

การวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใน
ระบบจำหน่ายแรงต่ำ

ANALYSIS OF SOLAR-POWERED CHARGING STATION
INSTALLATION FOR ELECTRIC VEHICLES IN POWER
DISTRIBUTION SYSTEM

ทิพธชา พงษ์ตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใน
ระบบจำหน่ายแรงต่ำ

ทิพธชา พงษ์ตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


ปีการศึกษา 2562


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

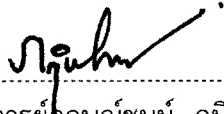
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ Analysis of Solar-Powered Charging Station Installation for Electric Vehicles in Power Distribution System
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวทิพธชา พงษ์ตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประมุข อุณหเลขกะ, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 22 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สถานีประจําสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจําหน่ายแรงต่ำ
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวทิพธชา พงษ์ตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สถานีประจําสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจําหน่ายแรงต่ำ ระบบจําหน่ายปฐมภูมิ 9 บัส ถูกนำมาใช้ในการทดสอบการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนิวตันราฟสันทำการเปรียบเทียบขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้ากับโปรแกรม DigSILENT ระบบทดสอบ 3 บัสถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจําสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจําหน่ายแรงต่ำ เพื่อทำการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าโดยกำหนดรูปแบบแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์และโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแบบอนุกรมเวลา กำหนดแบบจําลองสถานีประจําพลังงานแสงอาทิตย์และขนาดยานยนต์ไฟฟ้ามี ขนาด 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ผลการศึกษาด้วยการทดสอบการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนิวตันราฟสันนั้นพบว่าผลการทดสอบมีค่าผิดพลาดจากการเปรียบเทียบขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้ากับโปรแกรม DigSILENT โดยมีค่ามากที่สุดที่บัส 9 มีค่าร้อยละ 2.04 และ -3.91 ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบการวิเคราะห์สถานีประจําสำหรับแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นพบว่าระยะเวลาในการประจําจะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบและค่าความต้องการของพลังงานสูงสุด จากการจําลองจะพบว่าขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต้องมีขนาดมากกว่า 7.39 กิโลวัตต์สูงสุด

ดังนั้นจากการศึกษาการออกแบบระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PyPSA เพื่อวิเคราะห์สถานีประจําสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจําหน่ายแรงต่ำ นั้นแสดงให้เห็นการประยุกต์ใช้งานในด้านกรออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการขยายตัวของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีประจําพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ระบบระบบไฟฟ้ากำลัง ยานยนต์ไฟฟ้า สถานีประจําพลังงานแสงอาทิตย์

Thesis Title	Analysis of Solar-Powered Charging Station Installation for Electric Vehicles in Power Distribution System
Name - Surname	Ms.Tipthacha Phongtrakul
Program	Electrical Engineering
Dissertation Advisor	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, D.Eng.
Academic Year	2019



ABSTRACT

This thesis presents an Analysis of Solar-Powered Charging Station Installation for Electric Vehicles in Power Distribution System. The 9-bus primary distribution system was used to test the power flow using the Newton Raphson method, comparing the size and voltage angle with the DigSILENT program. The 3-bus test system is used to analyze the installation of the charging station for a solar electric vehicle in distribution system. The power flow was analyzed by determining the solar energy source and the electric vehicle load in time series. The model of solar charge stations and the size of electric vehicles are determined at 100 kWh.

The results of the power flow test using the Newton Raphson method found that the test results were in error by comparing the size and voltage angle with the DigSILENT program that maximum value of at Bus no. 9 is 2.04% and -3.91%, respectively. While testing the analysis of solar powered charging station, it is found that the charging time will affect the power loss of the system and the maximum energy demand. The simulation, it is found that the suitable solar panel size must be greater than 7.39 kWp.

Therefore, the electrical system design study using the PyPSA program to analyze the solar powered charging station in distribution system shows the application in the design of the electrical system to support the load expansion from of electric vehicles and solar powered charging stations in the future.

Keywords: power system analysis, electric vehicle, solar powered charging station

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนถึงแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พฤศยน นินทนาวงศา ประธานหลักสูตร รวมถึงกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และ ขอขอบคุณห้องวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ ณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ใช้สถานที่ในการศึกษาค้นคว้าและตลอดจนการใช้ชีวิตร่วมกันของพี่น้อง ๆ PSRC Lab ทุกท่านตลอดระยะเวลา 2 ปีครึ่ง ที่ผ่านมา

ทิพธชา พงษ์ตระกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	18
1.3 สมมุติฐานของวิทยานิพนธ์.....	18
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	18
1.5 ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์.....	19
1.6 ข้อจำกัดของดุษฎีนิพนธ์.....	19
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน.....	27
2.3 หลักการพื้นฐานของยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV).....	28
2.4 เทคโนโลยีการพัฒนาเครื่องอัดประจุไฟฟ้า.....	31
2.5 หลักการพื้นฐานของพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell : PV).....	33
2.6 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย.....	34
2.7 การวิเคราะห์การไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	36
2.8 โปรแกรม Python.....	42
2.9 โปรแกรม DigSILENT.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	46
3.1 บทนำ.....	46
3.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PYPASA.....	46
3.3 การออกแบบระบบทดสอบ ด้วยโปรแกรม PyPSA และ DigSILENT.....	47
3.4 การออกแบบสถานีประจุกยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	49
3.5 บทสรุป.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	51
4.1 บทนำ.....	51
4.2 ผลกรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย PyPSA และ โปรแกรม DigSILENT.....	51
4.3 ผลกรณีศึกษาที่ 2 การจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาด ของสถานีประจุกเร็วและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ PyPSA.....	53
4.4 บทสรุป.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 บทนำ.....	59
5.2 สรุปผลการทำวิทยานิพนธ์.....	59
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
5.4 บทสรุป.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก โปรแกรมสำหรับรันการจำลองโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาด ของสถานีประจุกเร็วและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ PyPSA.....	67
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	48
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองขนาดของแรงดันไฟฟ้าด้วย PyPSA และโปรแกรม DigSILENT....	51
ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองขนาดมุมของแรงดันไฟฟ้าด้วย PyPSA และโปรแกรม DigSILENT.....	52
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบจากการจำลองใน 3 กรณีศึกษา.....	54



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าสำหรับประจุนานยนต์ไฟฟ้า..... 17
รูปที่ 2.1	โหนดพื้นฐานของเครือข่ายที่มีส่วนประกอบต่างๆ..... 38
รูปที่ 2.2	แบบจำลองสายส่ง..... 39
รูปที่ 2.3	แบบจำลองของหม้อแปลง (1)..... 40
รูปที่ 2.4	แบบจำลองของหม้อแปลง (2)..... 40
รูปที่ 2.5	แบบจำลองของหม้อแปลง (3)..... 41
รูปที่ 2.6	แบบจำลองของหม้อแปลง (4)..... 41
รูปที่ 2.7	หน้าต่าง Data manger แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล..... 44
รูปที่ 2.8	ส่วนประกอบต่างๆของหน้าต่าง Main window..... 45
รูปที่ 3.1	การออกแบบด้วยโปรแกรม PyPSA..... 48
รูปที่ 3.2	การออกแบบด้วยโปรแกรม DigSILENT..... 49
รูปที่ 3.3	แบบจำลองสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PyPSA.. 49
รูปที่ 4.1	การเปรียบเทียบขนาดแรงดันไฟฟ้า (เปอรียูนิต) ระหว่าง PyPSA และ DigSILENT..... 52
รูปที่ 4.2	การเปรียบเทียบขนาดมุมของแรงดันไฟฟ้า (ดีกรี) ระหว่าง PyPSA และ DigSILENT..... 53
รูปที่ 4.3	ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 1..... 54
รูปที่ 4.4	ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่1..... 55
รูปที่ 4.5	ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 2..... 55
รูปที่ 4.6	ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่ 2..... 56
รูปที่ 4.7	ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 3..... 57
รูปที่ 4.8	ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่ 3..... 58

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

i, j, k, t, m, n	ลำดับตัวนับจำนวน
V_i	แรงดันไฟฟ้าบัส i
S_{Li}, S_i	กำลังไฟฟ้าปรากฏ / กำลังไฟฟ้าที่โหลด i
P_{Li}, P_i, P	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟ
Q_{Li}, Q_i, Q	กำลังไฟฟารีแอคทีฟ
V_{i0}, V_0	แรงดันไฟฟ้าที่พิกัดชั่ว/ที่พิกัด
S_{Li0}, S_o	กำลังไฟฟ้าปรากฏ ที่พิกัดชั่ว/ที่พิกัด
P_{Li0}, P_0	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่พิกัดชั่ว/ที่พิกัด
Q_{Li0}, Q_0	กำลังไฟฟารีแอคทีฟ ที่พิกัดชั่ว/ที่พิกัด
n_{pi}	ค่ายกกำลังของโหลดแต่ละประเภทของกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ
n_{qi}	ค่ายกกำลังของโหลดแต่ละประเภทของกำลังไฟฟารีแอคทีฟ
AC-DC	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
pf	ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์
P_{PEV}, P_{EV}	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟโหลดยานยนต์ไฟฟ้า
Q_{PEV}, Q_{EV}	กำลังไฟฟารีแอคทีฟโหลดยานยนต์ไฟฟ้า
S_{PEV}	กำลังไฟฟ้าปรากฏโหลดยานยนต์ไฟฟ้า
V_{VSC}	แรงดัน VSC
$ V_{VSC} $	ขนาดแรงดัน VSC
δ_{VSC}	มุมแรงดัน VSC
P_k	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่บัส k
Q_k	กำลังไฟฟารีแอคทีฟที่บัส k
V_k	แรงดันที่บัส k
θ_k	มุมที่บัส k
G_{VSC}	ค่าคอนดัคทีฟซิสแตนท์ของ VSC
B_{VSC}	ค่าอินดัคทีฟซิสเซพแตนท์ของ VSC
P_{VSC}	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟที่บัส VSC

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

Q_{VSC}	กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บัส VSC
Z	ค่าอิมพีแดนซ์
Y, Y_i	ค่าแอดมิตแตนซ์/ผลรวมของแอดมิตแตนซ์ส่วนลงดินทั้งหมดที่โหนด i
Δ	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
α	ค่าตัวแปรคงที่ ในขณะที่ประจุแบตเตอรี่ที่ 97%ของพิกัดช่วงเวลา 1 ใน 3 ของเวลาประจุแบตเตอรี่ในการประมาณกำลังไฟฟ้าแอคทีฟสำหรับ PEVs
$P_{EV_{fleet}}$	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟรวมของโพลยานยนต์ไฟฟ้าที่สถานีประจุ
b	กำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power) ของโพลยานยนต์ไฟฟ้าค่าเท่ากับ 0.93
a	ค่าสัมประสิทธิ์เอกโพเนนเชียลของโพลยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.07
α	ค่ายกกำลังของโพลยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ -3.107
θ	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}	เมทริกส์กระแส
Y_{Bus}	เมทริกส์แอดมิตแตนซ์
V_{Bus}	เมทริกส์แรงดัน

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 $k-1$
$P_{i,EV}$	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟโหลดที่โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า
$Q_{i,EV}$	กำลังไฟฟารีแอคทีฟโหลดที่โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า
$S_{i,EV}$	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 $k+1$
ε	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Mismatch)
Z_{ij}	ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างบัส i และ j
P_L	ค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟของการสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้า
Q_L	ค่ากำลังไฟฟารีแอคทีฟของการสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้า
V_k^t	แรงดันไฟฟ้าที่บัส k รอบการคำนวณที่ t
I_k^t	กระแสเข้าสู่บัส k รอบการคำนวณที่ t
t	รอบการคำนวณ
I	The current injection matrix
BIBC	The branch injection to branch current matrix
B	เมทริกส์กระแสในสาขา

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

BCBV	The branch currents to bus voltages matrix
ΔV	เมทริกส์ผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากบัสอ้างอิงในแต่ละสาขา
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
ζ	อัตราส่วนการหน่วง
λ	ค่าเจาะจงของระบบ
ω	ความถี่การแกว่ง
σ	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	ค่าคงที่ความแรงอยู่ในช่วง 0 – 4
W_{\min}, W_{\max}	ขอบเขตล่างและขอบเขตบนของค่าถ่วงน้ำหนัก
W	ค่าถ่วงน้ำหนักโดยกำหนดขอบเขต 0.4 – 0.9
$\phi_{i,j}$	ตัวเลขสุ่มในขอบเขต
$v_{i,j}$	แหล่งอาหารใหม่โดยใช้วิธีการเลือกแบบ Greedy ของเวกเตอร์แหล่งอาหารใหม่ (\bar{v}_i) และเวกเตอร์แหล่งอาหารในความจำ (\bar{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

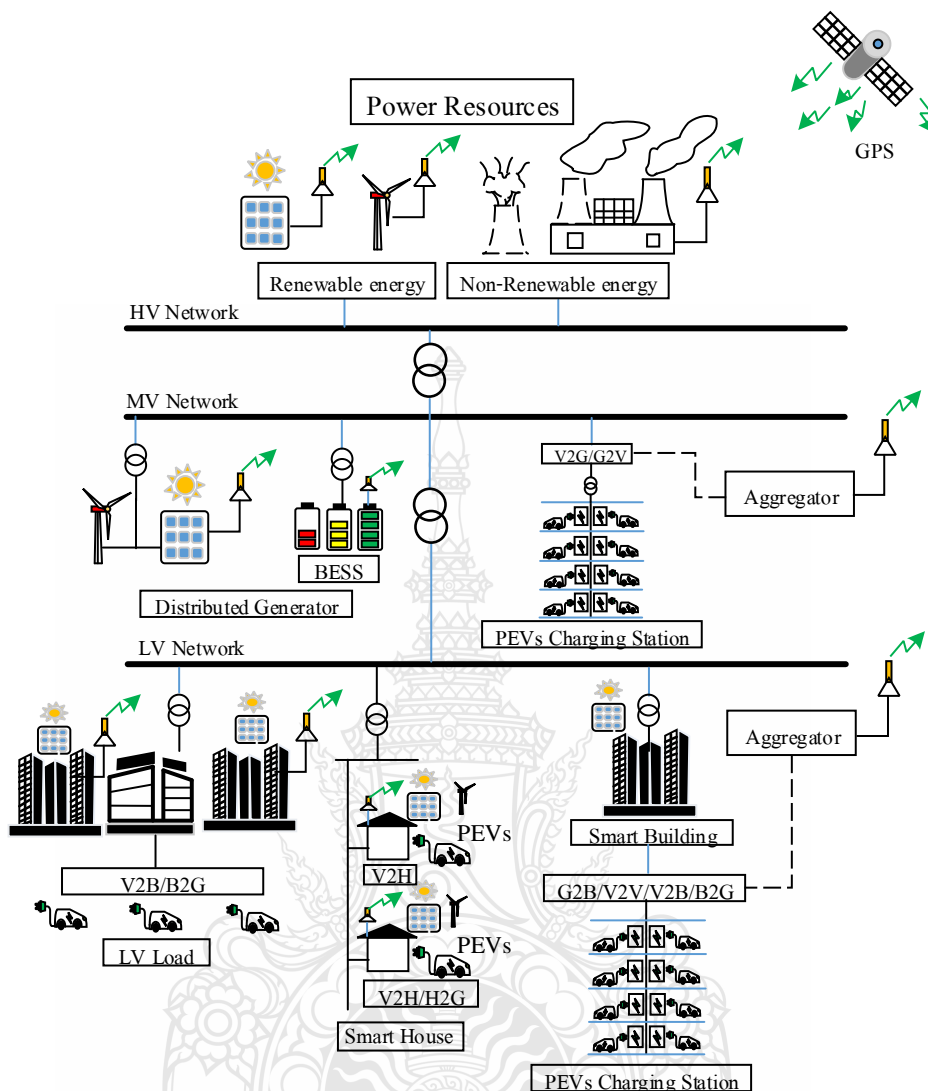
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2010 ถึง 2040 สถานการณ์ความต้องการพลังงานของโลก มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 56 โดยแหล่งพลังงานหลักที่จะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมาจาก แหล่งพลังงานฟอสซิล พลังงานทดแทน และแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น ซึ่งหากมีการแบ่งในแต่ละ ภาคส่วนของกลุ่มผู้ใช้พลังงานขั้นสุดท้ายแล้วนั้นสามารถแบ่งได้เป็น ภาคที่พิกอาศัยเชิงพาณิชย์ ภาคอุตสาหกรรมและภาคการขนส่ง โดยจากการคาดการณ์นั้นพบว่าภาคที่พิกอาศัยเชิงพาณิชย์ บริโภค พลังงานประมาณร้อยละ 14 ภาคอุตสาหกรรมบริโภคพลังงานประมาณร้อยละ 52 ภาคการขนส่ง บริโภคพลังงานประมาณร้อยละ 26 และอื่นๆ จะพบว่าภาคการขนส่งมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gases, GHG) สู่ชั้นบรรยากาศในลำดับที่สองของการใช้พลังงานของโลก [1] ด้วยเหตุผล หลักของภาคขนส่งแบบดั้งเดิมนั้นมีการใช้เครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน (Internal Combustion, IC) ที่มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เป็นหลัก [2] ซึ่งสอดคล้องกับ การประมาณการปริมาณการใช้พลังงานในภาคการขนส่งในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในแต่ละปีและส่งผลต่อการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก [3, 4] จากการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ณ กรุงปารีส เรื่องการลดผลกระทบที่อาจก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโลกโดยในแต่ละประเทศสมาชิกมีข้อตกลงร่วมกันที่ต้องมีรายงาน การลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกลงเพื่อเป้าหมายลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของโลกต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส [5] ถึงแม้ตัวเลขเชิงเป้าหมายของแต่ละประเทศยังไม่ชัดเจน ด้วยจะไปขัดแย้ง หรือสวนทางกับการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจโดยรวมของโลก

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ในแต่ละประเทศได้มีการส่งเสริมให้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในภาคขนส่งเพิ่ม มากขึ้น ประกอบกับปัจจัยด้านราคาเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในที่มีราคาสูงขึ้นและเกิด ความแปรปรวนอย่างสูงในรอบหลายปีที่ผ่านมา [6] ยิ่งเป็นการเพิ่มแรงผลักดันให้มีการพัฒนายานยนต์ ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นแบบก้าวกระโดด ด้วยเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มอเตอร์ไฟฟ้า [2] และแบตเตอรี่ [7, 8] ทำให้อายุยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีสมรรถนะเทียบเคียงยานยนต์ที่มีการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งในด้านระยะทางของการขับเคลื่อน ความเร็ว อัตราเร่ง ความปลอดภัย การบำรุงรักษาและเป็นมิตร

ต่อสิ่งแวดล้อม ที่เป็นจุดเด่นหลักของยานยนต์ไฟฟ้า [9, 10] ประกอบกับในบางประเทศให้สิทธิพิเศษในหลายๆด้าน เพื่อเพิ่มแรงจูงใจในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น สิทธิพิเศษด้านภาษี สิทธิพิเศษในค่าใช้จ่ายในการประจุแบตเตอรี่ และสิทธิพิเศษในการเข้าถึงพื้นที่ ในบางบริเวณ เป็นต้น [11, 12] ในประเทศไทย ยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นและเริ่มมีการวางแผนในการบริหารจัดการในด้านต่างๆ เพื่อรองรับการขยายตัวในอนาคตแต่ก็เป็นแนวโน้มในลักษณะที่ค่อยๆขยายตัวจากการนำเสนอใน [13] ซึ่งทางภาครัฐเองยังไม่ได้สร้างแรงกระตุ้นปล่อยให้ไปตามกลไกของการตลาด เป็นหลัก ด้วยประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก แม้ว่านโยบายทางด้านภาครัฐจะมีการส่งเสริมและพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิลในรูปแบบต่างๆ อย่างมากมายดังนำเสนอใน [14] แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในหลายๆด้าน ซึ่งผลดังกล่าวนี้ส่งผลต่อภาพรวมการใช้พลังงานโดยของประเทศที่ต้องนำเข้าพลังงานด้วยจำนวนเงินมหาศาลและมีปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเผาไหม้ในแต่ละกิจกรรมจำนวนมาก [15] รวมถึงภาคขนส่งหากพิจารณาศักยภาพด้านการขนส่งทางถนนของประเทศไทยนั้นมีความพร้อมอย่างมากในกลุ่มประเทศอาเซียนสามารถใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในภาคการขนส่งและคมนาคมอย่างดียิ่ง ประกอบกับโครงข่ายการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าครอบคลุมทั่วประเทศและแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในแต่ละแหล่งก็สามารถเชื่อมโยงกันได้ ทำให้สามารถใช้พลังงานสะอาดในภาคการคมนาคมเพิ่มมากยิ่งขึ้นสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากโหลดยานยนต์ไฟฟ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในอนาคตอันใกล้ ด้วยปริมาณและจำนวนที่เพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถนำเสนอรูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดยานยนต์ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับประจุนยานยนต์ไฟฟ้า [16]

จากรูปที่ 1.1 ได้นำเสนอหลักการของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระดับต่างๆ เพื่อทำการป้อนให้กับโหนดยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละจุดของระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความซับซ้อนทั้งแหล่งที่มาของแหล่งพลังงาน เช่น มาจากแหล่งพลังงานทดแทน แหล่งสะสมพลังงาน (Energy Storage System) หรือมาจากยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบยานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับกริดในสถานะการคืนพลังงาน (Vehicle to Grid, V2G) จากบ้านพักอาศัยเข้าสู่กริด (Home to Grid, H2G) จากการจ่ายพลังงานกลับของอาคารอัจฉริยะ (Building to Grid, B2G) หรือแม้กระทั่งมาจากยานยนต์ไฟฟ้าด้วยกันเองในสถานีประจุนเดียวกัน (Vehicle to Vehicle, V2V) โดยสามารถนำเสนอรายละเอียดต่างๆ ได้ใน [16-21] ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังก็ต้องสามารถยืดหยุ่นสามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบจำหน่ายของสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบระบบจำหน่ายของสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1.3 สมมติฐานของวิทยานิพนธ์

ในการจำลองสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะเวลาในการอัดประจุหรือรูปแบบของการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อพลังงานที่ระบบไฟฟ้าต้องนำมาใช้ รวมทั้งค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาประจุที่สถานีสมมติฐานของวิทยานิพนธ์นี้คือ แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จะถูกนำมาชดเชยในส่วนของพลังงาน หรือช่วงเวลาในการประจุที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในช่วงเวลาที่แสงแดดเพียงพอต่อความต้องการ จะช่วยลดอัตราการสูญเสียหรือเพิ่มประสิทธิภาพของการประจุนานยนต์ไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง มีขอบเขตของการวิจัยของโหลดยานยนต์ไฟฟ้ามีกระบวนการดังนี้

1.4.1 ออกแบบและจำลองการเพิ่มสถานีประจุนานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ สามารถวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังโดยการประยุกต์ใช้รูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้า มีจำนวนอย่างน้อย 3 ผลงาน

1.4.2 จำลองสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.3 วิเคราะห์การเพิ่มสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1.5 ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการจำลองและออกแบบการเพิ่มสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ โดยจะทำการจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1.5.1 ศึกษาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PyPSA และโปรแกรม DigSILENT

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้า และการอัดประจุ

1.5.3 ศึกษาและออกแบบระบบการเพิ่มสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1.5.4 ศึกษาการจำลองโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PyPSA

1.5.5 จำลองการเพิ่มสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ ด้วยโปรแกรม PyPSA

1.5.6 นำผลที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ ทำการสรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และอภิปรายผลการวิจัย

1.6 ข้อยกเว้นของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบของระบบจำหน่ายของสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ โดยมีข้อยกเว้นดังนี้

1.6.1 ใช้การจำลองยานยนต์ 1 คันที่ขนาดความจุแบตเตอรี่ 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในระยะทางการวิ่งจากบ้านไปสถานีประจุประมาณ 100 กิโลเมตร ด้วยหลักการประจุและคายประจุพลังงานของแหล่งสะสมพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า

1.6.2 ในการจำลองการทำงานจะใช้ชุดโปรแกรม PyPSA เป็นโปรแกรมฟรีแวร์ โดยใช้พื้นฐานของโปรแกรมไพธอน (Python) และเป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์ในปัจจุบัน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจถึงหลักการทำงานและพฤติกรรมของยานยนต์ไฟฟ้า

1.7.2 เพื่อศึกษาระบบจำหน่ายของสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

1.7.3 สร้างโมเดลสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าในระดับแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับโปรแกรม Python

1.7.4 เพื่อเป็นการเผยแพร่ผลการวิจัยในการประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

1.7.5 ผลการศึกษาวิจัยและพัฒนา



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการวิเคราะห์การเพิ่มสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถนำเสนอได้ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2011	A. Jimenez และ N. Garcia [23]	ได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์และการไหลของระบบไฟฟ้ากำลังของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยแบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า นำเสนอรูปแบบโพลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบบล็อกอิน โดยใช้แบบจำลองสมการการควบคุมแรงดันที่บัสในกรณีที่มีการเชื่อมต่อโพลดยานยนต์เข้ากับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้อุปกรณ์ประกอบของแบบจำลองคอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันที่ติดตั้งบนบัส PQ ด้วยเงื่อนไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เป็น 1 โดยทำการควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าแยกทีฟจากแบตเตอรี่ ที่การควบคุมแรงดันบัสคงที่โดยการควบคุมเสถียรภาพแรงดัน (Voltage Stability Control : VSC) โดยทำการทดสอบแบบจำลองในระบบ IEEE 30 บัส ในขณะที่แบบจำลองใช้ยานยนต์ไฟฟ้า Tesla Roadster ชนิดชุดแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery) พิจารณาเป็นวงจรแปลงผันแบบ 1 เฟส เพื่อทำการทดสอบสมมติฐานการส่งผ่านกำลังแยกทีฟและกำลังไฟฟ้าร์แยกทีฟในรูปแบบสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าผลการทดสอบนั้นพบว่าในคุณลักษณะการควบคุมแรงดันแยกทีฟและกำลังไฟฟ้าร์แยกทีฟในรูปแบบสถานีประจุ

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ยานยนต์ไฟฟ้า ผลการทดสอบนั้นพบว่าในคุณลักษณะการควบคุมแรงดันแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในรูปแบบสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้า ผลการทดสอบนั้นพบว่าในคุณลักษณะการควบคุมแรงดันทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงและสามารถลดผลของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sags) ได้</p>
2012	Eduardo Valsera-Naranjo และคณะ [24]	<p>ได้นำเสนอวิธีการความน่าจะเป็นในการประเมินผลกระทบของสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของการประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้การประจ้อมูลรายละเอียดรูปแบบแบตเตอรี่ ใช้วิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ในการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้า จำนวนยานยนต์ไฟฟ้า เวลา กระแสประจุขนาดความจุแบตเตอรี่ โดยกำหนดขนาดของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power) พิจารณาผลของหม้อแปลงไฟฟ้า ภากระสายส่งไฟฟ้า ซึ่งผลจากการทดลองนั้นพบว่าผลที่ได้จากรูปแบบแบตเตอรี่นั้นให้ผลการประมาณค่าที่มีความแม่นยำต่อผลกระทบที่มีต่อกริด และรูปแบบการเคลื่อนที่และ จำนวนยานยนต์ไฟฟ้าถูกพิสูจน์ให้เห็นว่ามีนัยยะสำคัญต่อวิธีการที่ศึกษา</p>
2014	C.H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan และ T.K. Saha [25]	<p>ได้นำเสนอรูปแบบสถานีประจุเร็วโดยใช้รูปแบบโหลดแบบเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้า ในการศึกษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า โดยรูปแบบโหลดสถานีประจุเร็วเป็นรูปแบบจากการวิเคราะห์สมการของการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วยชุด วงจรแปลงผันแรงดัน ชุดบัคคอนเวอเตอร์และชุดแบตเตอรี่ นำมาวิเคราะห์กับการควบคุมแกนอ้างอิง dq ทำให้ได้สมการที่ประกอบสองส่วนคือส่วนกำลังไฟฟ้าคงที่และส่วนกำลังไฟฟ้าเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Power) จากการทดสอบนั้นผลของรูปแบบโหลดสถานีประจุเร็วให้ผลที่ดีกว่าการ</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		กำหนดให้เป็นโหลดแบบ กำลังไฟฟ้าคงที่หรือกระแสคงที่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันได้
2014	Federico Milano และ Olivier Hersent [26]	ได้นำเสนอกยุทธ์การจัดการระบบจำหน่ายในกรณีที่มีจำนวนเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและแหล่งพลังงานแบบกระจายตัว ด้วยวิธีการจัดการโหลดอย่างเหมาะสมและการใช้วิธีการเตรียมการและปรับปรุงการจัดการโหลดอย่างเหมาะสม ทำให้สามารถลดภาระการคำนวณของระบบลงได้ โดยทำการทดสอบในระบบจำหน่ายในสภาวะการจ่ายโหลดไม่สมดุล กำหนดลำดับความสำคัญของโหลดผู้ใช้งาน โหลดยานยนต์ไฟฟ้าพิจารณาเป็นแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ ซึ่งผลจากการทดลองของปัญหาการจัดการความต้องการด้านพลังงานทำให้สามารถเพิ่มการจ่ายโหลดในขณะที่ระบบยังปกติ และแหล่งพลังงานแบบกระจายตัวของระบบได้
2014	Maigha และ Mariesa L. Crow [27]	ได้นำเสนอการจัดตารางทางเศรษฐศาสตร์ของการประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินในที่พักอาศัย ซึ่งการประจุแบตเตอรี่สำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้านั้นถูกนิยามประจุในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานต่ำสุด (Off peak) อัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Time of use (TOU) ถูกนำมาใช้การสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ใช้งานเพื่อปรับเวลาการประจุในช่วงที่ค่าไฟฟ้าถูกสุด ระดับและอัตราของ TOU ของการผลิตไฟฟ้าต้องใช้คิดประกอบ โดยทำการจำลองการตารางเวลาของอัตรา TOU ร่วมกับระบบอื่นๆ การพิจารณาความไม่แน่นอนด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo) เพื่อหาค่าสถานะของการประจุ และช่วงเวลาการเดินทาง (Trip duration) กลยุทธ์ตารางส่วนกลาง (Centralized scheduling strategy) ถูกนำเสนอเพื่อใช้ในการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน ร่วมกับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมายค่าพลังงานเฉลี่ย

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>ต่ำสุดของโหลดที่พักอาศัยรวมกับกำลังไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งผลจากการจำลองจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) พบว่าการประสานการประจุแบตเตอรี่สามารถลดความต้องการของพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระบบลงได้</p>
2015	Niels Leemput และคณะ [22]	<p>ได้นำเสนอผลกระทบจากการรวมการประจุแบบช้าและเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าต่อกริดในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง ไฟฟ้าแรงดันต่ำของที่พักอาศัย ซึ่งผลการเพิ่มขึ้นขึ้นจากการประจุเร็วและการประจุแบบช้าในสถานที่พักอาศัย โดยทำการจำลองใน 3 สถานะการณ์คือ การประจุแบบไม่มีการประสาน การประจุในช่วง Off peak ของที่พักอาศัย และ ในช่วงพื้นฐานการประจุยานยนต์ไฟฟ้าช่วงลดยอดคลื่น (EV based peak shaving) ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ทำการทดสอบโดยการแยกออกเป็นกรณีตามพฤติกรรมของการประจุ ทำการกำหนดขนาดยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ ทำการทดสอบที่ระบบแรงดันต่ำจำนวน 3 กรณีและมีการ ผสานการติดตั้ง PV ในระบบ กำหนดค่าระดับแรงดันให้อยู่ในระดับตามมาตรฐาน EN50160 ระดับพลังงานการประจุประจุพิจารณาจากค่า SOC ทำการกำหนดช่วงเวลาในการประจุ ผลจากการทดสอบพบการประจุเร็วขึ้นนั้นทำให้กริดได้รับผลกระทบมากกว่าการประจุแบบช้า ในขณะที่การประจุแบบใช้พื้นฐานของ EV สูงสุดนั้นส่งผลกระทบต่อกริดในกรณีแยกประจุเฉพาะกลุ่ม ซึ่งในขณะที่การประจุช้าในพื้นที่พักอาศัยส่งผลกระทบต่อกริดอย่างมากในการประสานกับโหลดอื่นๆ ในระบบ ซึ่งในการประจุควรจะมีการสร้างแรงจูงใจในการประจุที่เป็นมิตรต่อกริดในลักษณะต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญมากกว่าการลดปริมาณการประจุแบบเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2015	Pol Olivella - Rosell และคณะ [28]	ได้นำเสนอรูปแบบความน่าจะเป็นจากพื้นฐานความต้องการพลังงานจากตัวแทนของยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบจำหน่าย จากจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหาการใช้พลังงานการประจุ แหล่งพลังงานที่ต้องจัดที่เหมาะสมต่อจำนวนยานยนต์ไฟฟ้า จำนวนความต้องการพลังงานในการประจุยานยนต์ไฟฟ้าถูกนำเสนอโดยใช้พื้นฐานกลุ่มตัวแทน (Agent based) ซึ่งรูปแบบการประจุจะเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของผู้ขับขี่ความสามารถในการเคลื่อนที่ กระบวนการประจุที่เกี่ยวข้องกับจุดหมายปลายทางที่ต้องการเดินทาง ในการจำลองได้ใช้ตัวแปรรูปแบบทางสังคมและเศรษฐศาสตร์ทำการทดสอบในระบบ IEEE 37 บัส กำหนดโซนของกลุ่มตัวแทนเป็น 3 ระดับคือระดับ สูง ปานกลาง และระดับต่ำ รวมถึงมีการแบ่งระดับค่าใช้จ่ายในการประจุในแต่ละช่วงเวลา ใช้ความต้องการพลังงานของโหลด (Load Demand) ประกอบการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าตกทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าตกทำการเปรียบเทียบในแต่ละยุทธศาสตร์การประจุแบตเตอรี่ จากการทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถประจุในช่วงการเปลี่ยนแปลง (Valley) โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า
2017	Azhar Ul-Haq, Carlo Cecati และ Essam A.Al- Ammar [29]	ได้นำเสนอรูปแบบการนำแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการนำพลังงานจากยานยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่กริด โดยเป็นการพัฒนาของหลักการประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งพลังงานสองแหล่ง หลักการทำงานมีอยู่ 4 โหมด ประกอบด้วย โหมดที่ 1 DC-DC ผ่านวงจร DC-AC นำพลังงานจาก PV ไปสู่กริด โหมดที่ 2 DC-DC นำพลังงานจาก PV ไปประจุแบตเตอรี่ผ่าน DC-DC converter โหมดที่ 3 AC-DC นำพลังงาน

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		<p>จากกริดไปผ่าน DC-DC converter ประจุแบตเตอรี่โหมดที่ 4 DC-DC นำพลังงานจากแบตเตอรี่จ่ายกลับเข้ากริดผ่าน AC-DC converter ในช่วงมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจากการออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้างกล่าวสามารถเพิ่มโอกาสในการวางแผนและการบริหารจัดการพลังงานแบบอัจฉริยะหรือสมาร์ทกริดได้</p>
2017	Marjan Glelaj และ คณะ [30]	<p>ได้นำเสนอการออกแบบที่เหมาะสมสถานีประจุเร็วแบบดีซีสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในระบบกริดแรงต่ำ ซึ่งสถานีประจุเร็วแบบดีซีนั้นถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับโหลดยานยนต์ไฟฟ้าด้วยสามารถใช้เวลาในการประจุที่สั้นลงจากการประจุโดยตรงในงานนำเสนอควบคู่กับแหล่งจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage, BES) ระบบการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง AC-DC converter ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถานีประจุเร็วขนาด 240 กิโลวัตต์ ซึ่งหากระบบมีการติดตั้งระบบสะสมพลังงานก็สามารถที่จะลดการฟุ้งพลังงานจากสถานีที่ประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ลงได้ ประมาณโหลดติมานด์จากค่าเฉลี่ยของเครื่องประจุที่มีอยู่ในท้องตลาดแต่ละยี่ห้อและขนาดของระบบสะสมพลังงานซึ่งจากวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระของระบบลงได้กรณีติดตั้งระบบสะสมพลังงานในระบบประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage, BES) ระบบการทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง AC-DC converter ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถานีประจุเร็วขนาด 240 กิโลวัตต์ ซึ่งหากระบบมีการติดตั้งระบบสะสมพลังงานก็สามารถที่จะลดการฟุ้งพลังงานจากสถานีที่ประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ลงได้ ประมาณโหลดติมานด์จากค่าเฉลี่ยของเครื่องประจุที่มีอยู่ในท้องตลาดแต่ละยี่ห้อและขนาดของระบบสะสมพลังงาน</p>

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
		ซึ่งจากวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระของระบบลงได้กรณีติดตั้งระบบสะสมพลังงานในระบบประจําสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

ในปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์แบบดั้งเดิมซึ่งเป็นผู้ผลิตยานยนต์แบบสันดาปภายในแบบดั้งเดิม (Internal Combustion Engine, ICE) ได้มีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในสายการผลิตได้ศึกษาพัฒนาและวิจัยด้านยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านเทคโนโลยีการขับเคลื่อน เทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ เพื่อป้องกันการเสียการตลาดยานยนต์ที่เดิมที่นั่นมีส่วนแบ่งอย่างมหาศาล ด้วยบริษัทผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายบริษัทในโลกจากที่นำเสนอใน [32] ซึ่งมีมากถึง 170 บริษัทผู้ผลิตในแต่ละบริษัทก็ต้องมีการแข่งขันในการพัฒนาอย่างสูงเพื่อสร้างแรงจูงใจแก่ผู้บริโภคในการเลือกซื้อจากวิวัฒนาการของรถยนต์สันดาปภายในแบบดั้งเดิม ได้ถูกพัฒนาจนกลายมาเป็นยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังที่นำเสนอใน [33] ซึ่งประกอบไปด้วยยานยนต์ไฟฟ้าดังต่อไปนี้ ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-In Hybrid Electric Vehicle, PHEV) ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นต้น นอกจากนี้ยานยนต์ไฟฟ้าที่นำเสนอแล้วนั้นยังมีการพัฒนาต่อไปอีก เพื่อให้เป็นยานยนต์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Intelligence Electric Vehicle) โดยการใช้พื้นฐานยานยนต์ไฟฟ้า 4 ประเภท โดยเพิ่มเติมระบบการสื่อสาร เทคโนโลยีไร้คนขับ เทคโนโลยีการประจําแบบไร้สาย เป็นต้น ดังสามารถนำเสนอเพิ่มเติมได้ใน [31] ทำให้ยอดขายของกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเริ่มเข้ามาแทนที่ยานยนต์แบบดั้งเดิมมากยิ่งขึ้นดังนำเสนอใน [34] ที่มีการประมาณการไปถึงปี 2020 ของการเพิ่มขึ้นของยอดขายและจำนวนยานยนต์ไฟฟ้า สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันของยอดขายยานยนต์ในอเมริกา ยุโรป และจีน เป็นต้น [35-37] ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอิน (Plug-in Electric Vehicle, PEV) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) จากการนำเสนอใน [38] จะพบว่ายอดขายของ PHEV จะมียอดขายที่ดีกว่า BEV ด้วยความกังวลใจด้านการหาสถานีประจําในสถานที่ต่างๆ ด้วยแรงผลักดันจากอัตราปริมาณการใช้ น้ำมันเพิ่มขึ้น [6] และความแปรปรวนราคาน้ำมันของโลกที่มีแนวโน้มสูงขึ้น [39] ส่งผลต่อการเพิ่มการพัฒนาและวิจัยยานยนต์มากขึ้นดังนำเสนอ

ใน [31,47] โดยเทคโนโลยีในยานยนต์แต่ละผู้ผลิตนั้นจะแตกต่างกันเช่น ชนิดของแบตเตอรี่ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ ระยะทางที่ขับได้ ขนาดมอเตอร์และระดับการประจุ ส่วนปัจจัยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้ามีหลายด้าน เช่น นโยบายภาครัฐ สถานะเศรษฐกิจของโลก และการพัฒนา ด้านเทคโนโลยียานยนต์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ทำการพิจารณาประเภทของยานยนต์ในประเภทยานยนต์ไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เท่านั้นที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีการใช้พลังงานการประจุจากระบบไฟฟ้า ในปัจจุบันจะนิยมเรียกประเภทยานยนต์ไฟฟ้าทั้งสองว่าเป็นยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอิน (Plug-In Electric Vehicle, PEV) ซึ่งขนาดของแบตเตอรี่และเครื่องประจุนั้นมีความเกี่ยวข้องกันขนาดพิกัดและแรงดันประจุสำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้านำไปสู่การเชื่อมต่อเข้ากับกริด นำพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งานผ่านอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและทำการประจุแบตเตอรี่จนถึงระดับความจุที่กำหนด ซึ่งการประจุในระยะเวลายานยนต์นั้นจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานอย่างมากในการประจุแบตเตอรี่ให้เต็มด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูง โดยที่แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าต้องถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถรองรับและทนต่อสภาวะการณดังกล่าวได้อย่างดี เหมาะสม มีความปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้าและผู้ใช้งาน ซึ่งต้องมีมาตรฐานต่างๆ มาเกี่ยวข้องในการควบคุมตั้งแต่ระบบไฟฟ้าจนถึงยานยนต์ไฟฟ้างานนำเสนอใน [31] ซึ่งประเทศไทยนั้นการออกแบบจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าต่างๆ ประกอบร่วมกับข้อมูลจากผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้า

2.3 หลักการพื้นฐานของยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV)

เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า เป็นอีกทางเลือกที่นำมาประยุกต์ใช้กับทางถนนและมีแนวโน้มที่ ยานยนต์ไฟฟ้าจะพัฒนาขึ้นอีกมากอนาคต นอกจากนี้แนวคิดพื้นฐานของการใช้เทคโนโลยี ยานยนต์ไฟฟ้าคือ การใช้พลังงานไฟฟ้ามาขับเคลื่อนยานยนต์ ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่กล่าวถึงได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ทำให้มีการลดมลพิษอีกด้วย

อัตราการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีแบตเตอรี่ ในปัจจุบัน เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานทั้งความหนาแน่นของพลังงานต่อมวล (Energy density by weight) และความหนาแน่นของพลังงานต่อหน่วยปริมาตร (Energy density by volume) ยังมีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับน้ำมัน ดังนั้นความหมายของยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันจึงไม่ได้หมายถึงยานยนต์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนโดยตรงแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงยานยนต์ที่อาศัยเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในมาใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยทั้งในส่วนของการขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือเทคโนโลยีของการใช้ไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง

เพื่อมา เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนก็ถือว่าเป็นยานยนต์ไฟฟ้าด้วย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้แบ่งยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 ประเภท [43] ได้แก่

2.3.1 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid electric vehicle, HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่อยู่ในยานยนต์ทำงานกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังการทำงานของยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ

2.3.2 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนามาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดโดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้อานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกัน 2 แหล่ง จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Extended range EV (EREV) และแบบ Blended PHEV โดยแบบ EREV จะเน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน แต่แบบ Blended PHEV มีการทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้นยานยนต์ไฟฟ้าแบบ EREV สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวนานกว่าแบบ Blended PHEV

2.3.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery electric vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์นี้จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักที่บรรทุก

2.3.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell electric vehicle, FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากไฮโดรเจน ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์ถือว่าเป็นคำตอบที่แท้จริงของพลังงานสะอาดในอนาคต แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนและโครงสร้างพื้นฐาน

ในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดมีการนำมาใช้จริงแล้วในประเทศไทย ขณะที่ประเทศที่พัฒนาแล้วได้มียานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ออกจำหน่ายโดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงกว่าและลดมลพิษที่มากกว่า ยิ่งไปกว่านั้นยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีการปลดปล่อยสารมลพิษจากยานยนต์ระหว่างการขับเคลื่อน (Tank-to-wheel) ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเดินทางในเขตเมืองที่มีการจราจรคับคั่ง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการขยายตัวของจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่คือระยะทางในการขับขี่ ความสะดวกในการประจุแบตเตอรี่ และปัจจัยด้านราคา ระยะทางในการขับขี่นั้นขึ้นอยู่กับความจุพลังงานของแบตเตอรี่ ในขณะที่

ที่ความสะดวกในการประจุแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับวิธีการในการติดตั้งระบบประจุไฟฟ้าภายในบ้านเรือน รวมถึงการสร้างสถานีประจุไฟฟ้าให้ครอบคลุมทั่วถึง แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการทางเคมีไฟฟ้า ในการเก็บพลังงาน การวัดสมรรถนะของแบตเตอรี่จะวัดกันในหลายมิติ มิติที่สำคัญได้แก่ กำลังจำเพาะ (Specific power, W/kg) อายุการใช้งาน (Service life) อัตราการเก็บและคายประจุ (Charge and discharge rate) ราคา (Cost) และความปลอดภัย (Safety) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับความจุ (Capacity, Ah) และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุ (Charge cycles) ซึ่งค่าความจุจะขึ้นกับค่าพลังงานจำเพาะ (Specific energy, Wh/kg) หรือค่าความหนาแน่นพลังงาน (Energy density, Wh/l) จากปัจจัยองค์ประกอบต่อสมรรถนะแบตเตอรี่และสมรรถนะเป้าหมายของแบตเตอรี่ดังที่กล่าวมาจึงเกิดการพัฒนาระบบแบตเตอรี่ ประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ตั้งแต่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (NiCd battery) แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรไรด์ (NiMH battery) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion battery) แบตเตอรี่แต่ละประเภทมีข้อดีข้อเสีย แตกต่างกันไป แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรไรด์ถูกนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดตั้งแต่ยุคที่มี ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดที่ออกสู่ตลาดคันแรก (Toyota Prius) จนกระทั่งปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ส่วนใหญ่ก็ยังใช้แบตเตอรี่ประเภทนี้ แต่เทคโนโลยีของแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรไรด์เป็นเทคโนโลยี ที่ไม่สามารถพัฒนาต่อให้มีต้นทุนที่ถูกลงเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ จะต้อง สามารถดูดกลืนไฮโดรเจนได้ดี ซึ่งได้แก่ แร่หายาก (Rare earth) เช่น แลนทานัม นีโอโดเดียม เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้มีราคาแพง และมีน้ำหนักมากทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้มีน้ำหนักมากกว่าแบตเตอรี่ ประเภทอื่น นอกจากนี้แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรไรด์ยังมีอัตราการคายประจุในขณะที่แบตเตอรี่ ยังไม่ได้ทำงาน (Self-discharge rate) สูงทำให้ในระหว่างการใช้งานจะเกิดการสูญเสียประจุ (พลังงาน) ที่หายไปโดยที่ไม่ได้ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์

การพัฒนาแบตเตอรี่ยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนในปัจจุบันจึงมาจากการพัฒนา แบตเตอรี่ 2 ประเภทหลักคือ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (รวมถึงแบตเตอรี่ ลิเทียมพอลิเมอร์) โดยแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าความเร็วต่ำเป็นส่วนใหญ่ถึงแม้ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะมีองค์ประกอบของตะกั่วที่มีพิษ แต่เทคโนโลยีการรีไซเคิลแบตเตอรี่ประเภทนี้ ก้าวหน้าไปมากจนสามารถรีไซเคิลทุกชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ประเภทนี้ นอกจากนั้นแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ยังมีราคาและ self discharge rate ต่ำกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ การพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจึงยัง เป็นที่สนใจในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่วนแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนนั้นมีข้อดีที่สำคัญคือ ค่าความจุพลังงานจำเพาะสูง ทำให้น้ำหนักแบตเตอรี่เบา นอกจากนี้ยังไม่มี memory effect ซึ่งมีผลต่อ การชาร์จแบตเตอรี่ในครั้งต่อไป แต่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบเดิมที่ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เหลว มีข้อเสียที่ต้นทุนยังสูงและยังอาจมีปัญหาเรื่องการระเบิดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการรั่วของ

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นจึงมีการออกแบบแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์ (Li-polymer battery) ที่ใช้พอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์แบบแข็ง (Solid electrolyte) แบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีค่าพลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะเทียบเคียงกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพราะใช้วัสดุอิเล็กโทรดประเภทเดียวกัน แต่มีข้อดีคือ ไม่เกิดการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ทำให้โอกาสในการระเบิดต่ำกว่าและสามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบรวมถึงรูปทรงที่บางและมีน้ำหนักเบาเพราะไม่ใช่โลหะเป็นวัสดุหุ้มอิเล็กโทรด ข้อเสียของแบตเตอรี่ประเภทนี้คือ มีต้นทุนที่สูงกว่า ความทนทานต่อการชาร์จประจุเกินต่ำและสามารถเสีรูปอันเนื่องมาจากความร้อนและความดันได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีจำนวนรอบการชาร์จต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบเดิม

2.4 เทคโนโลยีการพัฒนาเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

เทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญต่อการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าคือเทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ การอัดประจุแบตเตอรี่เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านการเสียบปลั๊กของยานยนต์ไฟฟ้า โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีอยู่หลายมาตรฐาน เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา อ้างอิงตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรยานยนต์นานาชาติ (SAE J1772) และส่วนในประเศยุโรป อ้างอิงตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสากล (ISO/IEC 61851-1) ซึ่งมาตรฐาน IEC จะครอบคลุมระบบการอัดประจุแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (DC) ที่เรียกว่า CHAdeMO ของประเทศญี่ปุ่นและระบบการอัดประจุเฉพาะของประเทศจีน เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานจะกำหนดลักษณะของหัวชาร์จแตกต่างกัน สำหรับมาตรฐานยุโรป (IEC 61851-1) จะจำแนกลักษณะการชาร์จออกเป็น 4 โหมด และกำหนดหัวชาร์จประเภทต่างๆ ในส่วนของมาตรฐานอเมริกา (SAE J1772) มีการกำหนดหัวชาร์จและลักษณะการชาร์จออกเป็น 2 ประเภทหลักตามระบบไฟฟ้า (กระแสตรงหรือกระแสสลับ) โดยในแต่ละระบบนั้นก็จะมีการแยกย่อยออกเป็นระดับอีก 2 ระดับ (Level) ดังแสดงในตารางที่ 4 [43]

โหมดสำหรับการอัดประจุโหมด 1 ถึง 4 มีรายละเอียดการอัดประจุที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะแรงดันที่ใช้ในการอัดประจุ (Type of Charge) ระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการอัดประจุ (Maximum Current) หรือความปลอดภัยในการอัดประจุ (Protections) ซึ่งรายละเอียด การอัดประจุในแต่ละโหมดอธิบายได้ดังนี้

โหมดที่ 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านตัวรับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 16 แอมป์ และขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 250 โวลต์ (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480 โวลต์ (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน

(Circuit Breaker) และสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าโหมดที่ 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับเต้ารับไฟฟ้าตามบ้านหรืออาคารโดยตรงโดยไม่มีอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่มีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) อีกทั้งเต้ารับตามบ้านหรืออาคารหลายแห่งไม่มีระบบสายดินจึงอาจเกิดอันตรายได้ต่อผู้ใช้งานได้ หากเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วหรือลัดวงจร บางประเทศจึงห้ามใช้การอัดประจุไฟฟ้าโหมดที่ 1 เช่น สหรัฐอเมริกา

โหมดที่ 2 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเต้ารับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 32 แอมป์ และขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 250 โวลต์ (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480 โวลต์ (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบ สายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Circuit Breaker) และสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในโหมดที่ 2 สายเคเบิลจะต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) และ ระบบป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว (Residual Current Device: RCD) ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ภายในกล่องควบคุม ในสายเคเบิล (In-cable Control Box: ICCB) โดย ICCB จะต้องมียุ่ห่างจาก Plug ไม่เกิน 0.3 เมตร หรือ ติดตั้งอยู่ภายใน Plug Control Pilot Function มีหน้าที่ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีการต่อสายดินอยู่หรือไม่ หรือสั่งให้ลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุเมื่อแบตเตอรี่เกิดความร้อนสูง เป็นต้น

โหมดที่ 3 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EVSE) เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยที่ EVSE จะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การอัดประจุไฟฟ้าทั่วไปในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดรถเป็นระยะเวลานานได้ เช่น ที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า และปั้มน้ำมันรวมถึงเครื่องอัดประจุไฟฟ้ารูปแบบ Wall Charge ในบ้านพักอาศัย EVSE ของการอัดประจุไฟฟ้า โหมดที่ 3 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน เช่น อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Circuit Breaker) อุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว (Earth Leakage Circuit Breaker) และอุปกรณ์สำหรับตัดต่อการจ่ายไฟฟ้า (Contactor) และต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) เพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าขณะนี้ยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับ EVSE อยู่หรือไม่ ตรวจสอบว่ามีการเชื่อมต่อระบบป้องกันอยู่หรือไม่ รวมทั้งการสื่อสารเพื่อควบคุมระดับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุโดย Control Pilot Function จะสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) เช่นเดียวกับโหมดที่ 2

โหมดที่ 4 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EVSE) เช่นสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยที่ EVSE จะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและมี Off-board Charger เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับและมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ การใช้งานการอัดประจุไฟฟ้า โหมดที่ 4 ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะเท่านั้น EVSE ของการอัดประจุไฟฟ้า โหมดที่ 4 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่นเดียวกับโหมดที่ 3 แต่การควบคุมการอัดประจุและการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าในโหมดที่ 4 จะซับซ้อนกว่าในโหมดที่ 3 และมีรูปแบบของการควบคุมและการสื่อสารที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับและมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-23 และ IEC 61851-24 [46]

การอัดประจุทั้ง 4 โหมดสรุปดังนี้ โหมด 1 คือ การอัดประจุแบบช้า (Slow Charge) จากปลั๊กไฟฟ้าปกติตามบ้าน การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงจะใช้อุปกรณ์แปลงกระแสภายในตัวรถ (On Board Charger) โหมด 2 คือ การอัดประจุแบบช้าจากปลั๊กไฟฟ้าปกติตามบ้าน การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงจะใช้อุปกรณ์แปลงกระแสภายในตัวรถ สายเคเบิลอัดประจุจะมีกล่องควบคุมตรงกลางสายและมีระบบป้องกัน โหมด 3 คือ การอัดประจุแบบช้าหรือแบบกึ่งเร็ว โดยใช้ปลั๊กไฟสำหรับการอัดประจุที่มีการสื่อสารผ่านสายเคเบิลอัดประจุได้ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงจะใช้อุปกรณ์แปลงกระแสภายในตัวรถสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุได้และมีระบบป้องกัน โหมด 4 คือ การอัดประจุแบบเร็ว (Quick Charge) โดยใช้ปลั๊กไฟสำหรับการอัดประจุที่มีการสื่อสารผ่านสายเคเบิลอัดประจุได้ สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุได้ และมีระบบป้องกันการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง จะใช้อุปกรณ์แปลงกระแสภายนอกตัวรถคือจากเครื่องอัดประจุ (Off Board Charger) [43]

2.5 หลักการพื้นฐานของพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell : PV)

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูงในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 3 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน เทคโนโลยีระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [45]

2.5.1 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถจำแนกเป็น 2 แบบ คือ

- เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับ การออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ เซลล์แสงอาทิตย์แบบ ต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบ สำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบ สายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์แบบ ผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับ อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่นระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ
- เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์ (Concentrating Solar Power) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือแบบ Parabolic Troughs แบบ Central Receivers และแบบ Parabolic Dishes เทคโนโลยีทั้ง 3 แบบนี้จะทำการรวมแสงไว้ที่ตัวรับแสงโดยใช้กระจก หรือวัสดุสะท้อนแสงและหมุนตามดวงอาทิตย์ เพื่อสะท้อนแสงและส่งไปยังตัวรับแสงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานที่มีอุณหภูมิสูง

2.6 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย

ระบบไฟฟ้ากำลังมีหน้าที่และส่วนประกอบคือ ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า จากนั้นจะเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นระดับแรงดันสูง แล้วส่งพลังงานไฟฟ้า ผ่านสายส่ง (Transmission System) ไปยังระบบจำหน่าย (Distribution System) จากนั้นระบบ จำหน่ายจะลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงดันต่ำและส่งพลังงานไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า การเพิ่ม ระดับแรงดันไฟฟ้าทำให้การส่งพลังงานไฟฟ้าสามารถส่งได้ในระยะไกลและเป็นการลดกำลังสูญเสียที่ เกิดขึ้นในสายส่งการลดระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำทำให้ระดับแรงดันเหมาะสมกับ แรงดันไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือนและผู้ใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำในประเภทธุรกิจต่างๆ อุปกรณ์ที่ จะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้า คือ หม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้น หม้อแปลงไฟฟ้าจึงเป็นอุปกรณ์ที่

สำคัญในระบบไฟฟ้ากำลังและมีผลต่อความมั่นคงต่อการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า หากเกิดความเสียหายจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเดือดร้อน หัวข้อนี้จะอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า คือ ความสูญเสียในหม้อแปลงและประสิทธิภาพของหม้อแปลง [43]

2.6.1 ความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าเช่นเดียวกับมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ แต่ขณะที่หม้อแปลงทำงานจะไม่มีส่วนใดเคลื่อนที่ ดังนั้นความสูญเสียทางกลจึงไม่เกิดขึ้น เช่น ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (Friction) และความสูญเสียจากแรงลม (Wind) ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ ความสูญเสียในแกนเหล็ก และความสูญเสียในลวดทองแดง 1 ความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) หม้อแปลงไฟฟ้าจะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิ (Primary) ไปยังด้านทุติยภูมิ (Secondary) โดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแกนเหล็กเป็นตัวกลางในการส่งผ่าน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแกนเหล็กจะเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิ ขดลวดนี้จะพันรอบแกนเหล็กและด้วยคุณสมบัติของแกนเหล็กที่มีค่าความต้านทานอยู่ค่าหนึ่ง จึงจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งในการสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้จะกลายเป็นความสูญเสียที่เรียกว่า “ความสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส” (Hysteresis Loss) การสร้างสนามไฟฟ้าในแกนเหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก ดังนั้น จึงเกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นในแกนเหล็กและปรากฏความสูญเสียในรูปความร้อนจึงกลายเป็นความสูญเสีย ที่เรียกว่า “ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน” (Eddy Current Loss)

ความสูญเสียในแกนเหล็กประกอบด้วยสองส่วน คือ ความสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิสและความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน ความสูญเสียทั้งสองส่วนนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่หม้อแปลงทำงาน ถึงแม้ว่าหม้อแปลงไม่ได้จ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ภาระก็ตาม ดังนั้นจึงเรียกความสูญเสียในแกนเหล็กได้ว่าความสูญเสียขณะไม่มีภาระ (No Load Loss) และความสูญเสียในลวดทองแดง (Copper Loss) หม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ภาระด้านทุติยภูมิจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิขนาดของกระแสที่ไหลในขดลวดทั้งสองจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแสของภาระขดลวดภายในหม้อแปลงทำจากทองแดงจึงมีค่าความต้านทานอยู่ค่าหนึ่ง ดังนั้นเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดทั้งสองจะเกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นในขดลวดทั้งสองและปรากฏเป็นความสูญเสียในรูปความร้อน ดังนั้นความสูญเสียในลวดทองแดงจะเกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่หม้อแปลงจ่าย ภาระจึงเรียกได้ว่าความสูญเสียขณะจ่ายภาระ (Load Loss) ประสิทธิภาพของหม้อแปลง ประสิทธิภาพของหม้อแปลงสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลไฟฟ้าชนิดอื่นๆ คือ [43]

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (2.1)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของหม้อแปลง มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
 P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าอินพุต

การทำงานของหม้อแปลงจะมีความสูญเสียเกิดขึ้นสองชนิด คือ ความเสียหายในแกนเหล็ก (Core Loss) และความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่หม้อแปลงรับมา จะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไปรวมกับกำลังสูญเสียทั้งหมด เขียนสมการได้ดังนี้

$$P_{in} = P_{out} + P_{co} + P_{cu} \quad (2.2)$$

โดยที่ P_{co} คือ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก
 P_{cu} คือ กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดง

ดังนั้น ประสิทธิภาพหม้อแปลงจะคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{out} + P_{co} + P_{cu}} \right) \times 100\% \quad (2.3)$$

กำลังสูญเสียในแกนเหล็กเป็นค่าคงที่ สามารถคำนวณได้จากการทดสอบหม้อแปลงขณะไม่มีภาระ (No-Load Test) กำลังสูญเสียในแกนเหล็กจะมีค่าประมาณร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 ของค่าพิกัดหม้อแปลง กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงจะแปรผันตามปริมาณกระแสที่ไหลในขดลวดจะกล่าวได้ว่า กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงจะแปรผันตามค่าภาระกำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงมีค่าประมาณร้อยละ 0.7 ถึง 2.2 ของค่าพิกัดหม้อแปลง

2.7 การวิเคราะห์การไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นมีความสำคัญต่อการศึกษากิจกรรมการพฤติกรรมของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อใช้ประกอบประเมินความมีเสถียรภาพของระบบในสภาวะคงตัว เช่น รูปแบบของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส กระแสไหลระหว่างบัส และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบ เป็นต้น

ซึ่งถูกนำมาใช้ประกอบการพิจารณาในการวางแผนและจัดการระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในการวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างสำหรับเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการของการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบโครงข่าย (Network System) และระบบจำหน่าย (Distribution System) เพื่อศึกษาในพฤติกรรมของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้เกิดองค์ความรู้และนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ โดยพื้นฐานในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วยชนิดของบัส ข้อมูลใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลระบบ และข้อมูลของโหลด โดยสามารถนำเสนอได้ใน [41] ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน และวิธีการคำนวณกระแสย้อนกลับและแรงดันไปข้างหน้าโดยสามารถนำเสนอในเบื้องต้นดังนี้

2.7.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบโครงข่ายด้วยวิธีการของนิวตัน-ราฟสัน จะใช้ค่าที่กำหนดให้ในแต่ละบัสเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อไปคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละบัส การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนี้เริ่มต้นพิจารณาจากสมการกระแสไหลเข้าบัส ในเทอมของเมทริกซ์ของแอดมิตแตนซ์บัส Y_{bus} คือ

$$[I_{bus} = [Y_{bus}] + [V_{bus}]] \quad (2.4)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} v_j \angle (\theta_{ij} + \delta_j) \quad (2.5)$$

กำลังไฟฟ้าที่บัส i หาค่าได้จาก

$$P_i - jQ_i = V_i I_i \quad (2.6)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.7)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.8)$$

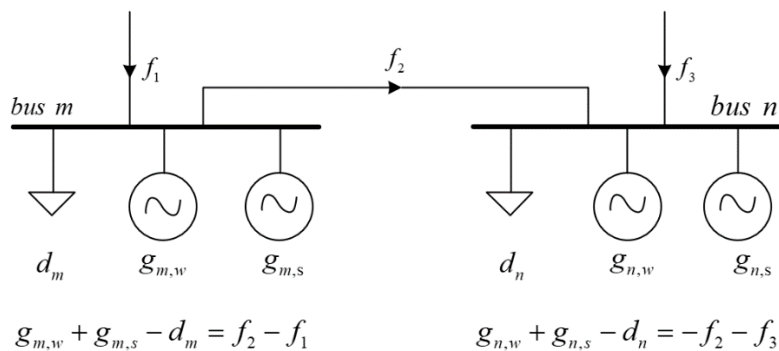
เมื่อ δ_j และ V_j เป็นตัวแปรสถานะ (State Variables) ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าวิธีของนิวตัน-ราฟสันจะใช้อนุกรมเทเลอร์ (Taylor's Series) กระจายสมการ (2.4) และ (2.5) โดยใช้จาโคเบียนเมทริกซ์ (Jacobian Matrix) เป็นส่วนทำให้สมการเดิมที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของส่วนเล็กๆ ของมุมของแรงดันไฟฟ้า และ

ขนาดของแรงดันไฟฟ้า กับส่วนเล็กๆ ของกำลังแฉีกที่ฟ และกำลังรีแฉีกที่ฟ โดยรายละเอียดสามารถนำเสนอได้ใน [80, 81] ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียสามารถหาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัสตั้งสมการที่ (2.6) ดังนี้

$$S_{loss,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.9)$$

- บัส (Bus)

บัส เป็นโหนดพื้นฐานของเครือข่ายซึ่งส่วนประกอบต่างๆ เช่น โหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายส่ง มีการใช้การรักษากำลังงานทั้งหมดที่ป้อนเข้าและออก เช่น กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's Law)



รูปที่ 2.1 โหนดพื้นฐานของเครือข่ายที่มีส่วนประกอบต่างๆ

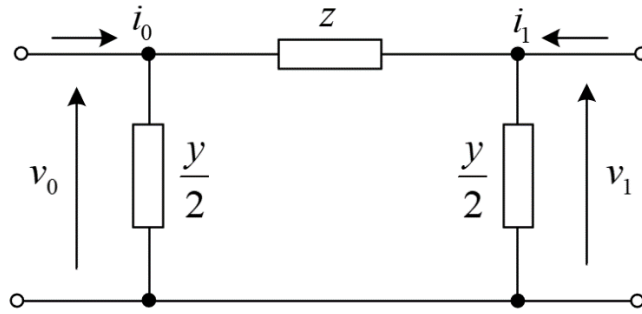
- แบบจำลองสายส่ง (Lines Model)

สายส่งถูกสร้างแบบจำลองด้วยแบบจำลอง PI ที่เทียบเท่ามาตรฐานในขนาดโมเดลที่มีพารามิเตอร์แบบกระจายอาจถูกเพิ่ม หากอิมพีแดนซ์อนุกรมได้จาก

$$z = r + jx \quad (2.10)$$

$$y = g + jb \quad (2.11)$$

แสดงเส้นการส่งและการกระจายกระแสเชื่อมต่อ bus0 กับ bus1 และเชื่อมต่อ AC หรือ DC กำลังผ่านสายไม่สามารถควบคุมได้โดยตรง แต่จะถูกกำหนดโดยความต้านทานและความไม่สมดุลของพลังงานที่สำคัญ ในการดูว่ามีการใช้อิมพีแดนซ์ในพลังงานให้ดูแบบจำลองสายส่ง



รูปที่ 2.2 แบบจำลองสายส่ง

โดยมีสมการดังนี้

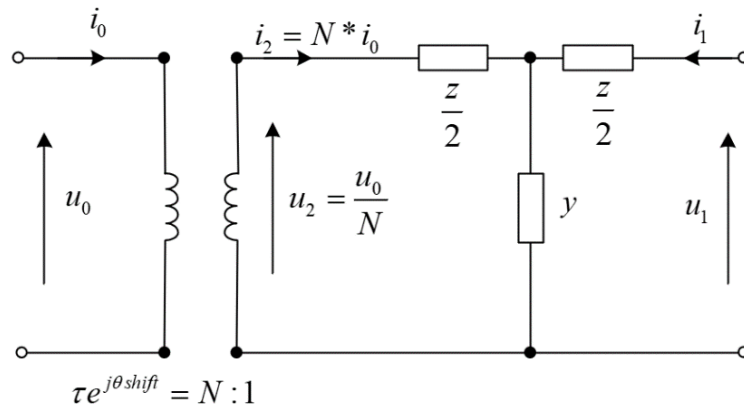
$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{z} + \frac{y}{2} & -\frac{1}{z} \\ -\frac{1}{z} & \frac{1}{z} + \frac{y}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

- วงจรเทียบเท่าของหม้อแปลง (Equivalent circuit of Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับกำเนินการใน pandapower ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอย่างอิสระใน DigSILENT Power Factory หม้อแปลงเป็นแบบจำลองที่มีแบบจำลอง T เทียบเท่าหรือแบบจำลอง PI ที่เทียบเท่ากัน สามารถควบคุมได้โดยการตั้งค่ารูปแบบคุณลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็น t หรือ pi หัวแปลงสามารถสร้างขึ้นในด้านแรงดันสูงครั้งเดียวหรือครั้งที่สองด้านแรงดันต่ำนี้ถูกตั้งค่าด้วยคุณสมบัติภายใน ถ้าชนิดของหม้อแปลงไม่ได้รับประเภทของหม้อแปลงผู้ใช้จะ ต้องกำหนด tap_ratio ค่าเริ่มต้นเป็น 1 หากได้รับประเภทผู้ใช้สามารถระบุ tap_position ซึ่งส่งผลให้อัตราส่วน τ กำหนดโดย

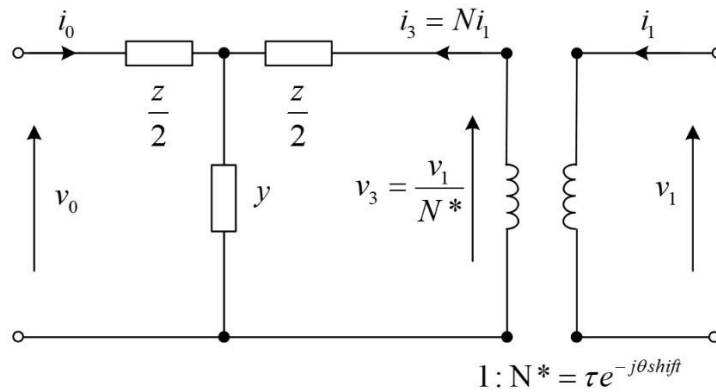
$$\tau = 1 + (\text{tap_position} - \text{tap_neutral}) \cdot \frac{\text{tap_step}}{100} \quad (2.13)$$

สำหรับหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน τ และบน tap_side ด้านหลัก = 0 และ phase shift θ ให้เทียบเท่ารุ่น T จะได้โดย



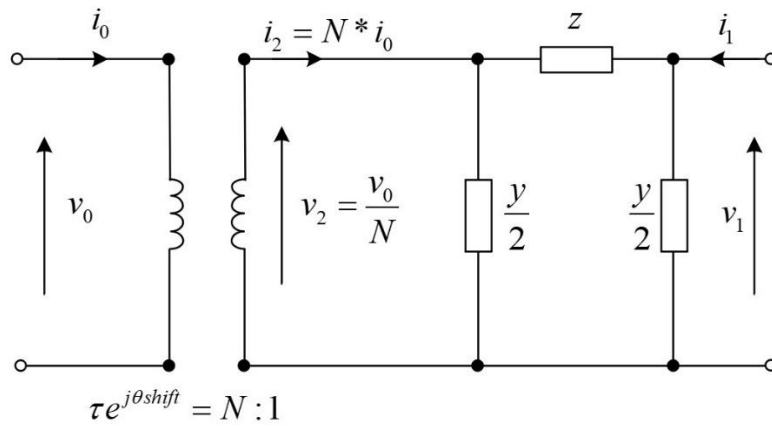
รูปที่ 2.3 แบบจำลองของหม้อแปลง (Transformer Model) (1)

สำหรับหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน τ บน tap_side ด้านบน = 1 และ phase shift θ เปลี่ยนรุ่น T ที่เทียบเท่าจะได้โดย



รูปที่ 2.4 แบบจำลองของหม้อแปลง (Transformer Model) (2)

สำหรับเมทริกซ์ admittance รูปแบบ T จะกลายเป็นรุ่น PI กับการเปลี่ยนแปลง wye-delta สำหรับหม้อแปลงหลักด้านอัตราส่วนเป็น tap_side = 0 และ phase shift θ เป็นรุ่น PI เทียบเท่าได้โดย

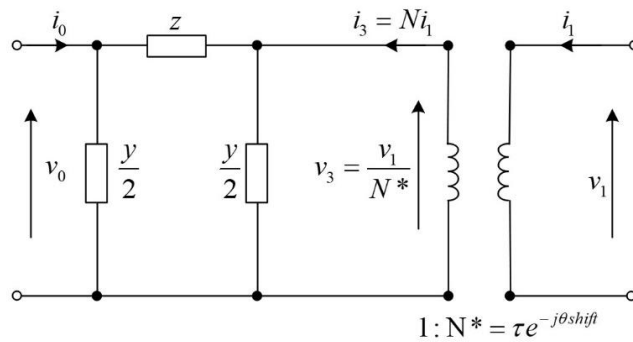


รูปที่ 2.5 แบบจำลองของหม้อแปลง (Transformer Model) (3)

ซึ่งกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องโดย

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{z} + \frac{y}{2} & -\frac{1}{z} \cdot \frac{1}{\tau e^{-j\theta}} \\ -\frac{1}{z} \cdot \frac{1}{\tau e^{j\theta}} & \left(\frac{1}{y} + \frac{y}{2}\right) \cdot \frac{1}{\tau^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

สำหรับหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน τ บน tap_side ด้านบน = 1 และ phase shift θ รูปแบบ PI เทียบเท่าได้โดย



รูปที่ 2.6 แบบจำลองของหม้อแปลง (Transformer Model) (4)

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\frac{1}{z} + \frac{y}{2}\right) \cdot \frac{1}{\tau^2} & -\frac{1}{z} \cdot \frac{1}{\tau e^{-j\theta}} \\ -\frac{1}{z} \cdot \frac{1}{\tau e^{j\theta}} & \frac{1}{z} + \frac{y}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

2.8 โปรแกรม Python

Python เป็นหนึ่งในภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบันเนื่องด้วยความง่ายต่อการเรียนรู้และยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โดยใช้รูปแบบโครงสร้างภาษาที่เรียกว่า ภาษาไพธอน (Python Language) ถูกสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1994 โดยโปรแกรมเมอร์ชื่อ Guido van Rossum ด้วยพื้นฐานจากภาษาต่างๆ รวมเข้าด้วยกันเช่น C ABC เป็นต้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้ง่ายไม่มีหลักไวยากรณ์หรือกฎเกณฑ์ที่ซับซ้อนและสามารถนำไปใช้บนระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ปัจจุบันไพธอนถือได้ว่าเป็นกลุ่มของภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีผู้ใช้งานมากที่สุดจึงเป็นสิ่งที่ยืนยันถึงความสำเร็จได้เป็นอย่างดีและนอกจากนี้ก็ยังมีลักษณะที่น่าสนใจอื่นๆ คือ [43]

- ใช้งานได้ฟรี
- เป็นภาษาที่ใช้ง่าย ไม่ซับซ้อน เหมาะกับผู้ที่เริ่มศึกษาที่จะเขียนโปรแกรมไพธอน
- ไพธอน เป็นภาษาที่ใช้ได้ง่ายสามารถใช้โปรแกรมได้หลากหลายรูปแบบตั้งแต่การคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ตลอดไปจนถึงงานด้านกราฟิก เป็นต้น
- สามารถนำโปรแกรมที่เขียนด้วยไพธอน บนระบบปฏิบัติการหนึ่งไปใช้อีกระบบหนึ่งได้เช่น เราอาจเขียนโปรแกรมบน Windows แล้วนำไปใช้งานบนเครื่อง Mac หรือ Linux เป็นต้น เรียกว่าการทำงานข้ามแพลตฟอร์ม (Platform) นั่นเอง
- ไพธอนเป็นภาษาที่มี Source Code ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Python Software Foundation ดังนั้นจึงมีการพัฒนาอย่างมากทำให้ภาษามีการทำงานที่ต่อเนื่องมาตลอด
- สามารถเขียนได้ทั้งแบบ Functional และแบบ Object-Oriented
- ไพธอนรองรับการเขียนโปรแกรมแบบ Graphic User Interface เพื่อติดต่อและโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟิกซึ่งสามารถนำไปใช้งานบนระบบปฏิบัติการที่ต่างกันได้
- ไพธอนมีไลบรารีที่สนับสนุนการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลหลักๆเกือบทั้งหมด
- ภาษาไพธอนมีการจัดการพื้นที่หน่วยความจำแบบเองจึงช่วยลดการเกิดปัญหา Memory Leak
- ภาษาไพธอนมีกลุ่มผู้ใช้เยอะที่พร้อมให้การสนับสนุนและช่วยเหลือเมื่อเราเกิดปัญหา
- นอกจากไลบรารีที่มากับภาษาไพธอนแล้วเราสามารถนำไลบรารีจากภายนอกหรือเข้ามาเสริมการทำงานได้

2.9 โปรแกรม DIGSILENT

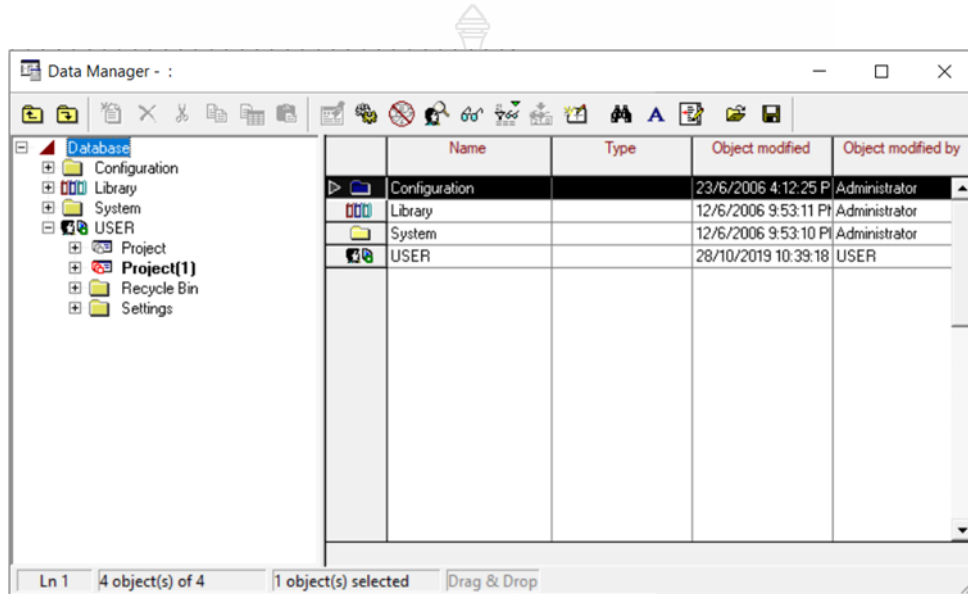
โปรแกรม Digital Simulator for Electrical Network (DIGSILENT) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องด้วยความสามารถของตัวโปรแกรมที่ครอบคลุมทั้งในด้านการออกแบบ ในการสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพหรือการนำเข้าข้อมูลด้วยไฟล์ชนิดต่างๆ เช่น Text file และเนื่องด้วยประสิทธิภาพของโปรแกรม DIGSILENT สามารถบ่งชี้ถึงการวิเคราะห์ในจุดต่างๆ ได้อย่างชัดเจน รวมถึงเชื่อมต่อส่งผ่านข้อมูลร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ด้วยการใช้พอร์ตการเชื่อมโยงภายนอก (Interface) ส่งผลให้ตัวโปรแกรมเป็นที่ยอมรับและถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในด้านของการศึกษา หรือจากหน่วยงานของรัฐ โปรแกรม DIGSILENT ยังสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในระบบผลิต ระบบส่งจ่าย ระบบจำหน่าย และภาคอุตสาหกรรมซึ่งความสามารถของโปรแกรมจะวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัว (Steady state) และสภาวะทรานเซียน (Transient state) แสดงได้ดังนี้ [44]

- Load flow and fault analysis of complete AC/DC network representation, meshed & mixed 1-,2-and 3-phase AC and /or DC networks
- Low voltage network analysis
- Distribution network optimization
- IEC cable sizing
- Dynamic simulation
- EMT simulation
- Eigenvalue analysis
- System identification
- Protection analysis
- Harmonic analysis
- Reliability
- Production planning
- Voltage stability analysis
- Contingency analysis
- Power electronic device modeling
- DPL user script
- A/D interfacing
- DOLE interface for SCADA/GIS
- PSS/E & PSS/U compatibility

- Multi-user database
- Virtual instruments

2.9.1 โครงสร้างพื้นฐานของโปรแกรม DigSILENT

ในส่วนโครงสร้างพื้นฐานของโปรแกรม DigSILENT จะนำเสนอถึงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ภายใต้อินโฟฐานข้อมูล (Database) แสดงได้โดยหน้าต่าง Data manger ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7

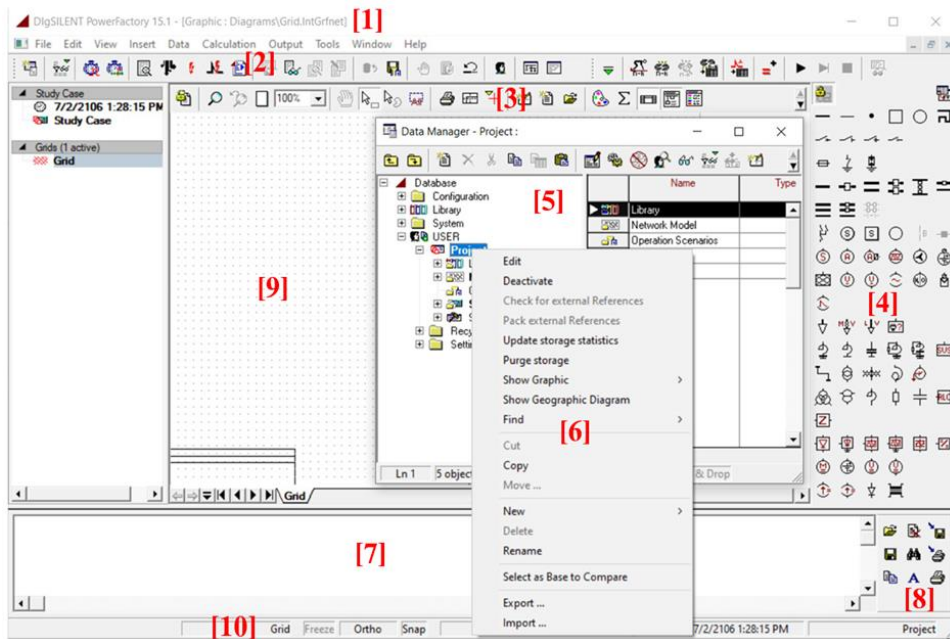


รูปที่ 2.7 หน้าต่าง Data manger แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล

ในส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Main window ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8 ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 10 ส่วนดังนี้

1. Title bar เป็นส่วนที่แสดงชื่อและ Version ของโปรแกรม
2. Menu bar เป็นส่วนที่แสดงรายชื่อคำสั่งหลักของโปรแกรม
3. Main tool bar เป็นส่วนที่ใช้แทนคำสั่งใน Menu bar หลักซึ่งสามารถเรียกใช้งานได้ทันที
4. Drawing tool bar เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ในการจำลองระบบไฟฟ้าต่างๆ
5. Data manager window เป็นหน้าต่างย่อยที่แสดงโครงสร้างการจัดเก็บของข้อมูลทั้งหมด โดยมีการใช้งานคล้ายกันกับ Window explorer คือเมื่อเลือกโฟลเดอร์ที่อยู่ด้านซ้ายทางฝั่งขวาก็จะแสดงโฟลเดอร์ต่างๆ ที่อยู่ภายใต้โฟลเดอร์นั้นๆ
6. Context menu เป็นหน้าต่างที่แสดงเมื่อทำการคลิกขวาที่ Object โฟลเดอร์ใน Data manager

7. Output window เป็นหน้าต่างที่แสดงผลการคำนวณหรือแสดงจุดผิดพลาดของการจำลอง (error)
8. Output tool bar เป็น Tool bar ซึ่งใช้งานประกอบกับหน้าต่างของ 10 Output Window
9. Workspace เป็นพื้นที่ที่ใช้ในการสร้าง Single line diagram
10. Status bar เป็นส่วนที่แสดงสถานะการกระทำใดๆ บนชิ้นงานที่กำลัง Active



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบต่างๆ ของหน้าต่าง Main window



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในการศึกษาการออกแบบระบบจำหน่ายของสถานีประจวบยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม PyPSA ที่เป็นโมดูลเพิ่มเติมของโปรแกรม Python โดยใช้โปรแกรม PyPSA นั้นมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ภายในตัวโปรแกรม PyPSA จะมีโมดูลของแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถออกแบบประสานกับแหล่งพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System, BESS) ได้ทำให้สามารถที่จะทำการออกแบบตามเงื่อนไข ตามที่ได้ทำการตั้งสมมุติฐานของการศึกษาได้ โดยการศึกษาได้ทำการแทนโหนดยานยนต์ไฟฟ้าด้วย BESS โดยใช้หลักการคายพลังงานของ BESS ในการเคลื่อนที่ และเวลาในการชาร์จประจุจากการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถนำเสนอขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

3.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PYPASA

การออกแบบระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PyPSA นั้นถูกพัฒนามาจากพื้นฐานโปรแกรม Python 2.7 หรือ Python 2.5 ทำให้มีจุดเด่นในด้านความเร็วในการประมวลผล ในการออกแบบนั้นต้องทำการออกแบบบนระบบโครงข่าย (Network Object) ก่อน โดยองค์ประกอบภายในนั้นจะประกอบไปด้วยบัส (Buses) และถูกเชื่อมด้วยสายส่งกำลังไฟฟ้าไปในแต่ละบัส โดยในแต่ละบัสก็จะมีอุปกรณ์หรือโหนดมาคือตามที่ต้องการออกแบบ โดยใช้หลักการกระแสไหลของ Kirchoff's Law ในการพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้า ในขณะที่รูปแบบการไหลของพลังงาน (Energy flow) จะพิจารณาจากรูปแบบของพลังงานที่เข้าสู่แหล่งกำเนิด แล้วจึงปล่อยพลังงานไปตามสายส่งซึ่งจะมีผลด้านประสิทธิภาพ ในขณะที่ข้อมูลจากโปรแกรม Pandas จะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาหรือวิเคราะห์ระบบในแต่ละกรณีที่น่าสนใจโดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบจะนำค่าดังกล่าวเรียกใช้ในการออกแบบในการออกแบบข้อมูลในสภาวะคงตัว (Static components data) เช่น จำพวกสายส่ง หม้อแปลงไฟฟ้า แหล่งกำเนิดและอื่นๆ ซึ่งเป็นชื่อเฉพาะที่ถูกวัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม Pandas โดยจะทำการกำหนดภายใต้ `network.components["Bus"]["attrs"]` โดยจะมีลักษณะการกำหนดดังนี้

- `Network.buses`
- `Network.generator`

- Network.loads
- Network.lines
- Network.tranformer

โดยข้อมูลที่ต้องระบุในโปรแกรม ต้องทำการพิจารณาให้ถูกต้องจึงจะทำการ RUN ได้ ในขณะที่ ข้อมูลของการ RUN แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะทำการกำหนดได้โดยใช้ network.snapshots โดยสามารถกำหนดได้ดังนี้

- Network.buses_t
- Network.generator_t
- Network.loads_t
- Network.lines_t
- Network.tranformer_t

ในการออกแบบนั้น จะทำการออกแบบด้วยระบบทดสอบที่จำลองขึ้นมาในเบื้องต้น ซึ่งจะทำให้การออกแบบได้ในระบบทดสอบ 9 บัส แบบง่ายๆ โดยทำการออกแบบเปรียบเทียบกับที่จำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ในขณะที่กรณีที่เป็นโหลดยานยนต์ไฟฟ้า สถานีประจําจะทำการจำลองระบบทดสอบ 3 บัส ตามลำดับ

3.3 การออกแบบระบบทดสอบ ด้วยโปรแกรม PyPSA และ DigSILENT

ในการออกแบบระบบทดสอบด้วยโปรแกรม PyPSA และโปรแกรม DigSILENT จะใช้ค่าพารามิเตอร์ ที่นำเสนอมีดังตารางที่ 3.1 มีดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

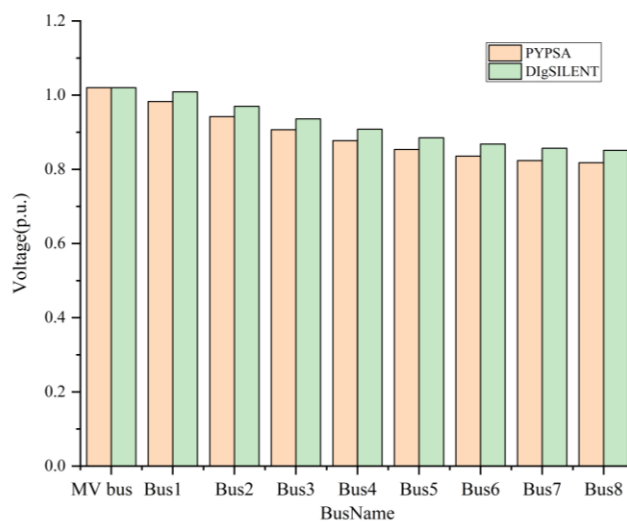
SIMULATION RESULTS OF VOLTAGE MAGNITUDE

Details	Bus No.								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA (p.u.)	1.02	0.982	0.942	0.906	0.877	0.853	0.835	0.823	0.817
DIGSILENT(p.u.)	1.02	1.009	0.97	0.936	0.908	0.885	0.868	0.857	0.851
Diff.(%)	0.00	-2.59	-2.89	-3.13	-3.39	-3.56	-3.73	-3.88	-3.91

SIMULATION RESULTS OF VOLTAGE ANGLE

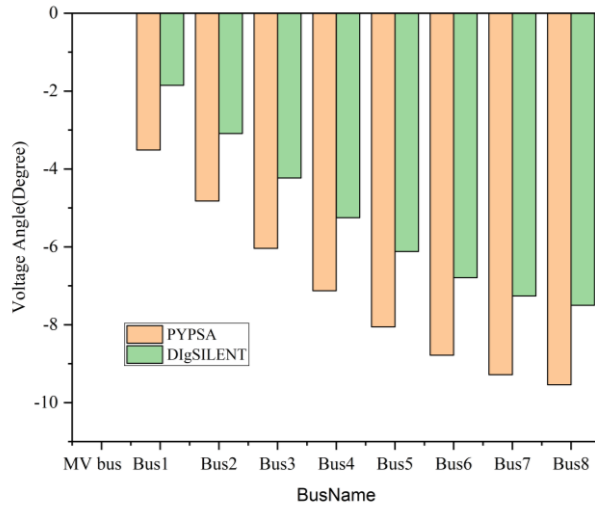
Details	Bus No.								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA(Degree)	0	-3.51	-4.82	-6.03	-7.12	-8.05	-8.78	-9.28	-9.54
DIGSILENT(Degree)	0	-1.85	-3.09	-4.23	-5.25	-6.12	-6.79	-7.26	-7.50
Diff.	0.00	1.66	1.73	1.81	1.88	1.93	1.99	2.02	2.04

ในการออกแบบด้วยโปรแกรม PyPSA สามารถกำหนดในเบื้องต้น ตามรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบด้วยโปรแกรม PyPSA

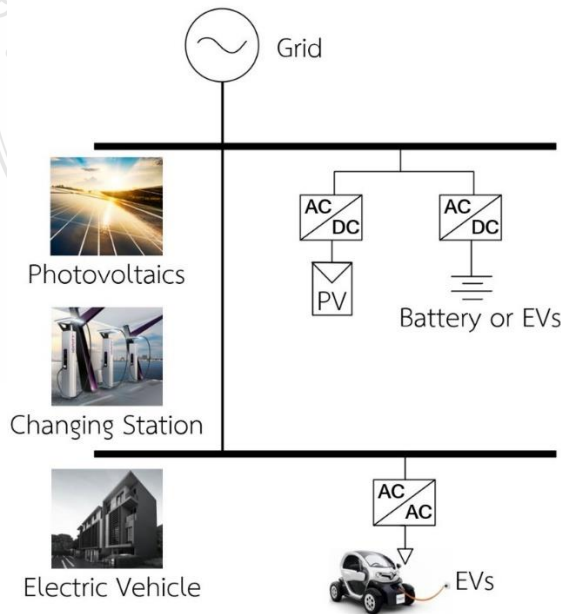
ในขณะที่การออกแบบด้วยโปรแกรม DIGSILENT สามารถดำเนินการได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 การออกแบบด้วยโปรแกรม DlgSILENT

3.4 การออกแบบสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในการจำลองการติดตั้งสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการจำลองที่ระบบแบบ 3 บัส โดยใช้หลักการที่พิจารณาจากระยะทางจากบ้านไปจนถึงที่ทำงาน โดยพิจารณาการประจุในช่วงระยะทางโดยประมาณที่ 100 กิโลเมตร โดยในการใช้ประจุระหว่างวันจะทำการประจูด้วยแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดค่าอัตราการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มีค่าอยู่ที่ 0.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลเมตร และขนาดแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามีค่า 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 แบบจำลองสถานีประจุนยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PyPSA

ผลการจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาดของสถานีประจุเร็วโดยใช้ PyPSA จากสมมุติฐานชุดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพร้อยละ 95 ใช้การจำลองขนาดยานยนต์ไฟฟ้าที่ 0.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลเมตร ที่ระยะการวิ่ง 100 กิโลเมตร ในช่วงเช้าและ 100 กิโลเมตร ในช่วงเย็น เพื่อจำลองการเดินทาง และถูกชาร์จในระหว่างวันโดยแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ ณ สถานที่ทำงานของผู้ขับขี่ภายในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์การจำลอง 3 กรณีที่เวลาในการประจุและพลังงานในการประจุที่แตกต่างกัน ในกรณีที่ 1 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 3 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 6.67 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง กรณีที่ 2 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 2 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 10 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง และกรณีที่ 3 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง โดยสามารถนำเสนอผลการทดสอบดังนี้

3.5 บทสรุป

ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ในการประจุของยานยนต์ไฟฟ้าที่สถานีด้วยการจำลองด้วยโปรแกรม PyPSA นั้นจะพบจุดที่น่าสนใจในการศึกษาและจากการเปรียบด้วยโปรแกรมที่มีความแม่นยำ ที่มีการจำลองอย่างโปรแกรม DiGSILENT นั้น สามารถแสดงผลการจำลองและทดสอบตามสมมุติฐานได้ในบทยถัดไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้นำเสนอ การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้าระหว่างโปรแกรม DigSILENT และ PyPSA ในการเขียนโปรแกรม Python เพื่อวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ อีกทั้งยังจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาดของสถานีประจุเร็วและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ PyPSA ได้นำเสนอพฤติกรรมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าและจำลองการประจุเร็วใน 3 กรณีโดยในแต่ละกรณีศึกษาได้แสดงให้เห็นความต้องการพลังงานในกราฟประจุที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำเสนอผลกรณีศึกษาในแต่ละกรณีได้ดังนี้

4.2 ผลกรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย PyPSA และโปรแกรม DigSILENT

ในการจำลองผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโมดูล PyPSA ในการเขียนโปรแกรม Python พิจารณาโดยใช้ระบบ 9 บัส แบบเรเดียล สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการดำเนินงานของโปรแกรม DigSILENT ได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองขนาดของแรงดันไฟฟ้าด้วย PyPSA และโปรแกรม DigSILENT

Details	Bus Number								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA(pu.)	1.02	0.982	0.942	0.906	0.877	0.853	0.835	0.823	0.817
DigSILENT(pu.)	1.02	1.01	0.973	0.94	0.913	0.891	0.875	0.864	0.858
Diff.(%)	0.000	-2.772	-3.186	-3.617	-3.943	-4.265	-4.571	-4.745	-4.779

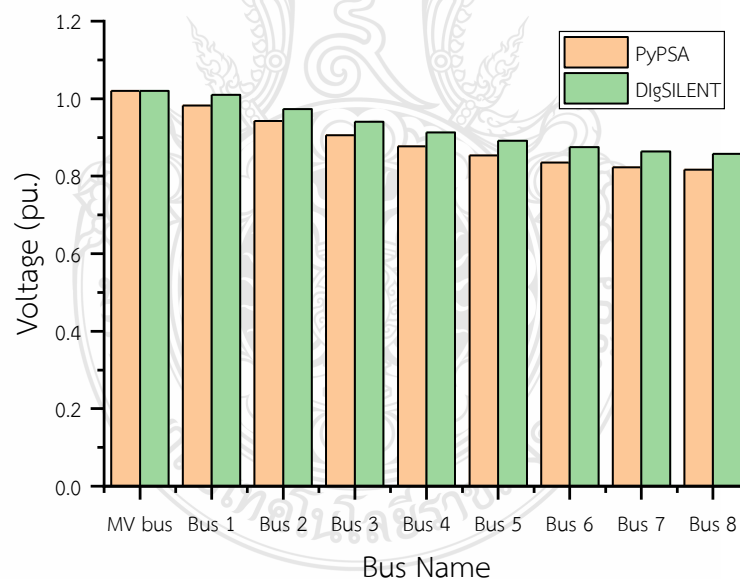
จากตารางที่ 4.1 ได้ทำการแสดงขนาดแรงดันไฟฟ้า (pu.) ในแต่ละบัสโดยเปรียบเทียบระหว่าง PyPSA และโปรแกรม DigSILENT แสดงถึงการคำนวณความแตกต่าง (ร้อยละ) ซึ่งร้อยละ

ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อบัสมีระยะที่ห่างจากบัสอ้างอิง (MV) ในขณะที่ร้อยละความแตกต่างสูงสุดคือ -4.779 ในตำแหน่งบัสที่ 8

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองขนาดมุมของแรงดันไฟฟ้าด้วย PyPSA และโปรแกรม DigSILENT

Details	Bus Number								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA (Degree)	0	-3.51	-4.82	-6.03	-7.12	-8.05	-8.78	-9.28	-9.54
DigSILENT(Degree)	0	-1.84	-3.14	-4.33	-5.39	-6.28	-6.98	-7.45	-7.69
Diff.	0.00	1.67	1.68	1.7	1.73	1.77	1.8	1.83	1.85

จากตารางที่ 4.2 ได้ทำการแสดงขนาดของมุมแรงดันไฟฟ้า (Degree) ในแต่ละบัส โดยเปรียบเทียบระหว่าง PyPSA และโปรแกรม DigSILENT แสดงถึงการคำนวณความแตกต่าง (ร้อยละ) ซึ่งความแตกต่างมุมของแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อบัสมีระยะที่ห่างจากบัสอ้างอิง (MV) ในขณะที่ความแตกต่างสูงสุดคือ 1.85 ในตำแหน่งบัสที่ 8

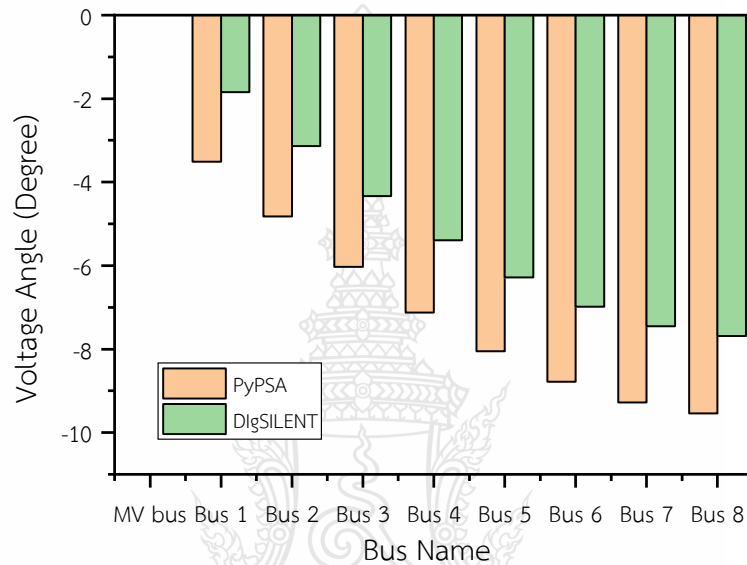


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบขนาดแรงดันไฟฟ้า (เปอร์เซ็นต์) ระหว่าง PyPSA และ DigSILENT

จากรูปที่ 4.1 โพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง PyPSA และโปรแกรม DigSILENT ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าจาก PyPSA น้อยกว่าโพรไฟล์

แรงดันไฟฟ้าจาก DiGSILENT ทั้งหมด แต่แนวโน้มของแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับผลลัพธ์จากโปรแกรม DiGSILENT

จากรูปที่ 4.2 โพรไฟล์มุมของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัสเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง PyPSA และโปรแกรม DiGSILENT ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงโพรไฟล์มุมของแรงดันไฟฟ้าจาก PyPSA มากกว่าโพรไฟล์แรงดันไฟฟ้าจาก DiGSILENT ทั้งหมด แต่แนวโน้มมุมของแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับผลลัพธ์จากโปรแกรม DiGSILENT



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบขนาดมุมของแรงดันไฟฟ้า (Degree) ระหว่าง PyPSA และ DiGSILENT

สรุปจากผลการจำลองการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโมดูล PyPSA ในการเขียนโปรแกรม Python เปรียบเทียบกับการจำลองการทำงานของโปรแกรม DiGSILENT นำเสนอผลต่างของขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส นั้นพบว่าขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทั้งสองมีแนวโน้มความแตกต่างที่สัมพันธ์กัน ค่าความแตกต่างสูงสุดเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งบัสที่ 8 ซึ่งเป็นบัสที่มีระยะห่างจากบัสอ้างอิงสูงสุด

4.3 ผลกรณีศึกษาที่ 2 การจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาดของสถานีประจุเร็วและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ PyPSA

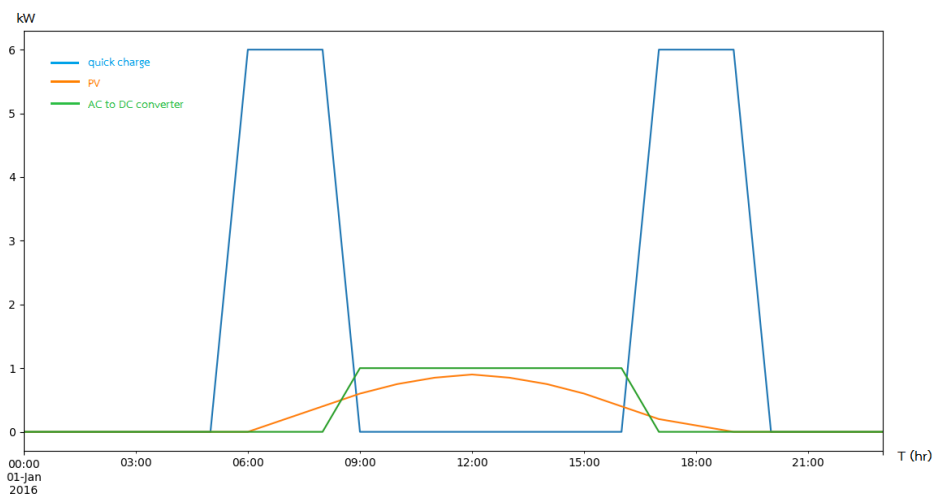
ผลการจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาดของสถานีประจุเร็วโดยใช้ PyPSA จากสมมติฐานชุดประจุนยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพร้อยละ 95 ใช้การจำลองขนาดยานยนต์ไฟฟ้าที่ 0.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลเมตร ที่ระยะการวิ่ง 100 กิโลเมตร ในช่วงเช้าและ 100 กิโลเมตร ในช่วงเย็นเพื่อจำลองการเดินทาง และถูกชาร์จในระหว่างวันโดยแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์

ณ สถานที่ทำงานของผู้ขับขี่ภายในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์การจำลอง 3 กรณีที่เวลาในการประจุและพลังงานในการประจุที่แตกต่างกัน ในกรณีที่ 1 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 3 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 6.67 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง กรณีที่ 2 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 2 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 10 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง และกรณีที่ 3 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการประจุที่ 20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง โดยสามารถนำเสนอผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบจากการจำลองใน 3 กรณีศึกษา

กรณีศึกษา	Pannel size (kW)	Losses (kWh/d)
กรณีที่ 1	6.6482	1.8948
กรณีที่ 2	7.3869	2.1053
กรณีที่ 3	7.3869	2.1053

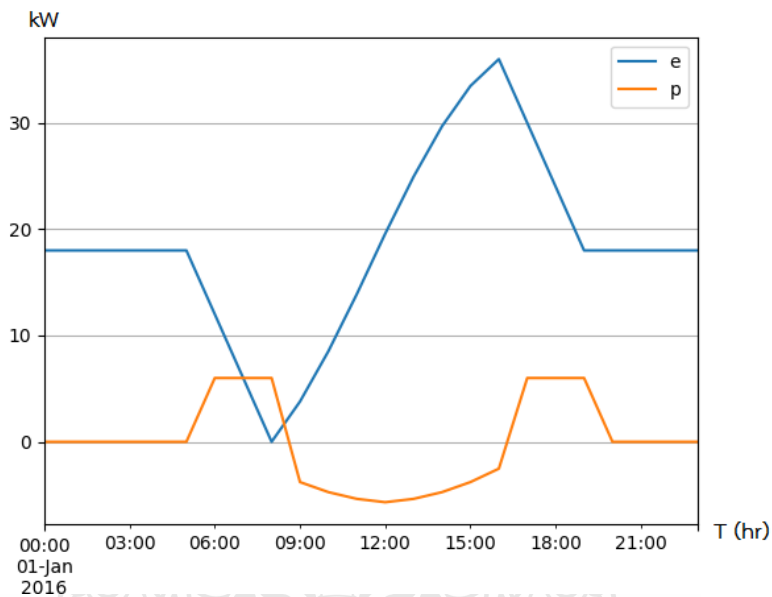
จากตารางที่ 4.3 ได้ทำการแสดงค่าอัตราความต้องการของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์) และการสูญเสียของระบบ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน) ซึ่งพบว่าในกรณีที่ 1 อัตราความต้องการพลังงานที่ 6.6482 กิโลวัตต์ การสูญเสียของระบบที่ 1.8948 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และในกรณีที่ 2 และ 3 อัตราความต้องการพลังงานที่ 7.3869 กิโลวัตต์ การสูญเสียของระบบที่ 2.1053 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน



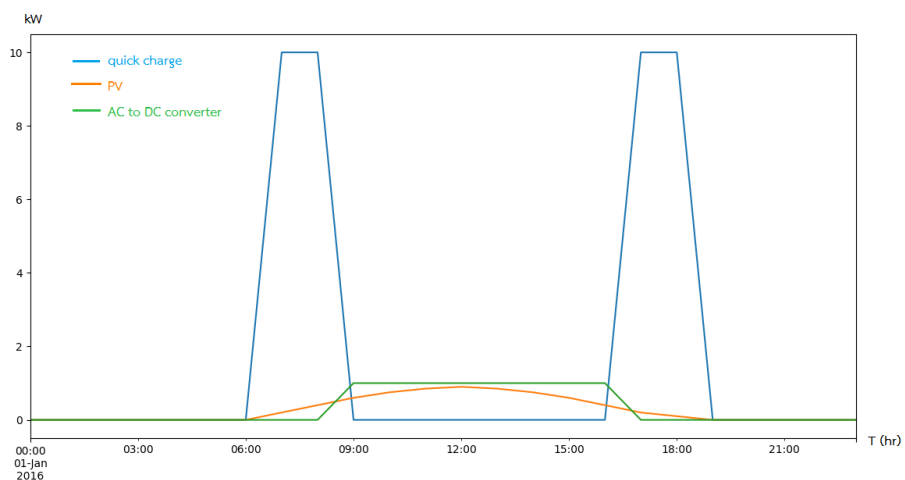
รูปที่ 4.3 ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 1

จากรูปที่ 4.3 ในการทดลองกรณีที่ 1 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 3 ชั่วโมง ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ขนาดความต้องการใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 6 กิโลวัตต์ และการทำงานของ AC-DC Converter ใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1 กิโลวัตต์ จะใช้เวลาในการประจุอยู่ในช่วงระหว่างวันโดยใช้พลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.4 ในการทดลองกรณีที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุประมาณ 5 กิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ จะพบว่าค่าดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการประจุที่บ้านสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 35 กิโลวัตต์



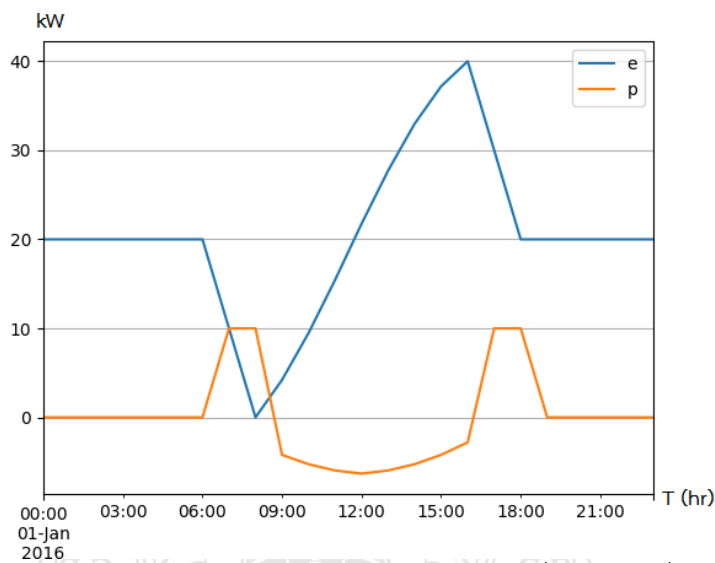
รูปที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่ 1



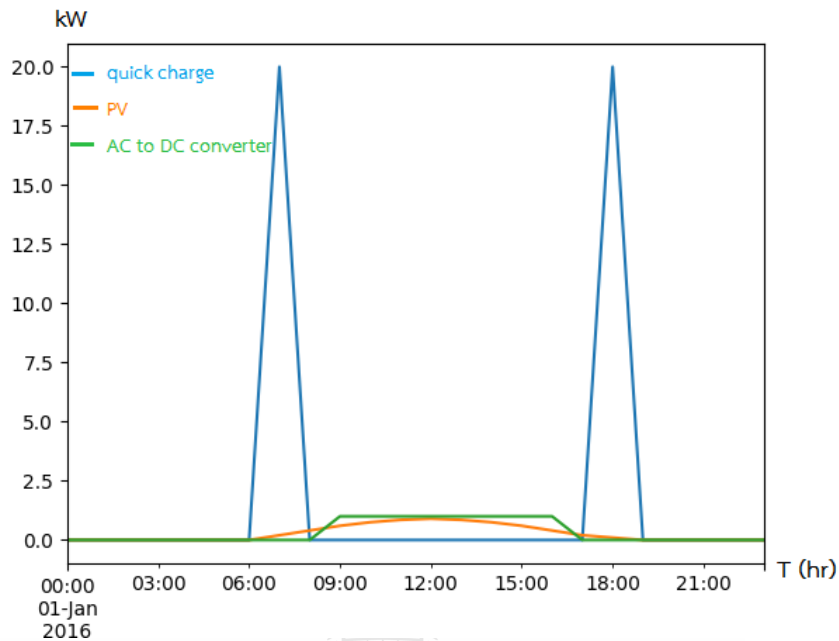
รูปที่ 4.5 ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 2

จากรูปที่ 4.5 ในการทดลองกรณีนี้ 2 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 2 ชั่วโมง ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ขนาดความต้องการใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 10 กิโลวัตต์ และการทำงานของ AC-DC Converter ใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1 กิโลวัตต์ จะใช้เวลาในการประจุอยู่ในช่วงระหว่างวันโดยใช้พลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.6 ในการทดลองกรณีนี้ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุประมาณ 10 กิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ จะพบว่าค่าดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการประจุที่บ้านสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 40 กิโลวัตต์



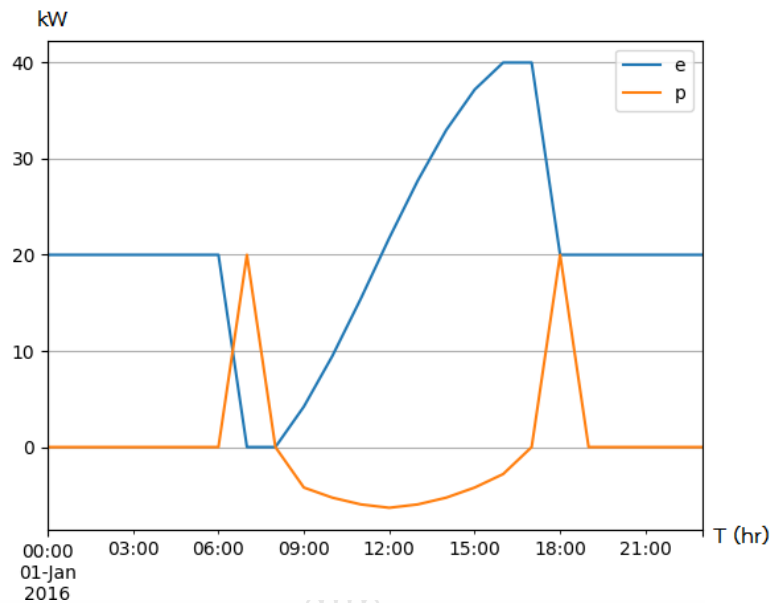
รูปที่ 4.6 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่ 2



รูปที่ 4.7 ขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการประจุของสถานีประจุเร็วและกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีที่ 3

จากรูปที่ 4.7 ในการทดลองกรณีที่ 3 ใช้การประจุเร็วที่เวลา 1 ชั่วโมง ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ขนาดความต้องการใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 20 กิโลวัตต์ และการทำงานของ AC-DC Converter ใช้พลังงานในการประจุสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1 กิโลวัตต์ จะใช้เวลาในการประจุอยู่ในช่วงระหว่างวันโดยใช้พลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.8 ในการทดลองกรณีที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุประมาณ 20 กิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ จะพบว่าค่าดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการประจุที่บ้านสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 40 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.8 ค่ากำลังไฟฟ้าในการประจุ (p) และค่าพลังงานของแบตเตอรี่ (e) กรณีที่ 3

4.4 บทสรุป

จากผลการทดสอบในกรณีศึกษาผลการจำลองการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโมดูล PyPSA ในการเขียนโปรแกรม Python เปรียบเทียบกับการจำลองการทำงานของโปรแกรม DigSILENT แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการจำลองการทำงานที่สัมพันธ์กัน ซึ่งค่าความแตกต่างสูงสุดเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งบัสที่มีระยะห่างจากบัสอ้างอิงมากที่สุด และการจำลองรูปแบบโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาดของสถานีประจุเร็วโดยใช้ PyPSA จากผลการทดสอบในกรณีศึกษาทั้ง 3 นั้นจะแสดงจะใช้เวลาการประจุเร็วที่เวลา 3 2 และ 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานที่แตกต่างกันที่ 6.67 10 และ 20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อชั่วโมง แสดงถึงค่าพลังงานของแบตเตอรี่ ที่เพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการประจุที่บ้านสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 35 35 และ 40 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายแรงต่ำ ด้วยชุดโปรแกรม PyPSA นั้น ผลจากการศึกษาด้านการออกแบบระบบไฟฟ้าและการจำลองในกรณีที่มีการติดตั้งสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานสามารถสรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาในแต่ละกรณี ดังนี้

5.2 สรุปผลการทำวิทยานิพนธ์

กรณีศึกษาที่ 1 ในการศึกษาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PyPSA ที่ทำการเปรียบเทียบกับโปรแกรม DigSILENT ในระบบทดสอบ 9 บัส ที่แรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ต่อ 0.4 กิโลโวลต์ นั้นจะพบว่าผลการจำลองขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปโดยมีค่าแตกต่างที่ได้จากโปรแกรม PyPSA และ DigSILENT จะมีค่าต่างกันมากที่สุดของมุมและขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ร้อยละ 2.04 และ -3.91 ตามลำดับ จากการจำลองนั้นได้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรม PyPSA สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้

กรณีศึกษาที่ 2 ในการศึกษาการวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุสำหรับแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ จำลองที่ระบบ 22 กิโลโวลต์ จากจำนวนยานยนต์ 1 คันที่ขนาดความจุแบตเตอรี่ 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในระยะทางการวิ่งจากบ้านไปสถานีประจุที่ประมาณ 100 กิโลเมตร ด้วยหลักการประจุและคายประจุพลังงานของแหล่งสะสมพลังงานแบตเตอรี่นั้น ผลจากการจำลองจะพบว่าระยะเวลาในการประจุหรือรูปแบบของการประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้านั้นจะส่งผลต่อพลังงานที่ระบบไฟฟ้าต้องนำมาใช้รวมทั้งค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาประจุที่สถานี ด้วยรูปแบบตามการทดสอบโดยในกรณีที่รูปแบบการประจุในกรณีที่ 1 ทำการประจุในระยะเวลา 3 ชั่วโมงที่สถานีและที่พักอาศัยจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและได้ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีขนาด 1.8948 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และ 6.6482 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรณีที่ 2 และ 3 จะใช้เวลาในการประจุที่ระยะเวลา 2 และ 1 ชั่วโมง จะพบว่าได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและได้ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีขนาด 2.1053 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และ 7.3869 กิโลวัตต์สูงสุด ตามลำดับ

หากทำการพิจารณาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในการประจุประกอบกรณีที่ 3 นั้นจะมีความต้องการพลังงานในการประจุที่สูงมาก จากการทดสอบในแต่ละกรณีจะพบว่าค่าขนาดที่ควรนำมาออกแบบติดตั้งจริงต้องมากกว่า 7.3869 กิโลวัตต์สูงสุด ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณสามารถนำไปวางแผนออกแบบระบบที่มีจำนวนชุดประจุหลายชุดในอนาคตในลำดับถัดไปได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การติดตั้งสถานีประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ด้วยชุดโปรแกรม PyPSA นั้นจะพบว่าโปรแกรมพีวีแวย์โดยใช้พื้นฐานโปรแกรมไพธอน นั้นจะพบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังและในเงื่อนไขของสถานีประจุพลังงานแสงอาทิตย์ได้ แต่ก็ยังมีขอบเขตจำกัดในด้านทรัพยากรของโปรแกรมตลอดจนความมีเสถียรภาพของระบบในการรันโปรแกรม เช่นการเพิ่มจำนวนบัสและเพิ่มโหลดต่างๆ ที่มีบ่อยครั้งเกิดผิดพลาด ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาและพัฒนาต่อยอดโมดูลภายในเพิ่มเติม

5.8 บทสรุป

จากการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรม PyPSA โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถานีประจุพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้หลักการของ BESS แทนโหลดของยานยนต์ไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ตามระยะทางและทำการประจุโดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับกริด นั้นจะพบว่าโปรแกรม PyPSA สามารถวิเคราะห์ขนาดแผงที่เหมาะสมสำหรับสร้างแหล่งพลังงานได้ตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ และสามารถนำไปศึกษาและพัฒนาต่อยอดได้ในลำดับถัดไปในอนาคต

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, 2019.
- [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.
- [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, pp. 1-10, 2016.
- [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, vol. 227, pp. 761-776, 2016.
- [9] Marek Palinski, **“A Comparison of Electric Vehicles and Conventional Automobiles: Costs and Quality Perspective,”** Bachelor, Bachelor thesis in Business Administration, NOVIA, 2016.
- [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), pp. 1-4, 2013.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [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), pp. 1-6, 2013.
- [13] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, “โครงการศึกษาการเตรียมความพร้อมรองรับการใช้ยานพาหนะไฟฟ้าในอนาคตสำหรับประเทศไทย,” 2558.
- [14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), กระทรวงพลังงาน. “รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2559 (Thailand Alternative Energy Situation 2016),” Available: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079.
- [15] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), “สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/ 2561 (Energy Situation Q1 2018),” Available: 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.
- [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

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [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. Alzanon. “**Building to Grid (B2G) at the California Smart Grid Center,**” in 2010 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration, pp. 382-387, 2010.
- [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.
- [22] 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.
- [23] 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, pp. 1-6, 2011.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [27] Maigha and Mariesa Crow. “**Economic Scheduling of Residential Plug-In (Hybrid) Electric Vehicle (PHEV) Charging,**” *Energies*, vol. 7, no. 4, pp. 1876-1898, 2014.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] M. Gjelij, 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), pp. 684-689, 2017.
- [31] 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.
- [32] ELECTRIC CAR LIST, Available: <https://wattEV2buy.com/electric-vehicles/>.
- [33] ผศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล และคณะวิจัย. “**Assessment of Electric Vehicle Technology Development and Its Implication in Thailand,**” 2014.
- [34] International Energy Agency, “**Technology Roadmap Electric and plug-in hybrid electric vehicles,**” 2011.
- [35] June 2018 Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card, Available: <https://insideEVs.com/june-2018-plug-in-electric-vehicle-sales-report-card/>.
- [36] 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/>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [37] 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/>.
- [38] International Energy Agency, “Global EV Outlook 2016 beyond one million electric cars,” 2016.
- [39] International Energy Agency, “Oil information : Overview,” 2018, Available: https://webstore.iea.org/download/direct/2262?fileName=Oil_Information_2018_Overview.pdf.
- [40] 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.
- [41] Hadi Saadat, “Power System Analysis,” McGraw-Hill: New York, 2019.
- [42] ผศ.ดร.ธวัช เกิดชื่น, “การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง,” สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา, 2552.
- [43] บัญชา ปะสีละเตสัง, “การเขียนโปรแกรม Python สำหรับผู้เริ่มต้น,” กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, pp. 15-16, 2562.
- [44] เอกภพ ดวงจันทร์, “การระบุตำแหน่งความผิดปกติพ่วงในระบบ 22kV ในรูปแบบพิกัดทางภูมิศาสตร์,” สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2559.
- [45] สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า Available: https://www.changfi.com/fix/2019/09/10/install-ev-charger/?gclid=EAlalQobChMInL_Rlf7D5QIVyYyPCh0m-g23EAAAYiAAEglmLPD_BwE.
- [46] ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ Available: http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php
- [47] Tiphacha Phongtrakul, Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich, “Analysis of Power Load Flow for Power Distribution System based on PyPSA Toolbox,” in Chiang Rai , ECTI-CON 2018, 2018.

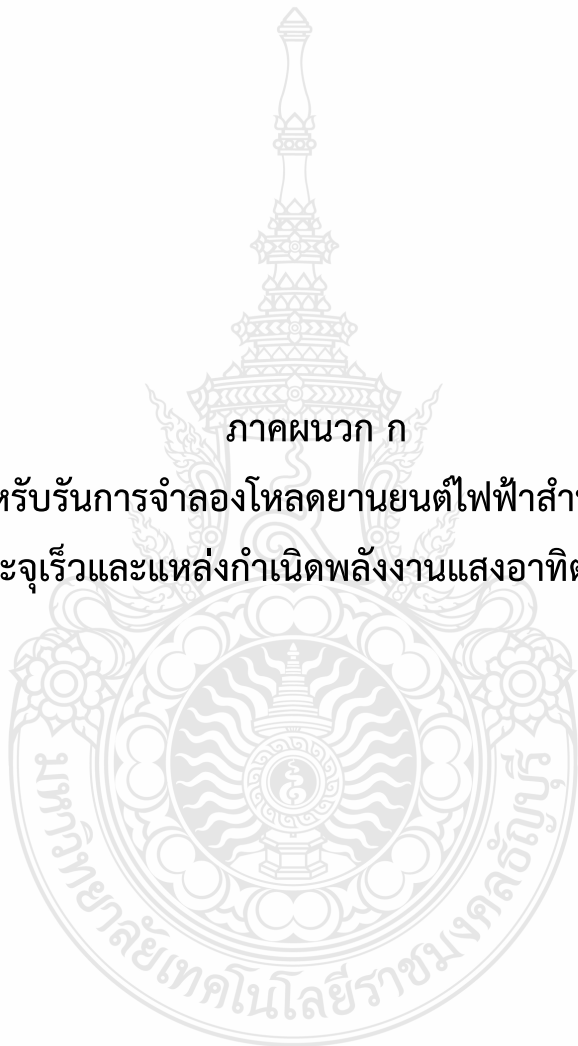


ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

โปรแกรมสำหรับรับการจำลองโหลดยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับการหาขนาด
ของสถานีประจุเร็วและแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ PyPSA



```

import pypsa
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# use 24 hour period for consideration
index = pd.date_range("2016-01-01 00:00","2016-01-01 23:00",freq="H")

# consumption pattern of BEV
bev_usage = pd.Series([0.]*7 + [9.]*2 + [0.]*8 + [9.]*2 + [0.]*5,index)

# solar PV panel generation per unit of capacity
pv_pu = pd.Series([0.]*7 + [0.2,0.4,0.6,0.75,0.85,0.9,0.85,0.75,0.6,0.4,0.2,0.1] +
[0.]*5,index)

# availability of charging - i.e. only when parked at office
charger_p_max_pu = pd.Series(0.,index=index)
charger_p_max_pu["2016-01-01 09:00":"2016-01-01 16:00"] = 1.

plt.figure()
bev_usage.plot()
pv_pu.plot()
charger_p_max_pu.plot()
plt.show()

network = pypsa.Network()
network.set_snapshots(index)

network.add("Bus","MV bus",v_nom=20,v_mag_pu_set=1.02)

```

```

network.add("Bus","LV1 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","LV2 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","LV3 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","LV4 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","LV5 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","LV6 bus",v_nom=.4)
network.add("Bus","wpbattery",carrier="Li-ion")

network.add("Transformer","MV-LV trafo",type="0.4 MVA 20 / 0.4 kV",bus0 = "MV
bus",bus1="LV1 bus")

network.add("Line","LV cable",type="NAYY 4 x1 5 0 SE",bus0 = "LV1 bus",bus1 = "LV2
bus",length=0.1)
network.add("Line","LV cable1 ",type="NAYY 4 x1 5 0 SE",bus0 = "LV2 bus",bus1 = "LV3
bus",length=0.1)
network.add("Line","LV cable2 ",type="NAYY 4 x1 5 0 SE",bus0 = "LV3 bus",bus1 = "LV4
bus",length=0.1)
network.add("Line","LV cable3 ",type="NAYY 4 x1 5 0 SE",bus0 = "LV4 bus",bus1 = "LV5
bus",length=0.1)
network.add("Line","LV cable4 ",type="NAYY 4 x5 0 SE",bus0 = "LV3 bus",bus1 = "LV6
bus",length=0.1)

network.add("Generator","External Grid",bus="MV bus",control="Slack")
#network.add("Generator","PV panel",bus="LV1
bus",p_nom_extendable=True,p_max_pu=pv_pu,capital_cost=1000.)

network.add("Load","LV load",bus="LV2 bus",p_set=0.1,q_set=0.05)
network.add("Load","LV load1",bus="LV3 bus",p_set=0.1,q_set=0.05)
network.add("Load","LV load2",bus="LV4 bus",p_set=0.1,q_set=0.05)
network.add("Load","LV load3",bus="LV5 bus",p_set=0.1,q_set=0.05)

```

```

network.add("Load","LV load4",bus="LV6 bus",p_set=0.1,q_set=0.05)
network.add("Load","driving",bus="wpbattery",p_set=bev_usage)

## add Link control AC to DC conveter BEV 120kW
network.add("Link","chargerwp",bus0="LV1 bus",bus1="wpbattery",
           p_nom=120, #super-charger with 120 kW
           p_max_pu=charger_p_max_pu,
           efficiency=0.9)
## add Battery control at dc bus fron link battery capacity @ 100kwh
network.add("Store","battery storagewp",bus="wpbattery",e_cyclic=True,e_nom=100.)

network.lopf(network.snapshots)
print("Objective:",network.objective)
print("Pannel size [kW]:",network.generators.p_nom_opt["PV panel"])
plt.figure()
network.generators_t.p.plot()
plt.show()
print("Losses [kWh/d]:",network.generators_t.p.loc[:, "External Grid"].sum() -
network.loads_t.p.loc[:, "driving"].sum())
plt.figure()
network.links_t.p0.plot()

```




Analysis of Power Load Flow for Power Distribution System based on PyPSA Toolbox

Tiphacha Phongtrakul, Yuttana Kongjeen and Krischonme Bhumkittipich*
Power and Energy System Research Unit, Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Rangsit, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

*Corresponding Author e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

Abstract—This paper proposes the analysis of power load flow for power distribution system based on Python Power System Analysis (PyPSA) toolbox. PyPSA is a free software toolbox for simulating and managing modern parametric valuation in power systems with multi-temporal analysis. There are various devices in the electrical system that can be applied to the analysis. It has been developed to be easy to use for analysis in large power systems and in time series. The 9-bus testing system was selected to show the electrical power flow analysis and compared with DlgSILENT programing. The simulation results showed the voltage magnitude and the voltage angle profiles that revealed the difference from DlgSILENT programing and met the maximum difference value on bus No.8. However, the PyPSA can be used to solve and flexible to design for solving the electrical power system. Therefore, the PyPSA is a toolbox for solving the problem in the electrical power system that include many features could be divided to another topic for studying the future research work.

Keywords—Newton-Raphson method; power system analysis; PyPSA; Python; Voltage profiles

I. INTRODUCTION

The study of power system analysis is basically to solve for finding the weak point or strength point of the electrical power system. By this reason, the electrical power system needed to manage and reduce critical point that increasing reliability in the power system [1]. Many researchers interested to investigate and find the new

methodology and tools like a free software to help in compute can be described as presented in [1-4]. The free software used to solve the electrical power system and increasing to apply in widely that the results of the analysis in acceptable level can be described as presented in [5-8]. The Python Power System Analysis (PyPSA) toolbox based on Python programme is a popular free software using for

This research paper was supported by National Research Council of Thailand and Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) with Grant Project Number: 617710.

Tiphacha Phongtrakul is with Power and Energy System Research Unit and Master Student at Department of Electrical Engineering, RMUTT, e-mail: tiphacha_p@en.rmutt.ac.th

Yuttana Kongjeen is with Power and Energy System Research Unit and Doctoral Student at Department of Electrical Engineering, RMUTT, e-mail: yuttana_k@mail.rmutt.ac.th

Krischonme Bhumkittipich is also with Green Mobility Technology Research Unit and Center of Excellence on Smart Grid Technology, RMUTT and corresponding author, e-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

PyPSA toolbox is flexible to modify in the modelling, widely analysis tools, dynamic response and simple in condition to design the power system network.

Therefore, this paper aims to solve the power system analysis by using the PyPSA toolbox that can simulate in the 9-bus radial distribution system. The simulation results will be compared with DlgSILENT programme in condition of voltage magnitude and voltage angle profiles [9].

Other important information such as, electrical power component model based on PyPSA toolbox, simple modelling of electrical power system network with PyPSA toolbox, simulation results and conclusion were written as follows topics: Section 2 presents on PyPSA toolbox. The simulation results is proposed in Section 3. Section 4 expresses the conclusion and discussion.

II. PYTHON FOR POWER SYSTEM ANALYSIS (PYPSA)

In recent, the free software for solving the power system analysis are increasing and interesting to solve the problem from the electrical power system. PYPSA toolbox

is one of free software based on Python programme [9]. The PYPISA toolbox can use to solve the power load flow and covering the time variant analysis. The parameters or data of electrical component ,in order to solve in static or dynamic analysis, are modelled from the real electrical component that consists of bus type, load model, line model, transformer model, respectively.

The power load flow each bus for giving the input data as same as load data and power plant dispatch that are represented each bus as shown in (1) [10].

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* = V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \quad (1)$$

Where is the bus admittance matrix and is the complex voltage, respectively. Meanwhile, PV and PQ are the sets of buses and could be defined as expressed in (2)-(3).

$$\text{Re} \left[V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \right] - P_i = 0 \quad \forall i \in PV \cup PQ \quad (2)$$

$$\text{Im} \left[V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \right] - Q_i = 0 \quad \forall i \in PQ \quad (3)$$

Therefore, the parameters needed to be found are $\theta_i \forall i \in PV \cup PQ$, and $|V_i| \forall i \in PQ$, respectively. By using the equation $f(x)=0$, the Newton-Raphson method are selected to represent in Jacobian method as shown in (4).

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Generally, the initial condition values are defined $\theta_i = 0$ and $|V_i| = 1$ for determining the unknown quantities.

The PyPSA toolbox is defined each electrical component model from the real electrical power system that can be explained as follows:

A. Bus type in the electrical power system

Basically, the type of bus is representing in three types that consists of slack (swing) bus, PV(voltage control) bus and PQ (load) bus, respectively. So that, the bus type needs to know, upon the type condition which could be defined or explained more details in [11].

B. Line model

The line PI model is selected to present as the modeling of transmission line in medium length. Consequently, the PyPSA also used the PI model for presenting the transmission line and can show simple impedance/admittance equation as shown in (5) and (6), respectively.

$$z = r + jx \quad (5)$$

$$y = g + jb \quad (6)$$

So that, series impedance and shunt admittance are presented in the PI model as shown in Fig.1.

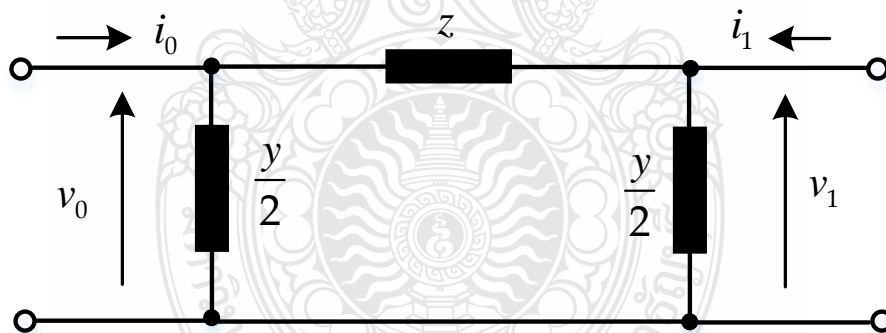


Fig. 1. modelling of transmission line

Fig.1 shows the equivalent circuit of the line PI model of the transmission that used in the PyPSA toolbox, using Kochoff current law, it can be found the relationship of voltage and current as follows in (7).

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{z} + \frac{y}{2} & -\frac{1}{z} \\ -\frac{1}{z} & \frac{1}{z} + \frac{y}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

C. Transformer model

The transformer is very important equipment of the electrical power system. Which is also a voltage difference. . from power plants that clouded reducing voltage levels in standard to end users. In order to control the voltage level, the transformer needed to adjust the tap of the transformer for finding new tap ratio as shown in (8). Meanwhile, if considered on phase shift θ_{shif} and using the equivalent PI model as represented in (9) for the primary side of the transformer and shown in (10) for secondary side of the transformer.

$$\tau = 1 + (\text{tap_position} - \text{tap_neutral}) \cdot \frac{\text{tap_step}}{100} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\frac{1+y}{z} + \frac{1}{2} \right) & -\frac{1}{z} \frac{1}{\tau e^{-j\theta}} \\ -\frac{1}{z} \frac{1}{\tau e^{j\theta}} & \frac{1+y}{z} + \frac{1}{2\tau^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} i_0 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\frac{1+y}{z} + \frac{1}{2} \right) \frac{1}{\tau^2} & -\frac{1}{z} \frac{1}{\tau e^{-j\theta}} \\ -\frac{1}{z} \frac{1}{\tau e^{j\theta}} & \frac{1+y}{z} + \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

III. SIMULATION RESULTS

In condition to investigate, the PyPSA toolbox in the Python programming which is considered by using a 9 bus radial distribution system for comparing the commercial programming with DlgSILENT[12]. The 9-bus radial distribution system data are simple power system circuits that single line diagram as shown Fig.2. The power system analysis in this paper is selected static analysis method and assumed as same as all length of the transmission line and all load for testing in this case as shown in Appendix.

Generally, the PyPSA toolbox can represent the modelling of the each electrical component connected to the electrical power system. In order to show in proposed study and applied in the real electrical power system. Therefore, the test system is selected on uncomplicated and showing in condition to adapt the PyPSA toolbox to solve the power load flow. Basically, the power system consists of slack bus or swing bus, bus, transformer, transmission line and load, respectively. So that, if this paper can

model the basis electrical component that means we can modify each the proposed power system network for solving the problem in this study.

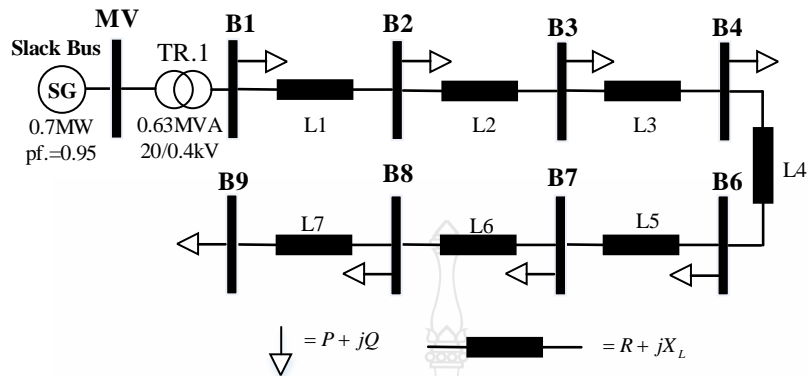


Fig. 2. Single line diagram of 9 bus test system

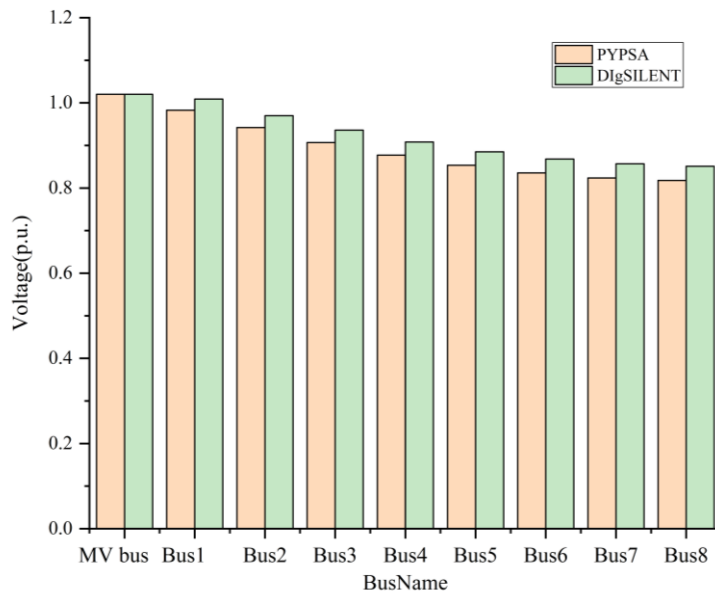


Fig. 3. Comparison of voltage magnitude profiles between PyPSA and DlgSILET

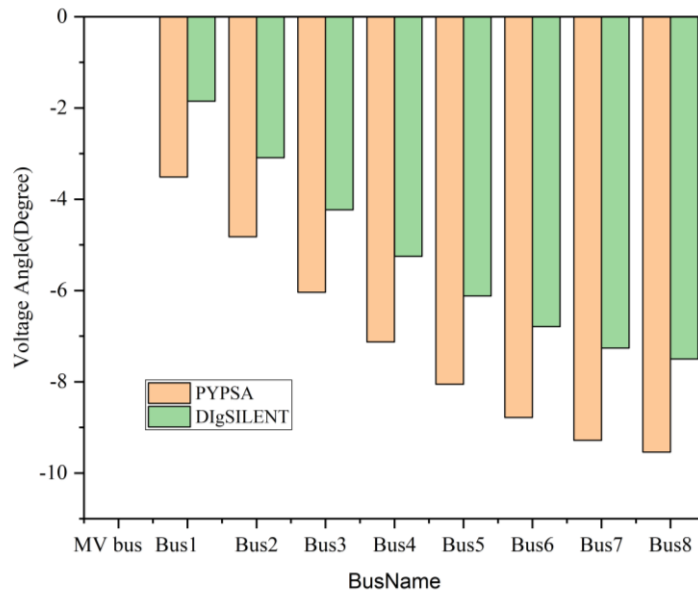


Fig. 4. Comparison of voltage angle profiles between PyPSA and DigSILENT

Fig.3 shows the voltage magnitude profiles each bus when it is comparing with the DigSILENT program. The simulation results showed all the voltage magnitude profiles from PyPSA less than all the voltage magnitude profiles from DigSILENT. But, trending of voltage relevant same as the results from the DigSILENT program.

Fig.4 shows the voltage angle profiles each bus when it is comparing with the DigSILENT program. The simulation results showed all the voltage magnitude profiles from PyPSA more than all the voltage magnitude profiles from DigSILENT. Both, trending of the voltage angle profiles were negative value that effected from the burden of load each bus in the electrical power system.

Table I, shows the voltage magnitude of each bus by comparing between PyPSA and DigSILENT that reveal the voltage difference in condition to suppose using based of DigSILENT for computing the difference of percentage. Interestingly, the voltage difference will be increased, if far from slack bus same as the difference percentage. Meanwhile, the maximum of difference percentage is -3.91 % on Bus No.8.

Table II, shows the voltage angle of each bus by comparing between PyPSA and DigSILENT. The effect of the load and the length of the transmission lines in the electrical power system were shown the voltage angle increasing from the slack bus to the end of

the node. The maximum of difference angle in degree is 2.04 degree on Bus No.8, same as the voltage profiles

IV. CONCLUSION

This paper presents the PyPSA in Python programming was used to solve the simple power system analysis. The simulation results showed the voltage profiles of each bus by comparing with the DigSILENT programming that revealed the difference in term of the voltage magnitude values and the voltage angle values. The maximum value of voltage magnitude percentage and voltage angle degree are -3.91 and 2.04 on the bus No.8, respectively. However, if considered in term of the accuracy the PyPSA may less than the commercial programming but can use to compute the electrical power system and cloud be improved or setting the algorithm of the PyPSA programming. The yield of the PyPSA has been applied in widely in design and easy to solve the electrical power system. Therefore, the PyPSA interested to use for solving the each condition and study case in the future.

SIMULATION RESULTS OF VOLTAGE MAGNITUDE

Details	Bus No.								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA (p.u.)	1.02	0.982	0.942	0.906	0.877	0.853	0.835	0.823	0.817
DigSILENT(p.u.)	1.02	1.009	0.97	0.936	0.908	0.885	0.868	0.857	0.851
Diff.(%)	0.00	-2.59	-2.89	-3.13	-3.39	-3.56	-3.73	-3.88	-3.91

SIMULATION RESULTS OF VOLTAGE ANGLE

Details	Bus No.								
	MV	1	2	3	4	5	6	7	8
PyPSA(Degree)	0	-3.51	-4.82	-6.03	-7.12	-8.05	-8.78	-9.28	-9.54
DlgSILENT(Degree)	0	-1.85	-3.09	-4.23	-5.25	-6.12	-6.79	-7.26	-7.50
Diff.	0.00	1.66	1.73	1.81	1.88	1.93	1.99	2.02	2.04

Appendix A

Table AI : Bus Data For 9-Bus Testing System

Bus No.	Voltage	S(kVA)	P(kW)	Q(kVar)
Generator	20	736.84	700	230.07
Transformer	20/0.4	630	-	-
MV	20	-	-	-
B1-B8	0.4	-	80	20

Table All : Line Data For 9 Bus Testing System Based on NYY 4x240 mm² , 0.6/1 kV, 50 Hz

Br.No.	From	To	R (Ω/km)	X (Ω/km)	C (nF)	Length (km)
L1	B1	B2	0.0774	0.0797	870	0.1
L2	B2	B3	0.0774	0.0797	870	0.1
L3	B3	B4	0.0774	0.0797	870	0.1
L4	B4	B5	0.0774	0.0797	870	0.1
L5	B5	B6	0.0774	0.0797	870	0.1
L6	B6	B7	0.0774	0.0797	870	0.1
L7	B7	B8	0.0774	0.0797	870	0.1

REFERENCES

- [1] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, 2011.
- [2] F. Milano, L. Vanfretti, and J. C. Morataya, "An Open Source Power System Virtual Laboratory: The PSAT Case and Experience," *IEEE Transactions on Education*, vol. 51, no. 1, pp. 17-23, 2008.
- [3] L. Thurner et al., "pandapower - an Open Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis and Optimization of Electric Power Systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 1-1, 2018.
- [4] K. J. Millman and M. Aivazis, "Python for Scientists and Engineers," *Computing in Science & Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 9-12, 2011.
- [5] 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.
- [6] C. R. Myers and J. P. Sethna, "Python for Education: Computational Methods for Nonlinear Systems," *Computing in Science & Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 75-79, 2007.
- [7] S. v. d. Walt, S. C. Colbert, and G. Varoquaux, "The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation," *Computing in Science & Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 22-30, 2011.
- [8] A. Hariri, A. Newaz, and M. O. Faruque, "Open-source python-OpenDSS interface for hybrid simulation of PV impact studies," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 12, pp. 3125-3133, 2017.
- [9] T. Brown, J. Hörsch, and D. Schlachtberger, "PyPSA: Python for Power System Analysis," *Journal of Open Research Software*, vol. 6, no. 4, pp. 1-15, 2018.
- [10] T. Brown, "PyPSA Documentation Releases 0.13.1," 2018.
- [11] H. Saadad, "Power System Analysis," McGraw-Hill: New York, 1999.
- [12] DigSILENT2018, "User Manual," PowerFactory2018, 2018.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ: ทิพธชา พงษ์ตระกูล
รหัสนักศึกษา: 116060421010-5
สาขาวิชา/ภาควิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติ
วัน-เดือน-ปี เกิด: 28 ตุลาคม 2537
ที่อยู่: 320/9 ม.2 ต.วังกระแจะ อ.เมือง จ.ตราด
ประวัติการศึกษา: ปี 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ
โทรคมนาคม สาขาวิชา โทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

