

ผลกระทบต่อกุณภาพกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการใช้งานสถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านิดอัดประจุเร็ว

สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ ณัชพล เรืองทรัพย์ และ นัฐโชค รักไทยเจริญชีพ*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาธิรักษ์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

รับทบทวน 15 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ 9 เมษายน 2566 ตอบรับทบทวน 10 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีการใช้งานสถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านิดอัดประจุเร็ว ในงานนี้ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ได้มาจากการตรวจวัดค่าที่ส่งผลโดยตรงต่อระบบไฟฟ้า สามเฟสที่ด้านอินพุตของสถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ค่าที่ทำการตรวจวัดได้แก่ ค่าแรงดันรากกำลังสอง เฉลี่ย ค่ากระแสรากกำลังสองเฉลี่ย ค่าความเพี้ยนแรงดันอารมอนิกรุ่ม และค่าความเพี้ยนกระแสอาร์มอนิกรุ่ม ใน การเก็บข้อมูลจะทำดังแต่ยังไม่มีอัดประจุ ขณะเริ่มอัดประจุไปจนกระทั่งแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีประจุเต็ม โดยยานยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นรถมินิบัสขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ ชนิดลิเธียมไอโอนิกนัด 120 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สถานีอัดประจุที่ทดสอบเป็นของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตประเทศไทย เช่นกัน โดยมีแรงดันด้านอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 400 โวลต์ และดันด้านอารมอนิกรุ่มไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 250 ถึง 750 โวลต์ และหัวปลั๊กที่ใช้อัดประจุเป็นแบบ CCS-Type 2 เมื่อได้ข้อมูลแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อกุณภาพกำลังไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ทราบว่าขณะใช้งานสถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านิดอัดประจุเร็วจะเกิดผลกระทบต่อกุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามด้านหลัก ๆ นั่นคือ ผลกระทบด้านแรงดัน ผลกระทบด้านการเกิดอารมอนิกรุ่ม และผลกระทบด้านความไม่สมดุลของระบบไฟฟ้า

คำสำคัญ : กุณภาพกำลังไฟฟ้า; สถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า; ความเพี้ยนของอารมอนิกรุ่ม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +666 1353 6426, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: nattachote.r@rmutp.ac.th

Impact on Power Quality When Using Fast Charge Type of Battery Charging Station for Electric Vehicles

Sakhon Woothipatanapan Natchapol Ruangsap and Nattachote Rugthaicharoencheep*

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
1381 Pracharat 1 Road, Wong Sawang, Bang Sue, Bangkok, 10800

Received 15 December 2022; Revised 9 April 2023; Accepted 10 May 2023

Abstract

This article presents the impact on power system when operating fast charge type of battery charging stations for electric vehicles. In this work, the data analyzed were obtained from measurements that directly affect the three-phase power system at the input side of the electric vehicle battery charging station. The measured values were root mean square voltage (V_{rms}), root mean square current (I_{rms}), the total harmonic distortion of voltage (% THD_V), and the total harmonic distortion of current (% THD_I). To store data will be done since it has not been charged, while starting to charge until the electric vehicle battery is fully charged. The vehicles used for testing belong to the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), which is an electric powered minibus that uses a 120 kW-h lithium-ion battery. The charging station used for testing also belongs to the Electricity Generating Authority of Thailand, the input voltage is AC 400 V, the output voltage is DC 250 to 750 V, and the plug used for charging is a CCS-Type type 2. Once the data is complete, those data are then used to create a graph to analyze the impact on power system. The results of the data analysis revealed that while operating fast charge type of battery charging station for electric vehicles, there are three main effects on power quality of the power system: voltage effect, harmonic effect and the impact on unbalance of power system.

Keywords : Power System; Electric Vehicle Charging Station; Harmonic Distortion

* Corresponding Author. Tel.: +666 1353 6426, E-mail Address: nattachote.r@rmutp.ac.th

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ถูกนำขึ้นมาเป็นประเด็นสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ในเวทีโลก และหลายประเทศให้การตอบรับที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยต่างเห็นพ้องว่าภาคขนส่งเป็นหนึ่งตัวการของปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลภาวะที่ปลดปล่อยจากการยนต์ที่วิ่งบนห้องถนน จึงนำมาสู่การสร้างเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ทดแทนยานยนต์พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล [1] โดยขณะนี้ทั่วโลกเริ่มนิยมแนวโน้มใช้ยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ทุกปี ในอนาคตคาดว่ายานยนต์ไฟฟ้าจะเข้ามาแทนการใช้ยานยนต์พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในอัตราส่วนที่มากขึ้น

การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีแนวโน้มสูงมากขึ้นในอนาคตนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าต้องการการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ด้วยกำลังไฟฟ้าที่สูง [2] ส่วนสำคัญซึ่งทำหน้าที่ดังกล่าวคือ สถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV Charging Station) โดยภายในก็คือเครื่องอัดประจุไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าด้านอินพุตให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้านเอาต์พุตอย่างเหมาะสมเพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ จากนั้นแบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์และวงจรไฟฟ้าอีน ๆ ภายในยานยนต์ไฟฟ้าต่อไป ซึ่งเครื่องอัดประจุไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ที่มีคุณสมบัติทางพลศาสตร์ต่างจากโหลดที่ไว้ไป ดังนั้นการอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณมากโดยที่ไม่มีการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ผลกระทบหลักที่ผู้ดูแลระบบหรือการไฟฟ้าต้องประสบได้แก่ การเกิดภาระเกิน (Overload) การเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss), การเกิดแรงดันตก (Voltage Drop) การเกิดภาระไม่สมดุล (Unbalance Load) และการเกิดอาร์มอนิก (Harmonic) [3] รวมทั้งอาจมี

ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียงเกิดขึ้นซึ่งจะส่งผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ ถูกربกวนจนเกิดความเสียหายได้

ปัญหาดังกล่าวข้างต้นนี้เกิดในช่วงที่สถานีประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทำการอัดประจุนั้นเอง การอัดประจุจะแบ่งออกเป็นสองชนิดหลัก ๆ คือ การอัดประจุนิดปกติ และการอัดประจุนิดเร็ว แต่การอัดประจุนิดเร็วมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูง [4] จึงส่งผลกระทบมากกับการอัดประจุนิดปกติ

ในปี ค.ศ. 2016 [5] มีการประเมินการวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถโดยสารไฟฟ้าในไทย โดยใช้ระบบตรวจสอบระยะไกล สถานีชาร์จที่ศึกษามีสาขาวิชา 11 เสา รวมถึงสาขาวิชาแบบเร็ว 2 เสา และสาขาวิชาแบบช้า 9 เสา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าด้วยวิธีการที่เสนอแนะนี้ สามารถตรวจสอบและประเมินคุณภาพกำลังไฟฟ้าของสถานีชาร์จรถโดยสารไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปี ค.ศ. 2017 [6] มีการวิเคราะห์หลักการทำงาน โครงสร้างทางไฟฟ้าของเครื่องชาร์จประจุแบบเร็ว และวัดค่าาร์มอนิกของเครื่องชาร์จประจุแบบเร็วแบบต่าง ๆ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระแสงาร์มอนิกกับรายนต์ไฟฟ้า และเครื่องชาร์จประจุแบบเร็ว กำหนดขอบเขตของประสิทธิภาพ ตัวประกันกำลังไฟฟ้า และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นประเมินอิทธิพลของสถานีชาร์จประจุแบบเร็วของกริด ในปี ค.ศ. 2018 [7] มีการศึกษาโหลดໂโปรดไฟล์ และผลกระทบของอิทธิพลของสถานีชาร์จต่อแรงดันไฟฟ้าปานกลางในระบบจำหน่าย วัดคุณภาพไฟฟ้า และความแปรปันของໂโปรดไฟล์ อาร์มอนิกของสถานีชาร์จ โดยใช้การจำลองเครื่องข่ายเชียงใหม่ (ประเทศไทย) 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ DigsILENT Power Factory เป็นเครื่องมือจำลอง ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเพียงของอิทธิพลสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 9 ถึง 10 นาฬิกา

ในปี ค.ศ. 2021 [8] มีการศึกษาผลการตรวจวัดของเครื่องชาร์จที่แตกต่างกัน 20 แบบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องชาร์จแบบเร็ว ซึ่งได้รับในประเทศไทยและในเยอรมนี มุ่งเน้นไปที่ทั้งการปล่อยฮาร์มอนิก รวมถึงการประเมินเทียบกับขีดจำกัดที่เกี่ยวข้อง และการปล่อยชูเพอร์ฮาร์มอนิกในช่วงความถี่ระหว่าง 10 kHz ถึง 50 kHz เครื่องชาร์จของห้างสองประเทศจึงถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ในปี ค.ศ. 2022 [9] มีการศึกษาผลผลกระทบจากการทำงานของเครื่องอัดประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าสำหรับการประกอบธุรกิจในภาคเอกชน ทดสอบวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของตัวอย่างระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องอัดประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็ว หลายมาตรฐาน รวมถึงค่าปริมาณทางไฟฟ้าอื่น ๆ ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าก่อนเข้าเครื่องอัดประจุแบบ 3 เฟส ค่ากระแสไฟฟ้าขาเข้าแบบ 3 เฟส ค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า ค่า %SOC ของแบตเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้า ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า (THDv) ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า (THDi) ค่าความถี่ของระบบไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้า โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟสของระบบเท่ากับ 395.25 โวลต์ หรือค่าเฉลี่ยต่อเฟสเท่ากับ 228.2 โวลต์ ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16% ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51% ค่าความถี่ของระบบไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 50.03 เฮิรตซ์ และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดประจุเท่ากับ 0.99

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีการใช้งานสถานีประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้าชนิดประจุเร็ว โดยเก็บข้อมูลด้านอินพุตของสถานีประจุแบบเตอร์รอกยนต์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด คือ ค่าแรงดันราชกำลัง

สองเฉลี่ย ค่ากระแสราชกำลังสองเฉลี่ย ค่าความเพี้ยนแรงดัน harmonic รวม และความเพี้ยนกระแส harmonic รวม ซึ่งจะตรวจด้วยแต่ละชุดประจุ ขณะเริ่มอัดประจุ ไปจนกระทั่งแบตเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้ามีประจุเต็ม เมื่อได้ข้อมูลครบแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในบริเวณที่ทดสอบต่อไป

ก่อนจะทำการตรวจด้วยต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีการใช้งานสถานีประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้าชนิดอัดประจุเร็ว จำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยมีสามหัวข้อที่สำคัญ คือ ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้า และคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำเสนอในช่วงต้นของหัวข้อที่ 2 ต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นแรกนำเสนอด้วยข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งมีสามหัวข้อหลัก คือ ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีอัดประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้า และคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า จากนั้นนำเสนอวิธีการวิจัยโดยแสดงวิธีการตรวจด้วยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด รายละเอียดของยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ และรายละเอียดของสถานีอัดประจุแบบเตอร์รอกยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

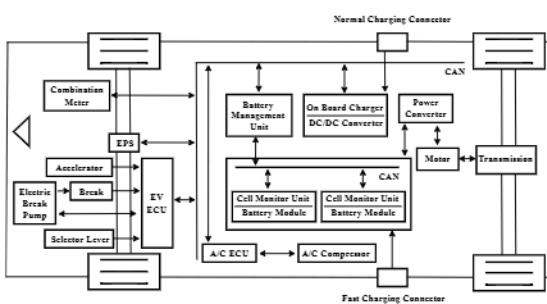
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้า หมายถึง ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือยานยนต์ที่อาศัยเครื่องยนต์มาใช้ร่วมกับมอเตอร์ทั้งในส่วนของการขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บสะสมใน

แบตเตอรี่ หรือการอัดประจุไฟฟ้าจากภายนอก หรือ การใช้เข็มไฟลิงไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากเซลล์เชื่อมไฟลิง [10]

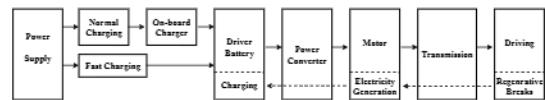
ยานยนต์ไฟฟ้ามีการใช้แบตเตอรี่เพื่อเก็บ และ ส่งพลังงานไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์โดยผ่านวงจร ตัวแปลงกำลังไฟฟ้า (Power Converter) ซึ่งส่งพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสมให้กับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนล้อ ของยานยนต์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ [11] โดยองค์ประกอบ เป็นดังนี้ของยานยนต์ไฟฟ้าได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบเบื้องต้นของยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้าส่วนมากในปัจจุบัน เช่น ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบดังรูปที่ 1 สามารถอัดประจุ แบตเตอรี่ได้สองรูปแบบ รูปแบบแรก คือ การอัดประจุชนิดปกติผ่านหัวแบบอัดประจุปกติ (Normal Charging Connector) ซึ่งจะรับไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและปรับให้มีค่าไฟฟ้ากระแสตรง ที่เหมาะสมด้วยวงจรอัดประจุภายในยานยนต์ไฟฟ้า (On-board Charger and DC/DC Converter) เพื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ รูปแบบที่สอง คือ การอัดประจุชนิดเร็วผ่านหัวต่อแบบอัดประจุเร็ว ซึ่งสามารถอัดประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ได้โดยตรง จากรูปแบบการอัดประจุทั้งสองรูปแบบดังกล่าวจะ สอดคล้องกับไดอะแกรมในรูปที่ 2 ที่แสดงถึง กระบวนการอัดประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่เพื่อนำ พลังงานไปขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้ารวมทั้งการ คืนพลังงานกลับสู่แบตเตอรี่ หรืออาจเรียกโดยย่อว่า

กระบวนการอัดประจุไปสู่การขับเคลื่อน (Charging to Driving Process)



รูปที่ 2 กระบวนการอัดประจุไปสู่การขับเคลื่อน

2.1.2 สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันรูปแบบการใช้งานสถานีอัดประจุ ยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็นสามรูปแบบ คือ การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สาย สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่และการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย ซึ่งการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายเป็นรูปแบบ การอัดประจุหลักที่ทั่วโลกเลือกใช้ เพราะมีความคุ้มค่าในการลงทุน มีประสิทธิภาพสูง และสามารถประยุกต์ใช้ งานร่วมกับเทคโนโลยีการจัดการพลังงานได้ โดยสามารถจำแนกการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบใช้สายตามระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นสองชนิด คือ การอัดประจุชนิดปกติ และการอัดประจุชนิดเร็ว

2.1.2.1 การอัดประจุชนิดปกติ

การอัดประจุชนิดปกติ (Normal Charging) เป็นอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Charging) โดยทั่วไปมักจะใช้ประเภทกล่องติดผนังที่ติดตั้งตามบ้าน หรือห้างสรรพสินค้า เพราะการอัดประจุด้วยตู้อัดประจุแบบกล่องติดผนังสามารถอัดประจุได้รวดเร็วกว่า การต่อจากเตารับภายในบ้านโดยตรง ซึ่งอาจใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 4 ถึง 7 ชั่วโมง หรืออาจถึง 9 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุ และความจุพลังงานของแบตเตอรี่ โดยเวลาในการอัดประจุสามารถหาได้จากการที่ (1) ดังนี้

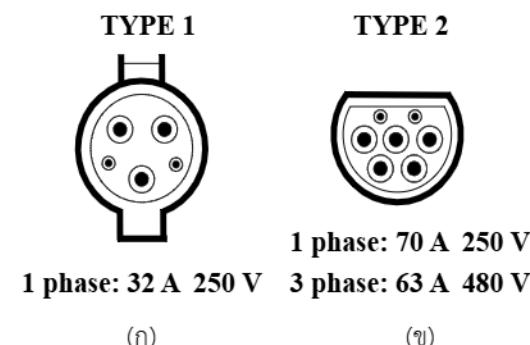
$$t_{charge} = \frac{C_{batt}}{P_{batt}} \quad (1)$$

โดยที่	t_{charge}	คือ เวลาในการอัดประจุ (ชั่วโมง: h)
	C_{batt}	คือ ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง: kW-h)
	P_{batt}	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุ (กิโลวัตต์: kW)

หัวอัดประจุชนิดปกติแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ Type 1 และ Type 2

- Type 1 ได้แสดงในรูปที่ 3 (ก) เป็นหัวอัดประจุที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น
- Type 2 ได้แสดงในรูปที่ 3 (ข) เป็นหัวอัดประจุที่นิยมใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น

สำหรับการติดตั้งหัวอัดประจุแบบติดผนัง เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าของบ้านที่ติดตั้งต้องสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าขั้นต่ำที่ 30 (100) A



รูปที่ 3 หัวอัดประจุชนิดปกติ [12]

2.1.2.2 การอัดประจุชนิดเร็ว

การอัดประจุชนิดเร็ว (Fast Charging) เป็นการอัดประจุอย่างรวดเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) สามารถอัดประจุแบบต่อรี่ยานยนต์ไฟฟ้าจาก 0 ถึง 80% ได้ในเวลาประมาณ 40 ถึง 60 นาที (ขึ้นอยู่กับความจุพลังงานแบตเตอรี่) สถานีอัดประจุชนิดนี้มักจะติดตั้งในสถานที่จำเพาะ เช่น สถานี

บริการนำมัน สาขาของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีบริการรถยนต์ และที่จอดรถในห้างสรรพสินค้าหรือโรงแรมบางแห่ง การอัดประจุชนิดนี้เหมาะกับผู้ที่ต้องการความรวดเร็วในการอัดประจุ โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน หัวอัดประจุชนิดเร็วแบ่งออกเป็นสามประเภท คือ CHAdeMO, GB/T และ CCS

- CHAdeMO ย่อมาจาก "CHArge de MOve" อยู่ในมาตรฐาน IEC 62196-2 (Type 3) การอัดประจุแบบต่อรี่รถยนต์ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 62.5 กิโลวัตต์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด 125 A [9] มีการใช้เพรียลัยในประเทศญี่ปุ่น หัวอัดประจุแบบนี้แสดงในรูปที่ 4 (ก)

- GB/T ได้แสดงในรูปที่ 4 (ข) โดยหัวอัดประจุแบบนี้ประเทศจีนเป็นผู้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบรับการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศจีน

- CCS ย่อมาจาก Combined Charging System ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภท คือ CCS TYPE 1 ดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) ซึ่งเป็นหัวอัดประจุที่ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ลักษณะของหัวอัดประจุมีขนาดเล็ก รองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 200 ถึง 500 V ส่วนหัวอัดประจุ CCS TYPE 2 ได้แสดงในรูปที่ 4 (ง) เป็นหัวอัดประจุที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น หัวอัดประจุประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าและมีกำลังไฟฟ้ามากกว่า CCS Type 1

CHAdeMO



200 A 600 V

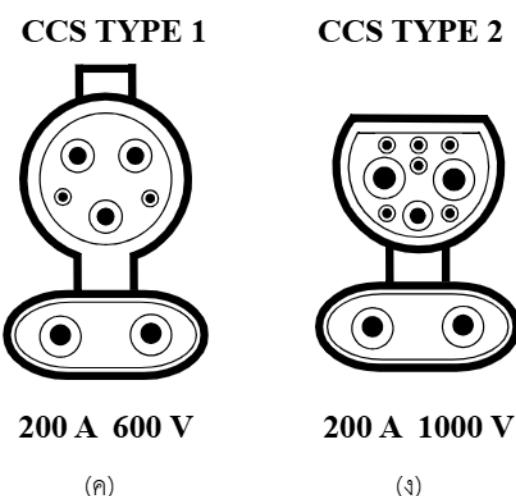
(ก)

GB/T



250 A 750 V

(ข)



รูปที่ 4 หัวอัดประจุชนิดเร็ว [12]

2.1.3 คุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ ความเสถียรของระบบไฟฟ้าที่ได้รับจากผู้ให้บริการ [13] โดยนิยามคุณภาพไฟฟ้าจากผู้ให้บริการและผู้ใช้อาจจะแตกต่างกัน แต่ถ้าอ้างอิงตามคำจำกัดความของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE คือ ลักษณะของแรงดันและกระแสที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดปกติหรือเสียหาย [14]

โดยแรงดันและกระแสที่กล่าวถึงข้างต้นสามารถหาได้จากการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ ดังนี้

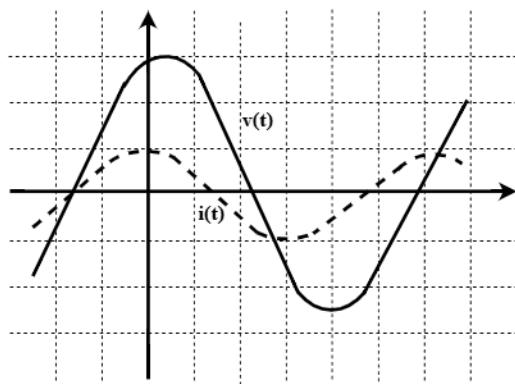
$$V_S(t) = \hat{V} \sin(\omega t + \theta) \quad (2)$$

$$i_S(t) = \hat{I} \sin(\omega t + \beta_I) \quad (3)$$

โดยที่	$V_S(t)$	คือ แรงดันชั่วขณะ (โวลต์: V)
	$i_S(t)$	คือ กระแสชั่วขณะ (แอมป์: A)
	\hat{V}	คือ แรงดันค่ายอด (โวลต์: V)
	\hat{I}	คือ กระแสค่ายอด (แอมป์: A)
	ω	คือ ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที: rad/sec)
	θ	คือ มุมแรงดัน (เรเดียน: rad)

β_I คือ มุมกระแสที่ความถี่หลักมูล
(เรเดียน: rad)

จากสมการที่ (2) และ (3) เมื่อพิจารณาในช่วง 1 คาบเวลา สามารถนำมาเพื่อเป็นรูปคลื่นทั่วไปของแรงดันและกระแสในหนึ่งเฟสได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปคลื่นทั่วไปของแรงดันและกระแสในหนึ่งเฟส

2.1.3.1 เหตุการณ์เกี่ยวข้องกับคุณภาพกำลังไฟฟ้า

1. สภาวะชั่วครู่ (Transient) คือ ปรากฏการณ์ที่สัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน แบ่งเป็นสองประเภท คือ

1.1 อิมพัลส์ชั่วครู่ (Impulsive Transient) คือ แรงดันหรือกระแสที่มีค่าความชันสูงมากซึ่งเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดโดยความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง มีข้าวหรือทิศทางเดียว บางครั้งเรียกว่าเสิร์จ (Surge) สาเหตุมักเกิดจากพ้าผ่าซึ่งอาจเกิดขึ้นที่บริเวณนั้นหรือบริเวณใกล้เคียงโดยมีผลทำให้อุปกรณ์ในระบบได้รับความเสียหายจากแรงดันเกิน

1.2 ออสซิเลชั่วครู่ (Oscillatory Transient) คือ แรงดันหรือกระแสที่มีค่าสูงซึ่งเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด โดยความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือรูปคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วระหว่างขั้วบวก และขั้วนegatif สาเหตุเกิดจากการเข้มต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ผลที่เกิดขึ้นอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายหรือจนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าสูญเสียความเป็นจนวนเร็วขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วระยะสั้น (Short Duration Voltage Variation) คือ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ย (V_{rms}) ที่มีระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที สาเหตุเนื่องจากภาวะความผิดพร่องทางไฟฟ้า (Fault) ซึ่งสามารถทำให้เกิดสองเหตุการณ์ คือ

2.1 แรงดันตกชั่วสั้น (Voltage Sag) คือ แรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยที่มีขนาดลดลง 0.1 ถึง 0.9 เปอร์เซ็นต์ (p.u.) ในช่วงเวลา 10 มิลลิวินาที (ms) ถึง 1 นาที มักเกิดขึ้นกับไฟฟ้าที่เกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้แรงดันลดลงเหลือ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันปกติ (80% sag) ภายใน 3 คากาการทำงาน มีสาเหตุจากการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งมอเตอร์เหล่านี้จะใช้กระแสสูง 6 ถึง 10 เท่า ของกระแสปกติ ผลที่เกิดขึ้นทำให้อุปกรณ์ในระบบที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเกิดการทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงานได้

2.2 แรงดันเกินชั่วสั้น (Voltage Swell) คือ แรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยที่มีขนาดเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 1.8 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 10 มิลลิวินาที ถึง 1 นาที มักเกิดขึ้นกับไฟฟ้าที่ไม่เกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้า สาเหตุเกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือเมื่อเขื่อนต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบ ผลที่เกิดขึ้นทำให้อุปกรณ์ในระบบที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเกิดการทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงานได้

3. การเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วระยะยาว (Long Duration Voltage Variation) คือ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยที่มีระยะเวลาเกิน 1 นาที สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำให้เกิดสามเหตุการณ์ คือ

3.1 แรงดันตก (Under Voltage) คือ แรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าลดลงระหว่าง 0.8 ถึง 0.9 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลามากกว่า 1 นาที เกิดจากการต่อโหลดขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบหรือปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบ ผลที่เกิดขึ้นทำให้อุปกรณ์ในระบบได้รับความเสียหายเนื่องจากการรับภาระเกิน

3.2 แรงดันเกิน (Over Voltage) คือ ค่าแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยที่มีขนาดเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลามากกว่า 1 นาที เกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือมีการต่อตัวเก็บประจุเข้าสู่ระบบหรือการปรับแทบทั่วไปแบบไม่เหมาะสมกับระบบ ผลที่เกิดขึ้นทำให้อุปกรณ์ในระบบได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน

3.3 ไฟดับ (Voltage Interruption) คือ แรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาเกิน 1 นาที มีสาเหตุจากความผิดพร่องทางไฟฟ้าในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกจากระบบอย่างถาวร ถ้าความผิดพร่องทางไฟฟ้าในระบบบังคับอยู่ จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ายังไม่สามารถทำงานได้

4. แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) คือ แรงดันในระบบสามเฟสมีขนาดแตกต่างกัน 0.5 ถึง 2% หรือมีมุมต่างกันไม่ใช่ 120 องศาไฟฟ้า ซึ่งมีผลทำให้กระแสโหลดในแต่ละเฟสไม่สมดุล เหตุการณ์นี้ทำให้มอเตอร์หรือหม้อแปลงร้อนเกินไปและทำให้อายุสั้นลง

5. ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น (Waveform Distortion) คือ การเบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวของรูปคลื่นไซด์ที่มีความถี่ทางกำลังไฟฟ้า สามารถอธิบายคุณลักษณะความผิดเพี้ยนรูปคลื่นโดยแยกเป็นองค์ประกอบทางความถี่อกรามได้ห้าชนิด คือ

5.1 องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Offset) คือ การที่มีกระแสหรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประจำอยู่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นผลจากการใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier) ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและกำลังสูญเสียที่หม้อแปลง รวมทั้งอาจทำให้เกิดการผุกร่อนของแท่งกราวด์ได้

5.2 -armonics (Harmonic) ถูกกำหนดให้เป็นแรงดันและกระแสที่ความถี่ที่เป็นจำนวนเต็มทวีคูณของความถี่มูลฐานที่สร้างขึ้น [15], [16] เช่น ระบบไฟฟ้ามีความถี่ 50 เฮิรตซ์ (Hz) -armonics ที่สามจะมีความถี่ 150 เฮิรตซ์ เมื่อ n 代表ความถี่ที่หลักมูล

ทั้งขนาด และมุมไฟฟ้า สัญญาณคลื่นในชั้นของระบบไฟฟ้า จะผิดเพี้ยนไปจากเดิม เหตุการณ์นี้เกิดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ผลที่ได้รับ คือ จะทำให้อุปกรณ์ในระบบทำงานผิดปกติ [17] หาก าร์มอนิกมีขนาดสูง อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ ตัวอย่างของกระแสอาร์มอนิกที่เกิดในระบบไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 6

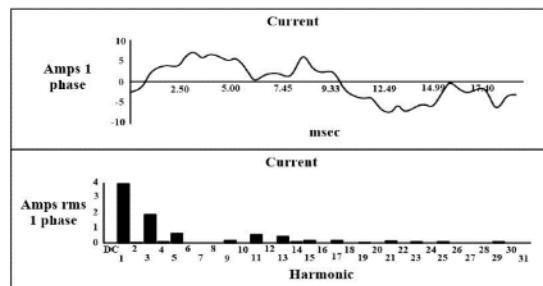
5.3 อินเตอร์อาร์มอนิก (Inter Harmonic) คือ ส่วนประกอบในคลื่นในชั้นของสัญญาณควบคู่กันไปที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเต็มของความถี่หลักมูล เช่น ความถี่ 104 เอิร์ตซ์ 134 เอิร์ตซ์ หรือ 147 เอิร์ตซ์ โดย ผลกระทบของอินเตอร์อาร์มอนิกเหมือนกับอาร์มอนิก

5.4 คลื่นรอยบาก (Notching) คือ การบញ្ចប់ทางแรงดันไฟฟ้า ลักษณะคล้ายกับอาร์มอนิก และ สภาวะทราบเขียนที่ มีลักษณะต่อเนื่องเป็นผลที่เกิดจาก การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำให้กระแสสูญเปลี่ยนจากไฟฟ้านี้ไปยังอีกไฟฟ้านึง มีผลทำให้อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์เกิดการทำงานผิดพลาด

5.5 สัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณทางไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่า 200 กิโลเอิร์ตซ์ ประปานามากับสัญญาณแรงดันหรือกระแสในสายเคเบิล โดยมีผลมาจากการบញ្ចប់ไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีการต่อสายดินไม่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดหรือไม่ทำงาน

6. แรงดันกระแสเพิ่ม (Voltage Fluctuation) คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ยในช่วง 0.95 ถึง 1.05 เปอร์เซนต์ ซึ่งเกิดจาก การใช้เตาหลอมชนิดอาร์ค หากแรงดันไฟฟ้าเกิดการกระแสเพิ่มมาก อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

7. การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variation) เป็นเหตุการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลมาจากการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เกิดความผิดพลาดหรือหลุดจากระบบไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความถี่ของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 6 กระแสอาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า [17]

2.2 การตรวจวัดข้อมูล

2.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบ

ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบ เป็นของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นรถมินิบัสขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่มี ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนสถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบมีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2 โดยภาพจริงของ ยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบได้แสดงไว้ ดังในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลของยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียด
มิติ ยาวกว้างสูง	8.59 x 2.5 x 3.28 m
จำนวนที่นั่ง	20 ที่นั่ง
ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้	69 km/h
ตำแหน่งขับเคลื่อน	ล้อหลัง
ระยะทางที่วิ่งได้ต่อการประจุ 1 ครั้ง	> 100 km
กำลังสูงสุดของมอเตอร์	135 kW
แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์	2,100 N·m
ความจุพลังงานของแบตเตอรี่	120 kW·h
ชนิดของแบตเตอรี่	ลิเธียมไอโอน (Li-ion)

ตารางที่ 2 ข้อมูลของสถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียด
มิติ ยาวกว้างสูง	800x800x1800 mm
พิกัดสูงสุดด้านอันพุต	แรงดันไลน์-ไลน์: 400 ± 10% Vac กระแส: 135 A
	ประสิทธิภาพ: >95%
พิกัดด้านເຄົາຕົກ	แรงดัน: 250 – 750 Vdc กระแส: 0 – 120 A
	หัวอัดประจุ: CCS-Type 2



รูปที่ 7 ยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

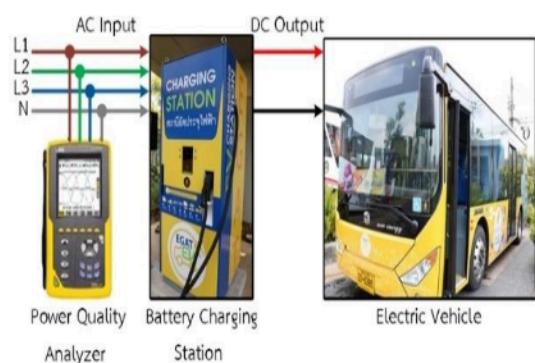


รูปที่ 8 สถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบ

จากรูปที่ 8 สถานีอัดประจุที่ใช้ทดสอบ DC Combo2 ขนาด 90 kW รองรับการอัดประจุไฟฟ้ารถบัสไฟฟ้า/มินิบัสไฟฟ้าประเภทยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 100% ใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 2 ชั่วโมง และสามารถรองรับการอัดประจุไฟฟ้ารถ BEV ส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยได้ เช่น MG ZS EV, Hyundai Kona, BMW i3 เป็นต้น ใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 20 นาที

2.2.2 วิธีการวัดค่าและเก็บข้อมูล

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องจะอาศัยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) มาทำการวัดปริมาณทางไฟฟ้าด้านอินพุตของเครื่องอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยนำสายไฟของเครื่องวัดต่อเข้าที่ช่อง L_1 L_2 L_3 และ N ของเครื่องวัด และนำปลายสายอีกด้านต่อเข้ากับสายไฟสามเฟสด้านอินพุตของเครื่องอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การวัดค่าเพื่อเก็บข้อมูล

ภายในของเครื่องอัดประจุจะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สายตัวนำ และอุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงดัน นอกจากนี้เครื่องอัดประจุยังต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงเพื่อลดระยะเวลาในการอัดประจุ จึงควรต้องเริ่มจากการศึกษาค่าที่มีผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสร้างแรงดันที่มีรูปคลื่นไข่นอกมา แต่กระแสที่ไหลผ่านอิมพีเดนซ์ของระบบจะส่งผลให้รูปคลื่นแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการลัดวงจร ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะหรือไฟฟ้าดับ ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสที่เกิดจากอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดอาร์มอนิก เมื่อกระแสอาร์มอนิกไหลผ่านอิมพีเดนซ์ของระบบจะทำให้รูปคลื่นแรงดันเกิดความผิดเพี้ยน ดังนั้นค่าที่จำเป็นในการตรวจวัด ได้แก่ ค่าแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ย (V_{rms}) ค่ากระแสรากกำลังสองเฉลี่ย (I_{rms})

ค่าความเพี้ยนแรงดัน-arm อันกิรุณ (% THD_V) และ
ค่าความเพี้ยนกระแส-arm อันกิรุณ (% THD_I)

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดกระแสที่คุณภาพกำลังไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดแรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ย กระแสแรก กำลังสองเฉลี่ย ค่าความเพี้ยนแรงดัน-arm อันกิรุณ และ ค่าความเพี้ยนกระแส-arm อันกิรุณได้โดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่าแรกกำลังสองเฉลี่ยมาคำนวณหา ค่าความเพี้ยน-arm อันกิรุณ ซึ่งหัวไปแล้วหากอย่างทรายค่าความเพี้ยนแรงดัน-arm อันกิรุณและค่าความเพี้ยนกระแส-arm อันกิรุณจำเป็นต้องคำนวณหาจากสมการที่ (4) และสมการที่ (5) ตามลำดับ

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \cdot (100) \quad (4)$$

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h,rms}^2}}{I_{1,rms}} \cdot (100) \quad (5)$$

โดยที่

$\%THD_V$ คือ ความเพี้ยนแรงดัน-arm อันกิรุณ

$\%THD_I$ คือ ความเพี้ยนกระแส-arm อันกิรุณ

$V_{h,rms}$ คือ แรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ยที่ความถี่ arm อันกิอันดับใด ๆ (โวลต์: V)

$I_{h,rms}$ คือ กระแสแรกกำลังสองเฉลี่ยที่ความถี่ arm อันกิอันดับใด ๆ (แอมป์: A)

$V_{1,rms}$ คือ แรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ยที่ความถี่หลักมูล (โวลต์: V)

$I_{1,rms}$ คือ กระแสแรกกำลังสองเฉลี่ยที่ความถี่หลักมูล (แอมป์: A)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการตรวจวัด แรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ย กระแสแรกกำลังสองเฉลี่ย ความเพี้ยนแรงดัน-arm อันกิรุณ และความเพี้ยนกระแส-arm อันกิรุณนั้น จะทำอย่างต่อเนื่อง แต่ mong เป็นสามช่วงที่สำคัญได้ คือ

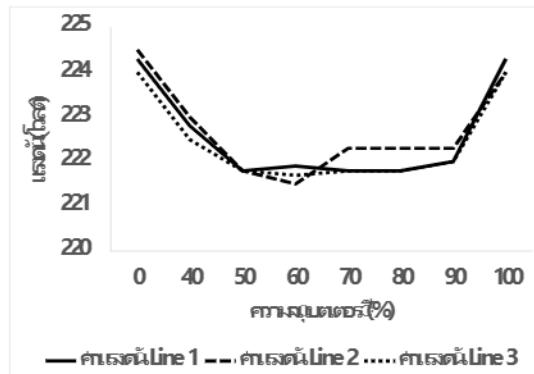
- ช่วงเวลาที่ยังไม่อัดประจุ
- ช่วงเวลาเริ่มอัดประจุ แบตเตอรี่ที่ทดสอบใช้ในyanyn ตไฟฟ้าของ กพพ. ซึ่งใช้รับส่งพนักงานด้วยระบบทางและช่วงเวลาเดิมประจำ และต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานที่สุด จึงพยายามอัดประจุขณะที่ยังเหลือประจุอยู่พอดิบดิบ ทำให้ขณะทดสอบประจุในแบตเตอรี่มีกังวลมาก่อน 40 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาที่แบตเตอรี่เต็ม หรือความจุ 100 เปอร์เซ็นต์

3.1 ค่าแรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ยที่วัดได้

จากการตรวจวัดค่าแรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ยทั้งสามเฟสพร้อมทั้งจับเวลาในการประจุแบตเตอรี่ตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถนำข้อมูลที่ได้มาบันทึกลงในตารางที่ 3 โดยนำค่าจากตารางที่ 3 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเทียบกับความจุแบตเตอรี่ ดังได้รูปที่ 10 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 10 สังเกตได้ว่าแรงดันทั้งสามเฟสจะลดลงเล็กน้อยจากค่าแรงดันก่อนอัดประจุซึ่งแบตเตอรี่มีความจุ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแรงดันจะค่อนข้างคงที่ไปจนแบตเตอรี่มีความจุ 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแรงดันจะค่อย ๆ สูงขึ้นไปจนแบตเตอรี่ประจุเต็มหรือมีความจุ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 ค่าแรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ย

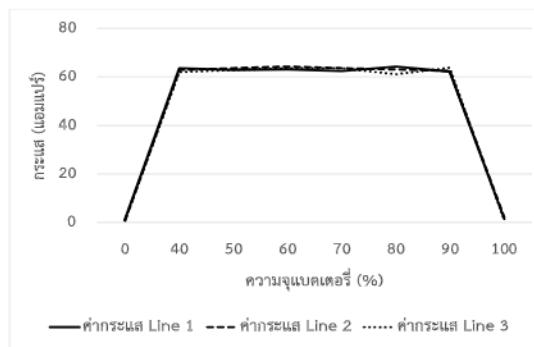
ความจุ แบตเตอรี่ (%)	เวลา (นาที)	แรงดันแรกกำลังสองเฉลี่ย ^{ไลน์-นิวทรอล (โวลต์: V)}		
		L1	L2	L3
ยังไม่ประจุ	0	224.3	224.5	224.0
40 (เริ่มประจุ)	3	222.8	223.0	222.5
	50	221.8	221.8	221.8
	60	221.9	221.5	221.7
	70	221.8	222.3	221.8
	80	221.8	222.3	221.8
	90	223.9	223.9	223.6
	100	224.3	224.0	224.0
(ประจุเต็ม)				



รูปที่ 10 แรงดันเทียบกับความจุแบตเตอรี่

3.2 ค่ากระแสกำลังสองเฉลี่ยที่วัดได้

จากการตรวจวัดค่ากระแสกำลังสองเฉลี่ยทั้งสามเฟสพร้อมทั้งจับเวลาในการประจุแบตเตอรี่ตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถนำข้อมูลที่ได้มาบันทึกลงในตารางที่ 4 โดยนำค่าจากตารางที่ 4 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเทียบกับความจุแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กระแสเทียบกับความจุแบตเตอรี่

ตารางที่ 4 ค่ากระแสกำลังสองเฉลี่ย

ความจุ แบตเตอรี่ (%)	เวลา (นาที)	กระแสกำลังสองเฉลี่ย (แอมเปอร์: A)		
		L1	L2	L3
ยังไม่ประจุ	0	1.2	0.9	0.9
40 (เริ่มประจุ)	3	63.6	63.0	62.1
50	15	63.0	63.5	63.0
60	29	63.2	64.3	63.5
70	43	62.4	63.5	63.5
80	57	64.2	63.2	61.2

ความจุ แบตเตอรี่ (%)	เวลา (นาที)	กระแสกำลังสองเฉลี่ย (แอมเปอร์: A)		
		L1	L2	L3
90	71	62.3	62.5	63.8
100	80	1.4	2.1	1.1

(ประจุเต็ม)

จากราคากราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 11 สังเกตได้ว่ากระแสทั้งสามเฟสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากค่าก่อนประจุในช่วงเริ่มการประจุซึ่งแบตเตอรี่มีความจุ 40 เปอร์เซ็นต์ จนกระแสเมื่อประจุ 62 ถึง 64 แอมเปอร์ และคงค่าประมาณนี้ไปจนแบตเตอรี่มีความจุ 90 เปอร์เซ็นต์ จนนั้นกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 1.1 ถึง 2.1 แอมเปอร์ ซึ่งแบตเตอรี่ประจุเต็มหรือมีความจุ 100 เปอร์เซ็นต์

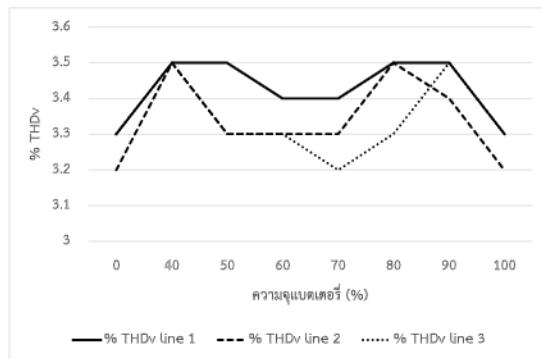
3.3 ค่าความเพี้ยนของอัรมอนิกที่วัดได้

จากการตรวจวัดความเพี้ยนแรงดันอัรมอนิกทั้งสามเฟสพร้อมทั้งจับเวลาในการประจุแบตเตอรี่ตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถนำข้อมูลที่ได้มาบันทึกลงในตารางที่ 5 โดยนำค่าจากตารางที่ 5 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเพี้ยนแรงดันอัรมอนิกเทียบกับความจุแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 12 สังเกตได้ว่าความเพี้ยนแรงดันอัรมอนิกทั้งสามเฟสจะอยู่ในช่วง 3.2 ถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มอัดประจุ (ความจุแบตเตอรี่ 40 เปอร์เซ็นต์) ไปจนแบตเตอรี่มีประจุเต็ม (100 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 5 ค่าความเพี้ยนแรงดันอัรมอนิก

ความจุ แบตเตอรี่ (%)	เวลา (นาที)	ความเพี้ยนแรงดันอัรมอนิก (THD _V : %)		
		L1	L2	L3
ยังไม่ประจุ	0	3.3	3.2	3.3
40 (เริ่มประจุ)	3	3.5	3.5	3.5
50	15	3.5	3.3	3.3
60	29	3.4	3.3	3.3
70	43	3.4	3.3	3.2

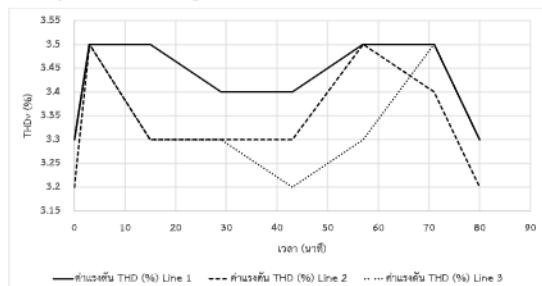
ความจุ แบบเตอร์ (%)	เวลา (นาที)	ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิก (THD _v : %)		
		L1	L2	L3
80	57	3.5	3.5	3.3
90	71	3.5	3.4	3.5
100 (ประจุเต็ม)	80	3.3	3.2	3.3
เฉลี่ย		3.42	3.33	3.33



รูปที่ 12 ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกเทียบกับ

ความจุแบบเตอร์

การเปรียบเทียบ %THDv และเวลาในการอัดประจุได้แสดงไว้ดังรูปที่ 13



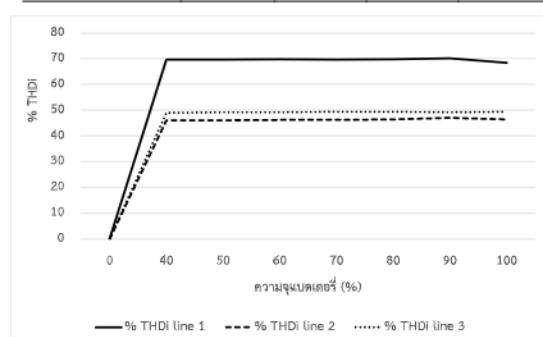
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบ %THDv และเวลา

เมื่อตรวจสอบความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกทั้งสามไฟสปรอท์ทั้งจับเวลาในการประจุแบบเตอร์ต่ำตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถนำข้อมูลที่ได้มาบันทึกลงในตารางที่ 6 โดยนำค่าจากตารางที่ 6 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกเทียบกับความจุแบบเตอร์ดังในรูปที่ 14 ซึ่งจากการแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 14 สังเกตได้ว่าไฟสปรอท์ L1 มีค่า

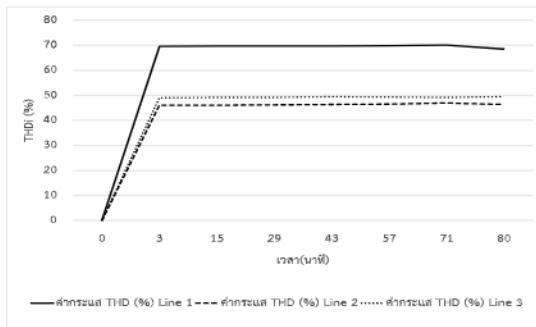
ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกสูงสุด คือ ช่วง 68.5 ถึง 70.1 เปอร์เซ็นต์ และไฟสปรอท์ L2 จะมีค่าความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกต่ำสุด คือช่วง 46.1 ถึง 47 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไฟสปรอท์ L3 มีค่าความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกปานกลาง คือ ช่วง 49 ถึง 49.4 เปอร์เซ็นต์ โดยทั้งสามไฟสปรอท์จะมีค่าความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มอัดประจุ (ความจุแบบเตอร์ 40 เปอร์เซ็นต์) ไปจนกระทั่งแบตเตอรี่มีประจุเต็ม (100 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 6 ค่าความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิก

ความจุ แบบเตอร์ (%)	เวลา (นาที)	ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิก (THD _i : %)		
		L1	L2	L3
ยังไม่อัดประจุ	0	0	0	0
40 (เริ่มประจุ)	3	69.5	46.1	49.0
50	15	69.6	46.0	49.1
60	29	69.7	46.2	49.1
70	43	69.6	46.3	49.4
80	57	69.8	46.5	49.3
90	71	70.1	47.0	49.1
100 (ประจุเต็ม)	80	68.5	46.4	49.4
เฉลี่ย		69.54	46.35	49.2

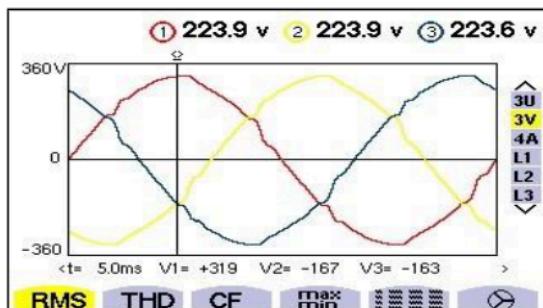
รูปที่ 14 ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกเทียบกับ
ความจุแบบเตอร์

จากการที่ 13 พบว่า ความเพี้ยนแรงดัน harmonic อนิกเทียบกับความจุแบบเตอร์ของไฟสปรอท์ที่ 1 มีค่าสูงกว่าไฟสปรอท์ที่ 2 เนื่องจากมีการต่อโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบสวิตซ์ในจำนวนมากกว่าไฟสปรอท์ที่ 2 อย่างแสดงในรูปที่ 15



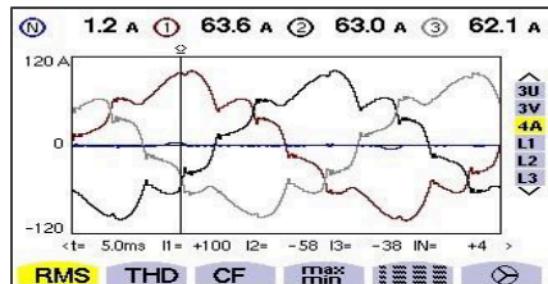
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบ %THDi และเวลา

ตัวอย่างรูปคลื่นของแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ย และกระแสรากกำลังสองเฉลี่ยทั้งสามเฟสที่ตรวจวัดได้ จากเครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าขณะทำการอัด ประจุแบบเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 16 และรูปที่ 17 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างขนาดแรงดันอารมอนิกในแต่ละ ส่วนประกอบสมมาตร และขนาดกระแสสารมอนิกที่ อันดับต่าง ๆ ห้างสามเฟสที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง วิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าได้แสดงไว้ดังในรูปที่ 18 และรูปที่ 19 ตามลำดับ

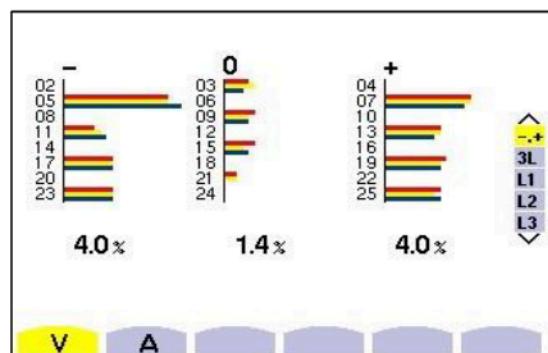


รูปที่ 16 รูปคลื่นแรงดันรากกำลังสองเฉลี่ย

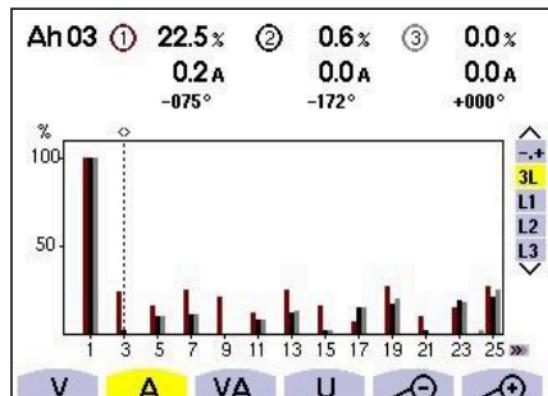
จากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแรงดันขณะ อัดประจุจะเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไขชน์เล็กน้อย ซึ่ง สอดคล้องกับขนาดแรงดันอารมอนิกในแต่ละ ส่วนประกอบสมมาตรที่แสดงในรูปที่ 18 ส่วนรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสรากกำลังสองเฉลี่ยขณะ อัดประจุจะเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไขชน์ค่อนข้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับขนาดกระแสสารมอนิกอันดับต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 17 รูปคลื่นกระแสรากกำลังสองเฉลี่ย



รูปที่ 18 ขนาดแรงดันอารมอนิกที่อันดับต่าง ๆ



รูปที่ 19 ขนาดกระแสสารมอนิกที่อันดับต่าง ๆ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบ %THDv และ %THDi เฉลี่ยกับบทความการศึกษาผลกระทบจากการทำงานของเครื่องอัดประจุแบบเตอร์รอนต์ไฟฟ้า แบบรวดเร็วที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าสำหรับการประกอบธุรกิจในภาคเอกชน [9] ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 โดยที่บทความอ้างอิงใช้หัวปลั๊กประเภท CHAdeMO พิกัด 50 kW ใช้ SOC ช่วง 20-80 % ในขณะที่บทความ

วิจัยนี้ใช้หัวปลั๊กประเภท CCS-Type 2 พิกัด 90 kW ใช้ SOC ช่วง 40-100 % สังเกตว่าพิกัดกำลังขณะอัดประจุ และ SOC อาจมีผลต่อการเปรียบเทียบในกรณีนี้

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบ %THDv เฉลี่ยจาก 3 เฟส

บทความอ้างอิง	บทความผู้วิจัย
0.16	3.36

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบ %THDi เฉลี่ยจาก 3 เฟส

บทความอ้างอิง	บทความผู้วิจัย
0.51	55.03

4. สรุป

ผลกระทบต่อกุณภาพกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการใช้งานสถานีประจุแบบเตอร์ริ่ส์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านิดอัดประจุเร็วสรุปได้สามส่วน ส่วนแรกคือผลกระทบด้านแรงดัน เมื่อมีการอัดประจุพร้อมกันจำนวนมากจะทำให้เกิดสภาวะแรงดันตกในระบบไฟฟ้า และหากหยุดอัดประจุพร้อมกันจะทำให้เกิดสภาวะแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า ส่วนที่สองคือผลกระทบด้านอารมณ์อนิค โดยขณะอัดประจุจะทำให้แรงดันเกิดความเพียงเล็กน้อย แต่กระแสจะเกิดความเพียงสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าบริเวณนั้นโดยทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาด ส่วนที่สามคือผลกระทบด้านความไม่สมดุลของระบบไฟฟ้า กรณีสถานีอัดประจุแบบสามเฟสที่ทดสอบมักจะไม่เกิดปัญหาส่วนนี้ แต่กรณีใช้สถานีอัดประจุแบบหนึ่งเฟส หากไฟฟ้าไม่มีการอัดประจุจะทำให้ไฟฟ้านั้นใช้กระแสมาก ทำให้ปลายสายของไฟฟ้านั้นมีแรงดันต่ำกว่าไฟฟ้าอื่น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและอุปกรณ์เพื่อการทดสอบในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Policy Research Department, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), "Electric Vehicle Industry," *Study Report*, pp. 11–18, Sep. 2017.
- [2] Office of Policy and Planning, Ministry of Energy, "Report on The Performance According to The Plan to Drive Thailand's Smart Grid in The Short Term for The Year 2020," *Annual Report*, pp. 1–38, Feb. 2021.
- [3] Joint Working Group: Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), Metropolitan Electricity Authority (MEA) and Provincial Electricity Authority (PEA), "Electrical Infrastructure Development Plan Report," *Annual Report*, pp. 5–20, Nov. 2016.
- [4] Office of Policy and Planning, Ministry of Energy, "EV Charging Station," *Handbook for Developing Battery Charging Stations for Electric Vehicles to Support the Country's Goals for the Promotion of Electric Vehicles*, pp. 4–5, Feb. 2022.
- [5] C.-L. Su, J.-T. Yu, H.-M. Chin and C.-L. Kuo, "Evaluation of power-quality field measurements of an electric bus charging station using remote monitoring systems," in proceeding of 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Bydgoszcz, Poland, 2016, pp. 58–63.
- [6] T. Fujun, X. Ruiheng, C. Dong, R. Lijia, Y. Quanning and Z. Yan, "Research on the harmonic characteristics of electric vehicle fast charging stations," in proceeding of 2017 2nd International Conference on

- Power and Renewable Energy (ICPRE), Chengdu, China, 2017, pp. 805-809.
- [7] T. Pothinun and S. Premrudeepreechacharn, "Power Quality Impact of Charging Station on MV Distribution Networks: A Case Study in PEA Electrical Power System," 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, UK, 2018.
- [8] F. Chen, Q. Zhong, H. Zhang, M. Zhu, S. Müller, J. Meyer and W. Huang, "SURVEY OF HARMONIC AND SUPRAHARMONIC EMISSION OF FAST CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES IN CHINA AND GERMANY," CIRED 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Online Conference, 2021.
- [9] P. Khemmook, S. Thongsuk and P. Inban "The Impact Study of Electric Vehicle Quick Charger to Electrical System for Business in Private Sector," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 32, no. 4, pp. 843-853, Oct-Dec 2022.
- [10] King Mongkut's University of Technology Thonburi, "Study on Technology and Innovations in Electric Vehicles," *The Complete Report of The Electric Vehicle Technology Education Project*, pp. 1-29, Nov. 2017.
- [11] U. Vaidya, *Composites for Automotive, Truck and Mass Transit: Materials, Design, Manufacturing*, 1st ed. Lancaster, PA: Destech Publications Inc., 2010.
- [12] <https://www.nissan.co.th/experience-nissan/Nissan-EV/EV-charger-type.html>
- [13] K. Bhumkittipich, *Power System Quality*, 1st ed. Bangkok: Triple Education Co., Ltd., 2015.
- [14] IEEE std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- [15] S. Chaladying and N. Rugthaicharoencheep, "Implement of Harmonic Current Impact on Power Factor Correction Device," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 12, no. 1, pp.109-120, Jan-Apr 2016.
- [16] P. Ngamprasert, N. Chattranont and N. Rugthaicharoencheep, "The Analysis Harmonic for Connect Grid Photovoltaic Rooftop Synergy Distribution System," 2022 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Khon Kaen, Thailand, 2022.
- [17] R. Dugan, M. McGranaghan, S. Santoso and H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 3rd ed. New York: McGraw Hill, 2012.