



ทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

VOLTAGE QUALITY ASSESSMENT IN LOW VOLTAGE POWER SYSTEM
WITH DISTRIBUTED GENERATIONS

นายภาณุวัฒน์ อาเทศ รหัส 57363337
นายเอกวุฒิ ลัดดาพันธ์ รหัส 57363672

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัณเรศวร
ปีการศึกษา 2560



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายภาณุวัฒน์	อาเทศ	รหัส 57363337
	นายเอกวุฒิ	ลัดดาพันธ์	รหัส 57363672
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณณ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2560		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณณ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิภา วัฒนนะ)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายภาณุวัฒน์	อาเทศ	รหัส 57363337
	นายเอกวุฒิ	ลัดดาพันธ์	รหัส 57363672
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนัย ภาชนะพรธรรม		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2560		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นโครงการทดสอบคุณภาพไฟฟ้า รวมถึงการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัว และการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ขนาด 3 เฟส แรงดัน 380 V พิกัด 370 W และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ขนาด 3 เฟส แรงดัน 400 V พิกัด 300 VA เชื่อมต่อเข้ากับตู้ทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า Tecquipment NE9102 distributed trainer ที่พิกัดแรงดัน 240 V_{L-L} เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัว การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงยาวจะต้องมีเปอร์เซ็นต์ของแรงดันเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน $\pm 9.09\%$ และการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน IEC 61000-2-2 :2002 : 3 ว่าด้วยความเข้ากันได้สำหรับการรบกวนตามสายความถี่ต่ำและการส่งสัญญาณระบบจำหน่ายสาธารณะแรงดันต่ำ กำหนดไว้ว่า เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่สมดุลต้องไม่เกิน 2%

จากการทดสอบพบว่า การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับระบบจำหน่าย จะทำให้เกิดสถานะแรงดันเกินช่วงยาวในระบบไฟฟ้า ซึ่งเกินกว่าค่าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ซึ่งได้มีการแก้ไขปัญหาให้ระดับแรงดันกลับมาอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานคือการลดระดับแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงแต่คงกำลังไฟฟ้าไว้ที่ค่าเดิม โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ คือการใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและการควบคุมวงจรกระตุ้นให้สอดคล้องกับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ซึ่งการควบคุมที่กล่าวไปข้างต้นส่งผลแต่แรงดันที่ส่งจ่ายเข้าระบบแต่ไม่ทำให้กำลังไฟฟาลดลง สำหรับการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่าย 3 เฟส แล้วจำลองการเกิดความไม่สมดุลของระดับแรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งกรณีที่ระบบมีการไม่สมดุลก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกรณีที่ระบบมีการไม่สมดุลหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้โหลดแบบตัวต้านทานขนาด 49.4 Ω ต่อเข้าที่เฟส C เพียงเฟสเดียว เกิดเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่สมดุลในระบบจำหน่ายเกินกว่าค่ามาตรฐานของ IEC 61000-2-2 :2002 : 3 กำหนดไว้

Project title Voltage Quality Assessment in Low Voltage Power System with Distributed Generations
Name Mr.Phanuwat Artes ID. 57363337
Mr.Ekkawut Laddaphan ID. 57363672
Project advisor Assistant Professor Piyadanai Pachanapan, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2018

Abstract

This project is a voltage quality assessment in low voltage power system with distributed generations , including the steady state and unbalanced voltage tests . Induction generator and synchronous generator are used for connect to the 240 V_{L-L} distribution power system , based on Tecquipment NE9102 distributed trainer to study those the power quality problems . In addition, the statutory limits for steady state voltage changes are based on PEA Grid Code, which are $\pm 9.09\%$. Moreover , the IEC 61000-2-2 : 2002 : 3 config a standard for unbalanced voltage to not exceed 2 %

In the steady state tests cases , when connecting distributed generators to the distribution power system , the increase of power from generator causes the over-voltage conditions to exceeding the PEA Grid Code .To fix the problem , the reactive power at point of connect coupling is controlled by adjusting the exciter in case of synchronous generator or , adding the inductor in case of induction generator. In unbalanced voltage tests , the resistive load 49.4 Ω is added to phase C causing the percentage of unbalanced voltage to over the IEC 61000-2-2 :2002 : 3 standard. From the experiment , it is found that the connecting of 3 phase distributed generators , both induction and synchronous types , will slightly increase the percentage of unbalanced voltage.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจาก ผศ.ดร.ปิยดนัย ภาชนะพรรณน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้ใส่ใจในทุกรายละเอียดของการดำเนินโครงการ โดยให้ทั้งความรู้และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆอย่างต่อเนื่อง รวมถึงแนะนำการเขียนปริญญาานิพนธ์การใช้ภาษา และการตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปริญญาานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์ผู้ดำเนินโครงการจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช และ ผศ.ดร.สุพรรณนิภา วัฒนะ ที่ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงการตรวจรูปเล่มปริญญาานิพนธ์ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการพิมพ์รูปเล่มปริญญาานิพนธ์ รวมถึงการแก้ไขปรับปรุงให้รูปเล่มปริญญาานิพนธ์ถูกต้องตามหลักการพิมพ์และอื่นๆ ที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อุปกรณ์และใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ ว่าที่ร้อยตรี ธานี โกสุม และ นาย เผ่าพัฒน์ แสงอบ ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำรวมถึงสอนการใช้งานอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

และสุดท้ายขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีได้เอื้อนามในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ข้าพเจ้าได้ตั้งเป้าหมายไว้

นายภาณุวัฒน์ อาเทศ
นายเอกวุฒิ ลัดดาพันธ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 คุณภาพไฟฟ้า.....	4
2.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส.....	7
2.2.1 สาเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล.....	8
2.2.2 ผลกระทบของแรงดันไม่สมดุลในระบบต่ออุปกรณ์ที่เชื่อมอยู่กับระบบ.....	8
2.2.3 มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าของปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน.....	9
2.3 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว.....	10
2.3.1 สาเหตุในการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	10
2.3.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบต่ออุปกรณ์ที่เชื่อมอยู่กับระบบ.....	11
2.3.3 มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าของปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	11
2.4 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ.....	12
2.4.1 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส.....	13

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว.....	13
2.5 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส.....	14
2.5.1 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส.....	14
2.5.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว.....	15
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังไฟฟ้าจริง และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพ.....	15
2.7 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	17
2.7.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	18
2.7.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส.....	18
2.8 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	18
2.8.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	18
2.8.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	18
2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
2.9.1 ตู้ทดสอบระบบจำหน่าย รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed trainer	20
2.9.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC shunt wound motor).....	20
2.9.3 มอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor).....	20
2.9.4 มอเตอร์กระแสตรง (Lab volt).....	21
2.9.5 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor).....	21
2.9.6 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor).....	22
2.9.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase synchronous generator).....	23
2.9.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt).....	24
2.9.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply).....	24
2.9.10 หม้อแปลง (Transformer).....	25
2.9.11 ซิงโครไนซ์ซิงค์ สวิตช์ (Synchronizing Switch)	25
2.9.12 ตัวเก็บประจุ (Capacitor).....	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9.13 ตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ (Inductor).....	26
2.9.14 มิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	26
2.9.13 บอร์ดสำหรับเชื่อมต่อและสายไฟ.....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	30
3.1 แผนผังลำดับการทำงานของ การทดสอบคุณภาพไฟฟ้า.....	30
3.2 การทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เข้าสู่ระบบไฟฟ้า.....	32
3.2.1 การทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	32
3.2.2 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน.....	34
3.3 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	36
3.3.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	36
3.3.2 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัสเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	45
3.4 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน.....	52
3.4.1 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	52
3.4.2 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	61
3.5 แนวทางการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้า.....	70
3.5.1 วิธีการแก้ไขผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	70
3.5.2 วิธีการแก้ไขผลการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน.....	76
บทที่ 4 ผลการทดสอบและผลการแก้ไขปัญหา.....	78
4.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	81
4.1.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ.....	81

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส.....	92
4.2 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันในระบบไฟฟ้า.....	103
4.2.1 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดแบบเหนี่ยวนำ.....	103
4.2.2 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส.....	111
4.3 ผลการแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว.....	120
4.3.1 ผลการแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวว่าด้วยแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ.....	120
4.3.2 ผลการแก้ไขผลทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส.....	128
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	138
5.1 สรุป.....	138
5.2 อภิปรายผล.....	140
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	140
เอกสารอ้างอิง.....	141
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	142

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการดำเนินงาน.....	2
2.1 มุมมองต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าในอเมริกา.....	4
2.2 ตัวประกอบการลดพิกัดของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเมื่อใช้งานกับแรงดันไม่ได้ดูล.....	9
2.3 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	12
2.4 เนมเพลทของมอเตอร์กระแสตรง (DC shunt wound motor)	20
2.5 เนมเพลทของมอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor).....	21
2.6 เนมเพลทของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor).....	22
2.7 เนมเพลทของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor).....	23
2.8 เนมเพลทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase Synchronous generator).....	24
4.1 ความหมายของหมายเลขในรูปที่ 4.1 และ 4.2.....	79
4.2 ความหมายของหมายเลขในรูปที่ 4.3 และ 4.4	80
4.3 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	81
4.4 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	82
4.5 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	84
4.6 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	85
4.7 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย.....	89
4.8 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย.....	89
4.9 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	93
4.10 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย.....	95
4.11 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย.....	96
4.12 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย.....	99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แรงดันสามเฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ.....	7
2.2 ระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุล.....	7
2.3 ระบบไฟฟ้าสามเฟสไม่สมดุล.....	8
2.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	10
2.5 การต่อตัวเก็บประจุเพื่อเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ.....	12
2.6 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วและกำลังไฟฟ้าของโหลดทางเอาต์พุต.....	14
2.7 Single line diagram of two bus system.....	15
2.8 P-V curve.....	16
2.9 P-V Curve สำหรับค่าตัวประกอบกำลังที่ต่างกัน.....	17
2.10 Q-V curve สำหรับกำลังจริงที่ต่างกัน.....	17
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสสนามกับกระแสอาร์เมเจอร์ที่สภาพโหลดต่างกัน.....	19
2.12 ตู้ทดสอบระบบจำหน่าย รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed.....	19
2.13 มอเตอร์กระแสตรง (DC shunt wound motor).....	20
2.14 มอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor).....	21
2.15 มอเตอร์กระแสตรง (Lab volt).....	22
2.16 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor).....	22
2.17 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor).....	23
2.18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase synchronous generator).....	24
2.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt).....	24
2.120 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply ของ Lab volt).....	25
2.21 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply).....	25
2.22 หม้อแปลง (Transformer).....	25
2.23 ซิงโครไนซ์ซิงค์สวิตช์ (Synchronizing switch).....	25
2.24 ตัวเก็บประจุขนาด 4 μ F.....	26
2.25 ตัวเหนี่ยวนำปรับค่าได้ 8 ระดับ ของ ELWE.....	26
2.26 ดิจิตอลมิเตอร์แบบพกพา FLUKE รุ่น 115 TRUE RMS MULTIMETER.....	27
2.27 ดิจิตอลมิเตอร์ 3 เฟส.....	27
2.28 ดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ 3 เฟส (Digital powermeter).....	27
2.29 RLC Meter UNI-T รุ่น UT602.....	28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 แทคโคมิเตอร์ (Digital tachometer รุ่น DT2236B).....	28
2.31 พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อตัวเก็บประจุ.....	28
2.32 สายไฟ.....	29
3.1 แผนภูมิลำดับการทำงานของการทำงานของการทดสอบคุณภาพไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	31
3.2 รูปทั่วไปของการทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้า.....	32
3.3 แผนภูมิลำดับการทำงานของการทำงานของการทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว	33
3.4 แผนภูมิลำดับการทำงานของการทำงานของการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน.....	35
3.5 แผนภูมิการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	38
3.6 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	39
3.7 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	40
3.8 แสดงรูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	41
3.9 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ เหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	42
3.10 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย.....	43
3.11 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย	44
3.12 แผนภูมิการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	45
3.13 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	46
3.14 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	47
3.15 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	48
3.16 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.33 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย.....	66
3.34 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	67
3.35 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย.....	68
3.36 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย.....	69
3.37 รูปแบบการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า.....	71
3.38 ตัวเหนี่ยวนำของ ELWE รุ่น Bs 5.960 สามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ระดับ.....	72
3.39 แผนผังการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า.....	73
3.40 แผนผังการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว ที่ปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า.....	74
3.41 แผนผังการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่กลางสายและปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า.....	75
4.1 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า.....	78
4.2 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า(ต่อ).....	78
4.3 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า.....	79
4.4 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า(ต่อ).....	80
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย.....	82
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจินตภาพต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย.....	83
4.7 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย.....	83
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสาย.....	85
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจินตภาพต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสาย.....	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation) เมื่อมีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบเพื่อทดแทนกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟหลัก (Main power supply) และยังสามารถจ่ายเป็นกำลังไฟฟ้าสำรอง เวลาที่แหล่งจ่ายไฟหลักไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

จากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อทดแทนและเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองของแหล่งจ่ายไฟหลัก แต่ว่าการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกิน สามารถสร้างปัญหาต่อคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) ได้ และจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบ 3 เฟส โดยในแต่ละเฟสมีการใช้โหลดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสาเหตุอาจจะมาจากการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าแบบเฟสเดียวที่มากเกินไปในเฟสใดเฟสหนึ่ง ทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าเช่นเดียวกัน จากการเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้างกล่าวนี้จึงส่งผลกระทบต่อระบบและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบทั้งหมด จึงเกิดความคิดที่จะศึกษาผลกระทบจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็ก 3 เฟสเข้ากับระบบไฟฟ้า

โดยมีความคิดที่จะศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าอยู่ 2 กรณี คือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ากับระบบที่มากเกินไป และปัญหาที่เกิดจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบที่มีปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบคือ ระบบการผลิตไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ศึกษาผลกระทบว่าผลมีค่าเหมือนหรือต่างกันและเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาคคุณภาพไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคุณภาพไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย คือ ปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน และปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว
2. หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบ
3. ศึกษาหาความแตกต่างของคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ต่างชนิดกัน
4. นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาคคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า ให้อยู่ในช่วงมาตรฐานของการไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของโครงการ

หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบ โดยระบบที่ใช้ทดสอบคือระบบ 3 เฟส ขนาดแรงดันที่ 240 โวลต์

ศึกษาการเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้า คือ การเกิดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน และการเกิดปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว และเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายทั้ง 2 ชนิด คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสขนาดพิกัดกำลังสูงสุด 300 วัตต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำขนาดพิกัดกำลังสูงสุด 370 วัตต์ รวมถึงการนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้า ในกรณีที่ค่าของผลการทดสอบไม่อยู่ในช่วงของมาตรฐานคุณภาพไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการทำโครงการ

1. ศึกษาผลกระทบและแนวทางในการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า
2. ออกแบบการทดสอบคุณภาพไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า
3. ทำการทดสอบคุณภาพไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า
4. บันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดสอบ
5. ทดสอบการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากทั้ง 2 กรณีคุณภาพไฟฟ้าที่นำมาศึกษา
6. เสนอแนวทางและทดสอบการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในเรื่องปัญหาแรงดันเกินที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า
7. รวบรวมข้อมูล สรุปผล และจัดทำรูปเล่มโครงการ

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2560			พ.ศ. 2561						
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1) ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบ										
2) ออกแบบชุดทดสอบคุณภาพไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่อง										

กำเนิดไฟฟ้า แบบกระจาย เข้ากับระบบ										
3) ทดสอบ คุณภาพไฟฟ้า										
4) บันทึกผล และวิเคราะห์ ผลการทดสอบ										
5) ทดสอบการ แก้ไขปัญหา คุณภาพไฟฟ้า										
6) วิเคราะห์ผล การแก้ไขปัญหา คุณภาพไฟฟ้า										
7) รวบรวม ข้อมูล จัดทำ รูปเล่มโครงการ และนำเสนอ										

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวกับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับระบบไฟฟ้าได้
2. สามารถเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลง
3. สามารถเปรียบเทียบผลกระทบในด้านคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ต่างชนิดกันเข้ากับระบบไฟฟ้า
4. สามารถนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงมาตรฐานของการไฟฟ้า

1.7 งบประมาณ

- | | |
|--|-----------------|
| 1) ค่าอุปกรณ์การทำปริญญานิพนธ์ | 2000 บาท |
| 2) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มวิทยานิพนธ์ | 1000 บาท |
| รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันบาทถ้วน) | <u>3000 บาท</u> |
- หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

ทฤษฎีหลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดสอบปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้า คือ ปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า ทั้ง 3 เฟส และปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว ที่เกิดมาจากการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส เข้ากับระบบไฟฟ้า คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คุณภาพไฟฟ้า

ความหมายของคุณภาพไฟฟ้าอาจมีความหมายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขอบเขตในการอ้างอิงถึงของแต่ละบุคคล เช่น ผู้ผลิตไฟฟ้าอาจให้นิยามคุณภาพไฟฟ้าในความหมายความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยอาจจะกำหนดให้ระบบที่มีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี คือระบบที่มีค่าความน่าเชื่อถือได้ 99.98 เปอร์เซ็นต์ แต่ทางด้านของผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจจะให้นิยามของคำว่า คุณภาพไฟฟ้าว่าเป็นตามลักษณะของแหล่งกำเนิดที่สามารถจ่ายไฟเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม เห็นได้ว่าคำนิยามเหล่านี้แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม คุณภาพไฟฟ้าค่อนข้างจะเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

ดังนั้นคำนิยามของคำว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้า หมายถึง ปัญหาใดๆในระบบไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้นแล้ว มีผลทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าความถี่ของกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติจนมีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟและการไฟฟ้าได้รับความเสียหาย หรือทำงานผิดพลาดจนต้องมีการปลดตัวเองออกไป ถือว่าเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้า [1]

ผู้คนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งในมุมมองผู้ผลิตระบบสาเหตุของปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าเอง 25 เปอร์เซ็นต์ และสาเหตุที่เกิดจากผู้ผลิตเองเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ในมุมมองของผู้ใช้ไฟระบุว่าสาเหตุที่เกิดจากผู้ผลิตมีมากถึง 17 เปอร์เซ็นต์และเกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้า 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่าผู้ผลิตระบบสาเหตุปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้ามามากกว่า แต่ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าต่างระบุสาเหตุปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากผู้ผลิตมากกว่า อย่างไรก็ตามทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟต่างระบุตรงกันถึงสาเหตุของปัญหาคุณภาพไฟฟ้าส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยเกิดขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มุมมองต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าในอเมริกา[1]

ต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้า	มุมมองการไฟฟ้า	มุมมองผู้ใช้ไฟฟ้า
ธรรมชาติ	66%	60%
การไฟฟ้า	1%	17%
ผู้ใช้ไฟฟ้า	25%	12%
เพื่อนบ้าน	8%	8%
อื่นๆ	0%	3%

เมื่อเกิดปัญหาด้านไฟฟ้ากำลังกับอุปกรณ์ ผู้ใช้ไฟฟ้ามักจะตำหนิผู้ผลิตไฟฟ้าทันทีว่าสาเหตุเกิดจากแหล่งกำเนิดที่จ่ายไฟเข้ามา แต่ในบันทึกของผู้ผลิตไฟฟ้าอาจไม่แสดงถึงความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ เช่น ในโรงงานแห่งหนึ่งระบุการหยุดการผลิตที่เกิดจากปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้าจำนวน 30 ครั้งในช่วงเวลา 9 เดือน แต่เมื่อตรวจสอบจากบันทึกจากผู้ผลิตไฟฟ้ากลับระบุการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์เพียง 5 ครั้ง เท่านั้น เป็นต้น ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าบางชนิดผู้ผลิตไฟฟ้าอาจไม่มีการบันทึก เช่น การสวิตช์ตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ปกติที่มักเกิดขึ้นในระบบของผู้ผลิตไฟฟ้า ทำให้เกิดภาวะแรงดันเกินชั่วขณะ เป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดและเกิดความเสียหาย หรือแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรชั่วคราว เป็นสาเหตุให้มอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้หยุดการทำงาน เหตุการณ์เหล่านี้จะไม่ถูกบันทึกถ้าไม่มีการติดตั้งเรื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

โดยทั่วไปอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องจักรอุตสาหกรรม ต้องการได้รับแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดและความถี่ที่ซึ่งประกอบด้วยเพียงความถี่เดียว เพื่อการทำงานที่ไม่ผิดพลาด กำลังงานสูญเสียต่ำและเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจะมีค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏอยู่ ตลอดจนมีผู้ใช้ไฟฟ้าร่วมกันในระบบและมีชนิดของโหลดที่นำมาต่อใช้งานเป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาคุณภาพกำลังงานไฟฟ้าตามมา โดยผลกระทบจากปัญหาคุณภาพกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องทุกส่วน ตั้งแต่การผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและตัวผู้ใช้ไฟฟ้าเอง

ปัญหาคุณภาพกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาคือปัญหารูปคลื่นเพี้ยน (Waveform distortion) ซึ่งเกิดจากฮาร์โมนิก (Harmonic) และมีสาเหตุมาจากโหลดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic loads) ซึ่งมีผลมาจากในช่วงเวลากว่า 30 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาด้านอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ เครื่องจักรอุตสาหกรรมให้มีขีดความสามารถในการผลิตและความเร็วในการทำงานสูง ตลอดจนอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานเพื่อการลดการใช้พลังงาน ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมให้ความสนใจและนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ในหน่วยงานเป็นจำนวนมาก เช่น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) สำหรับระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์โทรคมนาคม อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable speed drive) เตาอินดักชัน (Induction Heating) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟฟ้าแสงสว่างชนิดต่างๆ แต่ในอีกด้านหนึ่งการพัฒนาอุปกรณ์ เครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้สร้างมลภาวะหรือปัญหาทางคุณภาพกำลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่ากระแสฮาร์โมนิก (Harmonic current) ให้กับระบบไฟฟ้าของทั้งหน่วยงานที่นำอุปกรณ์เครื่องจักรเหล่านี้มาใช้งานเองและกับผู้ใช้ไฟฟ้าส่วนรวมในขณะเดียวกัน

คุณภาพไฟฟ้ามักมีลักษณะคล้ายกับคุณภาพสินค้าและบริการอื่น ซึ่งเป็นการยากที่จะระบุระดับคุณภาพ และไม่มีค่านิยามใดเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าเป็นที่ยอมรับ ถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดมาตรฐานแรงดันและเกณฑ์ทางเทคนิคอื่นในการตรวจวัด แต่ในท้ายที่สุดคุณภาพไฟฟ้าจะถูกกำหนดโดยอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า หากระบบไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ได้นั้นคือ ระบบขาดคุณภาพไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Power) ในทางวิศวกรรมไฟฟ้าคือ อัตราการส่งจ่ายพลังงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นการยากที่จะนิยามความหมายของคุณภาพไฟฟ้า (Power quality) ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยจะควบคุมการส่งจ่ายโดยการควบคุมและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าโดยไม่มีการควบคุมกระแสไฟฟ้า เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของ

โหลด ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าจึงมุ่งไปที่การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในค่าที่กำหนด ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับถูกออกแบบให้ทำงานที่แรงดันรูปไซน์ (Sinusoidal) ที่มีการกำหนดความถี่ (ที่ 50 หรือ 60 Hz) และขนาดของแรงดัน ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันความถี่ ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้าแรงดันและกระแสมีความสัมพันธ์กัน แม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างแรงดันที่มีรูปคลื่นไซน์ แต่ค่ากระแสที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบส่งผลให้มีรูปคลื่นแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิก เมื่อกระแสฮาร์โมนิกไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบ ทำให้รูปคลื่นแรงดันมีความผิดเพี้ยน ซึ่งความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้านี้จะส่งผลถึงผู้ใช้ไฟฟ้าอื่นในระบบด้วย

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพไฟฟ้านอกจากวิเคราะห์ด้านแรงดันไฟฟ้าแล้ว ยังจำเป็นต้องวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าประกอบด้วย เพื่อให้ทราบถึงปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างละเอียดและถูกต้องมากขึ้น

เหตุผลสำคัญที่เป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้รับความสนใจ คือ มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งมีผลกับผู้ผลิตไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ที่มีการใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความไวต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้ามาก ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหยุดทำงาน ทำให้เกิดความสูญเสียเป็นอย่างมาก

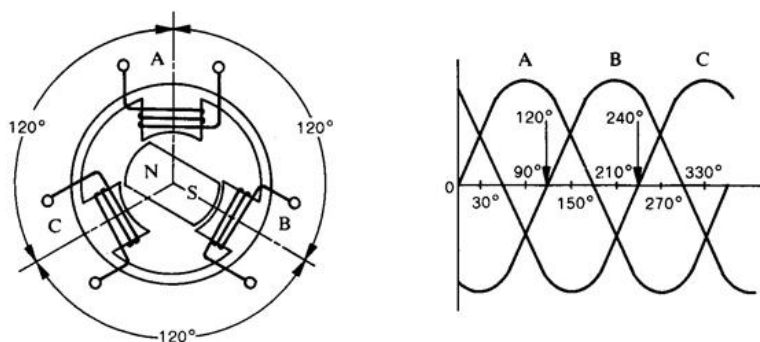
ด้านผู้ผลิตไฟฟ้าเองก็ได้ให้ความสนใจและตระหนักถึงปัญหาคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกันเนื่องจากการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้ามากขึ้น ผู้ผลิตไฟฟ้าจึงพยายามสร้างความเชื่อมั่นในด้านคุณภาพไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าของตน เพื่อมิให้สูญเสียรายได้จากการขายไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อการเงินของผู้ผลิตไฟฟ้า นอกจากผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่เห็นได้ชัดเจนแล้วกับผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่แล้ว ยังมีผลกระทบทางอ้อมและค่าใช้จ่ายที่มองไม่เห็นซึ่งเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าชนิดบ้านพักอาศัย ซึ่งในปัจจุบันในแต่ละบ้านมีการใช้คอมพิวเตอร์และมีการทำธุรกรรมผ่านทางคอมพิวเตอร์มากขึ้น ซึ่งคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความไวต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ในส่วนของผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม หรือมีการออกแบบให้อุปกรณ์มีความสามารถทนต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้ ถ้าไม่ได้มีการระบุจากผู้ใช้นั้นเนื่องจากการแข่งขันในด้านราคาค่อนข้างสูง ทำให้ในที่สุดภาระตกมาที่ผู้ใช้อุปกรณ์ ซึ่งจำเป็นต้องหามาตรการป้องกัน และติดตั้งอุปกรณ์เสริมเองภายหลัง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ผลิตไฟฟ้าควรมีการให้ข้อมูลด้านคุณภาพไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า และผู้ผลิตอุปกรณ์ควรระบุข้อมูลของอุปกรณ์เกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อด้วย [2]

โดยปกติแล้วปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะถูกจำแนกออกตามขนาด ระยะเวลา และค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิดเหตุการณ์

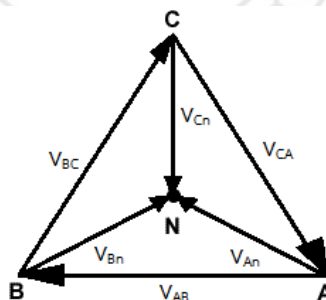
2.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ใช้ตัวเหนี่ยวนำ 3 ตัว วางตำแหน่งต่างมุมกัน 120° องศา เพื่อให้ 1 รอบการหมุน ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่อเนื่องกัน แรงดันที่ได้จะออกมาเป็นสามเฟสสมดุลที่มีขนาดแต่ละเฟสเท่ากัน แต่มีมุมเฟสที่ต่างกัน 120° องศา เรียกว่า เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.1

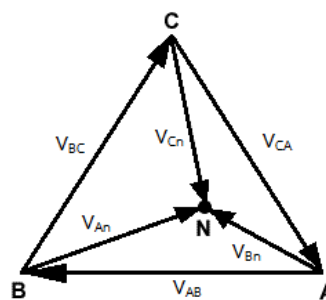


รูปที่ 2.1 แรงดันสามเฟสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันสามเฟสสมดุลสามารถอธิบายได้ด้วยส่วนประกอบสมมาตร ประกอบด้วยด้วยเวกเตอร์ 3 ตัว ที่มีขนาดของแรงดันเฟสเท่ากัน แต่มีมุมเฟสต่างกัน 120° องศา มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการสร้างแรงดันออกมา 3 เฟส ที่มีขนาดของแรงดันหรือมุมเฟสที่แตกต่างกัน จะเรียกว่าแรงดันไม่สมดุล แรงดันไม่สมดุลสามารถอธิบายได้ด้วยส่วนประกอบไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุล



รูปที่ 2.3 ระบบไฟฟ้าสามเฟสไม่สมดุล

2.2.1 สาเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

โดยทั่วไปแล้วสาเหตุหลักของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเกิดการใช้กระแสที่ไม่สมดุล (Unbalance Currents) ตั้งแต่ 15-20 % ขึ้นไป ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมนอกจากจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟสแล้ว ยังมีอุปกรณ์ชนิดเฟสเดียวในระบบ เช่น อุปกรณ์สำนักงาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง มอเตอร์เฟสเดียว เป็นต้น

ถ้าหากของอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งเฟสมีขนาดใหญ่และดึงกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่ไม่เท่ากันในปริมาณมากๆ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz ในสายนิวทรัล และถ้ามีการใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งเฟสที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก (Harmonic source) รวมอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร หลอดไฟที่ใช้ที่อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ไหลอยู่ในสายนิวทรัล

ในสภาวะที่มอเตอร์ทำงานปกติ ค่าความต้านทานของมอเตอร์จะมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันลำดับลบของระบบไฟฟ้า คือจะมีค่าความต้านทานต่ำมากๆ ใกล้เคียงกับค่าความต้านทานของมอเตอร์ในขณะเริ่มเดิน (Locked rotor start impedance) หากระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้านั้นเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จะส่งผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ามีความร้อนเกิดขึ้นผิดปกติ เนื่องจากมีกระแสลำดับลบไหลเข้ามอเตอร์เป็นจำนวนมาก กระแสไฟฟ้าลำดับลบนี้จะไปสร้างสนามแม่เหล็กต้านกับสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดกำลังงาน ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ลดลง ทำให้เกิดฟลักซ์ที่หมุนตรงข้ามกับฟลักซ์หลักในตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงดันไม่ได้ดุลอาจทำให้เกิดกระแสไม่ได้ดุลมีขนาดสูง 6-10 เท่าของแรงดันไม่ได้ดุล หมายความว่าถ้าแรงดันไม่ได้ดุล 1% กระแสไม่ได้ดุลอาจสูงถึง 6-10%

2.2.2 ผลกระทบของแรงดันไม่สมดุลในระบบต่ออุปกรณ์ที่เชื่อมอยู่กับระบบ

และจากปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในระบบ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า คือ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าลดลง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบ (เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายไม่ใช่ส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ในทางกลับกันความไม่สมดุลของแรงดันที่เกิดขึ้นในระบบทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย) เมื่อเกิดแรงดันไม่สมดุลย่อมทำให้เกิดความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generator) มีประสิทธิภาพลดลง และอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสั้นลงอีกด้วย จึงต้องจำกัดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับได้

มาตรฐานเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า NEMA Standard MG1 -1993 (Motors and generators) แนะนำให้ลดขนาดของมอเตอร์ลงเมื่อใช้กับระบบที่แรงดันไม่ได้ดุลโดยใช้ตัวประกอบการลดพิภัก (Derating factor) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กและขนาดกลาง เพื่อป้องกันตัวมอเตอร์ร้อนจัดจนเกิดอันตรายได้ [3]

ตารางที่ 2.2 ตัวประกอบการลดพิกัดของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเมื่อใช้งานกับแรงดันไม่ได้อดุล

Voltage Unbalance	Approximate Derating
1 %	None
2 %	95 %
3 %	88 %
4 %	82 %
5 %	75 %

ตัวอย่าง มอเตอร์ขนาด 370 W หากใช้กับแรงดันไม่ได้อดุล 1% จะทำงานเต็มประสิทธิภาพที่พิกัด 370 W แต่ถ้าใช้กับแรงดันไม่ได้อดุล 2% จะทำงานประสิทธิภาพ 95% ที่พิกัด 350 W และถ้าหากแรงดันไม่ได้อดุลมีค่าสูงถึง 3% ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์อยู่ที่ 88% ที่พิกัด 325 W

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลนั้นหาได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง 3 เฟสต่อค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส โดยใช้นิยามของมาตรฐาน IEEE 1159-2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้อดุล ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\%V_{UB} = \left| \frac{V_{\max dev} - V_{avg}}{V_{avg}} \right| \times 100 \quad (2.1)$$

$$V_{avg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (2.2)$$

เมื่อ $\%V_{UB}$ = เปอร์เซนต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
 V_{avg} = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส
 $V_{\max dev}$ = แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่ง
 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} = แรงดันระหว่างเฟส

2.2.3 มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าของปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน

มาตรฐาน IEC 61000-2-2 : 2002-03 : ระดับความเข้ากันได้สำหรับการรบกวนตามสายความถี่ต่ำและการส่งสัญญาณระบบจำหน่ายสาธารณะแรงดันต่ำ จะต้องมีการเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่สมดุลไม่เกิน 2%

2.3 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว

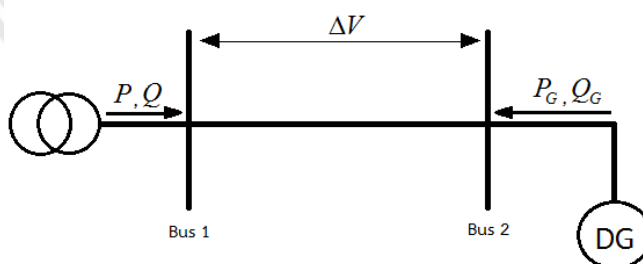
การเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบไฟฟ้าถือเป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า และถ้าระดับแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลานานมากกว่า 1 นาที โดยตามมาตรฐาน American national standards institute (ANSI) standard C84. 1-1995 กล่าวว่าหากแรงดันเปลี่ยนแปลง

ออกนอกช่วงที่กำหนดเป็นเวลามากกว่า 1 นาที จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลานาน การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงเวลานาน อาจเป็นได้ทั้งแรงดันเกิน (Over voltage) และแรงดันตก (Under voltage) ซึ่งสาเหตุโดยทั่วไปไม่ได้เป็นผลจากการเกิดฟอลต์ในระบบ แต่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโหลด การสวิตช์ซึ่งต่างๆ ในระบบ หรือการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.3.1 สาเหตุในการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีศักยภาพในการทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าดีขึ้น นั้นหมายถึงก่อนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย แรงดันของผู้ใช้ไฟปลายทางอาจไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบแล้ว ระดับแรงดันจะต้องมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้วัฏจักรการเปลี่ยนระดับแรงดันในแต่ละวันเนื่องจากความต้องการของไฟฟ้าของโหลดมีค่าลดลง ในบางประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสามารถปรับเปลี่ยนการถ่ายโอนกำลังจลน์ภาพได้ ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการรักษาระดับแรงดันของระบบ การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบมีผลทำให้อิมพีแดนซ์โดยรวมของระบบลดลง ซึ่งทำให้เสถียรภาพของแรงดันในสายจำหน่ายเกิดการทรานเซียน เช่น ช่วงการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เป็นต้น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบสามารถส่งผลกระทบต่อแรงดันของผู้ใช้ไฟฟ้า เพราะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าอาจเป็นการทำให้การรักษาระดับแรงดันมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยเฉพาะถ้าติดตั้งใกล้โหลดที่มีขนาดใหญ่และอยู่ห่างไกลจากสถานีไฟฟ้าย่อยจะสามารถช่วยเพิ่มระดับแรงดันที่ปลายสายให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามตามทฤษฎีของการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้ายังส่งผลต่อการไหลของกำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันในระบบจำหน่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

สามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันระหว่างบัสที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ΔV) ได้จากสาการดังต่อไปนี้

$$\Delta V = (P - P_G)R - (Q - Q_G)X \quad (2.3)$$

เมื่อ ΔV = อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดัน
 P = กำลังไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{กำลังไฟฟ้าจินตภาพจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า} \\
 P_G &= \text{กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย} \\
 Q_G &= \text{กำลังไฟฟ้าจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย}
 \end{aligned}$$

จากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จะส่งผลให้เทอมของ $(P - P_G)$ และ $(Q - Q_G)$ ลดลง ซึ่งจะทำให้ ΔV ลดลงตามไปด้วย ซึ่งแรงดันที่บัสที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะมีขนาดของแรงดันสูงขึ้น ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีขนาดให้เคียงกับโหลดและเชื่อมต่อกับระบบที่ตำแหน่งใกล้กับโหลด จะทำให้ความสูญเสียรวมในระบบลดลง และถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสูงกว่าที่จุดที่มีการเชื่อมต่อจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะเกิดภาวะแรงดันเกินที่จุดเชื่อมต่อ

จากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจริง ที่มีตัวประกอบกำลังคองที่เข้ามาในระบบจำหน่าย เป็นการเพิ่มแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งใด จะทำให้แรงดันที่ตำแหน่งนั้นสูงขึ้น และเมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายให้กับระบบที่มีขนาดใหญ่ โหลดของระบบมีค่ามาก สายส่งหรือสายป้อนมีระยะไกล ที่บริเวณใกล้กับโหลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะช่วยเพิ่มระดับแรงดันปลายทางที่โหลดให้สูงขึ้น ลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยได้ และช่วยลดขนาดกระแสที่ไหลในสายป้อนได้ ทำให้กำลังสูญเสียในสายลดลง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบอาจทำให้เกิดระดับแรงดันที่สูงเกินไปในระบบ โดยเฉพาะถ้าติดตั้งอยู่ที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ที่มีโหลดขนาดใหญ่มากนัก ผู้ใช้ไฟที่รับไฟจากหม้อแปลงนี้จะได้รับแรงดัน ซึ่งผลของแรงดันเกินนี้จะส่งผลกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.3.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันในระบบต่ออุปกรณ์ที่เชื่อมอยู่กับระบบ

จากผลของแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า กล่าวได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ใหญ่เกินไปในระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดระดับแรงดันที่สูงเกินไปในระบบ และทำให้มีกำลังไฟฟ้าย้อนกลับเข้าไปในระบบส่งจ่าย อาจทำให้ความสูญเสียทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และแรงดันที่สูงยังส่งผลถึงอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบ ทำให้เสื่อมคุณภาพลง อายุการใช้งานสั้นลง หรือถ้าเกิดแรงดันเกินฉับพลันที่ค่าสูงอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

2.3.3 มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าของปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 ตามมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดไว้ว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดต้องไม่เกิน $\pm 9.09\%$ ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน โดยพิจารณาเทียบกับระดับแรงดันที่ 220 V ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [4]

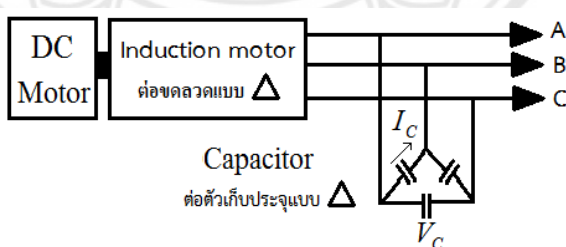
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 กิโลโวลต์	120.7	109.2	126.5	103.5
33 กิโลโวลต์	34.7	31.3	36.3	29.7
22 กิโลโวลต์	23.1	20.9	24.2	19.8
380 โวลต์	418	342	418	342
220 โวลต์	240	200	240	200

2.4 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

จากหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาได้ก็ต่อเมื่อมีกำลังไฟฟ้าจลน์จากระบบไฟฟ้าเข้ามาในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเพื่อนำไปสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งส่งผลให้ระบบไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าจลน์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจลน์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแทนการรับมาจากระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุขนานกับขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งตัวเก็บประจุจะจ่ายกำลังไฟฟ้าจลน์ให้กับระบบแทนการรับกำลังไฟฟ้าจลน์จากระบบไฟฟ้า เมื่อตัวเก็บประจุสร้างกำลังไฟฟ้าจลน์เข้ากับระบบไฟฟ้าแล้วทำให้กระแสไหลในขดลวดของสเตเตอร์เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านสเตเตอร์สูงขึ้น เรียกว่าสภาวะการเริ่มต้นสร้างแรงดันไฟฟ้า เมื่อแรงดันเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กระแสทางด้านสเตเตอร์สูงขึ้นเป็นผลให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงจุดสมดุลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีค่าคงที่ [5]

สามารถคำนวณหาตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังในรูปที่ 2.5 ได้ดังนี้ [6]



รูปที่ 2.5 การต่อตัวเก็บประจุ เพื่อเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

$$Q = \sqrt{3} \times VI \sin \theta \quad (2.4)$$

$$Q_\phi = \frac{Q}{3} \quad (2.5)$$

$$I_C = \frac{Q_\phi}{V_C} \quad (2.6)$$

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} \quad (2.7)$$

$$C_{\max} = \frac{1}{2\pi \times f X_C} \quad (2.8)$$

เมื่อ	Q	= ค่ากำลังไฟฟ้าจิตภาพ (Var) 3 เฟส
	Q_ϕ	= ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพ (Var) 1 เฟส
	X_C	= รีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ
	C_{\max}	= ค่าความจุตัวเก็บประจุ (μF)
	f	= ความถี่ (Hz)
	V	= แรงดันระหว่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (V)
	V_C	= แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V)
	I	= กระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (A)
	I_C	= กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (A)

ซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะมีการต่อแบบเดลต้า เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ต่อขดลวดแบบเดลต้าเช่นเดียวกัน แรงดันไลน์และแรงดันเฟสจะเท่ากัน แต่กระแสจะแตกต่างกัน

2.4.1 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส [7]

2.4.1.1 ความไม่สมดุลของแรงดันที่มีอยู่ในระบบ ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เนื่องจากความไม่สมดุลของกระแสและเป็นผลให้โรเตอร์ร้อนขึ้นเนื่องจากกระแสลำดับลบ (Negative sequence) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำลดลง ตามค่าตัวประกอบลดพิกัด (Derating factor) ดังที่อธิบายในหัวข้อที่ 2.2

2.4.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว [7]

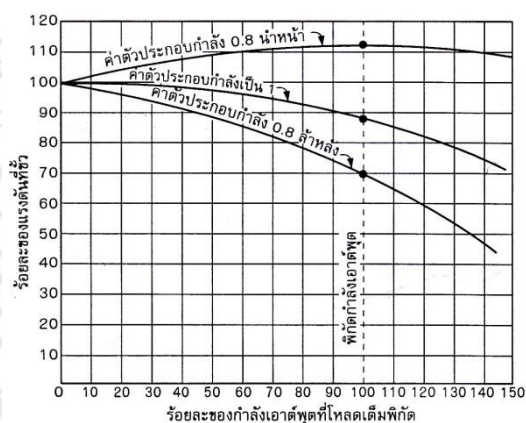
2.4.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถทำให้เกิดแรงดันสูงเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

2.4.2.2 การใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ไม่เหมาะสมทำให้ลักษณะของแรงดันสูงเกินไปในระบบ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการไหลสวนทางของกระแส ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในสายส่ง และแรงดันที่สูงเกินไปยังส่งผลถึงอุปกรณ์ให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง และแรงดันที่สูงขึ้นอย่างฉับพลันที่อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

2.5 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

จากหลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ กับสนามแม่เหล็กหมุนหรือขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่สเตเตอร์กับขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกบติดกันแล้วหมุนไปพร้อมกัน

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสถูกขับเคลื่อนด้วยตัวขับเคลื่อนกำลังจนความเร็วใกล้ความเร็วซิงโครนัส จึงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามของโรเตอร์ที่วงจรถะตุ้น (Exciter) เพื่อกระตุ้นให้เกิดความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งขนาดของกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะแปรผกผันกับการกระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะน้อยเมื่อมีการกระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของโรเตอร์มาก และกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์จะมากเมื่อมีการกระตุ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของโรเตอร์น้อย และการปรับวงจรถะตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสยังสามารถควบคุมให้ทำงานที่ตัวประกอบกำลังตามที่ต้องการ (จะเกิดการล้าหลังเมื่อกระตุ้นที่วงจรถะตุ้นน้อย และจะเกิดการนำหน้าเมื่อกระตุ้นที่วงจรถะตุ้นมาก) ซึ่งค่าของกระแสและค่าของตัวประกอบกำลังนี้จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแตกต่างกันออกไปดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขั้วและกำลังไฟฟ้าของโหลดทางเอาต์พุต

จะเห็นว่าที่ตัวประกอบกำลังเป็น 1 แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดจะตกลงที่ร้อยละ 88 เมื่อโหลดเต็มพิกัด เมื่อค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.8 ล้าหลัง แรงดันที่ขั้วจะตกลงที่ร้อยละ 70 เมื่อโหลดเต็มพิกัด และเมื่อค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.8 นำหน้า แรงดันที่ขั้วจะเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 112 เมื่อโหลดเต็มพิกัด [8]

2.5.1 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสต่อปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันและ กระแส [7]

2.5.1.1 ความไม่สมดุลของแรงดันที่มีอยู่ในระบบ ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เนื่องจากความไม่สมดุลของกระแสและเป็นผลให้โรเตอร์ร้อนขึ้นเนื่องจากกระแสลำดับลบ (Negative sequence) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสลดลง ตามค่าตัวประกอบลดพิกัด (Derating factor)

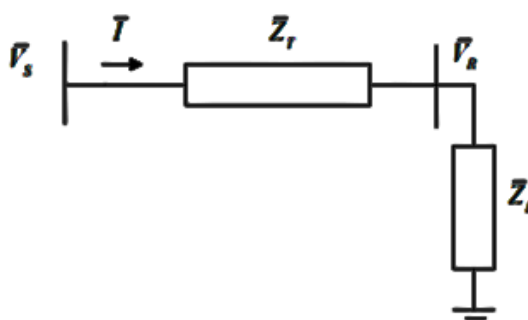
2.5.2 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสต่อการรักษาระดับแรงดันที่ภาวะคงตัว [7]

2.5.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสสามารถทำให้เกิดแรงดันสูงเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

2.5.2.2 การใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ไม่เหมาะสม (อาจจะมาจากการปรับวงจรกระตุ้นที่ไม่สอดคล้องกับความเร็วของตัวขับเคลื่อนกำลัง) อาจทำให้แรงดันในระบบที่สูงเกินหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกำลังไฟฟ้าจริง และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั่วไปจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่โหลด เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เกิดความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและกำลังจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อแรงดันระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถอธิบายดังแสดงในรูปที่ 2.7 [10]



รูปที่ 2.7 Single line diagram of two bus system

จากรูปที่ 2.7 กระแสจะไหลผ่านสายส่งและโหลดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = \frac{V_s \angle 0}{Z_T \angle \theta_T + Z_L \angle \theta_L} = \frac{V_s}{\sqrt{Z_T^2 + Z_L^2 + 2Z_T Z_L \cos(\theta_T - \theta_L)}} \quad (2.9)$$

กำหนดให้แรงดันที่บัส R เป็น

$$V_R = \frac{V_s Z_L}{\sqrt{Z_T^2 + Z_L^2 + 2Z_T Z_L \cos(\theta_T - \theta_L)}} \quad (2.10)$$

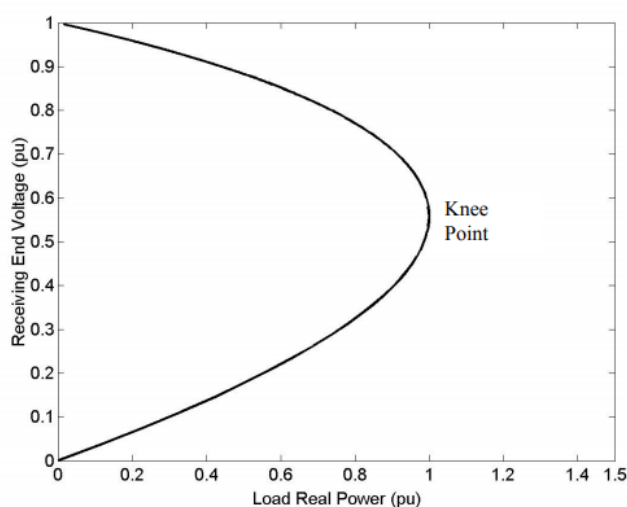
จะได้กำลังจริงและกำลังจินตภาพที่ตำแหน่งโหลดเป็น

$$P_L = \frac{V_s^2 Z_L \cos(\theta_L)}{\sqrt{Z_T^2 + Z_L^2 + 2Z_T Z_L \cos(\theta_T - \theta_L)}} \quad (2.11)$$

$$Q_L = \frac{V_S^2 Z_L \sin(\theta_L)}{\sqrt{Z_T^2 + Z_L^2 + 2Z_T Z_L \cos(\theta_T - \theta_L)}} \quad (2.12)$$

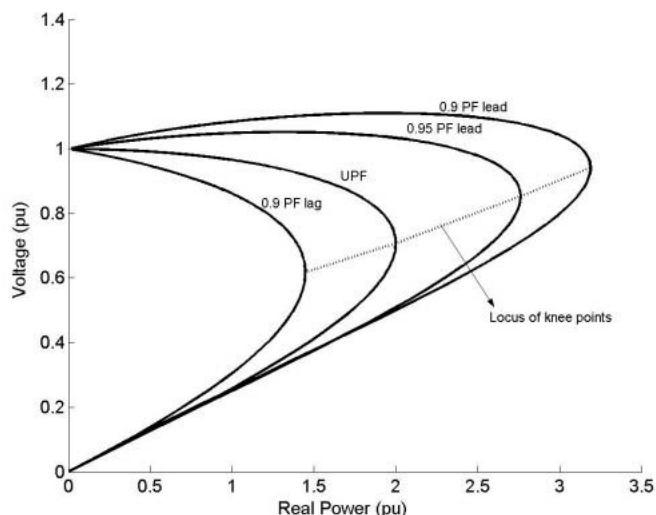
เมื่อ	I	= ค่ากระแสในระบบ
	V_S	= แรงดันที่ส่งจ่าย
	V_R	= แรงดันที่บัส
	Z_L	= อิมพีแดนซ์ที่โหลด
	Z_T	= อิมพีแดนซ์ที่สายส่ง
	P_L	= กำลังจริงที่โหลด
	Q_L	= กำลังจินตภาพที่โหลด
	θ_T	= ค่าตัวประกอบกำลังของอิมพีแดนซ์ที่สายส่ง
	ϕ_L	= ค่าตัวประกอบกำลังของอิมพีแดนซ์ที่โหลด

จากนั้นเมื่อสมมติให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่สายส่งเป็น $Z_T = 0.25$ pu โดยไม่คิดค่าความต้านทาน เมื่อจ่ายแรงดันเท่ากับ 1 pu กำลังจริงและกำลังจินตภาพที่โหลดสามารถเพิ่มและลดลงได้โดยการปรับโหลดอิมพีแดนซ์ Z_L ควบคุมค่าตัวประกอบกำลังให้อยู่ที่ 0.8 เมื่อเทียบแรงดันที่ปลายสายกับกำลังจริงที่เปลี่ยนแปลงจากโหลด สามารถวาดกราฟได้ ดังรูปที่ 2.8 กราฟนี้เรียกว่า PV curve



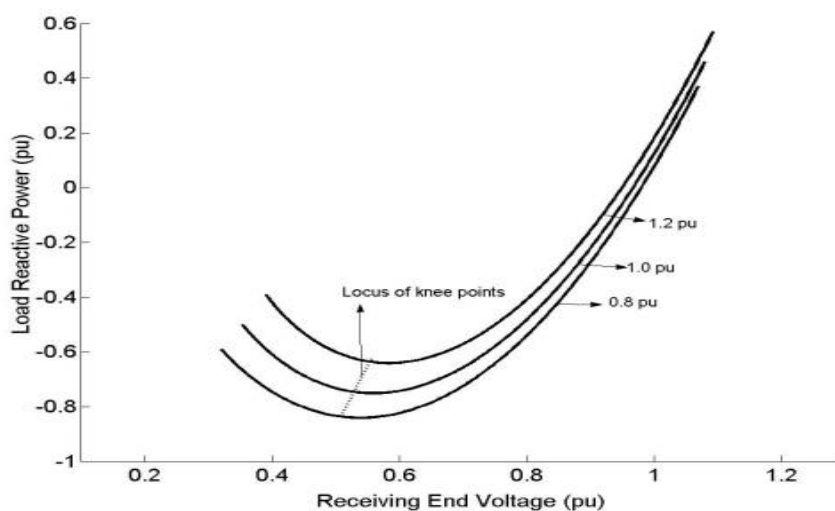
รูปที่ 2.8 P-V Curve

และจากรูปที่ 2.8 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่โหลดจะทำให้แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และเมื่อค่าตัวประกอบมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบนำหน้าจะทำให้แรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบล่าหลังจะทำให้แรงดันมีค่าต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพราะฉะนั้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาต่อที่ตำแหน่งโหลดจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อจะช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ไหลมาที่ตำแหน่งโหลด ทำให้แรงดันมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 2.9 P-V Curve สำหรับค่าตัวประกอบกำลังที่ต่างกัน

จากสมการ 2.12 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังจินตภาพและแรงดันได้ เมื่อกำลังไฟฟ้าจริงมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่ากำลังจินตภาพและแรงดันเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจริงจะทำให้กำลังจินตภาพเพิ่มขึ้นและ เมื่อกำลังไฟฟ้าจริงลดลงจะทำให้กำลังจินตภาพลดลงด้วย ค่ากำลังจินตภาพแบบบวก (นำหน้า) จะเป็นแบบความจุไฟฟ้าส่งผลให้แรงดันเพิ่มขึ้น ค่ากำลังจินตภาพแบบลบ (ล่าหลัง) จะเป็นแบบความเหนี่ยวนำส่งผลให้แรงดันลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Q-V curve สำหรับกำลังจริงที่ต่างกัน

2.7 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

จากที่กล่าวไปข้างต้น ในหัวข้อที่ 2.4 และหัวข้อที่ 2.5 การควบคุมกำลังจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสนั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนี้จะส่งผลถึงแรงดันในระบบให้เปลี่ยนแปลงไป

2.7.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

จากหลักการเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถควบคุมได้โดยปรับความเร็วของตัวขับเคลื่อนกำลังให้มากขึ้น เมื่อความเร็วที่นำมาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (การเพิ่มกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะเกี่ยวข้องกับค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

2.7.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

จากเงื่อนไขการทำงานที่สภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 ประการ คือ [8]

- 1) ต้องหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส
- 2) จะต้องได้รับการกระตุ้นจากแหล่งจ่ายไฟตรงเข้าสู่ขดลวดสนาม
- 3) จะต้องปรับกระแสไฟฟ้าที่กระตุ้นสนามแม่เหล็กเพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาตามต้องการ

เห็นได้ว่าการปรับกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเพื่อให้ได้ระดับของแรงดันที่ต้องการ ต้องมีการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพเช่นกัน ดังที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.5

2.8 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

จากที่กล่าวไปข้างต้น การควบคุมกำลังจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสนั้นย่อมส่งผลถึงกำลังไฟฟ้าจริงที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนี้จะส่งผลถึงแรงดันในระบบให้เปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นเดียวกัน

2.8.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

จากหลักการเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กล่าวไปข้างต้น การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถนั้นไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการจะควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพต้องมาจากการควบคุมส่วนอื่น คือการต่อตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเข้ากับระบบ

การเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปในระบบ จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้น กระแสนำหน้าแรงดัน (Leading) ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพจะลดลง ทำให้แรงดันสูง ส่งผลให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทำได้เต็มที่

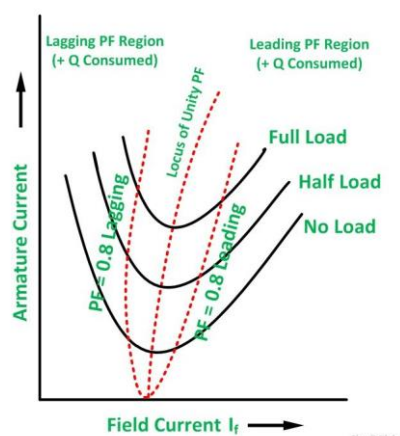
การเพิ่มตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในระบบ จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังจะลดลง กระแสล่าหลังแรงดัน (Lagging) ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันต่ำลง ส่งผลให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทำได้ไม่เต็มที่

2.8.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

จากที่กล่าวไปในข้างต้นในหัวข้อที่ 2.5 การทำงานที่สภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส การควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าจ่ายออกมาตามที่ต้องการได้ ต้องมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจินตภาพ

ให้กับระบบโดยการปรับวงจรถะตุนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การปรับวงจรถะตุนจะส่งผลถึงกระแส และจะส่งผลถึงค่าตัวประกอบกำลังดังที่กล่าวไปในข้างต้น ทำให้ค่าของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เมื่อปรับวงจรถะตุนจะทำให้กระแสอาร์เมเจอร์มีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีวงจรถะตุนเป็นแบบนำหน้า จะทำให้กำลังจลิตภาพแบบความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ในกรณีปรับวงจรถะตุนเป็นแบบ ล้าหลัง จะทำให้กำลังจลิตภาพแบบเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง

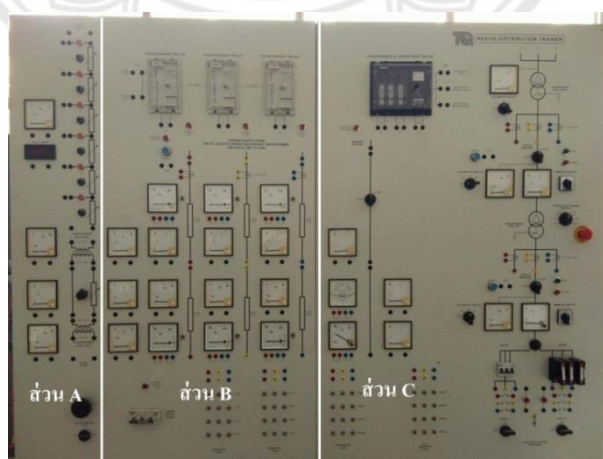


รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสสนามกับกระแสอาร์เมเจอร์ที่สภาวะโหลดต่างกัน

2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 ตู้ทดสอบระบบจำหน่าย รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed trainer

การจำลองสถานการณ์ในการทดสอบ จะใช้ตู้ทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟส รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed trainer ที่ระดับแรงดัน 240 V_{L-L} ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ใช้ในการจำลองเป็นระบบจำหน่าย โดยแต่ละส่วนของตู้ทดสอบระบบจะแบ่งออกดังนี้



รูปที่ 2.12 ตู้ทดสอบระบบจำหน่าย รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed

1. ส่วน A : ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า 150 VA 2 ตัว และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ 0-30 A มีสวิตช์ที่สามารถเลือกได้ว่าจะใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ ใช้ในการสาธิตหลักการของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และระบบเบรคเดียวและระบบวงแหวนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

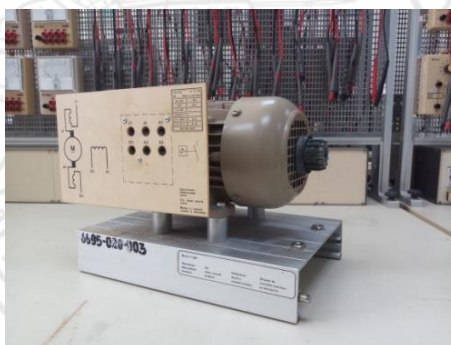
2. ส่วน B : ประกอบด้วยการส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส พิกัด 240 V_{L-L} ใช้สาธิตระบบส่งกำลังไฟฟ้า จำลองระบบของสายส่ง การชดเชยแรงดัน ผลกระทบของโหลดต่อแรงดัน ความสูญเสียและประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

3. ส่วน C : ประกอบด้วยหม้อแปลง 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ใช้ในการสาธิตการออกแบบและการใช้แทปหม้อแปลงเพื่อชดเชยแรงดัน แนะนำเกี่ยวกับฟอลต์ รวมถึงหลักการของระบบการป้องกันฟอลต์

2.9.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC shunt wound motor)

มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน ขนาด 0.37 kW ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และมีพิกัดการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

รายละเอียดการใช้งาน : มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานจะให้ความเร็วรอบที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนกำลังให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (DC shunt wound motor)

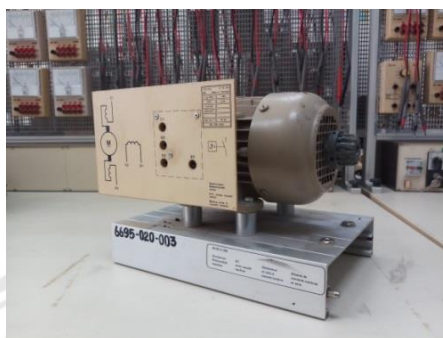
ตารางที่ 2.4 ป้ายแสดงรายละเอียดของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (DC shunt wound motor)

ELWE	31 15 101
1M	Made in Germany
Typ. Ms1	-Mot.
220 V	2.2 A
0.37 kW	
2360 min ⁻¹	
Err. 220 V	0.3 A
Isol Kl. F	IP 43
DIN VDE 0530	

2.9.3 มอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor)

มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ขนาด 0.37 kW ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และมีพิสัยการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

รายละเอียดการใช้งาน : มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานจะให้ความเร็วรอบที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรงที่ต่อแบบขนาน ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนกำลังให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จะเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.14 มอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor)

ตารางที่ 2.5 ป้ายแสดงรายละเอียดของมอเตอร์กระแสตรง (DC series wound motor)

ELWE	31 15 201
2M	Made in Germany
Typ. Ms2	-Mot.
220 V	2.3 A
0.37 kW	
3100 min ⁻¹	
Isol Kl. F	IP 43
DIN VDE 0530	

2.9.4 มอเตอร์กระแสตรง (Lab volt)

มอเตอร์กระแสตรงของ Lab volt ขนาด 175 W ดังแสดงในรูปที่ 2.13

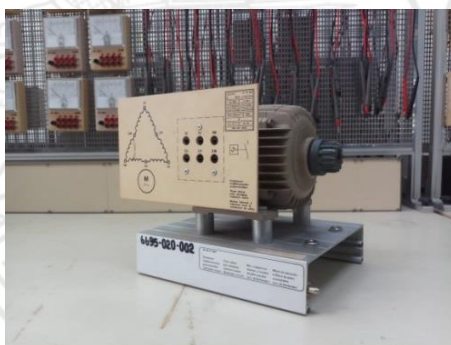
รายละเอียดการใช้งาน : ใช้งานโดยต่อขดลวดแบบอนุกรม เนื่องจากต้องการความเร็วรอบที่สูงเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt) ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนกำลังให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt) ที่จะเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 มอเตอร์กระแสตรง (Lab volt)

2.9.5 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase pole changing Induction motor)

มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase pole changing Induction motor) ขนาด 0.26 kW ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และมีฟังก์ชันการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 รายละเอียดการใช้งาน : ต่อขดลวดแบบเดลต้ากับตัวเก็บประจุที่ต่อแบบเดลต้า เปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor) จะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูง



รูปที่ 2.16 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor)

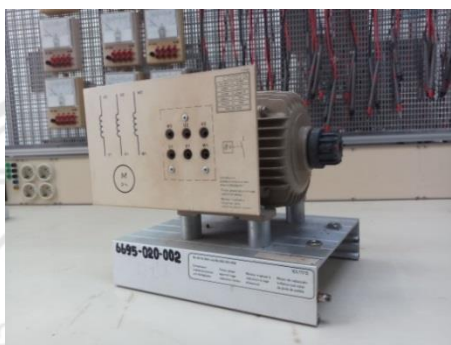
ตารางที่ 2.6 ป้ายแสดงรายละเอียดของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase pole changing Induction motor)

ELWE	31 15 801
8	Made in Germany
Typ. Ms8	3 ~ Mot.
Δ / YY 400 V	0.71 / 0.9 A
0.26 / 0.37 kW	$\cos \phi$ 0.73 / 0.84
1395 / 2785 min^{-1}	50 Hz

Isol KL F	IP 44
DIN VDE 0530	

2.9.6 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor)

มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase squirrel cage Induction motor) ขนาด 0.37 kW ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และมีพิกัดการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.7
 รายละเอียดการใช้งาน : ต่อขดลวดแบบเดลต้ากับตัวเก็บประจุที่ต่อแบบเดลต้า เปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor) จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.17 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor)

ตารางที่ 2.7 ป้ายแสดงรายละเอียดของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Three phase squirrel cage Induction motor)

ELWE	6
Typ. Ms6	3 ~ Mot.
Δ 380 V	1.1 A
0.37 kW	$\cos \phi$ 0.72
1390 min^{-1}	50 Hz
Isol KL F	IP 44
DIN VDE 0530	

2.9.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase Synchronous generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase Synchronous generator) ขนาด 0.3 kVA ดังแสดงในรูปที่ 2.17 และมีพิกัดการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.8
 รายละเอียดการใช้งาน : ในสถานะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการปรับความเร็วรอบของตัวขั้วต้นกำลัง และวงจรกระตุ้น มีผลให้ระดับแรงดันที่ส่งจ่ายให้กับระบบไฟฟ้ามีความแตกต่างกันตามการปรับ ดังที่กล่าวไปในข้างต้นในหัวข้อที่ 2.5



รูปที่ 2.18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase Synchronous generator)

ตารางที่ 2.8 ป้ายแสดงรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Three phase Synchronous generator)

ELWE	31 15 713
71G	Made in Germany
Typ. Ms 71	3 ~ Mot.
230 / 400 V	0.74 / 0.43 A
0.3 kVA	$\cos \phi$ 0.8
1500 min ⁻¹	50 Hz
Err. 18.5 V	4.3 A
Isol Kl. B	IP 44
DIN VDE 0530	

2.9.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt) ขนาด 110 VA ดังแสดงในรูปที่

2.18

รายละเอียดการใช้งาน : ในสถานการณ์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการปรับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลัง และวงจรกระตุ้น มีผลให้ระดับแรงดันที่ส่งจ่ายให้กับระบบไฟฟ้ามีความแตกต่างกันตามการปรับ ดังที่กล่าวไปในข้างต้นในหัวข้อที่ 2.5



รูปที่ 2.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส (Lab volt)

2.9.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply)

แหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.19 และ 2.20 ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงและไฟสลับที่ปรับค่าได้ สำหรับใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง



รูปที่ 2.20 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply ของ Lab volt) (ซ้าย)

รูปที่ 2.21 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply) (ขวา)

2.9.10 หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.21 ใช้สำหรับแปลงระดับแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย 400 / 230 V ที่พิกัดการทำงาน 600 VA , 0.9 A



รูปที่ 2.22 หม้อแปลง (Transformer)

2.9.11 ซิงโครไนซ์ซิงค์ สวิตช์ (Synchronizing Switch)

ซิงโครไนซ์ซิงค์ สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ใช้ตรวจสอบความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.23 ซิงโครไนซ์ซิงค์ สวิตช์ (Synchronizing Switch)

2.9.12 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ต่อตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ต่อแบบเดลต้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ต่อขดลวดแบบเดลต้า สำหรับใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายออกมาดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4



รูปที่ 2.24 ตัวเก็บประจุขนาด 4 μF

2.9.13 ตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ใช้สำหรับการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ โดยต่อแบบเดลต้าเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุกับตัวเก็บประจุ ที่ฝั่งเข้าพุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.25 ตัวเหนี่ยวนำปรับค่าได้ 8 ระดับ ของ ELWE

ระดับค่าความเหนี่ยวนำ 8 ระดับ : ระดับที่ 1 ค่าความเหนี่ยวนำ 5.5 H (ค่าที่ใช้ในการทดสอบการแก้ไขปัญหาระงับแรงดันเกินชิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ)

2.9.14 มิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.9.14.1 ดิจิตอลมิเตอร์แบบพกพา

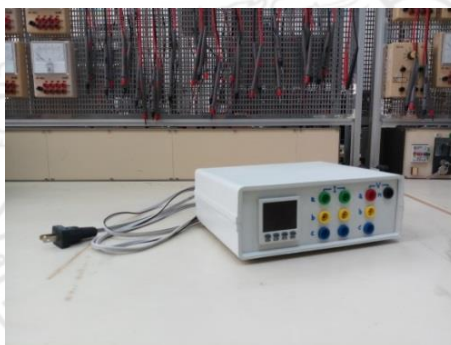
ดิจิตอลมิเตอร์แบบพกพาดังแสดงในรูปที่ 2.25 ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันที่ต้องการทราบค่า



รูปที่ 2.26 ดิจิตอลมิเตอร์แบบพกพา FLUKE รุ่น 115 TRUE RMS MULTIMETER (ซ้าย) , ดิจิตอลมิเตอร์แบบพกพา AGILENT รุ่น 1232A TRUE RMS MULTIMETER (ขวา)

2.9.14.2 ดิจิตอลมิเตอร์แบบ 3 เฟส

ดิจิตอลมิเตอร์แบบ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ใช้แสดงค่า แรงดัน,กระแส กำลังไฟฟ้า,กำลังไฟฟ้าจินตภาพ,ค่าตัวประกอบกำลัง และความถี่
รายละเอียดในการใช้งาน : วัดค่าต่างๆที่ๆ ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ดังที่กล่าวไปในรายละเอียดข้างต้น



รูปที่ 2.27 ดิจิตอลมิเตอร์ 3 เฟส

2.9.14.3 ดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์แบบ 3 เฟส

ดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์แบบ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ใช้แสดงค่า กำลังกำลังไฟฟ้า,กำลังไฟฟ้าจินตภาพ,และค่าตัวประกอบกำลัง
รายละเอียดการการใช้งาน : วัดค่าต่างๆที่ๆ ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ดังที่กล่าวไปในรายละเอียดข้างต้น



รูปที่ 2.28 ดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ 3 เฟส (Digital powermeter)

2.9.14.3 RLC ดิจิตอลมิเตอร์

RLC ดิจิตอลมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ใช้วัดค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และวัดค่าของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แก้ไขปัญหาแรงดันเกินกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 2.29 RLC Meter ของ UNI-T รุ่น UT602

2.9.14.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ(Tachometer)

เครื่องมือวัดความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.28 ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลัง ในหน่วย rpm โดยใช้โหมด rpm photo

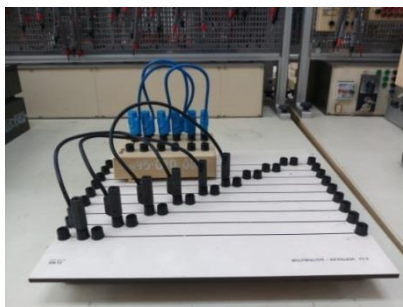


รูปที่ 2.30 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer รุ่น DT2236B)

2.9.13 บอร์ดสำหรับเชื่อมต่อและสายไฟ

2.9.13.1 บอร์ดเชื่อมต่อตัวเก็บประจุ

บอร์ดเชื่อมต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ใช้ต่อตัวเก็บประจุพร้อมับขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.31 บอร์ดสำหรับเชื่อมต่อตัวเก็บประจุ

2.9.13.2 สายไฟ

สายไฟสำหรับการเชื่อมต่อระบบ ดังรูปที่ 2.28 มีพิกัดที่ 1000 V



รูปที่ 2.32 สายไฟ

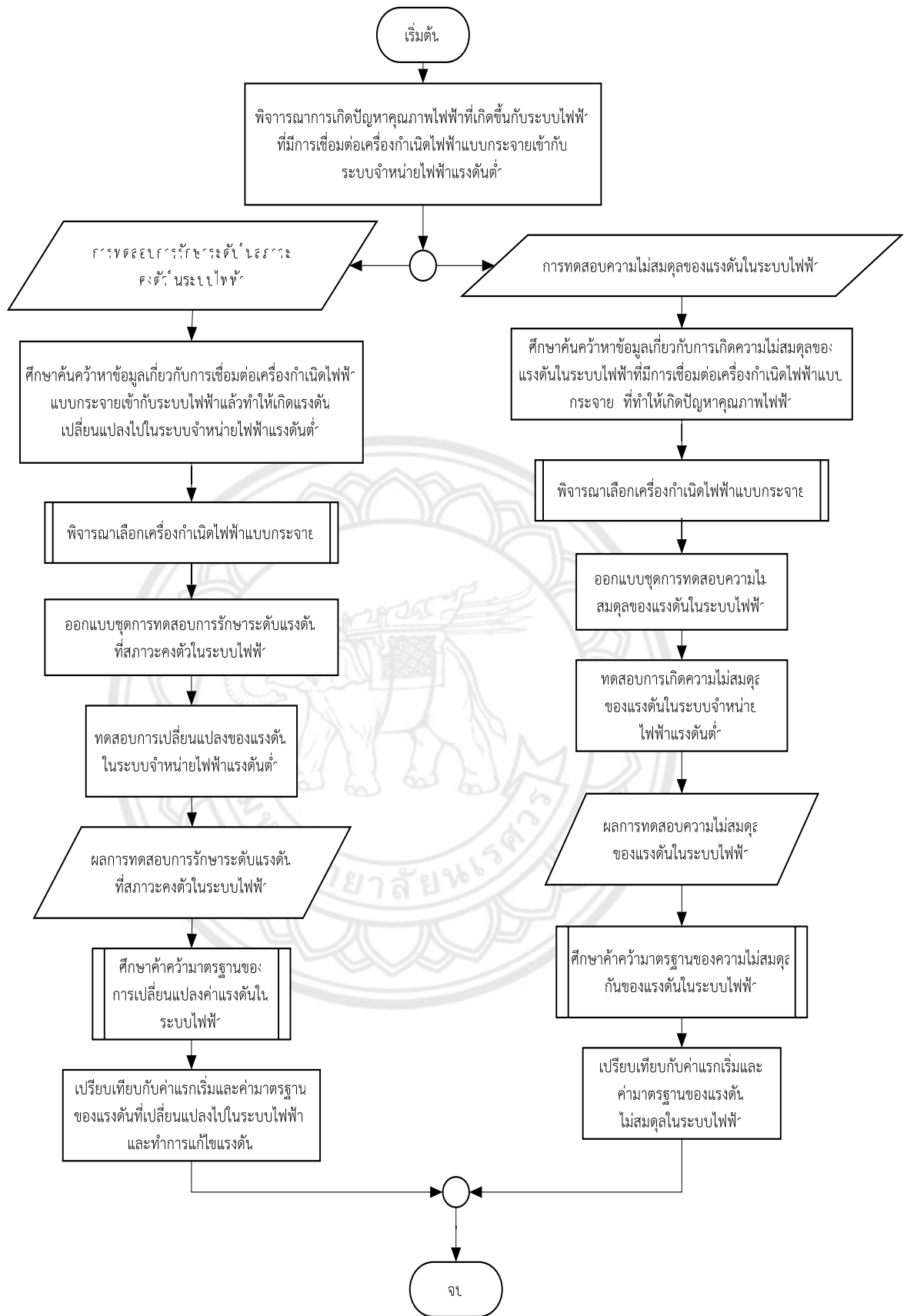
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้า โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับตู้ทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ รุ่น Tecquipment NE9102 Distributed trainer ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยใช้เฉพาะส่วน B ซึ่งประกอบด้วยการส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส พิกัด 240 V_{L-L} ที่ใช้สำหรับการจำลองเป็นระบบจำหน่าย เพื่อจำลองการเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้า 2 กรณี คือ การไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ทั้งก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในระบบไฟฟ้าที่มีเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เป็นไปตามมาตรฐานระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559

3.1 แผนผังลำดับการทำงานของ การทดสอบคุณภาพไฟฟ้า

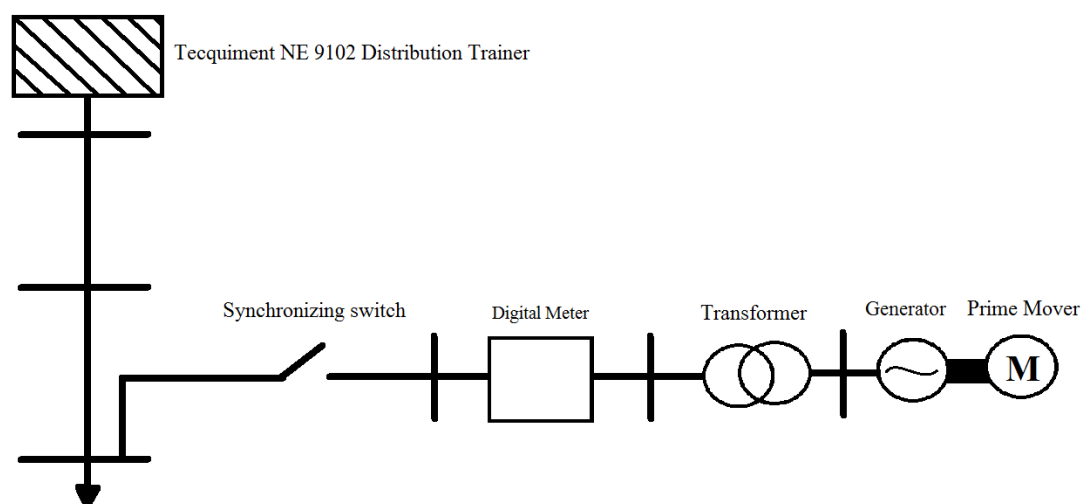
การเริ่มต้นทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้า จะทำการกำหนดขอบเขตของการทดสอบคุณภาพไฟฟ้า โดยกำหนดขอบเขตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ พิจารณาการทดสอบได้ 2 กรณี คือ การรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว และความไม่สมดุลของแรงดัน โดยผลที่ได้จากการทดสอบจะนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานทางคุณภาพไฟฟ้า ดังแสดงในแผนภูมิลำดับการทำงานในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิลำดับการทำงานของการทดสอบคุณภาพไฟฟ้าในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.2 การทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

การทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generator) เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงแรงดัน (Transformer) เพื่อปรับระดับแรงดันให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำผ่านดิจิตัลมิเตอร์ (Digital meter) เพื่อวัดค่าต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และผ่านซิงโครไนซิงสวิทช์ (Synchronizing switch) เพื่อดูความเข้ากันได้ของความถี่และระดับแรงดันก่อนทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



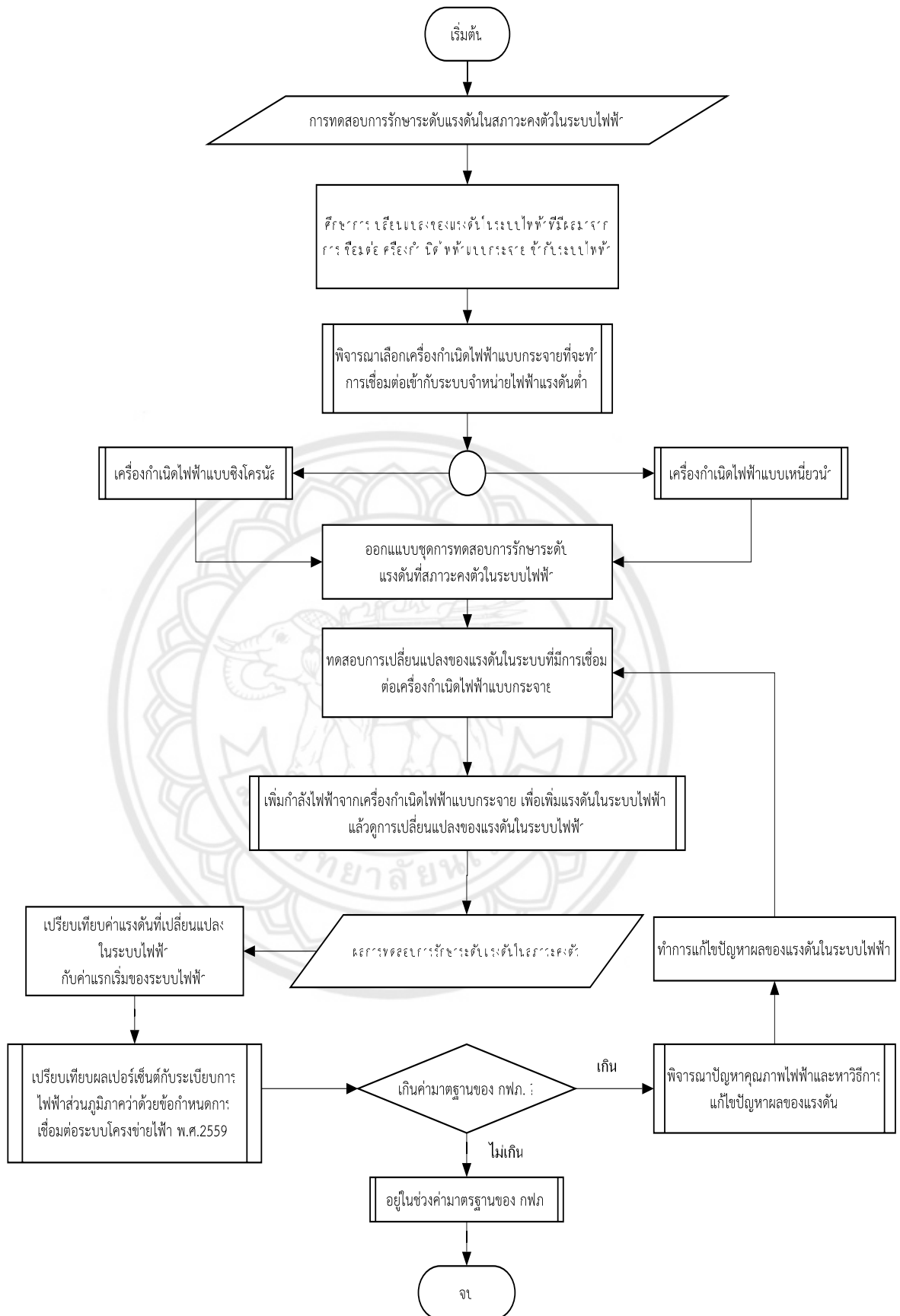
รูปที่ 3.2 รูปทั่วไปของการทดสอบปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

ปัญหาการทดสอบคุณภาพไฟฟ้าที่นำมาพิจารณา มี 2 กรณี คือ ปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว และปัญหาความไม่สมดุลของระดับแรงดันในระบบไฟฟ้า โดยในแต่ละกรณีจะมีวิธีทดสอบที่แตกต่างกันดังนี้

3.2.1 การทดสอบปัญหาการรักษากระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

การเริ่มต้นการทดสอบจะต้องทำการออกแบบชุดการทดสอบและตั้งสมมุติฐาน ก่อนทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า ดูผลของค่าการทดสอบที่ได้ว่าตรงตามที่ตั้งสมมุติฐานไว้หรือไม่ ถ้าไม่ตรงตามสมมุติฐานก็ต้องทำการแก้ไข ดังแสดงในแผนภูมิลำดับการทำงานในรูปที่ 3.3

โดยเมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เข้าสู่ระบบไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป เกิดค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลง โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ จะทำให้อัตราส่วนนี้มีความแตกต่างกันไป กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบมากขึ้นเพียงใด และในการควบคุมระดับแรงดันจำเป็นต้องควบคุมกำลังจินตภาพที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดความสัมพันธ์ของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อค่ากำลังจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน

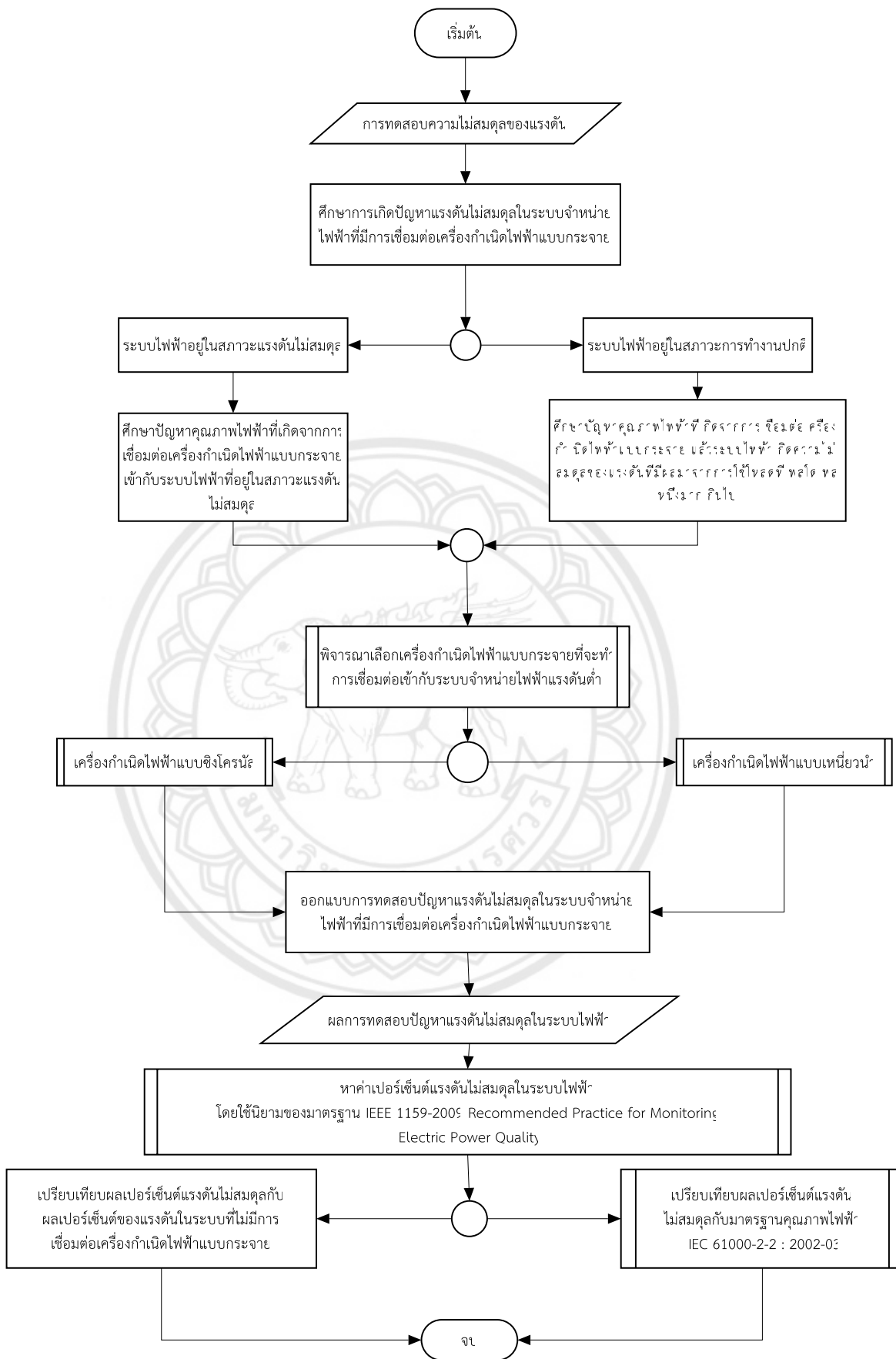


รูปที่ 3.3 แผนภูมิลำดับการทำงานของการทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

3.2.2 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน

การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี เป็นกรณีที่ระบบมีความไม่สมดุลของแรงดันอยู่แล้วก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบ กับกรณีที่ระบบเกิดการไม่สมดุลหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบ โดยเมื่อทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ใน 2 กรณีข้างต้นแล้วจะมีผลอย่างไรกับแรงดันในระบบ โดยใช้นิยามของมาตรฐาน IEEE 1159-2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุล และนำค่าของเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพไฟฟ้า IEC 61000-2-2 : 2002-03 ว่าด้วยความเข้ากันได้สำหรับการรบกวนตามสายความถี่ต่ำ และการส่งสัญญาณในระบบจ่ายไฟสาธารณะแรงดันต่ำ ที่กำหนดไว้ว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลต้องไม่เกิน 2 % ดังแสดงในแผนภูมิลำดับการทำงานในรูปที่ 3.4





รูปที่ 3.4 แผนภูมิลำดับการทำงานของ การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน

3.3 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจะแบ่งออกเป็น การทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส โดยในแต่ละการทดสอบของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแบ่งออกอีกเป็น 3 กรณี คือ

- การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
- การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
- การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

3.3.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

จากทฤษฎีในบทที่ 2 การที่จะเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้นั้นต้องมีการต่อคร่อมตัวเก็บประจุกับขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการในบทที่ 2 สมการที่ (2.4) – (2.8) เป็นค่าที่ได้จากป้ายแสดงรายละเอียดของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ กำหนดให้ $I=1.1$ A , $V=380$ V และ P.F. = 0.72 ซึ่งต่อตัวเก็บประจุแบบเดลต้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ต่อขดลวดแบบเดลต้าเช่นเดียวกัน แสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q &= \sqrt{3} \times VI \sin \theta \\
 &= \sqrt{3} \times (380)(1.1) \sin 43.95^\circ \\
 &= 502.476066
 \end{aligned}
 \quad [\text{VAR}]$$

$$\begin{aligned}
 Q_\phi &= \frac{Q}{3} \\
 &= \frac{502.476066}{3} \\
 &= 167.492022
 \end{aligned}
 \quad [\text{VAR}]$$

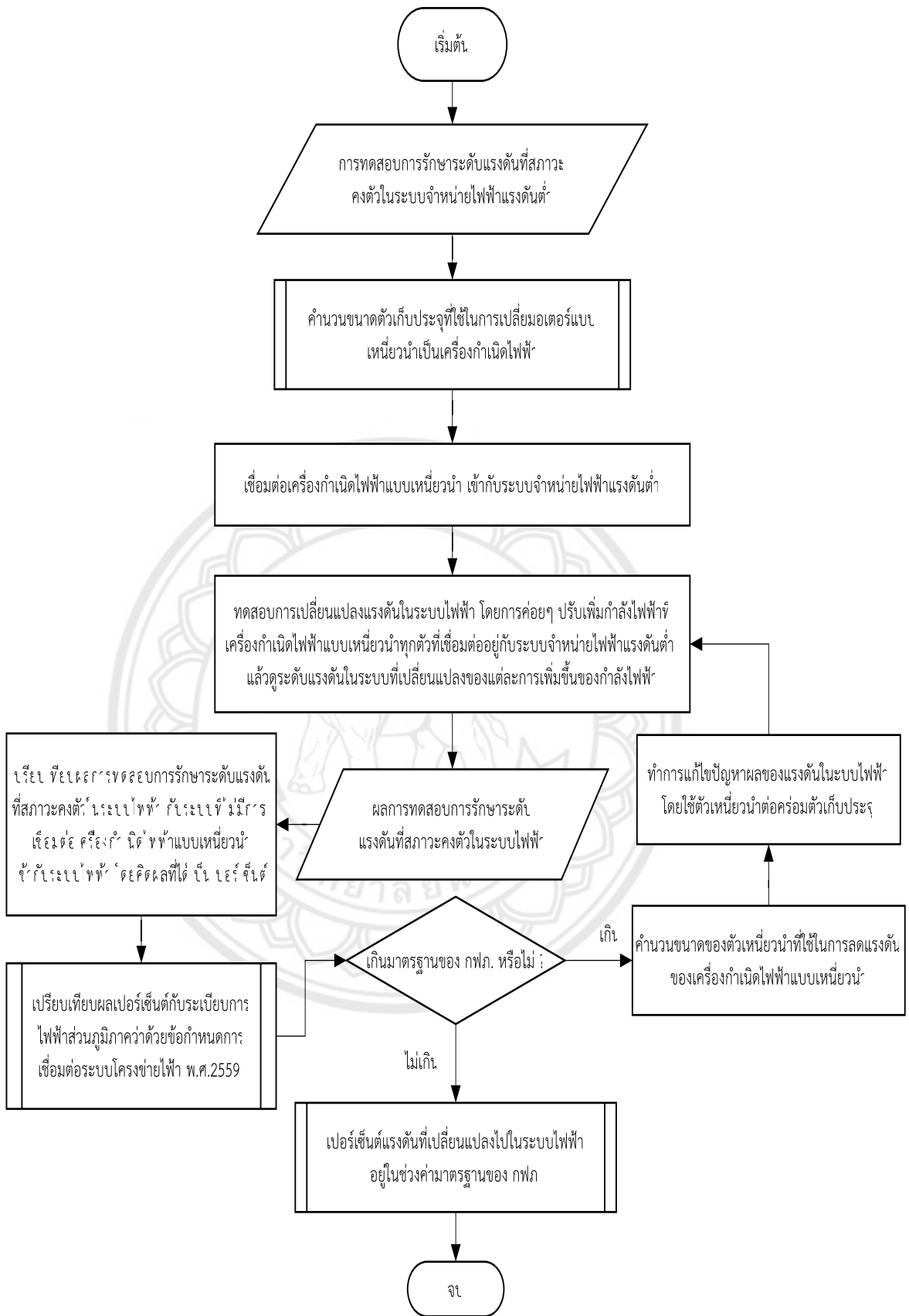
$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{Q_\phi}{V_c} \\
 &= \frac{167.492022}{380} \\
 &= 0.440768
 \end{aligned}
 \quad [\text{A}]$$

$$\begin{aligned}
 X_c &= \frac{V_c}{I_c} \\
 &= \frac{380}{0.440768} \\
 &= 862.131552 \quad [\Omega]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{\max} &= \frac{1}{2\pi \cdot f X_c} \\
 &= \frac{1}{2\pi \times 50 \times 862.131552} \\
 &= 3.692127 \quad [\mu F]
 \end{aligned}$$

ตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการกระตุ้นกำลังไฟฟ้าในมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ ประมาณ 4 μF

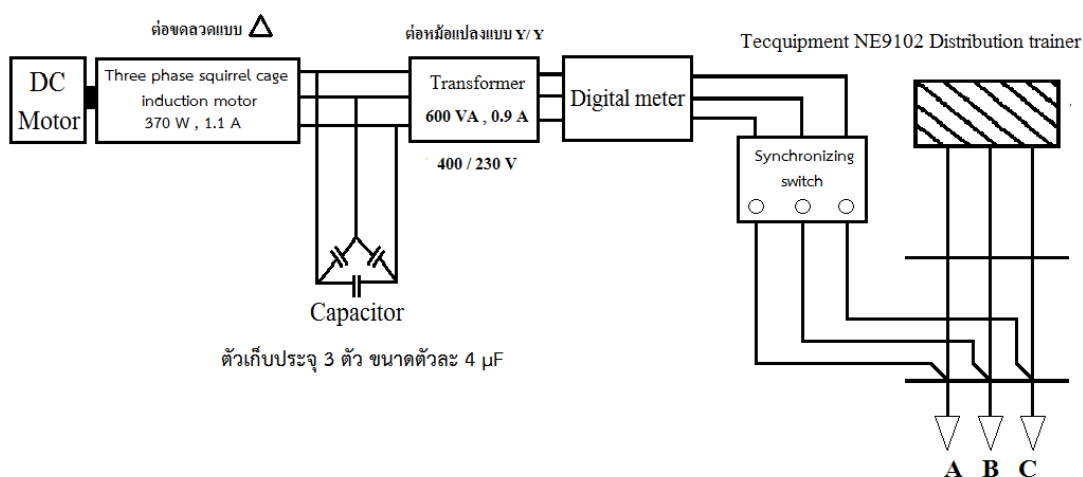
ผลของการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว จะเป็นค่าของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และใช้มาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่ทำการทดสอบในครั้ง นี้ ดังแสดงในแผนภูมิลำดับการทดสอบในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภูมิการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.3.1.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

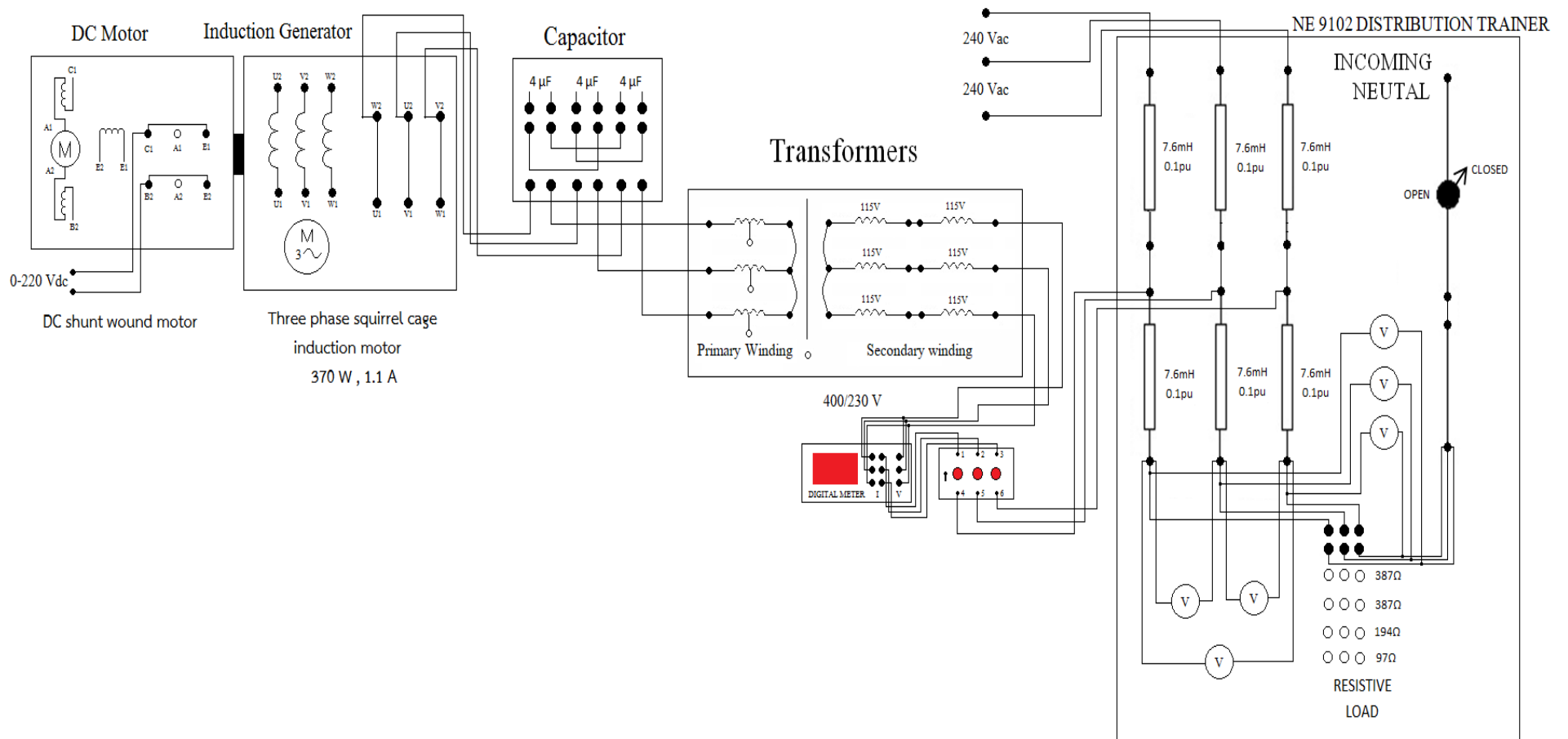
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณปลายสาย โดยใช้ตัวเก็บประจุ 3 ตัว ขนาดตัวละ 4 μF ในการต่อคร่อมไปที่ขดลวดแต่ละเฟสเพื่อเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านชิงโครโนซิงค์สวิตช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหลด ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

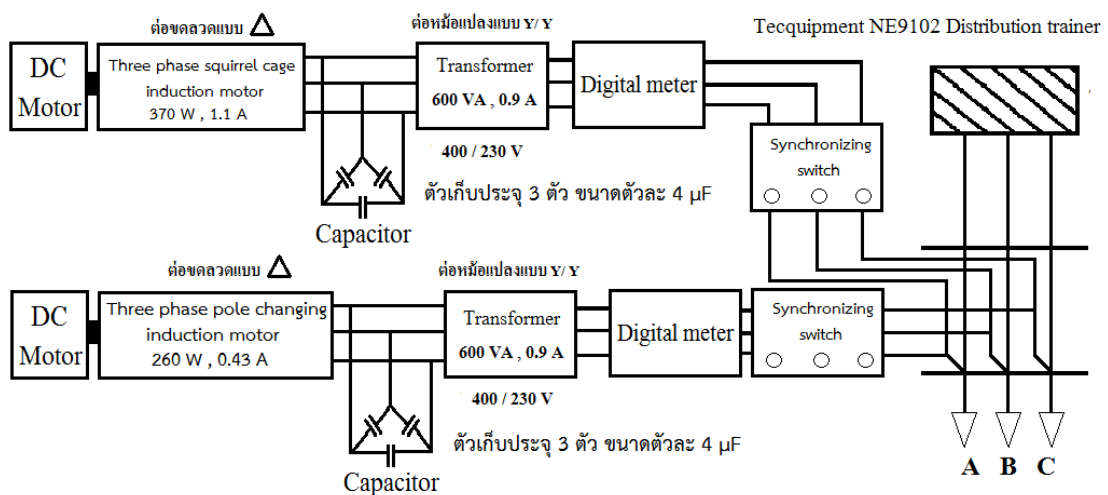
1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวโดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำประมาณทีละ 10 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.7 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

3.3.1.2 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

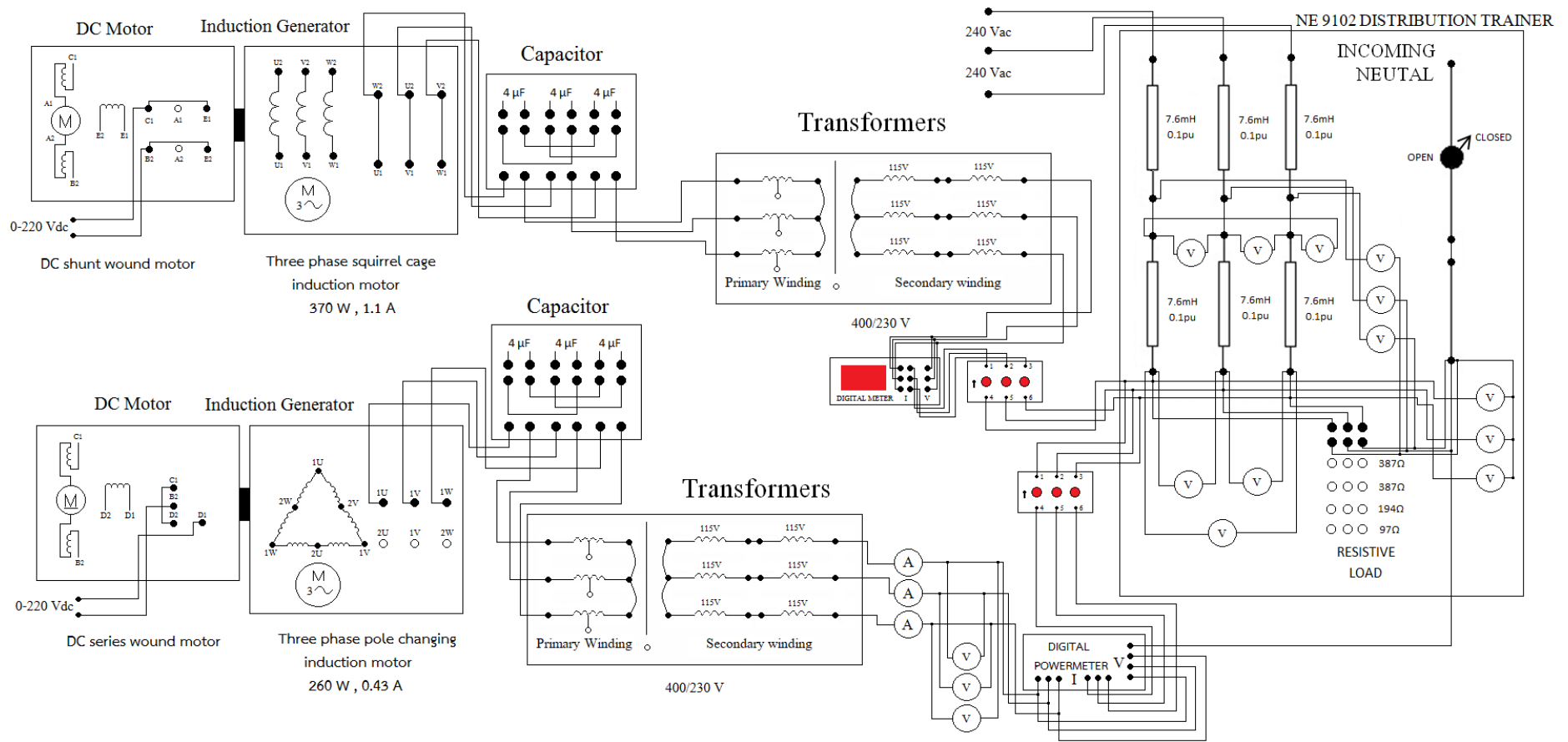
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณปลายสาย โดยใช้ตัวเก็บประจุ 6 ตัว ขนาดตัวละ 4 μF ในการต่อคร่อมไปที่ขั้วลวดแต่ละเฟสเพื่อเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านชิงโครโนซิงค์สวิตช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

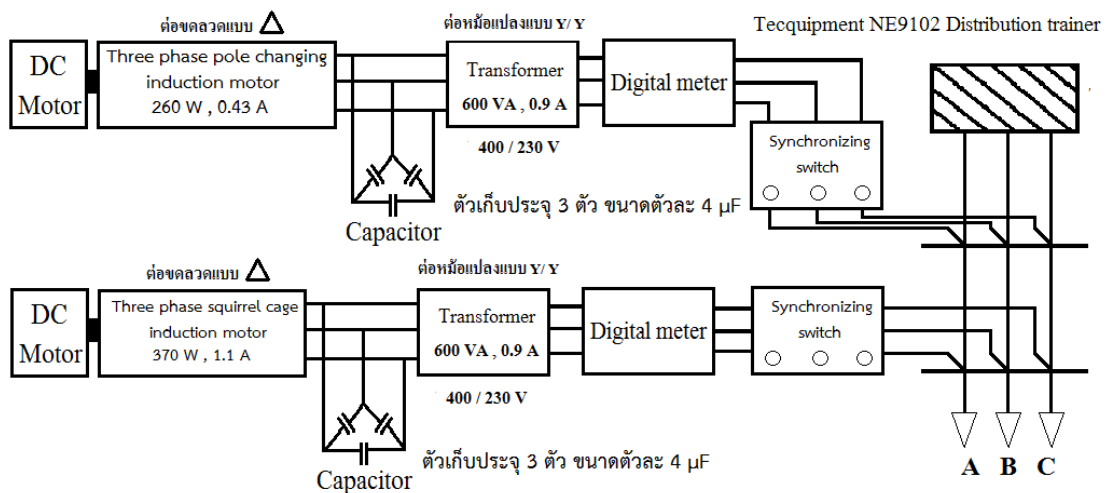
1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวโดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำพร้อมๆ กันทั้ง 2 ตัว ตัวละประมาณ 10 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.9 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

3.3.1.3 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

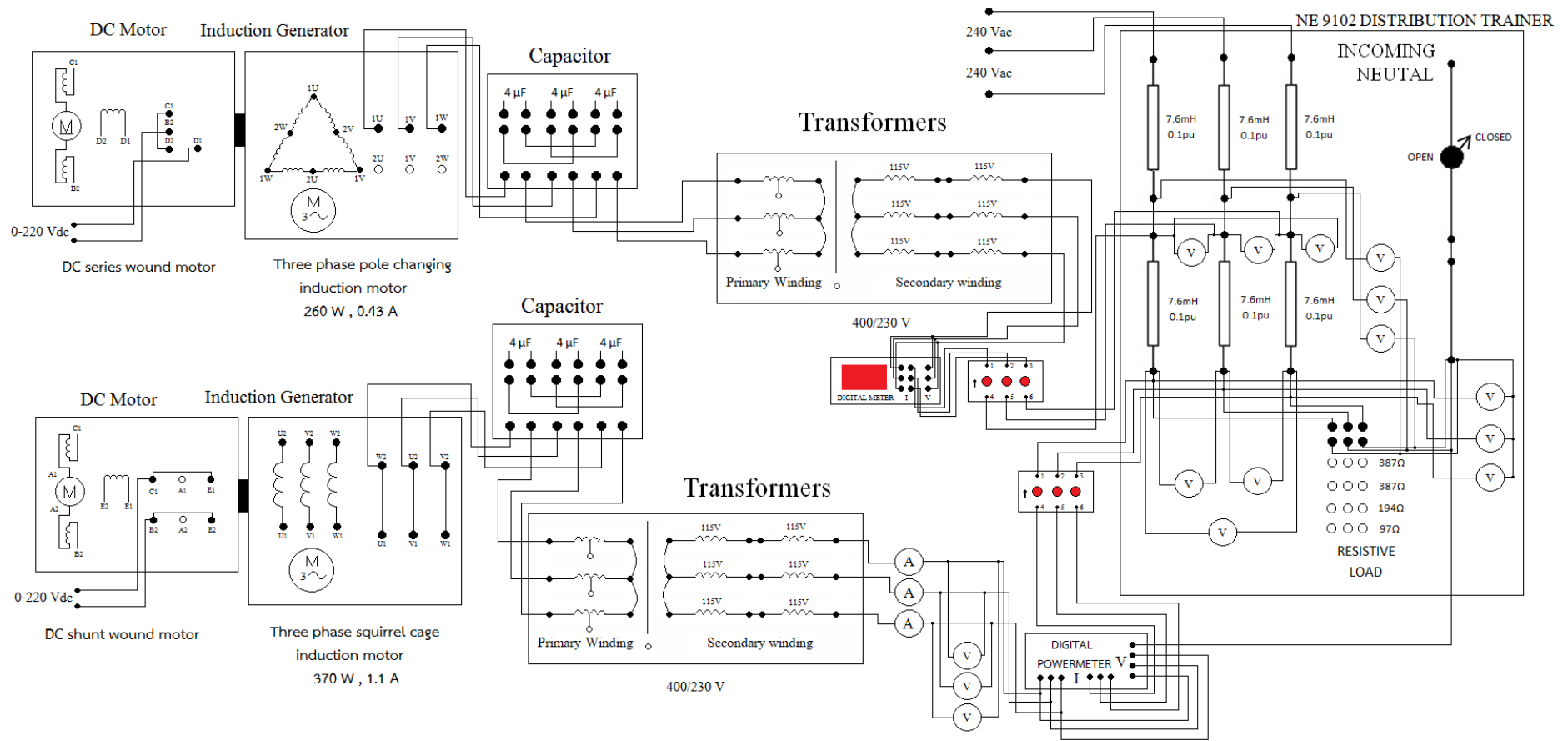
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณกลางสายและปลายสาย โดยใช้ตัวเก็บประจุ 6 ตัว ขนาดตัวละ $4 \mu\text{F}$ ในการต่อคร่อมไปที่ขดลวดแต่ละเฟสเพื่อเปลี่ยนมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านชิงโครโนซิงค์สวิตช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหลด ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

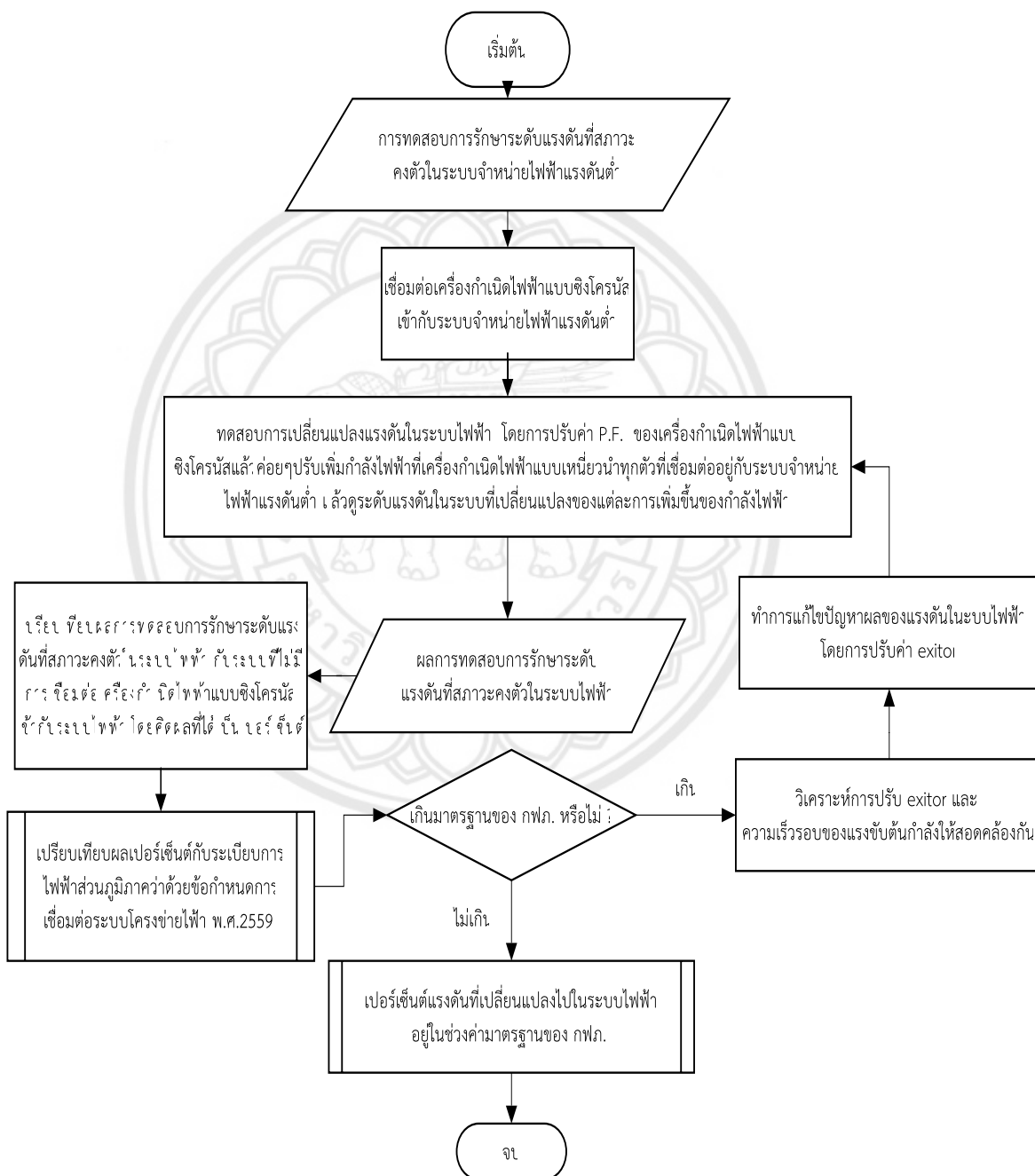
1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวโดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำพร้อมกันทั้ง 2 ตัวๆ ละประมาณ 10 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.11 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

3.3.2 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

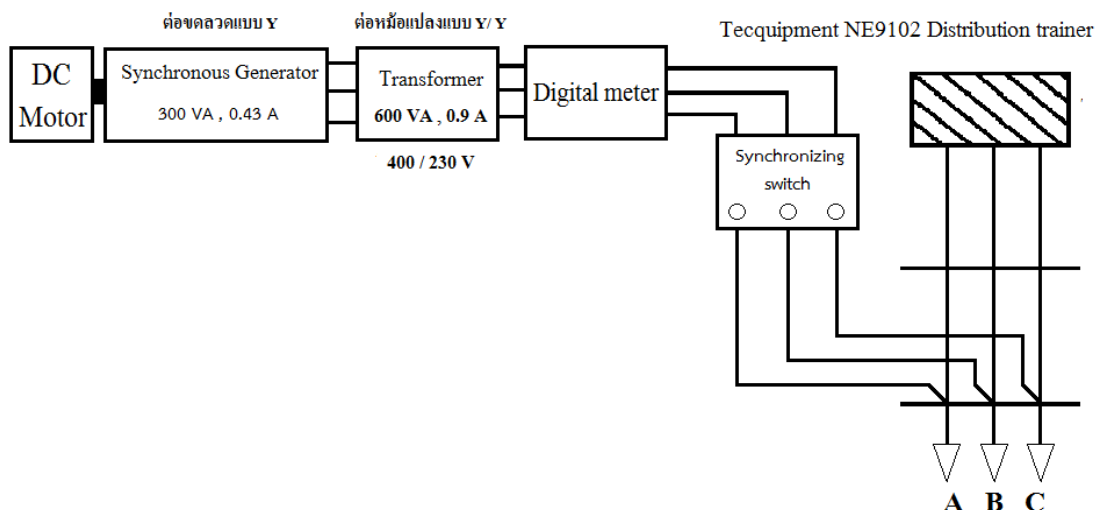
ผลของการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว จะเป็นค่าของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับระบบที่ไม่มี การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส และใช้มาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่ทำการทดสอบในครั้งนี้ ดังแสดงในแผนภูมิการทดสอบในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภูมิการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.3.2.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

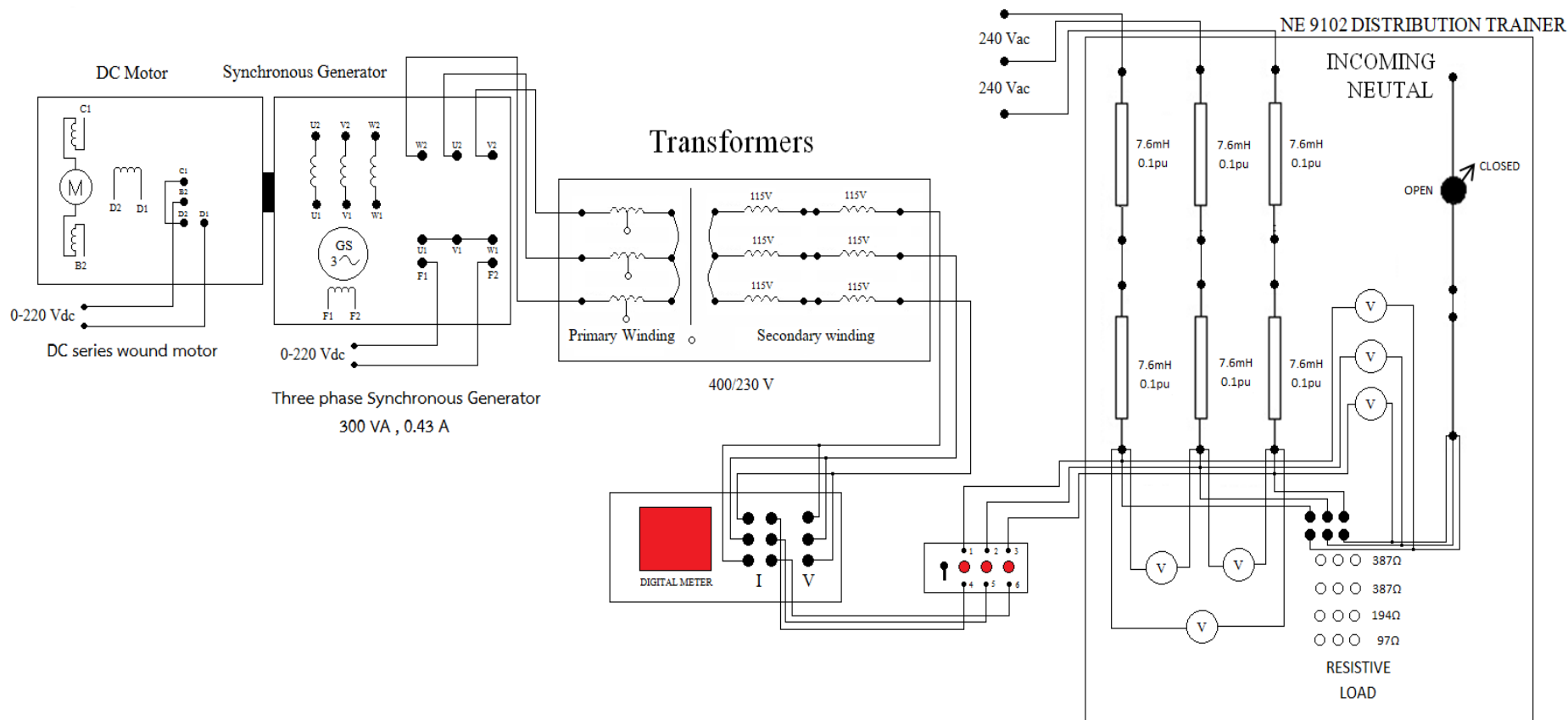
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณปลายสาย โดยทำการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านซิงโครไนซิงส์วิตช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหลด ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

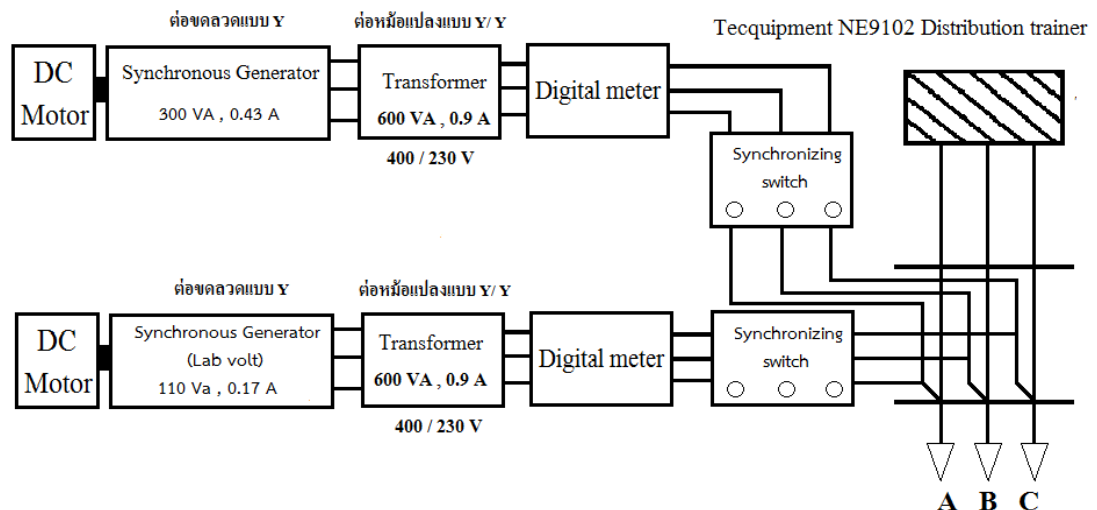
1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวในระบบที่มีการปรับค่า P.F. = 1 โดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสประมาณที่ละ 10-20 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.14 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

3.3.2.2 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

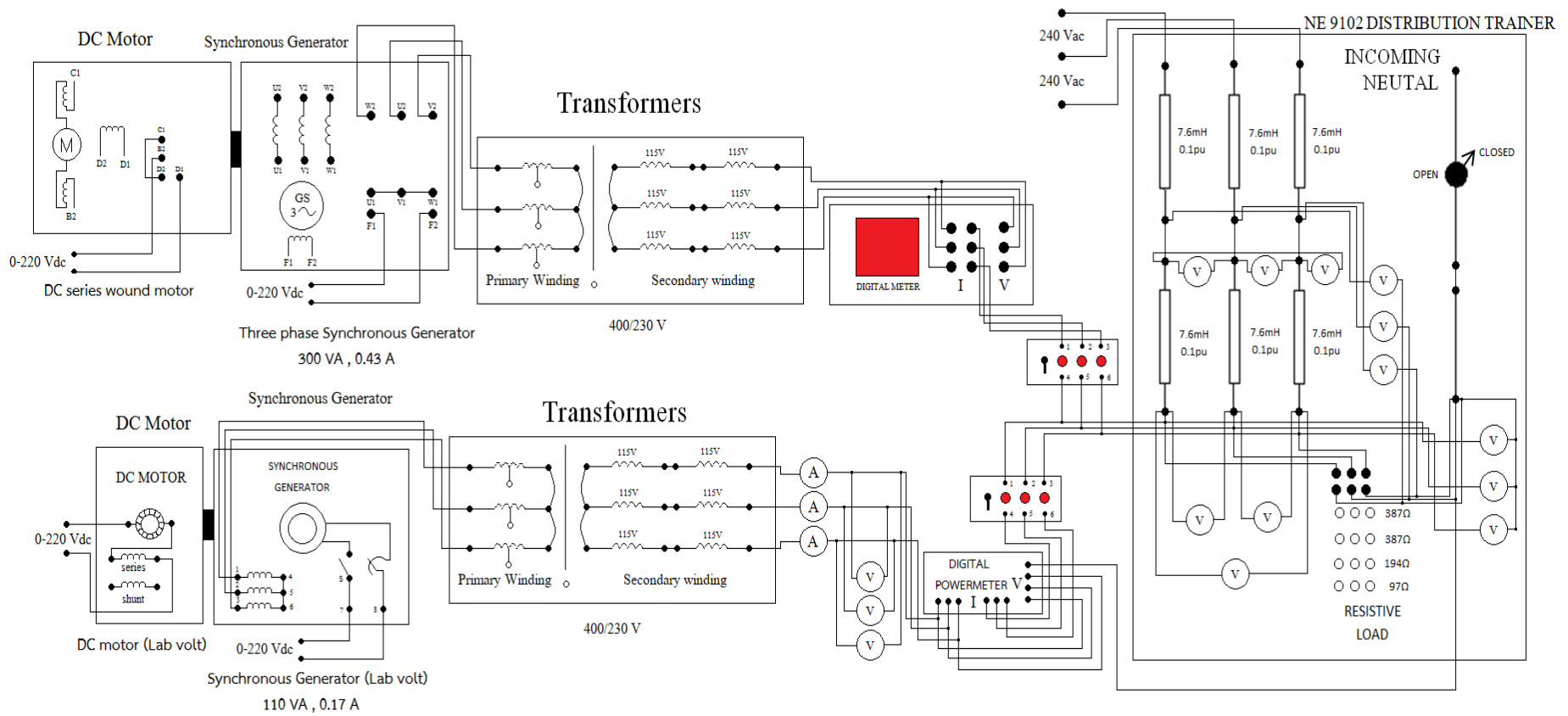
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณปลายสาย โดยทำการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านซิงโครไนซิงสวิทช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหลด ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

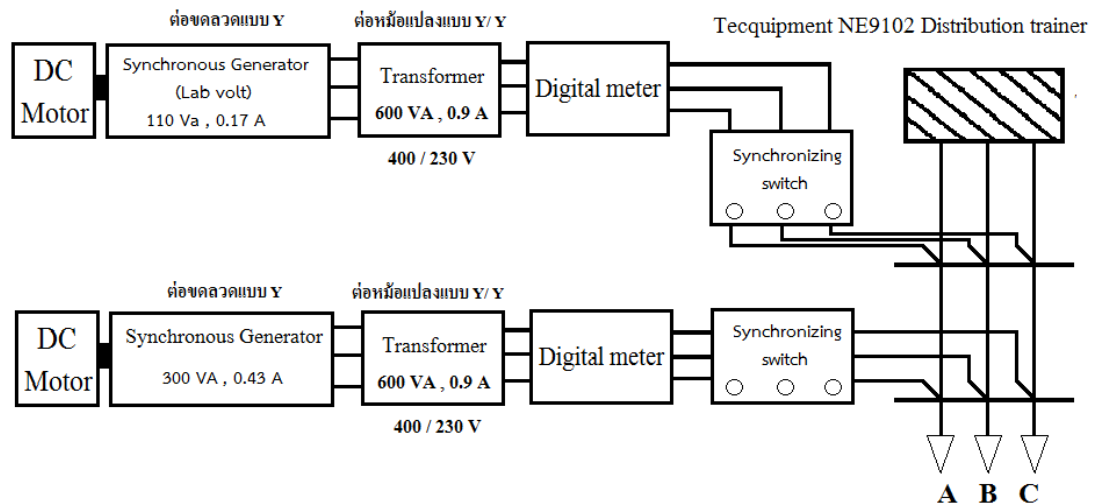
1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวในระบบที่มีการปรับค่า P.F. = 1 โดยการค่อยๆ เพิ่ม กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสพร้อมกันทั้ง 2 ตัวๆ ละประมาณ 10-20 W ตัว แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.16 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

3.3.2.3 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

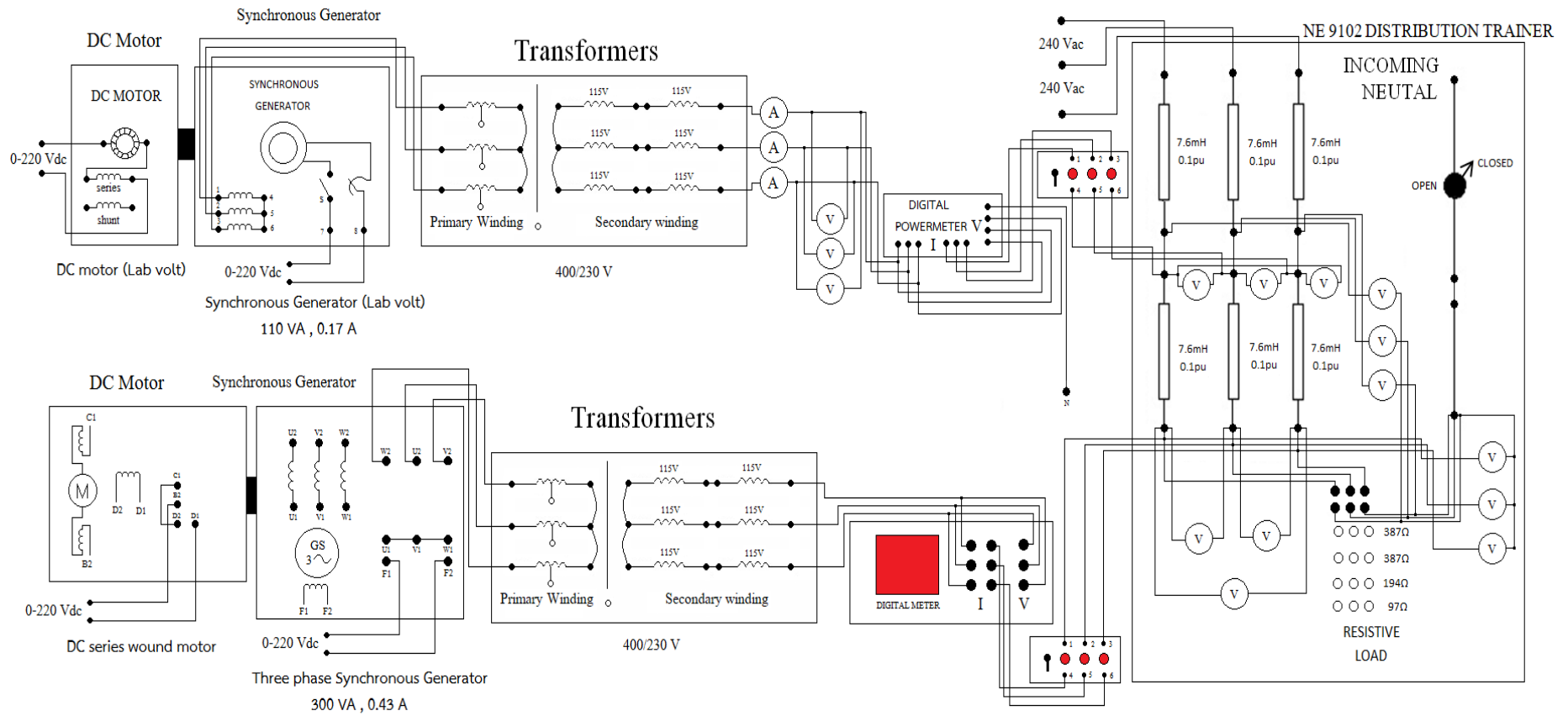
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่บริเวณกลางสายและปลายสาย โดยทำการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเพื่อทำการลดแรงดันลงมาให้ใกล้เคียงกับแรงดันของระบบไฟฟ้า และผ่านซิงโครไนซ์สวิทช์ เพื่อดูความเข้ากันได้ของแรงดันและความถี่ก่อนทำการเชื่อมต่อ โดยทุกเฟสไม่มีการเชื่อมต่อกับโหลด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 รูปแบบการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย อย่างละ 1 ตัว

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย
2. ทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวในระบบที่มีการปรับค่า P.F. = 1 โดยการค่อยๆ เพิ่ม กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสพร้อมกันทั้ง 2 ตัวๆ ละ ประมาณ 10-20 W ตัว แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป

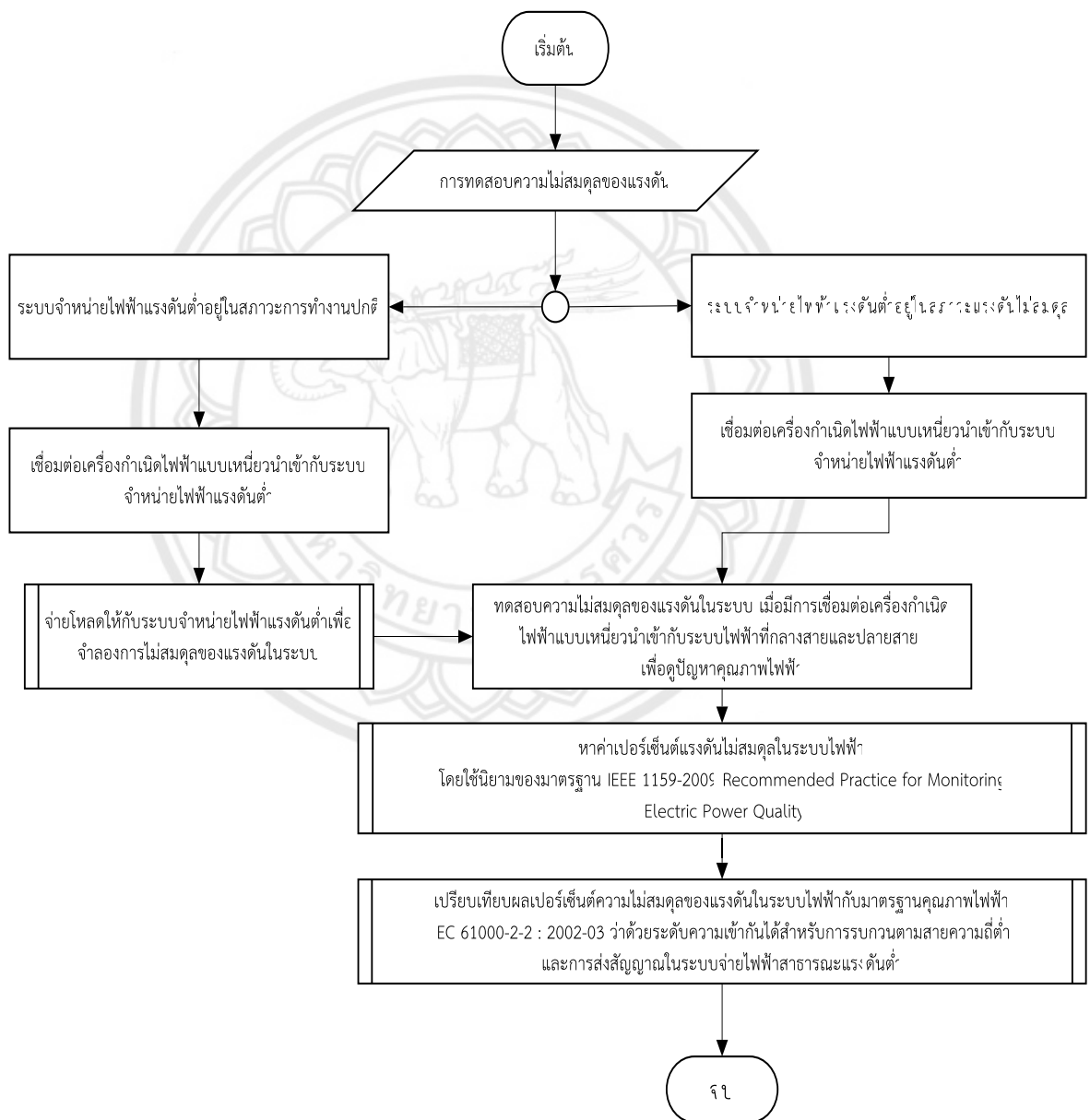


รูปที่ 3.18 แผนผังการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

3.4 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน

3.4.1 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ผลการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน แรงดันระหว่างเฟสที่ได้จากการทดสอบจะใช้นิยามของมาตรฐาน IEEE 1159-2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุล เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพไฟฟ้า IEC 61000-2-2 : 2002-03 ว่าด้วยระดับความเข้ากันได้สำหรับการรบกวนตามสายความถี่ต่ำ และการส่งสัญญาณในระบบจ่ายไฟฟ้าสาธารณะแรงดันต่ำ ที่กำหนดไว้ว่าห้ามเกิน 2% ดังแสดงในแผนภูมิการทดสอบในรูปที่ 3.19

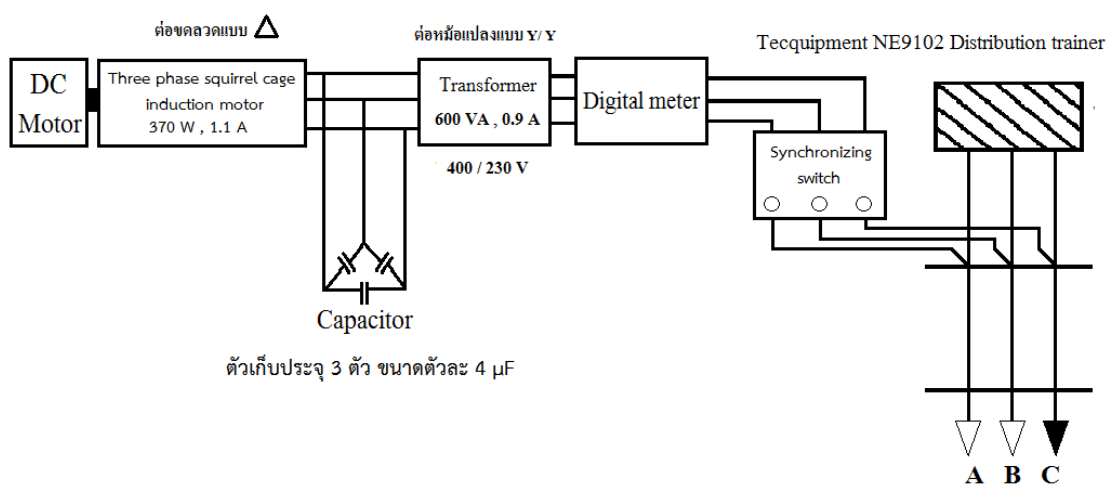


รูปที่ 3.19 แผนภูมิการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

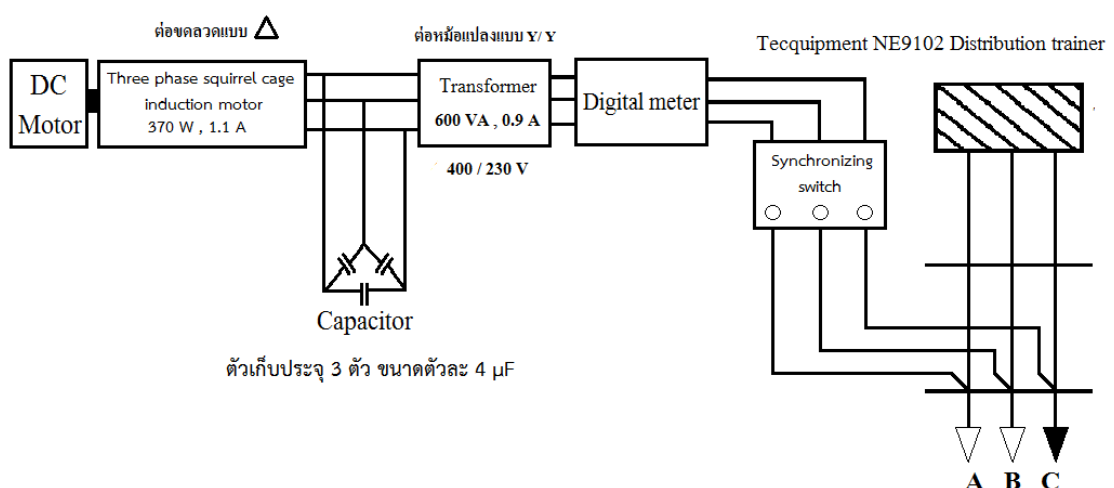
ในการจำลองการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ จะใช้โหลดชนิดตัวต้านทานที่ต่อทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ รุ่น NE9102 DISTRIBUTION TRAINER โดยเปิดใช้พร้อมกันทั้งหมดจะได้ค่าความต้านทานที่ 49.4 Ω ซึ่งจะเป็นค่าที่นำมาใช้ในการทดสอบในครั้งนี้

3.4.1.1 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือที่กลางสาย และที่ปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่มีความไม่สมดุลของแรงดันอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเป็นผลมาจากการเชื่อมต่อโหลดตัวต้านทานที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยเฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด



รูปที่ 3.20 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย

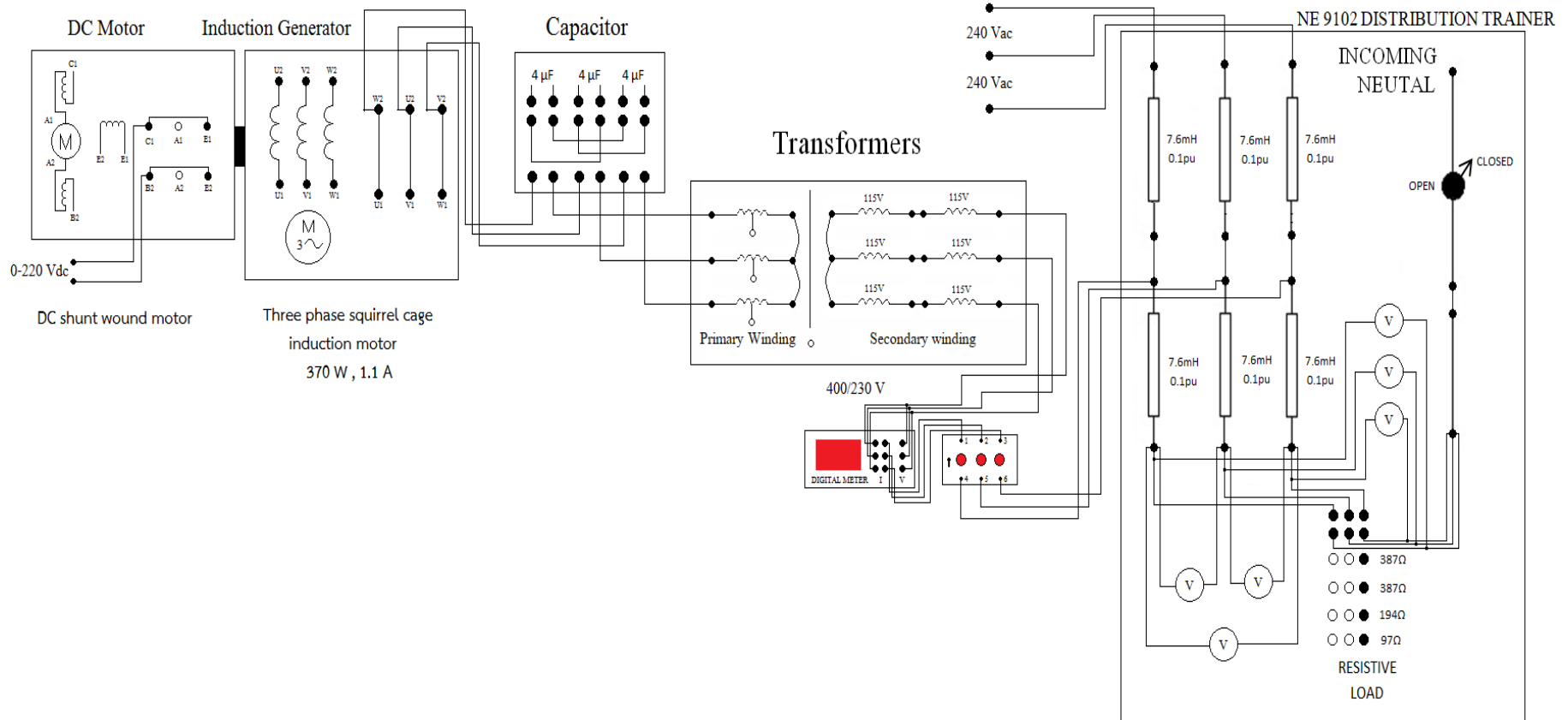


รูปที่ 3.21 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

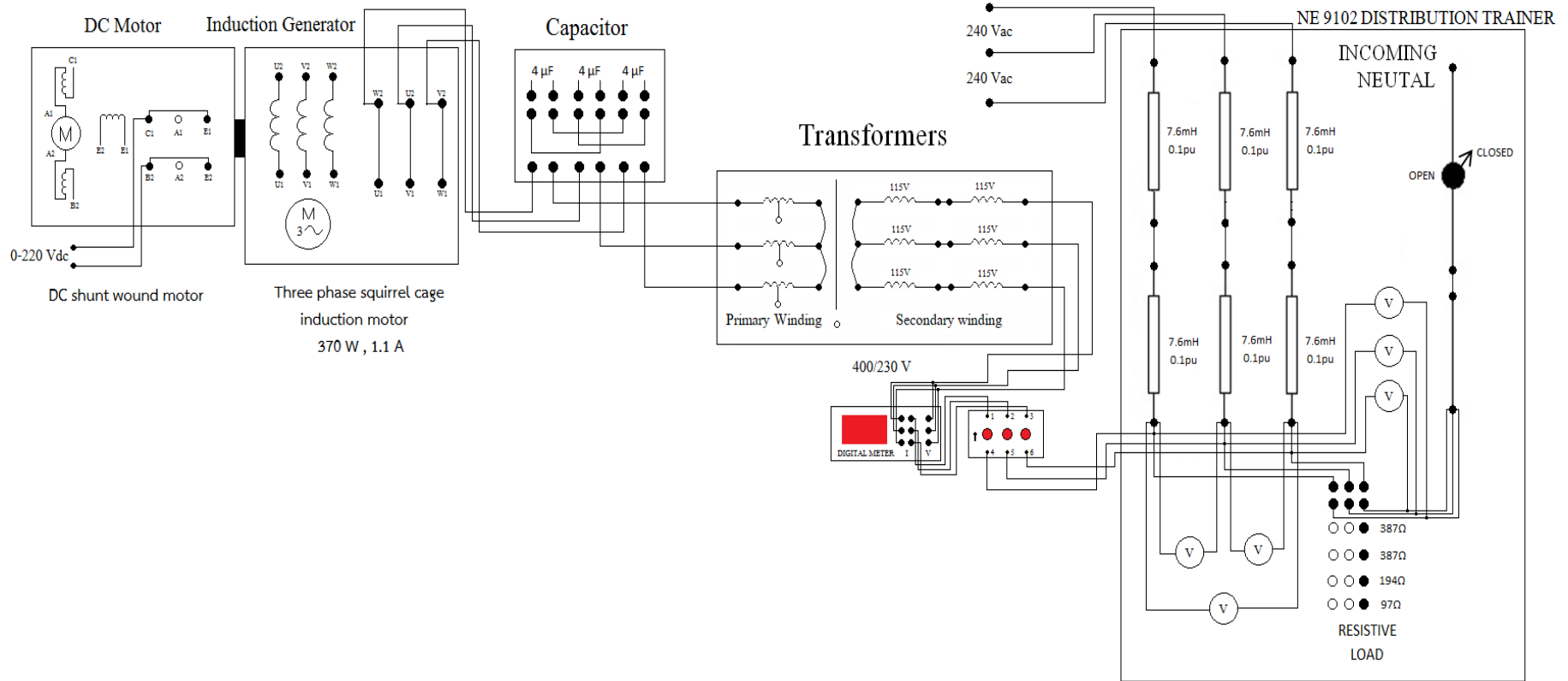
ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานให้กับระบบที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย
2. ทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน โดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ละประมาณ 10-20 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบในแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป
4. ทำการทดสอบความไม่สมดุลของระดับแรงดันซ้ำอีกครั้งโดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.23





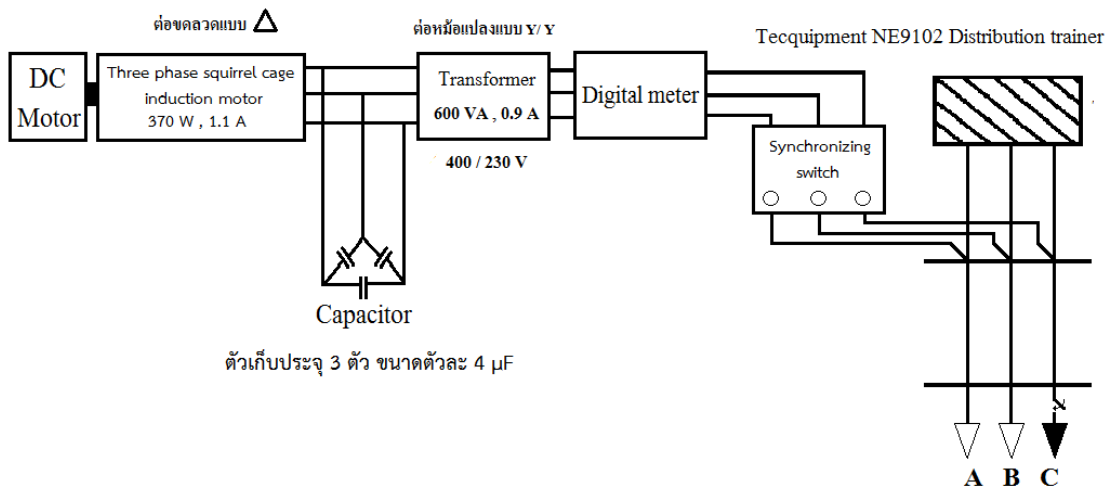
รูปที่ 3.22 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย



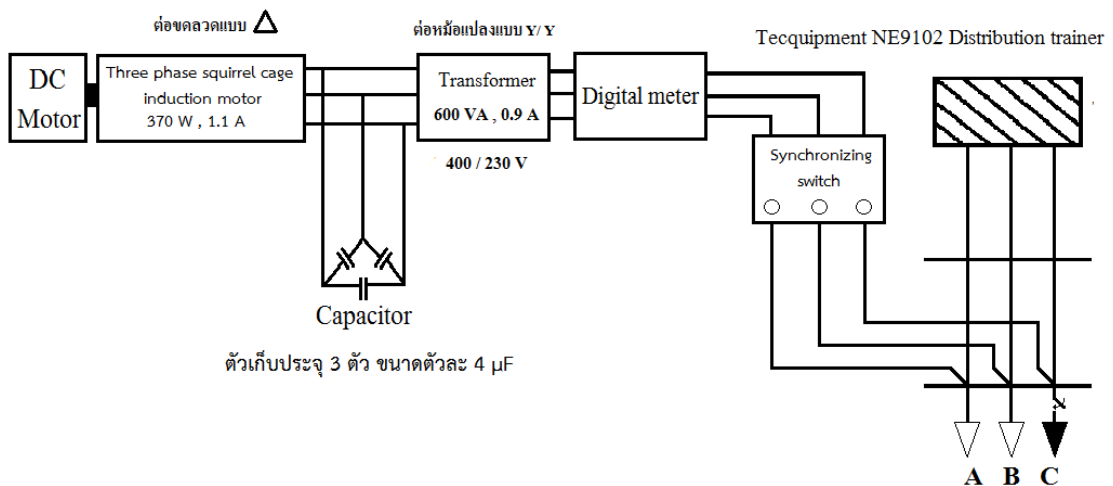
รูปที่ 3.23 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสาย

3.4.1.2 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือที่กลางสาย และที่ปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25 โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบ แล้วจึงมีการเชื่อมต่อโหลดตัวต้านทานที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยเฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด เพื่อจำลองความไม่สมดุลของแรงดันในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.24 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย

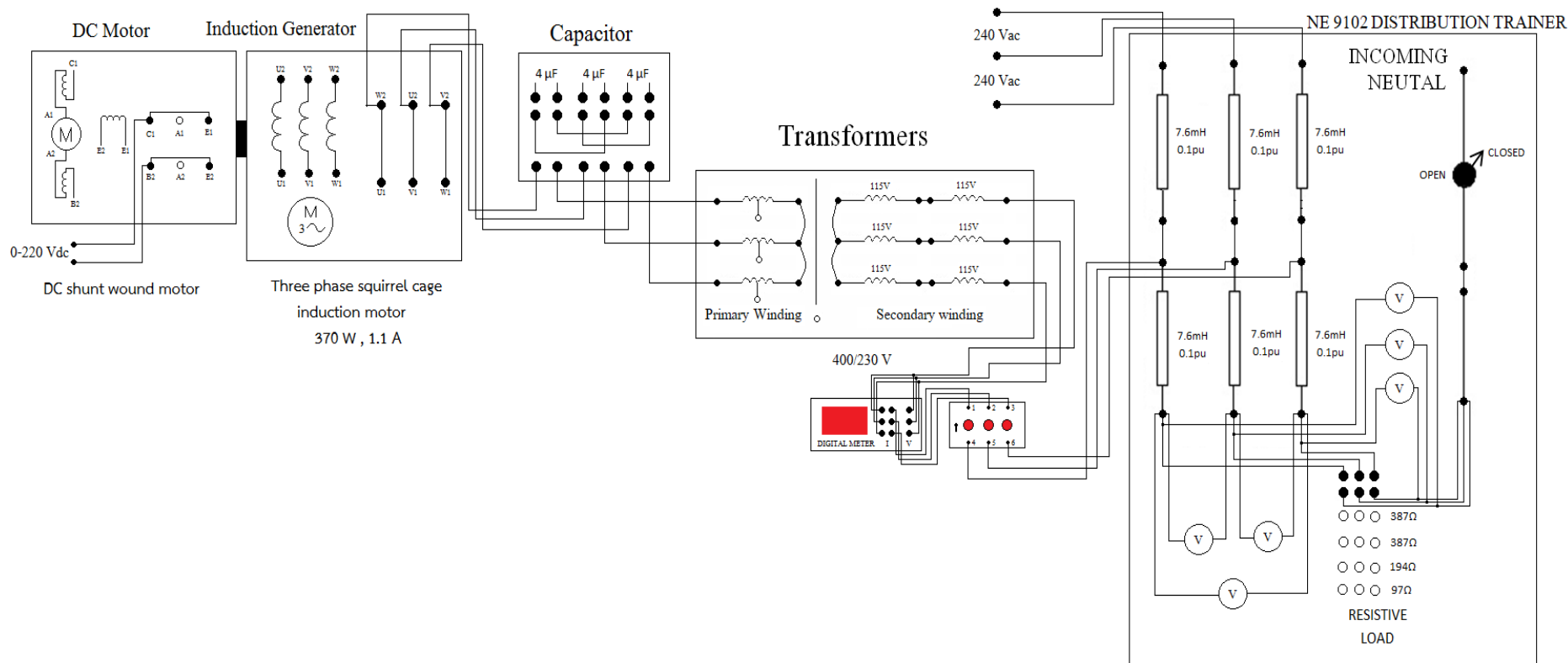


รูปที่ 3.25 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

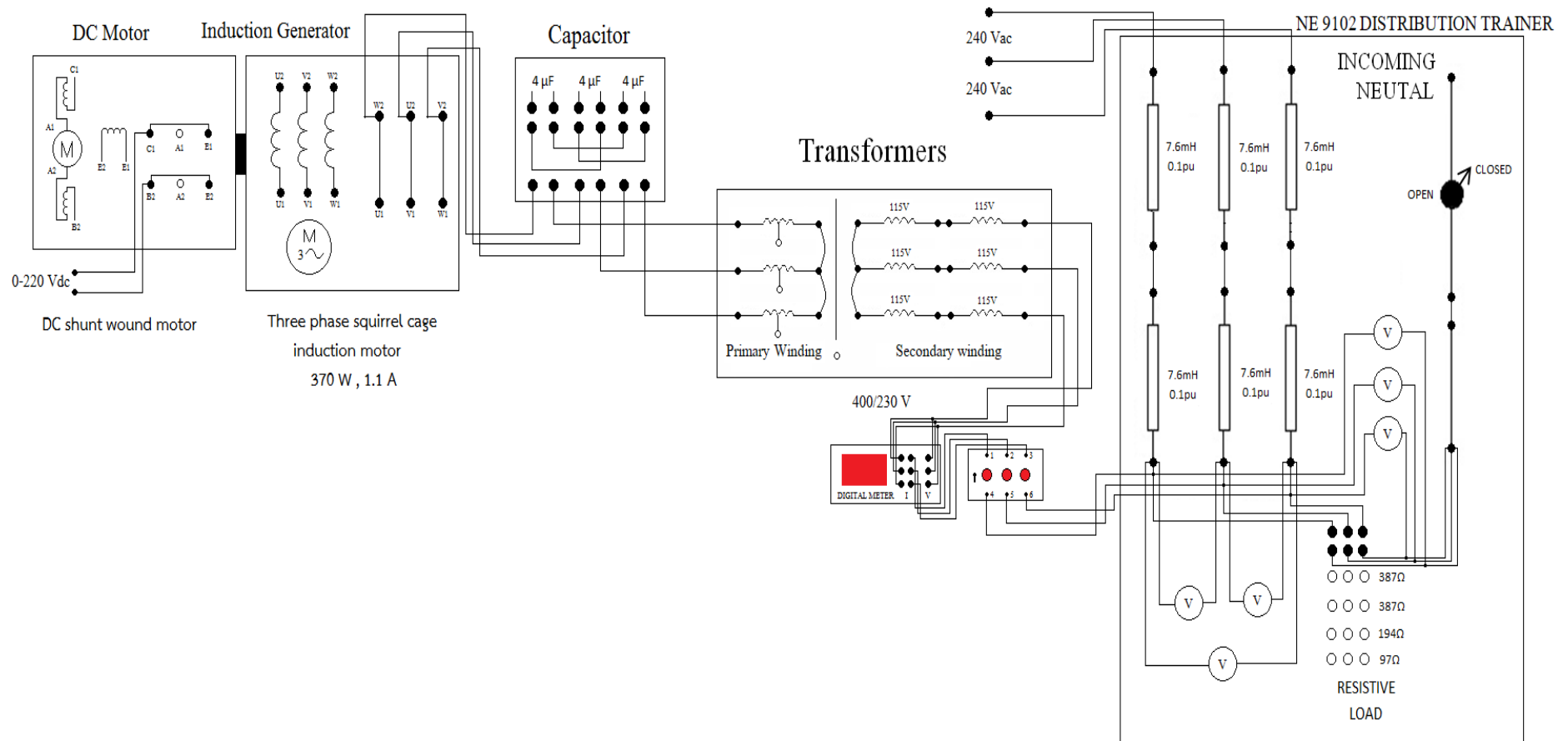
ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานให้กับระบบที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด หลังจากการเชื่อมต่อกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย
2. ทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน โดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ละประมาณ 10-20 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบในแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป
4. ทำการทดสอบความไม่สมดุลของระดับแรงดันซ้ำอีกครั้งโดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.27





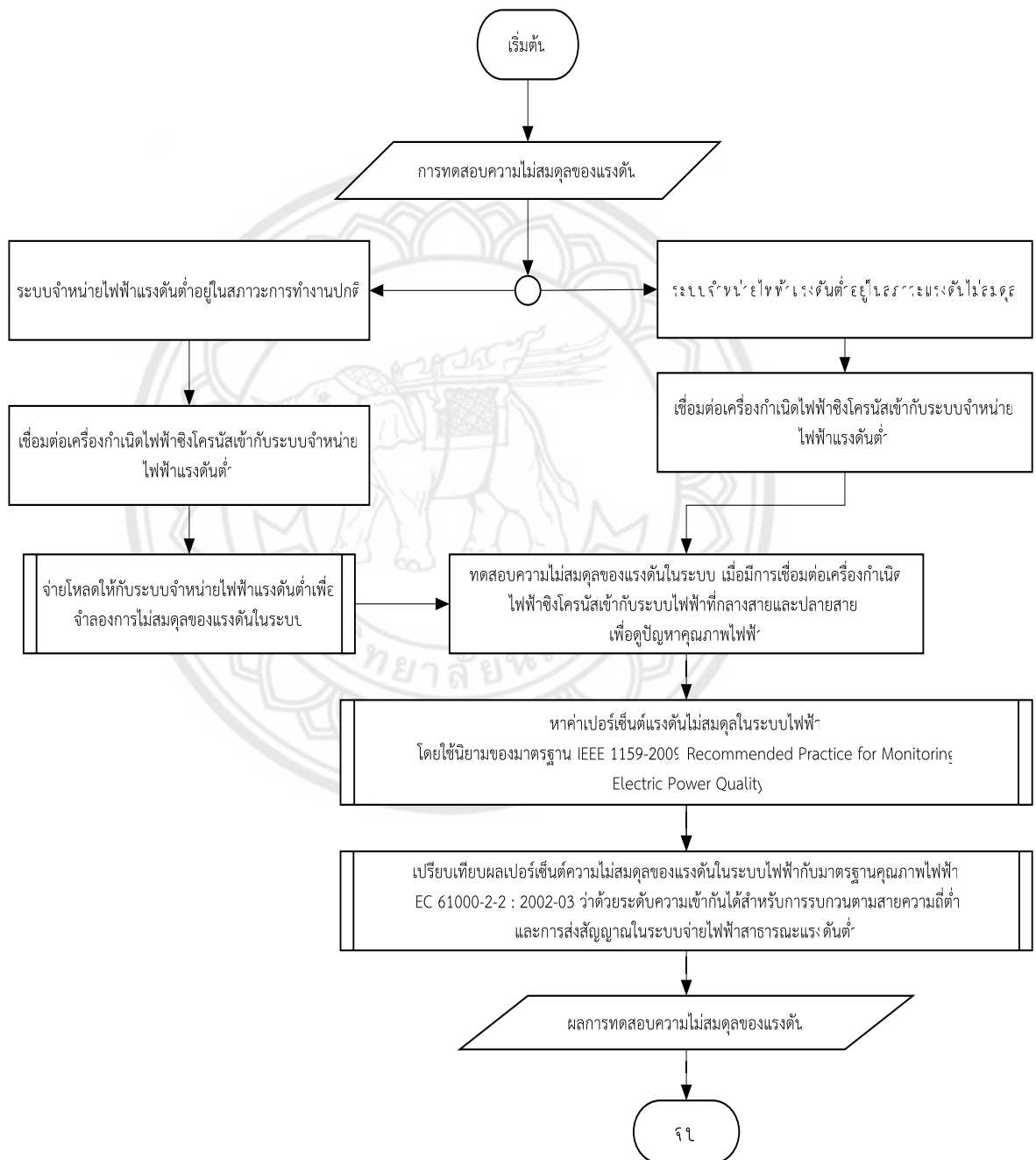
รูปที่ 3.26 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสาย



รูปที่ 3.27 แผนผังการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

3.4.2 การทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ผลการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน แรงดันระหว่างเฟสที่ได้จากการทดสอบจะใช้นิยามของมาตรฐาน IEEE 1159-2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุล เพื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์กับค่ามาตรฐานคุณภาพไฟฟ้า IEC 6100-2-2 และ IEC 6100-2-12 ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 2% ดังแสดงในแผนภูมิการทดสอบในรูปที่ 3.28

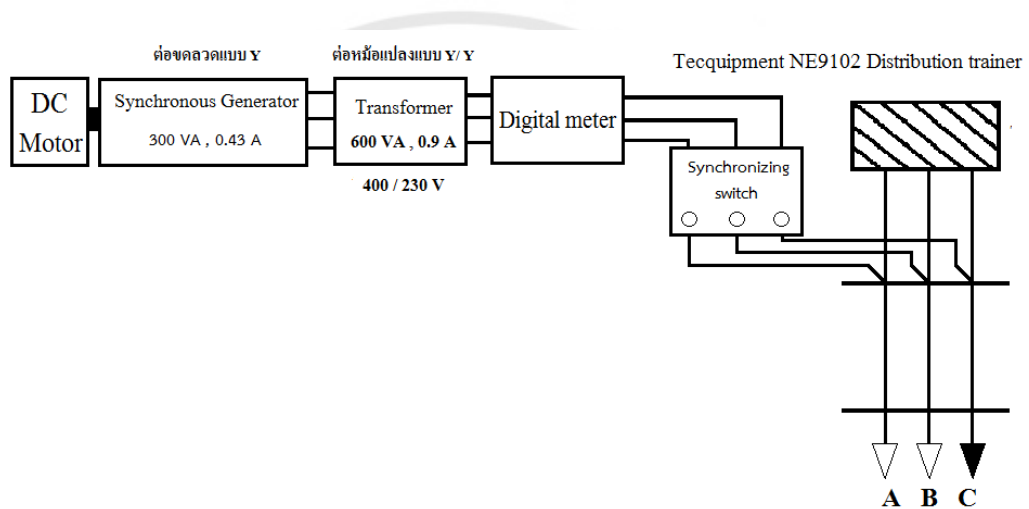


รูปที่ 3.28 แผนภูมิการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

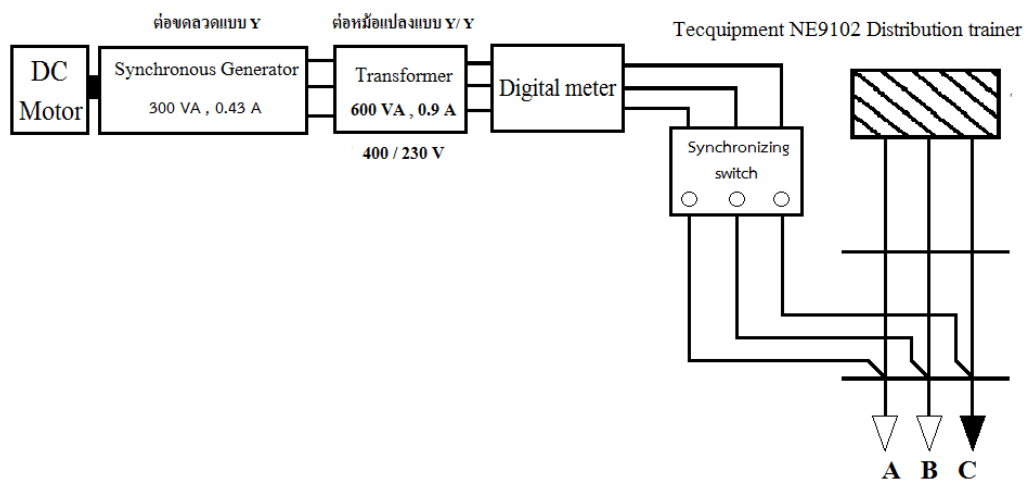
ในการจำลองการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ จะใช้โหลดชนิดตัวต้านทานที่ต่อทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ รุ่น NE9102 DISTRIBUTION TRAINER โดยเปิดใช้พร้อมกันทั้งหมดจะได้ค่าความต้านทานที่ 49.4 Ω ซึ่งจะเป็นค่าที่นำมาใช้ในการทดสอบในครั้งนี้

3.4.2.1 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือที่กลางสาย และที่ปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30 โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่มีความไม่สมดุลของแรงดันอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเป็นผลมาจากการเชื่อมต่อโหลดตัวต้านทานที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยเฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด



รูปที่ 3.29 รูปแบบการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

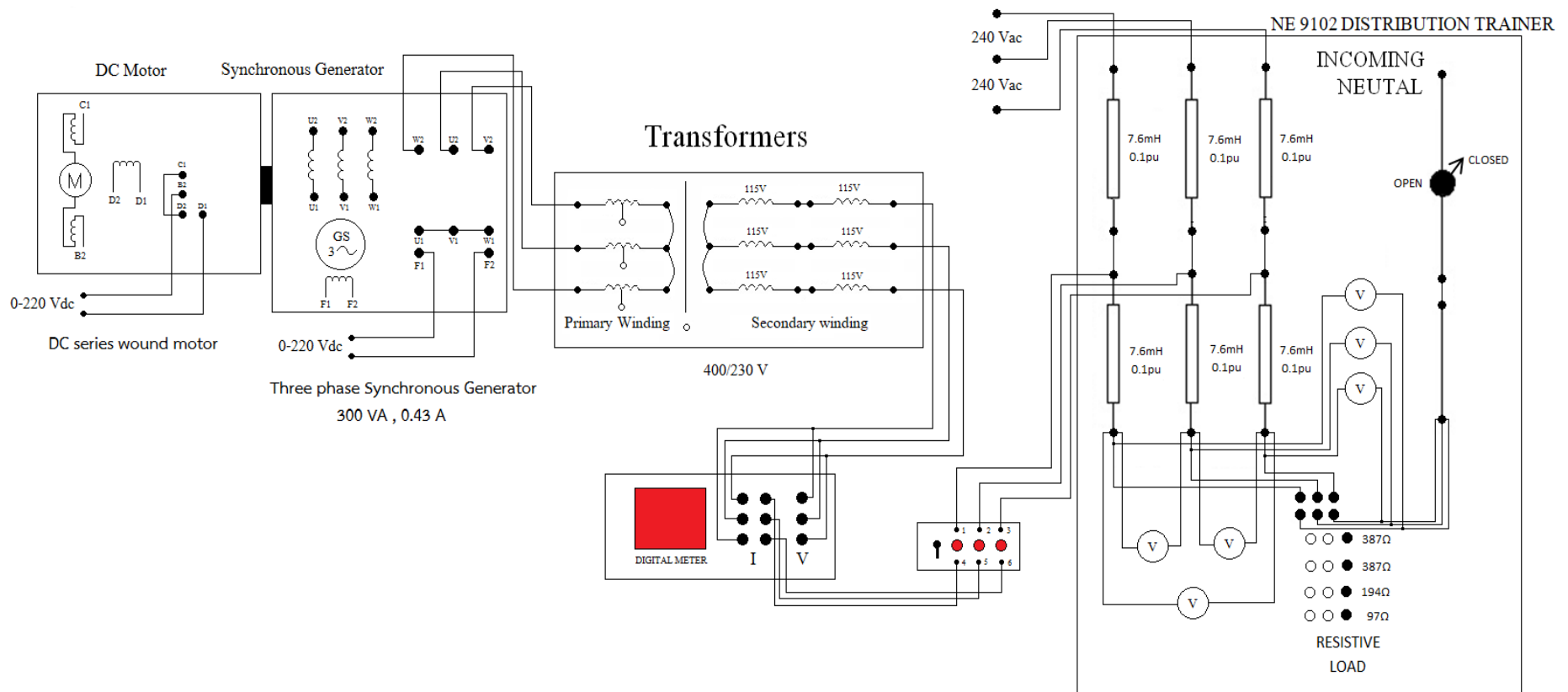


รูปที่ 3.30 รูปแบบการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

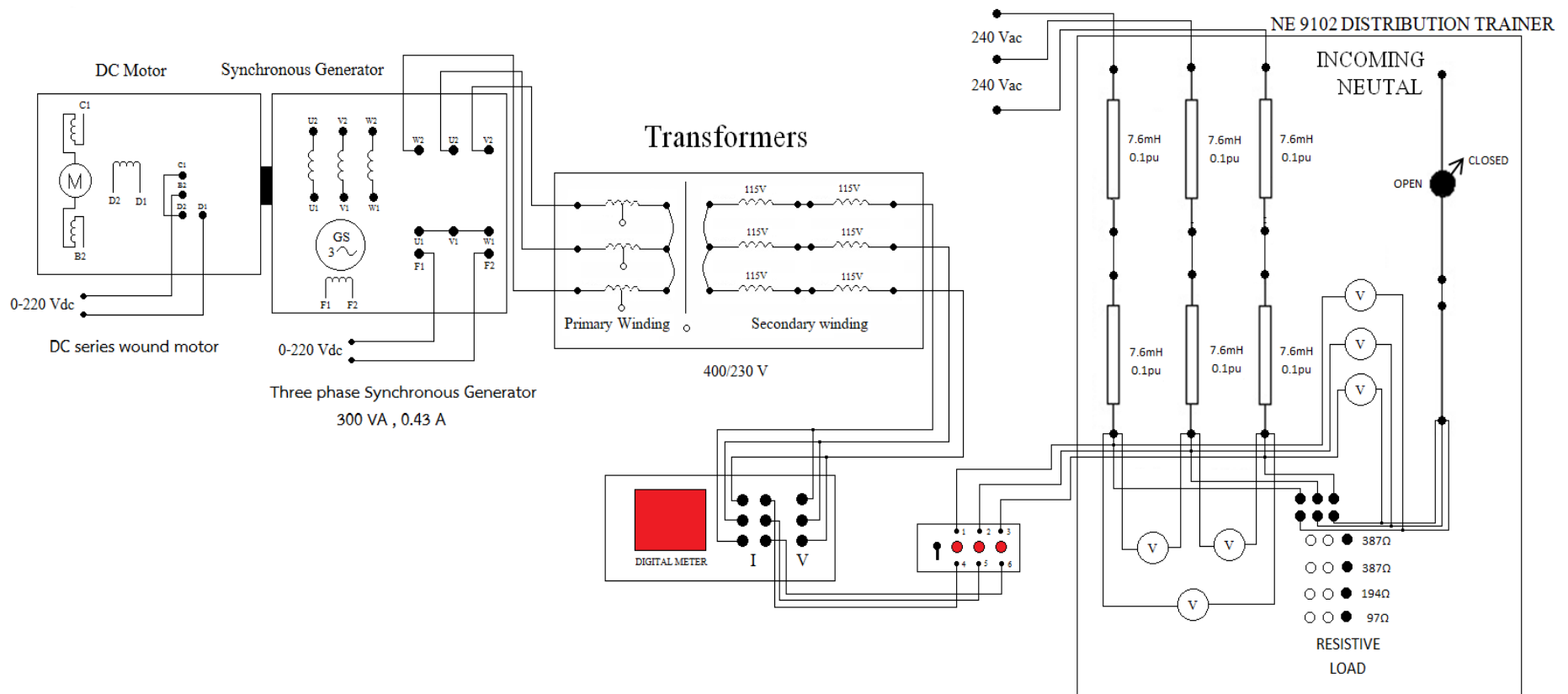
ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานให้กับระบบที่เฟส C ขนาด 49.4Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย
2. ทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน โดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสทีละประมาณ 10-20 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบในแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป
4. ทำการทดสอบความไม่สมดุลของระดับแรงดันซ้ำอีกครั้งโดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.32





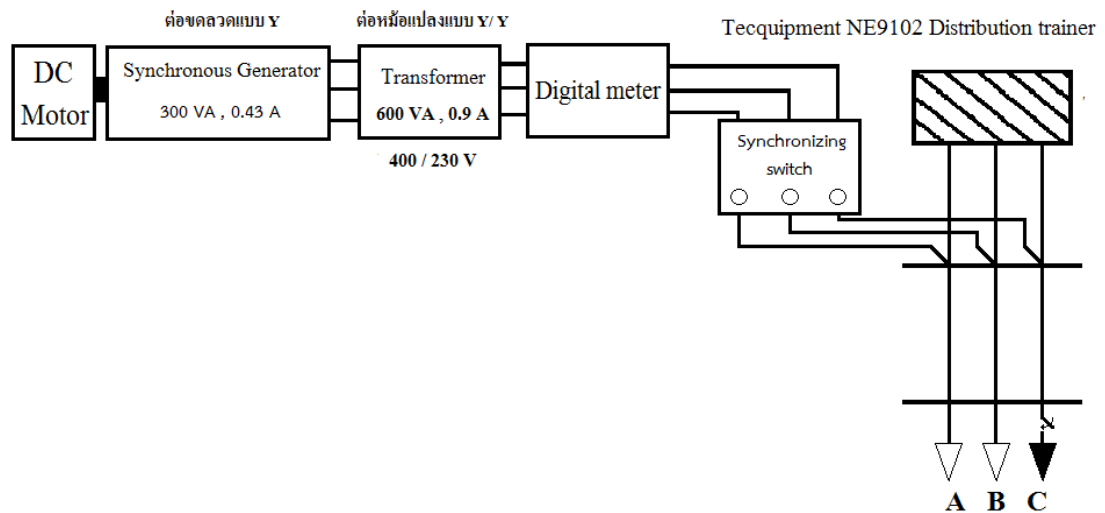
รูปที่ 3.31 แผนผังการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสาย



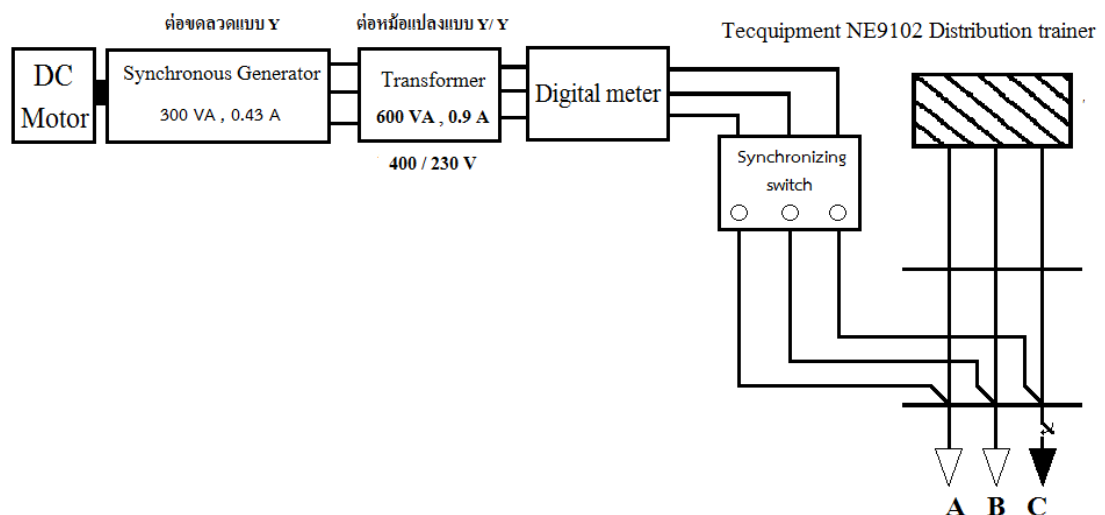
รูปที่ 3.32 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

3.4.2.2 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว เข้ากับระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือที่กลางสาย และที่ปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.33 และรูปที่ 3.34 โดยการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบ แล้วจึงมีการเชื่อมต่อโหลดตัวต้านทานที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω โดยเฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลดเพื่อจำลองความไม่สมดุลของแรงดันในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.33 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย

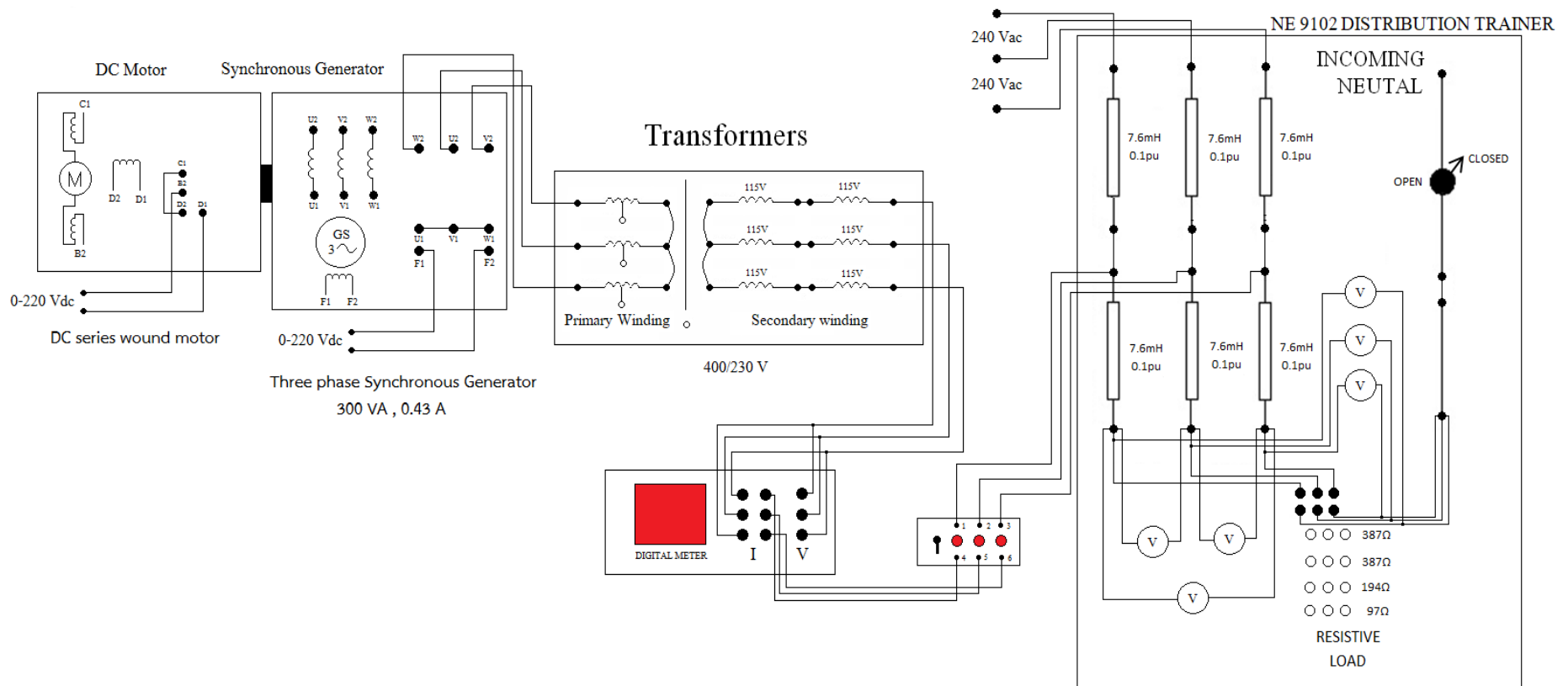


รูปที่ 3.34 รูปแบบการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

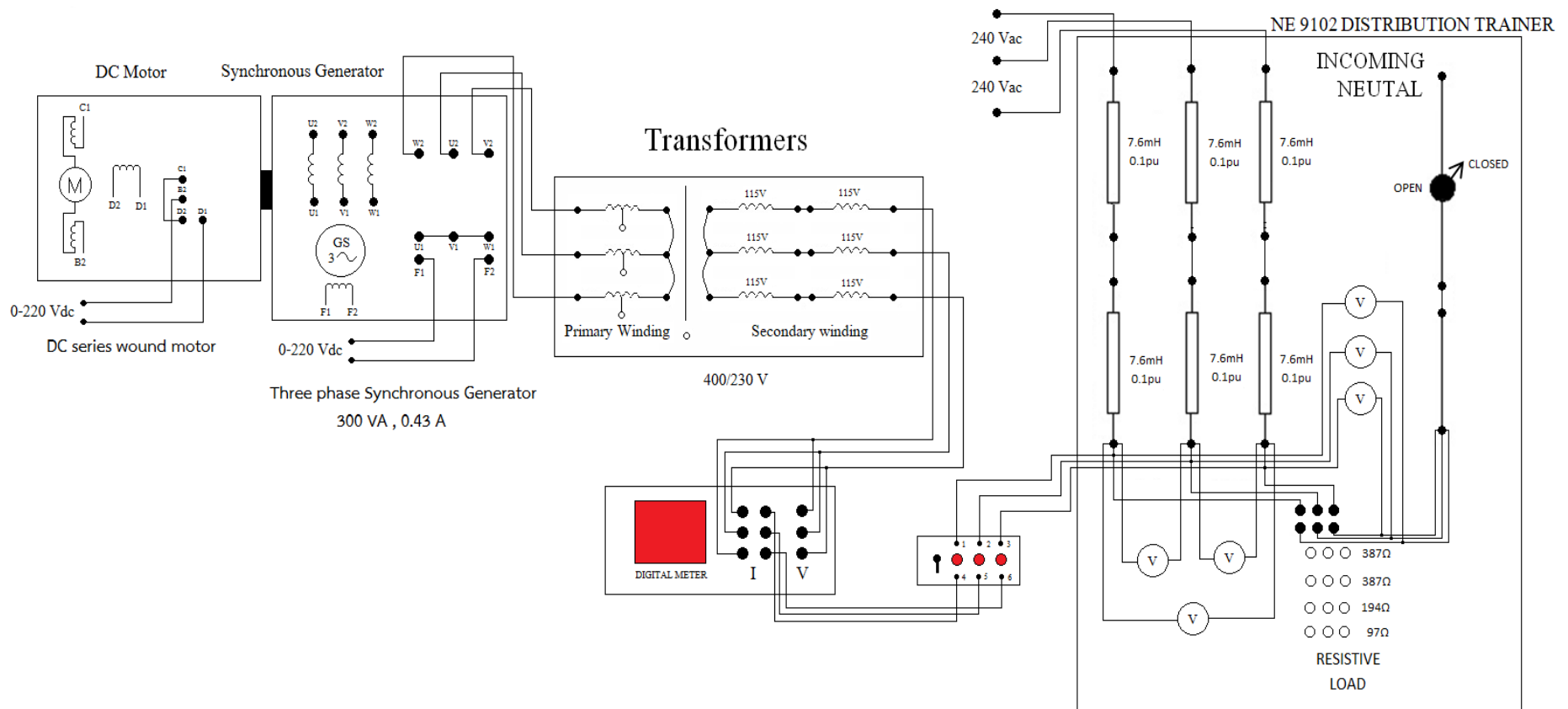
ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

1. ต่ออุปกรณ์ทั้งหมดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.35 โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานให้กับระบบที่เฟส C ขนาด 49.4Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด หลังจากการเชื่อมต่อกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย
2. ทดสอบความไม่สมดุลของแรงดัน โดยการค่อยๆ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ละประมาณ 10-20 W แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันในระบบในแต่ละการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
3. บันทึกผล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสกับแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป
4. ทำการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันซ้ำอีกครั้งโดยเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.36





รูปที่ 3.35 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณกลางสาย



รูปที่ 3.36 แผนผังการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่บริเวณปลายสาย

3.5 แนวทางการแก้ไขปัญหาคอนคุณภาพไฟฟ้า

3.5.1 วิธีการแก้ไขผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

จากแนวความคิดการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำย่อมทำให้ค่าของแรงดันในระบบเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าของแรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า โดยค่าของแรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะไม่ได้อยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 จึงต้องมีแนวทางในการจัดการแก้ไขปัญหา

3.5.1.1 วิธีการแก้ไขปัญหาผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวในระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

การแก้ไขผลของแรงดันเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถทำได้หลายวิธี แต่เป้าหมายคือการลดระดับแรงดันในระบบไฟฟ้า แต่คงกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้เท่าเดิม

1) การใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อเข้ากับด้านขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เป็นวิธีที่ใช้ค่าตัวประกอบกำลัง โดยมีผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ค่าแรงดันที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นไปตามที่ต้องการ

2) การใช้หม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแท็ปการได้ จะทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างทันทีเมื่อมีการต้องการเปลี่ยนแปลงแรงดัน กล่าวคือ ถ้าแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าสูงก็สามารถเปลี่ยนไปใช้แท็ปที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบที่ต่ำกว่าได้ทันที หรือถ้าแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าต่ำก็เปลี่ยนไปใช้แท็ปที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบที่สูงกว่าที่

3) ใช้อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเพื่อควบคุมค่ากำลังจินตภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

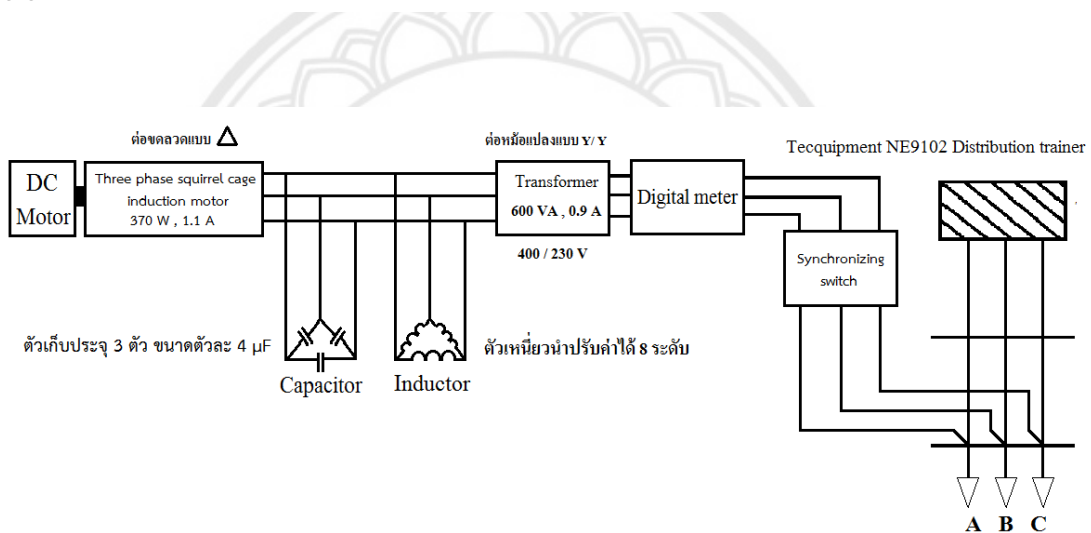
จากแนวทางการแก้ไขปัญหาลข้างต้น พบว่าอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการไม่มีหม้อแปลงที่สามารถเปลี่ยนแท็ปได้ และอินเวอร์เตอร์แบบที่ต่อเข้ากับระบบมีราคาสูง ดังนั้นการแก้ไขปัญหาที่ดีที่สุดก็คือการใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการก็มีเพียงพอที่จะใช้งานการแก้ไขวิธีนี้ ซึ่งการแก้ไขผลของแรงดันโดยใช้วิธีนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ก. ระดับแรงดันต่ำกว่าค่ามาตรฐานของระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วพบว่าผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ควรจะต้องมีการคำนวณขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำใหม่ให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม หรือการเพิ่มขนาดตัวเก็บประจุเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ข. ระดับแรงดันสูงกว่าค่ามาตรฐานของระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วพบว่าผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน จากรูปที่ 2.4 ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงดันในระบบที่อาจจะมากเกินไป จำเป็นจะต้องมีการลดระดับแรงดันที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งการปรับให้กำลังไฟฟ้าจริงให้ลดลงมาเป็นการแก้ปัญหาที่ไม่พึงประสงค์ อีกวิธีในการปรับแรงดันไฟฟ้าในระบบให้ลดลงมา ก็คือการปรับกำลังกำลังไฟฟ้าจินตภาพให้สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังลดลง การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะทำได้ไม่เต็มที่ ระดับแรงดันในระบบก็จะลดลง การแก้ไขอาจจะต่อคร่อมตัวเหนี่ยวนำไปที่ขดลวดเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจินตภาพ เมื่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพเพิ่มขึ้น จากสมการที่ 2.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันระหว่างบัสที่ทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำก็จะลดลง โดยตัวเหนี่ยวนำจะต่อแบบเดลต้าเพื่อต่อคร่อมไปที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 รูปแบบการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า

ตัวเหนี่ยวนำที่นำมาต่อคร่อมกับขดลวดเพื่อลดระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าจะใช้ตัวเหนี่ยวนำของ ELWE รุ่น Bs 5.960 สามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ 8 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.38 ซึ่งจะปรับไปที่แต่ละระดับเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในระบบไฟฟ้า โดยจะใช้ค่าของตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้ค่าของแรงดันในระบบเปลี่ยนแปลงกลับมาอยู่ในค่ามาตรฐานของระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า ที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่น้อยที่สุด



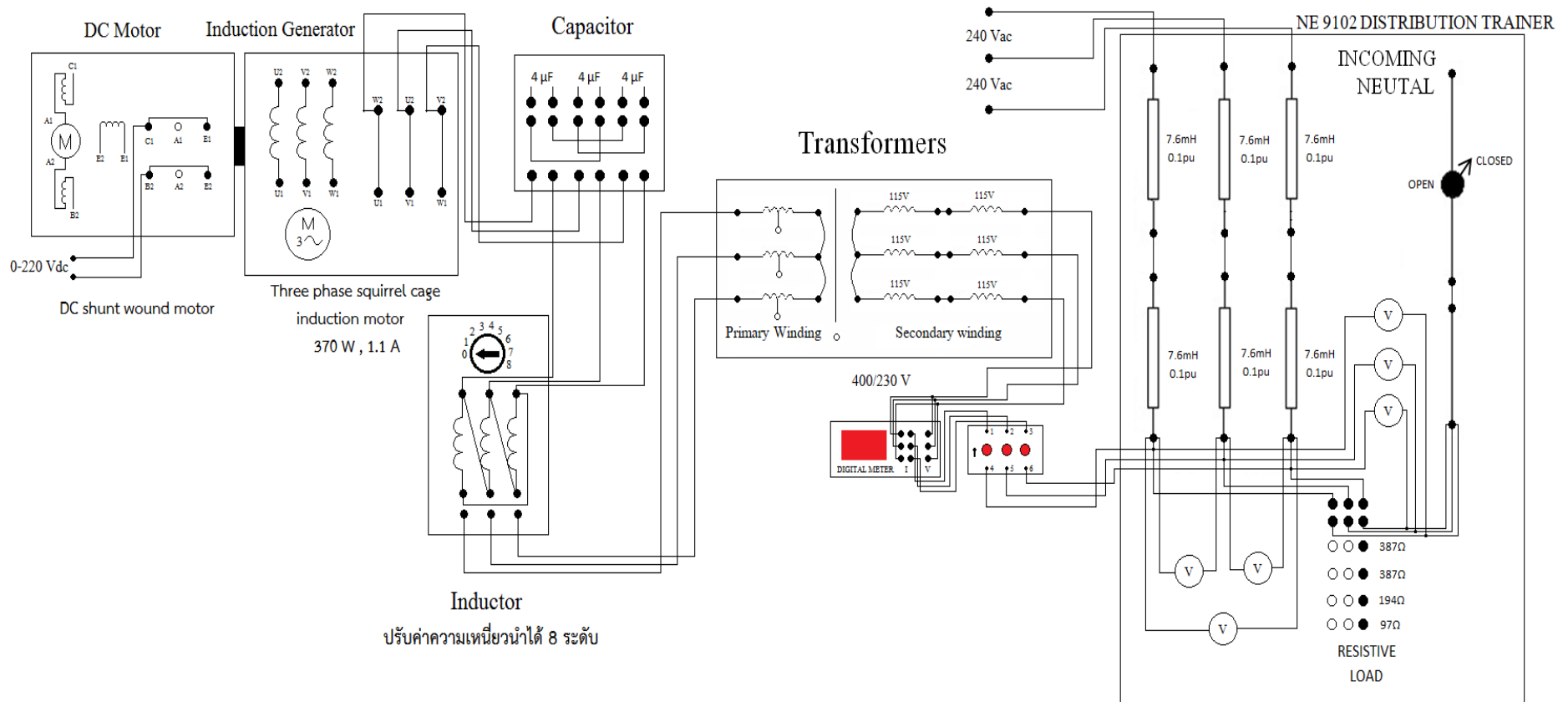
รูปที่ 3.38 ตัวเหนี่ยวนำของ ELWE รุ่น Bs 5.960 สามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ 8 ระดับ

วิธีการแก้ไขปัญหาหากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วพบว่าผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสูงกว่าค่ามาตรฐาน

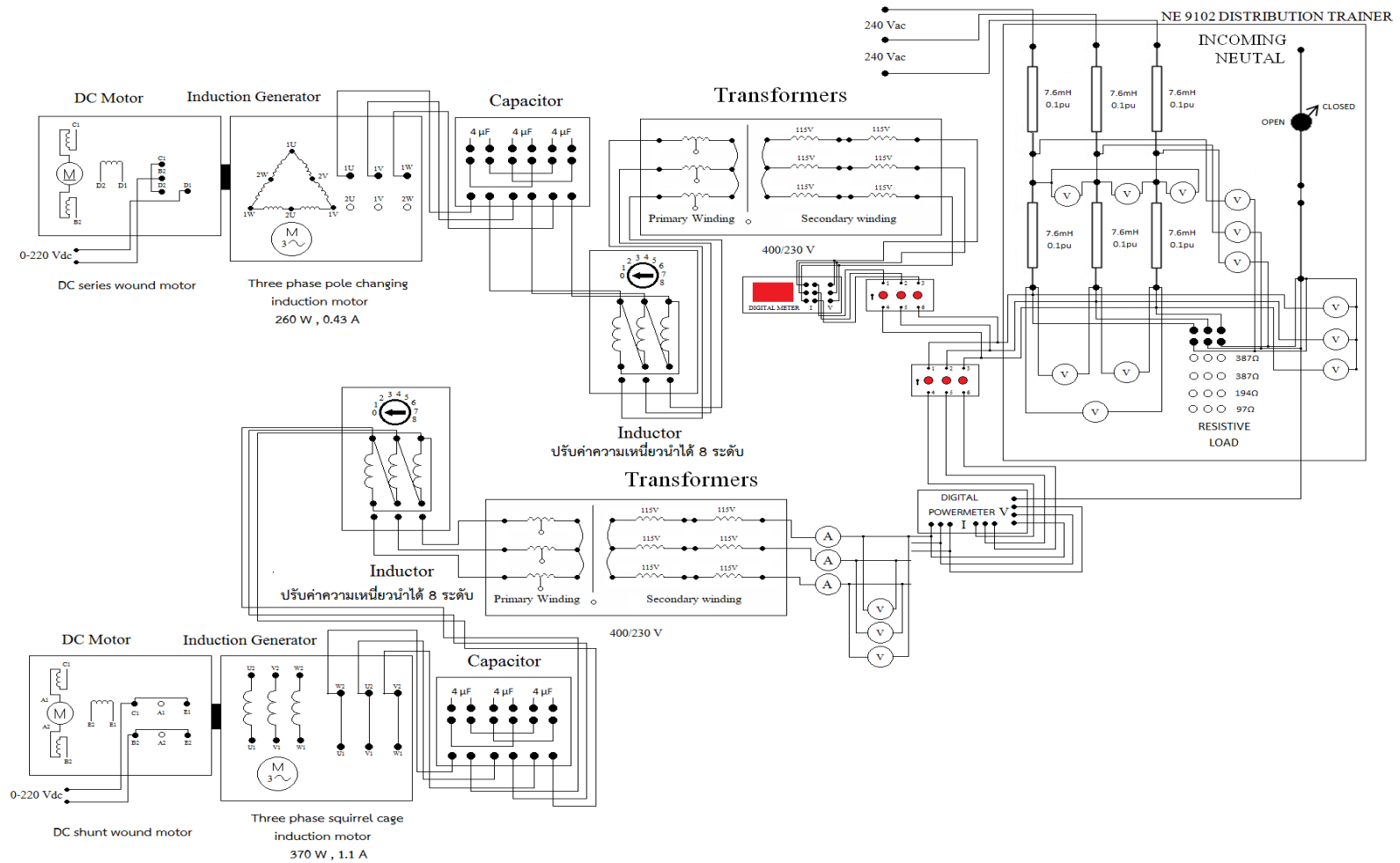
1. ทำการต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมตัวเก็บประจุ โดยการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบเดลต้าเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.39

2. เพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่นำมาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจนถึงค่าที่ระดับแรงดันในระบบไม่เปลี่ยนแปลงแล้วให้ทำการปรับค่าของตัวเหนี่ยวนำที่นำมาต่อคร่อมตัวเก็บประจุโดยค่อยๆ ปรับระดับของตัวเหนี่ยวนำจากน้อยไปมากจนกระทั่งค่าของแรงดันกลับมาอยู่ในช่วงมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

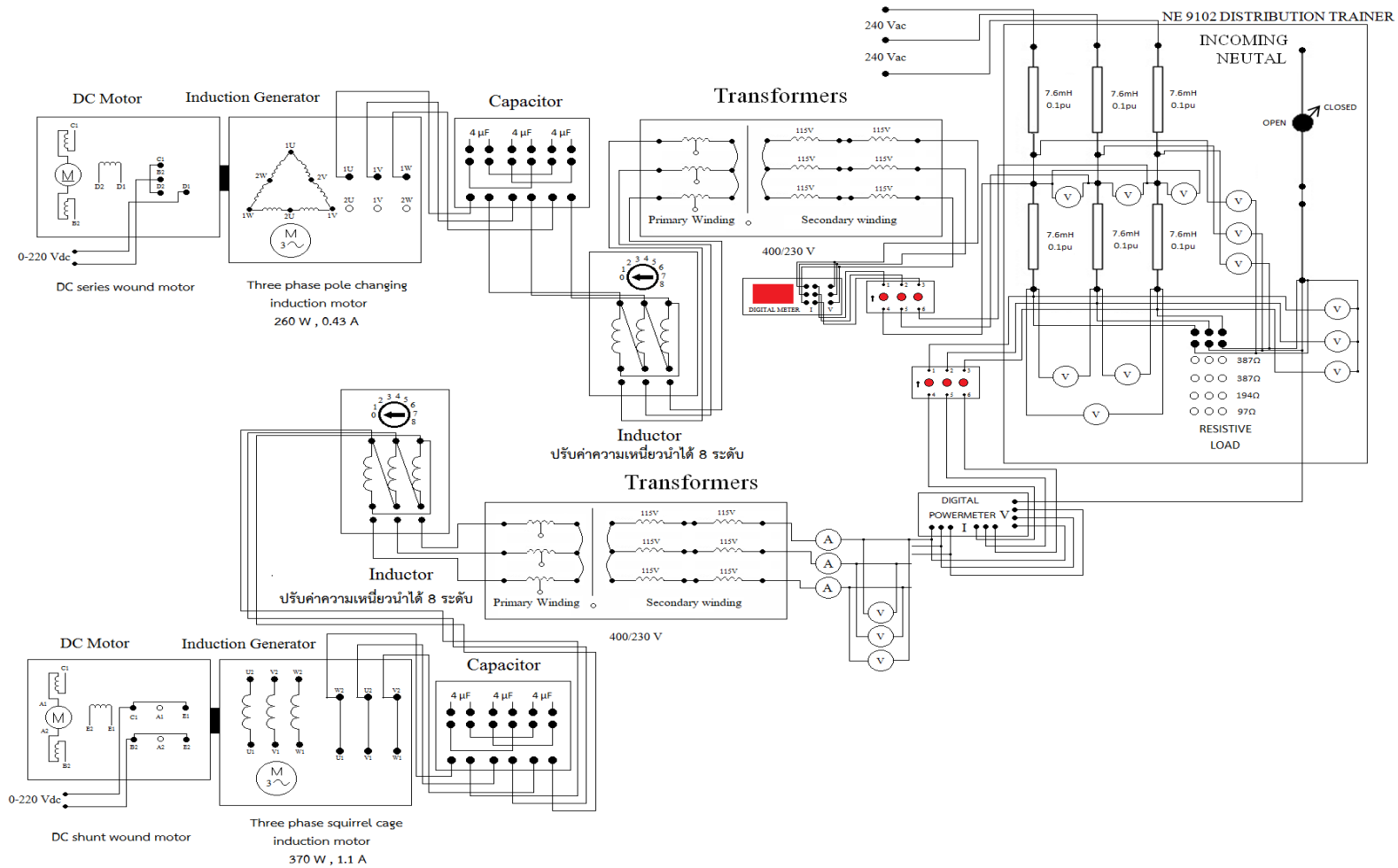
3. การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวในกรณีที่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบที่ปลายสาย และกรณีที่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่กลางสายและปลายสาย ให้ทำเช่นเดียวกันกับกรณีที่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวกับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย คือการปรับระดับของตัวเหนี่ยวนำที่นำมาต่อคร่อมตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.40 และ 3.41



รูปที่ 3.39 แผนผังการแก้ไขปัญหาผลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า



รูปที่ 3.40 แผนผังการแก้ไขปัญหามลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว ที่ปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า



รูปที่ 3.41 แผนผังการแก้ไขปัญหามลของแรงดันเกินที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่กลางสายและปลายสายแล้วส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้า

3.5.1.2 วิธีการแก้ไขปัญหามลภาวะทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การแก้ไขผลของแรงดันเกินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสสามารถทำได้หลายวิธี แต่เป้าหมายคือการลดระดับแรงดันในระบบไฟฟ้า แต่คงกำลังไฟฟ้าที่ส่งจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ที่เท่าเดิม

1) การปรับความเร็วตัวขับเคลื่อนกำลังให้สอดคล้องกับการปรับวงจรกระตุ้นสามารถทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเป็นไปตามที่ต้องการได้ และเป็นวิธีที่ง่ายเพราะไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมในการแก้ไขปัญห

2) การใช้หม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแท็ปการได้ จะทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างทันทีเมื่อมีการต้องการเปลี่ยนแปลงแรงดัน กล่าวคือ ถ้าแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าสูงก็สามารถเปลี่ยนไปใช้แท็ปที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบที่ต่ำกว่าได้ทันที หรือถ้าแรงดันที่ผลิตออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าต่ำก็เปลี่ยนไปใช้แท็ปที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบที่สูงกว่าที่

3) การต่อโหลดเข้ากับระบบไฟฟ้าก็สามารถลดแรงดันที่ส่งจ่ายออกจากระบบได้ โดยโหลดที่มีผลกระทบต่อแรงดันในระบบเยอะที่สุดจะเป็นโหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำ

จากแนวทางการแก้ไขปัญหข้างต้น พบว่าอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการไม่มีหม้อแปลงที่สามารถเปลี่ยนแท็ปได้ และการต่อโหลดให้กับที่ระบบไฟฟ้าก็อาจจะส่งผลให้ต้องส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายมากขึ้น ซึ่งถ้าไม่มีการคำนวณโหลดในแต่ละเฟสให้ดีก็อาจจะเกิดภาวะแรงดันไม่สมดุลได้ ดังนั้นการแก้ไขปัญหที่ดีที่สุดก็คือการปรับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลังให้สอดคล้องกับวงจรกระตุ้น ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่ม แต่ต้องอาศัยการปรับที่ค่อนข้างชำนาญ แต่ก็ค่อนข้างสะดวกเนื่องจากอุปกรณ์น้อยชิ้น

ก. ระดับแรงดันต่ำกว่าค่ามาตรฐานของระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแล้วพบว่าผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อาจจะมาจากการปรับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลังที่ไม่สอดคล้องกับการกระตุ้นที่วงจรกระตุ้น อาจแก้ไขด้วยการปรับกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือปรับวงจรกระตุ้น ให้มากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพก็จะลดลง เกิดค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า หรือการเปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าที่มากขึ้น เกิดการจ่ายสร้างแรงดันไฟฟ้าที่สูงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ข. ระดับแรงดันสูงกว่าค่ามาตรฐานของระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า

หากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแล้วพบว่าผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน การปรับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลังที่ไม่สอดคล้องกับการกระตุ้นที่วงจรกระตุ้น ส่งผลให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันในระบบสูงขึ้นกว่าค่ามาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นการแก้ปัญหาคือการปรับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนกำลังให้สอดคล้องกับการกระตุ้นของวงจรกระตุ้น โดยอาจจะปรับวงจรกระตุ้นที่ค่าต่ำลง ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่อาเมเจอร์ต่ำส่งผลให้ค่า

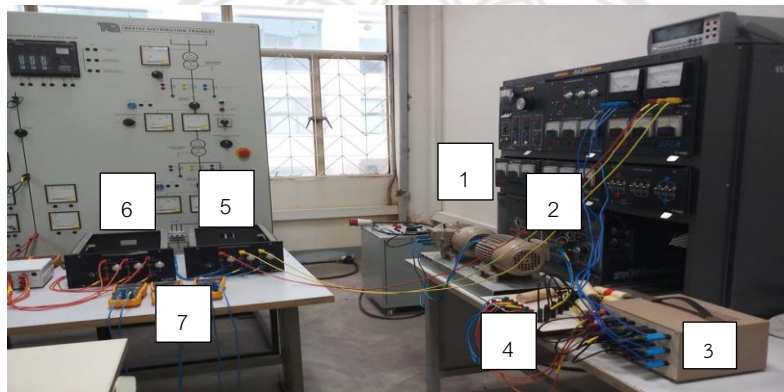
กำลังไฟฟ้าจินตภาพมีค่าสูง ค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะเกิดการล้าหลัง ส่งผลให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบทำงานได้ไม่เต็มที่ แรงดันในระบบจำหน่ายก็จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



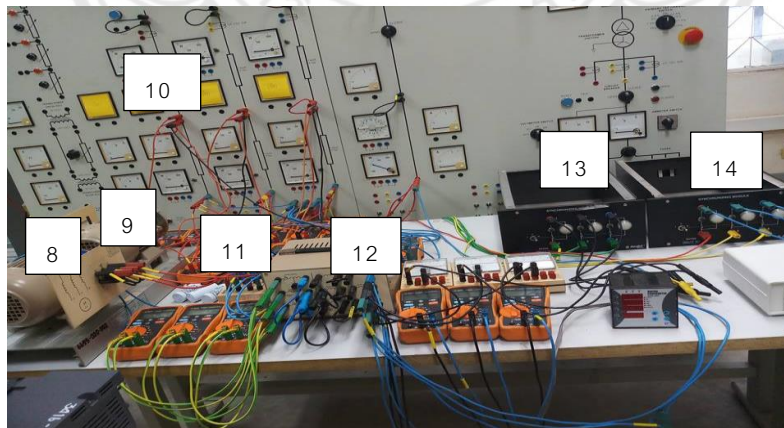
บทที่ 4

ผลการทดสอบและผลการแก้ไข้ปัญหา

ในบทนี้จะเป็นผลการทดสอบคุณภาพไฟฟ้า คือ การรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว และการทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันในระบบไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย รวมถึงผลที่ได้จากการแก้ไข้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เป็นไปตามมาตรฐานระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559 โดยผู้ทำการทดสอบได้ทำการต่อวงจรตามบทที่ 3 เมื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.1 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า



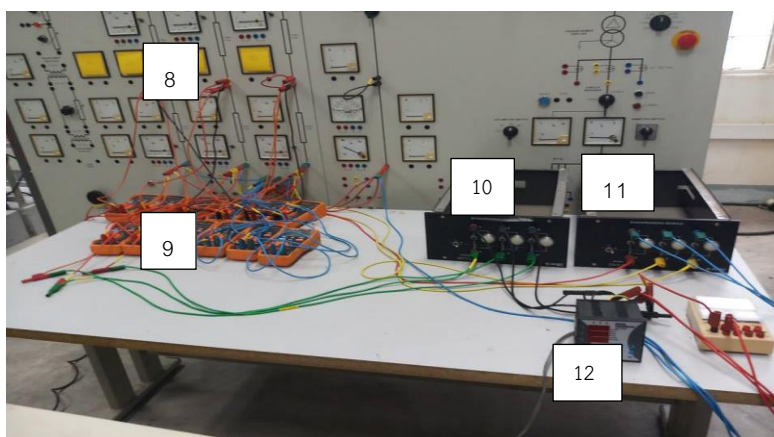
รูปที่ 4.2 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า(ต่อ)

ตารางที่ 4.1 ความหมายของหมายเลขในรูปที่ 4.1 และ 4.2

หมายเลข	ความหมาย
1	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวที่ 2
2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2
3	หม้อแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2
4	ตัวเก็บประจุของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2
5	ซิงโครไนซ์ สวิตช์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2
6	ซิงโครไนซ์ สวิตช์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1
7	โวลต์มิเตอร์
8	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1
9	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวที่ 1
10	ระบบไฟฟ้า
11	ตัวเก็บประจุของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1
12	หม้อแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1
13	เพาเวอร์มิเตอร์
14	มัลติมิเตอร์



รูปที่ 4.3 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครไนส์ 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 รูปการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว เข้าสู่ระบบไฟฟ้า(ต่อ)

ตารางที่ 4.2 ความหมายของหมายเลขในรูปที่ 3 และ 4

หมายเลข	ความหมาย
1	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวที่ 1
2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสตัวที่ 1
3	หม้อแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1
4	มัลติมิเตอร์
5	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวที่ 2
6	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสตัวที่ 2
7	หม้อแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2
8	ระบบไฟฟ้า
9	โวลต์มิเตอร์
10	ซิงโครไนซ์ สวิตช์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1
11	ซิงโครไนซ์ สวิตช์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2
12	เพาเวอร์มิเตอร์

4.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

จากการทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ และทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.1.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ตามทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงให้กับระบบ แต่ดึงกำลังไฟฟ้าจินตภาพออกจากระบบ และต้องมีการต่อคร่อมตัวเก็บประจุกับขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเพื่อจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพ

4.1.1.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

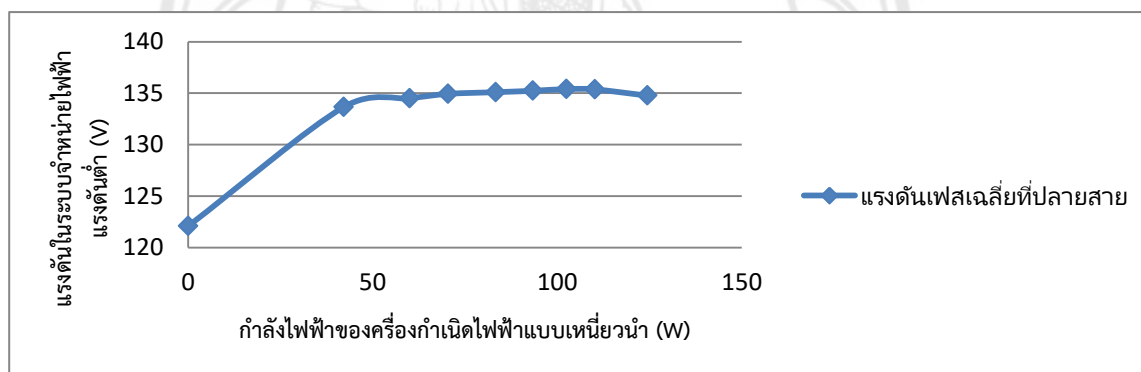
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวที่บริเวณปลายสายโดยใช้ค่าของตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ที่ 4 μF พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบสามารถเพิ่มแรงดันในระบบไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดัน 122.1 V จะเพิ่มขึ้นเป็น 133.67 V กำลังไฟฟ้ามาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 42.2 W กำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำ 123.4 Var และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าขึ้นไปเรื่อยๆไปจนถึง 110.2 W พบว่าแรงดันในระบบไฟฟ้าจะอยู่ที่ 135.37 V ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินเพิ่มขึ้นจาก 9.47% เป็น 10.86 % และกำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำจะจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันในระบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

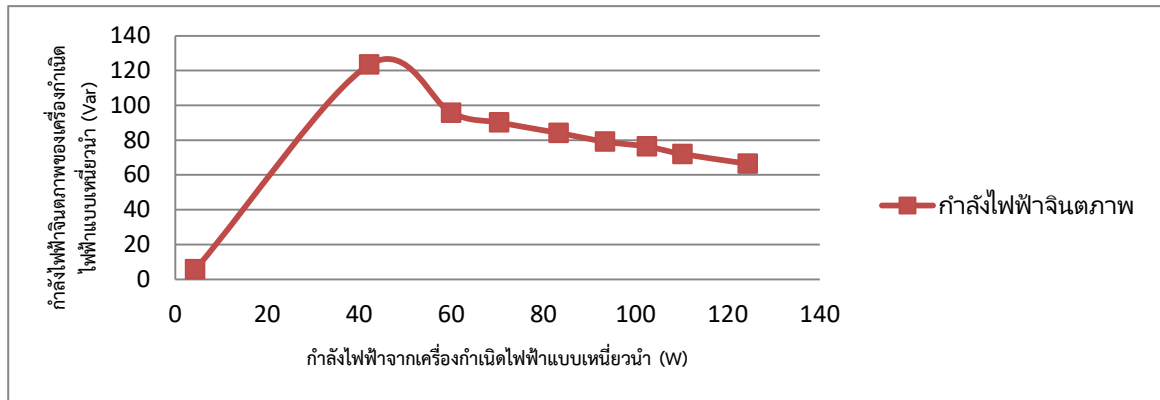
เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง				
กำลังไฟฟ้า(W)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย(V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง	หมายเหตุ
4.4	122.1	211.13	0	ก่อนเชื่อมเข้าสู่ระบบ
42.2	133.67	231.77	9.47	หลังเชื่อมเข้าสู่ระบบ
60	134.5	233.3	10.156	
70.4	134.93	234.1	10.51	
83.3	135.1	234.47	10.65	
93.4	135.23	234.6	10.76	
102.5	135.4	234.73	10.89	
110.2	135.37	234.6	10.86	

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ(Var)	ตัวประกอบกำลัง	หมายเหตุ
4.4	L 5.72	L 0.628	ก่อนเชื่อมเข้าสู่ระบบ
42.2	L 123.4	L 0.381	หลังเชื่อมเข้าสู่ระบบ
60.1	L 95.6	L 0.532	เพิ่มกำลังไฟฟ้า
70.4	L 90.1	L 0.621	
83.3	L 84.1	L 0.706	
93.4	L 79.1	L 0.763	
102.5	L 76.3	L 0.803	
110.2	L 72	L 0.84	



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจินตภาพต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย

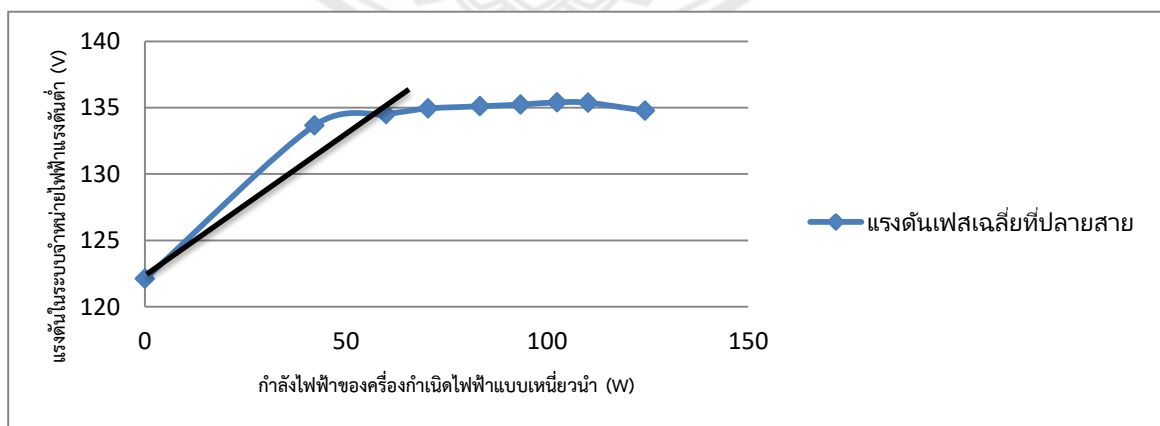
จากรูปที่ 4.5 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบดังรูปที่ 4.7 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{134.5 - 126.7}{60.1 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.129 \text{ V/W}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่ปลายสาย 0.129 V/W



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย

4.1.1.2 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

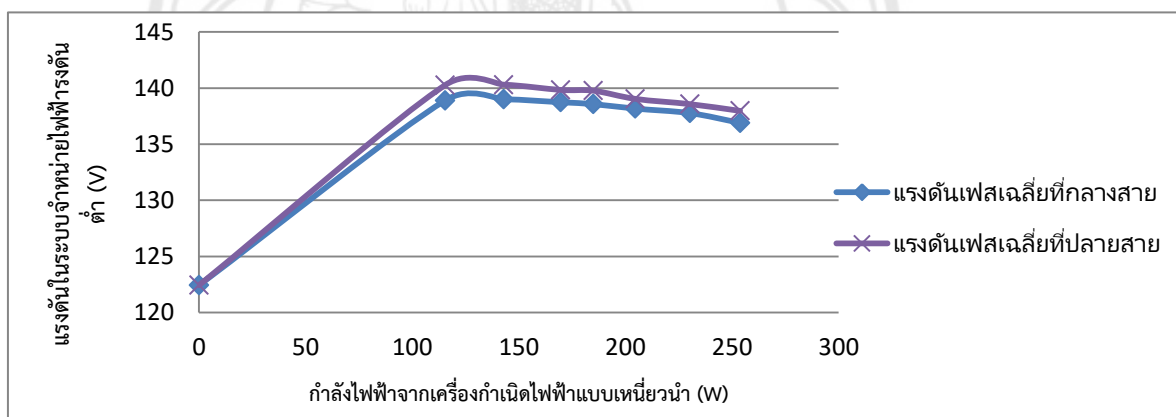
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวที่บริเวณปลายสายโดยใช้ค่าของตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ที่ $4 \mu\text{F}$ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2 เป็นแบบ Pole changing motor ทำให้มีแรงบิดมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 ทำให้เมื่อเชื่อมเข้าระบบแล้วมีกำลังสูงกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1 พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบสามารถเพิ่มแรงดันในระบบไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันที่ปลายสาย 122.43 V จะเพิ่มขึ้นเป็น 140.27 V กำลังไฟฟ้ามายังเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวม 115.5 W กำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำรวม 203.8 Var และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ขึ้นไปเรื่อยๆไปจนถึง 230.3 W พบว่าแรงดันในระบบไฟฟ้าที่ปลายสายจะอยู่ที่ 138.57 V ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินลดลงจาก 14.57% เป็น 13.17 % และกำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำจะจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันในระบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

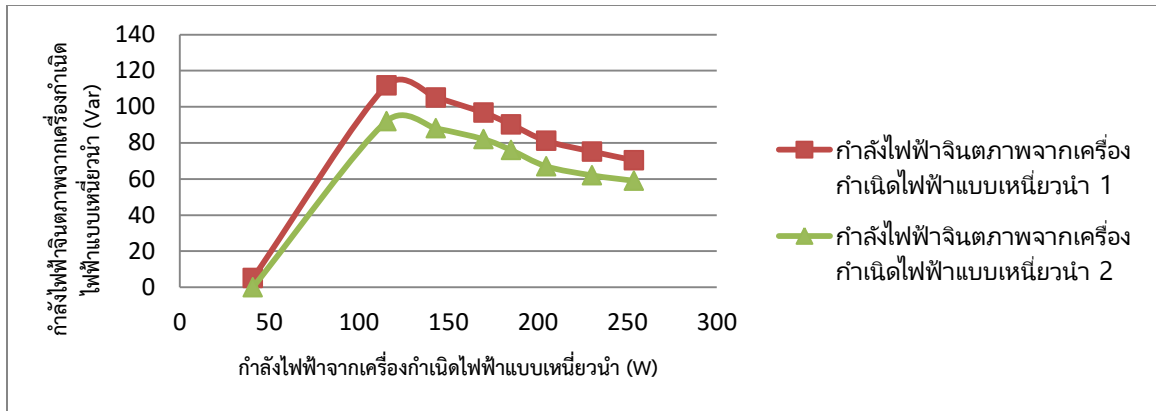
กำลังไฟฟ้า (W)	เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง						หมายเหตุ
	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย(V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	
0	122.43	122.43	212.27	212.17	0	0	ก่อนเชื่อมเข้าสู่ระบบ
115.5	138.9	140.27	240.37	242.67	13.4	14.57	หลังเชื่อมเข้าสู่ระบบ
143	139	140.3	240.47	242.6	13.5	14.59	
169.7	138.73	139.83	239.6	241.8	13.3	14.21	
185	138.57	139.77	236.9	241.7	13.1	14.16	
204.7	138.17	139.03	238.9	241.33	12.8	13.56	
230.3	137.77	138.57	238.13	240.07	12.5	13.17	

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)			กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 1 (Var)	กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 2 (Var)	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 1	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 2	หมายเหตุ
เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 1	เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 2	รวม					
0	4.08	4.08	L 5.1	L 0	L 0.677	L 0	ก่อนเชื่อม ระบบ
38	77.5	115.5	L 111.8	L 92	L 0.571	L 0.38	หลังเชื่อม ระบบ
53	90	143	L 105.1	L 88	L 0.65	L 0.52	
68	101.7	169.7	L 96.7	L 82	L 0.728	L 0.64	
84	101	185	L 90.2	L 76	L 0.722	L 0.74	
103	101.7	204.7	L 81.1	L 67	L 0.712	L 0.84	
116	114.3	230.3	L 75.2	L 62	L 0.767	L 0.88	



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสาย



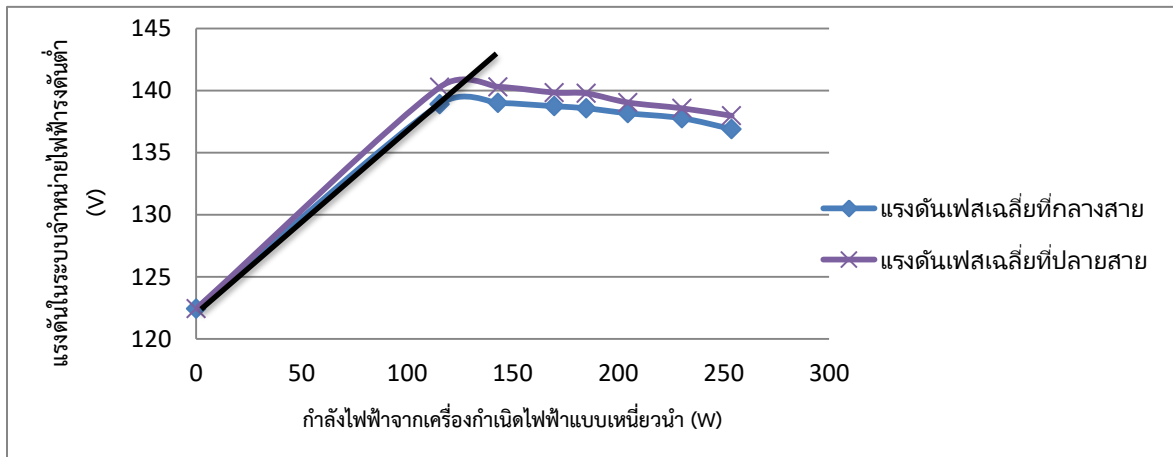
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจลนภาพต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสาย

จากรูปที่ 4.8 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่กลางสายดังรูปที่ 4.10 และปลายสายรูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่กลางสายเป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{138.9 - 122.43}{115.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.142 \text{ V/W}$$



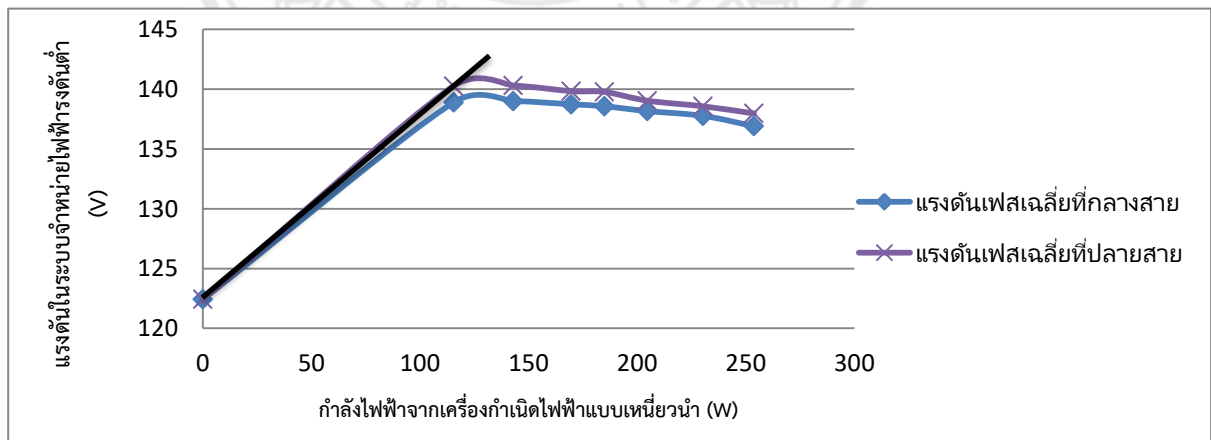
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่กลางสาย

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่ปลายสายเป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{140.27 - 122.43}{115.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.154 \text{ V/W}$$



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่กลางสายและปลายสายเป็น 0.142 V/W และ 0.154 V/W ตามลำดับ

4.1.1.3 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

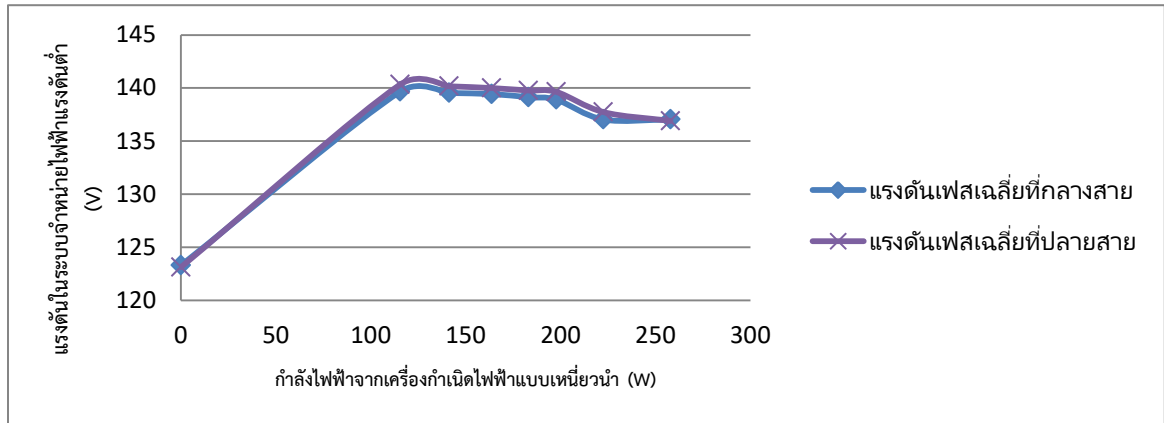
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัว โดยใช้ค่าของตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ที่ 4 μF และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2 เป็นแบบ Pole changing motor ทำให้มีแรงบิดมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 ทำให้เมื่อเชื่อมเข้าระบบแล้วมีกำลังสูงกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1 พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบสามารถเพิ่มแรงดันในระบบไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันที่ปลายสาย 123.13 V จะเพิ่มขึ้นเป็น 140.33 V และระดับแรงดันที่กลางสาย 123.3 V จะเพิ่มขึ้นเป็น 139.67 V กำลังไฟฟ้ามายังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวม 115.5 W กำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำรวม 216.3 Var และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ขึ้นไปเรื่อยๆไปจนถึง 222.6 W พบว่าแรงดันในระบบไฟฟ้าที่ปลายสายจะลดลงอยู่ที่ 137.73 V และระดับแรงดันที่กลางสายจะลดลงอยู่ที่ 137.03 V ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินลดลงจาก 13.97 % เป็น 11.86 และกำลังจินตภาพแบบเหนี่ยวนำจะจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันในระบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

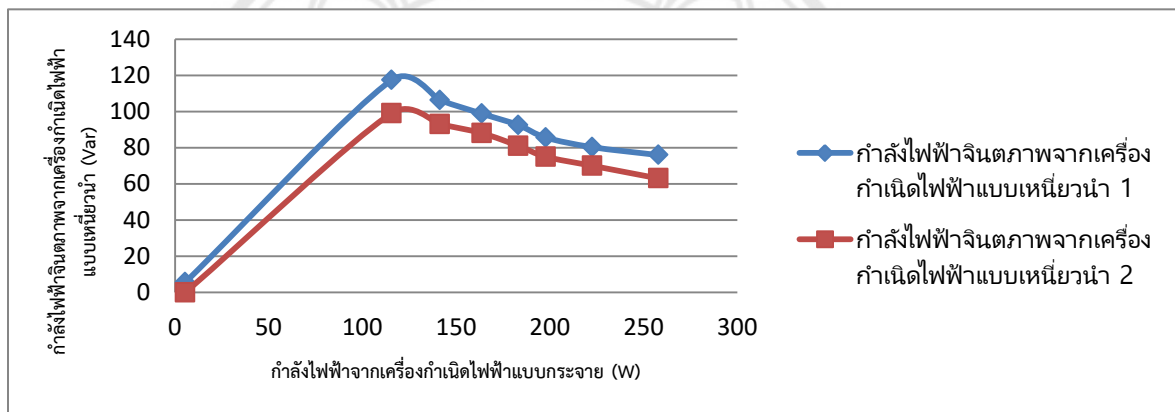
กำลังไฟฟ้า (W)	เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง						หมายเหตุ
	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	
0	123.3	123.13	213.57	213.7	0	0	ก่อนเชื่อมต่อ
115.5	139.67	140.33	241.53	242.77	13.27	13.97	หลังเชื่อมต่อ
141.3	139.53	140.17	241.27	242.43	13.17	13.83	
163.7	139.43	140	241.1	241.97	13.08	13.70	
183.2	139.13	139.77	240.5	241.6	12.84	13.50	
197.8	138.9	139.63	240.17	241.5	12.65	13.40	
222.6	137.03	137.73	236.97	238.2	11.46	11.86	

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าจินตภาพและค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (W)			กำลัง	กำลัง	ค่าตัว	ค่าตัว	หมายเหตุ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2	รวม	จินตภาพตัวที่ 1 (Var)	จินตภาพตัวที่ 2 (Var)	ประกอบกำลังตัวที่ 1	ประกอบกำลังตัวที่ 2	
0	5.22	5.22	L 5.59	L 0	L 0.681	L 0	ก่อนเชื่อมต่อระบบ
38	77.5	115.5	L 117.3	L 99	L 0.554	L 0.35	หลังเชื่อมต่อระบบ
80	91.3	141.3	L 106.3	L 93	L 0.652	L 0.47	
62	101.7	163.7	L 97.5	L 88	L 0.718	L 0.87	
82	101.2	183.2	L 98.8	L 81	L 0.716	L 0.71	
101	96.8	197.8	L 107	L 69	L 0.669	L 0.82	
110	112.6	222.6	L 92.3	L 70	L 0.773	L 0.85	



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่กลางสายและปลายสาย



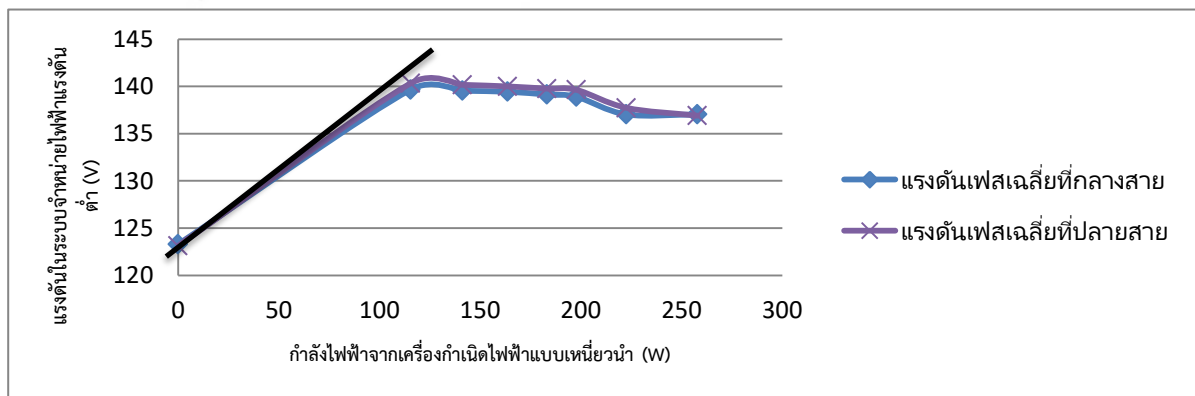
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจินตภาพต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสายและปลายสาย

จากรูปที่ 4.12 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบดังรูปที่ 4.14 ที่กลางสาย

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{139.67 - 123.3}{115.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.142 \text{ V/W}$$



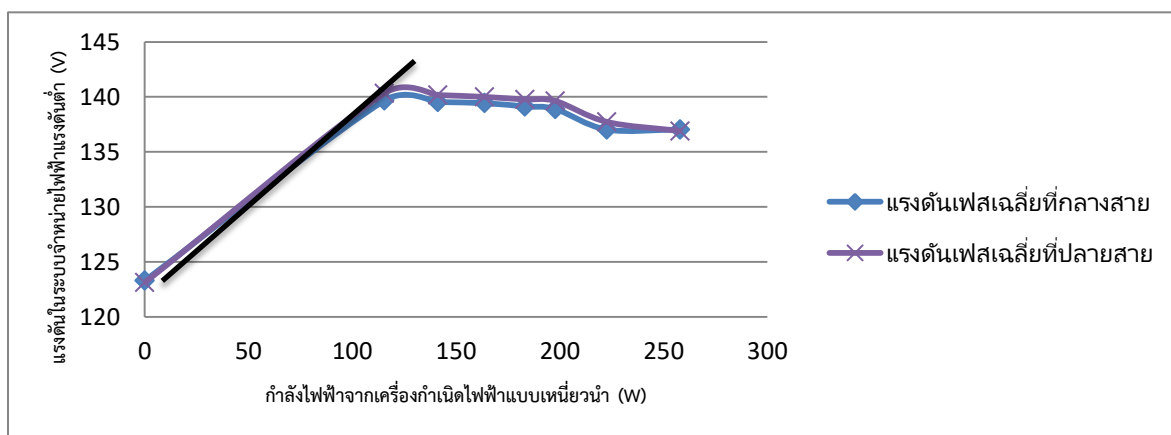
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่กลางสาย

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่ปลายสายดังรูปที่ 4.15 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{140.33 - 123.13}{115.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.149 \text{ V/W}$$



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่กลางสายและปลายสายเป็น 0.142 V / W และ 0.149 V / W ตามลำดับ

4.1.2 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

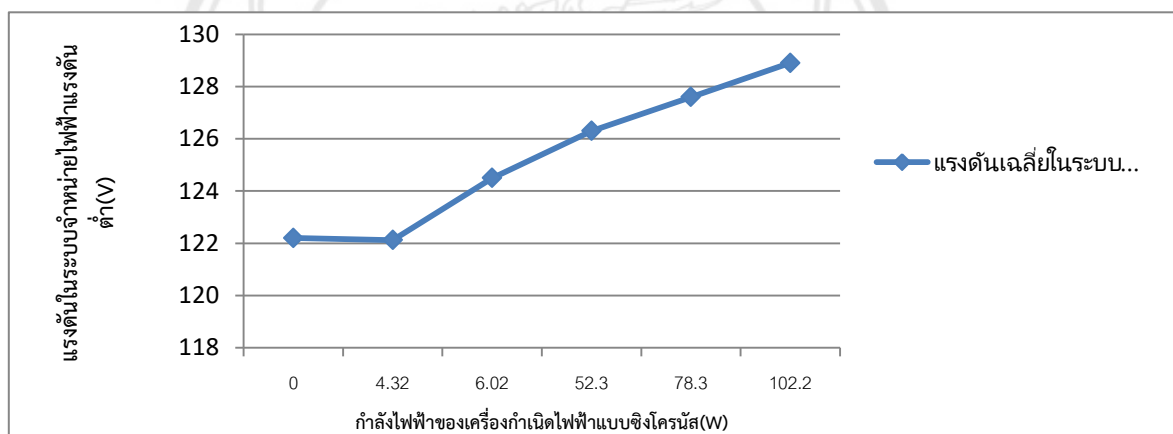
ตามทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส จะสามารถแรงดันให้ลดลงโดยการปรับแรงดันกระตุ้นที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

4.1.2.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.9 การทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดัน 122.12 V ไปที่ 124.5 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6.02 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าไปถึงประมาณ 100 W แรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 128.9 และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเป็น 5.55% ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09% ทำให้ระบบยังอยู่ในสภาวะปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง						
กำลังไฟฟ้า(w)		แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย(v)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย(v)	ค่าตัวประกอบกำลัง	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง	หมายเหตุ
จริง	จินตภาพ (Var)					
0	0	122.12	211.23	0	0	ก่อนเชื่อมต่อ
4.32	C 5.83	122.12	211.23	C 0.55	0	หลังเชื่อมต่อ
6.02	L 11.86	124.5	215.3	L 0.453	1.94	
52.3	L 8.46	126.3	218.5	L 0.894	3.42	
78.3	L 4.33	127.6	221.13	L 0.999	4.49	
102.2	L 2.17	128.9	223.5	L 0.999	5.55	



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

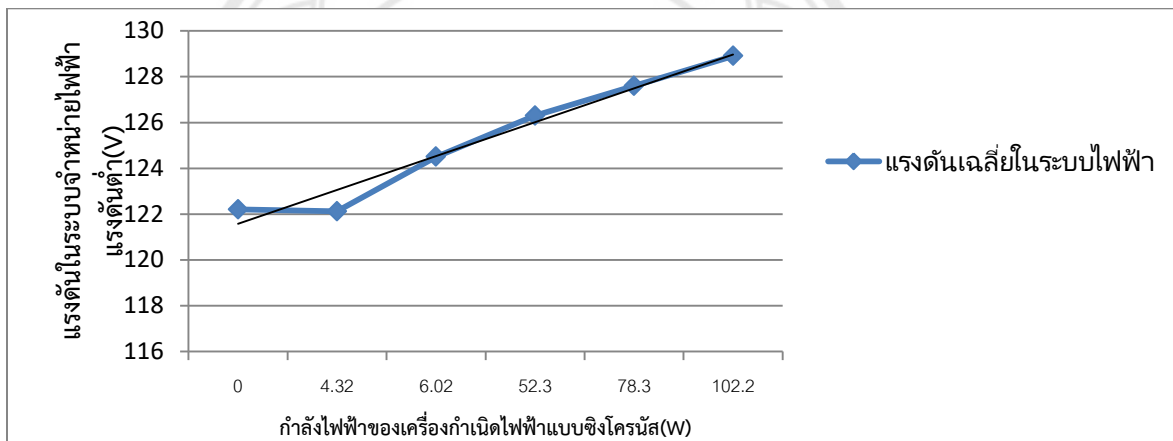
จากรูปที่ 4.16 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบดังรูปที่ 4.17 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{128.9 - 121.72}{102.2 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.07 \text{ V / W}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่ปลายสาย 0.07 V/W



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครน

4.1.2.2 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

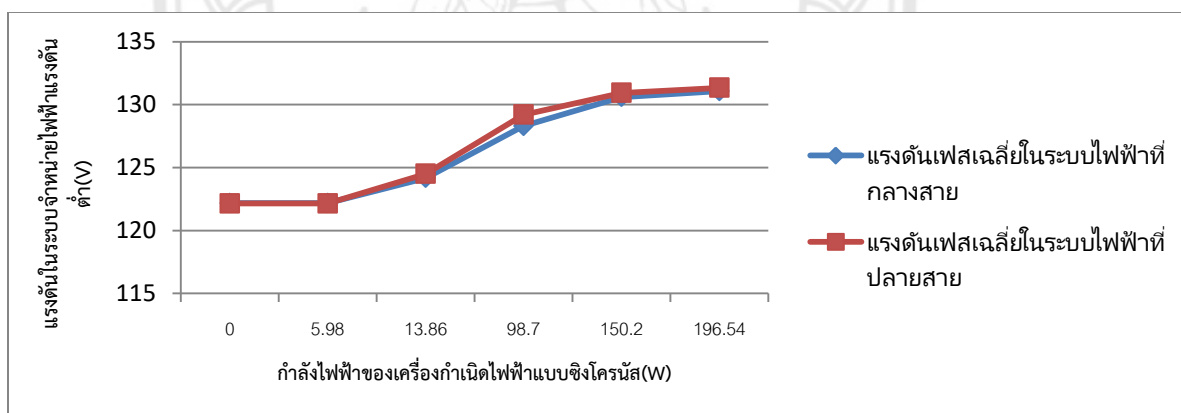
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.10 และ 4.11 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางและปลายสายอย่างละ 1 ตัว เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันเฟส 122.14 V ไปที่ 124.5 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟารวม 13.86 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ไปถึงประมาณ 100 W แรงดันเฟสที่ปลายสายอยู่ที่ 131.07 V และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าเป็น 7.56 % ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09 % ทำให้ระบบอยู่ไม่อยู่ในสภาวะแรงดันเกิน ดังแสดงในรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)			กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 1 (Var)	กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 2 (Var)	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 1	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 2	หมายเหตุ
เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 1	เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 2	รวม					
3.98	2	5.98	4.83	4	L 0.99	L 0.99	ก่อนเชื่อม ระบบ
5.86	8	13.86	11.86	31	L 0.453	L 0.64	หลังเชื่อม ระบบ
46.7	52	98.7	9	21	L 0.86	L 0.821	
76.2	74	150.2	6	13	L 0.99	L 0.99	
98.54	98	196.54	4.7	2	L 0.99	L 0.99	

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย						หมายเหตุ
	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	
0	122.17	122.14	211.07	210.76	0	0	ก่อนเชื่อมต่อระบบ
5.98	122.17	122.14	211.07	210.76	0	0	หลังเชื่อมต่อระบบ
13.86	124.17	124.5	215.07	215.3	1.64	1.95	
98.7	128.3	129.2	223.43	223.56	5.02	5.82	
150.2	130.6	130.93	226.73	227.27	6.9	7.25	
196.54	131.07	131.33	227.03	228.05	7.28	7.56	



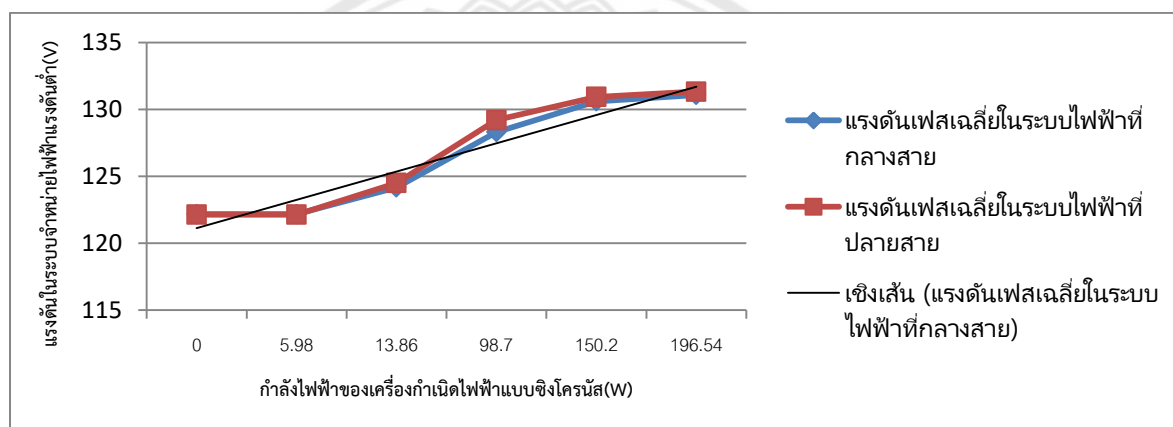
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่กลางสายและปลายสาย

จากรูปที่ 4.18 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่กลางสายดังรูปที่ 4.19 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{131.76 - 120.9}{196.54 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.055 \text{ V/W}$$



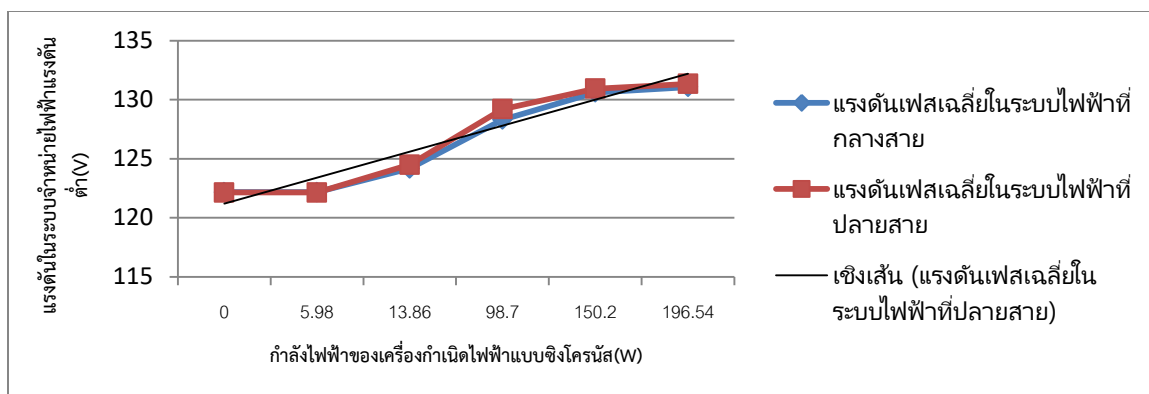
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่กลางสาย

แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่ปลายสายดังรูปที่ 4.20 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{132.13 - 121.2}{196.54 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.055 \text{ V/W}$$



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่กลางสายและปลายสายเป็น 0.055 V/W เท่ากัน

4.1.2.3 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

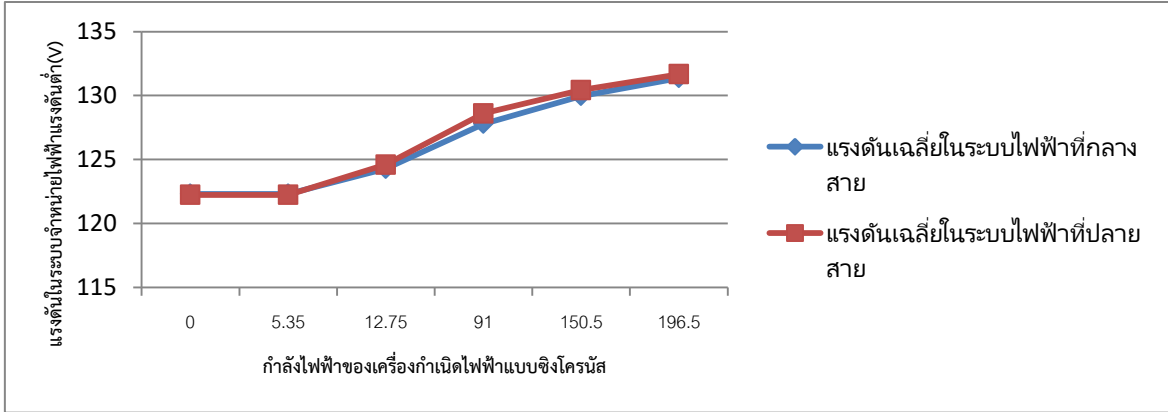
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.12 และ 4.13 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่บริเวณปลายสาย เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันเฟส 122.23 V ไปที่ 124.6 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 12.57 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ไปถึงประมาณ 100 W แรงดันเฟสที่ปลายสายอยู่ที่ 131.67 V และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าเป็น 7.7 % ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09 % ทำให้ระบบยังอยู่ในสภาวะปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)			กำลัง	กำลัง	ค่าตัว	ค่าตัว	หมายเหตุ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2	รวม	จินตภาพตัวที่ 1 (Var)	จินตภาพตัวที่ 2 (Var)	ประกอบกำลังตัวที่ 1	ประกอบกำลังตัวที่ 2	
3.35	2	5.35	5.53	2	L 0.99	L 0.99	ก่อนเชื่อมระบบ
5.75	7	12.75	18.18	41	L 0.521	L 0.59	หลังเชื่อมระบบ
44.7	46.3	91	11.3	19	L 0.854	L 0.823	
74.8	75.7	150.5	7.6	15	L 0.99	L 0.99	
99.5	97	196.5	3.3	6	L 0.99	L 0.99	

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย						หมายเหตุ
	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	
5.35	122.3	122.23	211.3	211.27	0	0	ก่อนเชื่อมระบบ
12.75	124.27	124.6	215.43	215.7	1.6	1.9	หลังเชื่อมระบบ
91	127.79	128.6	222.6	223.13	4.4	5.2	
150.5	129.96	130.43	224.23	225.48	6.26	6.7	
196.5	131.36	131.67	229.77	230.03	7.4	7.7	



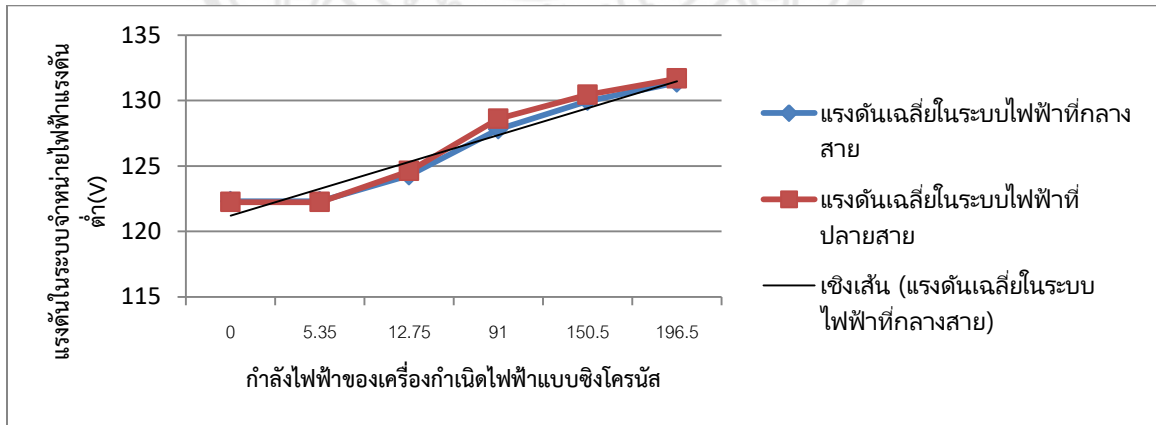
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่ปลายสาย

จากรูปที่ 4.21 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่กลางสายดังรูปที่ 4.22 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{131.67 - 121}{196.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.054 \text{ V/W}$$



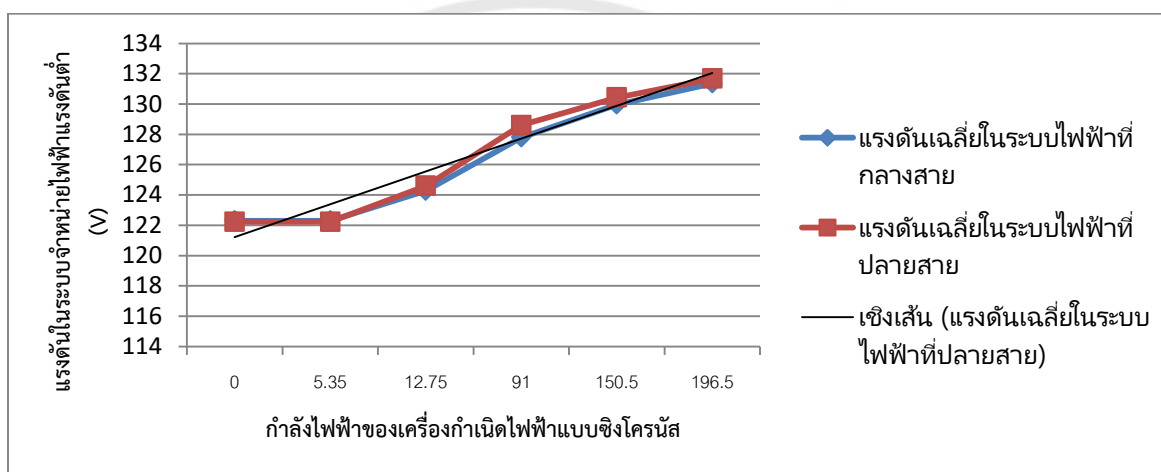
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่กลางสาย

สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบที่ปลายสายดังรูปที่ 4.23 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{V_2 - V_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{131.9 - 120.9}{196.5 - 0}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.056 \text{ V/W}$$



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส 2 ตัวที่กลางสายและปลายสายเป็น 0.054 V/W และ 0.056 V/W ตามลำดับ

สรุปการทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว เมื่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ จะมีเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส และเมื่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ปลายสาย 2 ตัวจะมีเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินมากกว่าเชื่อมที่กลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัวดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปการทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

	เครื่องกำเนิดแบบเหนี่ยวนำ				เครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส			
	เปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน		$\frac{\Delta V}{\Delta P}$ (V/W)		เปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน		$\frac{\Delta V}{\Delta P}$ (V/W)	
	ที่กลางสาย	ที่ปลายสาย	ที่กลางสาย	ที่ปลายสาย	ที่กลางสาย	ที่ปลายสาย	ที่กลางสาย	ที่ปลายสาย
เชื่อมที่ปลายสาย 1 ตัว	-	10.86	-	0.129	-	5.55	-	0.07
เชื่อมที่กลางสาย และปลายสาย อย่างละ 1 ตัว	11.46	11.86	0.142	0.154	7.28	7.58	0.055	0.055
เชื่อมที่ปลายสาย 2 ตัว	12.5	13.17	0.142	0.149	7.4	7.7	0.054	0.056

4.2 การทดสอบความไม่สมดุลของแรงดันในระบบไฟฟ้า

จากกรณีศึกษาการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 2 กรณี คือ กรณีที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และกรณีที่ระบบมีการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

4.2.1 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดแบบเหนี่ยวนำ

4.2.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย

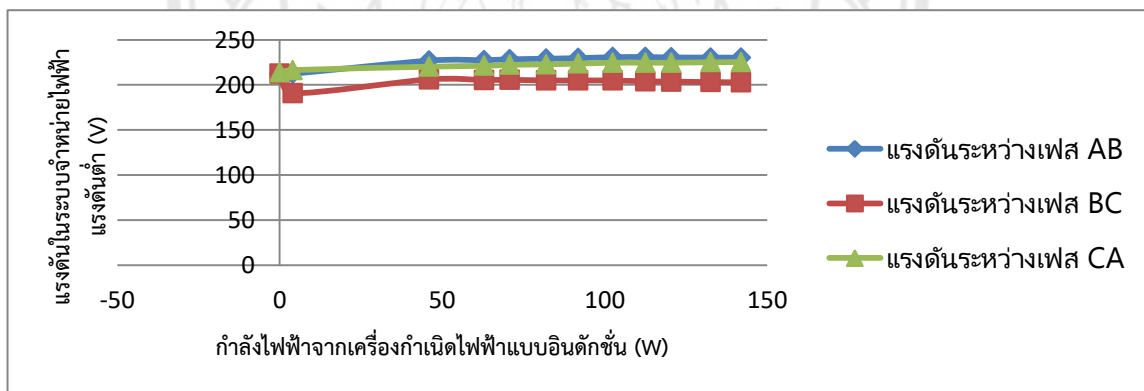
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.15 และ 4.16 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω และที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 4.78 % เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.1 % และเปอร์เซนต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 4.41 % แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซนต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มขึ้นเป็น 4.91 % มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้าสู่ระบบ และที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซนต์แรงดันเกิน 2.03 % ดังรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (V)			เปอร์เซนต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
0	212.2	213.8	212.4	0	0.47	สถานะแรกเริ่ม
4.04	212.4	216.4	190.8	0.1	4.78	ต่อโหลด
46	226.9	220.2	206.1	1.92	4.21	เชื่อมเข้าระบบ
62.9	227.4	221.1	205.4	2.08	4.33	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
70.8	228.4	222.2	205.6	2.10	4.42	
82	229	222.8	204.9	2.13	4.61	
91.9	229.7	223.6	204.9	2.13	4.69	
112.5	230.9	224.6	204	2.16	5.03	
120.5	230.4	224.6	203.6	2.18	4.95	
132.6	230.3	225.1	203.1	2.09	4.92	
142	230.2	225.3	202.8	2.03	4.91	

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ(V)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
4.04	444.3	443.2	444	L 4.45	L 0.667	ก่อนเชื่อม
46	369.5	365.2	352.9	L 107.5	L 0.396	หลังเชื่อม
62.9	373.3	368.8	354.9	L 100.3	L 0.528	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
70.8	375.6	371.4	356.6	L 98.2	L 0.584	
82	376.8	373.1	356.9	L 93.1	L 0.662	
91.9	378.6	375.4	358.1	L 89.1	L 0.719	
102.5	380.7	377.8	359.4	L 85	L 0.767	
112.5	381.3	378.8	359.6	L 79.6	L 0.817	
120.5	382	379.8	360	L 76.2	L 0.849	
132.6	382.9	381.4	360.9	L 70.5	L 0.882	
142	383.2	382.2	361.3	L 64.9	L 0.909	



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่บริเวณกลางสาย หลังจากเกิดการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย

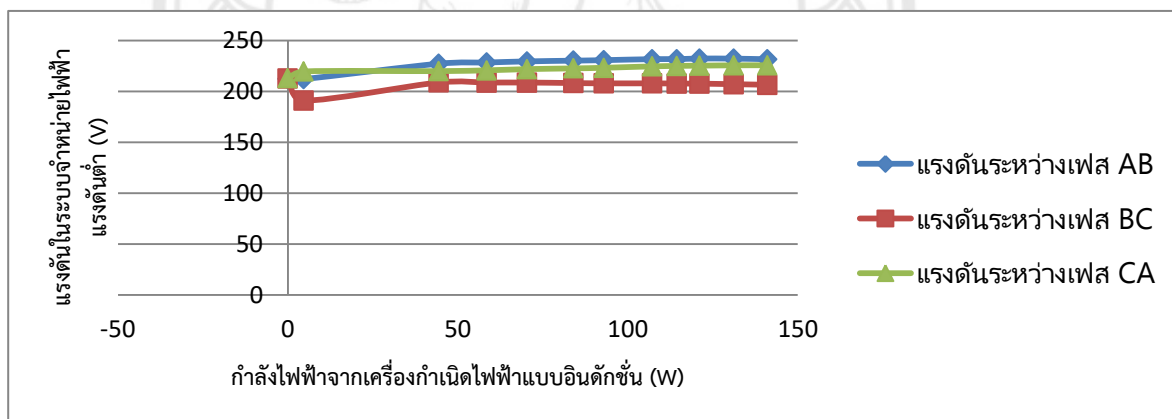
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.17 และ 4.18 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน โดยมีการเพิ่มโหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω และที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 5.8 % เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.25 % และเปอร์เซนต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 3.92 % แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซนต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มขึ้นเป็น 4.67 % มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้าสู่ระบบ และที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซนต์แรงดันเกิน 2.24 % ดังรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (V)			เปอร์เซนต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
0	212.2	213	212.5	0	0.2	สถานะแรกเริ่ม
4.7	212	219.5	190.9	0.25	5.8	ต่อโหลด
44.4	227.1	219.8	208.7	2.02	3.92	เชื่อมเข้าระบบ
58.5	228.3	220.6	208.6	2.77	4.16	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
70.4	229.4	221.8	208.6	2.17	4.30	
84	230.1	222.5	208.1	2.18	4.44	
93	230.6	223.1	207.8	2.27	4.58	
107.2	231.6	224.5	207.8	2.33	4.65	
114.4	231.6	224.9	207.6	2.28	4.62	
121.1	232.2	225.2	207.5	2.24	4.77	
131.2	232.1	225.5	207	2.24	4.67	

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ(V)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
4.7	444.4	443.3	442.2	L 4.95	L 0.65	ก่อนเชื่อม
44.4	369.5	365.9	351.1	L 108.7	L 0.382	หลังเชื่อม
58.5	373.1	362.7	353.3	L 102.5	L 0.501	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
70.4	375.8	372.6	355	L 97.8	L 0.584	
84	377.6	375	356	L 91.8	L 0.675	
93	379.5	376.38	356.9	L 88.6	L 0.727	
107.2	382.4	380	358.7	L 83.1	L 0.791	
114.4	382.9	381	359.2	L 79.3	L 0.819	
121.1	384	382.6	360.1	L 77.1	L 0.844	
131.2	384.8	383.7	360.6	L 69.7	L 0.882	



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย หลังจากเกิดการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย

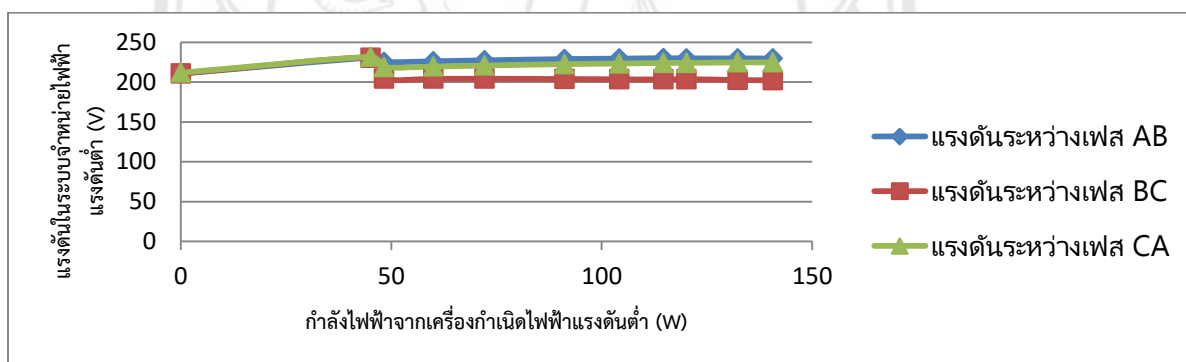
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.19 และ 4.20 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 0.35 % เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.02 % และเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 0.30 % หลังจากนั้นให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด พบว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบก็มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.19 % และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มเป็น 4.92% มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน 2.11 % ดังรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (V)			เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
0	210.6	211.7	210.6	0.12	0.35	สถานะแรกเริ่ม
45.1	230.6	231.6	230.5	0.02	0.3	เชื่อมเข้าระบบ
48.3	225.1	218.7	204.3	2.08	4.19	ต่อโหลด
60.04	226	219.5	204.1	2.13	4.37	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
72.2	227.3	220.7	204.1	2.22	4.57	
91.2	228.8	222.5	203.8	2.20	4.78	
104.2	229.4	223.2	203.4	2.13	4.91	
114.7	229.9	224	203.3	2.15	4.94	
120.2	229.7	224	203.6	2.21	4.83	
132.3	229.7	224.6	202.6	2.13	4.90	
140.7	229.5	224.6	202.1	2.11	4.92	

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณกลางสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ(V)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
45.1	381.9	381.9	382	L 101.8	L 0.405	เชื่อมเข้าระบบ
48.3	358.5	363.4	351	L 109	L 0.408	ต่อโหลด
60.04	370.4	365.7	351.9	L 102.3	L 0.507	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
72.2	373.8	369.1	354.1	L 100	L 0.588	
91.2	377	373.5	356.1	L 90.2	L 0.714	
104.2	378.9	376.3	357.7	L 85.7	L 0.774	
114.7	380.5	378.1	358.8	L 80.4	L 0.82	
120.2	381.4	378.9	359.1	L 78.9	L 0.837	
132.3	382	380.4	359.7	L 71.7	L 0.878	
140.7	382.5	381.1	360.2	L 68.1	L 0.9	



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่บริเวณกลางสาย ก่อนการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.1.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย

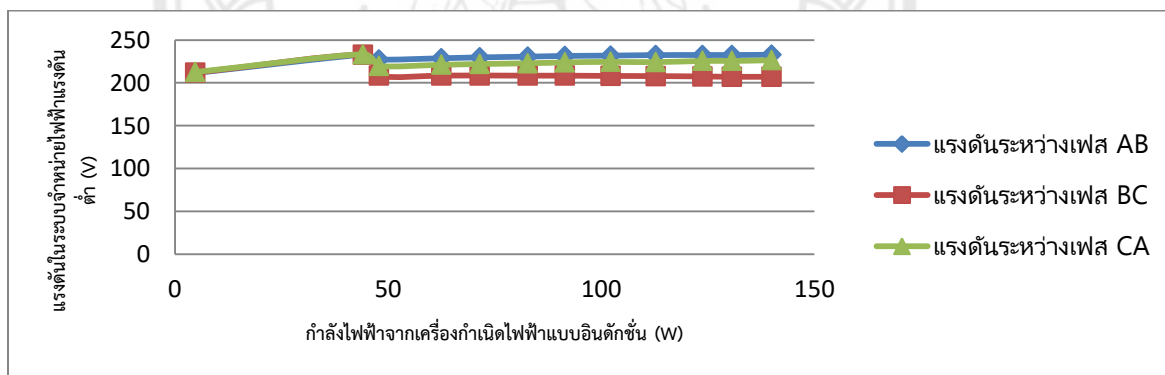
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.21 และ 4.22 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 0.28 % เเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.04 % และเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 0.17 % หลังจากนั้นให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด พบว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบก็มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3.98 % และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มเป็น 4.81 % มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน 2.15 % ดังรูปที่ 4.27

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (V)			เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
4.81	211.5	212.6	211.9	0.08	0.28	สถานะแรกเริ่ม
44.1	232.8	233.4	232.8	0.04	0.17	เชื่อมเข้าระบบ
4739	227.2	219.8	208.5	2.01	3.98	ต่อโหลด
62.5	228.7	211.1	208.5	2.11	4.22	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ
71.5	229.7	222	208.6	2.16	4.36	
82.8	230.6	222.8	208.4	2.22	4.53	
91.5	231.4	223.9	208.4	2.20	4.59	
102.2	231.8	224.5	208.1	2.21	4.66	
112.8	232.4	224.2	27.9	2.24	4.92	
123.8	232.5	225.6	27.5	2.25	4.79	
130.7	232.5	225.6	207.1	2.21	4.85	
140	232.8	226.4	207.1	2.15	4.81	

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
เหนี่ยวนำที่บริเวณปลายสาย (ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่อง กำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ(V)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบ กำลัง	
44.1	385.8	385.7	386	L 102.8	L 0.399	เชื่อมเข้าระบบ
47.39	370.4	367.2	351.7	L 106.7	L 0.408	ต่อโหลด
62.5	374	370.9	353.9	L 100.9	L 0.526	เพิ่มกำลังไฟฟ้า จากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ
71.5	376.5	373.6	355.5	L 99.4	L 0.587	
82.8	378.5	375.7	356.6	L 93.2	L 0.665	
91.5	380.3	378	358	L 89.2	L 0.717	
102.2	381.7	379.9	358.7	L 85	L 0.774	
112.8	384.2	382.6	360.5	L 80.7	L 0.816	
123.8	385.4	384.1	361.3	L 74.3	L 0.856	
130.7	385.8	384.8	361.7	L 70.3	L 0.88	
140	386.5	386.2	362.4	L 64.1	L 0.909	



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจาก
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่
บริเวณปลายสาย ก่อนการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.2 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัส

4.2.2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย

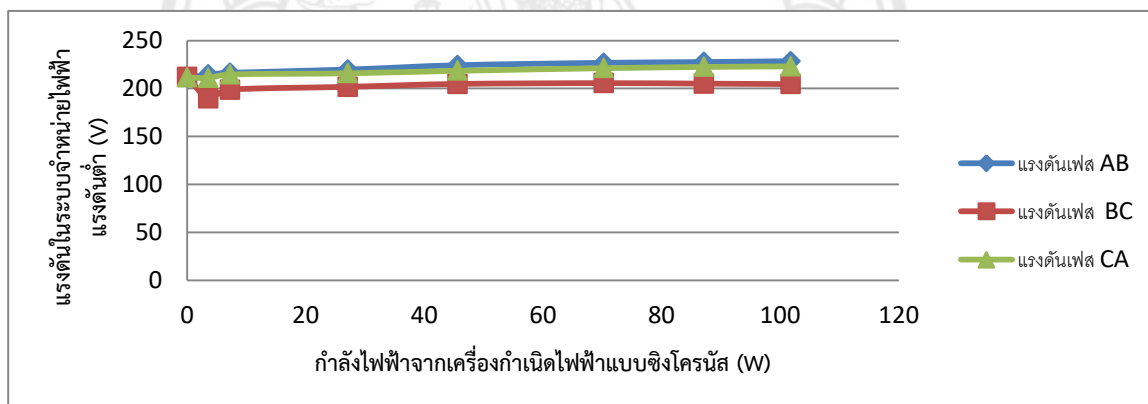
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.23 และ 4.24 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน โดยให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 4.60 % เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.92 % และเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 3.06 % แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มขึ้นเป็น 4.1% มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน 3.0 % ดังรูปที่ 4.28

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย

กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (V)			เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
0	211	211.6	212	0	0.0	สถานะแรกเริ่ม
3.6	214.5	211	189.7	0.92	4.6	ต่อโหลด
7.25	216.4	215.7	198.8	2.26	3.06	เชื่อมเข้าระบบ
27.13	219.8	215.9	201.8	2.16	3.43	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
45.64	224.3	218.5	204.8	2.45	3.9	
70.3	226.8	221.2	205.6	2.64	4.1	
87.2	227.6	222.5	205.1	2.87	4.2	
101.8	228.5	223.1	204.6	3.0	4.4	

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย (ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (โวลต์)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
3.6	401.5	403.5	384.5	L 5.29	L 0.99	สถานะแรกเริ่ม
7.25	348.2	352.4	333.2	L 32.5	L 0.453	เชื่อมต่อระบบ
27.13	365.2	366	343.6	L 29.8	L 0.534	เพิ่มกำลังไฟฟ้า
45.64	370.8	371.8	346.1	L 27.5	L 0.587	จากเครื่อง
70.3	380.3	379.8	351.4	L 20.2	L 0.685	กำเนิดไฟฟ้า
87.2	383.4	382.9	351.8	L 15.4	L 0.863	แบบซิงโครนัส
101.8	389	388.1	355.9	L 13.7	L 0.99	



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณกลางสาย หลังจากการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย

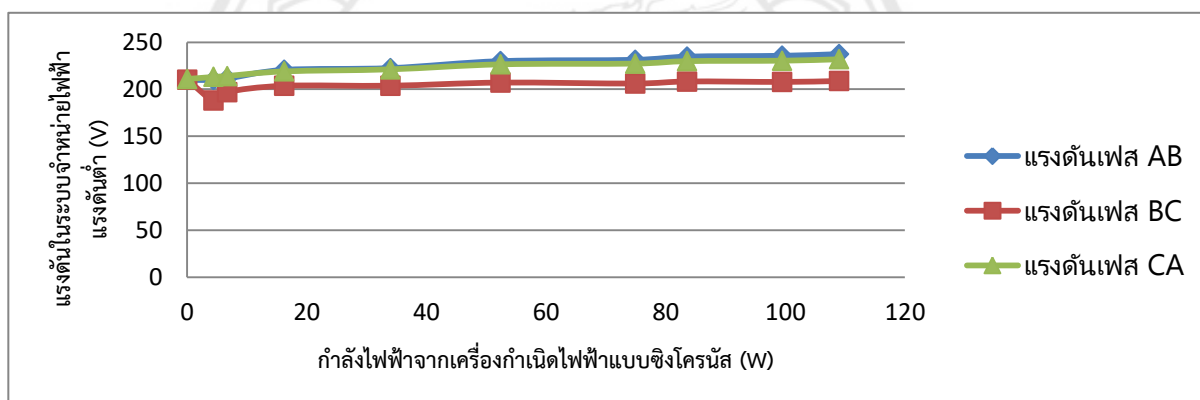
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.25 และ 4.26 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน โดยให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่มีการเชื่อมต่อโหลด ก่อนทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 4.60 % เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.91 % และเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 3.16 % แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มขึ้นเป็น 4.41% มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซ็นต์แรงดันเกิน 3.29 % ดังรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (โวลต์)			เปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
0	210.1	210.9	210.2	0	0.23	สถานะแรกเริ่ม
4.4	213.1	209.9	188.2	0.91	4.60	ต่อโหลด
6.7	214.1	211.4	197.1	3.53	3.16	เชื่อมเข้าระบบ
27.8	220.3	216.4	202.3	3.2	3.29	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
52.4	225.7	220.5	206.1	3.201	3.80	
74.9	227.2	221.7	205.4	3.29	4.17	
99.5	228.3	222.8	204.9	3.29	4.41	

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (โวลต์)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
4.4	379.6	381.4	372.9	L 6.01	L 0.99	สถานะแรกเริ่ม
6.7	342.2	351.2	324.3	L 25.78	L 0.519	เชื่อมเข้าระบบ
27.8	362.8	367.3	338.4	L 21.63	L 0.626	เพิ่มกำลังไฟฟ้า
52.4	376	378.8	346.3	L 19.47	L 0.744	จากเครื่อง
74.9	380.5	382.6	351.6	L 15.65	L 0.853	กำเนิดไฟฟ้า
99.5	392.9	394.6	355.8	L 12.97	L 0.99	แบบซิงโครนัส



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย หลังจากการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย

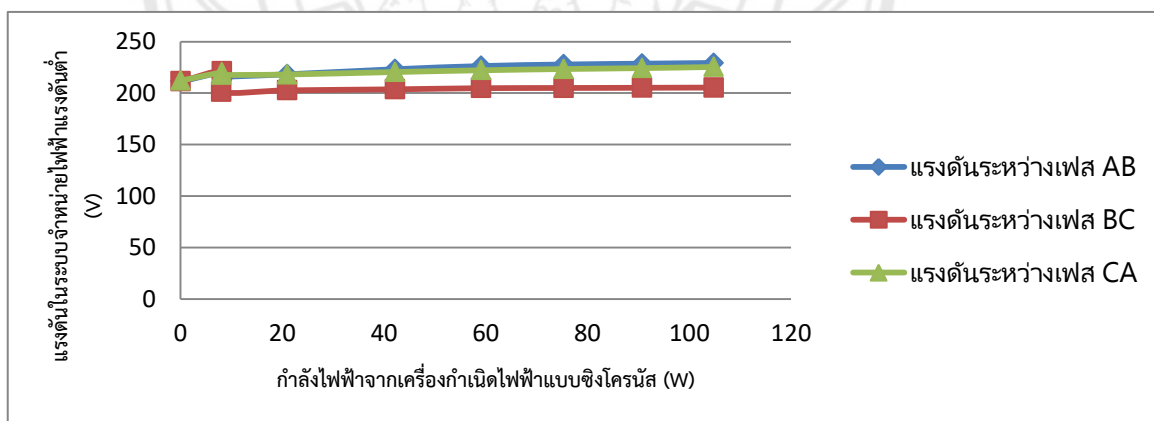
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.27 และ 4.28 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เพอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบมีค่า 0.27 % เพอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.37 % และเพอร์เซ็นต์แรงดันเกินที่ระบบจะลดลงมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 0.24 % หลังจากนั้นให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด พบว่าเพอร์เซ็นต์แรงดันไม่ได้ดุลในระบบก็มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.11 % และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเพอร์เซ็นต์ของแรงดันไม่ได้ดุลเพิ่มเป็น 4.21 % มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเพอร์เซ็นต์แรงดันเกิน 2.92 % ดังรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้า (โวลต์)			เพอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
5.12	211.1	212.1	211.4	0.08	0.27	สภาวะแรกเริ่ม
8.14	220.4	220.2	221.1	0.37	0.24	เชื่อมเข้าระบบ
8.02	216.2	217.8	201.2	1.94	2.11	ต่อโหลด
20.98	218.3	218.1	202.7	1.90	2.47	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
42.15	223.2	220.5	203.7	2.24	3.43	
59.08	226.3	222.2	204.8	2.36	3.92	
75.3	227.8	223.4	205	2.55	4.15	
90.7	228.6	224.3	205.2	2.79	4.21	
104.8	229.3	225.4	205.4	2.92	4.21	

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (โวลต์)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
5.12	403.3	398.5	401.4	L 6.01	L 0.99	สถานะแรกเริ่ม
8.14	360	360.2	362.1	L 39.74	L 0.61	เชื่อมต่อระบบ
8.02	350.8	354.3	337.6	L 50.13	L 0.519	ต่อโหลด
20.98	359.2	361.1	342.8	L 41.8	L 0.579	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
42.15	365.2	367.6	345.8	L 32.53	L 0.644	
59.08	373	374.1	349.3	L 24.74	L 0.736	
75.3	381.1	380.6	353.1	L 21.47	L 0.875	
90.7	384.2	383.4	353.7	L 14.75	L 0.946	
104.8	390.1	389	357.9	L 12.97	L 0.99	



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณกลางสาย ก่อนการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.2.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีการไม่สมดุลของแรงดันหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย

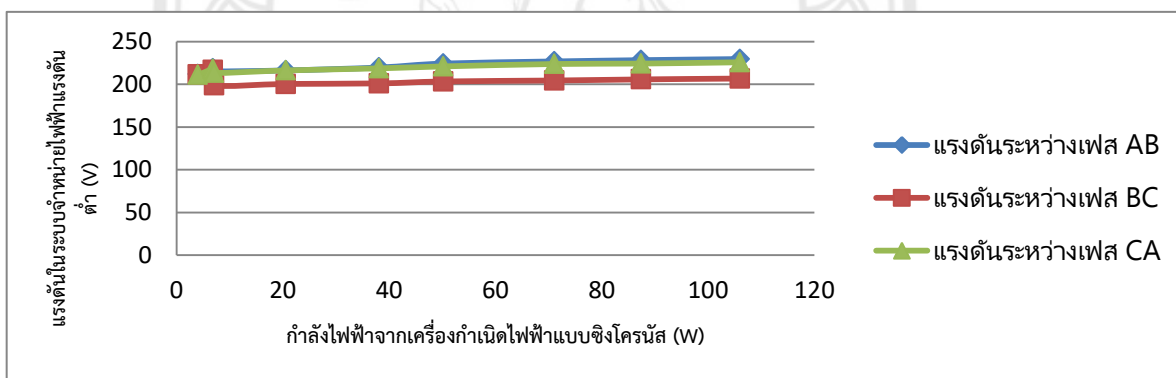
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.29 และ 4.30 การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบที่ไม่สมดุลของแรงดัน พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้อยู่ในระบบมีค่า 0.22 % เปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้อยู่ที่เครื่องกำเนิดเป็น 0.50 % และเปอร์เซนต์แรงดันเกินที่ระบบจะเพิ่มขึ้นมาเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ 0.37 % หลังจากนั้นให้โหลดความต้านทานที่เฟส C 49.4 Ω โดยที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมต่อโหลด พบว่าเปอร์เซนต์แรงดันไม่ได้อยู่ในระบบก็มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.91 % และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบมากขึ้นพบว่าเปอร์เซนต์ของแรงดันไม่ได้อยู่เพิ่มเป็น 4.02 % มีแนวโน้มแยกลงเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสและที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดเปอร์เซนต์แรงดันเกิน 3.17 % ดังรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบ ไฟฟ้า (โวลต์)			เปอร์เซนต์แรงดันไม่สมดุล		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าแบบ ซิงโครนัส	ระบบจำหน่าย ไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
4.03	211.8	210.9	211.3	0.50	0.22	สภาวะแรกเริ่ม
6.85	218.4	217.8	216.6	0.40	0.37	เชื่อมเข้าระบบ
7.05	215.2	216.2	198.9	0.96	2.91	ต่อโหลด
20.58	216.2	216.2	200.4	1.23	2.50	เพิ่มกำลังไฟฟ้า จากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า แบบซิงโครนัส
38.11	219.6	218.6	201	1.49	3.07	
50.21	224.2	220.9	203.3	2.22	3.73	
71.1	226.7	223.7	204.4	2.64	3.86	
87.4	228.2	224.2	205.7	2.96	4.02	
106	229.5	225.7	206.7	3.17	4.02	

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบการไม่สมดุลของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหลังจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันระหว่างเฟสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (โวลต์)			กำลังจินตภาพ(Var)		หมายเหตุ
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	กำลังจินตภาพ	ค่าตัวประกอบกำลัง	
4.03	396.2	394.7	387.3	L 5.96	L 0.99	สถานะแรกเริ่ม
6.85	357	355.7	354	L 31.56	L 0.725	เชื่อมเข้าระบบ
7.05	353.1	345.1	327.2	L 40.8	L 0.689	ต่อโหลด
20.58	359	351.7	331.5	L 37.27	L 0.612	เพิ่มกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส
38.11	364	356.9	334	L 31.83	L 0.678	
50.21	374.2	370.2	342	L 26.24	L 0.776	
71.1	379	375.8	343.6	L 22.36	L 0.889	
87.4	385	382.6	347.1	L 17.56	L 0.976	
106	391.2	389.4	351.7	L 14.85	L 0.99	



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย ก่อนการไม่สมดุลของโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

สรุปผลการทดสอบปัญหาความไม่สมดุล ในกรณีระบบไม่สมดุลก่อนเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลน้อยกว่ากรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังจากระบบไม่สมดุล เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งการเชื่อมต่อ ที่ตำแหน่งกลางสายจะมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลน้อยกว่าที่ตำแหน่งปลายสาย ในกรณีเชื่อมเข้าสู่ระบบที่ปลายสายเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสจะมีผลกระทบความไม่สมดุลที่เครื่องกำเนิดมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และที่ความไม่สมดุลที่ระบบไฟฟ้ากรณี

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีผลกระทบมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 สรุปผลการทดสอบปัญหาความไม่สมดุล

	เปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลเมื่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ		เปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลเมื่อเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส	
	ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ที่ระบบไฟฟ้า	ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ที่ระบบไฟฟ้า
ไม่สมดุลก่อนเชื่อมที่กลางสาย	2.03	4.91	3.0	4.4
ไม่สมดุลก่อนเชื่อมที่ปลายสาย	2.24	4.67	3.29	4.41
ไม่สมดุลหลังเชื่อมที่กลางสาย	2.11	4.92	2.92	4.21
ไม่สมดุลหลังเชื่อมที่ปลายสาย	2.15	4.81	3.17	4.02

4.3 ผลการแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัว

จากการทำการทดสอบเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ พบว่าทำให้แรงดันในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่นำมาเชื่อมต่อ แต่การเพิ่มของแรงดันที่มากเกินไปก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าตามมา โดยปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่กล่าวถึงนี้คือ “แรงดันเกิน” ซึ่งจากระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559 กำหนดไว้ว่าแรงดันต้องไม่เกิน 9.09 % ทั้งในสถานะฉุกฉินและสถานะปกติ แต่จากการทดลองข้างต้น พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองชนิดทำให้แรงดันในระบบไฟฟ้าสูงเกินกว่าที่ค่ามาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะยอมรับได้ ดังนั้นจึงต้องมีการลดระดับของแรงดันในระบบไฟฟ้าให้กลับมาอยู่ในช่วงมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

4.3.1 ผลการแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัว ว่าด้วยแรงดันเกิน ที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ใช้หลักการลดขนาดของแรงดันที่ส่งมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่กล่าวไปในบทที่ 3 ว่าด้วยเรื่องแนวทางการแก้ไขปัญหาระดับแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

4.3.1.1 ผลการแก้ไขปัญหาระดับแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย

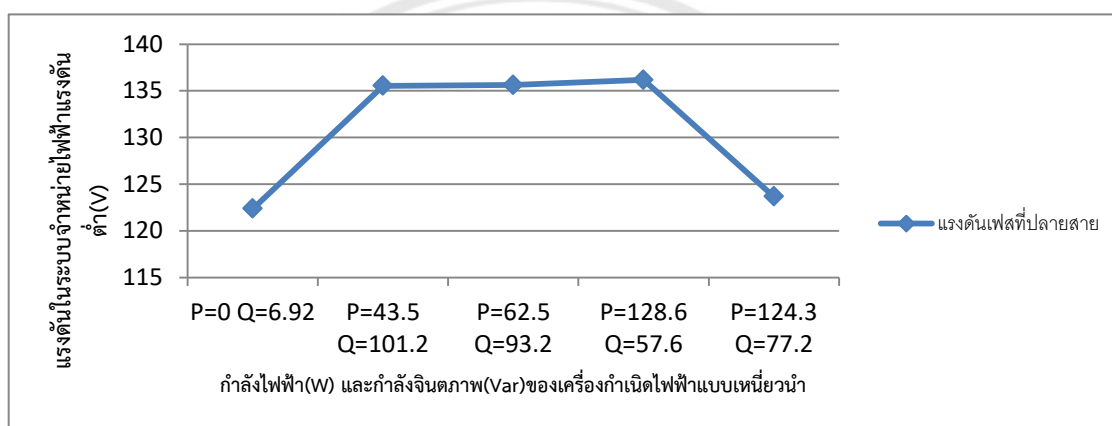
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.32 และ 4.33 การต่อคร่อมตัวเก็บประจุด้วยตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย สามารถลดขนาดของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำได้โดยเมื่อทำการเปรียบที่ระดับกำลังไฟฟ้าเดียวกันกับก่อนมีการต่อคร่อมตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H พบว่าระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าลดลงเป็นอย่างมาก จาก 136.17 V เป็น 123.67 V และจากเดิมเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินอยู่ที่ 11.28 % ลดลงอย่างมากจนเป็น 1.06 % ดังรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สถานะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง				
กำลังไฟฟ้า(w)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (v)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย(v)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง	หมายเหตุ
0	122.37	212.13	0	ก่อนเชื่อม
43.5	135.53	232.9	9.94	หลังเชื่อม
62.5	135.63	235	10.84	
128.6	136.17	235.8	11.28	
124.3	123.67	213.9	1.06	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย

ตารางที่ 4.33 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า(W)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ(Var)	ตัวประกอบกำลัง	หมายเหตุ
6.01	L 6.92	L 0.655	ก่อนเชื่อม
43.5	L 101.2	L 0.395	หลังเชื่อม
62.5	L 93.2	L 0.556	เพิ่มกำลังไฟฟ้า
128.6	L 57.6	L 0.912	
124.3	L 77.2	L 0.849	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย

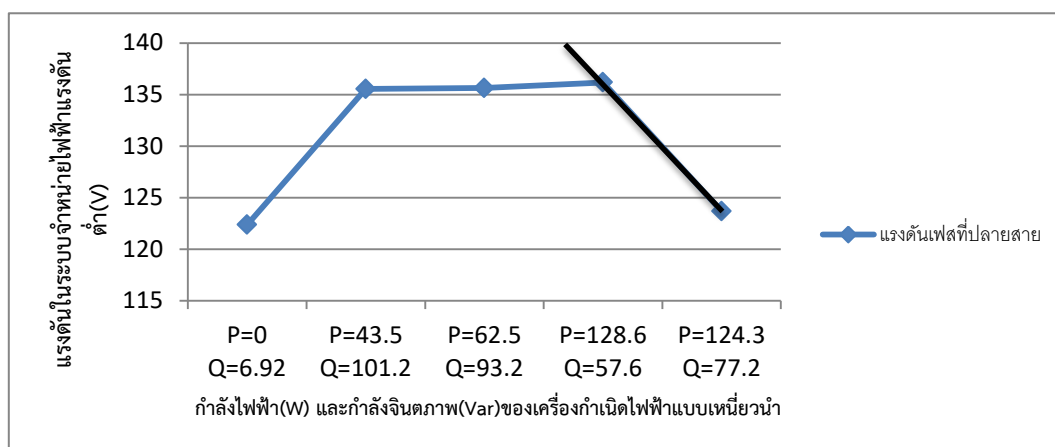
จากรูปที่ 4.32 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพดังรูปที่ 4.33 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{123.67 - 136.17}{77.2 - 57.6}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.64 \text{ V/Var}$$

จะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายสายเป็น -0.64 V/Var



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฟสที่ปลายสายต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 1 ตัวที่ปลายสาย

4.3.1.2 ผลการแก้ไขปัญหาแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว ที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

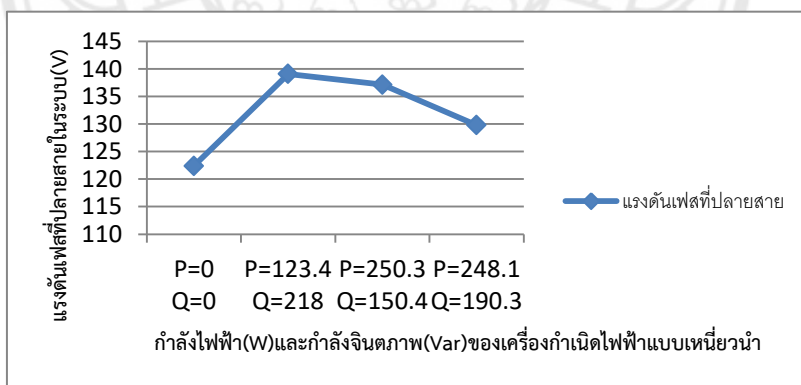
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.34 และ 4.35 การต่อคร่อมตัวเก็บประจุด้วยตัวเหนี่ยวนำสามารถลดขนาดของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำได้ โดยเมื่อทำการเปรียบที่ระดับกำลังไฟฟ้าเดียวกันกับก่อนมีการต่อคร่อมตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสาย พบว่าระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าลดลงเป็นอย่างมากที่ปลายสาย จาก 137.13 V เป็น 129.77 V เมื่อเพิ่มตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2 พบว่าระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าลดลงเป็นที่ปลายสาย จาก 129.77 V เป็น 122.07 V และจากเดิมเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินอยู่ที่ 11.03 % ลดลงอย่างมากจนเป็น 5.98 % ดังรูปที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
แบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง							
กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดัน เฟสใน ระบบที่ กลางสาย (V)	แรงดัน เฟสใน ระบบที่ ปลาย สาย(V)	แรงดัน ระหว่าง เฟสใน ระบบที่ กลางสาย (V)	แรงดัน ระหว่าง เฟสใน ระบบที่ ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์ แรงดันเฟส ในระบบที่ เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์ แรงดันเฟส ในระบบที่ เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	หมายเหตุ
0	122.47	122.37	212.8	212.87	0	0	ก่อนเชื่อม
123.4	138.5	139.07	239.63	240.4	11.91	12.27	เชื่อมเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าตัวที่ 1 และ 2
250.3	136.7	137.13	236.17	237.07	10.75	11.03	ปรับกำลังเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 และ 2
248.1	129.43	129.77	223.83	224.83	5.74	5.98	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ ปลายสาย

ตารางที่ 4.35 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าจลิตภาพ(Var)			ค่าตัวประกอบกำลัง		หมายเหตุ
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2	รวม	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2	
123.4	L 95	L 123	L 218	L 0.39	L 0.56	หลังเชื่อมต่อเครื่องกำเนิด 2 ตัว
250.3	L 58.4	L 92	L 150.4	L 0.906	L 0.81	ปรับกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 และ 2
248.1	L 91.3	L 99	L 190.3	L 0.787	L 0.79	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่กลางสายและปลายสาย

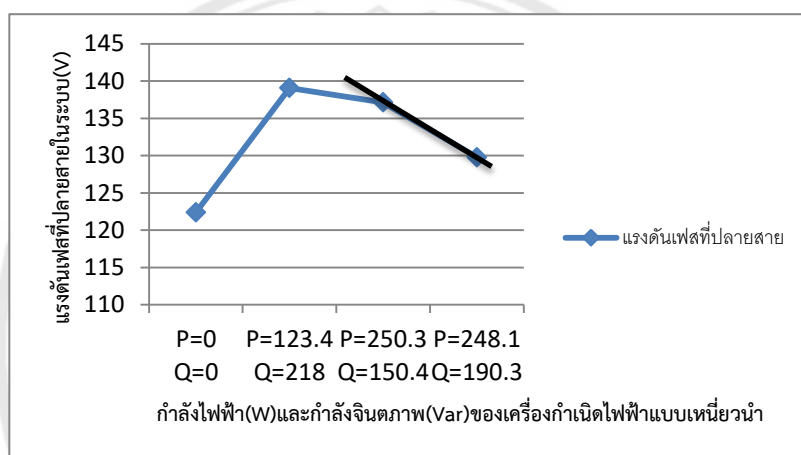
จากรูปที่ 4.34 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจลิตภาพดังรูปที่ 4.35 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{129.77 - 137.13}{190.3 - 150.4}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.18 \text{ V/Var}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายสายเป็น -0.18 V/Var



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวนที่กลางสายและปลายสาย

4.3.1.3 ผลการแก้ไขปัญหาแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าที่มีผลมาจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัว ที่บริเวณปลายสาย

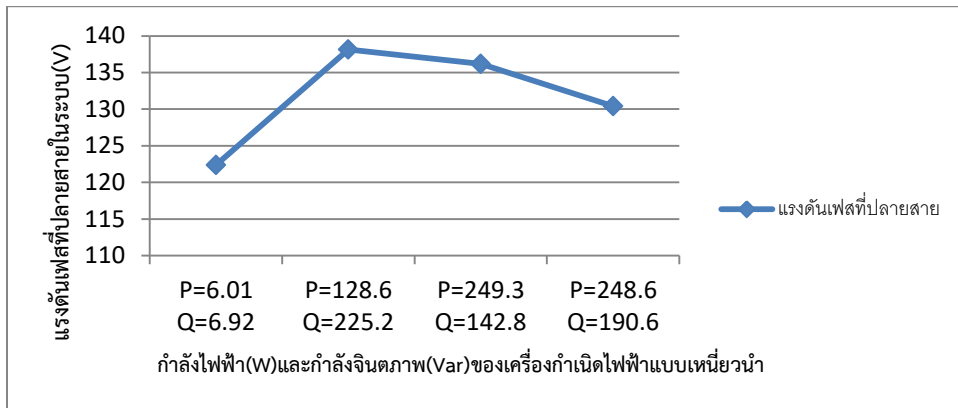
จากตารางผลการทดสอบที่ 4.36 และ 4.37 การต่อคร่อมตัวเก็บประจุด้วยตัวเหนี่ยวนำสามารถลดขนาดของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ระดับกำลังไฟฟ้าเดียวกันกับก่อนมีการต่อคร่อมตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสาย พบว่าระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าลดลงเป็นอย่างมากที่ปลายสายจาก 138.13 V เป็น 130.4 V เมื่อเพิ่มตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2 พบว่าระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าลดลงเป็นที่ปลายสายจาก 130.4 V เป็น 122.5 V และทำให้ค่าจินตภาพเพิ่มขึ้นและจะเปลี่ยนค่าจินตภาพจากนำหน้ากลายเป็นแบบตามหลัง และจากเดิมเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินอยู่ที่ 11.67 % ลดลงอย่างมากจนเป็น 6.41 % ดังรูปที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้า 2 ตัวที่บริเวณปลายสาย

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง							
กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	หมายเหตุ
0	122.5	122.37	212.17	212.13	0	0	ก่อนเชื่อม
128.6	137.13	138.13	236.16	238.67	10.67	11.67	เชื่อมกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัว
249.3	135.73	136.17	234.9	235.8	9.75	10.40	ปรับกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว
248.6	130.03	130.4	224.93	225.67	5.79	6.41	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย

ตารางที่ 4.37 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเข้ากับระบบไฟฟ้า 2 ตัวที่บริเวณปลายสาย (ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าจินตภาพ(Var)		ค่าตัวประกอบกำลัง		หมายเหตุ
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัวที่ 2	
6.01	L 6.92	0	L 0.655	0	ก่อนเชื่อม
128.6	L 101.2	L 124	L 0.912	0	เชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว
249.3	L 56.8	L 86	L 0.909	L 0.82	ปรับกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2
248.6	L 95.6	L 95	L 0.77	L 0.81	เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่ปลายสาย



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฟสที่ปลายสายต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่ปลายสาย 2 ตัว

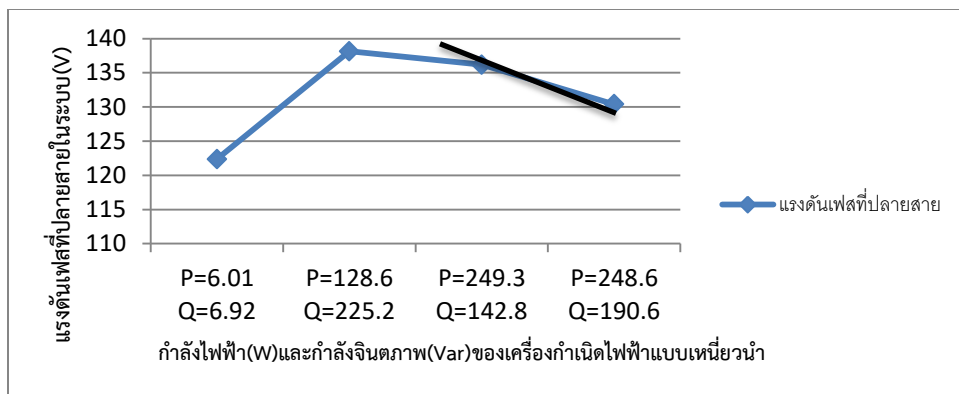
จากรูปที่ 4.36 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพดังรูปที่ 4.37 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{130.4 - 136.17}{190.6 - 142.8}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.12 \text{ V/Var}$$

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายสายเป็น -0.12 V/Var



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฟสที่ปลายสายต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตัวที่ปลายสาย

4.3.2 ผลการแก้ไขผลทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

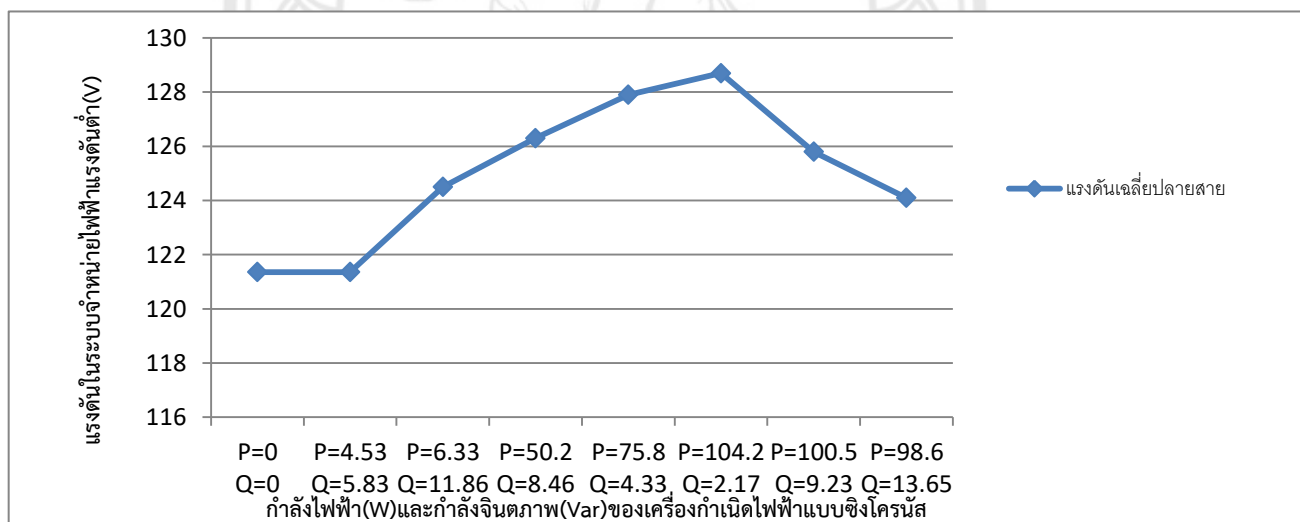
ตามทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส จะสามารถแรงดันให้ลดลงโดยการปรับแรงดันกระตุ้นที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

4.3.2.1 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.38 การทดสอบแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัว ที่บริเวณปลายสาย พบว่าก่อนการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดัน 122.12 V ไปที่ 124.5 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6.02 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าไปถึงประมาณ 100 W แรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 128.9 และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเป็น 5.55 % ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09 % ทำให้ระบบยังอยู่ในสภาวะปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.43

ตารางที่ 4.38 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลง						
กำลังไฟฟ้า(w)		แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย(v)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย(v)	ค่าตัวประกอบกำลัง	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง	หมายเหตุ
จริง	จินตภาพ (Var)					
0	0	121.36	212.12	0	0	ก่อนเชื่อม
4.53	C 5.83	121.36	212.12	C 0.55	0	หลังเชื่อม
6.33	L 11.86	124.5	214.9	L 0.543	2.58	
50.2	L 8.46	126.3	217.8	L 0.834	4.07	
75.8	L 4.33	127.9	221.33	L 0.999	4.49	
104.2	L 2.17	128.7	222.7	L 0.999	5.38	
100.5	L 9.23	125.8	216.7	L 0.890	3.6	ปรับกระแส
98.6	L 13.65	124.1	214.6	L 0.848	2.2	กระตุ้น



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย

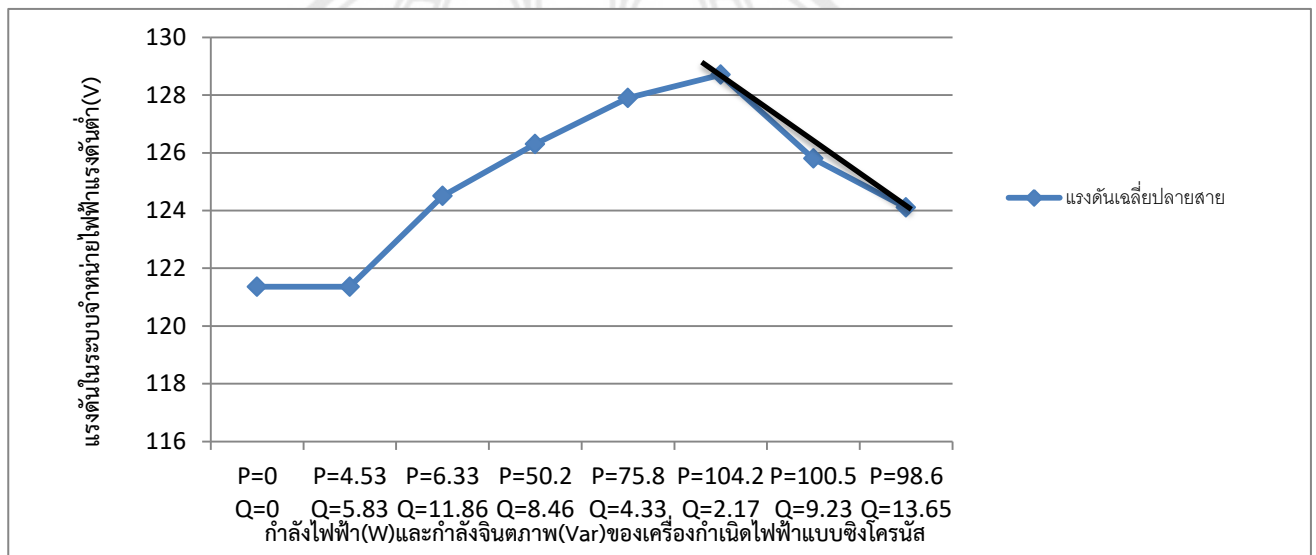
จากรูปที่ 4.38 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพดังรูปที่ 4.39 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{124.1 - 128.7}{13.65 - 2.17}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.4 \text{ V/Var}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายสายเป็น -0.4 V/Var



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย

4.3.2.2 ผลแก้ไขการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

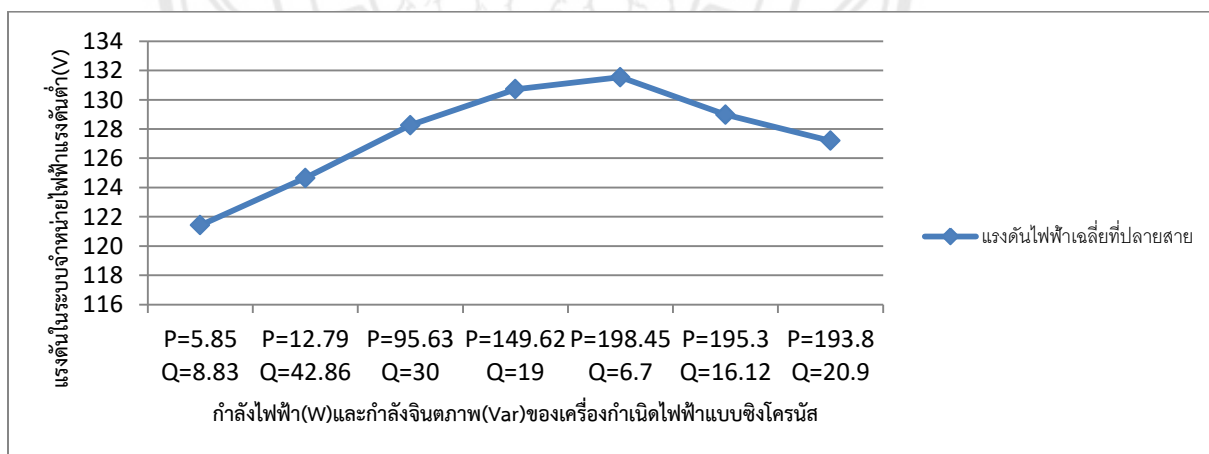
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.39 และ 4.40 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่บริเวณกลางและปลายสายอย่างละ 1 ตัว เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันเฟส 122.14 V ไปที่ 124.5 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวม 13.86 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ไปถึงประมาณ 100 w แรงดันเฟสที่ปลายสายอยู่ที่ 131.07 V และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าเป็น 7.56 % ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09 % ทำให้ระบบอยู่ไม่อยู่ในสภาวะแรงดันเกิน ดังแสดงในรูปที่ 4.40

ตารางที่ 4.39 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)			กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 1 (Var)	กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 2 (Var)	รวม กำลัง จินตภาพ	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 1	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 2	หมายเหตุ
เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 1	เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 2	รวม						
3.85	2	5.85	4.83	4	8.83	L 0.99	L 0.99	ก่อนเชื่อม ระบบ
5.79	7	12.79	11.86	31	42.86	L 0.453	L 0.64	หลังเชื่อม ระบบ
45.63	50	95.63	9	21	30	L 0.86	L 0.821	
74.62	75	149.62	6	13	19	L 0.99	L 0.99	
99.45	99	198.45	4.7	2	6.7	L 0.99	L 0.99	ปรีกระแส กระตุ้น
98.3	97	195.3	10.32	5.8	16.12	L 0.916	L 0.885	
97.8	96	193.8	12.6	8.3	20.9	L 0.831	L 0.841	

ตารางที่ 4.40 ผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณกลางสายและปลายสาย(ต่อ)

กำลังไฟฟ้า (W)	เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย						หมายเหตุ
	แรงดันเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่กลางสาย (V)	แรงดันระหว่างเฟสในระบบที่ปลายสาย (V)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	
5.85	121.77	121.43	210.76	210.46	0	0	ก่อนเชื่อมระบบ
12.79	124.37	124.65	215.07	215.3	2.1	2.6	หลังเชื่อม
95.63	127.83	128.26	220.43	221.56	4.9	5.6	
149.62	130.32	130.72	225.37	226.11	7.0	7.6	
198.45	130.97	131.54	226.32	227.54	7.5	7.8	
195.3	128.67	128.98	222.86	223.12	5.6	6.2	ปรับกระแสกระตุ้น
193.8	126.78	127.2	220.32	220.67	4.1	4.7	



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่กลางสายและปลายสาย

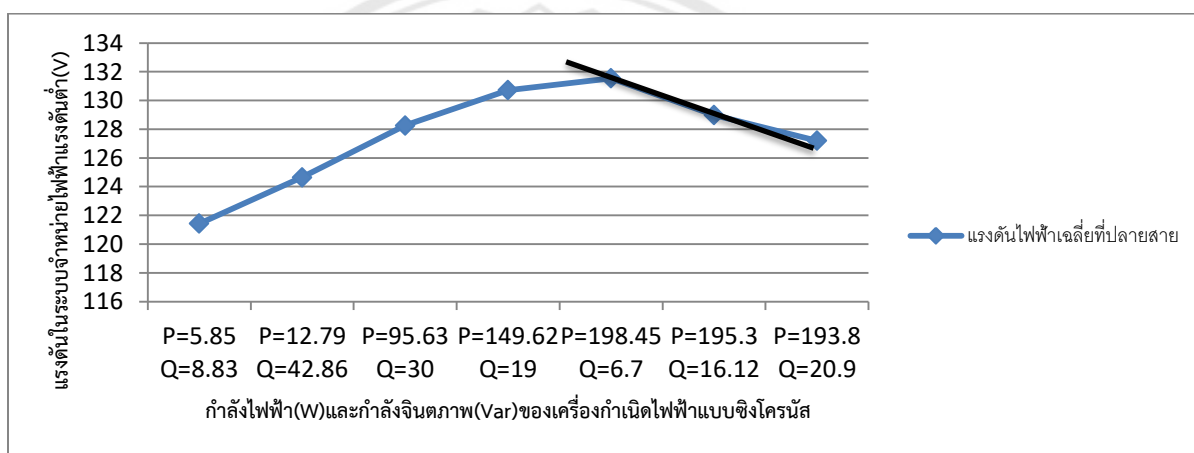
จากรูปที่ 4.40 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพดังรูปที่ 4.41 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{127.2 - 131.54}{20.9 - 6.7}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.3 \text{ V/Var}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายสายเป็น -0.3 V/Var



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่กลางสายและปลายสาย

4.3.2.3 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

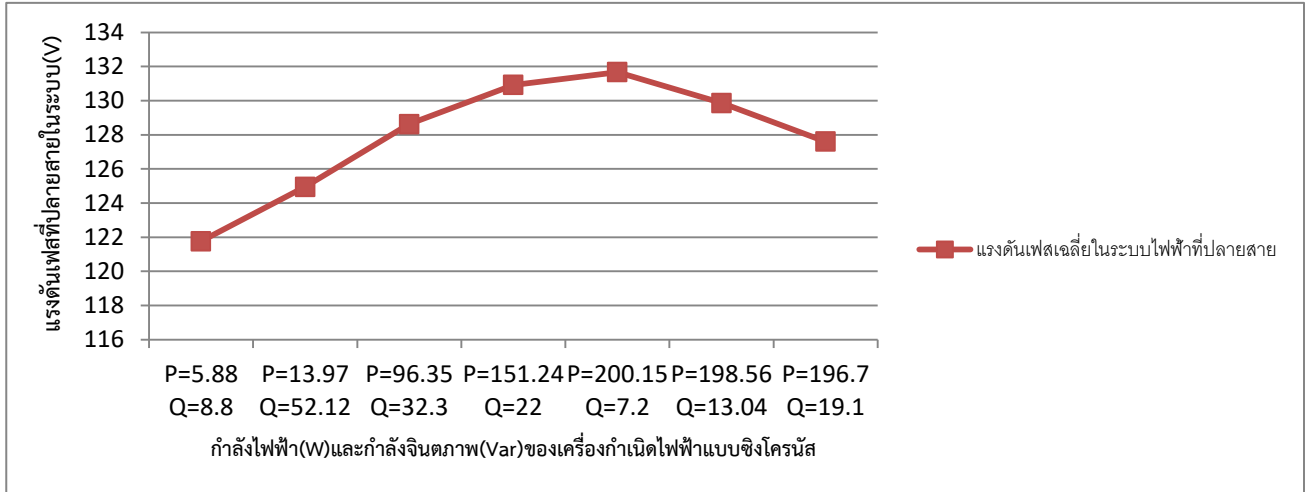
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.41 และ 4.42 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว ที่บริเวณปลายสาย เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากที่ระดับแรงดันเฟส 122.23 V ไปที่ 124.6 V ที่กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 12.57 W และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ไปถึงประมาณ 100 W แรงดันเฟสที่ปลายสายอยู่ที่ 131.67 V และเปอร์เซ็นต์แรงดันเฟสในระบบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าเป็น 7.7 % ซึ่งน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9.09 % ทำให้ระบบยังอยู่ในสภาวะปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.42

ตารางที่ 4.41 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย

กำลังไฟฟ้า(W)			กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 1 (Var)	กำลัง จินตภาพ ตัวที่ 2 (Var)	รวม กำลัง จินตภาพ	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 1	ค่าตัว ประกอบ กำลังตัว ที่ 2	หมายเหตุ
เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 1	เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า ตัวที่ 2	รวม						
3.88	2	5.88	4.4	4	8.8	L 0.99	L 0.99	ก่อนเชื่อม ระบบ
5.97	8	13.97	13.12	39	52.12	L 0.54	L 0.68	หลังเชื่อม ระบบ
46.35	50	96.35	9.3	23	32.3	L 0.89	L 0.841	
76.24	75	151.24	7	15	22	L 0.99	L 0.99	
100.15	100	200.15	4.2	3	7.2	L 0.99	L 0.99	ประกัน กระตุ้น
99.56	99	198.56	8.44	4.6	13.04	L 0.906	L 0.878	
98.7	98	196.7	11.4	7.7	19.1	L 0.862	L 0.823	

ตารางที่ 4.42 ผลการทดสอบการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัวเมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัวเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บริเวณปลายสาย(ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เปลี่ยนแปลงที่ปลายสาย							
กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดัน เฟสใน ระบบที่ กลางสาย (V)	แรงดัน เฟสใน ระบบที่ ปลาย สาย(V)	แรงดัน ระหว่าง เฟสใน ระบบที่ กลางสาย (V)	แรงดัน ระหว่าง เฟสใน ระบบที่ ปลาย สาย(V)	เปอร์เซ็นต์ แรงดันเฟส ในระบบที่ เปลี่ยนแปลง (กลางสาย)	เปอร์เซ็นต์ แรงดันเฟส ในระบบที่ เปลี่ยนแปลง (ปลายสาย)	หมายเหตุ
5.88	122.14	121.76	211.86	211.64	0	0	ก่อนเชื่อม ระบบ
13.97	124.13	124.95	214.77	215.43	1.6	2.6	หลังเชื่อม ระบบ
96.35	127.36	128.62	220.55	221.62	4.2	5.6	
151.24	130.42	130.92	225.14	226.21	6.7	7.5	
200.15	130.68	131.67	226.46	227.46	7.0	8.1	ประกัน กระตุ้น
198.56	129.76	129.86	222.68	223.32	6.2	6.6	
196.7	127.2	127.6	220.67	220.98	4.1	4.8	



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายทางในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายทาง 2 ตัว

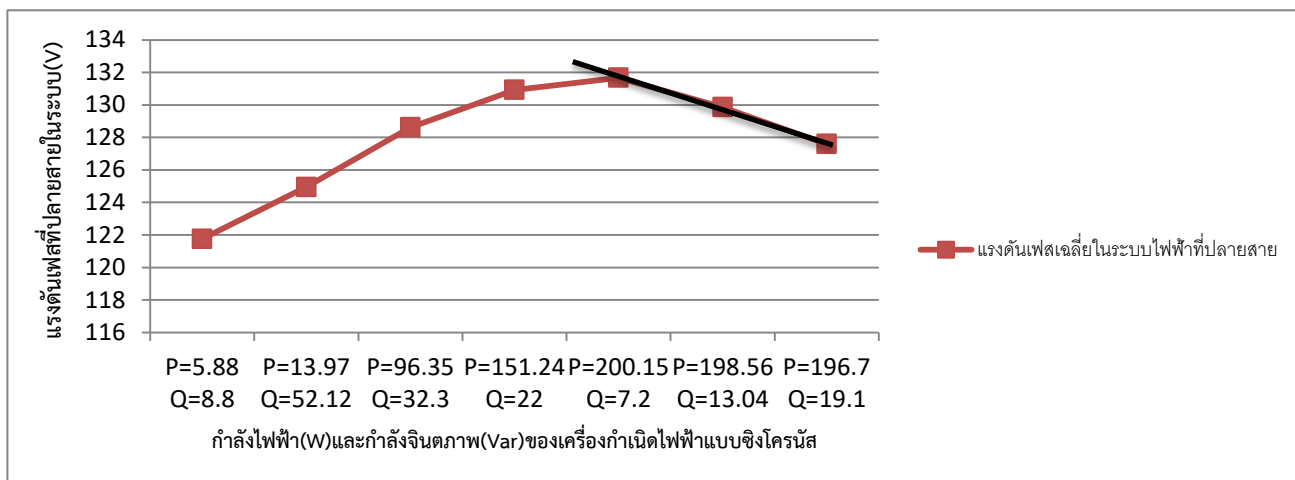
จากรูปที่ 4.42 สร้างเส้นแนวโน้มของรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพดังรูปที่ 4.43 เป็น

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{127.6 - 131.67}{19.1 - 7.2}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = -0.34 \text{ V/Var}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อกำลังไฟฟ้าจินตภาพของเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน 1 ตัว ที่ปลายทางเป็น -0.34 V/Var



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ปลายสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำต่อกำลังไฟฟ้าและกำลังจินตภาพจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย 2 ตัว

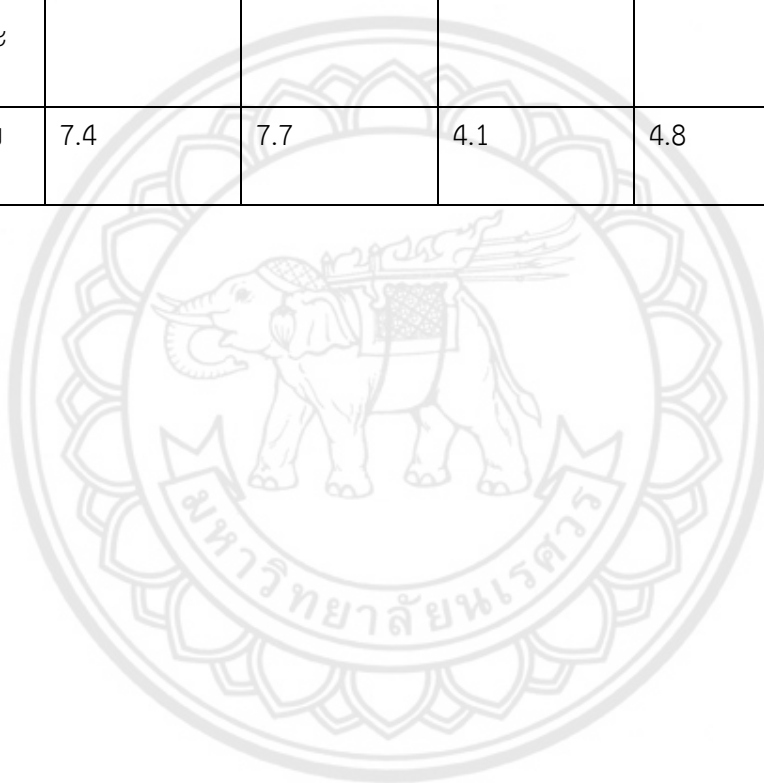
สรุปผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ตัวเชื่อมต่อที่ปลายสาย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะมีเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ แต่เมื่อมีเครื่องกำเนิด 2 ตัวเชื่อมเข้าสู่ระบบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินมากกว่าแบบซิงโครนัส และเมื่อเชื่อมต่อที่ปลายสาย 2 ตัวมีเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินมากกว่าที่กลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัว ดังตาราง 4.43

ตารางที่ 4.43 สรุปผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว

	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ				$\frac{\Delta V}{\Delta Q}$ (V/Var)
	เปอร์เซ็นต์แรงดันเกินในระบบไฟฟ้า				
	ก่อนเพิ่มความเหนี่ยวนำ		หลังเพิ่มความเหนี่ยวนำ		
	กลางสาย	ปลายสาย	กลางสาย	ปลายสาย	
เชื่อมต่อที่ปลายสาย 1 ตัว	-	10.86	-	1.06	- 0.64
เชื่อมต่อที่กลางสายและปลายสาย อย่างละ 1 ตัว	11.46	11.86	5.74	5.98	- 0.18
เชื่อมต่อที่ปลายสาย 2 ตัว	12.5	13.17	5.79	6.41	- 0.12

ตารางที่ 4.44 สรุปผลการแก้ไขการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว(ต่อ)

	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส				
	เปอร์เซ็นต์แรงดันเกินในระบบไฟฟ้า				$\frac{\Delta V}{\Delta Q}$ (V/Var)
	ก่อนลดกระแสกระตุ้น		หลังลดกระแสกระตุ้น		
	กลางสาย	ปลายสาย	กลางสาย	ปลายสาย	
เชื่อมที่ปลายสาย 1 ตัว	-	5.55	-	2.2	- 0.4
เชื่อมที่กลางสายและปลายสาย อย่างละ 1 ตัว	7.28	7.58	4.1	4.7	- 0.3
เชื่อมที่ปลายสาย 2 ตัว	7.4	7.7	4.1	4.8	- 0.34



บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาการทดสอบเรื่อง “ทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย” นั้น ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เข้าสู่ระบบ โดยปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่สนใจคือ ปัญหาปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว และปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดไว้ว่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินต้องไม่มากกว่า 9.09% และตามมาตรฐาน IEC 61000-2-2 : 2002-03 ระดับความเข้ากันได้สำหรับการรบกวนตามสายความถี่ต่ำและการส่งสัญญาณระบบจำหน่ายสาธารณะแรงดันต่ำ ได้กล่าวไว้ปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน ไม่ควรเกิน 2 %

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบ ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1 ตัวที่ปลายสาย มีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงเป็น 0.07 V/W ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่กลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัวมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่กลางสายและที่ปลายสายเป็น 0.055 V/W เท่ากัน ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ปลายสาย 2 ตัวมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่กลางสายและที่ปลายสายเป็น 0.054 V/W และ 0.056 V/W ตามลำดับ

ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 1 ตัวที่ปลายสาย มีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงเป็น 0.129 V/W ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่กลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัวมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่กลางสายและที่ปลายสายเป็น 0.142 V/W และ 0.154 V/W ตามลำดับ ในกรณีเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสาย 2 ตัวมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่กลางสายและที่ปลายสายเป็น 0.142 V/W และ 0.149 V/W ตามลำดับ

ในกรณีปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน ได้ทำการเพิ่มโหลดความต้านทานที่เฟส C ขนาด 49.4 Ω และที่เฟส A และ B ไม่ได้มีการเชื่อมโหลด เปอร์เซนต์ความไม่สมดุลของแรงดันที่ระบบได้ประมาณ 4 % เมื่อการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบแล้วไม่เพิ่มกำลังไฟฟ้าทั้งกรณีกลางสายและปลายสาย จะทำให้เปอร์เซนต์ความไม่สมดุลลดลง แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าไปถึงประมาณ 100 W จะทำให้เปอร์เซนต์ความไม่สมดุลของแรงดันที่ระบบกลับมามีค่าใกล้เคียงเปอร์เซนต์ความไม่สมดุลของแรงดันเริ่มต้น โดยที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าที่ปลายสายจะมีเปอร์เซนต์ความไม่สมดุลมากกว่าที่กลางสาย ซึ่งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีผลต่อเปอร์เซนต์ความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าประมาณ 4.9% ซึ่งมากกว่าเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสมีผลต่อเปอร์เซนต์ความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าประมาณ 4.3 % แต่เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้า พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะมีเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันประมาณ 3 % ซึ่งมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำมีเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันประมาณ 2 %

การแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบ ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะทำการเพิ่มตัวเหนี่ยวนำขนาด 5.5 H ต่อขานที่จุดเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ปลายสาย ในกรณีทำการเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 ตัวที่ปลายสาย พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าไปถึงประมาณ 100 W จะทำให้เกิดแรงดันเกิน 10.86% ผู้ทำการทดสอบได้เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่ปลายสายเพื่อลดขนาดของแรงดันเกิน ผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันลดลงเป็น 1.06 % และกำลังไฟฟ้าที่ส่งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำลดลงเล็กน้อย ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเชื่อมที่ปลายสาย พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าแต่ละตัวไปถึงประมาณ 115 W (รวม 230 W) จะทำให้เกิดแรงดันเกินประมาณ 13.17% ผู้ทำการทดสอบได้เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัว 1 ชุดที่ตำแหน่งปลายสาย เพื่อลดขนาดของแรงดันเกิน ผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันลดลงที่กลางสายและปลายสายเป็น 5.74% และ 5.98 % ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าที่ส่งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำลดลงเล็กน้อย ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 2 ตัวเชื่อมที่กลางสายและปลายสาย พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าแต่ละตัวไปถึงประมาณ 115 W จะทำให้เกิดแรงดันเกินประมาณ 11.46% และ 11.86% ที่กลางสายและปลายตามลำดับ ผู้ทำการทดสอบได้เพิ่มตัวเหนี่ยวนำที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำตัว 1 ชุดที่ตำแหน่งปลายสาย เพื่อลดขนาดของแรงดันเกิน ผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันลดลงเป็น 5.79% และ 6.41% และกำลังไฟฟ้าที่ส่งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำลดลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามที่กล่าวในบทที่ 3.5.1.1 เมื่อเพิ่มความเหนี่ยวนำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะสามารถลดแรงดันที่เกิดขึ้นได้

การแก้ไขปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบ ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เราสามารถควบคุมค่ากำลังจินตภาพที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสได้โดยการปรับกระแสกระตุ้นให้น้อยลงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังแบบล้าหลังลดลงทำให้ความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น และส่งผลให้แรงดันที่เกิดขึ้นลดลง เมื่อมีการเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 1ตัว ที่ปลายสาย เพิ่มกำลังไฟฟ้าไปจนถึงแต่ละตัวจ่ายประมาณ 100 W (รวม 200 W) จะทำให้เกิดแรงดันเกิน 5.5 % ผู้ทำการทดสอบได้ลดขนาดของกระแสกระตุ้นลงเพื่อลดขนาดของแรงดันผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินลดลงเป็น 2.2 % เกิดความสัมพันธ์ระหว่างกำลังจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงต่อแรงดันเฟสในระบบที่ปลายสายเปลี่ยนแปลงเป็น -0.4 V/Var เมื่อมีการเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ที่กลางสายและปลายสาย อย่างละ 1 ตัว และเพิ่มกำลังไฟฟ้าแต่ละตัวพร้อมกันไปจนถึงประมาณ 100 W จะทำให้เกิดแรงดันเกิน 7.56 % ผู้ทำการทดสอบได้ลดขนาดของกระแสกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสตัวที่ 1 ลงเพื่อลดขนาดของแรงดัน ผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินลดลงเป็น 4.7 % เกิดความสัมพันธ์ระหว่างกำลังจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงต่อแรงดันเฟสในระบบที่ปลายสายเปลี่ยนแปลงเป็น -0.3 V/Var เมื่อมีการเชื่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 2 ตัว ที่ปลายสาย เพิ่มกำลังไฟฟ้าแต่ละตัวพร้อมกันไปจนถึงประมาณ 100 W จะทำให้เกิดแรงดันเกิน 7.7 % ผู้ทำการทดสอบได้ลดขนาดของกระแส

กระตุ้น ลงเพื่อลดขนาดของแรงดัน ผลที่ได้คือเปอร์เซ็นต์แรงดันเกินลดลงเป็น 4.8 % เกิดความสัมพันธ์ระหว่างกำลังจินตภาพที่เปลี่ยนแปลงต่อแรงดันเฟสในระบบที่ปลายสายเปลี่ยนแปลงเป็น -0.34 V/Var จากการทดสอบพบว่าเป็นไปตามทฤษฎีในบทที่ 2.7.2 เมื่อลดขนาดของกระแสกระตุ้น ลงจะทำให้แรงดันของเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสลดลง แล้วผลกระทบที่ปลายสาย 2 ตัวจะมากกว่าผลกระทบที่กลางสายและปลายสายอย่างละ 1 ตัว

5.2 อภิปรายผล

ผลที่ได้จากการทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ จากการทดสอบปัญหาการรักษาระดับแรงดันที่สภาวะคงตัว เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีในบทที่ 2 ได้แก่เพิ่มความเหนี่ยวนำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเพื่อลดขนาดของแรงดันลง ทำให้เปอร์เซ็นต์แรงดันเกินในระบบไฟฟ้าลดลง เพื่อให้ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำอยู่ในมาตรฐานของการไฟฟ้า เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส สามารถปรับลดค่ากระแสกระตุ้นเพื่อลดขนาดกำลังจินตภาพ ซึ่งกำลังจินตภาพส่งผลต่อค่าแรงดันที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

ผลที่ได้จากการทดสอบผลกระทบต่อแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ จากการทดสอบปัญหาความไม่สมดุลของแรงดัน เมื่อมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเข้าสู่ระบบ โดยยังไม่เพิ่มค่ากำลังไฟฟ้า จะทำให้เปอร์เซ็นต์แรงดันที่ระบบไม่สมดุลนั้นดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่ากำลังไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีกำลังไฟฟ้ามากขึ้น และที่ตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะมีเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลมากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

5.3 ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีจำกัด ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายขึ้นจะทำให้ต้องเสียเวลาในการซ่อมบำรุงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศักดิ์ชัย นรสิงห์. (ม.ป.ป.). คุณภาพกำลังไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 19 ธันวาคม 2561. เข้าถึงได้จาก http://www.tinamics.com/download/tinamics_com/power_quantity_sakchai.df
- [2] ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 19 ธันวาคม 2560, เข้าถึงได้จาก <http://www.pq-team.com/engineering-zone/harmonic-problem>
- [3] ไชยะ แซ่มน้อย. (2554). คู่มือคุณภาพไฟฟ้า. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [4] ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2561, เข้าถึงได้จาก https://www.pea.co.th/Portals/0/Document/connection_code_2016_20170928.pdf
- [5] ดร.ยุทธพงศ์ ทัพผดุง. (ม.ป.ป.).ผลกระทบต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2561. เข้าถึงได้จาก <http://esd.pea.co.th/electrical-engineering-articles/26-three-phases-motor>
- [6] ชिरารุช ไชยเมือง , ไพรัช วงศเหมอะ. “ระบบผลิตไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ” ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรัตนนคร 2557.
- [7] ตฤณ แสงสุวรรณ. (2556). คุณภาพไฟฟ้า. (บทที่ 9 หน้า 269-289). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [8] นภัทร วัจนเทพินทร์. (2554). ทฤษฎีเครื่องกลไฟฟ้า 2. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : สกายบุ๊กส์
- [9] ไฟฟ้า 3 เฟส. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://lopeka-ee-room.blogspot.com/2014/10/3_9.html.
- [10] <http://nptel.ac.in/courses/108106026/chapter8.pdf>. (ม.ป.ป.). Voltage stability (chapter 8). สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2560.