



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยระหว่างการชาร์จรถยนต์  
ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาหรือจากระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจาก  
การไฟฟ้า

Impact Study of Electrical System in Resident Section between  
Charging Electric Vehicle from Solar Rooftop or Low-voltage  
system of Public Utility

นายอรรถพล เสง่าพิทักษ์กุล

นายชัยยันต์ เจตนาเสน

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลกระทบต่อบริษัทไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยระหว่างการชาร์จรถยนต์  
ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาหรือจากระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจาก  
การไฟฟ้า

Impact Study of Electrical System in Resident Section between  
Charging Electric Vehicle from Solar Rooftop or Low-voltage  
system of Public Utility

นายอรรถพล เสง่าพิทักษ์กุล

นายชัยยันต์ เจตนาเสน

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยระหว่างการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาหรือจากระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจากการไฟฟ้าแหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ..... พ.ศ. 2560..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 850,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึง กันยายน พ.ศ. 2560.....

หัวหน้าโครงการ รศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการวิจัย ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร. ชานนท์ วริสาร หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้าเพื่อวัดค่าทางไฟฟ้า รวมถึงผลกระทบทางไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการชาร์จแบตเตอรี่ในบ้านพักอาศัย เช่น ค่าฮาร์มอนิก ค่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า แรงดันตกในระยะเวลาสั้น ฯลฯ เนื่องจากมีภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อเพิ่มเข้ามา ซึ่งก็คือรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าทั้งในด้านของผู้ใช้ไฟและการไฟฟ้า โดยในการดำเนินการเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น อุปกรณ์ที่ตรวจวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าต่างๆ เพื่อนำมาแสดงผลเป็นกราฟข้อมูลเปรียบเทียบและได้สมมติกรณีต่างๆ ขณะชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เช่นขณะมีภาระไฟฟ้าชนิดอื่นมาต่อร่วมด้วยในวงจรเดียวกันหรือในวงจรใกล้เคียง เพื่อพิจารณาความแตกต่างและจำลองสถานการณ์เมื่อมีการใช้งานจริงในครัวเรือน จากนั้นหาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากยานพาหนะไฟฟ้าต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากในการชาร์จ กลุ่มผู้วิจัยจึงได้หาวิธีลดค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก โดยการใช้อัตราการคำนวณแบบอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลา (TOU Rate) ร่วมด้วยการนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ คือแผงโซลาร์เซลล์มาช่วยจ่ายแทนไฟฟ้าที่รับมาจากการไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าลงไปได้อีกเมื่อมีการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้าภายในครัวเรือน

คำสำคัญ : รถยนต์ไฟฟ้า, คุณภาพไฟฟ้า, การประจุไฟฟ้า, และอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลา

**Research Title:** Impact Study of Electrical System in Resident Section between Charging Electric Vehicle from Solar Rooftop or Low-voltage system of Public Utility

**Researcher:** Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul **Faculty:** Electrical Engineering

**Department:** ..... King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

**Asst. Prof. Dr. Chaiyan Jettanasen Faculty:** ..... Electrical Engineering.....

**Department:** ..... King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

**Dr. Chanon Warisarn Faculty:** ..... College of Data Storage Innovation..

**Department:** ..... King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

## ABSTRACT

This research presents a study of the impacts of electric vehicles charging. It aims to study the power quality and its effect to power system when charging electric vehicles in household such as total harmonic distortion, voltage sag, voltage swell, etc., Due to a large load connected, electric motorcycle, will affect the electrical system, both in terms of customers and substation. According to the process, firstly we start to learn how to use the equipment which can measure and record electrical data for displaying in waveform and compare each problem. In this experiment, we set up various situations when charging electric motorcycle in household. Then, find the solution on the affected. In this study we found electric vehicle required much power to charge. We found the ways to reduce the peak demand during the on-peak in Time of Use rates (TOU rates) calculation along with the renewable energy which were received from the photovoltaic instead of power from substation. This will enable electric consumption to save high electricity cost when charging electric vehicles in the household.

**Keywords :** Electric vehicle, Power quality, Charging, and Time of Use rates

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยระหว่างการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาหรือจากระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจากการไฟฟ้า สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	9
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	9
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย .....	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	13
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม.....</b>	<b>10</b>
2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) .....	13
2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....	14
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar roof).....	19
2.3.1 หลักการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาบ้าน.....	20
2.3.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	21
2.4 อินเวอร์เตอร์ .....	21
<b>บทที่ 3 การออกแบบการจำลองซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....</b>	<b>29</b>
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในชุดการทดลอง .....	29
3.1.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า.....	30
3.1.2 กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า .....	30
3.1.3 จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Junction box) .....	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 โหลดตัวอย่างทางไฟฟ้า .....	32
3.1.5 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า .....	32
3.1.6 อุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้า (Fluke Meter).....	33
3.2 การเลือกโหลดในวงจรเมื่อต้องร่วมกับการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า .....	34
3.2.1 โหลดเชิงเส้น.....	34
3.2.2 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น.....	34
3.3 การแยกวงจรระหว่างโหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า .....	35
3.3.1 โหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน .....	35
3.3.2 โหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าต่อแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	36
3.4 การติดตั้งชุดพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์เพื่อช่วยจ่ายกับระบบไฟฟ้า .....	38
3.4.1 เครื่องจำลองพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์ (PV Simulator) .....	39
3.4.2 อินเวอร์เตอร์.....	39
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง .....</b>	<b>42</b>
4.1 ข้อมูลโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า .....	42
4.2 กรณีใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า.....	45
4.2.1 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	45
4.2.2 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	48
4.2.3 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	52
4.2.4 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	54
4.3 ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 600วัตต์ .....	57
4.3.1 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....	57
4.3.2 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	60
4.3.3 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	66
4.3.4 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	69
4.3.5 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	74
4.4 การคำนวณค่าไฟ.....	76
4.4.1 อัตราปกติแบบก้าวหน้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย .....	76

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ โหลตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak).....	77
4.4.3 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ โหลตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak).....	78
4.4.4 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ โหลตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ร่วมกับเซลล์ แสงอาทิตย์600วัตต์ .....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
เอกสารอ้างอิง .....	84
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ในการวิจัย .....	91
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย .....	98
ประวัติคณะผู้วิจัย.....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการแบ่งลักษณะการชาร์จตามมาตรฐาน NECA-625.....	12
2.1 ค่าไฟฟ้าฐานของกิจการแต่ละประเภท.....	15
2.2 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย.....	16
2.3 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย.....	16
2.4 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก.....	17
2.5 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก.....	17
2.6 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง.....	17
2.7 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง.....	18
2.8 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่.....	18
2.9 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่.....	19
4.1 ข้อมูลโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....	43
4.2 ปริมาณฮาร์มอนิกขณะชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า.....	43
4.3 กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	46
4.4 กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	49
4.5 เปรียบเทียบโหลดเชิงเส้นขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	50
4.6 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	52
4.7 กรณีต่อโหลดเชิงไม่เส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	55
4.8 เปรียบเทียบโหลดไม่เชิงเส้นขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	57
4.9 กรณีชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว.....	58
4.10 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	61
4.11 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	63
4.12 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน.....	64
4.13 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	67
4.14 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	68
4.15 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	68
4.16 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน.....	70

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
4.17 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 288วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน .....	73
4.18 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 456วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน .....	73
4.19 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	75
4.20 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 288 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	75
4.21 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 456 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	76
4.22 เปรียบเทียบการคิดค่าไฟประเภทต่างๆ .....	81

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 วิธีเปิดโครงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลังคาอาคารคลังสินค้าเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2557	3
1.2 แสดงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	4
1.3 รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบัน	5
1.4 สถานที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า	6
1.5 รองผู้ว่าการการไฟฟ้าานครหลวงร่วมนำเสนอเทคโนโลยีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (MEA EV Charging Station) ภายในงานมหกรรมยานยนต์ครั้งที่ 30	7
1.6 รถยนต์ไฟฟ้าและสถานีชาร์จไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง	7
1.7 ระบบกำลังขับของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีหน่วยควบคุมที่ปรับเปลี่ยนได้	10
1.8 แสดงรูประบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	11
1.9 แสดงรูปปลั๊กไฟที่ใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า	13
2.1 กราฟช่วงเวลา On/Off Peak	14
2.2 การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาบ้าน	20
3.1 แผนภาพแสดงวงจรการทดลอง	30
3.2 กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า	31
3.3 วงจรของกล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า	31
3.4 4 วงจรภายในตัว Power Meter	32
3.5 จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Junction box)	32
3.6 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (ก) และอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (ข)	33
3.7 อุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้า (Fluke Meter)	33
3.8 โหลดเชิงเส้น (ก) และ แผงโหลดเชิงเส้น (ข)	34
3.9 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น (ก) และ แผงโหลดไม่เป็นเชิงเส้น (ข)	34
3.10 วันไลน์ไดอะแกรมของโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรเดียวกัน	35
3.11 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรเดียวกัน	36
3.12 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์	37

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
3.13 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์	37
3.14 แผนภาพวงจรการทดลองโดยมีชุดพลังงานทดแทน	38
3.15 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบรวมเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน	39
3.16 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบรวมเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน	40
3.17 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน	40
3.18 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน	41
4.1 จุดวัดกรณีโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว	42
4.2 กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	43
4.3 กราฟฮาร์มอนิกของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	44
4.4 กราฟกระแสโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขณะชาร์จ	44
4.5 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน	45
4.6 กราฟรูปคลื่นกระแสขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดเชิงเส้น 250วัตต์	46
4.7 กราฟแรงดันและกระแสของโหลดรวม จุดวัดที่1 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ ในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)	47
4.8 กราฟกำลังไฟฟ้าของโหลดรวม จุดที่1 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)	47
4.9 กราฟฮาร์มอนิกของโหลดรวม จุดวัดที่1 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)	48
4.10 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์	49
4.11 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)	51
4.12 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่ 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)	51
4.13 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน	52

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.14 กราฟรูปคลื่นกระแสขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ ....	53
4.15 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน) .....	53
4.16 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่1 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน).....	54
4.17 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ .....	55
4.18 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1 (โหลดไม่เชิงเส้น 166วัตต์ แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์) ...	56
4.19 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่ 1 และ 2 (โหลดไม่เชิงเส้น 166วัตต์ แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์).....	56
4.20 จุดวัดกรณีโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	58
4.21 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1, 2 , 3 (โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว และมี แหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	59
4.22 กราฟกระแสไฟฟ้าขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า .....	59
4.23 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่ 1 (โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์ แสงอาทิตย์) .....	60
4.24 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	60
4.25 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	61
4.26 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และ มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	62
4.27 กราฟฮาร์มอนิกที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมี แหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	62
4.28 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	64
4.29 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และ มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	64
4.30 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	65

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.31 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	66
4.32 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	67
4.33 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)...	70
4.34 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์).....	71
4.35 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	72
4.36 กราฟฮาร์มอนิกที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	72
4.37 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์) .....	74
4.38 ภาระทางไฟฟ้า 600วัตต์ และยานพาหนะไฟฟ้า 240วัตต์ .....	77
4.39 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) .....	78
4.40 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak).....	79
4.41 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์ ในหนึ่งวัน .....	80
ก.1 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้า.....	92
ก.2 วงจรที่มีความต้านทานต่ออนุกรมเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้า.....	93
ก.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด Chuphotic UB1221-750W .....	95
ก.4 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า Toyotron รุ่น DRAGON-G SUPER.....	97

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน ปรับปรุงคุณภาพชีวิต และขับเคลื่อนการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ จึงอาจกล่าวได้ว่า พลังงานไฟฟ้าเปรียบเสมือนกับเส้นเลือดใหญ่ของสังคมไทยในทุกวันนี้ จากแนวโน้มการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในทุกภูมิภาคของประเทศไทยโดยเฉพาะย่านนิคมอุตสาหกรรม นั้นมีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและนับวันยังมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่มากขึ้น แต่ในประเทศไทยกลับมีข้อจำกัดสำหรับการสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นบวกกับต้นทุนทางพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ยังต้องพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเกือบ 90% (ร้อยละ 67 ผลิตจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ, ร้อยละ 20 เป็นถ่านหิน และลิกไนต์ อีกร้อยละ 1 เป็นเชื้อเพลิงน้ำมัน) แต่อัตราการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลภายในประเทศยังมีไม่มากนัก ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จากรายงานสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน ชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นสาเหตุทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีราคาสูงขึ้น และยิ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็ให้เกิดมลภาวะ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหาภาวะโลกร้อน ด้วยเหตุนี้ หากไม่ตระหนักถึงการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง เชื่อได้ว่าในอนาคตพลังงานจะต้องหมดสิ้นไปอย่างแน่นอน

ดังนั้นในประเทศไทยคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) ในการประชุมครั้งที่ 1/2557 (ครั้งที่ 146) เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2557 ได้มีมติในเรื่องต่างๆ ทั้งหมดจำนวน 4 เรื่องด้วยกัน โดยหัวข้อหลักๆจะเน้นถึงการบริหารจัดการพลังงานในประเทศไทย หนึ่งในนั้นคือ แนวทางการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 – 2579 (PDP 2015) พร้อมทั้งจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Development Plan : EEDP) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP) ควบคู่กันไปด้วย เนื่องจากสาเหตุที่ประเทศไทยประสบกับปัญหาพลังงานด้านต้นทุนเชื้อเพลิงมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เพราะโดยส่วนใหญ่แล้วประเทศไทยจำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลเป็นหลัก ในใจความสำคัญของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP 2015) กำหนดให้มีการสนับสนุนสร้างความสมดุลด้วยการกระจายแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังคงพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก หากในอนาคตประเทศไทยประสบกับ

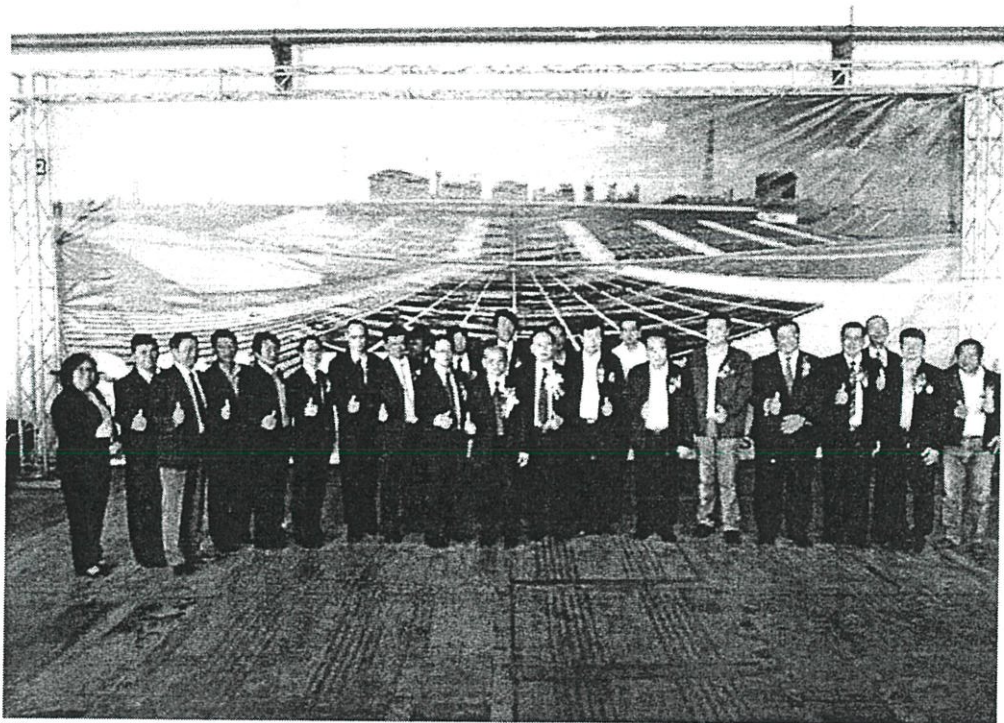
ปัญหาวิกฤติพลังงานไม่สามารถจัดหาก๊าซธรรมชาติมาใช้แทนได้ จะทำให้เกิดการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อความมั่นคงภายในประเทศ โดยนโยบายนี้จึงมีองค์ประกอบสำคัญในการปรับลดสัดส่วนการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติ ที่ปัจจุบันต้องพึ่งพาสูงถึงร้อยละ 64 ให้ลดลงเหลือร้อยละ 45 – 50 ในช่วงกลางแผน ปี 2569 และในปลายแผนจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 30 – 40 ในปี 2579 โดยการเพิ่มอัตราส่วนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทน อีกทั้งยังส่งผลดีช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหาภาวะโลกร้อน โดยมีการคาดการณ์ว่าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลงจาก 0.506 กิโลกรัมคาร์บอนต่อหน่วย เหลือ 0.319 กิโลกรัมคาร์บอนต่อหน่วย

ในส่วนของนโยบายแผนการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยมีจุดประสงค์หลักเพื่อพัฒนาพลังงานภายในประเทศให้สามารถพึ่งตนเองได้มากขึ้น สามารถจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการ ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพ โดยมีประเด็นสำคัญอยู่หลักๆ ก็คือ ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่า โดยการให้รู้จักคุณค่าของพลังงาน สร้างจิตสำนึกในการประหยัดพลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีการวางแผนและควบคุมการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีการลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็นลง ส่งเสริมการจัดหาและการใช้พลังงานที่ให้ความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งส่งเสริมให้เกิดโครงการกลไกการพัฒนาพลังงานที่สะอาด เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้ยังมีการสนับสนุนใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น เพื่อสร้างความมั่นคง และตอบโจทย์แผนแม่บทพลังงานทดแทนสำหรับประเทศไทย (AEDP) ของกระทรวงพลังงานที่กำหนดเป้าหมายที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้งานของพลังงานทดแทนขึ้นเป็นไม่น้อยกว่า 25% ภายในปี 2564 และมีการปรับแผนเพื่อความยั่งยืนของการใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้รักษาสัดส่วนการใช้งานดังกล่าวเอาไว้ให้ได้อย่างต่อเนื่องถึงปี 2579

เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงกลายมาเป็นที่นิยมและรู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีการปรับเป้าหมายเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น 1,000 เมกะวัตต์ เนื่องจากกระทรวงพลังงานมีแผน จะส่งเสริมให้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร โดยมีเป้าหมาย 200 เมกะวัตต์ และโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชุมชน เป้าหมาย 800 เมกะวัตต์ พร้อมทั้งจัดให้มีโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอีก 200 เมกะวัตต์ แบ่งเป็นบ้านอยู่อาศัย 100 เมกะวัตต์ และอาคารธุรกิจขนาดเล็ก-กลาง-ใหญ่อีก 100 เมกะวัตต์ โดยมีกำหนดการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ภายในเดือนธันวาคม 2556 พร้อมกำหนดอัตราการผลิตหย่อนค่าเชื่อมโยงกับระบบจำหน่ายและอุปกรณ์ติดตั้งที่เกี่ยวข้องสำหรับในกรณีของกลุ่มบ้านอยู่อาศัยเพื่อเป็นเกณฑ์ให้การไฟฟ้า

ลดหย่อนเพื่อให้เกิดแรงจูงใจ มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กันมากขึ้น ในภาพรวมเรื่องการพัฒนาพลังงานทดแทนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศไทยถือได้ว่ามีความตื่นตัวกว่าประเทศในกลุ่มอาเซียนและอยู่ในระดับกลางหากเทียบในระดับสังคมโลก ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพสูง และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐและได้รับความร่วมมือจากภาคเอกชนในการเดินหน้าพัฒนาต่อไป

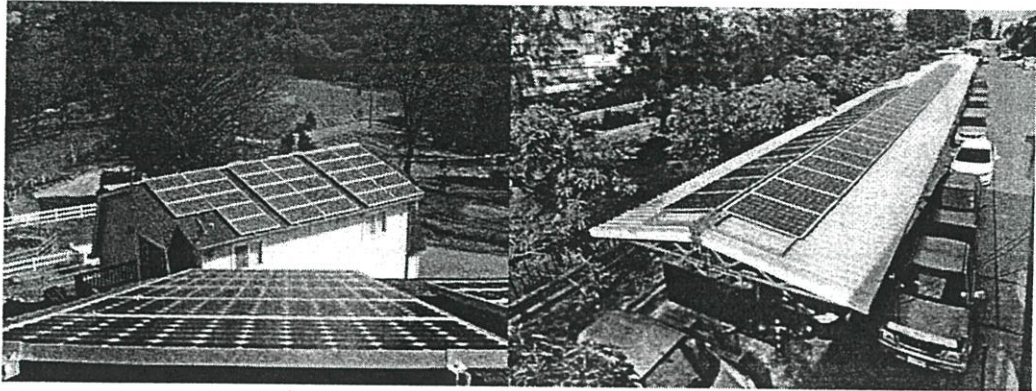
เมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2557 มีการจัดพิธีเปิดโครงการ Solar Roof Top อย่างเป็นทางการ โดยมีนายนำชัย หล่อวัฒนตระกูล ผู้ว่าการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและนายธนวงศ์ อารีรัชชกุล ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่-การบริหารกลาง บริษัท เอสซีจี จำกัด (มหาชน) เป็นประธานในพิธี โดยดำเนินการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลังคาอาคารคลังสินค้า เพื่อเป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีพื้นที่ในการติดตั้งทั้งหมด 11,000 ตารางเมตร กำลังการผลิต 743 กิโลวัตต์ (1,014,000 หน่วยต่อปี) เพื่อขายคืนให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นอกจากนี้ยังเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ 620 ton CO<sub>2</sub>/ปี



ภาพที่ 1.1 พิธีเปิดโครงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลังคาอาคารคลังสินค้าเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2557

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) กลายมาเป็นกระแสนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีข้อดีจากกระทรวงพลังงานและกระทรวงอุตสาหกรรม กล่าวว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีกำลังผลิตไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ ไม่จำเป็นต้องขออนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4) ซึ่งหมายความว่า ผู้ที่สนใจ

ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในบ้านที่อยู่อาศัยและในธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นกว่าก่อนหน้านี้ และด้วยสาเหตุนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทยจึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และอาจเป็นแหล่งพลังงานหลักเพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลในอนาคตได้



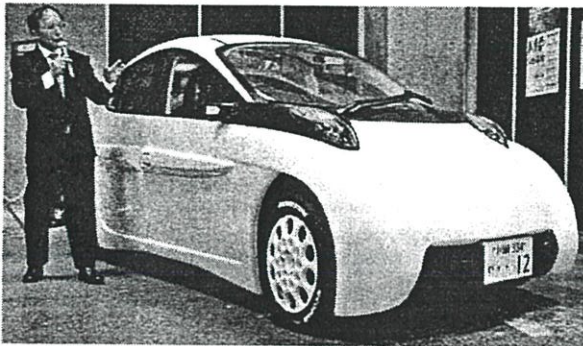
ภาพที่ 1.2 แสดงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

ในอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลและใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า คือการพัฒนาเทคโนโลยีรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ก็ถือเป็นอีกหนึ่งเรื่อง que ประเทศชั้นนำทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากการขับเคลื่อนรถยนต์ในปัจจุบันส่วนใหญ่ต้องอาศัยพลังงานจากพลังงานฟอสซิลเป็นหลัก และในอนาคตมีแนวโน้มการใช้พลังงานฟอสซิลที่เพิ่มมากขึ้นและเกิดปัญหาต่างๆ ตามมาดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในหลายๆ ประเทศทั่วโลกจึงตระหนักถึงปัญหาทางด้านพลังงานนี้ จึงมีการศึกษาค้นคว้า พัฒนาชุดต้นแบบและสนับสนุนส่งเสริมให้มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้น โดยได้รับแรงผลักดันจากภาครัฐและภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบและพัฒนา รถยนต์ไฟฟ้า และรวมไปถึงการพัฒนาาระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้รองรับกับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น

อย่างในประเทศออสเตรเลีย มีโครงการสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยการแจกรถยนต์ไฟฟ้าให้กับราชการที่กรุงแคนเบอร์รา ทางรัฐบาลของประเทศออสเตรเลียได้วางเครือข่ายที่ชาร์จไฟฟ้าทั่วมืองหลวง เพื่อกระตุ้นให้ประชาชนทั่วไปหันมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าด้วย โดยผู้ที่ต้องการชาร์จไฟฟ้า สามารถนำรถมาจอดและเสียบปลั๊กได้ทันที นอกจากนี้ก็ยังมีแผนที่จะสร้างสถานีเปลี่ยนแบตเตอรี่แห่งแรกของประเทศในกรุงแคนเบอร์ราด้วย ในประเทศญี่ปุ่นที่ถือได้ว่าเป็นประเทศชั้นนำในเรื่องเทคโนโลยี ก็ได้มีการพัฒนายานยนต์ขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถคิดค้นยานกรรมขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่สามารถวิ่งได้ไกลกว่า 300 กิโลเมตร โดยการชาร์จไฟฟ้าเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ทั้งนี้ในช่วงที่ผ่านมา บริษัทยานยนต์ของประเทศญี่ปุ่นหลายแห่งได้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่ปล่อยควันเสียออกมาให้ออกมาอีกหลายรุ่น โดยล่าสุดเมื่อปีที่แล้ว ค่ายนิสสันได้เปิดตัวรถพลังงานไฟฟ้ารุ่น Leaf ซึ่งวิ่งได้ไกล 160 กิโลเมตรหลังที่ชาร์จแบตเตอรี่เพียง 1 ครั้ง นอกจากนี้เหล่าผู้ผลิตรถทั้งหลายยังวาดฝันกันอีกว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับความนิยมจนกลายเป็นยานพาหนะหลักบนท้องถนนแทนที่รถพลังงานน้ำมันที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้กันเลยทีเดียว



(ก) รถยนต์ไฟฟ้าที่แจกให้กับข้าราชการในประเทศออสเตรเลีย



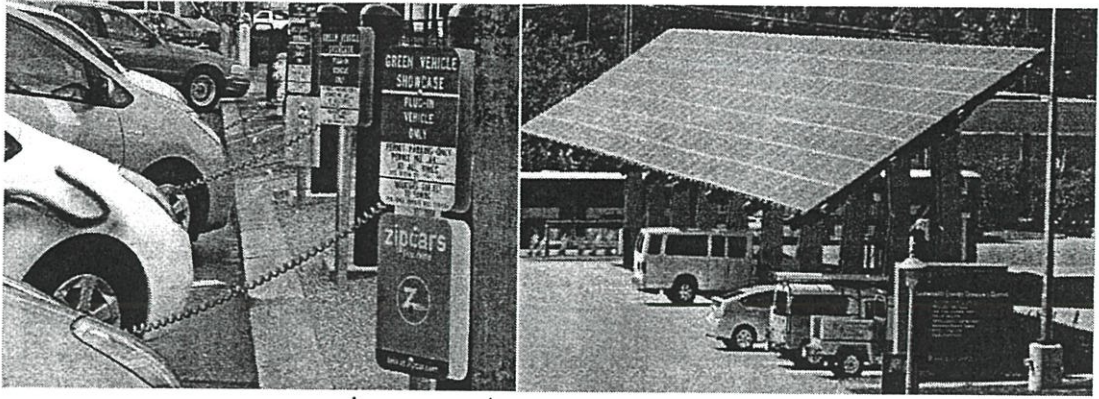
(ข) รถยนต์ไฟฟ้าประเทศญี่ปุ่น



(ค) รถพลังงานไฟฟ้ารุ่น Leaf

ภาพที่ 1.3 รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

จากอีกมุมมองหนึ่งทางประเทศฝั่งยุโรป มีผู้ประกอบการบริษัทยานยนต์เข้ามามีบทบาทในด้านการพัฒนาประสิทธิภาพรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค มีการสนับสนุนพัฒนาโครงการเพิ่มสถานที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้างดแสดงในภาพที่ 1.4 ในส่วนบริเวณสถานที่จอดรถกลางแจ้งได้มีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งเพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่จอดอยู่เพื่อเป็นการเพิ่มประโยชน์ในอีกทางหนึ่ง แล้วยังช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย

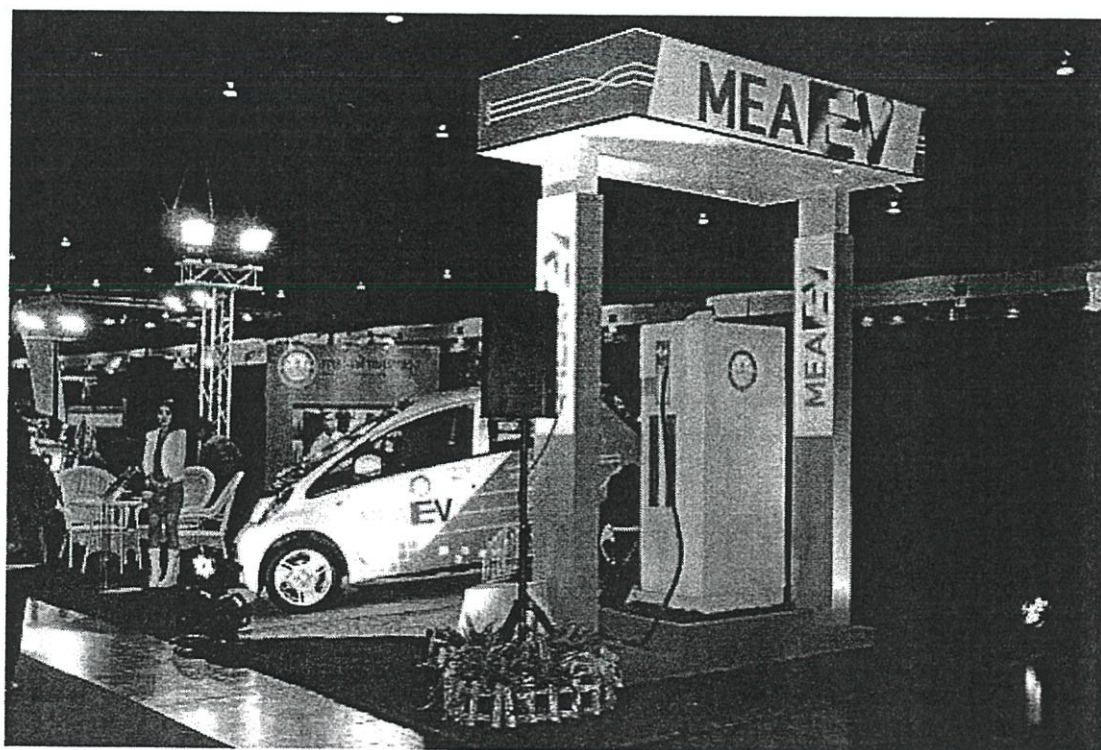


ภาพที่ 1.4 สถานที่ชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าทั่วโลกกำลังให้ความสนใจในการพัฒนาประสิทธิภาพรถยนต์ไฟฟ้า และส่งเสริมให้มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ในหน่วยงานต่างๆของประเทศไทยได้เริ่มให้ความสำคัญกับการศึกษาและพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า โดยทางกรไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ได้มีโครงการวิจัยและศึกษาแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตที่จะส่งเสริมการพัฒนาารถยนต์ไฟฟ้าพร้อมสถานีชาร์จไฟฟ้า เพื่อรองรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามโครงการนำร่อง (พ.ศ. 2555-2558) ดังแสดงในภาพที่ 1.5 นายรัตนโรจน์ ทวีสิน รองผู้อำนวยการกรไฟฟ้านครหลวงเปิดเผยว่า “การไฟฟ้านครหลวงในฐานะผู้ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าโดยให้ความสำคัญในการพัฒนาระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้มีความมั่นคง ตลอดจนส่งเสริมเทคโนโลยีที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลักดันให้เกิดการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ทั้งนี้การไฟฟ้านครหลวงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ครอบคลุมปัจจุบัน ได้มีการเปิดให้บริการสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแล้วที่การไฟฟ้านครหลวงสำนักงานใหญ่ เพลินจิต เพื่อจัดหารถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 20 คัน ไปพร้อมกับการสร้างสถานีชาร์จไฟฟ้า 10 แห่งภายในสำนักงานเขตของ กฟน. นอกจากนี้ทาง กฟน. ได้เริ่มโครงการพัฒนาประสิทธิภาพของเทคโนโลยีเครื่องชาร์จไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ด้วยการดำเนินโครงการ “The Feasibility Study on Quick Chargers for Electric Vehicles” ซึ่งได้รับความร่วมมือจาก บริษัท เอบีบี จำกัด ในการสนับสนุนเครื่องชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (Quick Chargers for Electric Vehicles) จำนวน 1 เครื่อง เพื่อการศึกษาและพัฒนาระบบการให้บริการชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อรองรับต่อการใช้งานของประชาชนในอนาคตดังแสดงในภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.5 รองผู้อำนวยการการไฟฟ้านครหลวงร่วมนำเสนอเทคโนโลยีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (MEA EV Charging Station) ภายในงานมหกรรมยานยนต์ครั้งที่ 30



ภาพที่ 1.6 รถยนต์ไฟฟ้าและสถานีชาร์จไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

จากที่กล่าวมาข้างต้น โดยสรุปประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาทางด้านพลังงาน ทางกระทรวงพลังงานจึงออกนโยบายต่างๆ เช่น นโยบายการอนุรักษ์พลังงาน นโยบายพลังงานทดแทน ฯลฯ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในทางเลือกหนึ่งคือการนำพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าแทนพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากประเทศไทยมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เหมาะสมกับการนำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์คาดว่าจะในอนาคตอาจนำมาแก้ไขปัญหาต้นทุนทางพลังงาน อีกมุมหนึ่งเพื่อเป็นการลดใช้พลังงานจากฟอสซิลคือการนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้งานแทนรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากฟอสซิล รถยนต์ไฟฟ้าจึงถูกพัฒนาให้ตอบสนองการใช้งานในชีวิตและได้รับความนิยมมากขึ้น รถยนต์ไฟฟ้าไม่เพียงแต่ช่วยลดมลพิษทางอากาศเนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าไร้มลพิษจากไอเสียแล้วยังลดการใช้พลังงานจากน้ำมัน จากการใช้ไม่ต้องใช้พลังงานจากฟอสซิล ซึ่งในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วยังมีราคาต่ำกว่ามาก อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูง ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาที่หลัง งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวคิดที่จะช่วยเผยแพร่ข้อมูลในการศึกษาผลกระทบในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งานในระบบที่มีการติดตั้งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาผลกระทบในการชาร์จไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบการชาร์จไฟแบบปกติกับการชาร์จไฟโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการตอบโจทย์ของกระทรวงพลังงาน เป็นการส่งเสริมการใช้งานพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิดการลดใช้พลังงานจากฟอสซิลในประเทศ อีกทั้งยังเป็นการลดภาระการนำเข้าด้านเชื้อเพลิง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย นับได้ว่างานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าซึ่งเป็นทางออกหนึ่งในเรื่องของพลังงานและเป็นการส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบทางด้านวิศวกรรม พลังงานและเศรษฐศาสตร์ เมื่อมีการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้าภายในที่พักอาศัย
2. ศึกษาผลกระทบและวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังและคุณภาพสัญญาณไฟฟ้า ของบริษัทที่ไฟฟ้าที่อยู่ในวงจรไฟฟ้าเดียวกัน และวงจรไฟฟ้าใกล้เคียงกับบริเวณทำการชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า
3. ศึกษาความเป็นไปได้และผลกระทบทางด้านวิศวกรรม พลังงานและเศรษฐศาสตร์ในการนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา มาจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า
4. ศึกษาผลกระทบในขณะเวลาที่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Cut-Off Peak)
5. เพื่อนำองค์ความรู้ไปถ่ายทอดให้แก่นิสิต และวิศวกร ในรูปแบบของการเรียนการสอน การสัมมนา การนำเสนอในที่ประชุมวิชาการ และการเผยแพร่ในวารสารวิชาการ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเมื่อมีการชาร์จไฟด้วยรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีชาร์จไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเต้ารับภายในที่พักอาศัยและในกรณีชาร์จไฟโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
2. ออกแบบและสร้างระบบจำลองการชาร์จไฟฟ้าเข้าระบบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับระบบที่รับพลังงานไฟฟ้าจากเต้ารับและระบบที่รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อทำการเก็บข้อมูล
3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านวิศวกรรม พลังงานและเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการชาร์จไฟฟ้าเข้าระบบด้วยรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทั้งในกรณีการชาร์จไฟฟ้าจากเต้ารับภายในที่พักอาศัยและชาร์จไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและเป็นการบริหารพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

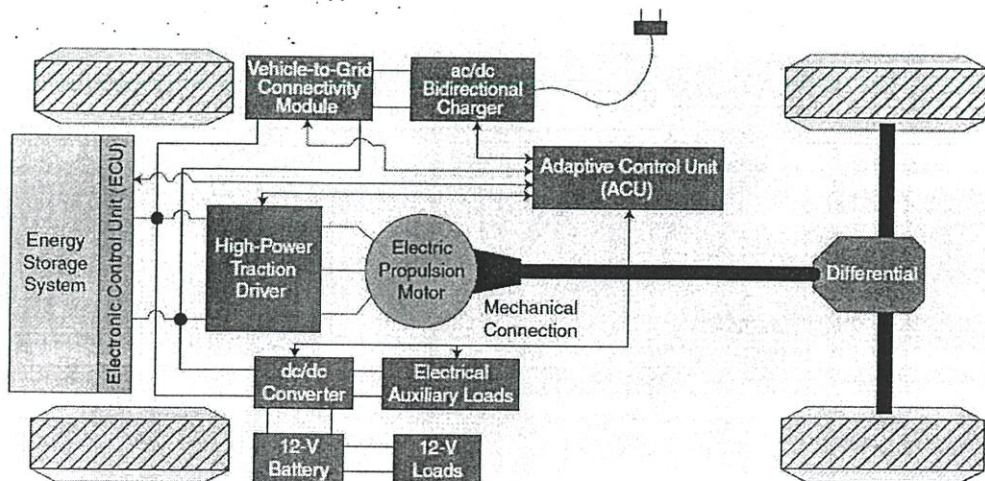
ระเบียบวิธีในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงวางแผนการดำเนินงาน และจัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
2. ศึกษาผลกระทบทางด้านวิศวกรรม โดยการสร้างระบบชาร์จไฟฟ้าจากเต้ารับเพื่อศึกษาผลกระทบต่อเต้ารับและอุปกรณ์ไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียงในเชิงคุณภาพไฟฟ้า
3. ออกแบบสร้างระบบจำลองการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ชุดบริษัทไฟฟ้าจำลองขนาด 3-5 กิโลวัตต์ ภายในห้องปฏิบัติการ
4. ศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งสร้างชุดแปลงพลังงาน กระแสตรงเป็นพลังงานกระแสสลับ ชุดสะสมพลังงาน โดยออกแบบให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาจ่ายไฟฟ้าให้กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในชุดทดลอง
5. นำผลการทดลองจากการชาร์จไฟฟ้าด้วยพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพไฟฟ้าของระบบว่าการชาร์จไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกระทบต่อเต้ารับและอุปกรณ์ไฟฟ้ารอบข้างหรือไม่
6. นำผลการทดลองทั้ง 2 กรณีมาศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันในเชิงคุณภาพไฟฟ้า พลังงานและเศรษฐศาสตร์ และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาชาร์จไฟพร้อมไปถึงการวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้พลังงานสูงสุด (Cut-Off Peak)

### 1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

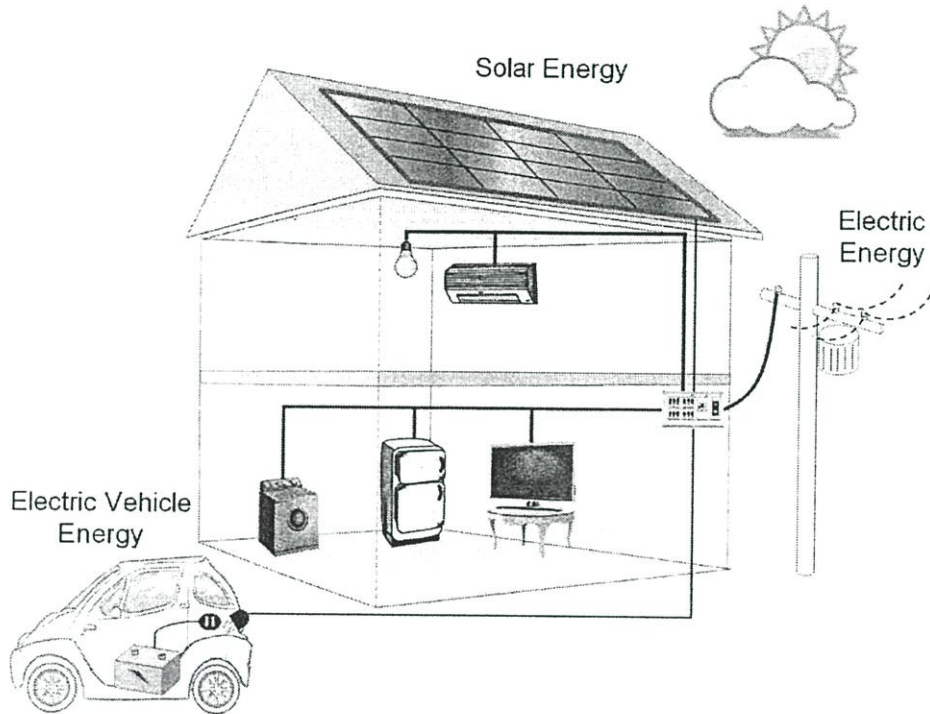
ระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา หรือ โซลาร์รูฟ (Solar Roof) หมายถึง ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้าน หลังคาโรงจอดรถ และอาคารต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้ หรือ ขายไฟฟ้าในราคาพิเศษคืนให้การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตามมาตรการการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของกระทรวงพลังงาน มีทั้งแบบระบบผลิตไฟฟ้าที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า (Off Grid) และแบบมีการต่อเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้าจากผู้ผลิต (On Grid) อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ (Inverter)

รถยนต์ไฟฟ้า คือ รถที่เคลื่อนไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดชาร์จได้ (Rechargeable Batteries) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ ลิเทียม-ไอออนผ่านตัวควบคุม (controller) และตัวควบคุมจะจ่ายพลังงานไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าตามสภาพการเหยียบคันเร่ง ที่เป็นการควบคุมความเร็วของรถด้วย องค์ประกอบของรถยนต์ไฟฟ้างแสดงในภาพที่ 1.7 คือ มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อน, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า, อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง, อุปกรณ์ชาร์จที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงได้สองทิศทาง, อุปกรณ์กลไฟฟ้า, แบตเตอรี่, ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่, ตัวเก็บประจุแบบพิเศษที่สามารถเก็บประจุได้สูงมากๆ, ระบบการเก็บรักษาพลังงานแบบผสม, ระบบบริหารจัดการพลังงาน, และหน่วยกำลังสนับสนุน



ภาพที่ 1.7 ระบบกำลังขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีหน่วยควบคุมที่ปรับเปลี่ยนได้

ในการชาร์จไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าจะเป็นการดึงพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านตัวรับ โดยการเสียบปลั๊กจากรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับปลั๊กในระบบไฟฟ้าครัวเรือน แบ่งเป็น 2 กรณีคือ ในกรณีแรกเป็นการชาร์จพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่ง ส่วนในกรณีที่สองคือการชาร์จไฟจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาครัวเรือนดังแสดงในภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 แสดงระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า ในระดับสากลได้แบ่งประเภทของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไว้อยู่ 3 ระดับด้วยกัน ในระดับที่ 1 จะเป็นการชาร์จในระดับแรงดันที่ต่ำที่สุด ใช้แรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์ เป็นระดับการชาร์จไฟฟ้าที่ง่ายที่สุดในการติดตั้งและเป็นระดับที่ใช้กันทั่วไปตามครัวเรือน ในระดับที่ 2 และ 2+ ซึ่งมีระดับแรงดันการชาร์จไฟฟ้าที่สูงขึ้น ด้วยแรงดัน 208 หรือ 240 โวลต์ เป็นระดับแรงดันที่ใช้ตามครัวเรือนและในที่สาธารณะ ในการติดตั้งจำเป็นต้องใช้ปลั๊กที่มีขนาดแรงดันเหมาะสมกันด้วยความแตกต่างของระดับการชาร์จไฟฟ้าระหว่างระดับที่ 2 และระดับ 2+ คือในระดับ 2+ เป็นเครื่องชาร์จไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่า มีขนาดของกระแสมากกว่า จึงทำให้เวลาการชาร์จไฟฟ้าน้อยกว่าถึงแม้จะใช้แรงดันเท่ากับระดับ 2 ก็ตาม ในระดับที่ 3 เป็นระดับแรงดันชาร์จไฟฟ้าที่สถานีชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 480 โวลต์ การชาร์จไฟฟ้าใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที ตามตารางที่ 1.1

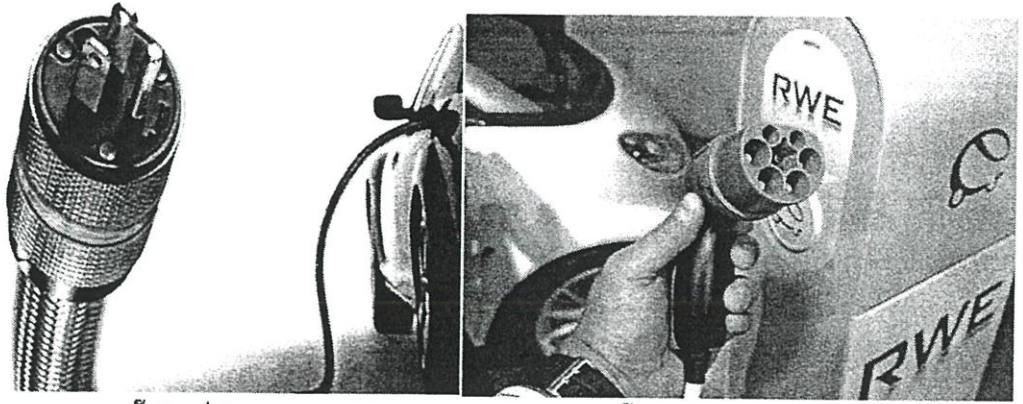
ตารางที่ 1.1 ตารางการแบ่งลักษณะการชาร์จตามมาตรฐาน NECA-625

ระดับการชาร์จ	ขนาดโหลด (kW)	ระยะเวลาในการ ชาร์จ (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ ( $V_{AC}$ )
ระดับที่ 1 (บ้านที่อยู่อาศัย)	1.1-1.8	6-10	120
ระดับที่ 2 (บ้านที่อยู่อาศัยและที่ทำงาน)	3.3	3-4	208/240
ระดับที่ 2+ (บ้านที่อยู่อาศัยและที่ทำงาน)	6.9-19.2	0.5-2	208/240
ระดับที่ 3 (สถานีชาร์จไฟฟ้า)	50-150	0.25-0.5	480

รถยนต์ไฟฟ้าสามารถชาร์จไฟได้ทั้ง 2 แบบ คือ แบบ การชาร์จไฟแบบปกติ (Normal Charge) และแบบ การชาร์จในรูปแบบเร็ว (Quick Charge)

การชาร์จไฟแบบปกติ สามารถชาร์จไฟในบ้านพักอยู่อาศัย เป็นการชาร์จไฟด้วยแรงดัน 230 โวลต์ กระแสไม่เกิน 16 แอมป์ ซึ่งสามารถใช้ไฟจากปลั๊กไฟทั่วไปได้ดังแสดงในภาพที่ 1.9(ก) ใช้เวลาในการชาร์จไฟประมาณ 6-8 ชั่วโมง

การชาร์จในรูปแบบเร็วหรือเป็นการชาร์จไฟผ่านตู้ชาร์จไฟ ซึ่งต้องใช้ไฟฟ้า 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า 400 โวลต์ กระแสไม่เกิน 100 แอมแปร์ จากการไฟฟ้าฯ มาแปลงไฟให้เหมาะสมกับรถยนต์ไฟฟ้างดังแสดงในภาพที่ 1.9(ข) ส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการชาร์จไฟไม่เกิน 30 นาที (ประมาณ 80% ของความจุและขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่) มักจะเป็นการชาร์จไฟตามสถานีชาร์จไฟสาธารณะ ปัจจุบัน กฟน. ได้ติดตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้าแบบชาร์จในรูปแบบเร็วที่สำนักงานใหญ่การไฟฟ้านครหลวง



(ก) ปลั๊กไฟทั่วไป 2 เฟส

(ข) ปลั๊กไฟตามตู้ชาร์จไฟ 3 เฟส

ภาพที่ 1.9 แสดงรูปปลั๊กไฟที่ใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า

การชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ของรถยนต์นั้นถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ในขณะที่มีการชาร์จเกิดขึ้นกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และในขณะเดียวกันนั้นสัญญาณรูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าอาจจะมีการผิดเพี้ยนไปจากปกติ เนื่องด้วยการทำงานของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง อาจเกิดฮาร์มอนิก ส่งผลกระทบต่อระบบวงจรไฟฟ้ากำลังหรือผลกระทบในลักษณะแรงดันตกในอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียง ในอีกกรณีหนึ่งการนำพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาครัวเรือน (Solar Roof) มาใช้อาจทำให้เกิดปัญหาในเรื่องคุณภาพไฟฟ้าเนื่องจากพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ อาจจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาไม่เพียงพอต่อการจ่ายชาร์จไฟฟ้าในบางเวลา

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการทำโครงการวิจัยนี้ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ประโยชน์ในด้านองค์ความรู้ใหม่เพื่อยกระดับงานวิจัยด้านการพัฒนาเทคโนโลยี และประโยชน์ในการพัฒนาเทคโนโลยี และอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านองค์ความรู้ใหม่

1. โครงการวิจัยนี้เป็นการรวมกันของวิทยาการหลายๆ ด้าน เช่น วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมพลังงานทดแทน และวิศวกรรมวัสดุ เข้าด้วยกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ร่วมกันของนักวิจัยในสาขาดังกล่าว ทั้งในด้านการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น นับเป็นการพัฒนาระดับงานวิจัยของประเทศ
2. ทราบถึงผลกระทบในเชิงคุณภาพไฟฟ้าจากการชาร์จไฟฟ้าทั้ง 2 กรณีการศึกษาคือ การชาร์จไฟฟ้าจากที่พักอาศัย และในกรณีการชาร์จไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อในวงจรเดียวกันรวมไปถึง

เต้ารับในบริเวณใกล้เคียงจากการชาร์จไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี เพื่อเสนอแนวทางแก้ไขผลกระทบต่อไปในอนาคต

3. สามารถพัฒนาต่อยอดทางด้านพลังงานในอนาคตได้ อาทิเช่น การพัฒนาสถานีจ่ายไฟฟ้าให้ครอบคลุมกับปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชาร์จไฟฟ้าและยังเป็นการนำพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป นับได้ว่าเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านการพัฒนาเทคโนโลยีและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ

1. ในโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการควบคุมและบริหารการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ผู้บริโภคหรือผู้ใช้ไฟฟ้าลดค่าไฟฟ้าจากการชาร์จไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้า
2. ในการส่งเสริมให้มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ประเทศชาติ ลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้จำหน่ายไฟฟ้า อีกทั้งจะทำให้ประเทศชาติลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากธรรมชาติและยังเป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
3. ในโครงการวิจัยนี้เป็นการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเรือนเพื่อจ่ายชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ช่วยให้ประชาชนและผู้ประกอบการรายย่อยมีส่วนร่วมในการช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต และยังช่วยลดการสร้างโรงจักรไฟฟ้าอีกด้วย
4. ส่งเสริมงานวิจัยให้มีการพัฒนาทางด้านการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดผลการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไปซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ในเอกสารอ้างอิงที่ [1]-[2] กล่าวถึงกระแสค่านิยมและนำเสนอแนวทางการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั่วไป (Solar PV Roof Top Home) มาใช้ตามครัวเรือนในเอกสารอ้างอิงที่ [3] เป็นเอกสารภาพรวมเรื่องการพัฒนาพลังงานทดแทนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [4]-[5] กล่าวถึงการออกแบบการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้พลังงานส่วนใหญ่จากพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [6]-[7] กล่าวถึงการชาร์จไฟรถยนต์ไฟฟ้าจากสถานีโดยใช้มาตรฐานสากลของยุโรป โดยเป็นการรวมระบบชาร์จไฟเข้ากับระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (smart grid) ในเอกสารอ้างอิงที่ [8]-[9] กล่าวถึงพฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยจากการวิจัยพบว่าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าส่วนมากจะชาร์จไฟฟ้าจากที่ทำงานหรือที่บ้านมากกว่าการชาร์จตามสถานี โดยมีการพิจารณากราฟโหลดระบบที่มีการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้า ในเอกสารอ้างอิงที่ [10] แสดงกรณีศึกษาจริงในระบบที่มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ในวิธีการใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองและศึกษาผลกระทบจากโครงข่ายของระบบไฟฟ้ากำลังในระบบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบธรรมดา มาศึกษาผลกระทบต่อแรงดันตกในระบบจำหน่าย ในเอกสารอ้างอิงที่ [11] กล่าวถึงการจำลองการนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาชาร์จไฟให้รถยนต์ไฟฟ้าในตอนกลางวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก (Peak Load) ในเอกสารอ้างอิงที่ [12] เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และข้อดีข้อเสียในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตชุมชน ในเอกสารอ้างอิงที่ [13]-[14] กล่าวถึงการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าในการนำรถยนต์ไฟฟ้าและพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ มาติดตั้งในระบบจำนวนมาก ในเอกสารอ้างอิงที่ [15]-[18] กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ในเอกสารอ้างอิงที่ [19]-[20] เป็นหลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยที่ [21] เป็นการศึกษาความเป็นเสถียรภาพของระบบการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ในส่วนที่สองทำการพิจารณาถึงเสถียรภาพทางแรงดันที่คงที่, พลังงานสูญเสียในระบบ, ขีดจำกัดของแรงดันปกติและปริมาณความเหมาะสมของขนาดกระแสในสายไฟสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย ในงานวิจัยที่ [22] ทำการศึกษาค่าความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไป โดยมีการอธิบายด้วยสมการที่แสดงศักยภาพความเร่งของรถยนต์ไฟฟ้า (a) และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (P) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ถึงการคาดการณ์สมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าจากปริมาณของพลังงานไฟฟ้าและพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในเอกสารอ้างอิงที่ [23] กล่าวถึงการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

แบบไฮบริดจ์ในจำนวนมากในสถานที่อยู่อาศัยด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [24] เกี่ยวกับระบบควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริดจ์ที่ลานจอดรถด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 75 กิโลวัตต์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [23] เป็นการแสดงผลลัพธ์จากการศึกษาปัญหาการจัดสรรพลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานชาร์จไฟให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ในเอกสารอ้างอิงที่ [24] กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ปัญหาโดยเครื่องมือทางคณิตศาสตร์สร้างการจำลองในการขับเคลื่อนยนต์ไฟฟ้าและความเหมาะสมในการชาร์จไฟ ในเอกสารอ้างอิงที่ [25] เป็นการศึกษาผลกระทบต่อค่าตัวแปรจากระบบจำหน่าย ในวงจรระดับแรงดันปฐมภูมิและทุติยภูมิ ที่มาจากโหลดที่เป็นรถยนต์ไฟฟ้า และจากการศึกษาพบว่าจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามีผลกระทบต่อแรงดันด้านทุติยภูมิมากกว่าด้านปฐมภูมิ ในเอกสารอ้างอิงที่ [26]-[27] เป็นการกล่าวถึงการตรวจสอบการต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่าย โดยมีการรวบรวมและนำนวัตกรรมที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีการสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [28]-[31] นำเสนอวิธีการชาร์จรถยนต์ไฮบริดในหลายๆรูปแบบ ทำการสร้างแบบจำลองต้นแบบขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการชาร์จรถยนต์ไฮบริด ในเอกสารงานวิจัยที่ [32] ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดกับหม้อแปลงในระบบจำหน่าย เมื่อมีการชาร์จไฟรถยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบ AC Level 1 กับ AC Level 2 โดยนำเสนอ อัลกอริทึมสำหรับประเมินประสิทธิภาพของหม้อแปลง ในเอกสารอ้างอิงที่ [33] เป็นการสำรวจความเหมาะสมในการใช้รถยนต์ไฟฟ้าและตารางการจัดสรรพลังงานภายในบ้าน จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานภายในบ้าน การเลือกเวลาชาร์จไฟรถยนต์ทำให้สามารถประหยัดค่าไฟได้มากกว่าและยังเป็นการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Load) ในเอกสารอ้างอิงที่ [34] กล่าวถึงการควบคุมอัตราการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่จะก่อให้เกิดการพัฒนาโครงข่ายเดิมให้ดีขึ้น โดยใช้เทคนิคจากพื้นฐานของโปรแกรมเชิงเส้นในการหาความเหมาะสมในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยการบริหารพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่อย่างจำกัด เทคนิคจะถูกทดสอบในระบบจำหน่ายของครัวเรือน

ในเอกสารอ้างอิงที่ [35] ทำการออกแบบสถานีชาร์จไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง ในงานวิจัยที่ [36]-[39] นำเสนอการคาดการณ์ผลกระทบของระดับแรงดันฮาร์โมนิกว่าจะไม่เกิดการรบกวนในระบบไฟฟ้ากำลัง ขณะที่มีการชาร์จแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าและวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงข่ายระบบจำหน่าย ในงานวิจัยที่ [40] เป็นการศึกษาออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าในส่วนของควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเหมาะสมของแบตเตอรี่และระบบการบริหารจัดการพลังงาน ในเอกสารอ้างอิงที่ [41] กล่าวถึงพื้นฐานของระบบชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า วิธีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบใหม่ถูกนำเสนอเพื่อตอบสนองความต้องการในเรื่องข้อจำกัดของระบบจำหน่าย ทั้งแรงดันและกำลังไฟฟ้าด้วย แนวคิดถูกนำเสนอโดยทดสอบในระบบจำลองระบบจำหน่าย ผลแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอไปสามารถใช้งานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่าย ใน

งานวิจัยที่ [42]-[43] เป็นการออกแบบระบบชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหาขนาดของตัวควบคุมการชาร์จและแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาถึงลักษณะค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ลักษณะการจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยที่ [44] ทำการศึกษาลักษณะของการชาร์จและการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อนำไปออกแบบวงจรสำหรับบอกค่าพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ในการศึกษาังรวมไปถึงการพัฒนาวงจรที่ทำการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในเอกสารอ้างอิงที่ [45] ศึกษากระบวนการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในอาคารจอดรถมันต์ด้วยโดยมีการใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่เซลล์เชื้อเพลิง เพื่อศึกษาความเพียงพอของพลังงานไฟฟ้าในที่พักอาศัยในงานวิจัยที่ [46] นำเสนอความเป็นไปได้ในการนำพลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้นำเสนอพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม โดยผลจากการทดลองถูกวิเคราะห์ขนาดการติดตั้งและทางเศรษฐศาสตร์ด้วยการจำลองจาก Homer และในงานวิจัยจากเอกสารอ้างอิงที่ [47] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันในตลาดของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานทดแทน งานวิจัยที่ [48] เป็นการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ในการหาจุดคุ้มทุนสำหรับการสร้างสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยมีการวิเคราะห์ทางการเงินอย่างละเอียด ว่าสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้านั้นคุ้มค่าสำหรับการนำมาใช้งานหรือไม่ ในงานวิจัยตามเอกสารอ้างอิงที่ [49] ได้มีการศึกษาข้อได้เปรียบของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยใช้การชาร์จแบบพลวัต (Dynamic Charging) โดยวิเคราะห์โมเดลทางเศรษฐศาสตร์ของขนาดแบตเตอรี่และโครงสร้างพื้นฐานของระบบชาร์จ ในเอกสารอ้างอิงที่ [50] กล่าวถึงเทคนิคการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยนำขั้นตอนวิธีการออกแบบตารางการชาร์จที่เหมาะสมภายในอาคารอัจฉริยะ โดยการวางแผนการชาร์จจะใช้พื้นฐานข้อมูลการพยากรณ์ไฟฟ้ากำลังที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และอัตราการชาร์จพลังงานไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า

ซึ่งจากเอกสารอ้างอิงทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โครงการวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นการวิจัยเพื่อหาองค์ความรู้ใหม่อย่างแท้จริง ไม่เป็นการวิจัยซ้ำกับองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้ว ผลจากการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงองค์ความรู้ใหม่ที่ยังไม่มีการทำวิจัยมาก่อน ดังต่อไปนี้

- 1) เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เตารับ และบริภัณฑ์ไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียง เมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในที่พักอาศัย
- 2) เป็นการนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาครัวเรือนมาชาร์จให้รถยนต์ไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบในระบบไฟฟ้าและความเป็นไปได้ในการติดตั้งใช้งาน

## 2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

ตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าคือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติโดยไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย เหตุผลหลักที่ทำให้มีการพิจารณาถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้า

1. เนื่องจากมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีเทคโนโลยีสูงขึ้นซึ่งจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกำลังไฟฟ้า โดยเฉพาะอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังเช่น อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ PLC และรีเลย์บางชนิด
2. การเพิ่มขึ้นของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้น
3. ผู้ใช้ไฟทราบถึงปัญหาที่มีผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า เช่น ปัญหาจากแรงดันตกชั่วระยะสั้น (Voltage Sag) โดยจะเป็นแนวทางและวิธีการเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าให้ดีขึ้น
4. ระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่องันกัน ถ้าส่วนใดของระบบเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าก็จะมีส่วนอื่นๆ ของระบบได้รับผลกระทบจากปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามไปด้วย

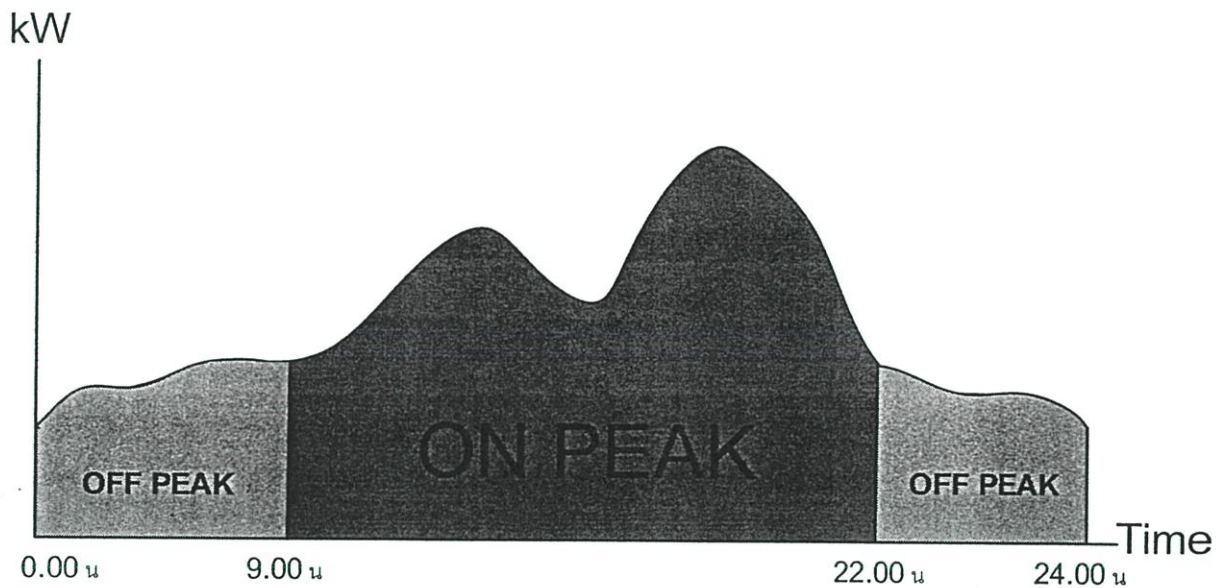
ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปเกิดจาก 5 สาเหตุใหญ่

1. จากปรากฏการณ์ธรรมชาติเช่น พายุ
2. จากการเกิดสภาวะความผิดปกติ (fault) ทางไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า
3. จากการกระทำการสวิตซ์อุปกรณ์ในระบบ
4. จากการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบ
5. จากการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง

แนวทางการแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ถูกต้องนั้น จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือกันระหว่างการผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า เช่นในส่วนของกรไฟฟ้าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟหรือระบบสายส่งและในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและส่วนของผู้ใช้ไฟต้องมีการควบคุมปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจากผู้ไฟเองและอาจต้องนำข้อมูลทางไฟฟ้าและปัญหาต่างๆมารวมปรึกษากันและมีการร่วมกับบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อพิจารณาระดับการทำงานที่สัมพันธ์กันของอุปกรณ์กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งจะช่วยลดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระดับหนึ่ง ในบทความนี้จะกล่าวเพียงคำนิยามปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและสาเหตุ เพื่อพื้นฐานก่อนที่นำเสนอบทความที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าต่อไป

## 2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

อัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า (Time of Use Rate : TOU) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด คือ ค่าไฟฟ้าจะสูงในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก (On Peak) ตั้งแต่เวลา 9.00 – 22.00 นาฬิกา ของวันทำการ และค่าไฟฟ้าจะต่ำในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) ตั้งแต่เวลา 22.00 - 9.00 นาฬิกา ของวันทำการ รวมทั้งวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ตลอดทั้งวัน ทำให้การใช้ไฟฟ้ามีการกระจายในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) มากขึ้น และลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูงสุดลง ซึ่งจะช่วยให้ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลดลง และผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้ประโยชน์จากการจ่ายไฟฟ้าที่ลดลงด้วย



ภาพที่ 2.1 กราฟช่วงเวลา On/Off Peak

1. ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) : ระหว่างเวลา 09.00 -22.00 นาที่ วันจันทร์-ศุกร์
2. ช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) : ระหว่างเวลา 22.00 -09.00 นาที่ วันจันทร์-ศุกร์ และ ช่วงเวลาระหว่าง 00.00-24.00 ของวันเสาร์-อาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพีชมงคลและวันหยุดชดเชย)

โครงสร้างค่าไฟฟ้า ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

### 1. ค่าไฟฟ้าฐาน

สะท้อนต้นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย และค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้า ภายใต้สมมติฐานความต้องการใช้ไฟฟ้า ราคาเชื้อเพลิง อัตราแลกเปลี่ยน และอัตราเงินเฟ้อระดับหนึ่ง โดยมีส่วนประกอบตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้างดังนี้

#### ตารางที่ 2.1 ค่าไฟฟ้าฐานของกิจการแต่ละประเภท

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	ค่า PF (บาท/กิโลวาร์)
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	✓	-	✓	-
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	✓	-	✓	-
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง	✓	✓	✓	✓
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่	✓	✓	✓	✓
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง	✓	✓	✓	✓
ประเภทที่ 6 องค์กรไม่แสวงหากำไร	✓	✓	✓	-
ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร	✓	✓	✓	-
ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว	✓	-	✓	-

### 2. ค่า Ft

ค่า Ft หมายถึง ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ค่าซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และค่าใช้จ่ายตามนโยบายภาครัฐ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับที่กำหนดไว้ในค่าไฟฟ้าฐาน ค่า Ft มีการปรับปรุงทุก ๆ 4 เดือน

### 3. ภาษีมูลค่าเพิ่ม

นอกจากค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft ดังกล่าวแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT ร้อยละ 7) รวมกับค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft ด้วย

#### ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่างๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.2 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

อัตราค่าไฟฟ้าปกติ		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1. ใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
15 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 1 - 15)	1.8632	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16 - 25)	2.5026	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26 - 35)	2.7549	
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36 - 100)	3.1381	
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101 - 150)	3.2315	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 - 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	
2. ใช้พลังงานไฟฟ้า เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			38.22
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 - 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 - 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ตารางที่ 2.3 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	
1. แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	4.5827	2.1495	312.24
2. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	5.2674	2.1827	38.22

## ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงาน รัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่ สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.4 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

อัตราค่าไฟฟ้าปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1. แรงดัน 12 – 24 กิโลโวลต์	3.4230	228.17
2. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์		46.16
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ตารางที่ 2.5 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	
1. แรงดัน 12 – 24 กิโลโวลต์	4.5827	2.1495	312.24
2. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	5.2674	2.1827	46.16

## ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด

ตารางที่ 2.6 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

อัตราค่าไฟฟ้าปกติ	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	2.6506	312.24
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	196.26	2.6880	
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	221.50	2.7160	

ตารางที่ 2.7 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	132.93	0	3.6796	2.1760	
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	210.00	0	3.8254	2.2092	

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.8 อัตราค่าไฟฟ้าปกติ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

อัตราค่าไฟฟ้าปกติ	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Partial	Off Peak		
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.6506	312.24
2. แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	2.6880	
3. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	2.7160	

ตารางที่ 2.9 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

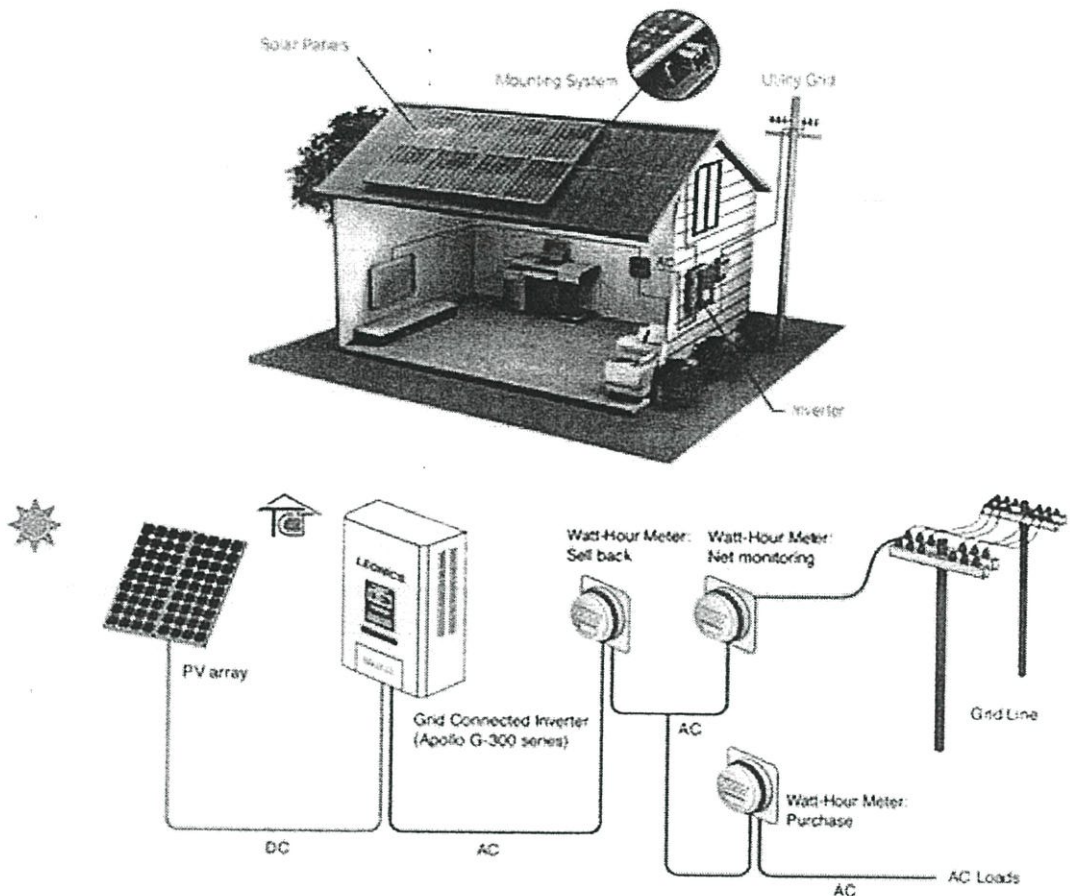
อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	0	3.6796	2.1760	
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	0	3.8254	2.2092	

การที่จะลดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้า สามารถทำได้โดยใช้หลักง่าย ๆ คือหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในช่วงเวลาที่มีการคิดอัตราค่าพลังไฟฟ้าต่อหน่วยมีค่าสูงจึงได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการที่จะลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) ผลที่ได้ตามมา คือ การช่วยลดต้นทุนที่มีมูลค่าสูงสำหรับการจัดหาและผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) และทำให้ชะลอการลงทุน ของการไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลดี อย่างต่อเนื่องทำให้ค่าไฟฟ้านลดลง ช่วยลดต้นทุนในการผลิตแก่ผู้ประกอบการ และเป็นการกระตุ้นให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar roof)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar roof) หมายถึง ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านที่อยู่อาศัยหรือบนอาคารต่างๆ สามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เองภายในบ้าน, อาคารหรือโรงงาน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะรับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วจ่ายเป็นไฟกระแสตรง (DC) ให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดเชื่อมต่อกับสายส่ง (Grid tie Inverter) แล้วแปลงไฟกระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟกระแสสลับ (AC 220V, 50Hz) เราก็จะได้กระแสไฟฟ้าที่พร้อมใช้งานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น ทีวี พัดลม ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ

### 2.3.1 หลักการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาบ้าน



ภาพที่ 2.2 การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาบ้าน

(ที่มา : <http://www.energy-techno.com/>)

ในเวลากลางวัน ระบบโซลาร์รูฟจะผลิตกระแสไฟฟ้าโดยจะต่อร่วมกับไฟของการไฟฟ้า การทำงานของระบบจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ได้จากระบบโซลาร์รูฟมาใช้ก่อน กรณีที่ใช้ไฟเยอะเกินกว่าที่ระบบโซลาร์รูฟผลิตได้ ระบบก็จะดึงกระแสไฟฟ้าจากสายส่งการไฟฟ้าเข้ามาช่วยจ่ายพลังงานส่วนกรณีใช้ไฟน้อยระบบก็จะทำการจ่ายคืนกระแสไฟฟ้าที่เกินความต้องการเข้าสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (มิเตอร์จะหมุนกลับทิศ) ทำให้ช่วยลดค่าไฟฟ้าลงได้ (ในกรณี Solar Roof โครงการขายไฟ จะมีมิเตอร์ขายไฟอีกตัวแยกต่างหาก)

ในเวลากลางคืน จะไม่มีแสงอาทิตย์ระบบก็จะหยุดการทำงาน เราจะใช้ไฟจากการไฟฟ้าได้อย่างเดียว(ทำให้ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการเก็บพลังงาน) เมื่อสว่างมีแสงอาทิตย์ระบบก็จะเริ่มทำงานผลิตไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ระบบจะตัดการทำงานเมื่อมีไฟดับ ในกรณีที่ไฟดับเครื่องแปลงกระแส (Grid Inverter) จะตัดการทำงานของระบบโดยอัตโนมัติ จะไม่มีกระแสไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายเข้าไปในบ้านและสายไฟของการไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ๆจะมา

ทำการซ่อมบำรุง ดังนั้นจะไม่สามารถนำไฟฟ้าจะเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ได้เมื่อไฟฟ้าดับ โดยการ  
ทำงานแบบนี้จะเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลกเหมือนกันหมด

### 2.3.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน  
และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณ  
จำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

#### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความ  
เข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่  
แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก

#### 2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)  
จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5%  
และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ  
อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

### 2.4 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ เครื่องมือที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)  
จากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) แปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้  
โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์ แต่  
เอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control  
Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ แผงโซลาร์เซลล์จะผลิตพลังงานไฟฟ้า  
ออกมาในรูปแบบของไฟกระแสตรง (Direct Current) แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยโดยส่วนใหญ่  
เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับไฟกระแสสลับเป็นหลัก ดังนั้นการที่จะทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์  
ให้ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปได้ ก็ต้องมีตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเสียก่อน

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์คือจะรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปสู่ตัวเครื่อง  
อินเวอร์เตอร์ ไม่ว่าจะการผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์แล้วส่งไปที่ควบคุมกระแส หรือไฟฟ้กระแสตรงจาก  
แบตเตอรี่ก็ตาม หลังจากนั้นจะผ่านวงจรไฟฟ้าภายในตัวอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์  
ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้สลับกันไปมาระหว่างความต่างศักย์ที่เป็นบวกและลบจนได้เป็น  
พลังงานไฟฟ้าที่เป็นไฟกระแสสลับโดยมีจำนวนครั้งที่สลับไปมาเท่ากับ 100-120 ครั้งต่อวินาที

(ความถี่ 50-60 เฮิร์ตส) แล้วแต่การออกแบบวงจรภายใน โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ผลิตและใช้กันอยู่ในประเทศไทยโดยทั่วไป มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 220-230 โวลต์ (V) ความถี่ 50 เฮิร์ตส (Hz)

โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะแบ่งแยกตามระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ซึ่งมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆด้วยกัน ได้แก่

1) อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบสแตนด์ออลน (Stand-Alone System) หรือระบบอิสระที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับการไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีหลักการทำงานเบื้องต้นที่กล่าวไปคือ รับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ หรือไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่(เวลากลางคืนจากพลังงานที่ชาร์จไว้โดยแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน) แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป

2) อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบออนกริด (On-grid System) หรือระบบที่ทำงานสัมพันธ์กับการไฟฟ้า มีชื่อเรียกอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้โดยทั่วไปว่า กริดไทน์อินเวอร์เตอร์ (Grid-Tied Inverter) ลักษณะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ระบบนี้จะเหมือนกับอินเวอร์เตอร์โดยปกติทั่วไปแต่จะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์อีกทางหนึ่งด้วย ตัวอินเวอร์เตอร์แบบนี้ถึงจะทำงาน ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะถูกใช้ไปกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆภายในบ้าน ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตได้อินเวอร์เตอร์ก็จะดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาจ่ายให้เพิ่มเติม แต่ถ้าแผงโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้ภายในบ้าน ไฟฟ้าก็จะถูกขายให้กับการไฟฟ้าต่อไป (ระบบขายไฟฟ้ามูลค่าให้กับการไฟฟ้า-VSPP) กริดไทน์อินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันจะตัดการทำงานตัวมันเองทันทีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าดับเพื่อป้องกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ผ่านไปยังสายไฟของการไฟฟ้าซึ่งเป็นอันตรายต่อช่างไฟฟ้าที่จะมาซ่อมได้

ข้อดีของระบบกริดไทน์อินเวอร์เตอร์ (Grid tie Inverter)

- ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่หรืออุปกรณ์ควบคุมการชาร์จในการเก็บพลังงานไฟฟ้า
- ใช้พลังงานที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างคุ้มค่า (พลังงานที่เหลือจ่ายคืนให้กับระบบการไฟฟ้า)
- เหมาะสำหรับบ้าน ที่มีไฟฟ้าเข้าถึงอยู่แล้ว แต่ต้องการใช้พลังงานทดแทนเพื่อช่วยรักษาสິงแวดล้อม และประหยัดการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

รูปแบบของรูปคลื่น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่แปลงได้จากตัวอินเวอร์เตอร์ จะมีรูปแบบของรูปคลื่นที่ผลิตได้อยู่สองแบบใหญ่ๆด้วยกัน

1) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม อีกรูปแบบที่ใกล้เคียงกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งจุดที่เปลี่ยนระหว่างคลื่นบวกกับลบจะมีความชันน้อยกว่า ส่วนใหญ่แล้วจะเจอกับอินเวอร์เตอร์ที่มีราคาถูก หาซื้อได้โดยทั่วไป อินเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันขาออกเป็นแบบสองรูปคลื่นนี้จะนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ค่อยมีผลกับรูปแบบของรูปคลื่นมากนักเช่นหลอดไฟ เป็นต้น แต่ถ้านำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของเส้นลวดพัน เช่นมอเตอร์พัดลม จะทำให้เกิดเสียงฮัม

และความร้อนจากตัวมอเตอร์ ส่งผลให้มอเตอร์เสียหายได้ เนื่องจากรูปแบบลูกคลื่นไม่สอดคล้อง  
หลักการทำงานภายในของตัวมอเตอร์นั่นเอง

2) รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) หรือที่เรียกตามทั่วไปคือ เพียวไซน์ (Pure-Sine Wave)  
อินเวอร์เตอร์ที่ผลิตรูปคลื่นแบบนี้ออกมาจะมีราคาที่สูงกว่า เพราะรูปคลื่นไซน์จะรองรับการนำไปใช้  
งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกชนิดโดยไม่ทำให้เกิดปัญหา และมีรูปร่างของคลื่นที่ผลิตได้เหมือนกับรูป  
คลื่นไฟฟ้าตามบ้านทุกประการ

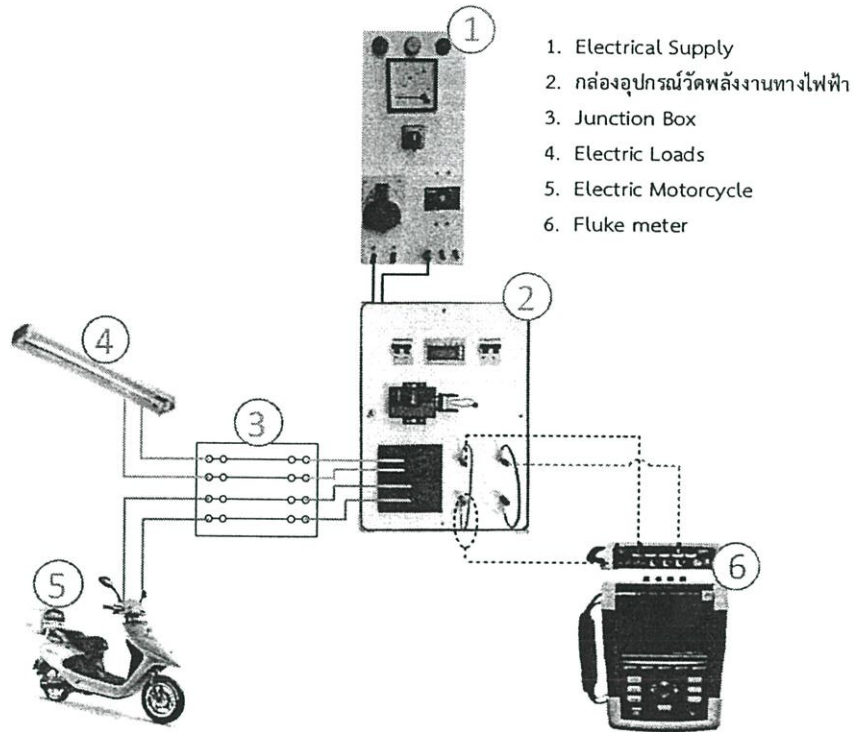
## บทที่ 3

### การออกแบบการจำลองซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

การคิดค่าไฟฟ้าในปัจจุบันซึ่งรับพลังงานจากการไฟฟ้ามีด้วยกันอยู่หลายแบบโดยการคิดอัตราไฟฟ้าด้วยอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้บริโภคทางไฟฟ้าในการใช้บริการไฟฟ้า ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าแบบที่โอบุ มีการคิดค่าไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาในราคาที่แตกต่างกันตามที่กล่าวไปข้างต้น ดังนั้นการซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบดังกล่าวในช่วงเวลาที่มีการคิดค่าไฟฟ้าที่มากกว่าปกติ จะทำให้ผู้บริโภคต้องใช้จ่ายในราคาที่สูง และ เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในราคาที่ลดลง จึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถเป็นไปได้ในการติดตั้งแก่ผู้บริโภคคือ พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาในการออกแบบชุดการทดลองจำลองซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและมีการรับพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปคำนวณการคิดค่าไฟฟ้าและศึกษาพฤติกรรมของโหลดในระบบข้างเคียงหลังจากการซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อดูคุณภาพไฟฟ้าของระบบต่อไป

#### 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในชุดการทดลอง

การสร้างวงจรเพื่อทำการทดลองการคิดค่าไฟฟ้าด้วยอัตราค่าไฟฟ้าด้วยอัตราตามช่วงเวลาของการใช้โดยแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งแบบจำลองจะทำการรับแรงดันไฟฟ้าจากห้องปฏิบัติการทดลองเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ที่มาต่อกับชุดการทดลอง โดยมีอุปกรณ์ป้องกันคือเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ตัว ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์มิเตอร์วัดพลังงานทางไฟฟ้าและโหลดที่ต่อกับชุดทดลอง



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงวงจรการทดลอง

โดยหมายเลขแต่ละจุด แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากห้องปฏิบัติการ
2. กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า
3. จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Junction box)
4. โหลดตัวอย่างทางไฟฟ้า
5. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
6. อุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้า (Fluke Meter)

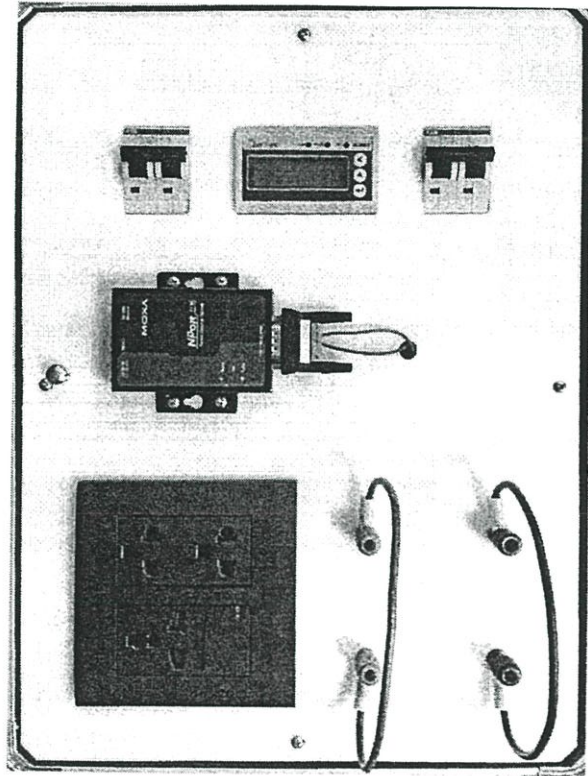
### 3.1.1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ในห้องปฏิบัติการจะการจ่ายมีแรงดันไฟฟ้าคงที่ขนาด 220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต เข้ามาในกล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถจ่ายโหลดได้ทุกการทดลอง และยังมีชุดอุปกรณ์ป้องกันในตัวแหล่งจ่ายเองด้วย

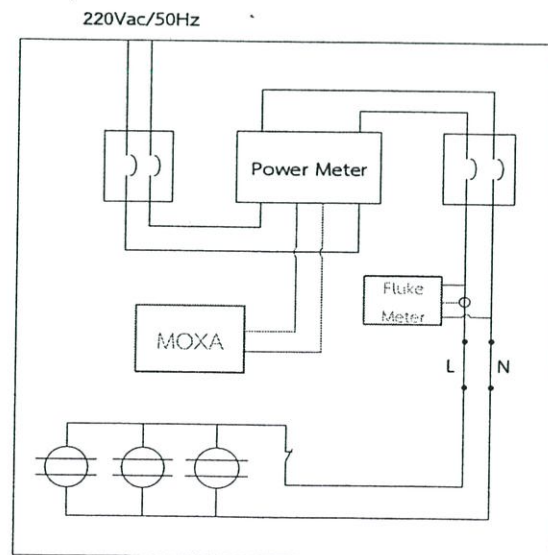
### 3.1.2 กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า

กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้าในทางชุดการทดลองนี้จะใช้ ดิจิตอลวัตต์ฮาวมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า รวมไปถึงเพาเวอร์แฟคเตอร์รวมของโหลดที่ต่ออยู่กับชุดการทดลองโดยดิจิตอลวัตต์ฮาวมิเตอร์นี้จะสามารถอ่านค่าได้ที่หน้าจอเพื่อดูค่าพารามิเตอร์ขณะนั้น หรือ สามารถนำพารามิเตอร์ที่วัดได้มาพล็อตกราฟเทียบกับแกนเวลาโดยเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์

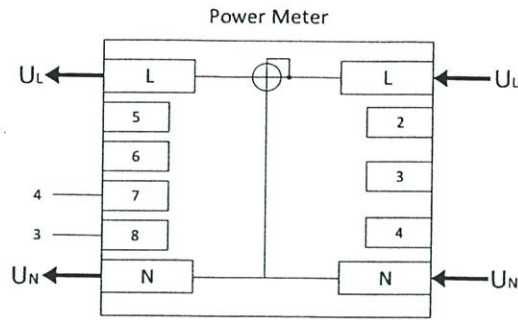
วัดพลังงานทางไฟฟ้ากับคอมพิวเตอร์ โดยมีซอฟต์แวร์อุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า (MOXA) ในการจ่ายไฟเลี้ยง ในกล่องนี้ได้ใส่ชุดอุปกรณ์ป้องกันไฟเกินหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อความปลอดภัยอีกด้วย



ภาพที่ 3.2 กล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า



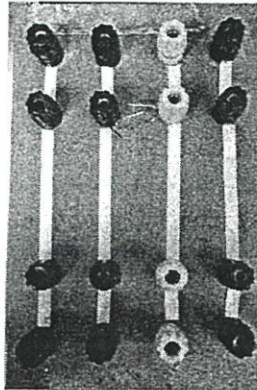
ภาพที่ 3.3 วงจรของกล่องอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.4 4 วงจรภายในตัว Power Meter

### 3.1.3 จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Junction box)

จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้านี้จะเป็นจุดที่โหลดตัวอย่าง และโหลดจกักรยานยนต์ไฟฟ้าต่อรวมกันซึ่งอาจจะต่อมาจากอุปกรณ์ที่ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือไม่ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์มาก็ได้



ภาพที่ 3.5 จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Junction box)

### 3.1.4 โหลดตัวอย่างทางไฟฟ้า

เนื่องจากต้องการศึกษาการคิดค่าไฟฟ้าจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรซึ่งมีโหลดพื้นฐานอยู่แล้วดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีโหลดในวงจรเดิมเพื่อศึกษาผลกระทบเมื่อมีการใช้โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมในวงจร ทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ได้ส่งผลต่อโหลดพื้นฐาน ในการทดลองจะใช้โหลดชนิดเชิงเส้นคือหลอดไส้ และโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง

### 3.1.5 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

การชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในขณะที่วงจรมีการใช้โหลดพื้นฐานอยู่จะทำให้เกิดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่น่าสนใจ ซึ่งแน่นอนว่าจะทำให้ต้องการพลังงานทางไฟฟ้ามากขึ้นแต่จะมากขึ้นเพียงใด และ ยังส่งผลกระทบต่อทางด้านคุณภาพทางไฟฟ้าต่อโหลดทางไฟฟ้าข้างเคียงด้วย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.6 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (ก) และอุปกรณ์ชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (ข)

### 3.1.6 อุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้า (Fluke Meter)

นอกจากการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณโดยเกิดจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังจำเป็นต้องศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้วย โดยปัญหาคุณภาพทางไฟฟ้าจะทำให้โหลดในวงจรไฟฟ้านั้นทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพหรืออาจเกิดความเสียหายได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าไม่สามารถอ่านได้ด้วยอุปกรณ์วัดพลังงานทางไฟฟ้า เราจึงนำอุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้ามาทำการวัด



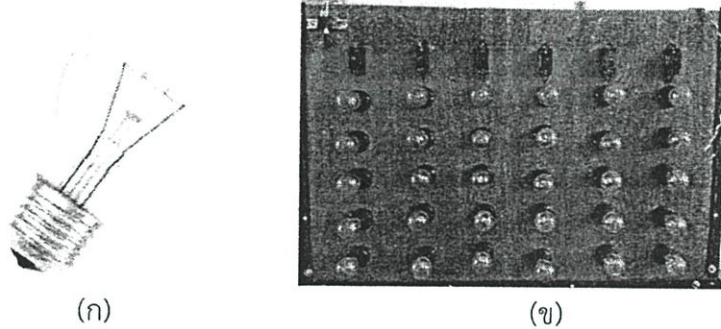
ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์วัดคุณภาพทางไฟฟ้า (Fluke Meter)

### 3.2 การเลือกโหลดในวงจรเมื่อต้องร่วมกับการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

การทดลองที่จะศึกษาค่าไฟฟ้าและผลกระทบจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการจำลองเหตุการณ์เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าอยู่ในที่อยู่อาศัยหรือโรงงานอยู่แล้วหากมีการต่อโหลดจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้าไปเพิ่มในวงจรจะเกิดผลกระทบอะไรบ้าง โดยเราจะแบ่งโหลดเป็นสองชนิดดังนี้

#### 3.2.1 โหลดเชิงเส้น

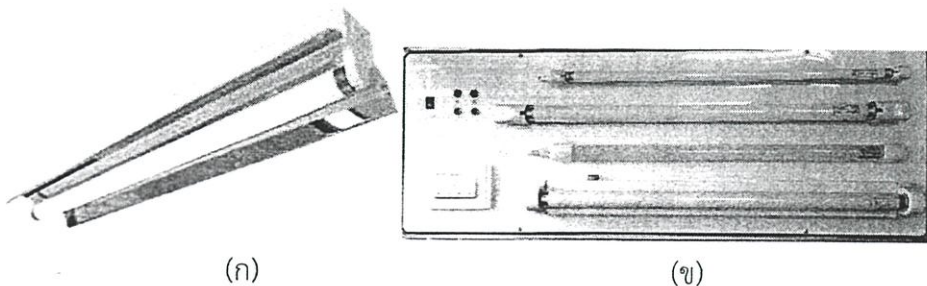
การจำลองโหลดระหว่างชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในกรณีนี้ นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในชีวิตประจำวันโดยลักษณะของโหลดที่อยู่ในวงจรร่วมกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอาจจะเป็นโหลดเชิงเส้นซึ่งจะมีค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 1 ได้แก่ เตารีด หม้อหุงข้าว เครื่องทำน้ำอุ่น เป็นต้น การศึกษากรณีนี้จึงนำหลอดไฟฟ้าแบบไส้มาเป็นตัวอย่างการทดลอง



ภาพที่ 3.8 โหลดเชิงเส้น (ก) และ แผงโหลดเชิงเส้น (ข)

#### 3.2.2 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น

การจำลองโหลดระหว่างชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในกรณีนี้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในชีวิตประจำวันเช่นกัน โดยโหลดไม่เป็นเชิงเส้นได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น อาจจะมีค่าไฟฟ้าจากการคิดมิเตอร์ด้วยอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ที่แตกต่างกัน หรืออาจจะมีค่าคุณภาพทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย

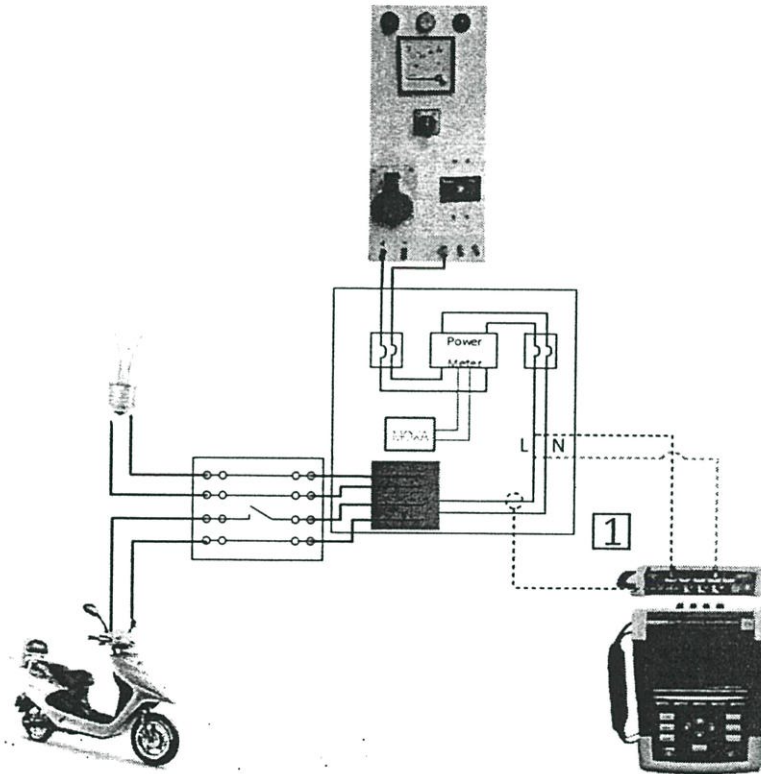


ภาพที่ 3.9 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น (ก) และ แผงโหลดไม่เป็นเชิงเส้น (ข)

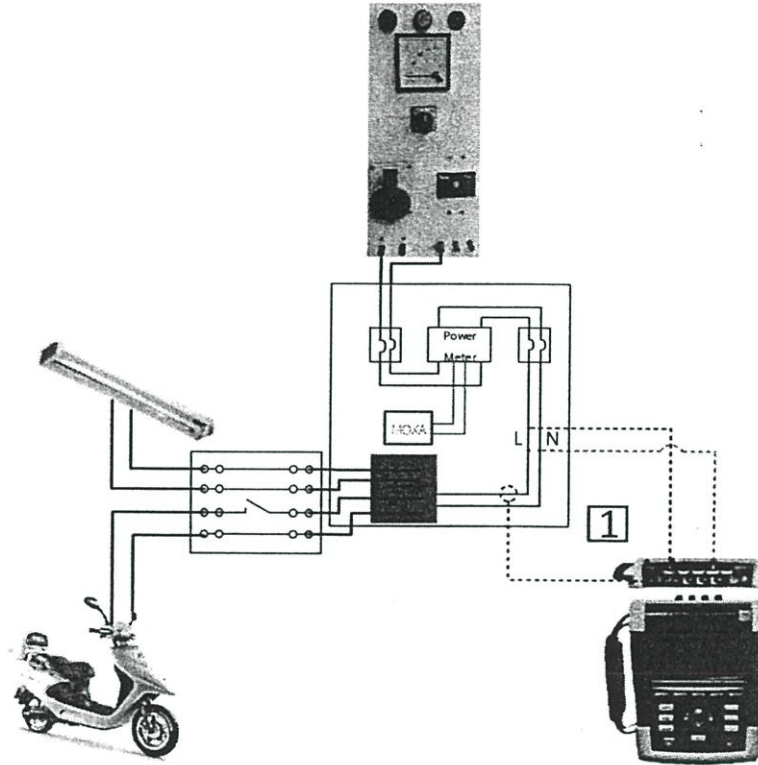
### 3.3 การแยกวงจรระหว่างโหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

#### 3.3.1 โหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

เป็นการศึกษาผลกระทบทางด้านพลังงานไฟฟ้าและคุณภาพทางไฟฟ้า โดยมีโหลดเชิงเส้นเส้นและโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ทำงานในสภาวะปกติและเมื่อมีการทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรเดียวกับโหลดตัวอย่างทั้งโหลดเชิงเส้น และโหลดไม่เป็นเชิงเส้นว่ามีรูปคลื่นและฮาร์มอนิกอย่างไร โดยวัดพารามิเตอร์ที่จุดที่ 1 ตามภาพที่ 3.9 และ 3.10



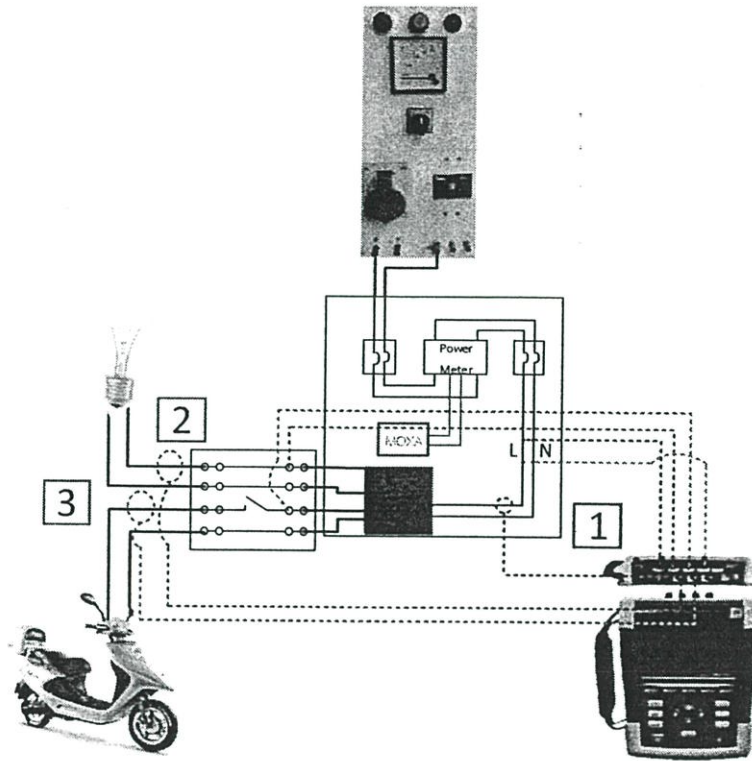
ภาพที่ 3.10 วันไลน์ไดอะแกรมของโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรเดียวกัน



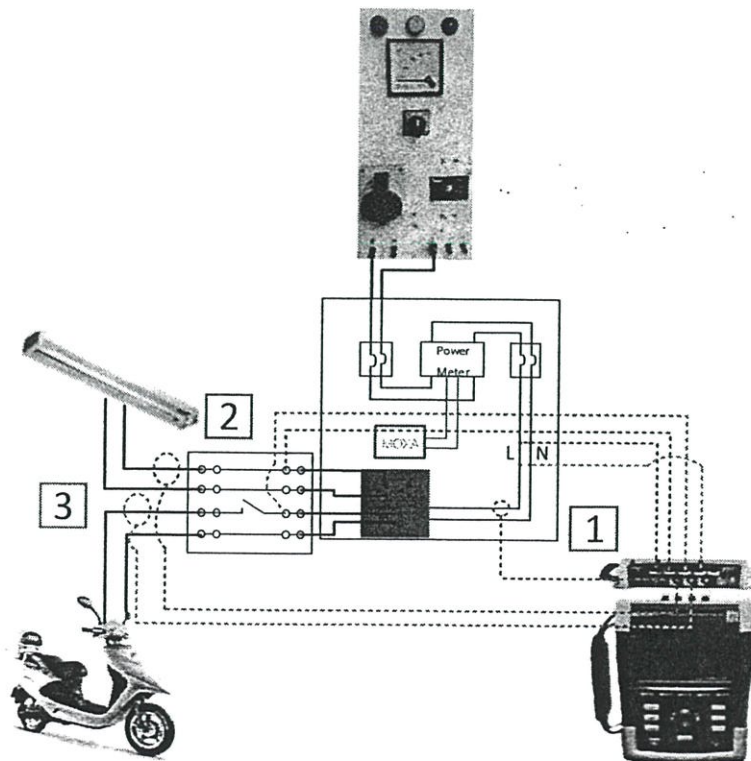
ภาพที่ 3.11 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรเดียวกัน

### 3.3.2 โหลดตัวอย่างกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าต่อแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

ศึกษาผลกระทบทางด้านพลังงานไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าโดยทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์กับโหลดตัวอย่างว่ามีรูปคลื่นและฮาร์มอนิก อย่างไรก็ตามซึ่งทำการวัดพารามิเตอร์ที่จุด 1,2,3 ตามลักษณะที่แสดงในภาพที่ 3.12 และ 3.13 โดยกรณีนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบกับกรณี 3.3.1.



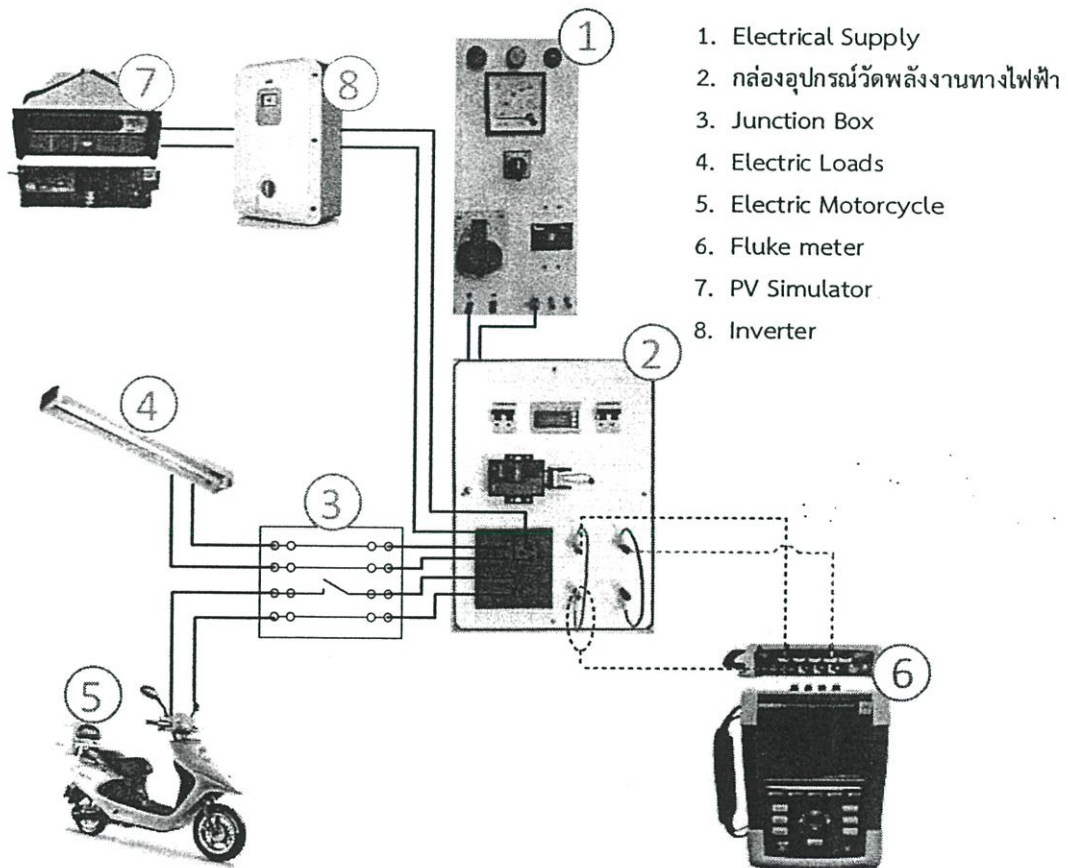
ภาพที่ 3.12 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์



ภาพที่ 3.13 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

### 3.4 การติดตั้งชุดพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์เพื่อช่วยจ่ายกับระบบไฟฟ้า

เนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้าด้วยอัตราที่โอยูจะมีการคิดราคาที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาดังนั้นการใช้พลังงานทดแทนช่วยจ่ายแทนในช่วงเวลาที่ราคาสูงจะช่วยในการลดค่าใช้จ่ายหากมีการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบ ทั้งนี้ยังทำการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าที่ระบบพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์ขณะจ่ายให้กับระบบไฟฟ้าด้วย โดยจะต้องมีชุดจำลองพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์ และชุดอินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยจะทำการวัดทุกกรณีที่ผ่านมาทุกกรณีทั้งโหลดตัวอย่างเป็นโหลดเชิงเส้น และ โหลดไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นได้ทั้งกรณีโหลดตัวอย่างกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในเบรกเกอร์เดียวกันและแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยหมายเลขที่เขียนกำกับไว้คือจุดที่ทำกรวัด เมื่อมีการต่อชุดพลังงานทดแทนร่วมด้วย โดยจะวัด 5 จุด คือ ก่อนเข้ามิเตอร์ , ไฟที่มาจาก PV Simulator , หลังออกจากมิเตอร์ , โหลดไม่เป็นเชิงเส้น และ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 3.14 , 3.15 , 3.16 และ 3.17



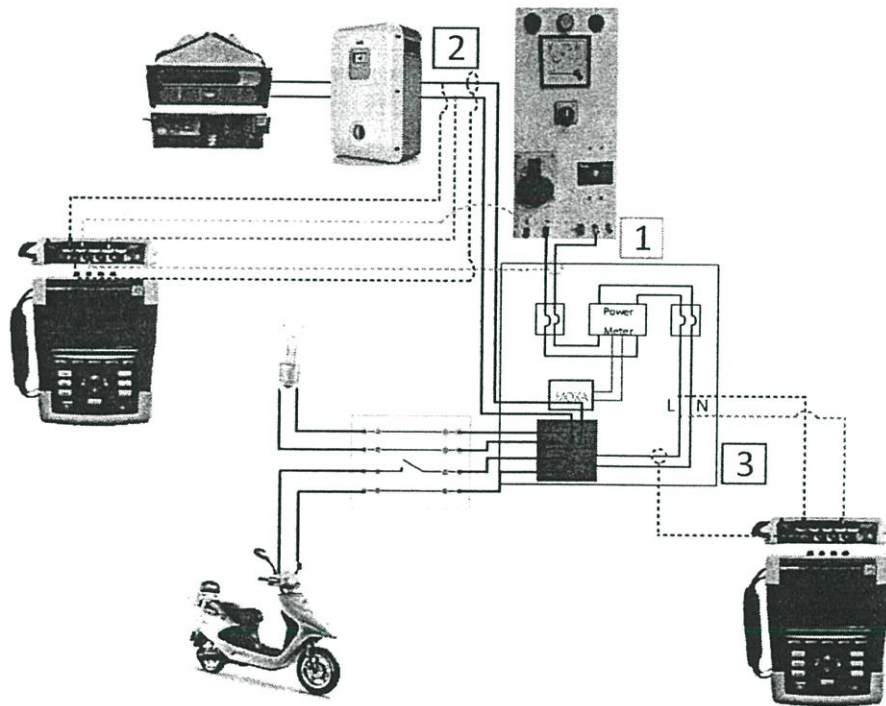
ภาพที่ 3.14 แผนภาพวงจรการทดลองโดยมีชุดพลังงานทดแทน

### 3.4.1 เครื่องจำลองพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์ (PV Simulator)

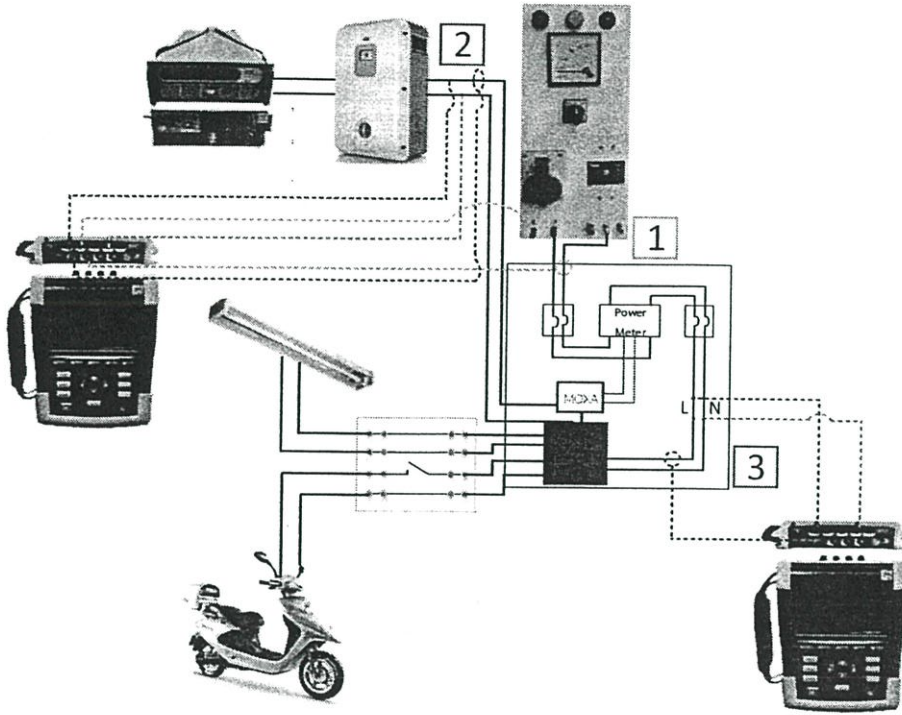
เป็นอุปกรณ์ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบไฟฟ้าโดยจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ก่อนจะเข้าระบบไฟฟ้าเพื่อช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้โหลดในวงจรและหากกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าโหลดที่ต่ออยู่ ยังสามารถช่วยการไฟฟ้าในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย โดยแผงจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ได้แสดงโดยจุดที่ 7 ของรูปภาพที่ 3.14

### 3.4.2 อินเวอร์เตอร์

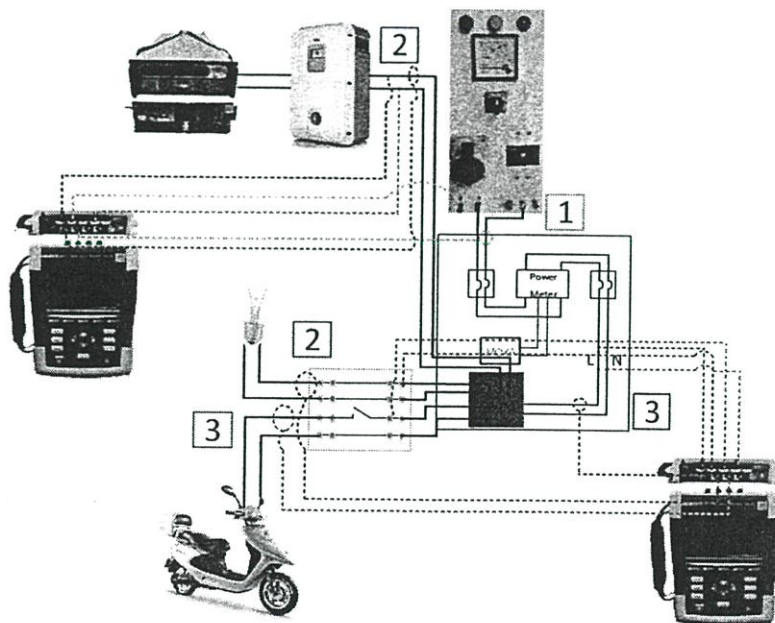
เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตมาได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แต่ระบบไฟฟ้าที่ต่อกับโหลดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องมีชุดอินเวอร์เตอร์ในการแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายโหลดในวงจร ชุดอินเวอร์เตอร์ได้แสดงในจุดที่ 8 ของรูปภาพที่ 3.17



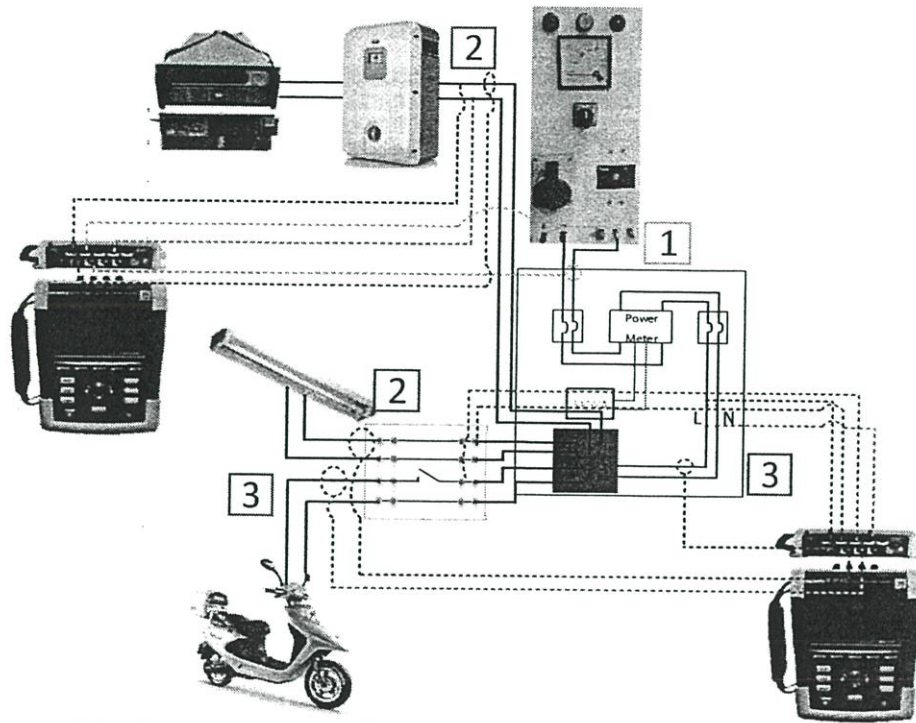
ภาพที่ 3.15 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบรวมเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน



ภาพที่ 3.16 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจกักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบรวมเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน



ภาพที่ 3.17 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดเชิงเส้นกับจกักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน



ภาพที่ 3.18 วันไลน์ไดอะแกรมระหว่างโหลดไม่เป็นเชิงเส้นกับจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิต  
เบรกเกอร์โดยมีชุดพลังงานทดแทน

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การศึกษหาผลกระทบจากการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ เพื่อหาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า และโหลดใกล้เคียงในวงจร รวมถึงค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งกรณีศึกษาได้เป็น

1. กรณีชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

1.1 ต่อร่วมกับโหลดเชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

1.2 ต่อร่วมกับโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

1.3 ต่อร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

1.4 ต่อร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

2. กรณีชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าร่วมกันแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 ต่อร่วมกับโหลดเชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

2.2 ต่อร่วมกับโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

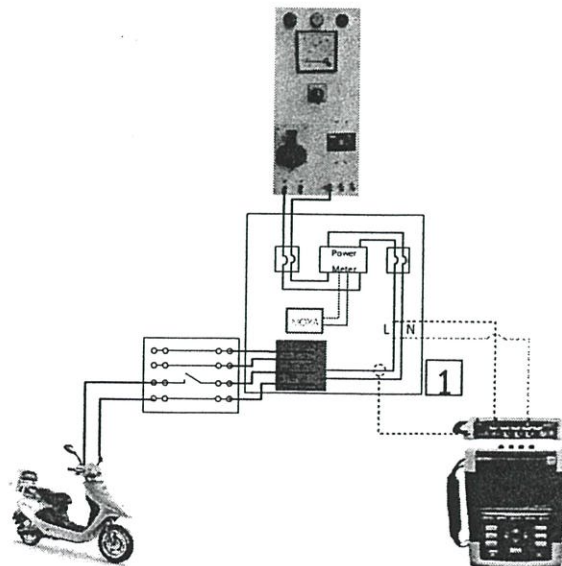
2.3 ต่อร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

2.4 ต่อร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

3. เปรียบเทียบค่าไฟฟ้า

#### 4.1 ข้อมูลโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

จะบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าและทางพลังงาน ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการชาร์จแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

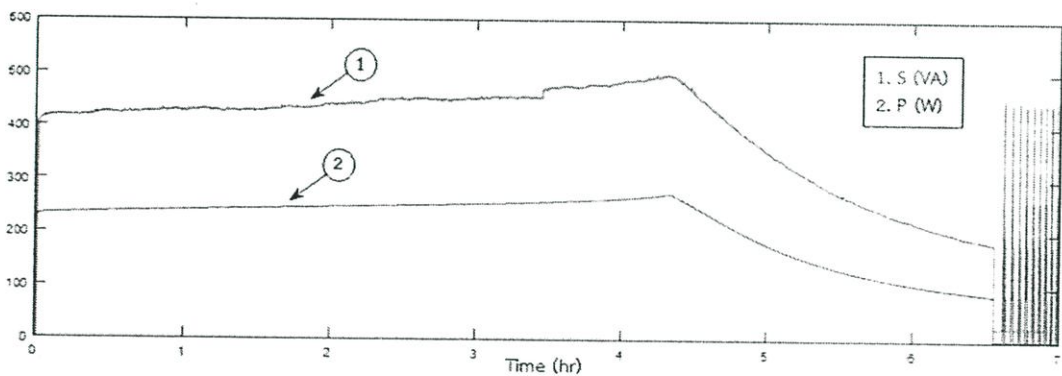


ภาพที่ 4.1 จุดวัดกรณีโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว

#### ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

V (V)	I (A)	S (VA)	P (W)	Q (Var)	PF	DPF	%THDv	%THDi
228.67	1.88	430	240	-70	0.56	0.96	1.55	135.22

จากตารางที่ 4.1 พบว่ารถจักรยานยนต์ไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ และจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน 70 วาร์ และกำลังไฟฟ้าปรากฏที่วัดได้ไม่ได้เท่ากับขนาดผลรวมของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าจริงกับเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากฮาร์มอนิกที่สูงทำให้เกิด D (ฮาร์มอนิก) กำลังไฟฟ้าปรากฏจึงมีค่าสูงขึ้น จากสมการ 2.1 ได้ค่า  $D = 350$

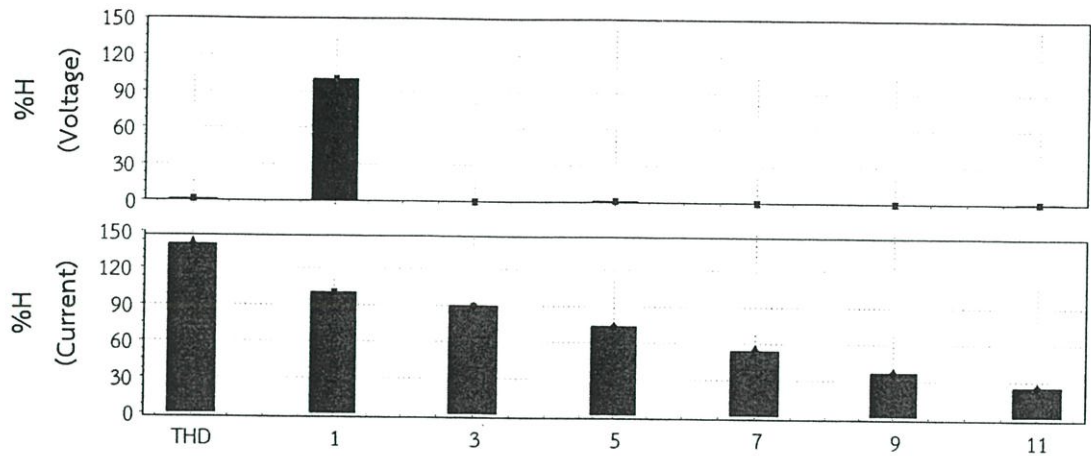


ภาพที่ 4.2 กราฟการใช้อำนาจไฟฟ้าของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

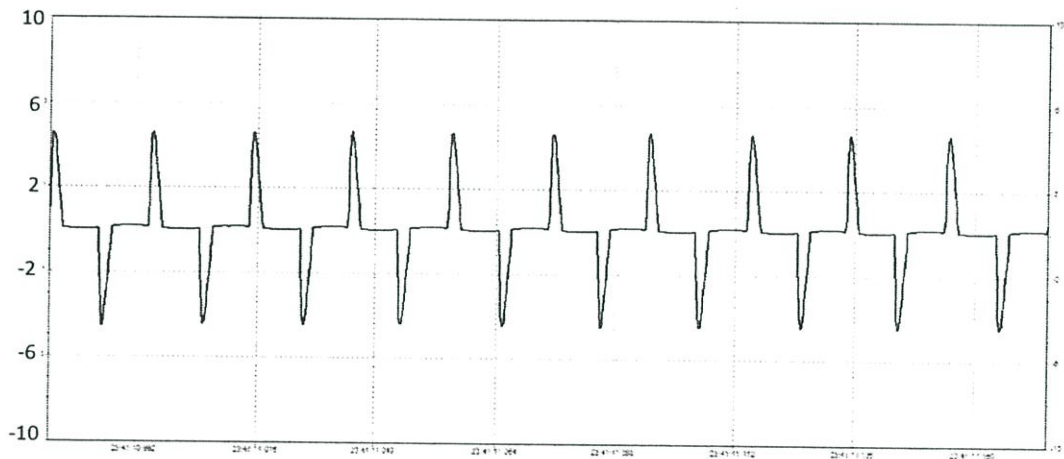
จากภาพที่ 4.2 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าใช้เวลาในการชาร์จจากแบตเตอรี่หมดจนแบตเตอรี่เต็ม 6 ชั่วโมง 30 นาที กินพลังงานทั้งหมด 1.41 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในช่วง 4 ชั่วโมงครั้งแรก กำลังไฟฟ้าที่ใช้เกือบคงที่ที่ 240 วัตต์ หลังจากนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะค่อยๆ ลดลงจนแบตเตอรี่เต็ม

#### ตารางที่ 4.2 ปริมาณฮาร์มอนิกขณะชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ลำดับฮาร์มอนิกส์	%H1	%H3	%H5	%H7	%H9	%H11
กระแส	100	88.56	70.37	49.21	30.28	18.29
แรงดัน	100	0.22	1.22	0.18	0.24	0.31



ภาพที่ 4.3 กราฟฮาร์มอนิกของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4.4 กราฟกระแสไหลตรงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขณะชาร์จ

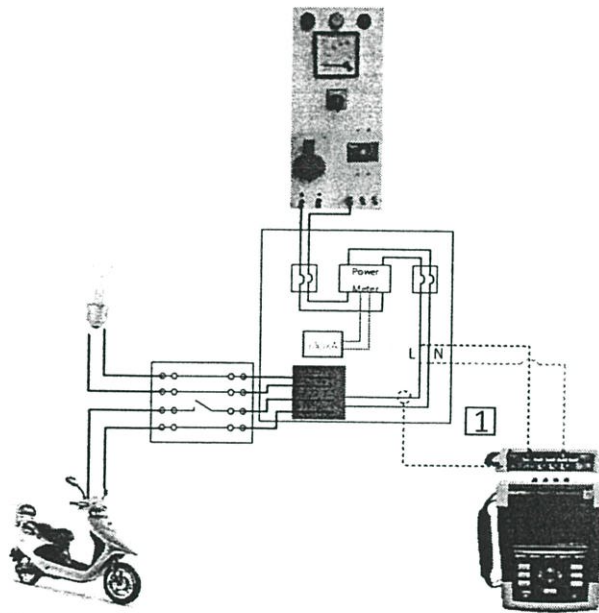
จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 ฮาร์มอนิกของกระแสที่เกิดขึ้นจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5 ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าเนื่องจากกระแสของไหลตรงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจากภาพที่ 4.4 มีความผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มาก อันเนื่องมาจากอุปกรณ์แปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

## 4.2 กรณีใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

เพื่อหาผลกระทบจากการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดพื้นฐานในบ้าน โดยแบ่งออกเป็นโหลดเชิงเส้น และโหลดไม่เชิงเส้น รวมถึงแยกกรณีเป็นกรณีต่อโหลดในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกันกับโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และกรณีต่อโหลดแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์กับโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

### 4.2.1 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

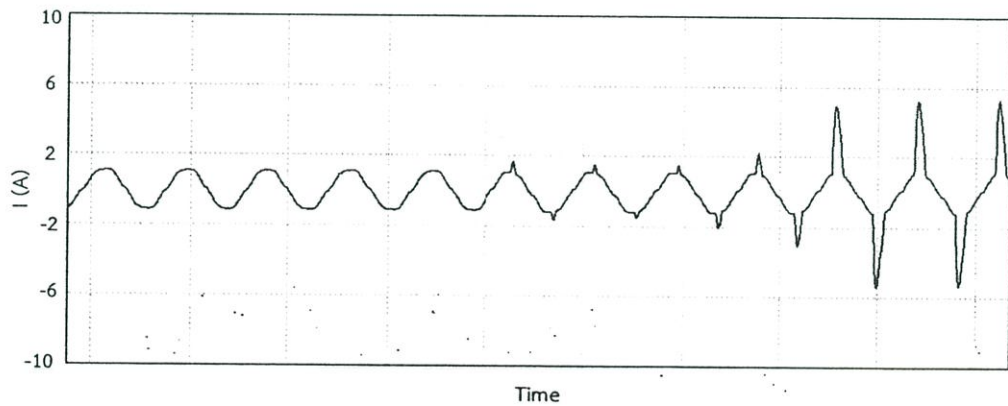
จะทำการวัดค่าที่โหลดรวมที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้า (จุดวัดที่1) เพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดเชิงเส้น



ภาพที่ 4.5 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

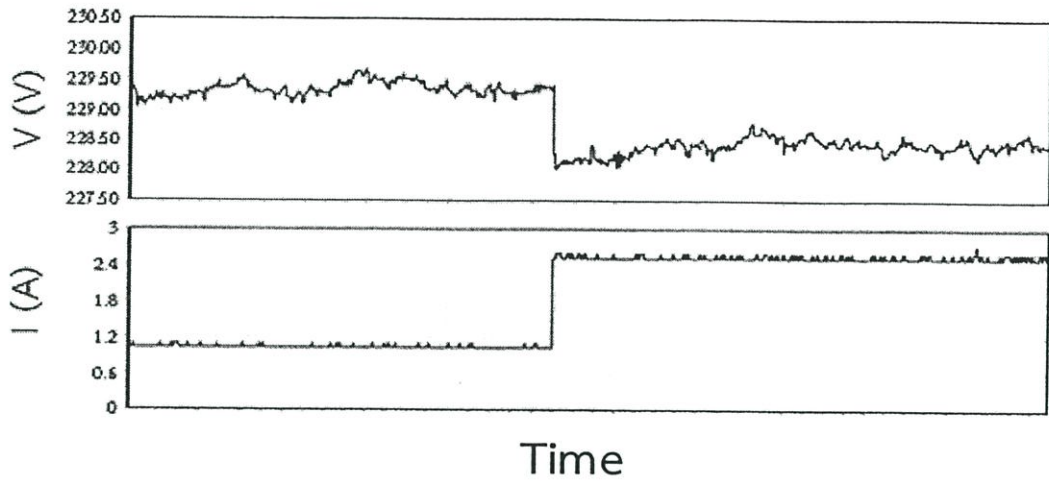
ตารางที่ 4.3 กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดรจกักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

	โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ + รจกักรยานยนต์ไฟฟ้า		โหลดเชิงเส้น 500วัตต์ + รจกักรยานยนต์ไฟฟ้า		โหลดเชิงเส้น 750วัตต์ + รจกักรยานยนต์ไฟฟ้า	
	ก่อนต่อ ระบบชาร์จ	หลังต่อ ระบบชาร์จ	ก่อนต่อ ระบบชาร์จ	หลังต่อ ระบบชาร์จ	ก่อนต่อ ระบบชาร์จ	หลังต่อ ระบบชาร์จ
V (V)	229.39	228.19	230.05	229.43	228.73	228.13
I (A)	1.08	2.55	2.15	3.60	3.26	4.63
S (VA)	250	583	496	826	746	1055
P (W)	248	481	496	730	746	983
Q (Var)	0	-70	0	-73	0	-78
PF	1.00	0.82	1.00	0.88	1.00	0.93
%THDv	2.24	2.29	1.19	1.26	1.18	1.22
%THDi	2.38	63.94	1.32	50.81	1.19	37.10

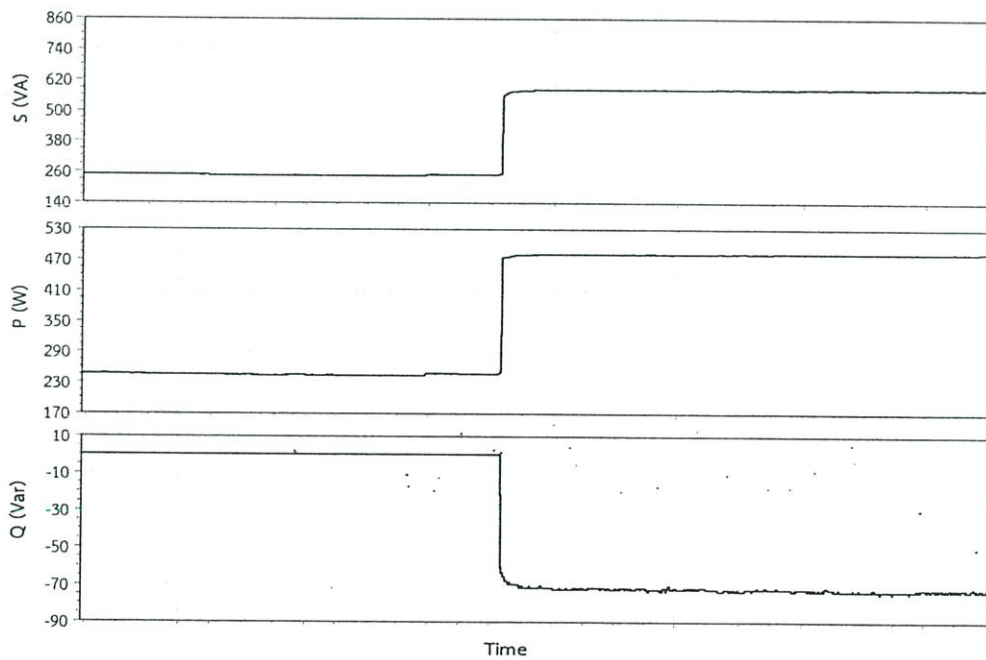


ภาพที่ 4.6 กราฟรูปคลื่นกระแสขณะต่อโหลดรจกักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดเชิงเส้น 250วัตต์

จากภาพที่ 4.6 พบว่าเมื่อต่อโหลดรจกักรยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มเข้ามารูปคลื่นกระแสจะเป็นผลรวมของรูปคลื่นโหลดเชิงเส้นและรูปของโหลดรจกักรยานยนต์ไฟฟ้าในภาพที่ 4.4

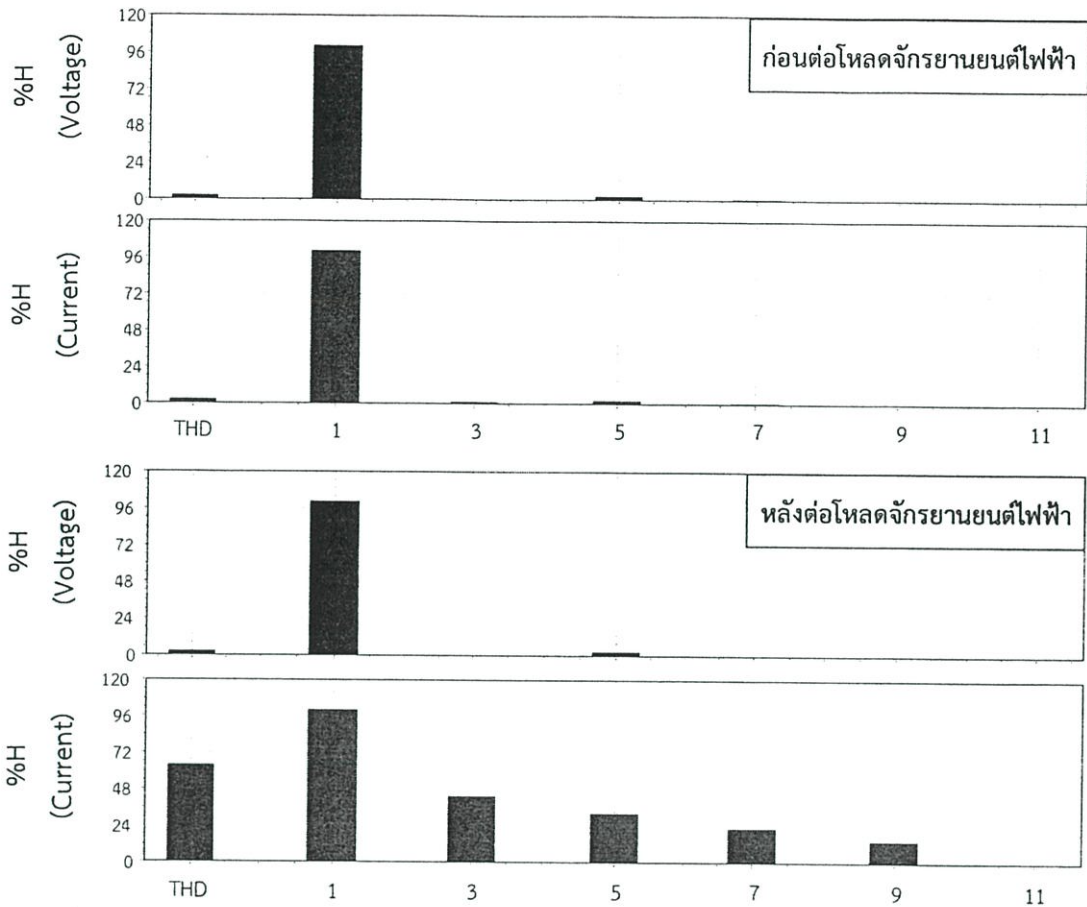


ภาพที่ 4.7 กราฟแรงดันและกระแสของโหลดรวม จุดวัดที่ 1 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ ในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)



ภาพที่ 4.8 กราฟกำลังไฟฟ้าของโหลดรวม จุดที่ 1 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)

ภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงพฤติกรรมของ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าขณะต่อโหลด รถไฟฟ้าเข้าไปในระบบ เกิดแรงดันตก กระแสที่โหลดสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น มีการจ่าย กำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าไปในระบบ ( $Q$  คิดลบ)

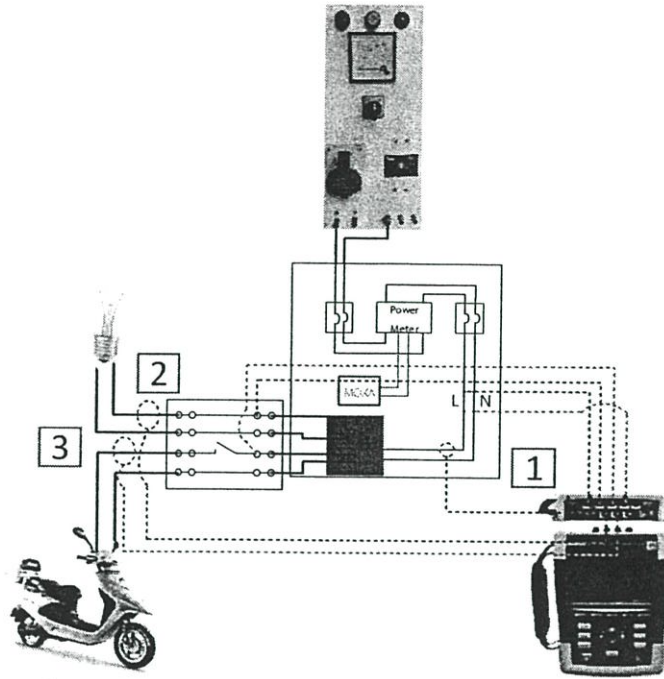


ภาพที่ 4.9 กราฟฮาร์มอนิกของโหลดรวม จุดวัดที่1 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)

กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดจํกรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อโหลดในวงจรเดียวกันกับการซาร์จจํกรยานยนต์ไฟฟ้า จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อต่อโหลดจํกรยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป จะทำให้เกิดแรงดันตก พาวเวอร์แฟกเตอร์ลดลง รูปคลื่นแรงดันผิดเพี้ยนเล็กน้อย รูปคลื่นกระแสผิดเพี้ยนไปมาก จากภาพที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสเพิ่มสูงขึ้นหลังต่อโหลดจํกรยานยนต์ไฟฟ้า แต่เมื่อมีการเพิ่มโหลดโหลดได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นจะลดลง

#### 4.2.2 โหลดเชิงเส้นและโหลดจํกรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2 และ 3 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดเชิงเส้นที่เกิดจากการซาร์จจํกรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์



ภาพที่ 4.10 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 4.4 กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

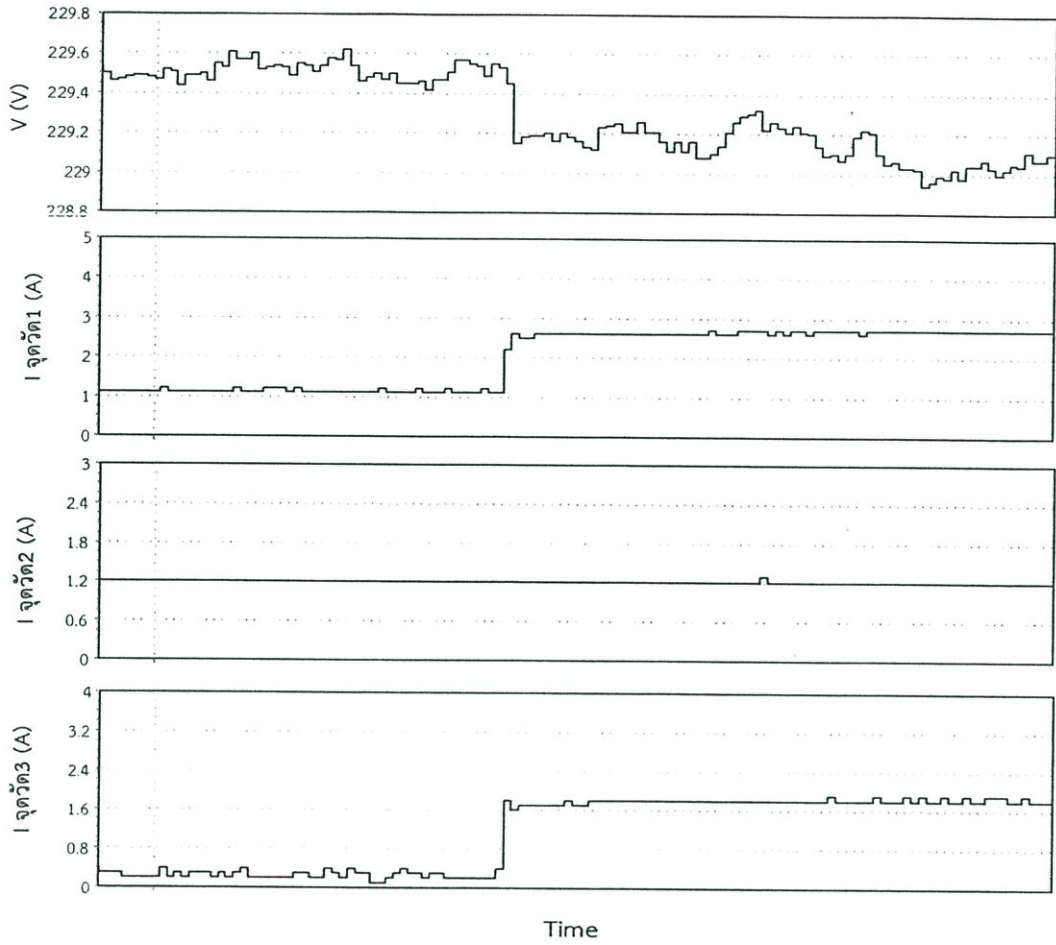
จุดวัด	โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			โหลดเชิงเส้น 500วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			โหลดเชิงเส้น 750วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
V (V)	229.10	229.10	229.10	228.79	228.79	228.79	230.10	230.10	230.10
I (A)	2.70	1.10	1.88	3.59	2.18	1.89	4.68	3.30	1.91
S (VA)	620	250	430	820	500	430	1070	760	440
P (W)	490	250	240	730	500	240	1000	760	240
Q (Var)	-70	0	-70	-70	0	-70	-70	0	-70
PF	0.80	1.00	0.56	0.89	1.00	0.57	0.93	1.00	0.56
%THDv	1.81	1.81	1.81	1.59	1.59	1.59	1.47	1.47	1.47
%THDi	65.75	4.47	133.00	46.33	2.47	134.82	34.79	1.97	133.99

เมื่อเพิ่มโหลดหลอดไฟ ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสของโหลดหลอดไฟจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่จุดเซอร์กิตเบรกเกอร์รวม (จุดวัด1) ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน ผลที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกัน

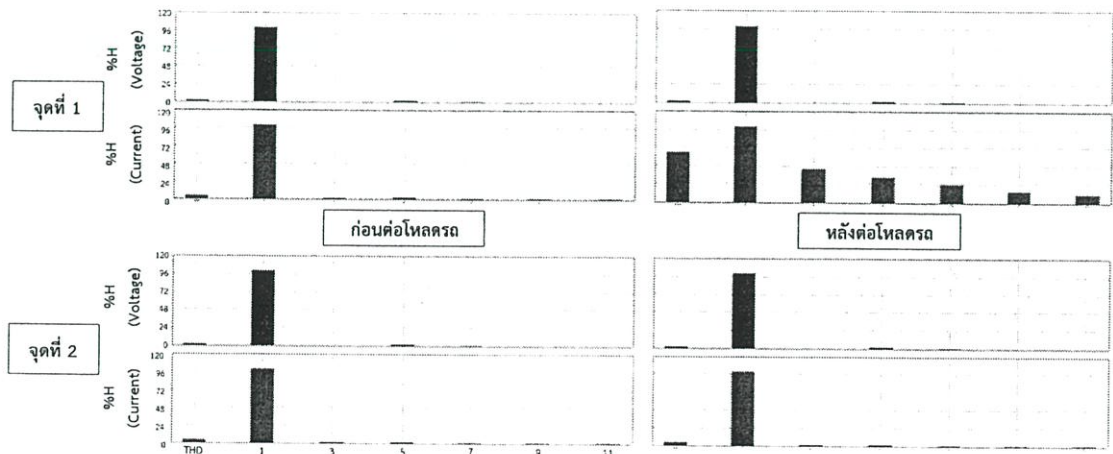
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบโหลดเชิงเส้นขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

	โหลดเชิงเส้น 250วัตต์		โหลดเชิงเส้น 500วัตต์		โหลดเชิงเส้น 750วัตต์	
	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ ระบบชาร์จ	หลังต่อ ระบบชาร์จ
V (V)	229.60	229.10	230.05	228.79	230.29	230.00
I (A)	1.08	1.10	2.17	2.19	3.30	3.30
S (VA)	250	250	500	500	760	760
P (W)	250	250	500	500	760	760
Q (Var)	0	0	0	0	0	0
PF	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
%THDv	1.74	1.81	1.47	1.59	1.40	1.47
%THDi	4.37	4.47	2.33	2.47	1.90	1.97

กรณีต่อโหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบกับโหลดวงจรใกล้เคียง จากตารางที่ 4.4 เมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้าไปในวงจร โหลดเชิงเส้นในอีกวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเกิดผลกระทบน้อยมาก แรงดันจะลดลงเล็กน้อย ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรูปคลื่นแรงดันและค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



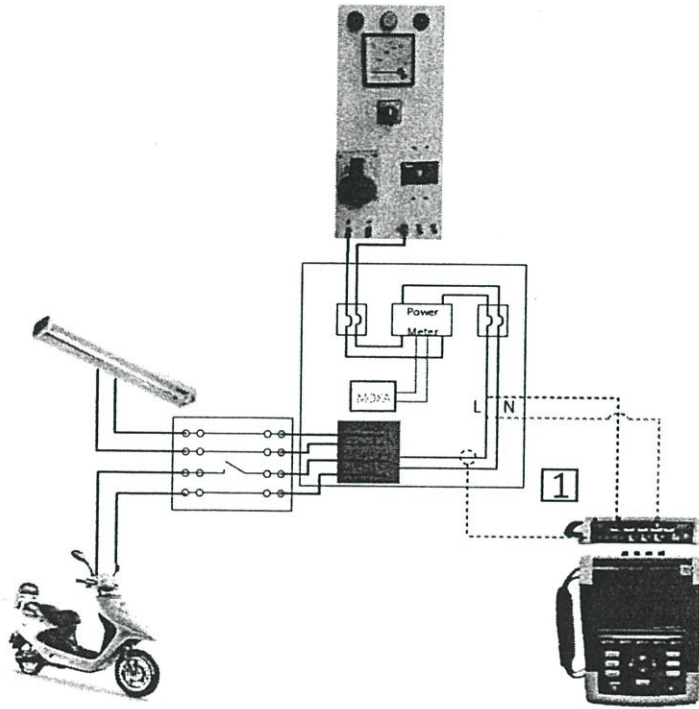
ภาพที่ 4.11 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)



ภาพที่ 4.12 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่ 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)

#### 4.2.3 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

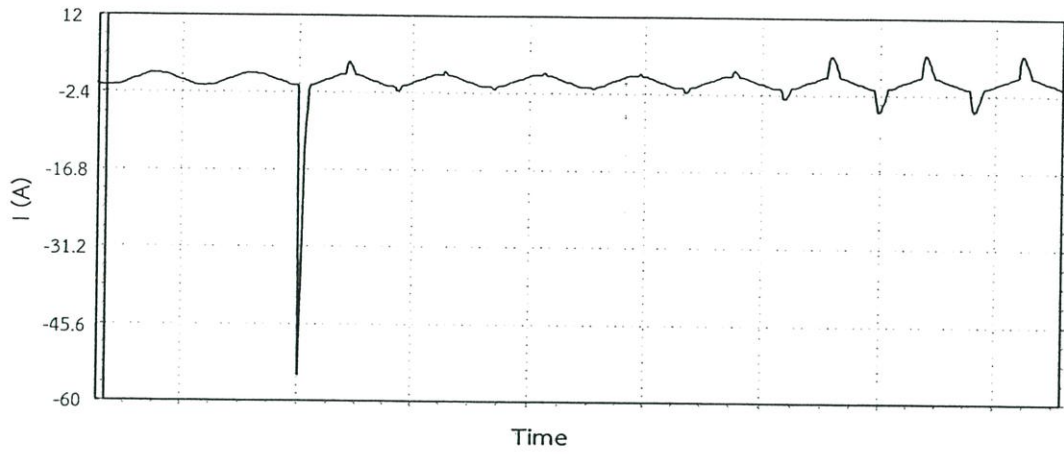
จะทำการวัดค่าที่โหลดรวมที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้า (จุดวัดที่1) เพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้น



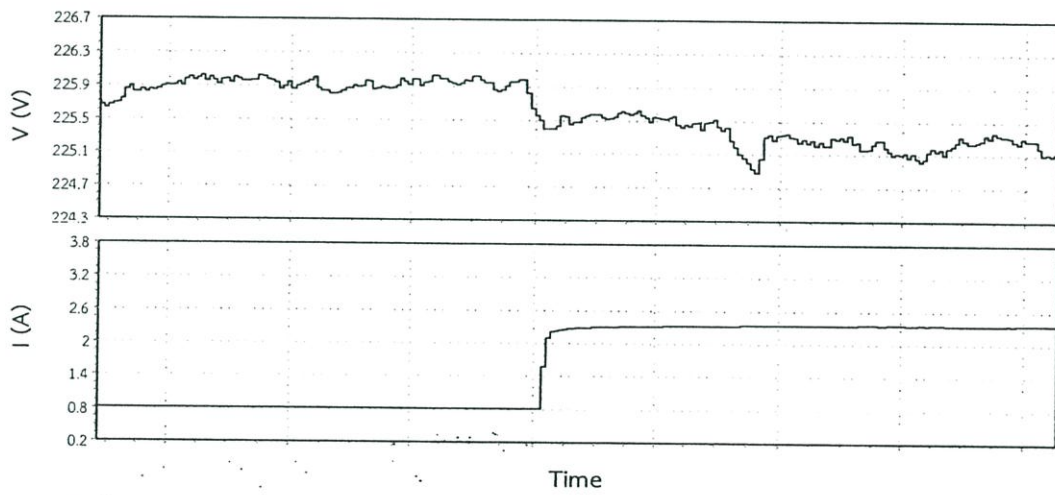
ภาพที่ 4.13 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

ตารางที่ 4.6 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

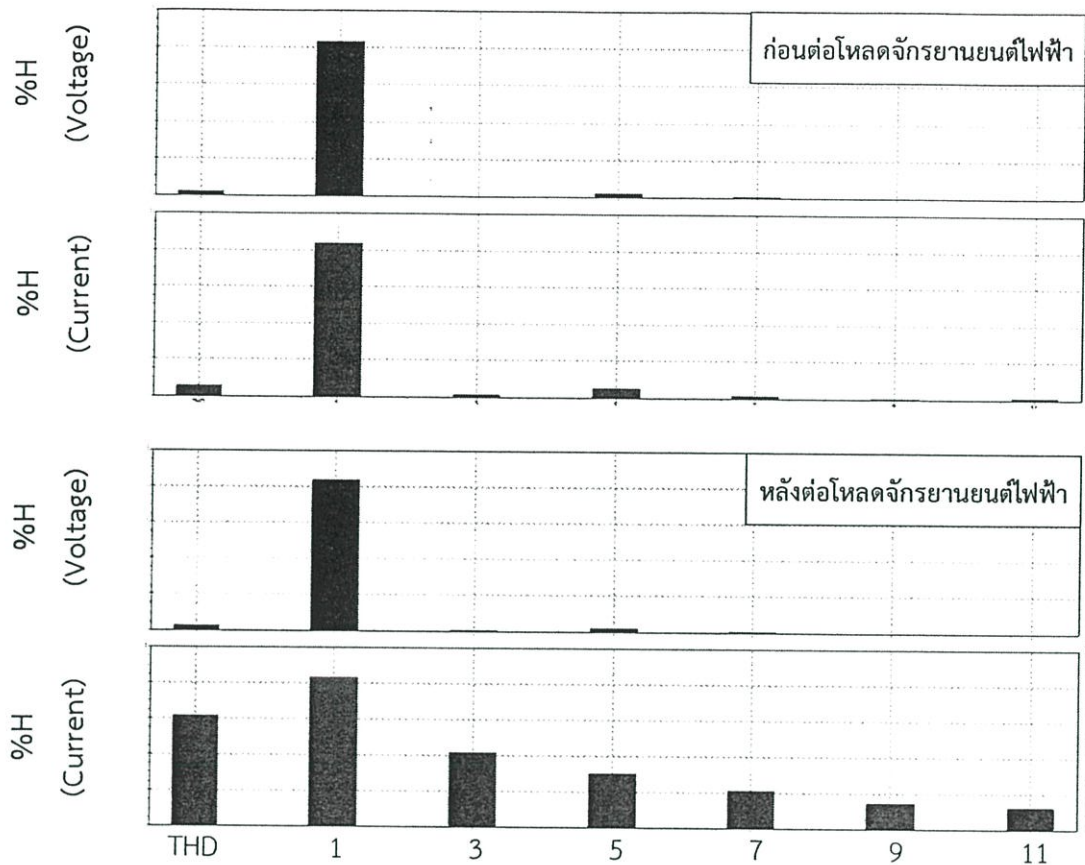
	โหลดไม่เชิงเส้น 168วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		โหลดไม่เชิงเส้น 288วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		โหลดไม่เชิงเส้น 456วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	
	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ
V (V)	225.97	225.57	225.04	224.57	223.51	222.99
I (A)	0.81	2.35	1.32	2.82	2.14	3.54
S (VA)	184	529	297	635	472	789
P (W)	182	411	291	525	478	701
Q (Var)	-24	-100	-43	-121	-66	-141
PF	0.99	0.78	0.98	0.82	0.99	0.89
%THDv	2.56	2.68	2.52	2.59	2.27	2.33
%THDi	6.42	73.59	13.04	62.18	9.30	45.77



ภาพที่ 4.14 กราฟรูปคลื่นกระแสขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์



ภาพที่ 4.15 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)

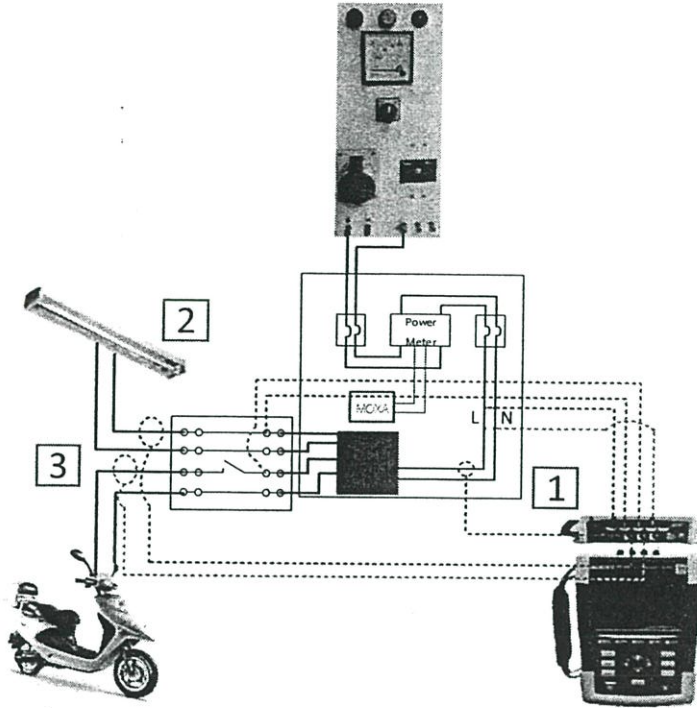


ภาพที่ 4.16 กราฟฮาร์มอนิกจุดวัดที่ 1 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน)

กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน ผลที่ได้เหมือนกับกรณีโหลดเชิงเส้น แต่ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นสูงกว่าโหลดเชิงเส้น เกิดแรงดันตกเล็กน้อย พาวเวอร์แฟกเตอร์ลดลง ในกรณีโหลดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบ (Q ติดลบมากขึ้น) ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนมีการจ่ายออกสู่ระบบมากขึ้น แต่ถ้าเป็นโหลดชนิดอินดักทีฟ (Inductive Load) กำลังไฟฟ้าเสมือนจากโหลดรถไฟฟ้าจะไปช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดอินดักทีฟ (ผลรวม Q ลดลง) ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสมีค่าสูงกว่าโหลดเชิงเส้นเนื่องจากจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อเพิ่มโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้าไปก็จะทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสสูงขึ้นไปอีก

#### 4.2.4 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2 และ 3 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดไม่เชิงเส้นที่เกิดจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์



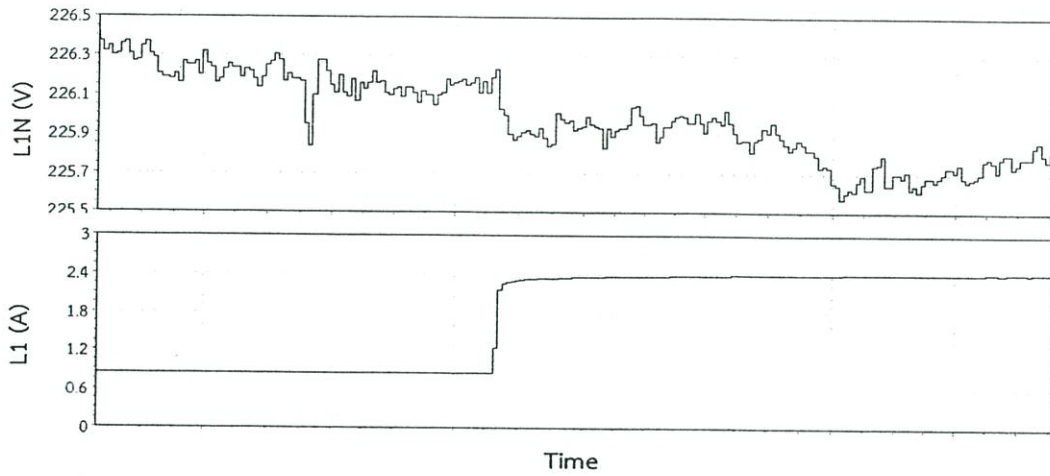
ภาพที่ 4.17 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 4.7 กรณีต่อโหลดเชิงไม่เส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

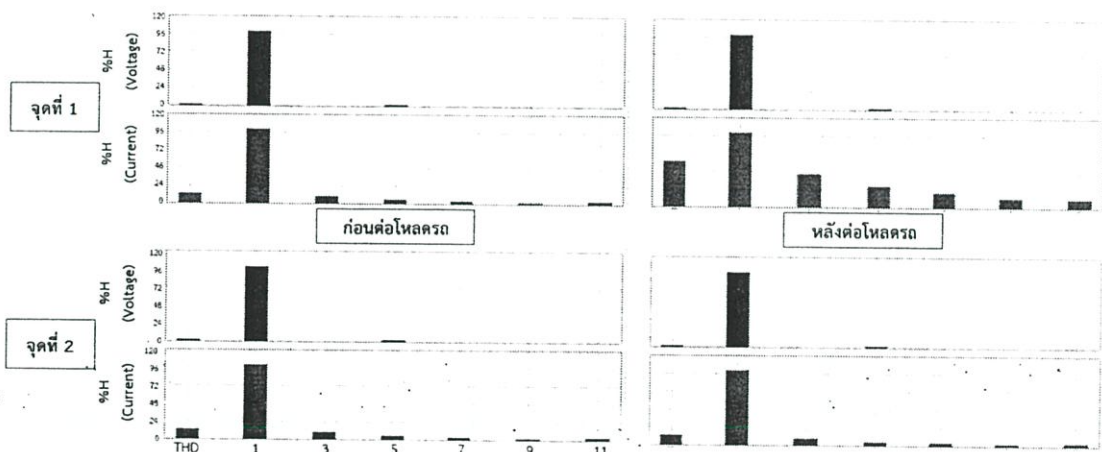
จุดวัด	โหลดไม่เชิงเส้น 168วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			โหลดไม่เชิงเส้น 288วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			โหลดไม่เชิงเส้น 456วัตต์ + รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
V (V)	225.90	225.90	225.90	226.93	226.93	226.93	225.26	225.26	225.26
I (A)	2.40	0.81	1.84	2.86	1.31	1.82	3.64	2.12	1.83
S (VA)	543	184	413	648	299	413	821	478	413
P (W)	425	182	240	538	294	240	731	471	239
Q (Var)	-95	-24	-70	-115	-43	-70	-134	-66	-70
PF	0.78	0.99	0.58	0.83	0.98	0.58	0.89	0.99	0.58
%THDv	2.07	2.07	2.07	1.87	1.87	1.87	1.96	1.96	1.96
%THDi	73.03	6.20	128.22	61.68	13.24	129.26	45.92	19.69	128.52

จากตาราง 4.7 เมื่อเพิ่มโหลดหลอดไฟ ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสของโหลดหลอดไฟ จะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อพิจารณาที่จุดเซอร์กิตเบรกเกอร์รวม (จุดวัด1) ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส

จะลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต่อโหลดตรรกจกรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน ผลที่ได้มีแนวโน้มและค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.18 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1 (โหลดไม่เชิงเส้น 166วัตต์ แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)



ภาพที่ 4.19 กราฟฮาร์โมนิกจุดวัดที่ 1 และ 2 (โหลดไม่เชิงเส้น 166วัตต์ แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบโหลดไม่เชิงเส้นขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

	โหลดไม่เชิงเส้น 168วัตต์		โหลดไม่เชิงเส้น 288วัตต์		โหลดไม่เชิงเส้น 456วัตต์	
	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ	ก่อนต่อ โหลดรถ	หลังต่อ โหลดรถ
V (V)	226.15	225.90	227.30	226.93	225.57	225.26
I (A)	0.81	0.81	1.31	1.31	2.12	2.12
S (VA)	184	184	299	299	478	478
P (W)	182	182	294	294	471	471
Q (Var)	-24	-24	-43	-43	-66	-66
PF	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99
%THDv	2.02	2.07	1.81	1.87	1.91	1.96
%THDi	6.11	6.20	13.17	13.24	19.62	9.69

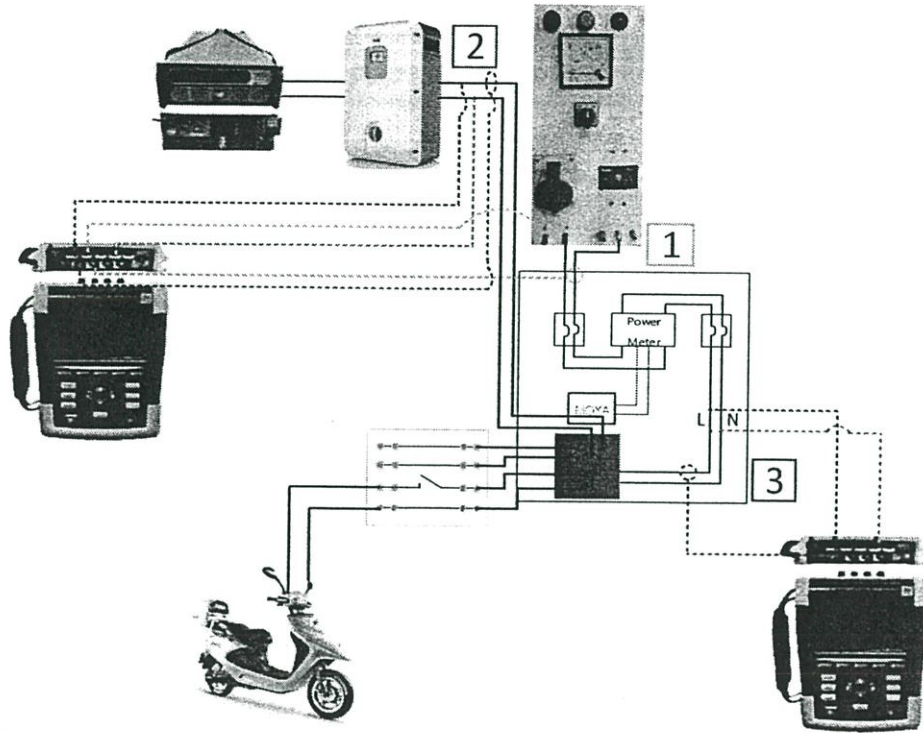
เมื่อเปรียบเทียบโหลดไม่เชิงเส้นก่อนและหลังต่อระบบชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เกิดผลกระทบต่อโหลดไม่เชิงเส้นเล็กน้อยคือ แรงดันตกเล็กน้อย ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

#### 4.3 ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 600วัตต์

เพื่อหาผลกระทบจากการชาร์จแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดพื้นฐานในบ้าน เมื่อมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์มาช่วย โดยแบ่งออกเป็นโหลดเชิงเส้น และโหลดไม่เชิงเส้น รวมถึงแยกกรณีเป็นกรณีต่อโหลดในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกันกับโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และกรณีต่อโหลดแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์กับโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

##### 4.3.1 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

เพื่อหาข้อมูลของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้แหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกรณีต่อโหลดแบบเชิงเส้นและโหลดไม่เชิงเส้น

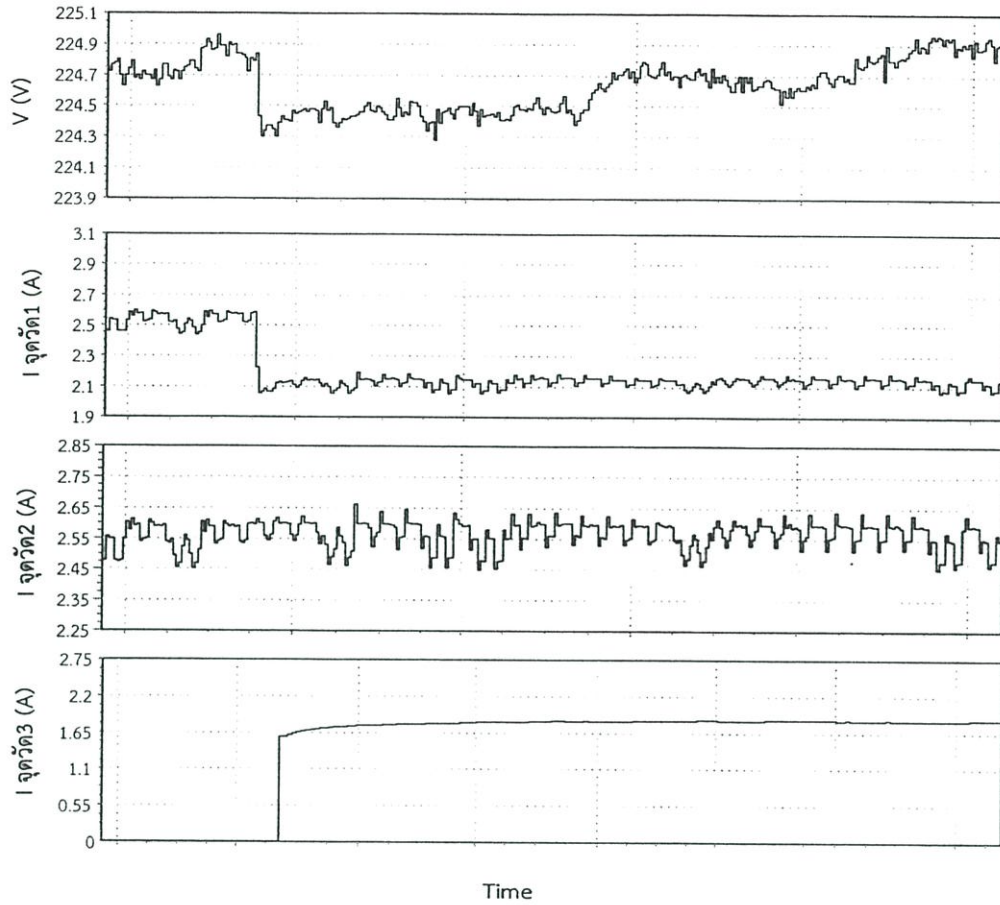


ภาพที่ 4.20 จุดวัดกรณีโหลตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดี่ยว (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

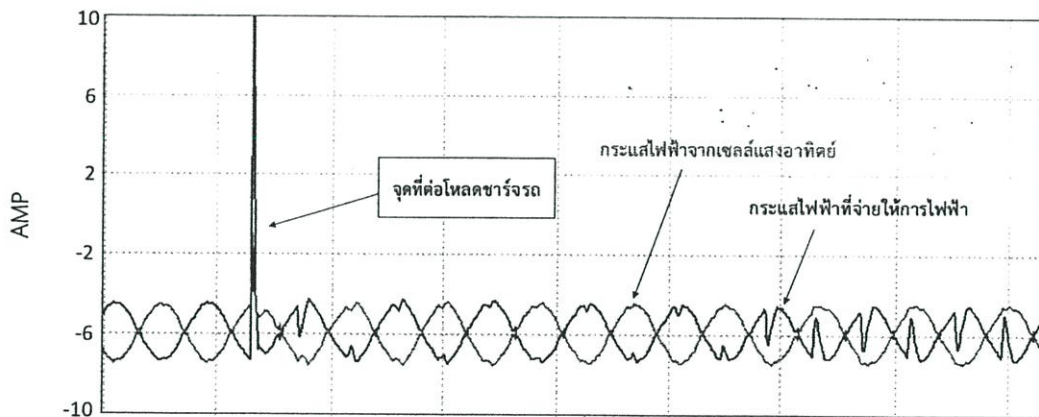
ตารางที่ 4.9 กรณีชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดี่ยว

จุดวัด	ก่อนต่อโหลตรถ			หลังต่อ โหลตรถ		
	1	2	3	1	2	3
V (V)	224.91	224.91	-	224.41	224.41	224.41
I (A)	2.60	2.60	-	2.12	2.60	1.91
S (VA)	586	586	-	-476	584	429
P (W)	-584	584	-	-342	585	239
Q (Var)	-19	19	-	-88	20	-71
PF	0.99	0.99	-	0.72	0.99	0.56
%THDv	1.74	1.74	-	1.92	1.92	1.92
%THDi	5.66	5.66	-	5.97	99.34	131.47

เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีโหลต พลังงานทั้งหมดจะไหลไปที่การไฟฟ้า (จุดวัดที่ 1 วัดกำลังไฟฟ้าได้ค่าติดลบ) เมื่อต่อโหลตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้าไป กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายให้กับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะจ่ายเข้าสู่ระบบ โดยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบจะมีค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่ต่ำ ความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมีค่าสูงมาก



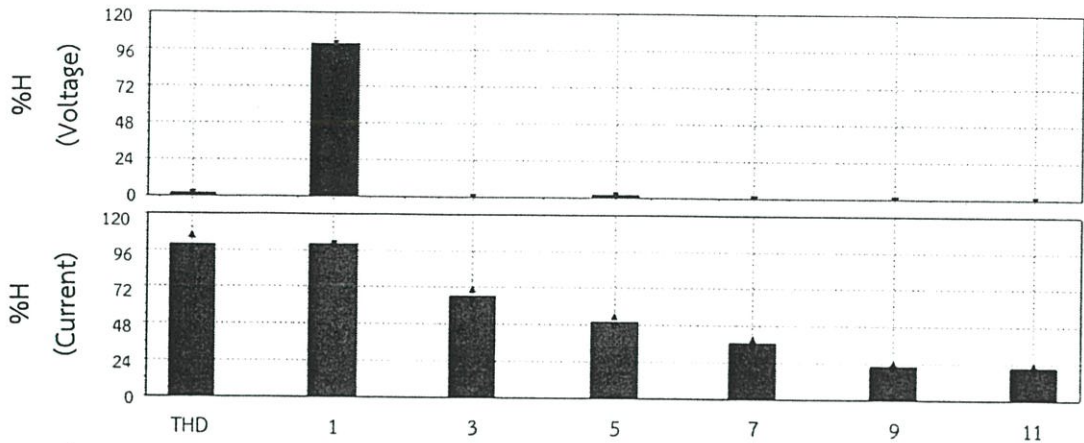
ภาพที่ 4.21 กราฟแรงดันและกระแสจุดวัดที่ 1, 2, 3 (โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



ภาพที่ 4.22 กราฟกระแสไฟฟ้าขณะต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

กระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มีรูปคลื่นใกล้เคียงรูปไซน์ มีความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสน้อย กระแสที่จ่ายให้การไฟฟ้าเท่ากับกระแสจากแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากภาพที่ 4.22 เมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าบางครั้ง จะเกิดท

รานเขียนต์ของกระแสชั่วขณะหนึ่ง ค่ายอดของกระแสจะพุ่งสูงมาก และหลังจากต่อโหลด รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารูปคลื่นของกระแสที่ส่งออกไปการไฟฟ้าจะมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นมากขึ้น ซึ่งเกิดจากกระแสที่มีฮาร์โมนิกสูงของโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

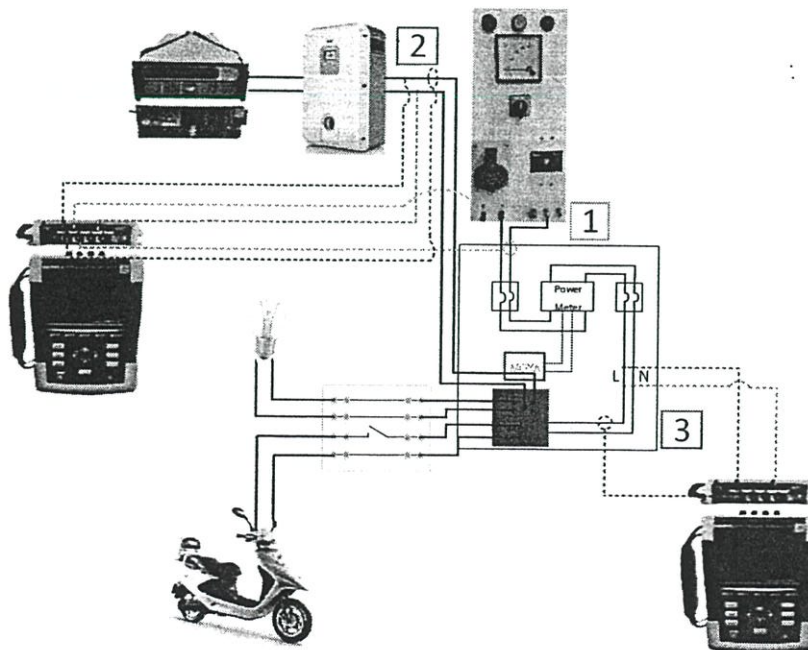


ภาพที่ 4.23 กราฟฮาร์โมนิกจุดวัดที่ 1 (โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเดียว และมีแหล่งจ่ายจาก เซลล์แสงอาทิตย์)

จากภาพที่ 4.23 พบว่าเมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทำให้กระแสที่ส่งออกไปการไฟฟ้ามีฮาร์โมนิกอันดับคู่สูงขึ้นมา โดยเฉพาะฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 และ 5 ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า

#### 4.3.2 โหลดเชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2 และ 3 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดเชิงเส้นที่เกิดจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์

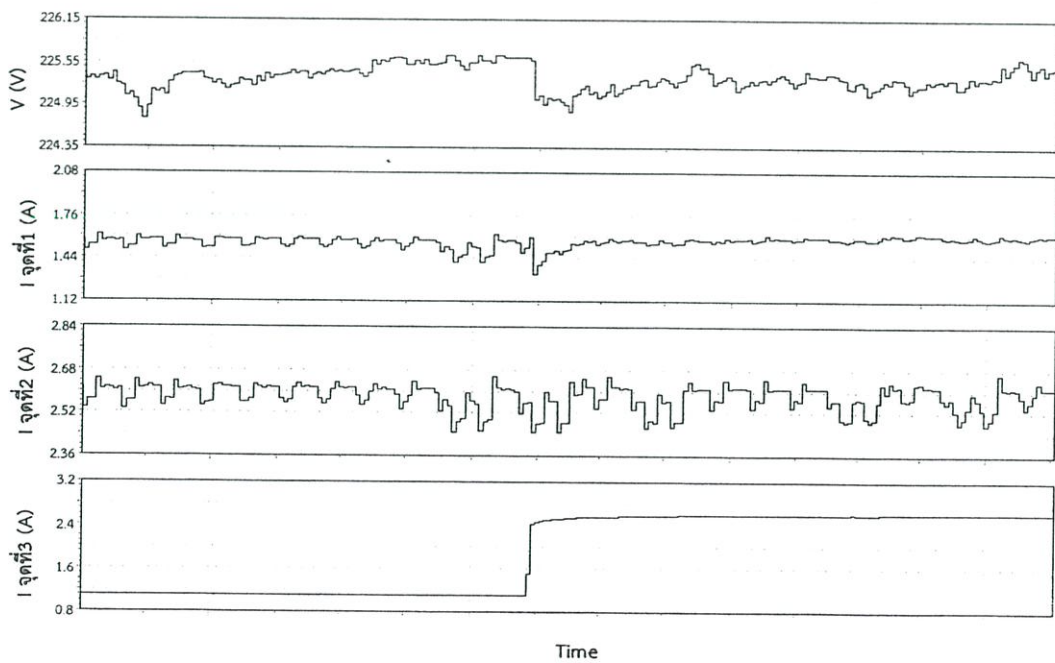


ภาพที่ 4.24 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

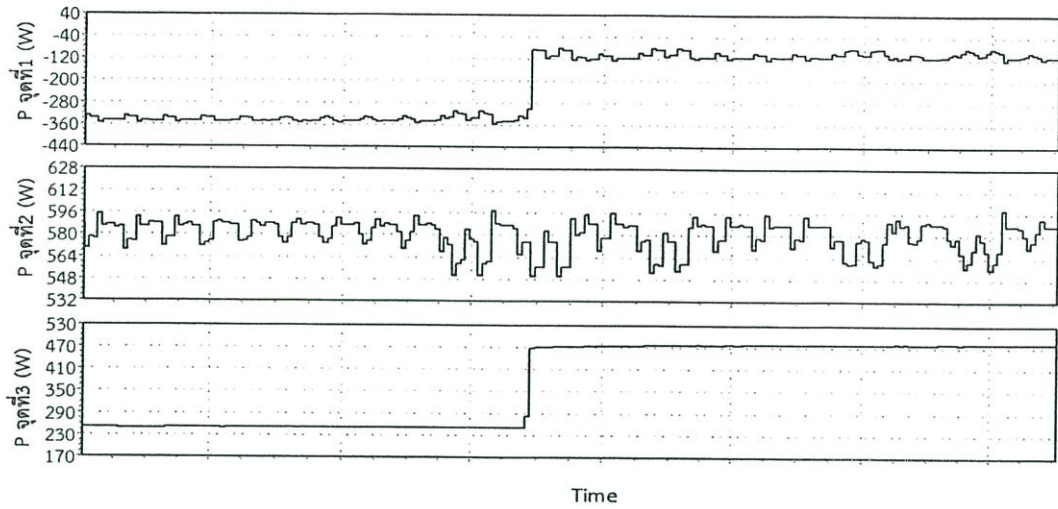
ตารางที่ 4.10 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3
V (V)	255.55	255.55	255.55	225.12	225.12	225.12
I (A)	1.53	2.56	1.11	1.61	2.61	2.62
S (VA)	-345	579	250	-363	588	590
P (W)	-336	577	250	-110	587	484
Q (Var)	-19	16	0	-76	7	-70
PF	0.98	0.99	1.00	0.30	0.99	0.82
%THDv	1.82	1.82	1.82	1.95	1.95	1.95
%THDi	37.45	5.72	1.93	256.96	5.80	66.47

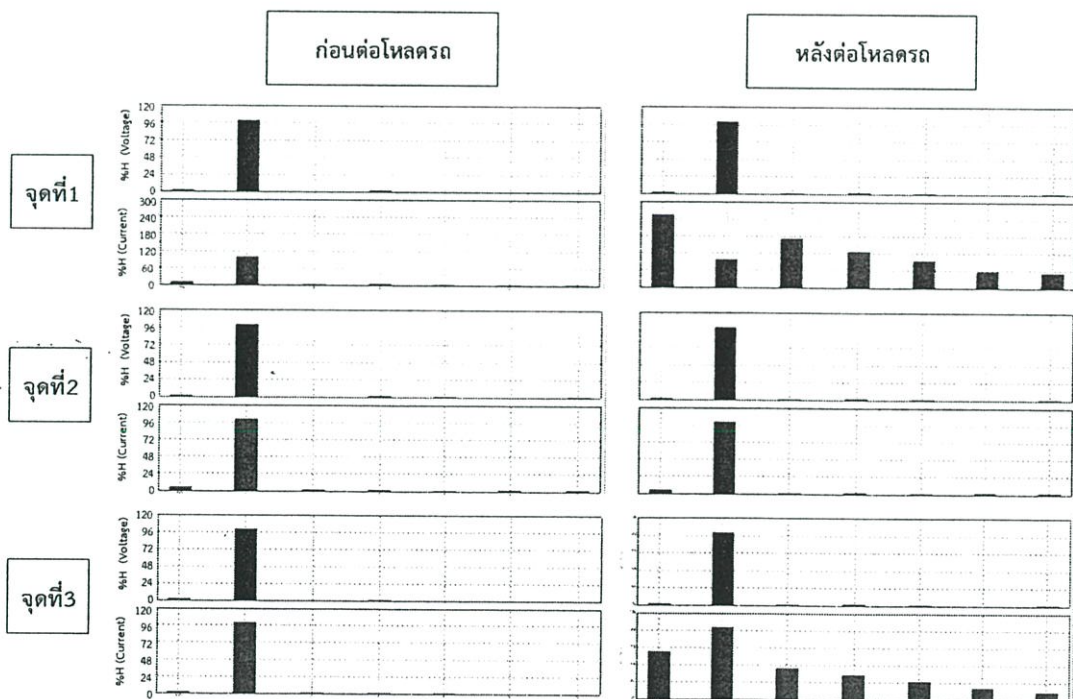
กรณีโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ มีโหลดรวมน้อยกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์ ทำให้เกิดการส่งพลังงานเข้าสู่การไฟฟ้า (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบ) ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ทำให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ลดลง กระแสไฟฟ้าที่ส่งออกสู่การไฟฟ้าจะมีค่าความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสสูงมาก



ภาพที่ 4.25 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



ภาพที่ 4.26 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

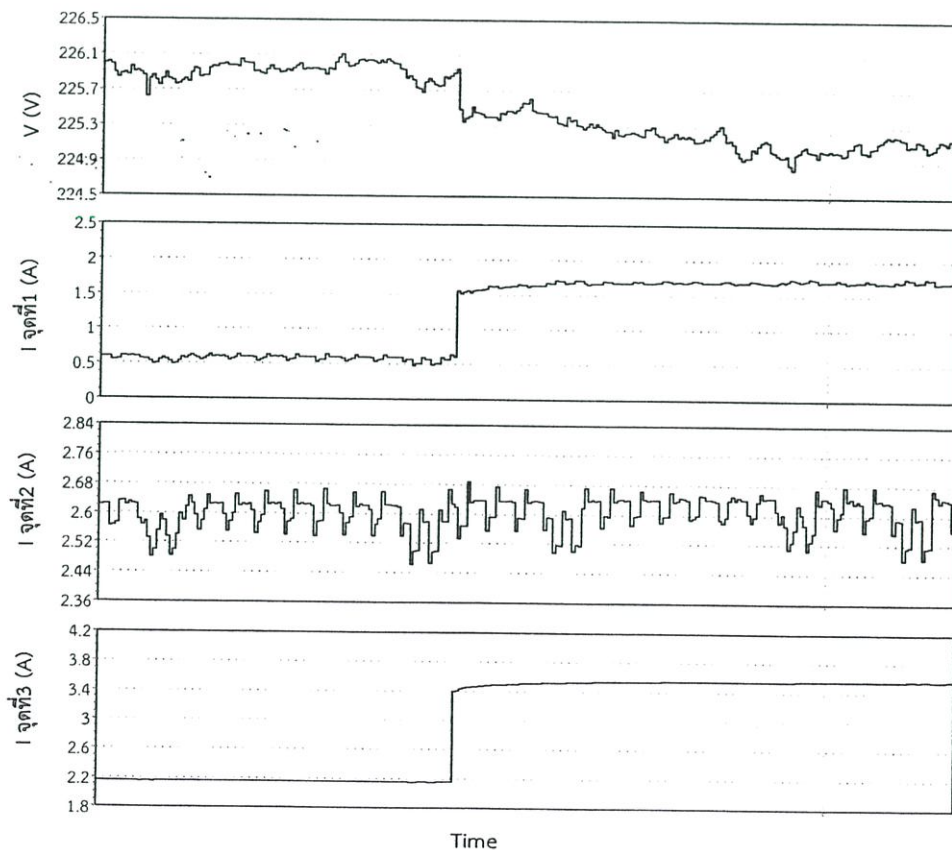


ภาพที่ 4.27 กราฟฮาร์โมนิกที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 250วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

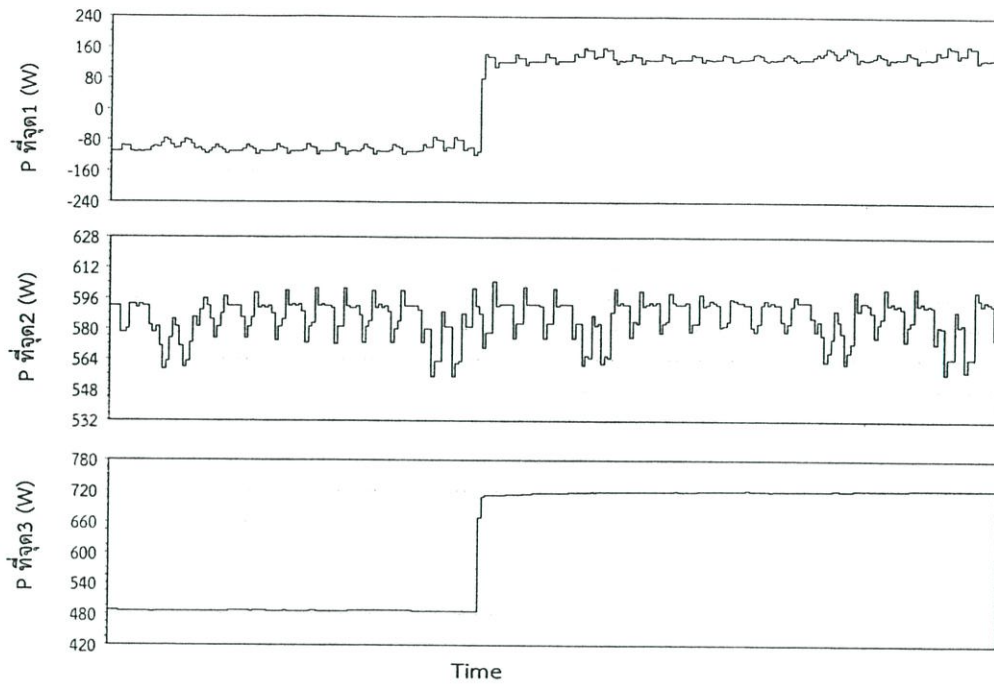
ตารางที่ 4.11 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3
V (V)	225.86	225.86	225.86	225.01	225.01	225.01
I (A)	0.60	2.61	2.15	1.70	2.64	3.56
S (VA)	-135	590	486	384	594	800
P (W)	-106	588	486	131	593	728
Q (Var)	-20	16	0	-90	19	-70
PF	0.78	0.99	1.00	0.34	0.99	0.91
%THDv	1.37	1.37	1.37	1.49	1.49	1.49
%THDi	30.17	5.45	1.52	201.62	5.42	45.24

กรณีโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ ในช่วงแรกโหลดเชิงเส้นมีขนาดน้อยกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดพลังงานที่ส่งออกไปสู่การไฟฟ้า (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามืดลบ) และช่วงที่ 2 เมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเข้าไป โหลดรวมจึงมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามืดบวก) พาวเวอร์แฟกเตอร์มีค่าลดลง และเกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากขึ้น



ภาพที่ 4.28 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



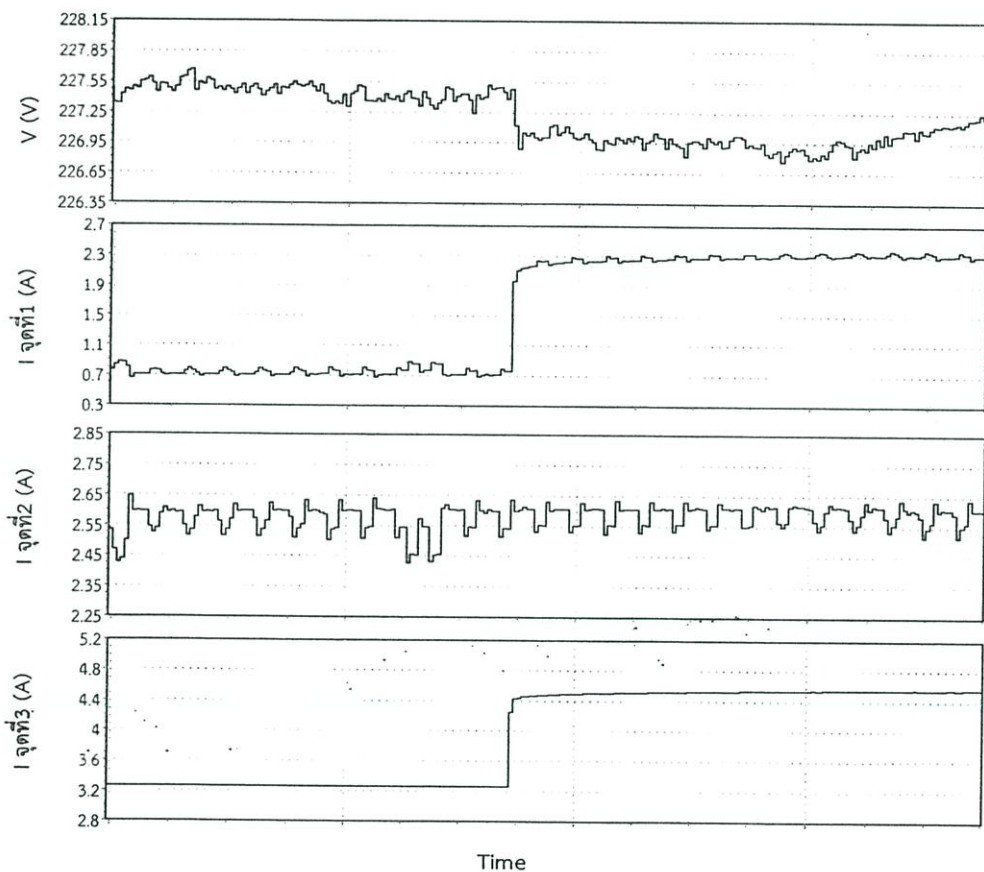
ภาพที่ 4.29 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

ตารางที่ 4.12 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

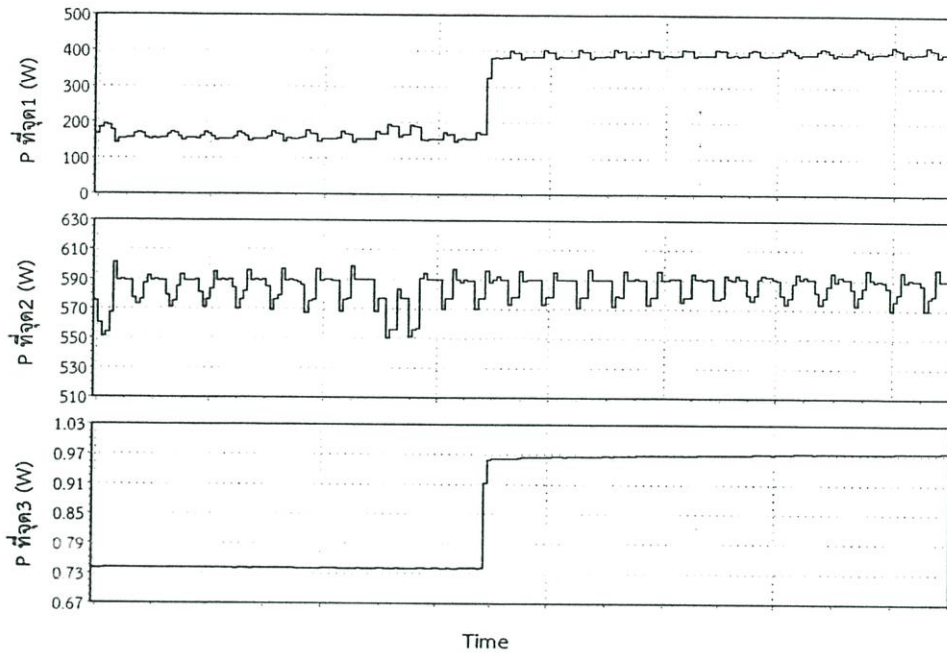
	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	จุดวัด 1	จุดวัด 2	จุดวัด 3	จุดวัด 1	จุดวัด 2	จุดวัด 3
V (V)	227.43	227.43	227.43	227.00	227.00	227.00
I (A)	2.21	2.60	4.86	2.30	2.60	4.55
S (VA)	162	592	741	523	591	1033
P (W)	153	590	741	395	590	975
Q (Var)	-26	26	0	-80	10	-70
PF	0.95	0.99	1.00	0.76	0.99	0.94
%THDv	1.44	1.44	1.44	1.66	1.66	1.66
%THDi	24.44	5.57	1.50	79.75	5.77	32.81

กรณีโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ โหลดเชิงเส้นและโหลดรวมมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก) เมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าทำให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ลดลง เกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ตาราง พบว่าถ้าเพิ่มขนาดโหลดเชิงเส้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง ด้านพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดการไฟฟ้า (จุดที่1) ถ้าโหลดมีขนาดเข้าใกล้ขนาดแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งออกไปที่การไฟฟ้าลดลง แต่กำลังฟ้าเสมือนมีค่าเท่าเดิม ถ้ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 4.30 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



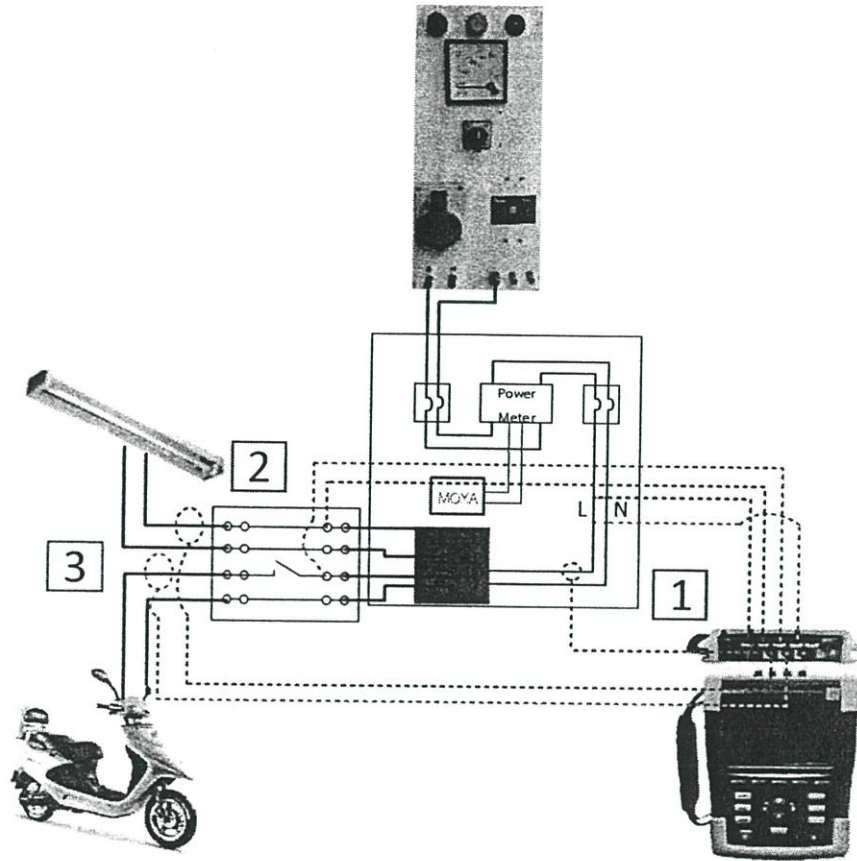
ภาพที่ 4.31 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

กรณีโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ โหลดเชิงเส้นและโหลดรวมมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่ 1 กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก) เมื่อต่อโหลดจรจกรยานยนต์ไฟฟ้าทำให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ลดลง เกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ตาราง พบว่าถ้าเพิ่มขนาดโหลดเชิงเส้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง ด้านพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดการไฟฟ้า (จุดที่ 1) ถ้าโหลดมีขนาดเข้าใกล้ขนาดแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งออกไปที่การไฟฟ้าลดลง แต่กำลังฟ้าเสมือนมีค่าเท่าเดิม ถ้ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

#### 4.3.3 โหลดเชิงเส้นและโหลดจกรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดเชิงเส้นที่เกิดจากการชาร์จจกรจกรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.32 จุดวัดกรณีโหลดเชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

ตารางที่ 4.13 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	226.40	226.40	226.40	226.40	-	225.89	225.89	225.89	225.89	225.89
I (A)	1.51	2.55	1.11	1.11	-	1.47	2.60	2.75	1.11	1.91
S (VA)	-341	579	251	251	-	-333	588	613	251	431
P (W)	-333	577	251	251	-	-100	587	491	251	237
Q (Var)	-19	16	0	0	-	-80	7	-72	0	-72
PF	0.98	0.99	1.00	1.00	-	0.30	0.99	0.80	1.00	0.55
%THDv	0.17	0.17	0.17	0.17	-	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
%THDi	10.31	5.58	0.88	0.88	-	260.64	5.61	65.34	0.94	133.38

กรณีโหลดเชิงเส้น 250 วัตต์ มีโหลดรวมน้อยกว่า 600 วัตต์ ทำให้เกิดการส่งพลังงานเข้าสู่การไฟฟ้า (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบ) ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะเกิดที่กระแสไฟฟ้าที่ส่งออกระบบจะมีค่าความผิดพลาดรูปลิ้นกระแสสูงมาก ด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโหลดเชิงเส้นในอีกเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่งเกิดขึ้นเล็กน้อยคือ เกิดแรงดันตกลงเล็กน้อย ความผิดพลาดของรูปลิ้นกระแสและแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.14 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ และโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	225.72	225.72	225.72	225.72	-	224.95	224.95	224.95	224.95	224.95
I (A)	0.54	2.61	2.19	2.19	-	1.84	2.62	3.65	2.20	1.91
S (VA)	-123	590	496	496	-	414	591	823	496	429
P (W)	-96	588	496	496	-	145	588	740	496	240
Q (Var)	-16	16	0	0	-	-90	19	-70	496	-70
PF	0.78	0.99	1.00	1.00	-	0.35	0.99	0.90	1.00	0.56
%THDv	1.32	1.32	1.32	1.32	-	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
%THDi	36.26	5.52	1.54	1.54	-	203.61	5.52	47.21	1.55	135.69

กรณีโหลดเชิงเส้น 500 วัตต์ ในช่วงแรกโหลดมีขนาดน้อยกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดพลังงานที่ส่งออกไปสู่การไฟฟ้า (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบ) และช่วงที่2 โหลดรวมมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก) และเกิดความผิดพลาดรูปลิ้นกระแสมากขึ้นจากการต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโหลดเชิงเส้นในอีกเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่ง เกิดขึ้นน้อยมาก แรงดันตกลงเล็กน้อย ความผิดพลาดของรูปลิ้นกระแสและแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.15 กรณีต่อโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	226.53	226.53	226.53	226.53	-	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93
I (A)	0.76	2.61	3.35	3.35	-	2.39	2.61	4.71	3.35	1.90

S (VA)	172	592	758	758	-	539	591	1066	758	428
P (W)	164	590	758	758	-	410	590	1000	758	239
Q (Var)	-26	26	0	0	-	-80	10	-66	0	-66
PF	0.95	0.99	1.00	1.00	-	0.76	0.99	0.94	1.00	0.56
%THDv	1.13	1.13	1.13	1.13	-	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
%THDi	25.32	5.52	1.34	1.34	-	80.05	5.66	33.82	1.42	135.68

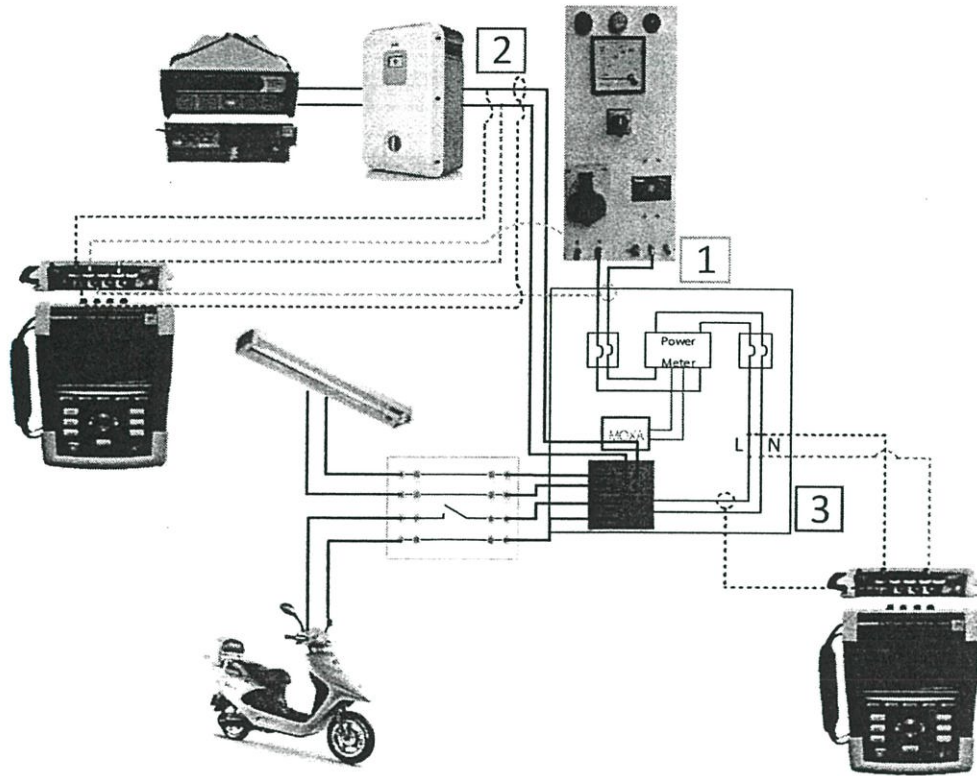
กรณีโหลดเชิงเส้น 750 วัตต์ โหลดเชิงเส้นและโหลดรวมมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่ 1 กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก) และเกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากขึ้นจากการต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโหลดเชิงเส้นในอีกเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่ง เกิดขึ้นน้อยมาก แรงดันตกลงเล็กน้อย ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ผลกระทบต่อโหลดเชิงเส้นที่เกิดจากการต่อโหลดรถจักรยานยนต์แบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ พบว่าเกิดผลกระทบน้อยมากเกิดแรงดันตกและความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสและแรงดันเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ตาราง พบว่าถ้าเพิ่มขนาดโหลดเชิงเส้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง ด้านพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดการไฟฟ้า (จุดที่ 1) ถ้าโหลดมีขนาดเข้าใกล้ขนาดแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งออกไปที่การไฟฟ้าลดลง แต่กำลังฟ้าเสมือนมีค่าเท่าเดิม ถ้ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

#### 4.3.4 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2, และ 3 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดไม่เชิงเส้นที่เกิดจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์

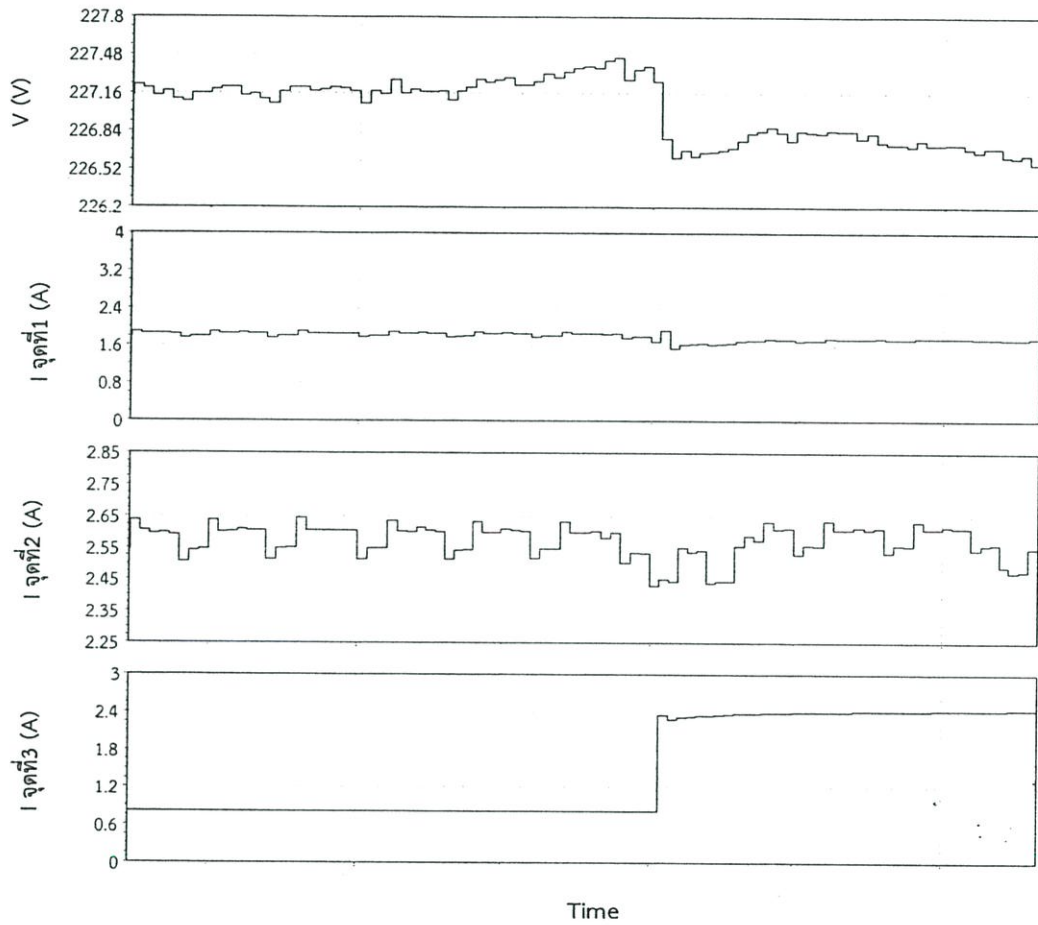


ภาพที่ 4.33 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นในเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

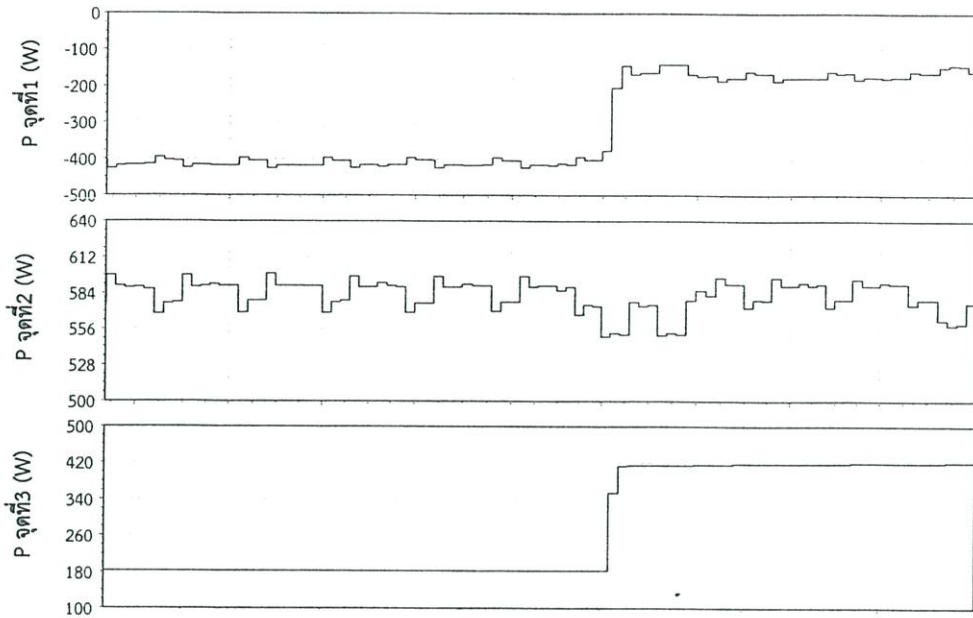
ตารางที่ 4.16 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน

	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
จุดวัด	1	2	3	1	2	3
V (V)	227.25	227.25	227.25	226.72	226.72	226.72
I (A)	1.86	2.60	0.81	1.76	2.61	2.41
S (VA)	-422	591	185	-399	592	547

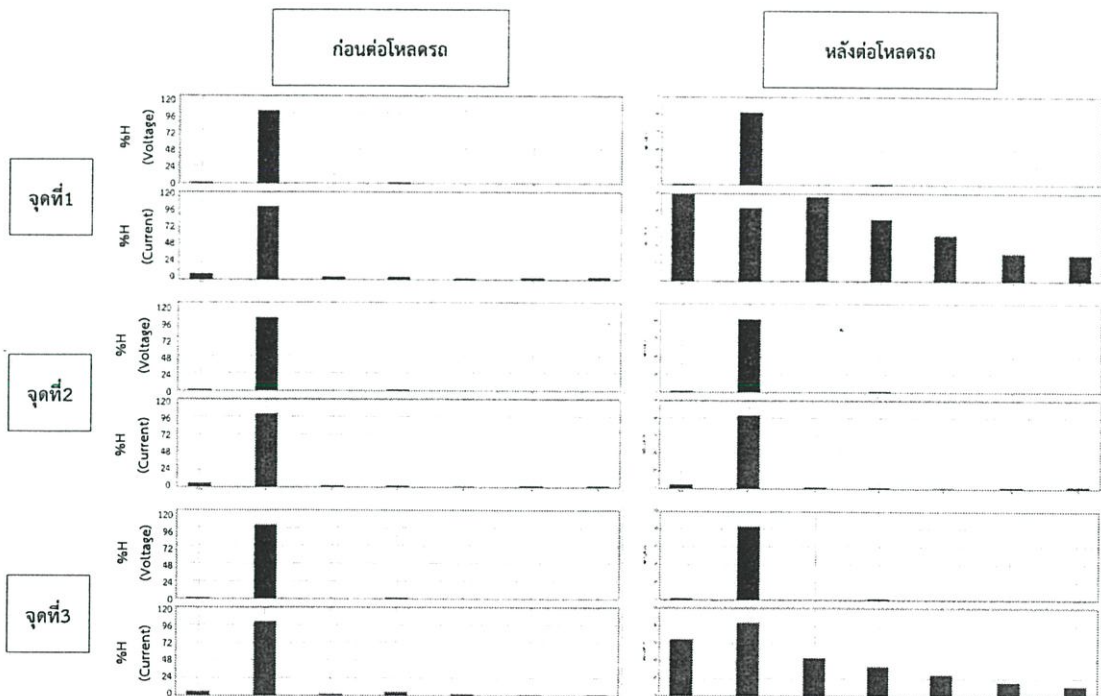
P (W)	-416	589	183	-176	590	419
Q (Var)	-57	30	-24	-116	17	-96
PF	0.99	0.99	0.99	0.44	0.99	0.76
%THDv	1.27	1.27	1.27	1.44	1.44	1.44
%THDi	7.92	5.29	5.20	163.12	5.43	77.23



ภาพที่ 4.34 กราฟแรงดันและกระแสที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



ภาพที่ 4.35 กราฟกำลังไฟฟ้าที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)



ภาพที่ 4.36 กราฟฮาร์โมนิกที่จุดวัด 1, 2, 3 (โหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ แบบเซอร์กิตเบรกเกอร์เดียวกัน และมีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

ตารางที่ 4.17 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 288วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3
V (V)	225.61	225.61	225.61	225.00	225.00	225.00
I (A)	1.37	2.58	1.32	1.31	2.60	2.76
S (VA)	-309	582	297	-379	586	624
P (W)	-297	581	291	-72	584	513
Q (Var)	-61	16	-43	-143	32	-107
PF	0.96	0.99	0.98	0.19	0.99	0.82
%THDv	1.25	1.25	1.25	1.47	1.47	1.47
%THDi	16.37	5.36	13.09	209.45	5.44	63.04

จากตารางที่ 4.16 และ 4.17 กรณีโหลดเชิงเส้น 168วัตต์ และ 228วัตต์ โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรวมน้อยกว่า 600วัตต์ ทำให้ช่วงก่อนและหลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามีการส่งพลังงานกลับเข้าสู่การไฟฟ้า (จุดที่ 1 กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบ) ผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าจะเกิดที่กระแสไฟฟ้าที่ส่งออกสู่ระบบจะมีค่าความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสสูงมาก ส่วนค่าความผิดเพี้ยนรูปคลื่นแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.18 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 456วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวกัน

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า			หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า		
	1	2	3	1	2	3
V (V)	225.70	225.70	225.70	225.16	225.16	225.16
I (A)	0.68	2.57	2.13	1.90	2.59	3.61
S (VA)	-153	580	481	428	583	813
P (W)	-107	578	474	134	581	712
Q (Var)	-92	24	-66	-167	24	-140
PF	0.70	0.99	0.99	0.31	0.99	0.87
%THDv	1.17	1.17	1.17	1.38	1.38	1.38
%THDi	35.08	5.20	9.12	171.12	5.30	49.65

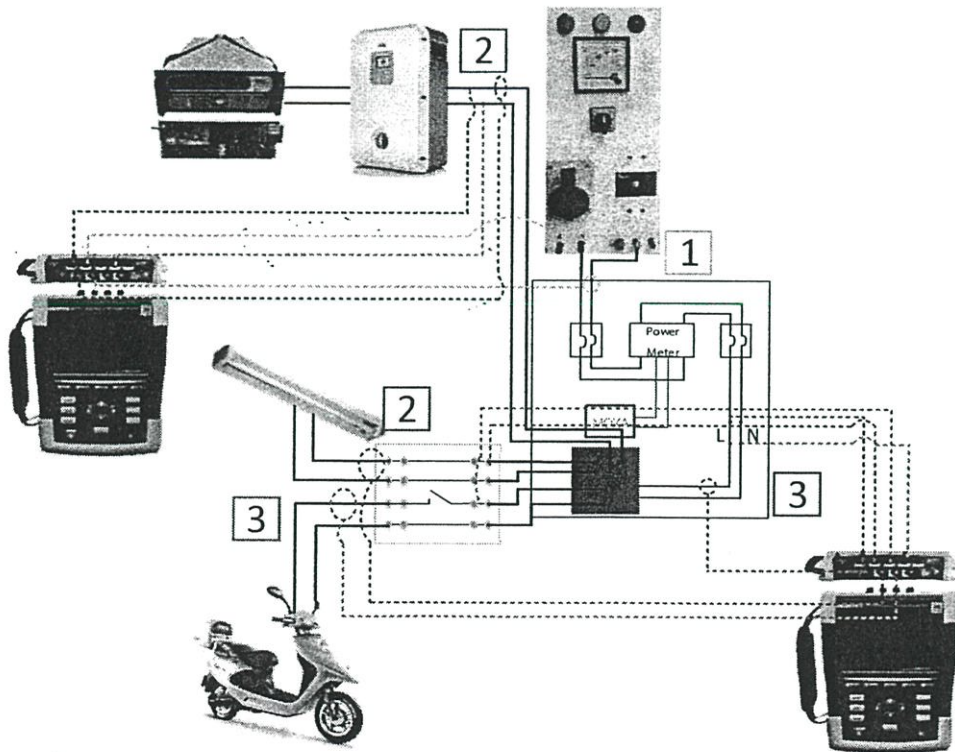
กรณีโหลดเชิงเส้น 436วัตต์ ในช่วงแรกโหลดมีขนาดน้อยกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดพลังงานที่ส่งออกไปสู่การไฟฟ้า (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบ) และช่วงที่2 โหลดรวมมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ต้องรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลด (จุดที่1 กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก) และเกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากขึ้นจากการต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโหลดเชิงเส้นในอีกเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่งเกิดขึ้นน้อยมาก แรงดันตกเล็กน้อย ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ตาราง พบว่าถ้าเพิ่มขนาดโหลดไม่เชิงเส้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง ด้านพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดการไฟฟ้า (จุดที่1) ถ้าโหลดมีขนาดเข้าใกล้ขนาดแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งออกไปที่การไฟฟ้าลดลง แต่กำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าเท่าเดิม ถ้ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดเชิงเส้นจะเห็นว่า โหลดไม่เชิงเส้นจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกมากกว่าโหลดเชิงเส้น ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสมากกว่าโหลดเชิงเส้น

#### 4.3.5 โหลดไม่เชิงเส้นและโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์

จะทำการวัดค่าที่จุดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เพื่อหาผลกระทบที่โหลดไม่เชิงเส้นที่เกิดจากการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์จากแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.37 จุดวัดกรณีโหลดไม่เชิงเส้นแบบแยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ (มีแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์)

ตารางที่ 4.19 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 168 วัตต์ และซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิต เบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	225.09	225.09	225.09	225.09	-	224.66	224.66	224.66	224.66	224.66
I (A)	1.84	2.62	0.817	0.817	-	1.68	2.48	2.48	0.82	1.91
S (VA)	-415	591	184	184	-	-378	592	557	184	429
P (W)	-409	589	182	182	-	-167	590	424	182	239
Q (Var)	-57	30	-24	-24	-	-111	17	-94	-24	-73
PF	0.99	0.99	0.99	0.99	-	0.44	0.99	0.76	0.99	0.56
%THDv	1.23	1.23	1.23	1.23	-	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
%THDi	7.89	5.20	5.15	5.15	-	161.23	5.33	78.89	4.99	136.59

ตารางที่ 4.20 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 288 วัตต์ และซาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิต เบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	226.23	226.23	226.23	226.23	-	225.56	225.56	225.56	225.56	225.56
I (A)	1.36	2.612	1.32	1.32	-	1.52	2.63	2.86	1.31	1.89
S (VA)	-308	591	298	298	-	-344	594	646	297	426
P (W)	-298	590	292	292	-	-62	592	530	291	240
Q (Var)	-73	30	-43	-43	-	-144	32	-112	-42	-72
PF	0.97	0.99	0.98	0.98	-	0.18	0.99	0.82	0.98	0.56
%THDv	1.63	1.63	1.63	1.63	-	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
%THDi	16.24	5.32	13.14	13.14	-	201.50	5.36	64.17	133.84	13.02

ตารางที่ 4.21 กรณีต่อโหลดไม่เชิงเส้น 456 วัตต์ และชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแยกเซอร์กิต เบรกเกอร์

จุดวัด	ก่อนต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า					หลังต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V (V)	225.43	225.43	225.43	225.43	-	224.81	224.81	224.81	224.81	224.81
I (A)	0.68	2.58	2.12	2.12	-	1.90	2.61	3.64	2.13	1.90
S (VA)	-153	583	479	479	-	428	587	818	478	427
P (W)	-107	581	473	473	-	134	585	720	472	239
Q (Var)	-92	25	-66	-66	-	-167	28	-136	-66	-73
PF	0.70	0.99	0.99	0.99	-	0.31	0.99	0.88	0.99	0.56
%THDv	1.61	1.61	1.61	1.61	-	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
%THDi	34.70	5.21	8.78	8.78	-	172.32	5.29	48.45	8.78	135.33

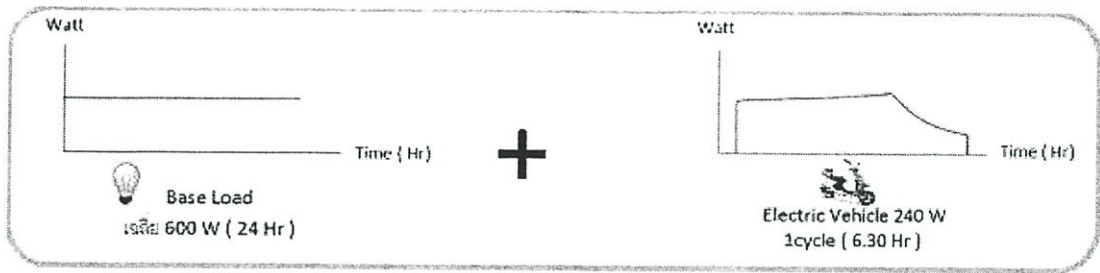
เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ตาราง พบว่าเมื่อต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกทำให้กระแสไฟฟ้าที่จุดที่ 1 มีค่าผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสสูงขึ้นมาก ถ้าเพิ่มขนาดโหลดเชิงเส้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจะลดลง ด้านพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดการไฟฟ้า (จุดที่ 1) ถ้าโหลดมีขนาดเข้าใกล้ขนาดแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งออกไปที่การไฟฟ้าลดลง แต่กำลังฟ้าเสมือนมีค่าเท่าเดิม ถ้ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีขนาดมากกว่าแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ พาวเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต่อโหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในเบรกเกอร์เดียวกัน ทั้งสองกรณีได้ผลที่ใกล้เคียงกัน

#### 4.4 การคำนวณค่าไฟ

##### 4.4.1 อัตราปกติแบบก้าวหน้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

โดยกำหนดให้มีโหลดฐานเฉลี่ย 600 วัตต์ตลอดทั้งวัน แล้วทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เพื่อไปคำนวณค่าไฟฟ้า แล้วนำไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ



ภาพที่ 4.38 ภาระทางไฟฟ้า 600วัตต์ และยานพาหนะไฟฟ้า 240วัตต์

ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าพลังงาน = 474.3 หน่วย / เดือน  
 อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = 58.96 สตางค์ / หน่วย

#### ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

##### 1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 – 150) = 414.42 บาท  
 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400) = 934.05 บาท  
 เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) = 292.45 บาท  
 รวม = 1,640.92 บาท

1.2 ค่าบริการ = 38.22 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 1,679.14 บาท

#### ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (F<sub>t</sub>)

จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า F<sub>t</sub> = 279.65 บาท

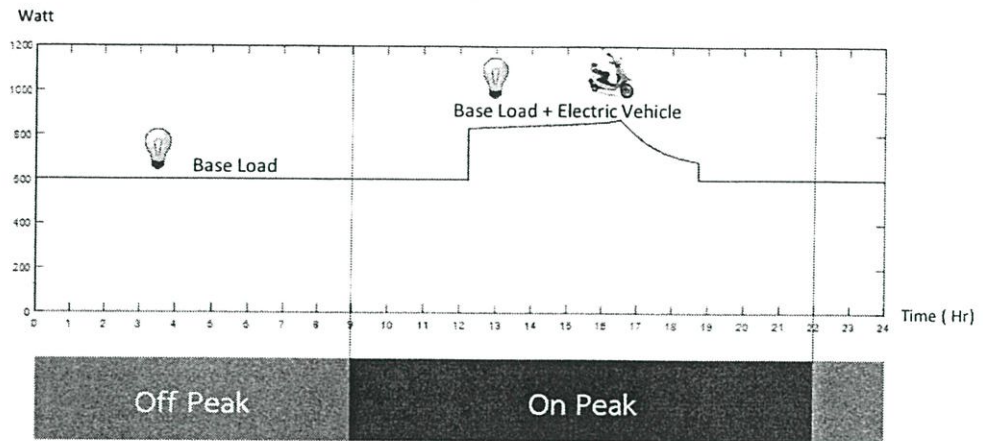
#### ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า F<sub>t</sub>) x 7/100 = 137.12 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 2,095.90 บาท

4.4.2 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ  
 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak)

โดยกำหนดให้มีโหลดฐานเฉลี่ย 600วัตต์ตลอดทั้งวัน แล้วทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า  
 เพิ่มเข้าไปในช่วงเวลากลางวัน (เริ่มชาร์จตอน 12.00น.)



ภาพที่ 4.39 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak)

มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak = 276.3 หน่วย/เดือน

มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak = 198 หน่วย/เดือน

อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = 58.96 สตางค์/หน่วย

#### ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

##### 1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

รวม = 1,887.56 บาท

1.2 ค่าบริการ = 38.22 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 1,925.78 บาท

#### ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (F<sub>t</sub>)

จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า F<sub>t</sub> = 279.65 บาท

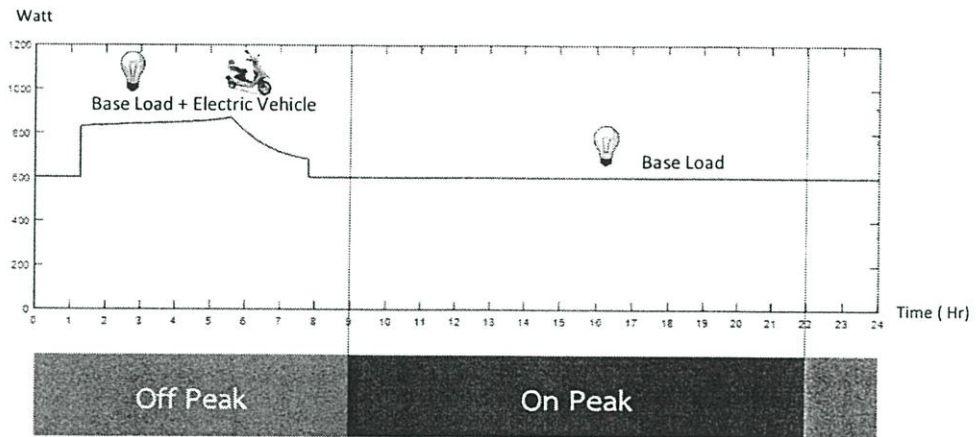
#### ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า F<sub>t</sub>) x 7/100 = 154.38 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 2,359.80 บาท

#### 4.4.3 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)

โดยกำหนดให้มีโหลดฐานเฉลี่ย 600วัตต์ตลอดทั้งวัน แล้วทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มเข้าไปในช่วงเวลากลางคืน (เริ่มชาร์จตอน 1.00น.)



ภาพที่ 4.40 โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)

มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak	=	240.3 หน่วย /เดือน
มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak	=	234 หน่วย /เดือน
อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)	=	58.96 สตางค์/หน่วย

#### ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

##### 1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$\text{รวม} = 1,776.51 \text{ บาท}$$

##### 1.2 ค่าบริการ = 38.22 บาท

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 1,814.73 \text{ บาท}$$

#### ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร ( $F_t$ )

$$\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่า } F_t = 279.65 \text{ บาท}$$

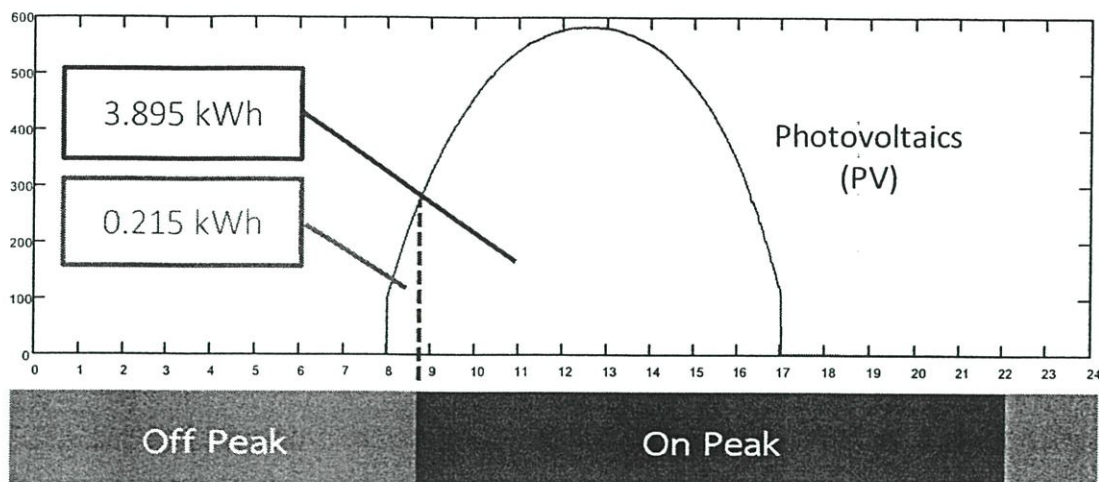
#### ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

$$(\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่า } F_t) \times 7/100 = 146.61 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 2,240.98 \text{ บาท}$$

4.4.4 อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เมื่อต่อ โหลดรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์

โดยกำหนดให้มีโหลดฐานเฉลี่ย 600 วัตต์ตลอดทั้งวัน แล้วทำการชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มเข้าไปในช่วงเวลากลางวัน (เริ่มชาร์จตอน 12.00น.) และนำแหล่งจ่ายจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 600 วัตต์มาช่วยจ่ายไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 กราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์ ในหนึ่งวัน

เซลล์แสงอาทิตย์ (PV) 600วัตต์ ช่วยจ่ายพลังงานให้กับระบบไฟฟ้าในช่วงช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On peak) เฉลี่ย 3.895 หน่วย/วัน หรือ 116.85 หน่วย/เดือน และช่วยจ่ายให้กับระบบไฟฟ้าในช่วงช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off peak) เฉลี่ย 0.215 หน่วย/วัน หรือ 6.45 หน่วย/เดือน

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลาช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ} &= 276.3 - 116.85 \\ &= 159.45 \text{ หน่วย/เดือน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลาช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง} &= 198 - 6.45 \\ &= 191.55 \text{ หน่วย /เดือน} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)} = 58.96 \text{ สตางค์ / หน่วย (ของเดือน พฤษภาคม 2558)}$$

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$\text{รวม} = 1,257.98 \text{ บาท}$$

$$1.2 \text{ ค่าบริการ} = 38.22 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 1,296.20 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร ( $F_t$ )

$$\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่า } F_t = 206.95 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

$$(\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่า } F_t) \times 7/100 = 105.22 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 1,608.37 \text{ บาท}$$

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบการคิดค่าไฟประเภทต่างๆ

	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
อัตราปกติ (แบบก้าวหน้า) เมื่อชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	2,095.90
อัตรา TOU เมื่อชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak)	2,359.80
อัตรา TOU เมื่อชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)	2,240.98
อัตรา TOU เมื่อชาร์จรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) และต่อร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์	1,608.37

บ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้งานในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำมากกว่า ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง จะมีค่าไฟที่ถูกกว่าแบบอัตราปกติและถ้ามีเซลล์แสงอาทิตย์มาช่วยจ่ายไฟฟ้า จะได้ค่าไฟฟ้าไฟฟ้าที่ถูกที่สุด เมื่อเทียบกับแบบไม่มีเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าไฟลดลงถึง 31.84 %)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า เพื่อศึกษาปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า เนื่องจากราคาน้ำมันมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หากเปรียบเทียบกับราคาพลังงานไฟฟ้าแล้ว ก็จะพบว่าราคาพลังงานไฟฟ้ามีราคาที่ถูกลงกว่าเห็นได้ชัด จึงได้มีการค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง และนอกเหนือไปกว่านั้นคือ ยานพาหนะไฟฟ้ามีมลพิษทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ายานพาหนะที่ใช้ น้ำมัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษา ค้นคว้า วิจัย ถึงพฤติกรรมการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า เพื่อหาวิธีการป้องกันและแก้ปัญหาเมื่อเกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ทั้งในแง่ของผู้ใช้ไฟฟ้า และการไฟฟ้า นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบค่าไฟฟ้าจากอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) เพื่อที่จะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลดลง และผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้ประโยชน์จากการจ่ายไฟฟ้าที่ลดลง โดยการนำพลังงานทดแทนมาช่วยจ่ายในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง

จากที่กล่าวมาทำให้เห็นความสำคัญของปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงได้มีการจำลองพฤติกรรมการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า ร่วมกับภาระทางไฟฟ้าที่เป็นเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น ภายในวงจรเดียวกัน และวงจรอื่นข้างเคียง ในค่าภาระทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะครอบคลุมถึงปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า โดยการจำลองพฤติกรรมการชาร์จนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับ เพื่อให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น

การจำลองพฤติกรรมการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า โดยปกติแล้วการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า จะมีค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นสูง โดยเฉพาะฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5 ส่งผลให้กระแสมีความผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มาก โดยกระแสฮาร์มอนิกนี้จะส่งผลกับอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียง แต่จะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน 70 วาร์ และกำลังไฟฟ้าปรากฏที่วัดได้ มีค่าไม่เท่ากับขนาดผลรวมของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าจริงกับเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากฮาร์มอนิกที่สูง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าสูงขึ้น

ในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น และภาระทางไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้น ในขณะที่กำลังจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติ แล้วมีการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป ผลการทดลองที่ได้นั้นมีค่าคล้ายกันคือ เกิดแรงดันตกเล็กน้อย ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าลดลง แต่ค่าความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสของภาระทางไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้นมีค่าสูงกว่าภาระทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น เนื่องจากภาระทางไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้น ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่ออยู่ ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นความเหนี่ยวนำส่งผลให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกขึ้น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสจึงมากกว่าภาระทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น

ในกรณีที่ซาร์จยานพาหนะไฟฟ้าภายในวงจรเดียวกันและแยกวงจร กับภาระทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น และภาระทางไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นในวงจรเดียวกันจะมีค่า ฮาร์มอนิก และค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส สูงกว่าในกรณีแยกวงจรไฟฟ้ากัน ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียงอย่างมาก อาจจะทำให้อุปกรณ์ข้างเคียงมีการทำงานผิดพลาด หรือเกิดการชำรุดเสียหายได้

ในกรณีที่มีพลังงานทดแทนในที่นี้คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar roof) มาช่วยจ่ายไฟฟ้า ถ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าพลังงานที่ต้องการใช้ในขณะนั้น จะมีการส่งไฟฟ้าคืนกลับให้การไฟฟ้า ด้วยแรงดันและกระแสที่มีความผิดเพี้ยนนั้นจะส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าโดยตรง

ซึ่งในด้านของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) จะไม่นำค่าความต้องการสูงสุดมาคำนวณ แต่ในความเป็นจริงแล้วมีค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าโดยตรง และถ้าในอนาคตมีการขยายธุรกิจเพิ่มเติม ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดนั้นต้องนำมาคำนวณด้วย เพราะการคำนวณแบบประเภทบ้านอยู่อาศัยกับประเภทอื่นนั้นต่างกัน ดังนั้นจึงควรติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ช่วยลดค่าความต้องการสูงสุดนี้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรซาร์จยานพาหนะไฟฟ้าแบบแยกวงจรกับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เนื่องจากการเกิดผลกระทบโดยตรงต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียง

2. การใช้พลังงานทดแทนมาช่วยจ่ายไฟฟ้า หรือในที่นี้คือพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ควรเลือกขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานและภาระไฟฟ้าพื้นฐานที่มีภายในบ้าน เพื่อให้คุ้มกับการลงทุนและในกรณีที่จ่ายได้น้อยไป อาจจะไม่คุ้มกับการลงทุนและค่าดูแลรักษา หรือในกรณีที่จ่ายมากไป พลังงานส่วนนี้ก็อาจจะจ่ายกลับคืนสู่การไฟฟ้า ไม่เกิดประโยชน์กับฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า

3. ควรเลือกใช้อัตราการคำนวณค่าไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสถานที่นั้น เช่น ถ้าสามารถแบ่งใช้ได้ตามช่วงเวลาควรจะใช้อัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพราะจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่า โดยสามารถดูช่วงเวลาการใช้งานได้ในเว็บไซต์ของการไฟฟ้า เพราะค่าการคำนวณมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทุกเดือน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] R.D. Seifert, "Concepts for integrating PV into rural Alaskan housing and utilities", *Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.1539-1542, 2000.
- [2] B.M. Cross, "Development, testing and first installations of an integrated solar roof system", *1994 IEEE First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Vol.1, pp.1020-1023, 5-9 Dec 1994.
- [3] MegaTrend ผลงานทางเลือกเพื่อชีวิต, จัดพิมพ์โดย WEBMASTER : JULY 24, 2014 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://hunt-magazine.com/megatrend>
- [4] K. Iimura, M. Yamazaki, K. Maeno, "Results of electrical system and Home Energy Management System for "Omotenashi House" in Solar Decathlon Europe 2012", *Energy and Buildings*, Vol.83, pp.149-161, Nov 2014.
- [5] A.R. Al-Ali, A. El-Hag, M. Bahadiri, M. Harbaji, Y. A. E. Haj, "Smart Home Renewable Energy Management System", *Energy Procedia*, Vol. 12, pp.120-126, 2011.
- [6] D. Sbordone, I. Bertini, B. Di Pietra, M.C. Falvo, A. Genovese, L. Martirano, "EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm", *Electric Power Systems Research*, Vol.120, pp.96-108, Mar 2015.
- [7] I. Liu, F. Kong, X. Liu, Y. Peng, Q. Wang, "A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.51, pp.648-661, Nov 2015.
- [8] S. Speidel, T. Bräunl, "Driving and charging patterns of electric vehicles for energy usage", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.40, pp.97-110, Dec 2014.
- [9] Z. Duan, B. Gutierrez, W. Lizhi Wang, "Forecasting Plug-In Electric Vehicle Sales and the Diurnal Recharging Load Curve", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.5, no.1, pp.527-535, Jan 2014.

- [10] A.M.A. Haidar, K.M. Muttaqi, D. Sutanto, "Technical challenges for electric power industries due to grid-integrated electric vehicles in low voltage distributions: A review", *Energy Conversion and Management*, Vol.86, pp.689-700, Oct 2014.
- [11] P. Denholm, M. Kuss, R. M. Margolis, "Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment", *Journal of Power Sources*, Vol.236, pp.350-356, 15 Aug 2013.
- [12] D.P. Birnie III, "Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future, *Journal of Power Sources*", Vol.186, No.2, pp.539-542, 15 Jan 2009
- [13] M. Farhoodnea, A. Mohamed, Hu. Shareef, H. Zayandehroodi, "Power quality impacts of high-penetration electric vehicle stations and renewable energy-based generators on power distribution systems", *Measurement*, Vol.46, No.8, pp.2423-2434, Oct 2013
- [14] D.M. Tovilović, N.LJ. Rajaković, "The simultaneous impact of photovoltaic systems and plug-in electric vehicles on the daily load and voltage profiles and the harmonic voltage distortions in urban distribution systems", *Renewable Energy*, Vol.76, pp.454-464, April 2015.
- [15] Recommended Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines for the Greater Houston Area, city of Houston TEXAS.
- [16] Report On Electric Vehicle Charging, Submitted to the Governor, the President of the Senate, and the Speaker of the House of Representatives To Fulfill the Requirements of Section 366.94, Florida Statutes, Florida Public Service Commission Tallahassee, Florida December 2012.
- [17] Q. Li, Xi. Xiao, "EV charging and its applications in active distribution systems", 2013 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp.1-6, 24-27 Feb. 2013.
- [18] P. Kadar, P.; A. Varga, "PhotoVoltaic EV charge station", 2013 IEEE 11 th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), pp.57-60, Jan. 31 2013-Feb. 2 2013.

- [19] หลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า,ไทยแลนด์อินดัสตริ้อทคอม,วันที่ 2013-05-10[ออนไลน์]  
เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19472&section=9>
- [20] รถยนต์ไฟฟ้าแรงแห่งยุคพลังงานทดแทน,แผนกเทคโนโลยียานยนต์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้  
จาก: <http://data.thaiauto.or.th/iu3/images/stories/PDF/Law/TAI/EV.pdf>
- [21] C.H. Dharmakeerthi, N. Mithulanathan, T.K. Saha, “Modeling and planning of EV fast charging station in power grid”, 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1-8, 22-26 July 2012.
- [22] D. Tanaka, T. Ashida, S. Minami, “An analytical method of EV velocity profile determination from the power consumption of electric vehicles”, VPPC '08 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-3, 3-5 Sept. 2008
- [23] J.V. Roy, N. Leemput, F. Geth, R. Salenbien, J. Buscher, J. Driesen, “Apartment Building Electricity System Impact of Operational Electric Vehicle Charging Strategies”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol.5, No.1, pp.264-272, Jan. 2014.
- [24] M. Tan, O.A. Mohammed, “Optimal Charging of Plug-in Electric Vehicles for a Car-Park Infrastructure”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.5, No.4, pp.2323-2330, July-Aug. 2014.
- [25] C Jin, X. Sheng, P. Ghosh, “Optimized Electric Vehicle Charging With Intermittent Renewable Energy Sources”; IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol.PP, No.99, pp.1.
- [26] A. Aabrandt, P.B. Andersen, A.B. Pedersen, S. You, B. Poulsen, N. O'Connell, J. Ostergaard “Prediction and optimization methods for electric vehicle charging schedules in the EDISON project” 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp.1-7, 16-20 Jan. 2012.
- [27] A. Dubey, S. Santoso, M.P. Cloud, M.P. “Understanding the effects of electric vehicle charging on the distribution voltages”, 2013 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES), pp.1-5, 21-25 Jul 2013.

- [28] Foster, J.M. ; Trevino, G. ; Kuss, M. ; Caramanis, M.C. "Plug-In Electric Vehicle and Voltage Support for Distributed Solar: Theory and Application" *IEEE Systems Journal*, Vol.7, No.4, pp.881-888, Dec 2013.
- [29] M.V.D. Kam, W.V. Sark, "Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid; a case study", *Applied Energy*, Vol.152, pp.20-30, 15 August 2015.
- [30] L. Gan, Z. Xiao-Ping, "Modeling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Demand in Probabilistic Power Flow Calculations", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.3, No.1, pp.492-499, Mar 2012.
- [31] T.-E. Stamati, P. Bauer, "Green energy for on-road charging of electric vehicles" 2012 15th International Symposium MECHATRONIKA, pp.1-9, 5-7 Dec. 2012.
- [32] A.D. Hilshey, P. Rezaei, P.D.H. Hines, J. Frolik, "Electric vehicle charging: Transformer impacts and smart, decentralized solutions" 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1-8, 22-26 July 2012.
- [33] D.T. Nguyen, B.L. Long "Joint Optimization of Electric Vehicle and Home Energy Scheduling Considering User Comfort Preference", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.5, No.1, pp.188-199, Jan 2014.
- [34] P. Richardson, D. Flynn, A. Keane, "Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.27, No.1, pp.268-279, Feb 2012.
- [35] D.M. Robalino, G. Kumar, L.O. Uzoëchi, U.C. Chukwu, S.M. Mahajan, "Design of a docking station for solar charged electric and fuel cell vehicles" 2009 International Conference on Clean Electrical Power, pp.655-660, 9-11 June 2009.
- [36] P.T. Staats, W.M. Grady, A. Arapostathis, R.S. Thallam, "A statistical analysis of the effect of electric vehicle battery charging on distribution system harmonic voltages" *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, pp.640-646, Apr 1998.

- [37] R.-C. Leou, C.-L. Su, C.-N. Lu, "Stochastic Analyses of Electric Vehicle Charging Impacts on Distribution Network," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.29, No.3, pp.1055-1063, May 2014.
- [38] M.K. Gray, W.G. Morsi, "Power Quality Assessment in Distribution Systems Embedded with Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.30, No.2, pp.663-671, March 2015.
- [39] A. Lucas, F. Bonavitacola, E. Kotsakis, G. Fulli, "Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging", *Electric Power Systems Research*, Vol.127, , pp.13-21, Oct 2015
- [40] H. Shimizu, J. Harada, C. Bland, K. Kawakami, C. Lam, "Advanced concepts in electric vehicle design", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No.1 pp.14-18, Feb 1997.
- [41] O. Sundstrom, C. Binding, "Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.3, No.1, pp.26-37, March 2012.
- [42] A.V. Yurchenko, A.V. Koslov, V.K. Kovalevskiy, V.K. "Analysis of the solar battery efficiency under the natural conditions in Tomsk" *Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists Modern Techniques and Technologies*, pp.16-18, 7-11 April 2003.
- [43] J. Traube, L. Fenglong, D. Maksimovic, J. Mossoba, M. Kromer, P. Faill, S. Katz, B. Borowy, S. Nichols, L. Casey, "Mitigation of Solar Irradiance Intermittency in Photovoltaic Power Systems With Integrated Electric-Vehicle Charging Functionality", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.28, No.6, pp.3058-3067, June 2013.
- [44] S. Usuda , T. Sunagawa, K. Miyoshi, J. Lei, "A study of the remaining battery power indication circuit for independent solar cell control systems", *Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems*, Vol.2, pp.954-958, 29-29 Sept. 2005.

- [45] T. Tanaka, H. Kamiko, T. Bando, A. Zaffirah, N. Kakimoto, Y. Inui, T. Maeda, "Energetic analysis of SOFC co-generation system integrated with EV charging station installed in multifamily apartment", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 39, No. 10, pp.5097-5104, 26 March 2014
- [46] C. Vlad, M.A. Bancila, T. Munteanu, G. Murariu, "Using renewable energy sources for electric vehicles charging" **2013 4th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)**, pp.1-6, 11-13 Oct 2013.
- [47] L. Woongsup L. Xiang R. Schober, V.W.S. Wong, "Electric Vehicle Charging Stations with Renewable Power Generators: A Game Theoretical Analysis", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.6, No.2, pp.608-617, March 2015.
- [48] X. Li, H. Li, J. Zhang, Y. Liu, Y. Niu, N. Song "Dynamic breakeven analysis on the charging price of electric vehicle charging station" **2012 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)**, pp.1-4, 10-14 Sept 2012.
- [49] J. Seungmin, J.J. Young, K. Dongsuk, "Economic Analysis of the Dynamic Charging Electric Vehicle", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.30, no.11, pp.6368-6377, Nov 2015.
- [50] Y.M. Wi, J.U. Lee, S.K. Joo, "Electric vehicle charging method for smart homes/buildings with a photovoltaic system", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.59, No.2, pp.323-328, May 2013.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ในการวิจัย

## แบตเตอรี่

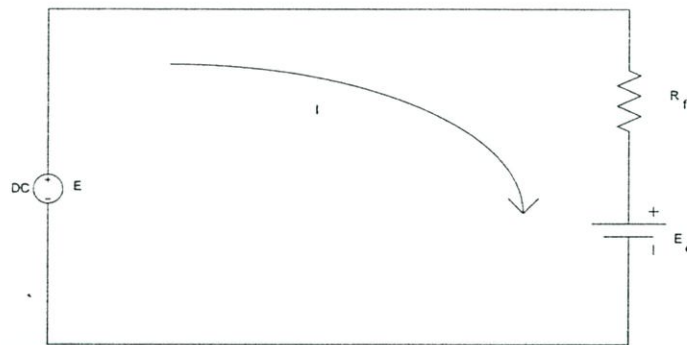
เซลล์แบตเตอรี่มีส่วนประกอบคือแผ่นธาตุบวก,แผ่นธาตุลบ และสารละลาย “อิเล็กโทรไลต์” ในเซลล์แบตเตอรี่หนึ่งลูกอาจจะมีแผ่นธาตุบวกและธาตุลบหลายๆ คู่ วางขนานกันเพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงขึ้น ค่าความจุของแบตเตอรี่มีหน่วยวัดเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Amperehour;Ah) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ -เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ได้งานได้ครั้งเดียวไม่สามารถทำกลับมาใช้ได้อีก ทำมาจาก สังกะสี-คาร์บอน พรอท และลิเทียม

2.แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ -เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วสามารถชาร์จเพื่อนำมาใช้งานต่อได้ ทำมาจาก ตะกั่ว-กรด นิเกิล แคดเมียม และอัลคาไลน์แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้แบบทุติยภูมิ

### 2.1.2 การประจุไฟให้แบตเตอรี่

1. หลักการอัดประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่เครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้อัดแบตเตอรี่จะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในตอนชาร์จแบตเตอรี่ การต่อขั้วจะต่อขั้วบวกของเครื่องประจุแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกของตัวแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ตอนชาร์จจะมีทิศตรงกันข้ามกับตอนแบตเตอรี่ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้า

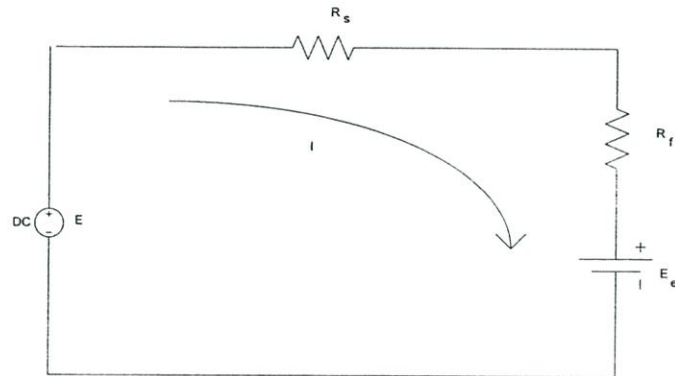
โดยที่  $E$  คือ แรงดันที่ทำการอัดประจุ  
 $E_e$  คือ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่  
 $R_f$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่  
 $I$  คือ กระแสในการประจุแบตเตอรี่

ในวงจรจะได้สมการ

$$E = E_e + IR_f$$

$$I = \frac{(E - E_e)}{R_f}$$

ถ้าหากแรงดันแบตเตอรี่มีแรงดันเท่ากับแรงดันตัวอัดประจุ จะไม่มีการชาร์จเกิดขึ้นในวงจร ถ้าแรงดันแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำกว่าจะมีกระแสไหลเพื่อไปอัดประจุให้แบตเตอรี่ ในทางกลับกันถ้าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่มีแรงดันสูงกว่ากระแสประจุจะย้อนออกจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่จะมีค่าน้อยมากโดยมีค่าหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขณะที่มีการประจุแบตเตอรี่ โดยมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าว่ามาหรือน้อย ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้ามีค่ามากกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ซึ่งจะทำให้เสื่อมลง การลดปริมาณกระแสประจุนี้จะทำได้โดยการต่อความต้านทานอนุกรมเข้าไป ดังภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 วงจรที่มีความต้านทานต่ออนุกรมเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้า

จากภาพที่ ก.2 เราจะหาค่าความต้านทานจำกัดกระแสได้จากสมการ

$$I = \frac{(E - E_e)}{R_f}$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการอัดหรือคายประจุจะขึ้นกับความจุของแบตเตอรี่ โดยพิกัดกระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะบอกไว้เป็นชั่วโมง ดังนั้นค่ากระแสหาได้จากค่าความจุมีหน่วยเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) หารด้วยจำนวนชั่วโมง แต่ค่าระหว่างกระแส กับ ชั่วโมงจะไม่แปรผันตรงกันตลอด เนื่องจากหากมีกระแสไฟฟ้าปริมาณมากจะทำให้ค่าพลังงานที่ได้น้อยลงตามคุณสมบัติการจ่ายประจุแบตเตอรี่ (Rate of discharge)

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะชาร์จมีค่าดังต่อไปนี้

$$P = I^2 R_f$$

โดย

$P$  คือ กำลังสูญเสียในแบตเตอรี่

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

$R_f$  คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าขณะชาร์จสูงจะมี ค่าความสูญเสียมาก โดยจะมีผลทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ ถ้าความร้อนสูงมากจะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั่นเอง

การใช้และเก็บแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าซึ่งเป็นแบบตะกั่วกรดจะไม่มีอาการจำค่าแบตเตอรี่ก่อนการชาร์จว่าเหลือเท่าไรหรือ เมมโมรี่เอฟเฟค(Memory Effect) ซึ่งเป็นของแบตเตอรี่แบบนิกเกิลแคดเมียม ถ้าแบตเตอรี่มีประจุใกล้เต็มการนำไปชาร์จกระแสต่ำๆ จะไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ และไม่ควรรใช้แบตเตอรี่คายประจุจนใกล้จะหมด เนื่องจากจะทำให้ความสามารถในการเก็บประจุลดลง และทำให้อายุการใช้งานลดลงด้วย ดังนั้นหากจำเป็นต้องใช้งานจดหมดบ่อยๆ จึงควรเลือกแบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุใหญ่มากกว่าเดิม (แอมป์ชั่วโมงมากขึ้น)

หากทิ้งแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไว้เป็นเวลานานๆ แบตเตอรี่จะมีการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) ถ้าไม่ชาร์จเพื่อเติมประจุให้กับแบตเตอรี่ผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุลบจะรวมตัวกันแล้วมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีผลให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายโหลดได้น้อยลง ในกรณีร้ายแรงหากผลึกเกิดทำให้กระแสลัดวงจรภายในก็เป็นได้ การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดทั่วไปใช้เวลา 8-16 ชั่วโมงขึ้นกับขนาดความจุ

อัตราการคายประจุ

อัตราการคายประจุเรียกว่า ซีเรทของแบตเตอรี่ ซึ่งไม่ควรเกิน 0.2 C หรือ 20% ของความจุ ถ้าหากอัตราการดิสชาร์จมากขึ้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพซึ่งจะลดลง ดังนั้นหากอยากให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานๆจึงควรชาร์จก่อนแบตเตอรี่จะหมด

อุณหภูมิกับอายุการใช้งาน

อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 8 องศาเซลเซียสจะทำให้อายุการใช้งานลดลงถึงครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้แบตเตอรี่สามารถเก็บประจุได้น้อยลง โดยความจุจะลดลง 50% ในทุกๆอุณหภูมิที่ต่ำลง 12 องศาเซลเซียส

หากเปรียบเทียบแบตเตอรี่ชนิดใหม่กับแบบตะกั่วกรดแล้วจะเห็นความแตกต่างในการเก็บประจุซึ่งตะกั่วกรดจะน้อยกว่าหากเทียบกับน้ำหนักร จึงไม่เหมาะแก่การนำมาทำอุปกรณ์พกพา แต่เนื่องจากราคาต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำและนิยมนำมาใช้กับแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่มีความจุมาก

### 2.2.3 ข้อควรระวัง

1. อย่าใช้แบตเตอรี่ในการจ่ายกระแสเกินความจุเนื่องจากแบตเตอรี่จะเสื่อม
2. อย่าประจุไฟแบตเตอรี่มากเกินไป ควรประจุให้เหมาะสม
3. อย่าให้อุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์สูงเกิน 50 องศาเซลเซียส
4. ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อปลั๊กของแบตเตอรี่กับปลั๊กของ ชาร์จเจอร์ว่าถูกซ้ำ
5. ห้ามถอดปลั๊กเมื่อมีการ On Charger
6. ถอดปลั๊กออกทุกครั้งเมื่อเลิกใช้

### แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า และในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุ (Capacity) สูง ๆ ที่ให้กระแสได้มาก เนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ รถยกไฟฟ้า, รถเข็น, สกู๊ตเตอร์, รถกอล์ฟ, ระบบสำรองไฟฟ้าและระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน



ภาพที่ ก.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด Chuphotic UB1221-750W

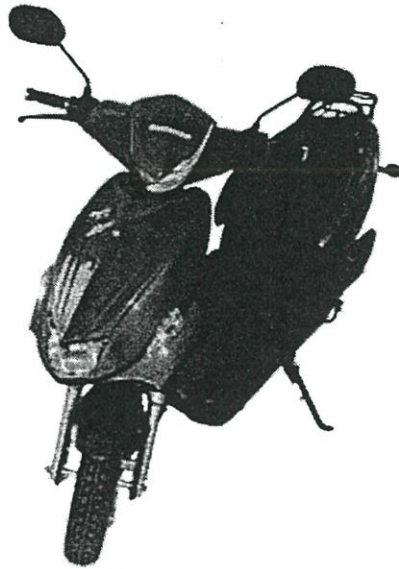
(ที่มา : [http://chuphotic.com/products-en.asp?category\\_id=36](http://chuphotic.com/products-en.asp?category_id=36))

ในการทดลองใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรด Chuphotic UB1221-750W โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- แรงดันปกติ : 12 VDC ใน 6 เซลล์
- ความจุที่ 20 ชั่วโมง: 21 Ah ที่ 0.96 A/12 W
- ความจุที่ 5 ชั่วโมง : 17 Ah ที่ 3.29 A/38 W
- ความจุที่ 1 ชั่วโมง : 12.6 Ah ที่ 12.2 A/135 W
- ความจุที่ 15 นาที : 9.2 Ah ที่ 36 A/410 W (\*UPS)
- ความจุที่ 5 นาที : 6.0 Ah ที่ 67 A/750 W (\*UPS)
- กระแสไฟฟ้าเมื่อปล่อยประจุหมด : 300 A ที่ 14C
- กระแสไฟฟ้าเมื่อประจุเต็ม : 6.0 A ที่ 0.3C
- ค่าความต้านทานภายใน : ประมาณ 15 mΩ ประจุไฟเต็มที่ 25°C
- อายุการใช้งานตามที่ออกแบบ : 5 ปี ที่ 25 °C
- วงจรการใช้งาน : 1500 รอบ ที่ DOD 25%

- Float Charge Voltage : 14.4-15.0V (-30mV/°C) ที่ 25°C
- Cycle Charge Voltage : 13.5-13.8V (-20mV/°C) ที่ 25°C
- ช่วงอุณหภูมิการทำงาน : Normal 25+/-3 °C
  - : Discharge -15 – 50 °C
  - : Charge -15 – 50 °C
  - : Storage -15 – 50 °C
- Self-Discharge : มากกว่า 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 25°C
- Terminal : T12-M5
- วัสดุที่ใช้ : ABS UL94 HB-0 (Option :UL94V-0)
- ขนาด : 181x76x167mm – 5.5 Kgs

## รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ก.4 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า Toyotron รุ่น DRAGON-G SUPER

## ข้อมูลทั่วไป

Length x width x height:	1820/660/1070
Weight :	85 kilogram
Riding Slope:	30 Degree
Top speed:	65 km/hour
Distance Per charge:	60-80 Kilometers
Motor capacity:	> 1,000 Watts
Controller:	60 V 30 A
Battery (Lead acid):	60 V 24 Ah
Energy Consumption:	0.07 Bath/km

ภาคผนวก ข  
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน

## ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) รศ.ดร.อรรถพล เง่าพิภักษ์กุล  
(ภาษาอังกฤษ) Atthapol Ngaopitakkul, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 28 สิงหาคม 2521 อายุ 39 ปี

เพศ ชาย สถานะทางการสมรส โสด

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5849990003908

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330

เบอร์มือถือ 0817324318 Email [knatthap@kmitl.ac.th](mailto:knatthap@kmitl.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (B.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2545	
ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (M.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2547	
ปริญญาเอกสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (D.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2550	

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ Power System, Power System Protection, Application of Wavelet Transform to power system protection, Artificial Neural Networks, Illumination, Energy Management

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

Journal Papers

1. A. Ngaopitakkul, and C. Jettanasen, "A Discrete Wavelet Transform Approach to Discriminating among Inrush Current, External Fault, and Internal Fault in Power Transformer using Low-Frequency Components Differential Current Only," *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE)*, Vol. 9, No. 3, May, 2014, pp. 302-314. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
2. T. Patcharoen, and A. Ngaopitakkul, "A novel discrete wavelet transform based on travelling wave technique for identifying the fault location for transmission network systems," *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 8, No. 5, September, 2013, pp. 432-439. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
3. A. Ngaopitakkul, and S. Bunjongjit, "An application of a discrete wavelet transform and a back-propagation neural network algorithm for fault diagnosis on single-circuit transmission line," *International Journal of Systems Science (IJSS)*, Vol. 44, No. 9, September, 2013, pp. 1745-1761. (ISI Impact factor 2012 = 1.305)
4. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings" *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE)*, Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)
5. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, "Selection of Proper Activation Functions in Back-Propagation Neural Networks Algorithm for Identifying the phase with fault appearance in Transformer Windings," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 8, No. 6, June, 2012, pp. 4299-4318. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
6. S. Bunjongjit and A. Ngaopitakkul, "Selection of Proper Artificial Neural Networks for Fault Classification on Single Circuit Transmission Line," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 8, No. 1(A), January, 2012, pp. 361-374. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
7. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, "The comparisons technique of coefficient DWT for identifying Simultaneous Fault Types on Transmission System," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 7, No. 10, October, 2011, pp. 5789-5800. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)

### ประวัติการทำงานที่สำคัญ และ Professional Activities

- Committee : IEEJ-EIT Joint Symposium : Advanced Technology in Power Systems (2008-2009)  
 Committee : Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA) (Jan 2008 – Present)  
 Committee : Thai Mechanical and Electrical Design and Consulting Engineer Association (MECT)  
 (Oct 2008 – Present)

### ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- Dec 2013 – Present      Head of Research Project “Study and Analysis on Impact and Performance of Distribution System Connected to Multi-Distributed Generation” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Oct 2013 – Present      Head of Research Project “Analysis of Energy Consumption and Electromagnetic Interference (EMI) Problems for Light Emitting Diode (LED) Street Light” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Dec 2012 – Present      Head of Research Project “Development of Earth Terminal Configuration of Towers Using Impulse Characteristics” {Supported by the EGAT Research Fund, Thailand}
- Sep 2012 – May 2013      Advisor of Research Project “Study and analysis the effect of harmonics noise of LED lamp” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Mar 2012 – Sep 2013      Head of Research Project “An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent for Fault Diagnosis in Distribution System” {Supported by the National Research Council of Thailand, Thailand}
- Sep 2011 – May 2012      Advisor of Research Project “Study and analysis of harmonics issued from electronic ballast of T5 fluorescent lamp” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Oct 2010 – Sep 2011      Researcher of Project “The Classification of fault in power transformer using Discrete Wavelet Transform” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}

- Sep 2010 – May 2011 Advisor of Research Project “Feasibility and System Impact Study of Energy Saving using T5 in Building” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Dec 2009 – Nov 2011 Head of Research Project “An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent Algorithm for Simultaneous Fault Diagnosis in Electrical Power Transmission Systems” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Oct 2009 – Sep 2010 Head of Research Project “Fault Diagnosis in Underground Cable Systems using Discrete Wavelet Transform” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}
- Oct 2008 – Sep 2009 Researcher of Project “Fault Analysis on Single Circuit Transmission line Using Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Logic” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}
- Oct 2007 – Sep 2008 Researcher of Project “An Application of Discrete Wavelet Transform and Neural Network for Fault Diagnosis in Transmission Systems” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}

2. ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน  
(ภาษาอังกฤษ) Chaiyan Jettanasen, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 26 สิงหาคม 2522 อายุ 38 ปี

เพศ ชาย สถานะทางการสมรส สมรส

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3720901020204

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330

เบอร์มือถือ 080-0220851 Email [kjchaiya@kmitl.ac.th](mailto:kjchaiya@kmitl.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก Ph.D. of Electrical Engineering (Docteur en Génie Electrique),  
Ecole Centrale de Lyon, France

ปีที่จบ พ.ศ.2551

ปริญญาตรี-โท Master of Electrical Engineering (Master de Recherche en Génie  
Electrique) / Diploma of Electrical Engineering (Diplôme d'ingénieur), Institut  
National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, France

ปีที่จบ พ.ศ. 2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมหาบัณฑิต) ระบุสาขาวิชาการ  
EMI/EMC in power electronic systems, ESD in electric/electronic system,  
Conversion of electrical energy, Power electronics

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือนิตยสาร ฯลฯ)

#### Journal Papers

1. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings" IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)
2. Chaiyan Jettanasen, "Modeling and Optimizing a Passive EMI Filter to Attenuate Common-Mode Currents at High Frequency in a Three-Phase Adjustable-Speed AC Motor Drive", International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), ISSN 1349-4198, Vol. 8, No. 10 (A), October 2012, pp. 6629 – 6642 (ISI Impact Factor 2010: 1.664)
3. C. Jettanasen, F. Costa, C. Vollaïre, "Common mode emissions measurements and simulation in variable-speed drive systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 11, November 2009.

#### National/International Conference Papers

1. C. Jettanasen, "Analysis of Conducted Electromagnetic Interference Generated by PWM Inverter Fed-AC Motor Drives", The 15<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2012), Sapporo, Japan, October 21-24, 2012.

2. C. Jettanasen, "*Reduction of Common-Mode Voltage Generated by Voltage-Source Inverter using Proper PWM Strategy*", 2012 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & Technical Exhibition on EMC RF/Microwave Measurement & Instrumentation, Singapore, May 21-24, 2012.
3. C. Jettanasen, "*Design of Electrostatic Discharge Event Detector*", IEEE TENCON 2011, Bali, Indonesia, November 21-24, 2011.
4. C. Jettanasen, "*Pulse Width Modulation Technique to Attenuate Common-Mode Voltage Generated by Voltage Source Inverter-fed AC Motor Drive*", The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), Hong Kong, July 10-14, 2011.