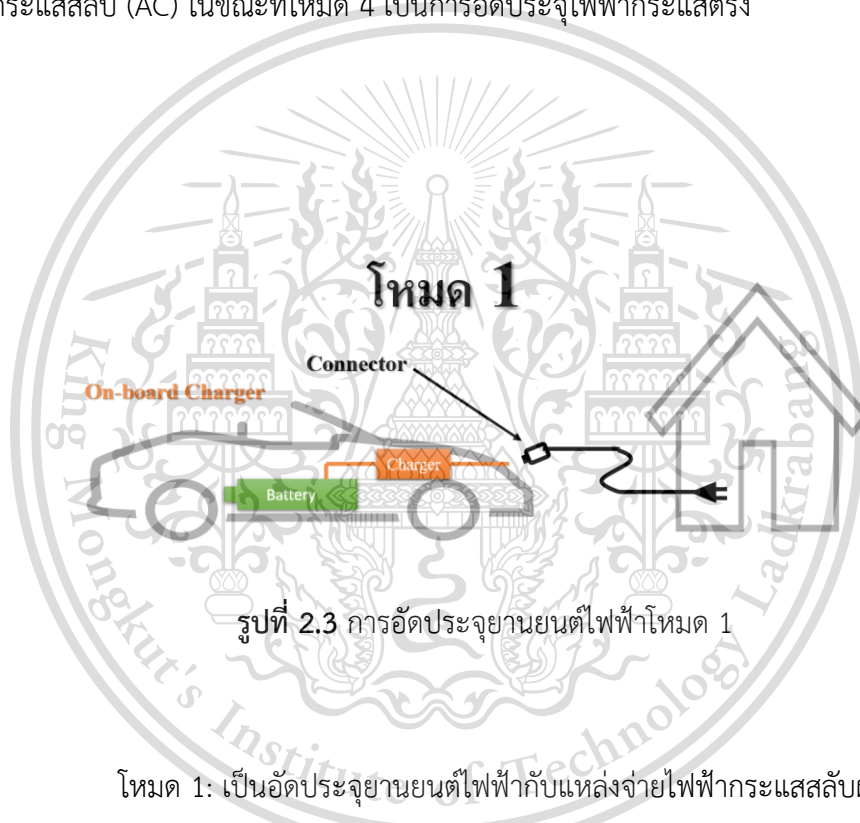
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IEC 61851-24:2010 Ed 1.0 Part 24 : Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging	(ใช้ร่วมกับ IEC 61851-23) เป็นมาตรฐาน Digital Communication ระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้า กระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อควบคุมการอัดประจุ ไฟฟ้ากระแสตรง
--	---

จากอนุกรมมาตรฐาน IEC 61851 ได้แบ่งรูปแบบของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ออกเป็น 4 โหมด โดยได้กำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-1 ซึ่งโหมด 1 ถึง 3 จะเป็นการอัดประจุ ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในขณะที่โหมด 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง

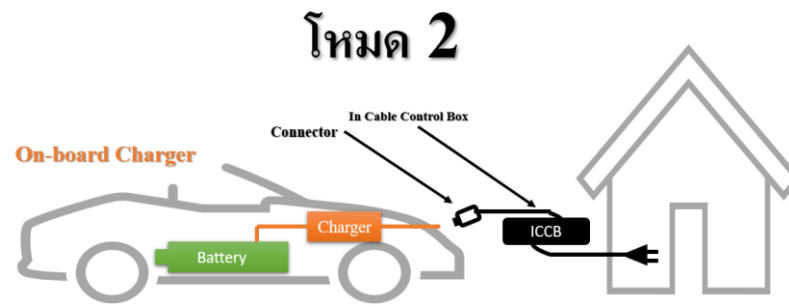


รูปที่ 2.3 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 1

โหมด 1: เป็นอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวรับไฟฟ้า มาตรฐาน ตามบ้านหรืออาคารโดยตรง โดยขนาดกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ต้องมีขนาด ไม่เกิน 16 A และขนาดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 Vac และสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ขนาดกระแสไฟฟ้า ต้องไม่เกิน 380 Vac โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Circuit Breaker) และสายเคเบิลต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับตัวรับไฟฟ้าตามบ้านหรืออาคารโดยตรง โดยไม่มีอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนั้น จึงไม่มีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) อีกทั้งตัวรับตามบ้านหรือ อาคารนี้เป็นอาคารที่หลายแห่งไม่มีระบบสายดิน อาจเกิดอันตรายได้ต่อผู้ใช้งานได้ หากเกิดกระแสไฟฟ้าวัดหรือการค้ำ ไม่ว่ากรณีใด ลัดวงจร จึงห้ามใช้การอัดประจุไฟฟ้าโหมด 1 ในบางประเทศ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

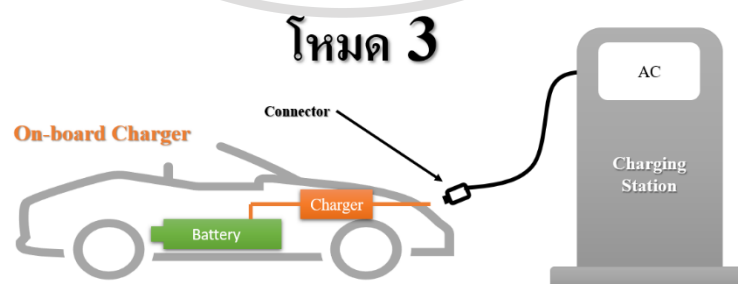
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 2

โหมด 2: เป็นการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวรับไฟฟ้ามาตรฐาน ตามบ้านหรืออาคารโดยตรง โดยขนาดกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ต้องมีขนาดไม่เกิน 32 A และขนาดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 Vac และสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ขนาดกระแสไฟฟ้าต้องไม่เกิน 380 Vac โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบป้องกันเช่นเดียวกับโหมด 1 นอกจากนี้โหมด 2 สายเคเบิลจะต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) และ ระบบป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว (Residual Current Device: RCD) ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ภายในกล่องควบคุมในสายเคเบิล (In-cable Control Box: ICCB) โดย ICCB จะต้องมียุ่ห่างจาก Plug ไม่เกิน 0.3 เมตร หรือ ติดตั้งอยู่ภายใน Plug Control Pilot Function มีหน้าที่ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า และตรวจสอบระบบป้องกันใน ระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า โดย Control Pilot Function จะ สื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

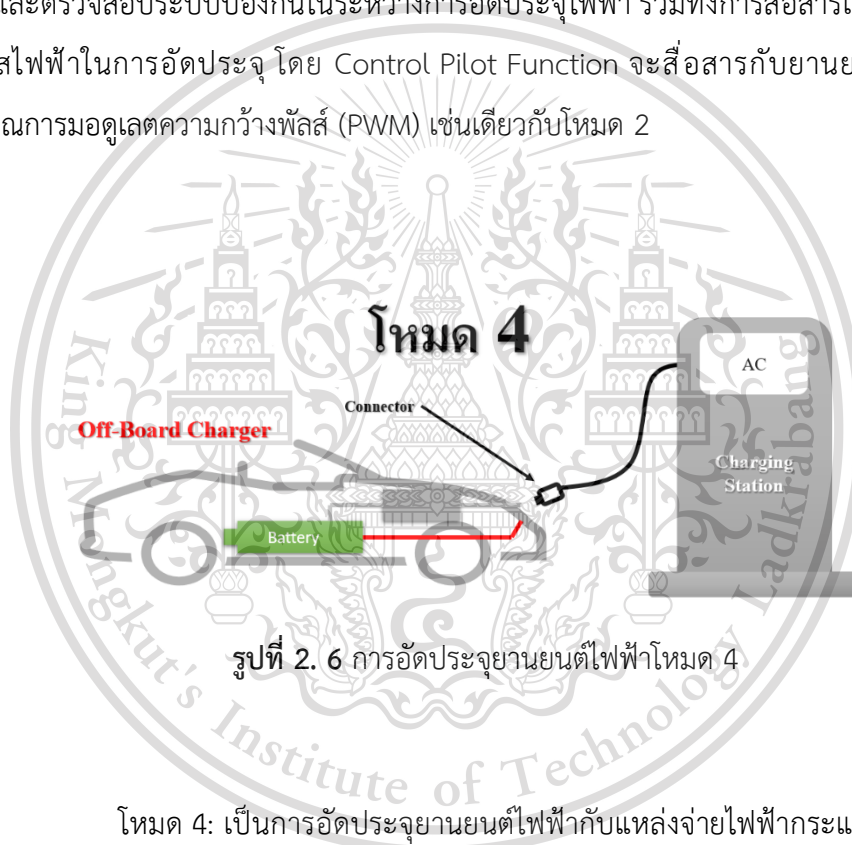


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานที่ไม่ใช่เชิงพาณิชย์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.5 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 3
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โหมด 3: เป็นการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EVSE) เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging station) โดยที่ EVSE จะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับและมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การอัดประจุไฟฟ้าโหมด 3 เป็นรูปแบบที่เห็นทั่วไปในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดรอเป็นระยะเวลาสั้นได้ เช่น ที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า รวมถึงเครื่องอัดประจุไฟฟ้ารูปแบบ Wall Charge ในบ้านอยู่อาศัย EVSE ของการอัดประจุไฟฟ้า Mode 3 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) เพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า รวมทั้งการสื่อสารเพื่อควบคุมระดับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุ โดย Control Pilot Function จะสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) เช่นเดียวกับโหมด 2



รูปที่ 2. 6 การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 4

โหมด 4: เป็นการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EVSE) เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยที่ EVSE จะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และมี Off-board Charger เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบ และเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การใช้งานการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4 ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะเท่านั้น EVSE

ของการอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่นเดียวกับโหมด 3 แต่การควบคุมการอัดประจุและการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าในโหมด 4 จะซับซ้อนกว่าโหมด 3 มาก และมีรูปแบบของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การควบคุมและการสื่อสารที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-23 และ IEC 61851-24

2.5 ระบบการสื่อสารในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

ระบบสื่อสารในการอัดประจุไฟฟ้ายานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานและตรวจสอบความปลอดภัยในการอัดประจุไฟฟ้ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากับยานยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของ สมอ. มีดังนี้

1. ISO 15118-1:2013 Ed 1.0 Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface -- Part 1: General information and use-case definition
2. ISO 15118-2:2014 Ed 1.0 Road vehicles -- Vehicle-to-Grid Communication Interface -- Part 2: Network and application protocol requirements
3. ISO 15118-3:2015 Ed 1.0 Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface -- Part 3: Physical and data link layer requirements

นอกจากนี้อนุกรมมาตรฐาน IEC 61851 ก็มีการระบุข้อกำหนดด้านการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเช่นกันโดยมาตรฐาน IEC 61851-1 ระบุข้อกำหนดด้านการสื่อสารสำหรับการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) ส่วนมาตรฐาน IEC 61851-23 และ IEC 61851-24 ระบุข้อกำหนดด้านการสื่อสารสำหรับการอัดประจุไฟฟ้า กระแสตรง โดยมาตรฐาน IEC 61851-23 เป็นข้อกำหนดทั่วไปของ Control Communication และ มาตรฐาน IEC 61851-24 เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคของ Digital Communication สำหรับการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงของเต้าเสียบและเต้ารับทั้ง 4 Configuration ตามมาตรฐาน IEC 62196-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า (Characteristic of EV Battery)

แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญส่วนหนึ่งในระบบยานยนต์ไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าจะแตกต่างกับแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับจุดระเบิดหรือขับเคลื่อนสตาร์ทของยานยนต์สันดาบภายในทั่วไป (SLI battery : Starting, lightning and ignition) เนื่องจากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าได้ถูกออกแบบมาเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าและสามารถจ่ายพลังงานเป็นเวลานานและทนทานต่อการใช้งาน

2.6.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery : Li-On)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับและแพร่หลายมากนั้นเพราะว่านิยมใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถพกพาได้ ยกตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ แตกต่างจากสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในเรื่องของขนาดที่ใหญ่กว่าและแบตเตอรี่นั้นต้องมีการแพคเกจเข้าด้วยกัน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นมีอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักที่สูงมาก แต่แลกมาได้ด้วยประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นั้นมีค่าสูงถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิสูงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ยังคงดีอยู่และมีอัตราส่วนการเก็บพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักที่สูงซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญมากสำหรับยานยนต์ไฟฟ้านั้นหมายความว่าในกรณีที่แบตเตอรี่เก็บพลังงานเท่า ๆ กันเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นแต่สามารถเดินทางได้ระยะทางมากกว่าต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นโดยส่วนใหญ่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นจึงค่อนข้างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมมีหลากหลายชนิดโดยยกตัวอย่าง ดังนี้

- (1) Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄ : LFP)
- (2) Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO₂ : NCA)
- (3) Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMn₂O₄ : NMC)
- (4) Lithium Titanate (Li₂TiO₃ : LTO)
- (5) Lithium Manganese Oxide (LiMn₂O₄ : LMO)
- (6) Lithium Cobalt Oxide (LiCoO₂ : LCO)

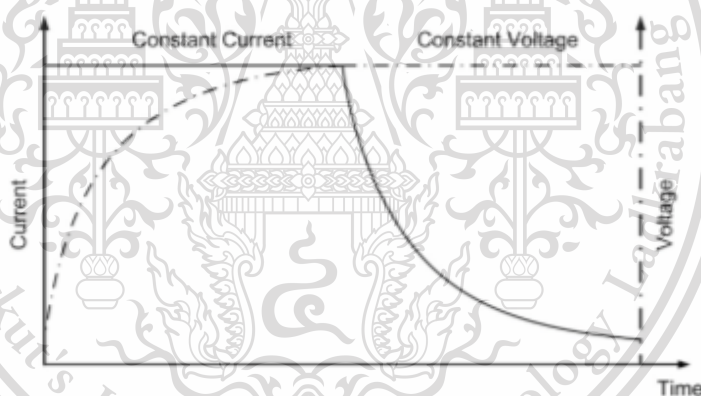
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ความเร็วของการถ่ายเทประจุจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage : V) และกระแสไฟฟ้า (Current : A) โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ถ่ายเทนั้นเกิดจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยถ้าหากขาร์จกระแสที่ต่ำกำลังไฟฟ้าที่ทำการถ่ายเทประจุก็จะต่ำลงด้วยและส่งผลกระทบต่อความเร็วในการชาร์จ ในการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นจะมีลำดับการชาร์จประกอบไปด้วย 3 เฟส โดยเฟสแรกคือการพรีชาร์จ (pre-charge) โดยในลำดับดังกล่าวนี้จะใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ๆ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เฟส 2 จะเริ่มเมื่อยานยนต์ไฟฟ้าที่มีค่า SOC อย่างน้อย 10% โดยถ้าหากเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ามีการชาร์จที่ค่า SOC มากกว่า 10% การชาร์จแบบในเฟสพรีชาร์จจะมีความสำคัญที่น้อยมาก โดยการชาร์จในเฟสที่ 2 นั้นอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การชาร์จแบบกระแสไฟฟ้างคงที่ (Constant Current : CC) โดยขนาดกระแสไฟฟ้าจะคงที่ที่ค่าสูงจนกว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมถึงค่าที่เป็นค่าเฉพาะของแบตเตอรี่นั้น ๆ จากนั้นกระบวนการชาร์จของแบตเตอรี่จะเข้าสู่เฟสที่ 3 โดยในเฟสดังกล่าวนั้นปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ทำการชาร์จจะคงที่ และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จจะมีค่าลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล



รูปที่ 2.7 รูปแบบการอัดประจุของแบตเตอรี่ลิเทียม

2.7 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ เป็นสิ่งที่ใช้บอกคุณลักษณะและสถานะของแบตเตอรี่ ผู้ใช้งานต้องทราบและเข้าใจในสำคัญของพารามิเตอร์นั้น เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้งานแบตเตอรี่และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รายละเอียดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ มีดังนี้

1) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) หน่วย V แบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่หลายๆ

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามเซลล์ต้องเข้าด้วยกัน แต่เซลล์มีแรงดันไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าขึ้นกับส่วนประกอบของสารเคมี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เช่น เซลล์แบบ NiCad/NiMH มีแรงดันไฟฟ้า 1.2 โวลต์ (V), เซลล์แบบตะกั่วกรดมีแรงดันประมาณ 1.2 V เซลล์แบบลิเทียมมีแรงดัน 3.7V จักรยานไฟฟ้าและสกีเตอร์ทั่วไปใช้แรงดันแบตเตอรี่ประมาณ 24, 36, 48 V โดยประกอบด้วยเซลล์หลายๆ เซลล์ต่ออนุกรมกัน

2) ความจุของแบตเตอรี่ หน่วย Ahr เป็นตัวกำหนดว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟได้มากน้อยแค่ไหนและนานเท่าไร โดยการบอกอัตราการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ลูกนั้นจะบอกเป็นต่อชั่วโมง (h) ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 1 Ahr หมายความว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสได้ 1 แอมแปร์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

3) ความจุของแบตเตอรี่ หน่วย Wh วัตต์ชั่วโมงเป็นหน่วยวัดพลังงาน วัตต์ชั่วโมงคือปริมาณพลังงานที่ใช้หรือสร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าหากใช้งานอย่างต่อเนื่องโดยใช้กำลัง 1 วัตต์เป็นระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง

4) State of Charge (SOC) ของแบตเตอรี่ แสดงเป็นอัตราส่วนของความจุของกระแสไฟฟ้าต่อความจุที่ระบุ ความจุที่ระบุกำหนดจากผู้ผลิตรถยนต์และแสดงจำนวนประจุไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้ การประมาณค่า SoC เป็นความท้าทายพื้นฐานสำหรับการใช้แบตเตอรี่ SoC ของแบตเตอรี่ซึ่งใช้เพื่ออธิบายความจุที่เหลืออยู่เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากสำหรับกลยุทธ์การควบคุม

5) Deep of Discharge (DOD) Depth of Discharge จะวัดว่าแบตเตอรี่มีการคายประจุมากเพียงใด โดยสมมติว่าแบตเตอรี่มีความจุเล็กน้อย 100 กิโลวัตต์ชั่วโมงซึ่งจะปล่อยพลังงาน 30kW ใน 1 ชั่วโมง DOD จะเป็น $(30 \times 1) / 100 = 30\%$

2.8 โพรโตคอล Open Charge Point Protocol (OCPP 1.6)

OCPP เป็นโพรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Open Charge Alliance ได้มีปลายประเทศทั่วโลกนำเอาโพรโตคอลนี้ไปใช้งานในการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า (EV Charging Stations) หรือ จุดที่มีการชาร์จ (Charge point) กับ ระบบจัดการกลาง (Central System) หรือที่เรียกกันว่าเครือข่ายสถานีชาร์จ (Charging station network) โดย OCPP ถูกนำมาใช้ในระบบบริหารการใช้ไฟฟ้าของการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า และทำให้สามารถควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าให้เป็นไปตามต้องการ ด้วยโพรโตคอลนี้จะสามารถเชื่อมต่อกับระบบกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบสถานีชาร์จใดๆ ก็ได้ โดยไม่คำนึงถึงผู้จำหน่ายไฟ ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกัน ช่วยป้องกันปัญหาในการติดต่อสื่อสารทุกรูปแบบ ดังนั้นการใช้โปรโตคอลนี้จึงถือว่าเป็นข้อได้เปรียบของตลาดอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด

ข้อมูลที่ติดต่อสื่อสารโดยใช้โปรโตคอลนี้มีหลากหลายประเภทนับตั้งแต่เมื่อเริ่มเข้าใช้บริการผ่านทางแอปพลิเคชันบนมือถือที่ทางผู้ให้บริการแต่ละค่ายพัฒนาขึ้นเพื่อให้บริการแก่ลูกค้าหรือการเข้าใช้บริการที่เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งต้องมีการยืนยันตัวตน (Authorize) การเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้า (Transaction Started) การสิ้นสุดการอัดประจุไฟฟ้า (transaction Stopped) การส่งข้อมูลค่าจากการวัด (Meter Values) รวมทั้งการส่งสัญญาณ Heartbeat เป็นการส่งสัญญาณเพื่อให้ระบบจัดการกลางรับรู้ว่าเครื่องอัดประจุไฟฟ้ายังคงมีสถานะเชื่อมต่อกับระบบอยู่

ในการเชื่อมโยงระหว่างระบบการจัดการกลางและศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความมั่นคงของระบบไฟฟ้า จะต้องควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าโดยการส่งข้อมูลในการจำกัดค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า โดยได้มีมาตรฐานการเชื่อมโยงข้อมูลคือ Open Smart Charging Protocol (OSCP) ซึ่งการทำงานของ OSCP จะอยู่ในระดับบนของโครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุไฟฟ้า โดยทำการสื่อสารระหว่างโครงข่ายไฟฟ้ากับหน่วยจัดการการอัดประจุ (Charge point operator) ทำให้การอัดประจุไฟฟ้าสอดคล้องกับสภาพของระบบไฟฟ้า

ในการวิจัยนี้เราได้ทำการศึกษา OCPP 1.6 ซึ่งมีโครงสร้างบนพื้นฐานมาจาก OCPP 1.5 โดยถูกใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ 2012 และผู้บริการหลายรายได้ใช้มาตรฐาน OCPP 1.5 กับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าของตน แต่ OCPP 1.6 สามารถนำกลับไปใช้กับ OCPP 1.5 ได้

เนื่องจากคำสั่งในการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุหรือเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบจัดการข้อมูลกลาง (Central system) นั้นมีจำนวนมากกว่าที่จะศึกษาได้หมดในการวิจัยครั้งนี้ เราจึงมุ่งเน้นการศึกษาคำสั่งการสื่อสารในหัวข้อการอัดประจุไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด (Smart Charging) เนื่องจากจากคำสั่งในการสื่อสารนี้จะทำให้สามารถควบคุมการจำกัดปริมาณกระแสหรือกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าหรือสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเจาะจงหรือสั่งการเป็นภาพรวมได้ แม้กระทั่งสั่งการให้มีการจำกัดกระแสหรือกำลังไฟฟ้าตามโหลดพื้นฐานของโครงข่ายไฟฟ้า หรือการควบคุมตามโหลดของอาคารนั้นๆ ก็สามารถทำได้ โดยจะมีข้อความ (key message) ที่จำเป็นในการใช้งานคำสั่ง Smart Charging ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1) *ChangepointMaxProfile* เป็นการกำหนดรูปแบบการอัดประจุจากระบบจัดกลางข้อมูลกลาง โดยจะทำการส่งรูปแบบการอัดประจุที่ได้มีการคำนวณไว้ตามความต้องการของผู้ให้บริการ เพื่อส่งข้อมูลไปยังสถานีอัดประจุหรือเครื่องอัดประจุนั้นๆ เพื่อให้เกิดการอัดประจุไปตามรูปแบบการอัดประจุที่ส่งมา

2) *TxDefaultProfile* เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าตามเวลาของสถานีอัดประจุ โดยต้องมีการป้องกันหากมีการเข้าอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าระหว่างวัน ซึ่งในการอัดประจุนี้หากตั้งค่า *ConnectorID* เป็น 0 จะเป็นการเลือกหัวชาร์จทุกหัว และหากตั้งค่า *ConnectorID* > 0 จะเป็นการเลือกหัวชาร์จแบบเจาะจง

3) *TxProfile* เป็นการส่งคำสั่งเพื่อไปสื่อสารกับสถานีอัดประจุให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการชาร์จระหว่างวัน โดยจะต้องทำการหยุดกระบวนการชาร์จก่อนแล้วจึงค่อยอัปเดตรูปแบบการอัดประจุเข้าไปใหม่ โดยจะเป็นการลบรูปแบบการอัดประจุเดิมทิ้งไปก่อน แล้วนำรูปแบบการอัดประจุใหม่มาใช้งาน

4) *StackLevel* เป็นข้อความสำคัญที่ทำให้สามารถตั้งค่ารูปแบบการอัดประจุในระยะเวลาที่ซับซ้อนกันได้หลายรูปแบบการชาร์จ โดยจะมีการเลือกว่าจะให้รูปแบบการอัดประจุใดมาใช้งานก่อนหรือหลังได้ ตามวันเวลาที่กำหนดได้

5) *ChargingSchedule* เป็นการกำหนดให้มีการจัดเวลาการอัดประจุตามตารางรูปแบบคำสั่งต่างๆ ที่ตั้งไว้ และกำหนดการจำกัดกระแสหรือกำลังไฟฟ้าตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยมี key message ดังนี้

a. *Duration* : เป็นการกำหนดช่วงเวลาในหน่วยวินาที ส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นระยะเวลา 1 วัน หรือ 24 ชม. หรือ 86400 วินาที

b. *startSchedule* : เป็นการกำหนดเวลาในการเริ่มรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้า

c. *chargingRateUnit* : สามารถเลือกแปรในการจำกัดได้ 2 ตัวแปร คือ กระแสไฟฟ้า (A) และกำลังไฟฟ้า (W)

d. *chargingSchedulePeriod* : เป็นการกำหนดระยะเวลาและค่าการจำกัดตัวแปรกระแสไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลานั้นๆ

e. *startPeriod* : ตำแหน่งเวลาใน *chargingSchedulePeriod*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้เผยแพร่เนื้อหาเพื่อใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดทอนเนื้อหา หรือลอกเลียนแบบซึ่งมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

f. limit : ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าที่ต้องการจำกัด

g. numberPhase : จำนวนระบบไฟฟ้า (1 เฟส หรือ 3 เฟส)

2.9 linear regression

เทคนิคของสมการถดถอยเชิงเส้นหรือลิเนียร์รีเกรซชัน Linear regression เป็นเทคนิคการคำนวณเพื่อการคาดคะเนกลุ่มของตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย (map a group of predictor variable, X) ต่อตัวแปรตอบสนอง (response variable, y) โดยโมเดลของสมการถดถอยเชิงเส้นสามารถนิยามได้จาก

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{w} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.1)$$

โดยที่ \mathbf{y} คือ เวกเตอร์ขนาด (nx1) ของตัวอย่างของตัวแปรตอบสนอง

\mathbf{X} คือ เมตริกซ์ขนาด (n x p) ของตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย (predictor variable) ที่มีคอลัมน์ (columns) แสดงตัวแปร (variable) และแถว (rows) แสดงตัวอย่าง (samples) หรือ การสังเกต (observations)

\mathbf{w} คือ เมตริกซ์ค่าน้ำหนัก (weight matrix) ขนาด (p x 1)

$\boldsymbol{\varepsilon}$ คือ เวกเตอร์ขนาด (nx1) ของความผิดพลาดที่เกิดจากการทำนาย

แต่สำหรับสมการรีเกรซชันที่มีจัดแกน y ที่ไม่เท่ากับ 0 (non-zero y -intercept) หรือค่า ไบอัส (bias) เกิด จะทำให้รูปแบบของสมการถดถอยเปลี่ยนไปเล็กน้อย โดยมีรูปแบบสมการสมการดังนี้

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{w} + \mathbf{b} + \boldsymbol{\varepsilon} = [\mathbf{X} \quad \mathbf{0}] * \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยการหาคำตอบของสมการลิเนียร์รีเกรชันเป็นการหาค่าถ่วงน้ำหนัก (weight, w) เพื่อนำไปใช้ในการคาดคะเนค่าของตัวแปร y จากตัวแปรตัวแปร x โดยทำนายค่าดังกล่าวได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$y = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 + \dots + w_px_p + \varepsilon \quad (2.3)$$

โดยที่สมการที่ 2.3 เป็นสมการที่ถูกนำมาใช้หาเมตริกของค่าถ่วงน้ำหนัก โดยเมตริกที่ได้นั้นเหมาะสำหรับทำการ least squares sense โดยผลสุดท้ายทำให้หาค่าผลรวมของค่าความผิดพลาดยกกำลังสอง (sum of square error, SSE) มีค่าต่ำที่สุด

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y - Xw)^2 \quad (2.4)$$

โดยที่ n คือรูปแบบ (pattern)
 \hat{y} คือค่าที่ทำนายของ

หากเมตริก X เป็นเมตริกที่สามารถอินเวิร์สได้ การหาค่าถ่วงน้ำหนักจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$w = X^{-1} * y \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

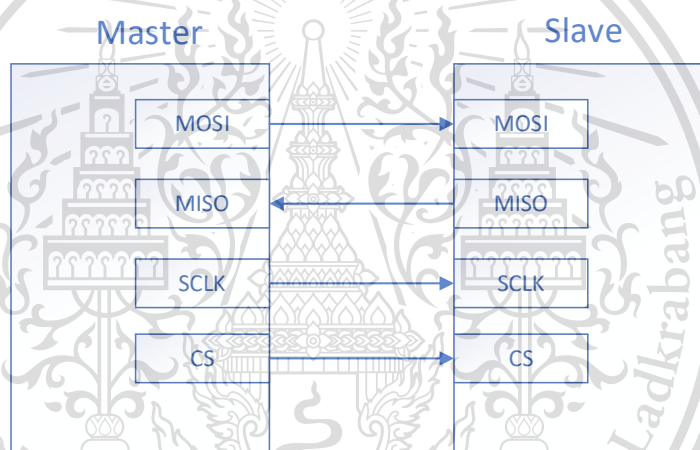
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.11 หลักการสื่อสารบนพอร์ตซีเรียลเอสพีไอ (SPI communication)

การสื่อสารโดยใช้การสื่อสารแบบเอสพีไอนั้นเป็นที่แพร่หลายในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ ที่มีการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแล้ว หรือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล

โดยการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แบบเอสพีไอนั้น เป็นการสื่อสารชนิดซิงโครนัส (Synchronous) โดยมีอุปกรณ์หลัก ๆ คือ มาสเตอร์ (Master) และ สเลฟ (Slave) โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งจากมาสเตอร์ไปสู่สเลฟโดยการส่งนั้นจะเป็นระลอก ๆ สัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ตรงขอบสัญญาณขาขึ้นหรือขาลง โดยข้อมูลที่ทำการส่งไปและกลับนั้นจะทำงานในขณะเดียวกัน การสื่อสารชนิดนี้จะมีสายสัญญาณ 3 ถึง 4 สาย แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ 4 สาย



รูปที่ 2.8 รูปแบบการสื่อสารของโปรโตคอล SPI

โดยสายที่ใช้ในการสื่อสารมีดังนี้

1. MOSI (Master Output Slave Input) เป็นช่องสำหรับสัญญาณที่มาสเตอร์ทำการส่งข้อมูลไปยังสเลฟเพื่อเป็นการสั่งการให้สเลฟส่งข้อมูลตามสัญญาณนาฬิกาผ่านช่องสัญญาณ MISO (Master Input Slave Output)

2. MISO คือ Master Input Slave Output เป็นช่องสัญญาณสำหรับการส่งค่าของสเลฟไปยังมาสเตอร์เมื่อมาสเตอร์ได้ส่งสัญญาณสั่งค่ามาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

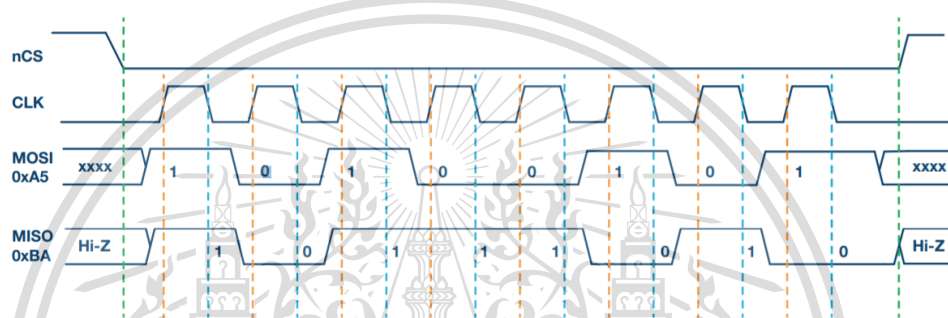
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. SCLK คือ Clock เป็นสัญญาณสำหรับการกำหนดจังหวะการรับหรือส่งข้อมูล โดยการรับหรือส่งข้อมูลนั้นจะนับที่บริเวณสัญญาณขาขึ้นหรือขาลง

4. CS คือ Chip select เป็นช่องสัญญาณที่อยู่ในภาวะปกติมาสเตอร์ส่งสัญญาณสูง (Active High) และเมื่อมีการทำงานมาสเตอร์จะส่งสัญญาณต่ำเพื่อทำการเลือกสเลฟและเริ่มการสื่อสาร

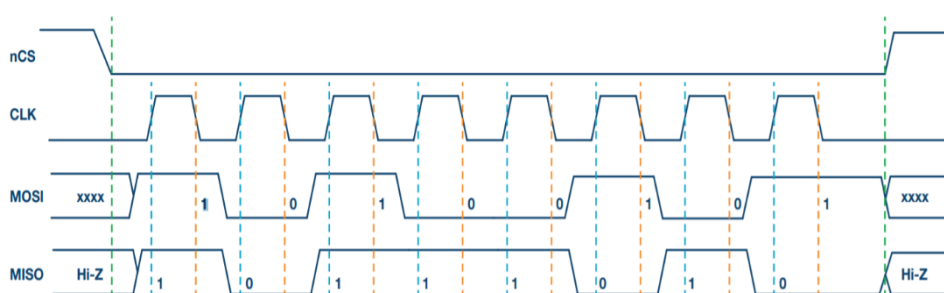
โดยการอ่านค่าใน SPI นั้น มีอยู่ด้วยกัน 4 โหมดการสื่อสาร ดังนี้



รูปที่ 2.9 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 0

โหมด 0

สัญญาณนาฬิกาในสถานะปกติจะเป็นค่าตรรกะไฟต่ำ (Logic low) ในการรับหรือส่งข้อมูลนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา โดยข้อมูลที่ส่งจะถูกนับที่ขอบขาขึ้น และข้อมูลที่รับจะนับที่ตำแหน่งขาลงของสัญญาณนาฬิกา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

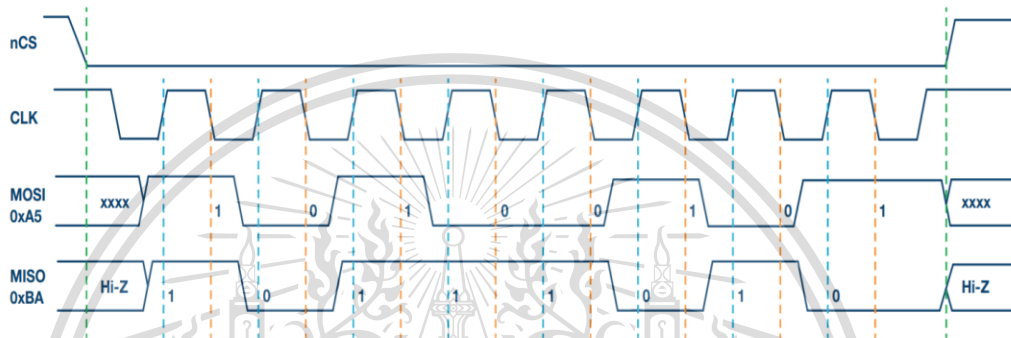
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.10 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 1 รังที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โหมด 1

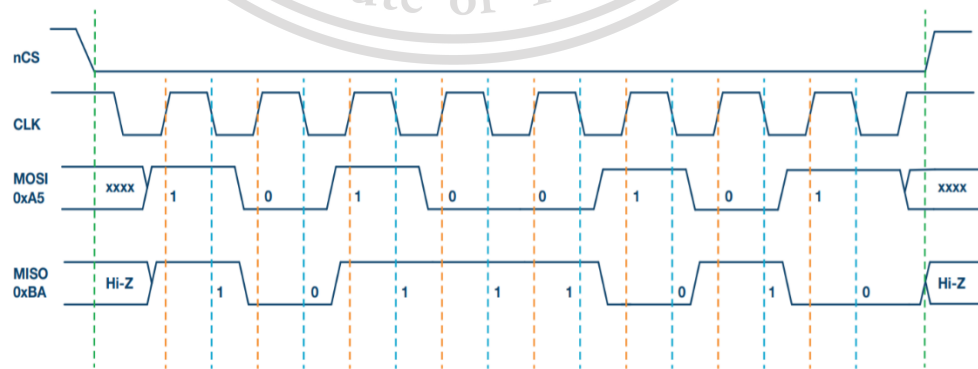
สัญญาณนาฬิกาจะเริ่มต้นจากสถานะไฟต่ำ (Logic low) ค่าสัญญาณที่ช่อง MOSI จะถูกนับที่ตำแหน่งขาลงของสัญญาณนาฬิกาและค่าสัญญาณที่ช่อง MISO จะถูกนับที่ตำแหน่งขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2.11 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 2

โหมด 2

สัญญาณนาฬิกาในสภาวะปกติจะเป็นค่าตรรกะไฟสูง (Logic High) ค่าสัญญาณที่ช่อง MOSI จะถูกนับที่ตำแหน่งขาลงของสัญญาณนาฬิกาและค่าสัญญาณที่ช่อง MISO จะถูกนับที่ตำแหน่งขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2.12 รูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระหว่างโปรโตคอลในโหมด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โหมด 3

สัญญาณนาฬิกาในสถานะปกติจะเป็นค่าตรรกะไฟสูง (Logic High) ในการรับหรือส่งข้อมูลนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา โดยข้อมูลที่ส่งจะถูกลบที่ขอบขาขึ้น และข้อมูลที่รับจะนับที่ตำแหน่งขาลงของสัญญาณนาฬิกา

2.12 ภาวะความต้องการกำลังไฟฟ้าเกินในหม้อแปลง

ในภาวะปกติ หม้อแปลงนั้นจะออกแบบให้มีความเหมาะสมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าโหลด รวมไปถึงมีการกำหนดพิกัดเผื่อความต้องการกำลังไฟฟ้าโหลดที่อาจจะเพิ่มขึ้นในอนาคต แต่เนื่องด้วยโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงและต้องการการอัดประจุที่ใช้เวลานาน จึงมีความเสี่ยงสูงที่จะทำให้หม้อแปลงต้องรับภาระโหลดเกินพิกัด การรับภาระโหลดเกินพิกัดเป็นเวลานานจะส่งผลต่ออุปกรณ์และระบบไฟฟ้าหลายๆอย่าง ดังนี้

1. ส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้ามาก ซึ่งเมื่อฉนวนหม้อแปลงได้รับความร้อนบ่อยๆ หรือ เป็นระยะเวลานาน จะมีผลทำให้ฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าเสื่อมไวกว่ากำหนด ซึ่งทำให้อายุของหม้อแปลงสั้นลงเป็นอย่างมาก เช่น หม้อแปลงที่ควรจะใช้กันได้ 25 ปี เหลือระยะเวลาการใช้งานเพียง 10 ปี
2. ในกรณีที่เกิดความร้อนสะสมในหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก จนความร้อนถึงค่าอุณหภูมิวิกฤติที่ฉนวนจะทนความร้อนได้ อาจจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดเพลิงไหม้ หรือ เกิดระเบิดได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้รับความเสียหายจากภาวะโหลดเกินพิกัดหากเกิดความเสียหายรุนแรงมาก อาทิ เกิดหม้อแปลงระเบิดจะส่งผลให้ระบบไฟฟ้าจะไม่สามารถทำงานได้หรือ เกิดเหตุการณ์ไฟดับซึ่ง ก็จะส่งผลให้ดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าต่ำลง และเกิดผลกระทบกับหลายส่วน ทั้งทางเศรษฐกิจและทางสังคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการออกแบบวงจร

3.1 บทนำ

ในการออกแบบการจัดการ การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า (EV Charging Management) คือการนำประโยชน์จากระบบโหลดที่พิกัดอาศัย (Residual Network) มาจัดการ การอัดประจุในลักษณะปกติ ให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่างๆเช่น ป้องกันระบบไม่ให้บริการโหลดเกินพิกัด (System Overloading Prevention) หรือลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตไฟฟ้า (Demand-Response)

ในส่วนของวงจรไฟฟ้าที่ใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ๆ จะต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำและเชื่อถือได้ของวงจรวัด ในอุปกรณ์วัดค่าผู้จัดทำได้เลือกใช้ชิปรหัส ADE7758 ซึ่งเป็นชิปสำหรับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า(Power meter) โดยชิปดังกล่าวสามารถวัดกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟารวม และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ และชิปดังกล่าวสามารถส่งข้อมูลที่ทำกรวัด ผ่านสายสัญญาณแบบ serial ชนิด serial peripheral interface ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ โดยไมโครคอมพิวเตอร์ได้มีหน้าที่ส่งค่าไปยังฐานข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลแลพทำการจัดการการอัดประจุยานยนต์ โดยใ้การควบคุมจากระยะไกล

3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

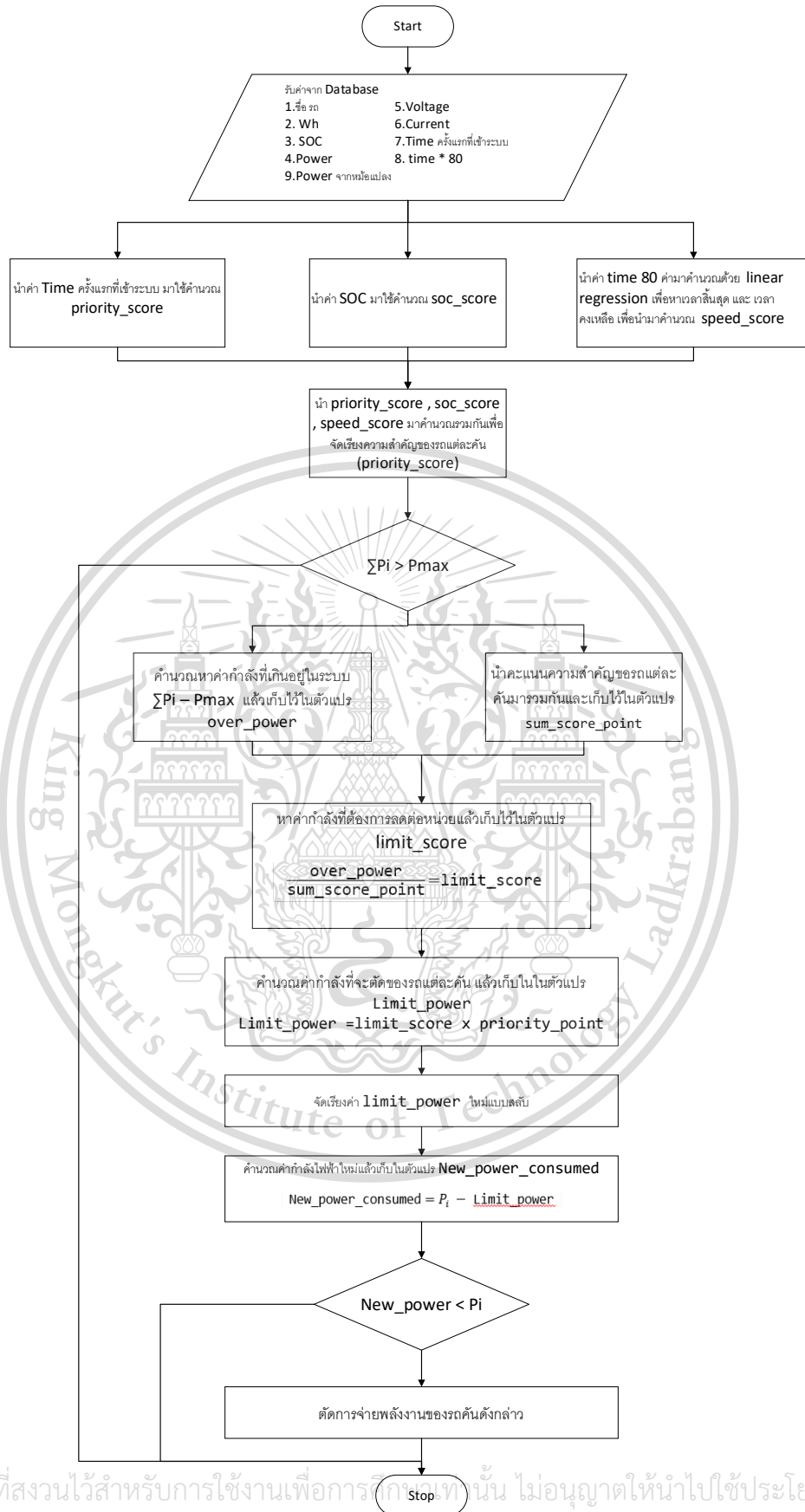
3.2.1 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

โครงสร้างโดยรวมของสถาปัตยกรรมในการจัดการ การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ได้ถูกออกแบบไว้ด้วยภาษา Python โดยจะนำข้อมูลการเข้าอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันเข้ามาในระบบประมวลผลนำค่า Time ครั้งแรกที่เข้าระบบ มาใช้คำนวณ priority_score, นำค่า SOC มาใช้คำนวณ soc_score, นำค่า time * 80 มาคำนวณ linear regression เพื่อหาเวลาสิ้นสุด และเวลาคงเหลือ เพื่อนำมาคำนวณ speed_score, นำ priority_score , soc_score , speed_score มาคำนวณรวมกันเพื่อ จัดเรียงความสำคัญของรถแต่ละคัน หลังจากนั้นหากหม้อแปลงถึงพิกัดที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถจ่ายพลังงานได้จะปรับขนาดการจ่ายพลังงานของรถคันในระบบจนกว่ากำลังที่ใช้จะลดลงน้อยการคำนวณว่ากรณใดดีกว่า พิกัดของหม้อแปลง โดยคันที่มีคะแนนสูงจะได้ลดน้อยคันที่มีคะแนนน้อยจะโดนปรับมากการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของอัลกอริทึม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 การตรวจรับข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณนำมาจากฐานข้อมูลโดยจำลองค่าการบริโภคพลังงาน, การเปลี่ยนแปลง SOC ,ค่าการบริโภคกระแส,แรงดันและกำลังของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน โดยอ้างอิงจากการบริโภคพลังงานของรถยนต์ 3 รุ่นได้แก่ hyundai ioniq ,MG zs EV, BMW i3 แล้วนำไปเก็บในฐานข้อมูลด้วย MySQL และนำข้อมูลชื่อรถ , Wh, SOC,กำลัง,เวลาเริ่มชาร์จ,ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเปลี่ยนแปลง SOC มาประมวลผลในสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เขียนด้วยภาษา Python

3.2.3 การจัดเรียงลำดับข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการมาแล้ว นำข้อมูลการเข้าอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันเข้ามาในระบบประมวลผลนำค่า Time ครั้งแรกที่เข้าระบบ มาใช้คำนวณ priority_score, นำค่า SOC มาใช้คำนวณ soc_score, นำค่า time 80 ค่ามาคำนวณด้วย linear regression เพื่อหาเวลาสิ้นสุด และ เวลาคงเหลือ เพื่อนำมาคำนวณ speed_score, แล้วนำ priority_enter_score , soc_score , speed_score มาคำนวณรวมกันเพื่อ จัดเรียงความสำคัญของรถแต่ละคันแล้วเก็บไว้ในตัวแปร priority_score

3.2.4 การควบคุมระบบการจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การควบคุมระบบการจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เริ่มจากการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าที่รถทุกคนในระบบต้องการ ($\sum P_i$)ว่ามากกว่าพลังงานที่ระบบจ่ายได้หรือไม่ (P_{max}) หาก $\sum P_i > P_{max}$ จะทำการคำนวณหาค่าพลังงานที่ความต้องการเกินกว่าที่ระบบสามารถจ่ายได้แล้วเก็บไว้ในตัวแปร over_power และ คำนวณค่าผลรวม priority_score ของรถทุกคนในระบบแล้วเก็บไว้ในตัวแปร sum_score_point หลังจากนั้นหาค่า limit_score จาก $\frac{over_power}{sum_score_point}$ แล้วนำ limit_score คูณกับ priority_point เพื่อหาค่า limit_power

$$\mathbf{limit_power}_i = \mathbf{limit_score}_i \times \mathbf{priority_point}_i \quad (3.1)$$

$$\mathbf{New_power_consumped}_i = \mathbf{P}_i - \mathbf{limit_power}_n \quad (3.2)$$

$$\mathbf{New_power_consumped}_i < \mathbf{P}_i \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ค่า limit power สามารถหาได้จากสมการที่ (3.1) หลังจากนั้นหาค่ากำลังที่รถต้องจ่ายใหม่หลังโดน limit โดย สมการที่ (3.2) จากนั้นตรวจสอบอีกครั้งว่ากำลังที่รถแต่ละคันโดนตัดต่ำกว่ากำลังที่รถแต่ละ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คืนจ่ายได้หรือไม่ หากสมการที่ 3.3 จะทำการตัดรถคันนั้นออกจากระบบแล้วดำเนินการสั่งชาร์จรถคันที่เหลือด้วย

การควบคุมระบบการจัดการพลังงานระยะไกลสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มจากการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าที่รถทุกคนในระบบต้องการ ว่ามากกว่าพลังงานที่ระบบจ่ายได้หรือไม่ หากกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสุทธิมากกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่พิกัดของหม้อแปลงจะทำการคำนวณหาค่าพลังงานที่ความต้องการเกินกว่าที่ระบบสามารถจ่ายได้แล้วเก็บไว้ในตัวแปร `over_power` และคำนวณค่าผลรวม `priority_score` ของรถทุกคันในระบบแล้วเก็บไว้ในตัวแปร `sum_score_point` หลังจากนั้นหาค่า `limit_score` จาก $\frac{over_power}{sum_score_point}$ แล้วนำ `limit_score` คูณกับ `priority_point` เพื่อหาค่า `limit_power` โดยการคูณนั้นจะเป็นการคูณแบบสลับคือ

$$\mathbf{limit_score}_i \times \mathbf{priority_point}_n \quad (3.4)$$

3.3 การออกแบบวงจร

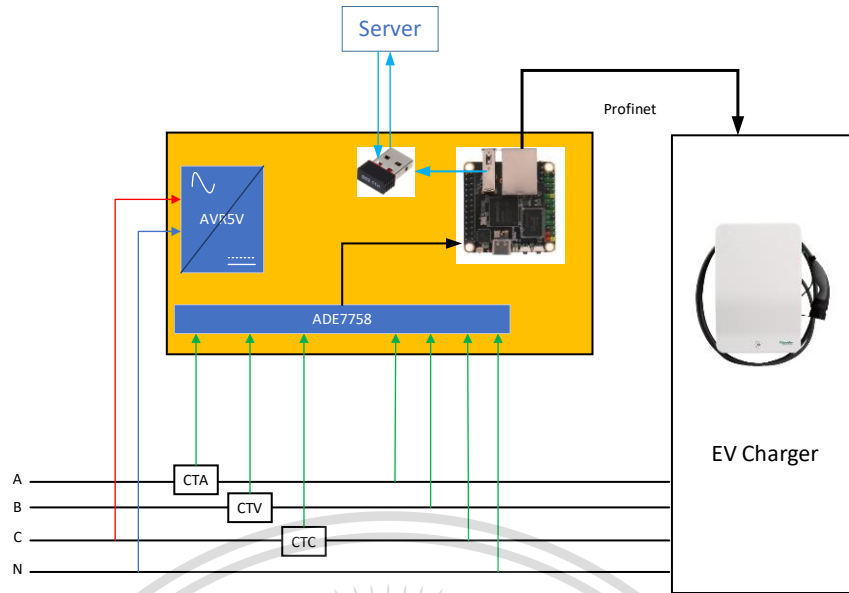
ในวงจรวัดค่ากำลังไฟฟ้า คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ชิป ADE7758 ในการวัดค่า และเลือกใช้ NanoPi neo2 เป็นส่วนภาคประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลและควบคุมผ่านทางไกล (Remote Command) เพื่อทำการควบคุมการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า

โดยภายในวงจรดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ภาค คือภาควัดค่าพารามิเตอร์ ภาคสื่อสารภายในวงจรแบบซีเรียลชนิด serial peripheral interface (SPI) และ ภาคจ่ายพลังงานให้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

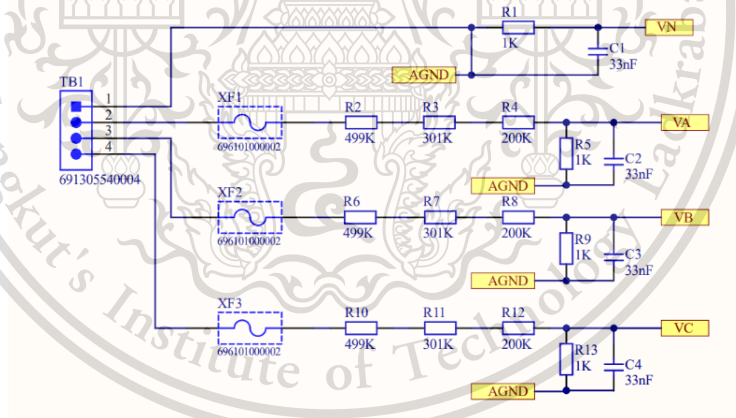
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมและวัดส่งค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

3.3.1 ภาควัดค่าพารามิเตอร์

3.3.1.1 วงจรวัดแรงดัน



รูปที่ 3.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากชิป ADE7758 ไม่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ได้โดยตรง ดังนั้นในวงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องมีวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ตามพิกัดแรงดันที่ชิปดังกล่าว สามารถวัดได้โดยชิปสามารถรับแรงดันได้สูงสุด 0.5 โวลต์ โดยผู้ทำการออกแบบได้ออกแบบให้อุปกรณ์ สามารถวัดค่าได้มากที่สุดที่ 500 โวลต์ โดยตัวต้าน 1000 กิโลโอห์ม และใช้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า สำหรับให้ ADE7758 ทำการคำนวณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้รับใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการ $V_2 = V_1 \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$ (3.5)

$$V_2 = 220 \left(\frac{1k}{(499k + 301k + 200k) + 1k} \right)$$

$$V_2 = 220 \left(\frac{1k}{(499k + 301k + 200k) + 1k} \right)$$

$$V_2 = 0.21978 \text{ V}$$



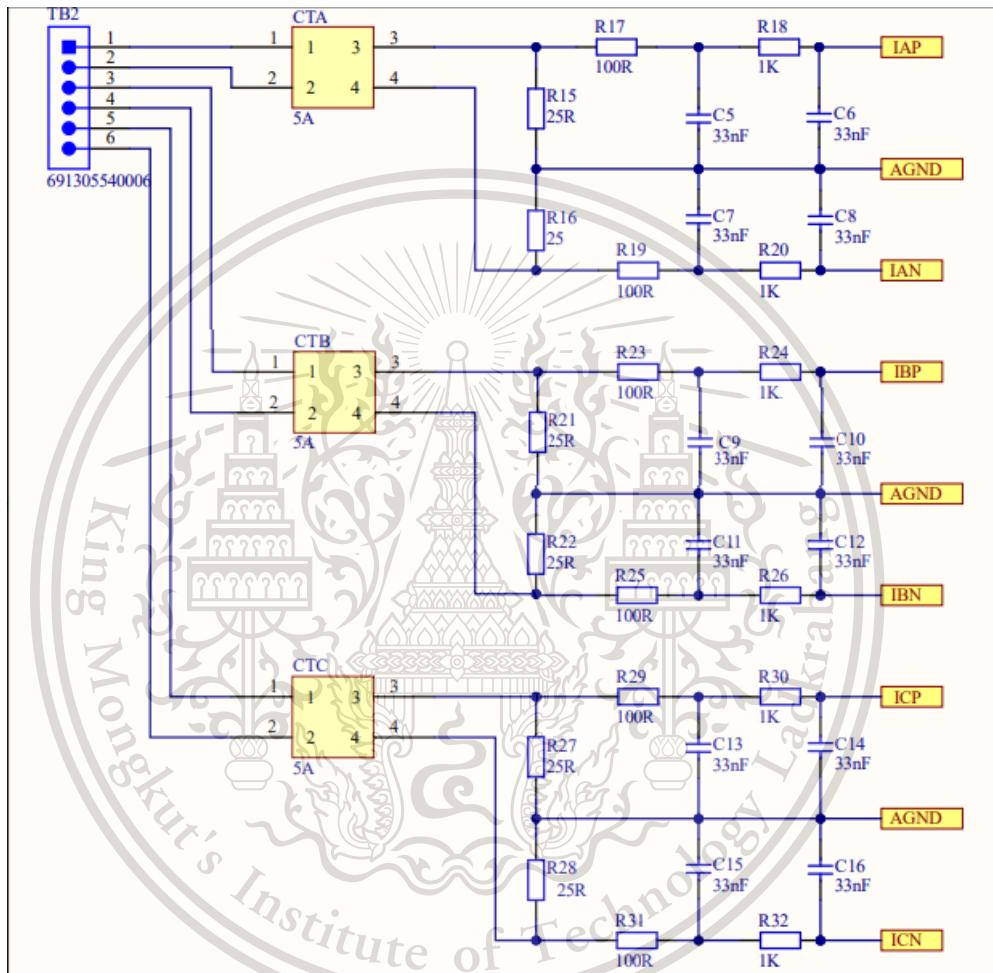
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1.2 วงจรสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า

เลือกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 5A/1V และใช้ค่าความต้านทานตามคู่มือการใช้ชิปADE7758 โดยในวงจรการวัดกระแสไฟฟ้าประกอบไปด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงเพื่อให้ลดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้



รูปที่ 3.4 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

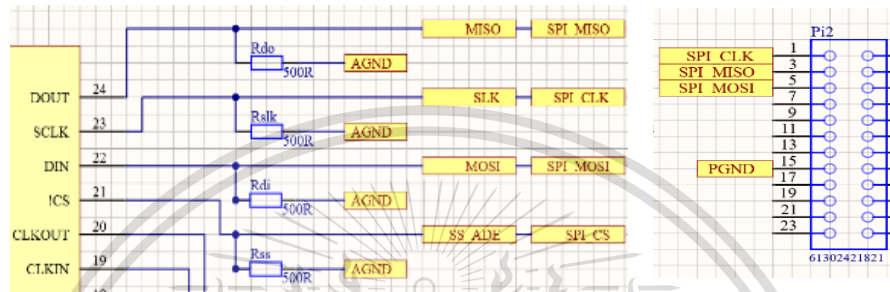
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 ภาคสื่อสารภายในวงจรแบบซีเรียลชนิด Serial peripheral interface (SPI)

3.3.2.1 การดึงข้อมูลจากชิป ADE7758

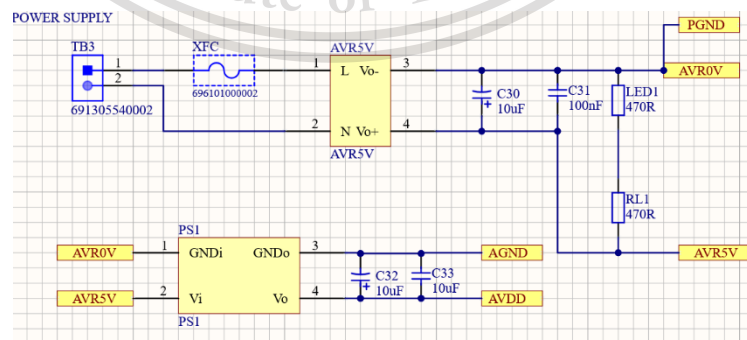
ในการออกแบบวงจรดึงข้อมูลผ่านพอร์ต SPI เลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม เพื่อปรับคุณภาพของสัญญาณ และเพื่อเป็นการกรองกระแสออกเพื่อนำค่าแรงดันจากสัญญาณไปใช้ในการประมวลผลในไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 วงจรการสื่อสารระหว่าง ADE7758 กับ pin ของ NanoPi

3.3.3 ภาคแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับวงจรวัดค่ากำลังไฟฟ้า

เนื่องจากไมโครคอมพิวเตอร์ NanoPi neno2 ทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องทำการลดทอนแรงดันโดยใช้เรกกูเรเตอร์ (Regulator) และทำการแยกจุดอ้างอิงระหว่างภาคการวัดและภาคแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้ converter 5 โวลต์ขาเข้า 5 โวลต์ขาออก เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายและความเที่ยงตรงของวงจรภาควัดพารามิเตอร์



รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 การแปลงค่าดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to analog conversion)

ค่าดิจิทัลที่ได้จากการอ่านค่าของชิป ADE7758 นั้นมีขนาด 3 ไบต์ เพราะฉะนั้นชิปดังกล่าวจะสามารถแสดงค่าที่อ่านได้ตั้งแต่ 0 ถึง 16777215 โดยในการแปลงค่าที่วัดได้นั้นจึงต้องมีการใช้ค่าเทียบกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power quality analyzer) ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยเพื่อความถูกต้องในการวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า



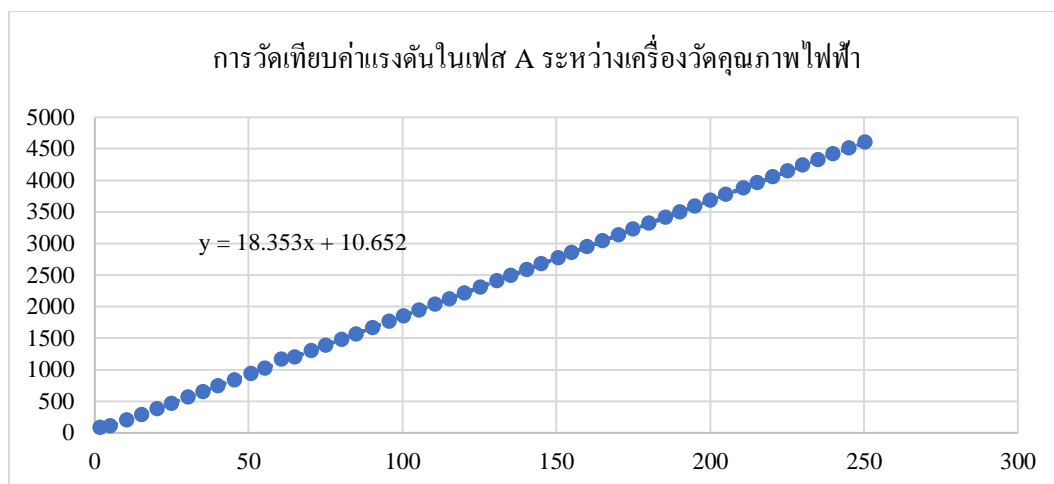
รูปที่ 3.7. การวัดเทียบเพื่อแปลงค่าจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก

โดยค่าที่วัดมาได้จากเครื่องวัดคุณภาพ กับ ค่าที่อ่านได้จากชิป ADE7758 ถูกเก็บโดยผู้ทำการเทียบโดยค่าถูกบันทึกในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาสมการที่ใช้ในการแปลงค่าที่อ่านเป็นดิจิทัลให้เป็นอนาล็อกโดยมีผลการวัดเทียบดังกราฟต่อไปนี้

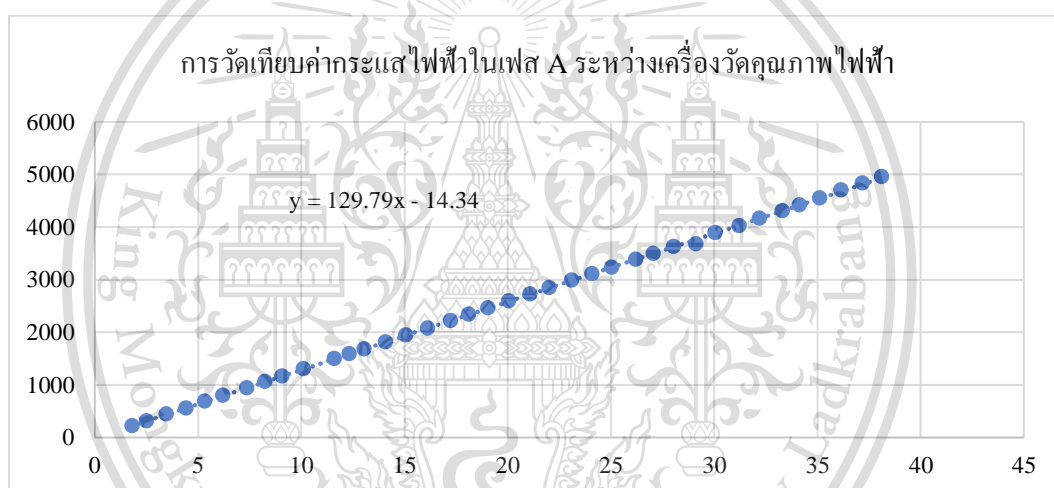
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส A ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

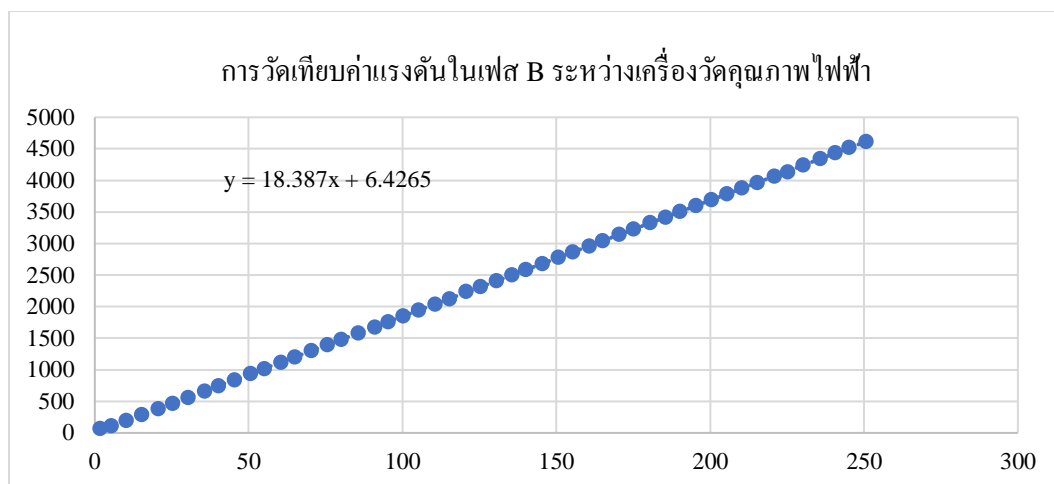


รูปที่ 3.9 การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส A ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

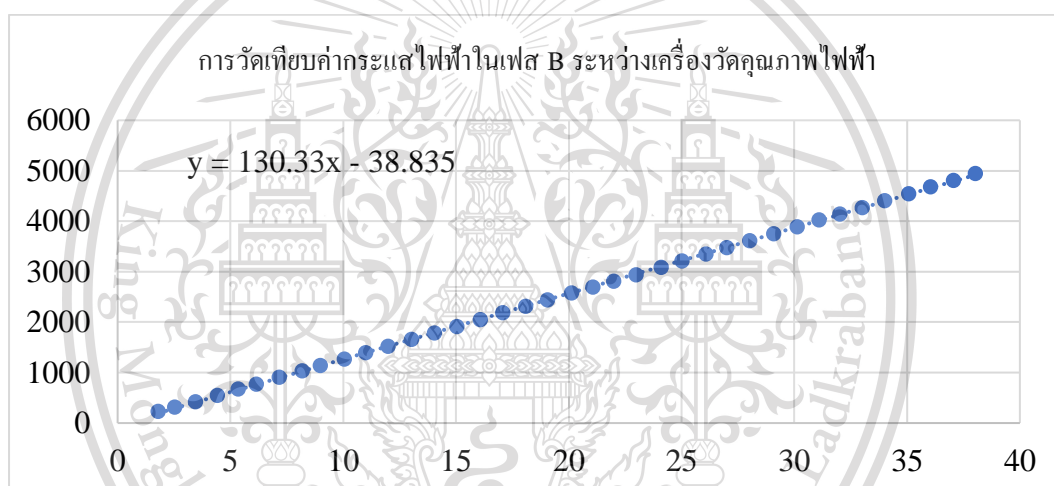
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส B ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

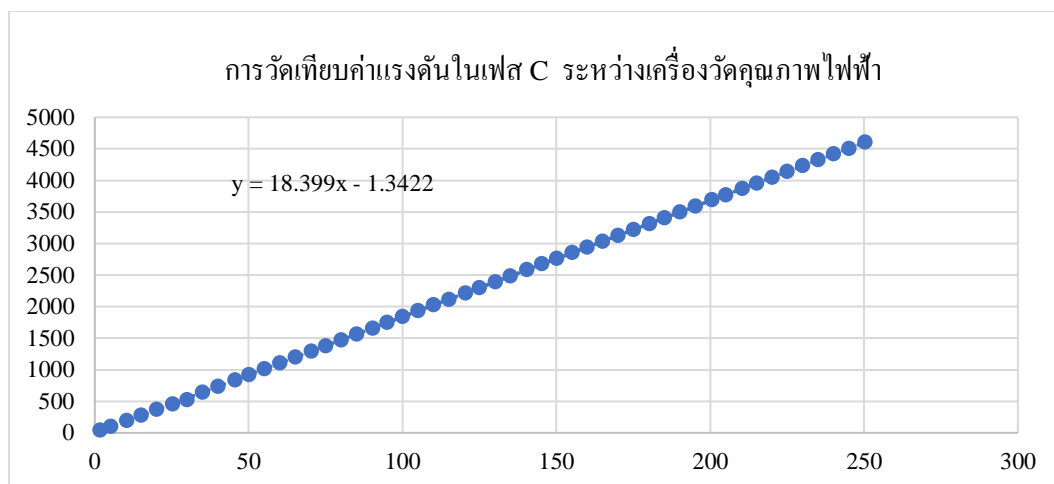


รูปที่ 3.11 การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส B ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

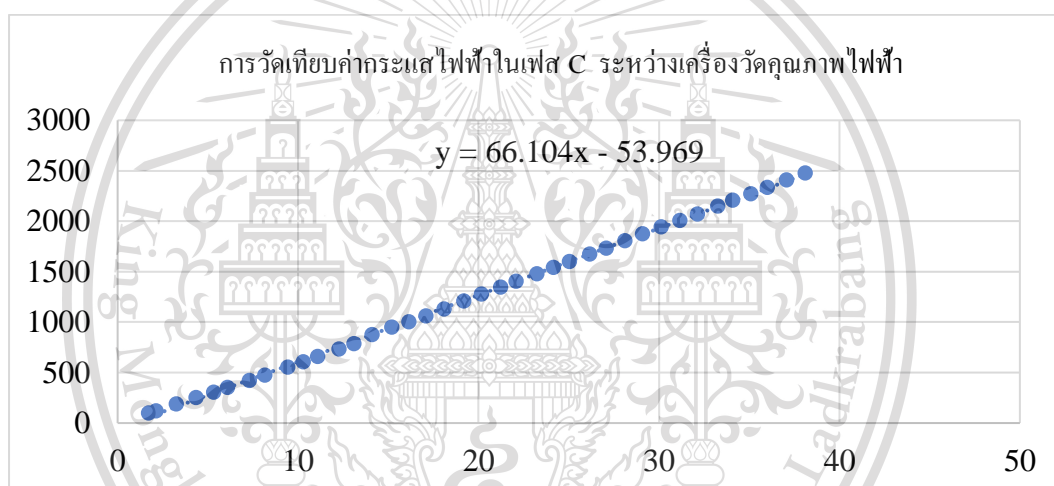
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 การวัดเทียบค่าแรงดันในเฟส C ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า



รูปที่ 3.13 การวัดเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส C ระหว่างเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

จากการวัดเทียบค่าแรงดันและกระแสนั้นได้สมการของการแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิทัลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 สมการผลการสอบเทียบค่าแรงกันและกระแสไฟฟ้า 3 เฟสของอุปกรณ์ต้นแบบ

เฟส	A	B	C
ค่าพารามิเตอร์			
แรงดัน	$y = 18.353x + 10.652$	$y = 18.387x + 6.4265$	$y = 18.399x - 1.3422$
กระแส	$y = 129.79x - 14.34$	$y = 130.33x - 38.835$	$y = 66.104x - 53.969$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การออกแบบและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและผลการทดลองซึ่งจะแบ่งเป็น 5 การทดลองดังนี้

1. การทดสอบการรับค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า
2. การทดสอบการส่งค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า
3. การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า
กับโหนดทดสอบ
4. การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า
กับโหนดยานยนต์ไฟฟ้า
5. การทดสอบจำลองการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกลขณะมียานยนต์
ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า

4.2 การทดสอบการรับค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

ระบบควบคุมการจัดการพลังงานระยะไกล มีส่วนประกอบหนึ่งของระบบที่สำคัญคือ การใช้วงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ตรวจวัดค่า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เพื่อส่งค่าขึ้นสู่ Server ซึ่งใช้ประกอบกับการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกล ค่าดังกล่าว ที่แต่ละวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าส่งขึ้น Server จะมีผลโดยตรงต่อการพิจารณาลำดับ Priority ของแต่ละเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า จึงต้องการความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการตรวจวัดค่า จึงต้องมีการทดสอบการสอบเทียบค่า โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงสำหรับการสอบเทียบเป็นเครื่องมือวัดมาตรฐาน มีความแม่นยำสูง สามารถสอบเทียบให้วงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

1. Controlling and measurement device : สำหรับการตรวจวัดค่าที่เป็น ค่า Analog
2. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Tranformer) : สำหรับลดกระแสจากวงจรกำลัง เพื่อส่งค่าที่ตรวจวัดสู่วงจรควบคุมของ measurement device
3. HIOKI Power Analyzer PW6001 : สำหรับเป็นเครื่องวัดอ้างอิงกับการสอบเทียบ
4. แผงโหลดหลอดไฟ : สำหรับใช้เป็นโหลดของวงจรไฟฟ้า

4.2.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง

เมื่อทำการปรับค่าแล้วความแม่นยำในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจะถูกต้องเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อชุดวงจรวัดค่าที่ได้ทำการออกแบบกับโหลดหลอดไฟเพื่อวัดค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากโหลดหลอดไฟดังกล่าว และให้ค่าที่วัดได้แสดงผลบนจอแสดงผลของคอมพิวเตอร์

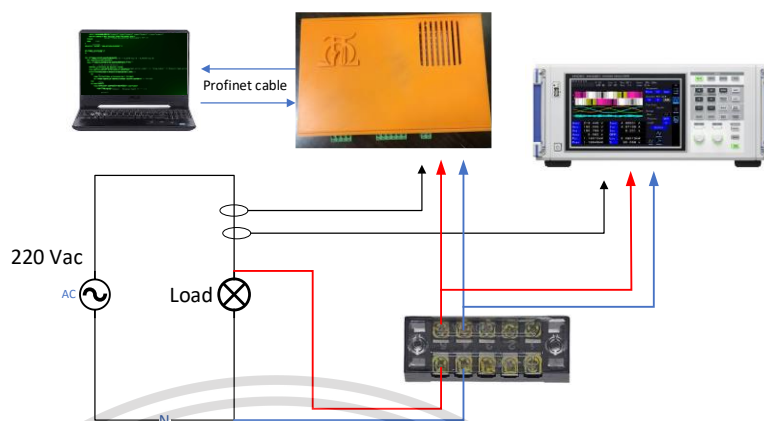


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
 รูปที่ 4.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลองการสอบเทียบ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ต่อเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า HIOKI PW6001 วัดค่ากระแสและแรงดันที่
ได้จากโหลดโดยใช้การทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 4.2 การต่อวงจรเพื่อทดลองการสอบเทียบ

3. ต่อเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า HIOKI PW6001 วัดค่ากระแสและแรงดันที่
ได้จากโหลดโดยใช้การทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 13. ทำการปรับค่าโดยใช้หม้อแปลง
ปรับค่าแรงดันแล้วบันทึกค่าที่วัดได้ทั้งจากชุดวงจรควบคุมตู้ชาร์จที่ทำการออกแบบเทียบกับ
ค่าที่ทำการวัดจาเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า HIOKI PW6001

4. ทำการปรับค่าโดยใช้หม้อแปลงปรับค่าแรงดันแล้วบันทึกค่าที่วัดได้ทั้ง
จากชุดวงจรควบคุมตู้ชาร์จที่ทำการออกแบบเทียบกับค่าที่ทำการวัดจาเครื่องวัด
สัญญาณไฟฟ้า HIOKI PW6001

5. ทำการเทียบค่าและหาค่าร้อยละความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ควบคุมตู้
ชาร์จกับเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า

6. ทำการคูณปรับค่าโดยใช้ค่าร้อยละของความแตกต่าง

7. เปรียบเทียบค่าสุดท้ายแล้วบันทึกค่าร้อยละความแตกต่างสุดท้าย

4.2.4 ผลการทดลอง

การทดสอบนี้ทำการสอบเทียบการรับค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์
ไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัด HIOKI Power Analyzer PW6001 เป็นเครื่องวัดอ้างอิง การทดสอบนี้ทำการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สอบเทียบทั้ง 3 เฟส ของระบบไฟฟ้า ซึ่งผลการทดสอบแบ่งเป็น ผลการทดสอบของ ก่อนการสอบเทียบ และหลังการสอบเทียบ

ผลการทดสอบของ เฟส A ก่อนการสอบเทียบ แสดงดัง ตารางที่ 4.1 และหลังการสอบเทียบ แสดงดัง ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ

ค่าความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ									
	Voltage			Current			Appearance power		
Phase	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	0.512778	0.357282	0.190205	4.073288	4.636357	5.654978	8.889785	4.207442	5.471761

ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ

ค่าความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ									
	Voltage			Current			Appearance power		
Phase	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	0.491815	0.293796	0.190875	0.218789	0.400991	1.313774	0.847943	0.500021	1.429676

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์ควบคุมตู้ชาร์จก่อนปรับค่า และหลังปรับค่า

Phase	แรงดัน		กระแส		กำลังปรากฏ	
	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
A	0.512777625	0.49181509	4.073287609	0.218788586	8.889784585	0.84794296
B	0.357281537	0.293795501	4.636357375	0.400990624	4.207442363	0.500021242
C	0.190204572	0.190875208	5.65497845	1.313774254	5.47176071	1.429676276

4.2.5 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จากการทำการสอบเทียบค่าที่เห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละพารามิเตอร์และแต่
ไม่ว่ากรณีใดละเฟสมีค่าลดลงดังตารางที่ 4.3 ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การทดสอบการส่งค่าของวงจรควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการดำเนินการหลังจากได้ทำการทดสอบค่าความแม่นยำในการวัดของอุปกรณ์ต้นแบบ โดยเมื่อได้ค่าที่ต้องการวัดแล้ว จะทำการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลและหลังจากนั้นจะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลหน้าจอแสดงผลผ่านเว็บไซต์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยในการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการส่งค่าไปยังระบบฐานข้อมูลและการดึงข้อมูลมาแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ที่เราออกแบบไว้แบบ Real - time

4.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

1. Power meter hioki CM3286-01 : Accuracy : $\pm 1.5\%$ rdg. ± 0.02
2. labtop / computer ในการสื่อสารกับอุปกรณ์ต้นแบบ
3. labtop / computer ในเรียกดูหน้าจแสดงผลผ่านเว็บไซต์
4. อุปกรณ์ต้นแบบในการวัดและส่งค่ากำลังไฟฟ้า
5. ชุดโพลทดสอบ เนื่องจากในการทำการทดลองครั้งนี้ ไม่สามารถทดสอบกับเครื่องอัดประจุจริงได้ คณะผู้จัดทำจึงได้ใช้โพลทดสอบไฟทั้งสแตน 100 w 19 หลอด จำนวน 1900 w
6. หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส พิกัดแรงดัน 250 พิกัดกระแส 16 A

4.3.2 ข้อเสนอพื้นฐานสำหรับการทดลอง

ค่าจากวัดค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ของการวัดด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ ค่าจากการวัดด้วย Power meter hioki CM3286-01 ค่าที่การวัดที่ส่งค่าเก็บไว้ในบนฐานข้อมูลและค่าที่แสดงผลบนหน้าจแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์ ต้องมีค่าตรงกัน ณ ตำแหน่งเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่ออุปกรณ์ต้นแบบกับแหล่งจ่ายไฟ Labtop และชุดโพลิตทดสอบดังเช่นการทดลองที่ 4.2
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้เข้ากับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า และปรับค่าแรงดันไปที่ 220 V จากนั้นทำการต่อเข้ากับชุดโพลิตทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแส 16 AT
3. ทบสายไฟจำนวน 6 รอบ เพื่อทำการปรับย่านการวัดกระแสให้มากขึ้น หลังจากนั้นทำการคล้องด้วยหม้อแปลงแรงดัน 50/5 A และเครื่องมือวัด Power meter Hioki ทางด้านสาย Line ก่อนเข้าสู่ชุดโพลิตทดสอบ
4. ปรับเพิ่มกระแสโดยทำการเปิดสวิตช์ของชุดโพลิตทดสอบทีละสวิตช์เพื่อวัดค่ากระแสของชุดโพลิตทดสอบ
5. สังเกตและบันทึกค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ณ ตำแหน่งเวลาเดียวกัน

4.3.4 ผลการทดลอง

การทดลองได้ทำการเก็บค่าข้อมูลพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ณ ตำแหน่งเวลาใกล้เคียง โดยจะทำการเปรียบเทียบเครื่องมือการวัดและแสดงผล ได้แก่ Power Meter HIOKI , DASHBOARD และ DATABASE ซึ่งได้ทำการบันทึกค่าและได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 - 4.6

ตารางที่ 4.4 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดย Power meter HIOKI

ตำแหน่ง เวลาการวัด	Power meter HIOKI			
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา
1	226.5	0.00	0.000	22:00:50 น.
2	222.5	20.39	4550	21:59:00 น.
3	221.3	27.43	6070	21:57:25 น.
4	221.1	29.39	6510	21:57:15 น.
5	221.2	27.43	6070	21:55:25 น.
6	222.5	23.32	5190	21:54:30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่พิมพ์นี้ไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7	222.6	21.22	4720	21:53:20 น.
8	223.4	17	3800	21:52:30 น.

ตารางที่ 4.5 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดยหน้าจอแสดงผลผ่านเว็บไซต์

ตำแหน่ง เวลาการวัด	DASHBOARD			
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา
1	231.07	3.43	0.0148	22:00:48 น.
2	222.537	27.415	6100.85	21:59:00 น.
3	221.861	26.61	5903.53	21:57:26 น.
4	221.707	29.7181	6588.69	21:57:19 น.
5	26.6083	221.496	5893.64	21:55:24 น.
6	222.449	24.0513	5350.18	21:54:29 น.
7	223.382	22.8131	5096.02	21:52:55 น.
8	224.236	18.9477	4248.75	21:52:34 น.

ตารางที่ 4.6 การแสดงค่าค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าโดย DATABASE

ตำแหน่ง เวลาการวัด	DATABASE			
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา
1	231.25	3.43	0.0148	22:00:48 น.
2	222.537	27.415	6100.85	21:59:00 น.
3	221.861	26.61	5903.53	21:57:26 น.
4	26.6092	221.861	5903.53	21:57:19 น.
5	26.6083	221.496	5893.64	21:55:24 น.
6	222.449	24.0513	5350.18	21:54:29 น.
7	222.96	22.8139	5086.61	21:53:22 น.
8	224.236	18.9477	4248.75	21:52:34 น.

4.3.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าที่การส่งค่าไปเก็บไปบนระบบฐานข้อมูล (Database) และ

ดึงข้อมูลมาแสดงมาแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ออกแบบไว้ (Real Dashboard) ค่าพารามิเตอร์จะมีค่า

ใกล้เคียงกัน ณ ตำแหน่งที่เวลาเดียวกัน แต่จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากการวัดค่าพารามิเตอร์โดยใช้

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกหนึ่งหัวข้อให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power meter HIOKI โดยเฉพาะค่ากำลังไฟฟ้า เนื่องจากการอุปกรณ์ต้นแบบที่วัดมานั้นยังไม่สามารถ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พัฒนาไปถึงขั้นทำการหา zero crossing ได้จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นผลคูณกระแสและแรงดันไฟฟ้า แต่ค่าจาก Power meter HIOKI เป็นการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น และความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบการสั่งค่าและการวัดค่านี้ ณ ตำแหน่งเวลาเดียวกัน เกิดจากการล่าช้า (Time Delay) ของโปรแกรมที่กำหนดไว้ในการส่งข้อมูลและการดึงข้อมูลไปแสดงผลทำให้เกิดการเหลื่อมของเวลาในการส่งและดึงข้อมูล จึงเป็นเหตุทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนนี้

4.4 การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับโหนดทดสอบ

ทดสอบในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าว่าจะสามารถสั่งการเริ่มอัดประจุ และการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานหรือไม่ โดยเครื่องอัดประจุที่นำมาทดสอบจะเป็นเครื่องอัดประจุประเภทอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับหรือเครื่องอัดประจุ โหมด3 หัวอัดประจุ Type2 ซึ่งสั่งการจากอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ด้วยชุดคำสั่ง OCPP 1.6 ซึ่งเป็นชุดคำสั่งเดียวกับเครื่องอัดประจุโหมด4 ที่เป็นเป้าหมายของโครงการ เครื่องอัดประจุที่กล่าวถึงนี้จะทดสอบให้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหนดทดสอบที่สามารถรับกระแสอัดประจุเต็มทีของเครื่องอัดประจุได้

4.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

1. Controlling and measurement device : สำหรับควบคุมการเริ่มอัดประจุและควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุ
2. EVSE Charge Point Test unit ยี่ห้อ JTM POWER : สามารถเป็น โหนดทดสอบสำหรับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า Mode 3 ที่กระแสอัดประจุเต็มทีได้
3. เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า Mode 3 ยี่ห้อ EVlink Wallbox schneider : ใช้เป็นเครื่องอัดประจุให้กับโหนดทดสอบ มีพิกัดทางไฟฟ้าดังนี้

- พิกัดกำลังไฟฟ้า 7.4 kW (1 เฟส) และ 22kW (3เฟส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 32 A ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องป้องกันกระแสเกิน MCB พิกัด 40A 4 pole ยี่ห้อ ABB

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง

1. อุปกรณ์ควบคุมสามารถสั่งเริ่มอัดประจุ และสามารถสั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้
2. เมื่อสั่งจำกัดกระแสอัดประจุ เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแสอัดประจุได้ตามที่รับคำสั่งมา
3. เมื่อสั่งจำกัดกระแสอัดประจุ เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแสอัดประจุที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า duty ratio ของสัญญาณ Control pilot เป็นไปตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของกระแสอัดประจุ กับ ค่า PWM duty cycle

PWM	SAE continuous	SAE short term
50%	30 A	36 A peak
40%	24 A	30 A peak
30%	18 A	22 A peak
25%	15 A	20 A peak
16%	9.6 A	
10%	6 A	

4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยผ่านเครื่องป้องกันกระแสเกิน โดยต่อไฟเข้า 1 เฟส ทำให้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีพิกัดสามารถจ่ายได้สูงสุด 7.4 kW
2. เชื่อมต่อให้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกับอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและ Server โดยเชื่อมต่อผ่านสาย LAN
3. เชื่อมสายสัญญาณจาก โหลดทดสอบ (EVSE Charge Point Test unit) เข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อมอนิเตอร์ค่า duty ratio ของสัญญาณ Control Pilot ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หน้าจอคอมพิวเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. เสียบหัวอัดประจุที่เชื่อมต่อจากเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับ โหลดทดสอบ (EVSE Charge Point Test unit)

5. ปรับ Selector Switch ของโหลดทดสอบให้อยู่ในโหมดตั้งพลังงาน

6. เริ่มสั่งการจ่ายพลังงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ควบคุม โดยให้อัดประจุที่กระแสอัดประจุเต็มที

7. ทดสอบการจำกัดกระแสอัดประจุและตรวจวัดค่ากระแสอัดประจุเทียบกับค่า duty ratio ของสัญญาณ Control Pilot โดยสั่งการจำกัดกระแสอัดประจุผ่านอุปกรณ์ควบคุม โดยมีลำดับการจำกัดกระแสอัดประจุดังนี้

1. ลองทดสอบสั่งจำกัดกระแสที่กระแสอัดประจุค่าต่างๆ เพื่อหาค่าการจำกัดกระแสอัดประจุที่ต่ำที่สุด ที่จะสามารถสั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้

2. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 8 A

3. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 10 A

4. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 12 A

5. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 14 A

6. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 16 A

7. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 20 A

8. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 22 A

9. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 24 A

10. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 26 A

11. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 28 A

12. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 30 A

13. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 32 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองแสดงตามกระแสอัดประจุและค่า Duty Cycle ของ Control Pilot

กระแสอัดประจุ	+ Duty Cycle (PWM) %	หมายเหตุ
6	none	ค่าที่ตั้งค่าได้ต่ำที่สุด
8	13.25	
10	16.25	
12	20.25	
14	23.25	
16	30.25	
20	33.25	
22	36.25	
24	40.25	
26	43.25	
28	46.25	
30	50.25	
32	53.25	ค่ากระแสอัดประจุที่พิกัดสูงสุด

4.4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทดลองคำสั่งจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องอัดประจุสามารถทำงานได้ตามค่าในคำสั่ง และ เมื่อทดสอบสั่งจำกัดกระแสที่กระแสอัดประจุค่าต่างๆ เพื่อหาค่าการจำกัดกระแสอัดประจุที่ต่ำที่สุด ที่จะสามารถสั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้ พบว่าอยู่ที่ค่า 6 A ซึ่งจะไม่สามารถสั่งจำกัดกระแสได้ต่ำกว่ากระแสอัดประจุ 6 A และจากการทดสอบจำกัดกระแสอัดประจุที่ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.8 มีการตรวจวัดสัญญาณ Control Pilot ที่ความถี่ 1kHz พบว่า ค่าของพิกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความกว้างสัญญาณ PWM ของ Control Pilot ซึ่งแสดงเป็นค่า Duty Cycle และความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสอัดประจุและค่า Duty Cycle เป็นไปดังตารางที่ 4.8 ตามที่ได้สันนิษฐานไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 การทดสอบควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

การทดสอบในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าว่าจะสามารถสั่งการเริ่มอัดประจุ สั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้ โดยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาทดสอบจะเป็นเครื่องอัดประจุประเภทอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับหรือเครื่องอัดประจุ โหมด3 หัวอัดประจุ Type2 ซึ่งสั่งการจากอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ด้วยชุดคำสั่ง OCPP 1.6 โดยทำคล้ายกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.4 แต่เปลี่ยนจากโหลดทดสอบ (EVSE Charge Point Test unit) เป็นโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

4.5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

1. Controlling and measurement device : สำหรับควบคุมการเริ่มอัดประจุและควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุ
2. โหลดยานยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi outlander PHEV: ความจุแบตเตอรี่ 13.8 kWh on board charger สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 3.7 kW
3. เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า Mode 3 ยี่ห้อ EVlink Wallbox schneider : ใช้เป็นเครื่องอัดประจุให้กับโหลดทดสอบ มีพิกัดทางไฟฟ้าดังนี้
 - พิกัดกำลังไฟฟ้า 7.4 kW (1 เฟส) และ 22kW (3เฟส)
 - จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 32 A
4. Power meter hioki CM3286-01 : Accuracy : $\pm 1.5\%$ rdg. $\pm 0.02 \Omega$

4.5.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง

1. อุปกรณ์ควบคุมสามารถสั่งเริ่มอัดประจุ และสามารถสั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้
2. เมื่อสั่งจำกัดกระแสอัดประจุ เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแสอัดประจุได้ตามที่รับคำสั่งมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 3. เมื่อสั่งจำกัดกระแสไฟฟ้าลง กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุควรจะลดลงตาม แต่การคำนวณว่ากรณีใดแรงดันไฟฟ้าจะค่อนข้างเท่าเดิมปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. กรณีการอัดประจุที่พิกัดเต็มๆ ถึงเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะมีพิกัดสูงถึง 7.4 kW แต่ on board charger ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi outlander PHEV มีพิกัดเพียง 3.7 kW ดังนั้น ในการทดลองเครื่องอัดประจุจะไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เกิน 3.7 kW กรณีใช้กับโหลดยานยนต์ไฟฟ้างกล่าว

4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยผ่านเครื่องป้องกันกระแสเกิน โดยต่อไฟเข้า 1 เฟส ทำให้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีพิกัดสามารถจ่ายได้สูงสุด 7.4 kW

2. เชื่อมต่อให้เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกับอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและ Server โดยเชื่อมต่อผ่านสาย LAN

3. เสียบหัวอัดประจุที่เชื่อมต่อจากเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi outlander PHEV

4. เริ่มส่งการจ่ายพลังงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ควบคุม โดยให้อัดประจุที่กระแสอัดประจุเต็มๆ

5. ทดสอบการจำกัดกระแสอัดประจุและตรวจวัดค่ากระแสอัดประจุ แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยส่งการจำกัดกระแสอัดประจุผ่านอุปกรณ์ควบคุม โดยมีลำดับการจำกัดกระแสอัดประจุดังนี้

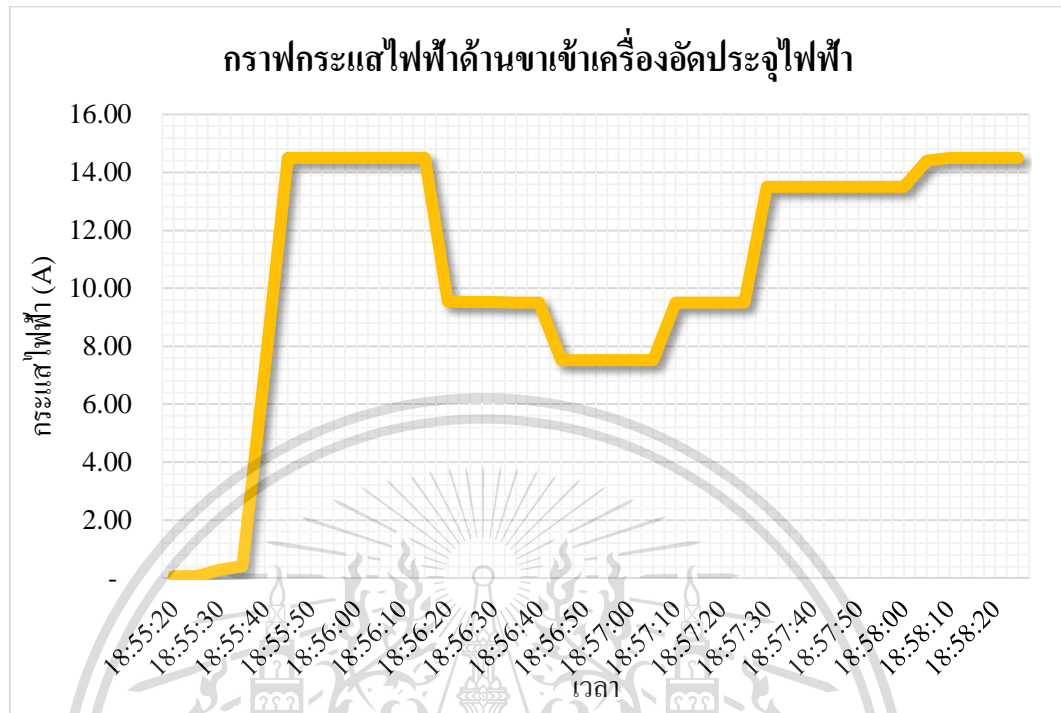
1. สั่งเริ่มอัดประจุที่กระแสอัดประจุเต็มๆ
2. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 10 A
3. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 8 A
4. สั่งจำกัดกระแสอัดประจุที่ 10 A
5. สั่งเริ่มอัดประจุที่กระแสอัดประจุเต็มๆอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

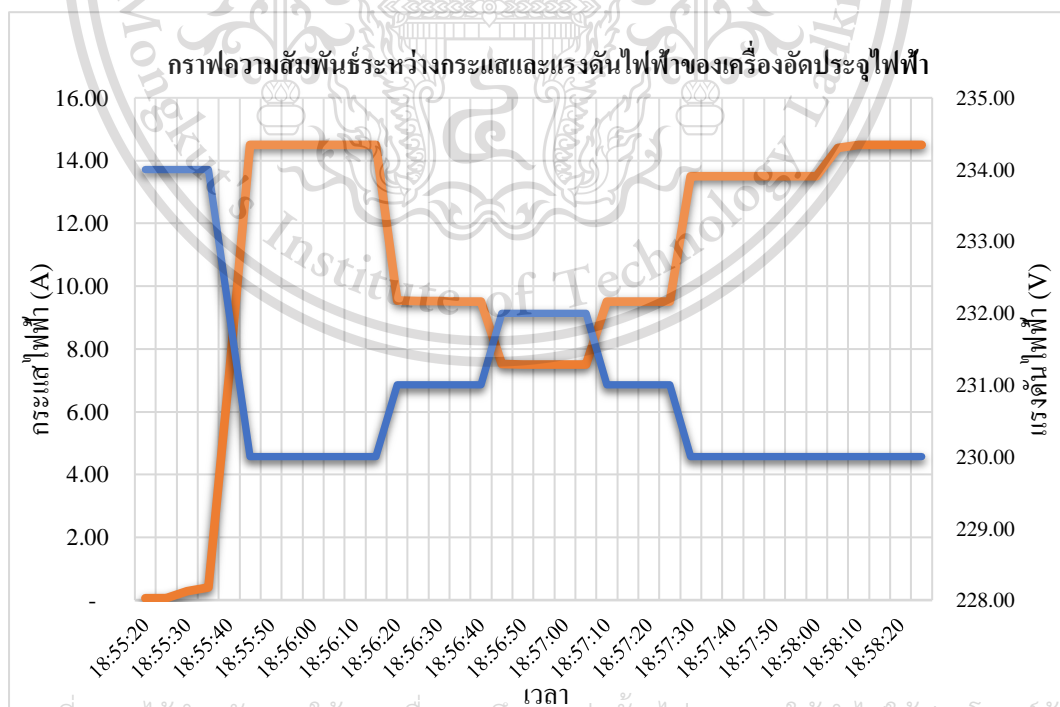
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.4 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 กราฟกระแสไฟฟ้าด้านขาเข้าเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

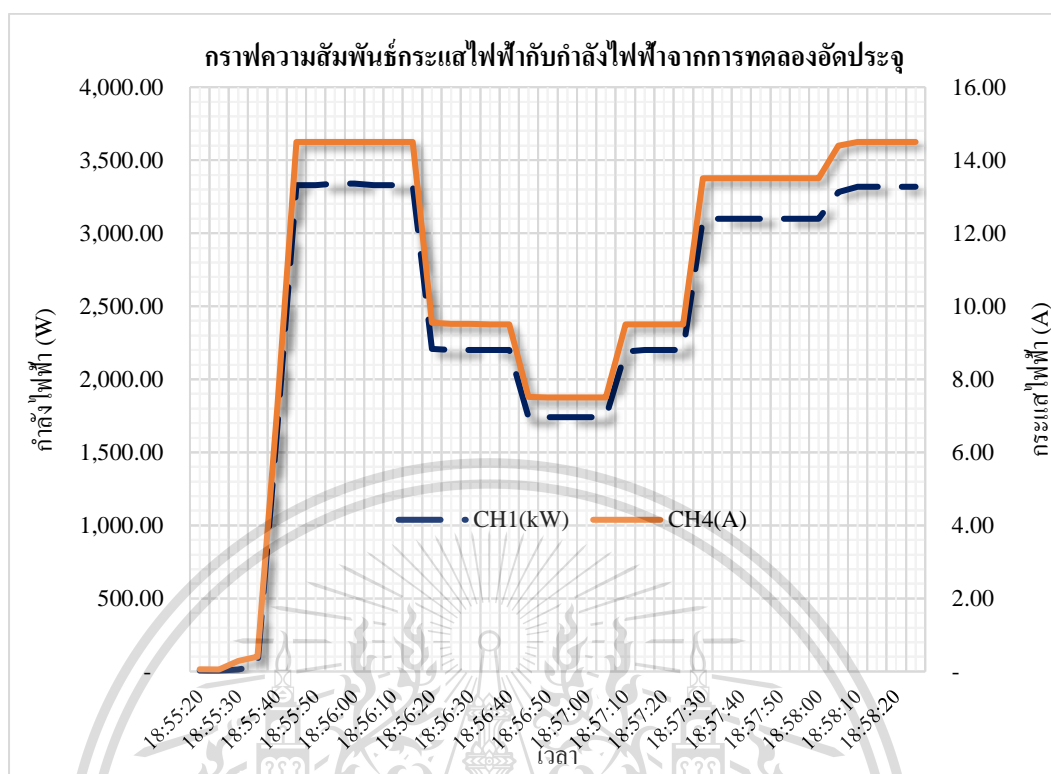


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 กราฟกระแสไฟฟ้าเทียบกับกราฟกำลังไฟฟ้าจากการทดลองอัดประจุ

4.5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทดลองคำสั่ง เริ่มอัดประจุและสั่งจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องอัดประจุสามารถทำงานได้ตามค่าในคำสั่ง ไม่พบปัญหาใดๆในการดำเนินการ การทดลองนี้มีจุดสังเกต คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าเกิดการตกลงขณะที่มีการสั่งเพิ่มกระแสอัดประจุ แต่ยังไม่ถือว่ายอมรับได้เนื่องจาก แรงดันไฟฟ้าที่ตกลงมีค่าไม่เกิน 5 V และ เมื่อสั่งจำกัดกระแสอัดประจุ ค่ากระแสไฟฟ้าอัดประจุจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าอัดประจุ ซึ่งสังเกตได้จากกราฟกระแสไฟฟ้าเทียบกับกราฟกำลังไฟฟ้าจากการทดลองอัดประจุ จะพบว่ากรณีที่มีการลด หรือเพิ่มพิกัดของกระแสอัดประจุ ค่ากำลังไฟฟ้าอัดประจุจะมีการเพิ่มหรือลดตาม ทำให้ลักษณะกราฟของกำลังไฟฟ้าอัดประจุ และกราฟของกระแสไฟฟ้าอัดประจุ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

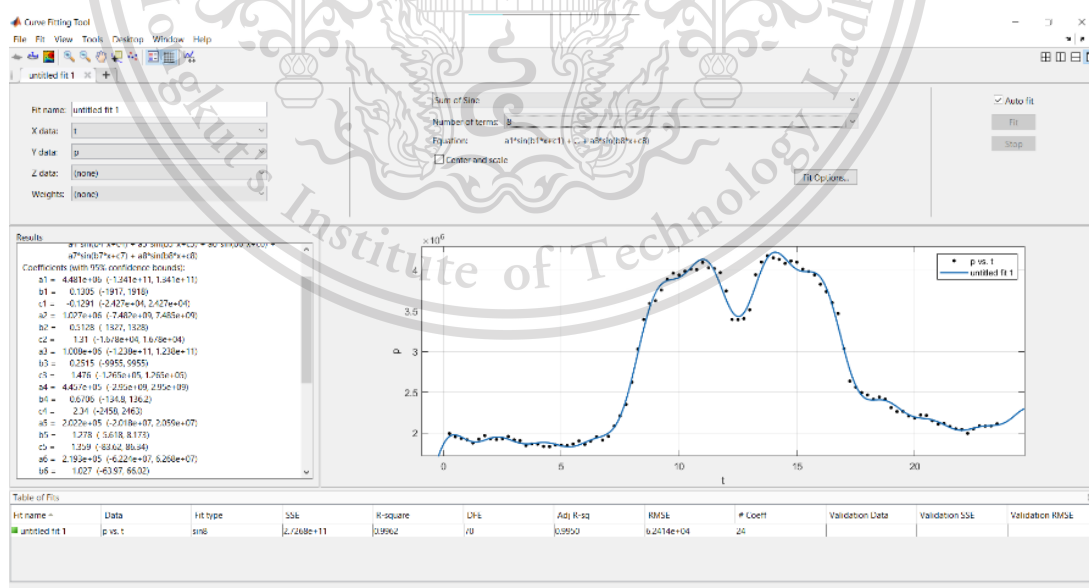
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6 การทดสอบจำลองการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกลขณะมียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า

การทดสอบในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบระบบการจัดการพลังงานของฟังก์ชันเพื่อหาข้อผิดพลาดของระบบ และการทดสอบเพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ ในระบบไฟฟ้า โดยเป็นการจำลองสถานการณ์ของระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และ โหลดอื่น ซึ่งระบบไฟฟ้านี้จะจำลองโหลดอื่นนี้ จากโหลดโปรไฟล์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อทดสอบว่าระบบจัดการพลังงานนี้จะสามารถทำงานได้อย่างไม่มีปัญหา ในสถานการณ์ที่เป็นลักษณะโหลดของระบบไฟฟ้าจริง ซึ่งมีความคาดหวังให้ฟังก์ชันจัดการพลังงานของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในกรณีโหลดความต้องการไฟฟ้ารวมใกล้เคียงค่าพิกัดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

4.6.1 การจำลองคุณลักษณะของความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดอื่น

ในการจำลองคุณลักษณะของความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดอื่น ๆ นั้นได้มีการจำลองมาจากโหลดของอาคารกิจการขนาดกลางในเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 เก็บข้อมูลโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยคิดเป็นโหลดของพื้นที่โดยรวมทั้งประเทศไทย โดยเป็นโหลดในวันที่มีการใช้งานไฟฟ้าสูงสุดของเดือน



รูปที่ 4.6 การคำนวณหาสมการโหลดโดยใช้โปรแกรม MATLAB

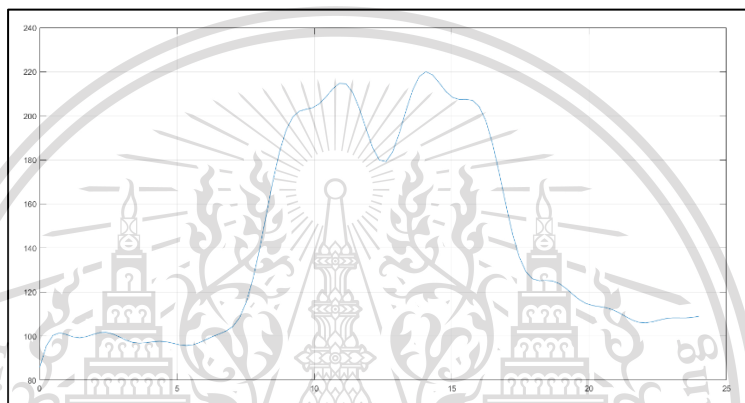
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการหาสมการโดยการเคิร์ฟฟิตติ้ง(Curve fitting) ใช้วิธีผลรวมของไซน์ (Sum of sine) เนื่องจากวิธีดังกล่าวสามารถอธิบายข้อมูลได้ถูกต้องมากกว่าการใช้สมการพหุนาม (polynomial) โดยอยู่ในคำสั่ง cftool ในโปรแกรมแมทแล็บ โดยได้สมการในการอธิบาย ดังนี้

$$f(x) = a_1 \sin(b_1 x + c_1) + a_2 \sin(b_2 x + c_2) + a_3 \sin(b_3 x + c_3) + a_4 \sin(b_4 x + c_4) + a_5 \sin(b_5 x + c_5) + a_6 \sin(b_6 x + c_6) + a_7 \sin(b_7 x + c_7) + a_8 \sin(b_8 x + c_8) \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.7 กราฟที่ได้จากการทำ curve fitting จากโปรแกรม MATLAB โดยค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเป็นไปตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 4.1

n	an	bn	cn
1	4226000	0.1303	0.07278
2	758500	0.5623	0.819
3	596300	0.2592	1.685
4	473700	0.7905	1.004
5	4156	1.657	-1.699
6	294900	1.23	-4.335
7	113300	2.34	0.5478
8	92260	2.705	2.122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีที่ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6.2 ข้อสันนิษฐานสำหรับการทดลอง

1. เมื่อความต้องการไฟฟ้ารวมมีค่าใกล้เคียงพิกัดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดฟังก์ชันต้องเริ่มการทำงานตามอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้เพื่อจัดการกำลังไฟฟ้ารวมไม่ให้เกินค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการจำกัดกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม
2. โหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและโหลดอื่น แสดงค่ากำลังไฟฟ้าโหลดได้ถูกต้องตามที่สร้างโปรไฟล์ไว้

4.6.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบจำลองการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกลขณะมียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบในสถานการณ์ที่เป็นกรณีศึกษา

ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ แบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีไม่มีการจัดการพลังงานขณะมีเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบ
 2. กรณีมีการจัดการพลังงานขณะมีเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า
- การทดสอบกำหนดให้โหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและโหลดอื่นๆใช้หม้อแปลงร่วมกันที่พิกัด 250 kVA

การทดสอบกำหนดให้มียานยนต์ไฟฟ้า 3 รุ่น ต่อเข้าเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 3 เครื่อง คือ

1. BMW I3S
2. MG ZS EV
3. Hyundai IONIQ

ยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 3 คันจะถูกอัดประจุโดยเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน และจะมีลักษณะของโหลดกำลังไฟฟ้า ดังโหลดกำลังไฟฟ้าที่จำลองในหัวข้อที่

4.6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

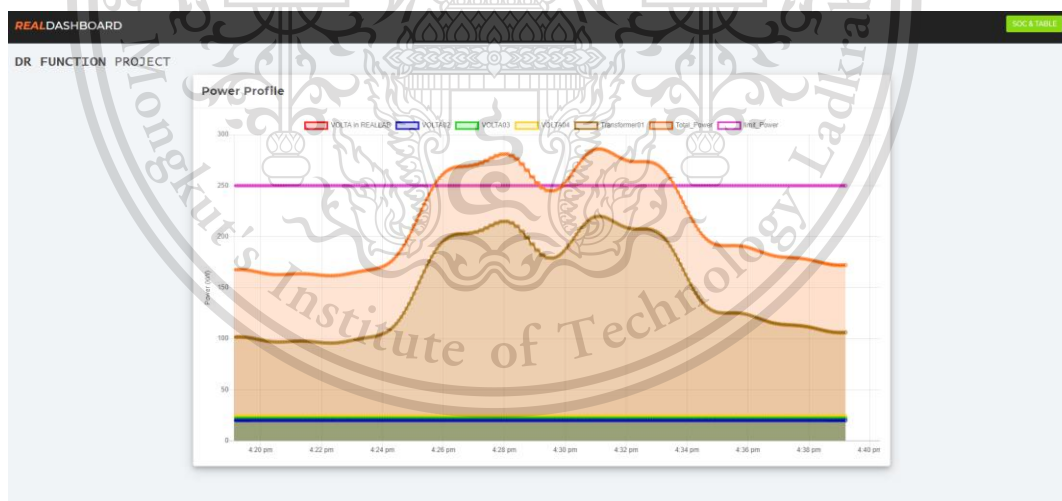
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. เชื่อมต่อโหลดอื่นๆ เข้าสู่ Server ในชื่อโหลด transformer01
2. เชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV เข้าสู่ระบบ ด้วย % SOC % เริ่มต้นประมาณ 50%
3. เชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้า BMW i3s เข้าสู่ระบบ ด้วย % SOC เริ่มต้น ประมาณ 15%
4. เชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้า Hyundai IONIQ เข้าสู่ระบบ ด้วย % SOC เริ่มต้น ประมาณ 25%
5. สังเกตและบันทึกผลการดำเนินการของระบบจัดการพลังงานระยะไกล โดยแบ่งการ ทดสอบเป็น 2 กรณีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.6.4 ผลการทดลอง

กรณี ไม่มีการจัดการพลังงานขณะมีเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า

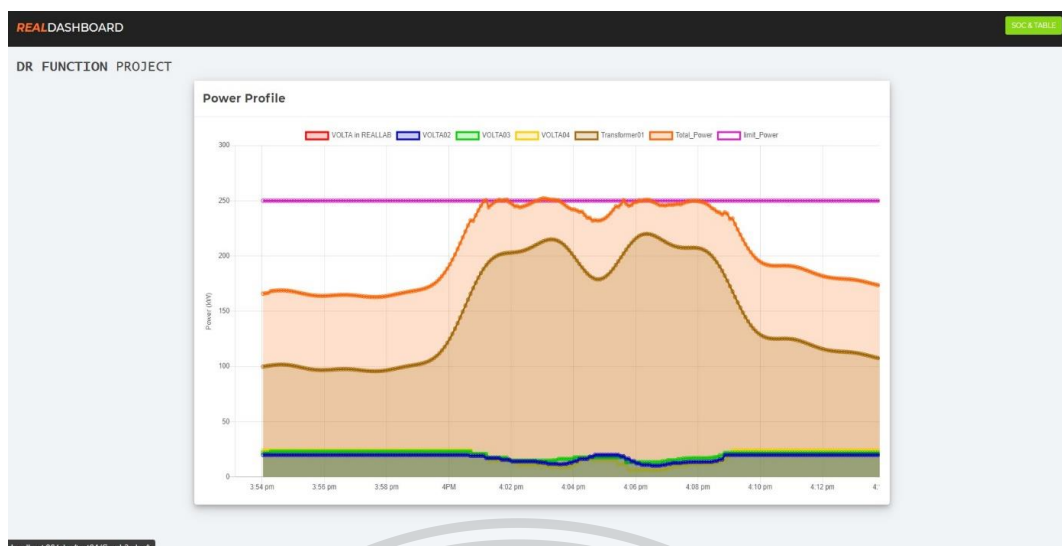


รูปที่ 4.8 กราฟการทดลองในกรณีที่ไม่มีการทำงานของฟังก์ชัน

กรณี มีการจัดการพลังงานขณะมีเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 กราฟการทดลองในกรณีที่มีการทำงานของฟังก์ชัน

4.6.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการเชื่อมต่อโหลด tranformer01 เข้าสู่ระบบไฟฟ้า โหลด tranformer01 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าได้ตรงตามกับโหลดโปรไฟล์ที่กำหนดไว้ และ เมื่อทดลองสั่งเริ่มอัดประจุกับโหลด Volta 02 Volta03 และ Volta04 โหลดเครื่องอัดประจุทั้ง 3 สามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้าได้ตรงตามกับโหลดโปรไฟล์ที่กำหนดไว้ และจากผลการทดสอบ ในกรณีที่ กำลังไฟฟารวมของระบบไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงจะถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ฟังก์ชันจะคำนวณการจำกัดกระแสอัดประจุได้อย่างเหมาะสม ซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้าในการจำลอง มีค่ากำลังไฟฟารวมไม่เกินค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พิกัด 250 kVA ตามที่ตั้งค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ออกแบบระบบผลตอบสนองความต้องการเพื่อควบคุมเครื่องอัดประจุพาหนะ เครื่องยนต์ในครั้งนี้นำมาขึ้นสร้างระบบการคำนวณและอุปกรณ์เพื่อใช้งานกับ เครื่องอัดประจุ กระแสสลับที่จ่ายไฟไม่เกิน 24 กิโลวัตต์ ในส่วนของระบบการคำนวณทางผู้จัดทำสร้างชุดการคำนวณด้วยภาษา python ,เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลด้วย Mysql database และมีการแสดงผลแบบ real time ผ่านทางเว็บที่ผู้จัดทำได้สร้างขึ้น โดยทางผู้จัดทำได้ออกแบบระบบการประมวลผลโดยการยึดหลักสร้างความเป็นธรรมให้กับผู้ใช้บริการโดยที่ระบบยังสามารถทำงานต่อไปได้ โดย ระบบจะให้ความสำคัญกับ พารามิเตอร์ค่าสถานะการชาร์จ(SOC)ของผู้ใช้บริการเป็นอันดับแรก ผู้ใช้บริการที่ค่าสถานะการชาร์จ(SOC)น้อยจะได้คะแนนความสำคัญ(priority point)มากในทางกลับกันถ้าค่าสถานะการชาร์จ(SOC)มากจะได้คะแนนความสำคัญ(priority point)น้อย พารามิเตอร์ตัวที่สองที่สำคัญรองลงมาคือเวลาคงเหลือในการชาร์จโดยคนที่เวลาคงเหลือน้อยจะได้คะแนนความสำคัญ(priority point)มากในทางกลับกันผู้ใช้ที่เหลือเวลาในการชาร์จมากจะได้คะแนนความสำคัญ(priority point)น้อย พารามิเตอร์ตัวสุดท้ายจะเป็นเวลาการเข้าชาร์จในแต่ละวันผู้ใช้บริการในช่วงเดียวกันที่เข้าชาร์จเร็วกว่าจะได้คะแนนความสำคัญ(priority point)มากกว่าผู้ใช้บริการที่เข้าชาร์จทีหลัง

5.2 ปัญหาระหว่างการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการออกแบบระบบผลตอบสนองความต้องการเพื่อควบคุมเครื่องอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์ในครั้งนี้นำมาพบปัญหาหลักๆได้แก่ การออกแบบที่เป็นไปเพื่อใช้สำหรับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่จ่ายไฟด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งยังมีปัญหาทางเทคนิคเรื่องการเก็บค่าสถานะการชาร์จ (state of charge) หรือ SOC ที่ตัวเครื่องชาร์จยังไม่สามารถรับค่าสถานะการชาร์จการรถยนต์ได้โดยตรง ค่าสถานะการชาร์จ(SOC)ในงานครั้งนี้นำมาจากการสังเกตจากหน้าจอแสดงสถานะบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
แม้ว่าเนื้อหาไม่มากนัก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในขั้นตอนการทำงานของชุดคำสั่งอัลกอริทึมที่เมื่อค่า priority point ของยานยนต์มากกว่า 1 คันขึ้นไปมีค่าเท่ากัน จะทำให้การประมวลผลของชุดคำสั่งทำงานคลาดเคลื่อนจากการจัดเรียง limit power ที่เมื่อเจอสองค่าที่เท่ากันระบบจะไม่เรียงจำนวนเต็มแต่จะแบ่งครึ่งค่า limit score และอาจส่งผลให้การลดกำลังของยานยนต์แต่ละคันมีความคลาดเคลื่อนออกไปด้วยเช่นกัน

ในขั้นตอนการนำผลการคำนวณชุดคำสั่งในระบบมาประยุกต์ใช้กับระบบเครื่องอัดประจุจริงพบปัญหาที่ระบบของเราคำนวณค่าได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่สองแต่เครื่องอัดประจุจริงสามารถปรับค่าได้ในระดับจำนวนเต็มเท่านั้นค่าที่เครื่องอัดประจุสามารถจ่ายให้รถได้จึงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณได้

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการดำเนินงานในอนาคต

การออกแบบระบบผลตอบสนองความต้องการเพื่อควบคุมเครื่องอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์ในอนาคต ควรมีการออกแบบระบบ (software architecture) ให้ง่ายต่อการจัดการ, การแก้ไขรวมถึงรูปแบบการคำนวณและพิจารณาที่ยังสามารถออกแบบให้ตอบโจทย์ผู้ใช้งานในระบบและผู้ให้บริการได้มากขึ้นโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาประกอบการตัดสินใจ

สำหรับการพัฒนาความแม่นยำค่าสถานะการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า (SOC) ในอนาคต วิธีแรกคือควรเก็บค่าจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC) เพราะจะสามารถทราบค่าที่แท้จริงจากระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ของตัวรถได้เลย หรือวิธีการที่สองการรับค่าจากรถยนต์ไฟฟ้าโดยตรงเลยหากสามารถทำได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] “สถานการณ์ยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย ระหว่างปีพ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2563” , สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2563.
- [2] Wooyoung Jeon , Sangmin Cho, and Seungmoon Lee, “Estimateing the impact of Electric Vehicle Response Programs in a Grid with Varying Levels of Renewable Energy Sources” ,**Time-of-Use Tariff versus Smart charging** , 2020,
- [3] Lyon, **23rd International. Conference on Electricity Distribution.**,2015
- [4] NERC: Nort American Electric Reliability Corporation, “2011 Demand Response Available Report” , March 2013
- [5] Nadeem Javaid, “Objective of demand side management” ,2019
- [6] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, “เรียนรู้ DSM กับอุตสาหกรรมไฟฟ้าอย่างสั้นๆ” ,2017
- [7] Energy Advantage team, “Demand Response and Demand Side Management What’s the Difference?” , October 2017
- [8] Linas Gelazanskas, and Kelum A.A. Gamage, “Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction.” , **Sustainable Cities and Society**, February 2014, Page 22-30
- [9] `NERC: North American Electric Reliability Corporation, “2013 Demand Response Availability Report” ,2013
- [10] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, การไฟฟ้านครหลวง, **รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้า เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, พฤศจิกายน 2559**
- [11] Piyu Dhaker, **Introduction to SPI Interface**, <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html>, September 2018
- [12] Omazaki , “Electric Car Batteries and Characteristics”
- [13] ผศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย, “สมการถอย (Regression)” , **โครงข่ายประสาทเทียมเชิงปฏิบัติสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า (Practical Neural Network for Electrical Engineering)**
- [14] OCA: Open Charge Alliance, **Open Charge Point Protocol 1.6 (OCPP1.6)**, 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การประยุกต์ค่าผลตอบแทนความต้องการเพื่อควบคุมสถานีอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์ไฟฟ้า

Demand Response Function for Electric Vehicle Charger

ณัฐจักร โกมล¹ ปริญญา โสสุวรรณ² ธนารักษ์ จวนจรรย์³ โชคอนันต์ แก้วกล้า⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-Mail: surin.kh@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ค่าผลตอบแทนความต้องการเพื่อควบคุมเครื่องอัดประจุพาหนะเครื่องยนต์ไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าไม่ให้เกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจากการเพิ่มโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากเข้ามาในระบบ ซึ่งนำเสนอวิธีการจำกัดกระแสอัดประจุไฟฟ้า โดยพิจารณาผ่านฟังก์ชันจัดการพลังงาน เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกฟังก์ชันของการจำกัดกระแสอัดประจุของแต่ละเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าระยะไกลที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ ในด้านเข้าเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและส่งค่าขึ้นสู่ Server ได้ โดยมีความแม่นยำ 99.5% และสามารถสั่งการเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ควบคุมได้

ABSTRACT

This thesis presents the study of Demand Response Function for Electrical Vehicle Chargers. It is intended to protect the electrical system from meeting peak power demands by adding many loads of electric vehicle chargers to the system. Which presents a method for limiting the charging current by considering through the power management function To be used in deciding the rated current limiting rating of each electric vehicle charger. we were able to create a remote control prototype device that could measure parameters. On the side of the EV charger and send the value up to the server with 99.5% accuracy and able to command the EV charger through the control device.

1. บทนำ

จากแนวโน้มการเติบโตของความต้องการไฟฟ้าและการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน จะมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าโดยตรง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลให้เกิดปริมาณของกลุ่มโหลดจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ

เนื่องจากพิกัดอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละท้องถิ่นไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองการใช้งานรถไฟฟ้ามาตั้งแต่แรก หากไม่มีการคำนึงถึงผลจากการที่ผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและกำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบมีไม่เพียงพอ อาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง อาจเกิดปัญหาในระบบไฟฟ้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองความต้องการด้านโหลด

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าและการตอบสนองความต้องการด้านโหลด เป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมกับกำลังผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้า

2.2 รูปแบบของการอัดประจุไฟฟ้า

จากอนุกรมมาตรฐาน IEC 61851: Electric vehicle conductive charging system เป็นมาตรฐานด้านระบบอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ครอบคลุมทั้งระบบอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงจากอนุกรมมาตรฐาน IEC 61851 ได้แบ่งรูปแบบของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 โหมด โดยโหมด 1 ถึง 3 จะเป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในขณะที่โหมด 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง

2.3 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ เป็นสิ่งที่ใช้บอกคุณลักษณะและสถานะของแบตเตอรี่ ผู้ใช้งานต้องทราบและเข้าใจในค่าสำคัญของพารามิเตอร์นั้น เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้งานแบตเตอรี่และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับปัญหานิพนธ์มี ดังนี้

1. ความจุของแบตเตอรี่ เป็นตัวกำหนดความเค้นของแบตเตอรี่

จะนิยมใช้ หน่วย Wh วัตต์ชั่วโมงเป็นหน่วยวัดพลังงาน วัตต์ชั่วโมงคือ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริมาณพลังงานที่ใช้หรือสร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าหากใช้งานอย่างต่อเนื่องโดยใช้กำลัง 1 วัตต์เป็นระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง

2. State of Charge (SOC) ของแบตเตอรี่แสดงเป็นอัตราส่วนของความจุของกระแสไฟฟ้าต่อความจุที่ระบุ ความจุที่ระบุกำหนดจากผู้ผลิตรถยนต์และแสดงจำนวนประจุไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้

3. แรงดัน ไฟฟ้า (Voltage) หน่วย V แบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่หลายๆเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน แต่ละเซลล์มีแรงดันไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าขึ้นกับส่วนประกอบของสารเคมี เช่น เซลล์แบบ NiCad/NiMH มีแรงดันไฟฟ้า 1.2 โวลต์ (V)

2.4 โพรโทคอล Open Charge Point Protocol (OCPP)

1.6)

OCPP เป็น โพร โทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Open Charge Alliance ได้มีปลายประเทศทั่วโลกนำเอาโพร โทคอลนี้ไปใช้งานในการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า (EV Charging Stations) หรือ จุดที่มีการชาร์จ (Charge point) กับ ระบบจัดการกลาง (Central System) หรือที่เรียกกันว่าเครือข่ายสถานีชาร์จ (Charging station network)

2.5 linear regression

เทคนิคของสมการถดถอยเชิงเส้นหรือลิเนียร์เกรซชัน Linear regression เป็นเทคนิคการคำนวณเพื่อการคาดคะเนกลุ่มของตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย (map a group of predictor variable, X) ต่อตัวแปรตอบสนอง (response variable, y)

3.การออกแบบ

3.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

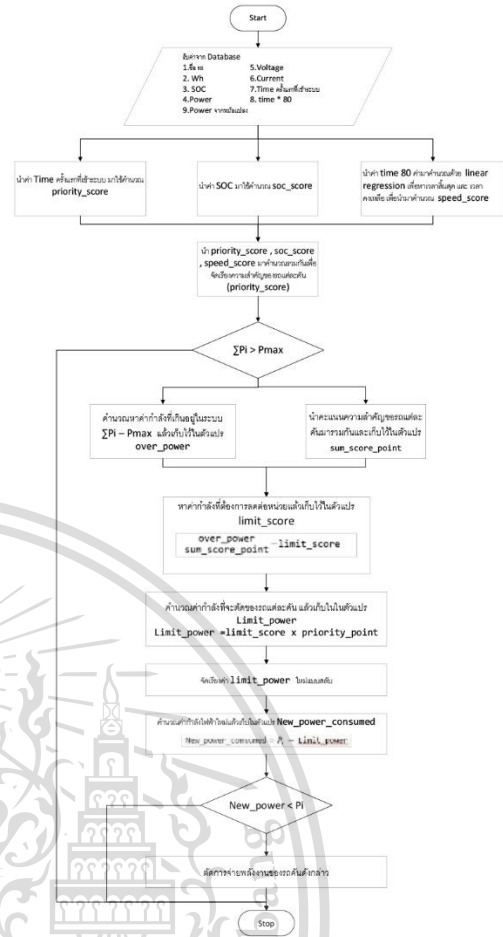
สถาปัตยกรรมการจัดการการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าถูกออกแบบเพื่อรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากผู้ให้บริการและนำมาเรียงลำดับความสำคัญ หากการใช้ไฟฟ้าเกินกว่าที่ระบบจะจ่ายได้จะทำการปรับพิกัดกำลังไฟฟ้าของรถแต่ละคันตามลำดับความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างรูปที่ 3.2 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมและวัดส่งค่ากำลังไฟฟ้าใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

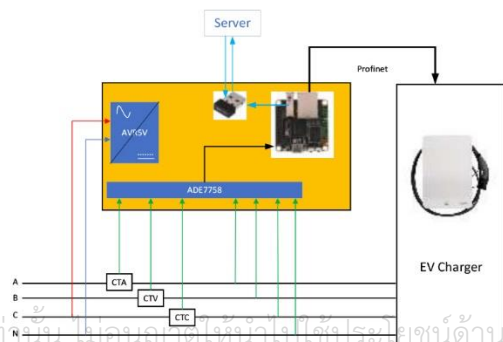
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของอัลกอริทึม

3.2 การออกแบบวงจร

ในวงจรวัดค่ากำลังไฟฟ้า คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ชิป ADE7758 ในการวัดค่า และเลือกใช้ Nano Pi neo2 เป็นส่วนภาคประมวลผลและส่งข้อมูล ไปยังฐานข้อมูลเพื่อทำการประมวลผล และควบคุมผ่านทาง โทล (Remote Command) เพื่อทำการควบคุมการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า



4.ผลการทดลอง

4.1 การทดลองรับค่า

ทดลองการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ,กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยการสอบเทียบ measurement device กับ เครื่องวัดอ้างอิง HIOKI Power Analyzer PW6001 โดยได้ผลการทดลองว่า โดยรวม มีความคลาดเคลื่อนโดยรวมที่ประมาณ ไม่เกิน 0.5%

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังสอบเทียบ

เฟส	แรงดัน	
	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
A	0.512777625	0.49181509
B	0.357281537	0.293795501
C	0.190204572	0.190875208
เฟส	กระแส	
	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
A	4.073287609	0.218788586
B	4.636357375	0.400990624
C	5.65497845	1.313774254
เฟส	กำลังปรากฏ	
	ก่อนปรับค่า	หลังปรับค่า
A	8.889784585	0.84794296
B	4.207442363	0.500021242
C	5.47176071	1.429676276

4.2 การทดลองควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากับโหลดทดสอบ

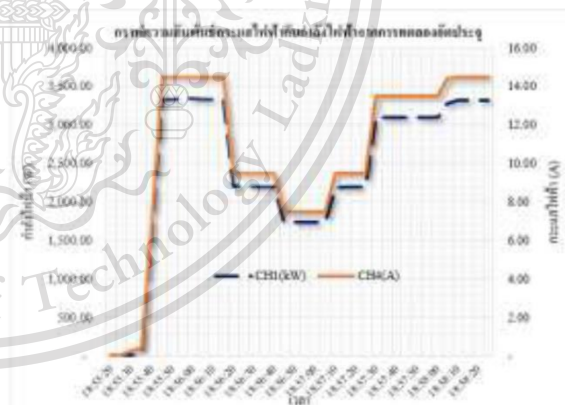
การทดลองควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โหมคว หัวอัดประจุ type2 โดยชุดคำสั่ง OCPP1.6 กรณีเชื่อมต่อกับโหลดทดสอบ EVSE Charge Point Test unit โดยได้ผลการทดลองว่า เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า สามารถจำกัดค่ากระแสอัดประจุได้ตามที่อุปกรณ์ควบคุมสั่ง โดยได้วัดค่า Duty Cycle ของสัญญาณ Control Pilot ของเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นตามมาตรฐาน SAE J1772 ดังตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจำกัดกระแสอัดประจุเมื่อต่อกับโหลดทดสอบ

กระแสอัดประจุ	Duty Cycle (PWM)	หมายเหตุ
6	none	ค่าที่วัดไม่ได้/ข้อผิดพลาด
8	13.25	
10	16.25	
12	20.25	
14	23.25	
16	30.25	
20	33.25	
22	36.25	
24	40.25	
26	43.25	
28	46.25	
30	50.25	
32	53.25	ค่ากระแสอัดประจุที่วัดผิดพลาด

4.4 ผลการทดลองจำกัดกระแสอัดประจุเมื่อต่อกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

จากการทดลอง เครื่องอัดประจุสามารถทำงานได้ตามค่าในคำสั่ง ไม่พบปัญหาใดๆในการดำเนินการ สามารถใช้อุปกรณ์ควบคุมสั่งจำกัดกระแสอัดประจุได้ ค่ากระแสไฟฟ้าอัดประจุจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าอัดประจุ ซึ่งสังเกตได้จากกราฟที่ 4.4 จะพบว่า กรณีที่มีการลด หรือ เพิ่มพิกัดของกระแสอัดประจุ ค่ากำลังไฟฟ้าอัดประจุจะมีการเพิ่มหรือลดลงตาม ทำให้ลักษณะกราฟของกำลังไฟฟ้าอัดประจุ และ กราฟของกระแสไฟฟ้าอัดประจุ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.4.1 ความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าของผลการทดสอบกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

4.5 การทดสอบจำลองการทำงานของระบบจัดการพลังงานระยะไกลขณะมียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้าระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้ผู้ใดแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การทดสอบจำลอง โดยการเชื่อมต่อโหลดเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 3 เครื่อง Volta02 Volta03 Volta04 และ โหลดอื่นๆ จากผลการทดลองพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้ารวมของระบบไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงจะถึงค่า

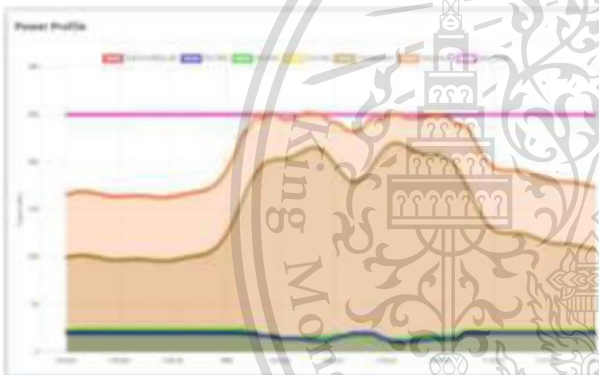
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำลังไฟฟ้าสูงสุด กรณีไม่มีฟังก์ชันทำงานจะเกิดช่วงหม้อแปลงโหลดเกินดังรูปที่ 4.5.1 และ กรณีมีฟังก์ชันทำงาน ระบบจะคำนวณการจำกัดกระแสอัดประจุได้อย่างเหมาะสมจนไม่เกิดช่วงหม้อแปลงโหลดเกินดังรูปที่ 4.5.2 ซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้าในการจำลอง มีค่ากำลังไฟฟ้ารวมไม่เกินค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พิกัด 250 kVA ตามที่ตั้งค่าไว้



รูปที่ 4.5.1 กราฟการทดลองในกรณีที่ไม่มีการทำงานของฟังก์ชัน



รูปที่ 4.5.2 กราฟการทดลองในกรณีที่มีการทำงานของฟังก์ชัน

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ป้องกันหม้อแปลงโหลดเกินจากเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้การใช้วิธีการจำกัดกระแสอัดประจุไฟฟ้า โดยการรับค่าที่มีนัยยะสำคัญของแต่ละเครื่องอัดประจุยานยนต์และส่งค่าดังกล่าวสู่การคำนวณผ่านฟังก์ชันการตัดสินใจเลือกพิกัดของการจำกัดกระแสอัดประจุ โดยสามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการควบคุมเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าระยะไกล มีการทดสอบทั้งการทดสอบกับโหลด และ ทดสอบกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งได้ผลว่าสามารถควบคุมการจำกัดกระแสอัดประจุได้อย่างแม่นยำ และมีการจำลองการทำงานของฟังก์ชัน ซึ่งได้ผลว่า ฟังก์ชันสามารถจัดการจำกัดกระแสอัดประจุของแต่ละเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม สามารถป้องกันไม่ให้เกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย และอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ และ ขอขอบคุณพนักงานบริษัท พีอี อีเล็กทริก กิ๊ฟ จำกัด รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] OCA: Open Charge Alliance, Open Charge Point Protocol 1.6 (OCPP1.6), 8 October 2015
- [2] Energy Advantage team, "Demand Response and Demand Side Management What's the Difference?", October 2017
- [3] Nadeem Javaid, "Objective of demand side management", 2019
- [4] ผศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย, "สมการถอย (Regression)", โครงข่ายประสาทเทียมเชิงปฏิบัติสำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า (Practical Neural Network for Electrical Engineering)

8. ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล: โชคอนันต์ แก้วกัลยา
โทร: 0634985595
Email: 60010249@kmitl.ac.th



ชื่อ-สกุล: นาย ณัฐฎากร โกมล
โทร: 0800501070
Email: 60010287@kmitl.ac.th



ชื่อ-สกุล: นาย ปริญญา โทสุวรรณ
โทร: 0999629936
Email: 60010587@kmitl.ac.th



ชื่อ-สกุล: นาย ธนารักษ์ จวนจรูญ
โทร: 0957045446
Email: 60010435@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าวิธีการใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only. Not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

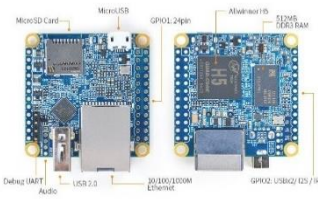


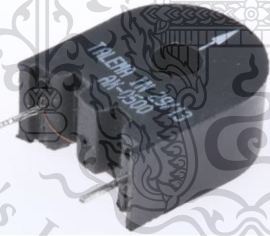



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.





ตารางที่ ข.1 รายการข้อมูลอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

ลำดับ	ภาพอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	หมายเหตุ
1		nanopi neo2	หน่วยประมวลผล บอร์ดควบคุมการชาร์จ
2		AVR5V	AC/DC converter
3		ADE7758	IC Power meter
4		Current transformer 5A / 1V	Measurement Transfromer
5		Current transformer 50/5 A	Mesurement Transfromer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6		EVlink Smart Wallbox 22 kW 32 A 380-415 V 7.4 kW 32 A 222-240 V	EV charger
7		EVSE	Charge Point Test unit
8		TE Connectivity 1k Ω Metal Film Resistor 0.25W \pm 0.1% UPF25B1K0V	Voltage measurement component
9		PW6001	เครื่องวัดและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

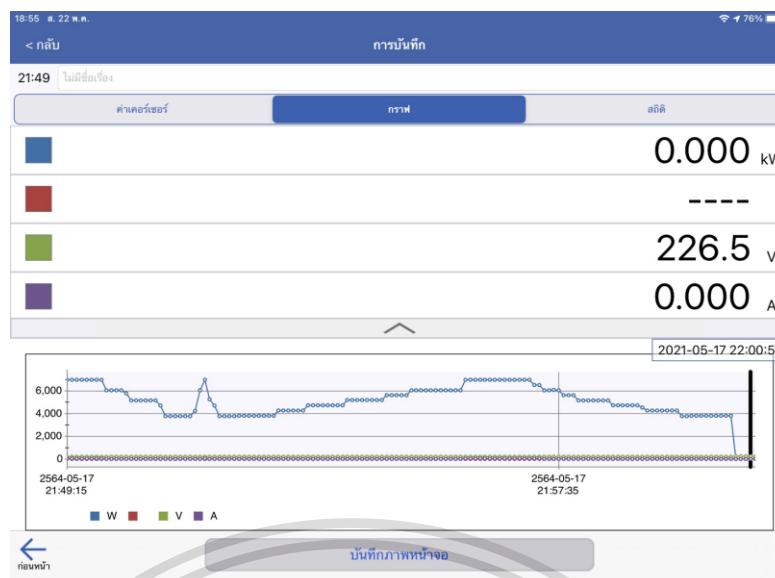
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



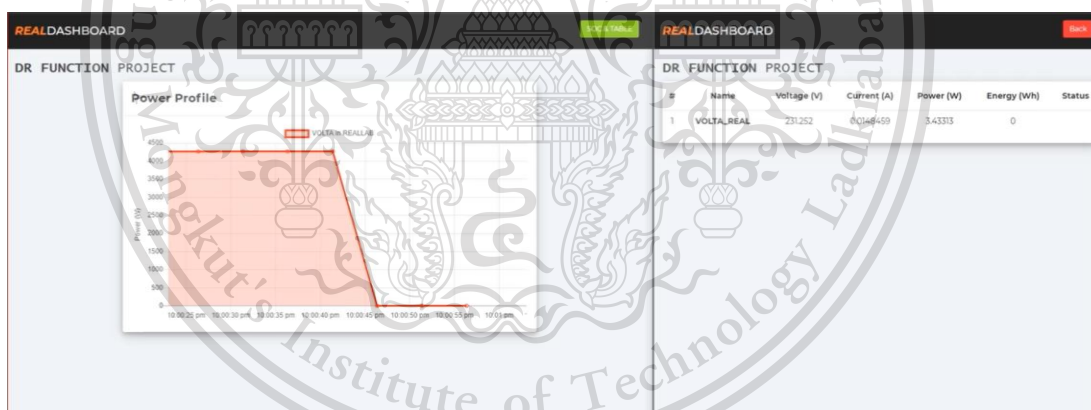
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.1 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1



รูปที่ ค.2 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1

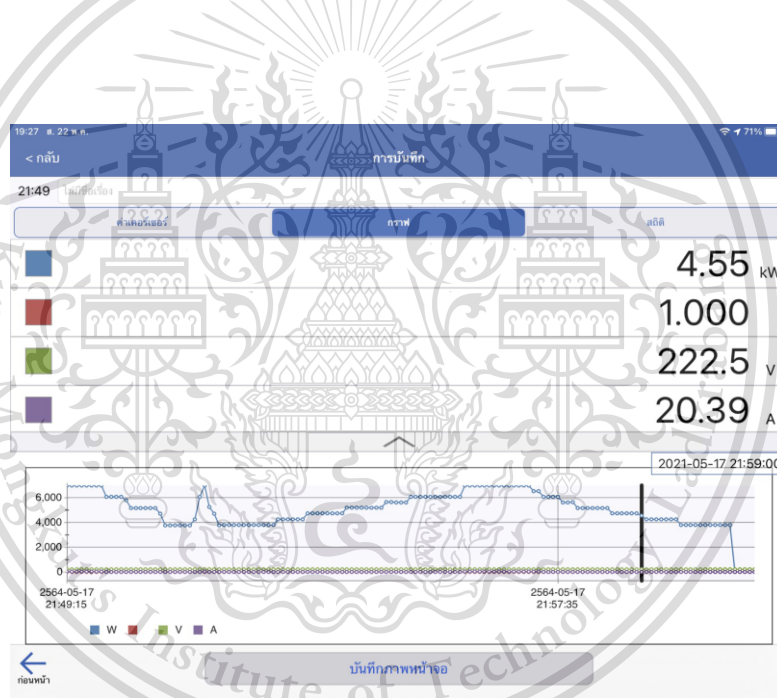
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	3.43029	231.873	0.0148459	2021-05-17 22:00:41	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43037	231.086	0.0148459	2021-05-17 22:00:48	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43313	231.252	0.0148459	2021-05-17 22:00:54	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43227	231.193	0.0148459	2021-05-17 22:01:01	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43381	231.297	0.0148459	2021-05-17 22:01:08	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43383	231.299	0.0148459	2021-05-17 22:01:14	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43363	231.285	0.0148459	2021-05-17 22:01:21	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43239	231.202	0.0148459	2021-05-17 22:01:28	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43005	231.044	0.0148459	2021-05-17 22:01:35	0
VOLTA in REALLAB	75	3.43102	231.109	0.0148459	2021-05-17 22:01:41	0
VOLTA in REALLAB	75	3.4244	230.663	0.0148459	2021-05-17 22:01:48	0
VOLTA in REALLAB	75	3.42556	230.741	0.0148459	2021-05-17 22:01:55	0
VOLTA in REALLAB	75	3.42197	230.499	0.0148459	2021-05-17 22:02:02	0
VOLTA in REALLAB	75	3.46759	230.689	0.0150315	2021-05-17 22:02:08	0
VOLTA in REALLAB	75	3.44148	230.284	0.0148459	2021-05-17 22:02:15	0
VOLTA in REALLAB	75	3.41534	230.053	0.0148459	2021-05-17 22:02:22	0
VOLTA in REALLAB	75	3.4123	229.848	0.0148459	2021-05-17 22:02:28	0
VOLTA in REALLAB	75	3.41011	229.701	0.0148459	2021-05-17 22:02:35	0
VOLTA in REALLAB	75	3.40764	229.534	0.0148459	2021-05-17 22:02:42	0
VOLTA in REALLAB	75	3.40736	229.516	0.0148459	2021-05-17 22:02:49	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39724	228.834	0.0148459	2021-05-17 22:02:55	0
VOLTA in REALLAB	75	3.3984	228.717	0.0148459	2021-05-17 22:03:02	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39612	228.756	0.0148459	2021-05-17 22:03:09	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39878	228.937	0.0148459	2021-05-17 22:03:15	0
VOLTA in REALLAB	75	3.45706	228.858	0.0150507	2021-05-17 22:03:22	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39878	228.938	0.0148459	2021-05-17 22:03:29	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39835	228.909	0.0148459	2021-05-17 22:03:36	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39659	228.744	0.0148459	2021-05-17 22:03:42	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39899	228.817	0.0148459	2021-05-17 22:03:49	0
VOLTA in REALLAB	75	3.40087	229.078	0.0148459	2021-05-17 22:03:56	0
VOLTA in REALLAB	75	3.39815	228.895	0.0148459	2021-05-17 22:04:03	0

รูปที่ ค.3 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 1

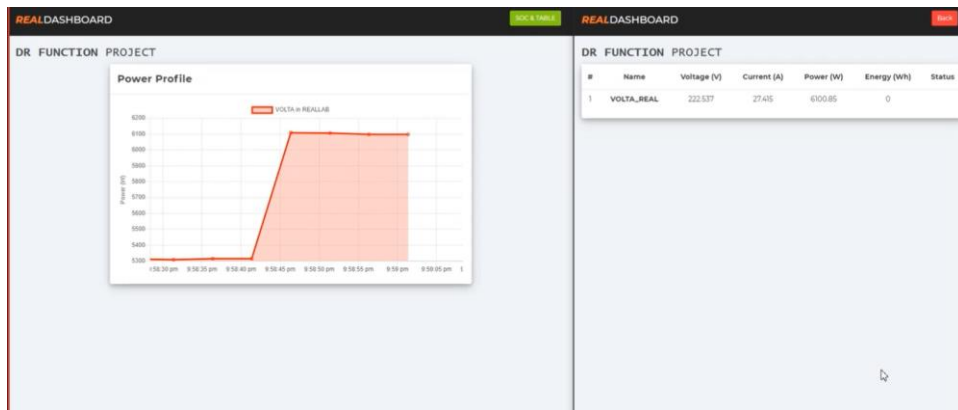


รูปที่ ค.4 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.5 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2

The screenshot shows the phpMyAdmin interface displaying a table with the following columns: car_name, soc, Power_consumed, Voltage, Current, time, and Wh. The table contains multiple rows of data for various car names and their associated metrics.

car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	5403.53	221.981	29.6092	2021-05-17 21:57:29	0
VOLTA in REALLAB	75	5667.88	221.75	26.6955	2021-05-17 21:57:32	0
VOLTA in REALLAB	75	5493.11	221.752	26.6979	2021-05-17 21:57:37	0
VOLTA in REALLAB	75	6215.18	222.185	27.5175	2021-05-17 21:57:49	0
VOLTA in REALLAB	75	6196.25	222.237	27.8813	2021-05-17 21:57:53	0
VOLTA in REALLAB	75	5528.89	222.195	24.8893	2021-05-17 21:58:09	0
VOLTA in REALLAB	75	5314.23	222.18	23.9297	2021-05-17 21:58:08	0
VOLTA in REALLAB	75	5307.25	222.246	23.8881	2021-05-17 21:58:13	0
VOLTA in REALLAB	75	5312.32	222.237	23.9031	2021-05-17 21:58:20	0
VOLTA in REALLAB	75	6388.45	222.621	23.9311	2021-05-17 21:58:26	0
VOLTA in REALLAB	75	5314.64	222.395	23.9466	2021-05-17 21:58:33	0
VOLTA in REALLAB	75	6306.67	222.464	24.4216	2021-05-17 21:58:40	0
VOLTA in REALLAB	75	6100.27	222.474	27.4488	2021-05-17 21:58:47	0
VOLTA in REALLAB	75	6097.94	222.486	27.477	2021-05-17 21:58:53	0
VOLTA in REALLAB	75	6100.85	222.557	27.315	2021-05-17 21:59:00	0
VOLTA in REALLAB	75	5084.38	222.846	22.8132	2021-05-17 21:59:07	0
VOLTA in REALLAB	75	5088.52	222.875	22.8178	2021-05-17 21:59:14	0
VOLTA in REALLAB	75	5088.43	223.053	22.8421	2021-05-17 21:59:20	0
VOLTA in REALLAB	75	5096.41	222.924	22.8196	2021-05-17 21:59:27	0
VOLTA in REALLAB	75	5601.42	223.343	22.8195	2021-05-17 21:59:34	0
VOLTA in REALLAB	75	5403.79	223.007	22.8156	2021-05-17 21:59:40	0
VOLTA in REALLAB	75	4732.42	223.805	18.9994	2021-05-17 22:00:00	0
VOLTA in REALLAB	75	4267.03	224.912	18.9668	2021-05-17 22:00:24	0
VOLTA in REALLAB	75	4267.83	224.883	18.9628	2021-05-17 22:00:31	0
VOLTA in REALLAB	75	4263.43	224.834	18.9628	2021-05-17 22:00:37	0
VOLTA in REALLAB	75	4265.32	224.816	18.9694	2021-05-17 22:00:44	0
VOLTA in REALLAB	75	4266.92	225.003	18.9686	2021-05-17 22:00:51	0
VOLTA in REALLAB	75	4269.35	225.083	18.9717	2021-05-17 22:00:58	0
VOLTA in REALLAB	75	4267.62	225.121	18.957	2021-05-17 22:01:04	0
VOLTA in REALLAB	75	3746.09	223.075	0.0148495	2021-05-17 22:01:01	0
VOLTA in REALLAB	75	3743.07	223.055	0.0148456	2021-05-17 22:01:05	0

รูปที่ ค.6 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 2

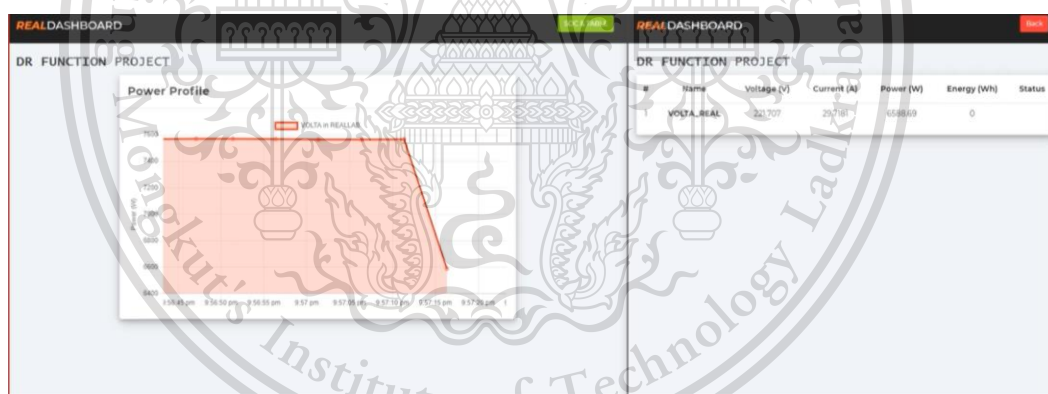
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.7 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3



รูปที่ ค.8 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3

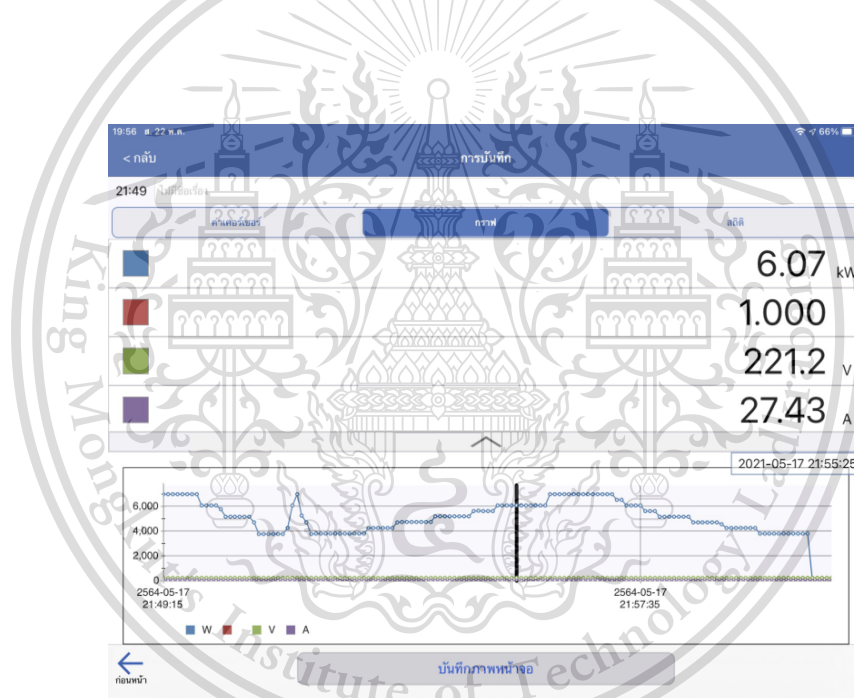
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	3066.61	222.961	22.8139	2021-05-17 21:53:22	0
VOLTA in REALLAB	75	6091.97	222.62	27.3644	2021-05-17 21:53:28	0
VOLTA in REALLAB	75	6096.95	222.72	27.3749	2021-05-17 21:53:35	0
VOLTA in REALLAB	75	6091.64	222.736	27.3758	2021-05-17 21:53:42	0
VOLTA in REALLAB	75	6099.4	222.902	27.3759	2021-05-17 21:53:49	0
VOLTA in REALLAB	75	6104.5	222.982	27.3814	2021-05-17 21:53:56	0
VOLTA in REALLAB	75	5349.03	222.443	24.0407	2021-05-17 21:54:02	0
VOLTA in REALLAB	75	5348.31	222.451	24.0426	2021-05-17 21:54:09	0
VOLTA in REALLAB	75	5325.91	222.543	23.9321	2021-05-17 21:54:16	0
VOLTA in REALLAB	75	5341.54	222.5	24.007	2021-05-17 21:54:23	0
VOLTA in REALLAB	75	5350.18	222.449	24.0513	2021-05-17 21:54:29	0
VOLTA in REALLAB	75	5346.38	222.465	24.0324	2021-05-17 21:54:36	0
VOLTA in REALLAB	75	8198.88	222.311	27.6964	2021-05-17 21:54:43	0
VOLTA in REALLAB	75	8201.03	222.197	27.9079	2021-05-17 21:54:50	0
VOLTA in REALLAB	75	6116.27	222.143	27.533	2021-05-17 21:54:57	0
VOLTA in REALLAB	75	8226.55	222.099	28.035	2021-05-17 21:55:03	0
VOLTA in REALLAB	75	5865.32	221.568	26.6073	2021-05-17 21:55:10	0
VOLTA in REALLAB	75	5880.82	221.402	26.6069	2021-05-17 21:55:17	0
car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	5893.64	221.496	26.6083	2021-05-17 21:55:24	0
VOLTA in REALLAB	75	5893.71	221.504	26.6077	2021-05-17 21:55:30	0
VOLTA in REALLAB	75	5895.86	221.582	26.6068	2021-05-17 21:55:37	0
VOLTA in REALLAB	75	5897.48	221.649	26.6074	2021-05-17 21:55:44	0
VOLTA in REALLAB	75	5892.41	221.454	26.6078	2021-05-17 21:55:51	0
VOLTA in REALLAB	75	5901.85	221.608	26.6079	2021-05-17 21:55:57	0
VOLTA in REALLAB	75	7554.44	221.954	34.0361	2021-05-17 21:56:04	0
VOLTA in REALLAB	75	7550.88	221.965	34.0318	2021-05-17 21:56:11	0
VOLTA in REALLAB	75	7568.01	221.963	34.0958	2021-05-17 21:56:18	0
VOLTA in REALLAB	75	7571.59	221.975	34.1255	2021-05-17 21:56:24	0
VOLTA in REALLAB	75	7567.43	221.893	34.104	2021-05-17 21:56:31	0
VOLTA in REALLAB	75	7568.1	221.875	34.1087	2021-05-17 21:56:38	0

รูปที่ ค.9 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 3

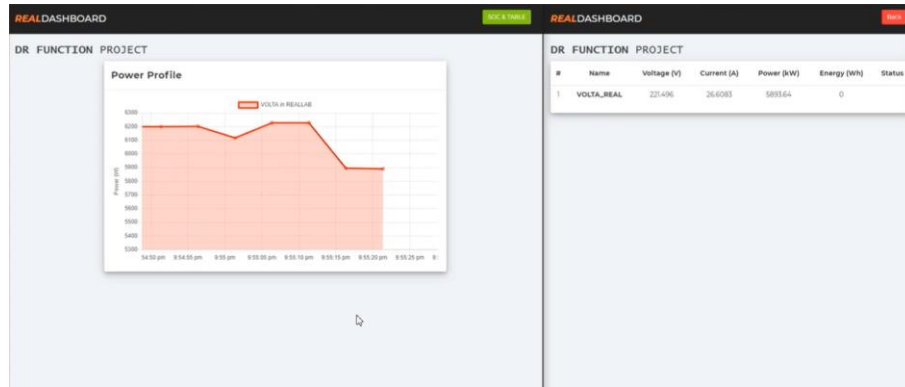


รูปที่ ค.10 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.11 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4

The screenshot shows the phpMyAdmin interface with a table containing the following data:

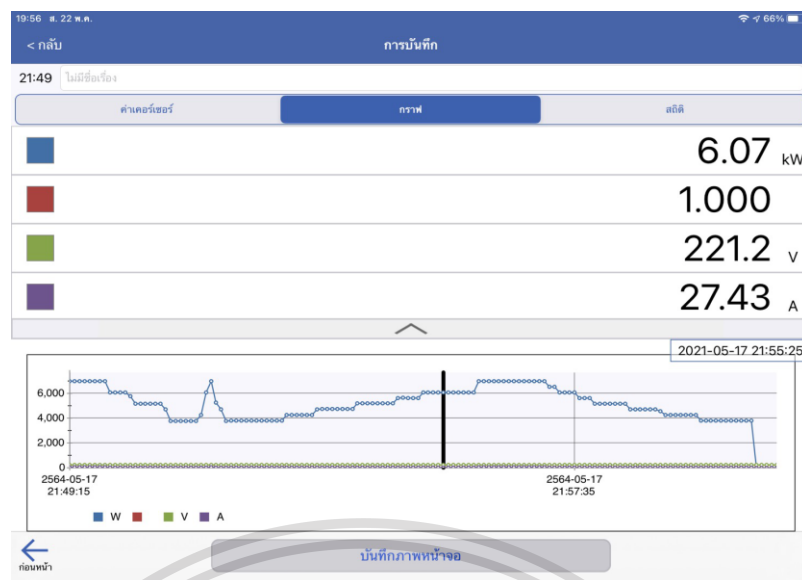
car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	5895.86	221.582	26.609	2021-05-17 21:55:37	0
VOLTA in REALLAB	75	5897.48	221.649	26.6074	2021-05-17 21:55:44	0
VOLTA in REALLAB	75	5882.41	221.454	26.6078	2021-05-17 21:55:51	0
VOLTA in REALLAB	75	5901.85	221.805	26.6079	2021-05-17 21:55:57	0
VOLTA in REALLAB	75	7954.44	221.954	24.0791	2021-05-17 21:56:04	0
VOLTA in REALLAB	75	7550.48	221.985	24.0819	2021-05-17 21:56:10	0
VOLTA in REALLAB	75	7558.01	221.983	24.0828	2021-05-17 21:56:18	0
VOLTA in REALLAB	75	7571.59	221.875	24.1233	2021-05-17 21:56:24	0
VOLTA in REALLAB	75	7587.43	221.899	24.104	2021-05-17 21:56:31	0
VOLTA in REALLAB	75	7568.14	221.875	24.1067	2021-05-17 21:56:38	0
VOLTA in REALLAB	75	7570.14	221.878	24.1193	2021-05-17 21:56:45	0
VOLTA in REALLAB	75	7588.33	221.902	24.1076	2021-05-17 21:56:51	0
VOLTA in REALLAB	75	7564.16	221.834	24.1014	2021-05-17 21:56:58	0
VOLTA in REALLAB	75	7560.22	221.889	24.0821	2021-05-17 21:57:04	0
VOLTA in REALLAB	75	6588.43	221.842	29.7731	2021-05-17 21:57:12	0
VOLTA in REALLAB	75	6588.69	221.897	29.7191	2021-05-17 21:57:19	0
VOLTA in REALLAB	75	6203.53	221.031	28.0022	2021-05-17 21:57:21	0
VOLTA in REALLAB	75	5907.08	222	26.5088	2021-05-17 21:57:32	0
VOLTA in REALLAB	75	5901.11	221.787	26.0076	2021-05-17 21:57:39	0
VOLTA in REALLAB	75	6219.18	222.185	27.0725	2021-05-17 21:57:45	0
VOLTA in REALLAB	75	6196.25	222.227	27.6037	2021-05-17 21:57:53	0
VOLTA in REALLAB	75	5929.99	222.039	26.9894	2021-05-17 21:58:00	0
VOLTA in REALLAB	75	6314.23	222.95	23.8292	2021-05-17 21:58:08	0
VOLTA in REALLAB	75	5380.25	222.248	23.8891	2021-05-17 21:58:15	0
VOLTA in REALLAB	75	5312.32	222.257	23.8017	2021-05-17 21:58:21	0
VOLTA in REALLAB	75	5303.46	222.231	23.8871	2021-05-17 21:58:28	0
VOLTA in REALLAB	75	5314.54	222.385	23.9086	2021-05-17 21:58:33	0
VOLTA in REALLAB	75	6106.7	222.241	27.4016	2021-05-17 21:58:40	0
VOLTA in REALLAB	75	6105.27	222.244	27.4486	2021-05-17 21:58:47	0
VOLTA in REALLAB	75	6097.94	222.402	27.467	2021-05-17 21:58:52	0
VOLTA in REALLAB	75	6100.85	222.537	27.415	2021-05-17 21:59:00	0

รูปที่ ค.12 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 4

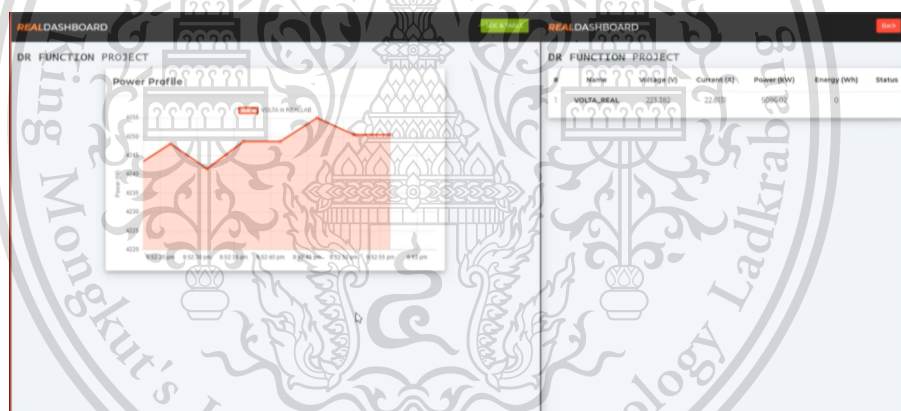
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.13 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ
อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5



รูปที่ ค.14 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ
อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5

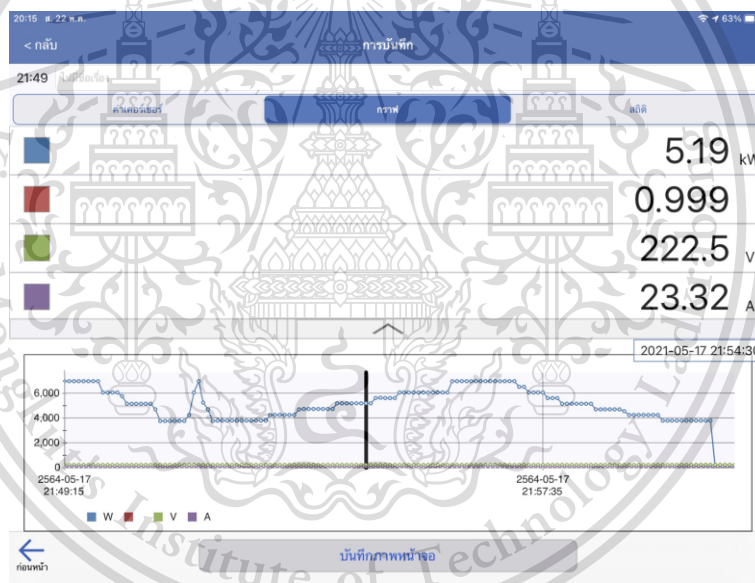
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	4192.09	222.324	18.802	2021-05-17 21:51:00	0
VOLTA in REALLAB	75	4188.94	222.818	18.7998	2021-05-17 21:51:07	0
VOLTA in REALLAB	75	4191.13	222.852	18.8068	2021-05-17 21:51:14	0
VOLTA in REALLAB	75	4191.61	222.832	18.8275	2021-05-17 21:51:20	0
VOLTA in REALLAB	75	4188.91	222.743	18.806	2021-05-17 21:51:27	0
VOLTA in REALLAB	75	6240.05	222.045	28.1026	2021-05-17 21:51:34	0
VOLTA in REALLAB	75	7574.44	221.971	34.1236	2021-05-17 21:51:40	0
VOLTA in REALLAB	75	6096.71	222.318	27.4234	2021-05-17 21:51:47	0
VOLTA in REALLAB	75	5792.93	222.677	26.0149	2021-05-17 21:51:54	0
VOLTA in REALLAB	75	4227	223.796	18.8878	2021-05-17 21:52:01	0
VOLTA in REALLAB	75	4221.34	223.695	18.8735	2021-05-17 21:52:07	0
VOLTA in REALLAB	75	4241.75	224.028	18.934	2021-05-17 21:52:14	0
VOLTA in REALLAB	75	4248.11	224.24	18.9444	2021-05-17 21:52:21	0
VOLTA in REALLAB	75	4241.51	224.106	18.9204	2021-05-17 21:52:28	0
VOLTA in REALLAB	75	4248.75	224.236	18.9477	2021-05-17 21:52:34	0
VOLTA in REALLAB	75	4254.99	224.499	18.9533	2021-05-17 21:52:41	0
VOLTA in REALLAB	75	4250.57	224.27	18.9529	2021-05-17 21:52:48	0
VOLTA in REALLAB	75	5099.07	223.327	22.8131	2021-05-17 21:52:55	0
VOLTA in REALLAB	75	5092.48	223.223	22.8135	2021-05-17 21:53:01	0
VOLTA in REALLAB	75	5092.01	223.199	22.8138	2021-05-17 21:53:08	0
VOLTA in REALLAB	75	5093.4	223.232	22.8166	2021-05-17 21:53:15	0
VOLTA in REALLAB	75	5096.61	222.961	22.8139	2021-05-17 21:53:22	0
VOLTA in REALLAB	75	6091.87	222.62	27.3644	2021-05-17 21:53:28	0
VOLTA in REALLAB	75	6096.95	222.72	27.3749	2021-05-17 21:53:35	0
VOLTA in REALLAB	75	6097.64	222.738	27.3758	2021-05-17 21:53:42	0
VOLTA in REALLAB	75	6099.4	222.802	27.3759	2021-05-17 21:53:49	0
VOLTA in REALLAB	75	6104.5	222.862	27.3914	2021-05-17 21:53:56	0
VOLTA in REALLAB	75	5349.03	222.443	24.0407	2021-05-17 21:54:02	0
VOLTA in REALLAB	75	5348.31	222.451	24.0426	2021-05-17 21:54:09	0
VOLTA in REALLAB	75	5325.91	222.543	23.9321	2021-05-17 21:54:16	0
VOLTA in REALLAB	75	5341.54	222.5	24.007	2021-05-17 21:54:23	0

รูปที่ ค.15 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 5

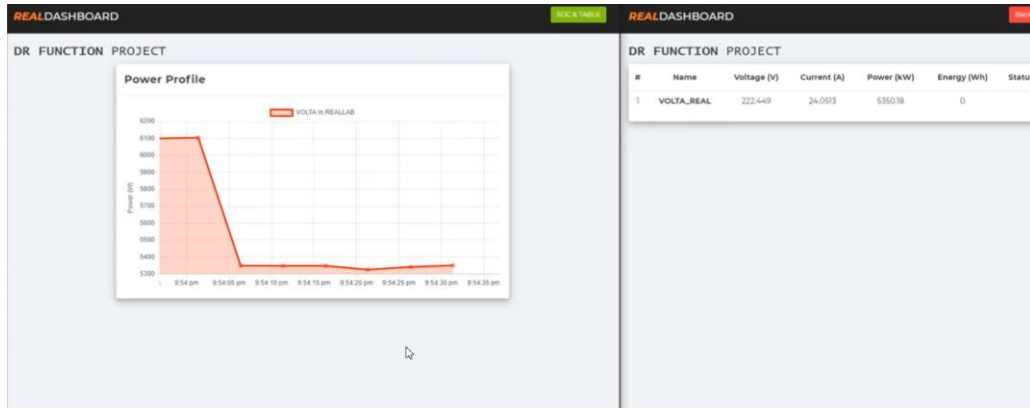


รูปที่ ค.16 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.17 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6

The figure shows a screenshot of the phpMyAdmin interface displaying a table with the following columns: car_name, soc, Power_consumed, Voltage, Current, time, and Wh. The table contains multiple rows of data for 'VOLTA in REALLAB'.

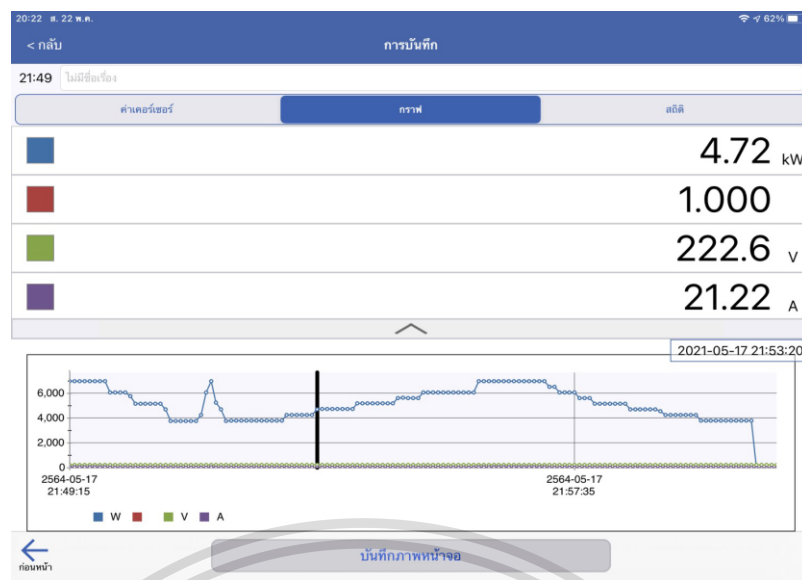
car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	4780.97	222.627	19.8529	2021-05-17 21:53:43	0
VOLTA in REALLAB	75	5889.68	222.848	22.8131	2021-05-17 21:53:55	0
VOLTA in REALLAB	75	5392.44	222.255	22.8138	2021-05-17 21:53:51	0
VOLTA in REALLAB	75	5692.04	222.189	22.8138	2021-05-17 21:53:08	0
VOLTA in REALLAB	75	5093.64	222.232	22.8166	2021-05-17 21:53:15	0
VOLTA in REALLAB	75	5098.61	222.981	22.8139	2021-05-17 21:53:22	0
VOLTA in REALLAB	75	6091.87	222.02	27.3144	2021-05-17 21:53:28	0
VOLTA in REALLAB	75	6066.95	222.72	27.3149	2021-05-17 21:53:35	0
VOLTA in REALLAB	75	6097.64	222.788	27.3158	2021-05-17 21:53:42	0
VOLTA in REALLAB	75	4689.4	222.822	27.3158	2021-05-17 21:53:49	0
VOLTA in REALLAB	75	6104.5	222.762	27.3161	2021-05-17 21:53:58	0
VOLTA in REALLAB	75	6549.03	222.443	24.6467	2021-05-17 21:54:02	0
VOLTA in REALLAB	75	6341.31	222.151	24.6466	2021-05-17 21:54:04	0
VOLTA in REALLAB	75	5325.91	222.543	23.0331	2021-05-17 21:54:16	0
VOLTA in REALLAB	75	5341.54	222.5	24.0101	2021-05-17 21:54:23	0
VOLTA in REALLAB	75	3850.11	222.711	24.0518	2021-05-17 21:54:30	0
VOLTA in REALLAB	75	3489.31	222.528	24.0524	2021-05-17 21:54:36	0
VOLTA in REALLAB	75	6189.88	222.211	27.3164	2021-05-17 21:54:43	0
VOLTA in REALLAB	75	6594.03	222.476	27.3179	2021-05-17 21:54:50	0
VOLTA in REALLAB	75	6116.27	222.443	27.3153	2021-05-17 21:54:57	0
VOLTA in REALLAB	75	6026.53	222.099	28.0192	2021-05-17 21:55:03	0
VOLTA in REALLAB	75	5325.05	221.958	26.6813	2021-05-17 21:55:10	0
VOLTA in REALLAB	75	5329.02	221.802	26.6809	2021-05-17 21:55:17	0
VOLTA in REALLAB	75	5303.64	221.486	26.6883	2021-05-17 21:55:24	0
VOLTA in REALLAB	75	5382.74	221.244	26.6877	2021-05-17 21:55:30	0
VOLTA in REALLAB	75	5885.36	221.261	26.686	2021-05-17 21:55:37	0
VOLTA in REALLAB	75	5897.46	221.412	26.6874	2021-05-17 21:55:44	0
VOLTA in REALLAB	75	5892.41	221.454	26.6878	2021-05-17 21:55:51	0
VOLTA in REALLAB	75	5501.85	221.836	26.6879	2021-05-17 21:55:57	0

รูปที่ ค.18 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.19 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ
อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7



รูปที่ ค.20 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของ
อุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7

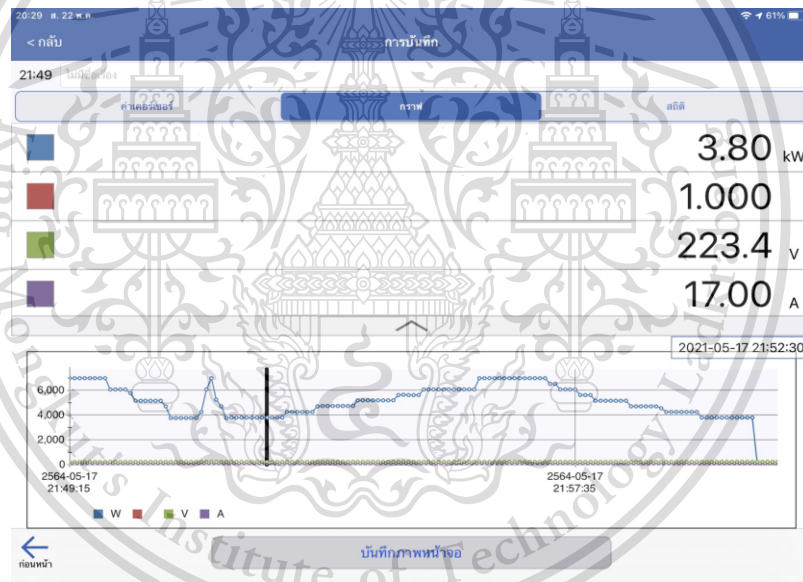
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

car_name	soc	Power_consumed	Voltage	Current	time	Wh
VOLTA in REALLAB	75	7574.44	221.911	34.1296	2021-05-17 21:51:40	0
VOLTA in REALLAB	75	6096.71	222.318	27.4234	2021-05-17 21:51:47	0
VOLTA in REALLAB	75	5792.93	222.677	26.0149	2021-05-17 21:51:54	0
VOLTA in REALLAB	75	4227	223.796	18.8878	2021-05-17 21:52:01	0
VOLTA in REALLAB	75	4221.34	223.665	18.8735	2021-05-17 21:52:07	0
VOLTA in REALLAB	75	4241.75	224.028	18.9304	2021-05-17 21:52:14	0
VOLTA in REALLAB	75	4248.11	224.24	18.9444	2021-05-17 21:52:21	0
VOLTA in REALLAB	75	4241.51	224.106	18.9264	2021-05-17 21:52:28	0
VOLTA in REALLAB	75	4245.75	224.236	18.9477	2021-05-17 21:52:34	0
VOLTA in REALLAB	75	4254.99	224.499	18.9533	2021-05-17 21:52:41	0
VOLTA in REALLAB	75	4256.57	224.27	18.9629	2021-05-17 21:52:48	0
VOLTA in REALLAB	75	5096.02	223.382	22.8131	2021-05-17 21:52:55	0
VOLTA in REALLAB	75	5092.48	223.223	22.8135	2021-05-17 21:53:01	0
VOLTA in REALLAB	75	5092.01	223.199	22.8138	2021-05-17 21:53:08	0
VOLTA in REALLAB	75	5093.4	223.232	22.8166	2021-05-17 21:53:15	0
VOLTA in REALLAB	75	6098.01	222.601	22.8130	2021-05-17 21:53:22	0
VOLTA in REALLAB	75	6091.87	222.62	22.3844	2021-05-17 21:53:28	0
VOLTA in REALLAB	75	6096.95	222.72	27.3749	2021-05-17 21:53:35	0
VOLTA in REALLAB	75	6097.64	222.738	27.3758	2021-05-17 21:53:42	0
VOLTA in REALLAB	75	6099.4	222.802	27.3759	2021-05-17 21:53:49	0
VOLTA in REALLAB	75	6104.5	222.862	27.3914	2021-05-17 21:53:56	0
VOLTA in REALLAB	75	5349.03	222.443	24.0407	2021-05-17 21:54:02	0
VOLTA in REALLAB	75	5348.31	222.451	24.0426	2021-05-17 21:54:09	0
VOLTA in REALLAB	75	5325.91	222.543	23.9321	2021-05-17 21:54:16	0
VOLTA in REALLAB	75	5341.54	222.5	24.007	2021-05-17 21:54:23	0
VOLTA in REALLAB	75	5350.18	222.449	24.0513	2021-05-17 21:54:29	0
VOLTA in REALLAB	75	5346.38	222.465	24.0324	2021-05-17 21:54:36	0
VOLTA in REALLAB	75	6196.88	222.211	27.8964	2021-05-17 21:54:43	0
VOLTA in REALLAB	75	6201.03	222.197	27.9079	2021-05-17 21:54:50	0

รูปที่ ค.21 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 7

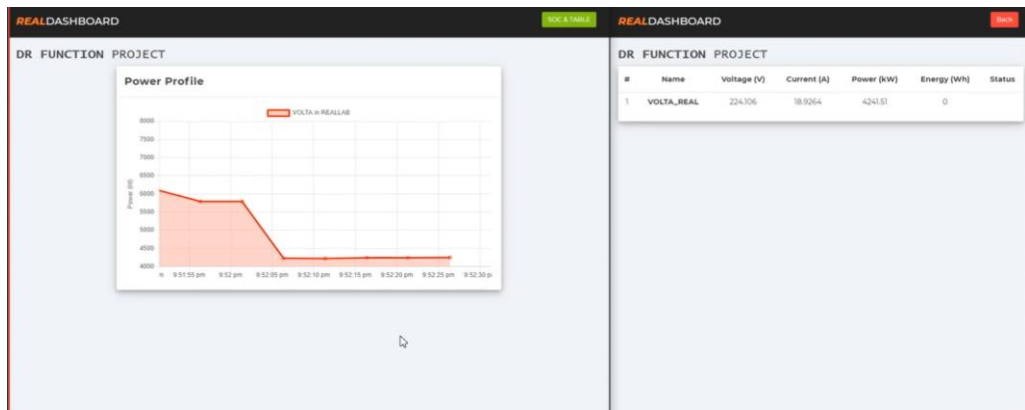


รูปที่ ค.22 การเก็บผลโดย Power Meter HIOKI .ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.23 การแสดงผลบนเว็บไซต์ที่ได้ออกแบบในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8

The screenshot shows the phpMyAdmin interface with a table named 'charger' selected. The table contains the following data:

car_name	abc	Power_consumed	Voltage	Current	Time	Wh
VOLTA in REALLAB	-75	4188.04	222.818	18.7998	2021-05-17 21:51:07	0
VOLTA in REALLAB	-75	4191.13	222.852	19.6968	2021-05-17 21:51:14	0
VOLTA in REALLAB	-75	4191.91	222.832	18.6275	2021-05-17 21:51:20	0
VOLTA in REALLAB	-75	4188.91	222.743	18.8095	2021-05-17 21:51:27	0
VOLTA in REALLAB	-75	6240.05	222.045	28.1028	2021-05-17 21:51:34	0
VOLTA in REALLAB	-75	7576.44	221.971	34.1238	2021-05-17 21:51:40	0
VOLTA in REALLAB	-75	6296.11	222.316	27.4254	2021-05-17 21:51:47	0
VOLTA in REALLAB	-75	5792.83	222.676	26.0482	2021-05-17 21:51:54	0
VOLTA in REALLAB	-75	4232	223.799	18.8878	2021-05-17 21:52:01	0
VOLTA in REALLAB	-75	4221.34	223.695	18.8235	2021-05-17 21:52:07	0
VOLTA in REALLAB	-75	4241.75	224.028	19.9334	2021-05-17 21:52:14	0
VOLTA in REALLAB	-75	4248.11	224.24	19.9444	2021-05-17 21:52:21	0
VOLTA in REALLAB	-75	4241.51	224.106	18.9264	2021-05-17 21:52:28	0
VOLTA in REALLAB	-75	1810.92	224.12	18.9264	2021-05-17 21:52:35	0
VOLTA in REALLAB	-75	4254.89	224.489	19.9533	2021-05-17 21:52:41	0
VOLTA in REALLAB	-75	4259.67	224.217	18.9264	2021-05-17 21:52:48	0
VOLTA in REALLAB	-75	5096.02	223.382	22.8131	2021-05-17 21:52:55	0
VOLTA in REALLAB	-75	5092.48	223.228	22.8195	2021-05-17 21:53:01	0
VOLTA in REALLAB	-75	5082.01	223.199	22.8138	2021-05-17 21:53:08	0
VOLTA in REALLAB	-75	5083.4	221.232	22.8100	2021-05-17 21:53:15	0
VOLTA in REALLAB	-75	5089.61	222.981	22.8139	2021-05-17 21:53:22	0
VOLTA in REALLAB	-75	606.137	222.92	27.5214	2021-05-17 21:53:29	1.6
VOLTA in REALLAB	-75	6076.95	222.121	27.3749	2021-05-17 21:53:35	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	6092.64	221.281	27.3758	2021-05-17 21:53:42	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	6096.4	222.902	27.3759	2021-05-17 21:53:49	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	6104.5	222.892	27.3814	2021-05-17 21:53:55	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	5349.03	222.448	24.0467	2021-05-17 21:54:02	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	5348.31	222.431	24.0426	2021-05-17 21:54:09	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	5325.91	222.543	23.9321	2021-05-17 21:54:16	6.1
VOLTA in REALLAB	-75	5341.54	222.5	24.007	2021-05-17 21:54:23	6.1

รูปที่ ค.24 ค่าที่เก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล ในการทดสอบการส่งค่าขึ้นระบบฐานข้อมูลของอุปกรณ์ต้นแบบ ณ ตำแหน่งเวลาการวัดที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล: นายโชคอนันต์ แก้วกัลยา

วัน เดือน ปีเกิด: 7 มกราคม พ.ศ.2541

ที่อยู่: 53/8 หมู่ที่ 8 ต.เมืองเพีย อ.กุดจับ จ.อุดรธานี 41250

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2558

สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล

ปีการศึกษา 2562

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

ภาควิศวกรรมไฟฟ้า, PG electric group co., ltd.



ชื่อ-นามสกุล: นายณัฐกร โกมล

วัน เดือน ปีเกิด :

ที่อยู่: 52/34 หมู่14 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559

สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนธรรมศาสตร์คลองหลวงวิทยาคม

ปีการศึกษา 2563

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

ภาควิศวกรรมไฟฟ้า, PG electric group co., ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่สอนวิชานี้ไปก่อนภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ชื่อ-นามสกุล: นายปริญญา โตสุวรรณ

วัน เดือน ปีเกิด:

ที่อยู่: 150/4 หมู่ที่2 ต.บ้านกุ่ม อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนเบญจมเทพอุทิศจังหวัดเพชรบุรี

ปีการศึกษา 2563

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, PG electric group co., ltd.



ชื่อ-นามสกุล: นายธนารักษ์ จวนจรรย์

วัน เดือน ปีเกิด: 19 กรกฎาคม พ.ศ.2541

ที่อยู่: 44/2 หมู่ 9 ต.รอบเมือง อ.เมืองปราจีนบุรี จ.ปราจีนบุรี 25000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง

ปีการศึกษา 2563

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฝึกงานภาคฤดูร้อน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, PG electric group co., ltd.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.