

ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับ  
เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES UNDER DIFFERENT  
LOADING SCENARIOS ON POWER SYSTEM STABILITY

ยุทธนา คงจีน

คุณูปการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับ  
เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ยุทธธนา คงจิ้น

คุณูปนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างกันสำหรับ  
เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

Impact of Electric Vehicles Under Different Loading Scenarios on the  
Power System Stability

ชื่อ – นามสกุล

นายยุทธนา คงจีน

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์บุญยง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

 ..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชนพงษ์ สุวรรณศิริ, Dr.-Ing.)

 ..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)

 ..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)

 ..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

 ..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 3 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง
ชื่อ – นามสกุล	นายยุทธนา คงจีน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างที่มีต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากองค์ประกอบของการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้ามีชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดสะสมพลังงานที่อาศัยสถานีประจุไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่เป็นแหล่งประจุพลังงาน เมื่อมีการประจุพลังงานที่แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง การวิเคราะห์เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบและการวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง

การวิเคราะห์เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลังและยานยนต์ไฟฟ้าทั้งรูปแบบสถานะคงตัวและสถานะพลวัตเพื่อกำหนดค่าเสถียรภาพของระบบ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่โหลดและการแกว่งของกำลังไฟฟ้านานโหลด วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิควิธีคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าแบบใหม่ขึ้น นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแนวทางใหม่เพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ตัวชดเชยโดยใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE

ผลการศึกษาพบว่า การเชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าน้อยกว่าเชื่อมต่อโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ โดยมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่โหลดที่ค่า -41.31 % และ -40.96 % ตามลำดับ ในขณะที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้ามากที่สุดที่ 64.48 % เมื่อเปรียบเทียบกับโหลดอื่น ดังนั้นการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้านี้สามารถเป็นต้นแบบการศึกษาเพื่อรองรับการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้ากำลัง แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบน ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีประจุ เสถียรภาพแรงดัน

<b>Dissertation Title</b>	Impact of Electric Vehicles Under Different Loading Scenarios on the Power System Stability
<b>Name - Surname</b>	Mr. Yuttana Kongjeen
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Dissertation Advisor</b>	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2018

## ABSTRACT

This dissertation aimed to present the impact of electric vehicles (EVs) under different loading scenarios on the power system stability. The main components of EVs driving systems consisted of the power converter and the energy storage system. When different components were directly connected to charging stations, they impacted the whole power system. Therefore, the investigation of the power system stability was an important tool for analyzing the impact and the planning of the power system.

Mathematical models of both static and dynamic models were applied to the analysis of power system stability. These models were used to compute the power system loss and the load voltage deviation. The modified backward - forward sweep method of determining the power flow was developed. In addition, the optimization technique for adjusting the compensator parameters according to IEEE test system was presented.

The results showed that the connecting of plug-in electric vehicles (PEVs) had fewer impacts on the electrical power system than the connecting of a constant power load. The total power loss of the system and the load voltage deviation were -41.31. % and -40.96%, respectively. Moreover, comparing to other loads, the voltage dependency model of the EVs had the highest impact on the electrical system stability at 64.48 %. In conclusion, this study could verify a new algorithm for supporting the high penetration level of the EVs in the future.

**Keywords:** charging station, EVs, power system, voltage deviation, voltage stability

## กิตติกรรมประกาศ

คุณฉันทิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ผู้ควบคุมคุณฉันทิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนชี้แนวทางในการทำคุณฉันทิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนพงศ์ สุวรรณศรี ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ประธานกรรมการสอบคุณฉันทิพนธ์และประธานหลักสูตร รวมถึงกรรมการควบคุมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขคุณฉันทิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ผู้วางรากฐานการเรียนรู้ ผู้มอบศิลปะและวิทยาการแขนงต่างๆ ตั้งแต่ชั้นประถมศึกษา ดังรายชื่อดังต่อไปนี้ ครูพัชรณี เชื้อสุวรรณ ครูปรารถนา พรหมมาก ครูประทวน จอมใจ อาจารย์อนุสนธิ์ พรหมณี อาจารย์มณู กวางแก้ว อาจารย์สิทธิชัย จันทิมิพะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติเดช บัวใหญ่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันธุ์พงษ์ อภิชาติกุล รองศาสตราจารย์ ธนัท ชัยยุทธ รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ เกิดชื่น อาจารย์ชวลิต คำรงค์รัตน์ และเหล่าคณะครูคณาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้เอียนามในครั้งนี ขอขอบพระคุณเหล่าเทวดาซึ่งประกอบด้วย ชมรมศิษย์เก่าไฟฟ้าเทคโนโลยีโคราช ที่มอบทุนการศึกษาให้ 1 เทอม รวมถึง บริษัทเอ็นอาร์ทีเซลส์แอนเซอร์วิส จำกัด โดย คุณนิรุติ นิลแก้ว ผู้สนับสนุนค่าใช้จ่ายโดยทางอ้อม ในช่วงโค้งสุดท้าย และเทวดาทุกคนที่ไม่ได้เอียนาม ขออภิวัตพระคุณแม่น้ำป่าสัก เจ้าแม่ธรณี เจ้าแม่โพสพ พระพุทธมหาธรรมราชา และบ้านเกิด รวมถึง สังคม วัฒนธรรม ขนบธรรมเนียมประเพณี อันดีงามของคนเพชรบูรณ์ ที่สอนลูกหลานให้เป็นผู้มีความประหยัด อดทน รักการเรียนรู้ เอาชนะอุปสรรค และเสียสละ ดัง พ่อขุนผาเมือง ในครั้งอดีต

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และ ขอขอบคุณห้องวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ใช้สถานที่ในการศึกษาค้นคว้าและตลอดจนการใช้ชีวิตร่วมกันของพี่น้อง ๆ PSRC Lab ทุกท่านตลอดระยะเวลา 3.5 ปี ที่ผ่านมา

บุษกานดา คงจิ้น

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	19
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	19
1.2 วัตถุประสงค์ของคุษฎีนิพนธ์.....	23
1.3 สมมุติฐานของคุษฎีนิพนธ์.....	23
1.4 ขอบเขตของของคุษฎีนิพนธ์.....	23
1.5 ขั้นตอนการศึกษาของคุษฎีนิพนธ์.....	24
1.6 ข้อจำกัดของคุษฎีนิพนธ์.....	24
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	25
1.8 องค์ประกอบของคุษฎีนิพนธ์.....	25
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.1 บทนำ.....	26
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน.....	40
2.4 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง.....	41
2.5 ระดับการประจุแบตเตอรี่สำหรับ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า.....	50
2.6 การวิเคราะห์การไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	53
2.7 การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....	59
2.8 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม.....	61
2.9 บทสรุป.....	63

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการคชชฎินิพนธ์.....	64
3.1 บทนำ.....	64
3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	65
3.3 กรณีศึกษาที่ 2 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT.....	69
3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกรวมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า.....	74
3.5 กรณีศึกษาที่ 4 การกำหนดตำแหน่งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันด้วยวิธีการ PSO.....	78
3.6 กรณีศึกษาที่ 5 การประมาณการจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้งและความหนาแน่นของจำนวนประชากร.....	82
3.7 กรณีศึกษาที่ 6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC.....	85
3.8 กรณีศึกษาที่ 7 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า.....	88
3.9 กรณีศึกษาที่ 8 ปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	92
3.10 บทสรุป.....	97
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	99
4.1 บทนำ.....	99
4.2 ผลกรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	99



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลกรณีสึกษาที่ 2 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT.....	104
4.4 ผลกรณีสึกษาที่ 3 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า.....	110
4.5 ผลกรณีสึกษาที่ 4 การกำหนดตำแหน่งสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีการ PSO.....	117
4.6 ผลกรณีสึกษาที่ 5 การประมาณการจำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้งและความหนาแน่นของจำนวนประชากร.....	119
4.7 ผลกรณีสึกษาที่ 6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC.....	122
4.8 ผลกรณีสึกษาที่ 7 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า.....	124
4.9 ผลกรณีสึกษาที่ 8 ปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน..	130
4.10 บทสรุป.....	137
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	138
5.1 บทนำ.....	138
5.2 สรุปผลการทำคุณฉันทิพนธ์.....	138
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	142
5.4 บทสรุป.....	143
บรรณานุกรม.....	144
ภาคผนวก.....	162
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	163
ประวัติผู้เขียน.....	167

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
ตารางที่ 2.2	ค่าดัชนีโหลดในแต่ละประเภท.....	42
ตารางที่ 2.3	รูปแบบทั่วไปของระดับการประจุและชนิดของหัวประจุของยานยนต์ไฟฟ้า ในประเทศจีน ยุโรป ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา.....	52
ตารางที่ 3.1	เงื่อนไขในการทดสอบการวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กชั่วคราวเมื่อ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	66
ตารางที่ 3.2	ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ PSO.....	67
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างสมการโหลดยานยนต์ไฟฟ้า.....	71
ตารางที่ 3.4	ขอบเขตที่เป็นไปได้ของตำแหน่งการติดตั้งและขนาดของสถานีประจุเร็ว สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 7 กลุ่มและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	87
ตารางที่ 3.5	กรณีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่ง.....	93
ตารางที่ 3.6	กรณีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรูปแบบร่วมกับโหลดแบบดั้งเดิม ของระบบ.....	94
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของ PSS จากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ ไฟฟ้า.....	100
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบความถี่ของโรเตอร์และอัตราส่วนการหน่วงของระบบ.....	100
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและค่าแรงดันไฟฟ้า เบี่ยงเบนของโหลด.....	109
ตารางที่ 4.4	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณี ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสม.....	110
ตารางที่ 4.5	การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมเมื่อ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น.....	114
ตารางที่ 4.6	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการรันโหลดวนซ้ำ (RLF).....	116
ตารางที่ 4.7	การกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธีการ HIMPL ที่ถูกพัฒนาขึ้น.....	116
ตารางที่ 4.8	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ ก่อน-หลัง การติดตั้งสถานี ประจุเร็วสำหรับ PEVs ด้วยวิธีการ PSO.....	118

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.9 ผลการประมาณการจำนวนสถานีประจําเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	120
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของสถานีประจําเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	121
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งของกลุ่มโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่ง PV..	122
ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบรูปแบบแรงดันไฟฟ้าจากกรณีศึกษาของโหลดในแต่ละชนิด.	125
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสายส่งระหว่างบัสในสภาวะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า.....	127
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) (โหลด Z, I, P และ PEVs).....	129
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD).....	131
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบของแต่ละกรณีศึกษาตามวิธีการติดตั้งของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า.....	134
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลกระทบของโหลดยานยนต์ในแต่ละรูปแบบเป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าฐานของระบบ.....	135

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าสำหรับประจุนานยนต์ไฟฟ้า..... 21
รูปที่ 1.2	องค์ประกอบเบื้องต้นสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า..... 22
รูปที่ 2.1	ภาพรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 39
รูปที่ 2.2	วงจรเทียบเคียงยานยนต์ไฟฟ้า..... 43
รูปที่ 2.3	วงจรสมมูลย์ VSC..... 43
รูปที่ 2.4	แบบวงจรเทียบเคียงสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าเมื่อพิจารณาเป็นแหล่งจ่าย VSC.. 46
รูปที่ 2.5	รูปแบบสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า..... 47
รูปที่ 2.6	วงจรสมมูลย์สถานีประจุนเร็วแบบ 3 เฟสสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า..... 48
รูปที่ 2.7	วงจรสมมูลย์ชุดประจุนเบตเตอร์ แบบ 1 เฟส สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า..... 49
รูปที่ 2.8	รูปแบบหัวข้อสำหรับการประจุนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า..... 51
รูปที่ 2.9	การจำลองตัวเสถียรภาพในระบบ..... 60
รูปที่ 3.1	ระบบทดสอบ 6 บัส..... 65
รูปที่ 3.2	การหาค่าอัตราส่วนการหน่วงที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO สำหรับค่าพารามิเตอร์ PSS..... 68
รูปที่ 3.3	หน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้งานกำหนดค่าพารามิเตอร์ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า... 71
รูปที่ 3.4	โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่หน้าต่าง GUI ใน Simulink ของ โปรแกรม PSAT..... 72
รูปที่ 3.5	ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE14 บัส กรณีติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัสที่ 14..... 73
รูปที่ 3.6	ระบบทดสอบ 26 บัส กรณีติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสถานีประจุนเร็วจำนวน 7 สถานี..... 75
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการหาขนาดและตำแหน่งของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่... 76
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการหาตำแหน่งติดตั้งสถานีประจุนเร็วที่เหมาะสมในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ด้วยวิธีการ PSO..... 80
รูปที่ 3.9	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สายส่งไฟฟ้ากำลัง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสถานีชัยบุรี ขนาดพิกัดรวม 90 MVA..... 83

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.10	ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส และการแบ่งกลุ่มของตำแหน่งของสถานี ประจําเรือจํานวน 7 สถานี.....	86
รูปที่ 3.11	ระบบทดสอบปฐมภูมิ IEEE 33 บัส เมื่อมีการต่อ PEVs เข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง	90
รูปที่ 3.12	ตำแหน่งของการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาด 1 เมกกะวัตต์ในระบบ ทดสอบ IEEE 33 บัสในแต่ละกรณี.....	95
รูปที่ 4.1	การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 50 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที.....	101
รูปที่ 4.2	การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 100 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที.....	102
รูปที่ 4.3	การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 150 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที.....	103
รูปที่ 4.4	การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 200 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที.....	103
รูปที่ 4.5	การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 300 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที.....	105
รูปที่ 4.6	รูปแบบแรงดันไฟฟ้าระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีฐาน.....	105
รูปที่ 4.7	รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาด 50 MVA ที่บัส 15.....	105
รูปที่ 4.8	รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาด 79 MVA ที่บัส 15.....	106
รูปที่ 4.9	รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดโหลด ที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็นโหลดแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ PQ.....	106
รูปที่ 4.10	รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดโหลด ที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็น โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลง แรงดันไฟฟ้า.....	107

## สารบัญญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.11	การเปรียบเทียบ PV curves เมื่อมีการปรับค่าขนาดจาก 5 MVA ถึง 79 MVA ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและโหลดแบบ PQ ที่บัส 15.....	108
รูปที่ 4.12	กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่เหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่.....	113
รูปที่ 4.13	การเปรียบเทียบรูปแบบของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบคงตัว กรณีติดตั้งสถานีประจุเร็วขนาด 5.04 MW ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส.....	118
รูปที่ 4.14	จำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (EV owners) ต่อความหนาแน่นของจำนวนประชากร.....	120
รูปที่ 4.15	การเปรียบเทียบรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 33 บัสเมื่อติดตั้งสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและมีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	123
รูปที่ 4.16	รูปทรงของรูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสในสถานะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า.....	126
รูปที่ 4.17	รูปทรงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างบัสของระบบไฟฟ้าในสถานะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า.....	128
รูปที่ 4.18	การเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษาของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเมื่อติดตั้งร่วมกับโหลดทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบดั้งเดิม.....	133
รูปที่ 4.19	รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้า.....	136

## คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

$i, j, k, t, m, n$	ลำดับตัวนับจำนวน
$V_i$	แรงดันไฟฟ้าบัส $i$
$S_{Li}, S_i$	กำลังไฟฟ้าปรากฏ / กำลังไฟฟ้าที่โหลด $i$
$P_{Li}, P_i, P$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟ
$Q_{Li}, Q_i, Q$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟ
$V_{i0}, V_0$	แรงดันไฟฟ้าที่พิกัดขั้ว/ที่พิกัด
$S_{Li0}, S_0$	กำลังไฟฟ้าปรากฏ ที่พิกัดขั้ว/ที่พิกัด
$P_{Li0}, P_0$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟที่พิกัดขั้ว/ที่พิกัด
$Q_{Li0}, Q_0$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟ ที่พิกัดขั้ว/ที่พิกัด
$n_h$	ค่ายกกำลังของ โหลดแต่ละประเภทของกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟ
$n_{qi}$	ค่ายกกำลังของ โหลดแต่ละประเภทของกำลังไฟฟารีแอ็คทีฟ
AC-DC	วงจรแปลงผัน ไฟฟ้ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ
pf	ค่าเพาเวอร์แฟ็คเตอร์
$P_{PEV}, P_{EV}$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า
$Q_{PEV}, Q_{EV}$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า
$S_{PEV}$	กำลังไฟฟ้าปรากฏ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า
$V_{VSC}$	แรงดัน VSC
$ V_{VSC} $	ขนาดแรงดัน VSC
$\delta_{VSC}$	มุมแรงดัน VSC
$P_k$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟที่บัส $k$
$Q_k$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟที่บัส $k$
$V_k$	แรงดันที่บัส $k$
$\theta_k$	มุมที่บัส $k$
$G_{VSC}$	ค่าคอนดักทีฟซ์สแตนด์ของ VSC
$B_{VSC}$	ค่าอินดักทีฟซ์เซพแดนซ์ของ VSC
$P_{VSC}$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟที่บัส VSC

## คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

$Q_{VSC}$	กำลังไฟฟ้รีแอคทีฟที่บัส VSC
$Z$	ค่าอิมพีแดนซ์
$Y, Y_i$	ค่าแอดมิตแตนซ์/ผลรวมของแอดมิตแตนซ์ส่วนลงดินทั้งหมดที่โหนด $i$
$\Delta$	ค่าความแตกต่าง
$sp$	ค่าปริมาณที่ทราบค่า (The quantities known or specified)
$cal$	ค่าที่ได้จากรอบการคำนวณ
$P_{EV-S}$	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่หรือที่สามารถจ่ายออกมาได้
$t_d$	ค่าเวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่(ชั่วโมง)
$t_{max}$	ค่าเวลาสูงสุดที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่(ชั่วโมง)
$t_s$	ค่าเวลาที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่เต็ม(ชั่วโมง)
$P_{EV_{max}}$	กำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแบตเตอรี่
$\alpha$	ค่าตัวแปรคงที่ ในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ที่ 97%ของพิกัดช่วงเวลา 1 ใน 3 ของเวลาประจุแบตเตอรี่ในการประมาณกำลังไฟฟ้าแอคทีฟสำหรับ PEVs
$P_{EV_{fleet}}$	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟรวมของโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่สถานีประจุ
$b$	กำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power)ของโพลยานยนต์ไฟฟ้าค่าเท่ากับ 0.93
$a$	ค่าสัมประสิทธิ์เอกโพเนนเชียลของโพลยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.07
$\alpha$	ค่ายกกำลังของโพลยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ -3.107
$\theta$	ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโพลยานยนต์ไฟฟ้า
$V_i(S)$	แรงดันที่ได้จากการวัดค่า SOC ในแต่ละช่วงของแบตเตอรี่จากการปรับ $V_i$
$V_i$	แรงดันเปลี่ยนแปลงที่ใช้ในการจำลองในการค่าโพลยานยนต์ไฟฟ้า
$Z_p, Z_q$	ค่าสัมประสิทธิ์โพลอิมพีแดนซ์คงที่ของโพล ZIP
$I_p, I_q$	ค่าสัมประสิทธิ์โพลกระแสคงที่ของโพล ZIP
$P_p, P_q$	ค่าสัมประสิทธิ์โพลกำลังไฟฟ้าคงที่ของโพล ZIP
$I_{Bus}$	เมทริกซ์กระแส
$Y_{Bus}$	เมทริกซ์แอดมิตแตนซ์
$V_{Bus}$	เมทริกซ์แรงดัน



## คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

$n, N$	จำนวนบัสในการวิเคราะห์การไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง
$f(x)$	ฟังก์ชันเป้าหมาย
$x$	สถานะของระบบจำหน่าย
$V_k^{ref}$	แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ปกติกำหนดให้เป็น 1 p.u.
$V_k$	แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ
$V_i^{(k-1)}$	เป็นแรงดันที่โหนด $i$ ณ รอบคำนวณที่ $k-1$
$P_{i,EV}$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟโหลดที่โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า
$Q_{i,EV}$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟโหลดที่โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า
$S_{i,EV}$	กำลังไฟฟ้าปรากฏโหลดที่โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า
$Z_L$	ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งช่วง $L$ ระหว่างโหนด $L_1$ และ $L_2$
$L_2$	โหนดปลายทาง
$L_1$	โหนดต้นทาง
$\Delta V_j^{(k)}$	ค่าที่ความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าที่ยอมรับได้ (Mismatch) ที่บัส $j$ หลังจากการคำนวณในรอบที่ $k$
$V_j^{(k)}$	แรงดันไฟฟ้าที่บัส $j$ ในรอบการคำนวณที่ $k$
$V_j^{(k-1)}$	แรงดันไฟฟ้าที่บัส $j$ ในรอบการคำนวณที่ $k-1$
$\varepsilon$	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Mismatch)
$Z_{ij}$	ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างบัส $i$ และ $j$
$P_L$	ค่ากำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟของการสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้า
$Q_L$	ค่ากำลังไฟฟารีแอ็คทีฟของการสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้า
$V_k^t$	แรงดันไฟฟ้าที่บัส $k$ รอบการคำนวณที่ $t$
$I_k^t$	กระแสเข้าสู่บัส $k$ รอบการคำนวณที่ $t$
$t$	รอบการคำนวณ
<b>I</b>	The current injection matrix
<b>BIBC</b>	The branch injection to branch current matrix
<b>B</b>	เมทริกส์กระแสในสาขา

## คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

<b>BCBV</b>	The branch currents to bus voltages matrix
$\Delta V$	เมทริกซ์ผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากบัสอ้างอิงในแต่ละสาขา
$P_{Loss}$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟสูญเสีย
$Q_{Loss}$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟสูญเสีย
$P_{T, Loss}$	กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟสูญเสียรวมของระบบ
$Q_{T, Loss}$	กำลังไฟฟารีแอ็คทีฟสูญเสียรวมของระบบ
$M$	ค่าคงตัวความเฉื่อย
$\delta_m \theta_m$	มุมทางกล(rad/degree)
$P_m$	กำลังทางกล
$P_e$	กำลังทางไฟฟ้า
$f$	อัตราส่วนความถี่ของการแกว่ง
$\zeta$	อัตราส่วนการหน่วง
$\lambda$	ค่าเจาะจงของระบบ
$\omega$	ความถี่การแกว่ง
$\sigma$	ค่าการหน่วงของการแกว่ง
$T_a$	แรงบิดเร่งที่แกนเพลลา
$T_m$	แรงบิดทางกล
$T_e$	แรงบิดทางไฟฟ้า
$X_{id}^t$	ตำแหน่งของอนุภาค $i$ ของตัวแปร $d$ ในรอบการคำนวณที่ $t$
$X_{id}^{t+1}$	ตำแหน่งของอนุภาค $i$ ของตัวแปร $d$ ในรอบการคำนวณที่ $t+1$
$V_{id}^t$	ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค $i$ ของตัวแปร $d$ ในรอบที่ $t$
$V_{id}^{t+1}$	ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค $i$ ของตัวแปร $d$ ในรอบการคำนวณที่ 1
$Rand_1(), Rand_2()$	ตัวเลขสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1
$Pbest_{id}$	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $i$ ของตัวแปร $d$
$Gbest_d$	ตำแหน่งที่ดีที่สุดในทุก ๆ อนุภาคของตัวแปร $d$

## คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

$C_1, C_2$	ค่าคงที่ความเร่งอยู่ในช่วง 0 – 4
$W_{\min}, W_{\max}$	ขอบเขตล่างและขอบเขตบนของค่าถ่วงน้ำหนัก
$W$	ค่าถ่วงน้ำหนักโดยกำหนดขอบเขต 0.4 – 0.9
$\phi_{i,j}$	ตัวเลขสุ่มในขอบเขต
$v_{i,j}$	แหล่งอาหารใหม่โดยใช้วิธีการเลือกแบบ Greedy ของเวกเตอร์แหล่งอาหารใหม่ ( $\vec{v}_i$ ) และเวกเตอร์แหล่งอาหารในความจำ ( $\vec{x}_i$ )
$x_{k,i}$	ค่าการสุ่มเลือกแหล่งอาหาร โดยที่ $k \in \{1, 2, 3 \dots SN\}$
$x_{i,j}$	แหล่งอาหารในความจำ
$SN$	จำนวนของคำตอบหรือแหล่งอาหารที่ดีที่สุดทั้งหมด
$P_i$	การสุ่มค้นหาจากความน่าจะเป็นของแหล่งอาหาร
$fit_i$	แหล่งอาหารที่ดีที่สุดที่ได้จากการประเมินของฟังก์ชัน
$j$	ขนาดการค้นหาหรือขนาดของตัวแปร โดยที่ $j \in \{1, 2, 3 \dots D\}$
$D$	จำนวนตัวแปรที่ต้องการหาค่า
$VO$	สัดส่วนการเป็นเจ้าของยานยนต์ต่อจำนวนประชากร
$GDPpCap$	รายได้ประชาชาติต่อจำนวนประชากร
$A$	ขนาดพื้นที่ตารางกิโลเมตร
$pdensity$	ความหนาแน่นของประชากร ( $man / km^2$ )
$pBEV$	สัดส่วนของประชากรที่มีรถยนต์ส่วนตัวต่อจำนวนประชากรในพื้นที่
$ncp$	จำนวนหัวจ่ายประจุเร็วในสถานีประจุ
$nst$	จำนวนที่สามารถประจุใน 1 ชั่วโมง (4 ครั้งใน 1 ชั่วโมง/15 นาทีต่อครั้ง)
$sh$	จำนวนชั่วโมงที่ให้บริการของสถานีประจุเร็วใน 1 วัน
$\Delta\omega$	ค่าผลต่างของความเร็วเชิงมุมของเครื่องจักรกลเชิงโรตารี
$K_{PSS}$	ค่าคงที่อัตราขยายของ PSS
$T_1, T_2, T_3, T_4$ และ $T_w$	ค่าพารามิเตอร์ฟังก์ชันถ่ายโอน Lead-Lag และ Washout Filter
$V_S$	แรงดันไฟฟ้าขาออกของ PSS ที่อยู่ในขอบ $V_{\max}$ และ $V_{\min}$

# บทที่ 1

## บทนำ

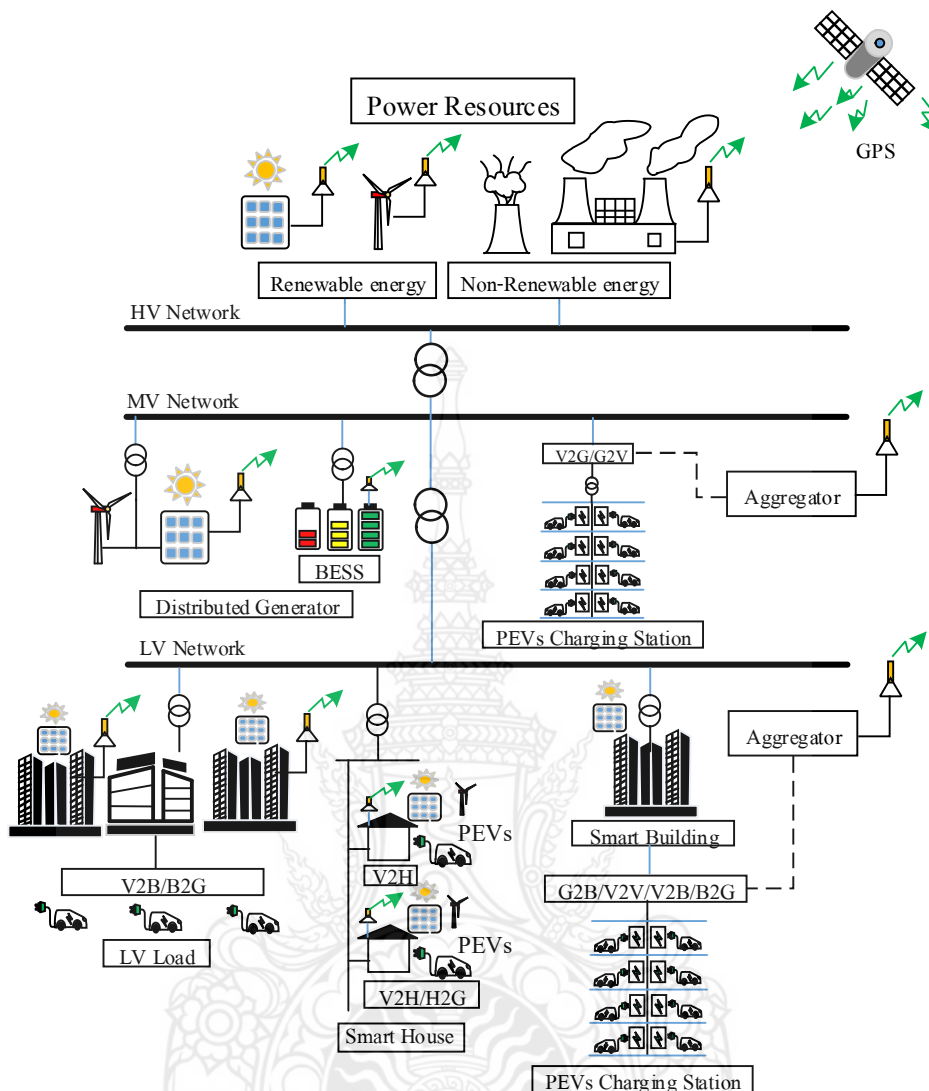
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการคาดการณ์ในปี 2010 ถึง 2040 สถานการณ์ความต้องการพลังงานของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 56 เพอร์เซ็นต์ โดยแหล่งพลังงานหลักที่จะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมาจากแหล่งพลังงานฟอสซิล พลังงานทดแทน และแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น ซึ่งหากมีการแบ่งในแต่ละภาคส่วนของกลุ่มผู้ใช้พลังงานขั้นสุดท้ายแล้วนั้นสามารถแบ่งได้เป็น ภาคที่พิกอัส/เชิงพาณิชย์ ภาคอุตสาหกรรมและภาคการขนส่ง โดยจากการคาดการณ์นั้นพบว่าภาคที่พิกอัส/เชิงพาณิชย์ บริโภคพลังงานประมาณ 14 เพอร์เซ็นต์ ภาคอุตสาหกรรมบริโภคพลังงานประมาณ 52 เพอร์เซ็นต์ ภาคการขนส่งบริโภคพลังงานประมาณ 26 เพอร์เซ็นต์ และอื่นๆ จะพบว่าภาคการขนส่งมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gases, GHG) คู่ชั้นบรรยากาศในลำดับที่สองของการใช้พลังงานของโลก [1] ด้วยเหตุผลหลักของภาคขนส่งแบบดั้งเดิมนั้นมีการใช้เครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน (Internal Combustion, IC) ที่มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เป็นหลัก [2] ซึ่งสอดคล้องกับการประมาณการปริมาณการใช้พลังงานในภาคการขนส่งในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีและส่งผลต่อการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก [3, 4] จากกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ณ กรุงปารีส เรื่องการลดผลกระทบที่อาจก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโลกโดยในแต่ละประเทศสมาชิกมีข้อตกลงร่วมกันที่ต้องมีรายงานการลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกลงเพื่อเป้าหมายลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของโลกต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส [5] ถึงแม้ตัวเลขเชิงเป้าหมายของแต่ละประเทศยังไม่ชัดเจน ด้วยจะไปขัดแย้งหรือสวนทางกับการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจโดยรวมของโลก

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ในแต่ละประเทศได้มีการส่งเสริมให้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในภาคขนส่งเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับปัจจัยด้านราคาเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในที่มีราคาสูงขึ้นและเกิดความแปรปรวนอย่างสูงในรอบหลายปีที่ผ่านมา [6] ยิ่งเป็นการเพิ่มแรงผลักดันให้มีการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นแบบก้าวกระโดด ด้วยเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มอเตอร์ไฟฟ้า [2] และแบตเตอรี่ [7, 8] ทำให้อายุยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีสมรรถนะเทียบเคียงยานยนต์ที่มีการใช้

เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งในด้านระยะเวลาของการขับเคลื่อน ความเร็ว อัตราเร่ง ความปลอดภัย การบำรุงรักษาและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่เป็นจุดเด่นหลักของยานยนต์ไฟฟ้า [9, 10] ประกอบกับ ในบางประเทศให้สิทธิพิเศษในหลายๆด้านเพื่อเพิ่มแรงจูงใจในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น สิทธิพิเศษด้านภาษี สิทธิพิเศษในค่าใช้จ่ายในการประจุแบตเตอรี่ และสิทธิพิเศษในการเข้าถึงพื้นที่ ในบางบริเวณ เป็นต้น [11, 12] ในประเทศไทยยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นและเริ่มมีการวางแผนในการบริหารจัดการในด้านต่างๆเพื่อรองรับการขยายตัวในอนาคตแต่ก็เป็นแนวโน้มในลักษณะที่ค่อยๆขยายตัวจากการนำเสนอใน [13] ซึ่งทางภาครัฐเองยังไม่ได้สร้างแรงกระตุ้นปล่อยให้ เป็นไปตามกลไกของการตลาด เป็นหลัก ด้วยประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก แม้ว่านโยบายทางด้านภาครัฐจะมีการส่งเสริมและพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิลในรูปแบบต่างๆ อย่างมากมายดังนำเสนอใน [14] แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ซึ่งผลดังกล่าวนี้ส่งผลต่อภาพรวมการใช้พลังงาน โดยของประเทศที่ต้องนำเข้าพลังงานด้วยจำนวนเงินมหาศาลและมีปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเผาไหม้ในแต่ละกิจกรรมจำนวนมาก [15] รวมถึงภาคขนส่ง หากพิจารณาศักยภาพด้านการขนส่งทางถนนของประเทศไทยนั้นมีความพร้อมอย่างมากในกลุ่มประเทศอาเซียน สามารถใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในภาคการขนส่งและคมนาคมอย่างดียิ่ง ประกอบกับโครงข่ายการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าครอบคลุมทั่วประเทศและแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในแต่ละแหล่งก็สามารถเชื่อมโยงกันได้ ทำให้สามารถใช้พลังงานสะอาดในภาคการคมนาคมเพิ่มมากยิ่งขึ้นสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในอนาคตอันใกล้ ด้วยปริมาณและจำนวนที่เพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถนำเสนอรูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดยานยนต์ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 1.1

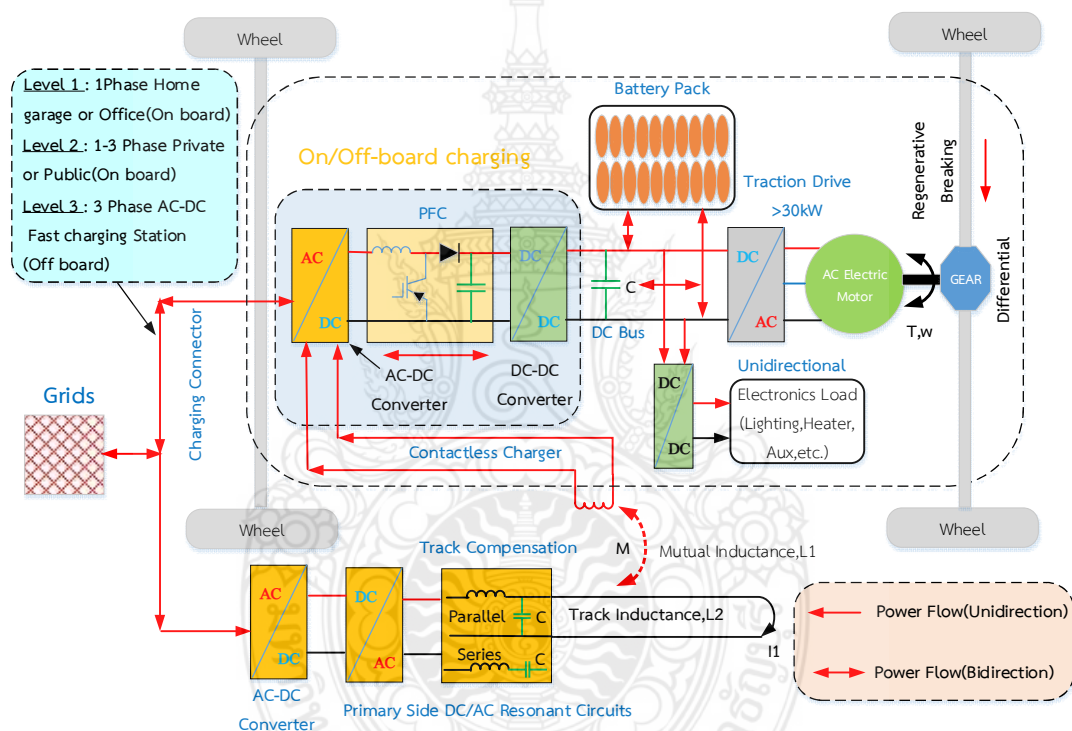
จากรูปที่ 1.1 ได้นำเสนอหลักการของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระดับต่างๆเพื่อทำการป้อนให้กับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละจุดของระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความซับซ้อน ทั้งแหล่งที่มาของแหล่งพลังงาน เช่น มาจากแหล่งพลังงานทดแทน แหล่งสะสมพลังงาน (Energy Storage System) หรือมาจากยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับกริดในสถานะการคืนพลังงาน (Vehicle to Grid, V2G) จากบ้านพักอาศัยสู่กริด (Home to Grid, H2G) จากการจ่ายพลังงานกลับของอาคารอัจฉริยะ (Building to Grid, B2G) หรือแม้กระทั่งมาจากยานยนต์ไฟฟ้าด้วยกันเองในสถานีประจุกเดียวกัน (Vehicle to Vehicle, V2V) โดยสามารถนำเสนอรายละเอียดต่างๆได้ใน [16-21] ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังก็ต้องสามารถยืดหยุ่นสามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่เสียเปรียบพ่อค้าคนกลางด้านพลังงาน (Energy Aggregator) ซึ่งสามารถจัดการเกี่ยวกับการ



รูปที่ 1.1 รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับประจุนยานยนต์ไฟฟ้า [16]

ประจุนไฟฟ้าของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ เพื่อให้ระบบเกิดความมีเสถียรภาพในแต่ละสถานะ ซึ่งสถานีประจุนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยหลักการจะรับพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้ามายังหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่จุดประจุนไฟฟ้าผ่านวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงผ่านชุดควบคุม วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดระดับแรงดันลงในการประจุนแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ในยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละชุด [22, 23] ในขณะที่จุดประจุนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (Plug-in Electric Vehicle, PEV) ที่สามารถประจุนได้ที่บ้านพักอาศัย หรือสำนักงาน นั้นจะรับแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการลดระดับแรงดันจากหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้ามาแล้ว ผ่าน

ชุดประจุแบบที่ติดตั้งที่ตัวยานยนต์ไฟฟ้าหรือแบบแยกโดยใช้วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรงที่มีพิกัดขนาดเล็กไปยังแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น [24] ซึ่งในการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละโหมดนั้นจะมีการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าในการประจุไม่เท่ากันของช่วงเวลา ซึ่งหากพิจารณาในจำนวนของโหนดยานยนต์ที่ทำการประจุแบตเตอรี่ในช่วงเวลาเดียวกันจำนวนมากก็จะทำให้สามารถแสดงถึงระดับผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังและความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงดังกล่าว โดยสามารถนำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่กริดและองค์ประกอบโดยรวมของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 1.2 ดังนี้



รูปที่ 1.2 องค์ประกอบเบื้องต้นสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้า [25]

ด้วยพฤติกรรมการใช้ของผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันในด้านจำนวนระยะทางช่วงเวลา รูปแบบการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่หลากหลายมาตรฐาน ขนาดพิกัดแบตเตอรี่ที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงสถานที่ในการประจุเช่น ที่ส่วนบุคคล ที่ทำงาน/สำนักงาน ที่สาธารณะ สถานีประจุ ระยะเวลาในการประจุ และการจัดรูปแบบของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า นั้นล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกริดต่อการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทั้งสิ้น [26-28] ซึ่งระบบไฟฟ้าที่รองรับในความไม่แน่นอนจากความต้องการพลังงานไม่คงที่นั้นจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานที่เพียงพอ

และเหมาะสม [29, 30] ด้วยเหตุผลดังกล่าวมานั้นจึงมีความสำคัญและจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาในพฤติกรรมและคุณลักษณะของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ ในผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า คุณภาพแรงดันไฟฟ้า และความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อรองรับการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าและเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบ วางแผนระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการบริหารจัดการด้านพลังงานในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือ

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.2.2 เพื่อนำเสนอแบบจำลองสถานีประจุมอเตอร์หรือโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.2.3 เพื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในกรณีเมื่อมีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

## 1.3 สมมติฐานของคู่มือ

1.3.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั้นเป็นการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ นำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อการรองรับการขยายตัวของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

1.3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในสถานะคงตัว หรือในสภาวะพลวัต เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมและผลที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบ

1.3.3 การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังโดยพิจารณาในสถานะคงตัวหรือสภาวะพลวัตที่โหลดสมมูลย์ของสถานีประจุมอเตอร์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าหรือ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า

## 1.4 ขอบเขตของคู่มือ

การวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง มีขอบเขตของการวิจัยของโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีกระบวนการดังนี้

1.4.1 สามารถวิเคราะห์รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าใน รูปแบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน รูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล รูปแบบโหลดเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน และรูปแบบโหลดพหุนามหรือ ZIP (Constant Impedance, Constant Current, Constant Power)



1.4.2 สามารถวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังโดยการประยุกต์ใช้รูปแบบโพลยานยนต์ไฟฟ้า มีจำนวนอย่างน้อย 5 ผลงาน

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษาของคุษฎีนิพนธ์

1.5.1 ศึกษารายละเอียดของคุษฎีนิพนธ์จากเอกสารตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดขอบเขตของคุษฎีนิพนธ์

1.5.2 เรียบเรียงข้อมูลที่สำคัญในงานวิจัย ที่ค้นคว้ามาและทบทวนวรรณกรรม

1.5.3 ศึกษาหลักการทํางานและพฤติกรรมของโพลยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ

1.5.4 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 14 บัส IEEE 30 บัส IEEE 33 บัส และระบบไฟฟ้า 26 บัส การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และระบบไฟฟ้าอื่นๆที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา

1.5.5 จำลองรูปแบบโพลยานยนต์ในแต่ละรูปแบบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ในแต่ละกรณีศึกษา โดยจำลองรูปแบบโพลยานยนต์จาก รูปแบบโพลยานยนต์ไฟฟ้าคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน รูปแบบโพลยานยนต์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล รูปแบบโพลยานยนต์รูปแบบโพลเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน และรูปแบบโพลยานยนต์แบบโพลพหุนามหรือ ZIP

1.5.6 วิเคราะห์ผลกระทบเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังตามสมมุติฐานในแต่ละกรณีศึกษาของการเพิ่มขึ้นของโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่จำลองแบบต่างๆ ด้วยการเขียน m-files script ในโปรแกรม MATLAB โปรแกรม PSAT และ โปรแกรม DIGSILENT PowerFactory หรือที่เกี่ยวข้องตามกรณีศึกษา

1.5.7 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

1.5.8 จัดทำคุษฎีนิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.6 ข้อจำกัดของคุษฎีนิพนธ์

คุษฎีนิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโพลที่แตกต่างกันสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีข้อจำกัดในการศึกษาดังนี้

1.6.1 รูปแบบโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองเป็นรูปแบบโพล ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสถานะแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dependent Load, VDL) ยกเว้นรูปแบบโพลยานยนต์คอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จำลองตามคุณลักษณะของ VSC (Voltage Source Converter)

1.6.2 การกำหนดระดับของโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ในแต่ละกรณีศึกษานั้นทำการกำหนดโดยใช้ค่าฐานจากระดับของโพลที่ติดตั้งของระบบต่อการเพิ่มขึ้นโพลยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละระดับ

1.6.3 ในกรณีที่ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพในสภาวะพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะมีการเพิ่มการติดตั้งเครื่องจักรกลหมุนในระบบเพื่อทดสอบ

1.6.4 ข้อมูลโหลดในระบบจำหน่ายและระบบโครงข่ายที่ใช้ในกรศึกษา เป็นระบบสามเฟสแบบสมดุลย์ในสภาวะคงตัวและมีค่ากำลังไฟฟ้าคงที่

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจถึงหลักการทำงานและพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

1.7.2 เข้าใจถึงผลกระทบต่อเสถียรภาพคงตัวและเสถียรภาพระบบไฟฟ้าเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

1.7.3 เข้าใจถึงรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้า สามารถนำไปใช้ในการศึกษารูปแบบและพฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้ากำลังและอื่นๆ เช่น การวางแผนออกแบบและปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลัง การบริหารจัดการด้านพลังงาน การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบไฟฟ้าและอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

## 1.8 องค์ประกอบของคุษฎีนิพนธ์

ในการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบ โหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง นั้นสามารถนำเสนอองค์ประกอบของคุษฎีนิพนธ์ในแต่ละส่วนดังนี้

บทที่ 1 นำเสนอเกี่ยวกับความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขต ขั้นตอนการศึกษา ข้อจำกัด ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของคุษฎีนิพนธ์

บทที่ 2 นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการทบทวนวรรณกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานและในส่วนของทฤษฎีต่างๆที่ใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาตามกรณีศึกษา

บทที่ 3 นำเสนอเกี่ยวกับกรณีศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 8 กรณี ที่นำเสนอภายในขอบเขตที่ศึกษา

บทที่ 4 นำเสนอเกี่ยวกับผลการทดลองตามกรณีศึกษาจำนวน 8 กรณี

บทที่ 5 นำเสนอเกี่ยวกับบทสรุปผลการทดลองตามกรณีศึกษาจำนวน 8 กรณีและข้อเสนอแนะในงานวิจัยลำดับถัดไป

และในส่วนอื่นๆตอนท้ายเล่มประกอบไปด้วย บรรณานุกรม ภาคผนวก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ และประวัติผู้แต่ง สามารถนำเสนอได้ตามลำดับ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

การศึกษาโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อระบบไฟฟ้าโดยนำมาใช้ประกอบการศึกษาในแต่ละกรณีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการศึกษาในคุณลักษณะนี้ โดยการศึกษาจะมุ่งประเด็นไปที่การศึกษาในผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การบริการจัดการพลังงานพลังงานจากแหล่งต่างๆที่มีอยู่ของระบบไฟฟ้า [31] และนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งพลังงานรูปแบบใหม่ เช่น แหล่งสะสมพลังงานในรูปแบบต่างๆ [32] นำไปสู่การบริหารจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมของการประจวบตเดอริ์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [33] ที่ใช้ในการบริการจัดการพลังงานแบบอัจฉริยะ [34, 35] เพื่อรองรับการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือและมีความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังสามารถนำเสนอสาระสำคัญได้ดังนี้

#### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นในปัจจุบันได้รับความสนใจอย่างมาก โดยสามารถนำเสนอบทสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำเสนอองค์ความรู้สาระสำคัญนำมาประยุกต์ใช้กับงานคุณลักษณะที่นำเสนอโดยสามารถนำเสนอได้ตามลำดับดังนี้

##### ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
1998	Les M. และ Behnam Danai [36]	นำเสนอผลการตรวจวัดจากห้องปฏิบัติการของรูปแบบโหลดสมัยใหม่และผลกระทบต่อการศึกษาความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า นำมาใช้ประกอบการหาค่าพารามิเตอร์ของโหลด Static load models ซึ่งประกอบไปด้วยรูปแบบ ZIP โหลด และรูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลโหลด ซึ่งทำให้ทราบค่าคุณลักษณะจากการทดลองและนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาศึกษาพฤติกรรมของโหลดต่อการศึกษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของโหลดใน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ระบบไฟฟ้ากำลัง จากการวิเคราะห์ PV curve พบว่าผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงนั้นทำให้โหลดในแต่ละประเภทเกิดแรงดันพังทลาย (Voltage Collapse) ที่แคบถึงแม้ว่าโหลดสมัยใหม่จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่สูง สามารถให้งานแรงดันไฟฟ้าที่กว้างขึ้น ซึ่งมีคุณลักษณะที่แตกต่างจากโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่</p>
2011	A. Jimenez และ N. Garcia [37]	<p>ได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์และการไหลของระบบไฟฟ้ากำลังของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยแบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า นำเสนอรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน โดยใช้แบบจำลองสมการการควบคุมแรงดันที่บัสในกรณีที่มีการเชื่อมต่อโหลดยานยนต์เข้ากับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้อุปกรณ์ประกอบของแบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันที่ติดตั้งบนบัส PQ ด้วยเงื่อนไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็น 1 โดยทำการควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าแอกทีฟจากแบตเตอรี่ ที่การควบคุมแรงดันบัสคงที่โดย VSC โดยทำการทดสอบแบบจำลองในระบบ IEEE 30 บัส ในขณะที่แบบจำลองใช้ยานยนต์ไฟฟ้า Tesla Roadster ชนิดชุดแบตเตอรี่ Lithium-ion พิจารณาเป็นวงจรแปลงผันแบบ 1 เฟส เพื่อทำการทดสอบสมมติฐานการส่งผ่านกำลังแอกทีฟและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในรูปแบบสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้า ผลการทดสอบนั้นพบว่าในคุณลักษณะการควบคุมแรงดันทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงและสามารถลดผลของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sage) ได้</p>
2012	Eduardo Valsera-Naranjo และคณะ [38]	<p>ได้นำเสนอวิธีการความน่าจะเป็นในการประเมินผลกระทบของสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของการประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้การประจ้อมูลรายละเอียดรูปแบบแบตเตอรี่ ใช้วิธีการมอนติคาโล (Monte Carlo) ในการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		ของยานยนต์ไฟฟ้า จำนวนยานยนต์ไฟฟ้า เวลา กระแสประจุ ขนาดความจุแบตเตอรี่ โดยกำหนดขนาดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power) พิจารณาผลของหม้อแปลงไฟฟ้า ภาวระสายส่งไฟฟ้า ซึ่งผลจากการทดลองนั้นพบว่าผลที่ได้จากรูปแบบแบตเตอรี่นั้นให้ผลการประมาณค่าที่มีความแม่นยำต่อผลกระทบที่มีต่อกริด และรูปแบบการเคลื่อนที่ และ จำนวนยานยนต์ไฟฟ้าถูกพิสูจน์ให้เห็นว่ามีนัยยะสำคัญต่อวิธีการที่ศึกษา
2013	C.H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan และ T.K. Saha [39]	ได้นำเสนอผลกระทบของโหลดรถยนต์ไฟฟ้าต่อการแกว่งของเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการศึกษาอิทธิพลของโหลดเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้า ของการแกว่งความถี่ต่ำต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะของโหลดแต่ละชนิด ทำการศึกษาบนโหลดเครื่องกลเดี่ยวในระบบบัสอนันต์ เปรียบเทียบกับโหลดรูปแบบดั้งเดิมของระบบ (Z, I, P) ผลจากการศึกษาพบว่า โหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีผลกระทบอย่างสูงต่อการแกว่งของเสถียรภาพของระบบ ในขณะที่รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอยังไม่ได้นำมาวิเคราะห์การแกว่งของเสถียรภาพในระบบจริงหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2013	Alexander D. Hilshey และคณะ [40]	ได้นำเสนอการประมาณการเสื่อมอายุของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่ได้รับผลกระทบจากการประจุของแบตเตอรี่สำหรับระบบอัจฉริยะสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้การจำลองข้อมูลจากการเดินทางของยานยนต์ไฟฟ้าและการเคลื่อนการประจุของแบตเตอรี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า อุณหภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเหนือศีรษะและอุณหภูมิแวดล้อม จากการจำลองจะพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของอายุหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าลดลง ในขณะที่หากมีการบริหารจัดการประจุแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมเช่น ปรับเวลาประจุ เวลาหลังเที่ยงคืน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		นั้นสามารถทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น
2014	C.H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan และ T.K. Saha [41]	ได้นำเสนอรูปแบบสถานีประจุเร็วโดยใช้รูปแบบโหลดแบบเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้า ในการศึกษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า โดยรูปแบบโหลดสถานีประจุเร็วเป็นรูปแบบจากการวิเคราะห์สมการของการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วยชุด วงจรแปลงผันแรงดัน ชุดบัคคอนเวอเตอร์ และชุดแบตเตอรี่ นำมาวิเคราะห์กับการควบคุมแกนอ้างอิง dq ทำให้ได้สมการที่ประกอบสองส่วนคือส่วน Constant Power และส่วน Exponential Power จากการทดสอบนั้นผลของรูปแบบโหลดสถานีประจุเร็วให้ผลที่ดีกว่าการกำหนดให้เป็น โหลดแบบกำลังไฟฟ้าคงที่หรือกระแสคงที่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันได้
2014	Federico Milano และ Olivier Hersent [42]	ได้นำเสนอกลยุทธ์การจัดการระบบจำหน่ายในกรณีที่มีจำนวนเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและแหล่งพลังงานแบบกระจายตัว ด้วยวิธีการจัดการโหลดอย่างเหมาะสมและการใช้วิธีการเตรียมการและปรับปรุงการจัดการโหลดอย่างเหมาะสม ทำให้สามารถลดภาระการคำนวณของระบบลงได้ โดยทำการทดสอบในระบบจำหน่ายในสถานะการจ่ายโหลดไม่สมดุลย์ กำหนดลำดับความสำคัญของโหลดผู้ใช้งาน โหลดยานยนต์ไฟฟ้าพิจารณาเป็นแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ ซึ่งผลจากการทดลองของปัญหาการจัดการความต้องการด้านพลังงานทำให้สามารถเพิ่มการจ่ายโหลดในขณะที่ระบบยังปกติ และแหล่งพลังงานแบบกระจายตัวของระบบได้
2014	Monica Alonso และ คณะ [43]	ได้นำเสนอหลักการจัดการประจุที่เหมาะสมในระบบสมาร์ตกริด ด้วยวิธีการฮิวริสติก โดยการประสานการประจุของโหลดยาน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ยนต์ไฟฟ้าย่างเหมาะสม ซึ่งสามารถลดความต้องการไฟฟ้าลงได้ ทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดความยืดหยุ่นในการทำงาน สามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้ ด้วยพฤติกรรมประจักษ์ของผู้ใช้งาน สร้างความคาดเดาไม่ได้ในระบบที่เป็นปัญหาหลักจึงได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยมีเงื่อนไขของระบบประกอบเช่น ไม่เกินขนาดพิกัดของสายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า พิกัดแรงดัน เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของระบบ ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าระดับของความต้องการพลังงานของโหลด การเกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดนั้นเรียบขึ้น และป้องกันการใช้อุปกรณ์เกินกำลัง ในการประจุในโหมดสมาร์ต G2V+V2G ช่วยลดความเครียดของระบบ ภาระหม้อแปลงไฟฟ้าและปรับปรุงช่วงจุดการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบโหลด(Valley Curve)ได้</p>
2014	Maigha และ Mariesa L. Crow [44]	<p>ได้นำเสนอการจัดตารางทางเศรษฐศาสตร์ของการประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินในที่พักอาศัย ซึ่งการประจุแบตเตอรี่สำหรับโหมดยานยนต์ไฟฟ้านั้นถูกนิยามประจุในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานต่ำสุด (Off peak) อัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Time of use (TOU) ถูกนำมาใช้การสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ใช้งานเพื่อปรับเวลาการประจุในช่วงที่ค่าไฟฟ้าถูกสุด ระดับและอัตราของ TOU ของการผลิตไฟฟ้าต้องใช้คิดประกอบ โดยทำการจำลองการตารางเวลาของอัตรา TOU ร่วมกับระบบอื่นๆ การพิจารณาความไม่แน่นอนด้วยวิธีการมอนติคาโร (Monte Carlo) เพื่อหาค่าสถานะของการประจุ และช่วงเวลาการเดินทาง (Trip duration) กลยุทธ์ตารางส่วนกลาง (Centralized scheduling strategy) ถูกนำมาเสนอเพื่อใช้ในการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ร่วมกับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการเชิง พันธุกรรม โดยเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมายค่าพลังงานเฉลี่ยต่ำสุดของโหลดที่พิกอัสรวมกับกำลังไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งผลจากการจำลองนั้นพบ จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) พบว่าการประสานการประจุแบตเตอรี่สามารถลดความต้องการของพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระบบลงได้</p>
2014	Yijun Xu และคณะ [45]	<p>ได้นำเสนอการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกจากยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ทำการวิเคราะห์ถึงผลการเพิ่มขึ้นของจำนวนสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อผลรวมของฮาร์มอนิก (Total Harmonic Distortion) กำหนดให้ชุดประจุแบตเตอรี่เป็นแบบ 2 ระดับทดสอบในสายส่งเหนือศีรษะและสายส่งเดินใต้ดิน พื้นที่เขตโรงงานอุตสาหกรรม ในระบบที่มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและจากแหล่งผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์จากข้อมูลจากคุณลักษณะที่แตกต่างทางพฤติกรรมฮาร์มอนิก ในขณะที่เสียบประจุ ถอดสายประจุ และในสภาวะคงตัวผลการทดสอบพบว่าตำแหน่งสำหรับติดตั้งสถานีประจุเร็วควรอยู่ไกลจากหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดปัญหาที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก ในขณะที่สถานีประจุเร็วในแหล่งโรงงานควรจำกัดเพื่อให้คุณภาพไฟฟ้าที่ดีในการใช้งาน ในส่วนของตามลักษณะการติดตั้งของสายส่งพบว่าสายส่งที่เดินใต้พื้นดินนั้นส่งผลกระทบต่อมากกว่า และในกรณีที่ตั้งสถานีประจุเร็วในแหล่งพลังงานทดแทนควรจะมีการลดฮาร์มอนิกลงโดยการใช้ตัวกรองและต้องมีการรับรองคุณภาพกำลังไฟฟ้าจากสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้า</p>



ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2015	Niels Leemput และ คณะ [28]	ได้นำเสนอผลกระทบจากการรวมการประจุแบบช้าและเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าต่อกริดในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง ไฟฟ้าแรงดันต่ำของที่พักอาศัย ซึ่งผลการเพิ่มขึ้นขึ้นจากการประจุเร็วและการประจุแบบช้าในสถานที่พักอาศัย โดยทำการจำลองใน 3 สถานะการณืคือ การประจุแบบไม่มีการประสาน การประจุในช่วง Off peak ของที่พักอาศัย และ ในช่วงพื้นฐานการประจุยานยนต์ไฟฟ้าช่วงลดยอดคลื่น (EV based peak shaving) ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ทำการทดสอบโดยการแยกออกเป็นกรณีตามพฤติกรรมของการประจุ ทำการกำหนดขนาดยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ ทำการทดสอบที่ระบบแรงดันต่ำจำนวน 3 กรณี และมีการ ผสานการติดตั้ง PV ในระบบ กำหนดค่าระดับแรงดันให้อยู่ในระดับตามมาตรฐาน EN50160 ระดับพลังงานการประจุพิจารณาจากค่า SOC ทำการกำหนดช่วงเวลาในการประจุ ผลจากการทดสอบพบการประจุเร็วนั้นทำให้กริดได้รับผลกระทบมากกว่าการประจุแบบช้า ในขณะที่การประจุแบบใช้พื้นฐานของ EV สูงสุดนั้นส่งผลกระทบต่อกริดในกรณีแยกประจุเฉพาะกลุ่ม ซึ่งในขณะที่การประจุช้าในพื้นที่พักอาศัยส่งผลกระทบต่อกริดอย่างมากในการประสานกับโหลดอื่นๆในระบบ ซึ่งในการประจุควรจะมีการสร้างแรงจูงใจในการประจุที่เป็นมิตรต่อกริดในลักษณะต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญมากกว่าการลดปริมาณการประจุแบบเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า
2015	Pol Olivella-Rosell และคณะ [46]	ได้นำเสนอรูปแบบความน่าจะเป็นจากพื้นฐานความต้องการพลังงานจากตัวแทนของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบจำหน่าย จากจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหาการใช้พลังงานการประจุ แหล่งพลังงานที่ต้องจัด

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ที่เหมาะสมต่อจำนวนยานยนต์ไฟฟ้า จำนวนความต้องการพลังงานในการประจุนยานยนต์ไฟฟ้าถูกนำเสนอโดยใช้พื้นฐานกลุ่มตัวแทน (Agent based) ซึ่งรูปแบบการประจุนจะเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของผู้ขับ ความสามารถในการเคลื่อนที่ กระบวนการประจุนที่เกี่ยวกับจุดหมายปลายทางที่ต้องการเดินทาง ในการจำลองได้ใช้ตัวแปรรูปแบบทางสังคมและเศรษฐศาสตร์ทำการทดสอบในระบบ IEEE 37 บัส กำหนดโซนของกลุ่มตัวแทนเป็น 3 ระดับคือระดับ สูง ปานกลาง และระดับต่ำ รวมถึงมีการแบ่งระดับค่าใช้จ่ายในการประจุนในแต่ละช่วงเวลา ใช้ความต้องการพลังงานของโหลด (Load Demand)ประกอบการวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าตก ทำการเปรียบเทียบในแต่ละยุทธศาสตร์การประจุนแบบเตอร์ จากการทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถประจุนในช่วงการเปลี่ยนแปลง (Valley) โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า</p>
2016	Jun Yang และคณะ [47]	<p>ได้นำเสนอการประเมินความเสี่ยงของระบบจำหน่ายโดยการพิจารณาพฤติกรรมประจุนและคายประจุนของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนำไปสู่ความเสี่ยงที่ก่อปัญหาให้ระบบไฟฟ้า เหตุผลทางด้านโครงสร้างแรงจูงใจในการจัดการลำดับการประจุนและการคายประจุนทำให้สามารถลดความเสี่ยงลงมาได้ในระดับหนึ่ง ในการจำลองใช้การวิเคราะห์ไหลของโหลดโดยใช้หลักการความน่าจะเป็น การประเมินดัชนีชี้วัดความเสี่ยงด้วยแรงดันที่โหนดและกระแสไหลในสาย ซึ่งในภาคปฏิบัติการนั้นสามารถลดได้ใช้ระบบ IEEE 33 บัส และ IEEE 69 ในการจำลองสถานะการ และใช้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้การจำลองการกลับถึงบ้านพักอาศัย ระยะทางที่รถเคลื่อนในแต่ละวัน และแบบกระจายตัวของการประจุน รวมถึงแบบจำลอง V2G ซึ่งผลจากการจำลองนั้นในด้านค่าใช้จ่ายในการประจุนและคายประจุน</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		ของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถลดค่าความต้องการพลังงานในช่วงเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Peak valley) ที่แตกต่างกันได้ ทำให้ระบบไฟฟ้าลดความเสี่ยงจากการประเมนลงได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความปลอดภัยและมีเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้ากำลัง
2016	Ahmed M. A. Haidar และ Kashem M. Muttaqi [48]	ได้นำเสนอคุณลักษณะของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายโดยรูปแบบชุดประจุแบตเตอรี่เป็นการนำเสนอรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการแทนรูปแบบโหลดยานยนต์แบบเดิมที่พิจารณาเป็นโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ ที่ขาดการพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบประจุของยานยนต์ไฟฟ้าทำให้การพิจารณาในผลของความต้องการกำลังไฟฟ้าในสถานะการจริงไม่ถูกต้อง เป็นการนำเสนอโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนามหรือ ZIP ด้วยการใส่ค่าสัมประสิทธิ์จากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าของชุดประจุแบบ 1 เฟส ด้วยแบตเตอรี่ 1 ชุด (280V, 60Ah) ซึ่ง ZIP โหลด ที่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมที่แท้จริงของโหลด โดยทำการเปรียบเทียบกับโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบนั้นพบว่าโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ไม่สามารถสะท้อนคุณลักษณะโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ผลกระทบต่อกริดได้
2016	Zhijun Wang และคณะ [22]	ได้นำเสนอผลกระทบของแรงดันไฟตกชั่วขณะและการกำหนดแรงดันไฟตกชั่วขณะวิกฤติซึ่งแรงดันตกชั่วขณะที่ต่ำสุดและทำให้ระบบเสถียรภาพ โดยการใช้วงจรมอดูเลชันมอดูเลชัน (Pulse-width modulation, PWM) วงจรไฟฟ้า และใช้การวิเคราะห์เสถียรภาพของสัญญาณขนาดเล็ก ซึ่งจากวิธีการที่นำเสนอจะพบว่าชุดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถทำงานในสถานะปกติได้ถ้าหากขนาดแรงดันเฟสของจุดเชื่อมต่อ (Point of Common Coupling, PCC) ต่อมามีค่ามากกว่า ณ จุดวิกฤติที่กำหนด

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		ได้ ซึ่งในกรณีที่มีขนาดของสายไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยใช้รูปแบบเฉลี่ยของวงจรประจุแบตเตอรี่โดยไม่มีการพิจารณาในส่วนของวงจร PWM ผลจากการวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กนั้นพบว่าชุดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจะเกิดการพังทลาย (Collapsed) เมื่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของจุด PCC น้อยกว่าแรงดันเฟส ณ จุดวิกฤติ
2017	Azhar Ul-Haq, Carlo Cecati และ Essam A.Al-Ammar [49]	ได้นำเสนอรูปแบบการนำแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการนำพลังงานจากยานยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่กริด โดยเป็นการพัฒนาของหลักการประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งพลังงานสองแหล่ง หลักการทำงานมีอยู่ 4 โหมดประกอบด้วย โหมดที่ 1 DC-DC ผ่านวงจร DC-AC นำพลังงานจาก PV ไปสู่กริด โหมดที่ 2 DC-DC นำพลังงานจาก PV ไปประจุแบตเตอรี่ผ่าน DC-DC converter โหมดที่ 3 AC-DC นำพลังงานจากกริดไปผ่าน DC-DC converter ประจุแบตเตอรี่ โหมดที่ 4 DC-DC นำพลังงานจากแบตเตอรี่จ่ายกลับเข้ากริดผ่าน AC-DC converter ในช่วงมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจากการออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้างกล่าวสามารถเพิ่มโอกาสในการวางแผนและการบริหารจัดการพลังงานแบบอัจฉริยะหรือสมาร์ตกริดได้
2017	Marjan Glelaj และคณะ [50]	ได้นำเสนอการออกแบบที่เหมาะสมสถานีประจุเร็วแบบดีซีสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในระบบกริดแรงต่ำ ซึ่งสถานีประจุเร็วแบบดีซีนั้นถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับโพลยานยนต์ไฟฟ้าด้วยสามารถใช้เวลาในการประจุที่สั้นลงจากการประจุโดยตรง ในงานนำเสนอควบคู่กับแหล่งจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage, BES) ระบบการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง AC/DC converter ถูกนำมาประยุกต์ใช้ใน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		การออกแบบสถานีประจุเร็วขนาด 240 กิโลวัตต์ ซึ่งหากระบบมีการติดตั้งระบบสะสมพลังงานก็สามารถที่จะลดการฟุ้งฟิงพลังงานจากสถานีที่ประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ลงได้ ประมาณโหลดคิมานด์จากค่าเฉลี่ยของเครื่องประจุที่มีอยู่ในท้องตลาดแต่ละยี่ห้อและขนาดของระบบสะสมพลังงาน ซึ่งจากวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระของระบบลงได้กรณีติดตั้งระบบสะสมพลังงานในระบบประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
2017	Nasim Jabalameli และ คณะ [51]	ได้นำเสนอการประจุแบบออนไลน์ที่เหมาะสมของโหลดยานต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินโดยการพิจารณาค่าตัวประกอบแรงดันไม่สมดุล (Voltage unbalance factor, VUF) กิจกรรมการประจุของโหลดยานต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินในระบบแรงดันต่ำหากขาดการควบคุมนั้นส่งผลร้ายแรงต่อระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทำงานเกินกำลัง และแรงดันไม่สมดุล ทำการศึกษาในระบบสามเฟส ด้วยเครื่องประจุแบบ 1 เฟสทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมการประจุที่เหมาะสมด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ทำการสุ่มประจุแบบเตอร์ซึ่งจากผลการทดลองนั้นพบว่าในกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินเพิ่มเข้ามาในระบบโดยที่ไม่ได้ควบคุมนั้นทำให้ค่า VUF เพิ่มขึ้นและในกรณีที่มีการควบคุมการประจุแบบออนไลน์ที่เหมาะสมแล้วนั้นทำให้ค่า VUF ลดลงได้
2017	Elham Akhavan-Rezai และ คณะ [52]	ได้นำเสนอการจัดการของความต้องการพลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินในระบบแรงต่ำแบบไม่สมดุลด้วยแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องมีการประเมิน รวมถึงการเพิ่มขึ้นของแหล่งพลังงานทางเลือกของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบแรงต่ำ นั้นทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าในระบบไม่สมดุล ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดมาตรการ เพื่อรองรับเหตุการณ์

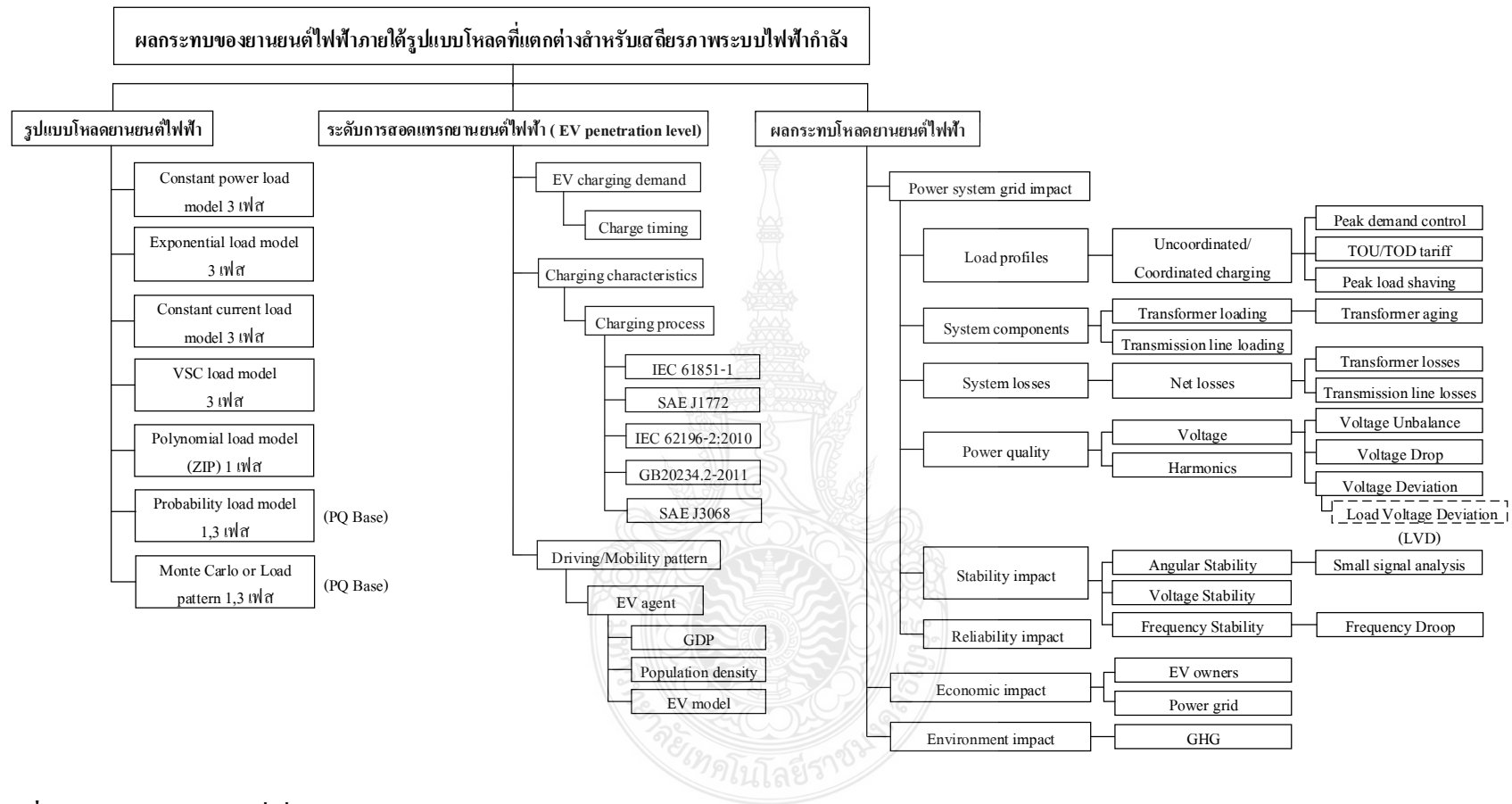
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		ของแหล่งพลังงานที่จ่ายให้กับระบบ ซึ่งการพัฒนาด้านการจัดการพลังงานของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าและการตอบสนองต่อความต้องการพลังงาน (Demand Response, DR) ถึงแม้ว่าเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้เองแต่ในส่วนระบบภาพรวมอาจไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสม ซึ่งจากผลการทดสอบนั้นในกรณีที่โหนดยานยนต์ไฟฟ้าทำการประจวบอย่างเต็มที่ระดับการเพิ่มขึ้นในระดับต่างๆจะส่งผลต่อค่าแรงดันไม่สมดุลอย่างมากในส่วนกรณีที่มีการประสานระหว่าง PV นั้นจะส่งผลต่อค่าแรงแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลน้อยกว่าและอยู่ในมาตรฐานกำหนด และควรใช้โหมด V2G ในขณะที่กริดมีการเพิ่มขึ้นของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าหรือมีความต้องการของพลังงานมากขึ้น
2018	Xianwen Zhu, Mingchao Xia และ Hsiao-Dong Chinag [53]	ได้นำเสนอการควบคุมการประจวบการเลือกประสาน Droop สำหรับการยกระดับความเสถียรภาพด้านความถี่สำหรับระบบไมโครกริดด้วยการเพิ่มขึ้นของการสอดคล้องของแหล่งพลังงานทดแทน ทำการจำลองเครื่องจักรกลเชิงโรตัสเหมือนในโหมดของการประจวบแบตเตอรี่ โดยไม่สนใจในโหนดคายประจุและอายุของแบตเตอรี่ ซึ่งผลการห้วงเชิงมุมของเครื่องจักรกลเชิงโรตัสเหมือน นั้นสามารถปรับปรุงการห้วงเชิงมุมของระบบ ในการปรับปรุงการแกว่งของความถี่ ลดการเกิดการกระชากจากการประจวบอย่างรวดเร็วของความถี่ และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อปรับตามระดับการเพิ่มขึ้นของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าได้
2018	Navjot Singh Sains และ Irfan Al-Anbagi [54]	ได้นำเสนอการประจวบและคายประจุของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับ V2G ภายใต้เงื่อนไขค่าสูงสุดวิกฤติในวิธีการควบคุม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการใช้งานโหนด

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		โพลียานอนต์ไฟฟ้าซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ เมื่อถูกพิจารณาในเงื่อนไข ค่าใช้จ่ายในการประจุ (Charging Cost) และค่าสร้างแรงจูงใจในการคายประจุ (Discharging Incentives) นำผลของการเสื่อมอายุแบตเตอรี่มาคิดประกอบ กำหนดช่วงเวลาค่าใช้จ่ายในการประจุระหว่างวันและค่าความต้องการพลังงานสูงสุดวิกฤติ ซึ่งจะพบว่าในแง่ของเจ้าของยานอนต์ไฟฟ้านั้น ไม่คุ้มค่าในแง่การนำค่าดังกล่าวระหว่างการประจุและการคายประจุในแต่ละช่วงเวลา ด้วยค่าใช้จ่ายโดยรวมในการประจุจะสูงกว่า รวมถึงต้องได้รับแรงจูงใจจากภาครัฐ เช่น ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ ส่วนลดการประกันภัย ลดค่าบิลไฟฟ้า จึงจะพอให้เจ้าของยานอนต์ไฟฟ้ายอมคายประจุแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลา

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นทำให้ทราบถึงรูปแบบของโพลียานอนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบจำนวน 7 รูปแบบ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังตามกรณีทดสอบ ซึ่งในการศึกษานี้ได้มุ่งประเด็นไปที่การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในส่วนของ การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าด้านการเปลี่ยนแปลงแรงดันของ โหลด (Load Voltage Deviation, LVD) ซึ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ได้พิจารณาและวิเคราะห์ถึงจุดดังกล่าว โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบประกอบรวม ในการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในสภาวะคงตัวนั้น ใช้การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการปรับปรุงการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้า (Modify Backward-Forward Sweep, MBFS ) ประยุกต์ร่วมกับ โหลดที่ขึ้นอยู่กับแรงดัน (Load Voltage Dependent) เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของโพลียานอนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังตามกรณีทดสอบ โดยสามารถนำเสนอภาพรวมผลกระทบของยานอนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและที่นำเสนอใน [25, 55-58] ดังรูปที่ 2.1 ดังนี้



รูปที่ 2.1 ภาพรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



## 2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

ในปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์แบบดั้งเดิมซึ่งเป็นผู้ผลิตยานยนต์แบบสันดาปภายในแบบดั้งเดิม (Internal Combustion Engine, ICE) ได้มีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในสายการผลิต ได้ศึกษาพัฒนาและวิจัยด้านยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านเทคโนโลยีการขับเคลื่อน เทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ เพื่อป้องกันการเสียการตลาดยานยนต์ที่เดิมที่นั่นมีส่วนแบ่งอย่างมหาศาล ด้วยบริษัทผลิตยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายบริษัทในโลกจากที่นำเสนอใน [59] ซึ่งมีมากถึง 170 บริษัทผู้ผลิต ในแต่ละบริษัทก็ต้องมีการแข่งขันในการพัฒนาอย่างสูงเพื่อสร้างแรงจูงใจแก่ผู้บริโภคในการเลือกซื้อจากวิวัฒนาการของรถยนต์สันดาปภายในแบบดั้งเดิม ได้ถูกพัฒนาจนกลายมาเป็นยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังที่นำเสนอใน [60] ซึ่งประกอบไปด้วยยานยนต์ไฟฟ้างดต่อไปนี้ ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-In Hybrid Electric Vehicle, PHEV) ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นต้น นอกจากยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอแล้วนั้นยังมีการพัฒนาต่อไปอีก เพื่อให้เป็นยานยนต์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Intelligence Electric Vehicle) โดยการใช้พื้นฐานยานยนต์ไฟฟ้า 4 ประเภท โดยเพิ่มเติมระบบการสื่อสาร เทคโนโลยีไร้คนขับ เทคโนโลยีการประจุแบบไร้สาย เป็นต้น ดังสามารถนำเสนอเพิ่มเติมได้ใน [55] ทำให้ยอดขายของกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเริ่มเข้ามาแทนที่ยานยนต์แบบดั้งเดิมมากยิ่งขึ้นดังนำเสนอใน [61] ที่มีการประมาณการไปถึงปี 2020 ของการเพิ่มขึ้นของยอดขายและจำนวนยานยนต์ไฟฟ้า สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันของยอดขายยานยนต์ในอเมริกา ยุโรปและจีน เป็นต้น [62-64] ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (Plug-in Electric Vehicle, PEV) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆคือ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) จากการนำเสนอใน [65] จะพบว่ายอดขายของ PHEV จะมียอดขายที่ดีกว่า BEV ด้วยความกังวลใจด้านการหาสถานีประจุ ในสถานที่ต่างๆ ด้วยแรงผลักดันจากอัตราปริมาณการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น [6] และความแปรปรวนราคาน้ำมันของโลกที่มีแนวโน้มสูงขึ้น [66] ส่งผลต่อการเพิ่มการพัฒนาและวิจัยยานยนต์มากขึ้นดังนำเสนอใน [55, 67] โดยเทคโนโลยีในยานยนต์แต่ละผู้ผลิตนั้นจะแตกต่างกันเช่น ชนิดของแบตเตอรี่

ขนาดความจุของแบตเตอรี่ ระยะทางที่จับได้ ขนาดมอเตอร์และระดับการประจุ ส่วนปัจจัยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้ามีหลายด้าน เช่น นโยบายภาครัฐ สถานะเศรษฐกิจของโลก และการพัฒนาด้านเทคโนโลยียานยนต์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ทำการพิจารณาประเภทของยานยนต์ในประเภทยานยนต์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เท่านั้น ที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีการใช้พลังงานการประจุจากระบบไฟฟ้า ในปัจจุบันจะนิยมเรียกประเภทยานยนต์ไฟฟ้าทั้งสองว่าเป็นยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอิน (Plug-In Electric Vehicle, PEV) ซึ่งขนาดของแบตเตอรี่และเครื่องประจุนั้นมีความเกี่ยวข้องกันขนาดพิกัดและแรงดันประจุสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า นำไปสู่การเชื่อมต่อเข้ากับกริด นำพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งานผ่านอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และทำการประจุแบตเตอรี่จนถึงระดับความจุที่กำหนด ซึ่งการประจุในระยะเวลาอันสั้นนั้นจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานอย่างมากในการประจุแบตเตอรี่ให้เต็มด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูง โดยที่แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าต้องถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถรองรับและทนต่อสถานะการณดังกล่าวได้อย่างดี เหมาะสม มีความปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้า และ ผู้ใช้งาน ซึ่งต้องมีมาตรฐานต่างๆ มาเกี่ยวข้องในการควบคุมตั้งแต่ระบบไฟฟ้าจนถึงยานยนต์ไฟฟ้างานนำเสนอใน [55] ซึ่งประเทศไทยนั้นการออกแบบจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าต่างๆ ประกอบร่วมกับข้อมูลจากผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้า

## 2.4 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องค้นพบว่า โหลดยานยนต์ไฟฟ้าสามารถจำลองได้ในหลายรูปแบบ โดยใช้พื้นฐานรูปแบบโหลดในลักษณะต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลังในรูปแบบต่างๆ สามารถนำเสนอรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรูปแบบที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษาของชุมชนนี้

### 2.4.1 โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Load Model) [36]

รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแสดงคุณลักษณะของโหลดโดยแทนรูปแบบฟังก์ชันสมการขนาดของแรงดันที่บัส โดยไม่พิจารณาความถี่ที่บัส โดยสามารถพิจารณาระหว่างองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ โดยในอดีตนั้นโหลดเปลี่ยนแปลงตาม

แรงดันนั้นสามารถแสดงคุณลักษณะที่บ่งชี้ได้โดยสามารถแทนได้โดยใช้รูปแบบสมการยกกำลังดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.3) ดังนี้

$$P_{Li} = P_{Li0} \left( \frac{V_i}{V_{io}} \right)^{n_{pi}} \quad (2.1)$$

$$Q_{Li} = Q_{Li0} \left( \frac{V_i}{V_{io}} \right)^{n_{qi}} \quad (2.2)$$

$$S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li} \quad (2.3)$$

เนื่องจากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นเป็นการแทนรูปแบบโหลดจากการจำลองการใช้พฤติกรรมของระบบประจุของแบตเตอรี่ของเครื่องประจุผ่านวงจรแปลงผันไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจาก AC - DC ซึ่งจากรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล สามารถแทนโดยใช้รูปแบบสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลยกกำลังและเมื่อพิจารณาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.4) ถึง (2.6) ดังนี้

$$P_{PEV} = S_0 \times kp \times (V_i / V_{io})^{n_{pi}} \quad (2.4)$$

$$Q_{PEV} = S_0 \times kq \times (V_i / V_{io})^{n_{qi}} \quad (2.5)$$

$$S_{PEV} = P_{PEV} - jQ_{PEV} \quad (2.6)$$

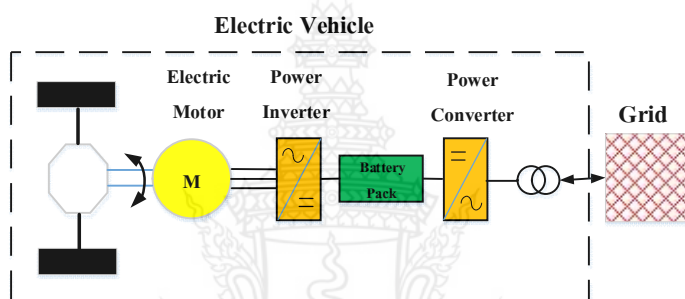
เมื่อแทน  $kp$  คือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์(pf) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ค่าในส่วนของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ คือ  $k_q = \sqrt{(1 - pf^2)}$  ค่า  $n_{pi}$  และ  $n_{qi}$  ใช้สำหรับการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในสถานะคงตัวสำหรับโหลดทั่วไปของระบบไฟฟ้า(Conventional Load, CL) [68] และโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสามารถนำเสนอได้ดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีโหลดในแต่ละประเภท

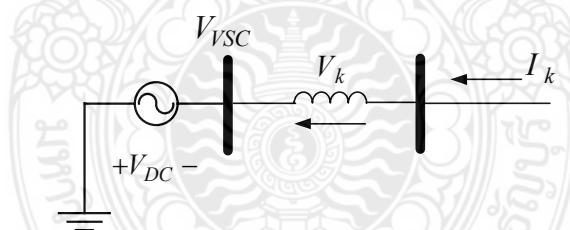
Load Type	$n_{pi}$	$n_{qi}$
Z constant	2	2
I constant	1	1
P constant	0	0
PEVs [36]	2.59	4.06

2.4.2 โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Converter, VSC) [37]

ในการพิจารณารูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าของสถานีประจุเร็วในรูปแบบ VSC สามารถแสดงรูปแบบวงจรเทียบเคียงได้ในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ ซึ่งคุณลักษณะของ VSC สามารถควบคุมการรับจ่ายกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟและรีแอ็คทีฟ โดยทำการสะสมพลังงานในแบตเตอรี่ (Battery Storage) ที่ติดตั้งในยานยนต์ไฟฟ้าโดยลักษณะการทำงานสามารถอธิบายได้ใน [69, 70] จาก VSC สามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ 2 ทิศทางตามลักษณะการควบคุมโดยการควบคุมมุมของแรงดันและขนาดแรงดัน โดยสามารถอธิบายหลักการควบคุมได้ใน [71]



รูปที่ 2.2 วงจรเทียบเคียงยานยนต์ไฟฟ้า [37]



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูล VSC [37]

2.4.2.1 แบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน (VSC) [37] เมื่อทำพิจารณา VSC ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในสถานะคงตัว (Steady State) จากวงจรมูลฐานในรูปที่ 2.3 สามารถแสดงสมการที่เกี่ยวข้องได้ดังสมการที่ (2.7) ถึง (2.12) ดังนี้

$$V_{VSC} = |V_{VSC}| \angle \delta_{VSC} \quad (2.7)$$

สามารถกำหนดสมการที่บัสของการไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส  $k$  ได้ดังสมการที่ (2.8) และสมการที่ (2.9) ดังนี้

$$P_k = |V_k|^2 G_{VSC} - |V_k||V_{VSC}| \{G_{VSC} \cos(\theta_k - \delta_{VSC}) + B_{VSC} \sin(\theta_k - \delta_{VSC})\} \quad (2.8)$$

$$Q_k = -|V_k|^2 B_{VSC} - |V_k||V_{VSC}| \{G_{VSC} \sin(\theta_k - \delta_{VSC}) + B_{VSC} \cos(\theta_k - \delta_{VSC})\} \quad (2.9)$$

และสามารถกำหนดสมการที่บัสสำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุแบตเตอรี่ที่บัส VSC ได้ดังสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) ดังนี้

$$P_{VSC} = |V_{VSC}|^2 G_{VSC} - |V_{VSC}||V_k| \{G_{VSC} \cos(\delta_{VSC} - \theta_k) + B_{VSC} \sin(\delta_{VSC} - \theta_k)\} \quad (2.10)$$

$$Q_{VSC} = -|V_k|^2 B_{VSC} - |V_k||V_{VSC}| \{G_{VSC} \sin(\theta_k - \delta_{VSC}) + B_{VSC} \cos(\theta_k - \delta_{VSC})\} \quad (2.11)$$

กำหนดให้  $Z^{-1} = Y_{VSC} = G_{VSC} + jB_{VSC}$  โดยสามารถกำหนดสมการในรูปแบบสมการจาโคเบียนเมทริกส์ได้ดังสมการที่ 2.12 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta P_{VSC} \\ \Delta Q_{VSC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \frac{\partial P_k}{\partial \delta_{VSC}} & \frac{\partial P_k}{\partial V_{VSC}} \\ \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_{VSC}} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_{VSC}} \\ \frac{\partial P_{VSC}}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_{VSC}}{\partial V_k} & \frac{\partial P_{VSC}}{\partial \delta_{VSC}} & \frac{\partial P_{VSC}}{\partial V_{VSC}} \\ \frac{\partial Q_{VSC}}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_{VSC}}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_{VSC}}{\partial \delta_{VSC}} & \frac{\partial Q_{VSC}}{\partial V_{VSC}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_k \\ \Delta V_k \\ \Delta \delta_{VSC} \\ \Delta V_{VSC} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$\Delta P_k = (P_k^{sp}) - (P_k^{cal} + P_k) \quad (2.12a)$$

$$\Delta P_{VSC} = (P_{EV-s}) - (P_{VSC}) \quad (2.12b)$$

$$\Delta Q_k = (Q_k^{sp}) - (Q_k^{cal} + Q_k) \quad (2.12c)$$

จากสมการที่ (2.12) กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟที่จ่ายออกจากชุดแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถประมาณค่าได้โดยมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเพื่อใช้ในการประจุชุดแบตเตอรี่  $P_{VSC} = P_{EV-s}$  เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสียการประจุและค่าประจุของแบตเตอรี่มีค่าต่ำสุด

2.4.2.2 การประมาณกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟสำหรับ PEVs (PEVs active power) [72] ในการประมาณกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า PEVs เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจาก

การเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดของการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ การคำนวณหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าแอมป์สำหรับ PEVs นั้นจะจำเป็นที่จะต้องประมาณค่าชั่วโมง ( $t_d$ ) ที่จะใช้ในการประจุแบตเตอรี่ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.13) ดังนี้

$$P_{EV-dem}(t) = P_{EV_{max}} \left( 1 - e^{-\alpha \frac{t_d}{t_{max}}} \right) \quad (2.13)$$

ในขณะที่กำลังไฟฟ้าแอมป์ของ PEVs สามารถประมาณได้จากการกำหนดค่าเวลา ( $t_s$ ) ในขณะที่ระบบประจุแบตเตอรี่เต็ม เมื่อกำหนดให้  $t_s = t_{max} - t_d$  ดังนั้นสามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้าแอมป์ ( $P_{EV-s}$ ) ที่เวลาสูงสุดของการประจุ ( $t_{max}$ ) ได้ดังสมการที่ (2.14) ดังนี้

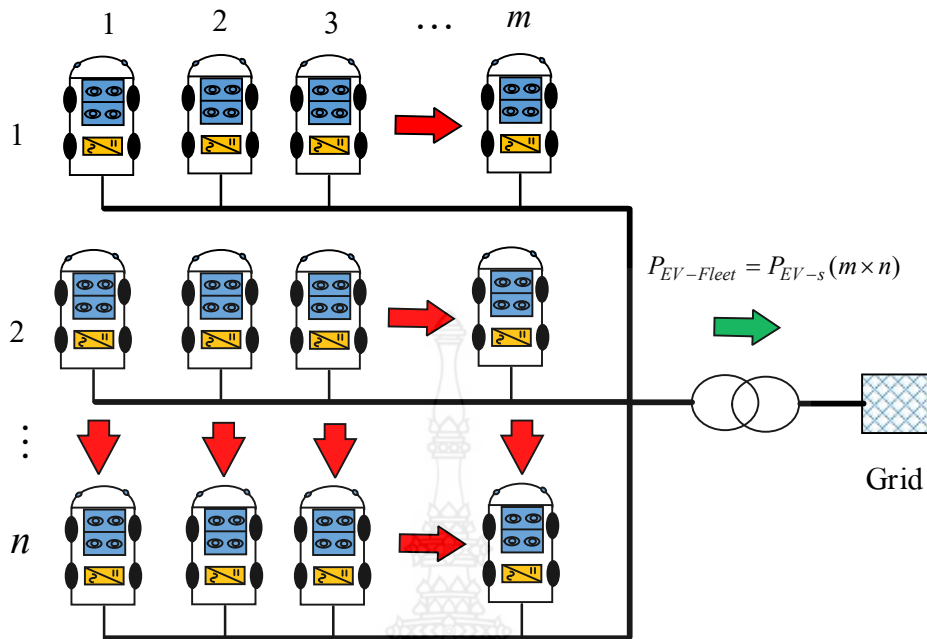
$$P_{EV-s}(t) = P_{EV_{max}} \times e^{-\alpha} \times e^{\alpha \frac{t_s}{t_{max}}} \quad (2.14)$$

ในการนำรูปแบบโพลยานยนต์ไฟฟ้าแบบ VSC ไปประยุกต์ใช้งานนั้น จำเป็นที่จะต้องกำหนดร่วมกับการประมาณกำลังไฟฟ้าแอมป์ของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้างานที่นำเสนอมานั้น ในขณะที่รูปแบบสถานีประจุแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีพฤติกรรมในการประจุที่ไม่สม่ำเสมอที่มีการเข้าหรือออกของยานยนต์ไฟฟ้าตลอดเวลา ดังนั้นจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าและความต้านทานภายในของ PEVs ในรูปผลรวมของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าตามนำเสนอจริงเทียบเคียงได้ในรูปที่ 2.4 มีจำนวนขนาด  $m \times n$  สามารถหาลำดับกำลังไฟฟ้าแอมป์ได้จากสมการที่ (2.15) ถึง (2.16) ตามลำดับดังนี้

$$P_{EV_{Fleet}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{EV-s(ij)} \quad (2.15)$$

โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์รวมของระบบสามารถหาได้จากสมการที่ (2.16) ดังนี้

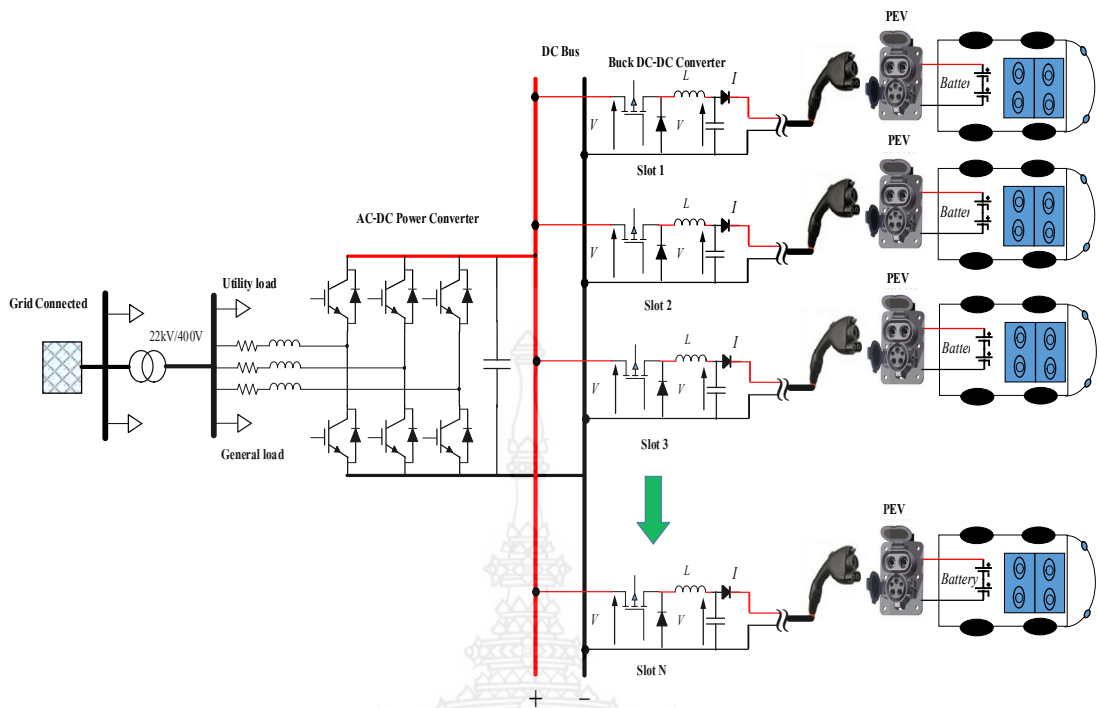
$$Z_{VSC_{Fleet}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{VSC_{ij}} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.4 แบบวงจรเทียบเคียงสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อพิจารณาเป็นแหล่งจ่าย VSC [37]

#### 2.4.3 โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dependent Load, VDL) [41]

ในการศึกษารูปแบบโหลดรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนเร็ว โดยจำลองระบบการประจุนผ่านชุดประจุนเบตเตอร์ ซึ่งคุณลักษณะของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนเร็ว นั้นสามารถจำลองผ่านชุดประจุนเร็วแบบ 3 เฟสเพื่อการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจากการประจุนโดยทั่วไป ซึ่งองค์ประกอบของวงจรสามารถนำเสนอได้ดังวงจรสมมูลย์สถานีประจุนเร็วแบบ 3 เฟสสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสดตรง วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดิซิวทีซีแบบบักคอนเวอร์เตอร์และชุดเบตเตอร์ ตามลำดับดังนำเสนอใน [23] เมื่อทำการพิจารณาเป็นกลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้าทำการประจุนที่สถานีประจุนเร็ว ผ่านชุดหัวประจุน (Charge Connector) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งจากรูปแบบจำลองและวงจรสมมูลย์นำไปสู่การสร้างรูปแบบโหลดรถยนต์ไฟฟ้าและนำไปใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ดังนำเสนอใน [39, 41] โดยสามารถสรุปสมการที่นำไปใช้งานได้ดังสมการที่ (2.17) ถึง (2.18) ตามลำดับ



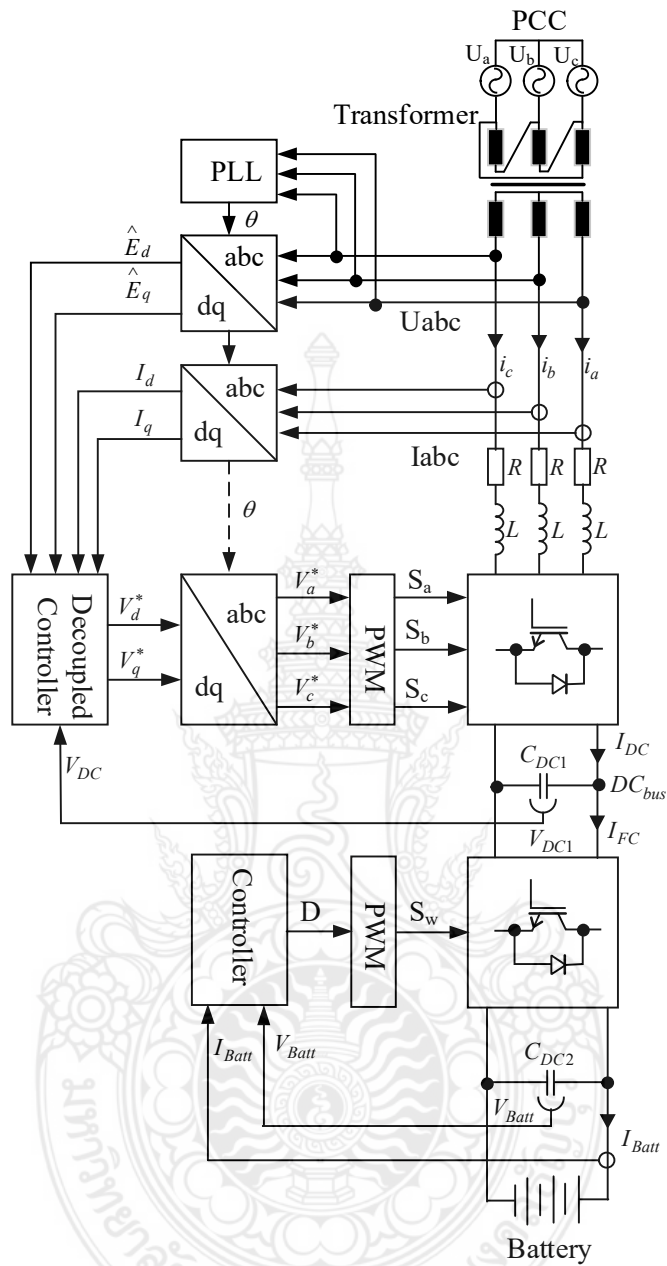
รูปที่ 2.5 รูปแบบสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [41]

จากที่มาของสมการรูปแบบตัวแทนของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ได้นั้นสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกแทนกำลังไฟฟ้าคงที่ และในส่วนที่สองแทนสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ขึ้นอยู่กับค่ายกกำลัง ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของสายระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังไปยังชุดแบตเตอรี่นั้นส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ซึ่งในคู่มือฉบับนี้อ้างอิงข้อมูลจากที่นำเสนอใน [39] เป็นหลักในการประกอบการคำนวณในปัญหาที่พิจารณา

$$\frac{P}{P_0} = a \left( \frac{V}{V_0} \right)^{-\alpha} + b \quad (2.17)$$

$$Q = P \times \tan(\theta) \quad (2.18)$$



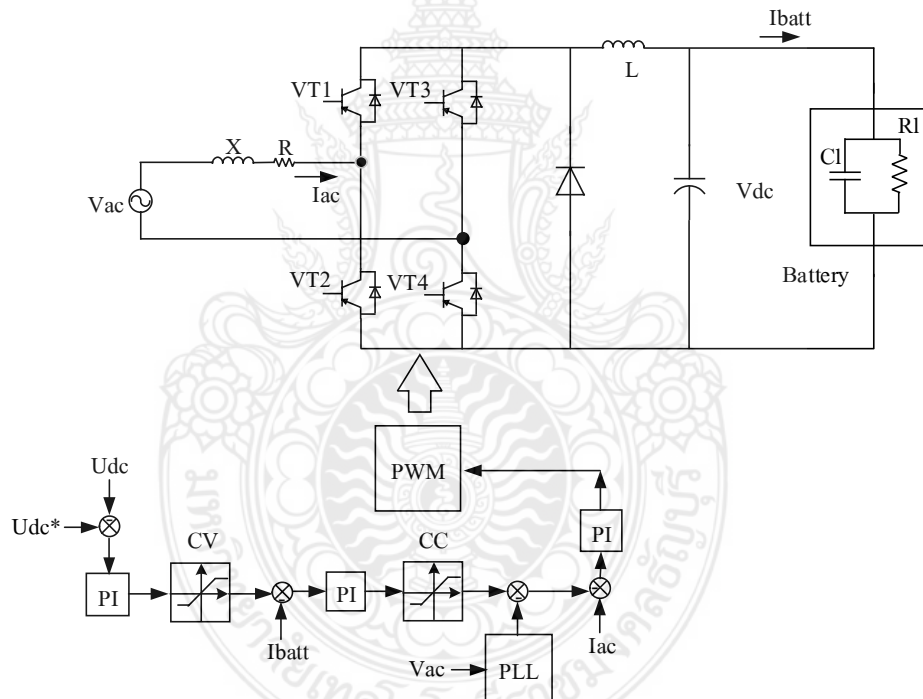


รูปที่ 2.6 วงจรสมมุทธ์สถานีประจุเร็วแบบ 3 เฟสสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [23, 73]

#### 2.4.4 โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนาม หรือ ZIP [48]

ปัจจุบันเทคโนโลยีการประจุแบตเตอรี่ได้ถูกพัฒนาไปอย่างมาก เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้งาน หรือให้เกิดความคล่องตัวอย่างสูงในขณะทำการประจุ ซึ่งแต่เดิมนั้นการประจุในโหมดปกติจะทำการประจุผ่านปลั๊กตามมาตรฐานที่ติดมากับยานยนต์ไฟฟ้าโดยทั่วไป ใน

ปัจจุบันได้พัฒนาการประจุโดยอาศัยผ่านการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก (Contactless Charger) ที่กำลังเป็นที่นิยมเช่นที่นำเสนอใน [74] ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาและวิจัยและในท้องตลาดก็เริ่มทยอยออกมาใช้งานมากยิ่งขึ้น [75] ซึ่งในหลักการหากทำการประจุในที่พักอาศัยหรือสำนักงานจะพิจารณาการประจุเป็นแบบโพลดชนิด 1 เฟส ซึ่งในหลักการนั้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันโดยในแบบจำลองที่นำเสนอนี้จะใช้พื้นฐานจากแบตเตอรี่ 1 เซลล์ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านขาเข้าเพื่อศึกษาผลที่มีต่อคุณลักษณะของ โพลดยานยนต์ไฟฟ้า ในการทดสอบสมมติฐานนี้ที่นำเสนอใน [48] สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์และคุณลักษณะของพหุนาม โพลด หรือ ZIP โพลด ซึ่งได้แสดงค่าองค์ประกอบที่หลากหลายของค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนของ โพลดอิมพีแดนซ์คงที่ โพลดกระแสคงที่ และโพลดกำลังไฟฟ้าคงที่ โดยสามารถนำเสนอวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ 2.7 ดังนี้



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลขั้วชุดประจุแบตเตอรี่ แบบ 1 เฟส สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [48]

จากสมมติฐานการใช้พลังงานของระบบประจุแบตเตอรี่นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ของระบบ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นส่งผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้าแอมป์และรีแอมป์ที่กริดต่อการประจุสามารถแสดงรูปแบบพหุนามโพลดหรือแบบ ZIP โพลด ได้ดัง (2.19) และ (2.20) ดังนี้

$$\frac{P(V_i)}{P_o} = \left( Z_p \left( \frac{V_i(S)}{V_o} \right)^2 + I_p \left( \frac{V_i(S)}{V_o} \right) + P_p \right) \quad (2.19)$$

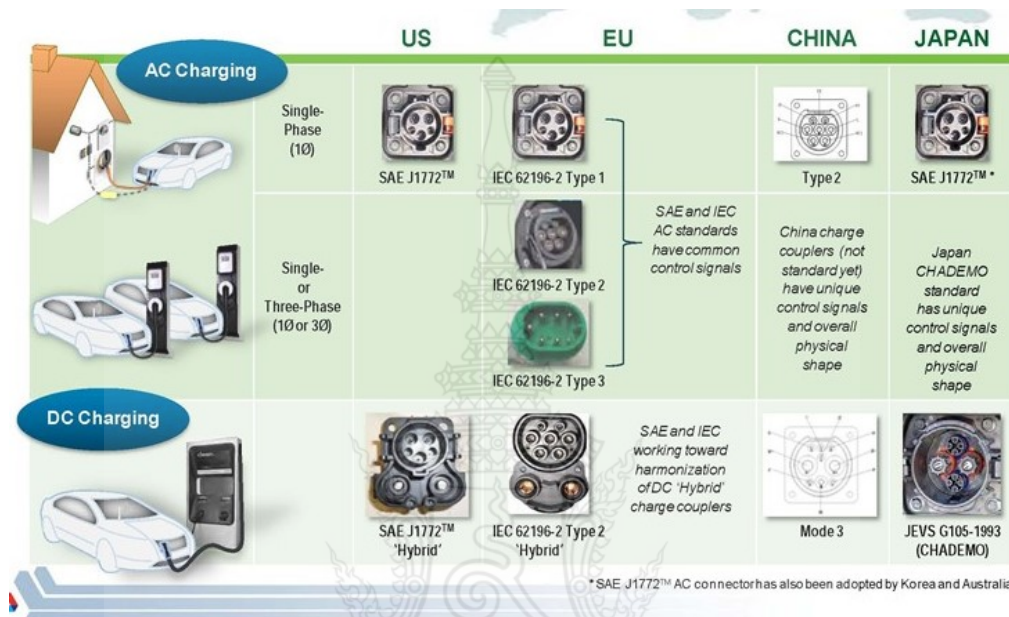
$$\frac{Q(V_i)}{Q_o} = \left( Z_q \left( \frac{V_i(S)}{V_o} \right)^2 + I_q \left( \frac{V_i(S)}{V_o} \right) + P_q \right) \quad (2.20)$$

จากการนำเสนอใน [48] นั้นนำเสนอผลการทดสอบจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink และทดสอบโดยการประจักษ์ของชุดแบตเตอรี่ ซึ่งผลการทดสอบนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งในคู่มือขั้นตอนนี้พิจารณาใช้ค่าพารามิเตอร์จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ประกอบการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลังที่นำเสนอใน [48] ด้วยเหตุผลจากการทดสอบการประจักษ์เป็นคุณลักษณะของโหลดแบบกระแสคงที่ จากกราฟผลการทดสอบที่นำเสนอ และจากการทดสอบในเบื้องต้นนั้นผลที่ออกมามีความแตกต่างกันบางในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถนำรูปแบบโหลดยานยนต์ที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในสถานะสมดุลและไม่สมดุลได้

## 2.5 ระดับการประจักษ์แบตเตอรี่สำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

ด้วยเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าในจุดมุ่งหมายหลักของการนำมาพัฒนาในปัจจุบัน ภาพลักษณ์นั้นเป็นการนำเทคโนโลยีพลังงานสะอาดมาใช้งาน ซึ่งหมายถึง พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่นในทะเล ที่มีการปลดปล่อยมลพิษ ใกล้เคียงกับศูนย์ในขณะกำเนิดพลังงาน ซึ่งเทคโนโลยีการจัดเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ยังมีขีดจำกัดอย่างมากต่อการตอบสนองการในด้านต่างๆ เช่นความหนาแน่นของพลังงานทั้งในด้านต่อมวลและความหนาแน่นต่อปริมาตรที่ต่ำดังที่นำเสนอใน [61] ทำให้ต้องมีการรวมเอาเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในมาเป็นแหล่งกำลังแบบประสาน (Hybrid Energy) ชนิดของแบตเตอรี่ ที่ใช้งานในปัจจุบันนี้ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดในแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามวัสดุที่ใช้ในการผลิต รวมทั้งราคา ดังนั้นในการเลือกใช้งานจำเป็นต้องศึกษาในคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องซึ่งในบางครั้งงานบางงาน อาจใช้แบตเตอรี่ที่มีราคาถูกก็สามารถทำได้ ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ราคาแพง เป็นต้น ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ในแต่ละชนิดที่นิยมนำมาทำการประจักษ์ได้ในแต่ละชนิด ด้วยการประจักษ์และคายประจักษ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ในแต่ละชนิดซึ่งสามารถ

กำหนดค่าอัตราการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่โดยใช้ค่า C-Rate โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะกำหนดค่า C-Rate ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานในการประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า โดยในแบตเตอรี่แต่ละชนิดความสามารถในการประจุไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมี โดยสามารถนำเสนอได้ [76, 77] รวมถึงการเปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของแบตเตอรี่ในแต่ละชนิด



รูปที่ 2.8 รูปแบบหัวต่อสำหรับการประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า [78]

ในการประจุแบตเตอรี่เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านการเสียบปลั๊กของยานยนต์ไฟฟ้า หรืออาจใช้แบบการประจุไร้สาย (Contactless Charging) ซึ่งมาตรฐานการประจุแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีอยู่หลายมาตรฐานในปัจจุบัน อาทิเช่น ในประเทศ สหรัฐอเมริกา อ้างอิงตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรยานยนต์นานาชาติ (SAE J1772) และ ส่วนในประเทศยุโรป อ้างอิงตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสากล (ISO/IEC 61851-1) ซึ่งมาตรฐาน IEC จะครอบคลุมระบบการประจุแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่เรียกว่า CHAdeMO ของประเทศญี่ปุ่น และระบบการประจุของประเทศจีน เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานจะกำหนดลักษณะของหัวชาร์จแตกต่างกันออกไป และมีการแยกย่อยออกเป็นระดับซึ่งจะมีผลต่อระดับพลังงานในการประจุแบตเตอรี่ ทำให้มีมาตรฐานที่ต้องเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องปฏิบัติตามเช่น มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้า อาทิเช่น มาตรฐาน IEEE, ANSI, NEMA, IEC และ มาตรฐาน วสท. มาตรฐานการป้องกันเพลิง

ใหม่ อาทิเช่น NFPA, UF/FM และ มาตรฐาน วสท.มาตรฐานการประจุ เช่น มาตรฐาน SAE, IEC, NEMA และมาตรฐานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เช่น ISO, SAE และมาตรฐาน มอก. เป็นต้น ดังสามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 2.8 และ สามารถนำเสนอระดับการประจุได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รูปแบบทั่วไปของระดับการประจุและชนิดของหัวประจุของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ จีน ยุโรป ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา [79]

Classification in use here	Level	Current	Power	Type			
				China	Europe	Japan	North America
Slow chargers	Level 1	AC	≤ 3.7 kW	Devices installed in households, the primary purpose of which is not recharging electric vehicles		installed in private	SAE J1772 Type 1
	Level 2	AC	> 3.7 kW and ≤ 22 kW	GB/ T 20234 AC	IEC 62196 Type 2	SAE J1772 Type 1	SAE J1772 Type 1
Fast chargers	Level 2	AC	≤ 22 kW			Tesla connector	
	Level 3	AC, tri phase	>22 kW and ≤ 43.5 kW		IEC 62196 Type 2	SAE J3068 (under development)	
	Level 3	DC	Currently< 200kW	GB/ T 20234 DC	CCS Combo 2 Connector (IEC62196 Type 2 & DC)	CHAdemo	CCS Combo 1 Connector (SAE J1772 Type1&DC)
	Level 3	DC	Currently< 150 kW	Tesla and CHAdemo connectors			

Combined Charging System (CCS) อยู่ในช่วงการพัฒนามาตรฐานการเชื่อมต่อ โดยจะประยุกต์ใช้ฐานมาตรฐานที่มีอยู่จากยุโรปและอเมริกา

จากตารางที่ 2.2 จะพบว่าการประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันใช้ได้กับทั้งระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทั่วไประบบประจุเร็ว (Quick charge) จะใช้เวลาประมาณ 15 - 20 นาทีซึ่งในอนาคตอาจใช้เวลาสั้นกว่า 10 นาทีต่อการประจุ และ ในระบบประจุแบบธรรมดา ใช้เวลาประมาณ 5 - 8 ชม. ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญคือ โครงสร้างพื้นฐาน ของระบบไฟฟ้า ในประเทศต้องมีไฟฟ้าเพียงพอ หรือแหล่งสะสมพลังงานต่างๆ ให้สามารถรองรับการประจุแบตเตอรี่ให้กับยานยนต์ไฟฟ้าในจำนวนมาก ในช่วงเวลาเดียวกัน หรือช่วงเวลาที่หลากหลาย การเตรียมการของระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า การประสานกับระบบแหล่งพลังงานจากแหล่งต่างๆที่มีอยู่ในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องมีการศึกษาและเตรียมการในอนาคต

## 2.6 การวิเคราะห์การไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นมีความสำคัญต่อการศึกษากฎการพฤติกรรมของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อใช้ประกอบประเมินความมีเสถียรภาพของระบบในสภาวะคงตัว เช่นรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กระแสไหลระหว่างบัส และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ เป็นต้น ซึ่งถูกนำมาใช้ประกอบการพิจารณาในการวางแผนและจัดการระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการของการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบโครงข่าย (Network System) และระบบจำหน่าย (Distribution System) เพื่อศึกษาในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้เกิดองค์ความรู้และนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ โดยพื้นฐานในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วยชนิดของบัส ข้อมูลใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลระบบ และข้อมูลของโหลด โดยสามารถนำเสนอได้ใน [80] ในคุณฉันทินันท์นี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน และวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าโดยสามารถนำเสนอในเบื้องต้นดังนี้

### 2.6.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบโครงข่ายด้วยวิธีการของนิวตัน-ราฟสันจะใช้ค่าที่กำหนดให้ ในแต่ละบัสเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อไปคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละ

ละบัส การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนี้ เริ่มต้นพิจารณาจากสมการกระแสไหลเข้าบัส ในเทอมของเมทริกซ์ของแอดมิตแตนซ์บัส  $\mathbf{Y}_{bus}$  คือ

$$[\mathbf{I}_{bus}] = [\mathbf{Y}_{bus}][\mathbf{V}_{bus}] \quad (2.21)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle(\theta_{ij} + \delta_j) \quad (2.22)$$

กำลังไฟฟ้าที่บัส  $i$  หาค่าได้จาก

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.23)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.24)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.25)$$

เมื่อ  $\delta_i$  และ  $V_i$  เป็นตัวแปรสถานะ (State Variables) ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า วิธีของนิวตัน-ราฟสัน จะใช้ช่อนุกรมเทเลอร์ (Taylor's Series) กระจายสมการ (2.24) และ (2.25) โดยใช้จาโคเบียนเมทริกซ์ (Jacobian Matrix) เป็นส่วนทำให้สมการเดิมที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของส่วนเล็กๆ ของมุมของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของแรงดันไฟฟ้า กับส่วนเล็กๆ ของกำลังแอมป์ และกำลังรีแอมป์ โดยรายละเอียดสามารถนำเสนอได้ใน [80, 81] ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียสามารถหาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัสดังสมการที่ (2.26) ดังนี้

$$S_{loss,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.26)$$

ในการคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลดบัส (Load Voltage Deviation, LVD) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่เหมาะสมโดยการคำนวณค่าต่ำสุดและวิเคราะห์การเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานสามารถใช้สมการ (2.27) เพื่อประกอบการวิเคราะห์โดยประยุกต์จาก [82, 83] โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$f(x) = \sum_{k=1}^n \left( \frac{V_k^{ref} - V_k}{V_k^{ref}} \right)^2 \quad (2.27)$$

## 2.6.2 วิธีการคำนวณกระแสแบบย้อนกลับและการคำนวณแรงดันไฟฟ้าแบบไปข้างหน้า (Backward- Forward Sweep, BFS)

ในการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Distribution System, DS) แบบเรเดียล (Radial) ด้วยหลักการของวิธีการ BFS นั้นอาศัยหลักการของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) ในการประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยสามารถนำเสนอหลักการได้ใน [84, 85] วิธีการ BFS นั้นถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้าในหลายกรณี ซึ่งสามารถนำเสนอได้ 2 วิธีการ โดยวิธีการแรกใช้หลักการจัดเรียงสายป้อนโดยผู้ทำการวิเคราะห์และวิธีที่สองใช้หลักการเมทริกส์ในการคำนวณซึ่งสามารถนำเสนอหลักการเบื้องต้นได้ดังนี้

### 2.5.2.1 วิธีการ BFS แบบที่ 1 ในการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย BFS นั้น

จำเป็นที่จะต้องทำการจัดเรียงสายส่งกำลังไฟฟ้าในระบบที่มีอยู่เดิมใหม่ (Branch Numbering) ซึ่งอาศัยหลักการในการจัดเรียงสายส่งกำลังไฟฟ้าออกเป็นชั้น (Layer) เรียงจากลำดับบนลงล่าง โดยเริ่มต้นจากฝั่งซ้ายมือที่บัสอ้างอิง ไปทางขวามือที่บัสสุดท้าย (End Bus) โดยสามารถนำเสนอโดยละเอียดได้ใน [86, 87] ในส่วนลำดับชั้นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีแบบย้อนกลับและไปข้างหน้าสามารถนำเสนอได้ใน [88] ซึ่งสามารถสรุปสมการและขั้นตอนหลักๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณกระแสแบบย้อนกลับ (Current Backward Sweep) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ โดยเมื่อลำดับสายส่งเรียบร้อยแล้วก็เข้าสู่การคำนวณกระแสในสาย โดยจะเริ่มจากกระแสที่โหนดสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.32) และทำการคำนวณกระแสย้อนกลับโดยใช้สมการ (2.34) ตามลำดับ

$$S_i = P_i + jQ_i \quad (2.28)$$

$$P_{i,EV} = P_i + P_{EV} \quad (2.29)$$

$$Q_{i,EV} = Q_i + Q_{EV} \quad (2.30)$$

$$S_{i,EV} = P_{i,EV} + jQ_{i,EV} \quad (2.31)$$

$$I_i^{(k)} = \left( \frac{S_i}{V_i^{(k-1)}} \right)^* - Y_i V_i^{(k-1)} \quad (2.32)$$

$$V_i = \left( \frac{V_i}{V_0} \right) \quad (2.33)$$



$$I_L^k = -I_{L2}^k + \sum (\text{กระแสในสายที่พุ่งมาจากโหนดปลายทาง } L_2) \quad (2.34)$$

การคำนวณกระแสนี้จะกำหนดให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเป็น 1 p.u. และ มุมแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ที่ทุกๆ โหนด ส่วนของการคำนวณกระแสในสายจะเริ่มจากการคำนวณที่เรียกว่า การแพร่กระจายถอยหลัง โดยที่รอบคำนวณที่  $k$  จะคำนวณกระแส  $j$  ในสายที่ สุดท้ายเรื่อยเข้าสู่จุดโหนด หรือสแล็กบัส โดยในการคำนวณจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ และหากทำการ วิเคราะห์โหนดในรูปแบบโหนดที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าให้แทนแรงดันที่โหนดด้วยสมการที่ (2.33)

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณแรงดันไฟฟ้าแบบไปข้างหน้า (Voltage Forward Sweep) : KVL ซึ่งจะเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ การคำนวณแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะแบบไปข้างหน้า เริ่มจากบัสอ้างอิง หรือจุดโหนด โดยที่ค่าแรงดัน กำหนดให้มีค่าคงที่และมุมเฟสเป็นศูนย์ ส่วนค่าแรงดันและมุมเฟสของแรงดันที่บัสอื่นๆ ถัดไปจาก บัสอ้างอิงในรอบคำนวณที่  $k$  จะถูกคำนวณค่าแรงดันที่บัส เรื่อยไปสู่อบัสสุดท้ายดังสมการที่ (2.35)

$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L J_L^{(k)} \quad (2.35)$$

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแรงดันไฟฟ้าในการคำนวณค่ากระแสแบบย้อนกลับและการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าแบบไปข้างหน้าจะกระทำในลักษณะ เวียนซ้ำ ในแต่ละรอบการคำนวณจะตรวจสอบค่า Mismatch ของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส ดังสมการ ที่ (2.36) และการตรวจสอบค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังสมการที่ (2.37)

$$\Delta V_j^{(k)} = V_j^{(k)} - V_j^{(k-1)} \quad (2.36)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \text{Re}(\Delta V_j^{(k)}) \right| \leq \varepsilon \\ \left| \text{Im}(\Delta V_j^{(k)}) \right| \leq \varepsilon \\ \left| (\Delta V_j^{(k)}) \right| \leq \varepsilon \end{array} \right. \quad (2.37)$$

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณหาค่าความสูญเสียรวมของระบบจำหน่าย นั้นใช้ผล จากการรันโหนดโพลาร์มาใช้ประกอบในการคำนวณ ในขณะที่การคำนวณหาแรงดันเบี่ยงเบนของ โหนดบัสให้ใช้สมการที่ (2.27) เหมือนกัน โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียหลักของระบบนั้นมาจาก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบที่มี  $n$  บัสสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.38) ดังนี้

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n V_i I_i^* \quad (2.38)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการ  $[\mathbf{V}_{bus}] = [\mathbf{Z}_{bus}][\mathbf{I}_{bus}]$  ได้แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$  โดยดั่งสมการที่ (2.39) ดังนี้

$$V_k = \sum_{j=1}^n Z_{kj} I_j \quad (2.39)$$

เมื่อแทนค่า  $V_k$  ในสมการที่ (2.39) เข้าไปในสมการที่ (2.38) ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบดั่งสมการที่ (2.40) และสามารถแยกองค์ประกอบเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมแอดคทีฟ ( $P_L$ ) และรีแอดคทีฟ ( $Q_L$ ) ได้ดั่งนี้ตามลำดับ

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Z_{ij} I_j I_i^* \quad (2.40)$$

2.5.2.2 วิธีการ BFS แบบที่ 2 [89] ในการวิเคราะห์โหลดโพลวในระบบจำหน่ายหรือระบบเรเดียลอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือการวิเคราะห์ในรูปแบบสมการเมทริกซ์ โดยสมการเมทริกซ์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณนั้นด้วยวิธีการ BFS ประกอบไปด้วย เมทริกซ์กระแสเข้าสู่บัสถึงกระแสเข้าสู่สาขา (Bus Injection to Branch Injection matrix, **BIBC**) เมทริกซ์กระแสไหลในสาขาถึงแรงดันที่บัส (Branch Current to Bus Voltage matrix, **BCBV**) และ เมทริกซ์กระแสเข้าสู่บัส (Current Injection matrix, **I**) โดยองค์ประกอบของสมการที่เกี่ยวข้องของกำลังไฟฟ้าปรากฏ และกระแสเข้าสู่บัสที่รอบการคำนวณ  $t$  ขององค์ประกอบเมทริกซ์ (**I**) สามารถแสดงได้ดั่งสมการที่ (2.41) และ (2.42) ดังนี้

$$S_k = P_k + jQ_k \quad k = 1 \dots N \quad (2.41)$$

$$I_k^t = I_k^r (V_k^t) + jI_k^i (V_k^t) = \left( \frac{P_k + jQ_k}{V_k^t} \right)^* \quad (2.42)$$

เมื่อทำการประยุกต์โดยอาศัยหลักการของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) ในการหาความสัมพันธ์ของกระแสเข้าสู่บัสและในสาขาสารแสดงสมการเทียบเคียงในรูปแบบกระแสในสาขาได้ดั่งสมการที่ (2.43) ดังนี้

$$[\mathbf{B}] = [\mathbf{BIBC}][\mathbf{I}] \quad (2.43)$$

ในขณะที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไหลในสาขาถึงแรงดันที่บัส ซึ่งสามารถแสดงฟังก์ชันของกระแสไหลในสาขาด้วยค่าพารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้า และแสดงถึงเมทริกส์ผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากบัสอ้างอิงในแต่ละสาขา ดังสมการที่ (2.44) ดังนี้

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.44)$$

เมื่อทำการรวมเมทริกส์ BCBV และ เมทริกส์ BIBC สามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระแสเข้าสู่บัสและเมทริกส์ผลต่างแรงดันจากบัสอ้างอิงในแต่ละสาขาของระบบไฟฟ้าสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.45) ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} [\Delta V] &= [BCBV][BIBC][I] \\ &= [DLF][I] \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

เมื่อทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจากความสัมพันธ์ทั้งหมดที่รอบ (t) ใดๆ เพื่อหาแรงดันตามที่ตั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่พอยอมรับได้สามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.46) ดังนี้

$$[\Delta V^{t+1}] = [DLF][I^t] \quad (2.46)$$

ในการหาลำดับไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละส่วนของระบบของสายส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส  $k$  และ  $k+1$  สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียแอมป์และรีแอมป์ดังสมการที่ (2.47) และ (2.48) ดังนี้ [67, 90]

$$P_{Loss}(k, k+1) = R_k \times \frac{(P_k^2 + Q_k^2)}{|V_k|^2} \quad (2.47)$$

$$Q_{Loss}(k, k+1) = X_k \times \frac{(P_k^2 + Q_k^2)}{|V_k|^2} \quad (2.48)$$

ในการคำนวณหาลำดับไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละส่วนของระบบนั้นสามารถทำได้โดยการนำแต่ละส่วนมารวมกันเพื่อหาลำดับไฟฟ้าสูญเสียรวมสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.49) และ (2.50) ตามลำดับ

$$P_{T, Loss} = \sum_{k=1}^n P_{Loss}(k, k+1) \quad (2.49)$$

$$Q_{T, Loss} = \sum_{k=1}^n Q_{Loss}(k, k+1) \quad (2.50)$$

## 2.7 การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจากสภาวะปกติที่สมดุลต่อการถูกรบกวนจากในกรณีต่างๆที่ทำให้ระบบขาดความสมดุลหรือผิดปกติและให้ระบบไฟฟ้ากำลังกลับสู่สภาวะสมดุลอีกครั้ง ความเสถียรภาพของระบบขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของระบบและขนาดของสิ่ง que เข้ามารบกวน โดยสามารถนำเสนอคำนิยามเพิ่มเติมตามมาตรฐาน IEEE/CIGRE ได้ใน [91] โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบหลักๆ ดังนำเสนอเพิ่มเติมใน [68, 92] คือ เสถียรภาพเชิงมุม (Angular Stability) เสถียรภาพแรงดัน (Voltage Stability) และเสถียรภาพระยะกลางและระยะยาว (Mid-term and long-term stability) เป็นต้น ในงานคหุฎินิพนธ์ได้ใช้หลักการของการวิเคราะห์ของเสถียรภาพแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อถูกรบกวนหรือการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า โดยทำการวิเคราะห์ในสภาวะคงตัว (Static Analysis) และใช้หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงมุม ในประเภทของการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็ก (Small Signal Stability) ในส่วนของการขาดเสถียรภาพของการแกว่ง (Oscillatory Instability) โดยสามารถแสดงสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 2.7.1 สมการการแกว่ง (Swing equation)

สามารถนำเสนอหลักการในการรักษาสมดุลของเครื่องกำเนิดในสภาวะเริ่มต้น โดยอธิบายในเทอมของอัตราเร่งขึ้นและลดลงของโรเตอร์เครื่องกำเนิดเมื่อถูกรบกวน ในเทอมของแรงบิดเร่งและกำลังที่แกนเพลลา ด้วยค่าความเฉื่อย ( $J$ ) และค่าคงที่ความเฉื่อย ( $M$ ) พลังงานจลน์โมเมนตัมวัตถุที่ความเร็วเชิงโคจรนัส ที่เกิดจากแรงบิดเร่งที่แกนเพลลา ( $T_a$ ) และพิจารณาในเทอมของกำลังอัตราเร่ง โดยสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.51) และ (2.52) ดังนี้

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.51)$$

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.52)$$

### 2.7.2 การวิเคราะห์ค่าเจาะจง (Eigen value analysis)

ในการวิเคราะห์การแกว่งของระบบไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์ค่าเจาะจงนั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้การเกิดการแกว่งระหว่างพื้นที่ (Inter area) ที่เกิดขึ้นทำให้สามารถวิเคราะห์การสังเกตได้ (Observability analysis) ของระบบ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้ [68] คือ ข้อที่ 1 ค่าเจาะจงเป็นจำนวนจริง

นั้นแสดงให้เห็นว่าไม่มีโหนดที่เกี่ยวข้องกับการแกว่ง (Non-Oscillation) ข้อที่ 2 ค่าเจาะจงเป็นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งจะเป็นในค่าคู่สังยุค (Conjugate pairs) ซึ่งในส่วนของค่าองค์ประกอบจำนวนจริงถูกแทนด้วยค่าการหน่วงของการแกว่ง ( $\sigma$ ) และจำนวนจินตภาพจะถูกแทนด้วยความถี่การแกว่ง ( $\omega$ ) และหากค่าเจาะจงของระบบ ( $\lambda$ ) เกิดมีค่าใดค่าหนึ่งเกิดในฝั่งขวาของระบนั้นแสดงว่าระบบขาดเสถียรภาพสามารถแสดงดังสมการที่ (2.52) ดังนี้

$$\lambda = \sigma \pm j\omega \quad (2.52)$$

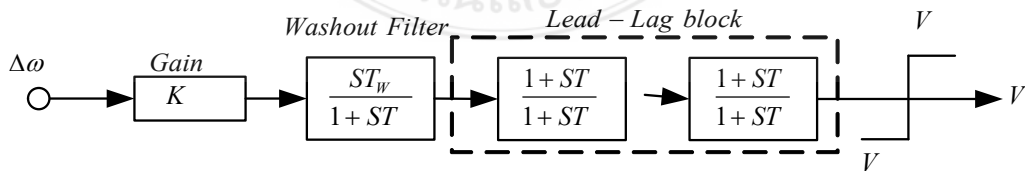
จากสมการที่ (2.52) สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความถี่ของการแกว่ง ( $f$ ) และอัตราส่วนการหน่วง ( $\zeta$ ) ได้สมการที่ (2.53) และ (2.54) ดังนี้

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.53)$$

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (2.54)$$

### 2.7.3 ระบบเสถียรภาพกำลังไฟฟ้า (Power System Stabilizer, PSS)

ระบบเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงพลังงานความเสถียรของระบบเป็นส่วนเพิ่มเติมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการควบคุมการกระตุ้นที่ช่วยปรับปรุงระบบไฟฟ้าในสภาวะการทำงานแบบไดนามิกส์ในสภาวะสัญญาณขนาดเล็กและในสภาวะทรานเซียนต์ [93] โดย PSS ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มอัตราส่วนการหน่วงของระบบโดยจะเพิ่มคำสั่งควบคุมไปยัง AVR (Auto matrix Voltage regulator) ควบคุมค่าการกระตุ้น จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของโรเตอร์ที่แปรผันตามความถี่สามารถแสดงการควบคุมได้ดังรูปที่ 2.9 ดังนี้



รูปที่ 2.9 การจำลองตัวเสถียรภาพในระบบ

PSS เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้กับตัวปรับแรงดันไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) โดยจะถูกใช้ในการควบคุมการแกว่งของระบบไฟฟ้าความถี่ต่ำ (0.2 – 2.0 Hz) หากเกิดความผิดปกติในระบบจะสามารถควบคุม PSS ได้โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ใน [94, 95] ดังนั้นในกรณีที่โพลเดียนยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าผลการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะมาจากตัวโหลดเอง หรือ อาจเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเมื่อต้องการควบคุมการแกว่งของโรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบให้เข้าสู่ภาวะสมดุลด้วย PSS นั้นมีความจำเป็นและสำคัญที่ต้องมีการติดตั้งเพื่อควบคุมลดผลการแกว่งของโรเตอร์โดยพิจารณาอัตราส่วนการหน่วงของระบบ ( $\zeta$ ) เพื่อเสริมให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยสามารถพิจารณาค่าฟังก์ชันเป้าหมายในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ PSS ได้ดังสมการที่ (2.56) ดังนี้ [96]

$$\max(J) = \max(\min(\{\zeta_i\})) \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2.56)$$

## 2.8 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม

ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ในปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่นำมาประยุกต์ใช้เช่น งานในด้านเศรษฐศาสตร์การทำงานในระบบไฟฟ้ากำลัง [97] การหาตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมในระบบ [98] การหาตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสม [99] และการจัดเรียงสายป้อนที่เหมาะสม [100] เป็นต้น ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมในหลายวิธีการเช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการกลุ่มอนุภาค วิธีการจำลองการอบอุ่น วิธีการตามเสิร์ช และวิธีการอื่นๆที่นำเสนอใน [101, 102] ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีจุดเด่นและด้อยต่างกันออกไป โดยที่ลักษณะฟังก์ชันเป้าหมาย สามารถแยกได้เป็นไปตามลักษณะของปริภูมิการค้นหา (Search Space) เช่น การค้นหาแบบท้องถิ่นหรือแบบเฉพาะที่ (Local Search) หรือการค้นหาแบบที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Global Search) ซึ่งในงานดุษฎีนิพนธ์ได้ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งประกอบไปด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาคและเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมวิธีการอาณานิคมผึ้ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่พิจารณาโดยสามารถนำเสนอหลักการเบื้องต้นได้ดังนี้

### 2.8.1 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization Technique, PSO)

วิธีการกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีการจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีวิตในการหาอาหารและการรวมกันเป็นกลุ่มหรือเป็นฝูง (Swarm) ใช้การเรียนรู้ร่วมกันและเคลื่อนที่

ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองไปตามสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในตำแหน่งที่ดีและเหมาะสมกว่า ใช้ในการจำลองสร้างอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมโดยถูกนำเสนอโดย Kenerdy และ Eberhart [103] โดยความเร็วในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคนั้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดัง (2.57) และ (2.58) ส่วนสมการค่าถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) สามารถแสดงได้ดัง (2.59) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_{id}^{t+1} = W \times V_{id}^t + Rand_1() \times C_1 \times (Pbest_{id} - X_{id}^t) + Rand_2() \times C_2 \times (Gbest_d - X_{id}^t) \quad (2.57)$$

$$X_{id}^{t+1} = X_{id}^t + V_{id}^{t+1} \quad (2.58)$$

$$W = W_{\max} - \frac{W_{\max} - W_{\min}}{k} \quad (2.59)$$

## 2.8.2 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมวิธีการอาณานิคมผึ้ง (Artificial Bees Colony, ABC)

วิธีการอาณานิคมผึ้งใช้หลักการของกลุ่มอนุภาคโดยการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของฝูงผึ้งในการเคลื่อนที่ไปยังแหล่งอาหารซึ่งถูกนำเสนอโดย [104] ซึ่งทำการจำลองรูปแบบของผึ้ง โดยแบ่งผึ้งออกได้เป็น 3 แบบ คือ ผึ้งงาน (Worker Bees) ผึ้งสังเกต (Onlookers) และผึ้งสำรวจ (Scout) โดยผึ้งงานจะทำการค้นหาอาหารด้วยการสุ่มจากความจำของตำแหน่ง ( $v_{i,j}$ ) และทำการประเมินค่าความคุ้มค่า (fitness) ของแหล่งอาหาร ดังสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.60)

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \phi_{i,j} (x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (2.60)$$

จากการสำรวจของผึ้งงาน เมื่อได้พบแหล่งอาหารที่ดีก็จะทำการส่งการเรียนรู้ไปยังฝูงผึ้งที่เหลือ ที่รออยู่ที่รังผึ้งให้ทำการปรับตำแหน่งไปยังแหล่งอาหารที่ดีที่สุด ผึ้งสังเกตจะเลือกแหล่งอาหารจะเป็นการสุ่มค้นหาจากความน่าจะเป็น ( $P_i$ ) ของคำตอบหรือแหล่งอาหารที่ดีที่สุด ( $fit$ ) ต่อผลรวมของจำนวนของคำตอบหรือแหล่งอาหารที่ดีทั้งหมด ( $SN$ ) จากผึ้งงานที่ส่งข้อมูลมาให้ ดังสมการที่ (2.61) โดยจำนวนแหล่งของอาหารสามารถกำหนดได้จากจำนวน ผึ้งงาน (Worker Bees) หรือ ผึ้งสังเกต (Onlookers)

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_i fit_i} \quad (2.61)$$

ในขณะที่ผึ้งงานจะหาอาหารจากแหล่งเดิมซ้ำไม่สามารถปรับไปยังตำแหน่งอื่นได้ หากไม่มีการสอนหรือป้อนแหล่งอาหารให้ใหม่และจะถูกปล่อยทิ้ง ซึ่งต่างจากผึ้งสำรวจที่มีการหาอาหารจากการสุ่มไปทั่วบริเวณและมีการสุ่มการค้นหาใหม่ของขอบเขตแหล่งอาหาร ( $j$ ) ใน

ขอบเขต  $[min \ max]$  ของขนาดจำนวนตัวแปร ( $D$ ) ที่ต้องการหาคำตอบดังสมการที่ (2.62) ดังนี้ และวนกลับไปสมการที่ (2.60) เพื่อปรับปรุงตำแหน่งของแหล่งอาหารของฝูงงาน

$$x_{k,j} = x_{\min,j} + rand(0,1)(x_{\max,j} - x_{\min,j}) \quad (2.62)$$

ด้วยจุดเด่นในการสุ่มและเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแหล่งอาหารอยู่เสมอทำให้เกิดความหลากหลายในการหาคำตอบในปริภูมิการค้นหาคำทำให้เป็นที่นิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ในปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างเหมาะสมดังเช่นนำไปประยุกต์ในงานที่นำเสนอใน [105, 106] ซึ่งให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงวิธีการ PSO และจะให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าในกรณีที่รอบการคำนวณที่สั้น

## 2.9 บทสรุป

จากการนำเสนอในแต่ละหัวข้อที่ผ่านมาได้นำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง จากภาคทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนั้นได้ถูกนำไปประยุกต์ในแต่ละกรณีศึกษา โดยใช้พื้นฐานของ ระดับของการประจุของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบ การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน วิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดัน ไปข้างหน้าทั้ง 2 วิธีการ การวิเคราะห์เสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยการควบคุมด้วยระบบเสถียรภาพกำลังไฟฟ้า (PSS) และเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO และวิธีการ ABC ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้นและเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมในแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนบริหารจัดการระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการขยายตัวของโหลดแบบดั้งเดิมของระบบและโหลดสมัยใหม่อย่างโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่กำลังจะมาถึงในอนาคตอันใกล้



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการคชฎินิพนธ์

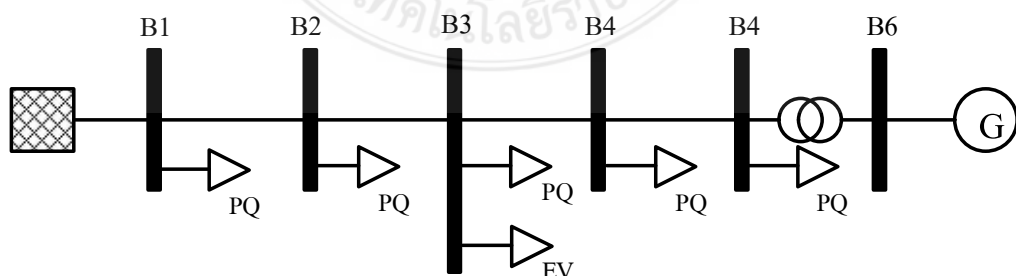
#### 3.1 บทนำ

คชฎินิพนธ์นี้เสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างกันสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการประยุกต์ใช้โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบในการนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบศึกษาผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ สามารถใช้ประกอบการพิจารณาปัญหาด้านความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจากกรณีที่ทำการศึกษาและวางแผนรองรับการขยายตัวของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้น ในคชฎินิพนธ์นี้เสนอวิธีการวิเคราะห์ในแต่ละรูปแบบที่สามารถนำไปสู่องค์ความรู้โดยรวมของในแต่ละกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า การศึกษาพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ในด้านความน่าเชื่อถือได้ของระบบและความมีเสถียรภาพของระบบในแต่ละสถานะตามกรณีศึกษา ซึ่งในการศึกษาได้แยก กรณีศึกษาออกเป็นในแต่ละกรณีและให้มองเห็นสภาพปัญหาปัจจุบันและมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละวิธีการจากระบบทดสอบที่นำเสนอ ซึ่งระบบทดสอบประกอบไปด้วย ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 14 บัส ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ระบบทดสอบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 26 บัส [86] ระบบทดสอบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสถานีฉะบุรี เป็นต้น จากสมมุติฐานการดำเนินการคชฎินิพนธ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างกันสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้นในการวิเคราะห์ทำการกำหนดให้ระบบไฟฟ้าที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบหรือมีการติดตั้งเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลังกับโหลดดั้งเดิมของระบบ (Conventional Load Types, CLT) โดยโหลดดั้งเดิมหลักของระบบประกอบไปด้วย โหลดคงที่อิมพีแดนซ์ (Constant Impedance, Z) โหลดคงที่กระแส (Constant Current, I) และโหลดคงที่กำลังไฟฟ้า (Constant Power, P) [80] ซึ่งไม่ได้นำโหลดแบบซับซ้อนของระบบ (Complexity Load) เข้ามาใช้ในการพิจารณาประกอบในกรณีศึกษา ในเบื้องต้นสามารถประยุกต์การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังแยกกรณีศึกษาออกได้เป็น 8 กรณีดังนี้ โดยสามารถนำเสนอการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการติดตั้งหรือมีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังในลำดับถัดไปดังนี้

### 3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง [107]

ในการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ในระบบไฟฟ้าเมื่อมีการถูกรบกวนจากกรณีต่างๆ เช่น การเกิดฟลด์ การหลุดออกจากระบบของโหลดขนาดใหญ่ และการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของโหลดขนาดใหญ่แบบทันทีทันใดนั้นจะส่งผลกระทบต่อแรงบิดของเครื่องจักรกลซึ่งโครนัสด้านทางกล ที่พยายามรักษาสภาวะของระบบให้เกิดความสมดุลโดยอาจเพิ่มอัตราเร่งเชิงมุมหรือการหน่วงซึ่งผลดังกล่าวอาจพิจารณาในแง่ของการแกว่งของความถี่ต่ำของระบบ [108-110] ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วหากระบบสมดุลการแกว่งของความถี่ก็จะกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้แต่ใช้เวลาที่ยืดออกไป [96] การที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เร็วขึ้นทำให้ระบบเกิดความมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นโดยสามารถนำเสนอการทดสอบกรณีศึกษาดังนี้

กำหนดเงื่อนไขในการทดสอบให้ใกล้เคียงกับระบบ Single Machine Infinite Bus System (SMIB) ด้วยระบบทดสอบ 6 บัส แรงดัน 230 kV 50Hz โดยระยะทางระหว่างบัสมีระยะทาง 10 กิโลเมตร โดยมีค่าพารามิเตอร์ของสายส่งแบบ PI มีค่าดังนี้คือ ค่าความต้านทานสาย  $R=0.0529$  Ohms/km/phase,  $X=0.529$  Ohms/km/phase และ  $B = 0.308129$  Micro Siemens/km ในขณะที่โหลดที่ติดตั้งในบัส B1 ถึงบัส B4 มีขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ 50 MW มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.85 มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดเชิงโครนัสขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ 500 MW กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ 100 MVar ที่บัส 6 ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบยกแรงดัน 13.8 kV/230 kV สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 ระบบทดสอบ 6 บัส

กำหนดให้โหลดที่ติดตั้งในแต่ละบัสเป็นโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) ในขณะที่กำหนดให้โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในสถานะเริ่มต้นมีขนาดกำลังไฟฟ้าค่าเท่ากับโหลดของระบบขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ 50 MW มีค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์ 0.85 โดยกำหนดให้เป็นโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนามโหลดหรือ ZIP โหลด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนามโหลดหรือ ZIP โหลด สามารถนำเสนอ [48] โหลดซึ่งกำหนดให้ทำการติดตั้งอยู่ที่บัส B3 ทำการวิเคราะห์การแกว่งความถี่ต่ำในกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ณ เวลา 2 วินาที ซึ่งในการทำให้ระบบกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลนั้นมีอยู่ในหลายวิธีการยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งอุปกรณ์จำพวก FACTs [111] หรือการติดตั้งตัวจัดเก็บพลังงานแม่เหล็กยิ่งยวด (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) [112] เป็นต้น ในกรณีศึกษานี้ได้พิจารณาหลักการเบื้องต้นในออกแบบการควบคุมร่วมกับระบบเสถียรภาพกำลังไฟฟ้า (Power System Stabilizer, PSS) ในการทดสอบ เพื่อให้เห็นภาพรวมสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

**ตารางที่ 3.1** เงื่อนไขในการทดสอบการวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กชั่วคราวเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

กรณีทดสอบ	เงื่อนไข
A	ทดสอบระบบโดยไม่มี PSS ในการควบคุม
B	ทดสอบระบบโดยมี PSS (ค่าพารามิเตอร์ดั้งเดิม)
C	ทดสอบระบบโดยมี PSS ใช้ค่าพารามิเตอร์จากการใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization Technique, PSO)

ในการควบคุมการหน่วงของระบบนั้นมีอยู่หลายวิธีการ เช่นการเพิ่มค่าอนุพันธ์เข้าไปในวงจรควบคุมกระแสกระตุ้นของเครื่องกำเนิด [113] ทำให้ระบบสามารถลดเวลาการแกว่งของความถี่ได้ หรือเป็นส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์จำพวก FACTs เข้าไปในระบบเพื่อชดเชยการแกว่งในกรณีที่ระบบถูกรบกวนในกรณีต่างๆ เช่นการติดตั้ง UPFC ด้วยค่าพารามิเตอร์ควบคุมจากวิธีการ Nero Fuzzy [114] หรือการติดตั้ง SVC ร่วมกับ PSS ด้วยการประสานการทำงานทำให้มีความสามารถในการ

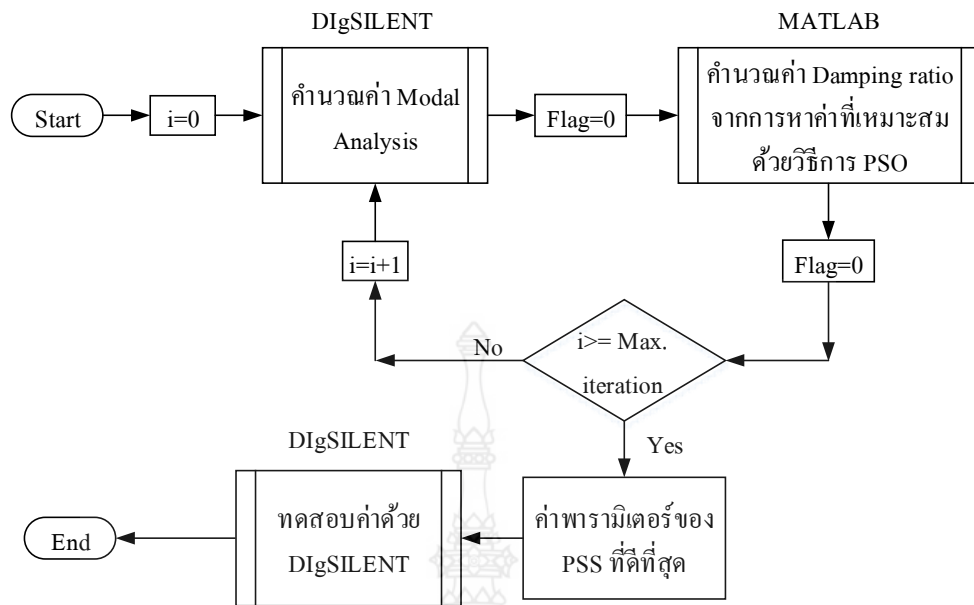
เพิ่มความมีเสถียรภาพของระบบมากขึ้น [115] ในการหาค่าพารามิเตอร์ PSS ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของตัว PSS เช่นวิธีการ PSO ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานประสานการควบคุมชุดอุปกรณ์ FACTs ต่างๆทำให้ระบบเกิดมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น [96, 116] ซึ่งโดยหลักการนั้นใช้การวิเคราะห์ค่าเจาะจง (Eigen Value) ของระบบร่วมกับค่าตัวแปรส่วนรวมของระบบ (Modal participation) [117] ดังนั้นในกรณีศึกษาที่ใช้วิธีการ PSO ในการหาค่าที่เหมาะสมร่วมกันระหว่าง โปรแกรม DIGSILENT และ MATLAB ด้วยการเขียนสคริปต์ m- files ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนการหน่วงของระบบ เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ของ PSS ที่เหมาะสมสามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 2.9 ในบทที่ผ่านมา โดยที่จะสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการใช้วิธีการ PSO ที่ใช้ประกอบการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS ที่เหมาะสมของโปรแกรม MATLAB ในสคริปต์ m- files ได้ดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ PSO

ชื่อตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
จำนวนอนุภาค	25
จำนวนรอบในการค้นหาค่าตอบ	25
ขนาดของอนุภาค	20
ค่าคงที่ $c_1$ และ $c_2$	0.6 และ 0.3

ในขณะที่การหาค่าอัตราส่วนการหน่วงที่เหมาะสมของระบบด้วยวิธีการ PSO สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ PSS ที่เหมาะสมนั้นสามารถนำเสนอเป็นขั้นตอนในการคำนวณหาและการเชื่อมต่อกันระหว่างโปรแกรม DIGSILENT และ MATLAB ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลจากการคำนวณซึ่งกันและกันสามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 3.2 ดังนี้

โดยกำหนดเป็นค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ของการค้นหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO ได้ดังสมการที่ (2.56) ของบทที่ผ่านมา เพื่อใช้ในการคำนวณหาการเข้าสู่จุดสมดุลด้วยอัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio) ของค่าเจาะจงที่ให้ค่าการหน่วงสูงสุด ด้วยค่าน้อยที่สุดของตำแหน่งค่าเจาะจงเพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ PSS ทำให้ระบบเกิดการแกว่งความถี่ต่ำน้อยที่สุด



รูปที่ 3.2 การหาค่าอัตราส่วนการหน่วงที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO สำหรับค่าพารามิเตอร์ PSS

เมื่อกำหนดให้  $J$  คือค่าโมเมนต์แรงเฉื่อยของระบบซึ่งเป็นค่าที่ได้จากค่าสูงสุดของอัตราส่วนการหน่วงของระบบ  $\zeta_i$  จากการคำนวณด้วยวิธีการ Modal Analysis ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ของ PSS จากรูปที่ 3.2 นั้นซึ่งประกอบไปด้วยค่า  $K_{PSS}, T_1, T_2, T_3, T_4$  โดยสามารถกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรในแต่ละตัวได้ดังนี้  $0.1 \leq T_{1-4} \leq 10$  และ  $0.1 \leq K_{PSS} \leq 100$  โดยใช้ค่าดังกล่าวประกอบการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSS [96] ทำการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละระดับ ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของ PSS ด้วยวิธีการ PSO และทำการทดสอบการแกว่งของความถี่ต่ำของโรเตอร์เครื่องจักรกลเชิงโรนัส สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการออกแบบวงจรระบบทดสอบ 6 บัส ตัว PSS และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในโปรแกรม DIgSILENT

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าลูปการวนซ้ำ  $i = 1$

ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรม DIgSILENT คำนวณค่า Modal Analysis (ในกรณีทดสอบ A ข้ามไปขั้นตอนที่ 9 และในกรณี B ข้ามไปขั้นตอนที่ 8)

ขั้นตอนที่ 4 โปรแกรม DIgSILENT ส่งสัญญาณ  $flag = 1$  ออกไปยังโปรแกรม MATLAB เพื่อแจ้งให้ทราบว่าได้ส่งค่าเจาะจงที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการ Modal Analysis เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 โปรแกรม MATLAB กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ PSS ที่เหมาะสมที่สุดตามด้วยวิธีการ PSO ตามค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 6 โปรแกรม MATLAB ส่งสัญญาณ Flag = 0 ออกไปยังโปรแกรม DIGSILENT เพื่อแจ้งให้ทราบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและแล้วเสร็จ

ขั้นตอนที่ 7 โปรแกรม DIGSILENT ตรวจสอบจำนวนรอบ  $i$  ครอบคลุมจำนวนที่กำหนดหรือไม่ หากไม่ครบให้กลับไปขั้นตอนที่ 2 หากครบให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 นำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดจาก PSO มาป้อนในตัว PSS

ขั้นตอนที่ 9 ทำการทดสอบการแกว่งความถี่ต่ำในกรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ในข้อ 9 (ในกรณี A ให้ยกเลิกการควบคุมด้วย PSS)

ขั้นตอนที่ 10 ทดสอบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนครบทุกกรณีจาก 50 เปอร์เซ็นต์ ถึง 300 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 11 สิ้นสุดการทดสอบและนำผลการทดสอบไปสรุปผล

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วนของผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นผลการวิเคราะห์การแกว่งของความถี่ต่ำของโรเตอร์เครื่องกำเนิดในกรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและการใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ PSS ในการเพิ่มการตอบสนองการลู่เข้าสู่จุดสมดุลของการแกว่งของมุมโรเตอร์ ในแต่ละกรณีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามกรณีทดสอบ

### 3.3 กรณีศึกษาที่ 2 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้านั้นสามารถดำเนินการได้ในหลายวิธีการ เช่น วิธีการนิวตันราฟสัน [118, 119] วิธีการเก๊าเซเดิ้ล [120] วิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้า [121] เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์ในเชิงตัวเลข (Numerical Analysis) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยการเขียนสคริปต์  $m$  - files และทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะสมดุล ซึ่งในบางครั้งในแง่ของการออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา

แผนการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในกรณีต่างๆ นั้นเกิดความไม่คล่องตัวในทางปฏิบัติการอย่างยิ่ง ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรม PSAT ที่เป็นฟรีซอฟต์แวร์ ในส่วนของการเชื่อมต่อกับฟังก์ชันที่ผู้ใช้งาน (User Defined Module, UDM) [122] ที่มีคุณสมบัติสามารถสร้างรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบภาพกับผู้ใช้ (Graphic User Interacted, GUI) [123, 124] ด้วยในปัจจุบันรูปแบบโหลดยานยนต์ในสถานะคงตัวในโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไปในท้องตลาด ยังไม่ได้มีอยู่ในโปรแกรมมาตรฐานทั่วไปโดยส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์โดยการแทนรูปแบบโหลดด้วยโหลดกำลังไฟฟ้าคง (Constant Power) โดยที่ส่วนใหญ่เน้นแบ่งโหลดยานยนต์ออกเป็นในแต่ละระดับของการประจุ [125, 126] ซึ่งยังไม่สะท้อนต่อพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในขณะทำการประจุเมื่อกรณีพิจารณาเป็นโหลดสถานีประจุนั้นนำเสนอใน [39, 41] ซึ่งในรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนั้นนำเสนอประกอบไปด้วยองค์ประกอบของโหลด 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคือ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ และส่วนที่สองจะเป็นอีกโพลีโนเมียลโหลด ดังนั้นจึงทำการนำเสนอการจำลองสร้างรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนั้นโดยการพัฒนาโปรแกรม PSAT ภายใต้การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB [127, 128] สามารถนำเสนอโหลดสถานีประจุนั้นแบบที่ใช้ในการจำลองการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะคงตัวด้วยโปรแกรม PSAT ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนั้นโดยใช้โปรแกรม PSAT Version 1.3.4 ในส่วนของ Command Editor ให้ทำการเลือกเมนู User Define Models (UDMs)

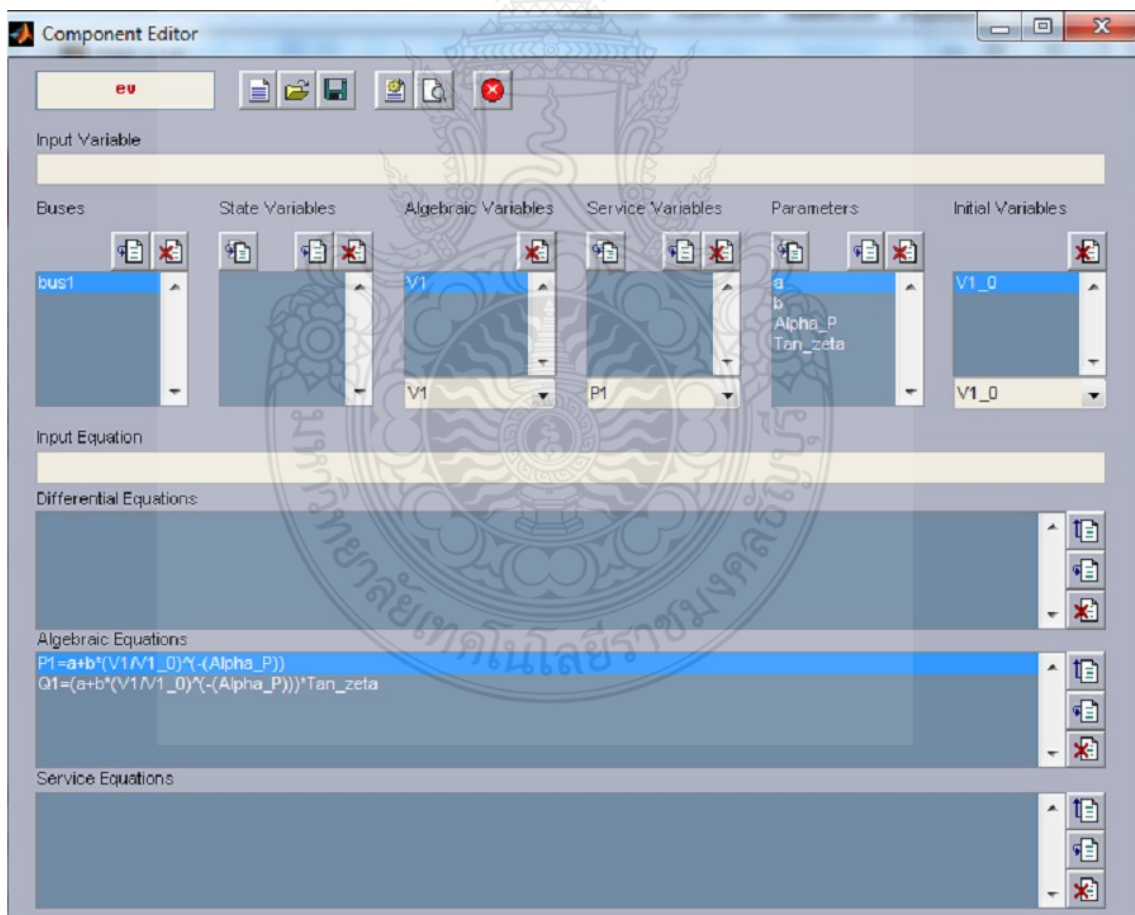
ขั้นตอนที่ 2 ในหน้าต่าง Command Editor ในช่อง Input Variable ในรูปที่ 3.3 ให้ทำการเพิ่มค่าตัวแปรที่ต้องนำมาใช้ประกอบการสร้างโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนั้นดังตารางที่ 3.3 ซึ่งสมการที่ต้องสร้างเพื่อเป็นตัวแทนโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.17) และ (2.18) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 ในหน้าต่าง Command Editor ในช่อง Algebraic Equations ให้ทำการสร้างสมการโหลดยานยนต์ไฟฟ้าตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 จากตัวแปรที่กำหนดในตารางที่ 3.3 (ในขณะที่ตัวแปร  $P_0$  นั้นจะทำการเขียนสคริปต์แทรกในฟังก์ชันย่อยภายในของโปรแกรม PSAT)

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างสมการโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

ชื่อตัวแปร	ตัวแปร(Parameter)
โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant power)	b
โหลดเอ็กโพเนนเชียล	a
ค่ายกกำลัง( $\alpha$ )	Alpha_P
ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ $\theta$	Tan_Zeta
$V$ (ตัวแปร Algebraic variable)	$V_1$
$V_0$ (Initial parameter/Nominal Voltage)	$V_{1\_0}$

ขั้นตอนที่ 4 หลังทำการสร้างโมเดลตามสมการให้ทำการบันทึกและทำการติดตั้งในหน้าต่าง UDMs และเข้าไปแก้ไขสคริปต์แทรกตัวแปร  $P_0$  ในสมการของโปรแกรม PSAT



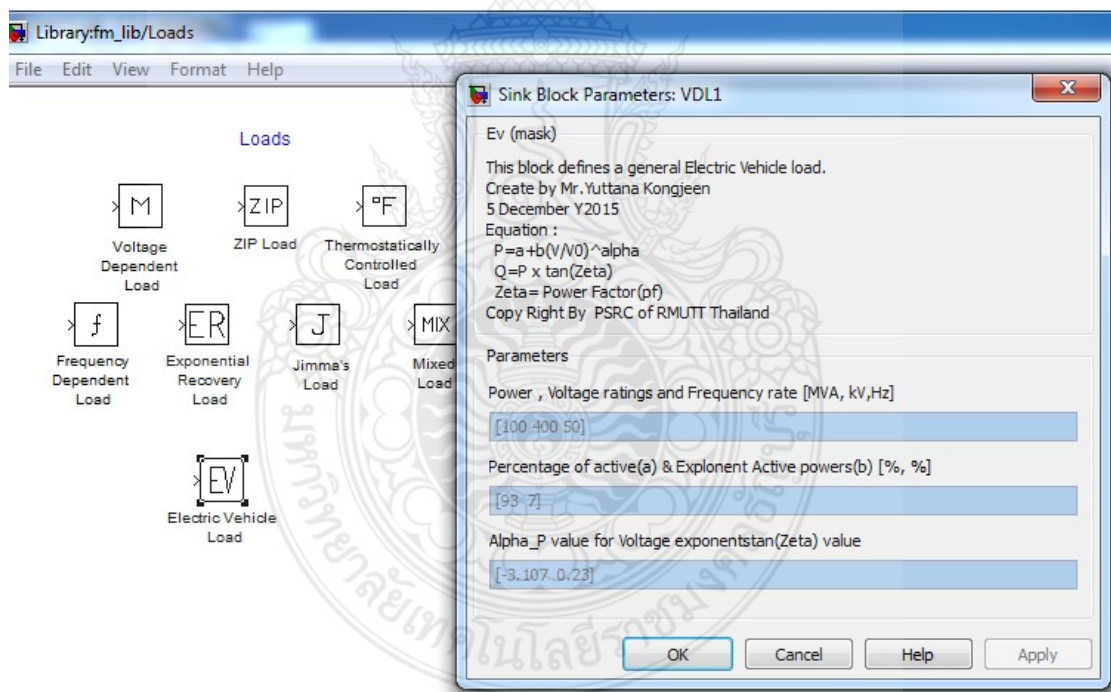
รูปที่ 3.3 หน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้งานกำหนดค่าพารามิเตอร์ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า



ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้าง GUI ในหน้าต่างการรับค่าจากการป้อนของผู้ใช้งานและสร้างโมดูลรูปสัญลักษณ์ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้ารูป EV ในหน้าต่าง Library\_lib/loads ที่โปรแกรม PSAT

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดสอบในเบื้องต้น เช่น การติดตั้ง ทดสอบการรัน โดยต้องไม่เกิดการแจ้งเตือนข้อผิดพลาดต่างๆ หากพบให้เข้าไปในสคริปต์และทำการแก้ไข

ขั้นตอนที่ 7 ทำการออกแบบวงจรระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 14 บัส ด้วยโปรแกรม PSAT และทำการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่สร้างในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 โดยทำการติดตั้งผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 100 MVA ที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 13.8 kV ลงมาที่ระดับแรงดัน 416 V ซึ่งติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่บัส 15 ทำการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุมอเตอร์ที่มีขนาด 5 MVA, 10 MVA, 20 MVA, 30 MVA, 40 MVA, 50 MVA และ 79 MVA ตามลำดับ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่นำเสนอใน [39] สำหรับการทดสอบในทุกกรณี



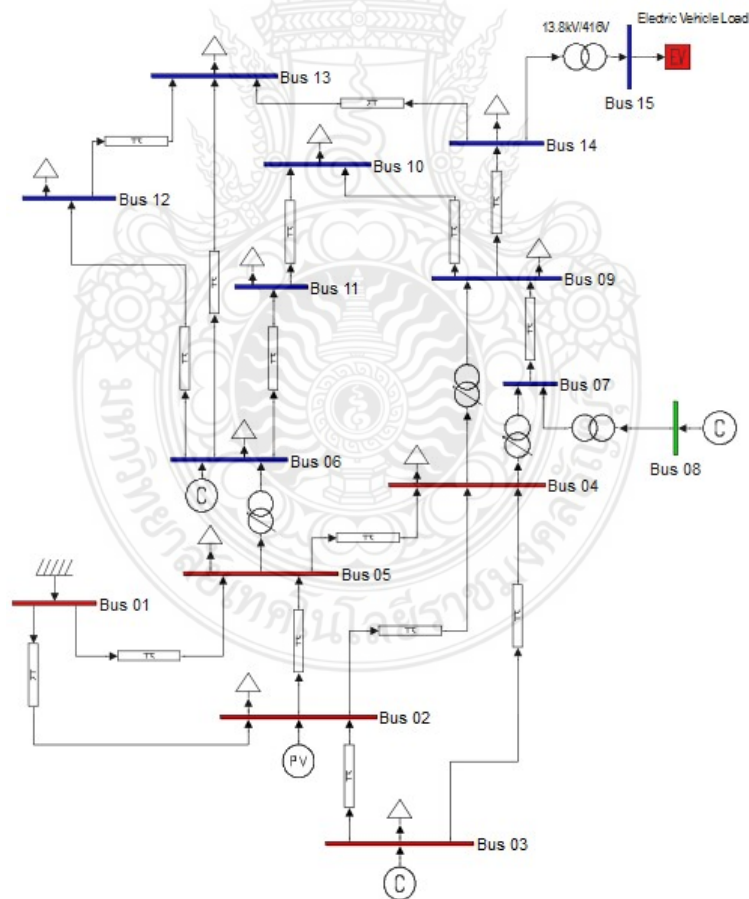
### รูปที่ 3.4 โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่หน้าต่าง GUI ใน Simulink ของโปรแกรม PSAT

ขั้นตอนที่ 8 ทำการวิเคราะห์รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส ในกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการทดสอบ ทำการเปรียบเทียบกรณีฐานของระบบทดสอบ 14 บัส

ขั้นตอนที่ 9 ทำการวิเคราะห์ PV curves จากรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการทดสอบ เพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพในสภาวะคงตัวในจุดการทำงานต่างๆของการเพิ่มขึ้นของโหลดจนยุติ ณ จุดแรงดันพังทลาย (Voltage Collapses) โดยการเปรียบเทียบกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบกำลังไฟฟ้าคงที่

ขั้นตอนที่ 10 ทำการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (Load Voltage Deviation) ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามการทดสอบ

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วนของผลการทดลองตามกรณีศึกษาที่ 2 นั้น จะทำการแสดงผลการศึกษาและเปรียบเทียบกรณีศึกษาของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุนเร็วจากการพัฒนารูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอด้วยโปรแกรม PSAT ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่จำลองสถานการณ์ขึ้น



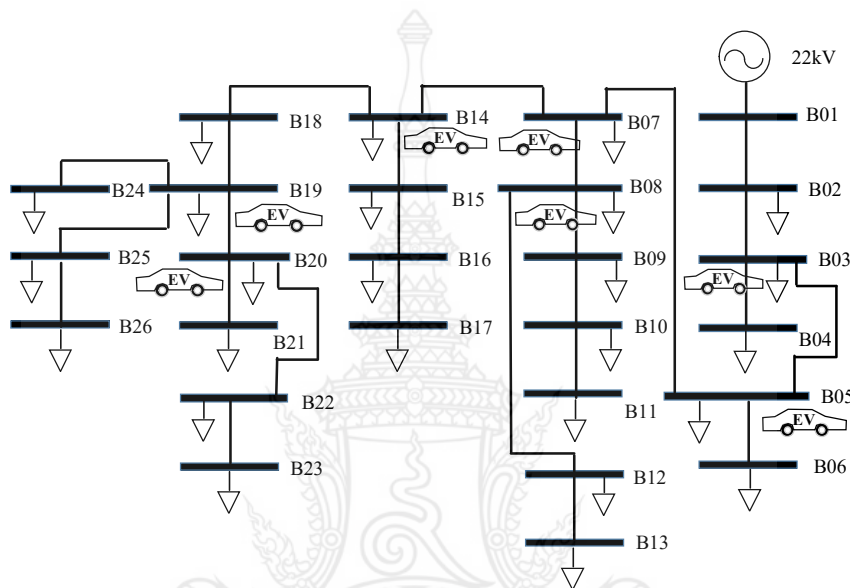
รูปที่ 3.5 ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE14 บัส กรณีติดตั้ง โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัสที่ 14

### 3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อมีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

ปัญหาการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะพบว่าในกรณีที่โหลดของระบบไฟฟ้ามีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวนำของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำของระบบก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมภายในสายตัวนำด้วยความต้านทานที่มีอยู่ภายในของสายตัวนำทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ โดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้พลังงานของโหลด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเกิดมีแนวความคิดในการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การขนานสายส่งไฟฟ้ากำลัง หรือเพิ่มขนาดสายตัวนำ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในจุดที่โหลดมีความต้องการพลังงานที่สูง การลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟด้วยการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบคงที่หรือเครื่องจักรกลเชิงโรตารี ซึ่งสามารถนำเสนอได้ใน [129-132] จากวิธีการข้างต้นที่กล่าวมานั้นวิธีการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบคงที่ถูกนำมาพิจารณาในลำดับต้นๆของการแก้ไขปัญหา ด้วยเงื่อนไขทางด้านเศรษฐศาสตร์ในหลายๆ ด้าน จึงเกิดความนิยมน้อยลงโดยส่วนใหญ่การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบคงที่ในระบบจำหน่ายมักนิยมติดแบบค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนขนาดแปรผันไปตามโหลดได้ ยกเว้นในบริเวณที่มีการแปรปรวนของโหลดจำนวนมาก จึงจะมีการติดตั้งแบบสามารถปรับขนาดได้ ในกรณีศึกษาของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจากในกรณีศึกษาที่ผ่านมา นั้นมีความแปรปรวนของพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างมากในแต่ละช่วงเวลาของในแต่ละวัน ดังนั้นในกรณีศึกษานี้จึงได้เกิดแนวความคิดในการวิเคราะห์ปัญหาการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ในขนาดและตำแหน่งของระบบไฟฟ้าอย่างไรจึงจะเกิดความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระดับ

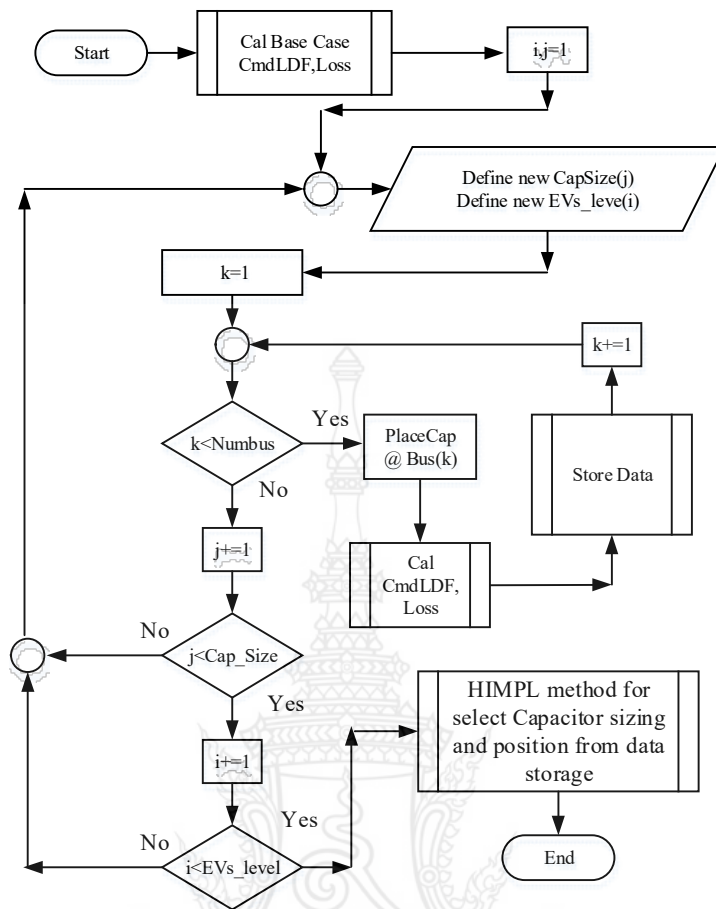
ในการวิเคราะห์ปัญหาใช้วิธีการนิวตัน-ราฟสัน (Newton Raphson) สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ โดยวิธีการเขียนสคริปต์ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory [133] ซึ่งหลักการโครงสร้างทางภาษาสามารถนำเสนอได้ใน [134] ทำการจำลองในระบบจำหน่ายขนาดเล็กของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA microgrid) 26 บัส [86] มีการส่งกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่อนะหว่างบัสจำนวน 23 สายส่ง ขนาดพิกัดของวงจรขนาด 10 MVA แรงดันไฟฟ้า 22 kV ขนาดโหลด

ติดตั้งสูงสุด 8.43 MW 5.28 MVar และมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม 11.11 kW โดยในการทดสอบนี้ได้ละเว้นไม่พิจารณาการคำนวณการสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ทำการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุน้ำจำนวน 7 สถานีโดยใช้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอใน [48] เมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้าทำการประจุโดยมีขนาดดังนำเสนอใน [135] โดยพิจารณาติดตั้งที่จุดต่อแยกของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นหลักสามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 3.6 ดังนี้



รูปที่ 3.6 ระบบทดสอบ 26 บัส กรณีติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสถานีประจุน้ำจำนวน 7 สถานี [136]

กำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำหนดให้เป็นวงจรโหลดสมดุล 3 เฟสทำการออกแบบโปรแกรมด้วยการเขียน DPL สคริปต์ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการนิวตันราฟสันและการวนซ้ำเพื่อหาขนาดและตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสม ด้วยการพัฒนาวิธีการเลือกขนาดและตำแหน่งของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ เป็นวิธีการที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ (Novel method) โดยใช้วิธีการดัชนีความนิยมนៃกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่น้อยที่สุด (Hit Index Minimize Power Loss, HIMPL) โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นขนาดและตำแหน่งเป็น 2 ฟังก์ชัน ในส่วนแรกในการหาตำแหน่งใช้หลักการของการแบ่งค่าน้ำหนักของตำแหน่งที่ดีที่สุดและดีที่สุด เพื่อนำมาใช้ประเมินตำแหน่งที่เหมาะสม ในขณะที่ส่วนที่สองในการหาขนาดนั้นใช้หลักการดัชนีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับการกำหนดขนาดของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ โดยสามารถนำเสนอรายละเอียดได้ใน [136] ซึ่งสามารถนำเสนอขั้นตอนตามวิธีการที่นำเสนอด้วยรูปที่ 3.7 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการหาขนาดและตำแหน่งของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 1 ทำการออกแบบระบบไฟฟ้าทดสอบ 26 บัส ในหน้าต่างโปรแกรม DIgSILENT ทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของวงจรทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเขียนสคริปต์ DPL ในการรันโหลดไฟว์และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับกรณีฐาน

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าเริ่มต้นของสแต็บของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ( $j$ ) และระดับการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ( $i$ ) มีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีขนาดเพิ่ม จาก 5 % ถึง 120 % โดยค่าขนาดเริ่มต้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละบัสจะมีค่าเท่ากับ โหลดที่ติดตั้งของบัสนั้นๆ ในขณะที่ขนาดของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่เริ่มต้นที่ 4,500 kVar

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าเริ่มต้นของจำนวนบัสเท่า  $k = 1$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบจำนวนบัส (*Numbus*) มีค่ามากกว่า  $k$  ถ้าเป็นจริงให้ดำเนินการ

ในขั้นตอนที่ 7 หากเป็นเท็จให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 12

ขั้นตอนที่ 7 ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุที่บัส  $k$

ขั้นตอนที่ 8 ทำการรันโหลดโพลีและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ขั้นตอนที่ 9 ทำการจัดเก็บข้อมูลไว้ในตัวแปรเมทริกซ์

ขั้นตอนที่ 11 ทำการเพิ่มค่าเริ่มต้นของจำนวนบัสเท่า  $k+1$  และกลับไปขั้นตอน 6 ในรูปของการติดตั้งในแต่ละบัสจนครบจำนวน

ขั้นตอนที่ 12 ทำการเพิ่มค่าเริ่มต้นของดัชนีขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคง  $j+1$

ขั้นตอนที่ 13 ทำการตรวจสอบจำนวนดัชนีของขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคง  $j < Cap\_size$  ถ้าเป็นจริงให้ข้ามไปที่ขั้นตอนที่ 14 หากเป็นเท็จให้กลับไปขั้นตอนที่ 4 ทำการดึงค่าดัชนีของขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงขนาดถัดไป

ขั้นตอนที่ 14 ทำการเพิ่มค่าดัชนีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นไปอีกสลับ  $i+1$

ขั้นตอนที่ 15 ตรวจสอบค่าดัชนีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในรอบที่คำนวณนั้นเกินค่าที่กำหนดหรือไม่  $i < EVs\_Level$  หากเป็นเท็จให้กลับไปขั้นตอนที่ 4 ทำการดึงค่าดัชนีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าชุดใหม่ และในกรณีหากเป็นจริงให้ทำการเลือกขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงจากชุดข้อมูลที่เก็บในเมทริกซ์

ขั้นตอนที่ 16 ทำการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงและตำแหน่งที่เหมาะสมโดยใช้สมการที่ (5) และ (6) ที่นำเสนอใน [136]

ขั้นตอนที่ 17 สิ้นสุดการคำนวณ

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วนของผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3 โดยที่ผลทดสอบในเบื้องต้นจากการคิดค้นเทคนิควิธีการเลือกขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงนั้น ได้เปิดเผยหลักการและวิธีการในงานภาคสนามที่สามารถประยุกต์ใช้ในหลักการดังกล่าวต่อกรณีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในการปรับปรุงและวางแผนออกแบบระบบไฟฟ้าได้

### 3.5 กรณีศึกษาที่ 4 การกำหนดตำแหน่งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันด้วยวิธีการ PSO

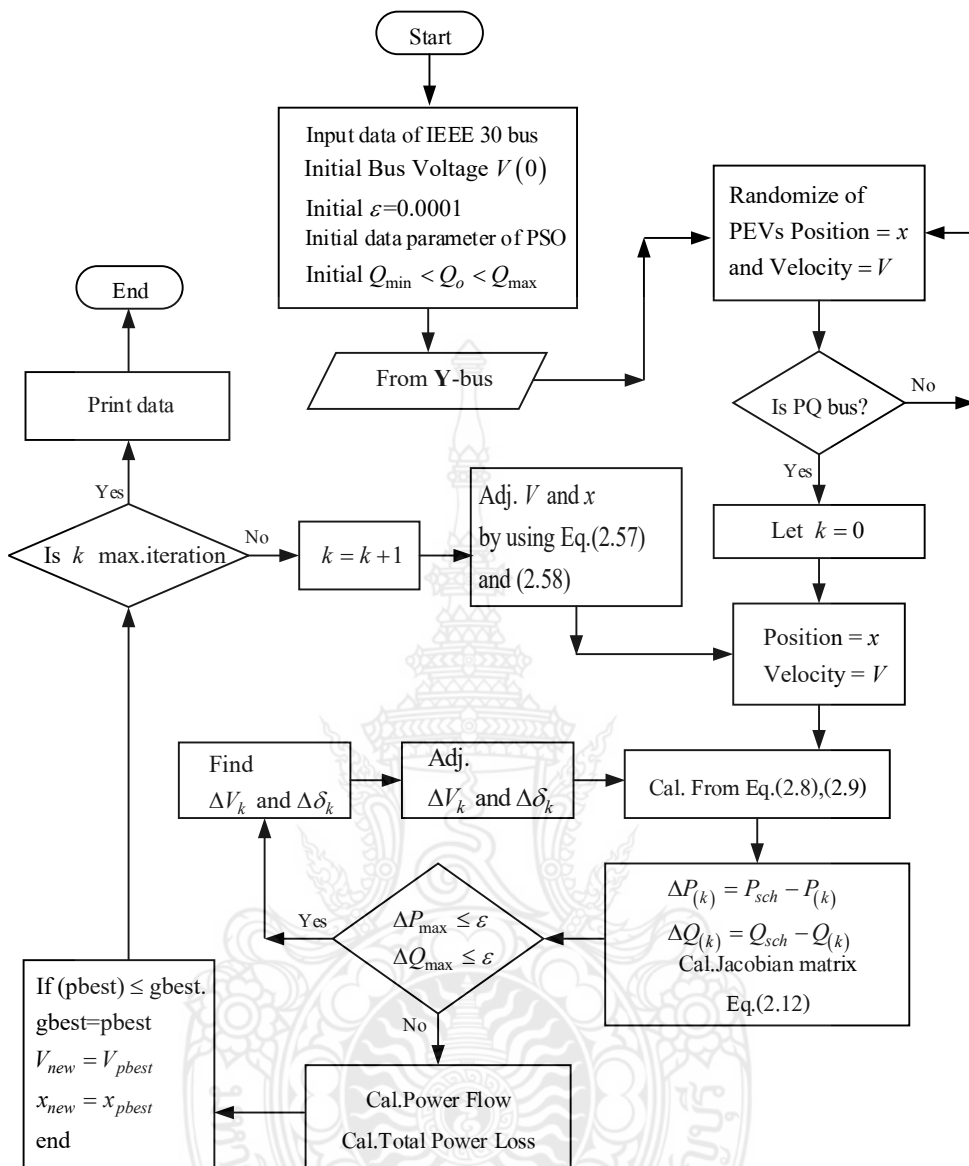
การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเนื่องจากในขณะที่ทำการประจุนแบตเตอรี่ ที่ขนาดของเครื่องประจุและในโหมดต่าง ๆ นั้นจะทำให้ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากกริดไปยังชุดแบตเตอรี่ผ่านเครื่องชาร์จประจุหรือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า กระแสกลับเป็นกระแสตรงในลักษณะการเชื่อมต่อและใช้พลังงานจากกริด (Grid to Vehicle , G2V) [137] ด้วยปัญหาการประจุนแบตเตอรี่ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและเวลาเดียวกันทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบที่ในงานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำเสนอนั้นเช่น เกิดการเพิ่มความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในบางช่วงเวลา ภาระของระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้ากำลังสูงขึ้น [138] ซึ่งมีความพยายามในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในหลายวิธีการ ดังนำเสนอใน [139-142] จึงได้เกิดแนวความคิดในศึกษาการใช้ประโยชน์จากแหล่งสะสมพลังงานแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าในการลดปัญหาความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยการฉีดกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟกลับคืนสู่กริด (Reverse Active Power, RAP) ในบางช่วงเวลาหรือการจ่ายกำลังไฟฟ้าย้อนกลับจากยานยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่กริด (Vehicle to Grid, V2G) [142] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Time) ถึงแม้ว่าหากพิจารณาในแง่ของด้านเศรษฐศาสตร์จะถูกต่อต้านจากผู้ใช้นานยนต์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุผลด้านอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่สั้นลงและทำให้ค่าเสื่อมของอุปกรณ์สั้นลง ด้วยเทคโนโลยีแบตเตอรี่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ปัจจุบันมีรอบการทำงานมากกว่า 10,000 หรือสามารถใช้งานได้มากกว่า 50 ปีโดยที่ประสิทธิภาพลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น [143, 144] ซึ่งในอนาคตสามารถตัดปัญหาในเรื่องนี้ออกไปได้ แต่ที่สำคัญนั้นเพราะค่าใช้จ่ายในขณะที่ประจุนแบตเตอรี่ และ ในขณะที่ RAP นั้นไม่แตกต่างกันมาก ต้องมีการสนับสนุนหรือเพิ่มแรงจูงใจในด้านต่างๆ (Incentive Cost) เพิ่มมากขึ้นจากทางภาครัฐ ซึ่งในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าในหลายๆรุ่นจะมีวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทาง (Bi-Directional Converter) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในโหมด G2V และ V2G เช่นในนิสสัน รุ่น LEAF และรุ่น e-NV200 ซึ่งได้ทำการทดสอบจ่ายพลังงานกลับเข้า

ผู้กริดจำนวน 100 คัน ณ กรุงเทพมหานคร ประเทศอังกฤษ ในเดือน พฤษภาคม ปี 2016 [145] ซึ่งประสบผลสำเร็จในการทดสอบอย่างดียิ่งเป็นต้น

ในกรณีศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ในโหมดการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาการจ่ายกำลังไฟฟ้าในสถานะ V2G เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าและลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบโดยใช้รูปแบบโพลคอนยนต์ไฟฟ้าแบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Converter, VSC) [37] โดยการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าแอกทีฟย้อนกลับไปยังกริด ด้วยการควบคุมขนาดของแรงดันและมุมของแรงดัน จำลองเสมือนว่าเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ PV บัส ทำการทดสอบในสถานะคงตัวด้วยการวิเคราะห์ระบบในสถานะสมดุลย์ ด้วยระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ด้วยการพิจารณาเป็นกลุ่มของยานยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งที่สถานีประจุนขนาดใหญ่ ใช้วิธีการ PSO ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีประจุน โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบต่ำสุด ดังสามารถนำเสนอรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน [69] ซึ่งสามารถนำเสนอขั้นตอนการดำเนินงานและการวิเคราะห์ปัญหาได้ดังรูปที่ 3.8 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการรับข้อมูลของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสาขา ข้อมูลบัส ขอบเขตของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟและขอบเขตของแรงดันไฟฟ้า และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO ดังนี้ ทำการกำหนดรอบในการทดสอบที่จำนวน 10 รอบค้นหา โดยในส่วนของจำนวนรอบสูงสุดในการค้นหาค่าหนดที่  $k = 50$  ค่าพารามิเตอร์  $w = 0.4 - 0.9, c_1 = 2, c_2 = 2$  ตำแหน่งของสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตระหว่าง  $2 < PEVs_{Position} < 30$  โดยสมมุติให้มีจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับกริดที่สถานีประจุนจำนวน 300 คัน โดยมีกำลังไฟฟ้าแอกทีฟสำหรับการป้อนกลับในโหมดการทำงาน V2G ขนาด  $PEVs_{fleet} = 5.04$  MW โดยกำหนดให้มีค่าอิมพีแดนซ์ของสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ที่  $Z_{VSCfleet} = 0.438$  p.u. และทำการกำหนดค่าฟังก์ชันเป้าหมายตามที่นำเสนอใน [69, 146]





รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการหาตำแหน่งติดตั้งสถานีประจุเร็วที่เหมาะสมในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ด้วยวิธีการ PSO

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้างแอดมิตแตนซ์เมตริกหรือ Y บัสของระบบเพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นของกลุ่มอนุภาค ตำแหน่ง ( $x$ ) และความเร็ว ( $v$ ) ของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาค

ขั้นตอนที่ 4 ทำการตรวจสอบตำแหน่งที่สุ่มได้ขั้นตอนที่ 3 เป็น PQ บัสใช่หรือไม่ หากเป็นจริงข้ามไปที่ขั้นตอนที่ 5 หากเป็นเท็จให้กลับไปสุ่มตำแหน่งใหม่ในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งค่ารอบตัวนับ  $k = 0$

ขั้นตอนที่ 6 ทำการนำค่าจากขั้นตอนที่ 4 มาใช้ประกอบการระบุตำแหน่งการติดตั้งสถานีประจุมในระบบไฟฟ้ากำลัง

ขั้นตอนที่ 7 ทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟจากสมการที่ (2.8) ถึง (2.11) ด้วยวิธีการปรับปรุงนิวตัน-ราฟสัน

ขั้นตอนที่ 8 ทำการคำนวณ Jacobian matrix ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าในระบบไฟฟ้ากำลังจากสมการที่ (2.12)

ขั้นตอนที่ 9 ทำการตรวจสอบค่าความผิดพลาดการคำนวณยังอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้ หากเป็นจริงให้ไปที่ขั้นตอนที่ 11 หากเป็นเท็จให้ไปที่ขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 10 ทำการปรับขนาดและมุมของแรงดัน จากนั้นกลับไปคำนวณในขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 11 ทำการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าและคำนวณหาค่าฟังก์ชันเป้าหมายคือกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจากสมการที่ (2.49)

ขั้นตอนที่ 12 ทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของค่าฟังก์ชันเป้าหมาย ทั้งในความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาคไว้ในตัวแปร  $g_{best}$

ขั้นตอนที่ 13 ทำการตรวจสอบรอบการคำนวณถึงกับค่าที่ตั้งไว้หรือไม่ หากเป็นจริงให้ไปที่ขั้นตอนที่ 16

ขั้นตอนที่ 14 ทำการเพิ่มค่ารอบการคำนวณ  $k = k + 1$

ขั้นตอนที่ 15 ทำการปรับตำแหน่งและความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาคใหม่จากสมการที่ (2.57) ถึง (2.59) พร้อมกำหนดเงื่อนไขต้องเป็น PQ บัส และกลับไปขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 16 ทำการแสดงผลของฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุดและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 17 สิ้นสุดการคำนวณ

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทความต่อไปในส่วนของผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 4 ซึ่งสามารถนำเสนอผลการจากกรณีศึกษาที่พิจารณาจำลอง โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในโหมด V2G เพื่อใช้เพิ่มความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ และลดผลกระทบจากการดึงหรือใช้พลังงานจากกริดในโหมด G2V ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

### 3.6 กรณีศึกษาที่ 5 การประมาณการจำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้งและความหนาแน่นของจำนวนประชากร

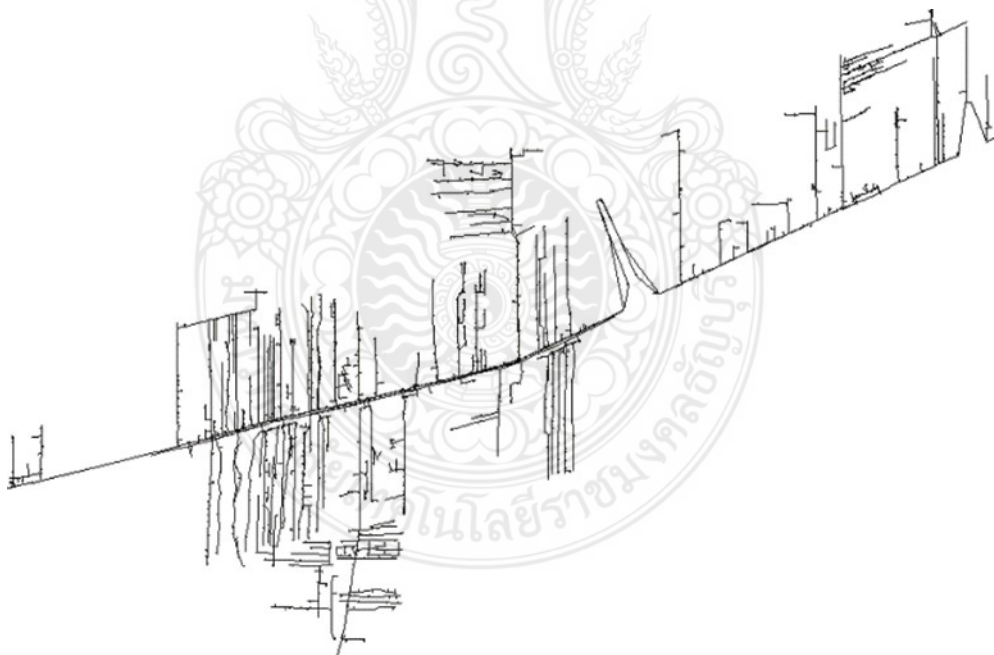
การเพิ่มขึ้นของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นส่งผลกระทบต่อการจัดเตรียมระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าทั้งในทั้ง 3 หน่วยงานไม่ว่าจะเป็นการไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการรายงานการศึกษาด้านโครงสร้างพื้นฐานใน [147] ได้สรุปข้อมูลจากการศึกษาระบบประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทดสอบนั้นระบบของการไฟฟ้ายังสามารถรองรับได้และด้านการรองรับการขยายตัวของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าในขนาดที่พอเหมาะได้ถึงแม้จะมีปัญหาในคุณภาพไฟฟ้าบ้างก็สามารถที่จะใช้วิธีการแบบดั้งเดิมในการแก้ไขปัญหาได้ ซึ่งในรายงานดังกล่าวยังไม่ได้ไม่ได้พิจารณาในขนาดหรือปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสม [148] การออกแบบระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหมาะสม การออกแบบระบบประจุแบบประสานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [149] เพื่อรองรับการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ด้วยการขยายตัวนั้น มีตัวแปรและองค์ประกอบหลายอย่างที่มีความแปรปรวนอย่างมากต่อการวางแผนงานในการออกแบบและวางแผนในการขยายระบบไฟฟ้า [46] ซึ่งอาจก่อให้เกิดเริ่มค่อยๆพบปัญหาและค่อยๆแก้ไขในภายหลัง ด้วยศักยภาพของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันที่มีการเผื่อขนาดพิกัดไว้พอสมควร และอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละรายบ้าง ซึ่งอาจทำให้ระบบขาดความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพของระบบลดลงหากไม่ได้รับการวางแผนล่วงหน้า ในปัจจุบันประเทศไทยนั้นมีโครงการก่อสร้างสถานีประจุในหลายๆโครงการโดยการสนับสนุนจากทางภาครัฐดังจะเห็นได้จากโครงการใน [150, 151] ซึ่งอยู่ภายใต้พื้นฐานภาคสมัครใจและโดยที่ผู้เข้าร่วมโครงการก็ต้องมีแหล่งเงินทุนอีกส่วนที่จะนำมาสมทบกันเป็นต้น ด้วยการส่งเสริมดังกล่าวนี้จากข้อมูลสรุปโครงการในปี 2562 จะมีสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจำนวน 150 สถานี ณ สิ้นปี 2561 [152] ในการศึกษาการประมาณการสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้งและความหนาแน่นของจำนวนประชากร

นั้นอาศัยข้อมูลของขนาดพื้นที่ จำนวนประชากร ความแน่นของประชากร สัดส่วนของประชากรที่มี  
 รถยนต์ส่วนบุคคลต่อจำนวนประชากรในพื้นที่ และคุณลักษณะของชุดประจุโดยใช้รูปแบบโหลด  
 ยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนามหรือ ZIP [48] ที่ตั้งสมมุติฐานการประจุในเวลาตลอดทั้งวันที่ 24 ชั่วโมง  
 ในการจำลองหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ ในกรณีสู่การติดตั้งสถานี ที่สถานีชัยบุรีที่วางจ  
 ปร็อนที่ 1 (Feeder 1) ดังนำเสนอใน [153-155] และสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการรับข้อมูลของระบบทดสอบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอชัยบุรี จังหวัด  
 ปทุมธานี ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสาขา ข้อมูลบัส และ โหลดของระบบด้วยโปรแกรม DIGSILENT  
 ดังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาค่าการประมาณการสัดส่วนของประชากรที่มีรถยนต์ส่วน  
 บุคคลต่อจำนวนประชากรในพื้นที่  $VO$  จากสมการที่ (3.1) ที่นำเสนอใน [155] ดังนี้

$$\ln\left(\frac{VO}{0.812-VO}\right) = 1.3558 \ln GDPpCap - 18.1253 \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.9 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สายส่งไฟฟ้ากำลัง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสถานีชัยบุรี ขนาดพิกัด  
 รวม 90 MVA

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณหาค่าการประมาณการ ของจำนวนสถานีประจุนเร็ว (*nfstation*) จากสมการที่ (3.2) ที่นำเสนอใน [155] ดังนี้

$$nfstation \geq \frac{A \times pdensity \times pBEV}{sh \times ncp \times nst} \quad (3.2)$$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคำนวณหาค่าการประมาณจำนวนสถานีประจุนเร็ว ด้วยสมมุติฐานใน 2 เงื่อนไขคือ เงื่อนไขแรกมีการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นจำนวนประชากรจาก 1-6 เปอร์เซนต์ เงื่อนไขที่สองทำการวิเคราะห์ในเงื่อนไขสัดส่วนของประชากรที่มีรถยนต์ส่วนบุคคลต่อจำนวนประชากรในพื้นที่โดยพิจารณาจาก 0.01-0.8 เปอร์เซนต์

ขั้นตอนที่ 5 นำจำนวนสถานีที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 4 มาทำการติดตั้งโดยการสุ่มติดตั้งในระบบไฟฟ้ากำลังของสถานีวิทยุรีทึงจรป้อน 1 โดยที่สถานีมีขนาด 2,000 kW ที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.85 จากสมมุติฐานขนาดหัวประจุนเร็วขนาด 250 kW ติดตั้งจำนวน 4 หัวที่สถานีประจุน เมื่อกำหนดค่าความถี่หรือค่าปลอดภัยที่ 125 เปอร์เซนต์ ทำให้ได้ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่พิกัดประมาณ 2,500 kVA ในการติดตั้งในแต่ละสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถนำเสนอได้ใน [153]

ขั้นตอนที่ 6 ทำการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจากสมการที่ (2.26) จากการพิจารณาโดยทำการสุ่มติดตั้งสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในวงจรป้อนที่ 1

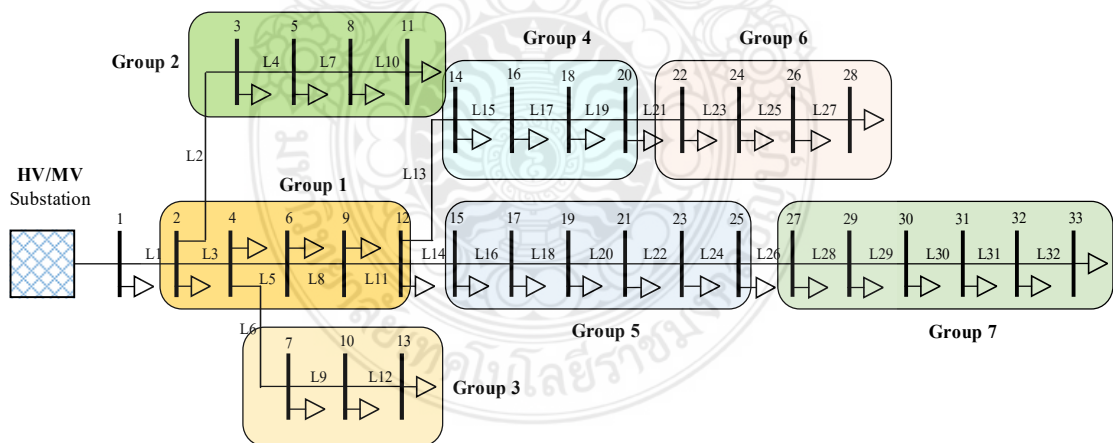
ขั้นตอนที่ 7 สิ้นสุดการวิเคราะห์การประมาณการสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วนของผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งสามารถนำเสนอผลการศึกษาโดยทำการแยกผลการประมาณจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และผลการทดสอบติดตั้งสถานีประจุนเร็วกับระบบทดสอบจริงที่ระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าวิทยุรีทึงจร ตามลำดับ

### 3.7 กรณีศึกษาที่ 6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC

ปัจจุบันกระแสนิยมแหล่งพลังงานทดแทนนั้นเพิ่มมากขึ้นด้วยเป็นแหล่งพลังงานสะอาด เพื่อต้องการลดการใช้แหล่งพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ด้วยแหล่งพลังงานทดแทนในปัจจุบัน จากการการนำเสนอใน [156] ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งพลังงานทดแทนจำพวกชีวมวล(Biomass) พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เนื่องจาก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดด้วยช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวเริ่มมีราคาถูกลง [157] และมีมากมาย หลากหลายเทคโนโลยี [158] สามารถที่จะมีระยะเวลาทำกำไรที่ยาวขึ้น จุดคุ้มทุนสั้นลง ทำให้ใน หลายๆประเทศมีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น จนเกิดปัญหาในด้านความ ต้องการไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนช่วงเวลาไปจากในอดีต และพยายามส่งเสริมเทคโนโลยีการจัดเก็บ พลังงานสะสม (Energy Storage System, ESS) เพื่อนำมาเก็บพลังงานในช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ผลิตได้เกินความจำเป็นหรือจัดเก็บพลังงานในช่วง Off Peak เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยเองช่วงเวลา Peak ได้มีการเปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบันช่วง Peak จะอยู่ในช่วงหัวค่ำ จนถึงประมาณ 23.00 น.บางส่วนมาจากพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าและผลบางส่วนมาจากโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ทำให้เกิดลักษณะความต้องการพลังงานเป็นแบบกราฟเป็ด (Duck Chart) [159] ยกตัวอย่าง ในวันที่ 23 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 19.40 น. เกิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 26,201.30 MW [160] ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองที่มีอยู่ขึ้นมาเพื่อเลี้ยง ระบบโดยตลอดเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบต่อการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง จากสถานะการณ์ ดังกล่าวในกรณีที่มีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบด้วยพฤติกรรมของการขับขี่มีโอกาสที่ เป็นไปได้อย่างสูงที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าจะไปเพิ่มภาระให้กับระบบไฟฟ้าในช่วงดังกล่าว [161]หาก ไม่มีการบริหารจัดการที่เหมาะสมอย่างเพียงพอในอนาคตอันใกล้นี้ สำหรับประเทศไทยจากการ คาดการณ์จำนวนยานยนต์ไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้นอย่างแน่นอนในอนาคต

ในกรณีศึกษานี้นำเสนอหลักการการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC เป็นวิธีการประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์กับการติดตั้งของกลุ่มสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าที่มีรูปแบบที่นำเสนอใน [41] เพื่อต้องการลดผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้าโดยสมมติให้มีการประจุนานยนต์ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่สถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้และใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ในช่วงดังกล่าว โดยทำการติดตั้งสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าจำนวน 7 สถานี และสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 1 สถานี ทำการทดสอบในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม ABC ทำการวิเคราะห์โหลดภายใต้สภาวะคงตัวพิจารณาเป็นโหลดสมดุล ทำการวิเคราะห์ด้วยการปรับปรุงวิธีการกระแสนอนกลับและแรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้า (Modify Backward-Forward Sweep method, MBFS) [162] โดยมีค่าฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่โหลดต่ำสุด (Load Voltage Deviation, LVD) โดยในรายละเอียดสามารถนำเสนอได้ใน [163] ในขณะที่ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส สำหรับใช้ในกรณีสามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 3.10 และขั้นตอนและวิธีการดำเนินการสามารถนำเสนอได้ในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.10 ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส และการแบ่งกลุ่มของตำแหน่งของสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าจำนวน 7 สถานี [163]

ขั้นตอนที่ 1 ทำการรับข้อมูลของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลสายส่งกำลังไฟฟ้า ขอมูลบัส และข้อมูลของโหลด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการกำหนดขอบเขตของสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากตารางที่ 3.4

ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของวิธีการ ABC ดังนี้ ขนาดของจำนวนฝูง (ฝูงงานและฝูงสำรวจ) เท่ากับ 200 ตัว ขนาดของแหล่งอาหารมีค่าเท่ากับ 100 แหล่ง (มีขนาดครึ่งหนึ่งของจำนวนฝูงงานและฝูงสำรวจ) จำนวนตัวแปรเท่ากับ 16 ตัวแปร ( $x$ ) (ซึ่งประกอบไปด้วยตำแหน่งและขนาดของสถานีประจุเร็วมีค่าเท่ากับ 14 และ ขนาดและตำแหน่งของสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 2 โดยสามารถนำเสนอหลักการแบ่งตัวแปรได้ในรูปที่ 2 ที่นำเสนอใน [163]) จำนวนรอบสูงสุดในการค้นหาเท่ากับ 1,000 รอบ (*iteration*) และค่าความผิดพลาด  $\epsilon = 0.0001$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการตรวจสอบจำนวนรอบ ( $i \leq 1,000$  และ  $(\epsilon) \geq$  ค่าของคำตอบมากกว่าที่กำหนด หากเป็นจริงให้ข้ามไปที่ขั้นตอนที่ 10 และหากเป็นเท็จให้ไปที่ขั้นตอนที่ 5

**ตารางที่ 3.4** ขอบเขตตัวแปรที่เป็นไปได้ของตำแหน่งการติดตั้งและขนาดของสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 7 กลุ่มและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [163]

ลำดับ/กลุ่ม	ตำแหน่งที่ติดตั้ง (Bus No.)	ขอบเขตของขนาด (kW)	
		Min	Max
EVs			
1	2,4,6,9,12	50	500
2	3,5,8,11	50	500
3	7,10,13	50	500
4	14,16,18,20	50	500
5	22,24,26,28	50	500
6	15,17,19,21,23,25	50	500
7	27,29,30,31,32,33	50	500
PV	2-33	100	2000



ขั้นตอนที่ 5 ทำการสุ่มค่าของตัวแปร ( $x$ ) จากขอบเขตที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 6 ทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่โหลดต่ำสุดด้วยสมการที่ (2.27) จากการประยุกต์ใช้วิธีการกระแสนอนกลับและแรงดันไปข้างหน้า (Backward-forward sweep method)

ขั้นตอนที่ 7 ทำการเลือกแหล่งอาหารของฝูงผึ้งจากพื้นฐานความน่าจะเป็นของแหล่งอาหารของผึ้งที่ดีต่อแหล่งอาหารของผึ้งทั้งหมด ซึ่งสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.61)

ขั้นตอนที่ 8 ทำการปรับค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของกลุ่มผึ้งในฝูงจากการสุ่มของขอบเขตจากตำแหน่งเดิมซึ่งสามารถนำเสนอได้ดังสมการที่ (2.60) และ (2.61)

ขั้นตอนที่ 9 ทำการเพิ่มค่าตัวนับรอบ  $i = i + 1$  กลับไปที่ขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 10 ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมในระบบไฟฟ้ากำลังจากสมการที่ (2.49) และ (2.50)

ขั้นตอนที่ 11 ทำการแสดงผลลัพธ์ของการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมและรูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส

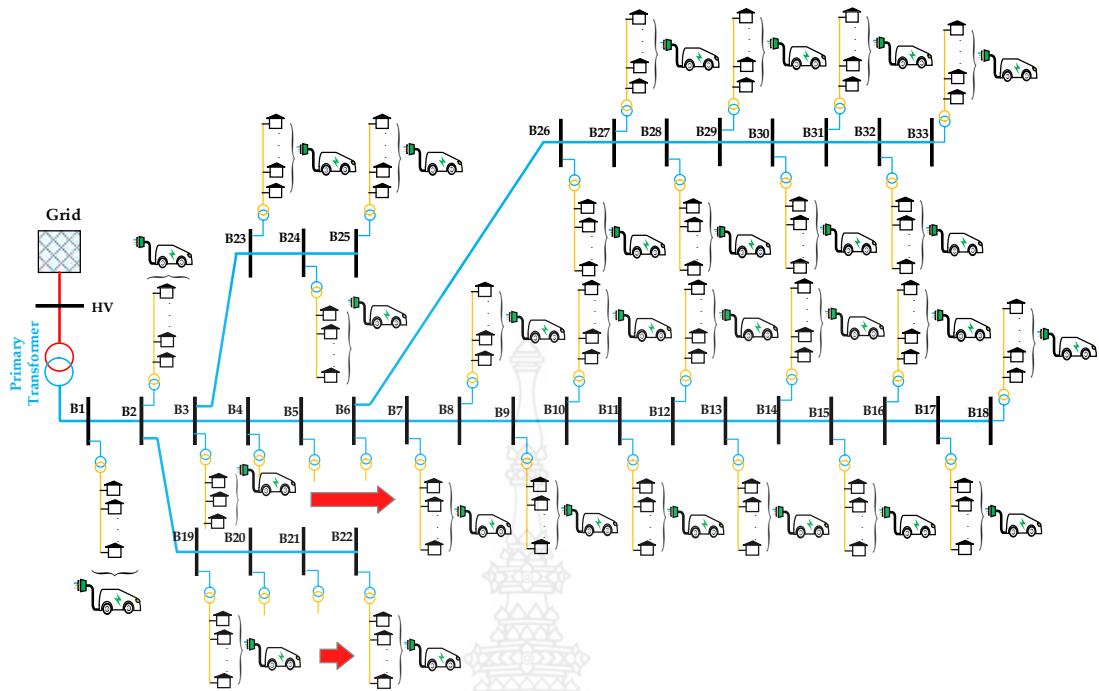
ขั้นตอนที่ 12 สิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วนของการทดลองกรณีศึกษาที่ 6 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในกรณีศึกษาที่นำเสนอในการกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีประจุนเร็วและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบทดสอบ ซึ่งให้เห็นจุดที่เป็นประโยชน์ในการนำสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานหลักของระบบเพื่อลดผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกริดของสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

### 3.8 กรณีศึกษาที่ 7 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า

ในขณะที่ระบบไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดหรือบริษัทไฟฟ้า [164] ด้วยระยะทางของสายส่งกำลังไฟฟ้า การควบคุมระดับแรงดัน การชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในระบบ ซึ่งส่งผลต่อ

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละตำแหน่งของระบบไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่ามาตรฐาน [82] ด้วยในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆที่มีเข้ามาติดตั้งในระบบมากขึ้นซึ่งจัดเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำพวกกระจายตัว [165] ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการและควบคุมการทำงานของระบบทั้งในด้านจ่ายกำลังไฟฟ้าและในด้านผู้ใช้ให้เกิดการประสานกันเพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังเกิดความมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น [166] ในขณะที่มีการประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสถานีประจุนเร็วจะมีการใช้พลังงานจากกริดในปริมาณที่มากเพื่อให้ใช้ระยะเวลาในการประจุนที่สั้นลงแต่แปรผันกับพลังงานที่ต้องใช้ในการประจุนจำนวนมากส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าและความมีเสถียรภาพของระบบ [167, 168] มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นผลของการประจุนเร็วมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากเช่น ที่นำเสนอใน [169, 170] แต่ด้วยพฤติกรรมการประจุนของผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าสามารถตั้งสมมติฐาน โดยแบ่งสถานที่ประจุนหลักๆออกได้เป็น 3 สถานที่ คือ สถานที่ทำงาน ที่พักอาศัย และสถานีประจุนเร็วตั้งอยู่ระหว่างที่พักอาศัยและที่ทำงาน โดยในกรณีสองสถานที่แรกนั้นหากไม่มีความจำเป็นในกรณีเร่งด่วนก็สามารถทำการประจุนในโหมด 1 หรือ 2 ก็เป็นการเหมาะสม [67] สามารถแทนรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในสภาวะคงตัวดังที่นำเสนอใน [36, 171] ซึ่งในกรณีศึกษาที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (PEVs) ที่ใช้การประจุนแบบธรรมดา (Normal Charging) หรือแบบช้า (Slow Charging) [153] ต่อระบบไฟฟ้าด้วยการเปรียบเทียบรูปแบบโหลดแบบดั้งเดิมของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Constant Impedance, Z) โหลดกระแสคงที่ (Constant Current, I) และ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power, P) โดยทำการวิเคราะห์ในสภาวะคงตัวโดยพิจารณาเป็นรูปแบบโหลดสมมูลย์สามเฟส ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับปรุงวิธีการกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าแบบเมทริกซ์ซึ่งสามารถนำเสนอได้ใน [67] ทำการเปรียบเทียบรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ [90] และแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด [136] ทำการทดสอบในระบบมาตรฐาน IEEE 33 บัสดังรูปที่ 3.11 สามารถนำเสนอลำดับขั้นตอนการศึกษาดังนี้



รูปที่ 3.11 ระบบทดสอบปฏุมภูมิ IEEE 33 บัส เมื่อมีการต่อ PEVs เข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง [67]

ขั้นตอนที่ 1 ทำการรับข้อมูลของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสายส่งกำลังไฟฟ้า กำหนดค่ารอบในการคำนวณ  $t=100$

ขั้นตอนที่ 2 ทำการกำหนดค่าแรงดันที่กำหนด ( $V_0$ ) และแรงดันเริ่มต้นในแต่ละบัส ( $V_k$ ) โดยทำการกำหนดอยู่ที่  $1\angle 0^\circ$

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสร้างสมการเมทริกซ์ **BIBC** จากข้อมูลของระบบ [89]

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสร้างสมการเมทริกซ์ **BCBV** จากข้อมูลของระบบ [89]

ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างสมการเมทริกซ์ **DLF** จากข้อมูลของระบบ [89]

ขั้นตอนที่ 6 ทำการกำหนดชนิดของโหลดด้วยค่าเลขยกกำลัง ( $j$ ) ในเทอมของโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันจำนวน 4 ชนิดซึ่งประกอบไปด้วยโหลด Z, I, P และ PEVs โดยสามารถกำหนดได้ดังนี้ (ในการอ้างอิงตัวดัชนีชี้กำลังของโหลดแต่ละประเภทสามารถทำได้โดยพิจารณาใช้ค่าจากตารางที่ 2.2) โหลดอิมพีแดนซ์คงที่  $Z \Rightarrow j=1 \Rightarrow n_{pi}=2, n_{qi}=2$  โหลดกระแสคงที่ I  $\Rightarrow j=2 \Rightarrow n_{pi}=1, n_{qi}=1$  โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ P  $\Rightarrow j=3 \Rightarrow n_{pi}=0, n_{qi}=0$  และโหลดยาน

ยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน PEVs  $\Rightarrow j = 4 \Rightarrow n_{pi} = 2.59, n_{qi} = 4.06$  โดยให้นำไปแทนในสมการของรูปแบบโหนดในแต่ละรูปแบบของระบบ [36]

ขั้นตอนที่ 7 ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวนับรอบการคำนวณที่  $t = 0$  และค่าความผิดพลาด ( $\varepsilon$ ) = 0.0001

ขั้นตอนที่ 8 ทำการเพิ่มค่าตัวนับในรอบแรก  $t = t + 1$

ขั้นตอนที่ 9 ทำการคำนวณหาค่ากระแสย้อนกลับ ( $I_k^t$ ) จากสมการที่ (2.41) ถึง (2.45) จากพื้นฐานชนิดของโหนดจากเลขชี้กำลัง โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 10 ทำการคำนวณหาผลต่างของแรงดันในแต่ละบัสโดยใช้สมการที่ (2.46) คือ

$$[\Delta V^{t+1}] = [DLF][I^t]$$

ขั้นตอนที่ 11 ทำการตรวจสอบค่าการยอมรับได้ของแรงดันไฟฟ้าใหม่ที่คำนวณได้กับแรงดันเดิมมากกว่าค่า ( $\varepsilon$ ) และจำนวนตัวนับไม่เกินกำหนด ( $\leq t$ ) หากเป็นจริงให้ไปที่ขั้นตอนที่ 8 หากเป็นเท็จให้ไปที่ขั้นตอนที่ 12

ขั้นตอนที่ 12 ทำการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส, ค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหนด (LVD), กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบโดยใช้สมการที่ (2.27) (2.49) และ (2.50) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 13 ทำการแสดงผลรูปแบบแรงดันในแต่ละบัส แสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหนด (LVD) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ

ขั้นตอนที่ 14 ทำการเพิ่มค่าตัวนับดัชนีชนิดของโหนดในระบบไฟฟ้า  $j = j + 1$

ขั้นตอนที่ 15 ทำการตรวจสอบค่า  $j$  หากน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 เป็นจริงให้กลับไปขั้นตอน 7 ในการคำนวณของโหนดในชนิดถัดไป หากเป็นเท็จให้ไปที่ขั้นตอน 16

ขั้นตอนที่ 14 สิ้นสุดการคำนวณ

โดยผลการศึกษาและผลทดสอบสามารถนำเสนอได้ในบทถัดไปในส่วน of ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 7 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในกรณีศึกษาที่นำเสนอทั้ง 4 กรณี ในรูปแบบผลกระทบต่อรูปแบบของแรงดันในแต่ละบัส กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของ

โหลด (LVD) ซึ่งจะเปิดเผยให้เห็นต่อผลกระทบของ PEVs ในกรณีศึกษาและสมมุติฐานที่วางไว้ต่อระบบไฟฟ้ากำลังในลำดับถัดไป

### 3.9 กรณีศึกษาที่ 8 ปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

จากการจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในระบบไฟฟ้าจากการนำเสนอในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาที่มีอยู่มากมายหลากหลายแบบจำลอง ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป โดยส่วนใหญ่เป็นชนิดโหลดที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dependent Load, VDL) โดยรูปแบบจำลองนั้นจำลองพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่กริดเกิดการเปลี่ยนแปลงและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ของเครื่องประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อพิจารณาการประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน สามารถแบ่งสถานะของการประจุได้ 4 สถานะคือ สถานะแรกช่วงกระแสประจุคงที่ (Constant Current, CC) สถานะช่วงที่สองอิ่มตัวหรือแรงดันคงที่ (Constant Voltage, CV) สถานะในช่วงที่สามสถานะที่ไม่มีกระแสประจุหรือช่วงใช้งาน และช่วงสุดท้ายสถานะที่สี่ช่วงโหมด Standby จะพบว่าในช่วงที่แรงดันของแบตเตอรี่เริ่มคงที่ค่าสถานะของแบตเตอรี่เข้าสู่ในสถานะช่วงสุดท้ายเกือบใกล้เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ การที่จะทำให้เต็มในสถานะช่วงที่สามนั้นต้องยืดเวลาออกไปทำให้การประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยส่วนใหญ่ไม่นิยมประจุจนเต็ม [172] จากปรากฏการณ์ของช่วง CC และ CV นั้นส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าในขณะที่ประจุของเครื่องประจุที่ใช้พลังงานจากกริดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามพฤติกรรมของแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ดังแสดงได้จากการทดลองใน [168] ในกรณีศึกษา นี้จึงเกิดความสนใจต่อพฤติกรรมการประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า ที่มีรูปแบบในหลายๆรูปแบบ จากที่นำเสนอโดยนักวิจัยที่ผ่านมา กรณีนำมาเปรียบเทียบกันจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าอย่างไร โดยกำหนดให้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์เป็นรูปแบบชนิดโหลดที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ทำการวิเคราะห์ในสถานะคงตัว พิจารณาเป็นโหลดสมมูลย์สามเฟส ทำการทดสอบในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ทำการปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับแรงดันไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้า (Modified Backward-Forward Sweep, MBFS) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ ทำการกำหนดรูปแบบของ

ปัญหาโดยการจำลองสถานะการณ์ติดตั้งสถานีประจุมอเตอร์ด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่ขนาดพิกัดของสถานีรวม 1 MW ทำการออกแบบการติดตั้งสถานีประจุมอเตอร์ออกเป็น 4 วิธีการคือกรณี A, B, C และ D โดยทำการระบุตำแหน่งและขนาด สามารถนำเสนอได้ดังตารางที่ 3.5 โดยสถานีประจุมอเตอร์นี้จะไปติดตั้งร่วมกับโหลดดั้งเดิมของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วยโหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Constant Impedance, Z) โหลดกระแสคงที่ (Constant Current, I) และโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power, P) โดยทำการแบ่งการจำลองออกเป็น 12 เหตุการณ์ทดสอบดังตารางที่ 3.5 โดยใช้พื้นฐานการติดตั้งสถานีประจุมอเตอร์กับโหลดดั้งเดิมของระบบ โดยแบ่งโหลดสถานีประจุมอเตอร์จำนวน 3 รูปแบบ คือ EVI EVII และ EVIII (โดยกำหนดให้ EVI แทนด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ที่นำเสนอในหัวข้อ 2.4.1 กำหนดให้เป็นโหลดกระแสคงที่ [173] EVII แทนด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ที่นำเสนอในหัวข้อ 2.4.4 กำหนดให้เป็นโหลดแบบ ZIP และ EVIII แทนด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ที่นำเสนอในหัวข้อ 2.4.3 กำหนดให้เป็นโหลดแบบกำลังไฟฟ้าคงที่และเอ็กโพเนนเชียลโหลด) กับวิธีการติดตั้ง 4 วิธีการ เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ในการศึกษาความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในกรณีที่เกิดขึ้นจากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 3.5 กรณีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่ง

วิธีการติดตั้ง	EVs Station Number	EVs Station Position (Bus)	EVs Sizing (MW)/Position
A	2	2, 4	0.5
B	3	2, 4, 12	0.3333
C	4	11, 13, 28, 33	0.25
D	4	5, 10, 20, 25	0.25

จากการประยุกต์ใช้วิธีการ MBFS เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมและค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด โดยสามารถนำเสนอการติดตั้งในแต่ละสถานีประจุมอเตอร์ระบบทดสอบ IEEE 33 บัส ในกรณีของตำแหน่งติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าจากการติดตั้งในแต่ละตำแหน่งของระบบทดสอบใน 12 เหตุการณ์ทดสอบ ดังนำเสนอในรูปที่ 3.12 ดังนี้

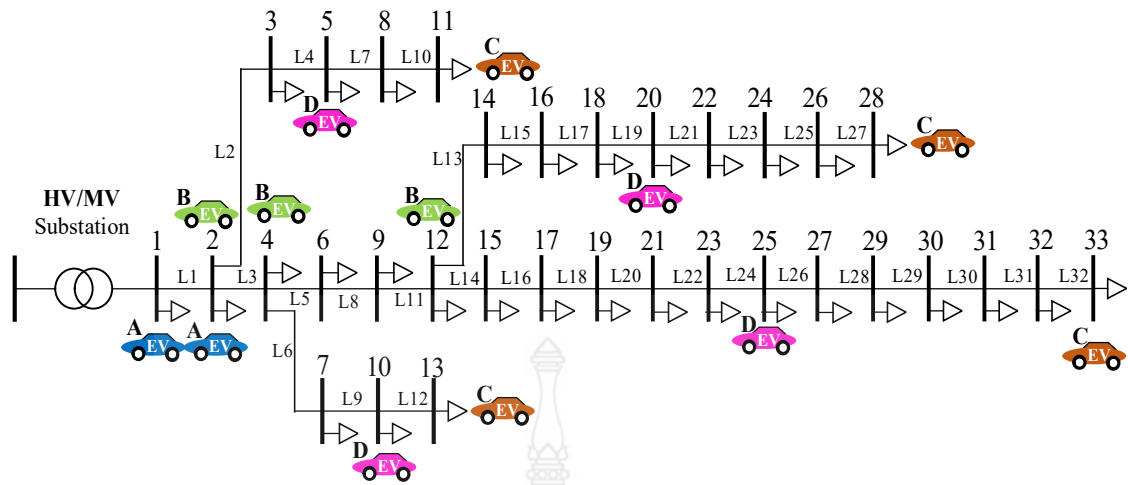
ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการ MBFS สำหรับการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในสภาวะคงตัวของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบสามารถนำเสนอขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการจัดเตรียมระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยทำการจัดเรียงสายส่งใหม่โดยวิธีการจัดเรียงลำดับด้วยวิธีการ Branch Numbering (BN) เพื่อทำการแบ่งสายส่งกำลังไฟฟ้าออกเป็นระดับโดยทำการเรียงลำดับจากซ้ายเริ่มที่บัสอ้างอิง (Stack Bus) ไปขวาสุดท้ายของโหนด และไล่ลำดับจากบนลงล่างไปที่ละชั้น

ตารางที่ 3.6 กรณีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรูปแบบร่วมกับโหลดแบบดั้งเดิมของระบบ

รูปแบบโหลด ยานยนต์ไฟฟ้า	สถานะการณั	General load=Z	General load=I	General load=P
EVI	1	A	A	A
	2	B	B	B
	3	C	C	C
	4	D	D	D
EVII	5	A	A	A
	6	B	B	B
	7	C	C	C
	8	D	D	D
EVIII	9	A	A	A
	10	B	B	B
	11	C	C	C
	12	D	D	D

ขั้นตอนที่ 2 ทำการรับข้อมูลของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสายส่งกำลังไฟฟ้า ข้อมูลบัส ข้อมูลโหลด กำหนดค่าตัวนับของการคำนวณ  $N = 100$



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัสในแต่ละกรณี

ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มที่  $j=1$  (โดย  $j=1$  แทนโหลด Z  $j=2$  แทนโหลด I  $j=3$  แทนโหลด P)

ขั้นตอนที่ 4 ทำการกำหนดโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเริ่มที่  $k=1$  (โดยที่  $k=1$  แทนโหลดยานยนต์ไฟฟ้า EVI  $k=2$  แทนโหลดยานยนต์ไฟฟ้า EVII และ  $k=3$  แทนโหลดยานยนต์ไฟฟ้า EVIII)

ขั้นตอนที่ 5 ทำการกำหนดตำแหน่งและขนาดติดตั้งของสถานีประจุเร็ว ตามวิธีการติดตั้งจากตารางที่ 3.5 เริ่มที่  $t=1$  ( $t=1$  คือ กรณี A,  $t=2$  คือ กรณี B,  $t=3$  คือ กรณี C และ  $t=4$  คือ กรณี D)

ขั้นตอนที่ 6 ทำการกำหนดแรงดันไฟฟ้าสถานะปกติหรือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ( $V_0$ ) ที่ 0.99 p.u. และแรงดันอ้างอิงเริ่มต้น ( $V_i$ ) ในการคำนวณในแต่ละบัสที่ 1.0 p.u.

ขั้นตอนที่ 7 ทำการกำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในการคำนวณที่  $\epsilon = 0.0001$

ขั้นตอนที่ 8 ทำการกำหนดค่าตัวนำของระบบ  $i=1$

ขั้นตอนที่ 9 ทำการปรับรูปแบบการรันโหลดไฟด้วยวิธีการ MBFS สำหรับการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบดังนี้



ขั้นตอนที่ 9.1 ทำการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณ  $V_i$  ด้วยอัตราส่วนของแรงดัน  $V_i / V_0$  ของโหลดดั้งเดิมของระบบด้วยสมการที่ (2.33)

ขั้นตอนที่ 9.2 ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟและรีแอ็คทีฟของโหลดดั้งเดิมของระบบจากการกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในขั้นตอนที่ 9.1

ขั้นตอนที่ 9.3 ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟและรีแอ็คทีฟของโหลดขนานยนต์ไฟฟ้าจากการกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในขั้นตอนที่ 9.1

ขั้นตอนที่ 9.4 ทำการคำนวณกระแสย้อนกลับ (Backward Current) จากโหนดสุดท้ายกลับมามันทางที่บัสอ้างอิง ด้วยสมการที่ (2.34) โดยใช้กำลังไฟฟ้าแอ็คทีฟและรีแอ็คทีฟของโหลดดั้งเดิมและโหลดขนานยนต์ไฟฟ้าในขั้นตอนที่ 9.2 และ 9.3 ด้วยสมการที่ (2.29) ถึง (2.31)

ขั้นตอนที่ 9.5 ทำการคำนวณแรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้า (Forward Voltage) จากโหนดต้นทางที่บัสอ้างอิงกลับไปโหนดสุดท้าย ด้วยสมการที่ (2.35)

ขั้นตอนที่ 9.6 ทำการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผิดพลาดจากค่าที่คำนวณได้กับค่าก่อนหน้าที่คำนวณได้  $\Delta V = |V_{new} - V_{old}|$  ด้วยสมการที่ (2.36)

ขั้นตอนที่ 9.7 ทำการตรวจสอบ  $\Delta V \leq \varepsilon$  และ จำนวนค่าตัวนับของรอบในการคำนวณถึงค่าที่กำหนด  $i > N$  ทั้งสองเงื่อนไขเป็นจริงหรือไม่ หากเป็นเท็จให้กลับไปขั้นตอนที่ 9.10 หากเป็นจริงให้ไปที่ขั้นตอนที่ 10

ขั้นตอนที่ 9.8 ทำการเพิ่มค่าตัวนับ  $i = i + 1$  และกลับไปขั้นตอนที่ 9.1

ขั้นตอนที่ 10 ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) โดยใช้สมการที่ (2.27) (2.49) และ (2.50) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 11 ทำการเก็บค่าไว้ในตัวแปรประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD)

ขั้นตอนที่ 12 ทำการตรวจสอบกรณีทดสอบหาก  $t \leq 4$  หากเป็นจริง ให้เพิ่มค่า  $t = t + 1$  และกลับไปขั้นตอนที่ 5 และหากเป็นเท็จไปที่ขั้นตอนที่ 13

ขั้นตอนที่ 13 ทำการตรวจสอบประเภทของโหลดขนานยนต์ไฟฟ้า  $k \leq 3$  หากเป็นจริง ให้เพิ่มค่า  $k = k + 1$  และกลับไปขั้นตอนที่ 4 และหากเป็นเท็จไปที่ขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 14 ทำการตรวจสอบประเภทของโหลดดั้งเดิมของระบบ  $j \leq 3$  หากเป็นจริง ให้เพิ่มค่า  $j = j + 1$  และกลับไปขั้นตอนที่ 3 และหากเป็นเท็จไปที่ขั้นตอนที่ 15

ขั้นตอนที่ 15 ทำการแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) ในทุกกรณี

ขั้นตอนที่ 16 สิ้นสุดการคำนวณ

### 3.10 บทสรุป

จากกรณีศึกษาในแต่ละกรณีของการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นได้ทำการศึกษาในผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้พื้นฐานรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ในกรณีทดสอบต่างๆ เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยเน้นไปด้านการมองผลกระทบในกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบ

ซึ่งปัญหาการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบทันทีทันใดในขณะที่เข้าทำการประกอบการวิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งสถานีประจุที่เหมาะสมในกรณีพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าย้อนกลับเข้าสู่กริดในโหมด V2G การประมาณสถานะจำนวนสถานีประจุเร็วโดยใช้ข้อมูลขนาดพื้นที่ จำนวนประชากรและสัดส่วนของประชากรที่มียานพาหนะทำการทดสอบติดตั้งเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบในระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือหากพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในโหมดการประจูปกติ ได้เปิดเผยให้เห็นผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า และหากทำการเปรียบเทียบโหลดของยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบโดยการติดตั้งร่วมกับโหลดดั้งเดิมของระบบนั้นทำให้ทราบว่าโหลดยานยนต์ในแต่ละรูปแบบนั้นมีระดับผลกระทบในระดับใด รวมถึงการพิจารณาแหล่งพลังงานทดแทน สถานีพลังงานแสงอาทิตย์นำมาติดตั้งร่วมกับสถานีประจุเร็วของระบบจำหน่ายที่เหมาะสมนั้นสามารถทำได้ จากปัญหาในการวิเคราะห์ปัญหาในรูปแบบต่างๆนั้นพบว่าเกิดความไม่คล่องตัวในการวิเคราะห์โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบที่นำเสนอ จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรม PSAT และสร้างรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสถานีประจุเร็วขึ้น เพื่อนำไปใช้ทดสอบในกรณีต่างๆมากยิ่งขึ้น

จากกรณีศึกษาในคดียุติพนธ์นี้ได้ทำการนำเสนอรูปแบบผลการวิเคราะห์เสถียรภาพในแต่ละรูปแบบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการวิเคราะห์ให้เห็นในแต่ละรูปแบบตัวแทนของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อศึกษาในพฤติกรรมและให้เกิดองค์ความรู้ ความเข้าใจในแต่ละผลกระทบของปัญหาที่จำลองสถานการณ์ เพื่อเรียนรู้ นำไปใช้ในการวางแผนการออกแบบระบบไฟฟ้าและในการวางแผนด้านการบริการจัดการพลังงานที่เหมาะสมในลำดับถัดไป ดังนั้นการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง นั้นได้นำเสนอรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและจำลองในแต่ละรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการวิเคราะห์ใช้พื้นฐานการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โปรแกรม DIGSILENT โปรแกรม PSAT และโปรแกรม MATLAB ในแต่ละกรณีศึกษา เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานตามที่วางไว้ จากวิธีการดำเนินงานคุณลักษณะนั้นได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 8 กรณีศึกษาโดยในแต่ละกรณีศึกษาได้แสดงให้เห็นการประยุกต์ใช้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่นำเสนอ เพื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ในการจำลองของกรณีศึกษานั้นพยายามมุ่งเน้นเพื่อเปิดเผยให้เห็นผลของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งสามารถนำเสนอผลการกรณีศึกษาในแต่ละกรณีได้ดังนี้

#### 4.2 ผลกรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์เสถียรภาพเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

ผลการจำลองการวิเคราะห์เสถียรภาพสัญญาณขนาดเล็กเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการจำลองเมื่อเกิดการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบทันทีทันใดที่เวลา 2 วินาที ที่มีการต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่เข้าที่บัส B3 ของระบบ จากผลดังกล่าวทำให้เกิดการแกว่งของความถี่ต่ำของเครื่องจักรกลซิงโครนัสที่ต่ออยู่ที่บัส B6 โดยทำการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมระบบเสถียรภาพไฟฟ้ากำลัง (PSS) ในการควบคุมเครื่องจักรกลซิงโครนัสให้กลับสู่สถานะสมดุลให้เร็วที่สุด ด้วยการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSS ด้วยวิธีการ PSO นั้นสามารถนำเสนอผลการหาค่าที่ดีที่สุดของ PSS จากการเพิ่มขึ้นของขนาดโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่จากระดับที่ขนาด 50 เปอร์เซ็นต์ 100 เปอร์เซ็นต์ 150 เปอร์เซ็นต์ 200 เปอร์เซ็นต์ 300 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบทันทีทันใดในแต่ละขนาดนั้นทำให้เกิดการแกว่งของมุมโรเตอร์ของเครื่องจักรกลซิงโครนัสที่ขนาดแตกต่างกันออกไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ของ PSS ที่ต้องมีการปรับตามการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถสรุปผลค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSS ได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ PSS ที่เหมาะสมจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

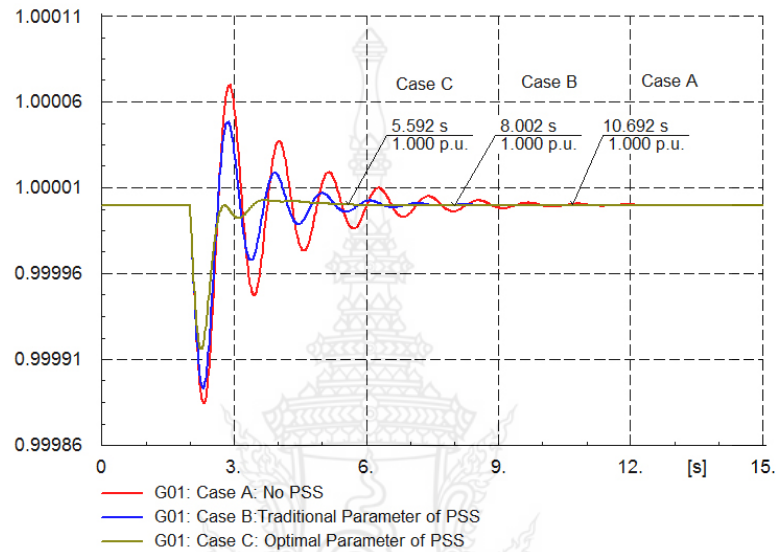
กรณีศึกษา	การเพิ่มขึ้น ของยานยนต์ ไฟฟ้า (%)	ค่าพารามิเตอร์ของ PSS					
		$K_{PSS}$	$T_w$	T1	T2	T3	T4
A		-	-	-	-	-	-
B		50	10	3	0.3	2	0.2
C	50%	41.306	10	2.8876	0.9480	2.3932	0.8626
	100%	25.8462	10	2.7224	1.3484	1.6375	0.2973
	150%	41.0343	10	1.3386	1.5049	1.7019	0.1743
	200%	34.9925	10	1.5847	1.6587	2.4634	0.2185
	300%	11.131	10	2.6563	0.3698	1.6006	0.5192

จากตารางที่ 4.1 ได้ทำการแสดงค่าพารามิเตอร์ของ PSS ซึ่งประกอบด้วย  $K_{PSS}$ ,  $T_w$ , T1, T2, T3 และ T4 จะพบว่าค่าของ PSS มีการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของโหลดยานยนต์ที่เพิ่มขึ้นด้วยวิธีการ PSO หากทำการเปรียบเทียบกรณี B เป็นฐานในกรณี C จะพบว่าค่าพารามิเตอร์อื่นมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดยกเว้นค่า  $T_w$  ส่วนค่าอื่น ๆ นั้นปรับเปลี่ยนไปตามที่วิธีการ PSO กำหนดได้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความถี่ของโรเตอร์และอัตราส่วนการหน่วงของระบบ

กรณีทดสอบ	การเพิ่มขึ้นของ ยานยนต์ไฟฟ้า (%)	ค่าเจาะจง Eigen values	ความถี่ การแกว่ง (Hz)	อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)
A (No PSS)		$-0.5861 \pm j0.5861$	0.8885	0.1044
B ( Traditional PSS)		$-0.9670 \pm j5.8545$	0.9317	0.1629
	50%	$-2.7800 \pm j6.9544$	1.1068	0.3711
	100%	$-3.5257 \pm j5.8064$	0.9241	0.5190
	150%	$-3.1766 \pm j4.8381$	0.7700	0.5488
	200%	$-3.7555 \pm j5.8506$	0.9311	0.5401
C (Optimal parameter of PSS)	300%	$-2.5393 \pm j5.7758$	0.9192	0.4024

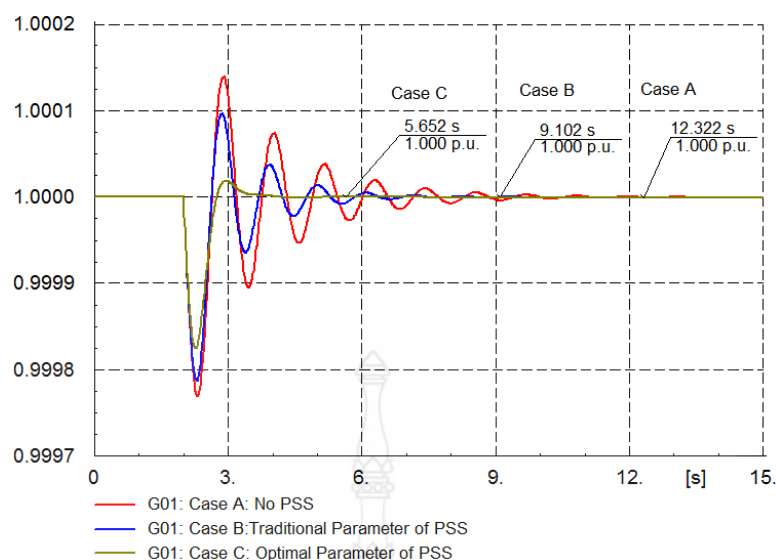
จากตารางที่ 4.2 ได้ทำการแสดงค่าความถี่ของโรเตอร์และอัตราส่วนการหน่วงของระบบ ซึ่งพบว่าในกรณีที่ระบบไม่มีการติดตั้ง PSS อัตราส่วนการหน่วงของระบบมีค่า 0.1044 ในขณะที่มีการติดตั้ง PSS มี อัตราส่วนการหน่วงของระบบมีค่า 0.1629 และเมื่อทำการปรับตั้งด้วยวิธีการ PSO เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบทันทีทันใดพบว่าอัตราส่วนการหน่วงของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาสมดุลของการแกว่งของระบบ



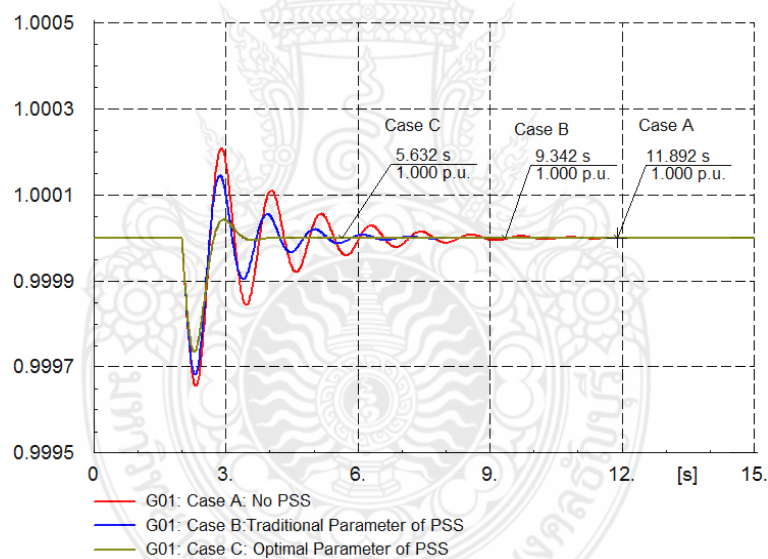
**รูปที่ 4.1** การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 50% ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อโหลดยานยนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแกว่งของความถี่ที่โรเตอร์ ในกรณีไม่ได้ติดตั้ง PSS ระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 10.692 วินาที กรณีติดตั้ง PSS แบบค่าดั้งเดิมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 8.002 วินาที และ กรณีติดตั้ง PSS ด้วยค่าที่เหมาะสมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 5.592 วินาที ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าเมื่อโหลดยานยนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแกว่งของความถี่ที่โรเตอร์ ในกรณีไม่ได้ติดตั้ง PSS ระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 12.322 วินาที กรณีติดตั้ง PSS แบบค่าดั้งเดิมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 9.102 วินาที และ กรณีติดตั้ง PSS ด้วยค่าที่เหมาะสมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 5.652 วินาที ตามลำดับ

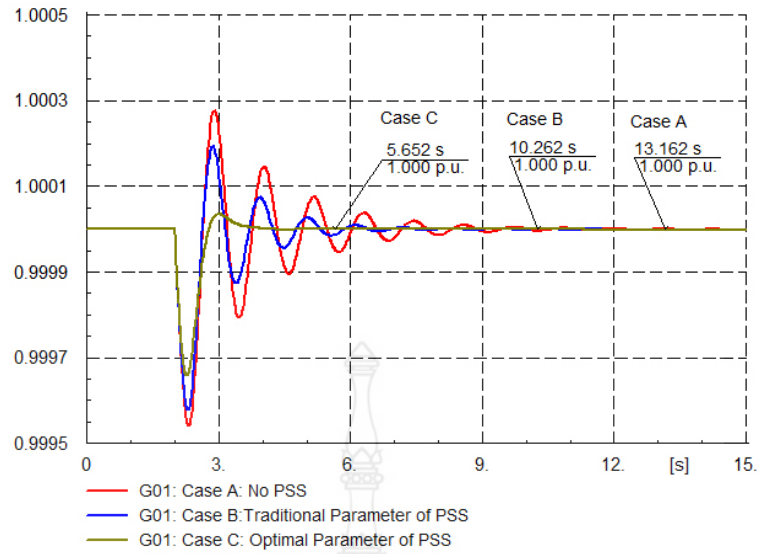


รูปที่ 4.2 การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 100 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที



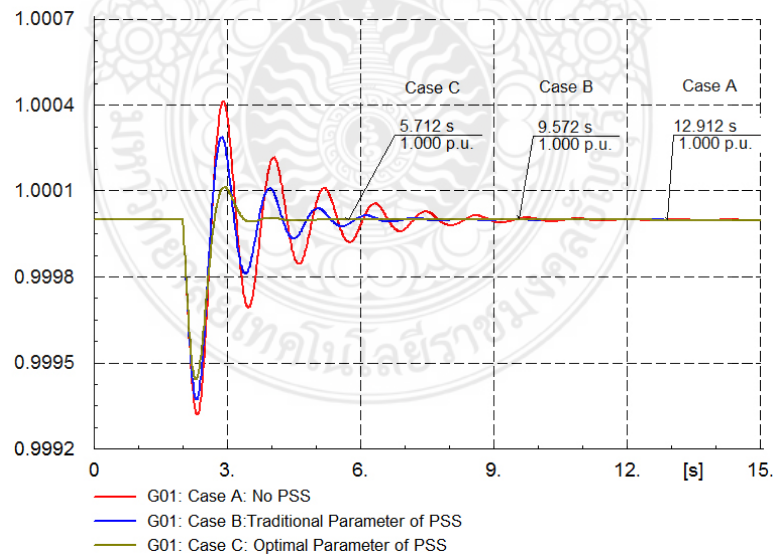
รูปที่ 4.3 การแกว่งของความถี่โรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 150 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อโหลดยานยนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแกว่งของความถี่ที่โรเตอร์ ในกรณีไม่ได้ติดตั้ง PSS ระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 11.892 วินาที กรณีติดตั้ง PSS แบบค่าดั้งเดิมระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 9.342 วินาที และ กรณีติดตั้ง PSS ด้วยค่าเหมาะสมระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 5.632 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 การแกว่งของมุมโรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 200 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าเมื่อโหลดยานยนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแกว่งของมุมโรเตอร์ในกรณีไม่ได้ติดตั้ง PSS ระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 13.162 วินาที กรณีติดตั้ง PSS แบบค่าดั้งเดิมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 10.262 วินาที และ กรณีติดตั้ง PSS ด้วยค่าเหมาะสมระบบจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 5.652 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การแกว่งของมุมโรเตอร์เครื่องจักรกลซิงโครนัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 300 % ที่บัส B3 ที่เวลา 2 วินาที

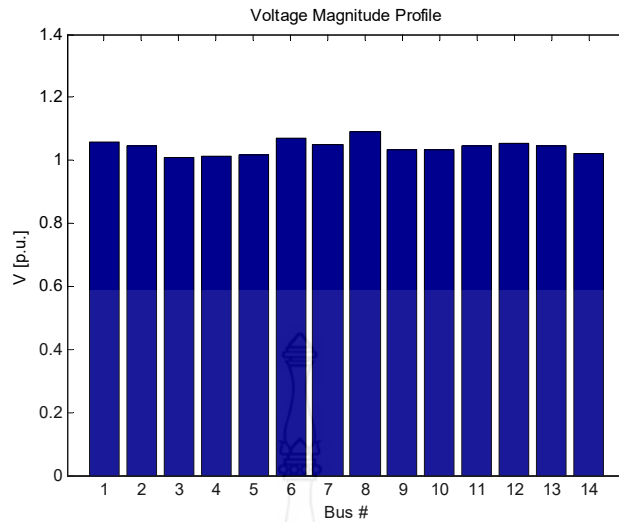


จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่อโหลดยานยนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแกว่งของความถี่ที่โรเตอร์ ในกรณีไม่ได้ติดตั้ง PSS ระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 12.912 วินาที กรณีติดตั้ง PSS แบบค่าดั้งเดิมระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 9.572 วินาที และ กรณีติดตั้ง PSS ด้วยค่าเหมาะสมระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่เวลาประมาณ 5.712 วินาที ตามลำดับ

จากการนำเสนอรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบ ZIP นั้นได้ทำการจำลองการเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เวลา 2 วินาที ที่ขนาดโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่เพิ่มขึ้นจาก 50 ถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ที่บัส B3 นั้นพบว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของการแกว่งความถี่ต่ำของระบบ ไฟฟ้ากำลังของเครื่องจักรกลเชิงโรตอร์ที่ติดตั้งในระบบขึ้น ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบในแต่ละกรณีของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้ากับกรณีการติดตั้ง PSS แบบค่าพารามิเตอร์ดั้งเดิมและแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ PSS ทำการเพิ่มอัตราส่วนการหน่วงของระบบให้ระบบไฟฟ้ากำลังกลับเข้าสู่ภาวะสมดุลย์ที่เวลาเหมาะสม ผลจากการปรับตั้งค่าด้วยวิธีการ PSO ทำให้ระบบมีอัตราส่วนการหน่วงที่เพิ่มขึ้น สามารถลดการแกว่งของมุมโรเตอร์ลงได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจากกรณีศึกษาได้เปิดเผยให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่แบบทันทีทันใดนั้นส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังของการแกว่งของความถี่ต่ำในระบบ จากกรณีศึกษาด้วยการใช้ PSS ร่วมกับวิธีการ PSO ในการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมทำให้สามารถลดการแกว่งของความถี่ต่ำของระบบได้ ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมการณ์การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

#### 4.3 ผลกรณีศึกษาที่ 2 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT

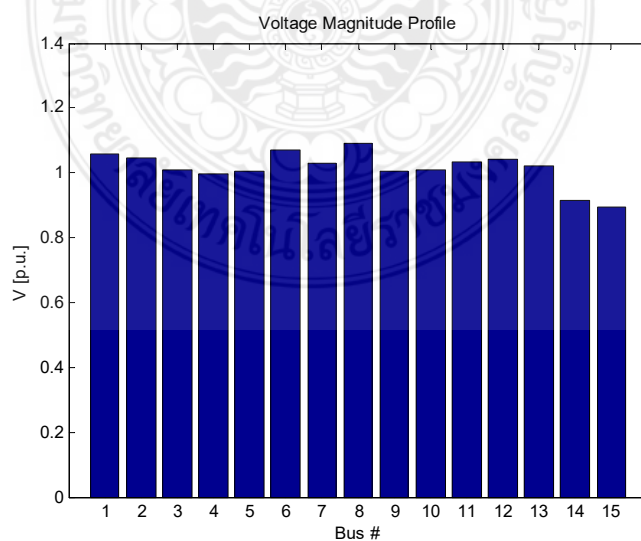
ผลการจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT จากสมมุติฐานการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละขนาดในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีการ Continuation Power Flow (CPF) ทำการวิเคราะห์การเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้าของโหลดและกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยการใช้อุปกรณ์รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดัน ที่ทำการพัฒนาขึ้นในโปรแกรม PSAT โดยสามารถนำเสนอผลการทดสอบดังนี้



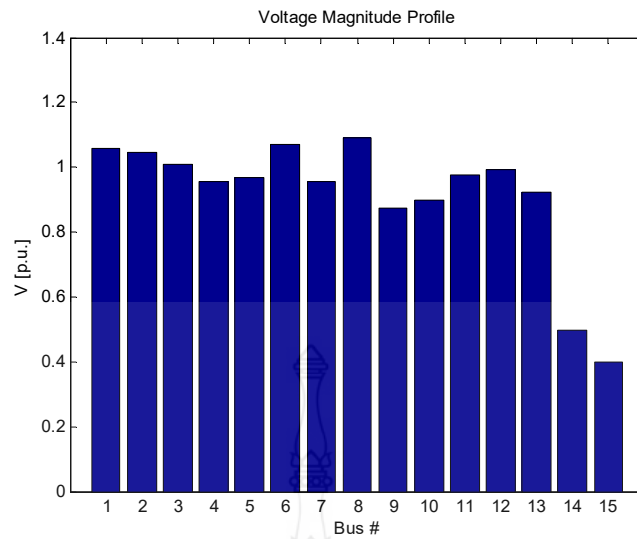
รูปที่ 4.6 รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีฐาน

จากรูปที่ 4.6 นำเสนอรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส (p.u.) ของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัสในกรณีฐาน ก่อนการทดสอบการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าหรือสถานีประจุเร็วตามกรณีศึกษา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแรงดันทั้งหมดของระบบมีค่ามากกว่า 1 p.u. ซึ่งระบบโดยรวมมีเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าที่ดี

จากรูปที่ 4.7 นำเสนอรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัสในกรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่บัส 15 ขนาด 50 MVA ซึ่งจากการเปรียบเทียบแรงดันในกรณีฐานจากรูปที่ 4.6 นั้นพบว่าผลจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าทำให้ระดับแรงดันที่บัสลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบัสที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่

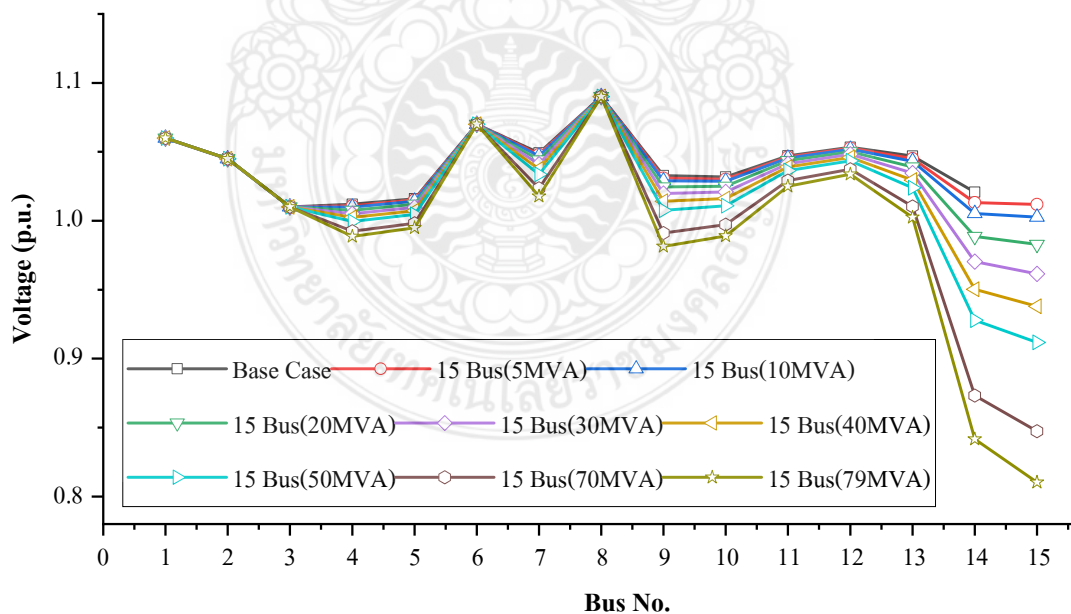


รูปที่ 4.7 รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 50 MVA ที่บัส 15



รูปที่ 4.8 รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กรณีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 79 MVA ที่บัส 15

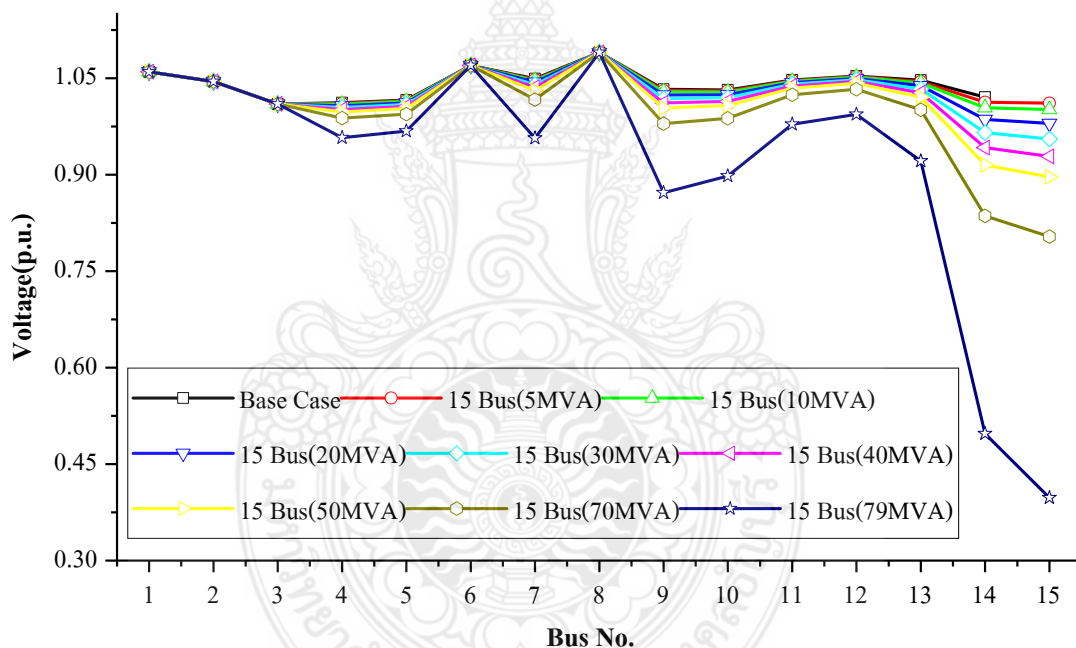
จากรูปที่ 4.8 นำเสนอรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กรณี โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่บัส 15 ขนาด 79 MVA จากการเปรียบเทียบกรณีฐานจะพบว่าระดับของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากยกเว้นบัสอ้างอิงและ PV บัส ผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าขาดความมีเสถียรภาพแรงดัน โดยเฉพาะจุดที่โหลดยานยนต์ติดตั้งและ ในบัสข้างเคียงก็ได้รับผลกระทบด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.9 รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดโหลดที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็น โหลดแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ PQ โหลด

จากรูปที่ 4.9 นำเสนอรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส (p.u.) เปลี่ยนแปลงขนาดโหลดที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็นโหลดแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ PQ โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาด 5 MVA จนถึง 79 MVA จะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโหลด PQ ในระดับต่างๆ นั้นจะส่งผลต่อรูปแบบแรงดันของระบบในแต่ละบัสลดลง โดยเฉพาะบัสที่ 14 และ 15 ลดลงต่ำสุดที่ประมาณ 0.85 และ 0.8 ตามลำดับ

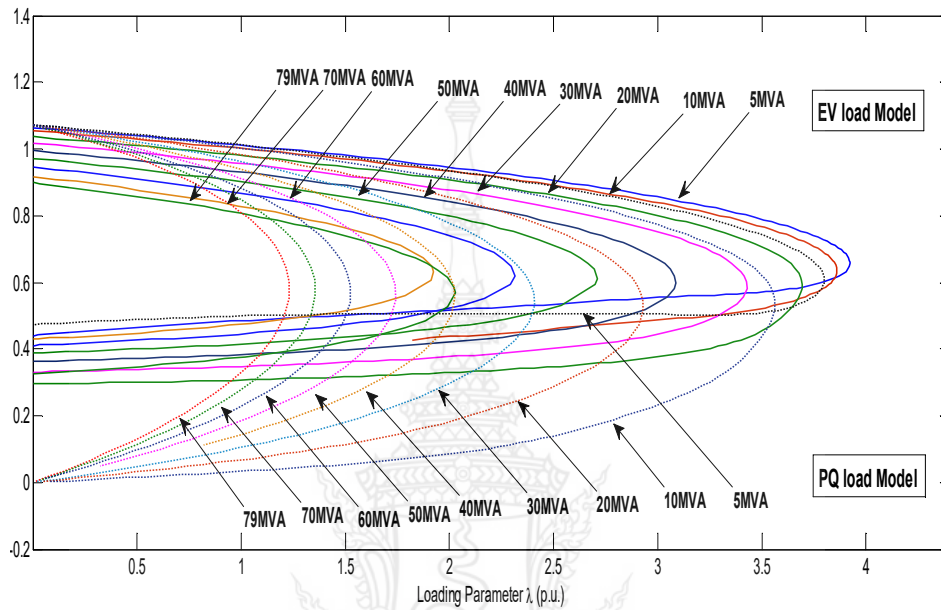
จากรูปที่ 4.10 นำเสนอรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส (p.u.) เปลี่ยนแปลงขนาดโหลดที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็นเป็นโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาด 5 MVA จนถึง 79 MVA จะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระดับต่างๆนั้นจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างมากในกรณีที่โหลดยานยนต์มีขนาด 79 MVA ซึ่งทำให้ระบบขาดความมีเสถียรภาพด้านแรงดันและส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าอย่างมาก



รูปที่ 4.10 รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดโหลดที่บัส 15 กรณีพิจารณาเป็น โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.11 นำเสนอเปรียบเทียบ PV curves เมื่อมีการปรับค่าขนาดจาก 5 MVA ถึง 79 MVA ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและ โหลด PQ ที่บัส 15 จากการรัน CPF ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและ โหลด PQ เพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะความมีเสถียรภาพด้านแรงดันของระบบเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ โหลด ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีจุดแรงดันพังทลาย (Voltage Collapse)

มากกว่าโหลด PQ และมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่แคบกว่าประมาณ 0.6 p.u. ในขณะที่ โหลด PQ มีช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่กว้างประมาณ 1 p.u. แสดงให้เห็นว่าระดับแรงดันไฟฟ้ามีผลต่อคุณลักษณะของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในด้านความไวของการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อความมีเสถียรภาพของระบบ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบ PV curves เมื่อมีการปรับค่าขนาดจาก 5 MVA ถึง 79 MVA ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและโหลดแบบ PQ ที่บัส 15

จากตารางที่ 4.3 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและค่าเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้าของโหลด (Load Voltage Deviation) นั้นจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการปรับค่าขนาดสถานีประจุนี้อัตราเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจากขนาดพิกัด 5 MVA ถึง 79 MVA ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโหลดสถานีประจุนี้อัตราเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและโหลด PQ ที่บัส 15 ด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบในแต่ละกรณี นั้นสามารถแสดงให้เห็นว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบสถานีประจุนี้อัตราเร็วมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบที่สูงกว่าโหลด PQ และหากทำพิจารณาค่าการเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้าของโหลดนั้น พบว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าที่สูงกว่าโหลด PQ นั้นแสดงให้เห็นว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากกว่าโหลดดั้งเดิมของระบบหรือโหลด PQ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำลองการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ นั้นส่งผลกระทบโดยตรงต่อกริด ทั้งในกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบที่เพิ่มมากขึ้นและความมีเสถียรภาพด้านแรงดันของระบบ

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด

กรณีทดสอบ	Ploss (p.u.)		Qloss (p.u.)		EV_LVD	PQ_LVD
	EV	PQ	EV	PQ		
IEEE 14 Bus (Base Case)	0.1358		0.2749		0.0314	
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ Bus (5MVA)	0.1435	0.1429	0.3092	0.3068	0.0304	0.0305
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (10MVA)	0.1519	0.1507	0.3469	0.3414	0.0294	0.0295
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (20MVA)	0.1715	0.1684	0.4335	0.4197	0.0284	0.0285
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (30MVA)	0.1953	0.1893	0.5378	0.5115	0.0294	0.0289
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (40MVA)	0.2244	0.2139	0.6641	0.6188	0.0331	0.0315
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (50MVA)	0.2606	0.2430	0.8202	0.7447	0.0411	0.0368
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (70MVA)	0.3760	0.3202	1.3061	1.0730	0.0868	0.0611
IEEE 14 Bus +1 EV,PQ (79MVA)	0.9625	0.3677	3.4328	1.2713	0.6725	0.0825

ดังนั้นจากรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม PSAT เพื่อจำลองในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ตามที่นำเสนอไปนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การไหลระบบไฟฟ้ากำลังและปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างดีและมีความคล่องตัวในการใช้งาน จากผลการทดสอบที่จำลองในแต่ละกรณีได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลังในด้านความมีเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นการวิเคราะห์ตำแหน่งและขนาดการติดตั้งของโหลดยานยนต์ที่เหมาะสมนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษาในอนาคต

#### 4.4 ผลการศึกษาค่าที่ 3 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

จากการศึกษาการกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง นั้น โดยได้ทำการวิเคราะห์ขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยเทคนิค HIMPL เปรียบเทียบวิธีการ RPF โดยสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ดังนี้

**ตารางที่ 4.4** การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อโพลยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสม

%EVs	Cap_Index	1	2	3	4	5	6	7
	No Cap	200	300	500	1,000	1,500	2,000	2,500
No EV	11.11	-	-	-	-	-	-	-
5%	12.20	11.87	11.72	11.43	10.86	10.39	10.03	9.72
10%	13.35	13.00	12.84	12.55	11.93	11.43	11.04	10.70
20%	15.81	15.43	15.26	14.93	14.24	13.67	13.23	12.83
30%	18.47	18.07	17.88	17.52	16.76	16.12	15.61	15.16
40%	21.35	20.91	20.71	20.33	19.50	18.78	18.19	17.71
50%	24.43	23.97	23.75	23.34	22.43	21.64	20.99	20.46
60%	27.72	27.23	27.00	26.56	25.58	24.72	23.99	23.41
70%	31.22	30.70	30.45	29.98	28.94	28.00	27.21	26.55
80%	34.92	34.38	34.12	33.62	32.50	31.50	30.63	29.90
90%	38.84	38.26	37.99	37.46	36.27	35.20	34.26	33.46
100%	42.96	42.35	42.06	41.51	40.25	39.11	38.10	37.22
110%	47.28	46.65	46.35	45.77	44.44	43.22	42.14	41.20
120%	51.81	51.15	50.84	50.23	48.83	47.55	46.39	45.38
Average	29.26	28.77	28.53	28.09	27.12	26.26	25.52	24.90

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสม (ต่อ)

%EVs	Cap_Index	8	9	10	11	12	13	14
	No Cap	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000
No EV	11.11	-	-	-	-	-	-	-
5%	12.20	9.51	9.39	9.34	<u>9.30</u>	9.32	9.42	9.59
10%	13.35	10.46	10.31	10.24	10.18	<u>10.18</u>	10.24	10.38
20%	15.81	12.51	12.30	12.17	12.10	<u>12.04</u>	12.05	12.13
30%	18.47	14.78	14.50	14.31	14.21	14.11	<u>14.06</u>	14.08
40%	21.35	17.26	16.91	16.66	16.50	16.40	16.29	<u>16.25</u>
50%	24.43	19.95	19.53	19.21	18.99	18.85	18.72	18.62
60%	27.72	22.85	22.37	21.98	21.69	21.49	21.37	21.21
70%	31.22	25.95	25.41	24.95	24.60	24.33	24.16	24.01
80%	34.92	29.27	28.66	28.14	27.72	27.39	27.15	26.99
90%	38.84	32.79	32.12	31.53	31.04	30.65	30.35	30.14
100%	42.96	36.49	35.79	35.14	34.58	34.12	33.75	33.48
110%	47.28	40.39	39.66	38.95	38.33	37.80	37.37	37.03
120%	51.81	44.50	43.74	42.97	42.28	41.69	41.19	40.79
Average	29.26	24.36	23.90	23.51	23.19	22.95	22.78	22.67

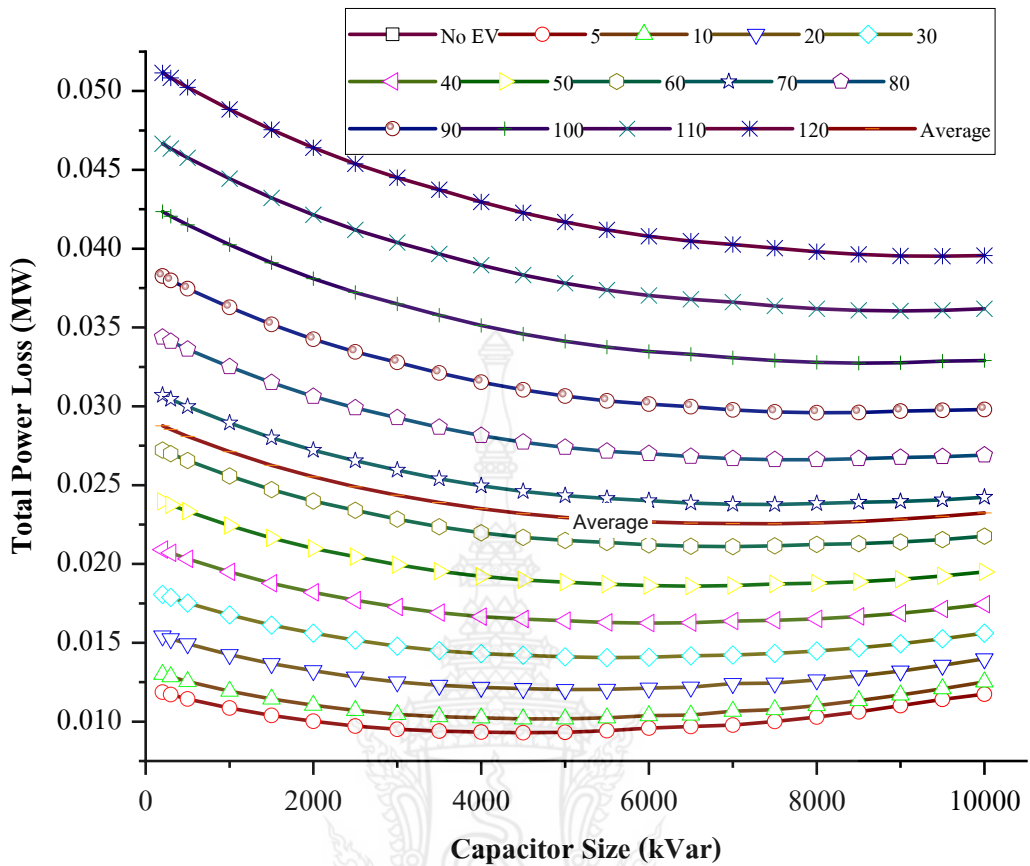
จากตารางที่ 4.4 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ในแต่ละสแต็ปจากสแต็ป 1 ถึง 22 ที่มีขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่เริ่มที่ขนาด 3,000 kVar และเพิ่มสแต็ปละ 500 จนถึง 10,000 kVar ในขณะที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มจาก 5 % ถึง 120 % จากตารางจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจะมีค่าที่เหมาะสมที่ค่าของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่สแต็ปหนึ่งเท่านั้นของการเพิ่มขึ้นของ



โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละระดับ (ตัวเลขอักษรขีดเส้นใต้) จากหลักการที่นำเสนอด้วยวิธีการ HIMPL นั้น สามารถเลือกขนาดตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ที่ Cap\_Index เท่ากับ 17 ที่ ขนาด 7,500 kVar จากค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ 22.5 kW (ตัวเลขอักษรเอียงขีดเส้นใต้) ซึ่งวิธีการ HIMPL สามารถกำหนดตำแหน่งและเลือกขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ด้วยค่าที่เหมาะสมได้

**ตารางที่ 4.4** การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสม (ต่อ)

%EVs	Cap_Index	15	16	17	18	19	20	21	22
	No Cap	6,500	7,000	7,500	8,000	8,500	9,000	9,500	10,000
No EV	11.11	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	12.20	9.70	9.78	10.00	10.29	10.62	11.01	11.41	11.74
10%	13.35	10.41	10.66	10.76	11.02	11.33	11.69	12.08	12.52
20%	15.81	12.19	12.42	12.44	12.64	12.90	13.21	13.57	13.98
30%	18.47	14.17	14.23	14.32	14.47	14.68	14.94	15.25	15.61
40%	21.35	16.28	16.38	16.42	16.52	16.67	16.88	17.14	17.45
50%	24.43	<u>18.59</u>	18.63	18.73	18.78	18.88	19.03	19.24	19.50
60%	27.72	21.12	<u>21.10</u>	21.16	21.24	21.29	21.39	21.55	21.76
70%	31.22	23.86	23.78	<u>23.78</u>	23.84	23.92	23.97	24.07	24.23
80%	34.92	26.81	26.67	<u>26.61</u>	26.61	26.68	26.75	26.80	26.91
90%	38.84	29.97	29.77	29.65	<u>29.59</u>	29.61	29.69	29.75	29.80
100%	42.96	33.29	33.08	32.90	32.79	<u>32.74</u>	32.76	32.86	32.90
110%	47.28	36.79	36.60	36.36	36.19	36.08	<u>36.05</u>	36.08	36.19
120%	51.81	40.48	40.26	40.03	39.80	39.64	39.54	<u>39.52</u>	39.57
Average	29.26	22.59	22.57	<u>22.55</u>	22.60	22.70	22.84	23.02	23.24



รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่เหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่

จากรูปที่ 4.12 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากกรณีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ด้วยขนาดต่างๆ จากกราฟสามารถแสดงกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการเปลี่ยนสแต็ปของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ในขนาดต่างๆ ต่อคุณลักษณะของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มในแต่ละระดับ ซึ่งเปิดเผยให้เห็นผลกระทบของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ในขนาดที่ไม่เหมาะสมในระบบนั้นส่งผลเสียต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ โดยส่วนใหญ่มีความเข้าใจว่าการเพิ่มคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ค่ามากๆจะมีผลทำให้แรงดันสูงกว่าที่ควรเป็นซึ่งในอีกด้านจากกรณีศึกษาที่นำเสนอ นั้นพบว่ามีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบมากยิ่งขึ้นไม่ได้ช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบลง จากการเลือกด้วยวิธีการ HIMPL ซึ่งสามารถแทนด้วยค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบน้อยที่สุดคือจุดที่นำไปเลือกขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ สามารถนำเสนอได้ด้วยเส้น Average สีแดง ที่แสดงให้เห็นจุดต่ำสุดที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ 7,500 kVar ที่ค่า 22.55 kW ตามตารางที่ 4.4 (ตัวอักษรหนา)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

%EVs	1	2	3	4	5	6	7
	200	300	500	1,000	1,500	2,000	2,500
5%	T23	T23	T22	T20	T20	T19	T19
10%	T23	T23	T22	T20	T20	T19	T19
20%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T19
30%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T19
40%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T19
50%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T19
60%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
70%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
80%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
90%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
100%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
110%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20
120%	T23	T23	T22	T20	T20	T20	T20

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (ต่อ)

%EVs	8	9	10	11	12	13	14
	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000
5%	T19	T18	T14	T14	T14	T14	T14
10%	T19	T19	T18	T14	T14	T14	T14
20%	T19	T19	T18	T14	T14	T14	T14
30%	T19	T19	T19	T18	T14	T14	T14
40%	T19	T19	T19	T19	T14	T14	T14
50%	T19	T19	T19	T19	T18	T14	T14
60%	T19	T19	T19	T19	T19	T18	T14
70%	T19	T19	T19	T19	T19	T18	T14
80%	T19	T19	T19	T19	T19	T19	T18
90%	T20	T19	T19	T19	T19	T19	T18
100%	T20	T19	T19	T19	T19	T19	T18
110%	T20	T19	T19	T19	T19	T19	T19
120%	T20	T19	T19	T19	T19	T19	T19

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมเมื่อ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (ต่อ)

%EVs	15	16	17	18	19	20	21	22
	6,500	7,000	7,500	8,000	8,500	9,000	9,500	10,000
No EV	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	T5	T7	T7	T7	T7	T7	T5	T3
10%	T7	T5	T7	T7	T7	T7	T5	T5
20%	T7	T5	T7	T7	T7	T7	T7	T5
30%	T14	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
40%	T14	T14	T7	T7	T7	T7	T7	T7
50%	T14	T14	T7	T7	T7	T7	T7	T7
60%	T14	T14	T14	T7	T7	T7	T7	T7
70%	T14	T14	T14	T14	T7	T7	T7	T7
80%	T14	T14	T14	T14	T14	T7	T7	T7
90%	T14	T14	T14	T14	T14	T14	T7	T7
100%	T18	T14	T14	T14	T14	T14	T14	T7
110%	T19	T14	T14	T14	T14	T14	T14	T14
120%	T19	T18	T14	T14	T14	T14	T14	T14

จากตารางที่ 4.5 นำเสนอการเปรียบเทียบตำแหน่งของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมเมื่อ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละสเต็ป โดยจะใช้ค่าของจำนวนสเต็ปที่ถูกเลือกนำไปใช้ในการคำนวณด้วยวิธีการ HIMPL ที่นำเสนอ เมื่อแทนด้วยตัวอักษรขีดเส้นใต้แสดงถึงจุดที่ตรงกับค่าตำแหน่งของกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุด ด้วยการกำหนดค่า  $w_1$  และ  $w_2$  จากพื้นฐานจำนวนสเต็ปที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบในแต่ละรอบ ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด เมื่อมีการเพิ่มขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ในแต่ละสเต็ปต่อระดับการเพิ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละสเต็ป ซึ่งขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่ให้ผลด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบต่ำที่สุดไม่ได้หมายความว่าขนาดของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ นั้นจะถูกเลือกเป็นขนาดที่เหมาะสม ต้องมีการแบ่งค่าน้ำหนักด้วยวิธีการ HIMPL จากค่าน้ำหนักที่ดีที่สุดของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบน้อยที่สุดของทุกขนาดของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่และทุกระดับของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพื่อประกอบการพิจารณา

ตารางที่ 4.6 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดที่ได้จากการรัน โหลดวนซ้ำ (RLF)

%EV	Terminal	CapSize	Loss (kW)	%EV	Terminal	CapSize	Loss (kW)
5%	14	4,500	9.29529	70%	14	7,500	23.77588
10%	14	5,000	10.17524	80%	14	7,500	26.60723
20%	14	5,000	12.0381	90%	14	8,000	29.59253
30%	14	5,500	14.0612	100%	14	8,500	32.73988
40%	14	6,000	16.24656	110%	14	9,000	36.04925
50%	14	6,500	18.59414	120%	14	9,500	39.52062
60%	14	7,000	21.10392				

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบด้วยวิธีการวนซ้ำ (Replete Load Flow, RLF) โดยสามารถตำแหน่ง Terminal ที่เหมาะสมในกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่น้อยที่สุดเมื่อขนาดของ คาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในแต่ละระดับ จากผลการจำลอง สามารถหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ที่ Terminal T14 เท่านั้น

ตารางที่ 4.7 การกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธีการ HIMPL ที่ถูกพัฒนาขึ้น

All Ter.	Total Hit	%	w1	Best Loss	Best Hit	%	w2	Ter. Index	w1 x w2
T3	1	0.35%	0.0034	0	0	0%	0	-	0
T5	7	2.45%	0.1713	T5	5	3.50%	0.1748	T5	0.0299
T7	50	17.48%	8.7412	T7	42	29.37%	12.3356	T7	107.8292
T14	65	22.73%	14.7727	T14	62	43.36%	26.8811	T14	397.1074
T18	12	4.20%	0.5034	T18	9	6.29%	0.5664	T18	0.2851
T19	64	22.38%	14.3216	T19	25	17.48%	4.3706	T19	62.5947
T20	48	16.78%	8.0559	T20	0	0.00%	0	T20	0
T22	13	4.55%	0.5909	T22	0	0.00%	0	T22	0
T23	26	9.09%	2.3636	T23	0	0.00%	0	T23	0
Total	286	100%	286	Total	143	100%	143		

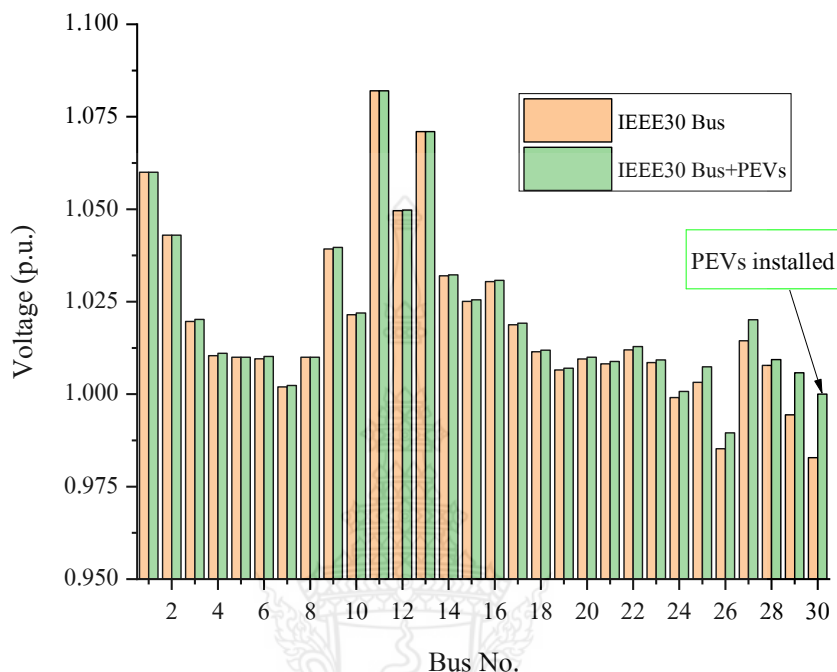
จากตารางที่ 4.7 นำเสนอหลักการเลือกด้วยวิธีการ HIMPL โดยสามารถนำเสนอหลักวิธีการคำนวณ โดยค่า Total Hit คือค่าที่นับได้ได้จากตารางที่ 4.5 ในขณะที่ค่า Best Hit คือค่าที่นับได้จากค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบต่ำสุดในแต่ละระดับของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและสเต็มป์ของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ซึ่งผลจากการหาค่า  $w_1$  และ  $w_2$  จะนำมาคำนวณหาผลคูณระหว่างค่าสองตัวแปร ซึ่งผลที่ได้จากการคูณที่ให้ค่ามากที่สุดและถอดสเต็มป์ก็จะได้ตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ซึ่งจากการคำนวณได้ค่าเท่ากับ 397.1074 (ตัวเลขอักษรขีดเส้นใต้) ที่มีค่ามากที่สุดทำการถอดจากสเต็มป์ได้ตรงกับตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ ที่เทอร์มินอลที่ T14 และมีขนาด 7,500 kVar ตามลำดับ

จากวิธีการติดตั้งของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยใช้หลักการที่นำเสนอด้วยวิธีการ HIMPL นั้นสามารถระบุตำแหน่งได้เช่นเดียวกับวิธีการ RLF ในขณะที่การเลือกขนาดคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ด้วยวิธีการ HIMPL โดยใช้พื้นฐานของค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบต่ำสุด ซึ่งหลักการที่นำเสนอนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและขนาดที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ได้ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและเพิ่มความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ ดังนั้นจึงควรทำการพัฒนาและปรับปรุงในขั้นตอนให้มีความกระชับและรวดเร็วในการคำนวณเพิ่มขึ้น

#### 4.5 ผลกรณีศึกษาที่ 4 การกำหนดตำแหน่งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้วยวิธีการ PSO

ผลการจำลองการกำหนดตำแหน่งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน VSC ด้วยวิธีการ PSO จากสมมุติฐานในการรวมกันของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นกลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่สถานีประจุหลังจากที่มีการประจุแบตเตอรี่ในระดับหนึ่งแล้ว โดยพิจารณาสถานะการทำงานของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นการจ่ายพลังงานย้อนกลับในบางช่วงเวลาหรือ V2G ในการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบไฟฟ้ากำลังทำการพิจารณาให้กลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่หรือกำหนดให้เป็น PV บัส(PV Generator) โดยกำหนดค่าแรงดันอยู่ที่ 1 p.u. และควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าแอกทีฟด้วยการปรับมุมของ VSC จากในขั้นตอนวิธีการโดยการแทนจำนวนของโหลดยานยนต์จำนวน 300 คัน ทำให้ได้ขนาดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟคงที่ ประมาณ 5.04 MW นั้น ทำการใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ PSO เพื่อใช้ในการค้นหาตำแหน่งติดตั้งสถานีประจุสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30

บัส และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้า โดยสามารถนำเสนอผลการทดสอบตามสมมุติฐาน  
 ในเบื้องต้นได้ดังรูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.8 ตามลำดับดังนี้



**รูปที่ 4.13** การเปรียบเทียบรูปแบบของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบคงตัว กรณีติดตั้งสถานีประจุมเร็ว  
 ขนาด 5.04 MW ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

จากรูปที่ 4.13 นำเสนอการเปรียบเทียบรูปแบบของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบคงตัวกรณี  
 ติดตั้งสถานีประจุมเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ขนาด 5.04 MW ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส  
 ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมที่บัส 30 โดยก่อนการติดตั้งสถานีประจุมเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า  
 ที่บัส 30 มีค่าประมาณ 0.990 p.u. และเมื่อทำการติดตั้งสถานีประจุมเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทำให้  
 ระดับแรงดันไฟฟ้ายกระดับขึ้นที่ 1 p.u. ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าในบัสต่างๆถูกปรับปรุงไปด้วย

**ตารางที่ 4.8** การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ ก่อน-หลัง การติดตั้งสถานีประจุมเร็ว  
 สำหรับ PEVs ด้วยวิธีการ PSO

กรณีศึกษา	Total Active Power Loss (p.u.)	Position Bus No.	PEVs Active Power (p.u.)	PEVs Reactive Power (p.u.)
IEEE30 บัส	0.1062			
IEEE30 บัส+PEVs	0.0994	30	0.0504	-0.0027

จากตารางที่ 4.8 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ ก่อน-หลัง การติดตั้งสถานีประจุนเร็วด้วยวิธีการ PSO จากผลการทดสอบนั้นพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีประจุนเร็วคือตำแหน่งบัสที่ 30 ซึ่งผลจากการติดตั้งทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบลดลง จาก 0.1062 p.u.เหลือ 0.0994 p.u. หรือประมาณ 6.4 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นในการพิจารณาการติดตั้งสถานีประจุนเร็วสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในกรณีที่มีการพิจารณาใน โหมด V2G แล้วนั้นสถานีประจุนเร็วสามารถที่จะลดผลกระทบที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้และหากทำการพิจารณาจากรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสในสภาวะคงตัวจะพบว่าสถานีประจุนเร็วสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถเพิ่มความมีเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้ากำลังได้ ซึ่งหากทำการบริหารจัดการพลังงานอย่างเหมาะสม กำหนดช่วงเวลาในการประจุนและคายประจุนของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าที่ดี การนำพลังงานที่สะสมจากแบตเตอรี่ ที่มีอยู่ในยานยนต์ไฟฟ้ามาช่วยลดความต้องการของพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในบางช่วงเวลาจึงเป็นที่ควรพิจารณาเพื่อทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถทำได้และควรทำการศึกษาและพัฒนาในระเบียบและวิธีการอย่างเหมาะสมในลำดับถัดไป

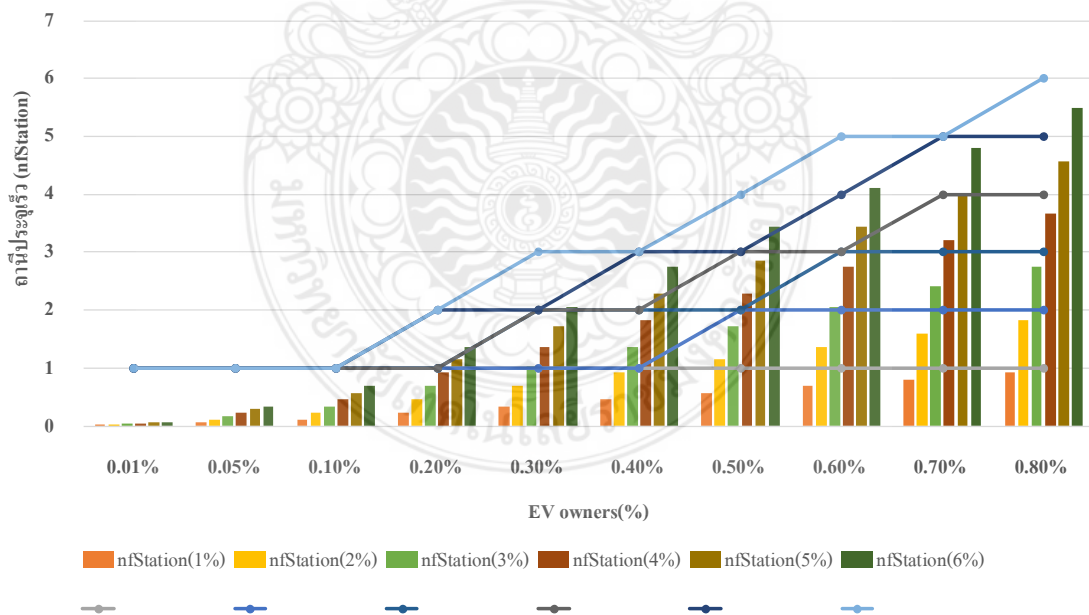
#### 4.6 ผลการศึกษาที่ 5 การประมาณการจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้งและความหนาแน่นของจำนวนประชากร

ผลการประมาณการจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของสถานที่ตั้ง สัดส่วนการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และความหนาแน่นของจำนวนประชากร ซึ่งจากที่นำเสนอในขั้นตอนการดำเนินงานนั้นต้องทำการประมาณการจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการค่าตัวแปรใน ด้านความหนาแน่นของจำนวนประชากร ขนาดพื้นที่ สัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และรายได้มวลรวมของประชากร จากสมมุติฐานได้ทำการเพิ่มความหนาแน่นของจำนวนประชากรจาก 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ และ สัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าจาก 0.01 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ นั้นทำให้สามารถประมาณการจำนวนของสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังสามารถนำเสนอผลการจำลองได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและสัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถทำการประเมินจำนวนสถานีประจุนเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าได้ ซึ่งจากตารางที่ 4.9 ได้แสดงให้เห็นถึงจำนวนความหนาแน่นของประชากรที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ นำไปสู่การวิเคราะห์หาจำนวนสถานีประจุนเร็วได้ จากขอบเขตของสัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ เช่น กรณีที่ความหนาแน่นของประชากรเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ จำนวนสถานีประจุนเร็วสูงสุดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับจำนวน 5 สถานี เป็นต้น



ตารางที่ 4.9 ผลการประมาณการจำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ความหนาแน่น ของประชากร	สัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (%)									
	0.01%	0.05%	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%	0.80%
nfStation (1%)	0.011	0.057	0.114	0.229	0.343	0.457	0.572	0.686	0.8	0.915
RoundUp (1%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
nfStation (2%)	0.023	0.114	0.229	0.457	0.686	0.915	1.143	1.372	1.601	1.829
RoundUp (2%)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
nfStation (3%)	0.034	0.172	0.343	0.686	1.029	1.372	1.715	2.058	2.401	2.744
RoundUp (3%)	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
nfStation (4%)	0.046	0.229	0.457	0.915	1.372	1.829	2.287	2.744	3.202	3.659
RoundUp (4%)	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4
nfStation (5%)	0.057	0.286	0.572	1.143	1.715	2.287	2.859	3.43	4.002	4.574
RoundUp (5%)	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5
nfStation (6%)	0.069	0.343	0.686	1.372	2.058	2.744	3.43	4.116	4.802	5.488
RoundUp (6%)	1	1	1	2	3	3	4	5	5	6



รูปที่ 4.14 จำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (EV owners) ต่อความหนาแน่นของจำนวนประชากร

จากรูปที่ 4.14 นำเสนอการเปรียบเทียบจำนวนสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (EV owners) ต่อความหนาแน่นของจำนวนประชากร ซึ่งจะพบว่าผลการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นจำนวนประชากรและสัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้านั้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนสถานีประจุเร็วที่คำนวณได้ในพื้นที่ของพื้นที่ตามกรณีศึกษา จากผลที่ได้จะพบว่าจำนวนสถานีที่น้อยที่สุด คือจำนวน 1 สถานี ในขณะที่จำนวนสถานีที่มากที่สุด คือ จำนวน 6 สถานี จากกรณีทดสอบที่นำเสนอ

**ตารางที่ 4.10** การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

	Base Case	1 สถานี	2 สถานี	3 สถานี	4 สถานี
โหนด	-	601_2757179	601_2754854	601_2755693	601_5267467
Total Power					
Loss (MW)	3.0017	3.041	3.417	3.521	3.542
% Base Case	0%	1.3%	13.84%	17.30%	18%

จากตารางที่ 4.10 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบกรณีมีการเพิ่มขึ้นของสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า จากสมมุติฐานการเพิ่มขึ้นของโหนดยานยนต์ไฟฟ้า ทำการทดสอบที่สถานีจ่ายไฟฟ้าธัญบุรี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สายป้อนวงจรที่ 1 ทำการสู่มติดตั้งขนาดสถานีประจุเร็วขนาด 2.5 MW จาก 1 สถานี ถึง 4 สถานี ที่โหนด 601\_2757179 โหนด 601\_2754854 โหนด 601\_2755693 และ โหนด 601\_5267467 ผลจากการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบจากกรณีศึกษานั้นพบว่าระบบไฟฟ้าได้รับผลกระทบ โดยมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่สู่มในการติดตั้งในระบบไฟฟ้าที่นำมาใช้ในกรณีศึกษา และจะได้รับผลกระทบสูงขึ้นถ้ามีการติดตั้งในตำแหน่งที่ไกลจากสถานี

ดังนั้นจากการศึกษาการประมาณค่าสถานีประจุเร็วสำหรับโหนดยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าพารามิเตอร์ที่นำเสนอซึ่งประกอบไปด้วยความหนาแน่นของจำนวนประชากร ขนาดพื้นที่ สัดส่วนของการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และรายได้มวลรวมของประชากร โดยสามารถนำมาประกอบในการประมาณตามวิธีการที่นำเสนอ โดยไม่ได้พิจารณาผลด้านของประชากรในด้านจากถิ่นอื่นมาอาศัยอยู่ในพื้นที่บริเวณที่พิจารณา จากผลการประมาณการที่นำเสนอนั้นได้ถูกนำไปใช้ในการศึกษาการติดตั้งจริงในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลจากกรณีศึกษาพบว่าการ

เพิ่มขึ้นของโหลดสถานีประจุนั้นสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่ขนส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังอย่างมาก ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมในอนาคต

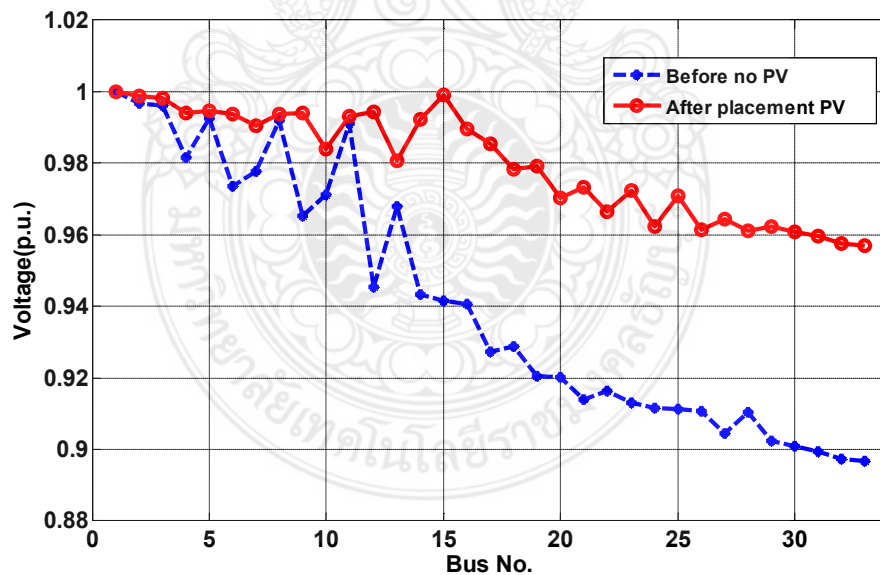
#### 4.7 ผลกรณีศึกษาที่ 6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC

ผลการจำลองการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ ABC จากวัตถุประสงค์ของงานต้องการใช้ประโยชน์จากสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในการลดผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อระบบไฟฟ้าในช่วงที่สถานีพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้และก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าจากพลังงานสะอาดที่ผลิตได้ ลดการใช้พลังงานจากกริด จากวิธีการที่นำเสนอในขั้นตอนการดำเนินงานได้ทำการแบ่งกลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 7 กลุ่ม และสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 1 สถานี โดยทำการวิเคราะห์หาขนาดสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำเสนอผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.15 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งของกลุ่มโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่ง PV

กรณี	ตำแหน่งที่เหมาะสม (Bus)	ขนาดที่เหมาะสม (kW)	ก่อน		หลัง	
			Loss (kW)	LVD (%)	Loss (kW)	LVD (%)
1	-	-	211,118 (0%)	0.158 (0%)	-	-
	EVs=	50,50,50,	241,547	0.155	-	-
2	2,3,7,14, 15,24,27	50,50,50,50 (+9.41%)	(+14.41%)	(-1.90%)		
	EVs=	50,50,50,	241,547	0.155	218.142	0.021
3	2,3,7,14, 15,24,27	50,50,50,50 (+9.41%)	(+14.41%)	(-1.90%)	(+3.3%)	(-86.71%)
	PV=15	250.785				

จากตารางที่ 4.11 นำเสนอการเปรียบเทียบผลการติดตั้งของกลุ่มโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่งของ PV โดยทำการแบ่งผลทดสอบออกเป็น 3 กรณีศึกษา โดยในกรณีที่ 1 แสดงผลค่าฐานของระบบก่อนการติดตั้งกลุ่มสถานีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าโดยที่ระบบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมเท่ากับ 211.118 kW และมีค่า LVD เท่ากับ 0.158 ในขณะที่ในกรณีที่ 2 แสดงตำแหน่งติดตั้งของสถานีซึ่งประกอบไปด้วยตำแหน่งบัสที่ 2, 3, 7, 14, 15, 24 และ 27 ตามลำดับโดยในแต่ละสถานีจะมีขนาดพิกัดของชุดประจุที่ 50 kW โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าของระบบที่เพิ่มขึ้นประมาณ 9.41 เปอร์เซ็นต์ โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าเท่ากับ 241.547 kW โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่เพิ่มขึ้นประมาณ 14.41 เปอร์เซ็นต์ และค่า LVD มีค่าเท่ากับ 0.155 โดยคิดเป็น LVD ของระบบลดลงประมาณ 1.90 เปอร์เซ็นต์ และ ในกรณีที่ 3 ทำการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 1 สถานีที่เหมาะสมในระบบที่ตำแหน่งบัส 15 ขนาดประมาณ 250.785 kW ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบลดลงมาเหลือ 218.142 kW โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบที่เพิ่มขึ้นประมาณ 3.3 เปอร์เซ็นต์ และค่า LVD มีค่าเท่ากับ 0.021 โดยคิดเป็น LVD ของระบบลดลงประมาณ 86.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพบว่าในกรณีทำการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพด้านแรงดันเพิ่มมากขึ้นจากการพิจารณาในค่า LVD และสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปจากการจ่ายโหลดของระบบได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 33 บัส เมื่อติดตั้งสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและมีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.15 นำเสนอการเปรียบเทียบรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 33 บัสเมื่อติดตั้งสถานีประจุนำสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและเมื่อมีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถแสดงผลได้อย่างเด่นชัดของรูปแบบแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง (สามารถแทนด้วยเส้นกราฟสีน้ำเงิน) และกรณีที่มีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มในระบบกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัส 15 (สามารถแทนด้วยเส้นกราฟสีแดง) จากที่มีการติดตั้งของสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่บัสที่ 15 นั้นจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสดังกล่าวสูงขึ้นทำให้บัสต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องก็จะทำให้ได้รับการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลดีโดยภาพรวมต่อระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบได้

โดยผลจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่งผลต่อรูปแบบของแรงดันในแต่ละบัสของระบบที่ลดลง และสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อยกระดับขนาดของแรงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังทำให้ภาพโดยรวมของระบบมีเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงคุณภาพของระดับแรงดันและสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบลงได้ ด้วยสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในด้านการผลิตตามช่วงเวลาของแสงอาทิตย์ การบริหารจัดการที่เหมาะสม การติดตั้งระบบจัดเก็บพลังงาน นั้นจำเป็นที่ต้องมีการประสานควบคู่กับแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆเพื่อควมมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

#### 4.8 ผลการศึกษาค้นคว้าที่ 7 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า

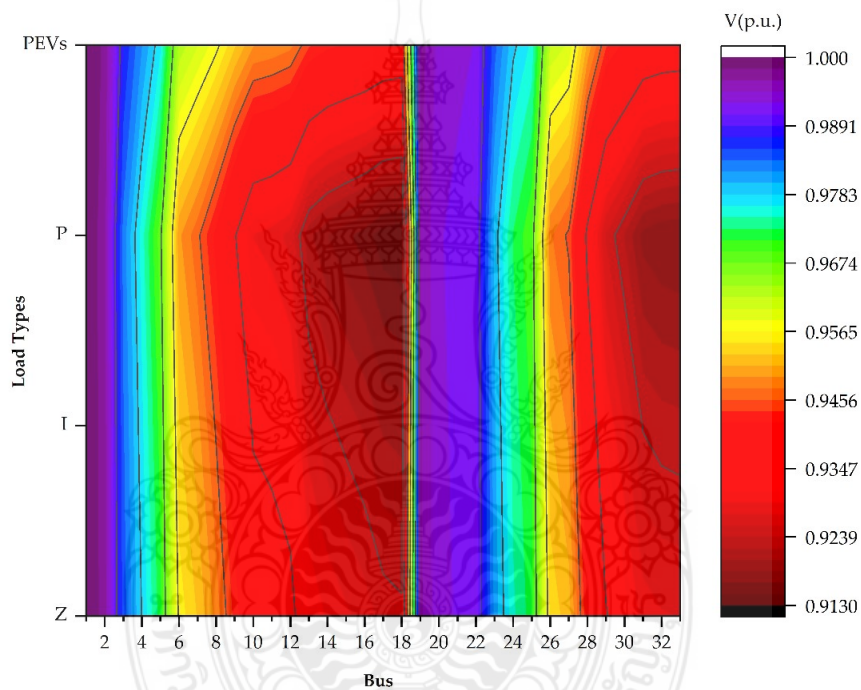
ผลการจำลองผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแรงดัน จากที่นำเสนอในขั้นตอนในการดำเนินการนั้นได้นำเสนอการเปรียบเทียบกับรูปแบบโหลดดั้งเดิมของระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยโหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) โหลดกระแสคงที่ (I) และโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) โดยทำการเปรียบเทียบกับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แทนในรูปแบบโหมคประจุปกติหรือโหมคประจุช้าทำการทดสอบในระบบจำหน่ายเรเดียลกับระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส เพื่อต้องการวิเคราะห์ชนิดของโหลดจากสมมุติฐานว่ามีระดับผลกระทบในระดับใดต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อทำให้เกิดการเรียนรู้ต่อพฤติกรรมของโหลดในแต่ละประเภท โดยเฉพาะ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊ก

อินที่มีขนาดพิกัดเท่ากับ โหลดดั้งเดิมของระบบ โดยสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสและกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบรูปแบบแรงดันไฟฟ้าจากกรณีศึกษาของโหลดในแต่ละชนิด

บัส	Z (p.u.)	I (p.u.)	P (p.u.)	PEVs(p.u.)
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.9973	0.9972	0.9970	0.9977
3	0.9847	0.9839	0.9829	0.9873
4	0.9782	0.9769	0.9755	0.9820
5	0.9717	0.9701	0.9681	0.9768
6	0.9558	0.9530	0.9497	0.9631
7	0.9527	0.9498	0.9462	0.9602
8	0.9485	0.9453	0.9413	0.9572
9	0.9432	0.9395	0.9351	0.9532
10	0.9382	0.9342	0.9292	0.9494
11	0.9374	0.9334	0.9284	0.9489
12	0.9362	0.9320	0.9269	0.9480
13	0.9310	0.9264	0.9208	0.9441
14	0.9290	0.9243	0.9185	0.9426
15	0.9278	0.9230	0.9171	0.9418
16	0.9267	0.9218	0.9157	0.9410
17	0.9250	0.9199	0.9137	0.9396
18	0.9245	0.9194	0.9131	0.9392
19	0.9968	0.9967	0.9965	0.9972
20	0.9933	0.9931	0.9929	0.9939
21	0.9926	0.9924	0.9922	0.9932
22	0.9919	0.9918	0.9916	0.9926
23	0.9813	0.9804	0.9794	0.9843
24	0.9750	0.9739	0.9727	0.9788
25	0.9719	0.9707	0.9694	0.9760
26	0.9541	0.9512	0.9477	0.9617
27	0.9519	0.9489	0.9452	0.9598
28	0.9421	0.9383	0.9337	0.9507
29	0.9350	0.9308	0.9255	0.9441
30	0.9320	0.9275	0.9220	0.9414
31	0.9285	0.9237	0.9178	0.9385
32	0.9277	0.9229	0.9169	0.9378
33	0.9274	0.9226	0.9166	0.9376

จากตารางที่ 4.12 นำเสนอการเปรียบเทียบรูปแบบแรงดันไฟฟ้าของโหลดในแต่ละชนิดในแต่ละบัส โดยจากการวิเคราะห์ผลของแรงดันที่ได้ขึ้นคุณลักษณะของรูปแบบแรงดันไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงแรกคือ ช่วงบัสที่ 1 ถึงบัสที่ 18 (ตัวเลขอักษรขีดเส้นใต้) และช่วงที่สองคือ ช่วงบัสที่ 19 ถึงบัสที่ 33 โดยระดับแรงดันไฟฟ้าจะไล่จากช่วงต้นบัสไปยังช่วงปลายในแต่ละช่วง จะพบว่าแรงดันที่บัส 18 ในช่วงที่ 1 มีค่าของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่าทุกบัสในทุกกรณีทดสอบ จากการวิเคราะห์พบว่าในช่วงดังกล่าวนี้สามารถเรียงลำดับค่าระดับแรงดันจากน้อยไปมากดังนี้ โหลด P มีระดับแรงดันที่บัสที่ 0.9131 p.u. โหลด I ระดับแรงดันที่บัสต่ำที่ 0.9194 p.u. โหลด Z ระดับแรงดันที่บัสต่ำที่ 0.9245 p.u. และ โหลด PEVs ระดับแรงดันที่บัสต่ำที่ 0.9392 p.u. ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 รูปทรงของรูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสในสถานะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.16 นำเสนอการเปรียบเทียบรูปทรงของรูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสในสถานะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบของรูปแบบแรงดันทั้งสองช่วงจะพบว่า โหลด P เป็นโหลดที่มีผลกระทบต่อระดับแรงดันมากที่สุดและ โหลด PEVs เป็นโหลดที่มีผลกระทบต่อระดับแรงดันน้อยที่สุด จากการสังเกตผลยังพบคุณลักษณะ

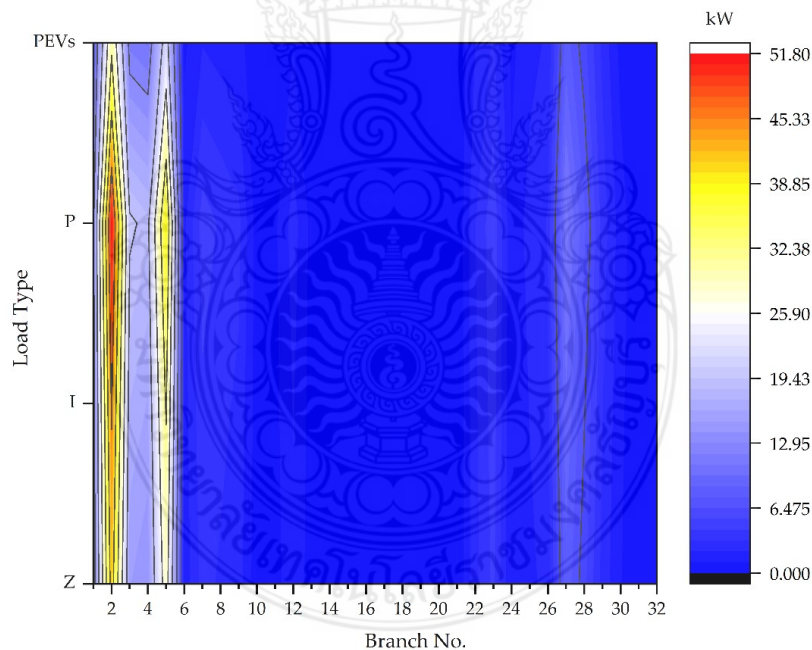
รูปทรงของโหลด PEVs นั้นแตกต่างจากโหลดแบบดั้งเดิมอย่างมากหากพิจารณาจากแทบลิซของรูปทรง โดยเฉพาะในช่วงใกล้ๆกับท้ายบัสของแต่ละช่วง

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสายส่งระหว่างบัสในสถานะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า

สายส่งหมายเลข	Z (kW)	I (kW)	P (kW)	PEVs (kW)
1	10.031	10.999	12.240	7.613
2	41.469	45.975	51.791	30.940
3	15.190	17.217	19.900	11.499
4	14.134	16.095	18.699	10.615
5	28.793	32.849	38.249	21.652
6	1.457	1.654	1.915	0.868
7	3.625	4.145	4.838	2.094
8	3.075	3.546	4.181	1.693
9	2.606	3.012	3.561	1.471
10	0.404	0.467	0.554	0.235
11	0.640	0.742	0.881	0.359
12	1.927	2.240	2.666	1.033
13	0.526	0.612	0.729	0.265
14	0.256	0.299	0.357	0.094
15	0.201	0.235	0.281	0.091
16	0.179	0.210	0.252	0.086
17	0.038	0.044	0.053	0.021
18	0.157	0.159	0.161	0.140
19	0.807	0.819	0.832	0.707
20	0.098	0.099	0.101	0.085
21	0.042	0.043	0.044	0.037
22	2.852	3.005	3.182	2.144
23	4.596	4.850	5.144	3.402
24	1.143	1.210	1.287	0.835
25	1.931	2.217	2.601	1.789
26	2.460	2.831	3.329	2.328
27	8.315	9.588	11.301	8.052
28	5.751	6.638	7.833	5.746
29	2.853	3.297	3.896	2.955
30	1.154	1.341	1.594	0.711
31	0.154	0.179	0.213	0.098
32	0.010	0.011	0.013	0.008



จากตารางที่ 4.13 นำเสนอการเปรียบเทียบเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียแยกทีของสายส่งระหว่างบัสในสภาวะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า จากผลการคำนวณพบว่าภาระกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในสายส่งกำลังไฟฟ้านั้นในช่วงของต้นทางจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สูงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังโหลดแต่ละตัวในระบบโดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดในช่วงแรกจะเป็นสายสายส่งหมายเลข 2 (ตัวเลขอักษรขีดเส้นใต้) และช่วงที่สองจะเป็นสายสายส่งหมายเลข 5 (ตัวเลขอักษรขีดเส้นใต้) จากการเปรียบเทียบพบว่าในช่วงแรกของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าสามารถเรียงลำดับค่าระดับจากน้อยไปมากดังนี้ โหลด PEVs มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 30.940 kW โหลด Z มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 41.469 kW โหลด I มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 45.975 kW และโหลด P มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 51.791 kW ตามลำดับ ในขณะที่จากการเปรียบเทียบพบว่าในช่วงสองของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งกำลังไฟฟ้าสามารถเรียงลำดับค่าระดับจากน้อยไปมากดังนี้ โหลด PEVs มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 21.652 kW โหลด Z มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 28.793 kW โหลด I มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 32.849 kW และโหลด P มีระดับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ 38.249 kW ตามลำดับ โดยมีลักษณะเป็นเช่นเดียวกันกับช่วงแรก



รูปที่ 4.17 รูปทรงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างบัสของระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.17 นำเสนอการเปรียบเทียบรูปทรงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างบัสของระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัวจากประเภทของโหลดที่แตกต่างกันในระบบไฟฟ้า จะพบว่าเกิดช่วง

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสองช่วงดังที่นำเสนอไปก่อนหน้านี้จากตารางที่ 4.13 โดยผลจากการวิเคราะห์รูปทรงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างบัสของระบบไฟฟ้ายังเห็นได้อย่างเด่นชัดในกำลังไฟฟ้าสูญเสียในช่วงดังกล่าวจากภาพสามารถวิเคราะห์ระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดไปต่ำสุดได้ตามลำดับ ได้ดังนี้คือ โหลด P โหลด I โหลด Z และ โหลด PEVs ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) (Z, I, P และ PEVs)

ชนิด โหลด	LVD	Active	Reactive	Apparent	%LVD	%Ploss	%Qloss
		Power Loss (kW)	Power Loss (kVar)	Power Loss (kVA)			
PEVs	0.062	119.67	79.31	143.56	-40.96%	-41.31%	-41.07%
Z	0.089	156.87	104.18	188.31	-22.60%	-22.91%	-22.70%
I	0.101	176.63	117.51	212.15	-12.85%	-13.04%	-12.91%
P	0.117	202.68	135.14	243.60	0.00%	0.00%	0.00%

จากตารางที่ 4.14 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่า (LVD) โดยสามารถเรียงลำดับโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและค่า LVD จากสูงที่สุดไปต่ำสุดได้ ดังนี้คือ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) โหลดกระแสคงที่ (I) โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (PEVs) ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาโดยใช้ข้อมูลของการคำนวณโดยใช้กรณีฐานเป็น โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) สามารถเปรียบเทียบระดับของผลกระทบของโหลดในแต่ละประเภทนั้นได้พิสูจน์ให้เห็นว่า โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินนั้นส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโหลดชนิดอื่นๆด้วยในขนาดและตำแหน่งต่างๆที่ติดตั้งเหมือนกันกับโหลดดั้งเดิมของระบบ

จากกรณีศึกษานี้แสดงให้เห็นการวิเคราะห์โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในสถานะคงตัวเปรียบเทียบกับโหลดดั้งเดิมของระบบนั้นด้วยวิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินนั้นส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่ต่ำ จากการพิจารณาเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาในลำดับถัดไป เมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊ก

อื่น ได้ทำการติดตั้งร่วมกับโหลดชนิดอื่นๆ และกรณีที่มีการประจุในเวลาเดียวกันในปริมาณที่มาก ในผลกระทบที่มีต่อความมีเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัว และจุดเด่นของการเปรียบเทียบรูปทรงจากที่ได้นำเสนอในกรณีศึกษานี้สามารถแสดงให้เห็นความง่ายในการวิเคราะห์กรณีศึกษาด้วยภาพรูปทรง ซึ่งก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาในกรณีอื่นๆ ได้

#### 4.9 ผลกรณีศึกษาที่ 8 ปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่าง

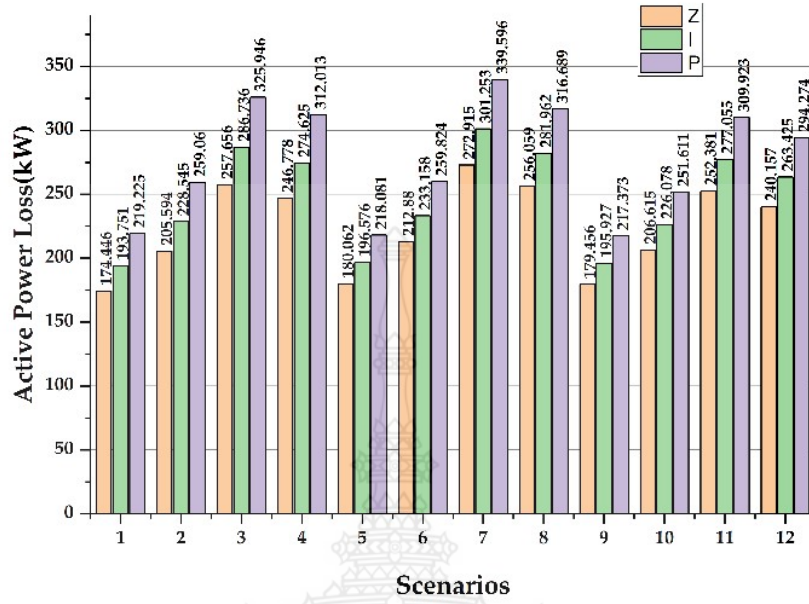
ผลการจำลองปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันในสภาวะคงตัว โดยขนาดติดตั้งของสถานีประจุนิวที่แทนด้วยโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ โดยมีขนาดติดตั้งในระบบรวมที่ขนาด 1 MW ลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์สามารถนำเสนอได้ในบทที่ผ่านมา โดยทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบและค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) ในการศึกษาในพฤติกรรมและระดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการจำลองในเบื้องต้นสามารถนำเสนอผลการทดสอบในแต่ละลำดับได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.15 นำเสนอการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่า (LVD) โดยที่ค่าจากตารางทำการเปรียบเทียบรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ละรูปแบบ โดยเริ่มจาก EVI ไปสิ้นสุดที่ EVII โดยสถานการณ์ในการจำลองสามารถนำเสนอได้ดังตารางที่ 3.6 ที่ผ่านมา ซึ่งผลการคำนวณที่ได้ในแต่ละสถานการณ์นั้นจากตารางที่ 4.15 มีความแตกต่างกันอย่างมากในแต่ละสถานการณ์ตามกรณีศึกษา ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้ทราบระดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อกริด

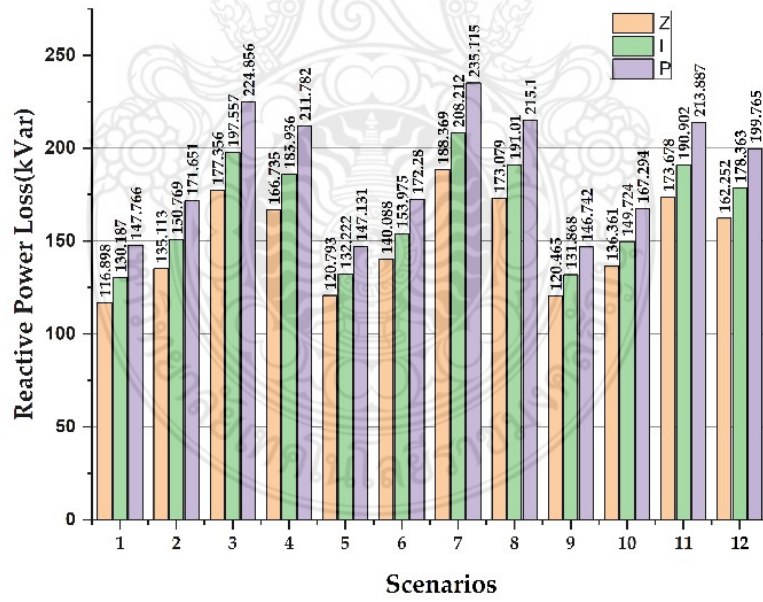
จากรูปที่ 4.18 นำเสนอกราฟการเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษาของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเมื่อติดตั้งร่วมกับโหลดทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งได้ทำการแสดงผลของรูปแบบโหลดของระบบแบบดั้งเดิม (Z, I, P) ใน 12 สถานการณ์ โดยประเด็นการเปรียบเทียบหลักใน 3 ประเด็นหลัก คือ ก) กำลังไฟฟ้าแอกทีฟของสูญเสียรวมของระบบ (Total active power loss) ข) กำลังไฟฟ้แอกทีฟของสูญเสียรวมของระบบ (Total reactive power loss) และ ค) ค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนแรงดันมาตรฐาน (LVD) ซึ่งจาก 12 เหตุการณ์นั้นสามารถเรียงลำดับผลกระทบจากค่ามากที่สุดไปต่ำสุดของของโหลดดั้งเดิมของระบบ คือ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) โหลดกระแสคงที่ (I) และ โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) ตามลำดับ โดยโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบยังไม่สามารถลำดับได้

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD)

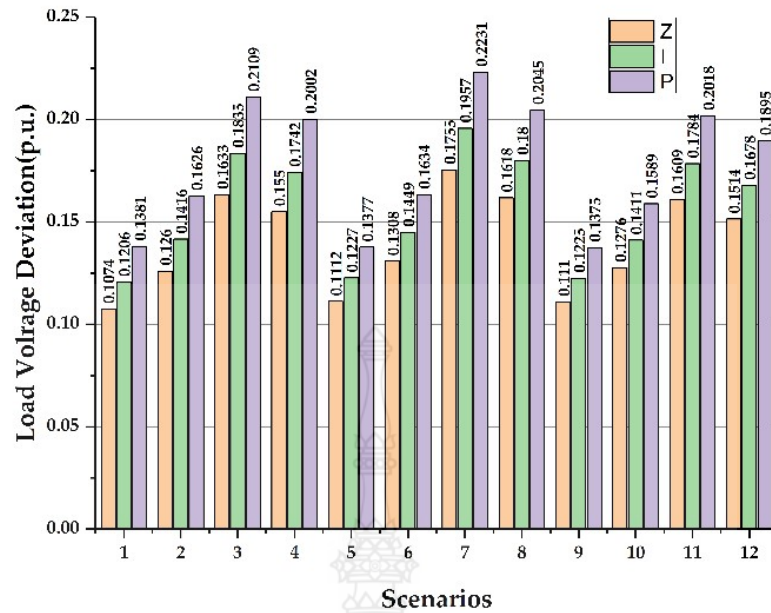
สถานการณ์ (Scenarios)	Total active power loss (kW)			Total reactive power loss (kVar)			LVD		
	Z	I	P	Z	I	P	Z	I	P
Base case	167.530	186.356	211.180	113.021	126.022	143.205	0.105	0.118	0.135
1 (EVI)	174.446	193.751	219.225	116.898	130.187	147.766	0.107	0.121	0.138
2 (EVI)	205.594	228.545	259.060	135.113	150.769	171.651	0.126	0.142	0.162
3 (EVI)	257.656	286.736	325.946	177.356	197.557	224.856	0.163	0.184	0.211
4 (EVI)	246.778	274.625	312.013	166.735	185.936	211.782	0.155	0.174	0.200
5 (EVII)	180.062	196.576	218.081	120.793	132.222	147.131	0.111	0.124	0.137
6 (EVII)	212.880	233.158	259.824	140.088	153.975	172.280	0.131	0.145	0.163
7 (EVII)	272.915	301.253	339.596	188.369	208.212	235.115	0.176	0.196	0.223
8 (EVII)	256.059	281.962	316.689	173.079	191.010	215.100	0.162	0.180	0.205
9 (EVIII)	179.456	195.927	217.373	120.465	131.868	146.742	0.111	0.123	0.136
10 (EVIII)	206.615	226.078	251.611	136.361	149.724	167.294	0.128	0.141	0.159
11 (EVIII)	252.381	277.055	309.923	173.678	190.902	213.887	0.161	0.178	0.202
12 (EVIII)	240.157	263.425	294.274	162.252	178.363	199.765	0.151	0.168	0.190



(n)



(q)



(ค)

รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษาของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบเมื่อติดตั้งรวมกับโหลดทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแบบดั้งเดิม

- (ก) กำลังไฟฟ้าแอกทีฟรวมของระบบจากความแตกต่างของโหลดแต่ละรูปแบบ
- (ข) กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟรวมของระบบจากความแตกต่างของโหลดแต่ละรูปแบบ
- (ค) ค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลดจากความแตกต่างของ โหลดแต่ละรูปแบบ

จากตารางที่ 4.16 นำเสนอการเปรียบเทียบ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบของแต่ละกรณีศึกษาตามวิธีการติดตั้งของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) โหลดกระแสคงที่ (I) และ โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) ตามลำดับ ด้วยการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทั้ง 12 สถานการณ์นั้นสามารถแสดงค่าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากที่สุดได้ด้วยการแทนด้วยตัวอักษรตัวเลขขีดเส้นใต้ ในขณะที่ค่าที่ส่งผลระบบไฟฟ้ากำลังน้อยที่สุดได้ด้วยการแทนอักษรตัวเลขตัวเอียง และค่าที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังระดับปานกลางแทนด้วยอักษรตัวเลขธรรมดา ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยวิธีการดังกล่าวเริ่มเห็นผลกระทบของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากที่สุดคือรูปแบบ โหลดยานยนต์แบบ EVII แต่ในส่วนจากรูปแบบยานยนต์ที่ส่งผลในระดับปานกลางและน้อยที่สุดนั้นยังไม่เด่นชัดในผลกระทบในวิธีการติดตั้งรูปแบบ A และ B จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่าตำแหน่งการติดตั้งของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อกริดที่แตกต่างกันออกไปตามสถานการณ์ที่จำลองขึ้น

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบของแต่ละกรณีศึกษาตามวิธีการติดตั้งของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

สถานะการณ์ (Scenarios)	วิธีการติดตั้ง	Total real power loss (kW)			Total reactive power loss (kVar)			LVD		
		Z	I	P	Z	I	P	Z	I	P
ค่าฐาน	(No EVs)	167.530	186.356	211.180	113.021	126.022	143.205	0.105	0.118	0.135
1 (EVI)	A	<u>174.446</u>	<u>193.751</u>	<u>219.225</u>	<u>116.898</u>	<u>130.187</u>	<u>147.766</u>	<u>0.107</u>	<u>0.121</u>	<u>0.138</u>
5 (EVII)		<u>180.062</u>	<u>196.576</u>	218.081	<u>120.793</u>	<u>132.222</u>	147.131	<u>0.112</u>	<u>0.124</u>	0.137
9 (EVIII)		<u>179.456</u>	<u>195.927</u>	<u>217.373</u>	120.465	131.868	<u>146.742</u>	0.111	0.123	<u>0.136</u>
2 (EVI)	B	<u>205.594</u>	<u>228.545</u>	<u>259.060</u>	<u>135.113</u>	<u>150.769</u>	<u>171.651</u>	<u>0.126</u>	0.142	0.162
6 (EVII)		<u>212.880</u>	<u>233.158</u>	<u>259.824</u>	<u>140.088</u>	<u>153.975</u>	<u>172.280</u>	<u>0.131</u>	<u>0.145</u>	<u>0.163</u>
10 (EVIII)		<u>206.615</u>	<u>226.078</u>	<u>251.611</u>	136.361	<u>149.724</u>	<u>167.294</u>	0.128	<u>0.141</u>	<u>0.159</u>
3 (EVI)	C	<u>257.656</u>	<u>286.736</u>	<u>325.946</u>	<u>177.356</u>	<u>197.557</u>	<u>224.856</u>	0.163	0.184	0.211
7 (EVII)		<u>272.915</u>	<u>301.253</u>	<u>339.596</u>	<u>188.369</u>	<u>208.212</u>	<u>235.115</u>	<u>0.176</u>	<u>0.196</u>	<u>0.223</u>
11 (EVIII)		<u>252.381</u>	<u>277.055</u>	<u>309.923</u>	<u>173.678</u>	<u>190.902</u>	<u>213.887</u>	<u>0.161</u>	<u>0.178</u>	<u>0.202</u>
4 (EVI)	D	<u>246.778</u>	<u>274.625</u>	<u>312.013</u>	<u>166.735</u>	<u>185.936</u>	<u>211.782</u>	0.155	0.174	0.200
8 (EVII)		<u>256.059</u>	<u>281.962</u>	<u>316.689</u>	<u>173.079</u>	<u>191.010</u>	<u>215.100</u>	<u>0.162</u>	<u>0.180</u>	<u>0.205</u>
12 (EVIII)		<u>240.157</u>	<u>263.425</u>	<u>294.274</u>	<u>162.252</u>	<u>178.363</u>	<u>199.765</u>	<u>0.151</u>	<u>0.168</u>	<u>0.190</u>

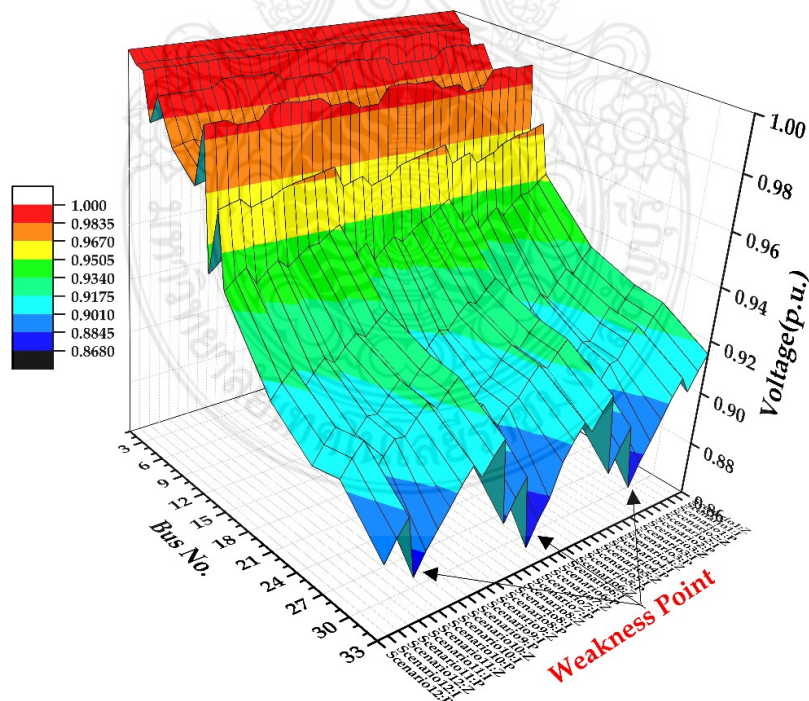
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลกระทบของโหลดยานยนต์ในแต่ละรูปแบบเป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าฐานของระบบ

สถานการณ์ (Scenarios)	วิธีการ ติดตั้ง	Total real power loss (%)			Total reactive power loss (%)			LVD (%)			ค่าเฉลี่ย %
		Z	I	P	Z	I	P	Z	I	P	
ค่าฐาน	(No EVs )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 (EVI)	A	4.13	3.97	3.81	3.43	3.30	3.18	1.90	2.54	2.22	3.17
5 (EVII)		7.48	5.48	3.27	6.88	4.92	2.74	6.67	5.08	1.48	<u>4.89</u>
9 (EVIII)		7.12	5.14	2.93	6.59	4.64	2.47	5.71	4.24	0.74	4.40
2 (EVI)	B	22.72	22.64	22.67	19.55	19.64	19.86	20.00	20.34	20.00	20.82
6 (EVII)		27.07	25.11	23.03	23.95	22.18	20.30	24.76	22.88	20.74	<u>23.34</u>
10 (EVIII)		23.33	21.32	19.15	20.65	18.81	16.82	21.90	19.49	17.78	19.92
3 (EVI)	C	53.80	53.86	54.35	56.92	56.76	57.02	55.24	55.93	56.30	55.58
7 (EVII)		62.91	61.65	60.81	66.67	65.22	64.18	67.62	66.10	65.19	<u>64.48</u>
11 (EVIII)		50.65	48.67	46.76	53.67	51.48	49.36	53.33	50.85	49.63	50.49
4 (EVI)	D	47.30	47.37	47.75	47.53	47.54	47.89	47.62	47.46	48.15	<u>47.62</u>
8 (EVII)		52.84	51.30	49.96	53.14	51.57	50.20	54.29	52.54	51.85	51.97
12 (EVIII)		43.35	41.36	39.35	43.56	41.53	39.50	43.81	42.37	40.74	41.73
Total											EVI 127.19
											EVII <u>144.68</u>
											EVIII 116.54



จากตารางที่ 4.17 นั้นเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบของโหลดยานยนต์ในแต่ละรูปแบบ เป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าฐานของระบบ โดยการเทียบนั้นใช้ค่าดั้งเดิมของระบบไฟฟ้ากำลังในขณะที่ยังไม่มีการถูกรบกวนจากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาทำการหาค่าเฉลี่ยและรวมค่าทั้งหมดที่ได้ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการระบุระดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบโดยสามารถแสดงค่าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากที่สุดได้ด้วยการแทนจำนวนอักษรตัวเลขขีดเส้นใต้ ในขณะที่ค่าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังน้อยที่สุดได้ด้วยการแทนจำนวนอักษรตัวเลขอักษรเอียง และค่าที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังระดับปานกลางแทนด้วยอักษรตัวเลขธรรมดา ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จากภาพรวมในบทสรุปจะพบว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบที่ EVII ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ามากที่สุด ในขณะที่ โหลดยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบที่ EVI ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในระดับปานกลาง และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้ารูปแบบ EVIII ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าน้อยที่สุด ตามลำดับ

ในกรณีนำเสนอเป็นกลุ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบของเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบในภาพรวมด้วยวิธีการวิเคราะห์รูปทรงของแรงดันจากกรณีทดสอบทั้ง 12 เหตุการณ์ ที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ทำให้สามารถระบุจุดอ่อนของระบบไฟฟ้ากำลังได้ ซึ่งเป็นผลจากโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ของระบบ สามารถนำเสนอได้ดังรูปที่ 4.12 ดังนี้



รูปที่ 4.19 รูปแบบแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้า

จากกรณีศึกษาที่นำเสนอ นั้นสามารถทำการลำดับผลกระทบของรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้า EVI EV2 และ EVIII ได้ด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งได้เปิดเผยถึงพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง ในขนาด ตำแหน่ง และรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ ซึ่งในการวิเคราะห์ในปัญหา ระบบไฟฟ้าในอนาคตต้องคำนึงถึงในพฤติกรรมของรูปแบบในแต่ละรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอ

#### 4.10 บทสรุป

จากผลการทดสอบในแต่ละกรณีศึกษานั้นสามารถแสดงให้เห็นผลกระทบของรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอในแต่ละวิธีการ ในความแตกต่างในแต่ละกรณีศึกษาของปัญหาและพยายามให้ครอบคลุมกับปัญหาที่อาจส่งผลกระทบโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง ต่อผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลที่ได้รับจากกรณีศึกษานั้นนำไปสู่องค์ความรู้ตามขอบเขตของสมมุติฐานที่นำเสนอ รวมถึงได้เกิดความรู้ ความเข้าใจในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ที่เพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อเพิ่มความมีเสถียรภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง และลดผลกระทบต่อการขาดความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

คุณูปนิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการจำลองการวิเคราะห์ปัญหาของระบบไฟฟ้าด้วยรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบด้วยการจำลองใน 8 กรณีศึกษา โดยในแต่ละกรณีศึกษาที่พิจารณาศึกษานั้นอยู่ในความสนใจและนำไปสู่การเรียนรู้ หรือแก้ไขปัญหาอย่างเหมาะสม ทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้ากำลังมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาในแต่ละกรณีดังนี้

#### 5.2 สรุปผลการทำคุณูปนิพนธ์

5.2.1 กรณีศึกษาที่ 1 ในการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพเมื่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ทำการทดสอบในระบบ 6 บัส โดยใช้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนามหรือ ZIP ในสถานะโหลดสมดุลย์ที่บัส B3 แบบทันทีทันใดที่เวลา 2 วินาทีจากระดับ 50 ถึง 300 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาผลกระทบในสถานะพลวัตของระบบต่อการตอบสนองของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ใช้ระบบเสถียรภาพไฟฟ้ากำลัง (PSS) ในการควบคุมเครื่องจักรกลเชิงโรตารีที่ต่ออยู่ที่บัส B6 ในการควบคุมความถี่เสถียรภาพต่อการแกว่งของความถี่ต่ำของระบบ โดยใช้วิธีการ PSO ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของ PSS ที่เหมาะสมนั้นผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า PSS สามารถเพิ่มอัตราส่วนการหน่วงของระบบได้ตามกรณีทดสอบในแต่ละกรณี โดยมีค่าอัตราส่วนการหน่วงเพิ่มขึ้นจาก 0.1044 เพิ่มขึ้นตามโหลดเป็น 0.3711, 0.5190, 0.5488, 0.5401, 0.4024 และ 0.4127 ตามลำดับ ทำให้ระบบเข้าสู่สถานะสมดุลย์ที่เร็วขึ้นและเหมาะสม สามารถเพิ่มความถี่เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบแบบทันทีทันใด ทำให้ระบบเกิดความสมดุลย์และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบทันทีทันใดนั้นส่งผลกระทบต่อแกว่งของความถี่ต่ำของเครื่องจักรกลเชิงโรตารีของระบบ จำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบและควบคุมการเปลี่ยนแปลงของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบอย่างเหมาะสมในอนาคต

5.2.2 กรณีศึกษาที่ 2 รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ของการไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSAT นั้นวัตถุประสงค์โดยรวมคือต้องการพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วย

ในการวิเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้ให้เกิดความคล่องตัวในการวิเคราะห์ในปัญหาต่างๆด้วยโปรแกรมฟรีแวร์ นั่นคือโปรแกรม PSAT โดยเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานด้วย GUI โดยแทนรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยที่นำเสนอแนะใช้โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองตามที่นำเสนอในขั้นตอนการดำเนินการ ทำการทดสอบในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 14 บัส เมื่อทำการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่บัสที่ 14 ผลจากการวิเคราะห์นั้นพบว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบในกรณีที่โหลดยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีทดสอบ โดยทำการเปรียบเทียบกับ โหลด PQ ของระบบยังทำให้เห็นเด่นชัดในทอมของผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง และหากทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ CPF แล้วนั้น โหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีช่วงของการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่แคบ นั้นแสดงให้เห็นว่าโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ณ จุดแรงดันไฟฟ้าพังทลาย (Voltage Collapse) ดังนั้นตำแหน่งและขนาดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณาต่อผลกระทบของระบบไฟฟ้าในกรณีการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่

5.2.3 กรณีศึกษาที่ 3 ในการศึกษาการกำหนดตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบ 26 บัสของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขตภาคกลาง ทำการจำลองการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบด้วยรูปแบบพหุนามหรือ ZIP โดยทำการติดตั้งโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในระบบที่จุดต่อแยกจำนวน 7 สถานี ทำการเพิ่ม โหลดยานยนต์ไฟฟ้าจากระดับ 5 ถึง 120 เปอร์เซ็นต์ โดยดำเนินการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่นำเสนอในการกำหนดตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยวิธีการ HIML ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ RLF แบบดั้งเดิม ผลจากการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการ HIMPL สามารถประยุกต์ใช้ในการหาค่าและตำแหน่งที่เหมาะสมของตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ โดยใช้พื้นฐานค่าเฉลี่ย ผลการเปรียบเทียบกับวิธีการ RLF นั้นให้ตำแหน่งที่ตรงกันคือ T14 แต่วิธีการ RLF นั้นไม่สามารถหาค่าขนาดติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบค่าคงที่ได้ ในขณะที่วิธีการ HIMPL สามารถหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมได้ คือ ตำแหน่งเทอร์มินอล T14 และมีขนาด 7,500 kVar ซึ่งสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยของระบบไฟฟ้าจาก 29.29 kW มาอยู่ที่ 22.55 kW หรือลดลงประมาณ 22.93 เปอร์เซ็นต์

5.2.4 กรณีศึกษาที่ 4 ในการศึกษาการกำหนดตำแหน่งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันด้วยวิธีการ PSO ได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ทำการพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแบบโหลดยานยนต์

ไฟฟ้าแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า VSC ทำการจำลองเสมือนว่าเป็น PV บัส ทำงานในโหมด V2G เพื่อชดเชยการดึงพลังงานจากกริดในบางช่วงเวลาโดยทำการทดสอบตามขั้นตอนและวิธีการที่นำเสนอ ด้วยการประยุกต์ใช้การปรับปรุงวิธีการนิวตัน-ราฟสัน ร่วมกับวิธีการ PSO ในการหาตำแหน่งของสถานีประจําเร็วของโพลยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายคือกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้าต่ำสุด ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีประจําเร็วของโพลยานยนต์ไฟฟ้าคือบัสที่ 30 สามารถทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้าต่ำสุดโดยก่อนการติดตั้งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบอยู่ที่ 0.1062 p.u. ในขณะที่หลังการติดตั้ง มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบอยู่ที่ 0.0994 p.u. หรือสามารถลดลงมาโดยประมาณที่ 6.4 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการติดตั้งสถานีประจําเร็วของโพลยานยนต์ไฟฟ้าในโหมด V2G นั้นสามารถปรับปรุงระดับแรงดันของระบบและเพิ่มความมีเสถียรภาพของระบบได้

5.2.5 กรณีศึกษาที่ 5 ในการศึกษาการประมาณการสถานีประจําเร็วสำหรับโพลยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้พื้นฐานของ สถานที่ตั้ง สัดส่วนการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และความหนาแน่นของจำนวนประชากร ทำการทดสอบโดยใช้ระบบทดสอบสถานีไฟฟ้าชุมชน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำการจำลองการเพิ่มขึ้นของโพลยานยนต์ไฟฟ้าในระบบด้วยรูปแบบพหุนาม หรือ ZIP โดยทำการติดตั้งโพลยานยนต์ไฟฟ้าในระบบด้วยวิธีการสุ่มติดตั้งที่สายป้อนวงจรที่ 1 ซึ่งการคำนวณหาจำนวนสถานีนั้นใช้พื้นฐานด้านสังคมและเศรษฐกิจประกอบการประมาณค่า ตามขั้นตอนที่ได้นำเสนอ ผลการประมาณการจำนวนสถานีจากที่นำเสนอจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรหลักสองตัวคือความหนาแน่นของจำนวนประชากรในพื้นที่ และสัดส่วนการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าตามลำดับซึ่งจากการจำลองโดยกำหนดความหนาแน่นของจำนวนประชากรมีค่า 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนการเป็นเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้ามีค่า 0.01 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ นั้นสามารถประมาณค่าจำนวนสถานีที่ประจําเร็วสำหรับโพลยานยนต์ไฟฟ้าได้สูงสุดจำนวน 6 สถานี จากการทดสอบโดยการสุ่มติดตั้งสถานีที่ประจําเร็วสำหรับโพลยานยนต์ไฟฟ้าในระบบทดสอบจริงขนาด 2.5 MW ในระบบแล้วนั้นจะพบว่าหากมีการติดตั้งที่จำนวน 4 สถานี แล้วนั้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบสูงขึ้นถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการกำหนดขนาดและตำแหน่งของสถานีที่ประจําเร็วสำหรับโพลยานยนต์ไฟฟ้า จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่ต้องพิจารณาเพื่อรองรับการขยายตัวของโพลยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

5.2.6 กรณีศึกษาที่ 6 ในการศึกษาการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีประจําเร็วยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การเพิ่มขึ้นของโพลยานยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี ABC ได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ทำการพิจารณาโพลยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแบบโพลยานยนต์ไฟฟ้าแบบที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดัน

โดยทำการแบ่งสถานีประจุเร็วออกเป็น 7 กลุ่ม และมีสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 1 สถานี โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีการ ABC ในการคำนวณหาขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีประจุเร็วสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังสามารถนำเสนอได้ในขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน ด้วยเหตุผลที่ต้องการลดผลกระทบอันเกิดจากการเพิ่มของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการใช้แหล่งพลังงานทดแทนด้วยสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในระบบทั้ง 7 สถานีทำให้ระบบไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มประมาณ 14.41 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า LVD ลดลงประมาณ 1.90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเข้าไปในระบบที่บัส 15 ทำให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบลงมาอยู่ที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์ และค่า LVD ลดลงประมาณ 86.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลจากการติดตั้งสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมนั้นทำให้ระบบเกิดมีเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น

5.2.7 กรณีศึกษาที่ 7 ในการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ทำการพิจารณาโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นรูปแบบโหมดประจุแบบปกติหรือโหมดประจุแบบช้าสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (PEVs) ทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบโหลดดั้งเดิมของระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยโหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) โหลดกระแสคงที่ (I) และ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) เพื่อต้องการวิเคราะห์ระดับของผลกระทบจากรูปแบบโหลดในแต่ละรูปแบบที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถนำเสนอได้ในขั้นตอนการดำเนินงานของวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยรูปทรง ซึ่งผลจากการจำลองของกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม รูปแบบของแรงดันและการเบี่ยงเบนแรงดันไฟฟ้าของโหลด (LVD) นั้นแสดงให้เห็นถึงระดับของผลกระทบของโหลดในแต่ละรูปแบบที่มีต่อระบบไฟฟ้ากำลัง จากการเปรียบเทียบกรณีฐานของ โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่นั้นแสดงให้เห็นถึงระดับของผลกระทบ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินที่มีต่อระบบในระดับที่ต่ำที่สุดจากการเปรียบ โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) และ โหลดกระแสคงที่ (I) จากจุดนี้ทำให้ทราบว่า โหลดยานยนต์ไฟฟ้า PEVs ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่น้อยกว่าโหลดดั้งเดิมของระบบในกรณีที่พิจารณาในขนาดและตำแหน่งเดียวกันของโหลดในแต่ละรูปแบบทั้งระบบ และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PEVs จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าก็ต่อเมื่อมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นจำนวนมากในระบบไฟฟ้ากำลัง ประจุในเวลาเดียวกัน สายส่งกำลังไฟฟ้าชุดเดียวกัน เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการด้านพลังงานและควบคุมการประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องศึกษาและพิจารณาในลำดับถัดไป

5.2.8 กรณีศึกษาที่ 8 ในการศึกษาปรับปรุงวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้าของการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 33 บัส ทำการกำหนดรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้า 3 รูปแบบ จากที่ได้นำเสนอไปคือ EVI EVII และ EVIII ทำการจำลองเพื่อวิเคราะห์หาระดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์สามารถนำเสนอได้ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ เบื้องต้นทำการกำหนดรูปแบบการติดตั้งของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ และทำการสร้างสถานการณ์ในการจำลองจำนวน 12 สถานะการณ์บนพื้นฐานของโหลดดั้งเดิมของระบบ จากผลการจำลองกำลังไฟฟ้าสูญเสียแอกทีฟ กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟ และค่าแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนของโหลด (LVD) นั้นแสดงให้เห็นว่าถ้าพิจารณาผลกระทบของรูปแบบโหลดดั้งเดิมของระบบนั้น โหลดกำลังไฟฟ้าคงที่ (P) จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือ โหลดกระแสคงที่ (I) และส่งผลกระทบต่ำสุดคือ โหลดอิมพีแดนซ์คงที่ (Z) ตามลำดับ ซึ่งก็ยังไม่สามารถลำดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำการพิจารณาในแต่ละรูปแบบได้ ซึ่งกรณีที่ทำการศึกษาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับผลกระทบกับค่าฐานของระบบในแต่ละค่าของระบบทดสอบก่อนการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแล้วนั้น ระดับผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (EVII) มีค่าระดับผลกระทบสูงสุดที่ 144.68 เปอร์เซ็นต์ ระดับผลกระทบรองลงมาคือ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบพหุนาม (EVI) มีค่าระดับผลกระทบที่ 127.19 เปอร์เซ็นต์และระดับผลกระทบต่ำสุดคือ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสคงที่ (EVIII) มีค่าระดับผลกระทบที่ 116.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยรวมสูงสุดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (EVII) เกิดขึ้นในกรณี ที่ 7 โดยมีค่า 64.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ระดับผลกระทบต่อความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้น ได้แสดงถึงระดับความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ที่นำเสนอ ดังนั้นในการวิเคราะห์จำเป็นที่จะต้องพิจารณารูปแบบโหลดให้เหมาะสมกับปัญหาและสถานการณ์ที่ต้องการวิเคราะห์อีกครั้ง ซึ่งรูปแบบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันมีจุดเด่นด้อยที่ต่างกัน ในด้านการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของระบบไฟฟ้าในลำดับถัดไป

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

คุณฉันทินันท์นี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าต่อความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละกรณีศึกษาโดยในการ

วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า นั้นเป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบคงตัว (Static Analysis) ในสถานะ โหลดสมดุล (Balanced load) ซึ่งยังขาดการวิเคราะห์ปัญหาในรูปแบบสถานะไม่สมดุล (Unbalanced load) จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต และการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ การไหลกำลังไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น Probabilistic Load Flow หรือการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการ Quasi-Dynamic Simulation เป็นต้น รวมถึงปรับปรุงในส่วนของฟังก์ชันเป้าหมายในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมวิธีการต่างๆ ให้เกิดความหลากหลายและครอบคลุมต่อการแก้ไขปัญหาของระบบไฟฟ้า กำลังในอนาคต

#### 5.4 บทสรุป

คุณฉันทิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบ โหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยได้ทำการศึกษาผลกระทบของรูปแบบ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของ โหลดยานยนต์ ไฟฟ้าต่อความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละกรณีศึกษาที่น่าสนใจ ซึ่งมีความจำเป็นที่ ต้องทำการศึกษาให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในพฤติกรรมของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า ในแต่ละรูปแบบ และทราบถึงผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าจากรูปแบบ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ น่าสนใจ นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานในแต่ละด้านในการแก้ไขปัญหาต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง และ การเพิ่มความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยรวม ในการรองรับการขยายตัวของ การเพิ่มขึ้น ของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต รวมถึงการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า จริงในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลของการไฟฟ้า ประกอบการออกแบบหรือปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลัง และวางแผนการดำเนินการบริหารจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสมในลำดับถัดไป



## บรรณานุกรม

- [1] INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2013, Available: <https://www.eia.gov/outlooks/archive/ieo13/world.php>.
- [2] B. Bilgin and A. Emadi, "Electric Motors in Electrified Transportation: A step toward achieving a sustainable and highly efficient transportation system," *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 10-17, 2014.
- [3] World Energy Scenarios: Global Transport Scenarios 2050, Available: <https://www.worldenergy.org/publications/2011/global-transport-scenarios-2050/>.
- [4] Anna Kijewska and Anna Bluszcz, "Analysis of greenhouse gas emissions in the European Union member states with the use of an agglomeration algorithm," *Journal of Sustainable Mining*, vol. 15, no. 4, pp. 133-142, 2016/01/01/ 2016.
- [5] Paris Agreement, Available: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>.
- [6] International Energy Agency, "Oil Medium-Term Market report 2016," 2016.
- [7] Chen Aoxia and P. K. Sen, "Advancement in battery technology: A state-of-the-art review," in *2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2016, pp. 1-10.
- [8] Heide Budde-Meiwes *et al.*, "A review of current automotive battery technology and future prospects," in *The Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, 2013, vol. 227, pp. 761-776.
- [9] Marek Palinski, "A Comparison of Electric Vehicles and Conventional Automobiles: Costs and Quality Perspective," Bachelor, Bachelor thesis in Business Administration, NOVIA, 2017.
- [10] Compare Electric Cars, Available: <https://electriccarbuyer.com/compare.aspx>.
- [11] T. E. Nørbech, "Incentives and infrastructure — Crucial elements in the build-up of Norway's EV fleet," in *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 2013, pp. 1-4.

- [12] F. Carranza, O. Paturet, and S. Salera, "Norway, the most successful market for electric vehicles," in *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 2013, pp. 1-6.
- [13] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, "โครงการศึกษาการเตรียมความพร้อมรองรับการใช้งานพาหนะไฟฟ้าในอนาคตสำหรับประเทศไทย," 2558.
- [14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), กระทรวงพลังงาน, "รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2559 (Thailand Alternative Energy Situation 2016) " 2016, Available: [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=42079](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079).
- [15] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), "สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/ 2561 (Energy Situation Q1 2018)," 2018, Available: [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47592](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47592).
- [16] Kang Miao Tan, Vigna K. Ramachandaramurthy, and Jia Ying Yong, "Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 720-732, 2016/01/01/ 2016.
- [17] O. Erdinc, N. G. Paterakis, T. D. P. Mendes, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalão, "Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 3, pp. 1281-1291, 2015.
- [18] N. Rahbari-Asr, M. Chow, J. Chen, and R. Deng, "Distributed Real-Time Pricing Control for Large-Scale Unidirectional V2G With Multiple Energy Suppliers," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 5, pp. 1953-1962, 2016.
- [19] M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, "Effective Utilization of Available PEV Battery Capacity for Mitigation of Solar PV Impact and Grid Support With Integrated V2G Functionality," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1562-1571, 2016.
- [20] R. Tatro, S. Vadhva, P. Kaur, N. Shahpatel, J. Dixon, and K. Alzanoon, "Building to Grid (B2G) at the California Smart Grid Center," in *2010 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration*, 2010, pp. 382-387.

- [21] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob, "Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 771-789, 2017/03/01/ 2017.
- [22] Z. Wang, X. Guo, J. Li, and X. Wang, "Impact of Voltage Sags on Electric-Vehicle Charger and Critical Voltage Sag Determination," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 3, pp. 1397-1399, 2016.
- [23] Ghasem Esfandiari, Hadi Aran, and Mohammad Ebrahimi, "Comprehensive Design of a 100 kW/400 V High Performance AC-DC Converter," *POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING*, vol. 13, no. 5, pp. 417-429, 2015.
- [24] P. Maheshwari, Y. Tambawala, H. S. V. S. K. Nunna, and S. Doolla, "A review on plug-in electric vehicles charging: Standards and impact on distribution system," in *2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2014, pp. 1-6.
- [25] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 12, pp. 5673-5689, 2013.
- [26] Lena Ahmadi, Eric Croiset, Ali Elkamel, Peter Douglas, Woramon Unbangluang, and Evgueniy Entchev, "Impact of PHEVs Penetration on Ontario's Electricity Grid and Environmental Considerations," *Energies*, vol. 5, no. 12, p. 5019, 2012.
- [27] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 371-380, 2010.
- [28] Niels Leemput, Frederik Geth, Juan Van Roy, Pol Olivella-Rosell, Johan Driesen, and Andreas Sumper, "MV and LV Residential Grid Impact of Combined Slow and Fast Charging of Electric Vehicles," *Energies*, vol. 8, no. 3, p. 1760, 2015.
- [29] E. Sortomme, M. M. Hindi, S. D. J. Macpherson, and S. S. Venkata, "Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 198-205, 2011.

- [30] Kang Miao Tan, Vigna K. Ramachandaramurthy, Jia Ying Yong, Sanjeevikumar Padmanaban, Lucian Mihet-Popa, and Frede Blaabjerg, "Minimization of Load Variance in Power Grids—Investigation on Optimal Vehicle-to-Grid Scheduling," *Energies*, vol. 10, no. 11, p. 1880, 2017.
- [31] A. Safdarian, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Lehtonen, and F. Aminifar, "Optimal Electricity Procurement in Smart Grids With Autonomous Distributed Energy Resources," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 6, pp. 2975-2984, 2015.
- [32] Y. Xu and X. Shen, "Optimal Control Based Energy Management of Multiple Energy Storage Systems in a Microgrid," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 32925-32934, 2018.
- [33] A. Mohamed, V. Salehi, T. Ma, and O. Mohammed, "Real-Time Energy Management Algorithm for Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Parks Involving Sustainable Energy," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 577-586, 2014.
- [34] I. Colak, H. Wilkening, G. Fulli, J. Vasiljevska, F. Issi, and O. Kaplan, "Analysing the efficient use of energy in a small smart grid system," in *2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2012, pp. 1-4.
- [35] M. Masera, E. F. Bompard, F. Profumo, and N. Hadjsaid, "Smart (Electricity) Grids for Smart Cities: Assessing Roles and Societal Impacts," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, no. 4, pp. 613-625, 2018.
- [36] L. M. Hajagos and B. Danai, "Laboratory measurements and models of modern loads and their effect on voltage stability studies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 584-592, 1998.
- [37] A. Jimenez and N. García, "Power flow modeling and analysis of voltage source converter-based plug-in electric vehicles," in *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011, pp. 1-6.
- [38] Eduardo Valsera-Naranjo, Andreas Sumper, Roberto Villafafila-Robles, and David Martínez-Vicente, "Probabilistic Method to Assess the Impact of Charging of Electric Vehicles on Distribution Grids," *Energies*, vol. 5, no. 5, p. 1503, 2012.

- [39] C. H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan, and T. K. Saha, "Impact of electric vehicle load on power system oscillatory stability," in *2013 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2013, pp. 1-6.
- [40] A. D. Hilshey, P. D. H. Hines, P. Rezaei, and J. R. Dowds, "Estimating the Impact of Electric Vehicle Smart Charging on Distribution Transformer Aging," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 905-913, 2013.
- [41] C. H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan, and T. K. Saha, "Impact of electric vehicle fast charging on power system voltage stability," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 57, pp. 241-249, 2014/05/01/ 2014.
- [42] F. Milano and O. Hersent, "Optimal Load Management With Inclusion of Electric Vehicles and Distributed Energy Resources," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 662-672, 2014.
- [43] Monica Alonso, Hortensia Amaris, Jean Germain, and Juan Galan, "Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms," *Energies*, vol. 7, no. 4, p. 2449, 2014.
- [44] Maigha and Mariesa Crow, "Economic Scheduling of Residential Plug-In (Hybrid) Electric Vehicle (PHEV) Charging," *Energies*, vol. 7, no. 4, pp. 1876-1898, 2014.
- [45] Y. Xu, Y. Xu, Z. Chen, F. Peng, and M. Beshir, "Harmonic analysis of electric vehicle loadings on distribution system," in *2014 IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering*, 2014, pp. 145-150.
- [46] Pol Olivella-Rosell, Roberto Villafafila-Robles, Andreas Sumper, and Joan Bergas-Jané, "Probabilistic Agent-Based Model of Electric Vehicle Charging Demand to Analyse the Impact on Distribution Networks," *Energies*, vol. 8, no. 5, pp. 4160-4187, 2015.
- [47] Jun Yang, Wanmeng Hao, Lei Chen, Jiejun Chen, Jing Jin, and Feng Wang, "Risk Assessment of Distribution Networks Considering the Charging-Discharging Behaviors of Electric Vehicles," *Energies*, vol. 9, no. 7, pp. 560-580, 2016.
- [48] A. M. A. Haidar and K. M. Muttaqi, "Behavioral Characterization of Electric Vehicle Charging Loads in a Distribution Power Grid Through Modeling of Battery Chargers," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 1, pp. 483-492, 2016.

- [49] Azhar Ul-Haq, Carlo Cecati, and A. Essam Al-Ammar, "Modeling of a Photovoltaic-Powered Electric Vehicle Charging Station with Vehicle-to-Grid Implementation," *Energies*, vol. 10, no. 1, 2017.
- [50] M. Gjelaj, C. Træholt, S. Hashemi, and P. B. Andersen, "Optimal design of DC fast-charging stations for EVs in low voltage grids," in *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2017, pp. 684-689.
- [51] N. Jabalameli, M. A. S. Masoum, and S. Deilami, "Optimal online charging of plug-in electric vehicles considering voltage unbalance factor," in *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2017, pp. 1-5.
- [52] E. Akhavan-Rezai, M. F. Shaaban, E. F. El-Saadany, and F. Karray, "Managing Demand for Plug-in Electric Vehicles in Unbalanced LV Systems With Photovoltaics," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 13, no. 3, pp. 1057-1067, 2017.
- [53] Xianwen Zhu, Mingchao Xia, and Hsiao-Dong Chiang, "Coordinated sectional droop charging control for EV aggregator enhancing frequency stability of microgrid with high penetration of renewable energy sources," *Applied Energy*, vol. 210, pp. 936-943, 2018/01/15/ 2018.
- [54] N. S. Sains and I. Al-Anbagi, "Optimal charging and discharging for EVs in a V2G participation under critical peak conditions," *IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 8, no. 2, pp. 136-143, 2018.
- [55] Khizir Mahmud, Graham E. Town, Sayidul Morsalin, and M. J. Hossain, "Integration of electric vehicles and management in the internet of energy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 4179-4203, 2018/02/01/ 2018.
- [56] G. Mauri and A. Valsecchi, "Fast charging stations for electric vehicle: The impact on the mv distribution grids of the milan metropolitan area," in *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, 2012, pp. 1055-1059.
- [57] Jia Ying Yong, Vigna K. Ramachandaramurthy, Kang Miao Tan, and N. Mithulananthan, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 365-385, 2015/09/01/ 2015.

- [58] Hussain Shareef, Md Mainul Islam, and Azah Mohamed, "A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 403-420, 2016/10/01/ 2016.
- [59] ELECTRIC CAR LIST, Available: <https://wattev2buy.com/electric-vehicles/>.
- [60] ผศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล และคณะวิจัย, "Assessment of Electric Vehicle Technology Development and Its Implication in Thailand," 2014.
- [61] International Energy Agency, "Technology Roadmap Electric and plug-in hybrid electric vehicles," June 2011 2011.
- [62] June 2018 Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card, Available: <https://insideevs.com/june-2018-plug-in-electric-vehicle-sales-report-card/>.
- [63] *Europe Electric Car Sales Up 37% In June — #CleanTechnica Report*. Available: <https://cleantechnica.com/2018/07/30/europe-electric-car-sales-up-37-in-june-cleantechnica-report/>.
- [64] *China Electric Car Sales Up 77% In June — #CleanTechnica Report*. Available: <https://cleantechnica.com/2018/07/29/china-electric-car-sales-up-77-in-june-cleantechnica-report/>.
- [65] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2016 beyond one million electric caes," 2016.
- [66] International Energy Agency, "Oil information : Overview," 2018, Available: [https://webstore.iea.org/download/direct/2262?fileName=Oil\\_Information\\_2018\\_Overview.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2262?fileName=Oil_Information_2018_Overview.pdf).
- [67] Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, "Impact of Plug-in Electric Vehicles Integrated into Power Distribution System Based on Voltage-Dependent Power Flow Analysis," *Energies*, vol. 11, no. 6, 2018.
- [68] Prabha Kundur, *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill: New York, 1994.
- [69] ยุทธนา คงจีน, วสันต์ เพชรพิบูล, กฤติเดช บัวใหญ่ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, "การกำหนดตำแหน่งสถานีประจูดยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค," presented at the การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8 (EENET 2016), ภูเก็ต, 2016.

- [70] L. M. Castro and E. Acha, "A Unified Modeling Approach of Multi-Terminal VSC-HVDC Links for Dynamic Simulations of Large-Scale Power Systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, no. 6, pp. 5051-5060, 2016.
- [71] A. Pizano-Martinez, C. R. Fuerte-Esquivel, H. Ambriz-Pérez, and E. Acha, "Modeling of VSC-Based HVDC Systems for a Newton-Raphson OPF Algorithm," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 1794-1803, 2007.
- [72] J. G. Vlachogiannis, "Probabilistic Constrained Load Flow Considering Integration of Wind Power Generation and Electric Vehicles," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 4, pp. 1808-1817, 2009.
- [73] Sylvain Lechat Sanjuan, "Voltage Oriented Control of Three-Phase Boost PWM Converters Design, simulation and implementation of a 3-phase boost battery charger," 2010.
- [74] M. Debbou and F. Colet, "Interleaved DC/DC charger for wireless power transfer," in *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2017, pp. 1555-1560.
- [75] Wireless Charging For Tesla Model S Now Being Delivered By Plugless, Available: <https://insideevs.com/wireless-charging-for-tesla-model-s-now-being-delivered-by-plugless-gallery-and-video-of-process/>.
- [76] Battery types and voltage regulators comparison, Available: <https://developpa.io/battery/>.
- [77] What's the Best Battery? Available: [https://batteryuniversity.com/index.php/learn/archive/whats\\_the\\_best\\_battery](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/archive/whats_the_best_battery).
- [78] Charging Standards, Available: <http://www.ieahev.org/about-the-technologies/charging-standards/>.
- [79] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2017," 2017.
- [80] Hadi Saadat, "Power System Analysis," *McGraw-Hill: New York*, 1999.
- [81] ผศ.ดร.รัช เกิดชื่น, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา, 2552.
- [82] L. Li, L. Wang, C. Sheng, W. Sun, and Y. Li, "Analysis on voltage deviation inactive distribution network and active voltage management," in *2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, 2014, pp. 1610-1614.



- [83] R. S. Zulpo, R. C. Leborgne, and A. S. Bretas, "Optimal location and sizing of distributed generation based on power losses and voltage deviation," in *2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition - Latin America (PES T&D-LA)*, 2014, pp. 1-5.
- [84] A. Mahmoudi and S. H. Hosseinian, "Direct solution of distribution system load flow using forward/backward sweep," in *2011 19th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2011, pp. 1-6.
- [85] A. Augugliaro, L. Dusonchet, S. Favuzza, M. G. Ippolito, and E. R. Sanseverino, "An analytical model for PQ sources in backward/forward methods for distribution networks analysis," in *39th International Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004.*, 2004, vol. 3, pp. 1214-1218 vol. 2.
- [86] Krischonme Bhumkittipich, *Control Techniques of Voltage Stability*. Triple, 2015.
- [87] J. A. Michline Rupa and S. Ganesh, "Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method," *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, no. 10, 2014.
- [88] Nikunj Lad and Arun Pachori, "Forward and Backward Sweep Algorithm for Distribution Power Flow Analysis and Comparison of Different Load Flow Methods," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 4, no. 7, pp. 232-236, December 2016 2016.
- [89] Teng Jen-Hao, "A direct approach for distribution system load flow solutions," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, pp. 882-887, 2003.
- [90] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 317-325, 2013.
- [91] P. Kundur *et al.*, "Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1387-1401, 2004.

- [92] กฤษร์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. บริษัท ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2552.
- [93] P. Kundur, M. Klein, G. J. Rogers, and M. S. Zywno, "Application of power system stabilizers for enhancement of overall system stability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 614-626, 1989.
- [94] อมร อ้นกรอง และ กฤษร์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, "การชดเชยการแกว่งของความถี่ต่ำในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้าขั้วคั่น " *RMUTP Research Journal Special Issue*, 15-16 กรกฎาคม 2556 2556.
- [95] Rusejla Sadiković, "Use of FACTS Devices for Power Flow Control and Damping of Oscillations in Power Systems," Doctor of Technical Sciences, Master of Science, Faculty of Electrical Engineering, SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH University of Tuzla, 2006.
- [96] Andrei Stativa and Mihai Ga Vril, "A metaheuristic approach for power system stability enhancement," presented at the World Energy System Conference-WESC, 2012.
- [97] Himanshu Anand, Nitin Narang, and J. S. Dhillon, "Unit commitment considering dual-mode combined heat and power generating units using integrated optimization technique," *Energy Conversion and Management*, vol. 171, pp. 984-1001, 2018/09/01/ 2018.
- [98] S. H. Lee and J. Park, "Optimal Placement and Sizing of Multiple DGs in a Practical Distribution System by Considering Power Loss," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 49, no. 5, pp. 2262-2270, 2013.
- [99] M. Delfanti, G. P. Granelli, P. Marannino, and M. Montagna, "Optimal capacitor placement using deterministic and genetic algorithms," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 1041-1046, 2000.
- [100] M. A. Rostami, A. Kavousi-Fard, and T. Niknam, "Expected Cost Minimization of Smart Grids With Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using Optimal Distribution Feeder Reconfiguration," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 11, no. 2, pp. 388-397, 2015.
- [101] Zeineb Abdmouleh, Adel Gastli, Lazhar Ben-Brahim, Mohamed Haouari, and Nasser Ahmed Al-Emadi, "Review of optimization techniques applied for the integration of distributed

- generation from renewable energy sources," *Renewable Energy*, vol. 113, pp. 266-280, 2017/12/01/ 2017.
- [102] Wai Lip Theo, Jeng Shiun Lim, Wai Shin Ho, Haslenda Hashim, and Chew Tin Lee, "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 531-573, 2017/01/01/ 2017.
- [103] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1995, pp. 39-43.
- [104] Dervis Karaboga and Bahriye Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm," *Journal of Global Optimization*, journal article vol. 39, no. 3, pp. 459-471, November 01 2007.
- [105] Behzad Nozohour-Leilabady and Babak Fazelabdolabadi, "On the application of artificial bee colony (ABC) algorithm for optimization of well placements in fractured reservoirs; efficiency comparison with the particle swarm optimization (PSO) methodology," *Petroleum*, vol. 2, no. 1, pp. 79-89, 2016/03/01/ 2016.
- [106] Syahid Anuar, Ali Selamat, and Roselina Sallehuddin, "A modified scout bee for artificial bee colony algorithm and its performance on optimization problems," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 28, no. 4, pp. 395-406, 2016/10/01/ 2016.
- [107] ยุทธนา คงจิ้น และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, "การควบคุมการแกว่งความถี่ในระบบไฟฟ้าโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของ PSS ด้วยเทคนิค PSO กรณีโหลดสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON39), หัวหิน จังหวัดเพชรบุรี, 2016.
- [108] O. Malyszko and M. Zenczak, "Low frequency oscillations in power system," in *2018 Innovative Materials and Technologies in Electrical Engineering (i-MITEL)*, 2018, pp. 1-4.
- [109] Prabha Kundur, *Power System Stability and Control* McGraw-Hill: New York, 1994.

- [110] S. Izadkhast, P. Garcia-Gonzalez, and P. Frías, "An Aggregate Model of Plug-In Electric Vehicles for Primary Frequency Control," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 3, pp. 1475-1482, 2015.
- [111] P. Gopi, I. P. Reddy, and P. Sri Hari, "Shunt FACTS devices for first-swing stability enhancement in inter-area power system," in *IET Chennai 3rd International on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2012)*, 2012, pp. 1-7.
- [112] Y. Q. Xing, J. X. Jin, Y. L. Wang, B. X. Du, and S. C. Wang, "An Electric Vehicle Charging System Using an SMES Implanted Smart Grid," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 26, no. 7, pp. 1-4, 2016.
- [113] Wei Qiang, Guo Weimin, He Nanqiang, and Yang Ming, "A new method to eliminate low-frequency oscillations," in *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2013, pp. 1-5.
- [114] N. Talebi and A. Akbarzadeh, "Damping of Low Frequency Oscillations in power systems with neuro-fuzzy UPFC controller," in *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2011, pp. 1-4.
- [115] H. Fu *et al.*, "Coordination control of PSS and SVC for damping of low frequency oscillations," in *2012 Power Engineering and Automation Conference*, 2012, pp. 1-4.
- [116] G. Shahgholian and A. Movahedi, "Power system stabiliser and flexible alternating current transmission systems controller coordinated design using adaptive velocity update relaxation particle swarm optimisation algorithm in multi-machine power system," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 10, no. 8, pp. 1860-1868, 2016.
- [117] Z. Lu, J. Liu, M. He, and L. Xie, "Analysis of Modal Participation for Low Frequency Oscillation in Interconnected Power Systems," in *2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2009, pp. 1-3.
- [118] H. Le Nguyen, "Newton-Raphson method in complex form [power system load flow analysis]," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 1355-1359, 1997.
- [119] F. Milano, "Continuous Newton's Method for Power Flow Analysis," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 50-57, 2009.

- [120] H. Liu and T. Feng, "Study on the Convergence of Solving Linear Equations by Gauss-Seidel and Jacobi Method," in *2015 11th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)*, 2015, pp. 100-103.
- [121] G. W. Chang, S. Y. Chu, and H. L. Wang, "An Improved Backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 882-884, 2007.
- [122] Federico Milano, "Power System Analysis Toolbox : Quick reference manual for PSAT Version 2.1.2 June 26, 2008," 2008.
- [123] F. Milano, "An open source power system analysis toolbox," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 1199-1206, 2005.
- [124] L. Vanfretti and F. Milano, "Application of the PSAT, an Open Source Software, for Educational and Research Purposes," in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2007, pp. 1-7.
- [125] Hemakumar Reddy Galiveeti, Arup Kumar Goswami, and Nalin B. Dev Choudhury, "Impact of plug-in electric vehicles and distributed generation on reliability of distribution systems," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 50-59, 2018/02/01/ 2018.
- [126] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, and M. Duvall, "Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations," in *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009, pp. 1-6.
- [127] Y. Kongjeen and K. Bhumkittipich, "Modeling of electric vehicle loads for power flow analysis based on PSAT," in *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2016, pp. 1-6.
- [128] Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, "Electric Vehicle Loads for Power Flow Analysis," *IEET-International Electrical Engineering Transactions*, vol. 2, no. 1(2), pp. 18-22, Jan-Jun 2016.
- [129] A. Ajaja and F. D. Galiana, "Distribution network reconfiguration for loss reduction using MILP," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1-6.

- [130] A. Arefi, M. Haghifam, A. Yavartalab, J. Olamaei, and H. Keshtkar, "Loss reduction planning in electric distribution networks of IRAN until 2025," in *16th Electrical Power Distribution Conference*, 2011, pp. 1-6.
- [131] F. Mahmoodianfard, H. A. Abyaneh, A. Vahabzadeh, and H. Salehi, "Optimal capacitor placement for loss reduction," in *2010 Modern Electric Power Systems*, 2010, pp. 1-5.
- [132] I. Roytelman and J. Medina, "Volt/VAR control and Conservation Voltage Reduction as a function of advanced DMS," in *2016 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2016, pp. 1-4.
- [133] Digsilent Gmbh, *DIgSILENT PowerFactory Application Guide: DPL tutorial DIgSILENT Technical Document*. DIgSILENT GmbH, 2012.
- [134] ยุทธนา คงจิ้น, วสันต์ เพชรพิบูล, กฤติเดช บัวใหญ่ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, "DPL script ในโปรแกรม DIgSILENT สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า," การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 (ESTACON2016), นครราชสีมา, 25-26 July, 2559.
- [135] K. Yunus, H. Z. De La Parra, and M. Reza, "Distribution grid impact of Plug-In Electric Vehicles charging at fast charging stations using stochastic charging model," in *Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2011, pp. 1-11.
- [136] Yuttana Kongjeen, Krittidej Buayai, and Krischonme Bhumkittipich, "Automate of capacitor placement in microgrid system under EVs load penetration," in *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, 2017, pp. 1-4.
- [137] M. De Nigris, I. Gianinoni, S. Grillo, S. Massucco, and F. Silvestro, "Impact evaluation of plug-in electric vehicles (PEV) on electric distribution networks," in *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010*, 2010, pp. 1-6.
- [138] R. Liu, L. Dow, and E. Liu, "A survey of PEV impacts on electric utilities," in *ISGT 2011*, 2011, pp. 1-8.
- [139] A. S. Masoum, S. Deilami, M. A. S. Masoum, A. Abu-Siada, and S. Islam, "Online coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grid with distributed wind

- power generation systems," in *2014 IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition*, 2014, pp. 1-5.
- [140] A. Sanchez, A. Romero, G. Rattá, and S. Rivera, "Smart charging of PEVs to reduce the power transformer loss of life," in *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*, 2017, pp. 1-6.
- [141] K. Mahmud, S. Morsalin, Y. R. Kafle, and G. E. Town, "Improved peak shaving in grid-connected domestic power systems combining photovoltaic generation, battery storage, and V2G-capable electric vehicle," in *2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2016, pp. 1-4.
- [142] H. Turker and S. Bacha, "Application of Housing Peak Shaving (HPS) algorithms with Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Impacts on the aging rate of low voltage transformer," in *2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2015, pp. 1-6.
- [143] SCiB™ Rechargeable Battery, Available: <http://www.scib.jp/en/product/cell.htm>.
- [144] Cell Applications :Lithium Iron Phosphate (LFP) Solutions, Available: <http://www.a123systems.com/automotive/products/cells/>.
- [145] *Nissan and Enel launch groundbreaking vehicle-to-grid project in the UK*. Available: <https://newsroom.nissan-europe.com/uk/en-gb/media/pressreleases/145248/nissan-and-enel-launch-groundbreaking-vehicle-to-grid-project-in-the-uk>.
- [146] Kulsomsup Yenchanthalit, Yuttana Kongjeen, Krischonme Bhumkittipich, and Nadarajah Mithulananthan, "Optimal Sizing and Location of the Charging Station for Plug-in Electric Vehicles using the Particle Swarm Optimization Technique," presented at the International Electrical Engineering Congress 2018 (iEECON2018), Krabi, Thailand, March 7-9, 2018.
- [147] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย," 2559.
- [148] S. Deilami, A. S. Masoum, N. Jabalameli, and M. A. S. Masoum, "Optimal scheduling of load tap changer and switched shunt capacitors in smart grid with electric vehicles and

- charging stations," in *2013 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2013, pp. 162-166.
- [149] Khaled Shuaib, Liren Zhang, Ahmed Gaouda, and Mohammed Abdel-Hafez, "A PEV Charging Service Model for Smart Grids," *Energies*, vol. 5, no. 11, p. 4665, 2012.
- [150] โครงการสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า. Available: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/graph-analysis/item/13027-news-190161>.
- [151] โครงการสนับสนุนการลงทุนติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า. Available: <https://gnews.apps.go.th/news?news=14585>.
- [152] เปิดสถานีอัดประจุไฟฟ้า 150 สถานี ปี 2562. Available: <http://27.254.37.81/epposite/index.php/th/graph-analysis/item/13246-news-160361>.
- [153] Yuttana Kongjeen, Wannawit Junlakan, Krischonme Bhumkittipich, and Nadarajah Mithulananthan, "Estimation of the Quick Charging Station for Electric Vehicles based on Location and Population Density Data," *International Journal of Intelligent Engineering&Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 233-241, 2018.
- [154] Yuttana Kongjeen, Wannawit Junlakan, Krischonme Bhumkittipich, and Nadarajah Mithulananthan, "Estimation of Quick Charging Station for Electric Vehicles based on Location and Population Density Data," presented at the International Association of Engineering & Technology Researchers(IAETR 2017), Bangkok, Aug. 4-5, 2017.
- [155] ยุทธนา คงจีน, วรณวิษ จุลกัลป์ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, "การประมาณการสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9 (EENET2017), จันทบุรี, 2-4 พฤษภาคม 2560.
- [156] Renewable Energy Explained. Available: [https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable_home).
- [157] Irena International Renewable Energy Agency, "RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES," 2012, Available: [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re\\_technologies\\_cost\\_analysis-solar\\_pv.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-solar_pv.pdf).
- [158] DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS : a low-cost, highly efficient alternative to silicon based solar cells, Available: <http://materiability.com/portfolio/dye-sensitized-solar-cells/>.



- [159] Paul Denholm, Matthew O'connell, Gregory Brinkman, and Jennie Jorgenson, "Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart," 2015, Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65023.pdf>.
- [160] ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด. Available: [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=348&Itemid=116](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116).
- [161] A. S. B. Humayd and K. Bhattacharya, "Impact of PEV penetration on distribution system planning considering time-of-use electricity prices," in *2014 IEEE PES General Meeting Conference & Exposition*, 2014, pp. 1-5.
- [162] Gadaram Meerimatha, Gattu.Kesavarao, and Nagalamadaka.Sreenivasulu, "A Novel Distribution System Power Flow Algorithm using Forward Backward Matrix Method," *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)* vol. 10, no. 6(2), p. 6, Nov-Dec 2015.
- [163] Yuttana Kongjeen, Kulsomsup Yenchamchalit, and Krischonme Bhunkittipich, "Optimal Sizing and Placement of Solar Powered Charging Station under EV loads Penetration using Artificial Bee Colony Technique," presented at the The 2018 International Power Electronics Conference (IPEC2018), TOKI MESSE Niigata Convention Center Japan, May 20-24, 2018.
- [164] ศ.ดร.มงคล เดชนรินทร์, พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมไฟฟ้า ฉบับ วสท. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2554.
- [165] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, "A new approach for optimum DG placement and sizing based on voltage stability maximization and minimization of power losses," *Energy Conversion and Management*, vol. 70, pp. 202-210, 2013/06/01/ 2013.
- [166] S. A. Saleh, P. Pijnenburg, and E. Castillo-Guerra, "Load Aggregation From Generation-Follows-Load to Load-Follows-Generation: Residential Loads," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 2, pp. 833-842, 2017.
- [167] S. M. Alshareef and W. G. Morsi, "Impact of fast charging stations on the voltage flicker in the electric power distribution systems," in *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2017, pp. 1-6.

- [168] R. Pawelek, P. Kelm, and I. Wasiak, "Experimental analysis of DC electric vehicles charging station operation and its impact on the supplying grid," in *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)*, 2014, pp. 1-4.
- [169] V. Blahnik, J. Stepanek, M. Jara, and J. Talla, "Ultra-fast charging station for public transport vehicles," in *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017, pp. 6658-6662.
- [170] กุลสมทรัพย์ เย็นซ้ำชลิต, ยุทธนา คงจีน และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, "สถานีประจําเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9 (EENET2017), จันทบุรี, 2-4 พฤษภาคม 2560.
- [171] Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, "The PEVs on Balance load in Distribution System," presented at the 13th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Udonthani, Thailand, 1-4 December, 2016.
- [172] BU-409: Charging Lithium-ion. Available: [https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_lithium_ion_batteries).
- [173] F. Milano and O. Hersent, "Optimal Load Management With Inclusion of Electric Vehicles and Distributed Energy Resources," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 662-672, 2014.



ภาคผนวก ก  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



#### บทความวิชาการระดับชาติและนานาชาติ : 4 ผลงาน

1. Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, " Electric Vehicle Loads for Power Flow Analysis," IEET-International Electrical Engineering Transactions, pp.18-22, vol.2, no.1 (2), Jan-Jun 2016.
2. Yuttana Kongjeen ,Wannawit Junlakan, Krischonme Bhumkittipich and Nadarajah Mithulananthan, "Estimation of Quick Charging Station for Electric Vehicles based on Location and Population Density Data," International Journal of Intelligent Engineering &Systems, vol. 11, no. 3, pp. 233-241, 2018.(Q3)
3. Y. Kongjeen and K. Bhumkittipich, "Impact of Plug-in Electric Vehicles Integrated into Power Distribution System Based on Voltage-Dependent Power Flow Analysis," Energies, vol. 11, no. 6, 2018.(Q1)
4. Y. Kongjeen, K. Bhumkittipich, N. Mithulananthan, I.S. Amiri and P. Yupapin, "A modified backward and forward sweep method for microgrid load flow analysis under different electric vehicle load mathematical models," Electric Power Systems Research, vol.168, pp.46-54, 2019. (Q1)

#### บทความการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ: 15 ผลงาน

1. Y. Kongjeen and K. Bhumkittipich, " Modeling of electric vehicle loads for power flow analysis based on PSAT," in 2016 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2016), Chiang Mai, Thailand, June 28-July 1, 2016, pp. 1-6.
2. ยุทธนา คงจิ้น, วสันต์ เพชรพิบูล, กฤติเดช บัวใหญ่ และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์, "การกำหนดตำแหน่งสถานีประจุรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8 (EENET 2016), ภูเก็ต, 25-27 พฤษภาคม 2559.

3. ยูทธนา คงจีน, วสันต์ เพชรพิบูล, กฤติเดช บัวใหญ่ และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, “DPL script ในโปรแกรม DIgSILENT สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 (ESTACON 2016), นครราชสีมา, หน้า 1-4, 25- 26 กรกฎาคม 2559.
4. ยูทธนา คงจีน และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, “การควบคุมการแกว่งความถี่ในระบบไฟฟ้าโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของ PSS ด้วยเทคนิค PSO กรณีโหลดสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON 39), หัวหิน, เพชรบุรี, หน้า 1-4, 2-4 พฤศจิกายน 2559.
5. Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, “The PEVs on Balance load in Distribution System,” 13<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Udonthani ( EMSES2016) , Udon Thani , Thailand, December 1-4, 2016.
6. ยูทธนา คงจีน, วรณวิษ จุลกัลป์, และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, “การประมาณการสถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9 (EENET2017), จันทบุรี, 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560.
7. กุลสมทรัพย์ เข็นชำลิต, ยูทธนา คงจีน, และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, “สถานีประจุเร็วสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9 (EENET 2017), จันทบุรี, 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560.
8. Y. Kongjeen, K. Buayai, and K. Bhumkittipich, "Automate of capacitor placement in microgrid system under EVs load penetration," in 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON 2017), Pattaya, Thailand, March 8-9, 2017, pp. 1-4.
9. Yuttana Kongjeen ,Wannawit Junlakan, Krischonme Bhumkittipich and Nadarajah Mithulananthan, “Estimation of Quick Charging Station for Electric Vehicles based on Location and Population Density Data,” International Association of Engineering & Technology Researchers (IAETR 2017), Bangkok, Thailand, Aug. 4-5, 2017. (บทความดีเด่น Best Session II)

10. Kulsomsup Yenchamchalit, Yuttana Kongjeen, Krischonme Bhumkittipich and Nadarajah Mithulananthan, "Optimal Sizing and Location of the Charging Station for Plug-in Electric Vehicles using the Particle Swarm Optimization Technique," International Electrical Engineering Congress 2018 (iEECON 2018) , Krabi, Thailand, March 7-9, 2018.
11. Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, "Static Voltage Stability Analysis of the Bulk Electric Vehicle Charging Stations under Voltage Dependent Condition," 14<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium ( EMSES 2018),"Kyoto University, Japan, 3-6 April, 2018.
12. Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, " Static Load Model of Plug-in Electric Vehicles under Balanced-Loads in Power Distribution Systems ( EMSES 2018)," 14<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Kyoto University, Japan, 3-6 April, 2018.
13. Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, " Study of Distributed Generator Placement Using OpenDSS," Electrical Engineering Symposium and Work Shop 2018 (ECTI Association) , Mae Fah Luang University, Chiang rai, Thailand, May 11-12, 2018.
14. Yuttana Kongjeen, Kulsomsup Yenchamchalit and Krischonme Bhumkittipich, "Optimal Sizing and Placement of Solar Powered Charging Station under EV loads Penetration using Artificial Bee Colony Technique," The 2018 International Power Electronics Conference (IPEC 2018) , pp. 2430-2434, TOKI MESSE Niigata Convention Center, Japan, May 20-24,2018.
15. T. Phongtrakul, Y. Kongjeen and K. Bhumkittipich, "Analysis of Power Load Flow for Power Distribution System based on PyPSA Toolbox," 15<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2018), Chiang Rai, Thailand, July 18-21, 2018.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ: ยุทธนา คงจีน

รหัสนักศึกษา: 115880421001-6

สาขาวิชา/ภาควิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า

วัน-เดือน-ปี เกิด: 11 มีนาคม 2524

สถานที่เกิด: บ้านทุ่งหนองทราย ต.ชอนไพร อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์

ที่อยู่: 71 ม.11 บ้านทุ่งหนองทราย ต.ชอนไพร อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา: ปี 2543 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ช่างไฟฟ้ากำลัง GPA. 3.77  
วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์

ปี 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ช่างไฟฟ้ากำลัง GPA. 3.90  
วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์

ปี 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง GPA. 3.43  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

ปี 2556 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (Research Based) GPA. 4.00  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

ประสบการณ์: มีประสบการณ์ในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า งานบริหารโครงการมากกว่า 12 ปี ดัง เช่น วิศวกรฝ่ายผลิต วิศวกรซ่อมบำรุง วิศวกรงานระบบสาธารณูปโภค วิศวกรออกแบบงานระบบไฟฟ้ากำลัง วิศวกรพลังงาน งานบริหารจัดการงานวิศวกรรมและงานบริหารโครงการของกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ เป็นต้น



คุยฎิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะทีซ้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในคุยฎิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในคุยฎิพนธ์ฉบับนี้ซ้าพเจ้า  
ขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของซ้าพเจ้า

This dissertation consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify  
that the thesis does not contain any forms of plagiarism.



*(Signature)*

( นายยุทธนา คงจีน )