

การศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
The Study of the Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations
for Electric Car



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

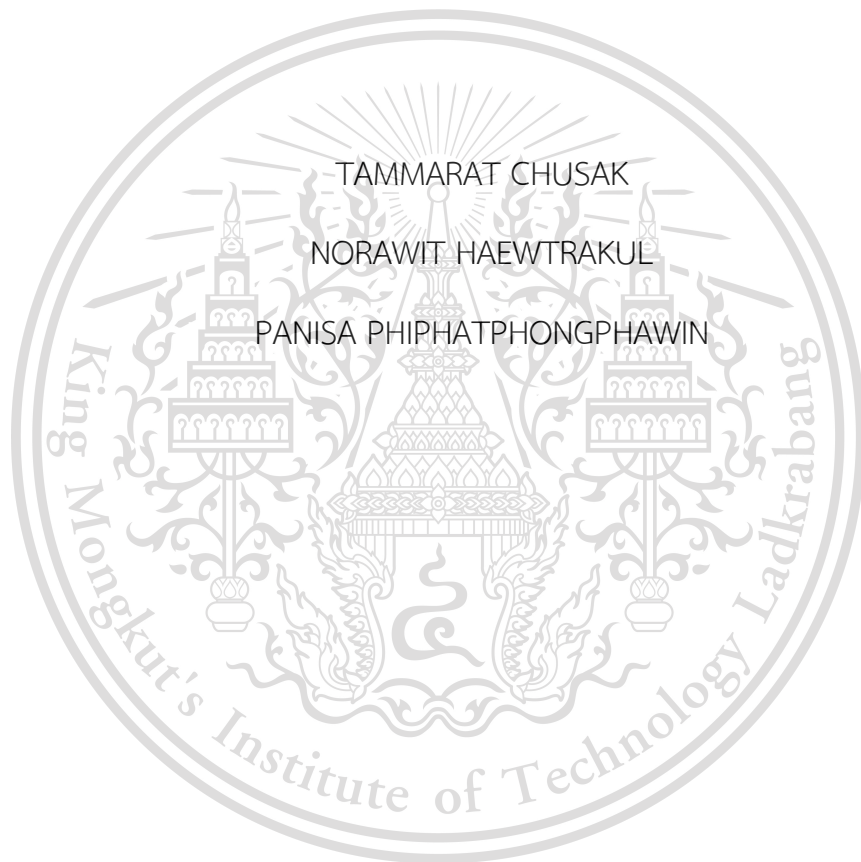
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

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

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

The Study of the Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations
for Electric Car



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2020

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

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

ปีการศึกษา 2563

การศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
The Study of the Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations
for Electric Car



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล** นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อแปลงเนื้อหา และนำลงเว็บไซต์หรือเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาล สมมณี

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

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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นายธรรมรัตน์ ชูศักดิ์
2. นายนรวิษณุ แห้วตระกูล
3. นางสาวปาณิศา พิพัฒน์พงศ์ภวิน



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล)

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี

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

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

การศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

นายธรรมรัตน์ ชูศักดิ์

นายณรวิชญ์ แห้วตระกูล

นางสาวปาณิสรา พิพัฒน์พงศ์ภวิน

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เเงา

พิทักษ์กุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สม
มณี

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ โดยสถานีอัดประจุไฟฟ้าจะประกอบด้วยตู้อัดประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นการใช้งานของอินเวอร์เตอร์สามเฟสโมดูล ไอจีบีที (Three-Phase Inverter IGBT Modules) และ ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Dc to Dc Converter) ตู้อัดประจุไฟฟ้านั้นจะมีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด เพื่อนำมาจำลองของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีการจำลองให้รถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 1 คัน 3 คัน และ 6 คัน ทำการชาร์จที่สถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10%, 50% และ 80% โดยมีการเข้าชาร์จในเวลาที่ยพร้อมกันและเหลื่อมล้ำกันตามลำดับการเข้าชาร์จ ด้วยโปรแกรม PSCAD 4.6 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลพร้อมทั้งวิเคราะห์พฤติกรรมของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าอย่าง กำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และ ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

The Study of the Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations for Electric Car

Mr. Tammarat Chusak

Mr. Norawit Haewtrakul

Miss. Panisa Phiphatphongphawin

Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

Asst. Prof. Dr. Piyanart Sommani

ABSTRACT

This thesis focuses on design of electric vehicle charging stations for electric cars, which include a 3-charger that uses Three-Phase inverter IGBT Modules and Dc to Dc converter. Charger will have 100 kW at maximum charge power and have 2 charging head cable with DC-Charging type and simulate the charging case for electric cars by 1, 3 and 6 car with different state of charge since 10%, 50% and 80% and different beginning of the charging time by PSCAD 4.6 program for compared study and analyze the behavior of the power quality and distributed power like real power (P), reactive power (Q), current (I), voltage (V), total harmonic current distortion (THD_i) and total harmonic voltage distortion (THD_v)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความเมตตาและการช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่อนุเมตเห็นชอบให้จัดทำโครงการวิศวกรรม และได้กรุณาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ รวมทั้งข้อคิดเห็นเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัยในครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา ทั้งยังได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณดร.สมภพ ผลไม้ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ที่คอยให้คำปรึกษาและคอยแก้ปัญหา และคอยช่วยเหลือในการให้ข้อมูลในการทำแบบจำลองของสถานีอัดประจุที่นำมาใช้ในการจำลองผล

ขอขอบคุณนายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนาวพร และนายณัฐนนท์ พันธุ์นิล รวมทั้งพี่ๆ ปริญญโท และปริญญเอก ที่คอยให้คำปรึกษาเรื่องการทำโครงการวิศวกรรมครั้งนี้ และคอยช่วยเหลือในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใน

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการให้ข้อมูลและความรู้ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ

| หัวข้อที่ | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 8 |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ | 9 |
| 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ | 9 |
| 1.5 แผนการดำเนินโครงการ | 9 |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย | 11 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 13 |
| 2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้า | 13 |
| 2.2 ตัวอัดประจุไฟฟ้า | 13 |
| 2.2.1 ไอจีบีที | 14 |
| 2.2.2 โวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟส | 15 |
| 2.2.3 การควบคุมโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์ | 21 |
| 2.2.4 ไซนัสซอยด์ตอลพัลส์วิทมอดูเลชัน | 22 |
| 2.2.5 เทคนิคการมอดูเลชัน | 23 |
| 2.2.6 การควบคุมกระแสไฟฟ้า | 24 |
| 2.2.7 เฟสล็อกกลูป | 25 |
| 2.2.8 ระบบควบคุม | 27 |
| 2.2.8.1 ระบบควบคุมแบบเปิด | 27 |
| 2.2.8.2 ระบบควบคุมแบบปิด | 27 |
| 2.2.8.3 การควบคุมแบบพีคอนโทรลเลอร์ | 28 |
| 2.2.8.4 การควบคุมแบบโอเท่านั่น | 28 |
| 2.2.8.5 การควบคุมแบบพีโอ | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 2.2.8.4 การควบคุมแบบโอเท่านั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประ 28
ชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดล้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2.2.8.5 การควบคุมแบบพีโอ 29

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

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

| | |
|--|------------|
| 2.2.9 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ | 32 |
| 2.2.9.1 หลักการทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ | 33 |
| 2.2.9.2 การหาค่าอัตราขยายแรงดัน | 35 |
| 2.2.9.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด | 35 |
| 2.2.9.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก | 37 |
| 2.3 ทรายนต์ไฟฟ้า | 39 |
| บทที่ 3 การออกแบบจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ไฟฟ้า | 41 |
| 3.1 การออกแบบจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ | 43 |
| 3.2 กรณีศึกษาในการจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ | 48 |
| 3.3 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ ไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆ เมื่อไม่มีการชาร์จทรายนต์ไฟฟ้า | 50 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 51 |
| 4.1 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ไฟฟ้า | 51 |
| 4.2 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ไฟฟ้าเมื่อโหลดเต็มพิกัด | 71 |
| 4.3 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับทรายนต์ไฟฟ้าเมื่อมี การชาร์จในเวลาทีเหลื่อมล้ำกันและขนาดของแบตเตอรี่แตกต่างกัน | 85 |
| 4.4 ผลเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างผลลัพธ์ต่างๆของการจำลอง การอัดประจุไฟฟ้าในกรณีต่างๆ | 125 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 128 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 128 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 129 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ภาคผนวก 132

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

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

| | |
|---|-----|
| ภาคผนวก ก บทความวิชาการ | 133 |
| ภาคผนวก ข โปรแกรม visual studio code สำหรับการเขียนกราฟ | 138 |
| ประวัติผู้เขียน | 145 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ค่าฝุ่นเกินขนาดมาตรฐานหลายจุดใน กทม.และปริมณฑล | 2 |
| 1.2 ตัวอย่างควันจากรถเมิร์ลซึ่งเป็นปัญหาหลักในการเกิด PM2.5 | 2 |
| 1.3 สถานีชาร์จ EV ตามสถานที่ต่างๆภายในจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล | 4 |
| 1.4 สถานีชาร์จ EV ตลอดเส้นทางการเดินทางกรุงเทพมหานครถึงหนองคาย | 5 |
| 2.1 แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวง | 13 |
| 2.2 สัญลักษณ์พื้นฐานจากไอจีบีที | 14 |
| 2.3 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า | 14 |
| 2.4 วงจรของ Inverter | 15 |
| 2.5 แบบจำลองโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสของฝั่งกระแสสลับ | 16 |
| 2.6 กรอบอ้างอิง abc, $\alpha\beta$ และ dq | 17 |
| 2.7 โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว | 18 |
| 2.8 โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์ของฝั่งกระแสสลับ | 18 |
| 2.9 แบบจำลองโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสของกระแสสลับกรอบอ้างอิง dq | 19 |
| 2.10 แบบจำลองโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสของฝั่งกระแสตรง | 20 |
| 2.11 แบบจำลองโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสในกรอบอ้างอิง dq | 21 |
| 2.12 การสร้างโซลูชันชอยด์คอลลพัลชีวิทมอดูเลชัน | 22 |
| 2.13 วิธีการแยกองค์ประกอบระหว่างค่าของ i_d และ i_q | 25 |
| 2.14 บล็อกไดอะแกรมของเฟสบล็อกคู่ | 25 |
| 2.15 ไดอะแกรมเฟสบล็อกคู่ในระบบไฟฟ้าสามเฟส | 26 |
| 2.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมเปิด | 27 |
| 2.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมปิด | 27 |
| 2.18 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีแบบวงปิด | 28 |
| 2.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมไอแบบวงปิด | 29 |
| 2.20 กราฟความสัมพันธ์เอาต์พุตและค่าคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมไอคอนโทรล | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.21 การต่อปลั๊กระบบควบคุมพีและไอแบบอนุกรม | 30 |
| 2.22 ปลั๊กไอโดยแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอคอนโทรล | 30 |
| 2.23 การต่อปลั๊กระบบควบคุมพีและไอแบบขนาน | 30 |
| 2.24 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอคอนโทรล | 31 |
| 2.25 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ | 33 |
| 2.26 วงจรมูลขณะสวิตช์นำกระแส | 33 |
| 2.27 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส | 34 |
| 2.28 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ | 36 |
| 2.28(ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ | 36 |
| 2.28(ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ | 36 |
| 2.28(ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ | 36 |
| 2.29 รูปคลื่นการทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ | 38 |
| 2.29(ก) กระแสตัวเก็บประจุ | 38 |
| 2.29(ข) ระลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ | 38 |
| 3.1 รูปแบบการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า | 41 |
| 3.2 สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า | 42 |
| 3.3 หม้อแปลงลดทอนระดับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า | 43 |
| 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสโมดูล ไอจีบีที | 43 |
| 3.5 การแปลงหาค่ามมของเฟสล็อกกลุป | 44 |
| 3.6 การแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในกรอบอ้างอิงหมุน | 44 |
| 3.7 การแปลงค่ากระแสต้นไฟฟ้าให้อยู่ในกรอบอ้างอิงหมุน | 45 |
| 3.8 การแปลงค่าเพื่อใช้กระแสไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงหมุนพิจารณา | 45 |
| 3.9 การแปลงค่าเพื่อใช้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงหมุนพิจารณาให้นำไปใช้ประ | 46 |
| 3.10 การสร้างสัญญาณในการขับให้ไอจี | 46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์ของเอกสารฉบับนี้สงวนไว้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.11 วงจรลดทอนระดับหรือบีกคอนเวอร์เตอร์ | 47 |
| 3.12 วงจรควบคุมของบีกคอนเวอร์เตอร์ | 47 |
| 3.13 คุณสมบัติแบตเตอรี่ของรถยนต์ BMWi3 | 48 |
| 3.14 ตำแหน่งในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ | 49 |
| 4.1 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าหม้อแปลง | 55 |
| 4.2 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหลังหม้อแปลง | 58 |
| 4.3 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าตู้อัดประจุที่ 1 | 62 |
| 4.4 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 1 | 64 |
| 4.5 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 2 | 66 |
| 4.6 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าตู้อัดประจุที่ 2 | 69 |
| 4.7 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 2 หัวจ่ายทั้งสอง | 70 |
| 4.8 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง | 75 |
| 4.9 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งหลังหม้อแปลง | 78 |
| 4.10 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดหน้าตู้อัดประจุทั้งหน้าตู้ทั้ง 3 ตู้ | 82 |
| 4.11 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งของแต่ละหัวจ่าย | 84 |
| 4.12 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันเมื่อวัดที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง | 91 |
| 4.13 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันเมื่อวัดที่ตำแหน่งหลังหม้อแปลง | 97 |
| 4.14 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 1 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 10% ถึง 100% | |

จำนวน 1 คัน

102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.15 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 2 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน | 107 |
| 4.16 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 3 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน | 112 |
| 4.17 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 10% ถึง 100% จำนวน 1 คัน | 115 |
| 4.18 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน | 118 |
| 4.19 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน | 121 |
| 4.20 ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาที่เหลือมัลล้ากัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์ | 124 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ระดับความรุนแรงของฝุ่นPM2.5 | 3 |
| 1.2 ลำดับการปฏิบัติงานวิจัย | 12 |
| 3.1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า | 50 |
| 4.1 กำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 125 |
| 4.2 กำลังไฟฟ้าเสมือนในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 125 |
| 4.3 แรงแดันไฟฟ้าในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 126 |
| 4.4 กระแสไฟฟ้าในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 126 |
| 4.5 ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละกรณี การจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 127 |
| 4.6 ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงแดันฮาร์มอนิกในแต่ละกรณี การจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ | 127 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและประเทศไทยเริ่มมีนโยบายส่งเสริมการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมในปี 2558 โดยมีการเสนอให้ภาครัฐกำหนดนโยบายที่ชัดเจนในการสนับสนุนให้เกิดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ให้แพร่หลายในอนาคต เพื่อลดการพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงทั้งภายในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นการเพิ่มทางเลือกการใช้พลังงานให้แก่ประชาชน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

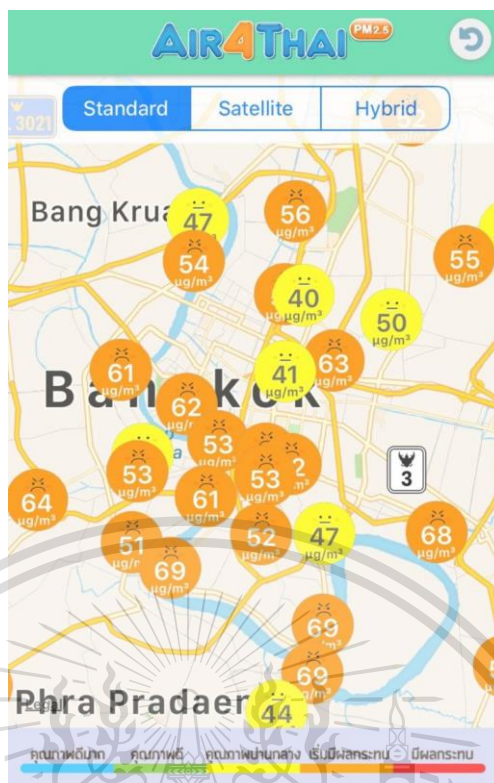
โดยตัวอย่างข้อดีในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของรถยนต์ไฟฟ้านั้นคือช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการใช้น้ำมันและกระบวนการผลิตน้ำมันต่างๆ เพราะรถยนต์ไฟฟ้าไม่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทำงานเลย และเมื่อเทียบราคาของน้ำมันต่อกิโลเมตรแล้วนั้นมันมีค่ามากกว่าค่าไฟในการชาร์จอยู่เกือบ 2-3 เท่า นอกจากนั้นแล้วถ้ารถไม่มีการใช้น้ำมันในการขับเคลื่อนก็ยังส่งผลให้ดีต่อการลดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ที่ยังส่งผลต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

ทั้งนี้ยังรวมไปถึงฝุ่น PM2.5 ที่เป็นมลพิษทางอากาศสาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ PM2.5 คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เทียบได้ว่ามีขนาดประมาณ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผมมนุษย์ เล็กจนขนจมูกของมนุษย์ที่ทำหน้าที่กรองฝุ่นนั้นไม่สามารถกรองได้ จึงแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และเข้าสู่อวัยวะอื่นๆ ในร่างกายได้ ตัวฝุ่นเป็นพาหะนำสารอื่นเข้ามาด้วย เช่น แคดเมียม ปรอท โลหะหนัก และสารก่อมะเร็งอื่นๆ อันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM2.5 ร่างกายของผู้ที่แข็งแรงเมื่อได้รับฝุ่น PM2.5 อาจจะไม่ส่งผลกระทบต่อให้เห็นในช่วงแรกๆ แต่หากได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน หรือสะสมในร่างกาย สุดท้ายก็จะก่อให้เกิดอาการผิดปกติของร่างกายในภายหลัง โดยแบ่งได้เป็นผลกระทบทางร่างกาย และผลกระทบทางผิวหนัง โดยที่ผ่านมามาประเทศไทยยังประสบปัญหาเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 อยู่ โดยในเมื่อช่วงต้นปี พ.ศ.2563ที่ผ่านมามีปริมาณฝุ่น PM2.5 พุ่งสูงถึง 71 มคก./ลบ.ม. (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 50 มคก./ลบ.ม.) โดยพบพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานและเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมากถึง 38 พื้นที่ นายประลอง ดำรงไทย อธิบดีกรมการควบคุมมลพิษ ได้กล่าวกับสำนักข่าวบีบีซีไทยไว้ว่า “เราได้มีการสำรวจใหม่ว่า ค่าฝุ่น PM2.5 (ในกทม.)เกิดจากยานพาหนะ (รถยนต์) ร้อยละ 72.5” ซึ่งคือสาเหตุหลักจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 1.1 : ค่าฝุ่นเกินขนาดมาตรฐานหลายจุดใน กทม.และปริมณฑล เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2563 จากแอปพลิเคชัน Air4Thai ของกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 1.2 : ตัวอย่างควันจากรถเมล์ซึ่งเป็นปัญหาหลักในการเกิด PM2.5 ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 1.1 ระดับความรุนแรงของฝุ่นPM2.5

| AQI | PM2.5 (มคก./ลบ. ม.) | คุณภาพ อากาศ | ข้อความแจ้งเตือน |
|------------|---------------------------|-------------------------|---|
| 0 - 25 | 0 - 25 | ดีมาก | เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว |
| 26 - 50 | 26 - 37 | ดี | สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ |
| 51 - 100 | 38 - 50 | ปานกลาง | สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ แต่ถ้าเป็นผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ หากมีอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ และระคายเคืองตา ไม่ควรทำกิจกรรมกลางแจ้งนาน |
| 101 - 200 | 51 - 90 | เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ | ควรเฝ้าระวังสุขภาพ ถ้ามีอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ระคายเคืองตา ไม่ควรทำกิจกรรมกลางแจ้งนาน หรือใช้อุปกรณ์ป้องกัน ส่วนผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ แล้วมีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แสบหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์ |
| 201 ขึ้นไป | 91 ขึ้นไป | มีผลกระทบต่อสุขภาพ | ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งทุกอย่าง หลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์ |

ตรวจเช็คดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) ได้ที่เว็บไซต์ของกรมควบคุมมลพิษ โดยประเทศไทยแบ่งดัชนีคุณภาพอากาศเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป โดยใช้สีเป็นตัวเปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพ

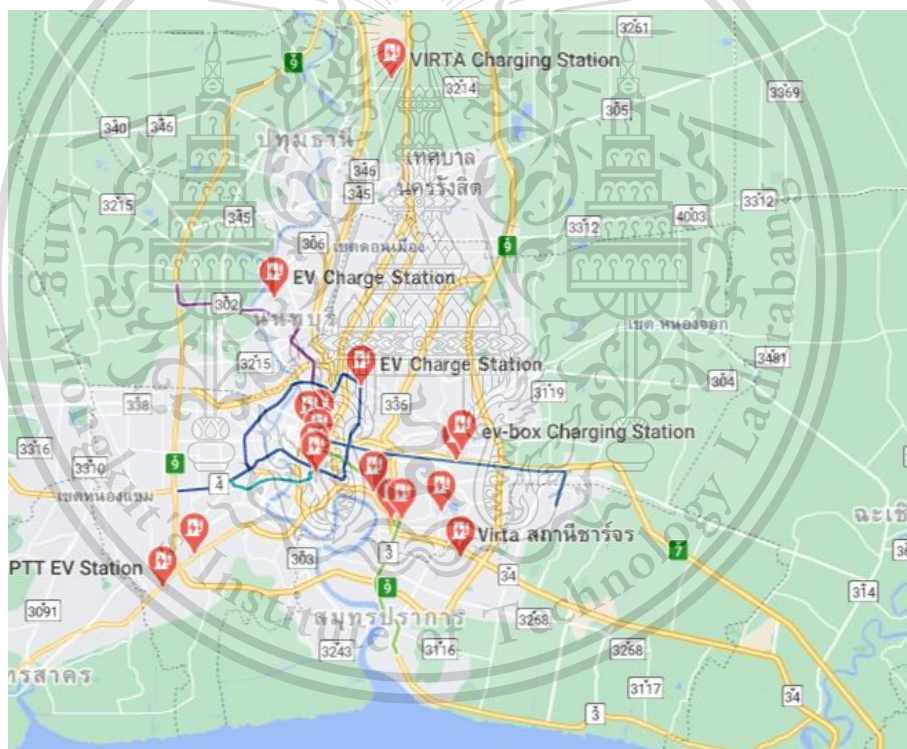
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ทางออกหนึ่งของการช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้อย่างยั่งยืนซึ่งมีการใช้แล้วในหลายประเทศที่ผู้นำและประชาชนตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ “ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV)” โดยมีผลสำรวจพบว่าอัตราการยอมรับรถประเภท EV มีอยู่ที่ร้อยละ 60 แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ใช้รถยนต์ทั่วไปมีการยินดีที่จะเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจอยู่เช่น การศึกษา รายได้ ปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวรถเกี่ยวกับพวกสมรรถนะของรถ ค่ายรถ และสถานีอัดประจุที่เพียงพอ นอกจากนี้ยังควรขอความร่วมมือไปยังผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ เช่น รถเมล์ ให้ใช้เช่นเดียวกันเพื่อสร้างความเชื่อมั่นเกี่ยวกับประสิทธิภาพที่ดีของยานยนต์ไฟฟ้า

จากภาพด้านล่างนี้จะเห็นได้ว่าสถานีอัดประจุที่พบในประเทศไทยในปัจจุบัน มีจำนวนค่อนข้างน้อยมาก จะพบมากที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นส่วนมาก ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานมากเท่าที่ควร ทั้งยังไม่ตอบโจทย์ในด้านการใช้งานในการเดินทางไกลหรือข้ามจังหวัด เพราะในตามต่างจังหวัดยังพบบ่อยน้อยมากนักและในบางจังหวัดยังไม่แม้แต่สถานีเดียวเลย ประเทศไทยจึงยังไม่เหมาะสมกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ามากเท่าที่ควร



รูปที่ 1.3 : สถานีชาร์จ EV ตามสถานที่ต่างๆภายในจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

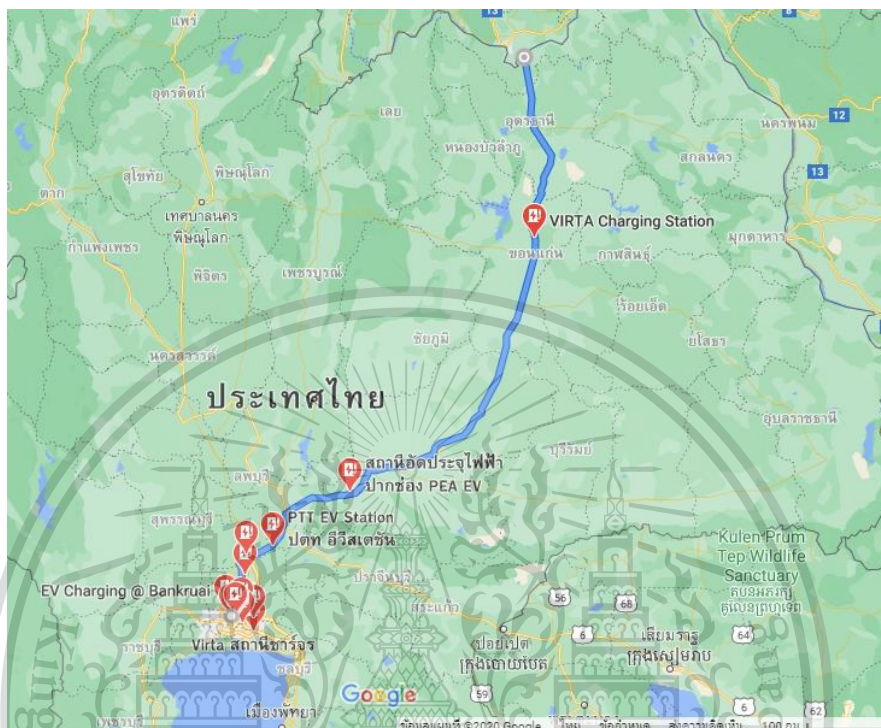
ภาพจาก Google map

ดังนั้นเป้าหมายที่ต้องการศึกษาจึงเลือกเจาะจงไปที่เส้นทางการเดินทางของรถระหว่างจังหวัด กรุงเทพมหานครและจังหวัดหนองคาย โดยจะมีระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ 670 กิโลเมตร เพราะหนองคาย เอกสารนี้เป็นเอกสารนี้เป็นจังหวัดที่มีเส้นทางสามารถเดินทางไปยังประเทศเพื่อนบ้านอย่างประเทศลาวได้ โดยผ่านทาง การค้า สะพานมิตรภาพไทย-ลาว ทั้งยังเป็นเส้นทางการคมนาคมข้ามประเทศของรถบรรทุกทุกขนส่งข้าม ไม่ว่ากรณีใดที่เส้นนี้ยังมีขีดจำกัดและเพียงอย่างเดียวซึ่งเขาได้พบว่ามีคนไปใช้ ประเทศอีกด้วย และจากรูปด้านล่างจะเห็นได้ว่าภายในเส้นทางการเดินทางระหว่างจังหวัด

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

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

กรุงเทพมหานครและจังหวัดหนองคาย ยังมีสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต และภายในจังหวัดที่เจาะจงศึกษาก็ยังไม่พบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์เช่นเดียวกัน ทั้งนี้สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่พบในภาพด้านล่างยังเป็นเพียงสถานีอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 50 KW ซึ่งไม่เหมาะกับการชาร์จรถบรรทุกหรือรถโดยสารขนาดใหญ่อีกด้วย



รูปที่ 1.4 : สถานีชาร์จ EV ตลอดเส้นทางการเดินทางระหว่างจังหวัดกรุงเทพมหานครถึงจังหวัดหนองคาย จาก Google map

เนื่องจากปัญหาทั้ง PM2.5 สถานีอัดประจุไม่เพียงพอ และสถานีอัดประจยังไม่สามารถรองรับรถได้ทุกรูปแบบ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการศึกษาสถานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความเพียงพอและความเหมาะสมของสถานีอัดประจุภายในเส้นทางการเดินทางของรถระหว่างจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดหนองคาย

ในปัจจุบันยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้นยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจัยหลักที่ทำให้ผู้ใช้งานยานยนต์สนใจเลือกใช้นยานยนต์ไฟฟ้าคือเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และลดการปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนความต้องการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ๆ แต่ยังมีอุปสรรคอีกหลายประการที่ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้ายังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา สรุปปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1) ราคายานยนต์ไฟฟ้ายังสูงอยู่มาก เนื่องจากยังไม่มีการผลิตและประกอบในประเทศ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เสียภาษีศุลกากรในอัตราสูง

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

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

- 2) ยังไม่มีโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบอัดประจุไฟฟ้าในที่สาธารณะรองรับ จึงทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกไม่มั่นใจในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากเกรงว่าแบตเตอรี่อาจจะหมดได้ในขณะระหว่างทาง
- 3) ผู้ใช้งานไม่มีที่จอดรถเพื่ออัดประจุไฟฟ้าภายในบริเวณที่พำนักอาศัย โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครซึ่งมีจำนวนประชากรค่อนข้างมากที่พำนักอาศัยในตัวหอพัก หรือ คอนโดมิเนียม
- 4) ยานยนต์ไฟฟ้ามีระยะขับที่ค่อนข้างสั้น จึงไม่สะดวกต่อการใช้ในการเดินทางไกล ถึงแม้จะมีสถานีอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะอยู่บ้างก็ตาม เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุยังค่อนข้างนาน และผู้ใช้งานอาจไม่สะดวกกับการที่ต้องจอดอัดประจุไฟฟ้าในทุกๆ 100 กิโลเมตร

ต่อเนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและประเทศไทยเริ่มมีนโยบายส่งเสริมการพัฒนาการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมในปี 2558 โดยมีการเสนอให้ภาครัฐกำหนดนโยบายที่ชัดเจนในการสนับสนุนให้เกิดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ให้แพร่หลายในอนาคต เพื่อลดการพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงทั้งภายในประเทศและนำเข้ามาจากต่างประเทศ เป็นการเพิ่มทางเลือกการใช้พลังงานให้แก่ประชาชน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

โดยคณะกรรมการพัฒนาระบบนวัตกรรมของประเทศไทย (คพท.) ได้เห็นชอบต่อแผนที่น่าสนใจทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคการศึกษา และภาคประชาชน เห็นความชัดเจนของการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรม และยั่งยืนโดยแผนที่น่าสนใจทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 4 ด้าน 1) รถโดยสารไฟฟ้า 2) ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 3) รถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล 4) เทคโนโลยีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ หัวจ่ายไฟฟ้า สถานีอัดไฟฟ้า แบตเตอรี่ และมอเตอร์

กระทรวงพลังงานยังได้ดำเนินการจัดทำแผนการขับเคลื่อนภารกิจด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าประเทศไทย เพื่อรองรับการพัฒนาและเตรียมความพร้อมในการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย ให้สอดคล้องกับแนวทางที่ได้เสนอต่อคณะรัฐมนตรี และให้เกิดการบูรณาการและต่อยอดจากการเตรียมการเกี่ยวกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าของหน่วยงานต่างๆที่ได้ดำเนินการมาแล้ว โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 : เตรียมความพร้อมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า มุ่งเน้นการนำร่องการใช้งานกลุ่มรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้า รวมถึงการเตรียมความพร้อมด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ ด้านมาตรฐานภาคการสนับสนุนด้านภาษี และการปรับปรุงกฎหมายหรือกฎระเบียบต่างๆ รวมถึงอัตราค่าบริการสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารยานยนต์ไฟฟ้าไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ระยะที่ 2 : ขยายผลในกลุ่มรถโดยสารสาธารณะ และเตรียมความพร้อมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล โดยสนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับ การกำหนดรูปแบบและมาตรฐาน สถานีอัดประจุไฟฟ้า การกำหนดมาตรการจูงใจให้ภาคเอกชนลงทุน การทบทวนโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าและค่าบริการสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า

ระยะที่ 3 : ขยายผลไปสู่การส่งเสริมรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล โดยสนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้า พัฒนาระบบบริหารจัดการอัดประจุไฟฟ้าอัจฉริยะ (EV Smart Charging) และพัฒนาระบบบริหารความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศร่วมกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (Vehicle to Grid : V2G)

การนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาภายในประเทศต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน ภาครัฐ นำโดยคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ ได้วางแผนในการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายในปี 2573 จะผลิตรถยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30 ของการผลิตรถยนต์ทั้งหมด 2,500,000 คัน หรือประมาณ 750,000 คัน แบ่งเป็นรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) 375,000คัน รถยนต์ไฟฟ้าแบบผสม(Hybrid Electric Vehicle: HEV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบบผสมเสียบปลั๊ก (Plug-In Hybrid Electric Vehicle: PHEV) 375,000คัน

ที่ประชุมคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (บีโอไอ) ได้มีมติเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2563 เห็นชอบเปิดให้การส่งเสริมการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าอีกครั้ง โดยให้ครอบคลุมการผลิตยานพาหนะไฟฟ้าทุกประเภท รวมทั้งจักรยานยนต์ไฟฟ้า รถสามล้อไฟฟ้า รถโดยสารไฟฟ้า และเรือที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ประกอบการไทยมีศักยภาพ และสามารถพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีในอนาคตได้

มุ่งส่งเสริมยานพาหนะที่ใช้แบตเตอรี่เป็นหลัก

สำหรับการส่งเสริมการลงทุนกิจการยานพาหนะไฟฟ้าประเภทต่างๆ มีสิทธิประโยชน์และเงื่อนไข ดังนี้

1) กิจการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า มุ่งเน้นการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่เป็นหลัก (BEV) แต่ให้มีการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบบผสมควบคู่ไปด้วยกันได้ ในกรณีที่มีขนาดการลงทุนไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาท การผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (BEV) จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 8 ปี และหากมีการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนา ก็สามารถได้รับสิทธิเพิ่ม ในกรณีขนาดการลงทุนน้อยกว่า 5,000 ล้านบาท การผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (BEV) จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 3 ปี และจะได้รับสิทธิเพิ่มขึ้นหากดำเนินการได้ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น เริ่มผลิตรถยนต์ภายในปี 2565 มีการผลิตชิ้นส่วนสำคัญเพิ่มเติมจากข้อกำหนดพื้นฐาน มีปริมาณการผลิตจริงมากกว่า 10,000 คันต่อปี และมีการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนา ถ้ามีโครงการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV ด้วย จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 3 ปี ทั้งนี้ต้องการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 3 ชิ้น

2) กิจการผลิตจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 3 ปี โดยจะได้รับสิทธิเพิ่มขึ้นหากดำเนินการได้ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น เริ่มผลิตภายในปี 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ทั้งหมดนี้ไปใช้

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

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

มีการผลิตแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่เริ่มจากขั้นตอน Module มีการผลิตชิ้นส่วนสำคัญอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น Traction Motor และมีการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนา

3) กิจการผลิตรถสามล้อไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 3 ปี โดยจะได้รับสิทธิเพิ่มขึ้นหากดำเนินการได้ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น มีการผลิตแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่เริ่มจากขั้นตอน Module มีการผลิตชิ้นส่วนสำคัญอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น Traction Motor และมีการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนา

4) กิจการผลิตรถโดยสารไฟฟ้าและรถบรรทุกไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 3 ปี โดยจะได้รับสิทธิเพิ่มขึ้นหากดำเนินการได้ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น มีการผลิตแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่เริ่มจากขั้นตอน Module มีการผลิตชิ้นส่วนสำคัญอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น Traction Motor และมีการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนา

รวมทั้งการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ทุกประเภท ผู้ลงทุนจะต้องเสนอแผนงานรวม (Package) เช่น โครงการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ โครงการผลิตแบตเตอรี่ไฟฟ้า แผนการนำเข้าเครื่องจักรและติดตั้ง แผนการผลิตในระยะ 1 - 3 ปี แผนการผลิตหรือจัดหาชิ้นส่วนอื่นๆ และแผนการพัฒนาผู้ผลิตวัตถุดิบ ในประเทศไทย (ที่มีคนไทยถือหุ้นข้างมาก) เป็นต้น

5) กิจการต่อเรือหรือซ่อมเรือ ที่มีการติดตั้งหรือขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า และต้องได้รับการรับรองระบบคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 14000 ภายใน 2 ปี จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล 8 ปี

ทั้งนี้ ปีโอไออยู่ระหว่างการจัดทำประกาศต่างๆ ในการส่งเสริมการลงทุนในกิจการยานพาหนะไฟฟ้า ซึ่งการส่งเสริมกิจการยานพาหนะไฟฟ้ารอบใหม่ของปีโอไอในครั้งนี้ ถือเป็นกรณีพิเศษให้ไทยก้าวสู่การเป็นฐานผลิตสำคัญของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาค โดยเฉพาะการเป็นฐานผลิตอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เพื่อตอบสนองนโยบายการปรับโครงสร้างทางเศรษฐกิจใหม่ โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยสร้างมูลค่าเพิ่ม และตอบโจทย์การดูแลรักษาสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาสถานีอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า
2. ออกแบบและจำลองการทำงานของสถานีอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยโปรแกรม PSCAD
3. ศึกษาผลกระทบทางด้านคุณภาพไฟฟ้าของทั้งด้านยานยนต์ไฟฟ้าและด้านแหล่งจ่ายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยญญู เตเห็น ใบใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 4. วิเคราะห์ผลการจำลองของกรณีศึกษาเกี่ยวกับการใช้บริการยานยนต์ไฟฟ้า

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

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

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ศึกษาระบบการจำลองของการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการจำลองให้รถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 1 คัน 3 คัน และ 6 คัน ทำการชาร์จที่สถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10%, 50% และ 80% โดยมีการเข้าชาร์จในเวลาที่ยืดหยุ่นและเหลื่อมล้ำกันตามลำดับการเข้าชาร์จ ด้วยโปรแกรม PSCAD 4.6 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลพร้อมทั้งวิเคราะห์พฤติกรรมของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าอย่าง กำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และ ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v)

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาวิธีการทำงานของการชาร์จรถไฟฟ้าโดยใช้สถานีอัดประจุ
2. ศึกษาหลักการการทำงานของสถานีอัดประจุ
3. ศึกษาและเรียนรู้โปรแกรม PSCAD เพื่อใช้ในการจำลองผลและออกแบบการใช้งานของสถานีอัดประจุ
4. ศึกษาองค์ประกอบและองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับแต่ละส่วนภายในตู้สถานีอัดประจุ
5. ทดสอบและทดลองในการชาร์จแต่ละกรณี
6. วิเคราะห์และประเมินผลการทดลองที่ได้จากชุดทดลอง ปรับปรุงแก้ไขทดลอง
7. สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563

1. สืบค้นปัญหาที่มีความน่าสนใจในการที่ควรได้รับการแก้ไขเกิดขึ้น
2. ปรึกษากับอาจารย์เพื่อกำหนดหัวข้อในการทำโครงการ

เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563

1. สืบค้นงานวิจัยเกี่ยวกับสถานีอัดประจุและยานยนต์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2. ศึกษาทำความเข้าใจหลักการการทำงานต่างๆของสถานีอัดประจุให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้นอีกทั้งห้ามมิให้นำไปใช้ในการทำวิจัยของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อาจารย์ให้ข้อเสนอแนะในเรื่องการใช้โปรแกรมในการทำวิจัย

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

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

เดือนกันยายน พ.ศ.2563

1. ศึกษาและทำความเข้าใจในการใช้โปรแกรม PSCAD 4.6 และเครื่องมือต่างๆในตัวโปรแกรม
2. กำหนดขอบเขตการศึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษา

เดือนตุลาคม พ.ศ.2563

1. ศึกษาแบบจำลองของ Voltage Source Controller จากงานวิจัยต่างๆ
2. ศึกษาแบบจำลองของ Controller ต่างๆจากงานวิจัย

เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563

1. ออกแบบการจำลองและทำการ Simulate ของ Voltage Source Controller โดยโปรแกรม PSCAD
2. วิเคราะห์การทำงานของตัวเครื่องมือต่างๆที่นำมาใช้ในการออกแบบ

เดือนธันวาคม พ.ศ.2563

1. ศึกษาหัวข้อต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อหาความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน
2. ออกแบบหัวข้อของตัวอัดประจุในรูปแบบ DC-DC ให้มีความเหมาะสมแก่การใช้งานกับตัวตู้ที่ออกแบบ

เดือนมกราคม พ.ศ.2564

1. นำส่วนของ DC-DC และแบตเตอรี่ประกอบเข้าด้วยกัน
2. วิเคราะห์ผลที่ออกมาและแก้ไขส่วนที่บกพร่อง

เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564

1. ศึกษาและกำหนดกรณีต่างๆที่ต้องการศึกษา
2. ทำการเก็บข้อมูลและหาวิธีการที่จะนำมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มทั้งหมด
3. เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่มีจำนวนมากจึงทำการนำมาเขียนในอีกโปรแกรมที่มีชื่อว่า visual studio code

เดือนมีนาคม พ.ศ.2564

1. ทำการเก็บข้อมูลตามกรณีที่กำหนดไว้ในการศึกษา
2. วิเคราะห์และทำการแก้ไขในบางกรณีที่ไม่ได้ผลตามที่ศึกษาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

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

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

เดือนเมษายน พ.ศ.2564

1. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาแนวโน้มที่เหมือนและต่างของแต่ละกรณี
2. นำข้อมูลที่ได้ไปปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษา

เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564

1. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
2. จัดทำปฏิญานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- ประโยชน์ในด้านการใช้พลังงาน

1. เพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ
2. เป็นการพัฒนารูปแบบใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. เป็นแนวทางในการขยายการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ในระบบจริง

- ประโยชน์ในด้านของโครงการวิจัย

1. แบบจำลองการทดลองมีความสามารถในการจำลองระบบการจ่ายของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าได้
2. แบบจำลองการทดลองมีส่วนทำให้ผู้ทดลองมีความรู้ความเข้าใจปัญหามากขึ้น ในระบบการจำหน่ายของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
3. แบบจำลองการทดลองนี้ไม่จำเป็นต้องสั่งซื้อเป็นรูปแบบสำเร็จ ซึ่งมีราคาแพงแต่ให้ผลการทดลองโดยสร้างจากโปรแกรมแทนซึ่งได้ผลการทดลองเหมือนกัน

ตารางที่ 1.2 ลำดับการปฏิบัติงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| กำหนดการดำเนินการ | ระยะเวลา | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|--|
| | ก.ค. 63 | ส.ค. 63 | ก.ย. 63 | ต.ค. 63 | พ.ย. 63 | ธ.ค. 63 | ม.ค. 64 | ก.พ. 64 | มี.ค. 64 | เม.ย. 64 | พ.ค. 64 | |
| 1.กำหนดหัวข้อในการทำโครงงาน | ←→ | | | | | | | | | | | |
| 2.ศึกษาหาข้อมูลและทฤษฎี | | ←→ | ←→ | ←→ | | | | | | | | |
| 3.เรียนรู้โปรแกรม PSCAD เพื่อใช้ในการจำลองผล | | ←→ | ←→ | ←→ | | | | | | | | |
| 4.ศึกษาแบบจำลอง Voltage Source Controller ที่เหมาะสมแก่การใช้งาน | | | ←→ | ←→ | | | | | | | | |
| 5.ออกแบบจำลองและทำการ simulate ของ Voltage Source Controller | | | | ←→ | ←→ | | | | | | | |
| 6.ออกแบบหัวจ่ายของตู้อัดประจุในรูปแบบ DC-DC | | | | | ←→ | ←→ | | | | | | |
| 7.นำDC-DCและแบตเตอรี่ประกอบเข้าด้วยกัน | | | | | | ←→ | ←→ | | | | | |
| 8.ศึกษาและกำหนดแต่ละกรณีที่ต้องการศึกษา | | | | | | | ←→ | ←→ | | | | |
| 9.ทดสอบการจำลองผลแต่ละกรณี | | | | | | | | ←→ | ←→ | | | |
| 10.วิเคราะห์ผลและสรุปผลการดำเนินโครงงานวิจัย | | | | | | | | | | ←→ | ←→ | |

←→ ระยะเวลาที่วางแผน

←→ ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยที่ตู้อัดประจุไฟฟ้าจะเป็นการชาร์จแบบกระแสตรง (DC) เป็นหลักแบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วน ประกอบด้วย

- 1.) แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Electrical grid)
- 2.) ตู้อัดประจุไฟฟ้า (Charger)
- 3.) ยานยนต์ไฟฟ้า (Electrical Vehicles)

2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Electrical grid) หมายถึงเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างหน่วยของการสร้างไฟฟ้า หน่วยของการส่งไฟฟ้า และหน่วยของการกระจายไฟฟ้า ส่วนนี้จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวงและหม้อแปลง (Transformer) โดยที่ผลศึกษาจะอยู่ในบริเวณของกรุงเทพมหานครฯ จึงใช้แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวงที่มีพื้นที่บริการ คือ กรุงเทพมหานครฯ จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ ที่แรงดันไฟฟ้าแรงสูง 24 kV และใช้หม้อแปลงขนาด 500 kVA ให้อยู่ที่ 400 V เพื่อเป็นแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำเพื่อนำไปใช้งานต่อภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 : แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวง

2.2 ตู้อัดประจุไฟฟ้า (Charger) ประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์สามเฟสโมดูล ไอจีบีที (Three-Phase Inverter IGBT Modules) เป็นการแปลงไฟกระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์ (Voltage-Source Converter : VSC) และ ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Dc to Dc Converter) หรือวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นวงจรลดทอนระดับ สำหรับการควบคุมให้ได้กระแสและแรงดันตามที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการซึ่งจะอยู่ในแต่ละหัวจ่ายทั้งสองหัวจ่าย ใน

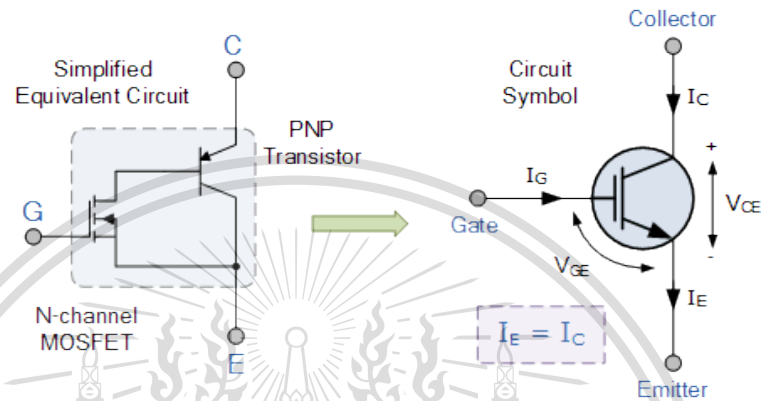
ไม่ว่ากรณีใด ตู้อัดประจุไฟฟ้า 1 ตู้ มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

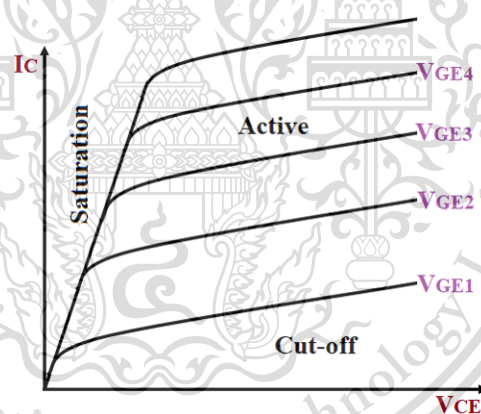
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1 ไอจีบีที

ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistors : IGBT) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่ง ไอจีบีทีนั้นเป็นการรวมข้อดีของมอสเฟตกำลังอย่าง ทรานซิสเตอร์กำลัง (บีเจที) และจีทีไอไทรสเตอร์ โดยที่ ไอจีบีทีนั้นจะมีค่าของอิมพีแดนซ์ขาเกตที่มีค่าสูงคล้ายมอสเฟตกำลัง และต้องการพลังงานน้อยมากเพื่อควบคุมการสวิตช์ สามารถควบคุมการนำและหยุดนำกระแสด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต รวมทั้งสามารถใช้งานการสวิตช์ที่มีความถี่สูง



รูปที่ 2.2 : สัญลักษณ์พื้นฐานจากไอจีบีที



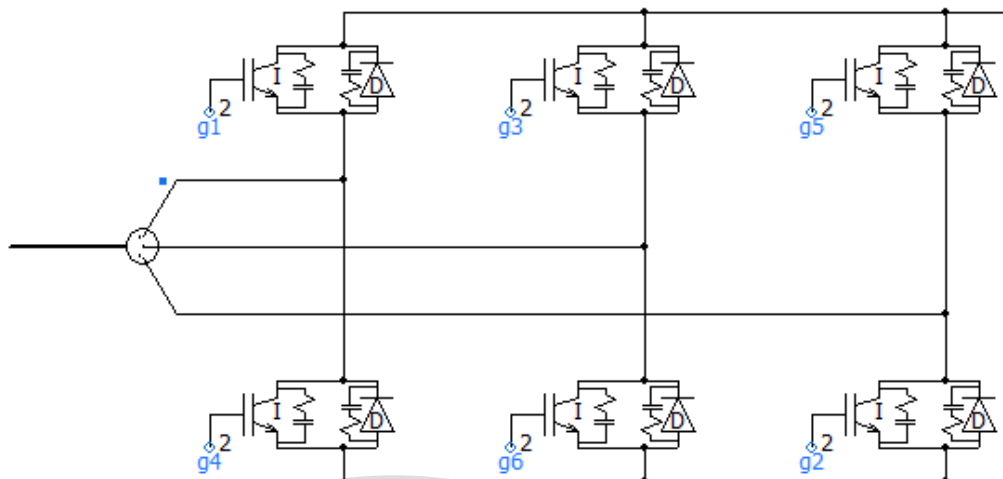
รูปที่ 2.3 : คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ไอจีบีทีที่มีเวลาในการนำกระแสและหยุดกระแสมีค่าประมาณ 1 ไมโครวินาที มีขนาดพิกัดของกระแสไฟฟ้าถึง 2,000 แอมแปร์ และพิกัดของแรงดันไฟฟ้าถึง 5,000 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.4 : วงจรของ Inverter

2.2.2 โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

ในรูปที่ 2.4 แสดงถึง โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสจะมีการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายกระแสสลับและโหลดกระแสตรง โดยที่มีแหล่งจ่ายกระแสสลับอย่าง กริด ในที่นี้จะพูดถึงระบบไฟฟ้าสามเฟสที่สมดุลเท่านั้น และโหลดซึ่งเป็นกระแสตรงอย่าง แบตเตอรี่หรือรถยนต์ไฟฟ้า

ภายในวงจรจะประกอบด้วย ตัวต้านทาน (Resistor : R) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors : L) ไอจีบีที (IGBT) และตัวเก็บประจุ (Capacitor : C) ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำงานแบบไดนามิกของคอนเวอร์เตอร์ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำจะมีหน้าที่ในการ จำกัดขนาดของริบเบิลในกระแส และลดการเกิดของฮาร์โมนิกส์ ในส่วนของตัวเก็บประจุนั้นจะเป็นตัวกรองในฝั่งของกระแสตรงเพื่อช่วยปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีเสถียรภาพ เนื่องจากหากโหลดในฝั่งของกระแสตรงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบให้มีความสมดุลไดนามิกส์ของคอนเวอร์เตอร์ (การตอบสนองตามเวลา) และจำกัดในส่วนของการเกิด โอเวอร์ชูตและอันเดอร์ชูต (Overshoots and Undershoots)

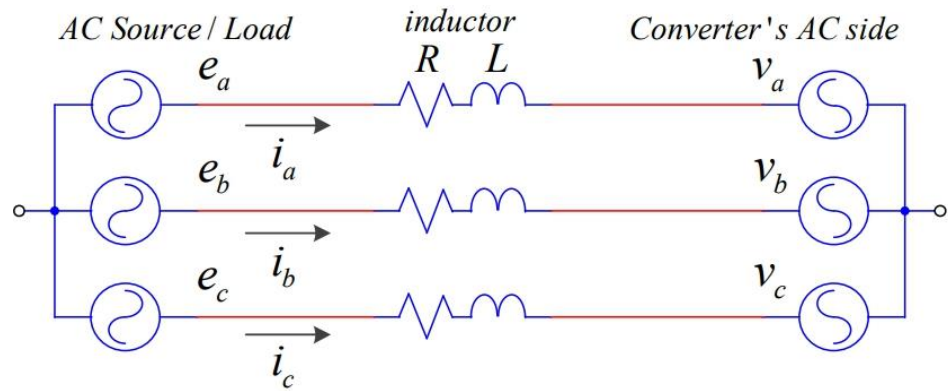
ในส่วนของแบบจำลองของโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสโดยกำหนดให้ แรงดันไฟฟ้าด้านกระแสสลับของคอนเวอร์เตอร์ คือ V_a , V_b และ V_c แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าที่เป็นของความถี่พื้นฐาน และการสวิตช์คอนเวอร์เตอร์เป็นแบบอุดมคติ ในส่วนของความสูญเสียจะเกิดขึ้นจากตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ (R_L และ R_C)

แรงดันไฟฟ้าด้านกระแสสลับของคอนเวอร์เตอร์ จะถูกแบ่งเป็น แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส สองตัวที่ถูกเชื่อมต่อกันผ่านตัวเหนี่ยวนำแสดงดังรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.5 : แบบจำลองโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสของฝั่งกระแสสลับ

แหล่งจ่ายและโหลดของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสฝั่งกระแสสลับอธิบายเป็นสมการที่ 2.1-2.3 ได้

ดังนี้

$$e_a = E \cos(\omega t) \quad (2.1)$$

$$e_b = E \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.2)$$

$$e_c = E \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (2.3)$$

และสมการของวงจรจะอยู่ในรูปสมการที่ 2.4-2.6 ดังนี้

$$e_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + v_a \quad (2.4)$$

$$e_b = Ri_b + L \frac{di_b}{dt} + v_b \quad (2.5)$$

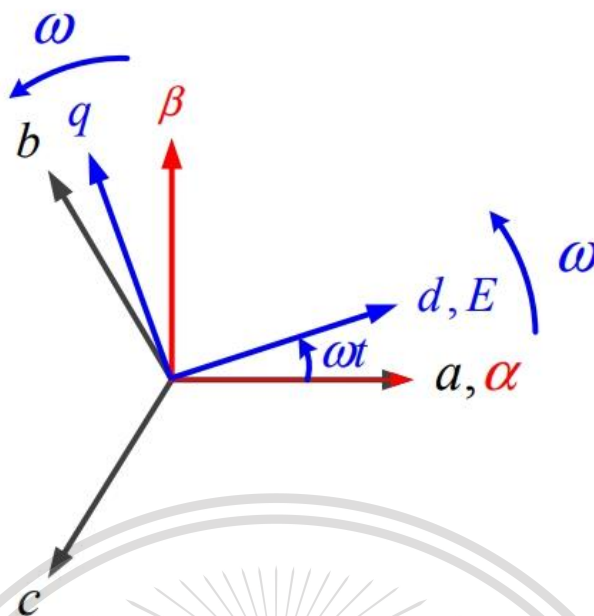
$$e_c = Ri_c + L \frac{di_c}{dt} + v_c \quad (2.6)$$

เพื่อลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการออกแบบตัวแปลงการแปลงพิกัดสองขั้นตอนคือขั้นแรกทำการแปลงระบบของสามเฟส abc ให้อยู่ในกรอบอ้างอิง $\alpha\beta$ หรือคลาร์กทรานส์ฟอร์ม และขั้นตอนที่สอง การแปลงกรอบอ้างอิง $\alpha\beta$ ให้อยู่ในกรอบอ้างอิง dq หรือ ปาร์คทรานส์ฟอร์ม พิจารณาทุกระบบไว้ในกรอบอ้างอิงเดียวกันจะได้รูปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.6 : กรอบอ้างอิง abc, $\alpha\beta$ และ dq

สมการที่ 2.1-2.3 และรูปจากกรอบอ้างอิงรวมโดยใช้คลาร์กทรานส์ฟอร์ม และตามด้วยพาร์คทรานส์ฟอร์มส่งผลให้ได้สมการที่ 2.7-2.10 ดังนี้

$$e_\alpha = E \cos(\omega t) \quad (2.7)$$

$$e_\beta = E \sin(\omega t) \quad (2.8)$$

$$e_d = E \quad (2.9)$$

$$e_q = 0 \quad (2.10)$$

ในระบบของสมการที่ 2.7-2.10 ได้แสดงถึง แหล่งจ่ายและโหลดแรงดันไฟฟ้า (e) ในกรอบอ้างอิง dq ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ และสมการของวงจรที่อยู่ในกรอบอ้างอิง $\alpha\beta$ กับกรอบอ้างอิง dq จะได้สมการที่ 2.11-2.14 ดังนี้

$$e_\alpha = Ri_\alpha + L \frac{di_\alpha}{dt} + v_\alpha \quad (2.11)$$

$$e_\beta = Ri_\beta + L \frac{di_\beta}{dt} + v_\beta \quad (2.12)$$

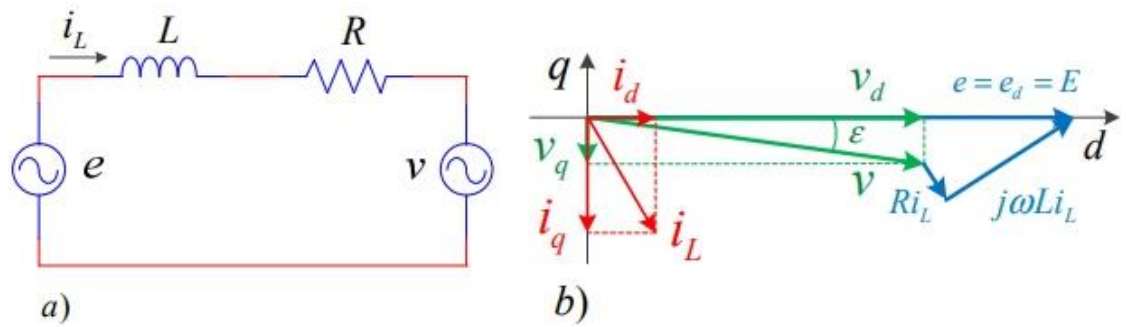
$$e_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} - \omega Li_q + v_d \quad (2.13)$$

$$e_q = Ri_q + L \frac{di_q}{dt} + \omega Li_d + v_q \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

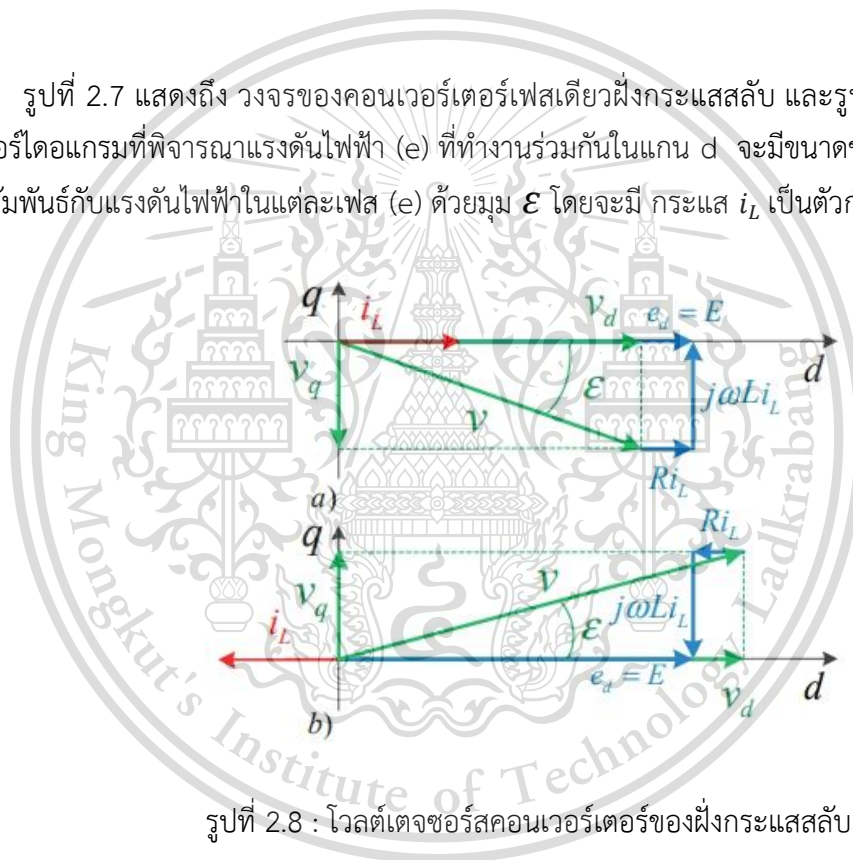
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.7 : โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

รูปที่ 2.7 แสดงถึง วงจรของคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวฝั่งกระแสสลับ และรูปที่ 4b แสดงถึง เวกเตอร์ไดโอดแกรมที่พิจารณาแรงดันไฟฟ้า (e) ที่ทำงานร่วมกันในแกน d จะมีขนาดของแรงดันไฟฟ้า (v) ที่สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส (e) ด้วยมุม ϵ โดยจะมี กระแส i_L เป็นตัวกำหนด



รูปที่ 2.8 : โวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์ของฝั่งกระแสสลับ

(a) ในการเรียงกระแสด้วยยูนิตีเพาเวอร์แฟคเตอร์

(b) ในการกลับกระแสด้วยยูนิตีเพาเวอร์แฟคเตอร์

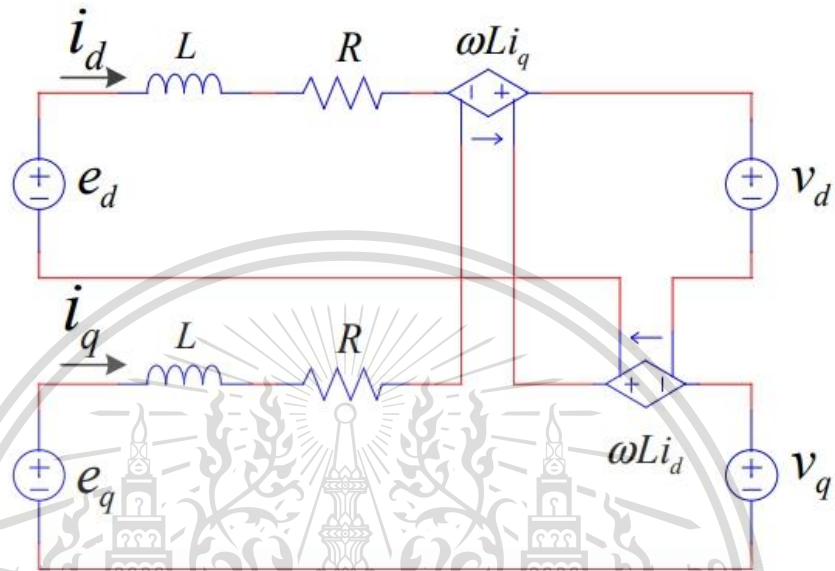
รูปที่ 2.8 แสดงถึงแผนภาพการทำงานของโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานด้วยค่า ประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง (UPF) แบบวงจรเรียงกระแส (a) และแผนภาพการทำงานของโวลต์เตจ คอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานด้วยค่าประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง (UPF) แบบวงจรกลับกระแส (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ทั้งสองกรณีนี้กระแส i_L จะอยู่ในระนาบเดียวกับแรงดัน e (แกน d) โดยที่เมื่อวงจรเรียงกระแสทำงานด้วยค่าประกอบกำลังเท่ากับหนึ่งนั้นแรงดันไฟฟ้า v จะต้องมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้า e และในทางกลับกันเมื่อวงจรกลับกระแสทำงานด้วยค่าประกอบกำลังเท่ากับหนึ่งนั้นแรงดันไฟฟ้า v จะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้า e



รูปที่ 2.9 : แบบจำลองโวลต์เตจเซอร์คอนเวอร์เตอร์สามเฟสของฝั่งกระแสสลับในกรอบอ้างอิง dq

รูปที่ 2.9 แสดงถึงวงจรคอนเวอร์เตอร์ของฝั่งกระแสสลับในกรอบอ้างอิง dq เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2.11-2.14 จะเห็นได้ว่ามีพฤติกรรมที่สอดคล้องกันระหว่างค่าของ d และ q

ส่วนต่อมาคือกำลังไฟฟ้าของกระแสสลับซึ่งจะเป็นกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ตกคร่อมแหล่งจ่ายหรือโหลดของแรงดันไฟฟ้า e สามารถเขียนในระนาบของคาร์ทีเซียนเป็นสมการที่ 2.15-2.16 ได้ดังนี้

$$S_e = (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) + j \frac{1}{\sqrt{3}} (e_{bc} i_a + e_{ca} i_b + e_{ab} i_c) \tag{2.15}$$

$$S_e = P_e + jQ_e \tag{2.16}$$

เมื่อทำการแปลงเป็นกรอบอ้างอิง $\alpha\beta$ และในกรอบอ้างอิง dq จะได้สมการที่ 2.17-2.18 ดังนี้

$$S_e = (e_\alpha i_\alpha + e_\beta i_\beta) + j(e_\beta i_\alpha - e_\alpha i_\beta) \tag{2.17}$$

$$S_e = \frac{3}{2} (e_d i_d + e_q i_q) + j(e_q i_d - e_d i_q) \tag{2.18}$$

ในกรอบอ้างอิง dq และพิจารณาจากค่าของสมการที่ 2.7-2.10 แล้วกำลังไฟฟ้าในสมการที่ 2.17-2.18 สามารถแปลงได้เป็นสมการที่ 2.19-2.21 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังรุ่นแรกที่มีการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง $S_e = \frac{3}{2} (e_d i_d - j e_d i_q)$ อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกา (2.19) ไปใช้

$$P_e = \frac{3}{2} e_d i_d \quad (2.20)$$

$$Q_e = -\frac{3}{2} e_d i_q \quad (2.21)$$

การที่ P_e มีค่าเป็นบวกแสดงถึงแหล่งจ่ายหรือโหลดมีการส่งกำลังไฟฟ้าจริง และหากมีค่าเป็นลบแสดงถึงแหล่งจ่ายหรือโหลดมีการดูดซับกำลังไฟฟ้าจริง ในส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน Q_e จะมีค่าก็ต่อเมื่อ i_q ต้องไม่เท่ากับ 0 หาก Q_e มีค่าเป็นบวกแสดงถึงแหล่งจ่ายหรือโหลดมีการส่งกำลังไฟฟ้าเสมือน และหากมีค่าเป็นลบแสดงถึงแหล่งจ่ายหรือโหลดมีการดูดซับกำลังไฟฟ้าเสมือน

และสามารถอธิบายสมการในด้านของแรงดันคอนเวอร์เตอร์กระแสสลับ (v) ที่เกี่ยวข้องกับสมการ dq ได้สมการที่ 2.22-2.24 ดังนี้

$$S_v = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q + j(v_q i_d - v_d i_q)) \quad (2.22)$$

$$P_v = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q) \quad (2.23)$$

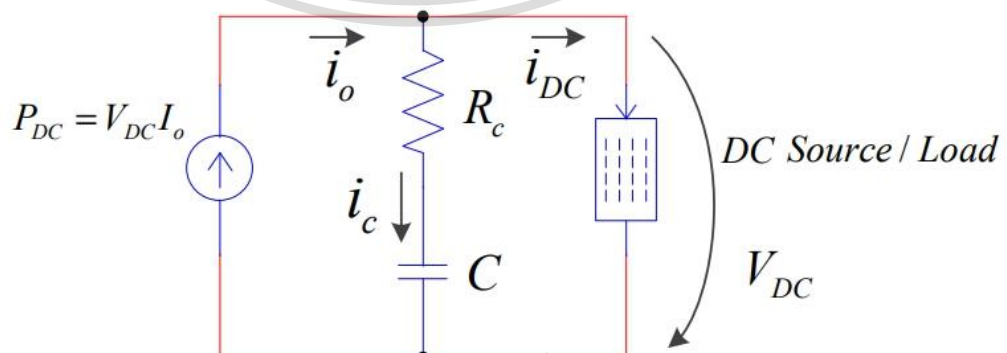
$$Q_v = \frac{3}{2} (v_q i_d - v_d i_q) \quad (2.24)$$

ส่วนต่อมาคือแบบจำลองของคอนเวอร์เตอร์ฝั่งกระแสตรง ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ตกคร่อมคอนเวอร์เตอร์จากฝั่งกระแสสลับและกระแสตรงนั้นจะมีเพียงกำลังไฟฟ้าจริง (P_v) จะไม่มีการสวิตช์ชิ่งหรือความสูญเสียจากตัวนำที่อยู่ในการแปลงกระแส จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงที่อยู่ในคอนเวอร์เตอร์ฝั่งกระแสตรงเป็นสมการที่ 2.25 โดยที่ P_{dc} คือกำลังไฟฟ้าจริงฝั่งกระแสตรง

$$P_v = P_{conv_AC} = P_{conv_DC} = P_{dc} \quad (2.25)$$

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) ขึ้นอยู่กับวงจรของกระแสตรงและกำลังไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนมาจากด้านกระแสสลับ ดังนั้นสามารถอธิบายสมการที่สัมพันธ์กับคอนเวอร์เตอร์ฝั่งกระแสตรงโดยขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายกระแส (I_o) ที่ถูกถ่ายโอนด้วยกำลังไฟฟ้าได้สมการที่ 2.26 ดังนี้

$$P_{dc} = V_{dc} I_o \quad (2.26)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รูปที่ 2.10 : แบบจำลองโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสของฝั่งกระแสตรง

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

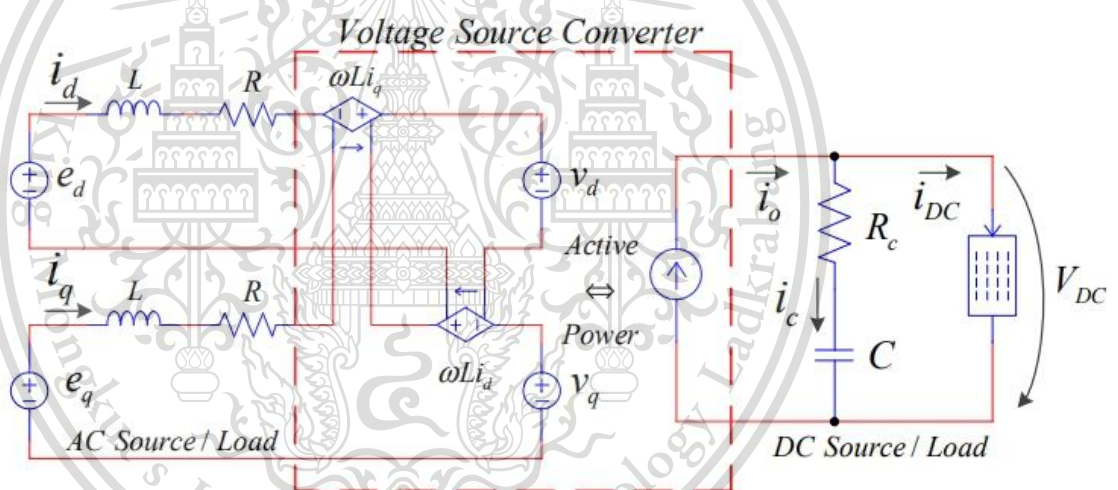
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากวงจรด้านกระแสตรงของรูปที่ 2.11 ประกอบด้วยฟิลเตอร์ขนาดเล็กอย่างตัวเก็บประจุที่เปรียบเสมือนเป็น แหล่งจ่ายหรือโหลดกระแสตรง โดยที่ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นกระแสแปลงกระแสให้เป็นแรงดันเพื่อกำหนดความเสถียรของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและทำหน้าที่เป็นตัวกรองสวิตช์ซึ่งที่สร้างคลื่นความถี่สูงของฮาร์มอนิกจากคอนเวอร์เตอร์ โดยที่ตัวต้านทาน (R_c) จะทำงานร่วมกับตัวเก็บประจุแบบอนุกรมเป็นวงจรสมมูล (Capacitor Equivalent Series Resistance : ESR) การที่ค่าของวงจรสมมูลตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเก็บประจุนั้นมีค่าน้อยสามารถลดความถี่สวิตช์ซึ่งที่ส่งผลต่อแรงดันกรเพื่อ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงดันไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าจริง (P_p) จากสมการที่ 2.22-2.26 จะได้การขับเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงเป็นสมการที่ 2.27 ดังนี้

$$\frac{3}{2}(v_d i_d + v_q i_q) = V_{dc} I_o \quad (2.27)$$

สามารถนำรูปทั้ง 2 รูปที่เป็นวงจรฝั่งกระแสสลับและกระแสตรงมารวมกันจะได้วงจรโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์ดังนี้



รูปที่ 2.11 : แบบจำลองโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟสในกรอบอ้างอิง dq

ในวงจรแบบจำลองโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามารถวิเคราะห์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าที่ทำการแปลงกำลังไฟฟ้าจริงกระแสสลับเป็นกำลังไฟฟ้าจริงกระแสตรง

2.2.3 การควบคุมโวลต์เตจเซอร์สคอนเวอร์เตอร์

กำหนดให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (e) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) เป็นค่าคงที่ ซึ่งมีค่าจากแหล่งจ่ายภายนอกที่ทำงานภายใต้เงื่อนไขสภาพหยุดนิ่ง โดยที่กำหนดให้มีการขับเคลื่อนกำลังไฟฟ้าจริงผ่านคอนเวอร์เตอร์ทิศทางหนึ่ง และกำหนดให้กำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างการถ่ายโอนระหว่างคอนเวอร์เตอร์ด้านกระแสสลับและแหล่งจ่ายหรือโหลดของกระแสสลับมีค่าเป็นศูนย์หรือทำให้เป็นศูนย์พาวเวอร์แฟคเตอร์

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

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

จากสมการที่ 2.19-2.21 กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของค่ากระแส i_d และ i_q ดังนั้นการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าจะต้องสร้างค่าของแรงดัน v_d และ v_q ที่เหมาะสมจากคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ค่าของกระแส i_d และ i_q ตามที่ต้องการดังสมการที่ 2.28-2.29 นี้

$$v_d = e_d - Ri_d - L \frac{di_d}{dt} + \omega Li_q \quad (2.28)$$

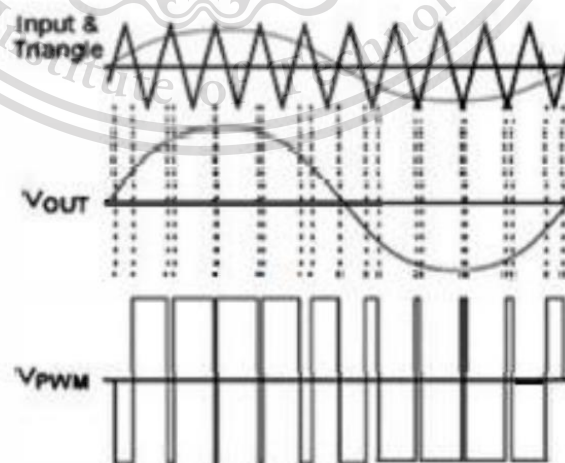
$$v_q = e_q - Ri_q - L \frac{di_q}{dt} + \omega Li_d \quad (2.29)$$

การสร้างแรงดันไฟฟ้าของ และ มาจากระบบของโวลต์เตจเซอร์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ การสวิตชิงความถี่สูงมากกว่าที่ความถี่มูลฐานแรก รวมถึงใช้ทฤษฎีในควิซและการวิเคราะห์ฟูเรียร์เพื่อออกแบบรูปคลื่นที่เหมาะสม แบบจำลองที่ออกแบบต้องใช้วิธีพัลส์วิทมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation : PWM) ร่วมด้วย

2.2.4 ไซนูซอยด์คอลลพัลส์วิทมอดูเลชัน (Sinusoidal Pulse Width Modulation : SPWM)

พัลส์วิทมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation : PWM) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์โดยการเปลี่ยนรอบการทำงานของพัลส์และ ได้รับความนิยมน้อยมากในอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าเนื่องจากมีวงจรที่เรียบง่ายและเทคนิคการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ไซนูซอยด์คอลลพัลส์วิทมอดูเลชัน นั้นมีพัลส์ที่แอมพลิจูดเป็นคงที่ แต่รอบการทำงานจะเปลี่ยนไปตามสัดส่วนของแอมพลิจูดของคลื่นไซน์เมื่อพิจารณาที่จุดศูนย์กลางของพัลส์เดียวกัน

ไซนูซอยด์คอลลพัลส์วิทมอดูเลชัน ถูกสร้างขึ้นโดยการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์อ้างอิงของความถี่ที่ต้องการและสัญญาณรูปสามเหลี่ยมของแคเรียร์ ที่มีความถี่สูงผ่านคอมพาราเตอร์ คอมพาราเตอร์จะให้ค่าสถานะที่หนึ่งเมื่อเอาต์พุตสัญญาณของแคเรียร์เกินค่าอ้างอิง และให้ค่าสถานะที่สองเมื่อแรงดันอ้างอิงเกินแรงดันไฟฟ้าของแคเรียร์ดังแสดงในรูปที่ 16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.12 : การสร้างไซนูซอยด์คอลลพัลส์วิทมอดูเลชัน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

วิธีการทั่วไปในวงจรอนุบาล็อกจะใช้ในการสร้างสัญญาณรูปไซน์และรูปสามเหลี่ยมพร้อมกับคอมพาราเตอร์ที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่สร้างขึ้นและสร้างไขนุชอยด์คอลลพัลซ์วิทมอดูเลชัน แต่ยังคงมีข้อเสียที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่านี้คือการขาดความยืดหยุ่นการควบคุมวงปิดที่ยุงยากซับซ้อน จึงต้องใช้พื้นที่มากขึ้นและความซับซ้อนมากขึ้น

2.2.5 เทคนิคการมอดูเลชัน (Modulation Techniques)

มอดูเลชันอินเด็กซ์ (The M Index)

ช่วงของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกสร้างโดยโวลต์เดจซอร์สคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญอยู่ 2 ตัวแปรคือวงจรของโวลต์เดจซอร์สคอนเวอร์เตอร์และเทคนิคการมอดูเลชันที่นำมาใช้ สมการที่ 2.31 จะแสดงถึงค่าของมอดูเลชันอินเด็กซ์ (M) โดยที่มอดูเลชันอินเด็กซ์นั้นจะเป็นตัวกำหนดสำคัญในการกำหนดค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (v) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) ที่สัมพันธ์กันด้วยค่าของแอมพลิจูดดังนี้

$$M = \frac{\pi}{2} \left(\frac{v}{V_{dc}} \right) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\sqrt{v_d^2 + v_q^2}}{V_{dc}} \right) \quad (2.30)$$

สมการที่ 2.30 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) นั้นมักจะมีค่ามากกว่าแรงดันเฟสพีค ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะเปรียบเสมือนทำงานเป็นวงจรเรียงกระแสแบบบัสต์หรือวงจรกลับกระแสแบบบัสต์

โดยทฤษฎีแล้วค่าของมอดูชันอินเด็กซ์นั้นสามารถมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งเมื่อค่าของมอดูชันอินเด็กซ์เข้าใกล้ 0 แสดงถึงค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (v) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) มีค่าแอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กันสูง และเมื่อค่าของมอดูชันอินเด็กซ์เข้าใกล้ 1 แสดงถึงความสามารถในการแปลงแรงดันไฟฟ้าในย่านเชิงเส้นสูงสุด โดยที่ค่าสูงสุดมอดูชันอินเด็กซ์ที่อยู่ในย่านเชิงเส้นของวิธีการไขนุชอยด์คอลลพัลซ์วิทมอดูเลชัน (SPWM) มีค่าเท่ากับ 0.7854 ตามสมการที่ 2.31 และค่าสูงสุดมอดูชันอินเด็กซ์ที่อยู่ในย่านเชิงเส้นของวิธีการสเปชเวกเตอร์มอดูเลชัน (SVM) มีค่าเท่ากับ 0.9069 ตามสมการที่ 2.32

$$M_{max,SPWM} = \frac{\pi}{4} = 0.7854 \quad (2.31)$$

$$M_{max,SVM} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.9069 \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หากค่าของมอดูชันอินเด็กซ์เกินค่าสูงสุดในย่านเชิงเส้น หรือการที่คอนเวอร์เตอร์ทำงานในช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน (Overmodulation) โดยปกติแล้วการทำงานในย่านโอเวอร์มอดูเลชันนั้นจะ

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

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

ไม่นิยมนำมาใช้งานเนื่องด้วยปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยคือเมื่อค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (v) มีการเปลี่ยนแปลงจะไม่ส่งผลต่อค่าของแรงดันไฟฟ้าในกระแสตรง (V_{dc}) และก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกความถี่ต่ำในแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.6 การควบคุมกระแสไฟฟ้า (The Current Control)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมกระแสไฟฟ้าคือการสร้างกระแสไฟฟ้าในสายส่งอย่าง i_d และ i_q เพื่อให้มีค่าตามกระแสไฟฟ้าอ้างอิงทั้ง i_d^* และ i_q^* การใช้งานในกรอบอ้างอิง dq แสดงให้เห็นถึงการส่งค่าคู่ควบทั้งสองระหว่างปริมาณของค่า d และ q ในโวลต์เตจเซอร์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นหากต้องการใช้งานที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่งเป็นหลัก (มักจะเป็นค่า i_d) ระบบจะต้องมีการป้องกันในการแยกองค์ประกอบระหว่าง i_d และ i_q อย่างชัดเจนเพื่อรับประกันประสิทธิภาพการทำงานที่มีพลวัตสูง

สำหรับการใช้งานที่ต้องการประสิทธิภาพสูงนั้นจำเป็นต้องมีการใช้งานของ วิธีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าให้มีค่าตามกระแสไฟฟ้าอ้างอิง (Current Tracking) และใช้วิธีการแยกองค์ประกอบเพื่อทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าของ i_d และ i_q ที่มีต่อกันน้อยมากด้วยวงจรควบคุมแบบพีไอ (Decoupled PI-type Controller) จากสมการที่ 2.29-2.30 จะได้สมการของคอนโทรลเลอร์ดังสมการที่ 2.33-2.34 นี้

$$v_d = e_d - Ri_d + \omega Li_q - \Delta v_d \quad (2.33)$$

$$v_q = e_q - Ri_q - \omega Li_d - \Delta v_q \quad (2.34)$$

โดยที่ Δv_d และ Δv_q เป็นการควบคุมของคอนโทรลเลอร์แบบพีไอดังสมการที่ 2.35-2.36 นี้

$$\Delta v_d = k_p (i_d^* - i_d) + k_i \int (i_d^* - i_d) dt \quad (2.35)$$

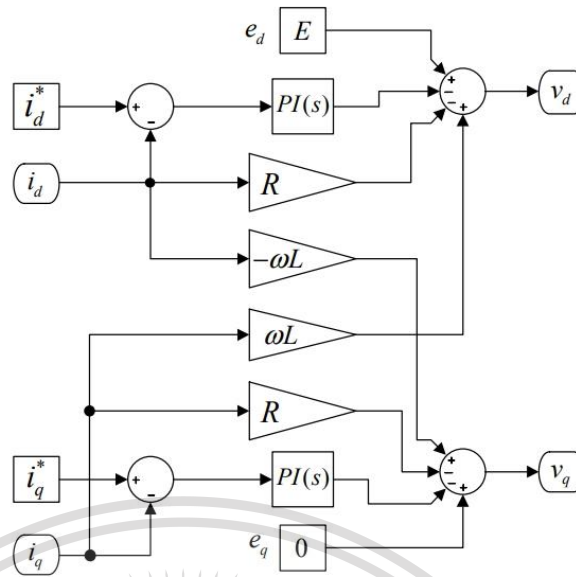
$$\Delta v_q = k_p (i_q^* - i_q) + k_i \int (i_q^* - i_q) dt \quad (2.36)$$

วิธีการแยกองค์ประกอบระหว่างค่าของ i_d และ i_q ที่มีต่อกันอย่างเหมาะสมของระบบควบคุมกระแสไฟฟ้านั้นจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 คอนโทรลเลอร์จะได้รับการวัดค่าของกระแสไฟฟ้า i_d และ i_q จากคอนเวอร์เตอร์ หลังตานั้นจะสร้างแรงดันไฟฟ้าขาออก v_d และ v_q ซึ่งเป็นอินพุตของเวอร์เตอร์ ระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าที่เป็นส่วนในการแยกองค์ประกอบระหว่างค่าของ i_d และ i_q คือ $-\omega Li_d$ และ $+\omega Li_q$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

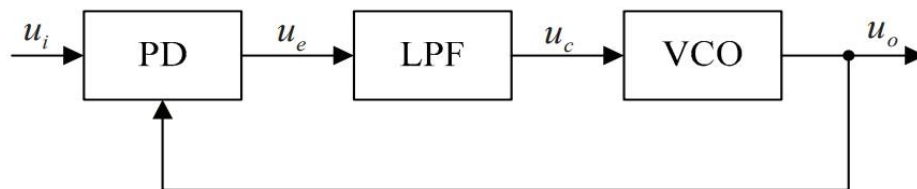


รูปที่ 2.13 : วิธีการแยกองค์ประกอบระหว่างค่าของ i_d และ i_q ที่มีต่อกันของระบบควบคุมกระแสไฟฟ้า สำหรับโวลต์เตจซอร์สคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

2.2.7 เฟสล็อกกลูป (Phase-Locked Loop: PLL)

เฟสล็อกกลูปเป็นระบบควบคุมโดยสร้างสัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับเฟสที่นำมาพิจารณา เฟสล็อกกลูปจะประกอบไปด้วย เครื่องตรวจจับเฟส (Phase Detector : PD) ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-pass Filter : LPF) และ ออสซิลเลเตอร์ความถี่ที่ควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Voltage Controlled Oscillator : VCO) โดยแต่ละอย่างมีหน้าที่ดังนี้

เครื่องตรวจจับเฟส ทำหน้าที่เปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเฟสของ VCO เพื่อสร้างสัญญาณที่ผิดพลาด ตัวกรองความถี่ต่ำ ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้า (u_e) ที่ผ่านเครื่องตรวจจับเฟสมาแล้ว ให้มีความซ้ารวมถึงขยายสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าให้เป็นมิติเดียว และใช้แรงดันไฟฟ้าที่กระแสตรงเพื่อควบคุมวงจรรองของความถี่ใน VCO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการเรียนการสอน ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

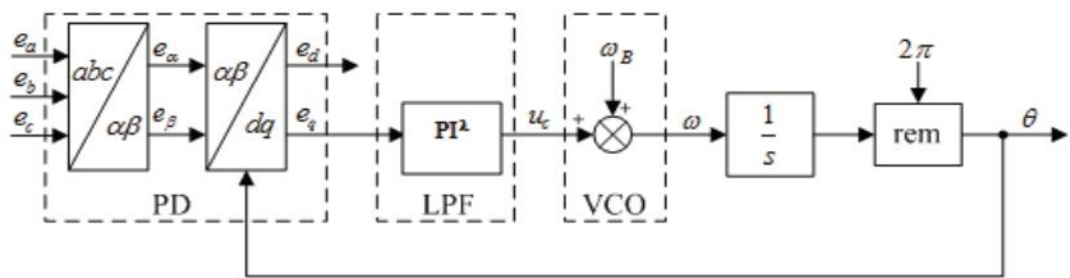
รูปที่ 2.14 : บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกกลูป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การนำเฟสล็อกกลูปมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถอธิบายได้โดยรูปไดอะแกรมที่ 2.14 ดังนี้



รูปที่ 2.15 : ไดอะแกรมเฟสล็อกกลูปในระบบไฟฟ้าสามเฟส

ระบบหยุดนิ่งของระบบสามเฟสที่ถูกแปลงด้วยคลาร์กทรานส์ฟอร์ม และพาร์กทรานส์ฟอร์ม ให้เป็นการเคลื่อนที่แบบซิงโครนัสในกรอบอ้างอิง dq ตัวกรองความถี่ต่ำควบคุมด้วยวงจรถวล PI^2 ความถี่เชิงมุมของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (ω_B) จะใช้ เป็นความถี่เชิงมุมหลักในการควบคุมการออสซิลเลต โดยที่ θ คือมุมที่เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2π ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าสามเฟสจากแหล่งจ่ายจะได้สมการที่ 2.37-2.39 ดังนี้

$$e_a = E_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.37)$$

$$e_b = E_m \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.38)$$

$$e_c = E_m \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (2.39)$$

จากนิยามเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสสามารถเขียนแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายในรูปของเวกเตอร์มูลฐานของแหล่งจ่าย (E) ดังสมการที่ 2.40 นี้

$$E = \frac{2}{3} \left(e_a + e_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + e_c e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) = E_m e^{j(\omega t + \varphi)} \quad (2.40)$$

สมการที่ 2.37-2.39 แสดงว่าได้ค่ามุมของเวกเตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคือ $\theta^* = \omega t + \varphi$ แรงดันไฟฟ้าที่วัดในกรอบอ้างอิง dq สามารถแสดงได้ด้วยค่าของ e_d และ e_q ดังสมการที่ 2.41-2.42 นี้

$$e_d = E_m \cos(\theta^* - \theta) \quad (2.41)$$

$$e_q = E_m \sin(\theta^* - \theta) \quad (2.42)$$

โดยสมการที่ 2.41-2.42 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้า e_q และเฟสล็อกกลูปจะทำการหาค่าเบี่ยงเบนของมุมที่แตกต่างกันคือ $\theta_e = \theta^* - \theta$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่าของ e_q จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของเฟสล็อกซึ่งเฟสล็อกกลูปจะทำงานสมบูรณ์คือค่าของ $\theta^* = \theta$ จึงจะได้ค่า $e_q = 0$ แต่เมื่อค่าของ $\theta^* \neq \theta$ ส่งผลให้ $e_q \neq 0$ แสดงว่าเฟสล็อกกลูปทำการล็อกเฟสผิดพลาด ดังนั้น PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

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

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

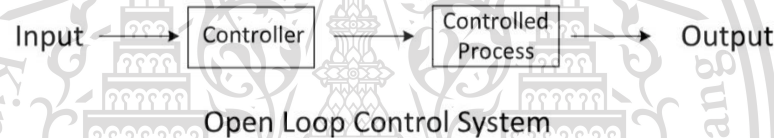
คอนโทรลเลอร์ในเฟสล็อกจะสร้างสัญญาณควบคุม u_c เพื่อปรับแก้ระดับมุมความถี่ของแรงดันจากแหล่งจ่ายจนกระทั่งได้ค่า $\theta = \theta^*$

2.2.8 ระบบควบคุม (Control System)

การควบคุมระบบหรือสิ่งที่ยู่ออกแบบนั้นต้องการควบคุมให้ได้ค่าผลลัพธ์ หรือผลตอบสนองในรูปแบบของเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งทำได้ด้วยการป้อนค่าอินพุตให้กับระบบ ประเภทของระบบควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) และระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

2.2.8.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

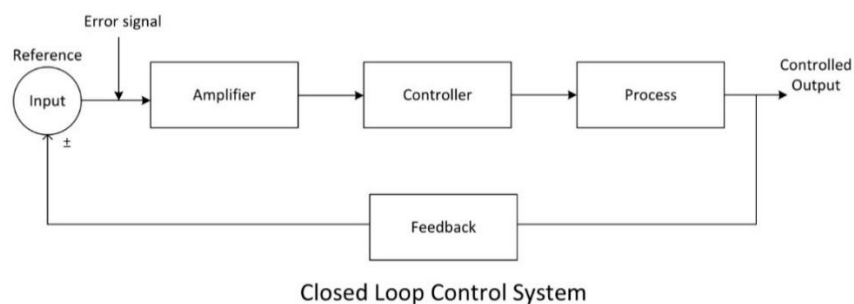
เป็นระบบควบคุมที่มีการป้อนอินพุตให้กับระบบและได้เอาต์พุต โดยไม่มีการนำสัญญาณป้อนกลับมาที่ระบบใหม่ ส่งผลให้เอาต์พุตหรือผลลัพธ์จะไม่มีผลต่อการดำเนินการควบคุมของระบบควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 2.16 : บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมเปิด

2.2.8.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

เป็นระบบควบคุมที่มีการป้อนอินพุตและมีการนำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองหรือสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ อาจจะมีวงจรการป้อนกลับสัญญาณเข้าสู่ระบบได้มากกว่า 1 วงจร ซึ่งระบบควบคุมแบบปิดจะสร้างสัญญาณที่ผิดพลาดที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างอินพุตและเอาต์พุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.17 : บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมปิด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.8.3 การควบคุมแบบพีคอนโทรลเลอร์ (P Controller)

เป็นการควบคุมโดยกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุม หรือคือการกำหนดสัดส่วนเอาต์พุตต่ออินพุต การควบคุมแบบพีจะควบคุมเฉพาะค่าสัดส่วนอัตราขยาย (Proportional Gain) เพียงอย่างเดียวในกรณีที่ค่าอัตราขยายมาก จะทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงได้เร็ว ส่งผลให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่ง ขณะเดียวกันเมื่อค่าอัตราขยายมีค่าน้อยจะทำให้ระบบเกิดสภาวะ Offset โดยสมการค่าสัดส่วนของระบบพีคอนโทรลเลอร์หาได้จากสมการ 2.43

$$\Delta \text{output} \propto \Delta \text{input}$$

$$K_p = \frac{\Delta \text{output}}{\Delta \text{input}} \quad (2.43)$$

เมื่อ K_p คือค่าคงที่ หรืออัตราขยายและสามารถเรียกว่าเป็นอัตราขยายของตัวควบคุม ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าอินพุตที่ป้อนเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้อาต์พุตแปรผันตาม โดยอินพุตคือค่ากระบวนการ (Process Variable) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) จะได้เป็นค่าคลาดเคลื่อน (Error) ซึ่งจะนำเข้าไปเป็นค่าอินพุตในการคำนวณแบบสัดส่วน (Proportional) ดังนั้นจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและเอาต์พุต



รูปที่ 2.18 : บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีแบบวงปิด

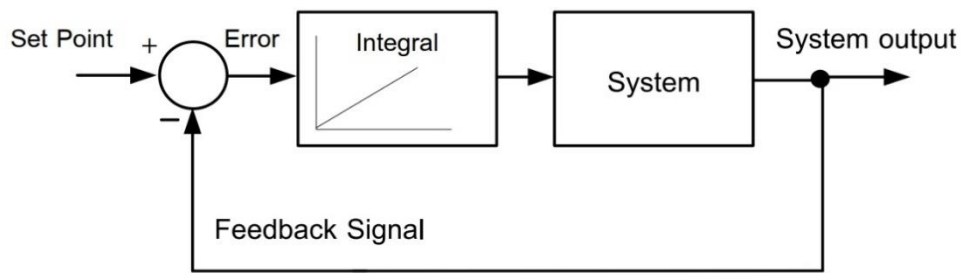
2.2.8.4 การควบคุมแบบไอ (Integral)

การควบคุมแบบไอหรือการควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral) ใช้หลักการทำงานคือการให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่อง ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็น 0 การทำงานแบบปริพันธ์จะทำกาเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุต เพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจนกว่าอินพุตจะมีค่าเป็น 0 การทำงานแบบปริพันธ์จึงจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตอีก และเอาต์พุตจะหยุดอยู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

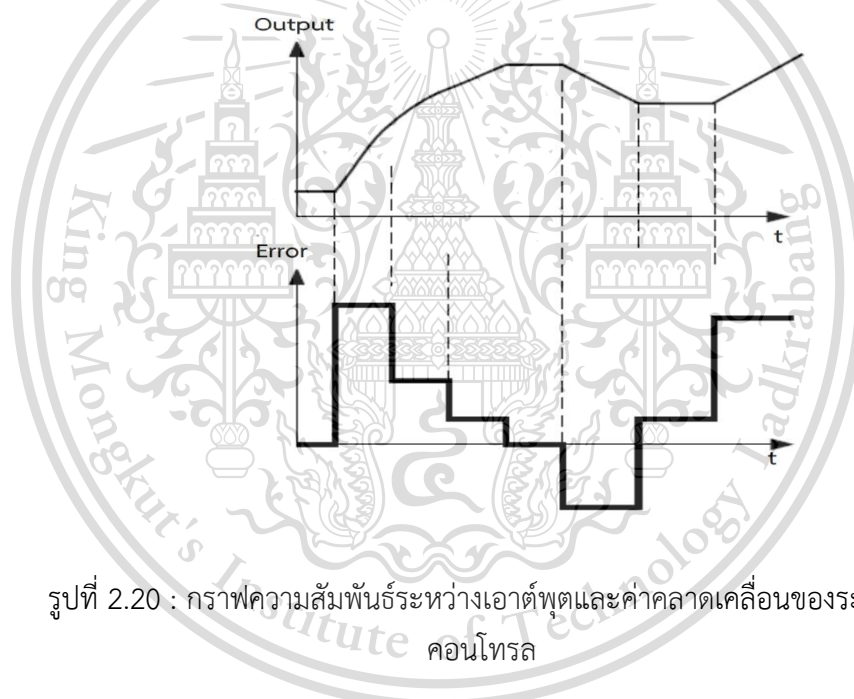
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.19 : บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมไอบางวงปิด

สัญลักษณ์ของบล็อกไดอะแกรมจะเป็นสัญญาณที่มีความลาดชัน คือสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมแบบ ปริพันธ์ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเป้าหมาย (Set Point) เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันที เอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที แต่เอาต์พุตจะค่อยๆเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.20 : กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและค่าคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมไอบคอนโทรล

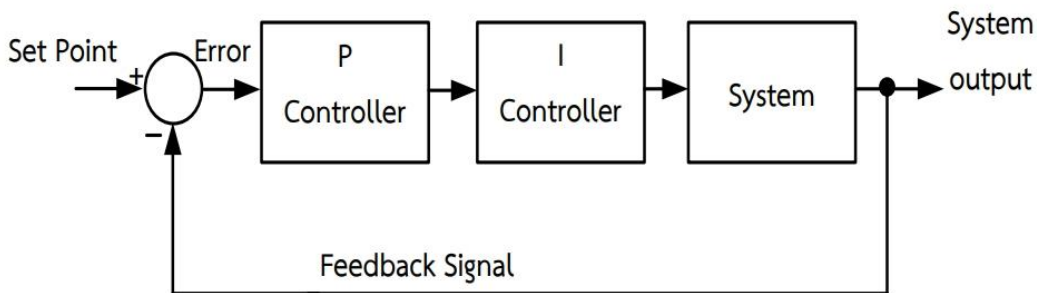
2.2.8.5 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional Plus Integral)

การควบคุมแบบพีไอ คือการนำเอาวิธีควบคุมแบบพีและไอมาใช้ร่วมกันโดยเพิ่มความสามารถของการควบคุมให้มีเสถียรภาพมากขึ้น ในส่วนของการควบคุมแบบพีไอสามารถต่อบล็อกไดอะแกรมได้ 2 แบบ คือ การต่ออนุกรม (Serial Connection) โดยผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมพีและไอ คูณกัน และการต่อแบบขนาน (Parallel Connection) ผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมมาบวกกันดังภาพ

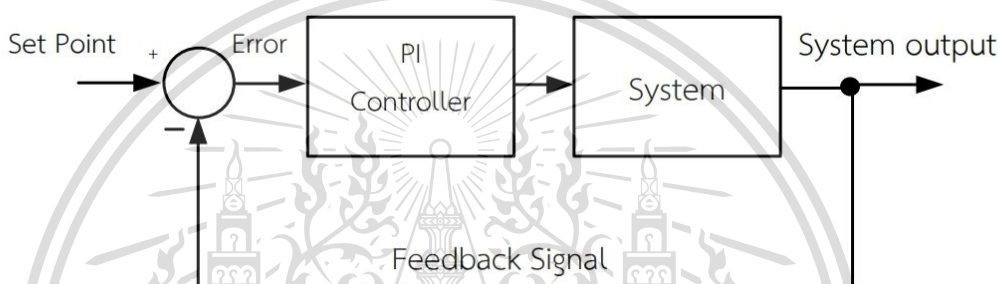
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้สำหรับอาจารย์และบุคลากรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

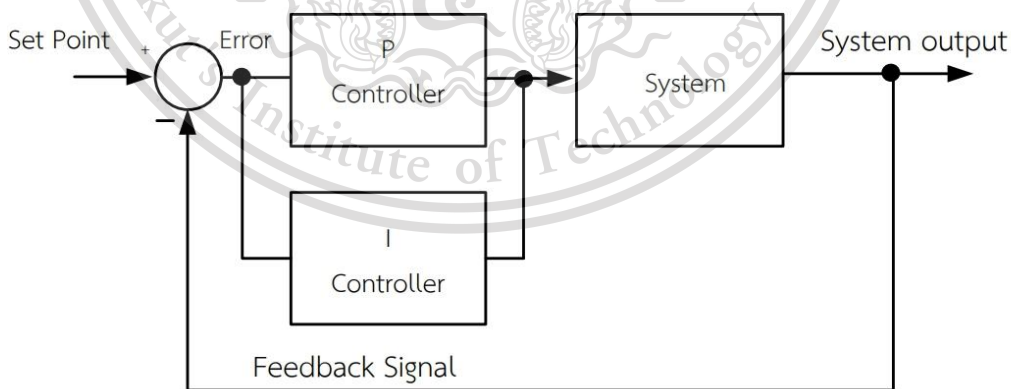
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 : การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบอนุกรม



รูปที่ 2.22 : บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอคอนโทรล

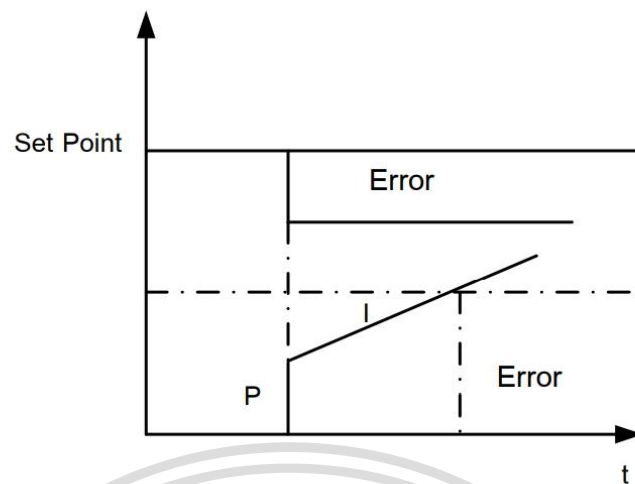


รูปที่ 2.23 : การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.24 : กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอคอนโทรล

จากภาพแสดงถึงกราฟสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม โดยเริ่มต้นเป็นเส้นตรงซึ่งจะเป็นผลของการควบคุมแบบพี และในกราฟส่วนที่ลาดชันจะเป็นผลของการควบคุมแบบไอ ซึ่งการควบคุมแบบพีไอทำให้การควบคุมเข้าสู่ Set Point ได้รวดเร็ว นั่นคือผลของการปรับค่าพีและไอ โดยการปรับค่าพีช่วยแก้ไขปัญหาค่าชดเชย (Offset) และการปรับค่าไอจะช่วยลดการแกว่งของระบบ (Oscillation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.9 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)

วงจรบักคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรลดทอนระดับ เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สมบูรณ์จึงมีวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass Filter) ประกอบไปด้วย โดยปกติมักจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC เนื่องด้วยมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ และพหุคูณกำลังสองของความถี่ที่กรอง

หากวิเคราะห์การทำงานของบักคอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว (Steady State) จะมีเงื่อนไขการทำงานของบักคอนเวอร์เตอร์ดังนี้

1.) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากัน หรือมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งเดียวกันในทุกคาบเวลา

$$i_L(t+T) = i_L(t) \quad (2.44)$$

2.) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-second) ในแต่ละคาบเวลาจะมีค่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.45)$$

3.) กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือประจุที่ถูกเก็บ (Charged) และที่คาย (Discharged) ของตัวเก็บประจุนั้นในแต่ละคาบเวลาจะต้องเท่ากัน

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_C(t) dt = 0 \quad (2.46)$$

4.) กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก เนื่องจากกรณีนี้อุปกรณ์ทุกตัวจะกำหนดให้เป็นอุดมคติ ทำให้ไม่มีการสูญเสียและวงจรจะมีประสิทธิภาพของวงจรเท่ากับหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

$$P_s = P_o \quad (2.47)$$

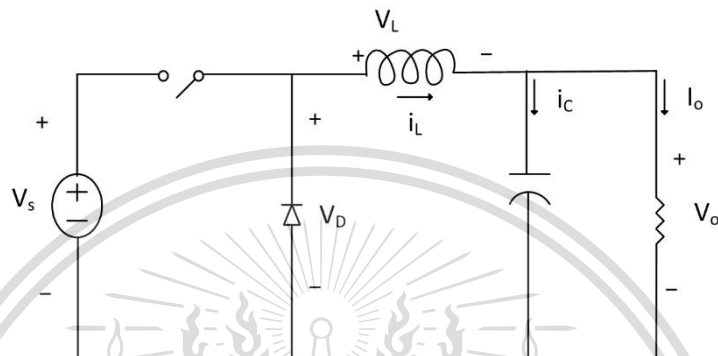
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.9.1 หลักการทำงานของวงจรรีบักคอนเวอร์เตอร์

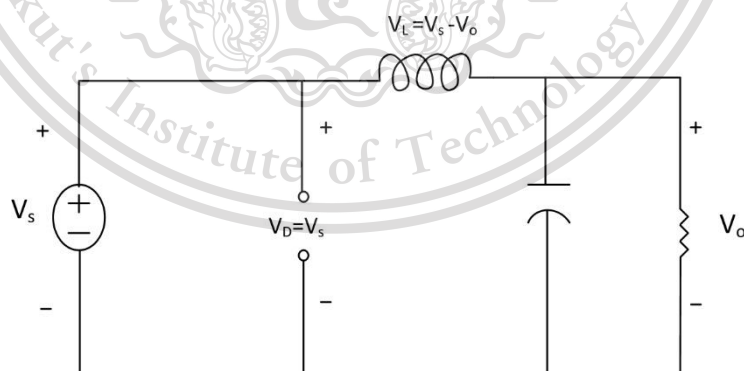
การทำงานของบักคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกตามที่ต้องการ คือต้อง ออกแบบโดยเริ่มจากเงื่อนไขที่แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับ ศูนย์ หลังจากนั้นจะสามารถคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์การ ทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดดังนี้



รูปที่ 2.25 : วงจรรีบักคอนเวอร์เตอร์

กรณีขณะสวิตช์นำกระแส

รูปที่ 2.25 แสดงถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่าย กระแสไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่าน สวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำและไปยังโหลด โดยที่กระแสส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.26 : วงจรรวมมูลขณะสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.48)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.49)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.50)$$

หาก dt อยู่ในช่วงเวลานำกระแสคือ dt = DT

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.51)$$

กรณีขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.27 : วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward-bias) ให้นำกระแสทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$v_L = -V_o \quad (2.52)$$

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.53)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.54)$$

สมการที่ 2.54 แสดงถึงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ dt ในที่นี้ที่อยู่ในกรณีของช่วงเวลาหยุดนำกระแสคือ dt = (1-D)T ดังนั้นจากสมการที่ 2.55 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ $\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T$ (2.55)

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

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

2.2.9.2 การหาค่าอัตราขยายแรงดัน

จากเงื่อนไขที่กำหนดในสมการที่ 2.45 หากในช่วงสภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแส จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส จึงกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ จึงสามารถอธิบายสมการที่ 2.51 และสมการที่ 2.55 ได้ใหม่ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.56)$$

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT + \left(-\left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T\right) = 0 \quad (2.57)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.58)$$

ในสมการที่ 2.59 อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า D วงจรบückคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า D โดยการปรับค่าของ D นั้นสามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง หรือเรียกว่าอัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) สามารถทำได้อีกวิธีเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขที่สมการของแรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์จะได้ว่า

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.59)$$

$$V_{L,av} = (V_s - V_o)(t_{on}) + (-V_o)(t_{off}) = 0 \quad (2.60)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.61)$$

เมื่อ $V_{L,av}$ คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

$v_{L,on}$ คือ แรงดันเฉลี่ยตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

$v_{L,off}$ คือ แรงดันเฉลี่ยตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

2.2.9.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด

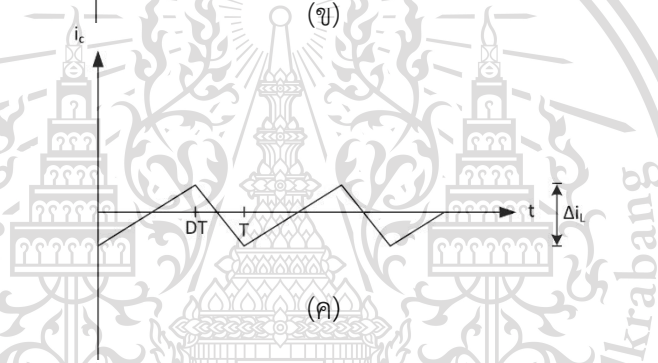
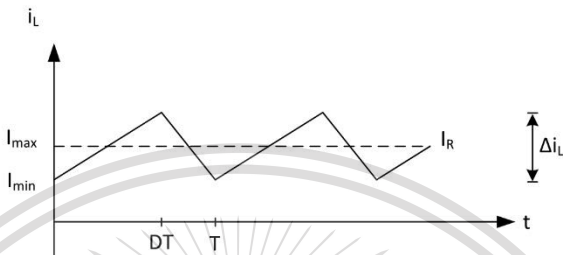
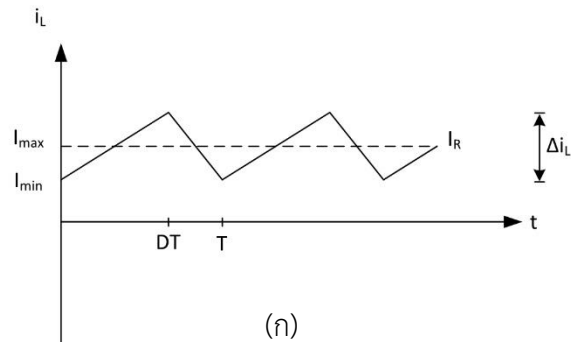
การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจะส่งผลให้วงจรบückคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เมื่ออยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์จะได้

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.28 : รูปคลื่นการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ
(ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

รูปที่ 2.28 จะสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำที่สุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.63)$$

$$I_{L,max} = V_o \left(\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.64)$$

ดังนั้นกระแสตัวเหนี่ยวนำต่ำสุดคือ

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.65)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $I_{L,min}$ ก็คือ $\frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_o}{L} (1-D) T \right)$ มิฉะนั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า (2.66)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา $I_{L,min} = V_o \left(\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right)$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกา $\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}$ ไปใช้ (2.67)

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

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

เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง ต้องเป็นกระแสบวกเสมอ จากสมการที่ 2.68 สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิทซ์ และหาก $I_{L,min}$ เท่ากับศูนย์หมายถึงเป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจะได้ว่า

$$I_{L,min} = 0 = V_o \left(\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.68)$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.69)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{min}} \quad (2.70)$$

สามารถเลือกออกแบบค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดได้สองแนวทางคือ แนวทางที่หนึ่งคือการทำให้สมการที่ 2.70 มีความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดนั้นมีค่าน้อยที่สุดโดยการทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง หรือการทำให้ค่าความต้านทานของโหลดมีค่าน้อยๆ แต่อาจก่อให้เกิดผลกระทบเมื่อกระแสโหลดมีค่าสูง และในอีกหนึ่งแนวทางนั้นคือการทำให้ความถี่สวิทซ์เพิ่มขึ้น

ในส่วนของสมการที่ 2.71 ใช้สำหรับการพิจารณาหาความถี่สวิทซ์ที่เหมาะสมเมื่อตัวเหนี่ยวนำ ถูกกำหนดค่าแล้ว

2.2.9.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก

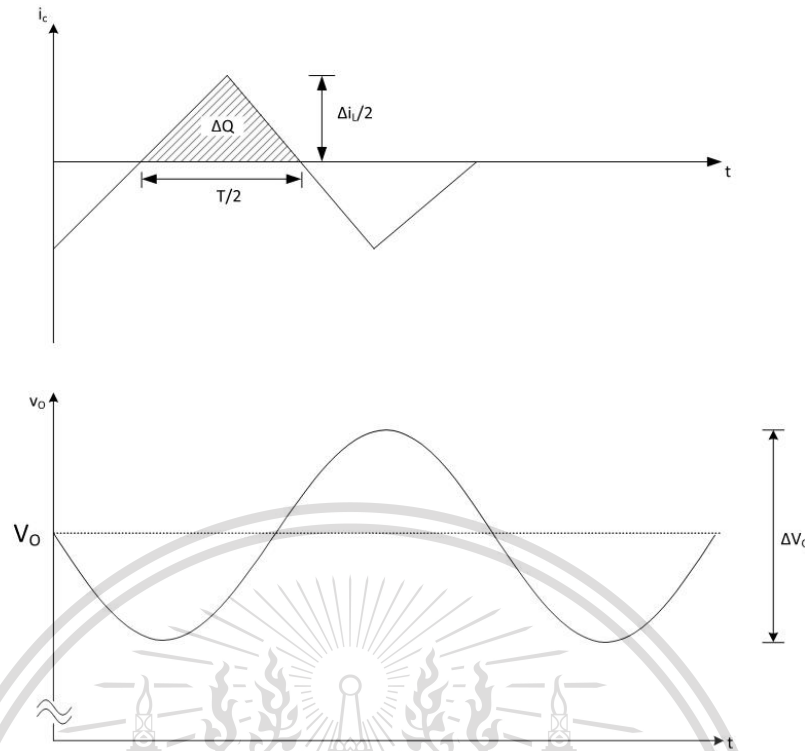
ส่วนมากวงจรของบักคอนเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC และมักจะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่แต่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสมและให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าขาออก สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสของตัวเก็บประจุดังนี้

$$i_C = i_L - i_R \quad (2.71)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.29 : รูปคลื่นการทำงานของวงจรขับเคลื่อนเวอร์เตอร์ (ก) กระแสตัวเก็บประจุ

(ข) ะลอกคลื่นแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุจะสะสมประจุ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = CV_o \quad (2.72)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.73)$$

เมื่อ ΔQ คือ ค่าประจุที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ

ΔV_o คือ ค่าระลอกของแรงดันไฟฟ้าด้านขั้วออกที่เปลี่ยนแปลงน้อยๆ ระหว่างยอดถึงยอด

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.74)$$

และ ΔQ คือ พื้นที่สามเหลี่ยมที่เกิดจากกระแสตัวเก็บประจุคูณกับเวลาจะได้

แทนค่าสมการที่ 2.74 ลงในสมการที่ 2.73 จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.75)$$

หากแทนค่า $\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_o}{L} \right) (1 - D) T$ (เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดแล้ว) จากสมการที่ 2.55 ลงในสมการที่ 2.75 จะได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta V_o = \frac{T}{8C} \left(\frac{V_o}{L} \right) (1 - D) T \quad (2.76)$$

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

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

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T}{8C} \left(\frac{1}{L}\right) (1-D)T \quad (2.77)$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.78)$$

จากสมการที่ 2.78 คือค่าอัตราระลอกคลื่น (Ripple Ratio) มักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าของกระแหวายอดถึงยอดกับค่าของแรงดันไฟฟ้าขออก การทำให้อัตราระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์มีค่าน้อยลง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความเรียบมากขึ้น สามารถเลือกแนวทางในการทำให้สมการที่ 2.78 มีค่าน้อยได้คือ การทำให้ค่า D มีค่าเข้าใกล้หนึ่งหรือการเพิ่มค่าความเหนียวนำ ตัวเก็บประจุรวมถึงความถี่ในการสวิตซ์ให้มากขึ้น

กำลังไฟฟ้าของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้กำลังจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เมื่อกำหนดให้เป็นกรณีอุดมคติหรือมีการสูญเสียเป็นศูนย์จะได้

$$P_s = P_o \quad (2.79)$$

เมื่อ P_s คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้กำลัง

P_o คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลด

2.3 ulyนต์ไฟฟ้ (Load) ส่วนนี้จะทำการจำลองโดยใช้เป็นเพียงรูปแบบของแบตเตอรี่ของ ulyนต์ไฟฟ้ ulyนต์ไฟฟ้ นั้นจะได้รับพลังงานโดยตรงจากแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ ซึ่งไม่ได้ใช้ แบตเตอรี่เพียงก้อนเดียวแต่จะเป็นในรูปแบบของการแพ็คต่อกันที่ประกอบด้วยเซลล์หลายพันเซลล์ ทำงานร่วมกัน เมื่อรถชาร์จไฟขึ้นไฟฟ้จะถูกใช้เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่ เมื่อ ulyนต์ไฟฟ้ขับเคลื่อนอยู่บนท้องถนนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้จะเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้ให้กับ ulyนต์ไฟฟ้ แต่ในกรณีของ ulyนต์ปกติทั่วไปจะใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อให้ได้รับพลังงาน จากการเผาไหม้น้ำมันเบนซินหรือดีเซล

แบตเตอรี่ ulyนต์ไฟฟ้เมื่อผ่านรอบของ การคายประจุ ที่จะเกิดขึ้นขณะขับเคลื่อน ulyนต์ไฟฟ้ และทำการชาร์จ การเกิดขึ้นครั้งแล้วครั้งเล่าของขั้นตอนเหล่านี้ในช่วงเวลาหนึ่งจะส่งผลต่อปริมาณ การชาร์จที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บได้ ซึ่งจะลดประสิทธิภาพของระยะทางในการเดินทางและเวลาที่ ต้องใช้ระหว่างการชาร์จแต่ละครั้ง ผู้ผลิตส่วนใหญ่มีการรับประกันแบตเตอรี่ 5-8 ปี แต่ตามการ คาดการณ์ในปัจจุบันคือแบตเตอรี่ ulyนต์ไฟฟ้จะมีอายุการใช้งาน 10 - 20 ปีก่อนที่จะต้องถูกเปลี่ยน

วิธีที่แบตเตอรี่และมอเตอร์ไฟฟ้ของ ulyนต์ทำงานร่วมกันนั้นคือการที่แบตเตอรี่เชื่อมต่อกับ มอเตอร์ไฟฟ้หนึ่งตัวหรือมากกว่าซึ่งจะทำการขับเคลื่อนล้อ เมื่อผู้ใช้งานกดคันเร่ง ulyนต์ไฟฟ้จะ ulyนต์ไฟฟ้จะจ่ายพลังงานไปยังมอเตอร์ทันทีซึ่งจะคอยๆเผาผลาญพลังงานที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สงวนไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ความจุของแบตเตอรี่มักจะแสดงในรูปของ กิโลวัตต์ชั่วโมง (A kilowatt-hour : kWh) คือหน่วยของพลังงานซึ่งพลังงานนั้นจะถูกใช้งานไปมากแค่ไหนต่อหนึ่งชั่วโมง และหน่วยของ กิโลวัตต์ (Kilowatts : kW) เป็นหน่วยของกำลังไฟฟ้าที่อธิบายถึงอุปกรณ์นี้ต้องใช้พลังงานเท่าไรในการทำงาน หากแบตเตอรี่ระบุไว้ว่า 100W, 1 Hour, 0.1kWh แสดงว่าแบตเตอรี่ 100 วัตต์นั้นจะใช้พลังงาน 0.1 กิโลวัตต์ต่อ 1 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

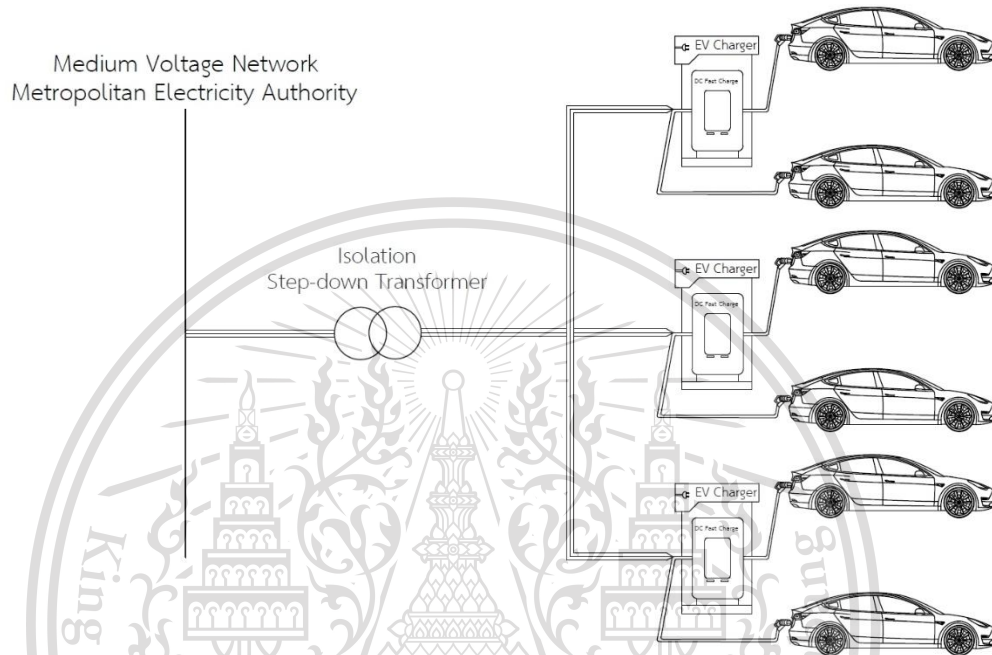
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

บทที่ 3

การออกแบบจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

โครงการงานวิศวกรรมนี้ทำการศึกษาการออกแบบและจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยที่ตู้อัดประจุไฟฟ้ามีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging)



รูปที่ 3.1 : รูปแบบการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

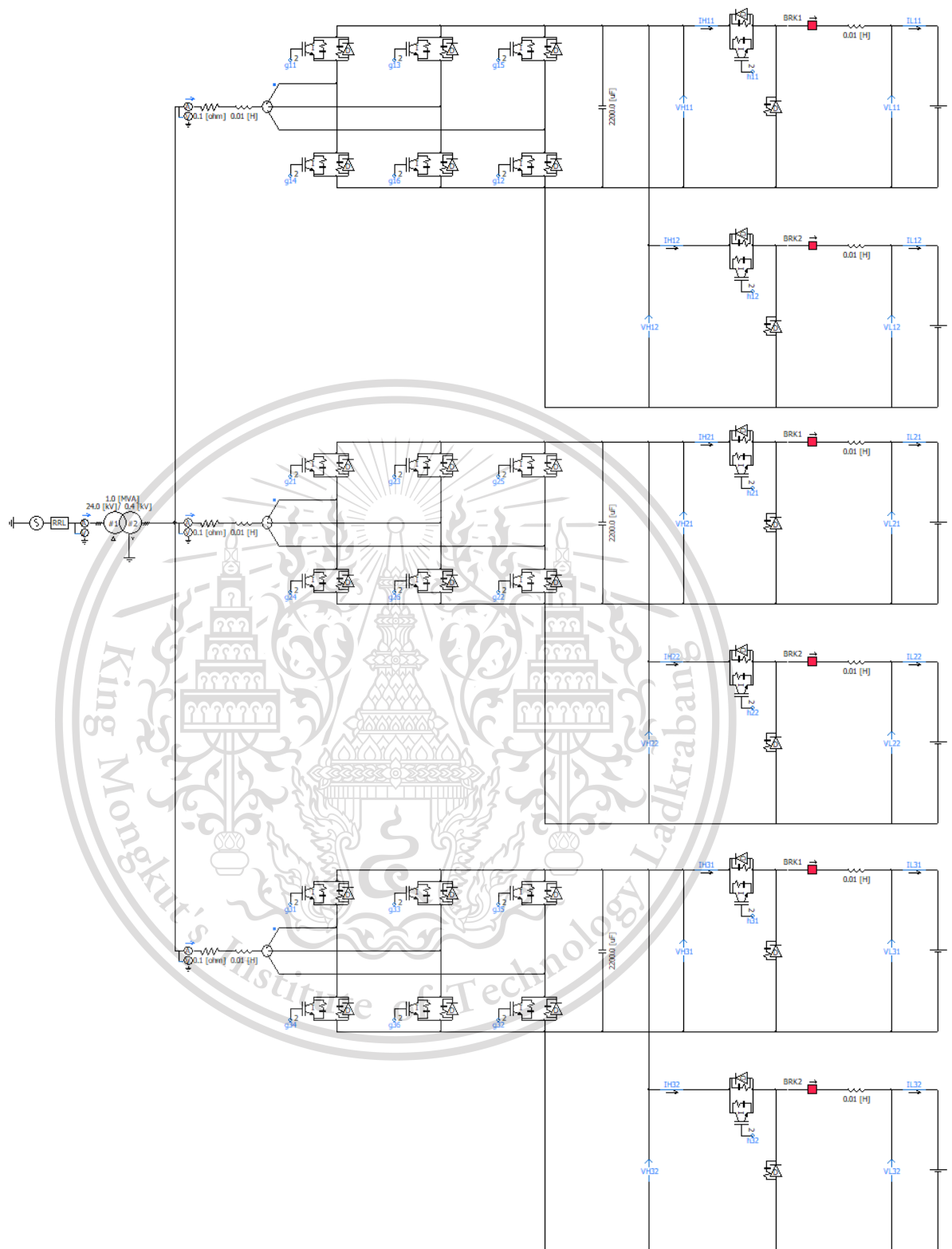
โครงการวิจัยนี้จะจำลองการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้ากับรถยนต์คือ BMWi3 เพื่อใช้ในการศึกษาของการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่าย กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า และเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเมื่อมีการเข้าใช้บริการของสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็นกรเข้าใช้บริการของรถยนต์ในสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั้ง 3 กรณีดังนี้

1. เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าชนิด BMWi3 เข้าใช้บริการชาร์จคันเดียว
2. เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าชนิด BMWi3 เข้าใช้บริการชาร์จจำนวน 6 คัน
3. เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าชนิด BMWi3 เข้าใช้บริการชาร์จในเวลาที่เหมาะสมและขนาดแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันทั้งหมดจำนวน 3 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.2 : สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

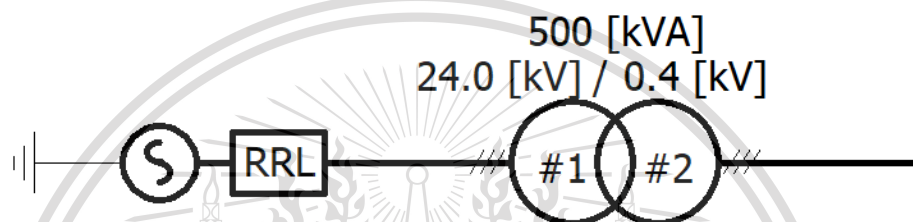
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3.1 การออกแบบจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

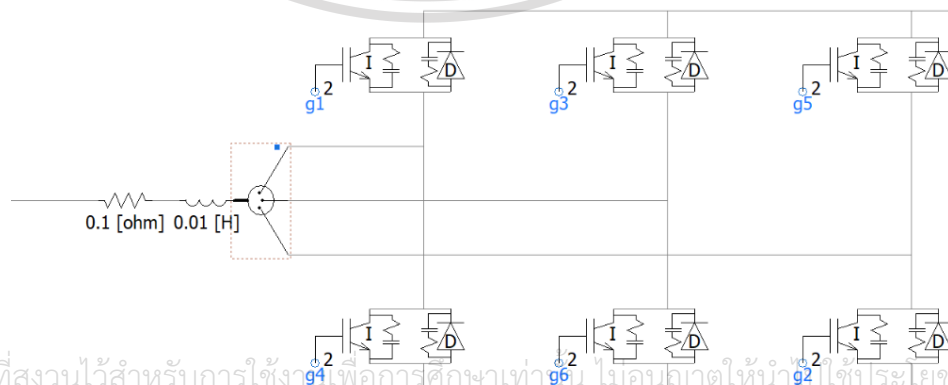
ส่วนที่ 1 : แหล่งจ่าย (Grid) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวง และหม้อแปลง (Transformer) เมื่อออกแบบให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าอยู่ภายใต้การดูแลของการไฟฟ้านครหลวง (MEA) ที่มีขนาดของแรงดันระบบจำหน่าย 24 kV ทำการส่งจ่ายให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่มีการต่อแบบเดลต้าและลดทอนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำขนาด 400 V



รูปที่ 3.3 : หม้อแปลงลดทอนระดับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ส่วนที่ 2 : ตู้อัดประจุไฟฟ้าประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Dc to Dc Converter) ทำการออกแบบโดยให้มีพารามิเตอร์ที่เป็นความต้านทานและความเหนี่ยวนำเท่ากับ 0.1 Ω และ 0.01 H ตามลำดับ ติดตั้งอยู่ระหว่างหม้อแปลงและตู้อัดประจุไฟฟ้า

ภายในตู้อัดประจุไฟฟ้าจะประกอบด้วย IGBT ทั้งหมด 6 ตัวที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงซึ่งใช้ทฤษฎีของ คาล์กและปาร์กทรานส์ฟอร์มร่วมกับเฟสล็อกกลูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

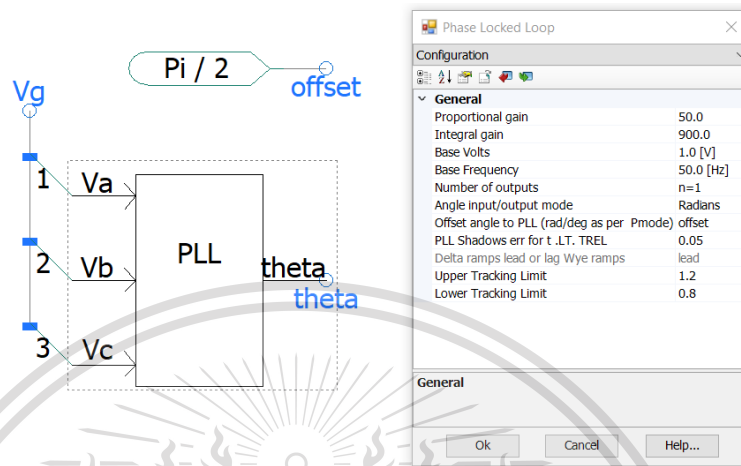
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 : วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสโมดูล ไอจีบีที

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

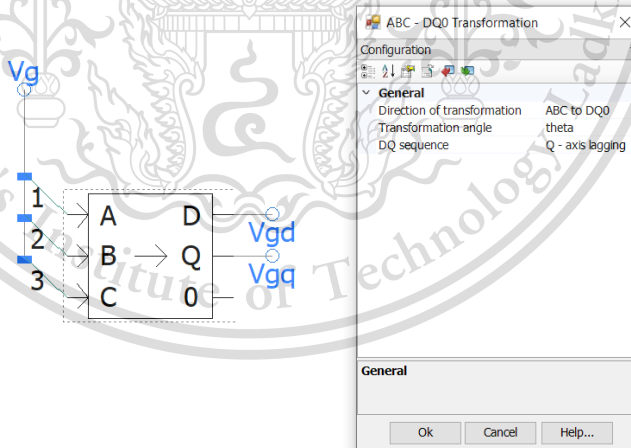
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เริ่มควบคุมโดยการนำแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการลดทอนแรงดันสามเฟสขนาด 400 V แล้วนำเข้าสู่วงจรของเฟสล็อกกลุ๊ป ที่กำหนดค่าของความถี่เท่ากับ 50 Hz และทำการกำหนดค่ามุมชดเชยของเฟสล็อกกลุ๊ป (Offset angle) เพื่อให้รอบอ้างอิงหมุนของแกน q นั้นมีค่าเป็น 0 เพื่อพิจารณาเพียงแกน d และได้ผลลัพธ์เป็นมุมเรเดียนที่ระบุตำแหน่งของแรงดันแต่ละเฟสในขณะนั้นๆ



รูปที่ 3.5 : การแปลงหาค่ามุมของเฟสล็อกกลุ๊ป

หลังจากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่ผ่านหม้อแปลงมาแล้วเข้าสู่วงจรการแปลงรอบอ้างอิงหมุน โดยใช้มุมที่ได้จากเฟสล็อกกลุ๊ปมาเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่ในกรอบอ้างอิงหมุน

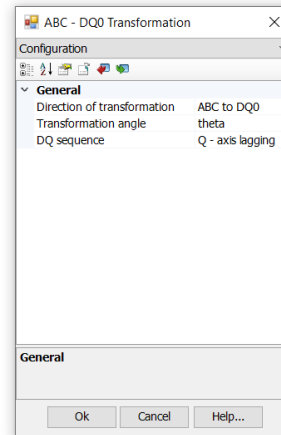
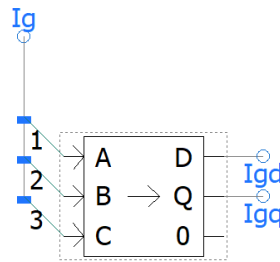


รูปที่ 3.6 : การแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในกรอบอ้างอิงหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

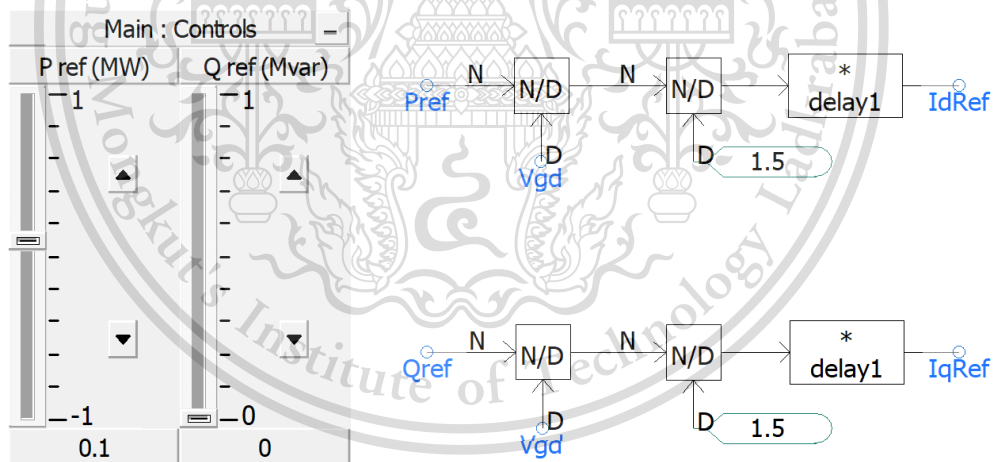
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 3.7 : การแปลงค่ากระแสต้นไฟฟ้าให้อยู่ในกรอบอ้างอิงหมุน

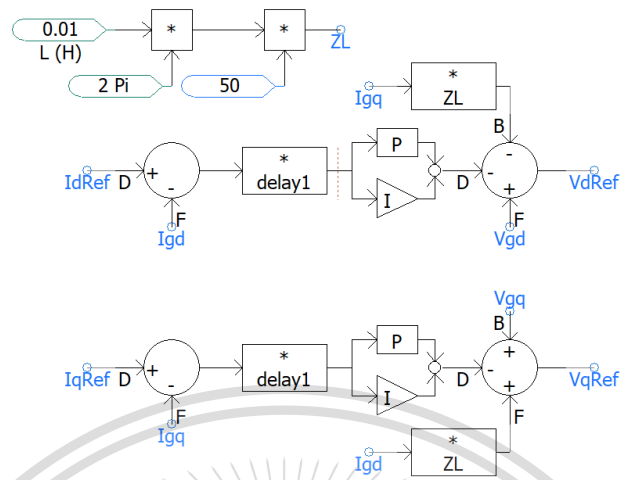
เมื่อได้ค่าแรงต้นไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงหมุนแล้วจะทำการควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยใช้การควบคุมของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในกรอบอ้างอิงหมุน จากทฤษฎีการแปลงของคาร์ลิกและปาร์ก กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในกรอบอ้างอิงหมุนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของแรงต้นไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงหมุนด้วย ดังนั้นจึงจะใช้กระแสไฟฟ้าในแกน d มาพิจารณาเพื่อเป็นกระแสไฟฟ้าอ้างอิงในแกน d และใช้กระแสไฟฟ้าในแกน q มาพิจารณาเพื่อเป็นกระแสไฟฟ้าอ้างอิงในแกน q



รูปที่ 3.8 : การแปลงค่าเพื่อใช้กระแสไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงหมุนพิจารณา

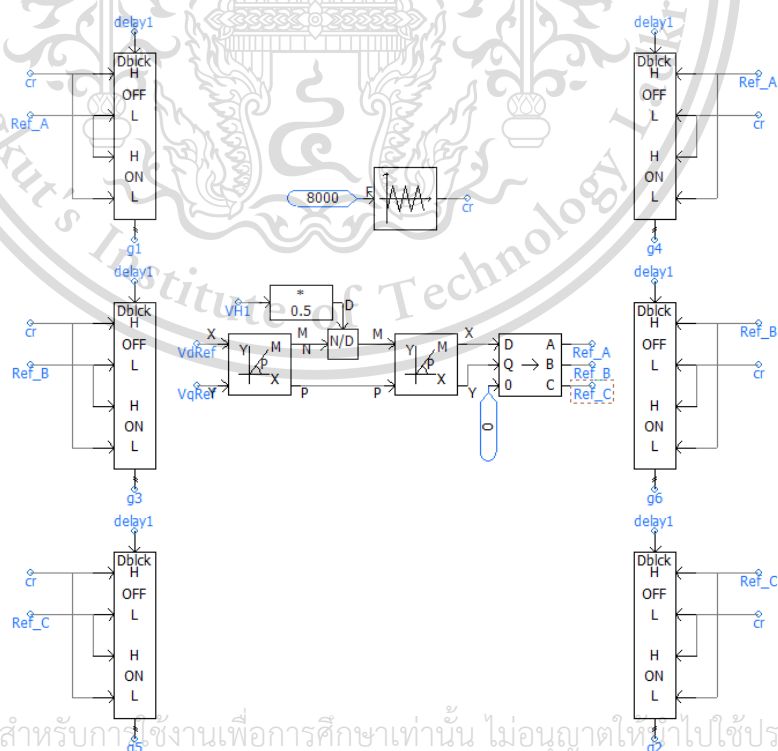
เมื่อได้ค่ากระแสไฟฟ้าอ้างอิงในแกน d และ q จะนำค่ากระแสไฟฟ้าอ้างอิงในแต่ละแกนมาพิจารณาร่วมกับกระแสไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงหมุนที่ผ่านวงจรการแปลงกรอบอ้างอิงหมุน ที่จุดรวมผลเพื่อให้มีค่าเท่ากันแล้วนำสัญญาณเข้าสู่ตัวกรองที่ออกแบบมาเพื่อลดค่าความผิดพลาดในการรวมผล หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้พิจารณาร่วมกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์และแรงดันไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงหมุนที่จุดรวมผลเพื่อให้ได้ค่าของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในแกน d และ q



รูปที่ 3.9 : การแปลงค่าเพื่อใช้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงหมุนพิจารณา

หลังจากได้ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงหมุนที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนได้แล้ว ทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้กลับเป็นแรงดันไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงสามเฟสเพื่อป้อนให้กับวงจรการสร้างสัญญาณชดเชยดีทอลพัลส์วิทมอดูเลชั่น ซึ่งสร้างสัญญาณในการขับให้ไอจีทีให้ทำงานและแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงตามที่ต้องการ โดยมีตัวเก็บประจุเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่กระเพื่อม (Ripple Voltage) ให้มีความคงที่



รูปที่ 3.10 : การสร้างสัญญาณในการขับให้ไอจีที

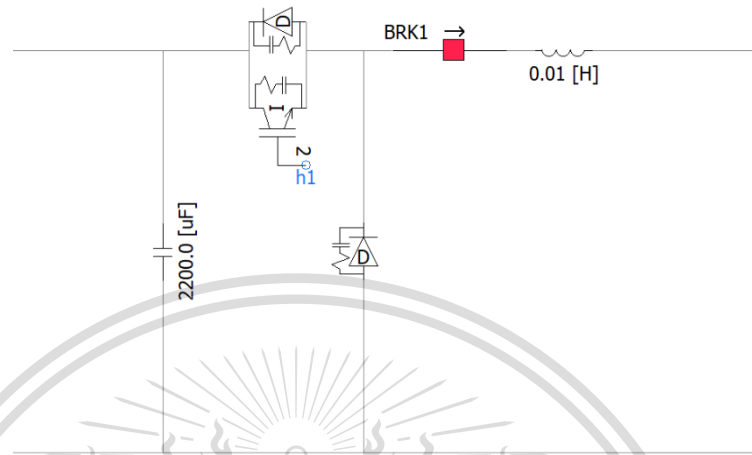
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

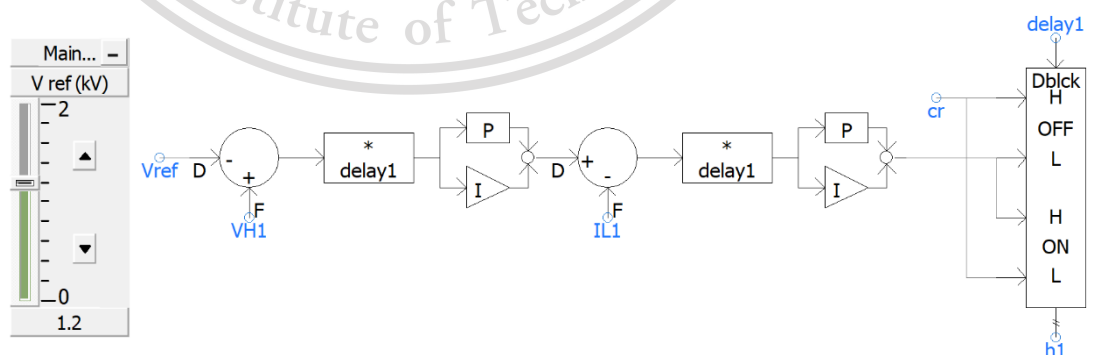
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อได้ไฟฟ้ากระแสตรงตามที่ต้องการมาแล้วจะทำการสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC to DC Converter) แบบวงจรลดทอนระดับหรือบ๊ีกคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้สามารถใช้ชาร์จแบตเตอรี่ของรถยนต์ตามพิกัดที่ต้องการได้ ประกอบด้วยไอจีบีที ไดโอด ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.11 : วงจรลดทอนระดับหรือบ๊ีกคอนเวอร์เตอร์

การควบคุมวงจบบ๊ีกคอนเวอร์เตอร์ทำได้โดยการพิจารณาค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุหลังจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วร่วมกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องการ ณ จุดรวมผลเพื่อให้มีค่าเท่ากันแล้วนำสัญญาณเข้าสู่วงจร พีไอคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถบังคับให้ลดค่าความผิดพลาดในการรวมผล หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาพิจารณาร่วมกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของบ๊ีกคอนเวอร์เตอร์และเข้าสู่วงจรพีไอคอนโทรลเลอร์อีกครั้ง และนำสัญญาณสุดท้ายป้อนให้กับวงจรการสร้างโซลิตูดคอลพัลส์วิธมอดูเลชั่น ซึ่งสร้างสัญญาณในการขับให้ไอจีบีทีให้ทำงานและสามารถอัดประจุไฟฟ้าแก่รถยนต์ไฟฟ้าตามที่ต้องการได้



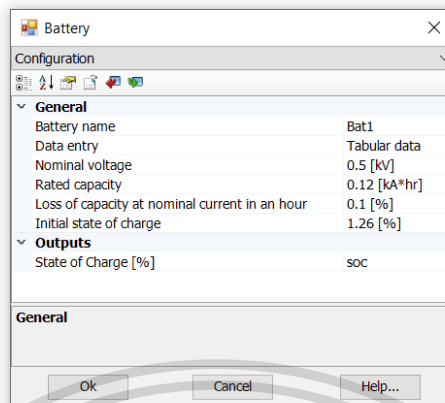
รูปที่ 3.12 : วงจรควบคุมของบ๊ีกคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ไม่ใช่เพื่อการพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ส่วนที่ 3 : รถยนต์ไฟฟ้า (Load) ซึ่งส่วนนี้จะทำการจำลองโดยใช้เป็นเพียงรูปแบบของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดต่างๆ การจำลองนี้จะใช้โมเดลของรถยนต์ BMWi3



รูปที่ 3.13 : คุณสมบัติแบตเตอรี่ของรถยนต์ BMWi3

3.2 กรณีศึกษาในการจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

กรณีศึกษาของการจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะทำการจำลองผลเมื่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอัดประจุไฟฟ้ามีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด

การจำลองที่ 1 : การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 เข้าชาร์จคันเดียวขณะที่มีแบตเตอรี่ 10% ทำการชาร์จจนถึง 100%

การจำลองที่ 2 : การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อโหลดเต็มพิกัด

เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 เข้าชาร์จทั้งหมดทุกหัวจ่ายของตู้อัดประจุไฟฟ้าขณะที่มีแบตเตอรี่ 10% ทำการชาร์จจนถึง 100%

การจำลองที่ 3 : การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อมีการชาร์จในเวลาที่แตกต่างกันและขนาดของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

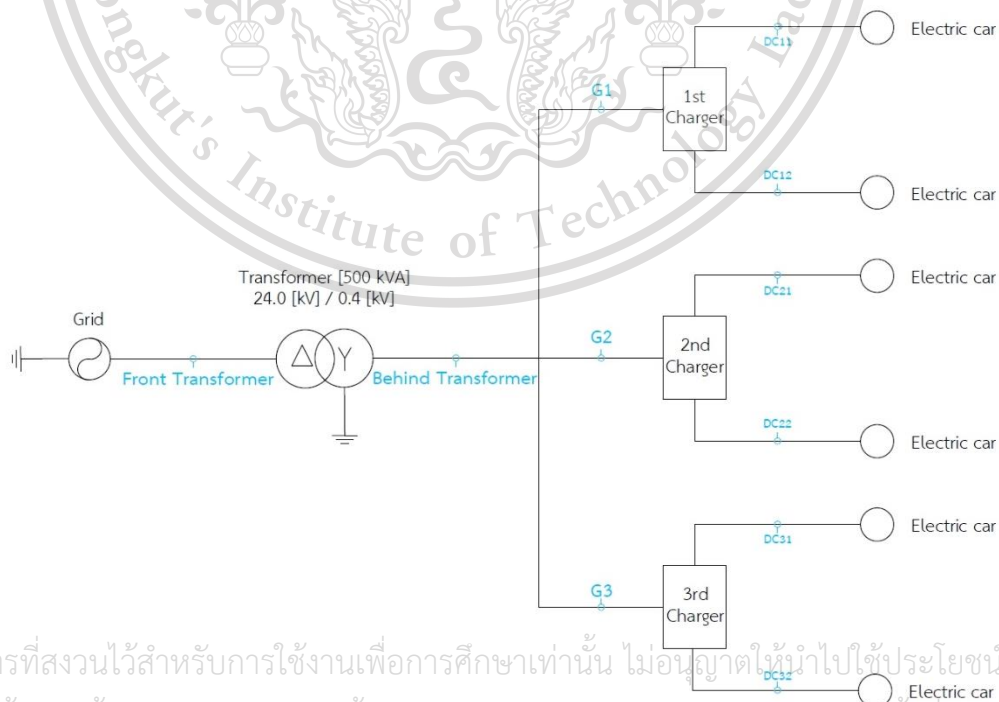
เมื่อมีรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 เข้าชาร์จ 1 คันที่ตู้อัดประจุที่หนึ่ง ขณะที่แบตเตอรี่ 10% ทำการชาร์จจนถึง 100% พร้อมกับสถานีอื่นประจุเริ่มทำงาน ต่อในเวลาอีก 30 นาทีรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 คันที่ 2 เข้าชาร์จที่ตู้อัดประจุที่สอง ขณะมีแบตเตอรี่ 50% ทำการชาร์จจนถึง 100% และต่อมาในเวลาอีก 1 ชั่วโมง มีรถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 เข้าชาร์จที่ตู้อัดประจุที่สาม ขณะมีแบตเตอรี่

80% ทำการชาร์จจนถึง 100%

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

โดยจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v) ทั้งหมดจำนวน 11 ตำแหน่ง ดังนี้

- 1.) ด้านหน้าของหม้อแปลงแรงดัน (Front Transformer)
- 2.) ด้านหลังของหม้อแปลงแรงดัน (Behind Transformer)
- 3.) ด้านหน้าของตู้อัดประจุที่ 1 (G1)
- 4.) ด้านหน้าของตู้อัดประจุที่ 2 (G2)
- 5.) ด้านหน้าของตู้อัดประจุที่ 3 (G3)
- 6.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 1 ของตู้อัดประจุที่ 1 (DC11)
- 7.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 1 ของตู้อัดประจุที่ 2 (DC12)
- 8.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 1 ของตู้อัดประจุที่ 2 (DC21)
- 9.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 2 ของตู้อัดประจุที่ 2 (DC22)
- 10.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 1 ของตู้อัดประจุที่ 3 (DC31)
- 11.) ด้านหน้าของหัวจ่ายที่ 2 ของตู้อัดประจุที่ 3 (DC32)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 : ตำแหน่งในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

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

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

3.3 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆ เมื่อไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อไม่มีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

| ตำแหน่งวัด | P (kW) | Q (kvar) | V (V) | I (A) | THD_v (%) | THD_i (%) |
|------------|--------|----------|-------|-------|-------------|-------------|
| TF | 0.48 | 0 | 22000 | 0 | 0.5 | 0.6 |
| TB | 0.48 | 0 | 400 | 0 | 0.4 | 0.2 |
| G1 | 0.16 | 0 | 400 | 0 | 0.4 | 0.2 |
| G2 | 0.16 | 0 | 400 | 0 | 0.4 | 0.2 |
| G3 | 0.16 | 0 | 400 | 0 | 0.4 | 0.2 |
| DC11 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |
| DC12 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |
| DC21 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |
| DC22 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |
| DC31 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |
| DC32 | 0 | - | 500 | 0 | - | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการจำลองของการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSCAD 4.6 ซึ่งทำการจำลองผลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตู้อัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าการออกแบบไว้ให้ทำงานโดยเริ่มจากการจ่ายไฟตั้งแต่แหล่งจ่าย 22 kV ผ่านหม้อแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้า 400 V และจำหน่ายให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้า หลังจากนั้นนำเข้าสู่ตู้อัดประจุไฟฟ้าทั้ง 3 ตู้ และทำการควบคุมให้มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามคุณสมบัติของการชาร์จประจุไฟฟ้าด้วยกระแสตรง ตู้อัดประจุไฟฟ้าคงแรงดันไว้ประมาณ 500 V มีกำลังชาร์จสูงสุด 50 kW ต่อหัวจ่าย กรณีศึกษาของการจำลองจะแบ่งเป็นกรณีต่างๆ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลพร้อมกับวิเคราะห์พฤติกรรมของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้า

4.1 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1 คัน

กรณีที่หนึ่งเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 1 คันเป็นรุ่น BMWi3 ขณะที่แบตเตอรี่รี 10% ทำการชาร์จจนถึง 100% ทำการวัดค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v)

รูปที่ 4.1 (ก.) ถึง (ฉ.) เป็นการวัดค่าหน้าหม้อแปลง จากรูปที่ 4.1 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะถูกต้องมาจากแหล่งจ่ายประมาณ 47 kW และทำการดึงเพิ่มขึ้นจนถึง 50 kW เมื่อชาร์จไปถึงช่วงเวลา 4000 วินาทีหรือสถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 85% (State of Charge : SOC) จะทำการค่อยๆ ลดกำลังไฟฟ้างจนถึงศูนย์พร้อมกับสถานะของแบตเตอรี่เป็น 100 % กำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าประมาณ 500 var ในรูป 4.1 (ข.) และลดลงเรื่อยๆจนเหลือศูนย์เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าจริง

รูปที่ 4.1 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟาลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย และรูปที่ 4.1 (ง.) แสดงถึงกระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มชาร์จจะมีกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นชั่วคราวเนื่องจากเป็นการเริ่มทำงานของตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์และดีซีคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 4.1 (จ.) แรงดันไฟฟ้าด้านหน้าหม้อแปลงที่มาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงที่มีขนาด 22 kV แต่ในกราฟที่แสดงจะเป็นการแสดงค่าของแรงดันพีคในแต่ละเฟส

รูปที่ 4.1 (ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 5% ตลอดการชาร์จแต่ในช่วงเริ่มชาร์จนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายและผล

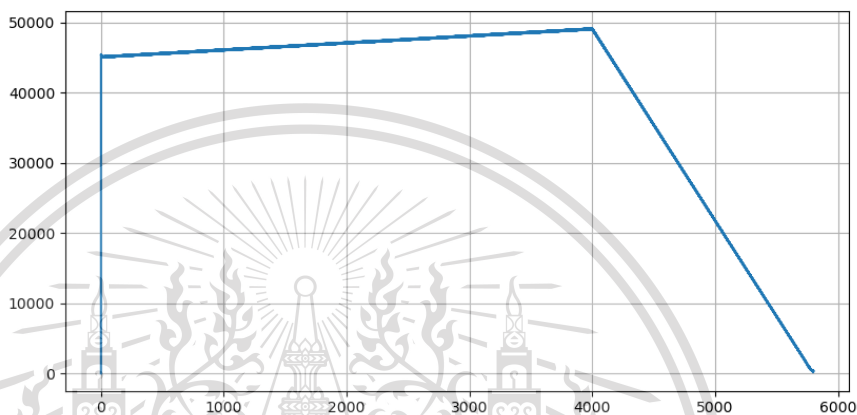
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

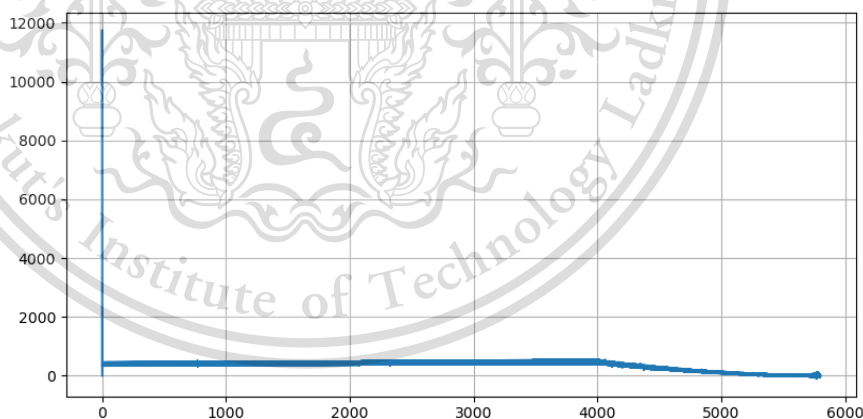
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการเริ่มทำงานของตัวอัดประจุรูปที่ 4.1 (ซ.) และมีค่าสูงอีกจุดหนึ่งคือช่วงหลังจากชาร์จเสร็จ เป็นผลมาจากการควบคุมกระแสไม่ได้เนื่องจากทำการดึงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายน้อยจนเกินไปดังรูปที่ 4.1 (ซ.)

รูปที่ 4.1 (ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 1.25% ตลอดการชาร์จและแต่ในช่วงเริ่มชาร์จนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

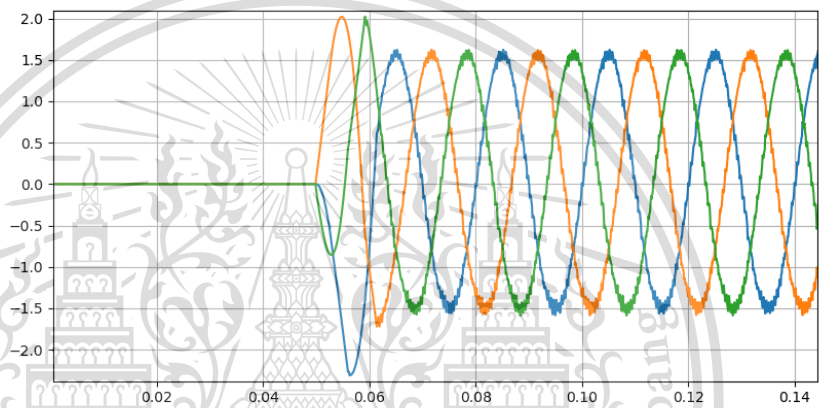
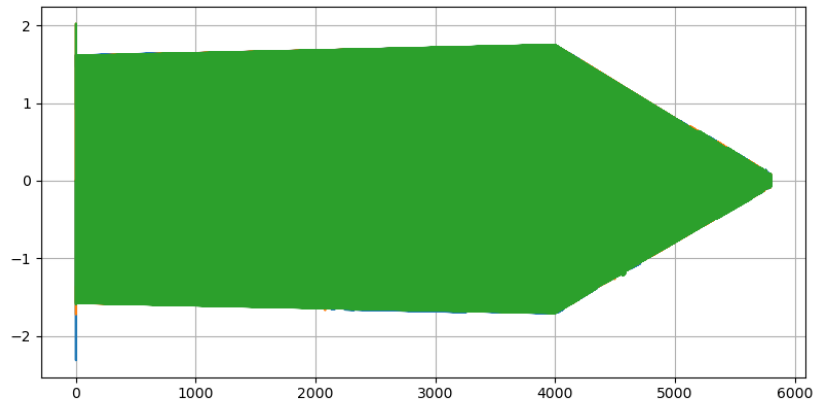


(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

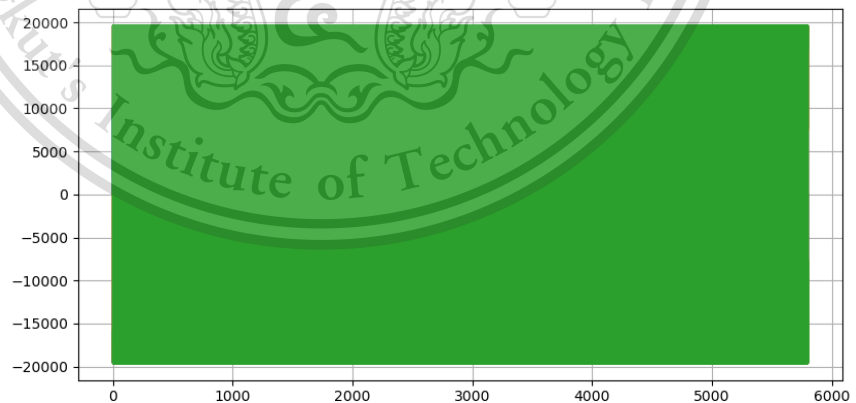
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ (ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

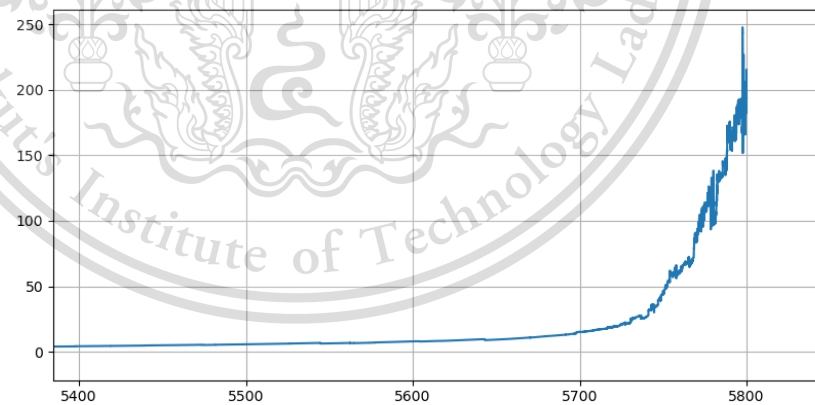
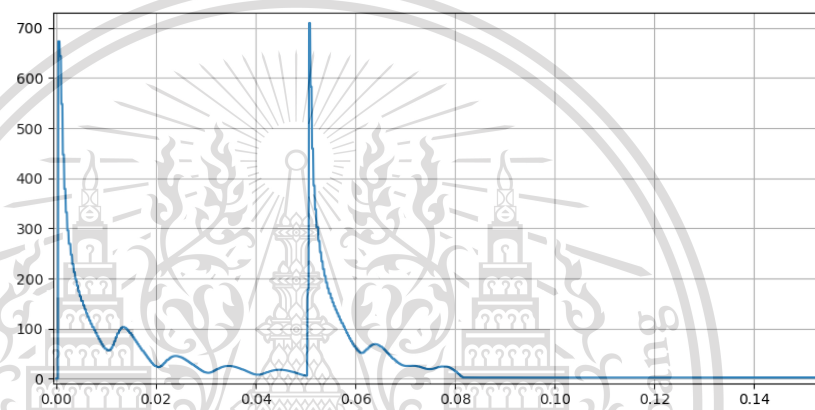
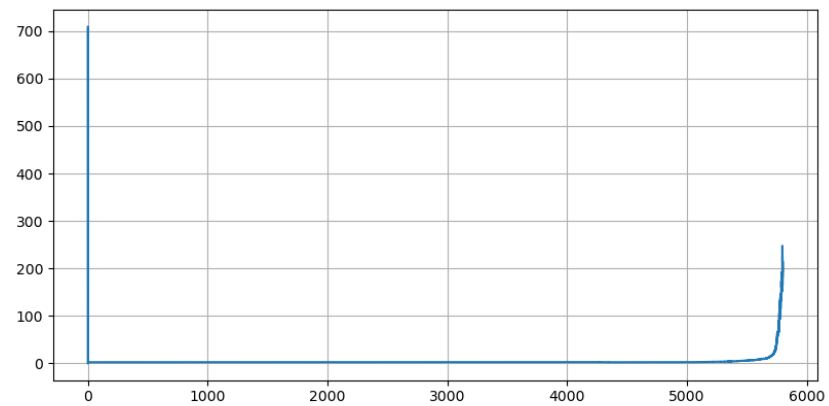


(จ.) แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

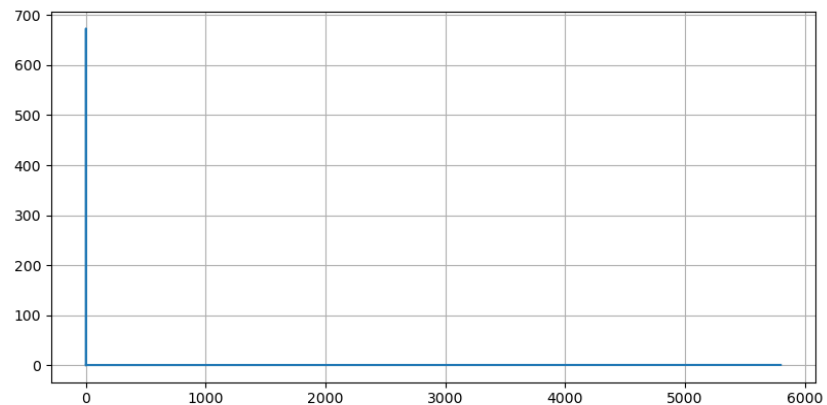
(ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ

(ซ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

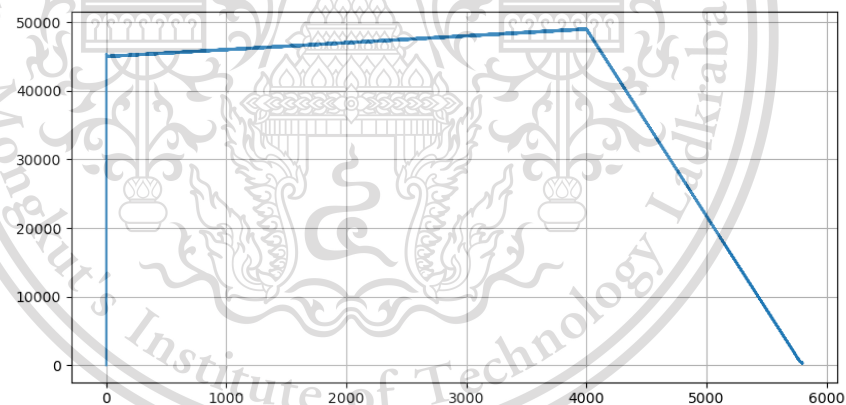
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.1 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าหม้อแปลง

รูปที่ 4.2 (ก.) ถึง (ณ.) เป็นการวัดค่าหลังหม้อแปลงจะมีผลลัพธ์คล้ายคลึงกับรูปที่ 4.2 (ก.) ถึง (ณ.) แต่จะมีความสูญเสียระหว่างหม้อแปลงไปเล็กน้อย

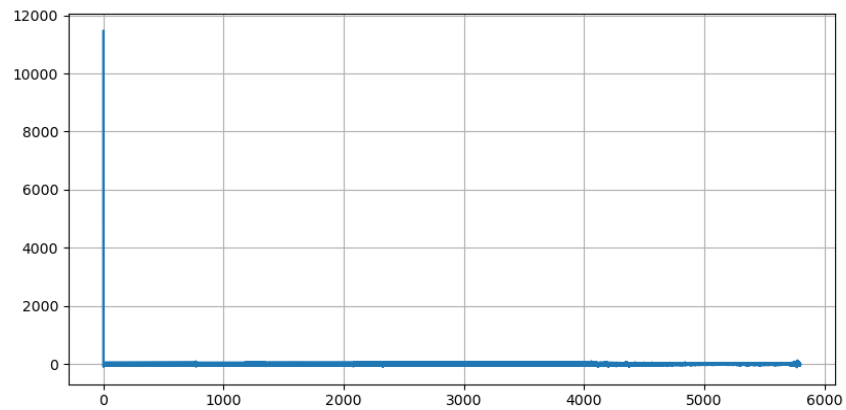


(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

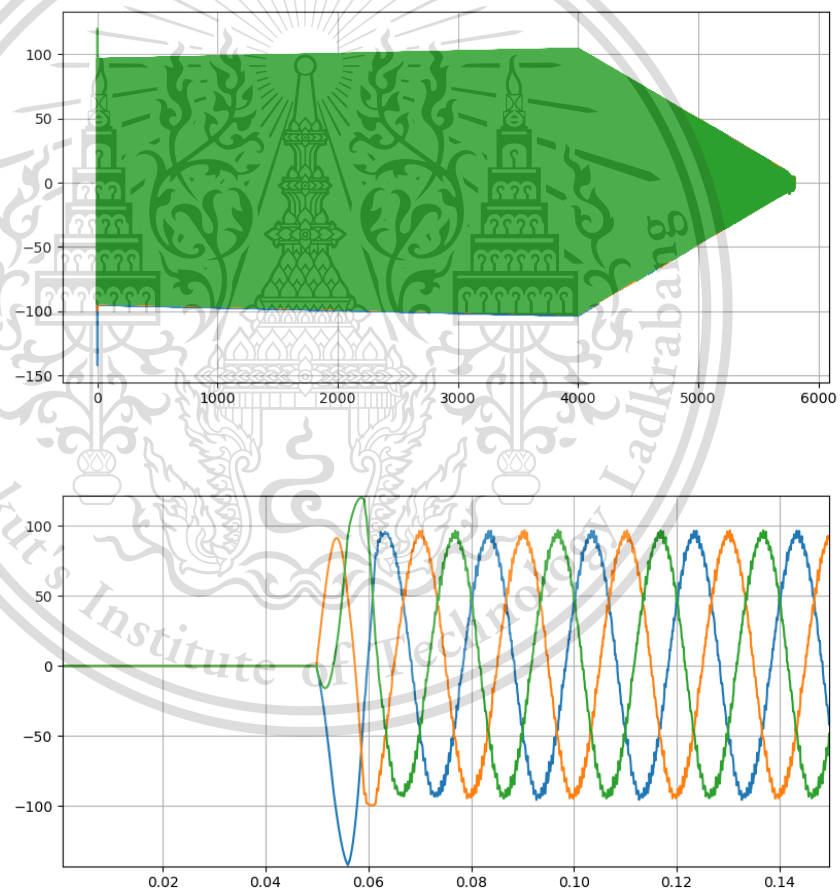
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

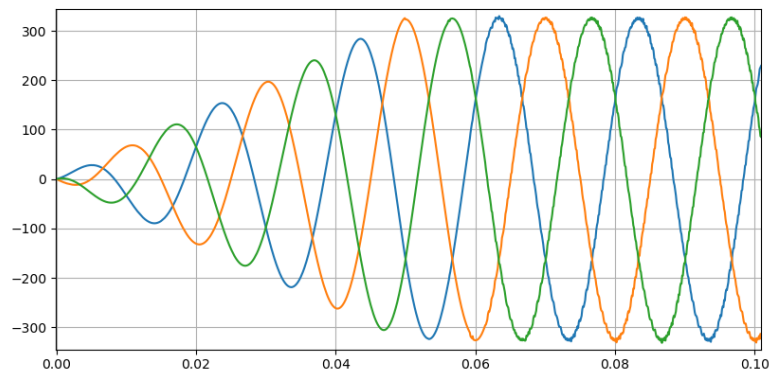


(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ (ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

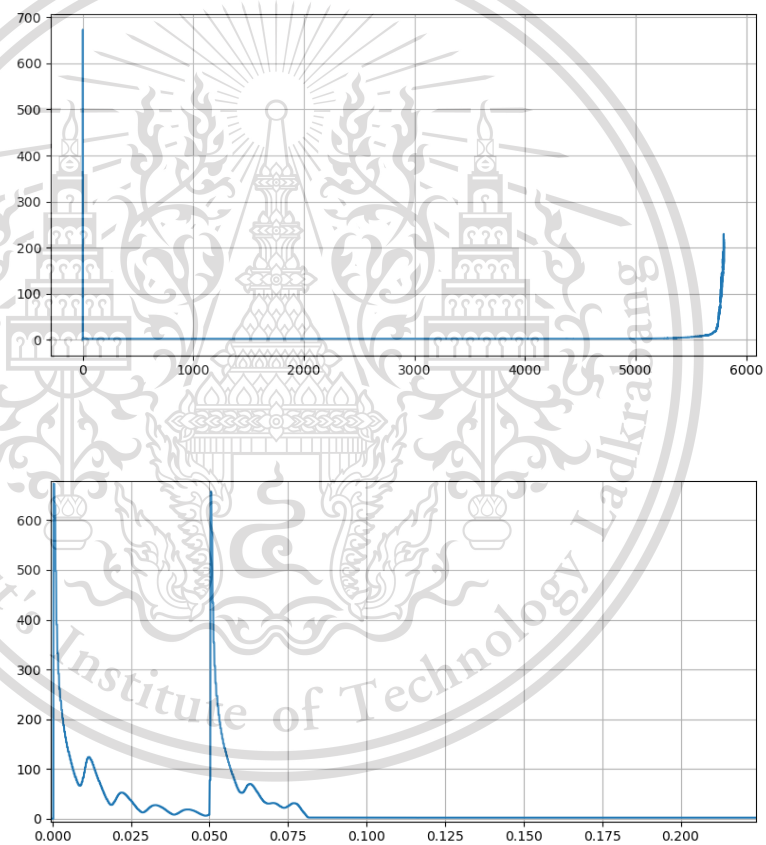
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



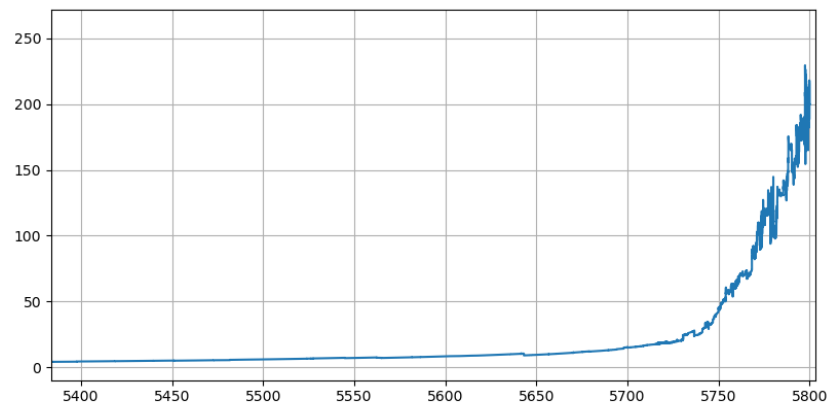
(ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

(ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มซาร์จ

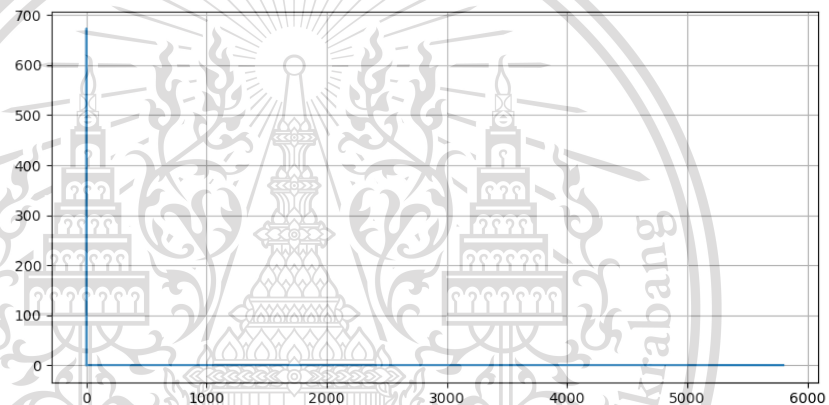
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

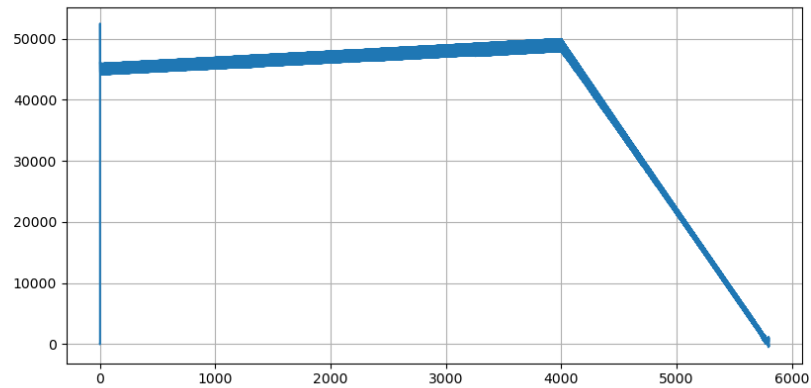
รูปที่ 4.2 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหลังหม้อแปลง

รูปที่ 4.3 (ก.) ถึง (ญ.) เป็นการวัดหน้าตู้จ่ายที่ 1 ในรูปที่ 4.3 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงหน้าและหลังหม้อแปลง แต่กำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงวินาทีที่ 0.05 - 0.07 แบทเตอร์รีมีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้จ่ายทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่ามากกว่าที่ดึงมาจากแหล่งจ่าย และค่าพารามิเตอร์มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกันกับผลของหน้าหม้อแปลงและหลังหม้อแปลง

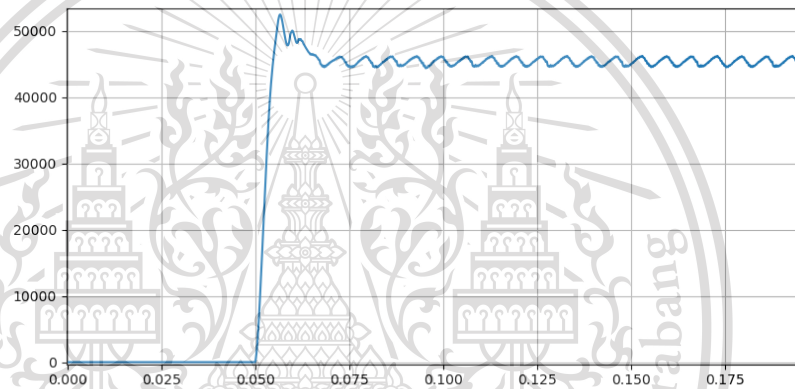
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

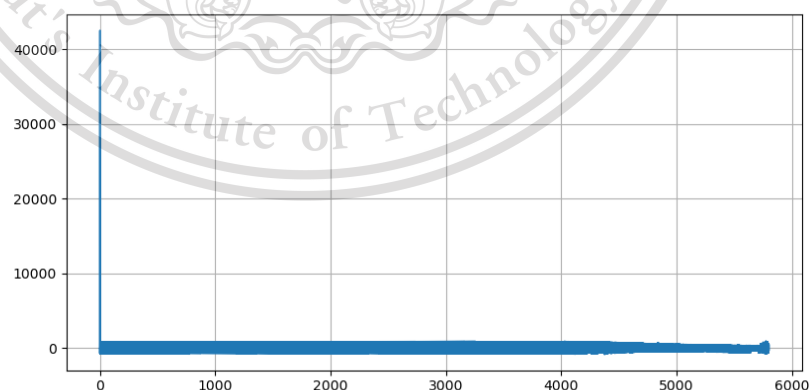
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด



(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

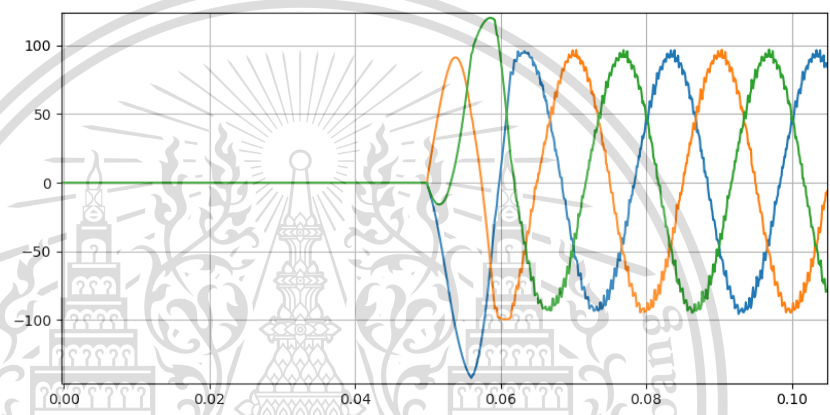
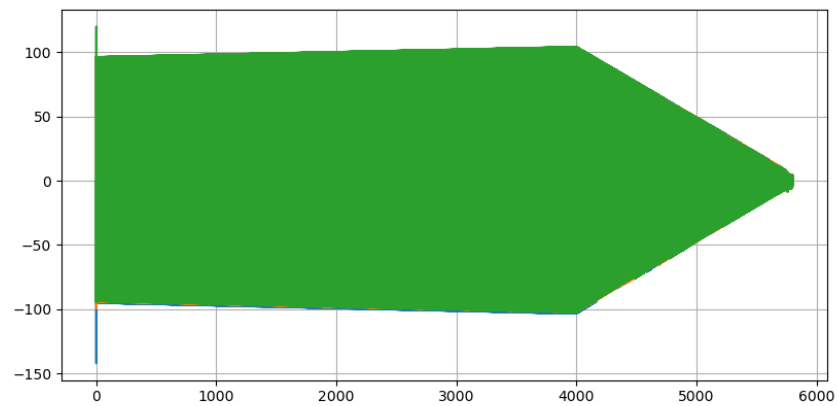


(ค.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

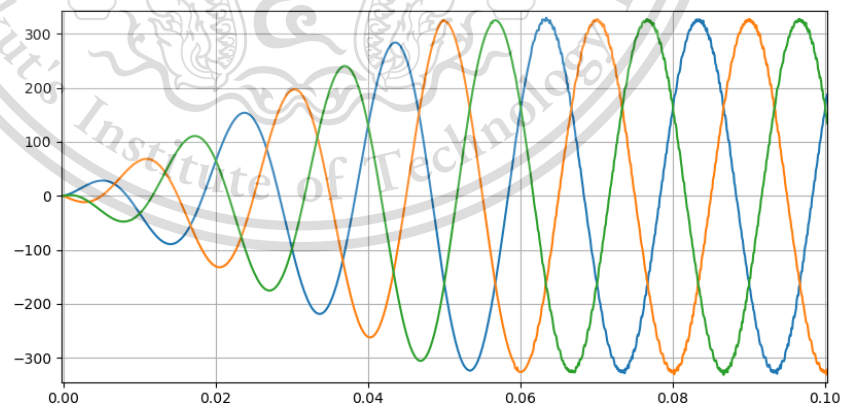
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ง.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ (จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

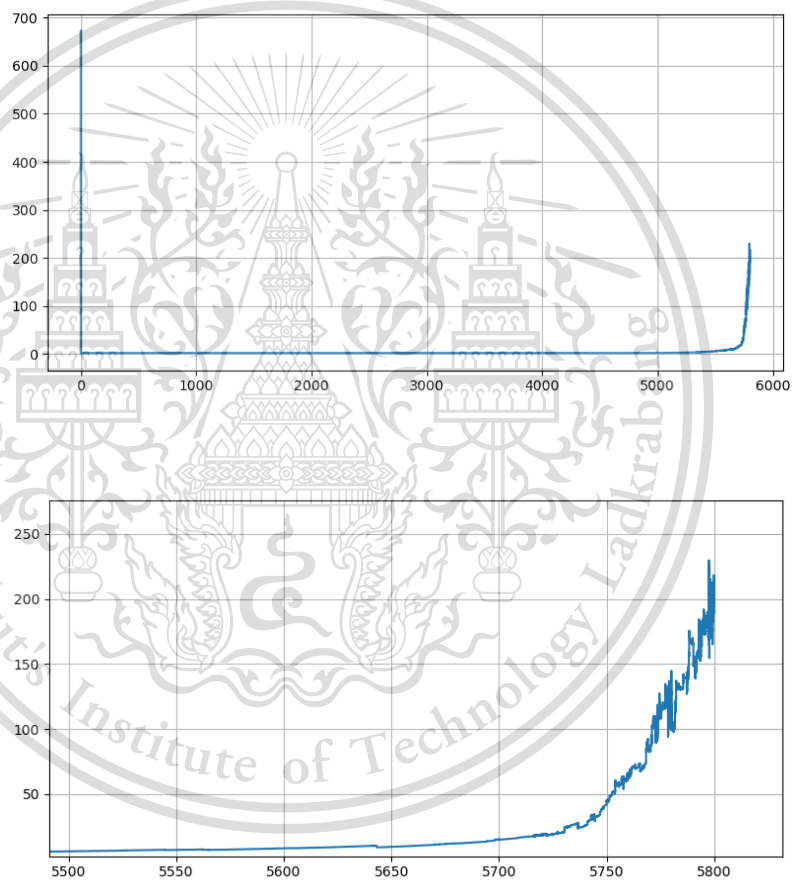
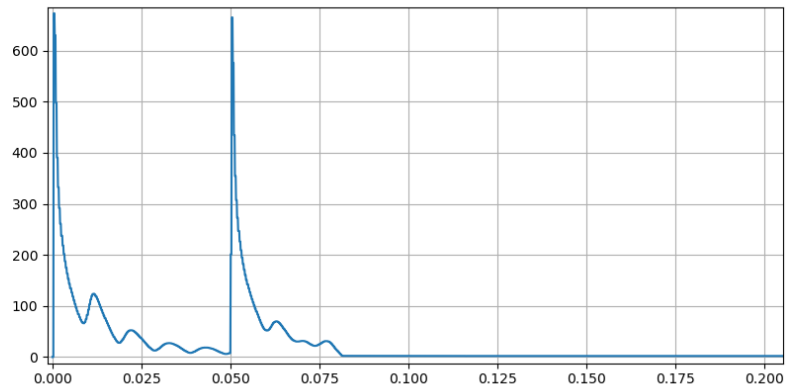


(ฉ.) แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

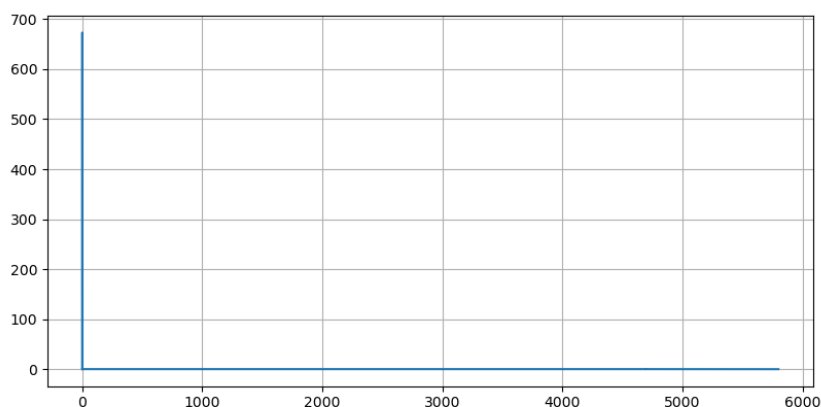
(ค.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ

(ฅ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.3 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าตู้อัดประจุที่ 1

รูปที่ 4.4 (ก.) ถึง (ฉ.) เป็นการวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 1 ในรูปที่ 4.4 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงตามที่ควบคุม แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงวินาทีที่ 0.05-0.10 เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่า 20 kW และไปคงที่ที่ประมาณ 45 kW ที่เป็นผลมาจากการดึงจากแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 4.4 (ข)

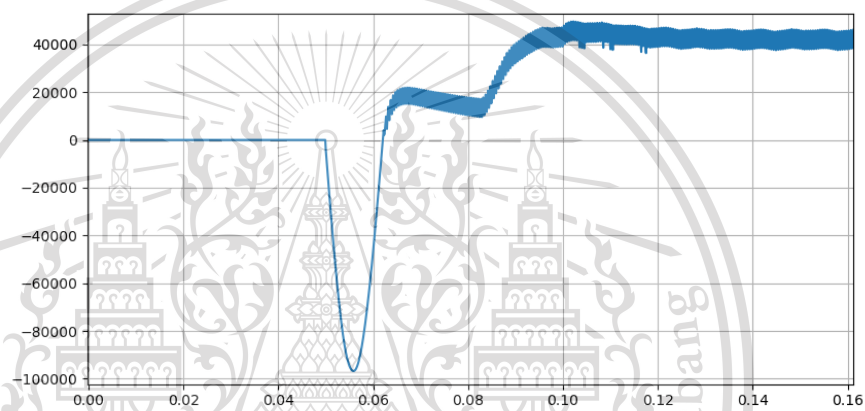
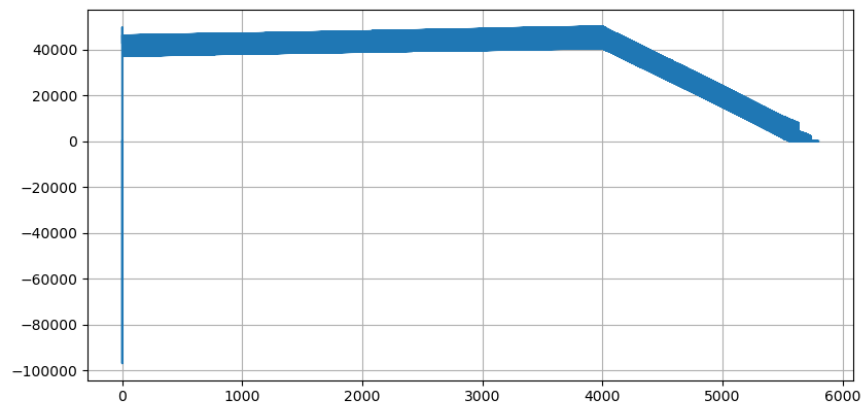
รูปที่ 4.4 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟาลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย

รูปที่ 4.4 (จ.) แรงดันไฟฟ้าทำการคงที่ไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่ประมาณ 500 V และเป็นไปตามความต้องการของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC) ซึ่งสถานะการชาร์จในช่วงตั้งแต่ 10-85% นั้นจะมีความเป็นเชิงเส้นและตั้งแต่ช่วง 85-100% จะช้าลงและมีความโค้งจนกระทั่งเข้าสู่ 100% ดังรูปที่ 4.4 (ฉ.)

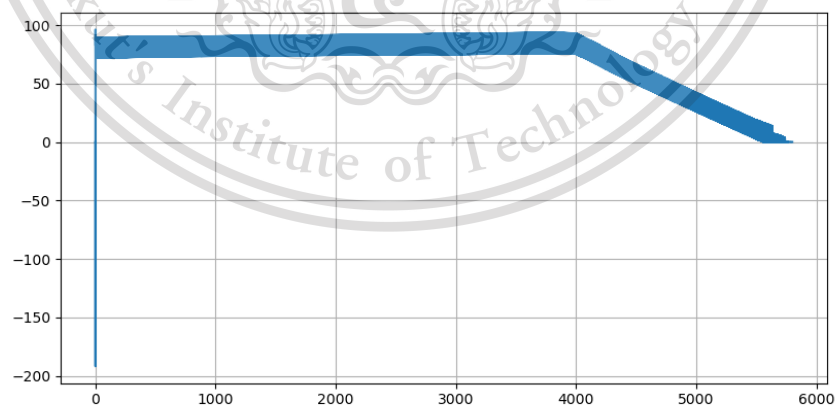
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด (ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

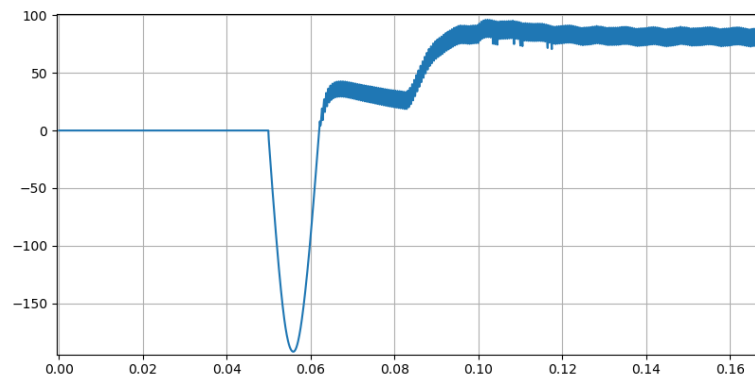


(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

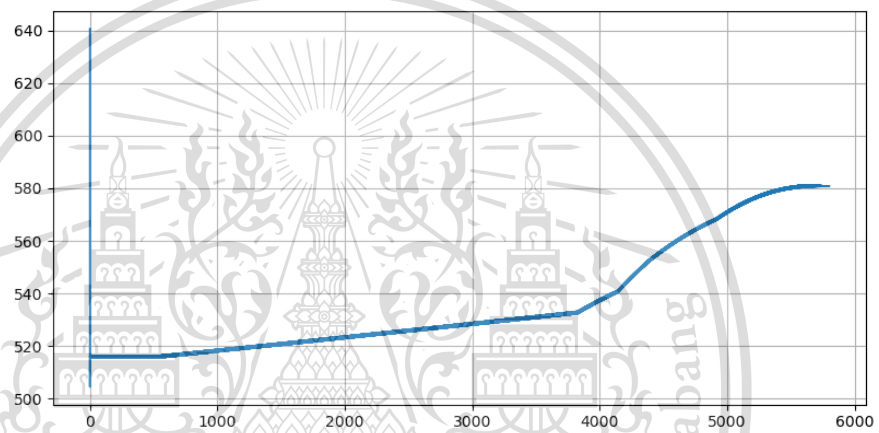
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

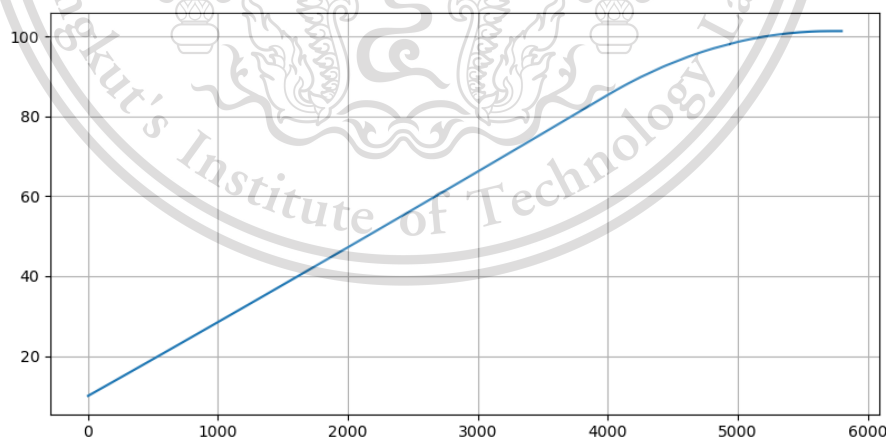
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่รีในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

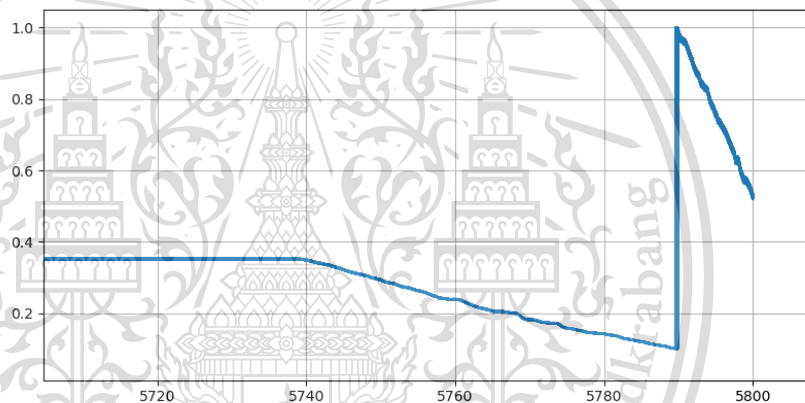
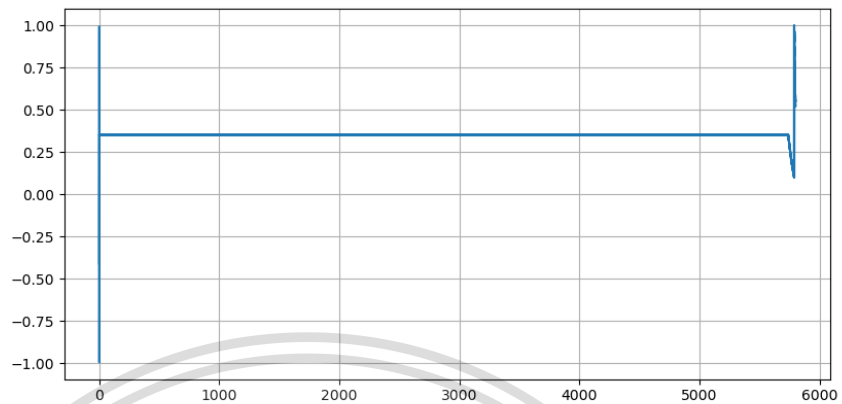
รูปที่ 4.4 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปที่ 4.5 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 2 ในรูปที่ 4.4 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าเกือบถึงศูนย์ตลอดการชาร์จ รวมถึงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.5 (ค.) และ (จ.)

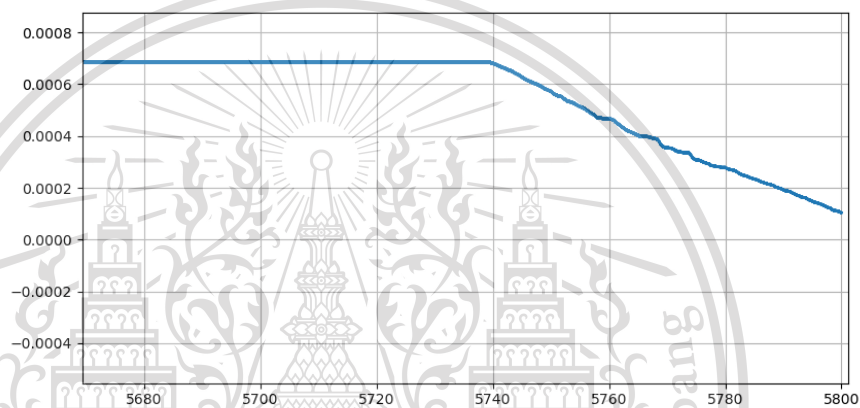
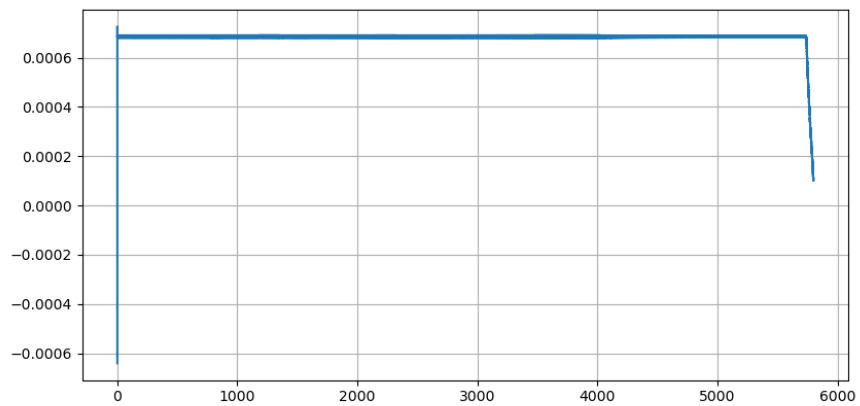


(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด (ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงชาร์จเสร็จ

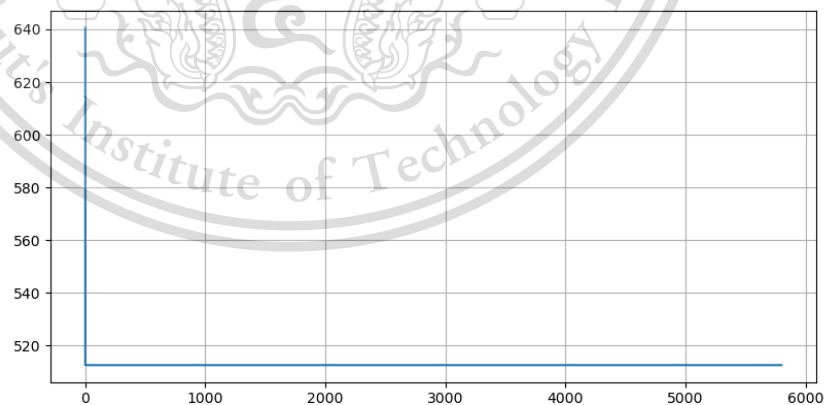
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ (ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงชาร์จเสร็จ



(จ.) แรงดันไฟฟ้า

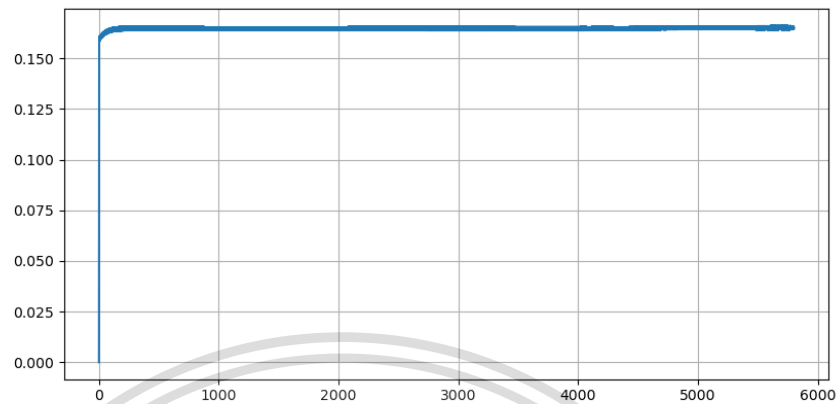
รูปที่ 4.5 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 1 หัวจ่ายที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

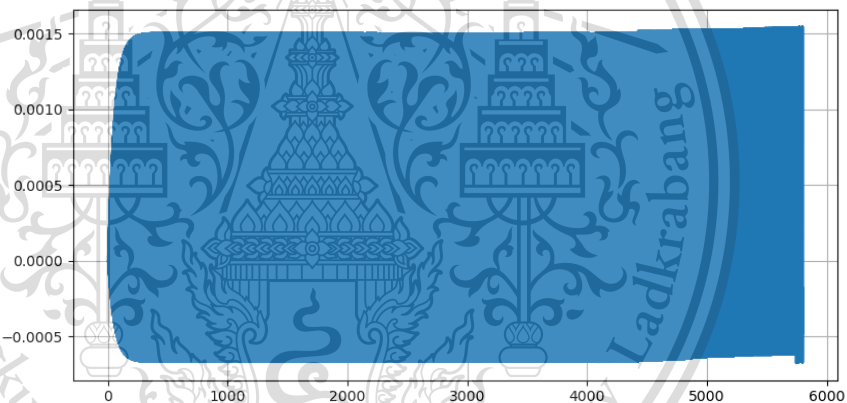
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.6 (ก.) ถึง (ข.) เป็นการวัดหน้าตู้อัดประจุที่ 2 พารามิเตอร์ทุกค่าจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ เนื่องจากไม่มีการเข้ามาใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้า



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

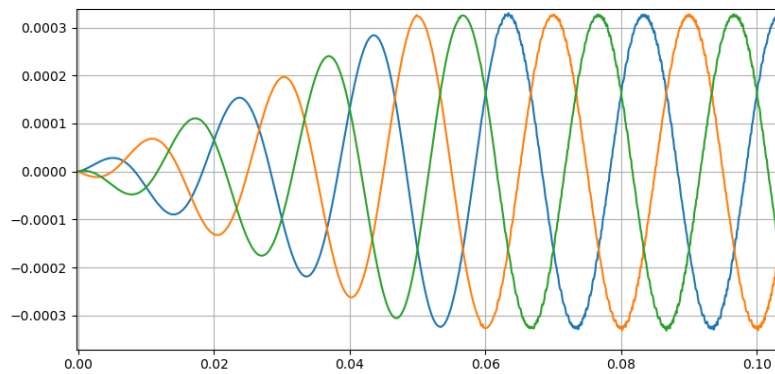


(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

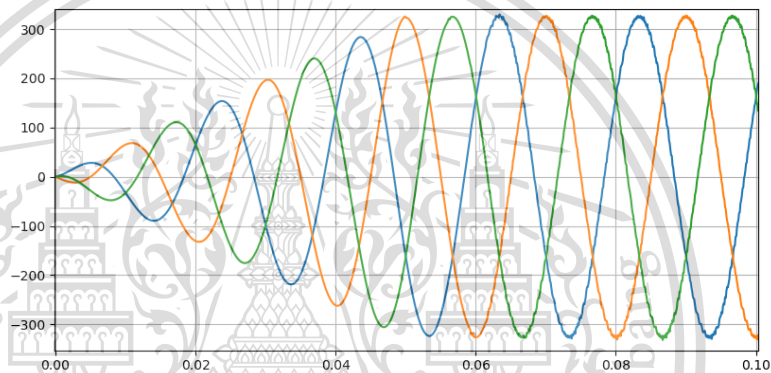
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

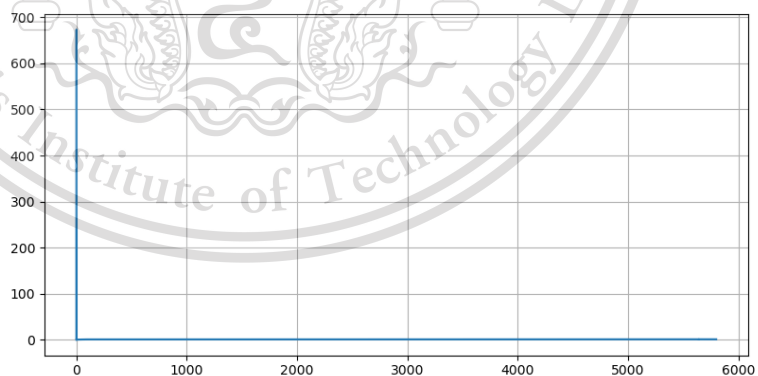
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ค.) กระแสไฟฟ้า



(ง.) แรงดันไฟฟ้า

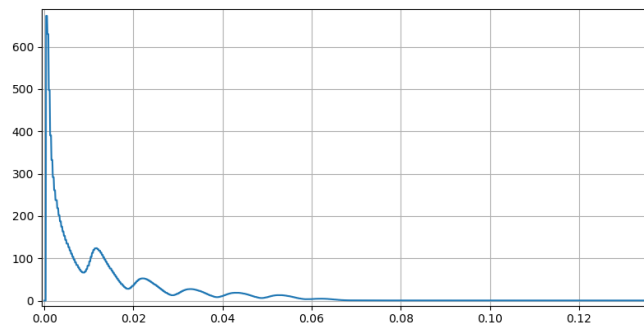


(จ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

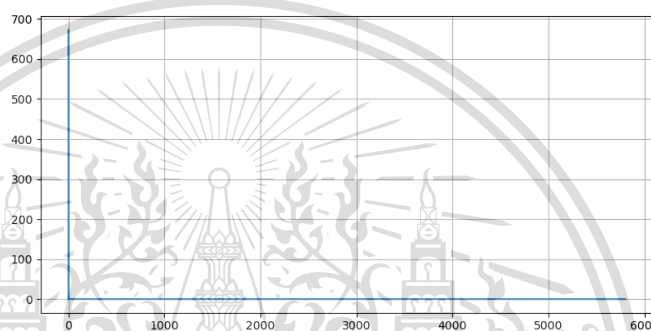
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



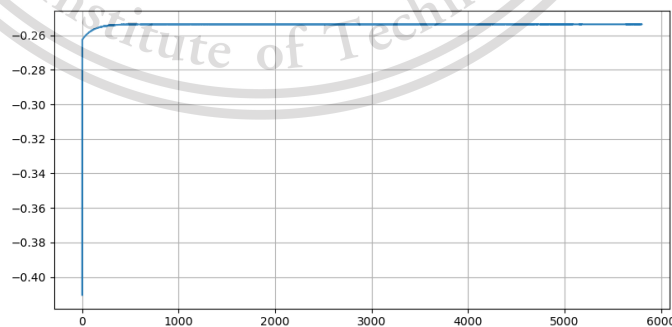
(ด.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ



(ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.6 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดหน้าตู้อัดประจุที่ 2

รูปที่ 4.7 (ก.) ถึง (ค.) เป็นการวัดตู้ที่ 2 หัวจ่ายทั้งสอง พารามิเตอร์ทุกค่าจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์เนื่องจากการไม่มีการเข้ามาใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้า

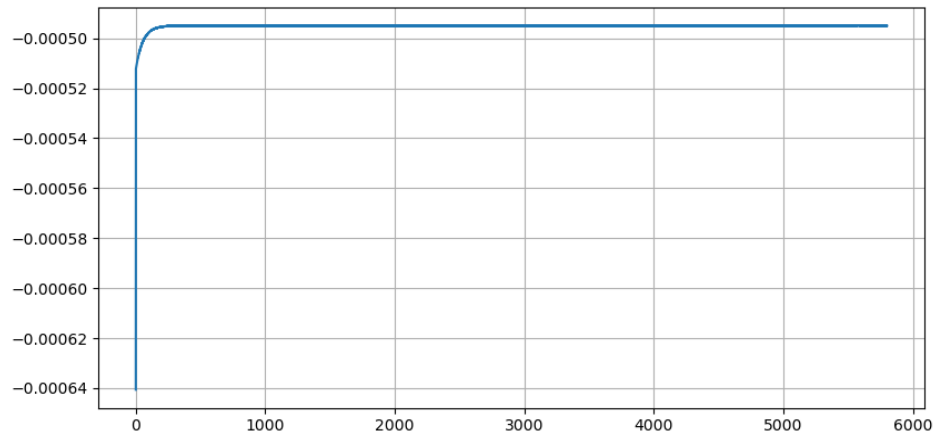


(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

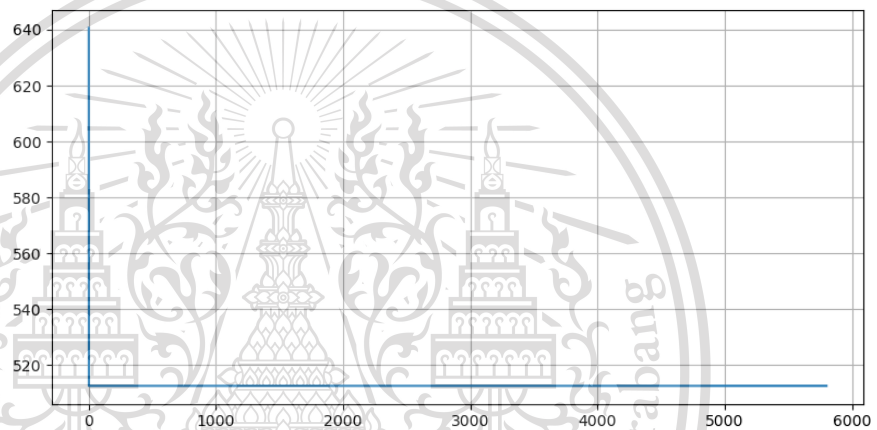
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) กระแสไฟฟ้า



(ค.) แรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 4.7 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 1 คันวัดตู้ที่ 2 หัวจ่ายทั้งสอง

ตู้อัดประจุที่ 3 พร้อมกับหัวจ่ายทั้งสองจะมีผลลัพธ์เดียวกันกับตู้อัดประจุที่ 2 เนื่องจากไม่มีการเข้าใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อโหลดเต็มพิกัด

กรณีที่สองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเต็มพิกัดจำนวนทั้งหมด 6 คัน ใช้งานทุกหน่วยจ่ายของทั้ง 3 ตู้เป็นซึ่งเป็นรถยนต์รุ่น BMWi3 ขณะที่มีแบตเตอรี่ 10% ทำการชาร์จจนถึง 100% และทำการวัดค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และ ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v)

รูปที่ 4.8 (ก.) ถึง (ณ.) เป็นการวัดค่าหน้าหม้อแปลง จากรูปที่ 4.8 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายประมาณ 280 kW และทำการดึงเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 300 kW เมื่อชาร์จไปถึงช่วงเวลาที่ 4000 วินาทีหรือสถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 85% จะทำการค่อยๆลดกำลังไฟฟาลงจนถึงศูนย์พร้อมกับสถานะของแบตเตอรี่เป็น 100 % กำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าประมาณ 17 kvar ตลอดการชาร์จดังรูป 4.8 (ข.) และลดลงเรื่อยๆจนเหลือศูนย์เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าจริง

รูปที่ 4.8 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟาลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย และรูปที่ 4.8 (ง.) แสดงถึงกระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มชาร์จจะมีกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นชั่วขณะเนื่องจากการเริ่มทำงานของตู้อัดประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์และดีซีคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 4.8 (จ.) แรงดันไฟฟ้าด้านหน้าหม้อแปลงที่มาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงที่มีขนาด 22 kV แต่ในกราฟที่แสดงจะเป็นการแสดงค่าของแรงดันพีคในแต่ละเฟส

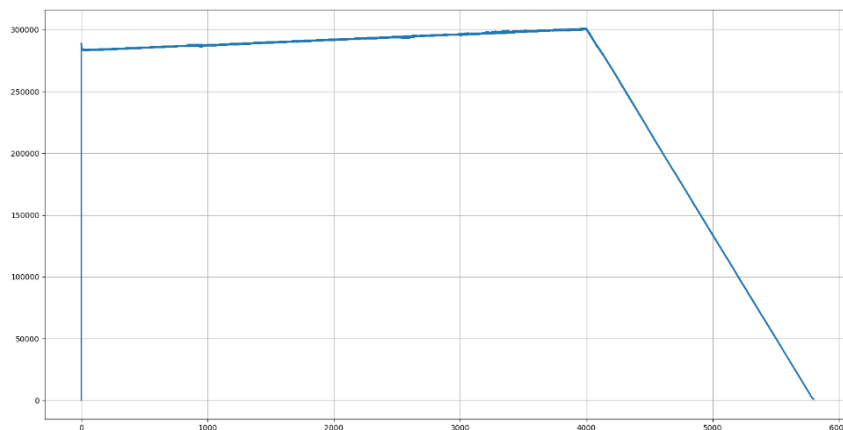
รูปที่ 4.8 (ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 5% ตลอดการชาร์จแต่ในช่วงเริ่มชาร์จนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายและผลจากการเริ่มทำงานของตู้อัดประจุดังรูปที่ 4.8 (ข.) และมีค่าสูงอีกจุดหนึ่งคือช่วงหลังจากชาร์จเสร็จเป็นผลมาจากการควบคุมกระแสไม่ได้เนื่องจากการดึงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายน้อยจนเกินไปดังรูปที่ 4.8 (ซ.)

รูปที่ 4.8 (ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 1.25% ตลอดการชาร์จและแต่ในช่วงเริ่มชาร์จนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า

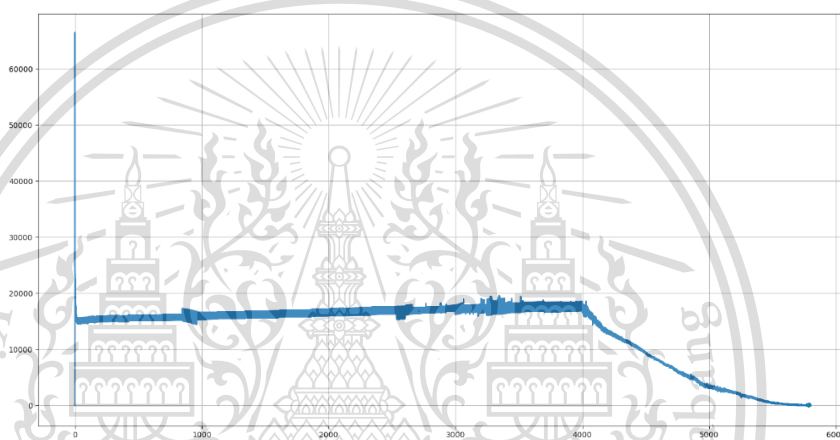
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

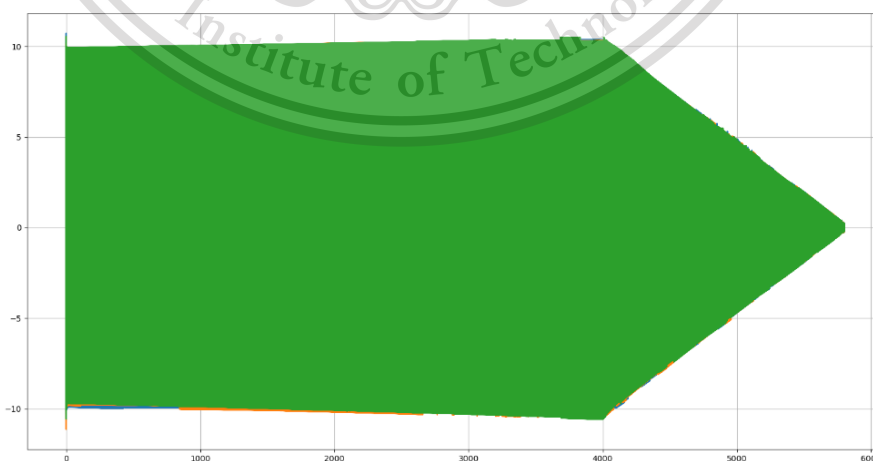
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง



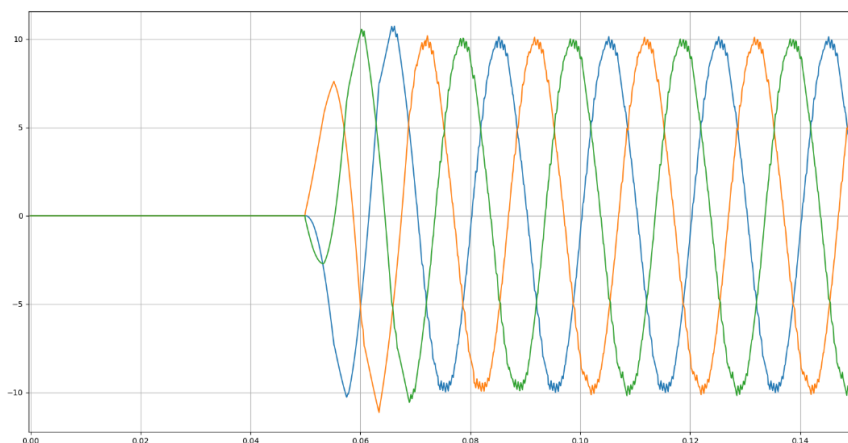
(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

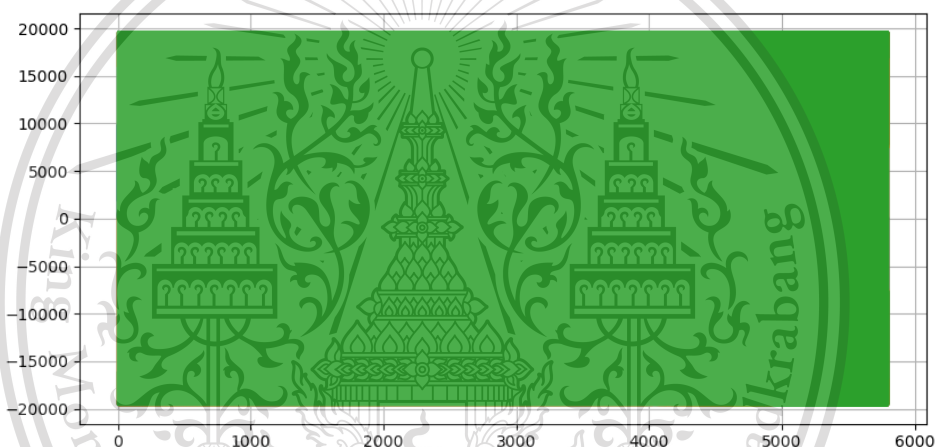
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

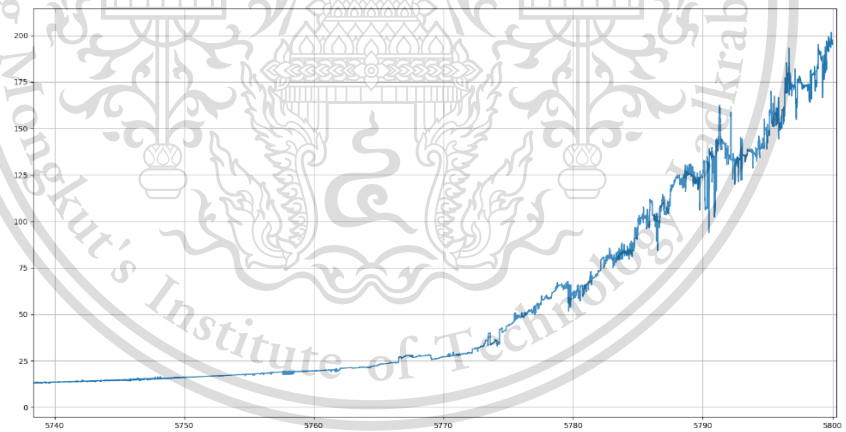
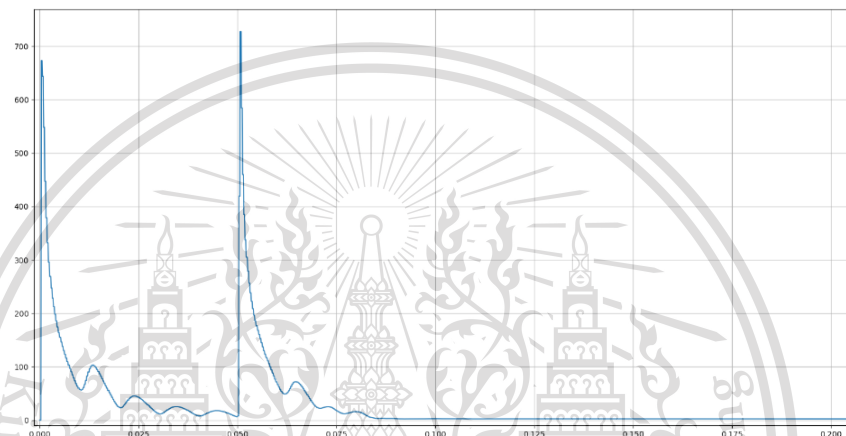
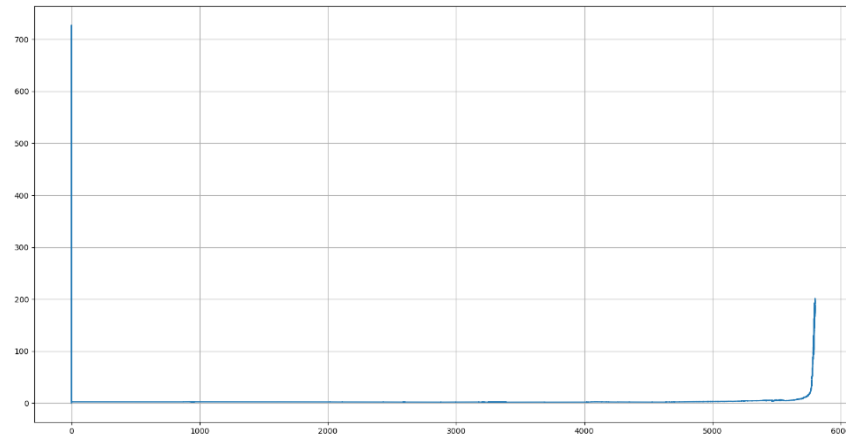


(จ.) แรงแดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

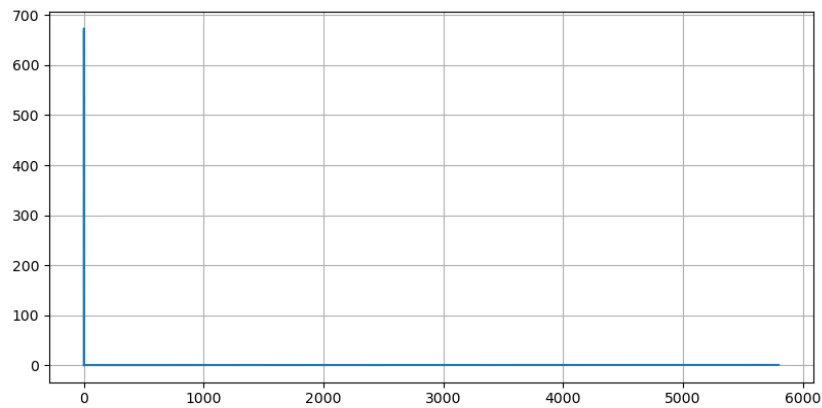
(ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ

(ซ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

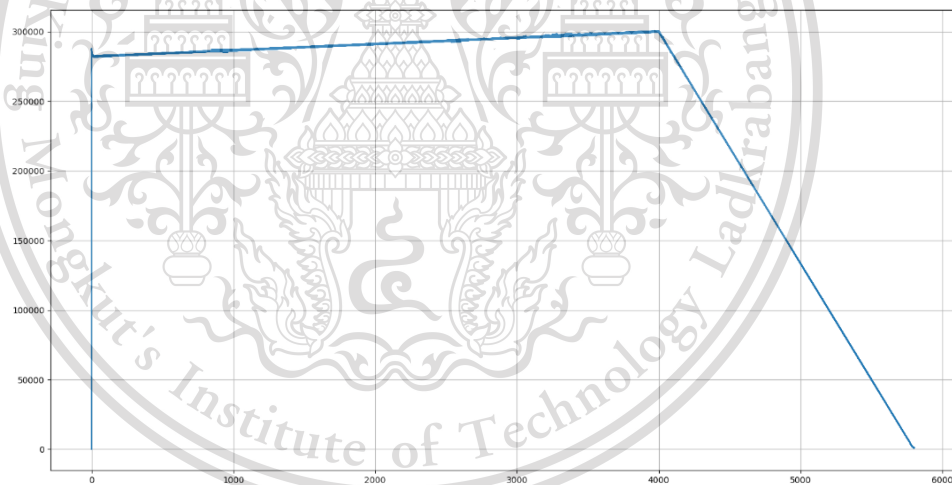
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.8 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง

รูปที่ 4.9 (ก.) ถึง (ณ.) เป็นการวัดค่าหลังหม้อแปลงจะมีผลลัพธ์คล้ายคลึงกับรูปที่ 4.9 (ก.) ถึง (ณ.) แต่จะมีความสูญเสียระหว่างหม้อแปลงไปเล็กน้อย

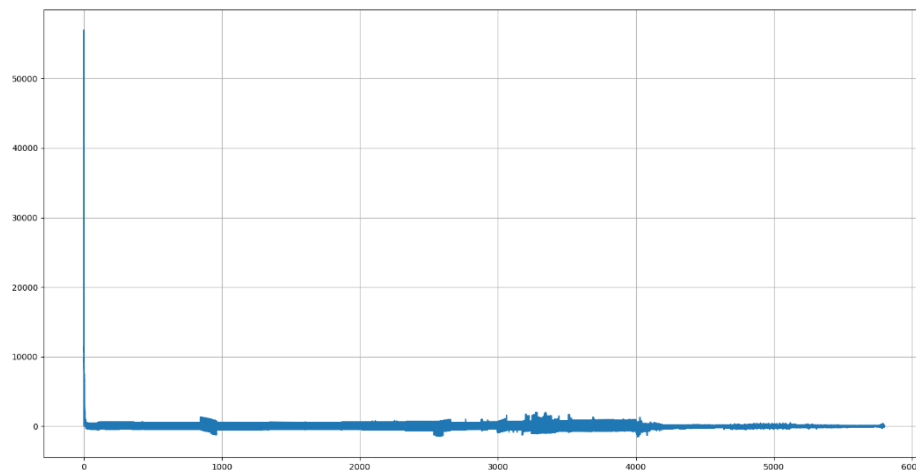


(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

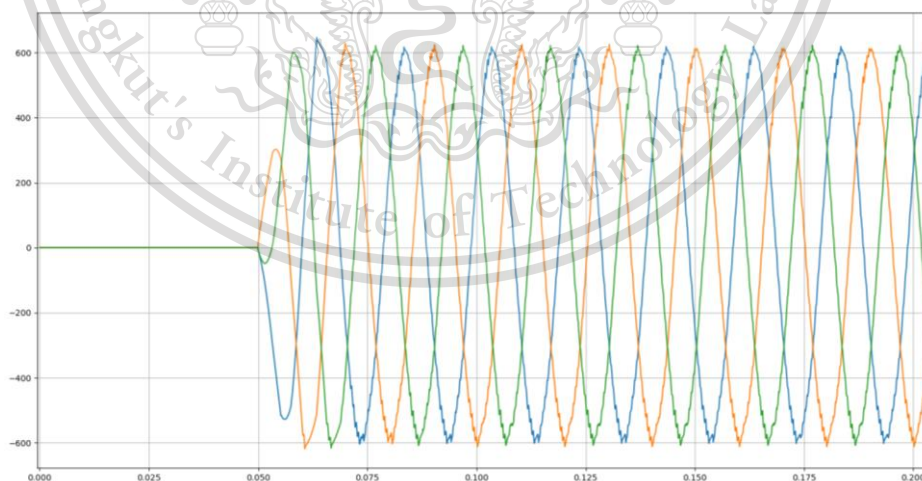
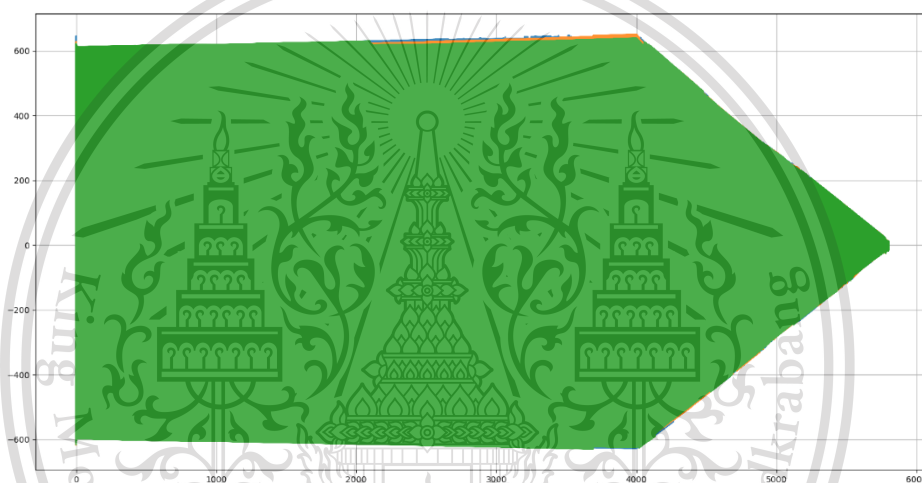
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน



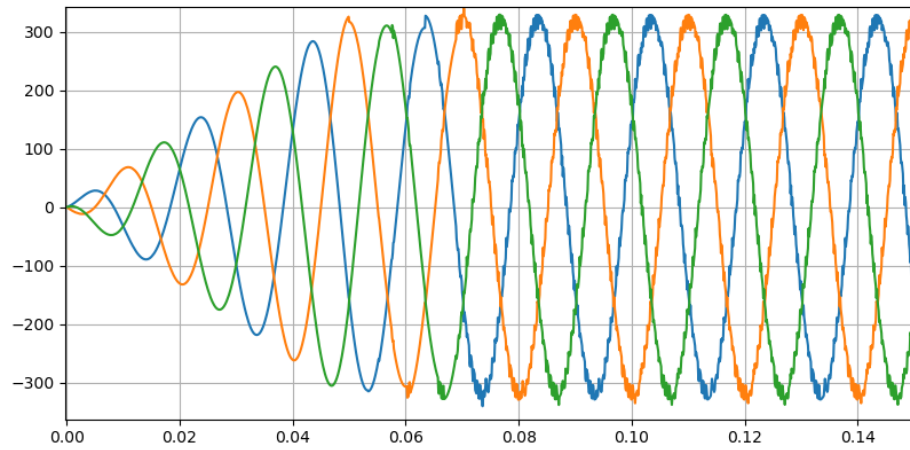
(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

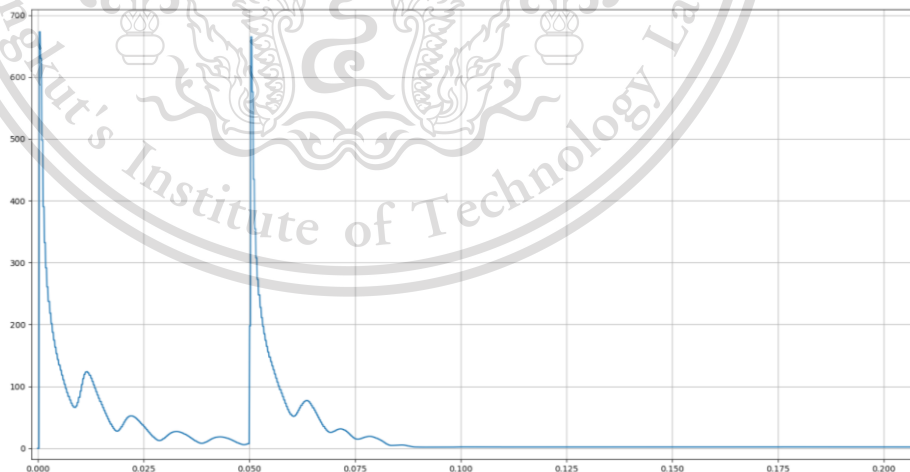
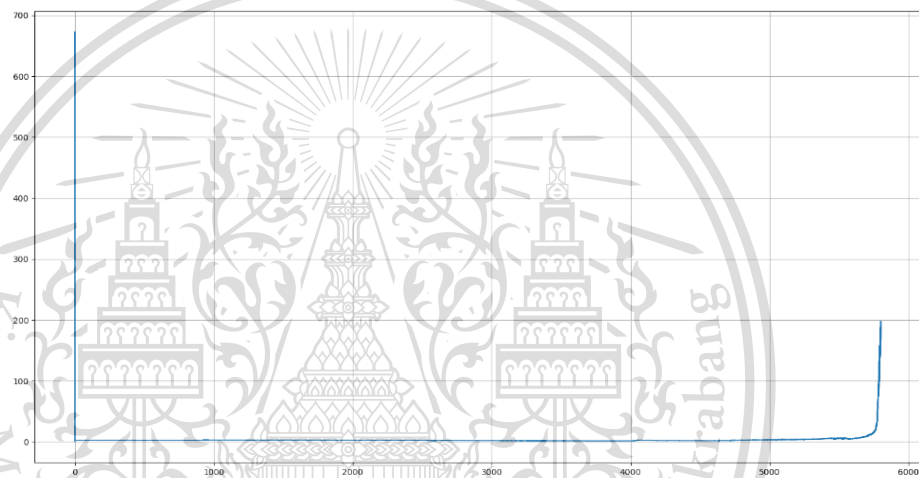
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



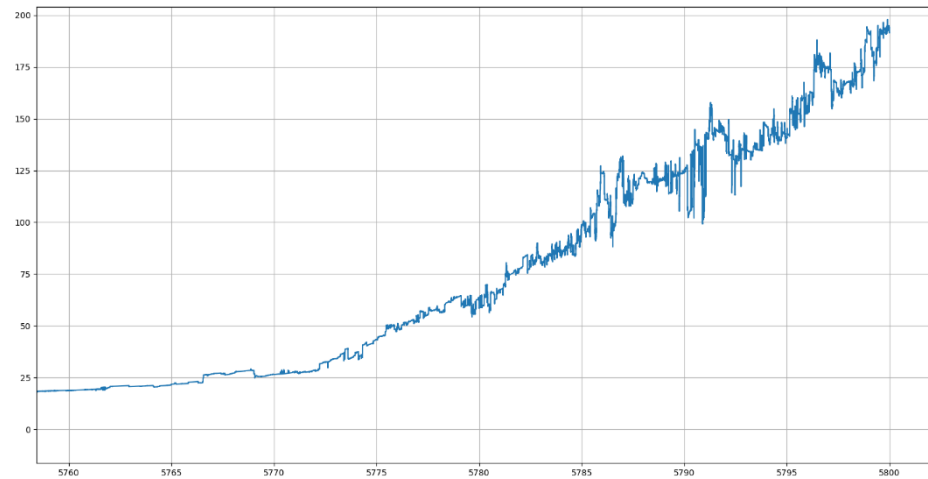
(ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

(ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มซาร์จ

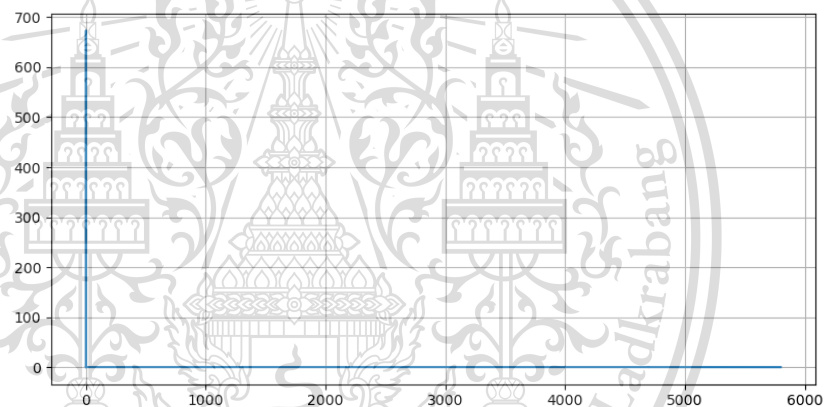
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ซ.) ความเพิ่มขึ้นโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ



(ณ.) ความเพิ่มขึ้นโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

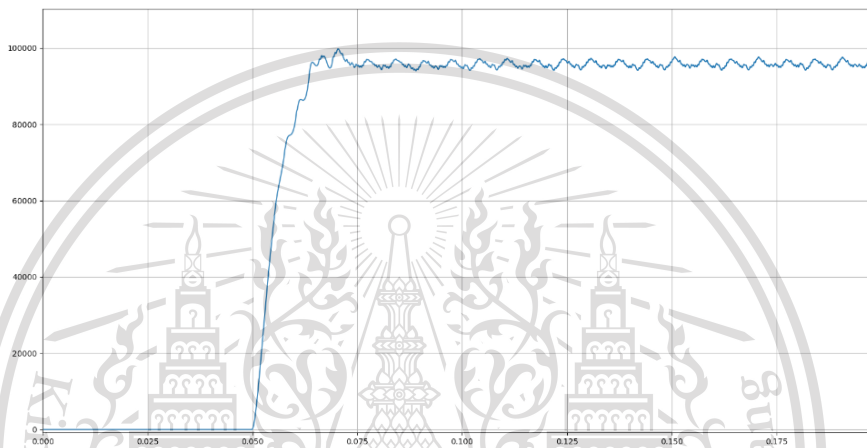
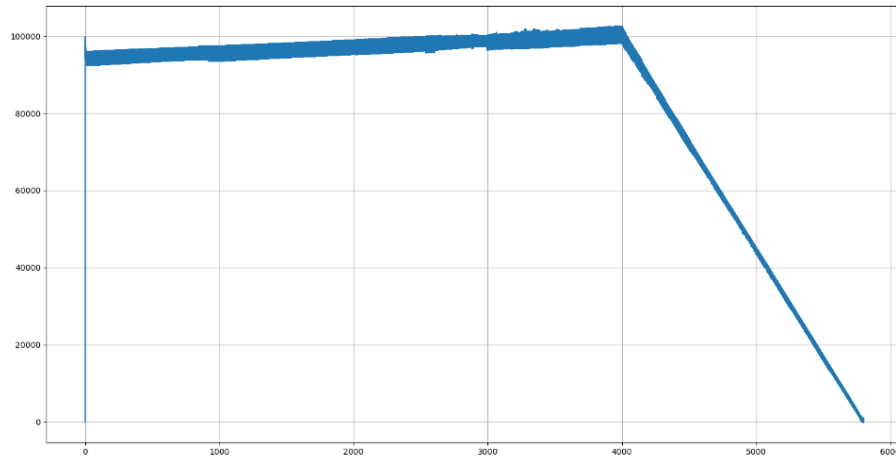
รูปที่ 4.9 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งหลังหม้อแปลง

รูปที่ 4.10 (ก.) ถึง (ญ.) เป็นการวัดหน้าตู้อัดประจุทั้งหน้าตู้ทั้ง 3 ตู้ ในรูปที่ 4.10 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงหน้าและหลังหม้อแปลง แต่กำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงวินาทีที่ 0.05-0.07 แบทเตอร์รีมีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่ามากกว่าที่ดึงมาจากแหล่งจ่าย และค่าพารามิเตอร์มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับผลของหน้าหม้อแปลงและหลังหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

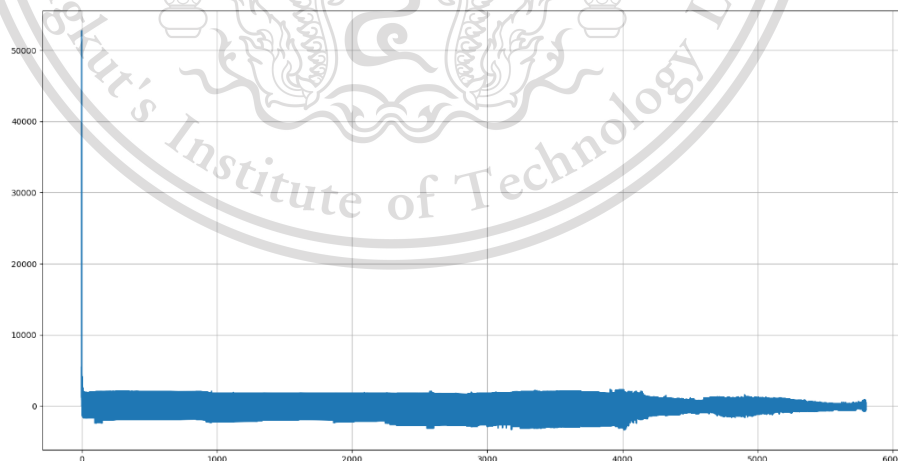
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด

(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

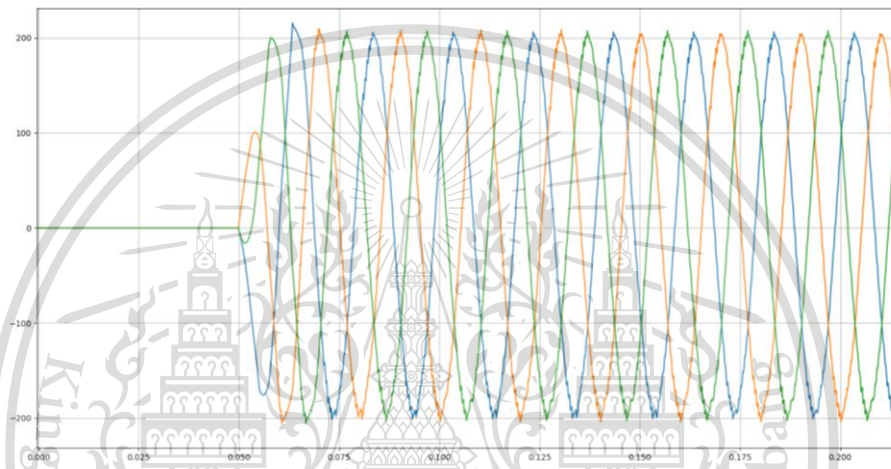
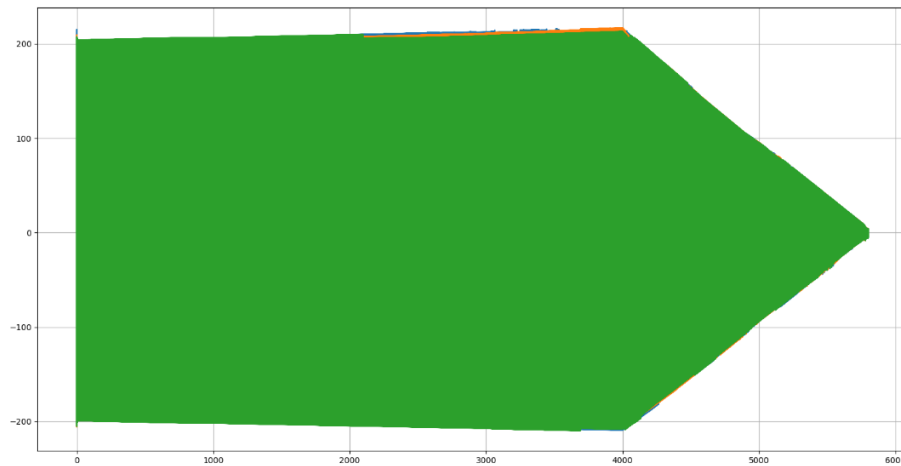


(ค.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

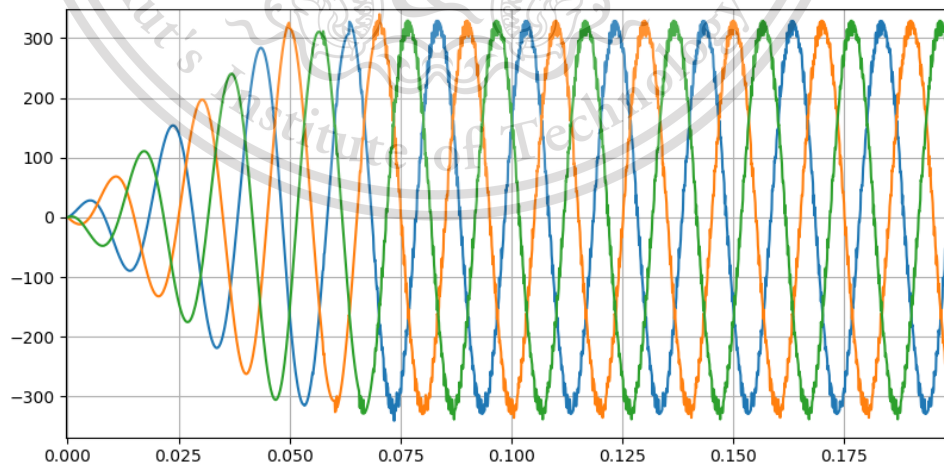
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



(ง.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

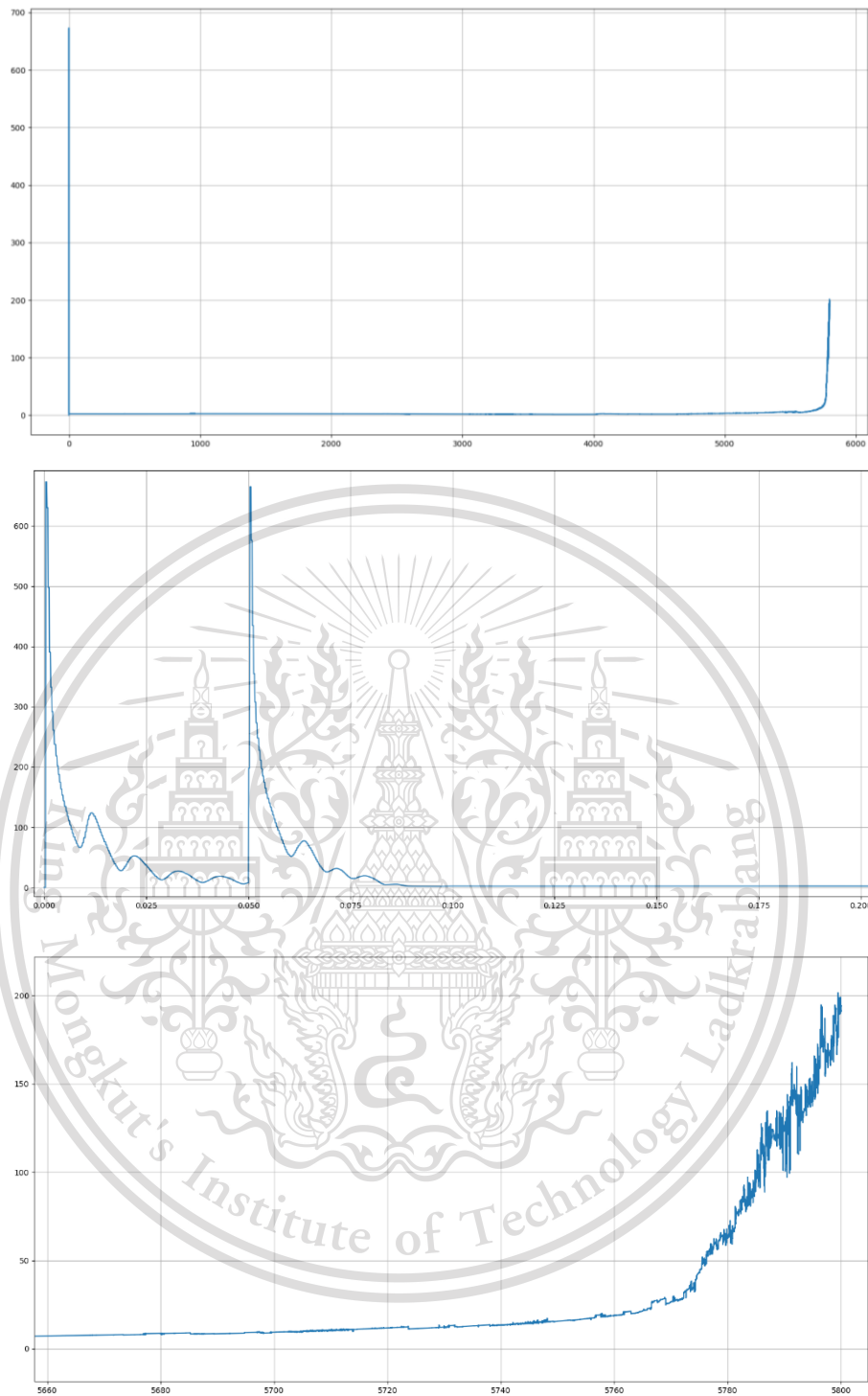


(ฉ.) แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ช.) ความพื้นที่นโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกทั้งหมด

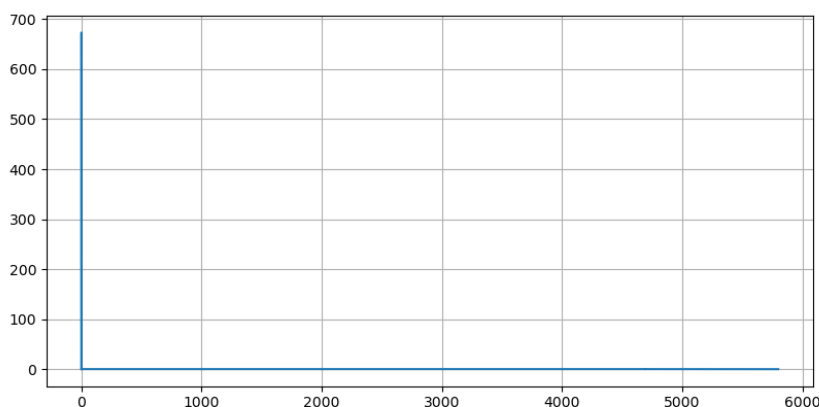
(ข.) ความพื้นที่นโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกช่วงเริ่มชาร์จ

(ฅ.) ความพื้นที่นโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.10 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุทั้ง
หน้าตู้ทั้ง 3 ตู้

รูปที่ 4.11 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดค่าที่แต่ละหัวจ่ายทั้งหมดทั้ง 6 หัวชาร์จโดยรถและแบตเตอรี่ที่เหมือนกันทั้งหมด ในรูปที่ 4.11 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงตามที่ควบคุม แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงวินาทีที่ 0.05-0.10 เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่า 20 kW และไปคงที่ที่ประมาณ 45 kW ที่เป็นผลมาจากการดึงจากแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 4.11 (ข)

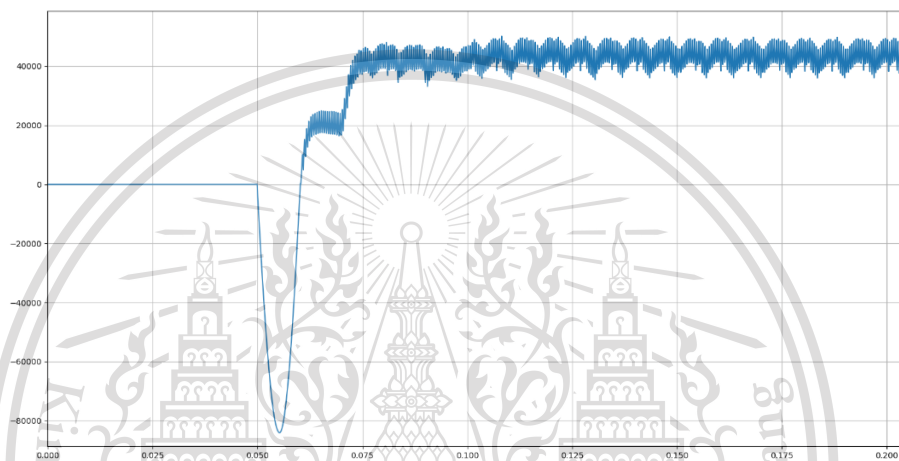
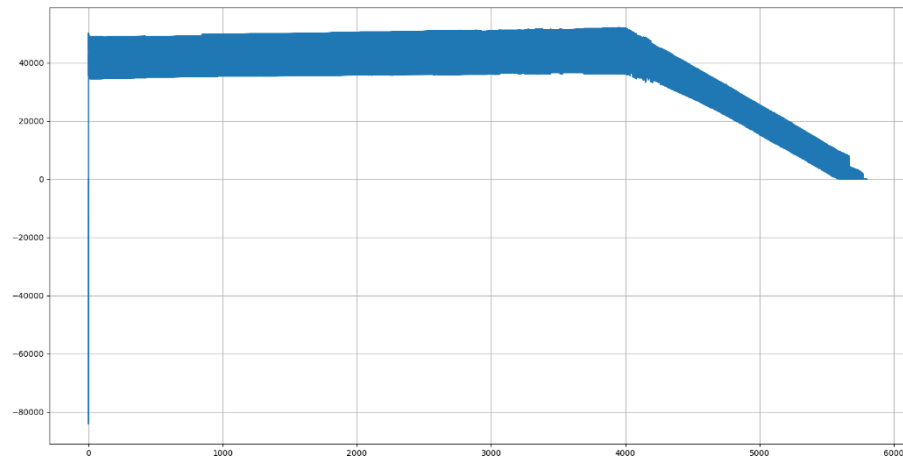
รูปที่ 4.11 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย

รูปที่ 4.11 (จ.) แรงดันไฟฟ้าทำการคงที่ไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่ประมาณ 500 V และเป็นไปตามความต้องการของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC) ซึ่งสถานะการชาร์จในช่วงตั้งแต่ 10-85% นั้นจะมีความเป็นเชิงเส้นและตั้งแต่ช่วง 85-100% จะช้าลงและมีความโค้งจนกระทั่งเข้าสู่ 100% ดังรูปที่ 4.11 (ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

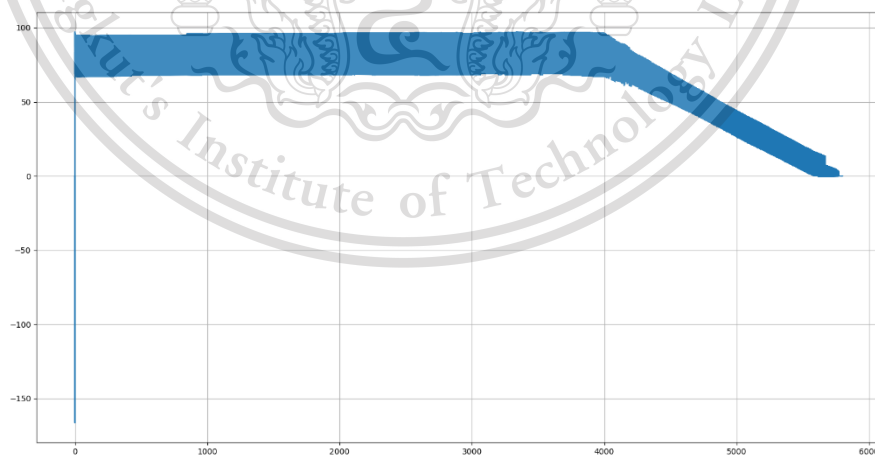
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

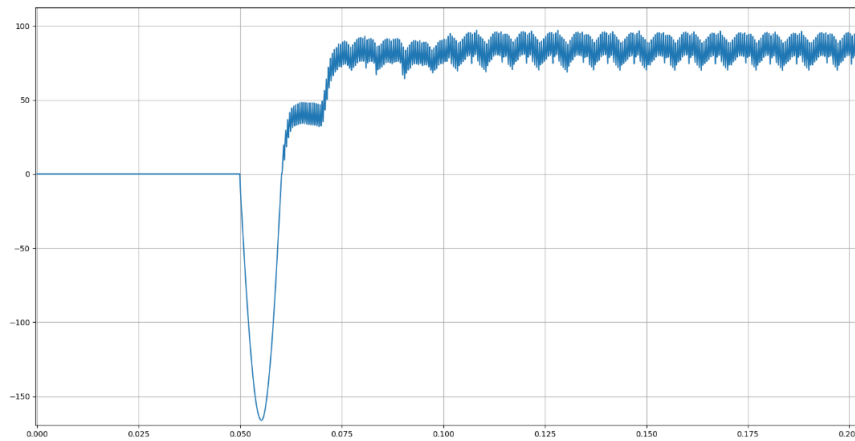
(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

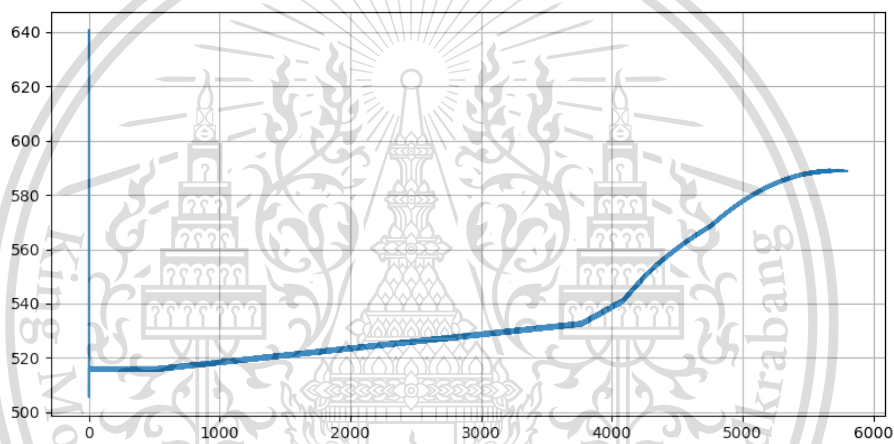
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

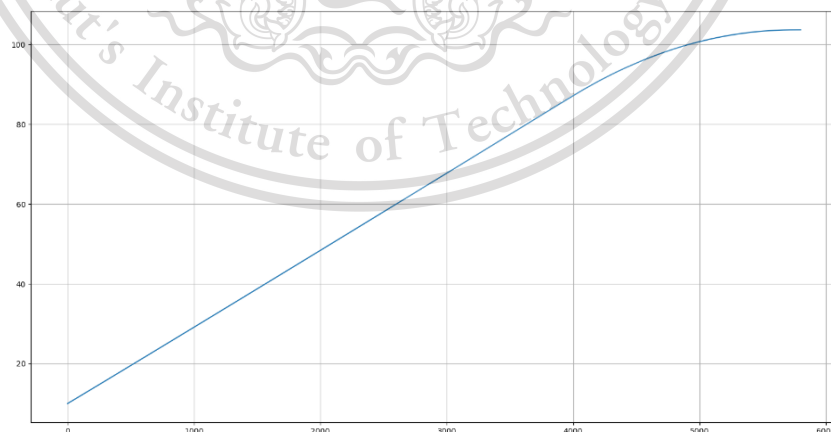


(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ



(จ.) แรงแต้นไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 รูปที่ 4.11 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 6 คันวัดที่ตำแหน่งของแต่ละหัวจ่าย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.3 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อมีการชาร์จในเวลาที่เหมาะสมและขนาดของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

กรณีที่สามเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 3 คันโดยมีการเข้าชาร์จในเวลาที่เหมาะสมเมื่อคันแรกชาร์จตั้งแต่เครื่องเริ่มทำงาน คันที่สองเข้าชาร์จเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีและคันที่ 3 เข้าชาร์จเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ซึ่งทั้ง 3 คันนั้นจะมีปริมาณแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน รถที่เข้าใช้บริการจะเป็นรุ่น BMWi3 คันที่ 1 ขณะที่มีแบตเตอรี่ 10% ทำการชาร์จจนถึง 100% คันที่ 2 ขณะที่มีแบตเตอรี่ 50% ทำการชาร์จจนถึง 100% และคันที่ 3 ขณะที่มีแบตเตอรี่ 80% ทำการชาร์จจนถึง 100% และทำการวัดค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) กระแสไฟฟ้า (I) แรงดันไฟฟ้า (V) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และ ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_v)

รูปที่ 4.12 (ก.) ถึง (ฐ.) เป็นการวัดค่าหน้าหม้อแปลง จากรูปที่ 4.12 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายประมาณ 47 kW และทำการดึงเพิ่มขึ้นจนถึง 50 kW เป็นการดึงกำลังไฟฟ้าจริงของรถยนต์คันที่หนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 1800 วินาที รถยนต์คันที่สองจะทำการเข้าชาร์จจึงทำให้มีการดึงกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก 47 kW รวมได้กำลังไฟฟ้าที่ดึงจากแหล่งจ่ายประมาณ 94 kW และเมื่อเวลาผ่านไป 3600 วินาที จะมีรถยนต์คันที่สามเข้าชาร์จเมื่อชาร์จทำให้มีการดึงกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก 47 kW จนกระทั่งกำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่ถูกดึงจากแหล่งจ่ายจะมีค่าประมาณ 145 kW ซึ่งถึงเวลาของรถทั้ง 3 คันนั้นสถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 85% จะทำการค่อยๆลดกำลังไฟฟ้างจนถึงศูนย์พร้อมกับสถานะของแบตเตอรี่เป็น 100 % กำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าสูงมากในช่วงแรกของการดึงกำลังไฟฟ้าจริงมาและลดลงจนกระทั่งคงที่ที่ ประมาณ 500 var ในการชาร์จรถคันแรก ต่อมาเมื่อมีการชาร์จรถคันที่สองกำลังไฟฟ้าเสมือนจะสูงขึ้นและไปคงที่ อยู่ที่ประมาณ 2000 var และเมื่อรถคันที่สามเข้าชาร์จค่าของกำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 4700 var และลดลงเรื่อยๆจนเหลือศูนย์เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าจริงในรูป 4.12 (ข.)

รูปที่ 4.12 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย และรูปที่ 4.12 (ง.) แสดงถึงกระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มชาร์จจะมีกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นชั่วขณะเนื่องจากการเริ่มทำงานของตัวอัดประจุไฟฟ้าและมีการดึงกำลังไฟฟ้าจริงในการชาร์จครั้งที่หนึ่ง สอง และสามตามรูป 4.12 (ง.) 4.12 (จ.) และ 4.12 (ฉ.)

รูปที่ 4.12 (จ.) แรงดันไฟฟ้าด้านหน้าหม้อแปลงที่มาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงที่มีขนาด 22 kV แต่ในกราฟที่แสดงจะเป็นการแสดงค่าของแรงดันพีคในแต่ละเฟส

รูปที่ 4.12 (ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 5% ตลอดการชาร์จแต่ในช่วงเริ่มชาร์จจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายและผลจากการเริ่มทำงานของตัวอัดประจุในแต่ละครั้งของการชาร์จตามรูปที่ 4.12 (ฉ.) 4.12 (ญ.) และ 4.12 (ฎ.)

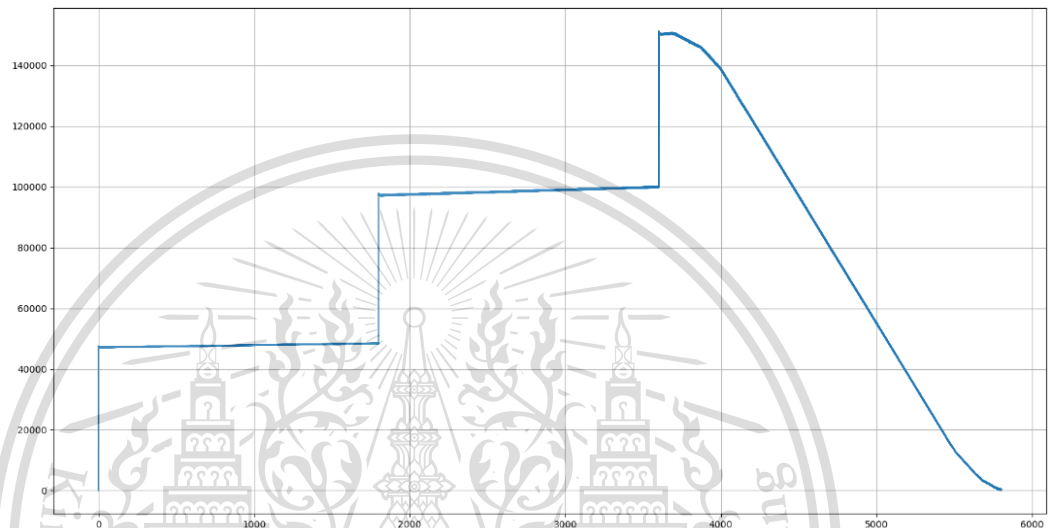
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น มิใช่เผยแพร่เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

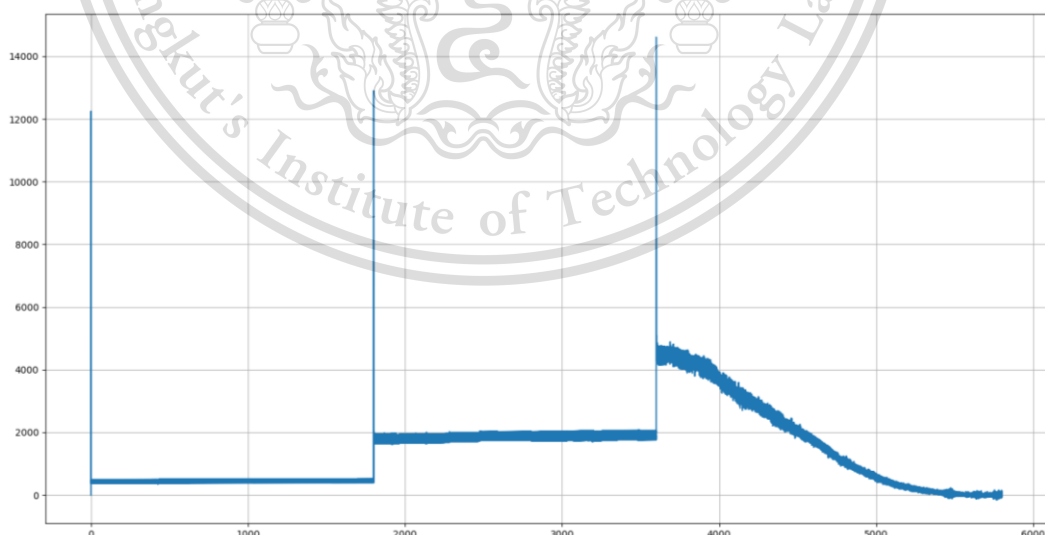
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อีกหนึ่งจุดที่มีค่าสูงคือช่วงหลังจากชาร์จเสร็จเป็นผลมาจากการควบคุมกระแสไม่ได้เนื่องจากการทำการดึงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายน้อยจนเกินไปดังรูปที่ 4.12 (ฎ.)

รูปที่ 4.12 (ฐ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิกทั้งหมดจะมีค่าน้อยประมาณ 1.25% ตลอดการชาร์จและแต่ในช่วงเริ่มชาร์จนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเริ่มทำงานของแหล่งจ่ายเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

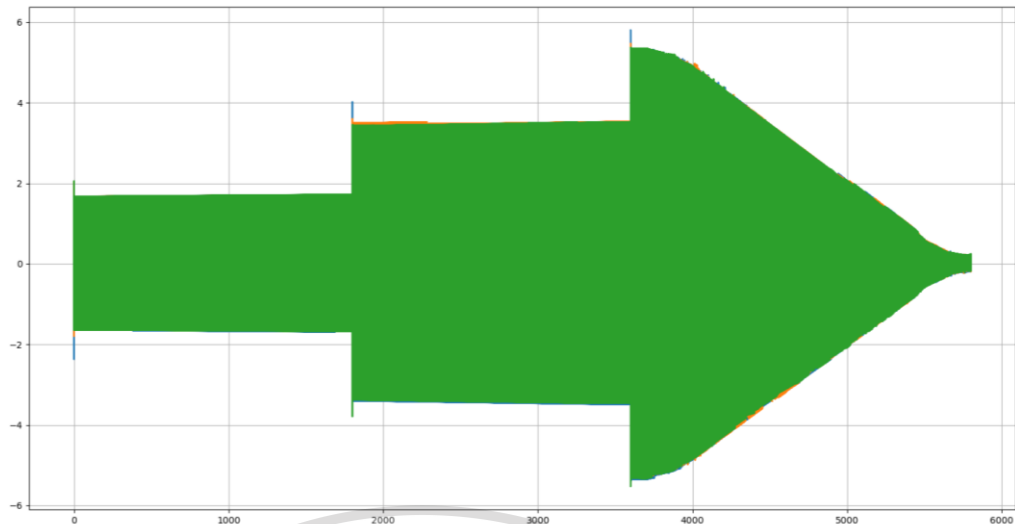


(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

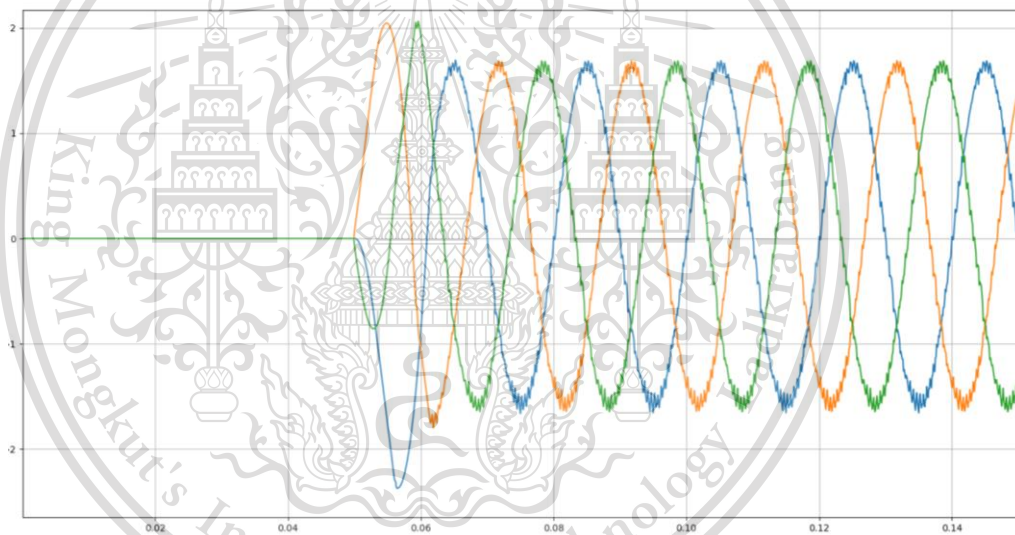
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

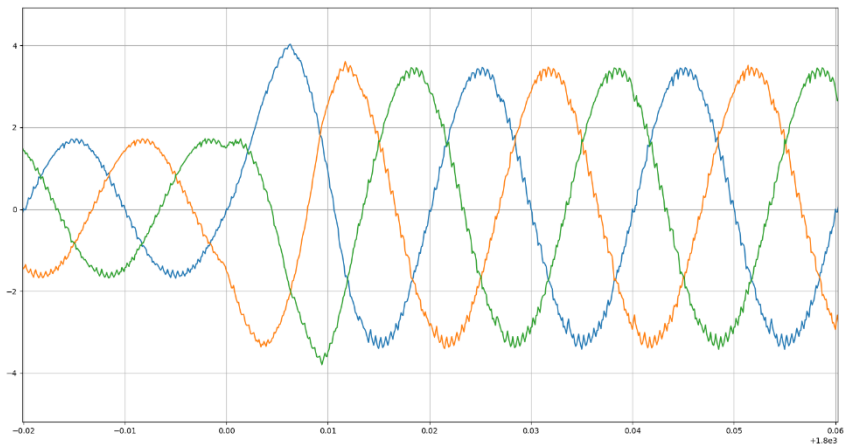


(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 1

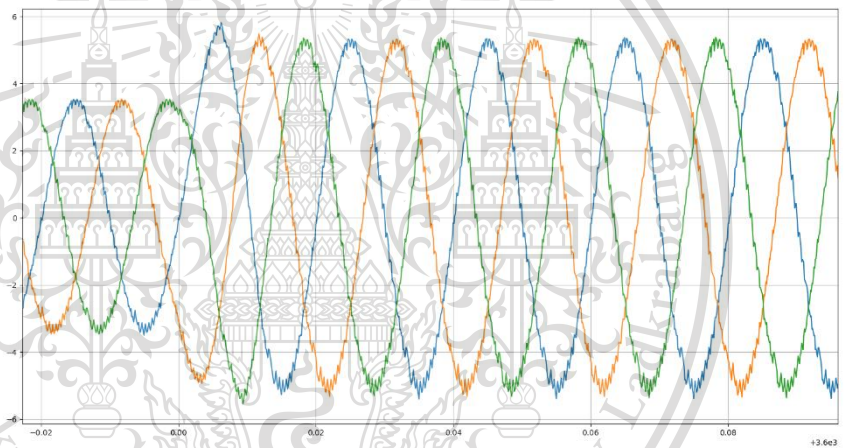
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 2

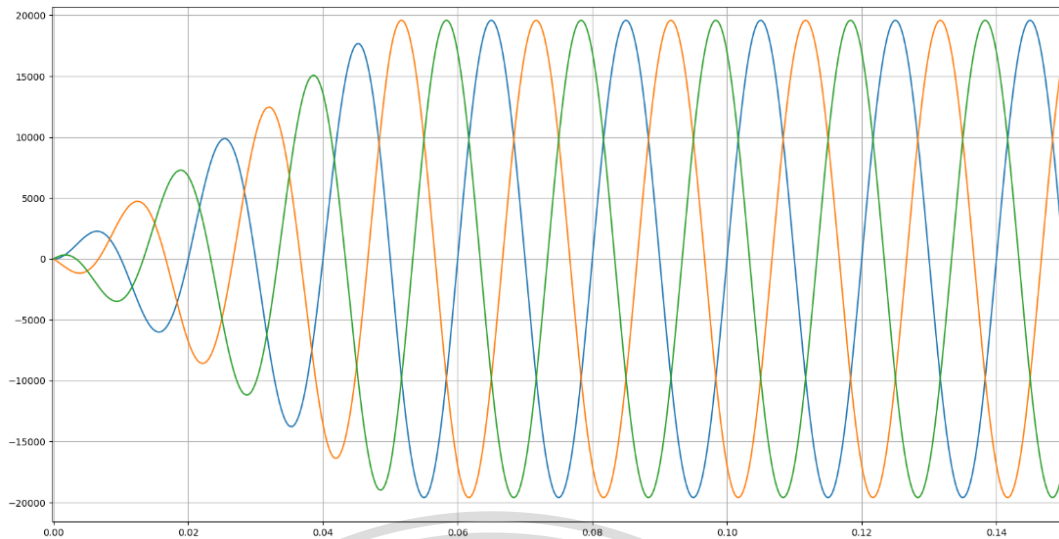


(ฉ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 3

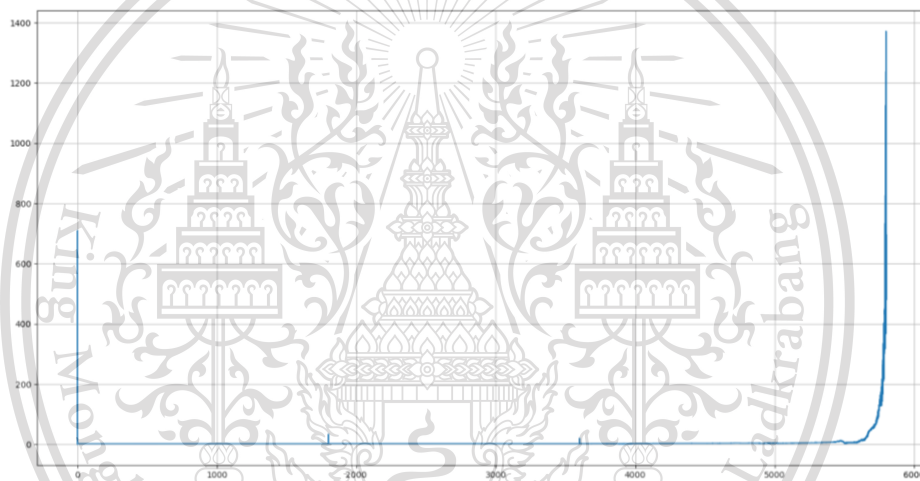
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

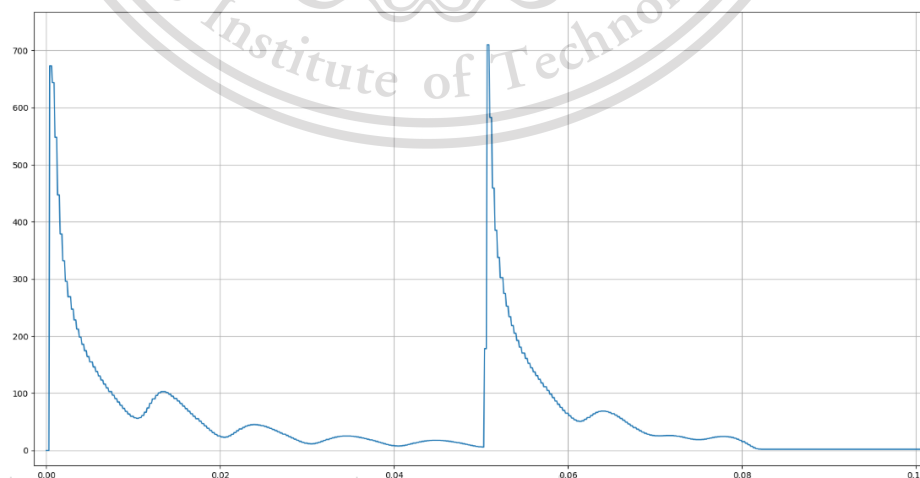
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ซ.) แรงดันไฟฟ้า



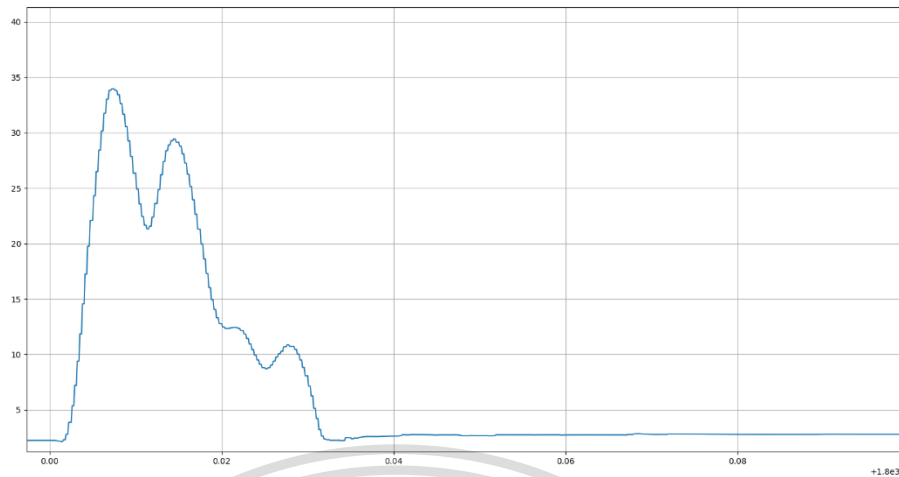
(ซ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด



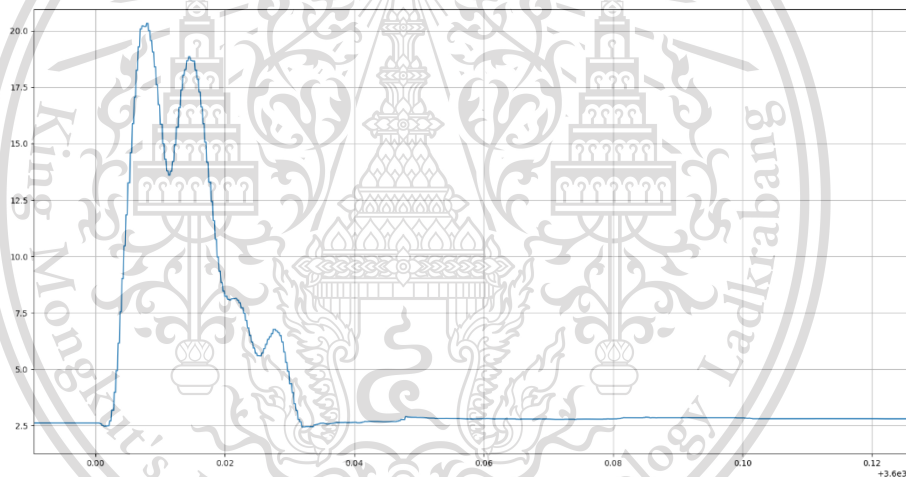
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ณ.)ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จรถดคันที่ 1
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ญ.) ความเพิ่มโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 2

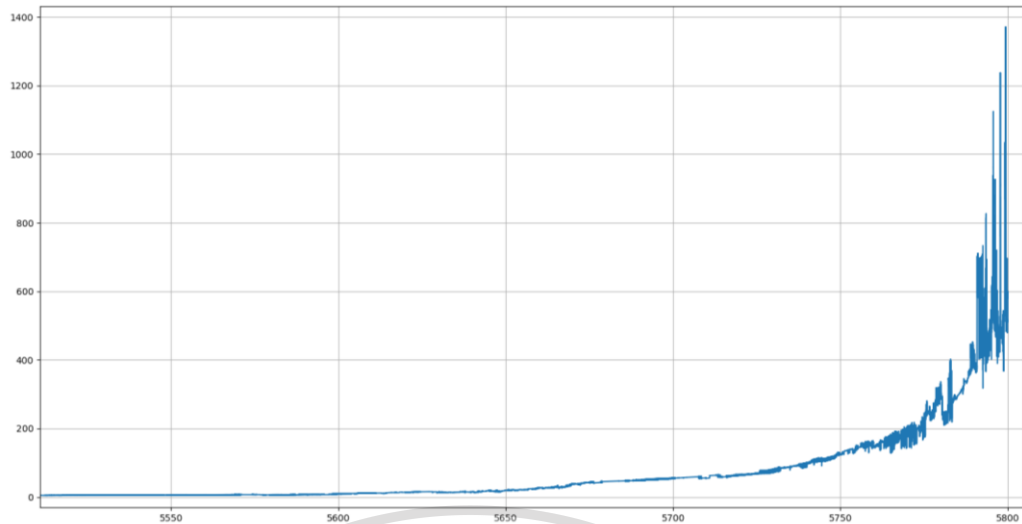


(ฎ.) ความเพิ่มโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 3

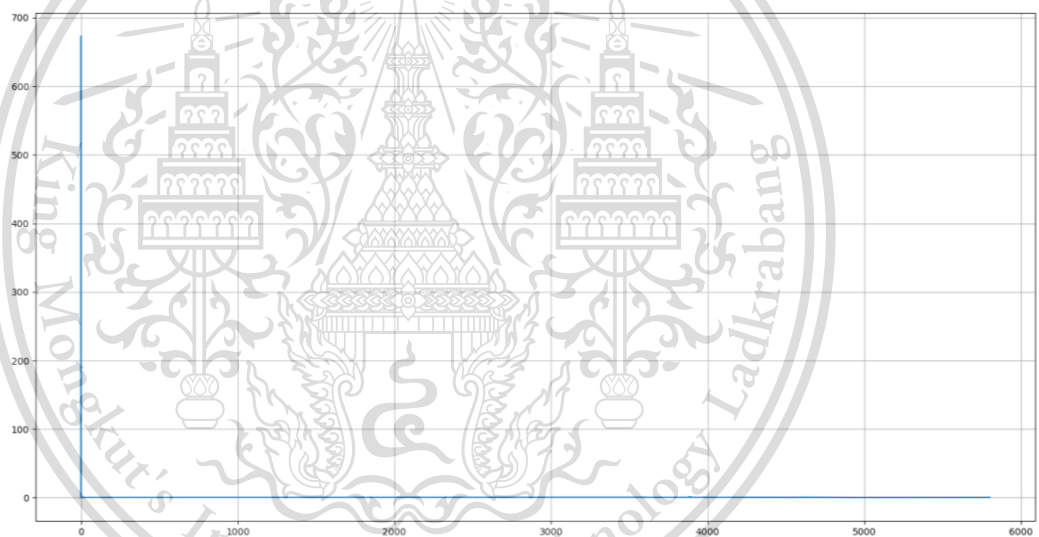
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ก.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ



(ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

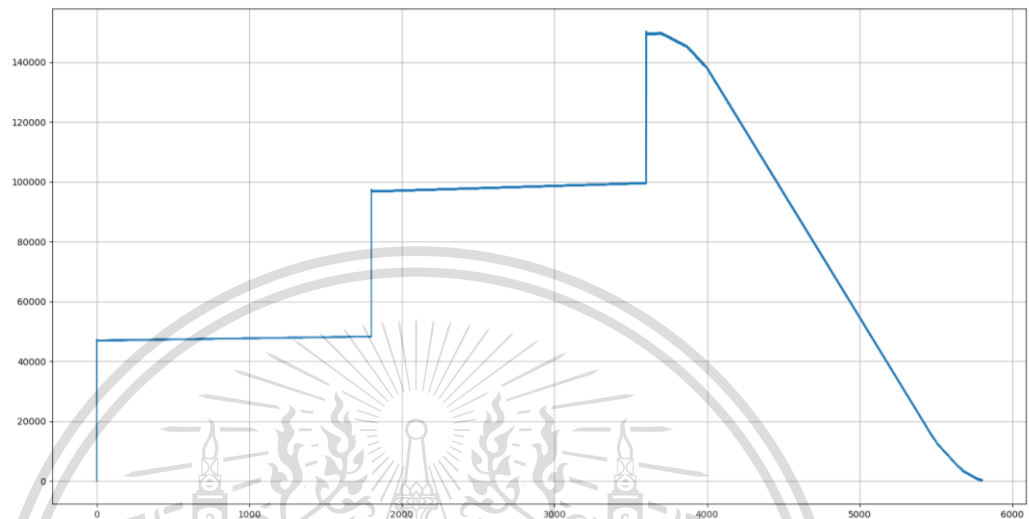
รูปที่ 4.12 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียง
 ล้ากันและมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันเมื่อวัดที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

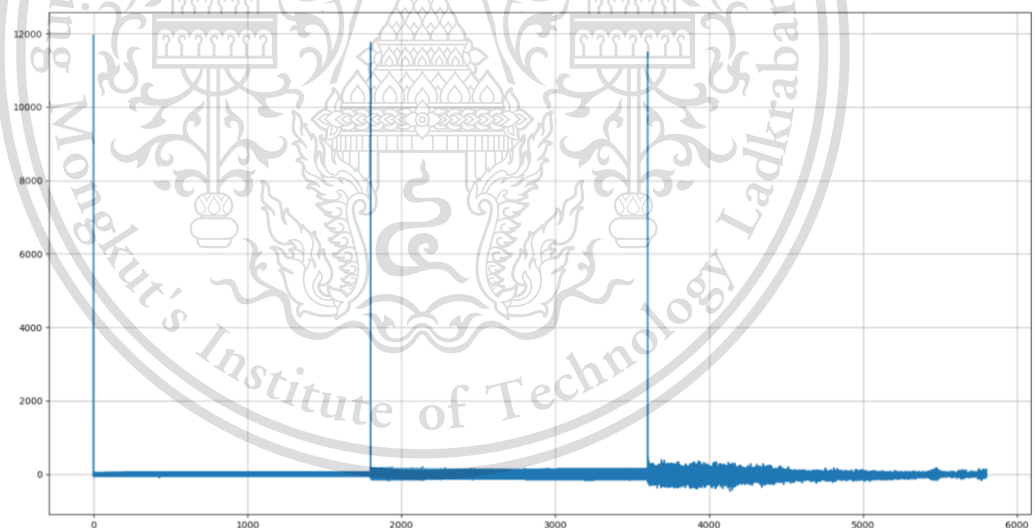
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.13 (ก.) ถึง (ฉ.) เป็นการวัดค่าหลังหม้อแปลงจะมีผลลัพธ์คล้ายคลึงกับรูปที่ 4.13 (ก.) ถึง (ฉ.) แต่กำลังไฟฟ้าเสมือนที่อยู่หลังหม้อแปลงจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าเสมือนหน้าหม้อแปลงดังรูปที่ 4.13 (ข.) และจะมีความสูญเสียระหว่างหม้อแปลงไปเล็กน้อยในแต่ละกราฟ



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

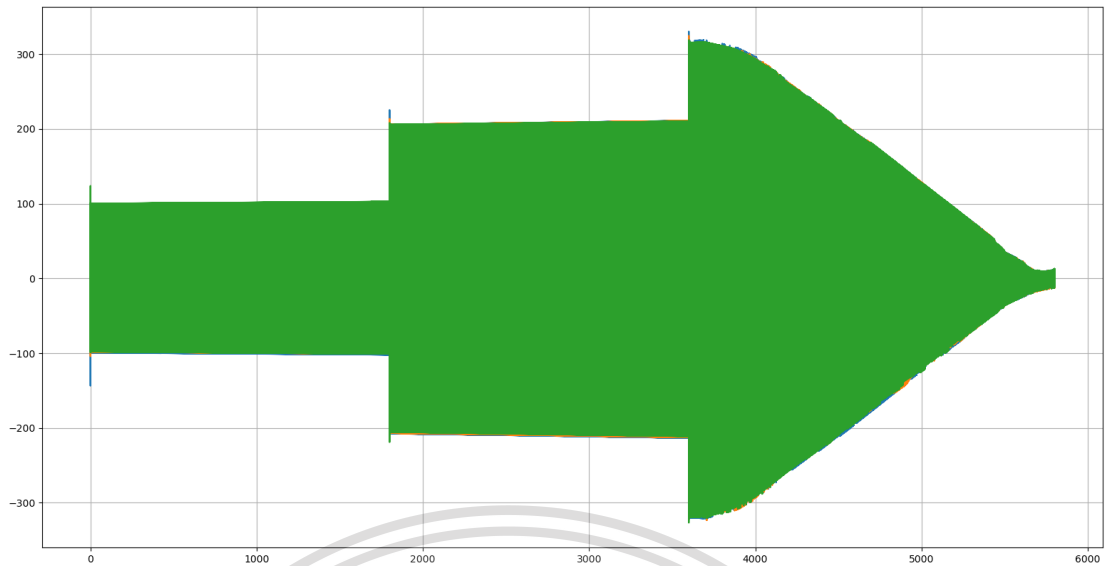


(ข.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

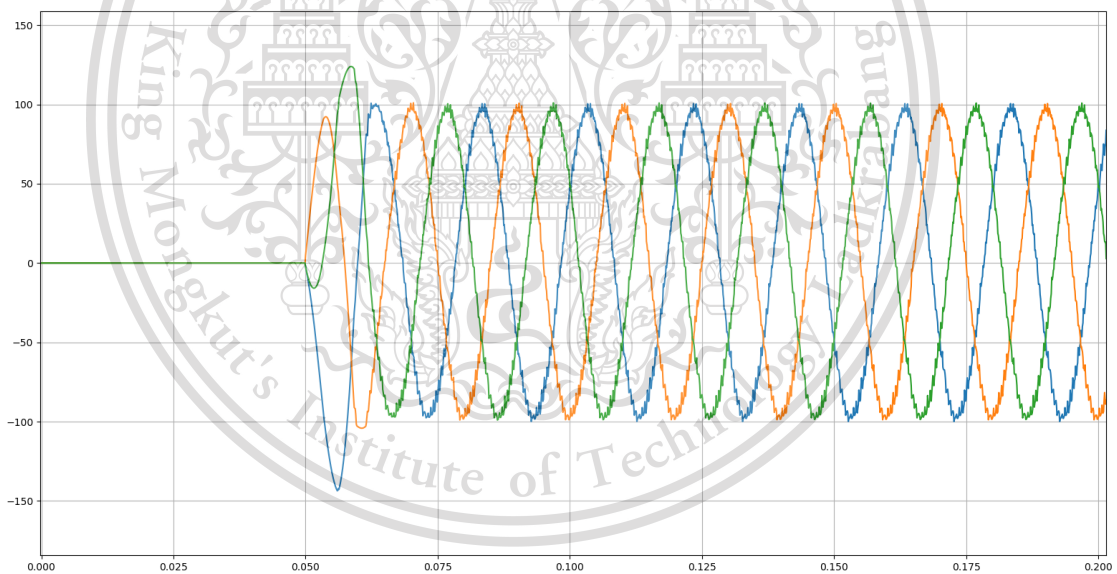
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

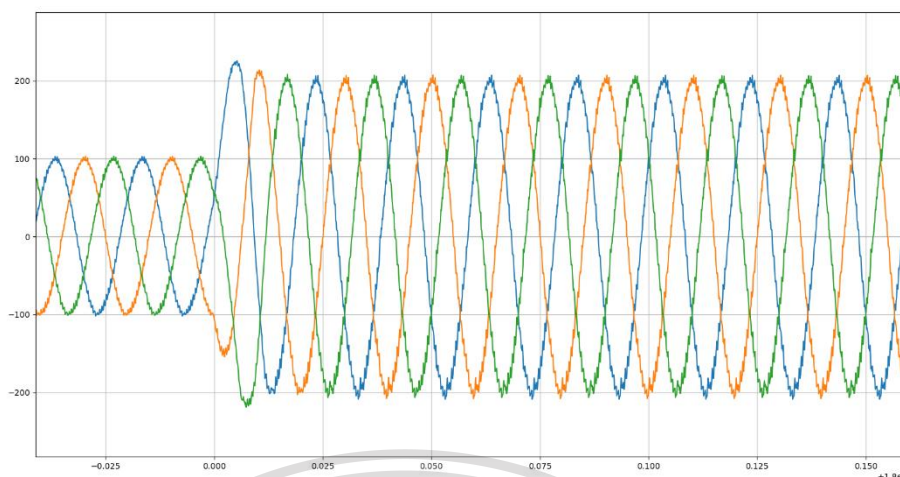


(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จรถคันที่ 1

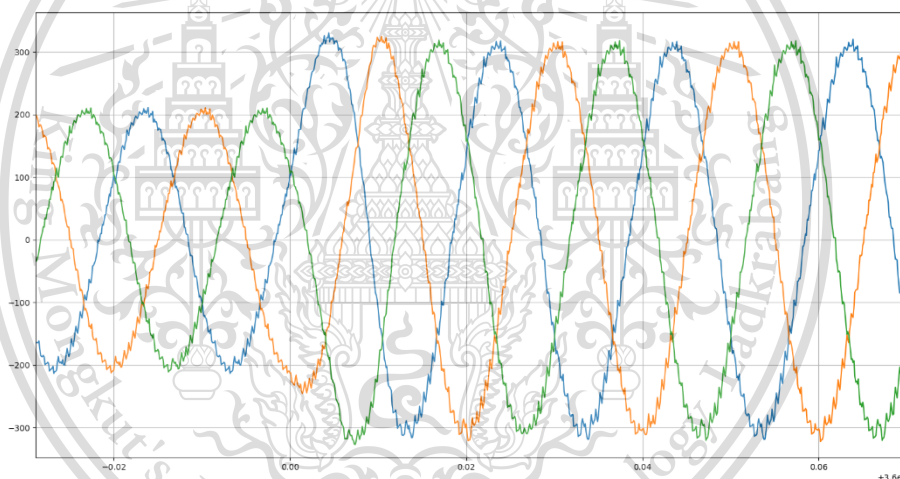
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มซาร์จรถคันที่ 2

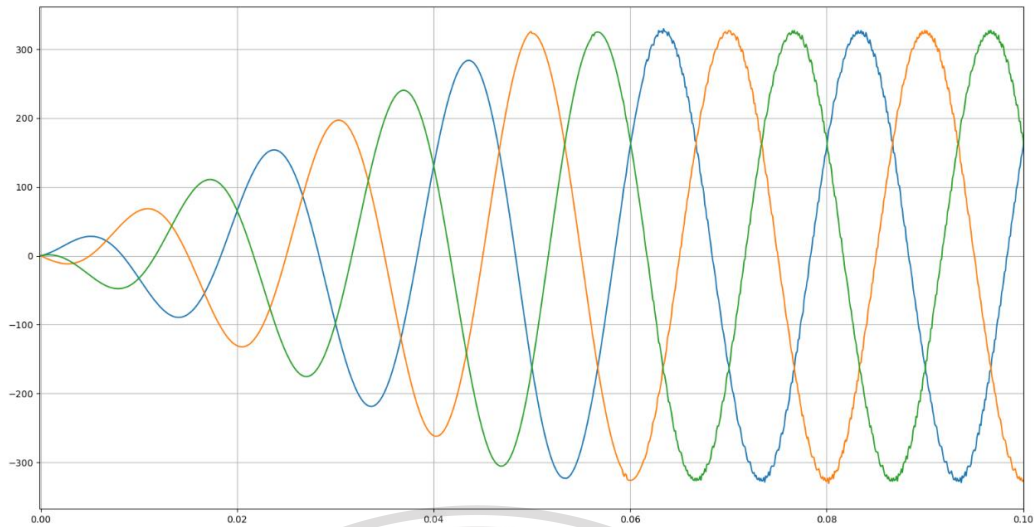


(ฉ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มซาร์จรถคันที่ 3

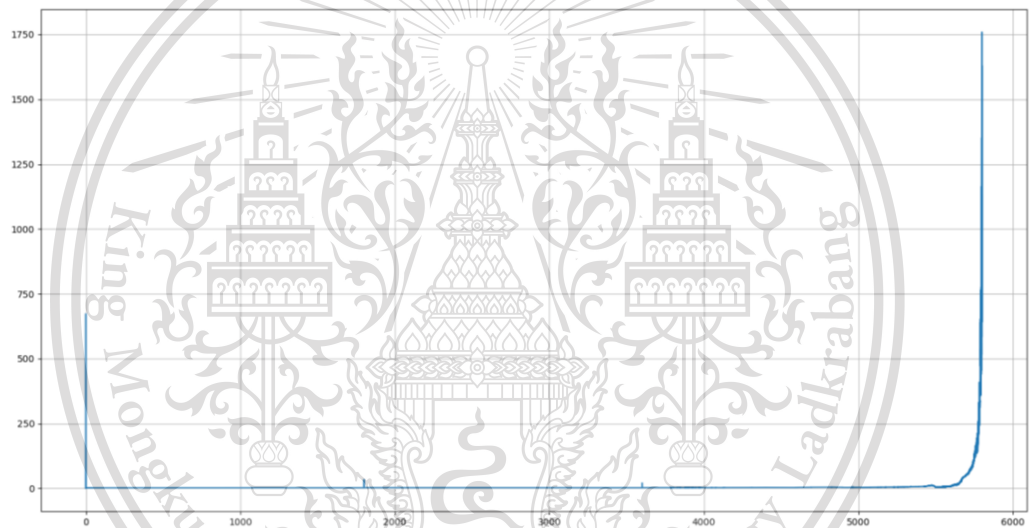
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

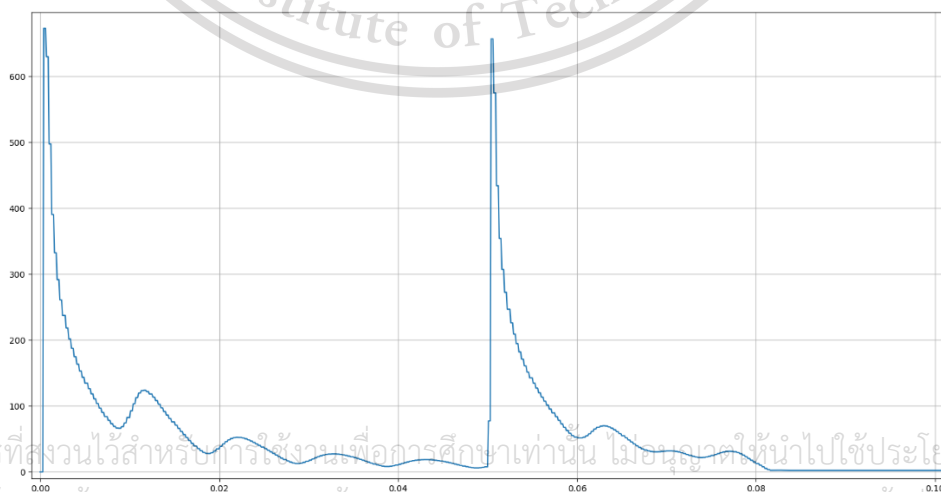
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด



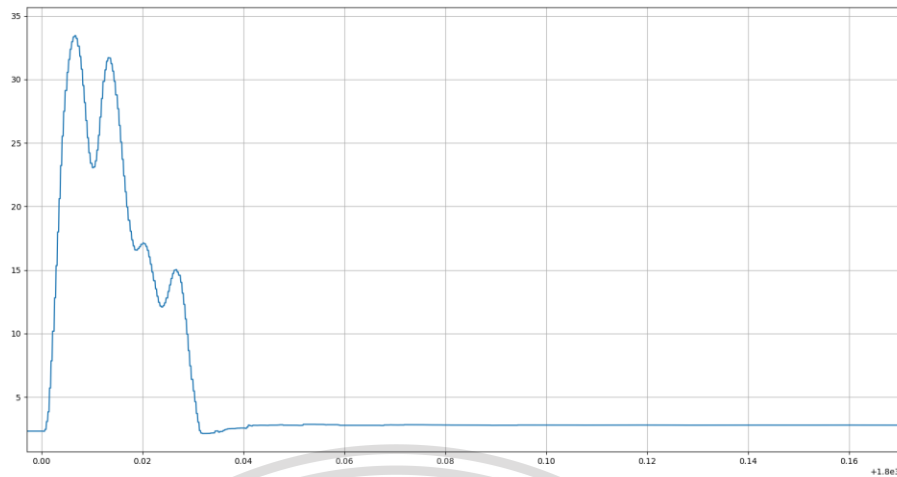
(ฉ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ์คันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกช่วงเริ่มชาร์จคันที่ 2

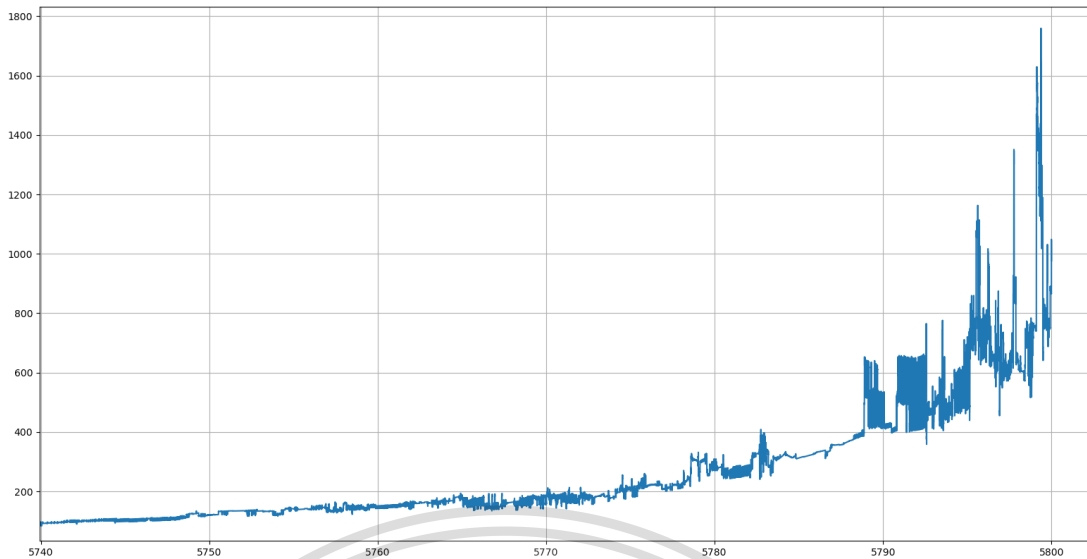


(ฎ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกช่วงเริ่มชาร์จคันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ฎ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ



(จ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

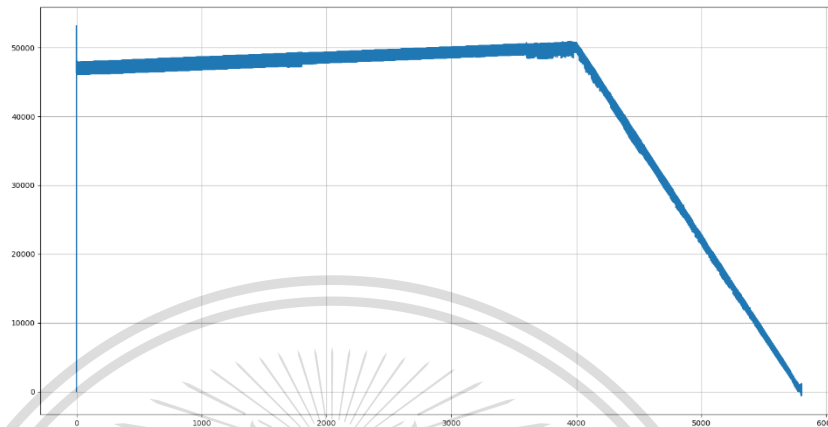
รูปที่ 4.13 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียง
 ล้ากันและมีปริมาณแบตเตอรี่ที่ต่างกันเมื่อวัดที่ตำแหน่งหลังหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

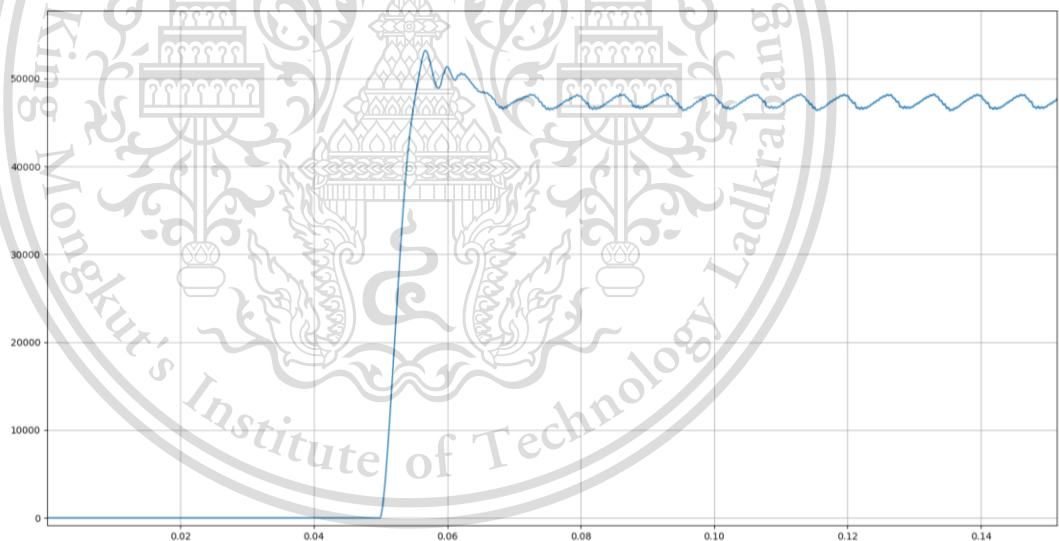
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.14 (ก.) ถึง (ญ.) เป็นการวัดหน้าตู้อัดประจุที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 10% ถึง 100% จำนวน 1 คัน ในรูปที่ 4.14 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงหน้าและหลังหม้อแปลง และค่าพารามิเตอร์มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับผลของหน้าหม้อแปลงและหลังหม้อแปลง



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด

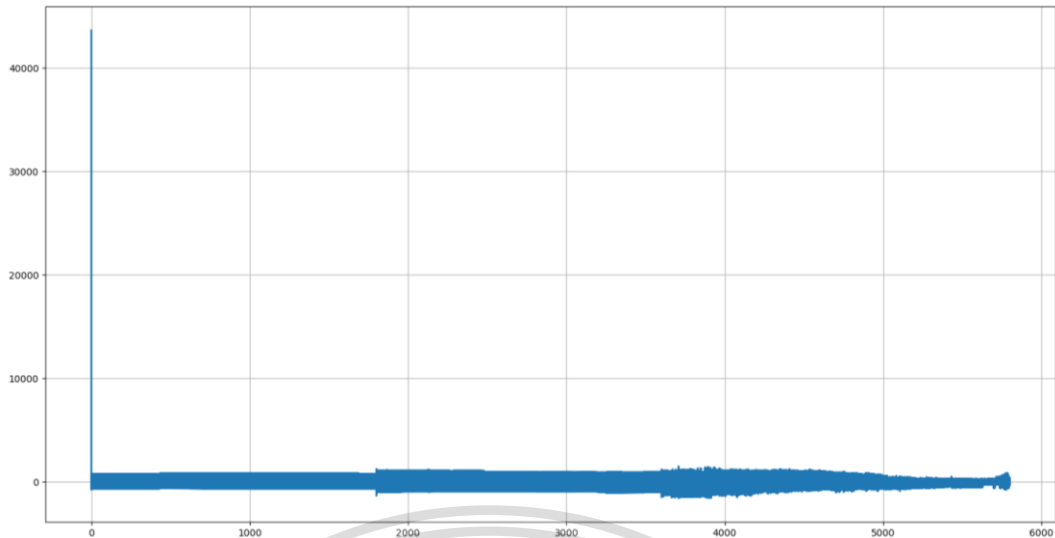


(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

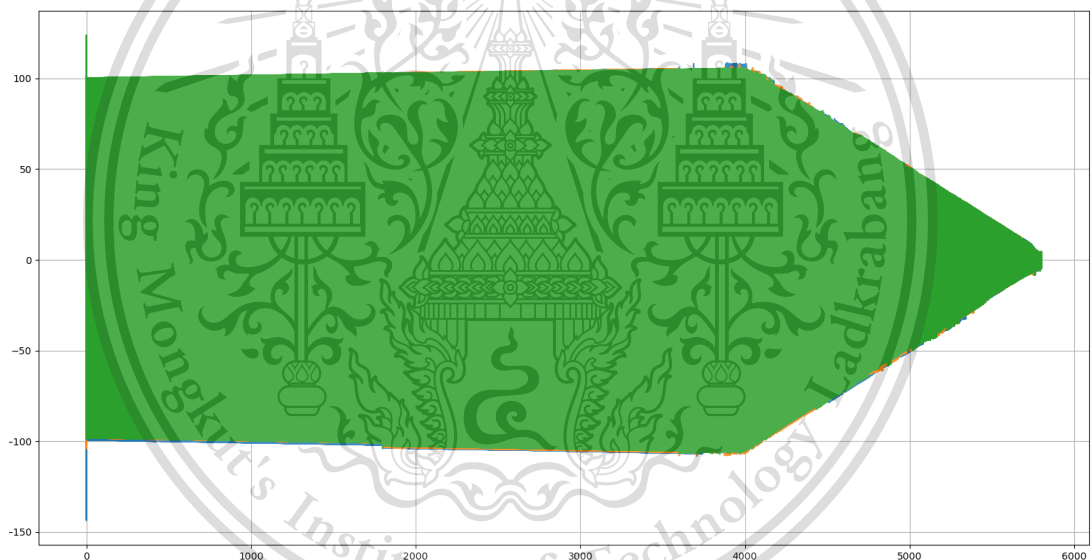
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

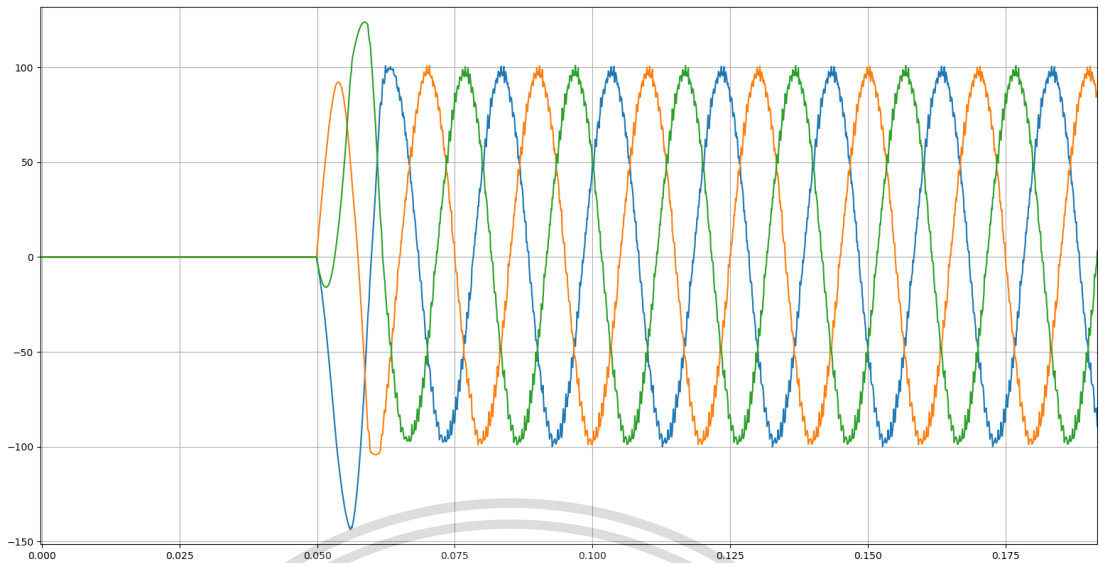


(ง.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

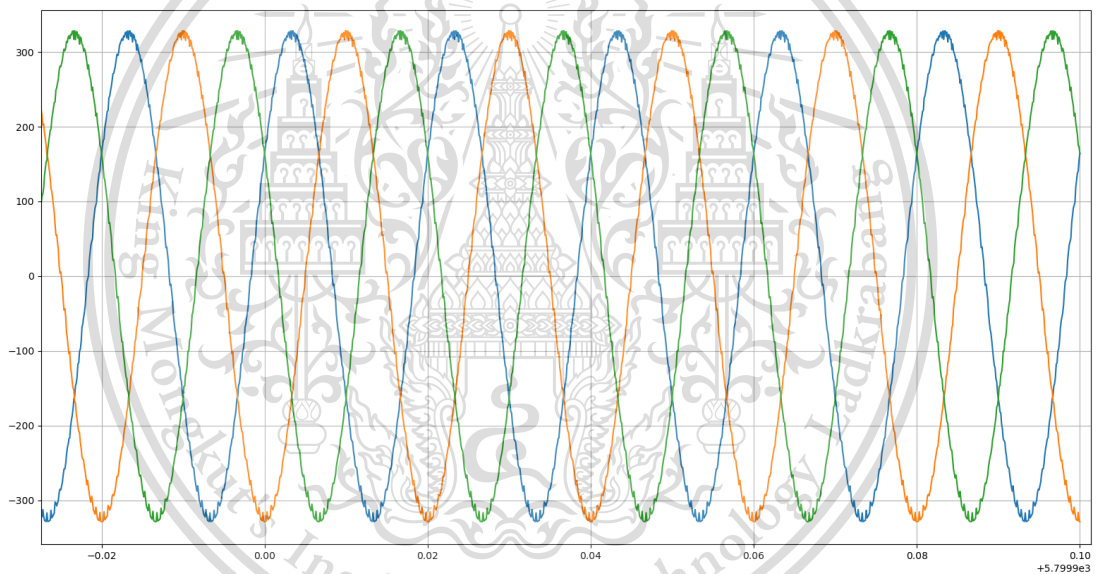
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

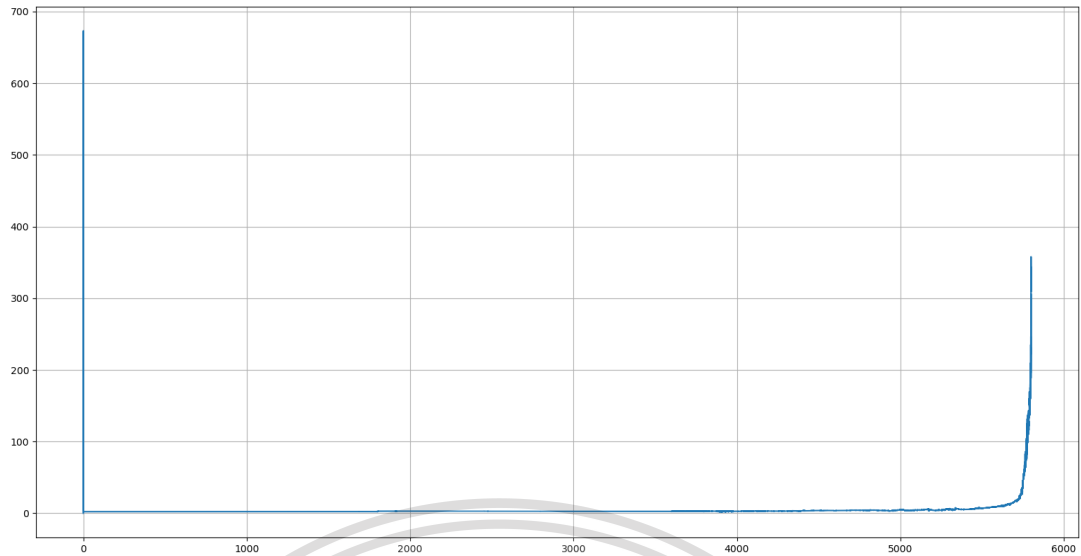


(ฉ.) แรงแต้นไฟฟ้า

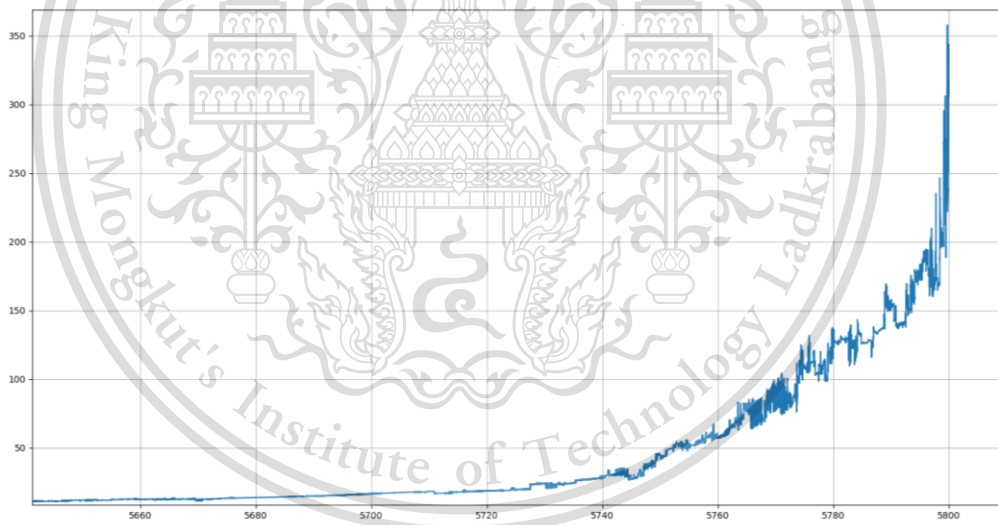
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

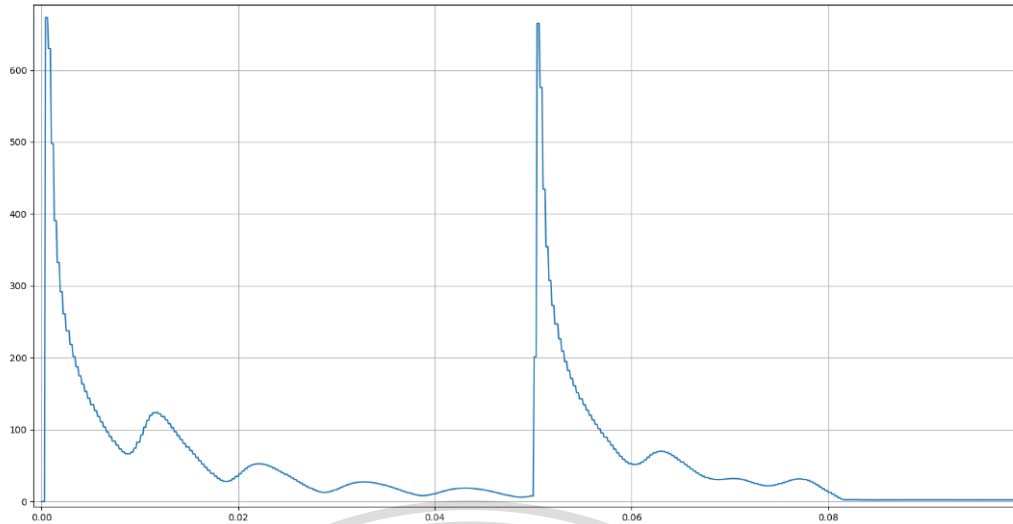


(ซ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ

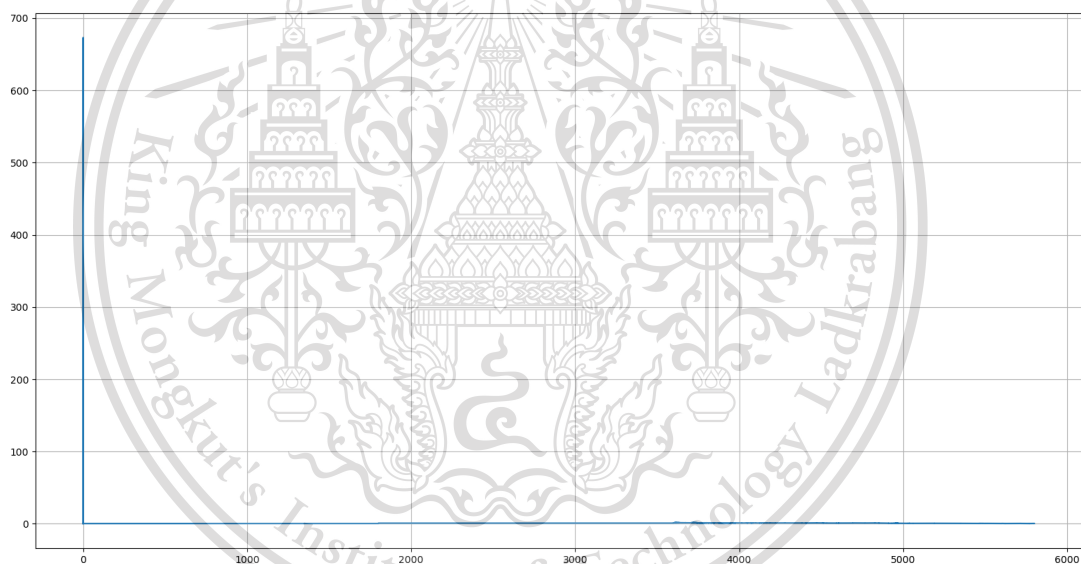
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์โมนิกช่วงชาร์จเสร็จ



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์โมนิก

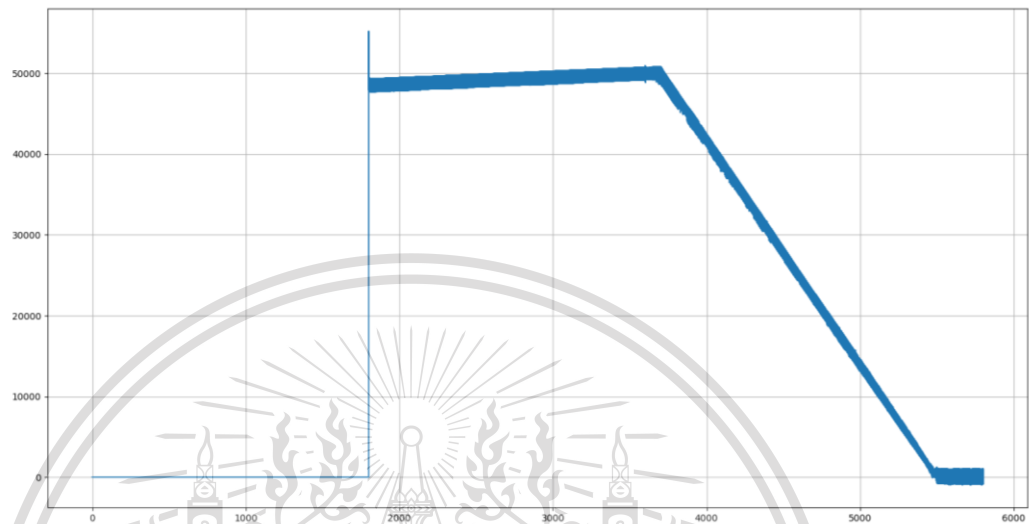
รูปที่ 4.14 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 1 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 10% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

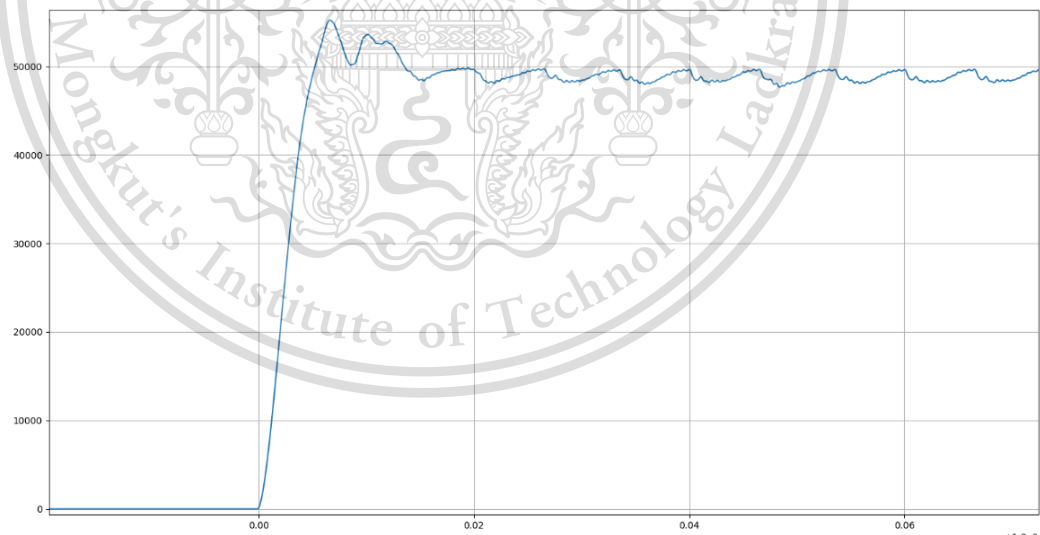
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.15 (ก.) ถึง (ญ.) เป็นการวัดหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 2 ซึ่งมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน ในรูปที่ 4.15 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงหน้าและหลังหม้อแปลง แต่จะมีการเริ่มทำงานขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 1800 วินาที



(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด

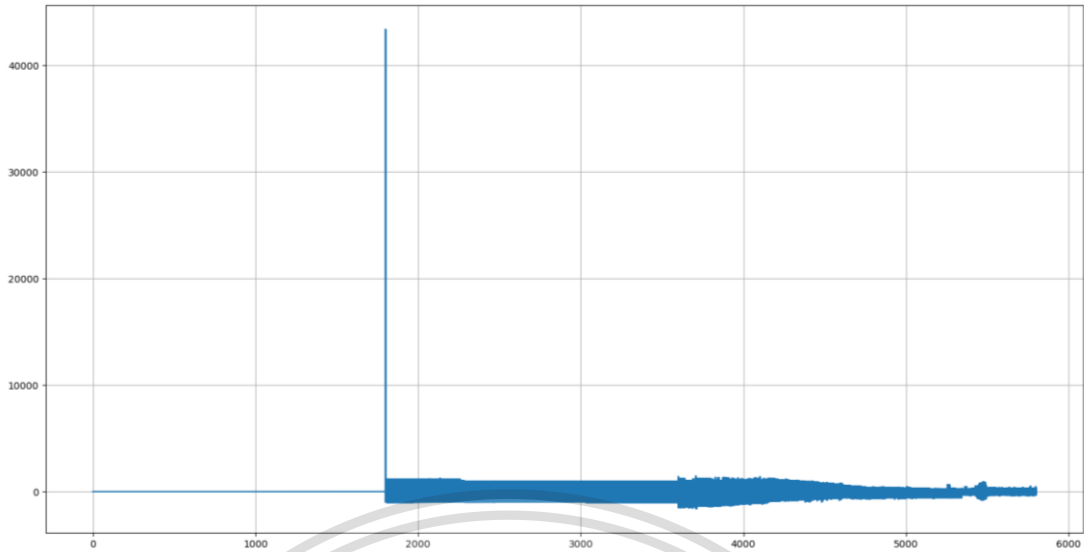


(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

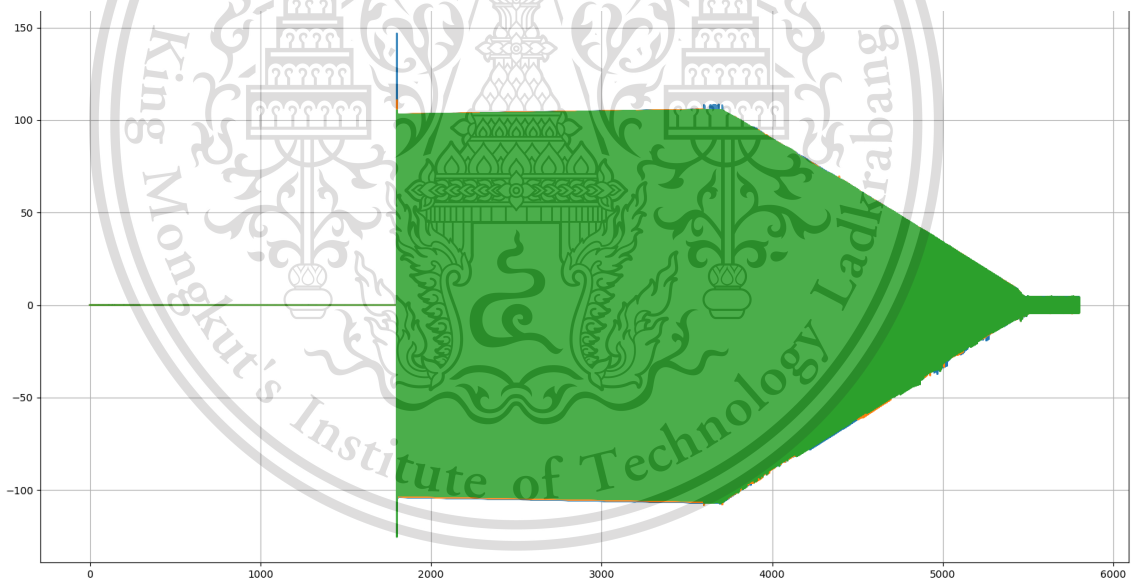
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ค.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

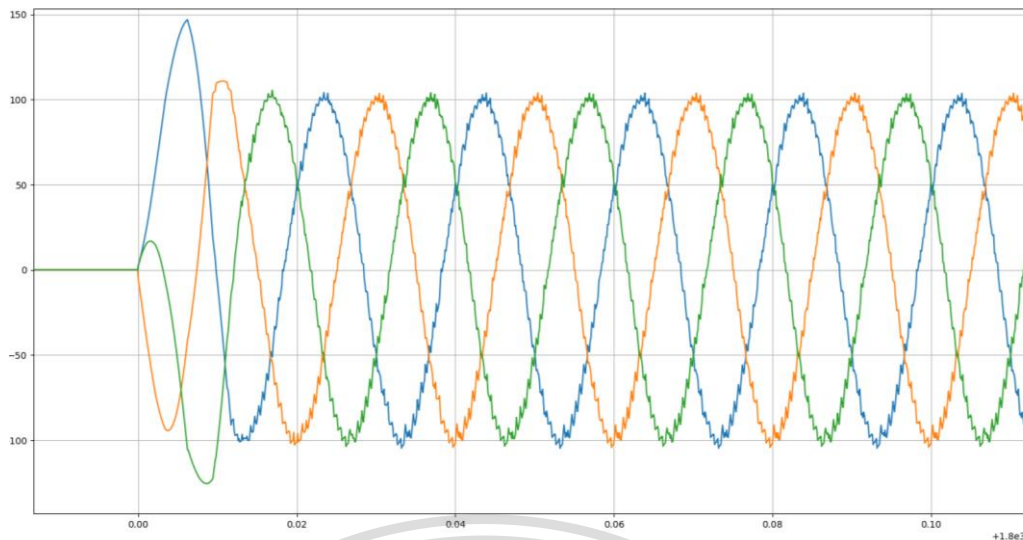


(ง.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

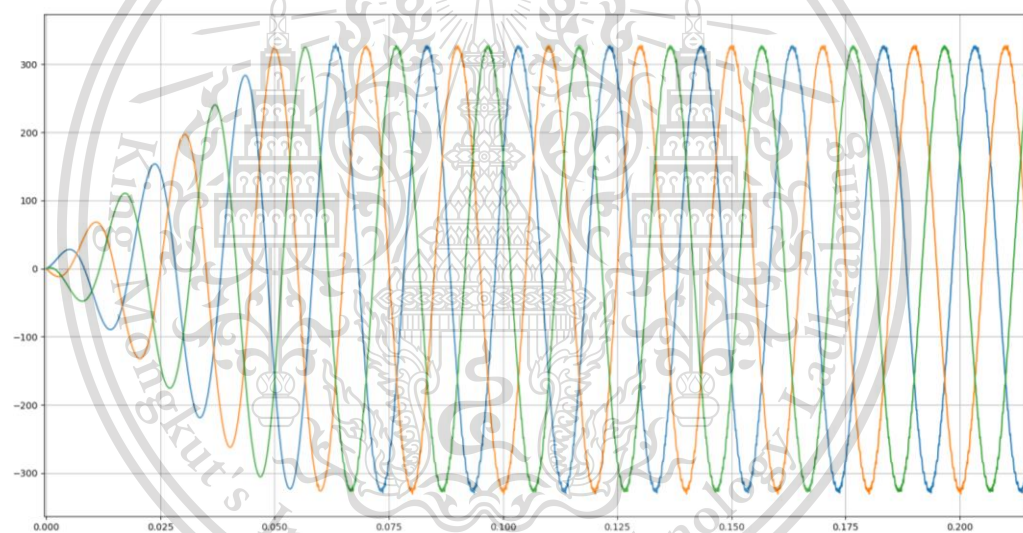
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

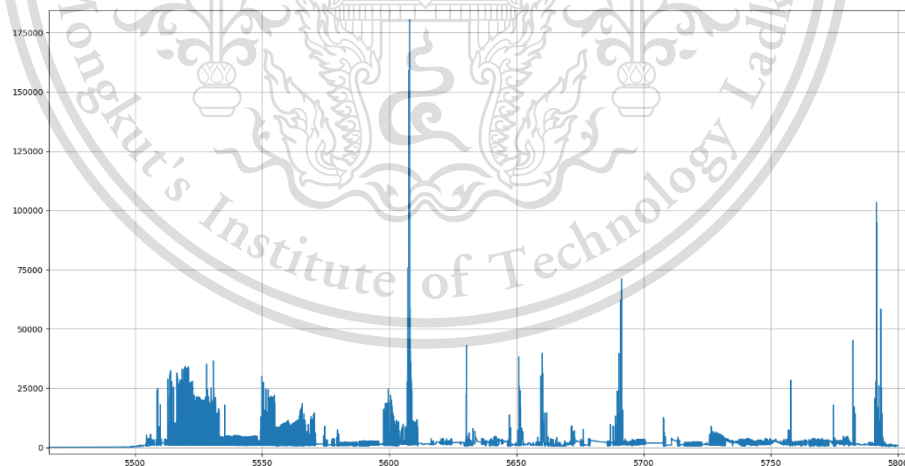
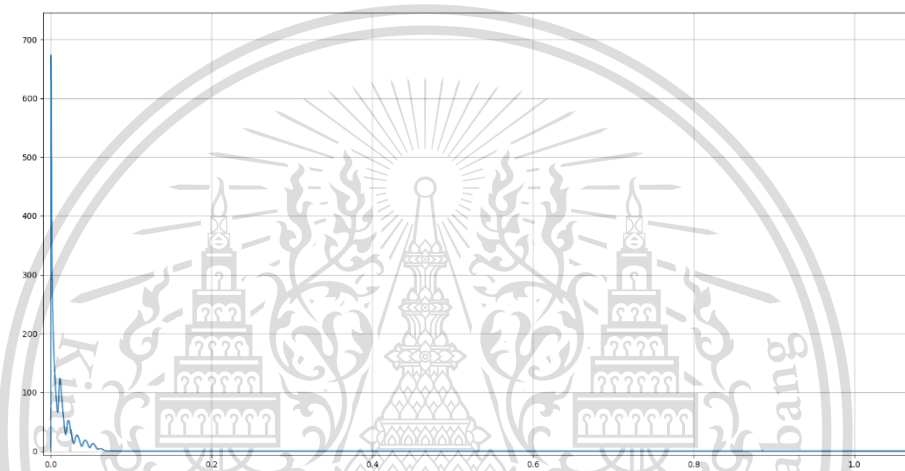
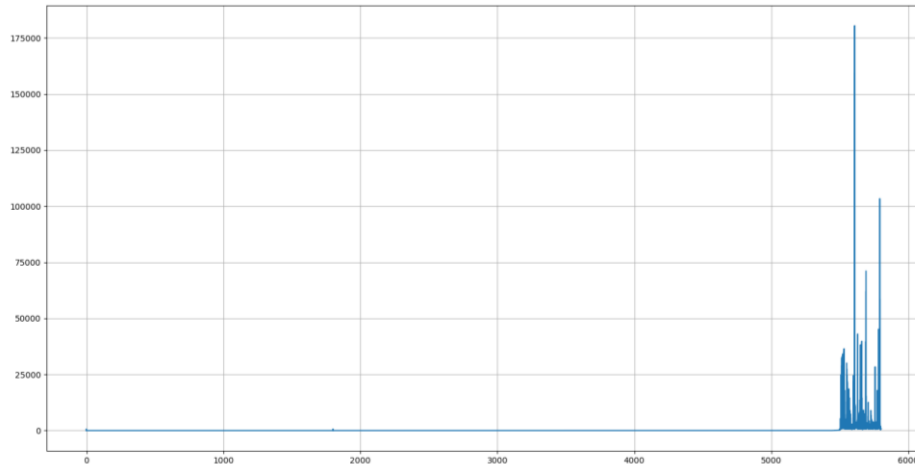


(ฉ.) แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด

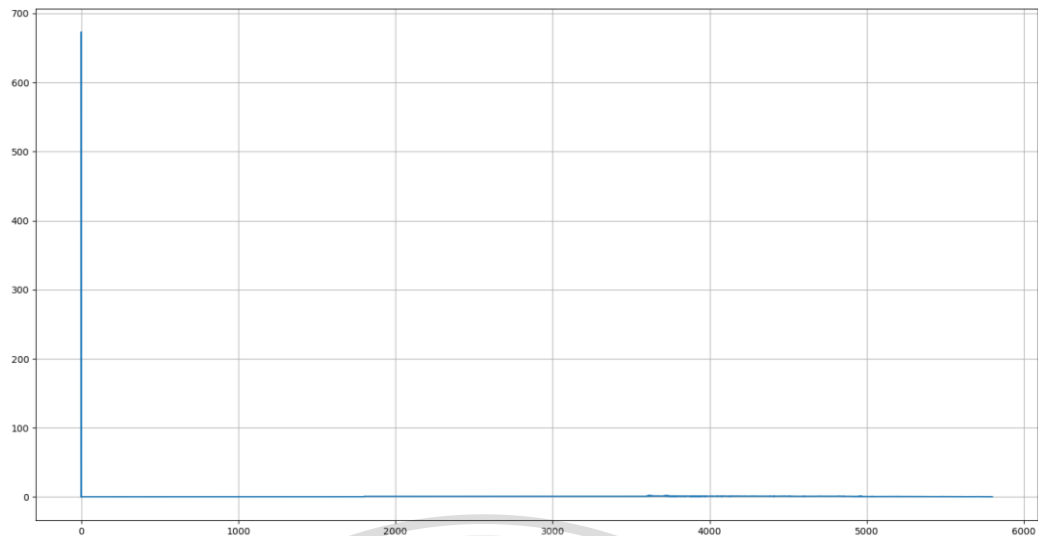
(ค.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ

(ง.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

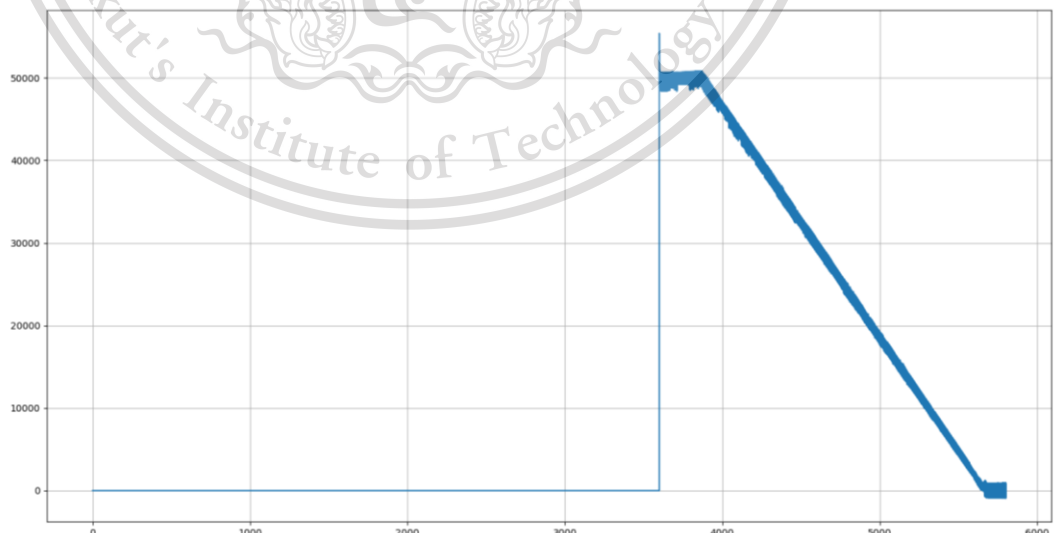
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.15 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 2 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

รูปที่ 4.16 (ก.) ถึง (ญ.) เป็นการวัดหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 3 ซึ่งมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน ในรูปที่ 4.16 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงหน้าและหลังหม้อแปลง แต่จะมีการเริ่มทำงานขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 3600 วินาที



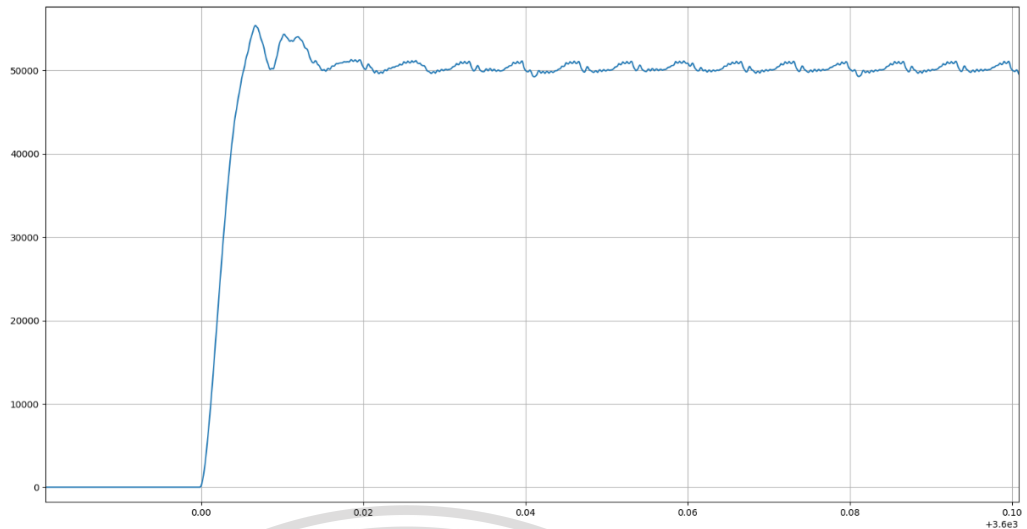
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(ก.) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด

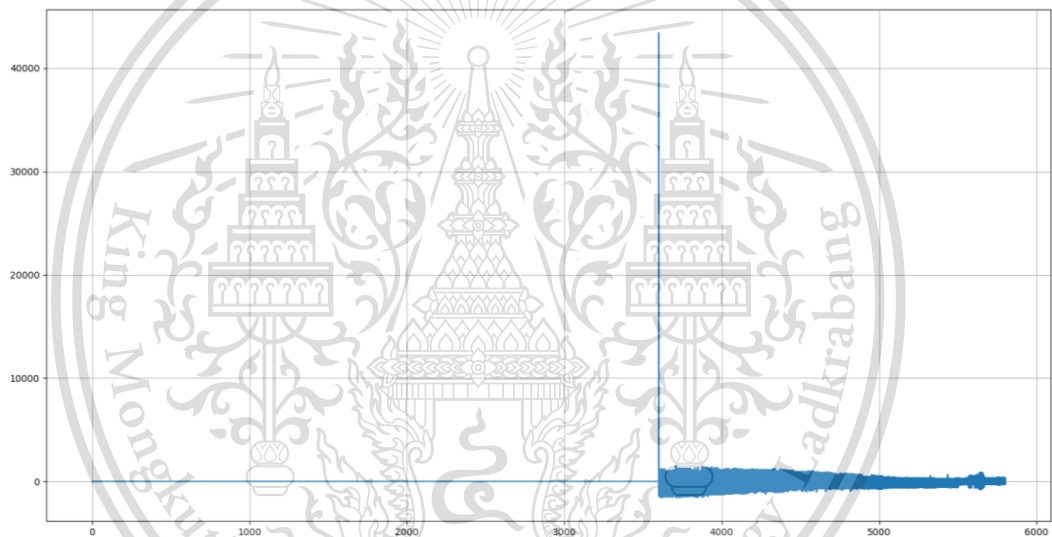
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

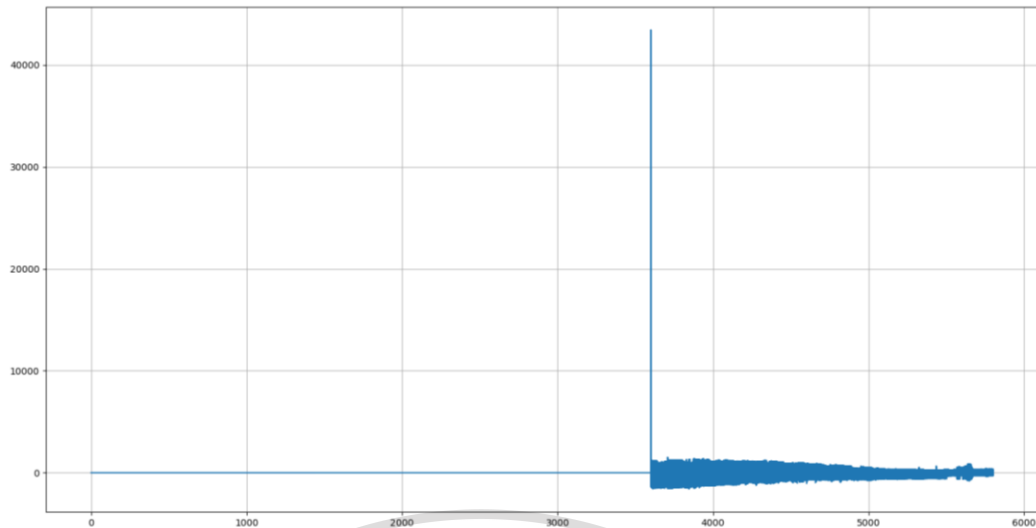


(ค.) กำลังไฟฟ้าเสมือน

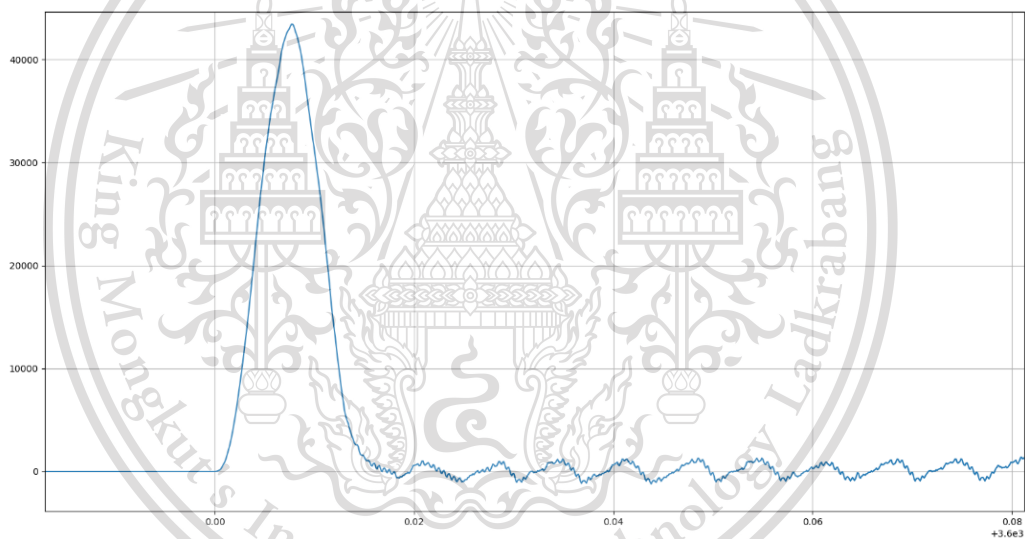
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ง.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

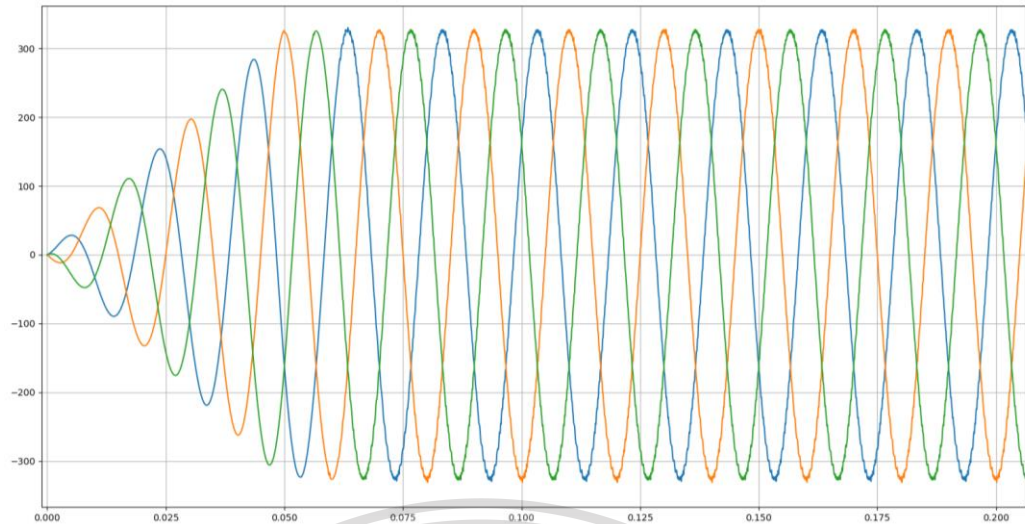


(จ.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



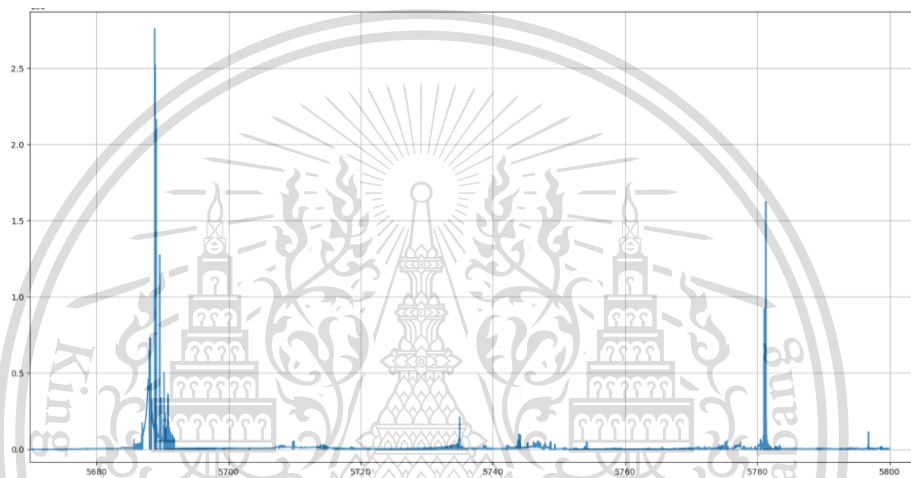
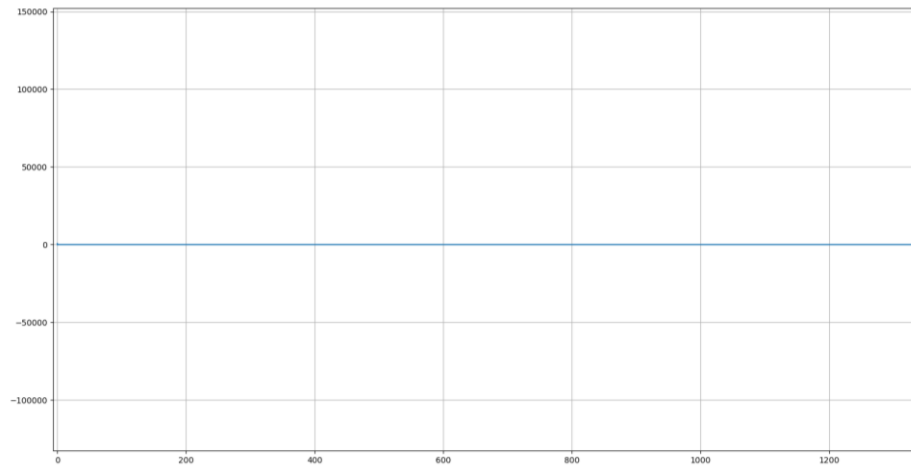
(จ.) แรงแดันไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

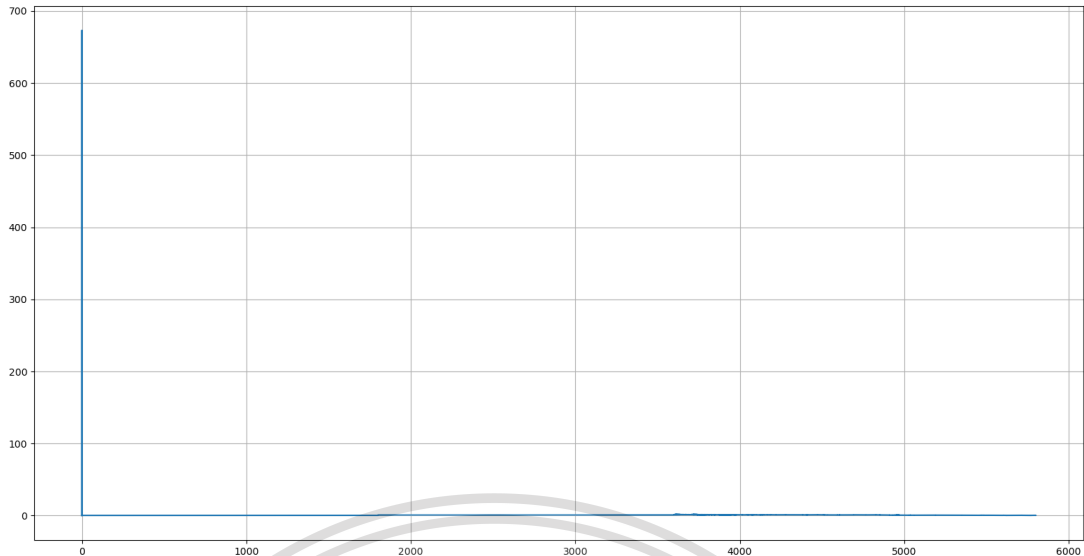


- (ช.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด
 (ซ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงเริ่มชาร์จ
 (ณ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกช่วงชาร์จเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(ญ.) ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 4.16 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าตู้อัดประจุตู้ที่ 3 และมีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ขณะที่ปริมาณแบตเตอรี่มีอยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

รูปที่ 4.17 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดที่หน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 10% ถึง 100% จำนวน 1 คัน ในรูปที่ 4.17 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงตามที่ควบคุม แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงวินาทีที่ 0.05-0.10 เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่า 20 kW และไปคงที่ที่ประมาณ 45 kW ที่เป็นผลมาจากการดึงจากแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 4.17 (ข)

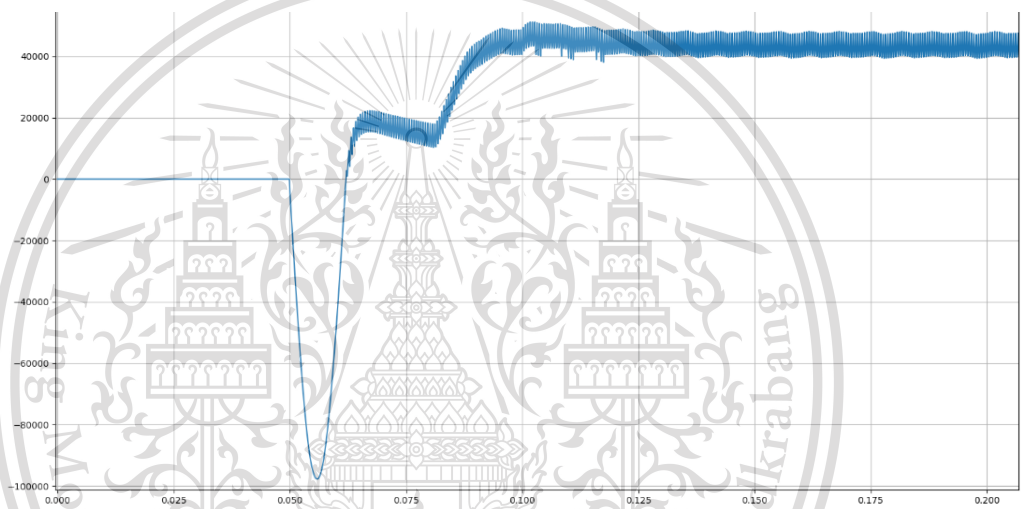
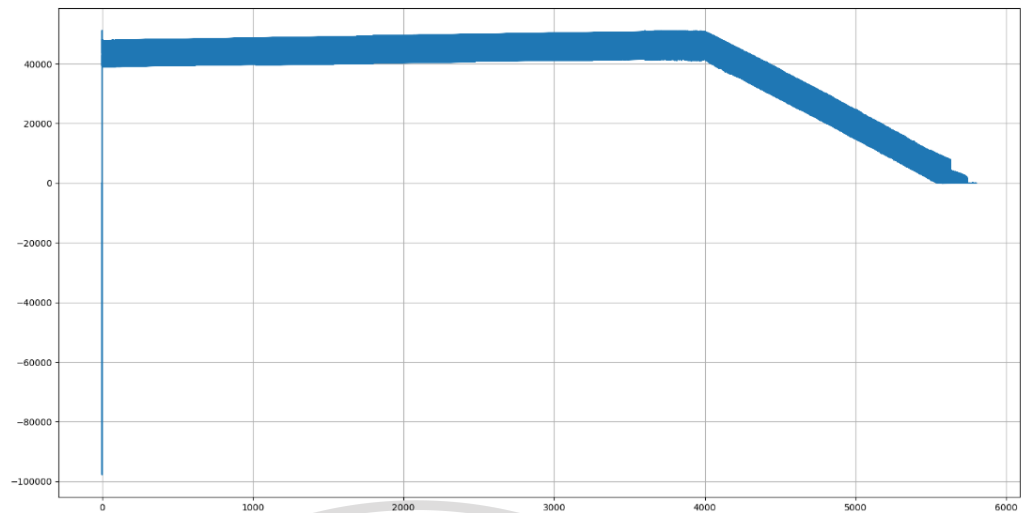
รูปที่ 4.17 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย

รูปที่ 4.17 (จ.) แรงดันไฟฟ้าทำการคงที่ไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่ประมาณ 500 V และเป็นไปตามความต้องการของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC) ดังรูปที่ 4.17 (ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



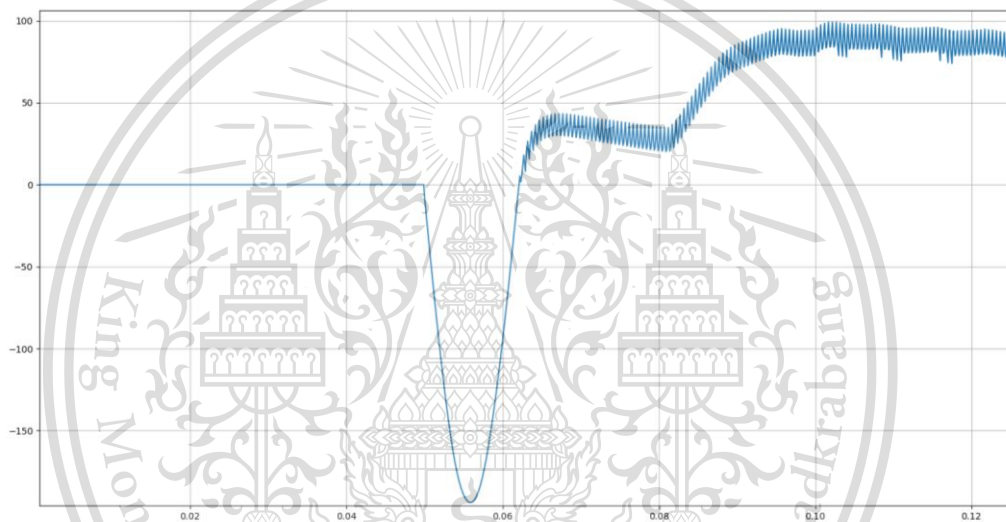
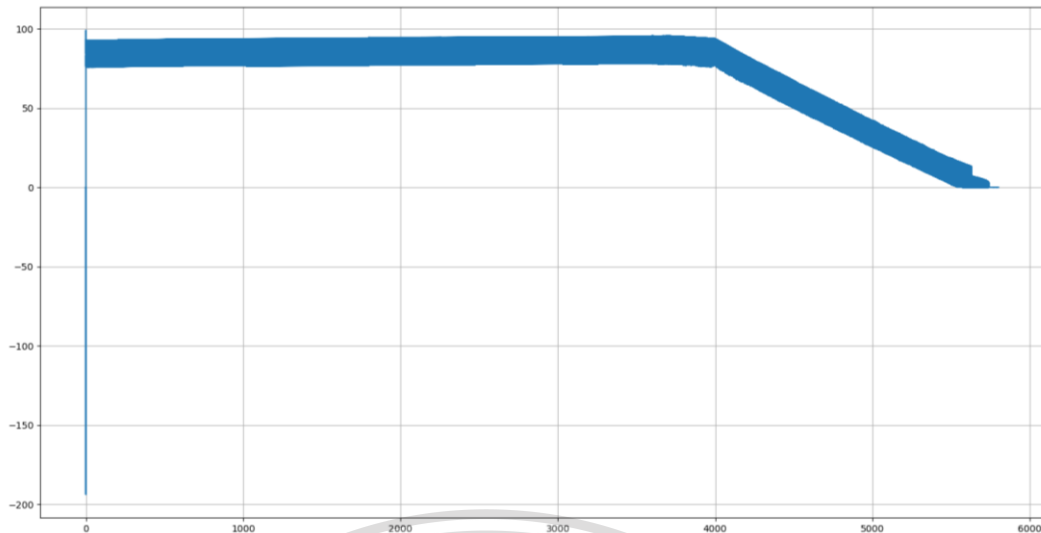
(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



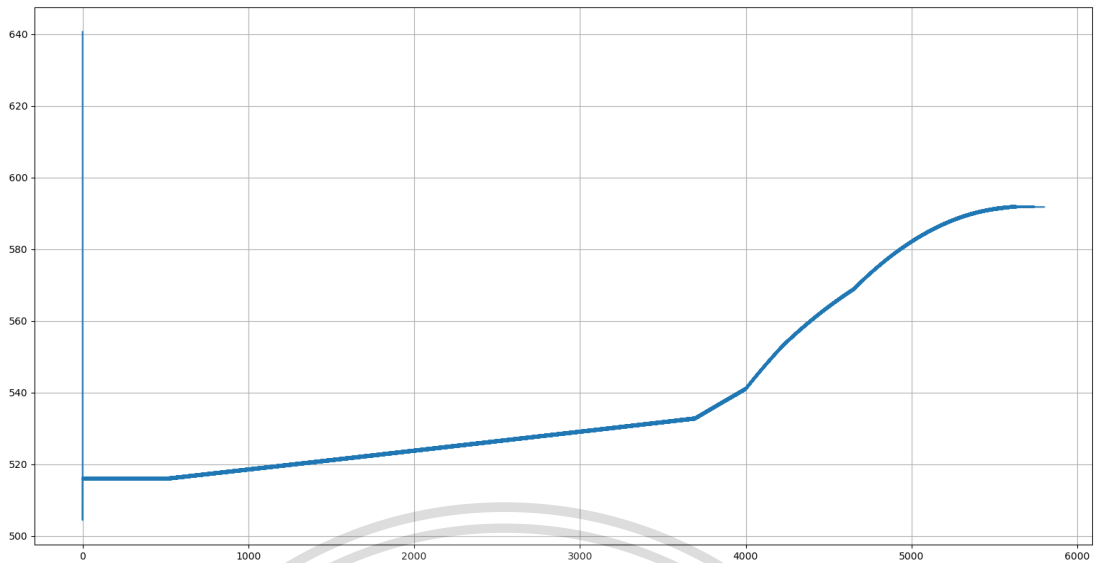
(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

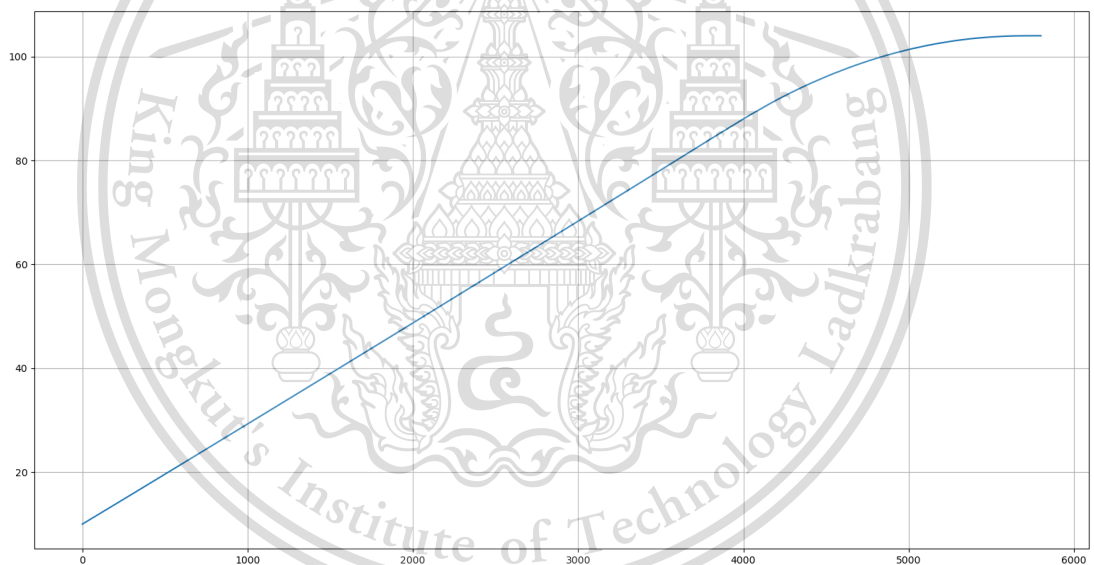
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่รีในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

รูปที่ 4.17 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่ต่างกันว่าตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 1 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 10% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

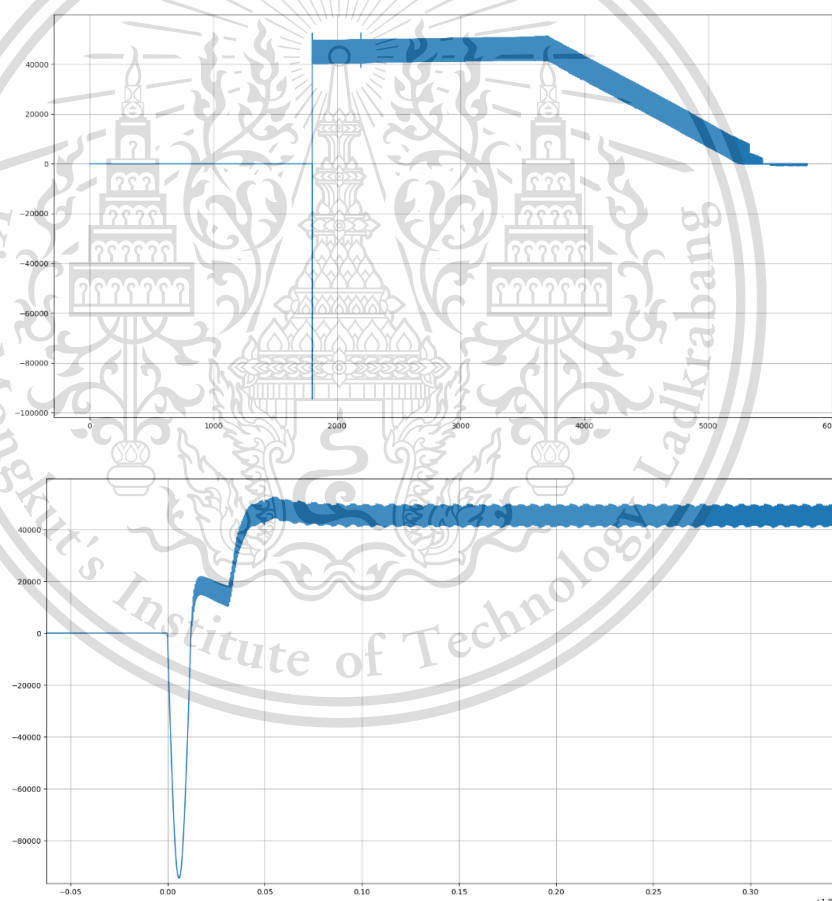
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.18 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดที่หน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน ในรูปที่ 4.18 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงตามที่ควบคุมและจะเริ่มทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเมื่อผ่านเวลาผ่านไป 1800 วินาทีแล้ว แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงวินาทีที่ 1800.05-1800.10 เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่า 20 kW และไปคงที่ที่ประมาณ 45 kW ที่เป็นผลมาจากการดึงจากแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 4.18 (ข)

รูปที่ 4.18 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย

รูปที่ 4.18 (จ.) แรงดันไฟฟ้าทำการคงที่ไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่ประมาณ 500 V และเป็นไปตามความต้องการของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC) ดังรูปที่ 4.18 (ฉ)



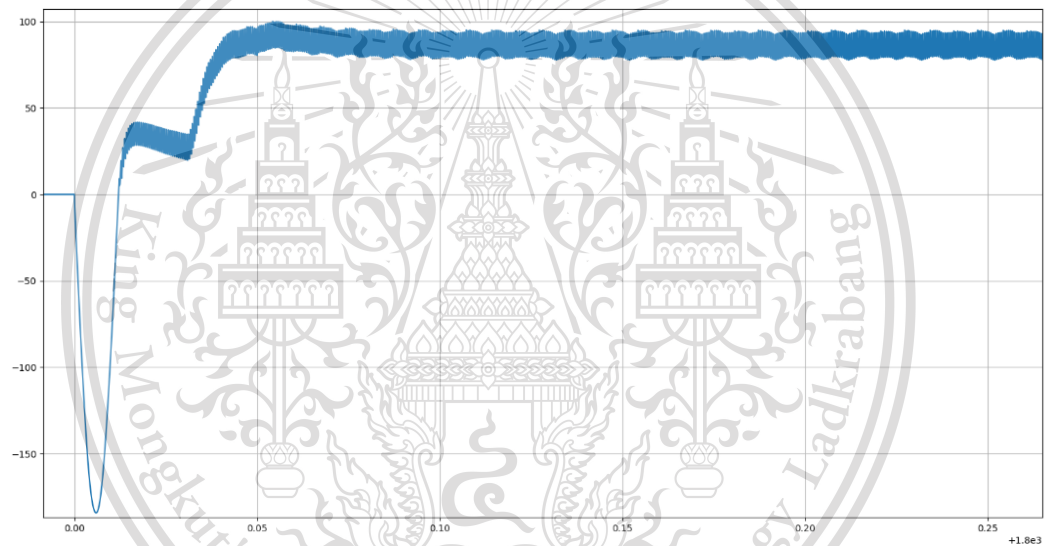
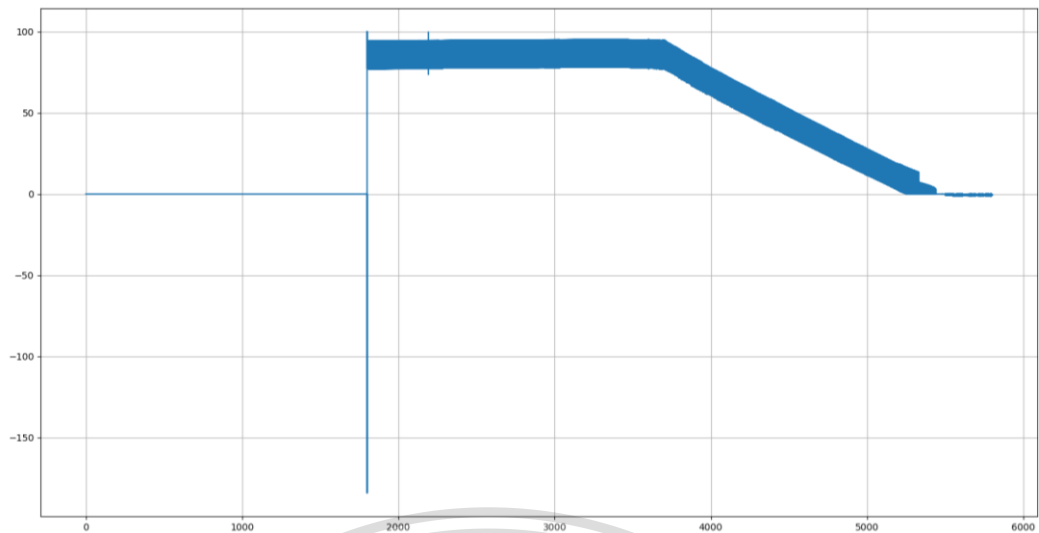
(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



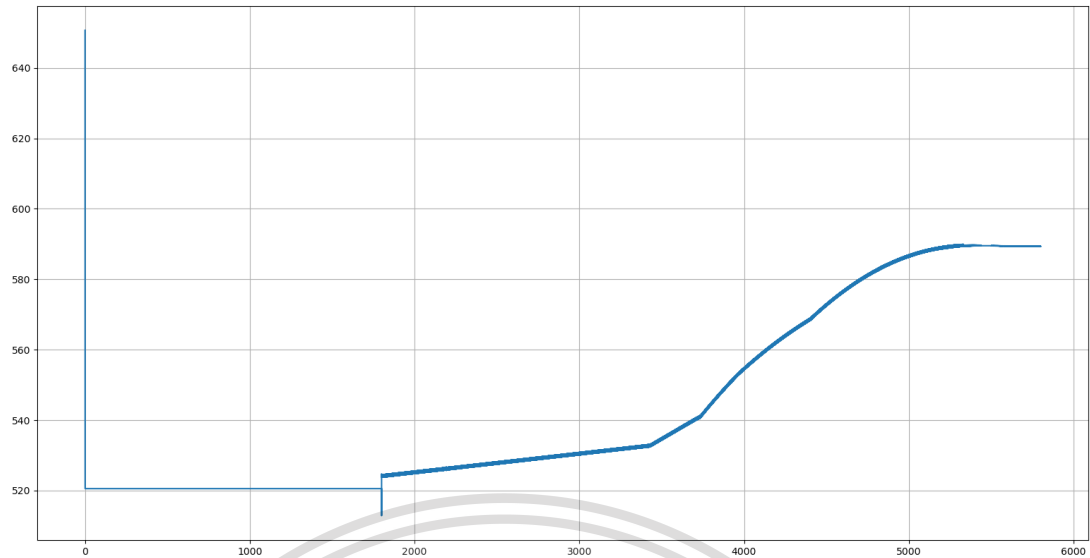
(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

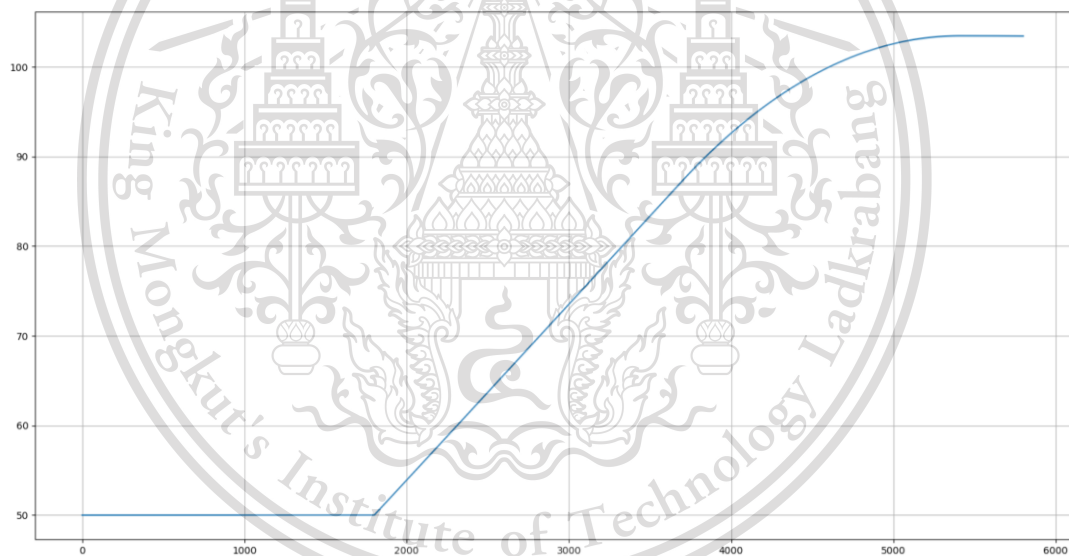
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

รูปที่ 4.18 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่ต่างกันว่าตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 2 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 50% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

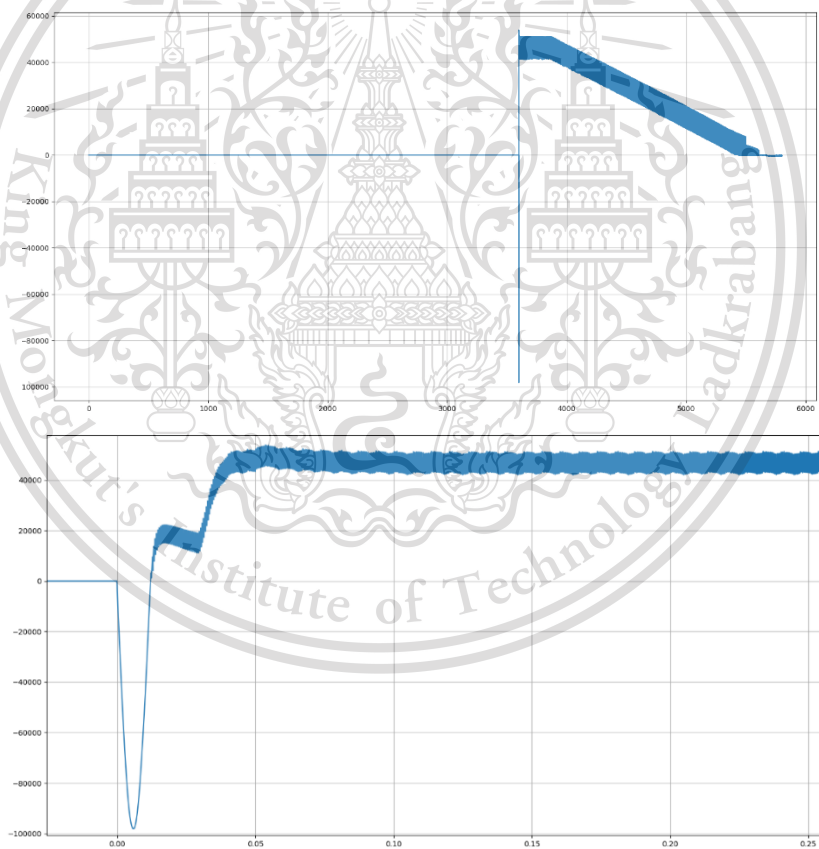
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

รูปที่ 4.19 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดที่หน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน โดยที่ทั้งหมดจะรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีปริมาณแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน ในรูปที่ 4.19 (ก.) กำลังไฟฟ้าจริงจะมีพฤติกรรมเหมือนกำลังไฟฟ้าจริงตามที่ควบคุมและจะเริ่มทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเมื่อผ่านเวลาผ่านไป 3600 วินาทีแล้ว แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงวินาทีที่ 3600.05-3600.10 เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับมาที่หน้าตู้อัดประจุทำให้กำลังไฟฟ้าจริงมีค่า 20 kW และไปคงที่ที่ประมาณ 45 kW ที่เป็นผลมาจากการดึงจากแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 4.19 (ข)

รูปที่ 4.19 (ค.) กำลังไฟฟ้าจริงจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าคือเมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย และในทางกลับกันเมื่อกระแสไฟฟาลดลงกำลังไฟฟ้าจะมีการลดลงด้วย

รูปที่ 4.19 (จ.) แรงดันไฟฟ้าทำการคงที่ไว้ในการชาร์จแบตเตอรี่ที่ประมาณ 500 V และเป็นไปตามความต้องการของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานการณ์ชาร์จ (SOC) ดังรูปที่ 4.19 (ฉ)



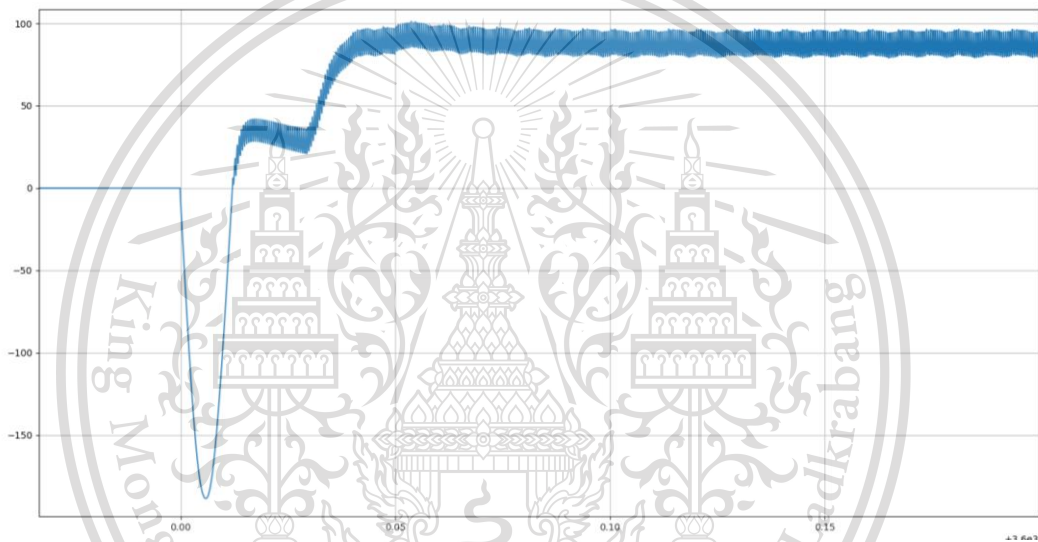
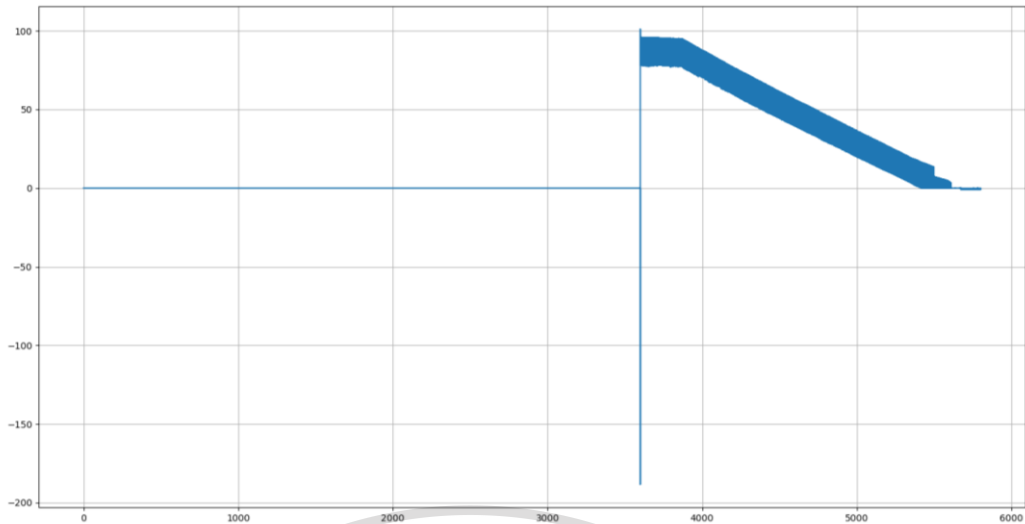
(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



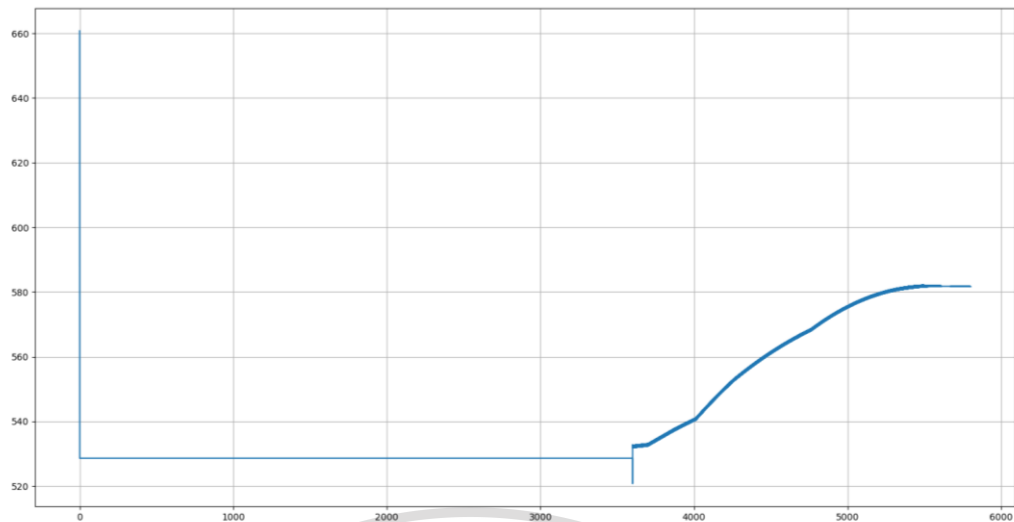
(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่ในแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

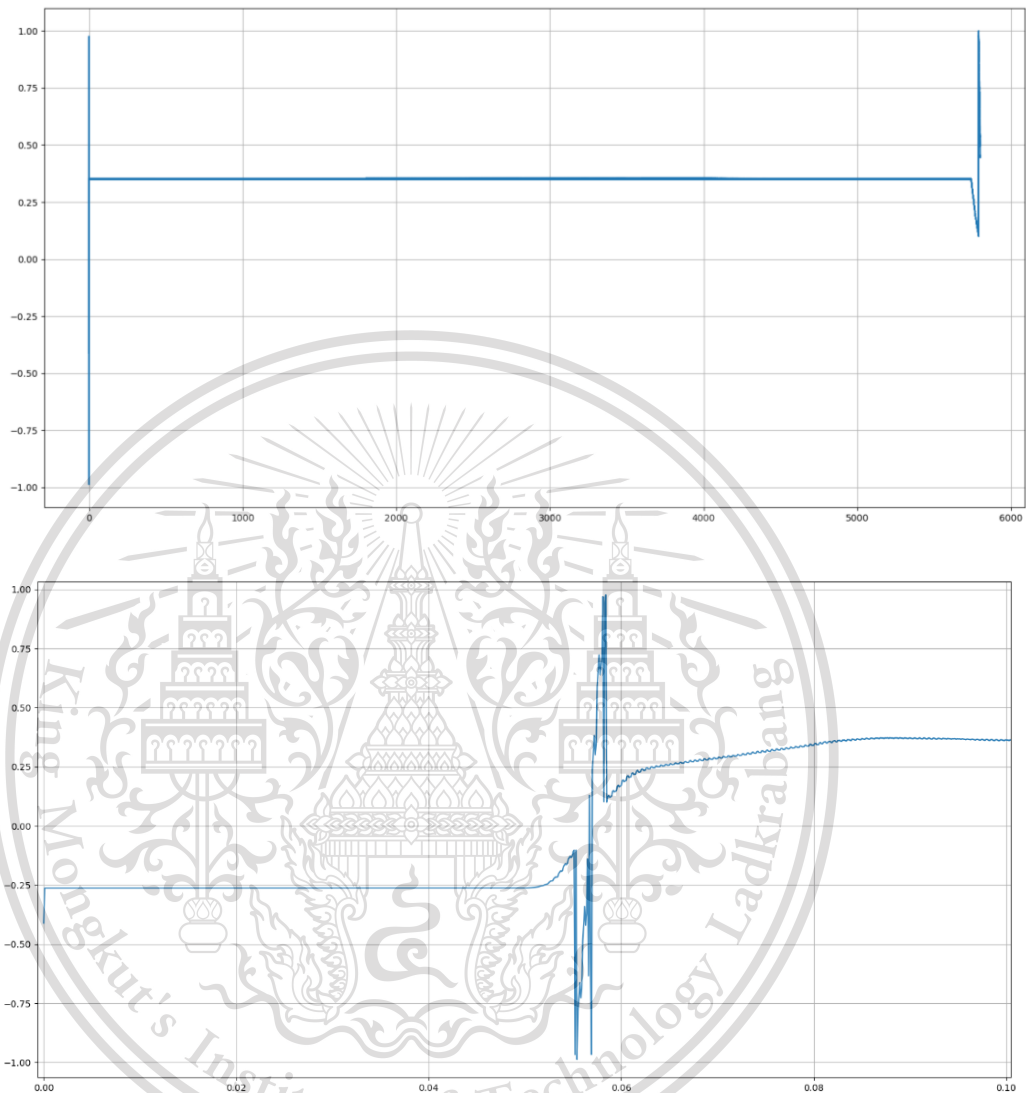
รูปที่ 4.19 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่ต่างกันว่าตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่มีการชาร์จรถยนต์คันที่ 3 ที่มีปริมาณแบตเตอรี่อยู่ 80% ถึง 100% จำนวน 1 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปที่ 4.20 (ก.) ถึง (จ.) เป็นการวัดที่หน้าหัวจ่ายที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์ของแต่ละตู้อัดประจุไฟฟ้า โดยที่ทั้งหมดจะมีทั้งหมด 3 หัวจ่าย ค่าพารามิเตอร์ทุกค่าจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์เนื่องจากการเข้ามาใช้บริการของรถยนต์ไฟฟ้า



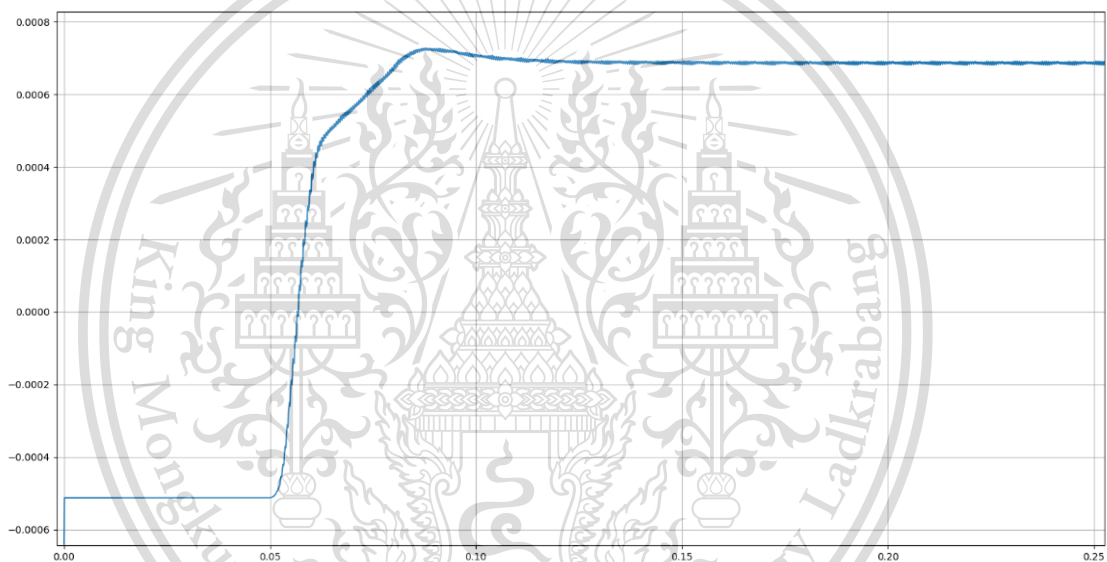
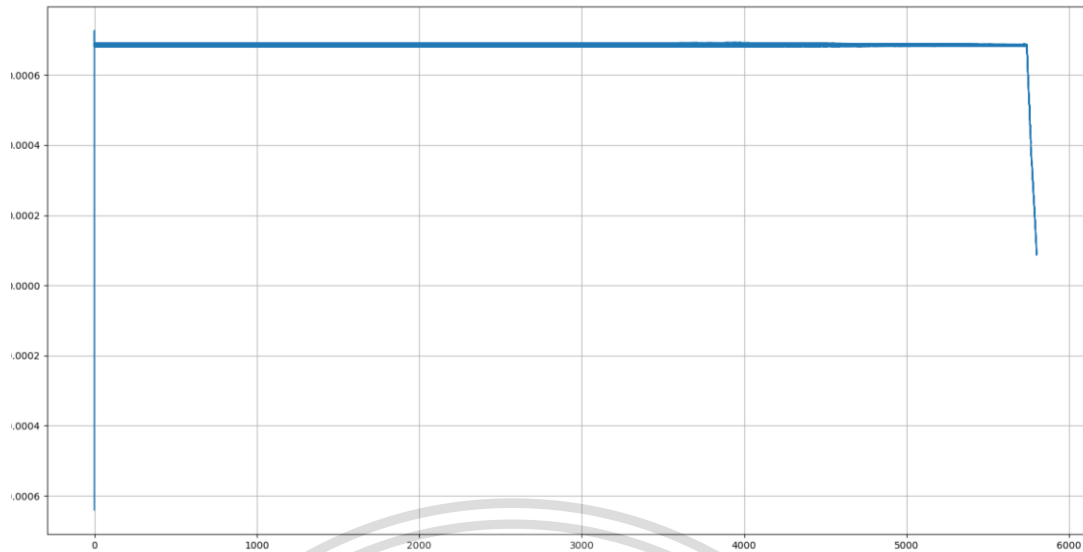
(ก.) กำลังไฟฟ้าจริง

(ข.) กำลังไฟฟ้าจริงช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



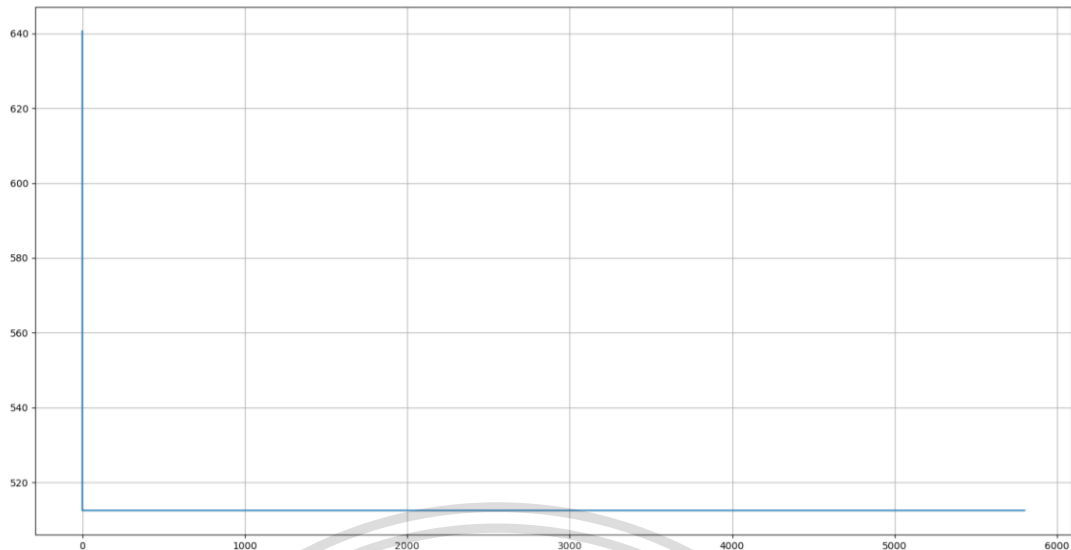
(ค.) กระแสไฟฟ้าตลอดการชาร์จ

(ง.) กระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



(จ.) แรงดันไฟฟ้า



(ฉ.) แบตเตอรี่รีโนแต่ละสถานะการชาร์จ (SOC)

รูปที่ 4.20 : ผลการจำลองเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการ 3 คันที่มีการชาร์จในเวลาใกล้เคียงกัน และมีปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งหน้าหัวจ่ายที่ไม่มีการชาร์จรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.4 ผลเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างผลลัพธ์ต่างๆของการจำลองการอัดประจุไฟฟ้า

ในกรณีต่างๆ

ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ

| Active Power (kW) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 50 | 300 | 145 |
| TB | 50 | 300 | 145 |
| G1 | 50 | 100 | 50 |
| G2 | - | 100 | 50 |
| G3 | - | 100 | 50 |
| DC11 | 45 | 45 | 45 |
| DC12 | - | 45 | - |
| DC21 | - | 45 | 45 |
| DC22 | - | 45 | - |
| DC31 | - | 45 | 45 |
| DC32 | - | 45 | - |

ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าเสมือนในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ

| Reactive Power (kvar) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 0.5 | 17 | 4.7 |
| TB | 0.5 | 17 | 4.7 |
| G1 | 0.5 | 6 | 1.5 |
| G2 | - | 6 | 1.5 |
| G3 | - | 6 | 1.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ

| Voltage (V) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 22,000 | 22,000 | 22,000 |
| TB | 400 | 400 | 400 |
| G1 | 400 | 400 | 400 |
| G2 | - | 400 | 400 |
| G3 | - | 400 | 400 |
| DC11 | 520 | 520 | 520 |
| DC12 | - | 520 | - |
| DC21 | - | 520 | 530 |
| DC22 | - | 520 | - |
| DC31 | - | 520 | 540 |
| DC32 | - | 520 | - |

ตารางที่ 4.4 กระแสไฟฟ้าในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัดต่างๆ

| Current (A) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 2.2 | 13 | 2.2 4.5 6.5 |
| TB | 120 | 750 | 125 250 360 |
| G1 | 120 | 250 | 125 |
| G2 | - | 250 | 125 |
| G3 | - | 250 | 125 |
| DC11 | 90 | 90 | 90 |
| DC12 | - | 90 | - |
| DC21 | - | 90 | 90 |
| DC22 | - | 90 | - |
| DC31 | - | 90 | 90 |
| DC32 | - | 90 | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.5 ความเพี้ยนโดยรวมของค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัด
ต่างๆ

| THD_i (%) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 5 | 5 | 5 |
| TB | 5 | 5 | 5 |
| G1 | 5 | 5 | 5 |
| G2 | - | 5 | 5 |
| G3 | - | 5 | 5 |

ตารางที่ 4.6 ความเพี้ยนโดยรวมของค่าแรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละกรณีการจำลอง ณ จุดวัด
ต่างๆ

| THD_v (%) | 1 st case | 2 nd case | 3 rd case |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TF | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| TB | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| G1 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| G2 | - | 1.25 | 1.25 |
| G3 | - | 1.25 | 1.25 |

ข้อมูลในตารางแสดงในค่าในรูป ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : rms) ส่วนค่าที่แสดงใน
กราฟจะแสดงอยู่ในรูปของ ค่าพีค (Peak-to-Peak) ในแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะทำการจำลองผลสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอัดประจุไฟฟ้ามีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) โดยคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีข้อได้เปรียบกว่ารถยนต์ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทั้งประสิทธิภาพ เสถียรภาพ ความมั่นคงทางพลังงานที่มากขึ้น รวมถึงมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า และมีแนวโน้มที่จะมีการใช้งานมากขึ้นในอนาคต

เนื่องจากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โครงการนี้จึงได้ออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อศึกษาพฤติกรรมต่างๆของสถานีอัดประจุไฟฟ้าและแหล่งจ่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการเข้าใช้บริการ โดยทำการจำลองผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าจากกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

5.1.1 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีรถยนต์ มาใช้บริการ 1 คัน โดยทำการจำลองผลเมื่อมีรถยนต์มาใช้บริการชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 1 คันเป็นรุ่น BMWi3 ขณะที่มีแบตเตอรี่ 10% จนถึง 100% และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า ตู้อัดประจุสามารถชาร์จได้ 52.22 kWh เมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลา 0-4000 วินาทีหรือสถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10 % ถึง 85 % มีความสูญเสียระหว่างสถานีอัดประจุอยู่ประมาณ 4.26% ส่งผลให้ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงที่ตั้งมาจากแหล่งจ่ายทั้งหมด 47-51 kW แต่จะทำการชาร์จได้อยู่ที่ 45-49 kW และมีค่าของกำลังไฟฟ้าเสมือนตลอดการชาร์จประมาณ 0.5 kvar

5.1.2 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีรถยนต์ มาใช้บริการ 6 คัน และทำการใช้งานสถานีเต็มพิกัดส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจริงขึ้นไปสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 300 kW และในฝั่งของแหล่งจ่ายจะมีค่าของกำลังไฟฟ้าเสมือนปรากฏอยู่ตลอดในขณะการชาร์จและมีค่าสูงสุดประมาณ 17 kvar ซึ่งจะค่อยๆลดลงจนเหลือศูนย์เมื่อทำการชาร์จเสร็จและผลลัพธ์ของการชาร์จจะมีผลลัพธ์เดียวกับ 5.1.1

5.1.3 การชาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีรถยนต์ มาใช้บริการ 3 คัน ในเวลาที่เหลื่อมล้ำกันซึ่งปริมาณแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันและจะทำการชาร์จจนเต็มโดยที่คันแรกเริ่มชาร์จเมื่อวินาทีแรก ซึ่งมีแบตเตอรี่อยู่ 10% คันที่สองเริ่มชาร์จเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที มีแบตเตอรี่อยู่ 50% และคันที่สามเริ่มชาร์จเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง มีแบตเตอรี่อยู่ 80% การชาร์จจะมีการดึงกำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของจำนวนการเข้าชาร์จและมีกำลังไฟฟ้าเสมือนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆไปใช้

มากเมื่อเริ่มการชาร์จในแต่ละครั้งโดยการชาร์จรถยนต์คันที่สามส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าสูงถึง 4.5 kvar และค่อยๆลดลงเมื่อทำการชาร์จเสร็จ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. สามารถพัฒนาให้จ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีค่าไม่เท่ากันในตู้เดียวแต่ต่างหัวจ่าย โดยการเปลี่ยนให้ใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุมอินเวอร์เตอร์แทนกำลังไฟฟ้าจริงและให้ใช้กำลังไฟฟ้าจริงในการควบคุมดีซีคอนเวอร์เตอร์แทน

5.2.2 การควบคุมของการชาร์จเป็นการควบคุมการจ่ายผ่านตัวอัดประจุทั้งหมดไม่ได้เป็นการควบคุมผ่านรถยนต์ เนื่องด้วยในการจำลองจะใช้เพียงรูปแบบของแบตเตอรี่รถยนต์

5.2.3 ค่าพารามิเตอร์จริงและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณกับในระบบจำลองมีค่าไม่ตรงกันจึงอาจทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนได้

5.2.4 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ดึงมาจากแหล่งจ่ายและเกิดความสูญเสียส่งเป็นผลจากการควบคุมวงจรควบคุมได้ไม่ดีเท่าที่ควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

- [1.] Control Systems – Introduction. **Tutorialspoint**. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2564 จาก https://www.tutorialspoint.com/control_systems/control_systems_introduction.htm
- [2.] Difference Between Open Loop & Closed Loop System. **Circuitglobe**. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2564 จาก <https://circuitglobe.com/difference-between-open-loop-and-closed-loop-system.html>
- [3.] Liao Haokai and Yang Jian. “Research on Inverter Control System Based on Bipolar and Asymmetric Regular Sampled SPWM” **The 11th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (2013)** pp.595-596
- [4.] Rui Brito, Student Member, Adriano Carvalho, Senior Member and Manuel Gericota “A New Three-phase Voltage Sourced Converter Laplace Model” **2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE) (2015)** pp.160-164
- [5.] Sundas Hannan, Sohaib Aslam and Muhammad Ghayur. “Design and Real-Time Implementation of SPWM based Inverter” **2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET) (2018)** pp.77-78
- [6.] Tesla Motors Model 3 Tesla Inc electric car side. **CAD Block Libraries**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2564 จาก <https://ceco.net/autocad-blocks/vehicles/cars/side-view/autocad-drawing-tesla-inc-model-3-tesla-motors-electric-car-side-dwg-dxf-436>
- [7.] US begins national security probe of electrical grid imports. **Financial Time**. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2564 จาก <https://www.ft.com/content/1fd0e34f-5dea-424b-ae2d-d68f2d12dac7>
- [8.] Xiao Hong Wang, Thi Thu Giang Hoang , Zhi Feng Pan, Xiao Zhuang Zhou. “The design of software phase-locked loop for PWM converters based on fractional integrated controller” **2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI) (2016)** pp.1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

[10.] คณะทำงานร่วมระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, การไฟฟ้านครหลวง, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559) รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2563 จาก

http://www.eppo.go.th/images/Information_service/studyreport/EV_plan.pdf

[11.] ยานยนต์พลังงานไฟฟ้า โคมหน้าอนาคต. **สถาบันยานยนต์**. สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2563 จาก http://www.thaiauto.or.th/2012/th/news/news-detail.asp?news_id=4242

[12.] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน,และวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. (2553). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics). พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. หน้า 483-489

[13.] วิภพ ใจแข็ง. (2559). ระบบควบคุม (Control System) สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2563 จาก http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/doc/52_dissemin.pdf

[14.] ศุภกกร ธก พาณิชย์-สรรพสามิตรับมือผลกระทบลดภาษีรถยนต์นั่งไฟฟ้าจีน. **สถาบันยานยนต์**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2563 จาก

http://www.thaiauto.or.th/2012/th/news/news-detail.asp?news_id=4346

[15.] สอวช. หนุนฝ่าคลื่นลูกที่ 2 ดันวิจัยยานยนต์อัตโนมัติ. **กรุงเทพธุรกิจ**. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2563, จาก <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/922139>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การศึกษาศานีอัดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

The Study of the Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations

for Electric Car

นายธรรมรัตน์ ชูศักดิ์ นายณรวิษฐ์ แห้วตระกูล และนางสาวปาณิสสา พิพัฒน์พงษ์วิน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-80000 ต่อ 33925

E-Mail : tammarat.tch@gmail.com, norawit.htk@gmail.com, aim.panisa@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบ สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ โดยสถานีอัดประจุไฟฟ้าจะ ประกอบด้วยตัวอัดประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นการใช้งานของอินเวอร์เตอร์สามเฟส โมดูล ไอจีบีที (Three-Phase Inverter IGBT Modules) และ ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Dc to Dc Converter) ตัวอัดประจุไฟฟ้านั้นจะมีกำลังขาร์จสูงสุด 100 kW และมี 2 หัวจ่ายซึ่งเป็นหัวขาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด เพื่อนำมาจำลองของการขาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีการจำลองให้รถยนต์มาใช้บริการขาร์จของสถานีอัดประจุไฟฟ้า 1 คัน 3 คัน และ 6 คัน ทำการขาร์จที่สถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10%, 50% และ 80% โดยมีการเข้าขาร์จในเวลาที่ยืดหยุ่นและเหลื่อมล้ำกัน ตามลำดับการเข้าขาร์จ ด้วยโปรแกรม PSCAD 4.6 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลพร้อมทั้งวิเคราะห์พฤติกรรมของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และคุณภาพกำลังไฟฟ้า

Abstract

This thesis focuses on design of electric vehicle charging stations for electric cars, which include a 3-charger that uses Three-Phase inverter IGBT Modules and Dc to Dc converter. Charger will have 100 kW at maximum charge power and have 2 charging head cable with DC-Charging type and simulate the charging case for electric cars by 1, 3 and 6 cars with different state of charge since 10%, 50% and 80% and different beginning of the charging time by PSCAD 4.6

program for compared study and analyze the behavior of the power quality and distributed power

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาของมลพิษทางอากาศสาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งมักจะพบเจอกับฝุ่น PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนเล็กน้อยจนมนุษย์ที่ทำหน้าที่กรองฝุ่นนั้น ไม่สามารถกรองได้ จึงแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และเข้าสู่อวัยวะอื่นๆ ในร่างกายได้ โดยพบพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานและเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพมากถึง 38 พื้นที่ ทางออกหนึ่งของการช่วยแก้ไขปัญหานี้อย่างยั่งยืนซึ่งมีการใช้แล้วในหลายประเทศที่ผู้นำและประชาชนตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมคือ “ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV)” โดยมีผลสำรวจพบว่าอัตราการยอมรับประเภท EV มีอยู่ที่ร้อยละ 60 แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ใช้รถยนต์ทั่วไปมีการยินดีที่จะเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า แต่เนื่องด้วยในปัจจุบันยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ยานยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2) ยังไม่มีโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบอัดประจุไฟฟ้าในที่สาธารณะรองรับ จึงทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกไม่มั่นใจในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากเกรงว่าแบตเตอรี่อาจจะหมดได้ในขณะระหว่างทาง 4) ยานยนต์ไฟฟ้ามีระยะขยับเขยื้อนข้างสั้น จึงไม่สะดวกต่อการใช้ในการเดินทางไกล ถึงแม้จะมีสถานีอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะอยู่บ้างก็ตาม เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุยังค่อนข้างนาน และผู้ใช้งานอาจไม่สะดวกกับการที่ต้องจอดอัดประจุไฟฟ้าในทุกๆ 100 กิโลเมตร ผู้จัดทำจึงสังเกตเห็นที่มาของปัญหานี้ และได้ทำการออกแบบเพื่อให้เป็นปัจจัยที่จะส่งเสริมในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทย

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

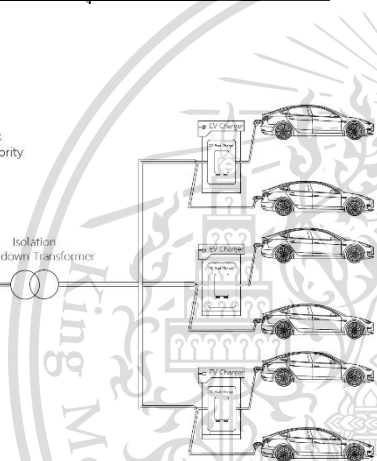
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. การออกแบบชุดทดลอง

ปริญญาโทครั้งนี้นำเสนอการออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้า สำหรับรถยนต์ที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSCAD 4.6 ซึ่งทำการจำลองผลของสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยประกอบด้วย ตู้อัดประจุไฟฟ้าที่มีกำลังชาร์จสูงสุด 100 kW จำนวน 2 หัวจ่าย ซึ่งเป็นหัวชาร์จแบบเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด ทัศนศึกษาของการจำลองจะแบ่งเป็นกรณีต่างๆเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลพร้อมกับวิเคราะห์พฤติกรรมปัจจัยหลักในการพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าในอนาคตที่จะมีการนำยานยนต์ไฟฟ้าให้มาวิ่งบนถนนมากขึ้นในประเทศไทย

การสร้างแบบจำลองสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

Medium Voltage Network
Metropolitan Electricity Authority



รูปที่ 1 : รูปแบบการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 : แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Electrical grid) ส่วนนี้จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวง (24 kV) และหม้อแปลง (Transformer) ที่มีหม้อแปลงขนาด 500 kVA

ส่วนที่ 2 : ตู้อัดประจุไฟฟ้า (Charger) ประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์สามเฟส โมดูล ไอจีบีที (Three-Phase Inverter IGBT Modules) เป็นการแปลงไฟกระแสสลับ (AC) ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ โวลต์เดจซอร์สคอนเวอร์เตอร์ (Voltage-Source Converter : VSC) ซึ่งมีการแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงด้วยวิธีแปลงแกนแบบคลาร์กและปาร์ก (Clarke and Park Transforms) ในวงจรควบคุม โดยใช้ทรานซิสเตอร์ประเภท IGBT (Isolate Gate Bipolar Transistor) ทั้งหมด 6 ตัวที่ควบคุมด้วยกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง (Active

Power : P) และ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย (Reactive Power : Q) ดังสมการนี้

$$S_v = \frac{3}{2}(v_a i_a + v_b i_b + j(v_q i_d - v_d i_q)) \quad (2.1)$$

$$P_v = \frac{3}{2}(v_a i_a + v_b i_b) \quad (2.2)$$

$$Q_v = \frac{3}{2}(v_q i_d - v_d i_q) \quad (2.3)$$

และประกอบด้วย ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (Dc to Dc Converter) หรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นวงจรลดทอนระดับ สำหรับการควบคุม ให้ได้กระแสและแรงดันตามที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการดังสมการ

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.4)$$

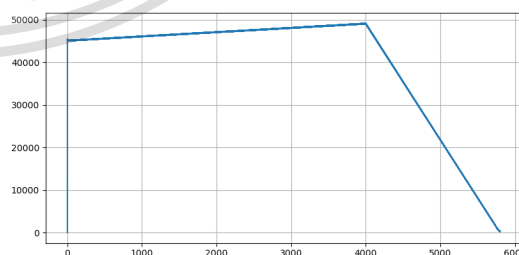
ซึ่งจะอยู่ในแต่ละหัวจ่ายทั้งสองหัวจ่าย สำหรับตู้อัดประจุ

ไฟฟ้า 1 ตู้

ส่วนที่ 3 : รถยนต์ไฟฟ้า (Load) ซึ่งส่วนนี้จะทำการจำลองโดยใช้เป็นเพียงรูปแบบของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า โดยจะใช้รถยนต์ไฟฟ้ารุ่น BMWi3 ในการจำลองผลการทดลอง

ทำการจำลองการเข้าชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการศึกษาของการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่าย กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า และเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเมื่อมีการเข้าใช้บริการของสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็นกรณีศึกษา 3 กรณีดังนี้ 1.) เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการชาร์จคันเดียว 2.) เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการชาร์จจำนวน 6 คัน 3.) เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการชาร์จในเวลาที่มีรถล้นคันและขนาดแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันทั้งหมดจำนวน 3 คัน

3. ผลการทดลอง



รูปที่ 2 : กำลังไฟฟ้าจริงเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน วัดที่ตำแหน่ง

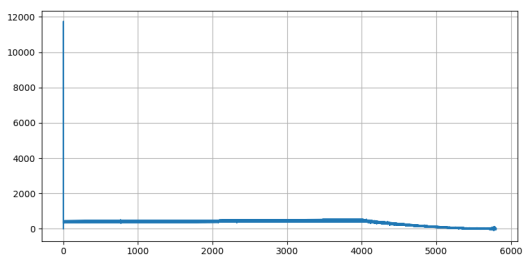
หน้าหม้อแปลง

เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชาเทคโนโลยีการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่รวมกรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุขัดแย้งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

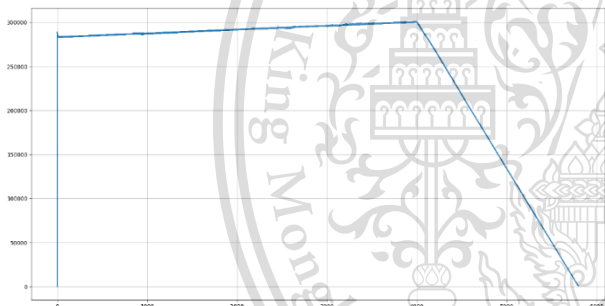
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

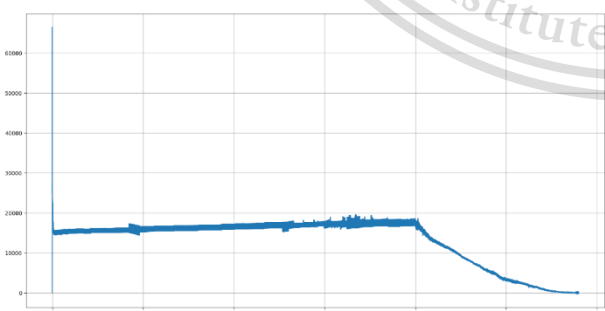


รูปที่ 3 : กำลังไฟฟ้าเสมือนเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน วัตต์ที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง

รูปที่ 2 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายและควบคุมให้อยู่ที่ 45 kW และเพิ่มขึ้น ไปถึง 50 kW ตลอดการชาร์จของสถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10%-85% และลดลงจนเหลือศูนย์เมื่อสถานะแบตเตอรี่เต็ม 100% แต่กำลังไฟฟ้าจริงแกว่งในช่วงแรกๆนั้น เนื่องจากแบตเตอรี่มีการป้อนกระแสและแรงดันกลับไปที่หน้าตู้อัดประจุ และในรูปที่ 3 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายจะมีค่าประมาณ 0.5 kvar ตลอดการชาร์จและลดลงเหลือศูนย์เหมือนกำลังไฟฟ้าจริง



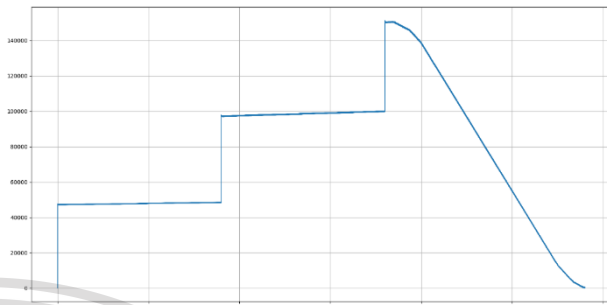
รูปที่ 4 : กำลังไฟฟ้าจริงเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 6 คัน วัตต์ที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง



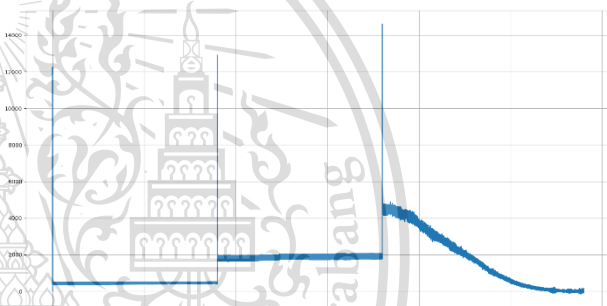
รูปที่ 5 : กำลังไฟฟ้าเสมือนเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 6 คัน วัตต์ที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง

รูปที่ 4 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายมากที่สุดของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มีการดึงมาประมาณ 280 kW และทำการ

ดึงเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 300 kW และในรูปที่ 5 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายจะมีค่าประมาณ 17 kvar ตลอดการชาร์จและมิต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 1.9 kvar แล้วจะลดลงเหลือศูนย์เหมือนกำลังไฟฟ้าจริง



รูปที่ 6 : กำลังไฟฟ้าจริงเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 3 คันในเวลาที่เหลือมัลติกันและสถานะแบตเตอรี่ต่างกัน วัตต์ที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง



รูปที่ 7 : กำลังไฟฟ้าเสมือนเมื่อมีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 3 คันในเวลาที่เหลือมัลติกันและสถานะแบตเตอรี่ต่างกัน วัตต์ที่ตำแหน่งหน้าหม้อแปลง

รูปที่ 4 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกดึงมาจากแหล่งจ่ายในการเข้าชาร์จแต่ละครั้งกราฟจึงออกมาเป็นในรูปแบบของขั้นบันไดที่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงจนเหลือศูนย์เมื่อไม่มีการชาร์จของสถานีอัดประจุ และในรูปที่ 7 แสดงถึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จะมีพฤติกรรมเหมือนกับกำลังไฟฟ้าจริงแต่ในการเข้าชาร์จแต่ละครั้งจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงขึ้นมาก ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อรถคันที่สามเข้าชาร์จค่าของกำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 4500 var และลดลงเรื่อยๆจนเหลือศูนย์

4. สรุป

การออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมต่างๆของสถานีอัดประจุไฟฟ้าและแหล่งจ่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการเข้าใช้บริการชาร์จ เมื่อทำการออกแบบแล้วจะได้ผู้อัดประจุที่สามารถชาร์จได้ 52,22 kWh เมื่อพิจารณาภายในการชาร์จ 1 ชั่วโมงแรกหรือสถานะแบตเตอรี่ตั้งแต่ 10 % จนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์อาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

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

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

85% และมีความสูญเสียระหว่างสถานีอัดประจุอยู่ประมาณ 4.26%
ส่งผลให้ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงที่ดึงมาจากแหล่งจ่ายทั้งหมด 47-50 kW
แต่จะทำการชาร์จได้จริงอยู่ที่ 45-49 kW

เมื่อมีการใช้งานสถานีเต็มพิกัดส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจริงขึ้นไป
สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 300 kW และในฝั่งของแหล่งจ่ายจะมีค่าของ
กำลังไฟฟ้าเสมือนปรากฏอยู่ตลอดในขณะการชาร์จและมีค่าสูงสุด
ประมาณ 15 kvar ซึ่งจะค่อยๆลดลงจนเหลือศูนย์เมื่อทำการชาร์จเสร็จ

และเมื่อรถยนต์ไฟฟ้า เข้าใช้บริการชาร์จในเวลาที่เหลือมด้า
กันและขนาดแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันเข้าใช้บริการชาร์จทั้งหมดจำนวน
สามคัน การชาร์จจะมีการดึงกำลังไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ
จำนวนการเข้าชาร์จและมีกำลังไฟฟ้าเสมือนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเริ่มการ
ชาร์จในแต่ละครั้ง โดยการชาร์จรถยนต์คันที่สามส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้า
เสมือนมีค่าสูงถึง 4.5 kvar และค่อยๆลดลงเมื่อทำการชาร์จเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rui Brito, Student Member, Adriano Carvalho, Senior Member and Manuel Gericota “A New Three-phase Voltage Sourced Converter Laplace Model” 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE) (2015) pp.160-164
- [2] Sundas Hannan, Sohaib Aslam and Muhammad Ghayur. “Design and Real-Time Implementation of SPWM based Inverter” 2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET) (2018) pp.77-78
- [3] Xiao Hong Wang, Thi Thu Giang Hoang , Zhi Feng Pan, Xiao Zhuang Zhou. “The design of software phase-locked loop for PWM converters based on fractional integrated controller” 2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSIAI) (2016) pp.1-2
- [4] Liao Haokai and Yang Jian. “Research on Inverter Control System Based on Bipolar and Asymmetric Regular Sampled SPWM” The 11th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (2013) pp.595-596

ประวัติผู้เขียน



นายธรรมรัตน์ ชูศักดิ์ (นนท์)

เกิดวันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ.2542

ที่อยู่ 63 ซอย กาญจนภิเษก 39 แขวง ดอกไม้
เขตประเวศ จังหวัดกรุงเทพฯ 10250

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนเซนต์ดอมินิก

เบอร์โทรศัพท์ : 082-364-1212

E-mail address: tammarat.tch@gmail.com



นายณรวิชญ์ หัวตระกูล (อิง)

เกิดวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ.2541

ที่อยู่ 244/108 หมู่ 4 ต.หนองควาย อ.หางดง จ.
เชียงใหม่ 50230

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนยุพราช
วิทยาลัย

เบอร์ โทรศัพท์ : 082-623-61664

E-mail address: norawit.htk@gmail.com



นางสาวปานิศา พิพัฒน์พงษ์กวิน (ชะเอม)

เกิดวันที่ 29 เมษายน พ.ศ.2542

ที่อยู่ 33/58 ถ.ศรีอินทราทิตย์ ต.ธานี อ.เมือง จ.
สุโขทัย 64000

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสุโขทัย
วิทยาคม

เบอร์โทรศัพท์ : 091-843-2539

E-mail address: aim.panisa@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เนื่องจากต้องการให้ใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลน้อยลง จึงใช้การเก็บผลเป็นข้อมูลไฟล์สกุล out (.out) และนำไปพล็อตในโปรแกรม visual studio code เพื่อวิเคราะห์และสังเกตพฤติกรรมของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

```
import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])

c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[0:9,1]))

c2 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[10:19,1]))

print(c1)

print(c2)

dt1 = pd.read_fwf('pq6_01.out',header=None,names=c1)

dt2 = pd.read_fwf('pq6_02.out',header=None,names=c2)

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vtf:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vtf:2"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vtf:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Itf:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Itf:2"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Itf:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Ptf"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Qt"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vtb:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vtb:2"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Vtb:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Itb:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Itb:2"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Itb:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Ptb"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Qt"]);plt.grid()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรซึ่งอาจมีลิขสิทธิ์อยู่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Vg1:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Vg1:2"]);plt.plot(
dt1['Domain'],dt2["Vg1:3"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["Pg1"]);plt.grid()
```

```
plt.show()
```

```
import pandas as pd
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])
```

```
c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[20:29,1]))
```

```
print(c1)
```

```
dt1 = pd.read_fwf('pq6_03.out',header=None,names=c1)
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Qg1"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["VL11"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["IL11"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["PL11"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vg2:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vg2:2"]);plt.plot(
dt1['Domain'],dt1["Vg2:3"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Pg2"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Qg2"]);plt.grid()
```

```
plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["VL12"]);plt.grid()
```

```
plt.show()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])

c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[30:39,1]))

print(c1)

dt1 = pd.read_fwf('pq6_04.out',header=None,names=c1)

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["IL12"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["PL12"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["VL21"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["IL21"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg1:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg1:2"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg1:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["VL22"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["IL22"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["soc11"]);plt.grid()

plt.show()

```

```

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])

c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[40:49,1]))

c2 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[50:59,1]))

```

```
print(c1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

print(c2)

dt1 = pd.read_fwf('pq6_05.out',header=None,names=c1)

dt2 = pd.read_fwf('pq6_06.out',header=None,names=c2)

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["soc12"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["soc21"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg2:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg2:2"]);plt.plot(dt
1['Domain'],dt1["lg2:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["soc22"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["PL32"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["IL32"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["VL32"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["lg3:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt2["lg3:2"]);plt.plot(dt
1['Domain'],dt2["lg3:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["soc32"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["soc31"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["PL31"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["IL31"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["VL31"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["PL22"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["THDlg3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt2["THDVg3"]);plt.grid()

plt.show()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])

c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[60:69,1]))

print(c1)

dt1 = pd.read_fwf('pq6_07.out',header=None,names=c1)

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["PL21"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Qg3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Pg3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDIg2"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vg3:1"]);plt.plot(dt1['Domain'],dt1["Vg3:2"]);plt.plot(
dt1['Domain'],dt1["Vg3:3"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDVg2"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDIg1"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDVg1"]);plt.grid()

plt.show()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

a = pd.read_fwf('pq6.inf',header=None,widths=[28,7])

c1 = pd.Series(['Domain']).append(pd.Series(a.loc[70:73,1]))

print(c1)

dt1 = pd.read_fwf('pq6_08.out',header=None,names=c1)

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDltb"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDVtb"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDltf"]);plt.grid()

plt.figure();plt.plot(dt1['Domain'],dt1["THDVtf"]);plt.grid()

plt.show()

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประวัติผู้เขียน



นายธรรมรัตน์ ชูศักดิ์ (นนท์)

เกิดวันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ.2542

ที่อยู่ 63 ซอย กาญจนภิเษก 39 แขวง ดอกไม้ เขตประเวศ
จังหวัดกรุงเทพ 10250

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนเซนต์ดอมินิก

เบอร์โทรศัพท์ : 082-364-1212

E-mail address: tammarat.tch@gmail.com



นายนริชญ์ แหว่ตระกูล (อิง)

เกิดวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ.2541

ที่อยู่ 244/108 หมู่ 4 ต.หนองควาย อ.หางดง จ.เชียงใหม่ 50230

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย

เบอร์โทรศัพท์ : 082-623-61664

E-mail address: norawit.htk@gmail.com



นางสาวปาณิสสา พิพัฒน์พงศ์ภวิน (ชะเอม)

เกิดวันที่ 29 เมษายน พ.ศ.2542

ที่อยู่ 33/58 ถ.ศรีอินทราทิตย์ ต.ธานี อ.เมือง จ.สุโขทัย 64000

จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม

เบอร์โทรศัพท์ : 091-843-2539

E-mail address: aim.panisa@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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