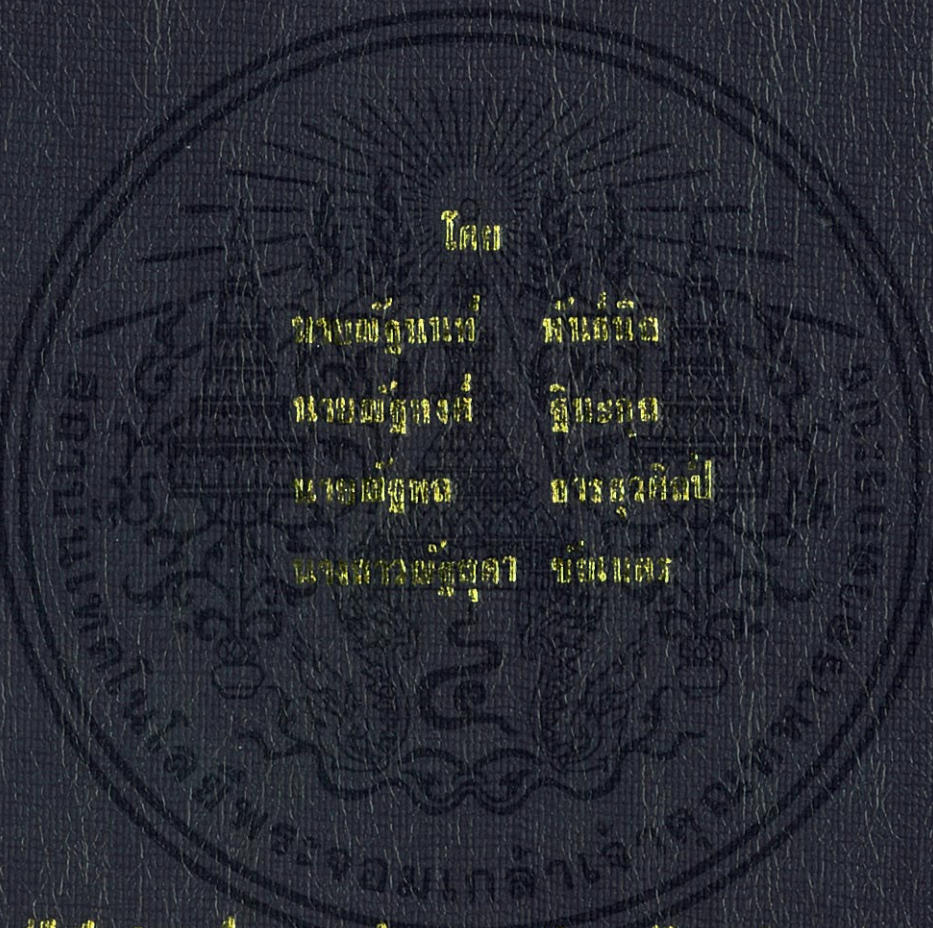


ชุดทดลองเบื้องต้นระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทน

EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM COMPRISING PHOTOVOLTAIC ENERGY



โดย

นายณัฐกรานนท์

พันธ์นิต

นายณัฐพงศ์

สุภะภณ

นายณัฐพงษ์

ธนะสุวัฒน์

นายไพโรจน์สุสุตา

บัณฑิต

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน
EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM COMPRISING PHOTOVOLTAICS ENERGY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM COMPRISING PHOTOVOLTAICS ENERGY

NATTHANON PHANNIL
NATTAPHONG THINAKUL
NATTAPHON THANTHUWASIN
NATSUDA CHAINET



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปีการศึกษา 2557

ชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน

EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM COMPRISING PHOTOVOLTAICS ENERGY



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ รศ.ดร.อรรถพล อังกะเง้าพิทักษ์กุล ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดเผยแพร่.ช่วยชาญ โฟธิสาร อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน

ผู้จัดทำ

1. นาย ธีรนนท์ พันธนิล
2. นาย ธีรพงศ์ รินะกุล
3. นาย ธีรพล ธารัฐศิลป์
4. นางสาว ธีรสุดา ชัยเนตร



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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายชาญ โภธิสาร) โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน

นาย ณ์ฐนนท์	พันธ์นิล	
นาย ณ์ฐพงศ์	ฐิณะกุล	
นาย ณ์ฐพล	ธารฐวศิศิลป์	
นางสาว ณ์ฐสุดา	ชัยเนตร	
รศ.ดร. อรรถพล	เง่าพิทักษ์กุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ชายชาญ	โพธิสาร	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขอบเขตของโครงการนี้ เป็นการศึกษาส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง อาทิเช่น แหล่งต้นกำลังไฟฟ้า สายส่งจ่ายไฟฟ้าแบบชิงในอากาศ และระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบกระจาย (distributed generation) โดยใช้พลังงานทดแทน ซึ่งโครงการนี้เป็นการจำลองโดยนำเครื่องผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) มาจำลองเหตุการณ์ ตำแหน่งในการวางพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) จะอยู่ที่ระยะ 20% (8km), 40% (16km), 60%(24km) และ 80% (32km) ผลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์สามารถนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลว่า การเชื่อมต่อไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีผลอย่างไรกับระบบจำหน่าย เพื่อที่จะพัฒนาเทคโนโลยีระบบจ่ายไฟฟ้าแบบกระจาย (DG) และลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย อีกทั้งยังสามารถกระจายแหล่งผลิตไฟฟ้า เพื่อสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้าได้ จากผลการทดสอบพบว่า ปัจจัยที่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า พบว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย แต่ถ้าปริมาณกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนมากกว่าโหลดมาก ก็จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM COMPRISING PHOTOVOLTAICS ENERGY

NATTANON PHANNIL
NATTAPHONG THINAKUL
NATTAPHON THANTHUWASIN
NATSUDA CHAINET

Asst.Prof. Dr. Autthapol Ngaopitakkul Adviser

Asst.Prof. Chaichan Pothisarn Adviser

2015

ABSTRACT

This project presents a design and construction about transmission line system which interconnect with Photovoltaic energy distributed generation. The scopes of this project is to study a parts of the electrical power system such as power sources, overhead transmission line system, and photovoltaic energy etc. Simulation of the distributed generation with renewable energy, that is used by photovoltaic (PV) to simulation. Distance of PV connecting to the transmission line is 20% (8km), 40% (16km), 60% (24km) and 80% (32km). The result of simulation can be analyze, How connection of photovoltaic energy can affect the distribution and transmission system. In order to develop the technology of distributed generation (DG) to reduce power loss in the distribution system and distributed power generation sources For security and stability to the system. The results showed that, Factors that affect to reduce the percentage of power loss is injection renewable power into the electric distribution system. The amount paid to renewable electric power distribution system is inversely proportional to the percentage of power losses in the distribution system. However, if the amount of photovoltaic energy rather than load, power loss is increase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เสาพิทักษ์กุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชายชาญ โพธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาบัตรจนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ ECC-305 ทุกคน ที่ช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำที่ดีเสมอมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจน คุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	3
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	9
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	9
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	9
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานินทร์	11
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation)	12
2.1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังและหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว	12
2.1.2 เทคโนโลยีของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัว	13
2.2 ชนิดของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายจากพลังงานทดแทน	13
2.3 ผลกระทบเนื่องจากขนาดกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ	14
2.4 ผลกระทบของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนต่อการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า	16
2.5 ผลกระทบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน(DG)ต่อการทำงานของอุปกรณ์ชดเชยแรงดัน	17
2.6 ข้อจำกัดด้านเทคนิคในการรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน(DG)	18
บทที่ 3 การออกแบบการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน	19
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในชุดระบบจำลอง	20
3.2 อุปกรณ์ต่างๆในชุดทดลอง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล	33
4.1 การตั้งค่าโปรแกรมจำลอง	35
4.2 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 20% ของระบบ	47
4.2.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 W	47
4.2.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	49
4.2.3 กรณีโหลดบัลลาสต์	50
4.2.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	51
4.2.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	52
4.3 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 40 % ของระบบ	
4.3.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 W	53
4.3.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	54
4.3.3 กรณีโหลดบัลลาสต์	55
4.3.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	56
4.3.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	57
4.4 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 60 % ของระบบ	
4.4.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 W	58
4.4.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	59
4.4.3 กรณีโหลดบัลลาสต์	60
4.4.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	61
4.4.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	62
4.5 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 80 % ของระบบ	
4.5.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 W	63
4.5.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	64
4.5.3 กรณีโหลดบัลลาสต์	65
4.5.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	66
4.5.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	67
4.6 กรณีการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน	
4.6.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 W	69
4.6.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	71
4.6.3 กรณีโหลดบัลลาสต์	73
4.6.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	75
4.6.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	80
เอกสารอ้างอิง	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หน้าที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	89
ภาคผนวก ข	94
ภาคผนวก ค	235
ภาคผนวก ง	240
ภาคผนวก จ	243
ภาคผนวก ฉ	249
ประวัติผู้เขียน	254



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	แสดงปริมาณการใช้พลังงานทดแทนในปี 2552 – 2557	1
1.2	แสดงอัตราส่วนพลังงานทดแทนประจำปี 2557	2
1.3	กราฟแสดงตำแหน่งบัสเทียบกับแรงดันไฟฟ้า	4
1.4	กราฟแสดงตำแหน่งและเสถียรภาพแรงดันของระบบ	5
2.1	ระบบไฟฟ้าและหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว	12
2.2	แบบจำลองอย่างง่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต่อกับแหล่งกำเนิดแบบกระจาย	14
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระจายต่อกำลังสูญเสียรวมในระบบ	15
2.5	รูปแผนผังแสดงระบบจำหน่ายเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	17
2.7	กราฟผลแรงดันของสัดส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปริมาณที่ต่างกัน	18
3.1	สายส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะของการไฟฟ้า 115 kV ช่วงสถานีไฟฟ้าย่อยบางเสารงถึงสถานีไฟฟ้าย่อยเมืองใหม่	20
3.2	ภาพวงจรภายในของชุดทดลอง	21
3.3	หม้อแปลงแรงดันปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer)	22
3.4	(ก) ระบบป้องกันหน้าตู้ทดลอง	23
	(ข) วงจรการต่อระบบการป้องกัน	23
3.5	(ก) สวิตช์เลือกปรับระดับค่าความเหนี่ยวนำหน้าตู้ทดลองตัวที่ 1 และ 3	24
	(ข) แสดงการแถบเลือกค่าความเหนี่ยวนำจากอุปกรณ์จริงตัวที่ 1 และ 3	24
3.6	(ก) สวิตช์เลือกปรับระดับค่าความเหนี่ยวนำหน้าตู้ทดลองตัวที่ 2 และ 4	25
	(ข) แสดงการแถบเลือกค่าความเหนี่ยวนำจากอุปกรณ์จริงตัวที่ 2 และ 4	25
3.7	ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรทดลอง	26
3.8	(ก) ค่าเก็บประจุขนาด 0.05 μF ต่อเฟสที่เกิดการต่ออนุกรมกันของ 0.1 μF 2 ตัว	27
	(ข) รูปวงจรการต่อค่าตัวเก็บประจุให้ได้ 0.05 μF	27
3.9	สวิตช์ปรับหลายระดับ (Multi-Step Cam Switch)	28
3.10	(ก) โหลดที่ใช้ในการทดลอง	28
	(ข) วงจรการต่อโหลด	28
3.11	เครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากโซลาร์เซลล์	29
3.12	ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	29
4.1	แผนภาพเส้นเดียว (One-line Diagram) ระบบแรงดันจำหน่าย 115 กิโลโวลต์	30
4.2	(ก) แผนภาพเส้นเดียว (One-line Diagram) ของการติดตั้งชุดทดลอง	31
	(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริง	31
4.3	(ก) ลักษณะของโปรแกรม TerraSaS	32
	(ข) เครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากโซลาร์เซลล์	32
4.4	(ก) การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้เพื่อได้กำลังไฟฟ้า 28 วัตต์	33
	(ข) ลักษณะกราฟที่ได้จากการตั้งค่า	33
4.5	กราฟความเข้มแสงที่ใช้การทดลองเป็นแบบแสงแดดปกติ	33

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.6 ภาพการจำลองขณะที่ความเข้มแสงสูงสุด	34
4.7 ภาพแสดงจุดวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 จุดบนแผงหน้าตู้ทดลอง	35
4.8 (ก) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	36
(ข) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	37
(ค) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	38
(ง) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน, และฝั่งรับที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	39
(จ) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปลากดที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	40
(ฉ) กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์	41
4.9 แสดงแนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าในระบบเมื่อมีกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบมากขึ้น โดยแสดงแนวโน้มของ โหลดทั้ง 5 แบบ	76
5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์	78
5.2 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์	79
5.3 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดบัลลาสต์	79
5.4 กราฟความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของความยาวระบบจำหน่ายที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์และบัลลาสต์	80
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์และบัลลาสต์	80
5.6 กราฟความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากักขังที่แน่นอน "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า" กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย	82
5.7 กราฟความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	11
3.1 ค่าความเหนียวนำของสายส่งสำหรับระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ ที่ระยะความยาวต่างๆ	19
3.2 ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าของสายส่งสำหรับระบบจำหน่ายเหนือดิน ที่ระยะความยาวต่างๆ	19
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์และกำลังสูญเสียในระบบกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน	43
4.2 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์	44
4.3 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 120 วัตต์	46
4.4 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด บัลลัสต์	47
4.5 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์	48
4.6 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลัสต์	49
4.7 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด 60 วัตต์	50
4.8 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 120 วัตต์	51
4.9 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด บัลลัสต์	52
4.10 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์	53
4.11 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์	54
4.12 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์	55
4.13 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 120 วัตต์	56
4.14 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์	57
4.15 ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด หลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์	58

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
4.16 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	59
4.17 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด โหลดไฟ 60 วัตต์	60
4.18 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์	61
4.19 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดบัลลาสต์	62
4.20 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด โหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	63
4.21 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	64
4.22 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์	66
4.23 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์	68
4.24 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า บัลลาสต์	70
4.25 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่าโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์	72
4.26 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่าโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์	74
5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับ เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทน ที่วัดจากด้านส่งโดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน(DG)	78
5.2 แสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย กับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย	81

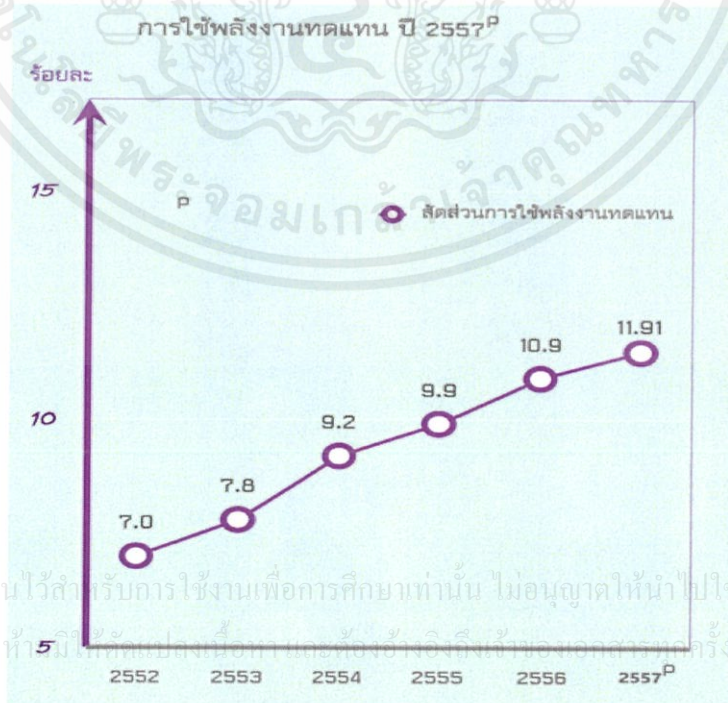
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

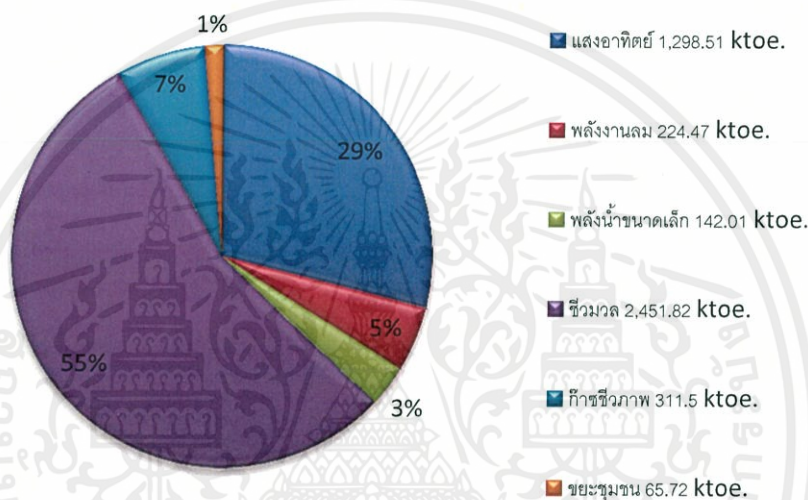
เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันที่เพิ่มมากขึ้น และการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชาติ ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง สวนทางกับจำนวนที่ลดลงของทรัพยากรพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันประเทศไทยพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้ดี จากสถิติของปี 2557 มีการใช้พลังงานทดแทนอยู่ที่ระดับ 1,467 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือ 4,494 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้นจากปี 2556 ร้อยละ 11.91 โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 11.6 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์รวมกับการใช้พลังงานทดแทน) ซึ่งอยู่ที่ระดับ 18,440 ktoe โดยเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 1.5 ทั้งนี้การใช้พลังงานทดแทนประกอบด้วยการใช้ในรูปความร้อนมีปริมาณ 1,345 ktoe (ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะชุมชน) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 63 ของการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมด การใช้ในรูปของเชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณ 428 ktoe (ประกอบด้วยเอทานอล 196 ktoe และไบโอดีเซล 232 ktoe คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 และ ไฟฟ้ามีปริมาณ 360 ktoe (ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ ขยะชุมชน และก๊าซชีวภาพ) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 17 และมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นในแต่ละปี จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและตามรายได้ของประชาชน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนขึ้นไปในทุกๆปี [17]



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานทดแทนในปี 2552 – 2557 [17]

จากสถิติผลการดำเนินการด้านพลังงานทดแทนในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 มีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนทั้งสิ้น 4,494 เมกะวัตต์โดยการแบ่งเป็นพลังงานทดแทนจากชีวมวลซึ่งมีกำลังผลิตมากที่สุดถึง 2,451.82 คิดเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ พลังงานจากแสงอาทิตย์ 1,298.61 เมกะวัตต์ คิดเป็น 29 เปอร์เซ็นต์ พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ 311.50 เมกะวัตต์คิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ พลังงานทดแทนจากพลังงานลม 224.47 เมกะวัตต์ คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ พลังงานทดแทนจากพลังงานน้ำได้ 142.01 เมกะวัตต์ คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานทดแทนจากขยะชุมชน 65.72 เมกะวัตต์ คิดเป็น 1 เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนพลังงานทดแทนประจำปี 2557



รูปที่ 1.2 แสดงอัตราส่วนพลังงานทดแทนประจำปี 2557

ด้วยนโยบายที่รัฐบาลมอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ แผนพัฒนาพลังงานทดแทน : AEDP (2012-2021) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยกระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ โดยในปี 2564 คาดว่าจะมีความต้องการ 99,838 ktoe จากปัจจุบัน 71,728 ktoe โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 และแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด จึงเป็นที่มาของการศึกษาโครงการระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนนี้ขึ้น ซึ่งในประเทศไทยระบบจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นระบบที่รับพลังงานมาจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อเป็นตัวกลางในการจำหน่ายพลังงานให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งถือว่าการจำหน่ายในระยะทางที่สั้นและเหมาะสมในปัจจุบันมีขนาดแรงดันจำหน่ายที่ 22kV-33kV-115kV (การไฟฟ้านครหลวง) และ 12kV-24kV-115kV (การไฟฟ้านครหลวง) ไม่มีการมีที่กั้นขั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนที่ใช้ในระบบจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย ในรูปแบบของงานวิจัย ปรินทิพนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ และเนื้อหาการวิเคราะห์ต่างๆ จากการศึกษาข้อมูล พบว่างานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนโดยตรงสามารถแบ่งได้หลายประเภท แต่ที่ได้ ทำการศึกษามีดังนี้

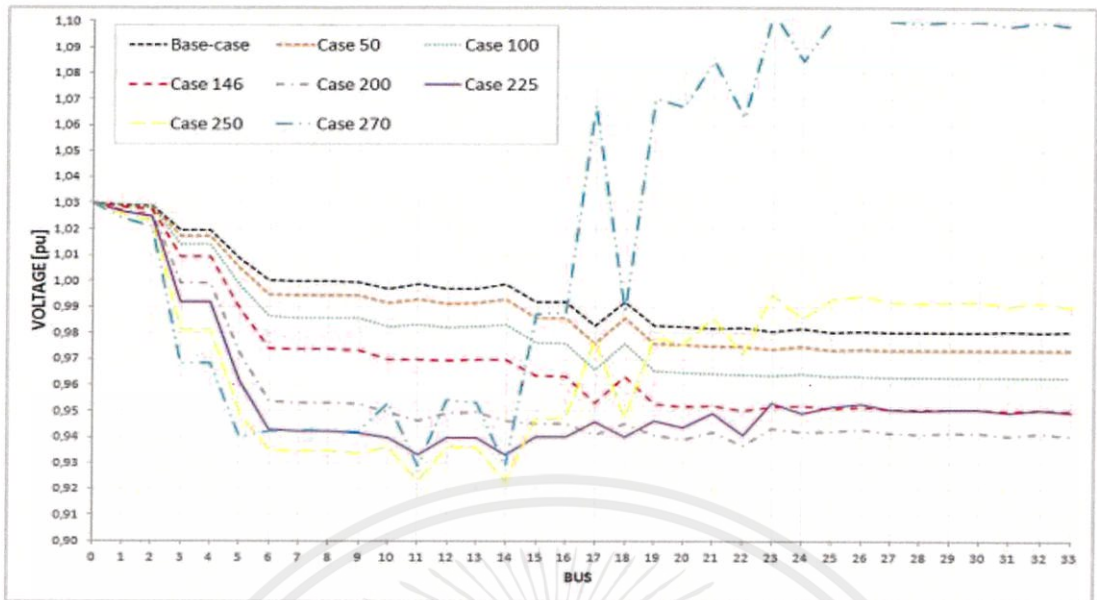
1. ผลกระทบของ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่มีต่อระดับแรงดันไฟฟ้าการ ติดตั้ง แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ใกล้กับโหนดจะช่วยยกระดับแรงดันปลายทางที่โหนด ให้สูงขึ้น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน สามารถช่วยยกระดับแรงดันของโหนดให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งใกล้โหนดที่มีขนาดใหญ่และอยู่ห่างไกลจากสถานีไฟฟ้า งานวิจัยที่ได้ศึกษามีดังนี้

- งานวิจัยของ Vu Van Thong and Johan Driesen[1] จากหนังสือคู่มือ Handbook of Power Quality Edited by Angelo Baggin ในเรื่อง แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย พลังงานทดแทน และคุณภาพกำลังไฟฟ้า มีการวิเคราะห์ส่วนของระบบการกระจายขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ มีอยู่จะใช้ในการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพกับเทคโนโลยี แหล่งจ่ายพลังงาน ไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่แตกต่างกัน โดยระบบรวมถึงหม้อแปลง 14 เมกะโวลต์แอมป์, 70/10 กิโล โวลต์ 4 สาย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เชื่อมต่อโหนดที่ 406 ของการป้อน 4. มัน อาจจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสหรือเหนี่ยวนำ เมื่อเทียบกับค่าฐาน กรณีไม่ต่อ แหล่งจ่าย พลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เชื่อมต่อ กำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้งานของ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย พลังงานทดแทน เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนใน 4 ดังรูปที่ 1.3 การศึกษาครั้งนี้ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วย พลังงานทดแทน สามารถปรับปรุงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบการจำหน่ายไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าผลกระทบ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หากมี แรงดันไฟฟ้าเกินในระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส มันก็มีการดำเนินการดูซับกำลังไฟฟ้า ตอบสนองแทนการฉีดเข้าไปในระบบ

- งานวิจัยคุณภาพกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทนที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ไฟฟ้า ของ F.B. Araujo[2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแห่ง Pontifical Catholic University ได้กล่าวถึง การวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของแรงดันในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เนื่องจาก ปัญหาพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง กับการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนกับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าคือแรงดันต้นสายและปลายสายมี การเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานภายในสาย หากค่าความต้านทานภายในสายมีค่ามากและจำนวน โหนดเพิ่มขึ้นย่อมมีผลต่อกำลังไฟฟ้าในระบบมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น F.B. Araujo จึงได้ทดสอบการ เชื่อมต่อระบบจำหน่าย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ในตำแหน่งต่างๆภายในสายส่ง กำลังไฟฟ้า และพบว่าผลที่ได้มีความแตกต่างกันในหลายด้าน สามารถสรุปได้ว่าหากต่อระบบจำหน่าย พลังงานทดแทนเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ระยะทางใกล้กับโหนดที่สุดจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหนด ได้รับจากพลังงานทดแทนมีประสิทธิภาพมากกว่าการต่อที่ระยะทางอื่น นอกจากนี้งานวิจัยของ F.B. Araujo ยังใช้ระบบ IEEE 34 BUS เป็นระบบทดสอบ โดยคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อหาค่า กำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแสไฟฟ้าในระบบ แล้วทำการเพิ่มโหนดขึ้นเรื่อยๆ พบว่าตั้งแต่บัสที่ 23 เป็นต้นไปมีความเสถียรของแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากใส่พลังงานทดแทนในบัสนี้ ดังแสดงไว้ดังกราฟ

นอกจากนี้งานวิจัยของ F.B. Araujo ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มโหนดขึ้นเรื่อยๆ พบว่าตั้งแต่บัสที่ 23 เป็นต้นไปมีความเสถียรของแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากใส่พลังงานทดแทนในบัสนี้ ดังแสดงไว้ดังกราฟ

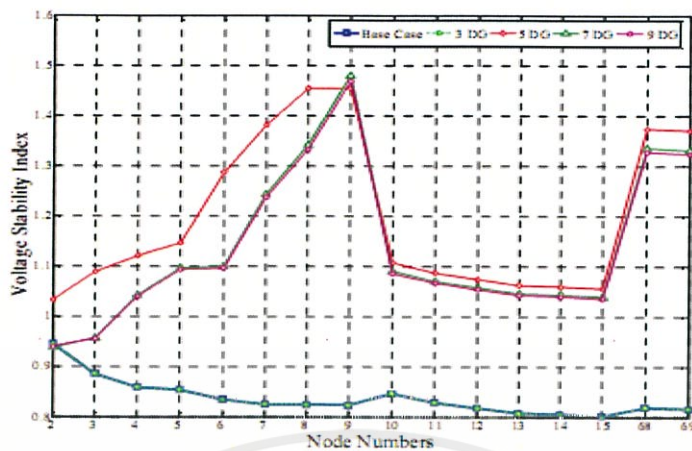
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงตำแหน่งบัสเทียบกับแรงดันไฟฟ้า

งานวิจัยของ M. Chakravorty และ D.Das[3] นี้ศึกษาคุณภาพของกำลังไฟฟ้าในระบบโซล่าเซลล์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้วิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ใช้ระบบ IEEE 69 BUS เป็นระบบทดสอบ ในส่วนของแรงดันกระแสเพื่อมค่าตัวประกอบกำลัง และฮาร์มอนิกที่จุดเชื่อมต่อบระบบ ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ในสภาพจริงพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อบระบบ จะแปรผันตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ A.Lakshmi Devi และ B. Subramanyum ได้วิจัยการหาขนาดกำลังไฟฟ้าและตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ใช้ระบบ IEEE 33 BUS เป็นระบบทดสอบโดยเปรียบเทียบ 3 สถานะ คือ 1.ก่อนปรับปรุงระบบ 2.หลังปรับปรุงระบบโดยติดตั้งตัวเก็บประจุ 3.หลังปรับปรุงระบบโดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ได้คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าโดยผ่านวิธี ตรีโกณศาสตร์ พบว่าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กให้ผลการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายได้ดีกว่าการปรับปรุงระบบโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ

งานวิจัยของ Nasser G. A. Hemdan, and Michael Kurrat [4] มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน(DG) ต่อความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ระยะทางและขนาดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อกระทบในเรื่องดังกล่าวได้ งานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยใช้ดัชนีความเสถียรภาพของแรงดันซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ในแต่ละบัสของระบบการกระจาย ในเรื่องการวิเคราะห์ ตำแหน่งในการเพิ่มเสถียรภาพแรงดันของระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์โดยใช้ระบบแรงดันแบบเรเดียล IEEE 69 และทำการต่อ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ในแต่ละตำแหน่งและทำการวิเคราะห์ได้ดังกราฟ รูปที่ 1.4 พบว่าบัส 8 และ 9 ที่มีการต่อ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เข้าไปทำให้แรงดันในบัสทั้งสองโหนดนั้นมีขนาดเพิ่มขึ้นแตกต่างจากบัสอื่นๆ Nasser G. A. Hemdan, and Michael Kurrat จึงสรุปงานวิจัยได้ว่าสถานที่ตั้งของ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน มีผลกระทบหลักในแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงตำแหน่งและเสถียรภาพแรงดันของระบบ

- งานวิจัยของ Rakibuzzaman Shah , Nadarajah Mithulananathan , Ramesh Bansal , Kwang Y. Lee and Abraham Lomi [5] แห่ง The school of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia. ได้ตั้งปัญหาของระบบแรงดันไฟฟ้าไว้ว่า แรงดันไฟฟ้าที่ไม่เสถียรถือเป็นหนึ่งในข้อเสียหลักในการรักษาความปลอดภัย ประสิทธิภาพของการผลิตจะมีผลกระทบต่อความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า การกำหนดแหล่งที่มาของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าและกำหนดขนาดของการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นผลทำให้ความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้ามีมากขึ้น โดยการวิเคราะห์นี้ได้ใช้การวิเคราะห์ระบบบัส IEEE 14 และได้มีการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในบัสต่างๆดังรูป การวิเคราะห์ของ Rakibuzzaman Shah นั้นให้ความสำคัญกับตำแหน่งในการติดตั้งและขนาดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อเสถียรภาพแรงดันอย่างไร

- Akash T. Davda , M. D. Desai and B. R. Parekh[6] ได้เสนอการแก้ปัญหาแรงดันตกโดยการเชื่อมต่อบัสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ากับตำแหน่งที่เกิดแรงดันตกนั้น แล้วทำการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงจากการใส่แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยใช้โปรแกรม Home Pro ในการสร้างแบบจำลองระบบจ่ายไฟฟ้าที่เกิดกรณี แรงดันไฟฟ้าตก ขึ้น และใช้โปรแกรมคำนวณการเปลี่ยนแปลงของทั้งแรงดันโวลต์และค่าการสูญเสียในสายส่ง พบว่าสามารถแก้ไขแรงดันที่บัสที่เกิดปัญหาได้นอกจากนี้ยังไม่เกิดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าที่ทำการพิจารณานั้นเลยและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งมีจำนวนที่ลดลงมาก

2. ผลกระทบของ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่มีต่อความสูญเสียทางไฟฟ้า เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง ทำให้ลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจากสถานีไฟฟ้าย่อย และลดขนาดกระแสที่ไหลในสายป้อน ทำให้กำลังสูญเสียในสายส่งลดลง ทั้งนี้จึงได้สรุปงานวิจัยที่ได้ศึกษามาทั้งหมดดังนี้

นอกจากงานวิจัยของ V.H. Mendez และคณะ[7] ศึกษาความสูญเสียพลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีของระบบจ่ายทดสอบ IEEE34-node โดยพิจารณาเทคโนโลยีของ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม และใช้โปรแกรม Homer Pro พบว่าความ

สูญเสียต่ำสุดเกิดขึ้นเมื่อ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน มีค่าไม่สูงมากนัก เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน มีค่าสูงขึ้น อาจทำให้ความสูญเสียสูงขึ้นกว่าระบบที่ไม่มี แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน และถ้า แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน สามารถปรับค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าตอบสนองได้ จะทำให้ความสูญเสียลดลงได้มากกว่า

- งานวิจัยของ M. Sedighzadeh, and A. Rezaadeh[8] ศึกษาการนำ Genetic Algorithm มาใช้ในการหาค่า DG ที่เหมาะสมสำหรับเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่าย ซึ่ง Genetic Algorithm เป็นเทคโนโลยีในการกำหนดสมการคำนวณหาปริมาณของ DG ที่เหมาะสมที่ควรใช้ โดยกำหนดจุดประสงค์ว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งที่เชื่อมต่อกับแหล่งจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (with DG) ต้องมีขนาดน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งที่ไม่มีการต่อแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (without DG)

- Pukar Mahat [9] ได้วิจัยการหาขนาดกำลังไฟฟ้าและตำแหน่งในการติดตั้ง กังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งหากติดตั้งไม่เหมาะสมจะทำให้กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น โดยใช้ระบบ IEEE 33 BUS และ IEEE 69 BUS เป็นระบบทดสอบ โครงการวิจัยนี้มีการแบ่งส่วนการวิเคราะห์เป็นสมรรถนะทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สมรรถนะ และใช้โปรแกรม Homer Pro แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อยๆ พบว่าการติดตั้งระบบจ่ายไฟอิสระแบบกระจายจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการขยายระบบสายส่งแรงดันต่ำเข้าไปในพื้นที่ งานวิจัยทั้งหมดที่ได้ศึกษามาข้างต้น เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทน

- วิชิต เครือสุข[10] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบใช้การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมาจากปัญหาของการหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบใช้การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาค เพื่อลดกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายให้มีค่าต่ำสุด ซึ่งเงื่อนไขเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนี้มีจำนวนมากว่าหนึ่งเครื่องและสี่แบบ ในแต่ละครั้งในการคำนวณจะต้องพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย การทดสอบได้มีการเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคกับวิธีฮิวริสติก และวิธีการคัดเลือกพันธุกรรม ซึ่งได้ทดสอบกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัส ของ IEEE จากผลการทดสอบวิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่นำเสนอพบว่า การหาตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีหลายเครื่องได้คำตอบที่ทำให้กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบไฟฟ้ามาตรฐานมีค่าต่ำสุดตามแต่ละแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยมีค่าแรงดันตกลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วนยังมีค่าลดลงด้วย

- Pukar, M., Weerakom, O. และ Nadarajah, M. [11] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งของ DG แบบกังหันลมในด้านปฏิกิริยาของระบบจำหน่าย เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง ซึ่งมาจากปัญหาของตำแหน่งที่จะติดตั้งกังหันลมที่ใช้ผลิตไฟฟ้านั้น ถ้าตำแหน่งที่จะติดตั้งไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น โดยจะนำเสนอใช้วิธีหาขนาดและตำแหน่งสำหรับเชื่อมต่อ แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ที่ด้านปฏิกิริยาของระบบจำหน่าย เพื่อลดค่ากำลังงานจริงของระบบให้ต่ำที่สุด ซึ่งคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลมจะถูกนำเสนอในรูปแบบที่แรงดันจะใช้การแก้ปัญหาการหาขนาดและตำแหน่งในการติดตั้ง แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงาน

ทดแทน ในส่วนของการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แน่ชัดจะใช้ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ระบบ จะถูกทำการทดสอบในระบบจำหน่ายแบบเรติเคิล 33 บัส และ 69 บัส โดยการหาขนาดจะใช้การคำนวณ การไหลของกำลังไฟฟ้าสองครั้งเปรียบเทียบกันและตำแหน่งที่ติดตั้ง แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงาน ทดแทน จะใช้เทคนิคการคำนวณของการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างรวดเร็วในการแก้ปัญหา ผล ที่ได้จากการทดสอบของระบบนั้น จะถูกนำเสนอในรูปแบบของการเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการ ติดตั้ง แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เข้าสู่ระบบ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าก่อนจะติดตั้ง แหล่ง จำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เข้าสู่ระบบจะเกิดแรงดันตกที่ปลายสายส่งและกระแสในบางสาขา ของระบบจะสูงมาก ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบค่อนข้างมาก แต่เมื่อหลังจากหาขนาดและติดตั้ง แหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เข้าสู่ระบบในบัสที่เหมาะสมแล้วนั้น จะช่วยลดระดับของ แรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายทางและลดระดับของกระแสไฟฟ้าในบางสาขาของระบบส่งผลให้สายส่งของระบบ ไม่ต้องรับภาระหนักเกินไปซึ่งยังสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบให้มีค่าน้อยลงได้อีกทางหนึ่งด้วย

- ยูธนา เอี่ยมสมบูรณ์ [12] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการหาตำแหน่งติดตั้งและขนาด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสม เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและเพิ่มความเชื่อถือได้ใน ระบบจำหน่ายโดยวิธีค้นหาแบบตาบู่ ซึ่งมาจากปัญหาการขาดความเชื่อถือได้ของกำลังไฟฟ้า ประโยชน์ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่าย คือ การลดของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบให้ ตีขึ้น หากตำแหน่งในการติดตั้งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ได้รับการพิจารณาที่ เหมาะสม ปัญหาหลักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก คือ การหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมในระบบ จำหน่าย เพื่อจะลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งจำนวนเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ขนาดกำลังผลิต โดยรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย แรงดันไฟฟ้าที่ บัส ความสามารถในการรองรับกระแสของสายป้อน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหนึ่งเครื่อง สำหรับหนึ่งตำแหน่งติดตั้ง เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาการทำให้ค่าความสูญเสียมีค่าต่ำสุด คือ การค้นหา แบบตาบู่ การค้นหาแบบนี้เป็นการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้หน่วยความจำ เพื่อหลีกเลี่ยงค่าตอบข้างเคียง เฉพาะที่และช่วยให้เคลื่อนที่ออกจากจุดเหมาะสมเฉพาะที่ การแก้ปัญหาดังกล่าวลดความเสียหายอัน เนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีค่าต่ำสุด และใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู่รวมกับการวิเคราะห์ค่า ความเชื่อถือได้ที่ใช้เป็นตัววัดค่าความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าดับวิธีการนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบ จำหน่ายของระบบทดสอบ RBTS บัส 2 ประกอบด้วย 36 สายป้อน 22 จุดโหลด และระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01 ประกอบด้วย 9 สายป้อน 6 จุดโหลด และ KWA06 ประกอบด้วย 28 สายป้อน 20 จุดโหลด เป็นของสถานีไฟฟ้าคลองขวาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสามารถนำไปใช้เพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย ข้อสังเกต ในงานวิจัยนี้ คือ ผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน ที่ทำงานไม่ได้ตามเงื่อนไข เดิมหลังจากมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าไป เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอุปกรณ์ป้องกัน

ภายในตัว จึงส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ ในการค้า ไม่ระบบใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในด้านการศึกษเกี่ยวกับชุดทดลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า ได้ศึกษาโครงการชุดทดลองการลัดวงจรในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าของทรงพล ปัทมธรรม และ คณะ [13] เป็นตัวอย่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบ และ สร้างชุดทดลองการลัดวงจรในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้ในรูปแบบแรงดันต่ำ โดยการจำลองระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ใช้การจำลองการเปรียบเทียบของค่าเพอร์ยูนิตย์ของระบบไฟฟ้าแรงดันสูง มาใช้ในระบบที่แรงดันต่ำเพื่อความปลอดภัยกับผู้ทดลอง โดยชุดทดลองนี้มีการออกแบบมาเพื่อให้ผู้ทดลองได้ศึกษาและ ทดลองการเกิดการลัดวงจรในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบครบทุกกรณีตามเปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง พบว่าเมื่อการเกิดกระแสลัดวงจรจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรใกล้แหล่งจ่ายไฟฟ้า

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้รวบรวมและศึกษามาพบว่ามีความหลากหลายและเป็นประโยชน์มากสำหรับการพัฒนาในการสร้างชุดทดลอง แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ได้ศึกษามานั้น เป็นการทำงานวิจัยด้วยการใช้โปรแกรมจำลองในการวิเคราะห์ ค่าตอบที่ได้จึงที่เป็นไปตามการอ้างอิงทางทฤษฎี ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของโครงการชิ้นนี้ จึงทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน ที่มีต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบมาจากการชุดทดลองจากห้องปฏิบัติจริงได้ จึงคิดทำการวิจัยสร้างชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนขึ้น เพื่อทำการศึกษผลกระทบของจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายพลังงานทดแทน ขึ้น เข้ามาในระบบและกำลังสูญเสียในระบบ โดยการสร้างชุดทดลองนั้นจะสามารถทำการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าต่ำและเพื่อความปลอดภัยในชีวิตของผู้ทดลอง อีกทั้งยังสนใจที่จะศึกษาในเรื่องการหาค่าพารามิเตอร์ในการสร้างชุดทดลองที่ระบบแรงดันต่ำ จากระบบ 115 กิโลโวลต์ ในระบบจริง และศึกษาตำแหน่งการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเพื่อระยะที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบจำหน่ายโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพื่อลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายพลังงานทดแทน และลดแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสายของระบบจำหน่ายพลังงานทดแทน อีกทั้งยังวิเคราะห์หาแนวโน้มในการพัฒนาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ส่งผลให้มีการสูญเสียน้อยสุด เพราะฉะนั้นในการศึกษครั้งนี้เห็นว่าเป็นประโยชน์มากในการนำผลการวิจัยที่ได้ไปพัฒนาระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่มีมากขึ้นในปัจจุบัน และเป็นข้อมูลความรู้เบื้องต้นในการต่อยอดพัฒนาด้านระบบจำหน่ายทดแทนต่อไป

จากข้อจำกัดต่างๆ ในชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายด้วยพลังงานทดแทน โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบได้จริงได้ เนื่องจากการสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ นั้นมีความยากลำบากในการทดลองและมีข้อจำกัดมาก โครงการนี้จึงจำลองไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องจำลองพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่ได้จากพลังงานธรรมชาติ และจำลองระบบจำหน่ายพลังงานแบบพายระยะสั้น โดยมีแนวคิดในการจำลองระบบให้สามารถนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการได้อย่างปลอดภัยและไม่อันตรายกับผู้ทดลอง โดยจะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณและค่าเพอร์ยูนิตในชุดทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเพอร์ยูนิตของการไฟฟ้า เพื่อให้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด

การออกแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในระบบจำหน่าย ที่เป็นระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ (Overhead) ระบบดังกล่าวนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในระบบมีผลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยเช่นกัน สำหรับในการศึกษาหรือการสร้างชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน เมื่อพลังงานทดแทนได้เริ่มเป็นที่ต้องการในปัจจุบันเนื่องจากปัญหาด้านมลพิษ และ เพื่อการสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีประสิทธิภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน

ภายในประเทศ และการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น จำเป็นต้องสามารถทดลองได้ในห้องปฏิบัติการที่ระดับแรงดันต่ำ ในระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ(Overhead) อย่างชัดเจน โดยสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามระยะทางจำหน่ายของระบบ ในระหว่างการจำลองได้เสมือนระบบจำหน่ายจริง และศึกษาพฤติกรรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เมื่อมีโหลดเปลี่ยนไปหรือการเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งจ่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสร้างชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน
2. เพื่อศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทน โดยใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับค่ากลับไปหาค่าในระบบใช้งานจริง
3. เพื่อศึกษาเรื่องกำลังสูญเสียและแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับระบบพลังงานทดแทน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้จะทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน โดยชุดทดลองในระบบจำหน่ายเป็นแบบพาย (π -network) นั้นจะจำลองระบบการจำหน่ายไฟฟ้าเหนือศีรษะ (Overhead) โดยเลือกจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ถึง โหลดผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการมีโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนต่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง และกำหนดระยะทางการจำหน่ายพลังงานจากการไฟฟ้านครหลวงถึงโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นระยะทาง 40 กิโลเมตร

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาและทำความเข้าใจกับงานวิจัยหัวข้อโครงการให้เข้าใจอย่างละเอียด
2. ศึกษาวิธีคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในระบบจำลอง ให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อใช้ในการจำลองระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ (Overhead)
3. ออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟสในรูปวงจรสมมูลแบบพาย โดยมีระยะการจำหน่ายสูงสุด 40 กิโลเมตร
4. ทดสอบชุดทดลองแล้ววิเคราะห์ผลการทดลองกับค่าที่คำนวณไว้ทางทฤษฎี
5. ทดสอบการจำลองการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทน กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง
6. วิเคราะห์พฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อมีแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนร่วมกับระบบด้วย พร้อมตรวจสอบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ใช้ในการจำลองมีความสอดคล้องกันอย่างไร
7. สรุปผลงานการวิจัยโครงการนี้และนำเสนอโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆที่เกิดจากการนำเอกสารนี้ไปใช้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาและจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเบื้องต้นโดยมีระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 2 เทอม ซึ่งสามารถแบ่งเวลาการดำเนินการได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดโครงการ

การดำเนินงาน	ส.ค. 2557				ก.ย. 2557				ต.ค. 2557				พ.ย. 2557				ธ.ค. 2557				ม.ค. 2558				ก.พ. 2558				มี.ค. 2558				เม.ย. 2558				พ.ค. 2558			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1.ศึกษาหัวข้อโครงการ	←--→																																							
2.ศึกษาทฤษฎีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์					←--→				←→																															
3.จัดหาอุปกรณ์และทำการทดลองวงจร 3 เฟสตามที่ได้คำนวณ									←--→				←→																											
4.วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองเบื้องต้น																	←--→				←→																			
5.ศึกษาการต่อวงจรระบบไฟฟ้าระหว่างพลังงานทดแทนและระบบของการไฟฟ้า																					←--→				←→															
6.วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบกับค่าการจำลองกับการค่าของคำนวณ																													←--→				←→							
7. สรุปผลและนำเสนอวิธีการ																																	←--→				←→			

←--→ เป้าหมายที่วางแผนไว้

←→ เป้าหมายที่ทำได้จริง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน

1. ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างแพร่หลาย
2. เพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลภาวะเพียงอย่างเดียว
3. เป็นการพัฒนารูปแบบใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. เป็นแนวทางในการขยายการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ในระบบจริง

ประโยชน์ในด้านของโครงการวิจัย

1. ชุดทดลองมีความสามารถในการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน
2. ชุดทดลองมีส่วนทำให้ผู้ทดลองมีความรู้ความเข้าใจปัญหา ในระบบการจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนมากขึ้น
3. ชุดทดลองนี้ผู้ทดลองสามารถใช้ในห้องปฏิบัติการได้อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งทราบถึงความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์จากทดลองกับผลตามทฤษฎี
4. สามารถสร้างชุดทดลองขึ้นมาได้โดยไม่ต้องสั่งซื้อเป็นรูปแบบสำเร็จ ซึ่งมีราคาแพงแต่ให้ผลการทดลองเหมือนกับชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้นเอง

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงบทนำของโครงการที่ปฏิบัติโดยได้กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญที่มีผลต่อส่วนเกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน รวมทั้งกล่าวถึงขอบเขต และประโยชน์ที่ได้จากโครงการนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า(Transmission Line) ระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ และทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation) ที่มีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 3 เป็นการกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อใช้เชื่อมต่อแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนต่างๆในการคิดหาค่าพารามิเตอร์สายตัวนำในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และแปลงมาเป็นพารามิเตอร์ในชุดทดลองและออกแบบโหลดชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 4 จะแสดงถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองจากชุดทดลองการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนรวมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดทดลองการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

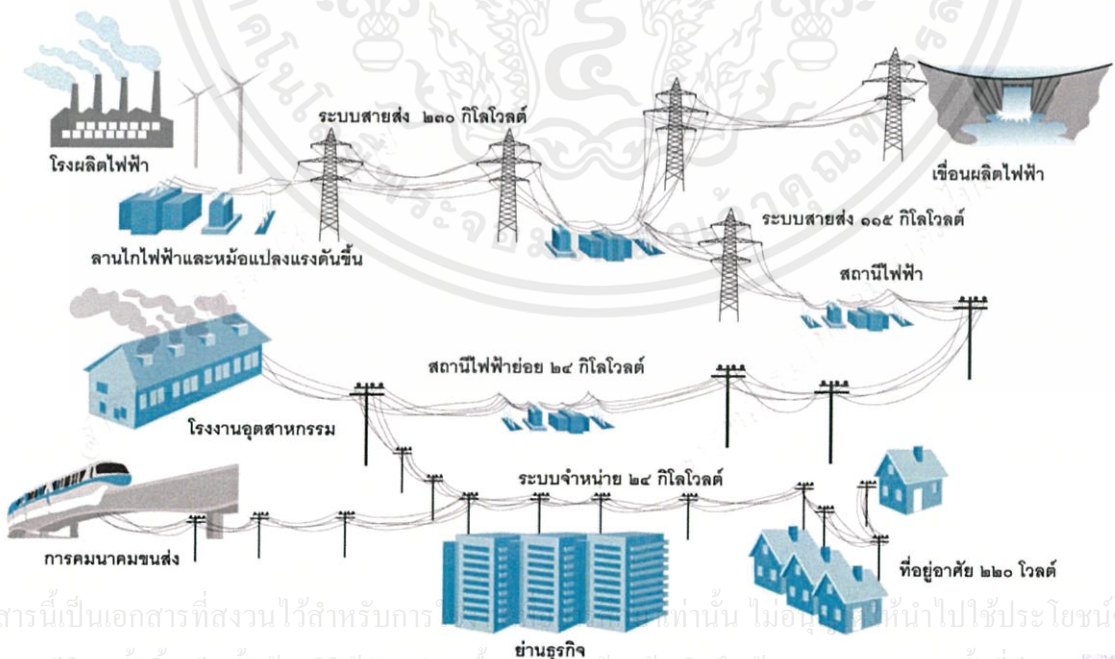
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation)

แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัว คือ หน่วยผลิตไฟฟ้าหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง อาจเชื่อมเข้ากับระบบส่งและระบบจำหน่ายเพื่อประโยชน์สูงสุด ในที่นี้เราใช้แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัวจากพลังงานทดแทน ซึ่งทำให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสามารถส่งไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้เมื่อมีไฟฟ้าเหลือใช้ และสามารถดึงไฟฟ้าจากระบบได้เมื่อต้องการไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตได้ โดยเน้นการลดปริมาณการสูญเสียพลังงานในการส่งกำลังไฟฟ้า โดยให้แหล่งผลิตไฟฟ้าอยู่ใกล้กับแหล่งที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้า วิธีการนี้ยังสามารถที่จะลดขนาดและจำนวนของการสร้างสายส่งไฟฟ้าด้วย[14]

2.1.1 ความสัมพันธ์ระบบไฟฟ้ากำลังและหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ระบบไฟฟ้า(ระบบผลิต, ระบบส่งและระบบจำหน่าย) มีทิศทางการไหลของพลังงานในทิศทางเดียวจากตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังสถานีย่อยในการกระจายพลังงาน และสิ้นสุดที่สถานที่ของผู้บริโภค ผู้ใช้ไฟบางส่วนสามารถผลิตไฟฟ้าเองได้ โดยใช้แหล่งจ่ายผลิตไฟฟ้าในการป้อนพลังงานให้กับโหลดหรือเป็นแหล่งสำรองพลังงานที่สำคัญในกรณีที่ไฟดับจากการไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.1.1 แหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้จะเรียกว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังนั้น หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะผลิตไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียงในสถานที่ที่จะใช้พลังงาน มีขนาดตั้งแต่น้อยกว่า 1 kW ถึง 10kW หรือในบางกรณีมีขนาดหลายร้อยกิโลวัตต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี...
รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้าและหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว[15]

2.1.2 เทคโนโลยีของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัว เทคโนโลยีของหน่วยผลิตแบบกระจายตัวสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสและอิเล็กทรอนิกส์เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator) ภายใต้อัตราคงที่ (Steady State) โรเตอร์จะมีความเร็วเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของความถี่ของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์กับจำนวนขดลวดแม่เหล็ก ความเร็วนี้เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส ในการทำงานต้องซิงโครไนซ์ให้หมุนด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งเท่ากับหรือเป็นจังหวะเดียว (Synchronize) กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนหรือขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่สเตเตอร์ (Stator) กับขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ (Rotor) เพื่อให้พลังงานไฟฟ้าที่กำเนิดขึ้นมีความถี่คงที่ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถควบคุมง่าย มีประสิทธิภาพทนทานเชื่อถือได้และมีการใช้งานโดยทั่วไป

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัสหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Asynchronous Generator or Induction Generator) กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดที่โรเตอร์กระทำต่อขดลวดที่สเตเตอร์ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้จะมีความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนไม่เท่ากับความเร็วซิงโครนัสและไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน เนื่องจากมีข้อเสียหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพต่ำการควบคุมค่าแรงดันยุ่งยากกว่า เนื่องจากต้องมีการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพ การผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอะซิงโครนัส ได้แก่ กังหันน้ำ เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

- อิเล็กทรอนิกส์เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์ (Electronic Power Inverter) หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ต้องเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวดังกล่าวไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสลับได้ เช่น เทคโนโลยีของ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) จึงต้องมีการแปลงกระแสไฟฟ้าตรงให้เป็นกระแสไฟฟ้าสลับก่อนที่จะนำไปใช้งาน อิเล็กทรอนิกส์เพาเวอร์อินเวอร์เตอร์จะมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า แต่มีข้อดีคือ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในทุกๆ ความถี่ อีกทั้งสามารถสำรองพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

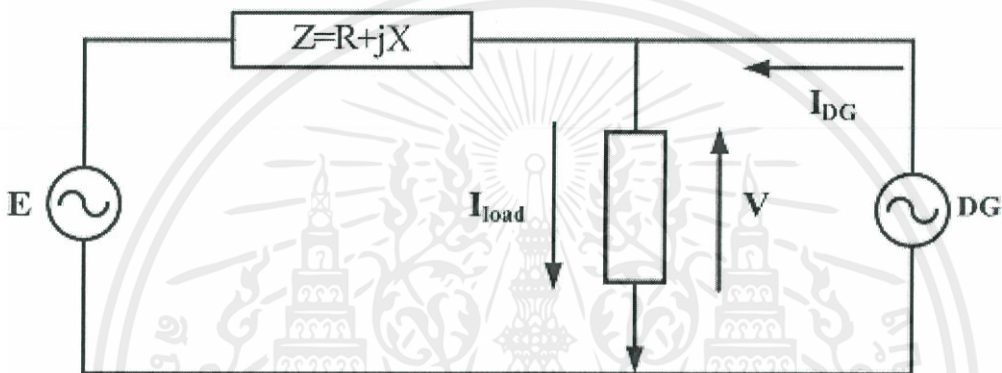
2.2 ชนิดของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน มีดังต่อไปนี้

- พลังงานแสงอาทิตย์ : Solar Photovoltaics (PV)
- พลังงานลม : Wind Energy
- พลังงานน้ำ : Hydro Energy
- พลังงานจากถ่านหิน : Coal Energy
- พลังงานจากแก๊สธรรมชาติ : Natural gas Energy
- พลังงานจากน้ำมัน : Petroleum (diesel) CHP
- พลังงานชีวมวล : Biomass (Plant material and waste)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเนื่องจากขนาดกำลังการผลิตของแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

ในกรณีที่สมมติให้ตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจ่ายแรงดันในระบบจำหน่ายอยู่ที่จุดโหลด โดยจะใช้แบบจำลองอย่างง่ายของระบบจำหน่ายดังแสดงในภาพที่ 2.2 เพื่อประกอบการอธิบายแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 2.2 แสดงถึงระบบจำหน่ายที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียวซึ่งจ่ายแรงดันเท่ากับ E โวลต์ ผ่านสายส่งที่มีค่าความต้านทานเท่ากับ $R + jX$ โอห์มมายังโหลด ซึ่งจะทำให้มีขนาดแรงดันที่ขั้วของโหลดเท่ากับ V โวลต์ และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเชื่อมอยู่ซึ่งในที่นี้หมายถึงแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน[14]



รูปที่ 2.2 แบบจำลองอย่างง่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต่อกับแหล่งกำเนิดแบบกระจาย

ในกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของกำลังสูญเสียปรากฏที่เกิดขึ้นในสายส่ง ดังในสมการที่ 2.1

$$S_{loss} = (E - V)I^* = (E - V)(I_{load,real} - jI_{load,imag}) \quad (2.1)$$

ในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่ายและสมมติให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเพียงอย่างเดียว กำลังสูญเสียปรากฏในสายส่ง ดังแสดงในสมการที่ 2.2

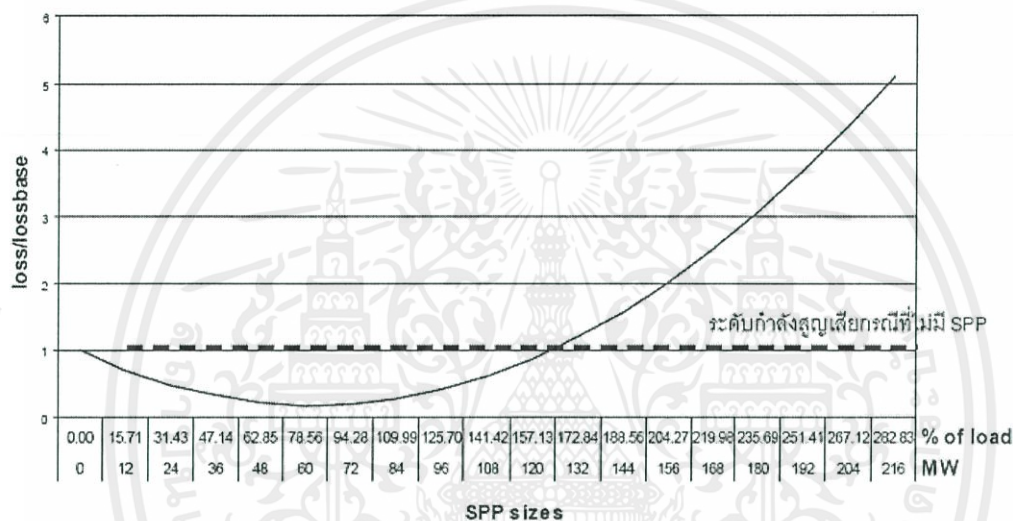
$$S_{loss}^{DG} = (E - V)(I_{load,real} - jI_{load,imag}) \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.2) พบว่าการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบจำหน่ายจะทำให้กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายมีค่าเท่ากับ $S_{loss} - S_{loss}^{DG} = (E - V)I_{DG}$ นั่นคือค่าเดิมและจากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่ากำลังสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบจำหน่าย จะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย สามารถแยกพิจารณา ได้เป็น 2 สถานะคือ

1. สถานะที่ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระจายน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดของโหลด จะช่วยให้กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายมีค่าต่ำลง

2. กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมากกว่าขนาดของโหลดประมาณ 2 เท่า จะทำให้กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายมีค่าสูงขึ้น ผลลัพธ์จากการศึกษาผลกระทบของผู้ผลิตไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่อกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในส่วนของการศึกษาผลกระทบเนื่องจากขนาดของ แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจาย แสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายกับกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าระดับเส้นประเป็นระดับที่แสดงถึงกำลังสูญเสียในกรณีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจาย (กรณีฐาน) ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า เมื่อขนาดของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายมีค่ามากกว่าขนาดของโหลดมาก จะทำให้กำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายเริ่มมีค่าสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระจายต่อกำลังสูญเสียรวมในระบบ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิค (Technical Loss) เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เป็นผลเกี่ยวเนื่องกับความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวด, สายตัวนำ, ส่วนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทั้งนี้รวมถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้า การเกิดโคโรน่าหรือการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge) ในระบบไฟฟ้าด้วย และ 2) กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค (Non Technical Loss) เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัดปริมาณไฟฟ้าหรือติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้าไม่ครบถ้วนตลอดจนการจดหน่วยการใช้ไฟฟ้าและการเรียกเก็บเงินลูกค้าได้ไม่ครบถ้วนและการลักลอบใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

ปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ได้แก่ กำลังไฟฟ้า, ตำแหน่งจุดเชื่อมโยงของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและกำลังไฟฟ้าของโหลดในระบบจำหน่าย การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้จะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการที่จะควบคุมกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้มีความเหมาะสมกับสภาพระบบจำหน่าย เพื่อเป็นการลดผลกระทบหรือใช้ประโยชน์จากการติดตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบนั้น จะต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมา นั่นคือ ให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่สมดุลหรือใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าของโหลด และตำแหน่งของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวอยู่ในลักษณะเป็นศูนย์กลางของการกระจายตัว

ของตำแหน่งของโหลด จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ต่ำที่สุด แต่ในระบบจำหน่ายจริงจำเป็นต้องปฏิบัติตามระเบียบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายในการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ในปัจจุบันได้กำหนดขนาดของกำลังไฟฟ้าไว้ไม่เกิน 10MW ซึ่งใกล้เคียงกับพิกัดการรับโหลดของแต่ละวงจรสายในระบบจำหน่าย คือ 12 – 14 MW แต่ในสภาพการจ่ายจริงของระบบจำหน่ายส่วนใหญ่นั้นจ่ายโหลดในแต่ละวงจรไม่เกิน 60 % ทั้งนี้เพื่อใช้ในการรองรับโหลดจากวงจรใกล้เคียงที่

2.4 ผลกระทบของแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนต่อการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายด้วยพลังงานทดแทน (DG) เป็นแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจริง (real power generation) ที่มีตัวประกอบกำลัง (power factor) คงที่ การมีกำลังไฟฟ้าจริงจ่ายเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งใด จะทำให้แรงดันที่ตำแหน่งนั้นสูงขึ้นได้ ถ้าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าระบบ แล้วจะดึงกำลังไฟฟ้าตอบสนองออกจากระบบ แต่ถ้า แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจะสามารถปรับตัวประกอบกำลังให้จ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าตอบสนองก็ได้ จึงสามารถใช้เป็น ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า ได้ ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล (ที่ไม่มีการต่อระบบด้วยพลังงานทดแทน) จะมีระดับแรงดันที่ลดลงเรื่อยๆจากสถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง การควบคุมระดับแรงดันจึงใช้ตัวเก็บประจุ หรือ ขั้นตอนที่ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า (SVR) หรือการเปลี่ยนค่าระดับของหม้อแปลง ระบบจำหน่ายที่มีขนาดใหญ่ โหลดของระบบมีค่ามาก สายส่งหรือสายบ่อนมีระยะไกล การติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ใกล้กับโหลดจะช่วยยกระดับแรงดันปลายทางที่โหลดให้สูงขึ้น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน สามารถช่วยยกระดับแรงดันของโหลดให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งใกล้โหลดที่มีขนาดใหญ่และอยู่ห่างไกลจากสถานีไฟฟ้า

ในสภาวะการทำงานปกติของระบบจำหน่าย จำเป็นจะต้องมีการควบคุมระดับแรงดันให้อยู่ในช่วง พิกัดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสมรรถนะการทำงานของทั้งระบบจำหน่ายและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ ซึ่งโดยทั่วไป การควบคุมระดับแรงดันในระบบจำหน่ายสามารถทำได้สองวิธี คือ การควบคุมแหล่งกำเนิดแรงดันที่สถานีไฟฟ้าต้นทางโดย ใช้หม้อแปลงแบบปรับระดับแรงดันได้ และอีกวิธี หนึ่งคือ การควบคุมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) ในระบบจำหน่าย โดยใช้ตัวเก็บประจุ รีแอกเตอร์ ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ (Synchronous Condenser) หรือ ตัวชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟแบบ สถิต (Static Var Compensator, SVC)

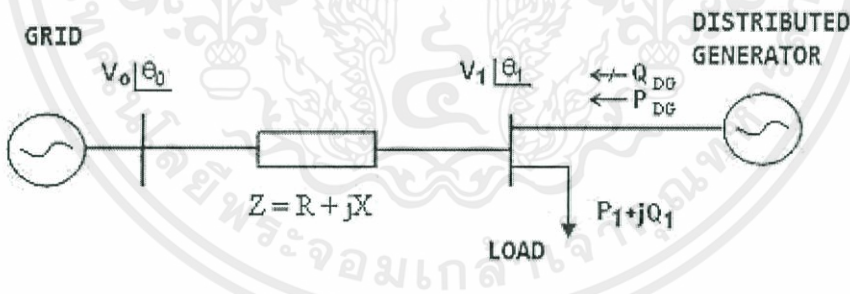
โดยทั่วไปการควบคุมแรงดันในระบบจำหน่ายจะกระทำอยู่บนพื้นฐานที่ กำลังไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว จากสถานีไฟฟ้าต้นทางไปยังโหลดที่กระจายอยู่ตามจุด ต่างๆซึ่งหากมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก อยู่ในระบบจำหน่ายจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าไหล มากกว่าหนึ่งทิศทาง (Mesh Power Flow) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการควบคุมรับแรงดันที่ พิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเดิมเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในกรณีนี้ ก่อนที่จะทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบจำหน่าย ควรจะใช้ซอฟต์แวร์ในการคำนวณการไหลของ กำลังไฟฟ้า (Power Flow) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบจำหน่ายว่าจะมีผลกระทบต่อการควบคุมแรงดันใน

ระบบ จำหน่าย เพื่อทำการปรับตั้งหรือแก้ไขให้เหมาะสม ยกเว้นนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (Energy Loss) คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็น kWh โดยอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและตำแหน่งของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่จ่ายไฟขนานเข้ากับระบบของการไฟฟ้า เนื่องจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จ่ายไฟเข้าระบบเกินความต้องการของผู้ใช้ไฟ จึงทำให้ปริมาณพลังงานที่เหลือนั้นจ่ายย้อนกลับเข้าไปในระบบของการไฟฟ้า แล้วไปยังโหลดที่อยู่ในระยะทางไกล จึงทำให้เกิดความสูญเสียในสายส่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการจ่ายไฟในระบบจำหน่ายแปลงไฟฟ้า สายตัวนำ ไฟฟ้า รวมทั้งจุดต่อของอุปกรณ์ อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้เกิดกำลังพลังงานไฟฟ้าสูญเสียขึ้น เนื่องจากผลของความต้านทาน (Resistance) ของอุปกรณ์แต่ละตัว

2.5 ผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (DG) ต่อการทำงานของอุปกรณ์ชดเชยแรงดัน

การมีแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (DG) ในระบบจำหน่ายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในระบบทั้งขนาดกำลังไฟฟ้าในสายป้อน และทิศทางกระแสของกำลังไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ชดเชยแรงดัน กรณีที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนที่จ่ายแต่กำลังไฟฟ้าจริงอยู่ทางด้านท้ายของตัวเก็บประจุ แรงดันที่ปลายทางมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมอยู่แล้ว หากมีการสับตัวเก็บประจุเข้าไปในระบบเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าตอบสนอง อาจทำให้มีแรงดันที่ปลายทางสูงเกินไป โดยเฉพาะถ้าแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนติดตั้งอยู่ด้านท้ายของหม้อแปลง ที่มีโหลดขนาดไม่ใหญ่มากนัก ผู้ใช้ไฟที่รับไฟจากหม้อแปลงนี้จะได้รับแรงดันเกิน เมื่อมี DG เชื่อมต่อเข้ามาในระบบจำหน่าย จะต้องปรับการตั้งค่าอุปกรณ์ชดเชยแรงดันใหม่ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.5 รูปแผนผังแสดงระบบจำหน่ายเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากรูปที่ 2.4 แสดงการจ่ายไฟแบบการกระจายระบบไฟฟ้า การจัดหาโหลดทั่วไป และการถูกสนับสนุน โดยการชดเชยด้วยกำลังไฟฟ้าตอบสนองให้แรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตัวจ่ายไฟฟ้า จะมีค่าตามสมการที่ 2.3

$$V_1 = \left\{ -\frac{2a_1 - V_0^2}{2} + \left[\left(\frac{2a_1 - V_0^2}{2} \right)^2 - (a_1^2 + a_2^2) \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \quad (2.3)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเอาหา 3 ละต้องอ้างอิงเอาเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข

เมื่อ

$$V_0 = V_{source}$$

$$V_1 = V_{DG}$$

$$a_1 = -R(P_{GD} - P_1) - X(Q_{DG} - Q_1)$$

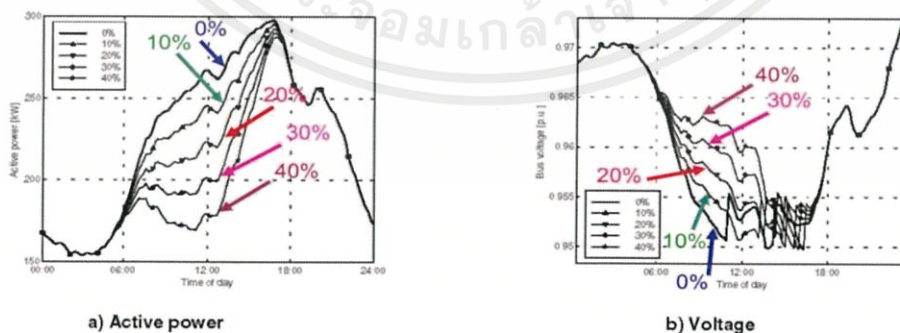
$$a_2 = -R(P_{GD} - P_1) - X(Q_{DG} - Q_1)$$

จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (V_{DG}) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มการสร้างกำลังไฟฟ้าจริงจากแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (P_{DG}) กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ การเพิ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนโดยปราศจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าตอบสนอง จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สมการนี้ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อโหลด P_L ค่าต่ำสุด แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนมีค่าสูงสุด

แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน แต่นั่นก็หมายความว่า ระดับของ แหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนที่จ่ายให้ระบบนั้น ก็มีขีดจำกัดเช่นกัน วิธีการทั่วไปที่ถูกนำมาใช้โดยผู้ควบคุมระบบการกระจาย คือการกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนและจ่ายไปในระบบ เมื่อในระบบต้องการแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโหลดอยู่ที่สภาวะต่ำสุด และกำลังไฟฟ้าขาออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนอยู่ในสภาวะสูงสุด

2.6 ข้อจำกัดด้านเทคนิคในการรับไฟจากแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน (DG)

การมี Distributed Generation (DG) เข้ามาในระบบจำหน่าย เป็นการเพิ่มแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับแรงดัน กระแสฟอลต์ ค่าความสูญเสียทางไฟฟ้า และการตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกัน นอกจากนี้ความรุนแรงของผลกระทบต่อระบบจำหน่าย ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตำแหน่งของ แหล่งกำเนิดไฟฟ้า และสัดส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเทียบกับโหลดของระบบ (Distributed Generation penetration) ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวน DG จึงขึ้นอยู่กับนโยบายหรือมาตรฐานการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย[16]



รูปที่ 2.7 กราฟผลแรงดันของสัดส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปริมาณที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

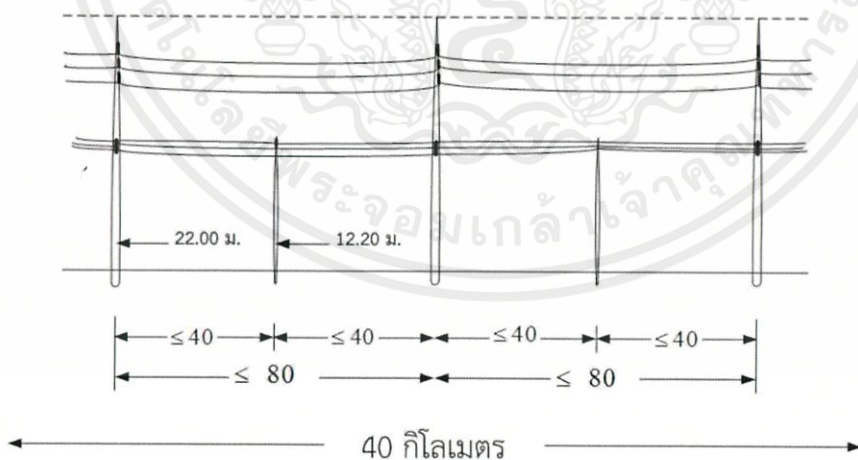
บทที่ 3

การออกแบบการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

โครงการวิศวกรรมนี้จะทำการจำลองสายส่งในระบบจำหน่ายจากบริเวณสถานีไฟฟ้าบางเสาธง - ถึงสถานีไฟฟ้าเมืองใหม่ โดยสถานีไฟฟ้างกล่าวอยู่ภายใต้การดูแลของการไฟฟ้านครหลวง (MEA) แต่มีการเชื่อมต่อของสถานีไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบด้วย โดยช่วงสถานีไฟฟ้าบางเสาธงและสถานีไฟฟ้าเมืองใหม่รับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต มีขนาดแรงดันระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ เป็นระบบสายส่งเหนือศีรษะ แต่สำหรับการสร้างชุดทดลองนี้จะทำการจำลองระบบจำหน่ายด้วยเชื่อมที่ระบบแรงดันจำหน่าย 400 โวลต์ และมีระยะทางการจำหน่ายพลังงานเป็นระยะทาง 40 กิโลเมตร

โครงการวิจัยนี้จะจำลองสายส่งของระบบจำหน่ายในรูปของวงจรสมมูลพายแบบระยะสั้น โดยลักษณะการติดตั้งสายส่งในระบบจำหน่ายสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.1 และมีการทดลองที่ระยะการเชื่อมต่อของสถานีไฟฟ้าพลังงานทดแทนทั้ง 4 ระยะ สำหรับสายส่งระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบจำหน่ายและกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยแบ่งระยะจุดเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

1. เชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ความยาวสายส่ง 20 เพอร์เซ็นต์
2. เชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ความยาวสายส่ง 40 เพอร์เซ็นต์
3. เชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ความยาวสายส่ง 60 เพอร์เซ็นต์
4. เชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ความยาวสายส่ง 80 เพอร์เซ็นต์

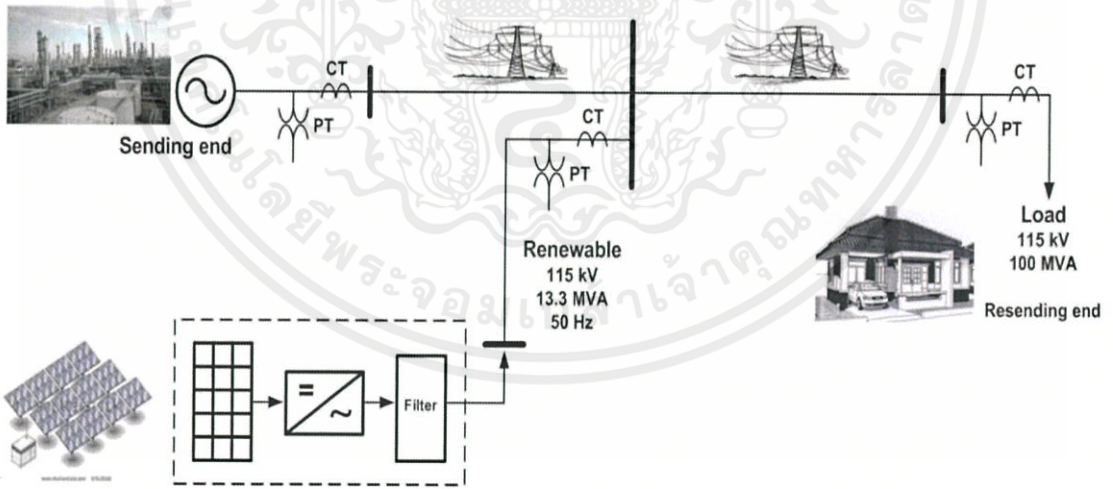


รูปที่ 3.1 สายส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะของการไฟฟ้า 115 kV ช่วงสถานีไฟฟ้าย่อยบางเสาธงถึงสถานีไฟฟ้าย่อยเมืองใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

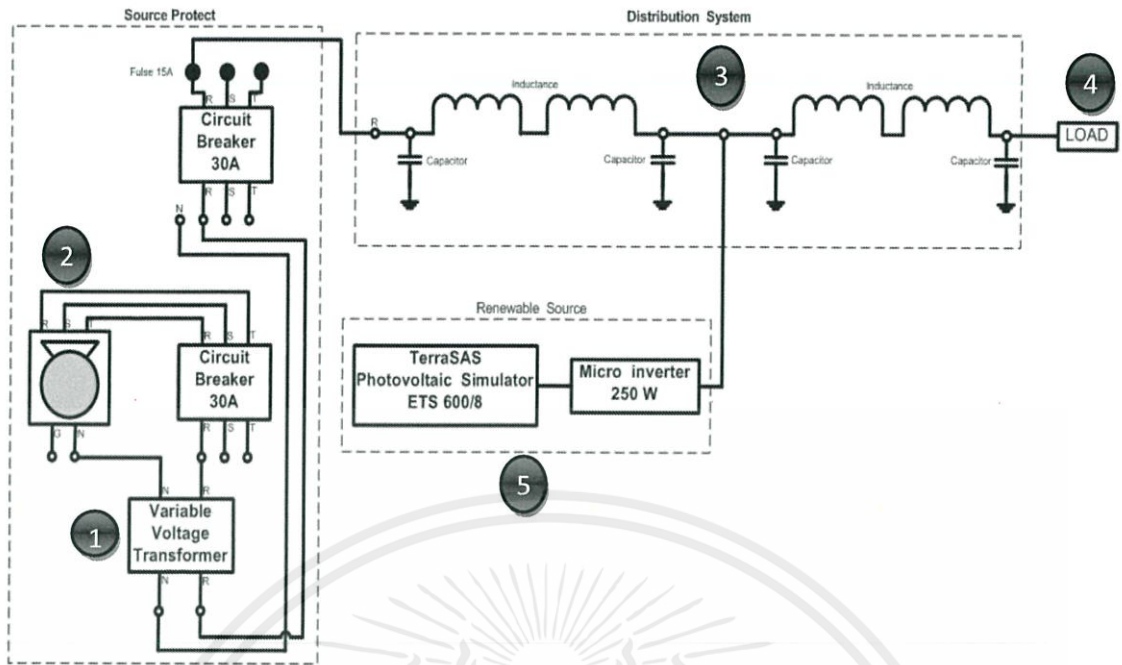
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในชุดระบบจำลอง

การสร้างวงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทน จะเป็นการจำลองระบบที่ระบบมีแหล่งจ่ายพลังงาน 2 แหล่งด้วยกัน โดยแหล่งจ่ายที่ 1 จะเป็นการจำลองระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยจะเห็นว่าจะรับแรงดันไฟฟ้ามาจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 โวลต์ จากนั้นส่งผ่านมายังหม้อแปลงแรงดันปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer) เพื่อทำหน้าที่เป็นปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายให้กับวงจรจำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าและคอยควบคุมแรงดันให้มีค่าคงที่ จากนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลงปรับค่าได้จะผ่านมายังระบบป้องกันคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และฟิวส์ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในระหว่างการทดลอง หลังจากนั้นกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปที่พาวเวอร์มิเตอร์เพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ด้านขาเข้าของวงจร คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าจริง ในส่วนของแหล่งจ่ายที่ 2 จะเป็นการจำลองระบบการจ่ายพลังงานของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยใช้เครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic Simulator) จำลองการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 20 วัตต์ ส่งกำลังไฟฟ้าให้กับตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ 1 เฟส (Inverter) โดยมีมิเตอร์จะแสดงสถานะแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าใช้จริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง ที่มาจากทางด้านพลังงานทดแทน ก่อนที่จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย และจะถูกส่งไปยังโหลด เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและการสูญเสียกำลังไฟฟ้า เมื่อมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบตามตำแหน่งต่างๆในช่วงที่พิจารณา



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) แผนภาพเส้นเดียวของระบบทดลอง

(ข) ภาพรวมแผนภาพเส้นเดียวของการวางจร

จากรูปที่ 3.2 (ก) และ (ข) เป็นการแสดงวงจรรภายในของชุดทดลองและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและบันทึกค่าในการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ต่างๆในชุดทดลอง

3.2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบ โครงงานนี้ ในส่วนการจำลองระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง จะได้รับแรงดันไฟฟ้ามาจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 โวลต์ 3 เฟส แต่ในโครงงานนี้จะใช้ระบบการจำลองจะใช้ไฟฟ้าเพียง 1 เฟสเท่านั้นและต้องการให้แรงดันฝั่งรับให้มีค่าคงที่ จึงต้องใช้หม้อแปลงปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer) อยู่ในตำแหน่งหมายเลข 1 ในรูปที่ 3.2 (ข) โดยที่พิกัดของหม้อแปลงปรับค่าได้พิกัดเท่ากับ 250 โวลต์ 20 แอมป์ 1 เฟส แต่ในส่วนการจำลองของสถานีจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนกำหนดให้แรงดันเฟสอยู่ในช่วง 230-250 โวลต์ ขึ้นกับสภาพระยะทางที่ทำการทดลอง ซึ่งได้รับพลังงานมาจากเครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic Simulator) ในการจำลองการจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ หลังจากนั้นจะมีส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเครื่องเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวง

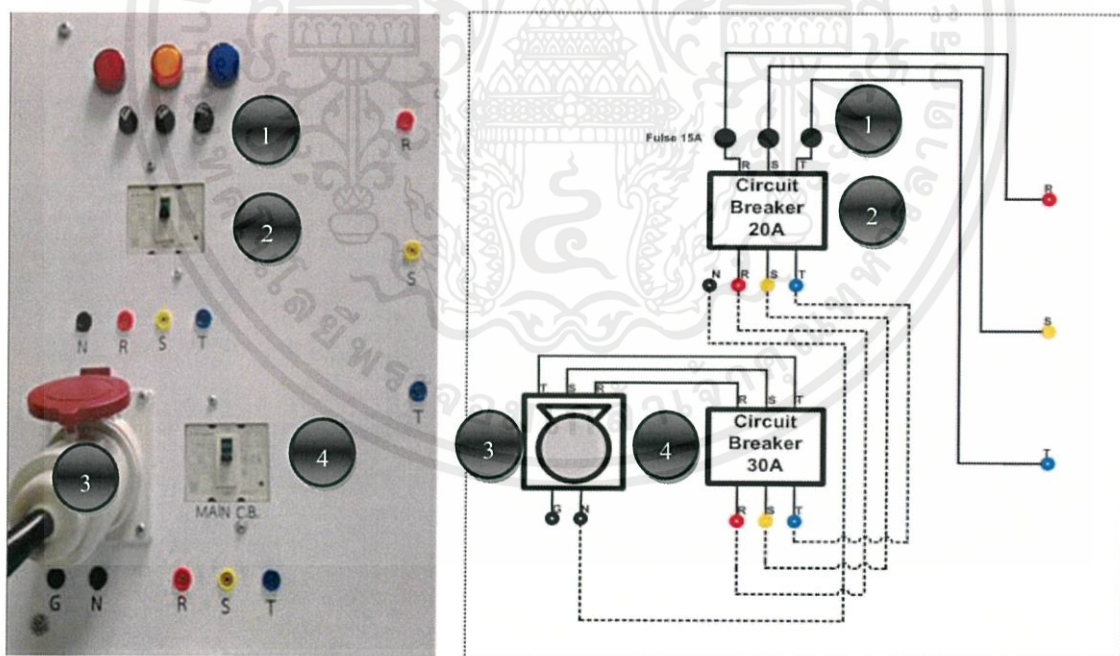
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงแรงดันปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer)

3.2.2 การป้องกันระบบ การป้องกันของวงจรจำลองนี้ได้ออกแบบการป้องกันอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ตำแหน่งและฟิวส์อีก 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวแรกทำหน้าที่ป้องกันความผิดปกติระหว่างห้องปฏิบัติการ กับหม้อแปลงปรับค่าได้ ซึ่งจะทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 30 แอมแปร์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 2 จะป้องกันระหว่างหม้อแปลงปรับค่าได้กับวงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งจะทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 20 แอมแปร์ และมีฟิวส์เป็นตัวช่วยในการป้องกันหากเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวกลางไม่ทำงานอยู่ในตำแหน่งหมายเลข 2 ในรูปที่ 3.2 (ข)



(ก)

(ข)

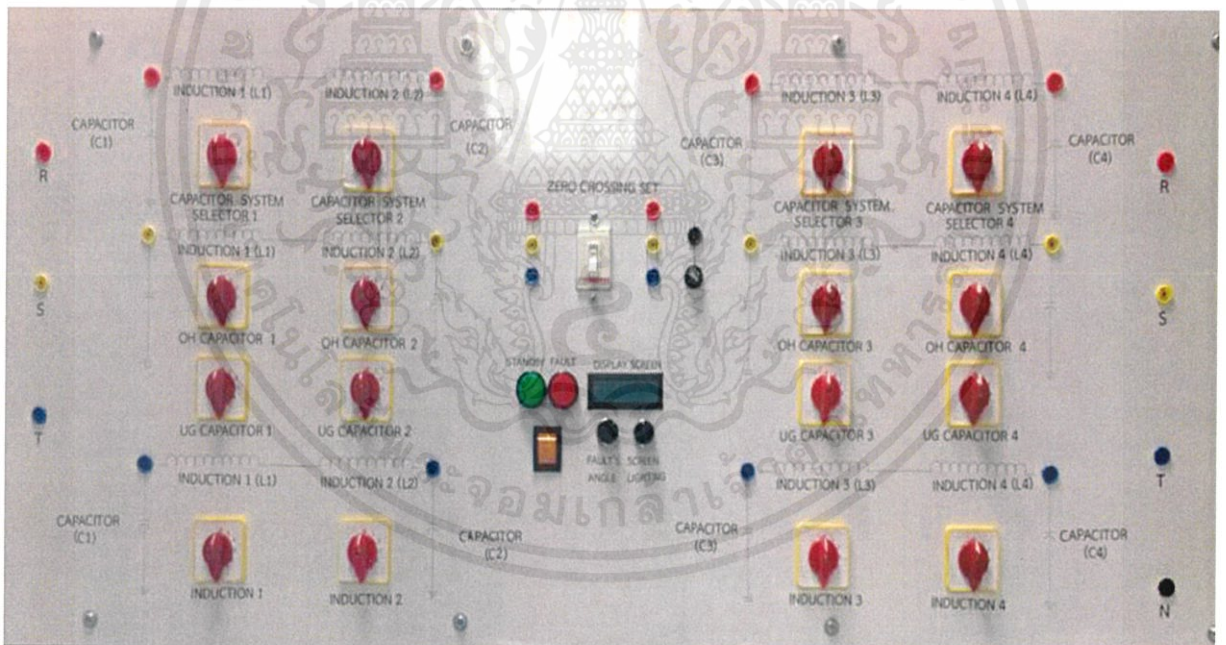
รูปที่ 3.4 (ก) ระบบป้องกันหน้าตู้ทดลอง

(ข) วงจรการต่อระบบการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่อด้วยอิงถึงข้อมูลเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้า อยู่ในตำแหน่งหมายเลข 3 ในรูปที่ 3.2 (ข) โครงการนี้ทำเพื่อการจำลองสายส่งของระบบจำหน่ายทั้งแบบเหนือศีรษะของการไฟฟ้านครหลวง ที่มีระยะความยาวสาย 40 กิโลเมตร ซึ่งใช้วงจรสมมูลแบบพาย เพื่อใช้เป็นวงจรสมมูลที่ใช้สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการแรงดันต่ำ วงจรจำลองนี้ได้ทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายส่งระบบจำหน่ายคือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า (R), ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L), และค่าความจุไฟฟ้า (C) ด้วยวิธีการเทียบอัตราส่วนที่กำหนดไว้ (อัตราส่วน เพอร์ยูนิต) พบว่าพารามิเตอร์ค่าความต้านทานนั้น จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานภายในสายที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ (X_L) อีกทั้งข้อจำกัดในการจัดหาตัวต้านทานที่สามารถทนค่าพิกัดแรงดัน และกระแสได้สูงๆนั้นไม่สามารถหาได้จากท้องตลาดทั่วไป ต้องทำการสั่งทำพิเศษ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่มาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการละทิ้งการพิจารณาค่าความต้านทานในระบอบออกไป

ภาพแผงวงจรหน้าชุดทดลองโดยในชุดทดลองนี้ แสดงตำแหน่งและสวิตซ์การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุ และค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ทดลอง และสวิตซ์เลือกระบบจำหน่าย โดยมีทั้งระบบจำหน่ายเหนือศีรษะและระบบจำหน่ายใต้ดิน พร้อมชุดทำลัดวงจรดังภาพที่ 3.5 (ก) และ (ข)

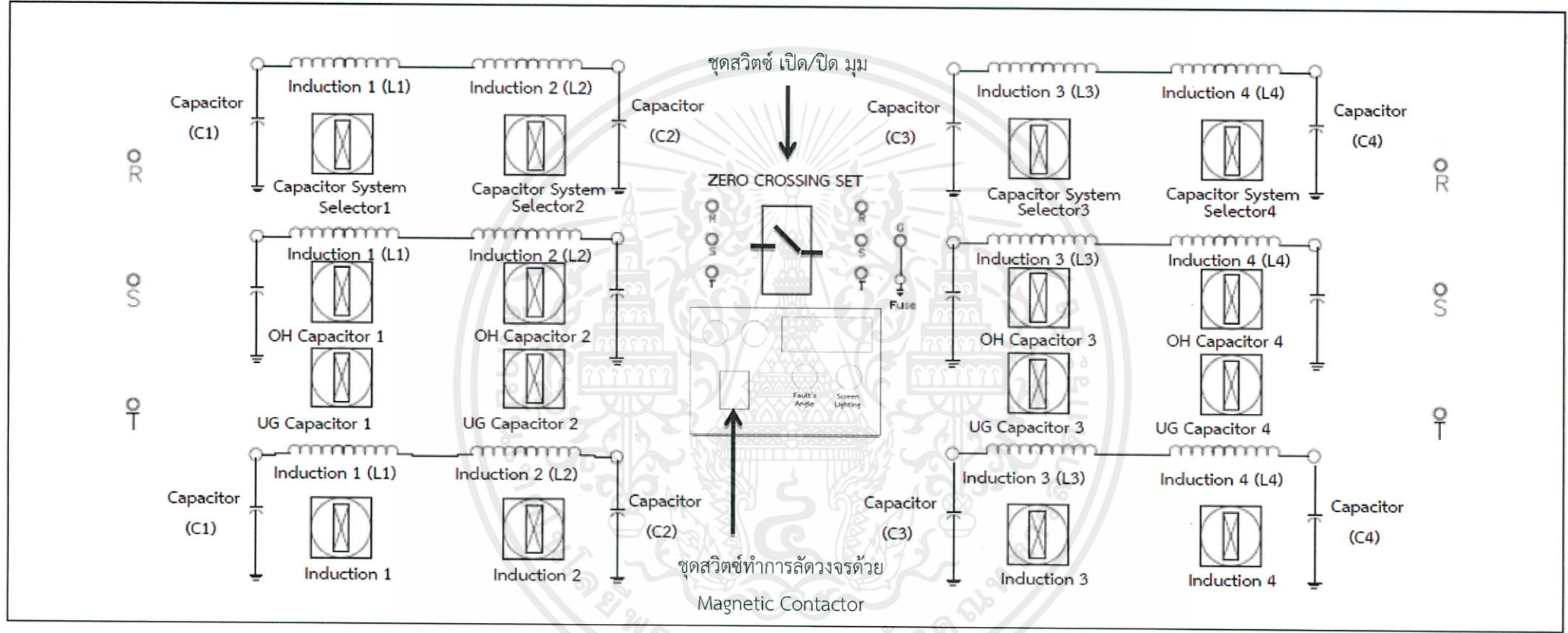


(ก) แผงผังหน้าตู้ของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสวิตช์ 3 เฟสสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์สายส่ง ส่วนที่ 1

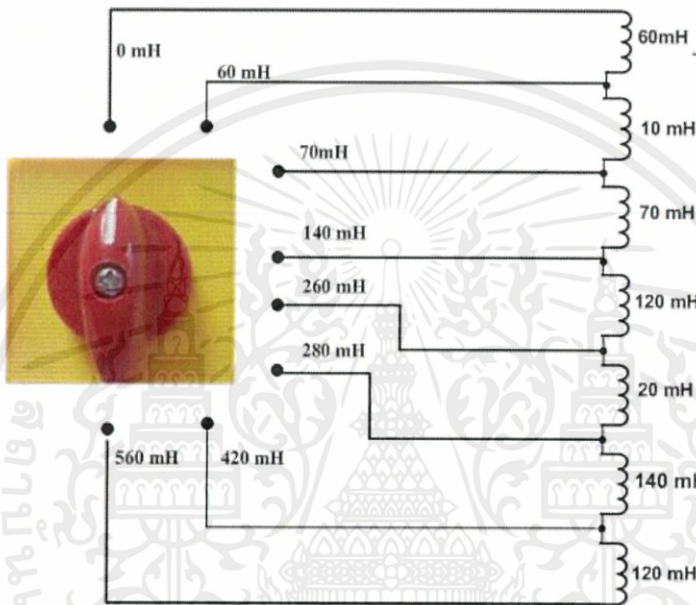
ชุดสวิตช์ 3 เฟสสำหรับปรับค่าพารามิเตอร์สายส่ง ส่วนที่ 2



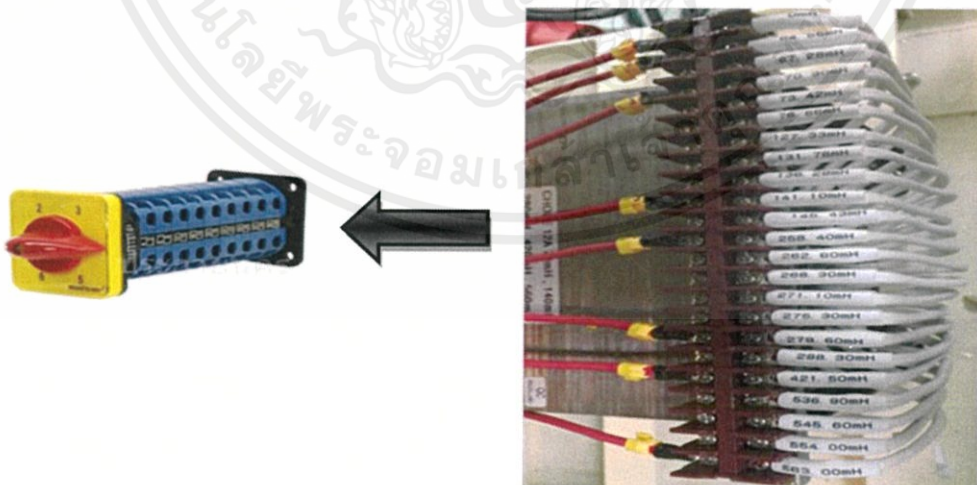
(ข)

รูปที่ 3.5 รูปภาพ (ก) และ (ข) แสดงแบบผังหน้าตู้วงจรจำลองสายส่งระบบจำหน่ายเหนือดินและใต้ดิน

1) การออกแบบตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้กับวงจรจำลองนี้จะออกแบบมาแต่ละเฟสจะใช้ตัวเหนี่ยวนำ 4 ตัว แบ่งเป็นด้านละ 2 ตัวของวงจรแบบพาย เป็นตัวเหนี่ยวนำชนิดปรับค่าได้ตามแท็บ ตัวที่ 1 และ 3 จะมีการปรับแท็บทั้งหมด 8 แท็บ และตัวเหนี่ยวนำตัวที่สองจะมีการปรับแท็บทั้งหมด 7 แท็บ โดยตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 และ 3 มีขนาดของค่าความเหนี่ยวนำเป็นลำดับดังนี้ 0 mH , 60 mH , 70 mH , 140 mH, 260 mH , 280 mH, 420 mH, 560 mH และ ความเหนี่ยวนำตัวที่ 2 และ 4 สามารถปรับแท็บได้ดังนี้ 0 mH , 60 mH , 70 mH, 127 mH, 140 mH, 260 mH , 280 mH โดยเขียนผังจำลองการปรับค่าตัวเหนี่ยวนำได้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



(ก)

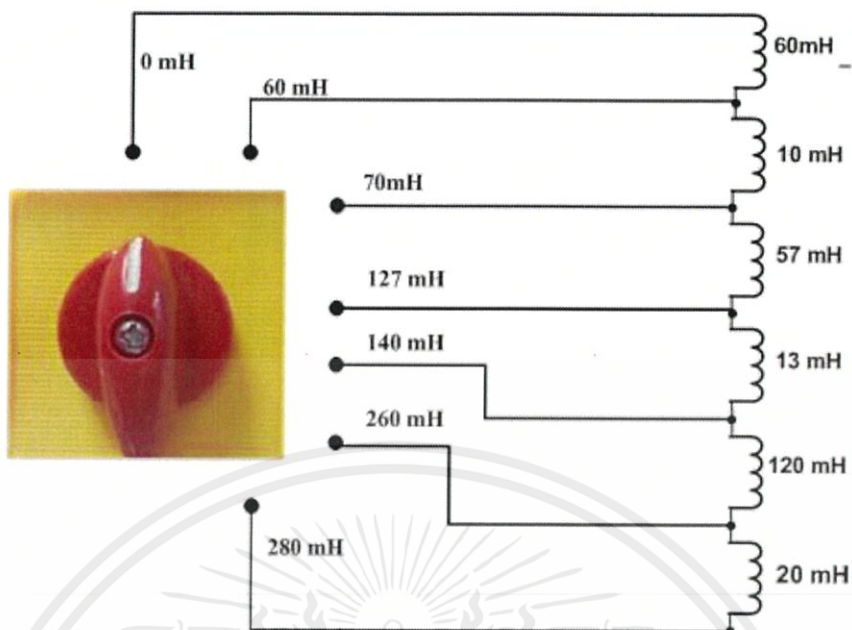


(ข)

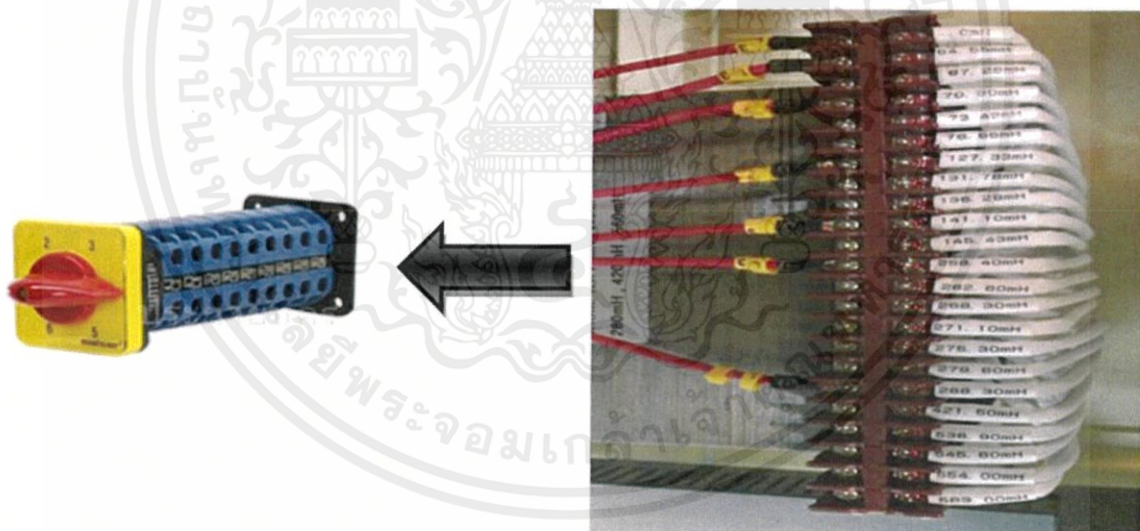
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าหน้าปัดให้ดูแปลกๆก็ตาม และต้องอ้างถึงที่มาเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 (ก) สวิตช์เลือกปรับระดับค่าความเหนี่ยวนำหน้าตู้ทดลองตัวที่ 1 และ 3

(ข) แสดงการแถบเลือกค่าความเหนี่ยวนำจากอุปกรณ์จริงตัวที่ 1 และ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) สวิตช์เลือกปรับระดับค่าความเหนี่ยวนำหน้าตู้ทดลองตัวที่ 2 และ 4
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) แสดงการแถบเลือกค่าความเหนี่ยวนำจากอุปกรณ์จริงตัวที่ 2 และ 4
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

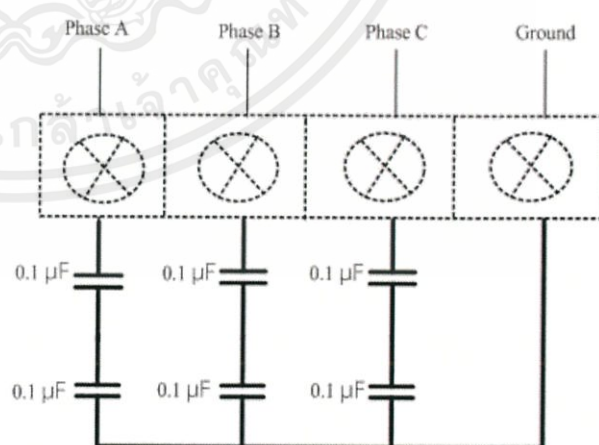
จะเห็นว่าตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรจำลองจะมีรูปแบบการแบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ระยะสายส่งในระบบจำหน่าย เนื่องจากการออกแบบร่วมกันกับกลุ่มโครงการวิจัยการลัดวงจรในระบบจำหน่ายด้วย เพื่อใช้ชุดสายส่งในระบบจำหน่ายชุดเดียวกัน เพื่อลดภาระค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของสายส่งสำหรับระบบจำหน่ายเหนือศีรษะที่ระยะความยาวต่างๆ

เปอร์เซ็นต์ความยาวสายส่งที่วัดจากด้านส่ง (40 km)	ค่าความเหนี่ยวนำที่คำนวณได้ (mH)	ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในระบบจำลอง (mH)
20 เปอร์เซ็นต์	74.24807	70
40 เปอร์เซ็นต์	148.4961	140
60 เปอร์เซ็นต์	222.7442	210
80 เปอร์เซ็นต์	296.9923	260

2) การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้านี้จะให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิด Silver Mica ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 350-1000V_{AC} ซึ่งตัวเก็บประจุที่ใช้จะมีหลายขนาดที่มีขายในท้องตลาดมาทำการต่อวงจรให้ได้ค่าที่ต้องการ มาทำการต่อขนานหรืออนุกรมในบอร์ดไขปลาเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ

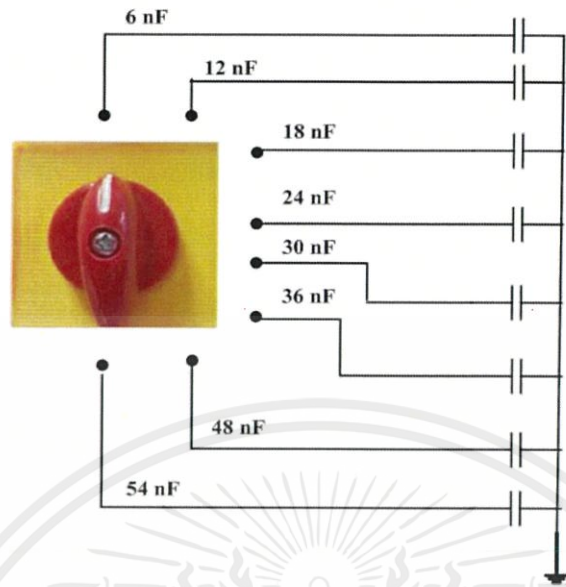
ตัวอย่างการต่อค่าตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ตามค่าที่ต้องการใช้ เช่น ต้องการใช้ค่าตัวเก็บประจุที่ 0.05 μF ต่อเฟส แต่ค่าตัวเก็บประจุ 0.05 μF นั้นไม่มีขายในท้องตลาด จึงมีความจำเป็นต้องนำค่าตัวเก็บประจุ 0.1 μF ที่มีขายในท้องตลาดมาทำการต่อขนานกันเพื่อให้ได้ค่า 0.05 μF ตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ (ก) รับประทานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต (ข) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

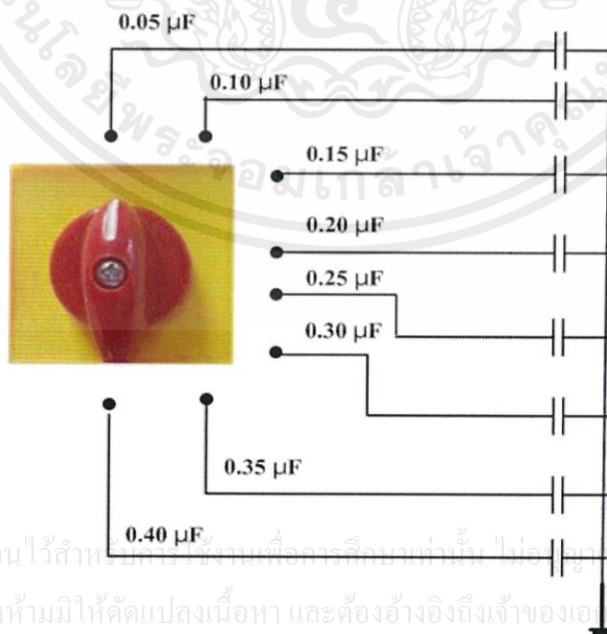
รูปที่ 3.8 (ก) ค่าเก็บประจุขนาด 0.05 μF ต่อเฟสที่เกิดการต่ออนุกรมกันของ 0.1 μF 2 ตัว

(ข) รูปวงจรการต่อค่าตัวเก็บประจุให้ได้ 0.05 μF



รูปที่ 3.9 สวิตช์ปรับค่าตัวเก็บประจุของระบบจำหน่ายเหนือศีรษะทั้ง 2 ตัว

รูปที่ 3.9 เป็นสวิตช์ในการปรับค่าตัวเก็บประจุของระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ โดยจะมีลักษณะเหมือนกันทั้งสองตัว มี 7 ระดับ โดยระดับที่ 0 จะเริ่มต้นที่ค่า 6 nF , และแต่ละระดับการปรับจะเพิ่มขึ้นทีละ 6 nF เป็นดังนี้ 6nF , 12 nF , 18nF , 24 nF , 30 nF, 36 nF, 48 nF , และ 54 nF โดยมีทั้งหมด 7 ระดับ ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ปรับค่าตัวเก็บประจุของระบบจำหน่ายใต้ดินทั้ง 2 ตัว

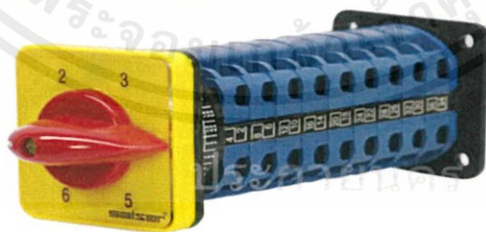
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 เป็นสวิตซ์ในการปรับค่าตัวเก็บประจุของระบบจำหน่ายใต้ดิน โดยจะมีลักษณะเหมือนกันทั้งสองตัว มี 7 ระดับ โดยระดับที่ 0 จะเริ่มต้นที่ค่า $0.05 \mu\text{F}$, และแต่ละระดับการปรับจะเพิ่มขึ้นทีละ $0.05 \mu\text{F}$ เป็นต้นี้ $0.05 \mu\text{F}$, $0.1 \mu\text{F}$, $0.15 \mu\text{F}$, $0.2 \mu\text{F}$, $0.25 \mu\text{F}$, $0.30 \mu\text{F}$, $0.35 \mu\text{F}$, และ $0.5 \mu\text{F}$ โดยมีทั้งหมด 7 ระดับ ตามลำดับ แต่ในโครงการนี้ทดสอบในระบบจำหน่ายเหนือศีรษะเท่านั้น

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่ายเหนือศีรษะที่ระยะความยาวต่างๆ

เปอร์เซ็นต์ความยาวสายส่งที่วัด จากด้านส่ง (40 km)	ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ คำนวณได้ (nF)	ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในระบบจำลอง (nF) ต่อ 1 ตัว
20 เปอร์เซ็นต์	6	3 nF
40 เปอร์เซ็นต์	12	6 nF
60 เปอร์เซ็นต์	18	9 nF
80 เปอร์เซ็นต์	24	12 nF

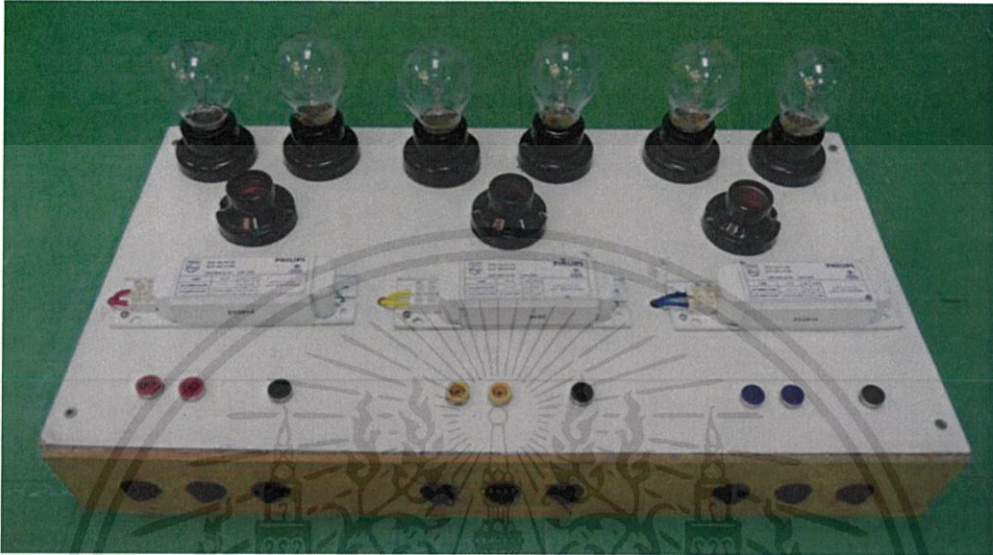
3.2.4 สวิตซ์ปรับค่าพารามิเตอร์ การเลือกช่วงค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุเพื่อให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการศึกษา จึงจำเป็นต้องใช้สวิตซ์ที่ใช้งานการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายส่งเช่น ค่าตัวเหนี่ยวนำ ค่าตัวเก็บประจุ เพื่อใช้สำหรับเลือกค่าที่ต้องการ จะเป็นสวิตซ์ที่มีความสามารถในการทนกระแสที่สูง และค่าพารามิเตอร์ได้ถูกออกแบบให้มีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทางที่กำหนดไว้ที่หลายค่า จึงทำให้สวิตซ์ที่นำมาใช้นั้นมาใช้ปรับค่านั้นมีให้เลือกได้หลายระดับ หลังจากนั้นการพิจารณาแล้วนั้นได้ทำเลือกสวิตซ์ปรับค่าพารามิเตอร์ (CAM Rotate Switch) ดังรูปภาพที่



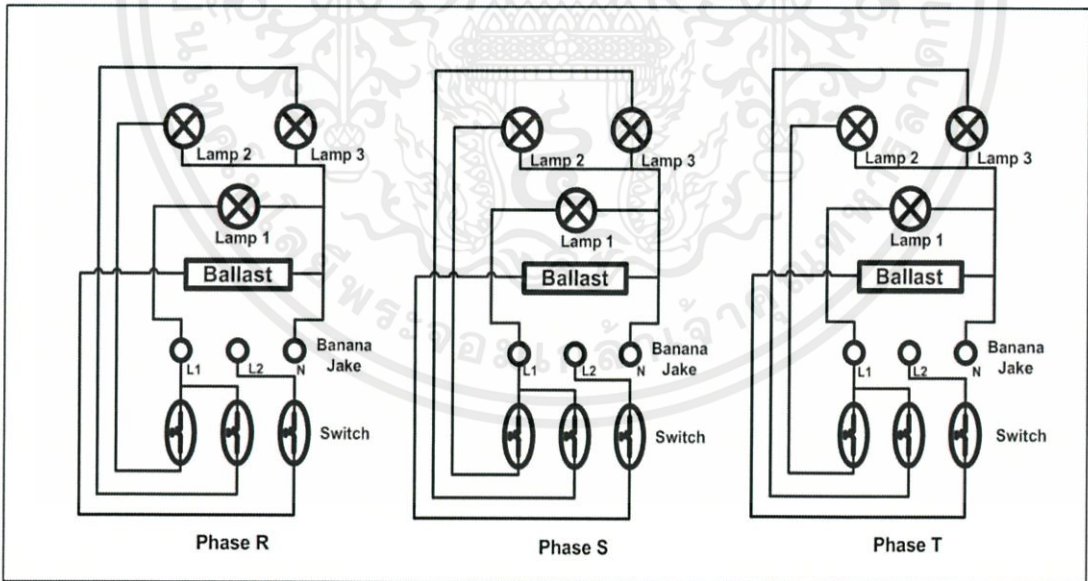
รูปที่ 3.11 สวิตซ์ปรับหลายระดับ (Multi-Step Cam Switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 โหลดของระบบสายส่งโหลด อยู่ในตำแหน่งที่ 4 ของรูปที่ 3.2 (ข) ของระบบ จำลองนี้จะทำการกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟไม่สามารถปรับค่าได้ จึงต้องทำการกำหนดโหลดให้เป็นค่าคงที่เพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่ฝั่งโหลดไว้ที่ 230 โวลต์ จึงได้กำหนดโหลดไว้ที่ 140 วัตต์ ต่อ เฟส โดนใช้หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอดและบัลลาสต์ 20 วัตต์



(ก)



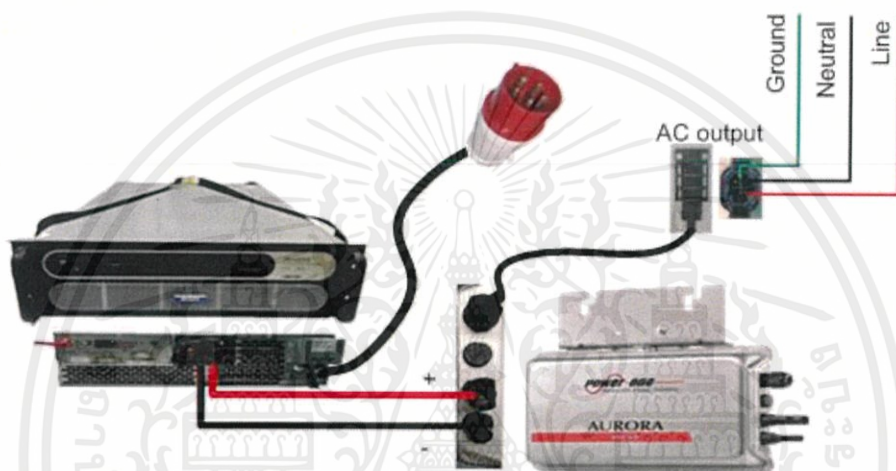
(ข)

รูปที่ 3.12 (ก) โหลดที่ใช้ในการทดลอง

(ข) วงจรการต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ในส่วนแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนจะกำหนดให้เครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic Simulator) ทำหน้าที่เสมือนจ่ายกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ และสามารถปรับค่าอุณหภูมิ ค่าความเข้มแสง อีกทั้งรูปแบบการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งในการจำลองพลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งไปที่ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) หลังจากได้รับพลังงานที่ออกจากเครื่องจำลองการจ่ายพลังงานจากพลังงานทดแทน (Photovoltaic Simulator) ก่อนที่จะส่งกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรจำลอง ซึ่งตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับมีพิกัดสูงสุดที่ 250 วัตต์ จะอยู่ในตำแหน่งหมายเลข 5 ที่รูป 3.2 (ข)



รูปที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์จำลองในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในชุดทดลอง

3.2.7 มาตรฐานภายนอก ชุดเครื่องมือวัดจากภายนอกมีหน้าที่ในการวัดปริมาณต่างๆทางไฟฟ้า สำหรับการทดลองนี้จะทำการติดตั้งเครื่องมือวัด 3 จุดที่บริเวณระหว่างหม้อแปลงปรับค่าได้ 1 เฟส จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และภาระทางไฟฟ้า โดยเครื่องมือวัดที่สำคัญซึ่งจะใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย Digital Oscilloscope ทำหน้าที่แสดงลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า, Current Clamp Meter ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณกระแสโดยอาศัยหลักการ Hall effect จากนั้นจะประมวลผลแปลงรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยจะแสดงผลผ่าน Fluke Analyzer รูปที่ 3.13 ใช้ในการวิเคราะห์กราฟการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบและใช้บันทึกสัญญาณรูปคลื่นต่างๆลงใน SD Card เพื่อใช้สำหรับการนำเสนอต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ชุดมาตรวัดภายนอกที่ใช้ในการบันทึกการทดลอง (Fluke meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

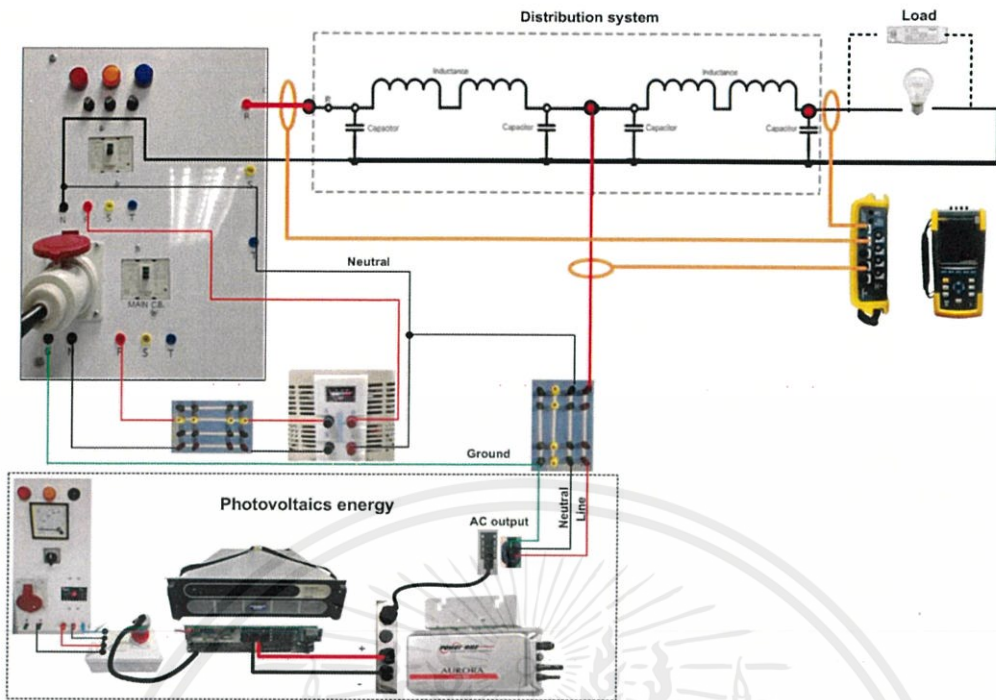
จากการทดลองการส่งจ่ายพลังงานในระบบจำหน่ายของระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ เป็นสายส่งแบบพาย (π - network) โดยมีแหล่งจ่ายจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบด้วย และมีการกำหนดระยะทางการจำหน่ายสูงสุดที่ใช้ในการทดลองของโครงการวิศวกรรมระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ กำหนดระยะทางในการส่งจ่ายพลังงานสูงสุดที่ 40 กิโลเมตร

ในการทดลองจะมุ่งเน้นเพื่อวิเคราะห์ถึงการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในข้างต้น และศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้าเมื่อมีโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าอาทิจน ค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละตำแหน่งที่มีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากำลังการสูญเสียของทั้งระบบ ค่าตัวประกอบกำลัง และการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยการทดลองแบ่งระยะการศึกษาที่ 4 ตำแหน่งดังต่อไปนี้

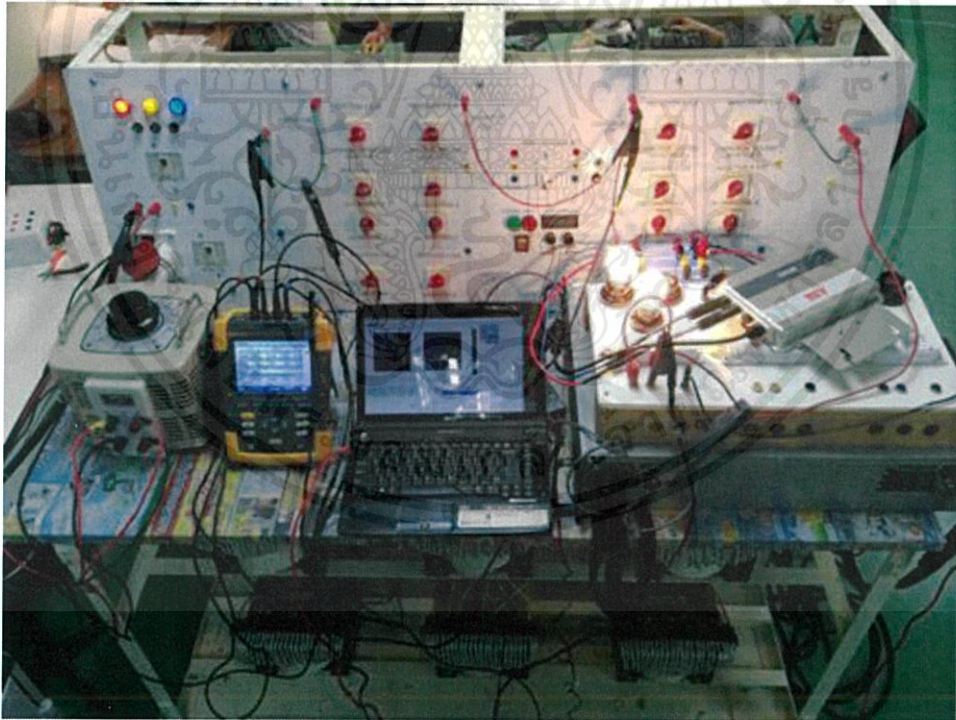
- จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20% ของความยาวสายส่ง
- จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40% ของความยาวสายส่ง
- จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60% ของความยาวสายส่ง
- จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80% ของความยาวสายส่ง

ในทุกระยะการทดลองจะกำหนดที่ขนาดโหลด 60 วัตต์ , 80 วัตต์ , 120 วัตต์ , และ 140 วัตต์ โดยการทดลองทุกกรณีจะคงที่แรงดันด้านโหลดไว้ที่ 230 โวลต์ ยกเว้นกรณีที่เป็นโหลด L และ R-L ที่แรงดันไฟฟ้าไม่สามารถรักษาระดับที่ 230 โวลต์ เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องการปรับแรงดันของ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Variac) ไม่สามารถเพิ่มแรงดันที่ฝั่งโหลดให้เพิ่มขึ้นถึง 230 โวลต์ได้ และสำหรับการจำลองในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะใช้เครื่องจำลองในการจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

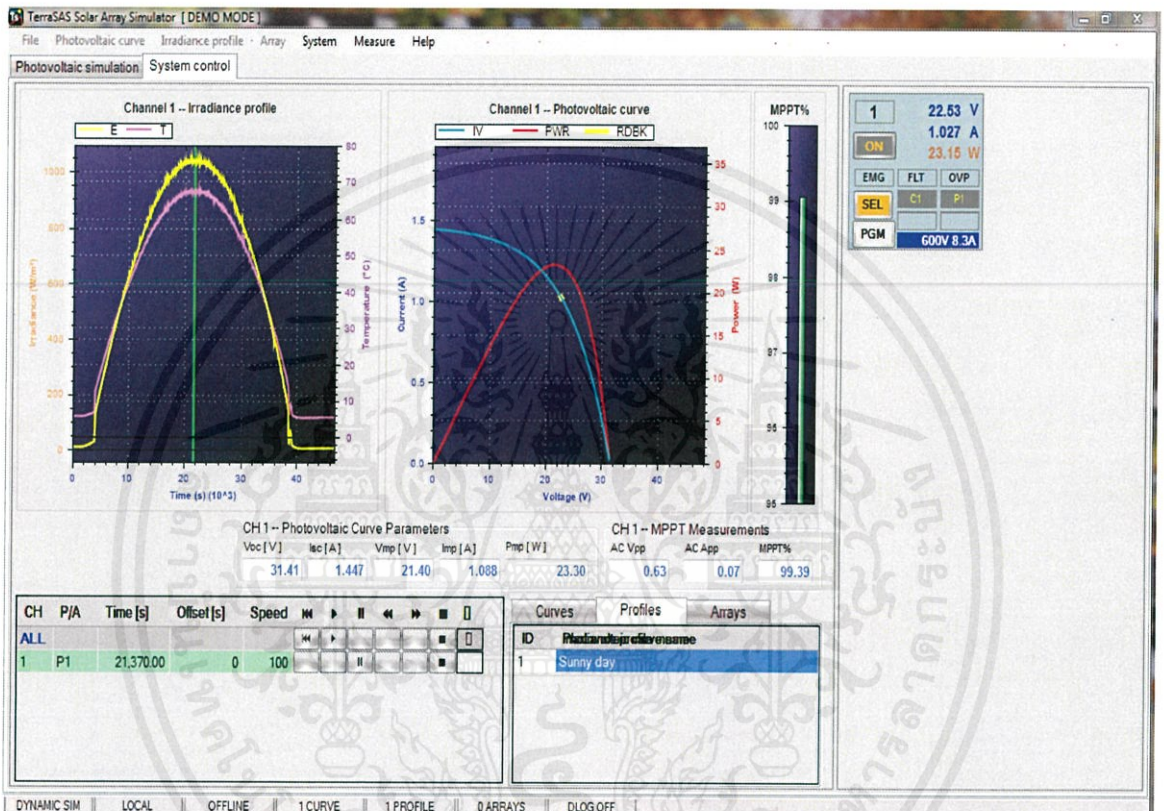


(ข)

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.1 (ก) แผนภาพเส้นเดียว (One-line Diagram) ของการติดตั้งชุดทดลอง ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริง

4.1 การตั้งค่าโปรแกรมจำลอง

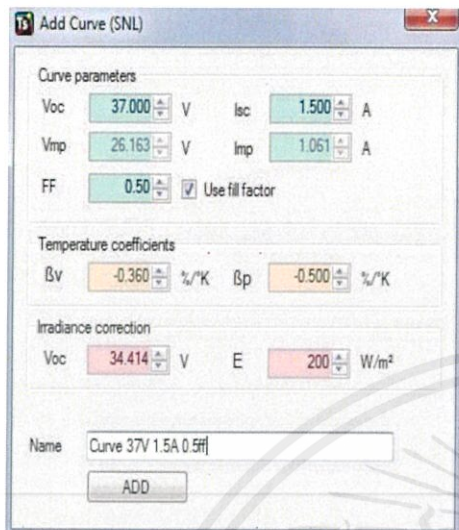
จากโครงงานวิศวกรรมนี้ ชุดทดลองเชื่อมต่อบริเวณระบบจำหน่ายด้วยพลังงานทดแทน มีการจำลองในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากการเครื่องจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ผ่านการใช้โปรแกรมจำลอง (TerraSas) ดังรูปที่ 4.2



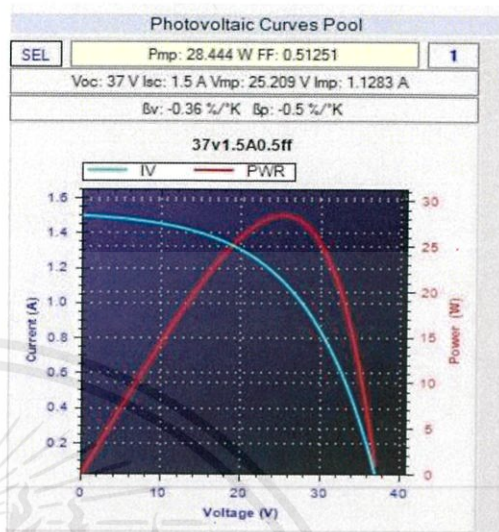
รูปที่ 4.2 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

โครงงานนี้มีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในสายส่งจากระบบแรงดันจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ มีโหลด 100 เมกะวัตต์ และให้กำลังไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีกำลังผลิตอยู่ที่ 13.3 เมกะวัตต์ ในระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับในระบบแรงดัน 400 โวลต์ที่ใช้กับชุดทดลอง จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบจำหน่ายอยู่ที่ 20 วัตต์

การใช้โปรแกรมจำลองมีความจำเป็นที่ต้องตั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน ให้มากกว่า 20 วัตต์ ซึ่งกำหนดให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ประมาณ 28 วัตต์ ด้วยการตั้งค่าโปรแกรมและกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบดังรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) และมีการใช้กราฟความเข้มแสง (Irradiance Profile) แบบวันที่มีแสงแดดปกติ (Sunny Day graph) ดังรูปที่ 4.4



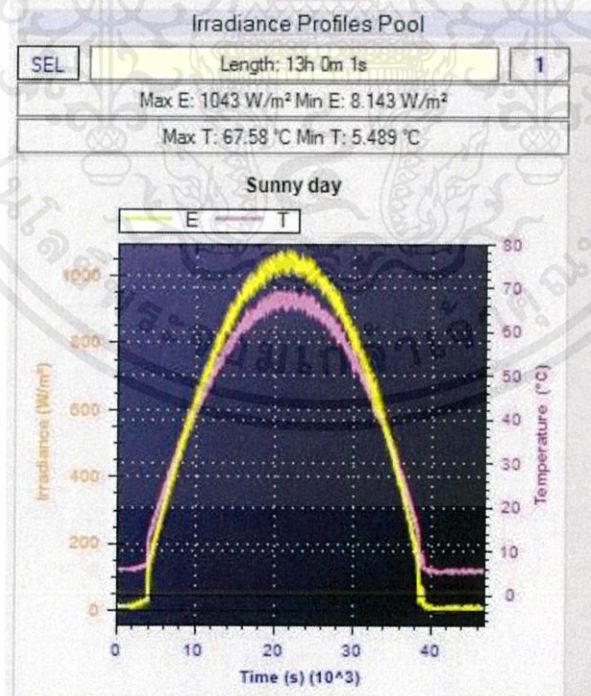
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 (ก) การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้เพื่อได้กำลังไฟฟ้า 28 วัตต์

(ข) ลักษณะกราฟที่ได้จากการตั้งค่า



รูปที่ 4.4 กราฟความเข้มแสงที่ใช้การทดลองเป็นแบบแสงแดดปกติ

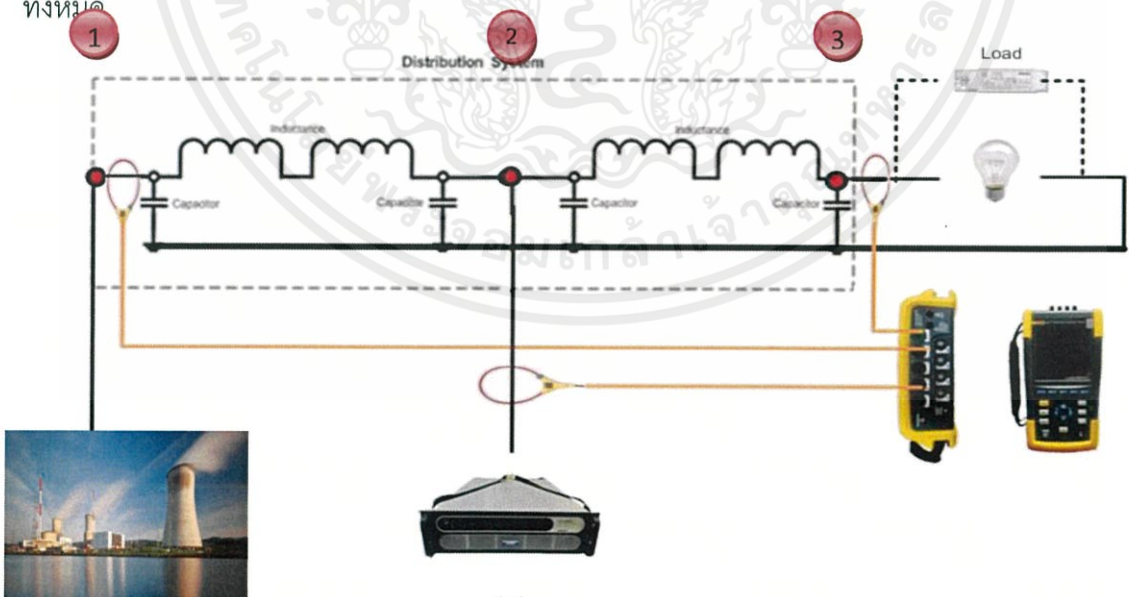
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 จากรูปที่ 4.2 ด้านล่างนี้เมื่อทำการจำลองการจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยการตั้งค่างกล่าว
 ในช่วงต้นร่วมกัน ทำการเร่งเวลาในการจำลองเทียบกับเวลาจริงเป็น 100 เท่า จะพบว่าในช่วงความ

เข้มแสงสูงสุดของกราฟความเข้มแสงแบบปกติ (Sunny Day graph) พบว่า มีกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายโดยเฉลี่ยให้กับระบบมีเพียง 23.30 วัตต์เท่านั้นแต่ในความเป็นจริงแล้วเมื่อทำการต่อเข้ากับตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ ก่อนที่จะจ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้าจริงๆ ในการทดลองนี้พบว่า จะมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประมาณ 3 วัตต์ทำให้เมื่อทำการทดลองการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนในตำแหน่งต่างๆ ในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ใช้ในการทดลองนี้จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 20 - 21 วัตต์ ตามที่ต้องการ

ในการทดลองเพื่อศึกษานั้น ในระหว่างการจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทนจะการบันทึกค่าพารามิเตอร์ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน และค่าตัวประกอบกำลัง พร้อมทั้งการบันทึกกราฟการเปลี่ยนแปลงของระบบตลอดการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน 3 ช่วง คือ

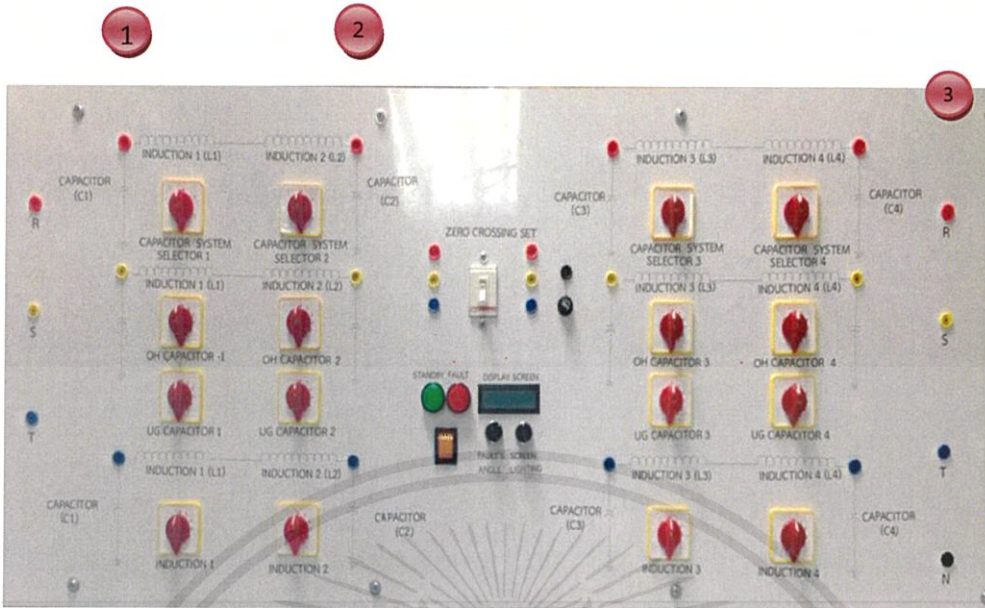
1. ช่วงก่อนเริ่มทำงาน (Off)
2. ช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak)
3. ช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Off)

ในแต่ละช่วงของการทดลองในข้างต้น จะทำการวัดค่า 3 ตำแหน่งต่อไปนี้คือทำการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ส่งมาจากการไฟฟ้า วัดค่าจุดที่มีที่การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และวัดค่าพารามิเตอร์ของโหลดตลอดการทดลองเช่นกัน โดยทำการทดลองเป็น 4 ระยะเวลาเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนคือ ที่ระยะ 20 , 40 , 60 , และ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่งทั้งหมด



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

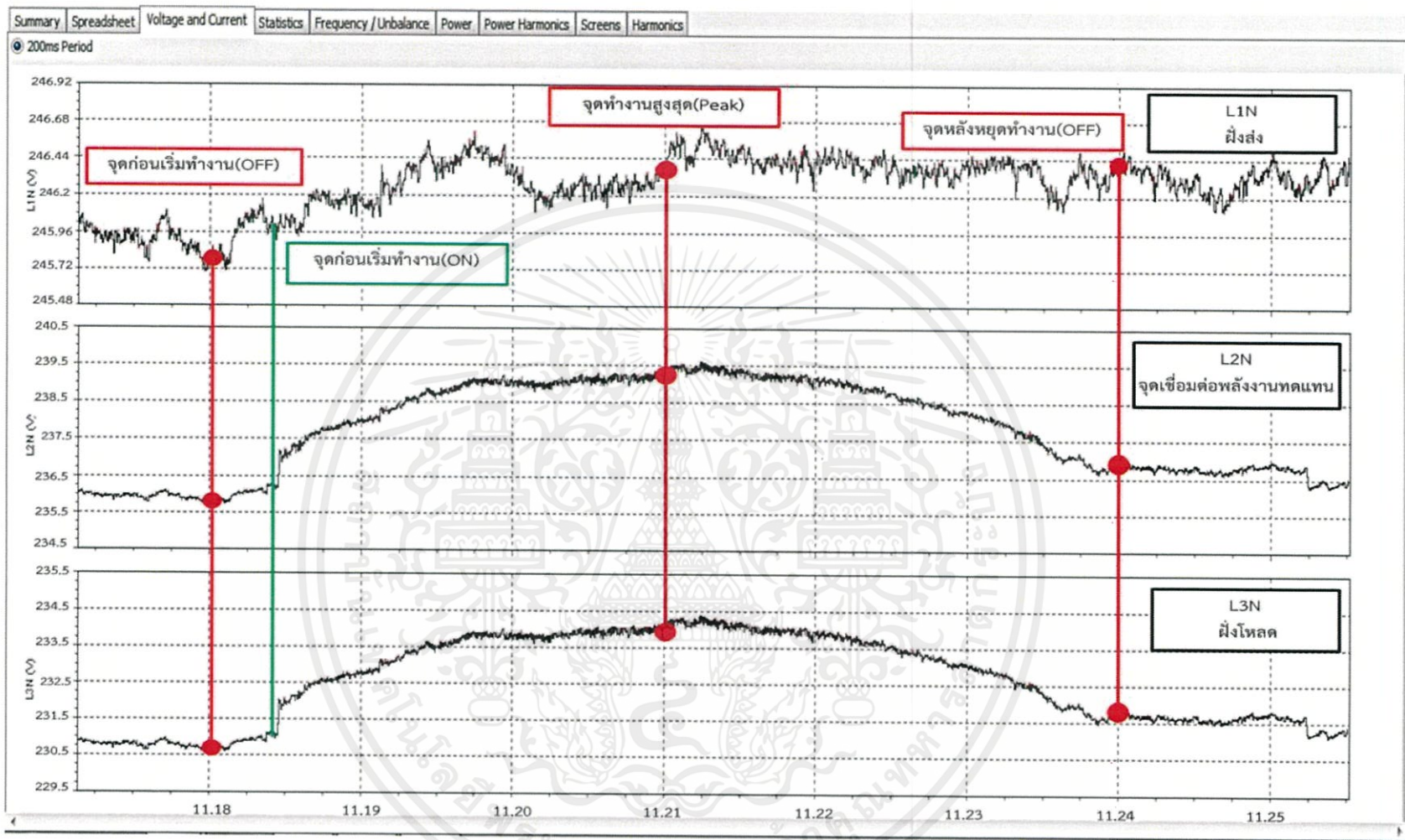
รูปที่ 4.5 (ก) ภาพตำแหน่งการวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 จุด ในวงจร

(ข) ตำแหน่งจุดวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 จุดบนแผงหน้าตู้ทดลอง

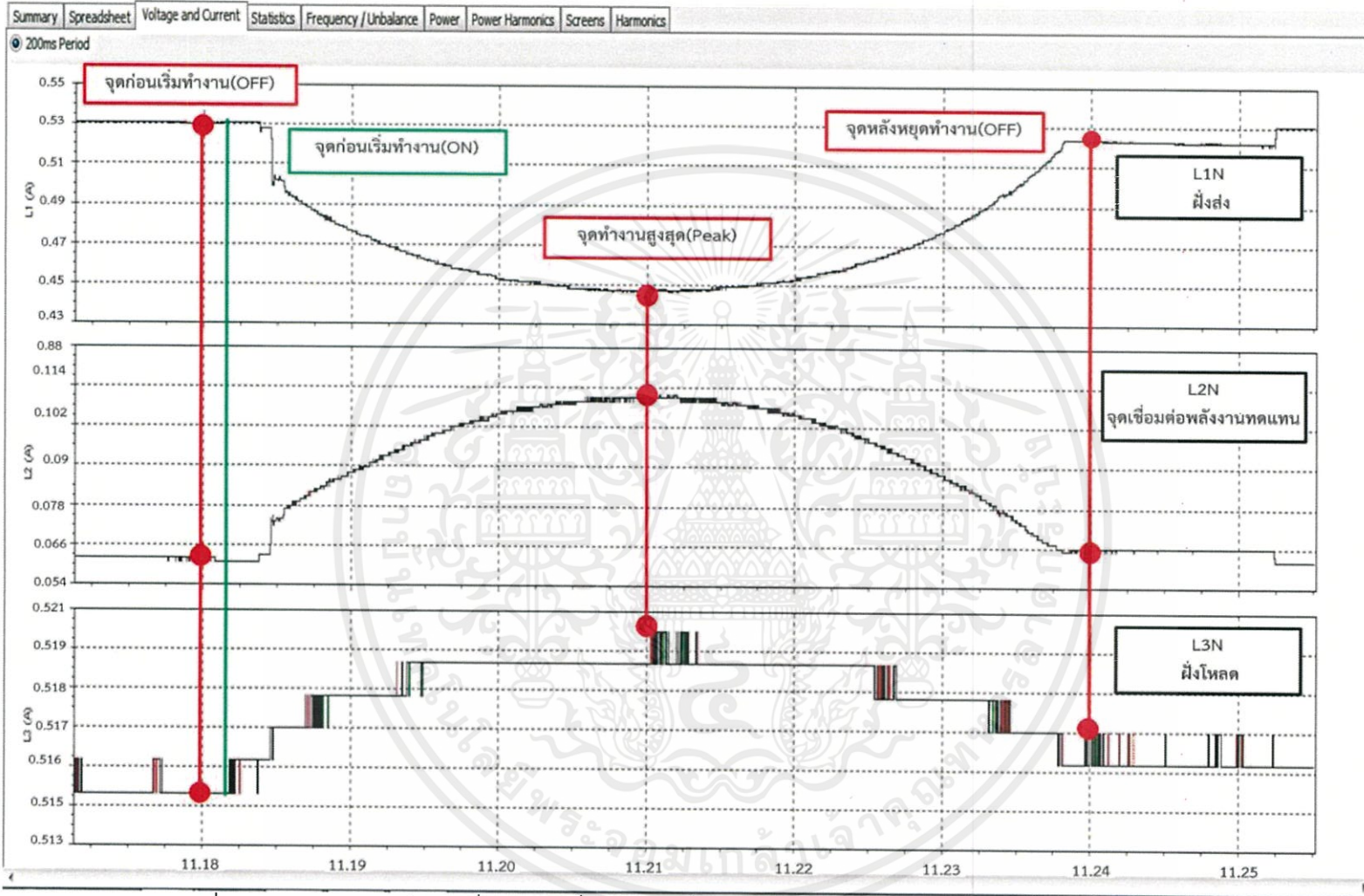
จากภาพที่ 4.6 แสดงตำแหน่งในการบันทึกผลการทดลองทั้ง 3 จุด โดยจุดฝั่งรับจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่มาจากฝั่งการไฟฟ้า จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนจะทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในโครงงานนี้กำหนดให้มาจากเครื่องจำลองการจำหน่ายพลังงานจาก โซล่าเซลล์ และฝั่งรับหรือฝั่งโหลดจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ตลอดการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อมีโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเชื่อมต่อและจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในการทดลองแต่ละระยะของจุดเชื่อมต่อจะประกอบด้วยการบันทึกค่ากราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง ทั้งหมด 6 กราฟต่อ 1 ประเภทส่งผลให้ในการทดลองระยะการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน 1 ระยะจะมีกราฟทั้งสิ้น 30 กราฟ และกราฟมีการบันทึกในช่วงยาวจึงมีความจำเป็นที่หีบยกตัวอย่างการทดลองพร้อมแสดงกราฟประกอบเพียง 1 ระยะการเชื่อมต่อและ 1 ประเภทโหลด ส่วนกราฟในการทดลองในระยะอื่นๆ จะแสดงกราฟที่เหลือทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ข

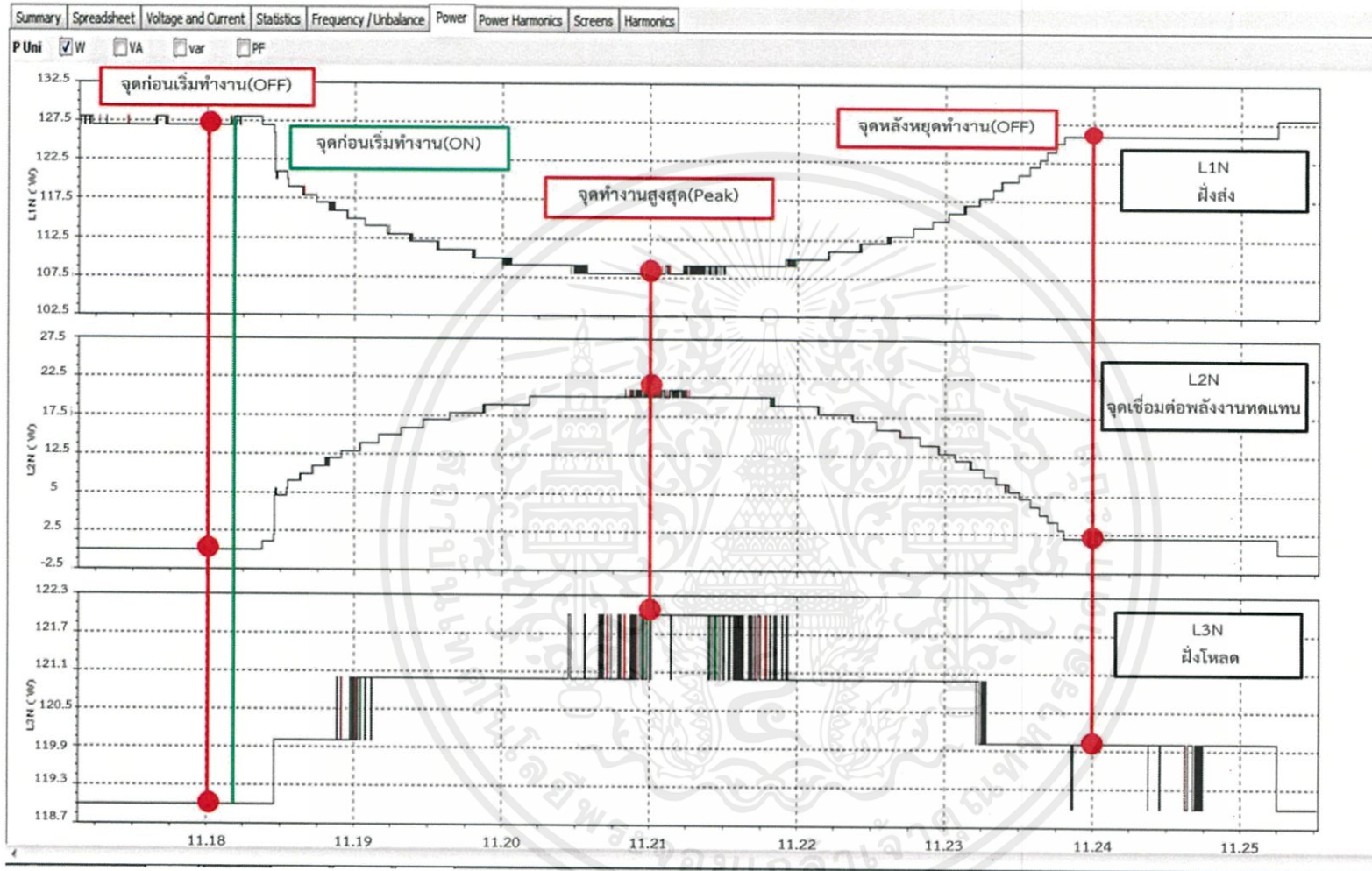
ต่อไปนี้เป็นกรแสดง ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าใช้จริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง ในการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนระยะ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โดยใช้โหลด 120 วัตต์ พร้อมแสดงจุดการวัดและบันทึกผลพร้อมแสดงสมการค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ



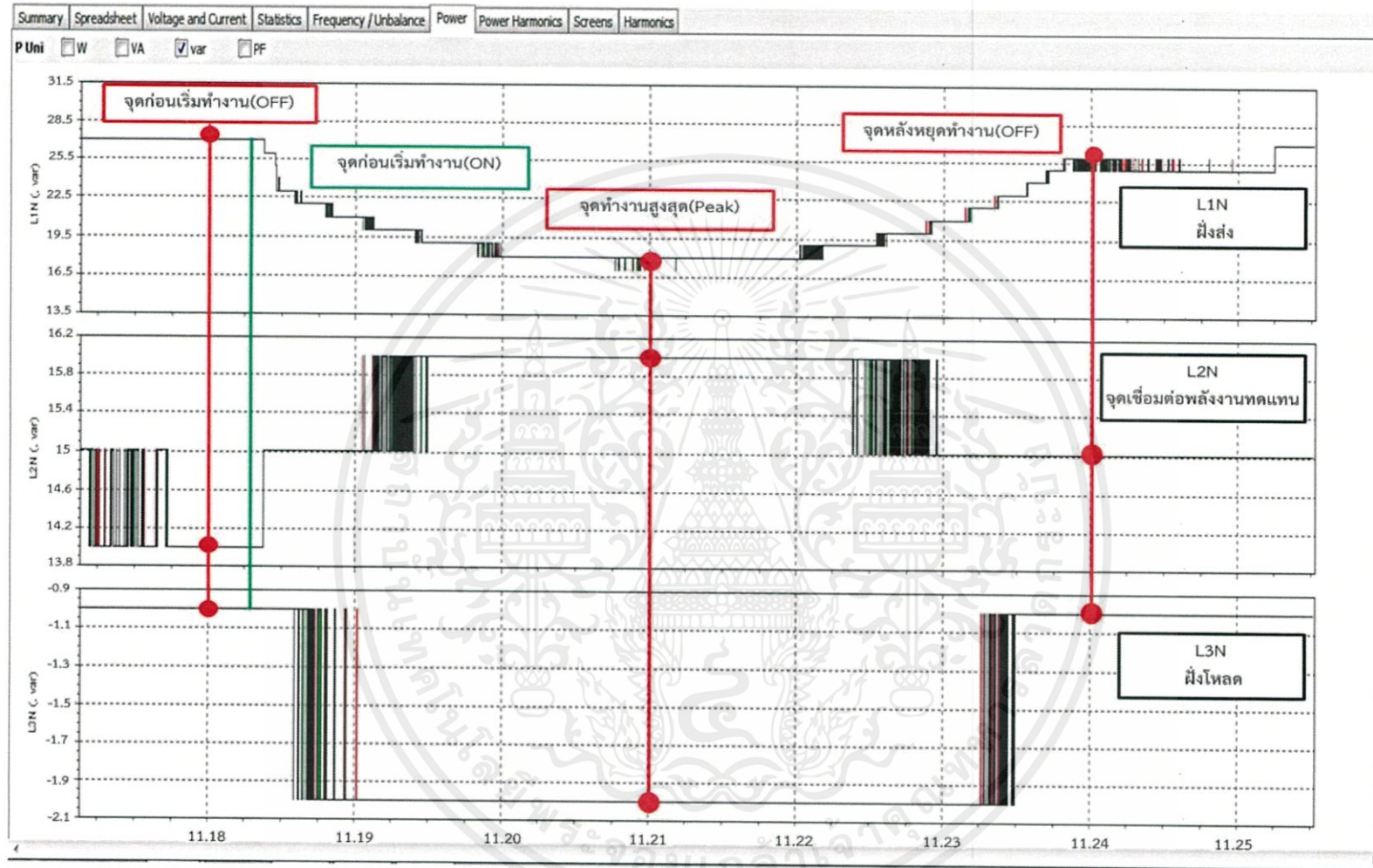
รูป 4.6 (ก) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์



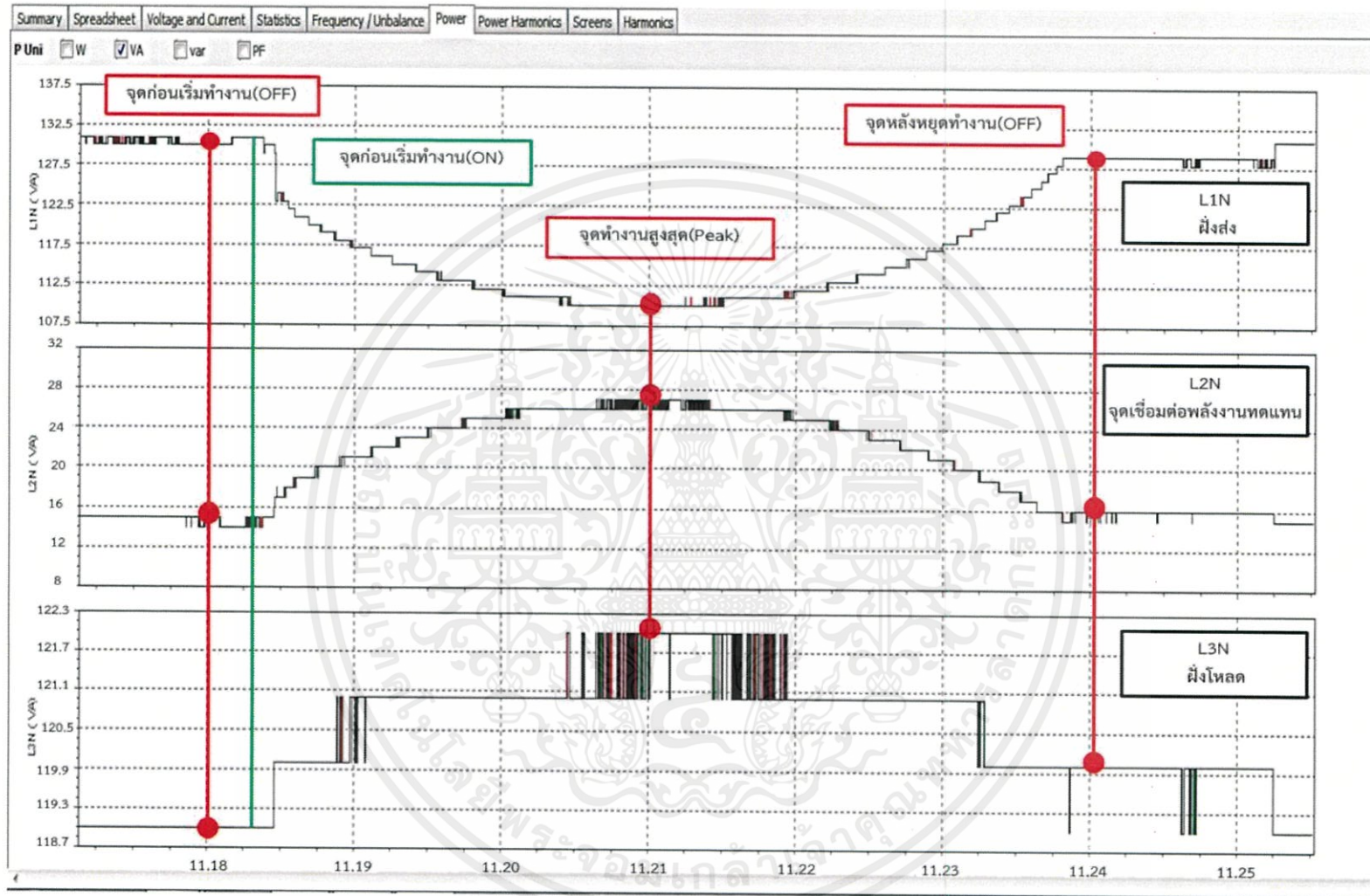
รูป 4.6 (ข) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์



รูป 4.7 (ค) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่ง ฟิ้งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฟิ้งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120

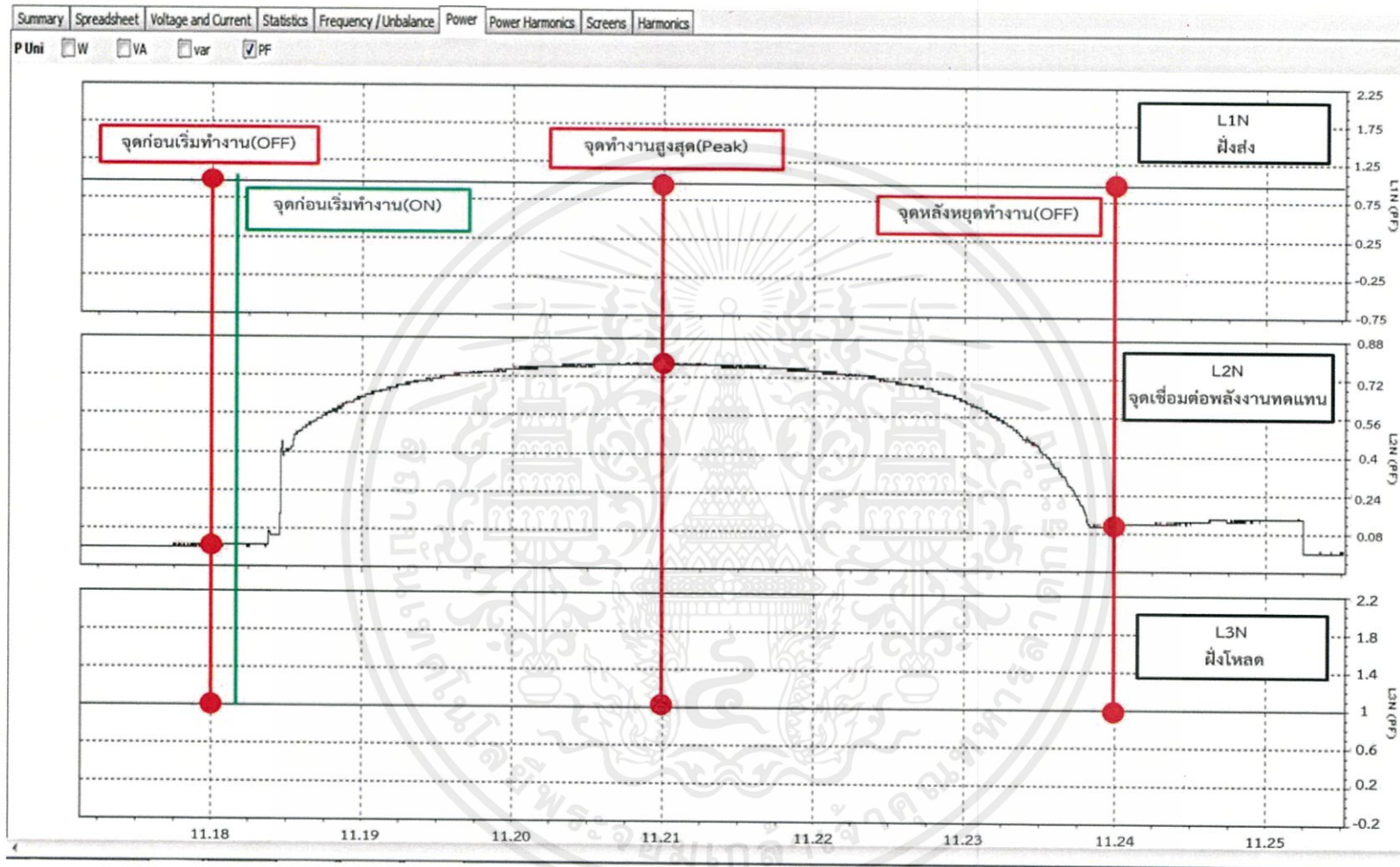


รูป 4.6 (ง) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์



รูป 4.6 (จ) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่ง ผึ่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และผึ่งรับ

ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์



รูป 4.6 (ฉ) กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่ง ฝั่งส่ง , จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน,และฝั่งรับ ที่ระยะเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลด 120 วัตต์

จากรูปที่ 4.6 (ก) , (ข) , (ค) , (ง) , (จ) , (ฉ) เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฟังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.12

จากรูปที่ 4.6 (ก) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.6 (ข) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.6 (ค) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.6 (ง) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ 4.6 (จ) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ 4.6 (ค)

จากรูปที่ 4.6 (ฉ) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

จากกรณีตัวอย่างในข้างต้นและค่าในการทดลอง คำนวณหากำลังที่สูญเสียในระบบดังนี้

$$P_{\text{loss}} = (P_{\text{input}} + P_{\text{dg}}) - P_{\text{load}} \quad \text{สมการ (3.1)}$$

$$\%P_{\text{loss}} = \frac{((P_{\text{input}} + P_{\text{dg}}) - P_{\text{load}})}{(P_{\text{input}} + P_{\text{dg}})} \times 100\% \quad \text{สมการ (3.2)}$$

$\%P_{\text{loss}}$ คือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังสูงสุด

P_{loss} คือ ค่ากำลังการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังสูงสุด

P_{input} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่มาจากโรงไฟฟ้า เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

P_{dg} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จุดที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังสูงสุดในระบบ

P_{load} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด

จากการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองเพื่อศึกษาหาค่าการกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายต่อเชื่อมพลังงานทดแทนมีความจำเป็นต้องแสดงค่ากำลังสูญเสียในกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์และกำลังสูญเสียในระบบกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทน

ประเภทของโหลด		V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	กำลัง สูญเสีย (Watt)
ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead) ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร										
Base ระบบจริง		115 kV						100 MVA		
Base ระบบจำลอง		400 V						150 VA		
Load ระบบจำลอง		ทุกแบบ								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		ไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH						C : 40.3768 μ F		
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		L : 350 mH						C : 30 nF		
บัลลาสต์ 18 W	ฝั่งส่ง	250.08	0.334	84	7	83	0.09	83.526	7.5174	2.214
	ฝั่งรับ	197.88	0.335	66	5	66	0.08	66.289	5.303	
หลอดไฟ 60 W	ฝั่งส่ง	237.67	0.265	63	62	10	0.99	62.982	62.352	1.379
	ฝั่งรับ	230.96	0.264	61	61	-1	1	60.973	60.973	
หลอดไฟ และ บัลลาสต์ 80 วัตต์	ฝั่งส่ง	250.07	0.415	104	54	88	0.52	103.779	53.965	2.294
	ฝั่งรับ	193.61	0.417	81	52	61	0.64	80.735	51.670	
หลอดไฟ 120 W	ฝั่งส่ง	251.8	0.515	130	123	41	0.95	129.677	123.193	4.470
	ฝั่งรับ	230.53	0.515	119	119	-1	1	118.723	118.723	
หลอดไฟ และ บัลลาสต์ 140 W	ฝั่งส่ง	251.34	0.565	142	95	106	0.52	142.007	73.843	5.574
	ฝั่งรับ	185.85	0.567	105	90	55	0.85	105.377	89.570	

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์กรณีที่ไม่มีการเชื่อมพลังงานทดแทน โดยใช้โหลดทั้ง 5 แบบคือ บัลลาสต์ 18 วัตต์ , หลอดไฟ 60 วัตต์ , หลอดไฟและบัลลาสต์ 80 วัตต์ , หลอดไฟ 120วัตต์ , และหลอดไฟกับบัลลาสต์ 140 วัตต์ ได้ค่าเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่ระยะต่างๆ

4.2 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 20% ของระบบ

4.2.1 กรณีหลอดหลอดไฟ 60 W การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้หลอดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฟังส่ง จุดเชื่อมต่อ และฟังรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		20 % หรือ 8 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฟังส่ง 70 mH / 6 nF ต่อ ฟังรับ 280 mH / 24 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฟังส่ง	ก่อนทำงาน	234.90	0.279	65	64	-5	0.97	65.537	63.571
	ทำงานสูงสุด	234.54	0.195	46	42	-7	0.92	45.735	42.076
	หลังทำงาน	234.58	0.267	63	60	-5	0.96	62.632	60.127
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	234.93	0.065	15	0	14	0.00	15.270	0.000
	ทำงานสูงสุด	235.08	0.113	26	21	15	0.77	26.564	20.454
	หลังทำงาน	234.72	0.070	17	3	15	0.19	16.430	3.122
ฟังรับ	ก่อนทำงาน	230.8	0.263	61	61	-1	1.00	60.700	60.700
	ทำงานสูงสุด	230.89	0.263	61	61	-1	1.00	60.724	60.724
	หลังทำงาน	230.57	0.263	61	61	-1	1.00	60.639	60.639

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-1 ถึง ข-6 ของการทดลองกรณีโหลด 60 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 20 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 230 โวลต์ โดยมีการกำหนดให้โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีกำลังผลิตที่สูงสุดที่ 28 วัตต์ แต่เนื่องจากผลของกราฟความเข้มแสงที่ใช้จากโปรแกรมจำลอง (Sunny Day graph) และการสูญเสียในอุปกรณ์ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) ส่งผลให้ในส่วนของการจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีกำลังผลิตเฉลี่ยในช่วงที่ความเข้มแสงสูงสุดวัดค่าได้ประมาณ 21 วัตต์ ในระหว่างการทดลอง โดยมีการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ ตั้งแต่ ก่อนเริ่มจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน ช่วงที่โรงไฟฟ้าจ่ายพลังงานสูงสุด และ ช่วงเวลาที่โรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ในการทดลองทุกแต่ละครั้ง ทุกๆ ระยะเวลาเชื่อมต่อพลังงานทดแทน การจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีประสิทธิภาพที่ 82.14 เปอร์เซ็นต์เท่ากันทุกครั้งเนื่องจากเป็นผลมาจากของโปรแกรมจำลองและผลของการใช้กราฟความเข้มแสง

จากตารางที่ 4.2 ที่ระยะการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง ใช้โหลดในการทดลองที่ 60 วัตต์ ก่อนเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบนั้น การไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดอยู่เพียงผู้เดียว และเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมา 21 วัตต์ ส่งผลให้การไฟฟ้ามีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเหมือนน้อยลง และกระแสไฟฟ้าน้อยลงตามไปด้วย แต่เมื่ออยู่ในช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบได้ การไฟฟ้าจะแบกรับภาระไฟฟ้าเพียงผู้เดียวแบบเดิม

จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 จะใช้ในการคำนวณสำหรับทุกๆ การทดลองเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย และเมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสูงสุดเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.870 วัตต์ หรือเทียบเป็น 4.515 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 1.806 วัตต์หรือเทียบเป็น 2.889 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลดแม้เมื่อทำการหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนแล้วก็ตาม

4.2.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟ 2 หลอด ขนาดหลอดละ 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และ ฝั่งรับ โดยการทดลองได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ		เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง		40 กิโลเมตร			
Base ระบบจริง		115 kV		100 MVA					
Base ระบบจำลอง		400 V		150 VA					
Load ระบบจำลอง		โหลดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		20 % หรือ 8 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 70 mH./ 6 nF ต่อ ฝั่งรับ 280 mH / 24 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	249.10	0.534	133	129	27	0.97	133.019	129.029
	ทำงานสูงสุด	249.41	0.451	113	109	24	0.97	112.484	109.109
	หลังทำงาน	249.70	0.525	131	127	27	0.97	131.093	127.160
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	244.64	0.068	17	0	16	0.00	16.636	0.000
	ทำงานสูงสุด	245.64	0.112	28	20	17	0.74	27.512	20.359
	หลังทำงาน	245.29	0.072	18	3	16	0.15	17.661	2.649
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	230.74	0.528	122	122	-1	1.00	121.831	121.831
	ทำงานสูงสุด	231.67	0.528	122	122	-1	1.00	122.322	122.322
	หลังทำงาน	231.36	0.528	122	122	-1	1.00	122.158	122.158

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-7 ถึง ข-12 จากตารางที่ 4.3 ที่ระยะการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง ใช้โหลดในการทดลองที่ 120 วัตต์ ก่อนเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบนั้น การไฟฟ้าจะจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดอยู่เพียงผู้เดียว และเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมา 20 วัตต์ ส่งผลให้การไฟฟ้ามีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง และกระแสไฟฟ้าน้อยลงตามไปด้วย แต่เมื่ออยู่ในช่วงที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบได้ การไฟฟ้าจะแบกรับภาระไฟฟ้าเพียงผู้เดียวแบบเดิม

เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้า

พลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.198 วัตต์ หรือเทียบเป็น 5.578 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.146 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.519 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ที่โหลดไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4.2.3 กรณีโหลดบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 20 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ที่ 200 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดยการทดลองได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	บัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		20 % หรือ 8 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 70 mH / 6 nF ต่อ ฝั่งรับ 280 mH / 24 nF								
ตำแหน่งการวัดและ สถานะการทำงานของ micro inverter	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.74	0.294	74	7	71	0.09	73.718	6.635
	ทำงานสูงสุด	251.13	0.297	75	-15	71	-0.19	74.586	-14.171
	หลังทำงาน	250.82	0.293	73	5	71	0.06	73.490	4.409
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	242.18	0.067	16	0	15	0.00	16.226	0.000
	ทำงานสูงสุด	243.00	0.113	27	21	16	0.75	27.459	20.594
	หลังทำงาน	242.38	0.072	17	2	16	0.11	17.451	1.920
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	200.67	0.342	69	5	68	0.08	68.629	5.490
	ทำงานสูงสุด	201.30	0.343	69	5	68	0.08	69.046	5.524
	หลังทำงาน	200.82	0.341	69	5	68	0.08	68.480	5.478

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-13 ถึง ข-18 จากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มี

การจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 1.144 วัตต์ หรือเทียบเป็น 17.246 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 0.899 วัตต์หรือเทียบเป็น 14.001 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ แรงดันไฟฟ้า กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4.2.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ การทดลองกรณีโหลด R-L 80 วัตต์ ที่จุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) ปรับเพิ่มพิกัดของหม้อแปลงแรงดัน ได้ที่ 197 โวลต์เท่านั้น เนื่องจากผลของแรงดันตก จึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 ดังนี้ ตารางที่ 4.5 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		20 % หรือ 8 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 70 mH / 6 nF ต่อ ฝั่งรับ 280 mH / 24 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.97	0.387	97	56	77	0.58	97.125	56.332
	ทำงานสูงสุด	250.43	0.340	85	35	76	0.41	85.146	34.910
	หลังทำงาน	250.82	0.382	96	54	77	0.57	95.813	54.614
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	241.15	0.067	16	0	15	0.00	16.157	0.000
	ทำงานสูงสุด	241.15	0.112	27	20	16	0.75	27.009	20.257
	หลังทำงาน	241.09	0.070	17	2	16	0.12	16.876	2.025
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	196.81	0.422	83	53	64	0.63	83.054	52.324
	ทำงานสูงสุด	196.76	0.422	83	53	64	0.63	83.033	52.311
	หลังทำงาน	196.73	0.423	83	53	64	0.63	83.217	52.427

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ก รูปที่ ก-18 ถึง ก-24 จากตารางที่

4.5 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่าช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน

มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 4.008 วัตต์ หรือเทียบเป็น 7.116 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.855 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.177 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ แรงดันไฟฟ้า กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด

4.2.5 กรณีโหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ การทดลองกรณีโหลด R-L 140 วัตต์ มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) ปรับเต็มพิกัดของหม้อแปลงแรงดัน ได้ที่ 189 โวลต์เท่านั้น เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ

ตารางที่ 4.6 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		โหลดไฟ 60 วัตต์ 2 โหลด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		20 % หรือ 8 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 70 mH / 6 nF ต่อ ฝั่งรับ 280 mH / 24 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน	จำนวน
								(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.52	0.558	140	100	96	0.72	139.790	100.649
	ทำงานสูงสุด	250.00	0.496	124	79	94	0.64	124.000	79.360
	หลังทำงาน	252.52	0.552	139	99	97	0.71	139.391	98.968
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	237.76	0.066	16	0	15	0.00	15.692	0.000
	ทำงานสูงสุด	238.89	0.113	27	20	16	0.76	26.995	20.516
	หลังทำงาน	239.79	0.071	17	3	15	0.16	17.025	2.724
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	187.53	0.581	109	93	56	0.85	108.955	92.612
	ทำงานสูงสุด	188.34	0.583	110	94	57	0.85	109.802	93.332
	หลังทำงาน	189.03	0.585	111	94	57	0.85	110.583	93.995

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-25 ถึง ข-30 จากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าระบบ พบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 8.037 วัตต์ หรือเทียบเป็น 7.985 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 6.543 วัตต์หรือเทียบเป็น 6.552 เปอร์เซ็นต์

4.3 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 40 % ของระบบ

4.3.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด 60 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV		100 MVA					
Base ระบบจำลอง		400 V		150 VA					
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		40 % หรือ 16 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF		ต่อ ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF					
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	233.20	0.281	66	64	-4	0.97	65.529	63.563
	ทำงานสูงสุด	234.16	0.199	47	43	-8	0.93	46.598	43.336
	หลังทำงาน	234.11	0.272	64	61	-5	0.96	63.678	61.131
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	233.52	0.064	15	0	14	0.00	14.945	0.000
	ทำงานสูงสุด	235.57	0.112	27	21	15	0.78	26.384	20.579
	หลังทำงาน	234.66	0.069	16	3	15	0.17	16.192	2.753
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	230.61	0.263	61	61	-1	1.00	60.650	60.650
	ทำงานสูงสุด	232.59	0.264	62	61	-1	1.00	61.404	61.404
	หลังทำงาน	231.73	0.264	61	61	-1	1.00	61.177	61.177

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-31 ถึง ข-36 จากตารางที่ 4.7 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.912 วัตต์ หรือเทียบเป็น 4.582 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.511 วัตต์หรือเทียบเป็น 3.296 เพอร์เซ็นต์ ในการคิดคำนวณ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2 – 3 โวลต์

4.3.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ 2 หลอด โดยให้แรงดันที่ โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดย ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลด 120 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		40 % หรือ 16 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF ต่อ ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	247.08	0.537	133	129	28	0.97	132.682	128.702
	ทำงานสูงสุด	247.51	0.453	112	109	22	0.97	112.122	108.758
	หลังทำงาน	247.98	0.531	132	128	27	0.97	131.677	127.727
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	238.96	0.066	16	0	15	0.00	15.771	0.000
	ทำงานสูงสุด	241.06	0.112	27	21	16	0.76	26.999	20.519
	หลังทำงาน	240.16	0.070	17	2	15	0.12	16.811	2.017
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	229.85	0.526	121	121	-1	1.00	120.901	120.901
	ทำงานสูงสุด	231.85	0.529	123	122	-1	1.00	122.649	122.649
	หลังทำงาน	231.01	0.528	122	122	-1	1.00	121.973	121.973

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-37 ถึง ข-42 จากตารางที่ 4.8 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.800 วัตต์ หรือเทียบเป็น 6.060 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 6.628 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.127 เปอร์เซ็นต์ ในการคิดคำนวณโดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 1 – 2 โวลต์

4.3.3 กรณีโหลดบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่จุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 200 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		บัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		40 % หรือ 16 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF ต่อ ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน	จำนวน
								(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.70	0.298	75	7	72	0.09	74.709	6.724
	ทำงานสูงสุด	250.98	0.302	76	-14	72	-0.19	75.796	-14.401
	หลังทำงาน	251.74	0.300	76	7	73	0.09	75.522	6.797
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	233.07	0.065	15	0	14	0.00	15.150	0.000
	ทำงานสูงสุด	234.38	0.118	27	21	15	0.75	27.657	20.743
	หลังทำงาน	233.99	0.065	15	0	14	0.00	15.210	0.000
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	201.60	0.344	69	5	69	0.08	69.350	5.548
	ทำงานสูงสุด	202.66	0.346	70	5	69	0.08	70.120	5.610
	หลังทำงาน	202.34	0.346	70	5	69	0.08	70.010	5.601

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-43 ถึง ข-48 จากตารางที่ 4.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 1.175 วัตต์ หรือเทียบเป็น 17.486 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 0.731 วัตต์หรือเทียบเป็น 11.539 เปอร์เซ็นต์

4.3.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีโหลด R-L 80 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 40 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 197 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์ เหมือนกรณีอื่นๆได้ผลตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		40 % หรือ 16 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF ต่อ ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.38	0.388	97	57	78	0.58	97.147	56.346
	ทำงานสูงสุด	250.55	0.339	85	36	76	0.42	84.937	35.673
	หลังทำงาน	250.53	0.382	96	55	78	0.57	95.703	54.550
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	230.62	0.061	14	0	14	0.00	14.068	0.000
	ทำงานสูงสุด	232.03	0.115	27	21	15	0.77	26.684	20.546
	หลังทำงาน	230.95	0.065	15	2	14	0.13	15.012	1.952
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	197.46	0.424	84	53	65	0.63	83.723	52.746
	ทำงานสูงสุด	198.54	0.427	85	54	65	0.63	84.777	53.409
	หลังทำงาน	197.68	0.425	84	53	65	0.63	84.014	52.929

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-49 ถึง ข-54 จากตารางที่ 4.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 3.600 วัตต์ หรือเทียบเป็น 6.389 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนพบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.810 วัตต์หรือเทียบเป็น 4.998 เปอร์เซ็นต์โดยพารามิเตอร์มีแต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้น 1 โวลต์

4.3.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีโหลด R-L 120 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 40 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 198 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ ได้ผลการทดลองดังนี้ ตารางที่ 4.11 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่งหลอดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		40 % หรือ 16 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF ต่อ ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	251.45	0.565	142	101	98	0.71	142.069	100.869
	ทำงาน สูงสุด	248.47	0.491	122	79	91	0.65	121.999	79.299
	หลังทำงาน	249.77	0.551	138	97	96	0.71	137.623	97.713
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	225.88	0.063	14	0	13	0.00	14.230	0.000
	ทำงาน สูงสุด	224.85	0.116	26	21	14	0.79	26.083	20.605
	หลังทำงาน	224.70	0.067	15	3	14	0.20	15.055	3.011
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	188.77	0.584	110	94	57	0.85	110.242	93.705
	ทำงาน สูงสุด	187.84	0.581	109	93	56	0.85	109.135	92.765
	หลังทำงาน	187.78	0.580	109	93	56	0.85	108.912	92.576

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-55 ถึง ข-60 จากตารางที่ 4.11 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.163 วัตต์ หรือเทียบเป็น 7.102 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.139 วัตต์หรือเทียบเป็น 7.146 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดเพิ่มขึ้น 1 โวลต์

4.4 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 60% ของระบบ

4.4.1 กรณีโหลดโหลดไฟ 60 W

การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการให้ โหลดโหลดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่งโหลด 60 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		โหลดไฟ 60 วัตต์ 1 โหลด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	231.69	0.284	66	64	-4	0.97	65.800	63.826
	ทำงานสูงสุด	232.26	0.203	47	43	-9	0.92	47.149	43.377
	หลังทำงาน	232.31	0.275	64	61	-6	0.96	63.885	61.330
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	232.52	0.064	15	0	14	0.00	14.881	0.00
	ทำงานสูงสุด	235.13	0.113	26	21	15	0.77	26.570	20.459
	หลังทำงาน	233.54	0.068	16	3	15	0.17	15.881	2.700
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	230.68	0.263	61	61	-1	1.00	60.669	60.669
	ทำงานสูงสุด	233.23	0.265	62	62	-1	1.00	61.806	61.806
	หลังทำงาน	231.68	0.264	61	61	-1	1.00	61.164	61.164

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-61 ถึง ข-66 จากตารางที่ 4.12 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 3.157 วัตต์ หรือเทียบเป็น 4.946 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.029 วัตต์หรือเทียบเป็น 3.179 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2-3 โวลต์

4.4.2 กรณีโหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดโหลดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		โหลดไฟ 60 วัตต์ 2 โหลด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF		ต่อ ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF					
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	245.88	0.530	130	127	27	0.98	130.316	127.710
	ทำงานสูงสุด	246.25	0.447	110	108	18	0.98	110.074	107.872
	หลังทำงาน	246.32	0.522	129	126	25	0.98	128.579	126.007
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	235.89	0.062	15	0	14	0.00	14.625	0.000
	ทำงานสูงสุด	239.24	0.111	27	20	16	0.77	26.556	20.448
	หลังทำงาน	236.84	0.066	16	2	15	0.14	15.631	2.188
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	230.75	0.515	119	119	-1	1.00	118.836	118.836
	ทำงานสูงสุด	234.03	0.519	122	121	-2	1.00	121.462	121.462
	หลังทำงาน	231.69	0.516	120	120	-1	1.00	119.552	119.552

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-67 ถึง ข-72 จากตารางที่ 4.13 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 8.873 วัตต์ หรือเทียบเป็น 6.948 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 6.858 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.344 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2-3 โวลต์

4.4.3 กรณีโหลดบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 60 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ที่ 200 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ แต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม

ตารางที่ 4.14 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		บัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน	จำนวน
								(VA)	(Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.84	0.302	76	7	73	0.09	75.754	6.818
	ทำงานสูงสุด	251.60	0.306	77	-13	73	-0.17	76.990	-13.088
	หลังทำงาน	248.80	0.297	74	5	71	0.06	73.894	4.434
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	224.20	0.064	14	0	13	0.00	14.349	0.000
	ทำงานสูงสุด	226.35	0.116	26	20	15	0.74	26.257	19.430
	หลังทำงาน	222.82	0.067	15	2	13	0.14	14.929	2.091
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	202.65	0.347	70	5	70	0.08	70.320	5.626
	ทำงานสูงสุด	204.49	0.350	72	6	71	0.08	71.572	5.726
	หลังทำงาน	201.46	0.343	69	5	68	0.08	69.101	5.528

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-73 ถึง ข-78 จากตารางที่ 4.14 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 1.192 วัตต์ หรือเทียบเป็น 17.487 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 0.615 วัตต์หรือเทียบเป็น 9.712 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2-3 โวลต์

4.4.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีโหลด R-L 60 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่มีความยาว 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 197 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆแต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม ตารางที่ 4.15 ระบุจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสายส่ง โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ	60 % หรือ 24 km								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F						
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF								
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V	I	S	P	Q	p.f	S	P	
	(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.17	0.396	99	57	79	0.58	99.067	57.459
	ทำงานสูงสุด	250.52	0.344	86	36	76	0.42	86.179	36.195
	หลังทำงาน	250.62	0.388	97	54	79	0.56	97.241	54.455
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	220.34	0.062	14	0	13	0.00	13.661	0.000
	ทำงานสูงสุด	222.66	0.119	26	21	14	0.78	26.497	20.667
	หลังทำงาน	221.11	0.067	15	3	13	0.20	14.814	2.963
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	197.67	0.425	84	53	65	0.63	84.010	52.926
	ทำงานสูงสุด	199.61	0.430	86	54	66	0.63	85.832	54.074
	หลังทำงาน	198.31	0.427	85	53	65	0.63	84.678	53.347

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-79 ถึง ข-84 จากตารางที่ 4.15 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 4.532 วัตต์ หรือเทียบเป็น 7.888 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสีย เท่ากับ 2.7888 วัตต์หรือเทียบเป็น 4.903 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2-3 โวลต์

4.4.5 กรณีโหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีโหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 188 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆแต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม

ตารางที่ 4.16 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 60 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	โหลดไฟ 60 วัตต์ 2 โหลด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งรับ 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งส่ง 140 mH / 12 nF								
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S (VA)	P (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.80	0.57	143	102	99	0.71	142.956	101.499
	ทำงานสูงสุด	251.50	0.497	125	82	93	0.65	124.996	81.247
	หลังทำงาน	251.68	0.561	141	100	98	0.71	141.192	100.247
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	213.23	0.059	13	0	12	0.00	12.581	0.000
	ทำงานสูงสุด	216.45	0.119	26	21	13	0.80	25.758	20.606
	หลังทำงาน	214.42	0.065	14	3	12	0.20	13.937	2.788
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	188.55	0.584	110	94	57	0.85	110.113	93.596
	ทำงานสูงสุด	191.15	0.590	113	96	59	0.85	112.779	95.862
	หลังทำงาน	189.53	0.586	111	95	58	0.64	111.065	71.081

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-85 ถึง ข-90 จากตารางที่ 4.16 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.902 วัตต์ หรือเทียบเป็น 7.785 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 5.991 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.882 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้น 2-3 โวลต์

4.5 ระยะเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ความยาวสาย 80% ของระบบ

4.5.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฟังส่ง จุดเชื่อมต่อ และฟังรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		80 % หรือ 32 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฟังส่ง 280 mH / 24 nF ต่อ ฟังรับ 70 mH / 6 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
ฟังส่ง	ก่อนทำงาน	230.23	0.286	66	64	-4	0.97	65.846	63.871
	ทำงานสูงสุด	229.91	0.206	47	44	-10	0.92	47.362	43.573
	หลังทำงาน	229.74	0.279	64	62	-5	0.97	64.098	62.175
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	231.90	0.064	15	0	14	0.00	14.842	0.000
	ทำงานสูงสุด	234.64	0.113	26	21	15	0.77	26.514	20.416
	หลังทำงาน	231.87	0.067	16	2	14	0.13	15.535	2.0196
ฟังรับ	ก่อนทำงาน	231.06	0.264	61	61	-1	1.00	60.999	60.999
	ทำงานสูงสุด	233.77	0.265	62	62	-1	1.00	61.949	61.949
	หลังทำงาน	231.03	0.263	61	61	-1	1.00	60.761	60.761

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-91 ถึง ข-96 จากตารางที่ 4.17 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.870 วัตต์ หรือเทียบเป็น 4.494 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 2.039 วัตต์หรือเทียบเป็น 3.187 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2 – 3 โวลต์

4.5.2 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้หลอดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง จุดเชื่อมต่อ และฝั่งรับ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลด 120 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ	80 % หรือ 32 km								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH C : 40.3768 μ F								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 280 mH / 24 nF ต่อ ฝั่งรับ 70 mH / 6 nF								
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	245.46	0.548	135	130	30	0.97	134.512	130.477
	ทำงานสูงสุด	243.12	0.464	113	110	18	0.98	112.808	110.552
	หลังทำงาน	243.07	0.538	131	127	28	0.97	130.772	126.849
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	232.96	0.064	15	0	14	0.00	14.909	0.000
	ทำงานสูงสุด	235.41	0.112	26	21	15	0.78	26.366	20.565
	หลังทำงาน	231.27	0.067	16	2	14	0.14	15.495	2.169
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	230.78	0.527	122	122	-1	1.00	121.621	121.621
	ทำงานสูงสุด	233.18	0.530	124	124	-1	1.00	123.585	123.585
	หลังทำงาน	229.09	0.526	120	120	-1	1.00	120.501	120.501

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-97 ถึง ข-102 จากตารางที่ 4.18 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 8.855 วัตต์ หรือเทียบเป็น 6.787 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 7.531 วัตต์หรือเทียบเป็น 5.744 เปอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2 – 3 โวลต์

4.5.3 กรณีบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ที่ 200 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ แต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม

ตารางที่ 4.19 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลดบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		บัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		80 % หรือ 32 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 280 mH / 24 nF ต่อ ฝั่งรับ 70 mH / 6 nF							
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.56	0.303	76	7	74	0.09	75.920	6.833
	ทำงานสูงสุด	251.30	0.310	78	-12	75	-0.16	77.903	-12.464
	หลังทำงาน	248.57	0.298	74	7	73	0.09	74.074	6.667
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	214.44	0.058	12	0	12	0.00	12.438	0.000
	ทำงานสูงสุด	218.79	0.131	29	19	13	0.65	28.662	18.630
	หลังทำงาน	212.89	0.058	12	0	12	0.00	12.348	0.000
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	203.80	0.348	71	5	70	0.08	70.923	5.674
	ทำงานสูงสุด	207.73	0.353	73	6	72	0.08	73.329	5.867
	หลังทำงาน	202.38	0.344	70	5	69	0.08	69.619	5.570

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-103 ถึง ข-108 จากตารางที่ 4.19 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 1.158 วัตต์ หรือเทียบเป็น 16.926 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 0.299 วัตต์หรือเทียบเป็น 4.852 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ไหลแต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 4 โวลต์

4.5.4 กรณีโหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีโหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เพอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 199 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆแต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม ตารางที่ 4.20 ระยะจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	โหลดไฟ 60 วัตต์ 1 โหลด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ	80 % หรือ 32 km								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F						
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 280 mH / 24 nF ต่อ ฝั่งรับ 70 mH / 6 nF								
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.82	0.402	101	58	81	0.57	100.830	57.473
	ทำงาน สูงสุด	250.91	0.347	87	37	76	0.43	87.066	37.438
	หลังทำงาน	250.63	0.396	99	55	80	0.56	99.250	55.580
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	210.45	0.059	12	0	12	0.00	12.417	0.000
	ทำงาน สูงสุด	213.43	0.123	26	21	13	0.79	26.252	20.739
	หลังทำงาน	210.69	0.064	13	2	12	0.17	13.484	2.292
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	199.26	0.429	86	54	66	0.63	85.483	53.854
	ทำงาน สูงสุด	201.89	0.435	88	55	68	0.62	87.822	54.450
	หลังทำงาน	199.45	0.430	86	54	66	0.63	85.764	54.031

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-109 ถึง ข-114 จากตารางที่ 4.20 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 3.618 วัตต์ หรือเทียบเป็น 6.296 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 3.727 วัตต์หรือเทียบเป็น 6.407 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 2-3 โวลต์

4.5.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เพอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 188 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆแต่ตำแหน่งการวัดคงเดิม

ตารางที่ 4.21 ระบุจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ 80 เพอร์เซ็นต์ของความยาวสาย โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		80 % หรือ 32 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 280 mH / 24 nF ต่อ ฝั่งรับ 70 mH / 6 nF								
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	
ฝั่งส่ง	ก่อนทำงาน	250.53	0.576	144	102	100	0.71	144.305	102.457
	ทำงาน สูงสุด	250.70	0.498	125	83	91	0.67	124.849	83.649
	หลังทำงาน	250.42	0.568	142	100	99	0.71	142.239	100.989
จุดเชื่อมต่อ	ก่อนทำงาน	200.99	0.057	11	0	11	0.00	11.456	0.000
	ทำงาน สูงสุด	205.18	0.122	25	21	12	0.82	25.032	20.526
	หลังทำงาน	201.43	0.061	12	2	11	0.18	12.287	2.212
ฝั่งรับ	ก่อนทำงาน	189.20	0.585	111	94	57	0.85	110.682	94.080
	ทำงาน สูงสุด	192.95	0.594	115	97	60	0.85	114.612	97.421
	หลังทำงาน	189.58	0.586	111	95	58	0.85	111.094	94.430

สามารถดูกราฟการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ข รูปที่ ข-115 ถึง ข-120 จากตารางที่ 4.21 เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบกับช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานทดแทนเข้าพบว่า ช่วงที่ไม่มีการจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีการกำลังสูญเสียเท่ากับ 8.377 วัตต์ หรือเทียบเป็น 8.176 เพอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน พบว่ามีกำลังสูญเสียเท่ากับ 6.754 วัตต์หรือเทียบเป็น 6.483 เพอร์เซ็นต์ โดยพารามิเตอร์ กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง มีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีการกระเพื่อมขึ้นประมาณ 4 โวลต์

4.6 กรณีการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน

จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 , 4.3 , 4.4 , และ 4.5 เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนกับค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของระบบ จำหน่ายว่ามีความสัมพันธ์อย่างไร เนื่องจากการคิดคำนวณการสูญเสียในระบบในสภาวะนิ่งที่ ณ จุดที่โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด แต่ในหัวข้อที่ 4.6 จะทำการทดลองเพื่อศึกษาค่าการสูญเสียในระบบในสภาวะที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังไฟฟ้าที่มาผลิตได้ในแต่ละวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและกำลังผลิต ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้มีการใช้กราฟความเข้มแสงจากโปรแกรมจำลองเป็นแบบวันที่มีแสงแดดปกติ (Sunny day graph) กำลังผลิตสูงสุดที่ใช้ในการจำลองอยู่ที่ 28 วัตต์เช่นเดิม ประสิทธิภาพเท่าเดิม และผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองเป็นแบบดังหัวข้อ 4.1 ในข้างต้น

โดยในระหว่างการทดลองจะทำการบันทึกค่า ทุกครั้งที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบที่จำนวน 0 วัตต์, 5 วัตต์, 10 วัตต์ , 15 วัตต์, และ 20 วัตต์ ตลอดวันเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียกำลังไฟฟ้กับการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ โดยการแบ่งการทดลองเป็นชนิดของโหลดแยกออกมาเป็นบัลลาสต์อย่างเดียวย 18 วัตต์ , หลอดไฟ 1 หลอด 60 วัตต์ , หลอดไฟ 120 วัตต์ , หลอดไฟกับบัลลาสต์ 80 วัตต์ , และหลอดไฟกับบัลลาสต์ 140 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 5 ตำแหน่งคือ ที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบ ที่ 0 วัตต์, 5 วัตต์, 10 วัตต์, 15 วัตต์ และ 20 วัตต์ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ	60 % หรือ 24 km								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งรับ 140 mH / 12 nF								
กำลังไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนและตำแหน่ง การวัด	V	I	S	P	Q	p.f	S	P	
	(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)	
0 w	ฝั่งส่ง	231.77	0.284	66	64	-4	0.97	65.823	63.848
	จุดเชื่อมต่อ	232.62	0.064	15	0	14	0.00	14.888	0.000
	ฝั่งรับ	230.77	0.263	61	61	-1	1.00	60.693	60.693
5 w	ฝั่งส่ง	232.30	0.264	61	59	-6	0.96	61.327	58.874
	จุดเชื่อมต่อ	233.77	0.071	17	5	15	0.32	16.598	5.311
	ฝั่งรับ	231.92	0.264	61	61	-1	1.00	61.227	61.227
10 w	ฝั่งส่ง	232.07	0.244	57	54	-7	0.95	56.625	53.794
	จุดเชื่อมต่อ	234.05	0.083	19	10	15	0.52	19.426	10.102
	ฝั่งรับ	232.18	0.264	61	61	-1	1.00	61.296	61.296
15 w	ฝั่งส่ง	231.96	0.224	52	49	-8	0.94	51.959	48.842
	จุดเชื่อมต่อ	234.25	0.095	22	15	15	0.68	22.254	15.133
	ฝั่งรับ	232.34	0.264	61	61	-1	1.00	61.338	61.338
20 w	ฝั่งส่ง	231.98	0.205	48	44	-9	0.92	47.556	43.751
	จุดเชื่อมต่อ	234.74	0.111	26	20	15	0.77	26.056	20.063
	ฝั่งรับ	232.84	0.265	62	62	-1	1.00	61.703	61.703

จากตารางที่ 4.22 จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นและลดลง ที่โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เมตร เซ็นต์ของสายส่งพบว่าเมื่อมีกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้ามากขึ้น ผลของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบก็จะน้อยลงเช่นกันได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ที่ตำแหน่ง 0 วัตต์ เป็นจุดที่ยังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้กับระบบพบว่า มีกำลังการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.155 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 5 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.958 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 10 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.599 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 15 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.636 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 20 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.112 วัตต์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.22 ที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าผลประกอบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งผลกำลังไฟฟ้าปรากฏด้านฝั่งรับมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีเพียงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเท่านั้นที่การกระเพื่อมขึ้นมากกว่าจุดอื่น ๆ ส่งผลให้แรงดันที่โหลดกระเพื่อมขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ การทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 5 ตำแหน่งคือ ที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบที่ 0 วัตต์, 5 วัตต์, 10 วัตต์, 15 วัตต์ และ 20 วัตต์ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด								
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ	60 % หรือ 24 km								
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งรับ 140 mH / 12 nF								
กำลังไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนและตำแหน่ง การวัด	V	I	S	P	Q	p.f	S	P	
	(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)	
0 w	ฝั่งส่ง	245.84	0.531	130	127	27	0.98	130.541	127.930
	จุดเชื่อมต่อ	235.84	0.061	15	0	14	0.00	14.386	0.000
	ฝั่งรับ	230.70	0.515	119	119	-1	1.00	118.811	118.811
5 w	ฝั่งส่ง	246.32	0.511	126	123	24	0.98	125.870	123.352
	จุดเชื่อมต่อ	237.13	0.069	16	5	15	0.31	16.362	5.072
	ฝั่งรับ	231.99	0.517	120	120	-1	1.00	119.939	119.939
10 w	ฝั่งส่ง	246.23	0.488	120	118	22	0.98	120.160	117.757
	จุดเชื่อมต่อ	237.68	0.081	19	10	15	0.54	19.252	10.396
	ฝั่งรับ	232.50	0.517	120	120	-2	1.00	120.203	120.203
15 w	ฝั่งส่ง	246.21	0.468	115	113	20	0.98	115.226	112.922
	จุดเชื่อมต่อ	238.36	0.094	22	15	15	0.68	22.406	15.236
	ฝั่งรับ	233.14	0.518	121	121	-2	1.00	120.767	120.767
20 w	ฝั่งส่ง	246.27	0.447	110	108	18	0.98	110.083	107.881
	จุดเชื่อมต่อ	239.20	0.111	27	20	16	0.78	26.551	20.710
	ฝั่งรับ	233.99	0.519	121	121	-2	1.00	121.441	121.441

จากตารางที่ 4.23 จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นและลดลง ที่โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่งพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าระบบมากขึ้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบก็จะน้อยลงเช่นกันได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ที่ตำแหน่ง 0 วัตต์ เป็นจุดที่ยังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้กับระบบพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 9.119 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 5 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 8.485 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 10 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.950 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 15 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.391 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 20 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.150 วัตต์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.23 ที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าผลประกอบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งผลกำลังไฟฟ้าปรากฏด้านฝั่งรับมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีเพียงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเท่านั้นที่การกระเพื่อมขึ้นมากกว่าจุดอื่น ๆ ส่งผลให้แรงดันที่โหลดกระเพื่อมขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 กรณีโหลดบัลลาสต์ ในการทดลองกรณีบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 200 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 5 ตำแหน่งคือ ที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบที่ 0 วัตต์, 5 วัตต์ ,10 วัตต์ ,15 วัตต์ และ 20 วัตต์ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่า บัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		บัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งรับ 140 mH / 12 nF							
กำลังไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนและตำแหน่ง การวัด		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		จำนวน (VA)	จำนวน (Watt)
0 w	ฝั่งส่ง	250.90	0.302	76	7	73	0.09	75.772	6.819
	จุดเชื่อมต่อ	224.26	0.064	14	0	13	0.00	14.353	0.000
	ฝั่งรับ	202.70	0.347	70	5	70	0.08	70.337	5.627
5 w	ฝั่งส่ง	248.57	0.296	74	2	71	0.02	73.577	1.472
	จุดเชื่อมต่อ	222.76	0.071	16	5	13	0.31	15.816	4.903
	ฝั่งรับ	201.39	0.343	69	5	68	0.08	69.077	5.526
10 w	ฝั่งส่ง	251.22	0.309	78	-3	74	-0.04	77.627	-3.105
	จุดเชื่อมต่อ	225.98	0.114	26	10	16	0.37	25.762	9.532
	ฝั่งรับ	204.04	0.349	71	6	70	0.08	71.210	5.697
15 w	ฝั่งส่ง	251.42	0.305	77	-8	73	-0.11	76.683	-8.435
	จุดเชื่อมต่อ	226.00	0.100	23	15	14	0.65	22.600	14.690
	ฝั่งรับ	204.20	0.349	71	6	70	0.08	71.266	5.701
20 w	ฝั่งส่ง	251.61	0.307	77	-13	73	-0.17	77.244	-13.132
	จุดเชื่อมต่อ	226.34	0.117	27	20	14	0.75	26.482	19.861
	ฝั่งรับ	204.48	0.350	72	6	71	0.08	71.568	5.725

จากตารางที่ 4.24 จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นและลดลง ที่โหลดบัลลาสต์ 18 วัตต์ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่งพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าระบบมากขึ้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบก็จะน้อยลงเช่นกันได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ที่ตำแหน่ง 0 วัตต์ เป็นจุดที่ยังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้กับระบบพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.192 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 5 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.848 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 10 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.729 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 15 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.553 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 20 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.004 วัตต์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.24 ที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าผลประกอบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งผลกำลังไฟฟ้าปรากฏด้านฝั่งรับมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีเพียงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเท่านั้นที่การกระเพื่อมขึ้นมากกว่าจุดอื่น ๆ ส่งผลให้แรงดันที่โหลดกระเพื่อมขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 กรณีโหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์ ที่มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เพอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 199 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 5 ตำแหน่งคือ ที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบที่ 0 วัตต์ , 5 วัตต์ , 10 วัตต์ , 15 วัตต์ และ 20 วัตต์ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่าหลอดไฟและบัลลาสต์ 80 วัตต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง	115 kV	100 MVA							
Base ระบบจำลอง	400 V	150 VA							
Load ระบบจำลอง	หลอดไฟ 60 วัตต์ 1 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว								
เชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง	L : 46.3768 mH	C : 40.3768 μ F							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง	ฝั่งส่ง 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งรับ 140 mH / 12 nF								
กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนและตำแหน่งการวัด	V (Volt)	I (Amp)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	p.f	S จำนวน (VA)	P จำนวน (Watt)	
0 w	ฝั่งส่ง	250.18	0.396	99	57	79	0.58	99.071	57.461
	จุดเชื่อมต่อ	220.34	0.062	14	0	13	0.00	13.661	0.000
	ฝั่งรับ	197.68	0.425	84	53	65	0.63	84.014	52.929
5 w	ฝั่งส่ง	250.59	0.384	96	53	78	0.55	96.227	52.925
	จุดเชื่อมต่อ	221.20	0.069	15	5	13	0.30	15.263	4.579
	ฝั่งรับ	198.37	0.427	85	53	65	0.63	84.704	53.364
10 w	ฝั่งส่ง	250.47	0.37	93	47	77	0.51	92.674	47.264
	จุดเชื่อมต่อ	221.62	0.082	18	10	13	0.55	18.173	9.996
	ฝั่งรับ	198.75	0.427	85	54	66	0.63	84.866	53.466
15 w	ฝั่งส่ง	250.44	0.356	89	42	76	0.47	89.157	41.904
	จุดเชื่อมต่อ	222.13	0.098	22	15	14	0.70	21.769	15.238
	ฝั่งรับ	199.20	0.429	85	54	66	0.63	85.457	53.838
20 w	ฝั่งส่ง	250.15	0.344	86	36	76	0.42	86.052	36.142
	จุดเชื่อมต่อ	222.32	0.118	26	20	14	0.78	26.234	20.462
	ฝั่งรับ	199.30	0.429	85	54	66	0.63	85.500	53.865

จากตารางที่ 4.25 จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นและลดลง ที่โหลดโหลดไฟและบัลลาสต์ 80 วัตต์ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่งพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าระบบมากขึ้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบก็จะน้อยลงเช่นกันได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ที่ตำแหน่ง 0 วัตต์ เป็นจุดที่ยังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้กับระบบพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.532 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 5 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.139 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 10 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.793 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 15 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.303 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 20 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.739 วัตต์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.25 ที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าผลประกอบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งผลกำลังไฟฟ้าปรากฏด้านฝั่งรับมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีเพียงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเท่านั้นที่การกระเพื่อมขึ้นมากกว่าจุดอื่น ๆ ส่งผลให้แรงดันที่โหลดกระเพื่อมขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 กรณีโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์ มีจุดเชื่อมต่อกับพลังงานทดแทนที่ความยาว 80 เปอร์เซ็นต์ของสายส่ง โดยมีการให้แรงดันไฟฟ้าฝั่งรับ (Load) คงที่ ที่ 188 โวลต์ เนื่องจากผลของแรงดันตกจึงไม่สามารถรักษาแรงดันให้คงที่ 230 โวลต์เหมือนกรณีอื่นๆพร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 5 ตำแหน่งคือ ที่กำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบที่ 0 วัตต์ ,5 วัตต์ ,10 วัตต์ ,15 วัตต์ และ 20 วัตต์ โดยได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ตารางการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละค่าหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

ระบบจำหน่ายแบบ เหนือศีรษะ (Overhead)		ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร							
Base ระบบจริง		115 kV	100 MVA						
Base ระบบจำลอง		400 V	150 VA						
Load ระบบจำลอง		หลอดไฟ 60 วัตต์ 2 หลอด และบัลลาสต์แกนเหล็ก 18 วัตต์ 1 ตัว							
เชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะ		60 % หรือ 24 km							
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		L : 46.3768 mH		C : 40.3768 μ F					
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		ฝั่งส่ง 210 mH / 18 nF ต่อ ฝั่งรับ 140 mH / 12 nF							
กำลังไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนและตำแหน่ง การวัด		V	I	S	P	Q	p.f	S	P
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)		(VA)	(Watt)
0 w	ฝั่งส่ง	250.79	0.570	143	102	99	0.71	142.950	101.495
	จุดเชื่อมต่อ	213.21	0.059	13	0	12	0.00	12.579	0.000
	ฝั่งรับ	188.58	0.584	110	94	57	0.85	110.131	93.611
5 w	ฝั่งส่ง	251.16	0.553	139	97	97	0.70	138.891	97.224
	จุดเชื่อมต่อ	214.16	0.067	15	5	12	0.33	14.349	4.735
	ฝั่งรับ	189.28	0.585	111	94	58	0.85	110.729	94.120
10 w	ฝั่งส่ง	251.13	0.532	134	92	95	0.69	133.601	92.185
	จุดเชื่อมต่อ	214.93	0.081	18	10	13	0.59	17.409	10.272
	ฝั่งรับ	189.92	0.587	112	95	58	0.85	111.483	94.761
15 w	ฝั่งส่ง	251.31	0.515	129	87	94	0.67	129.425	86.715
	จุดเชื่อมต่อ	215.78	0.098	21	15	13	0.72	21.146	15.225
	ฝั่งรับ	190.63	0.589	112	95	58	0.85	112.281	95.439
20 w	ฝั่งส่ง	251.55	0.498	125	82	92	0.66	125.272	82.680
	จุดเชื่อมต่อ	216.57	0.118	26	20	13	0.79	25.555	20.189
	ฝั่งรับ	191.25	0.590	113	96	59	0.85	112.838	95.912

จากตารางที่ 4.26 จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นและลดลง ที่โหลดโหลดไฟและบัลลาสต์ 140 วัตต์ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ของสายส่งพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าระบบมากขึ้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบก็จะน้อยลงเช่นกัน

ที่ตำแหน่ง 0 วัตต์ เป็นจุดที่ยังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้กับระบบพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.883 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 5 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.839 วัตต์

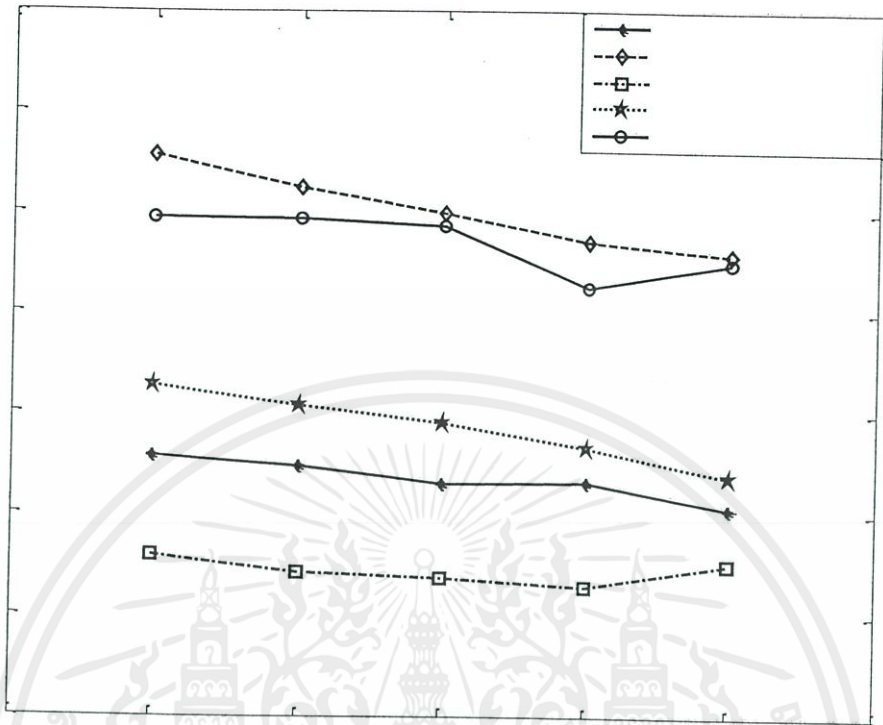
ที่ตำแหน่ง 10 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.695 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 15 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.501 วัตต์

ที่ตำแหน่ง 20 วัตต์ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและโหลดมีการกระเพื่อมขึ้น กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าลดลงพบว่า มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.956 วัตต์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.26 ที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าผลประกอบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้น ตามการกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนส่งผลกำลังไฟฟ้าปรากฏด้านฝั่งรับมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีเพียงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเท่านั้นที่การกระเพื่อมขึ้นมากกว่าจุดอื่น ๆ ส่งผลให้แรงดันที่โหลดกระเพื่อมขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงแนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าในระบบเมื่อมีกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบมากขึ้น โดยแสดงแนวโน้มของโหลดทั้ง 5 แบบ

จากรูปภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าโหลดทั้ง 5 แบบ คือ 18 วัตต์, 60 วัตต์, 80 วัตต์, 120 วัตต์, 140 วัตต์ ที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มของกำลังสูญเสียลดลงเหมือนกัน กล่าวคือเมื่อมีกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจ่ายให้กับระบบมากขึ้น โดยขนาดโหลดหลอดไฟ 120 วัตต์มีการลดลงของกำลังสูญเสียมากที่สุด และโหลดบัลลาสต์ 18 วัตต์มีผลของการลดลงของกำลังสูญเสียลดลงน้อยที่สุด ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและสร้างชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทน (Distributed Generation) เพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะทางไฟฟ้า ของระบบไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในระบบจำหน่ายเหนือศีรษะ โดยทำการศึกษาและจำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เมื่อมีการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่าย จะพบว่าในช่วงเวลาที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น จะทำให้การไฟฟ้านครหลวงส่งจ่ายกำลังไฟฟาลดลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และเมื่อนำมาคิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายพบว่ามีค่ากำลังสูญเสียลดลง อีกทั้งเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนมากขึ้นในระบบจะทำให้กำลังไฟฟ้าใช้จริงมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่กำลังไฟฟ้าเสมือนสูญเสียลดลงและส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงด้วย เว้นแต่ในกรณีที่จำลองให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้ามากกว่าโหลดที่ใช้ในการทดลองกลับพบว่า มีกำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีการศึกษาถึงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพื่อป้องกันผลกระทบต่อระบบจำหน่ายของไฟฟ้า หรือส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า (Load) สามารถสรุปและยืนยันได้จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้ศึกษามา ว่าเมื่อเชื่อมระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนสามารถช่วยลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่าย พร้อมทั้งเป็นตัวช่วยในการลดภาระในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าอีกด้วย อีกทั้งการแก้ปัญหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกบริเวณปลายสายสามารถทำได้ได้จริง เมื่อมีจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าที่ไกลมากขึ้น สอดคล้องกับผลในการทดลองนี้จะเห็นชัดเจนเมื่อมีการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ จะชี้ให้เห็นว่าค่าของแรงดันที่จุดเชื่อมต่อมีการกระเพื่อมขึ้นอย่างชัดเจนและส่งผลให้แรงดันที่โหลดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพื่อพัฒนาในด้านอื่นๆ และปรับปรุงไปใช้ ในระบบจำหน่ายในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

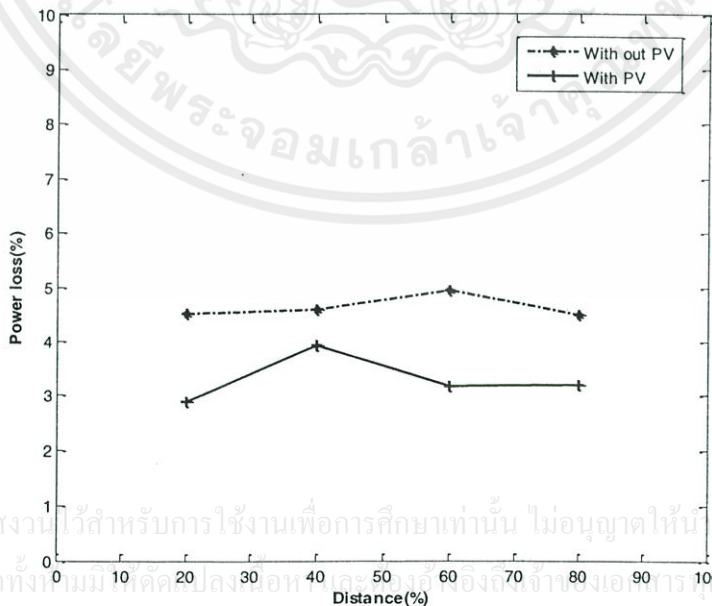
จากที่กล่าวมาทำให้เห็นความสำคัญของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน โครงการงานนี้จึงได้จำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนขึ้นมาเพื่อศึกษาคุณลักษณะต่างๆทางไฟฟ้า โดยระบบจำลองสามารถจำลองการจุดเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ระยะต่างๆ ดังแสดงในกราฟถัดไป

จากผลการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนกับเปอร์เซ็นต์ของความยาวสายระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่วัดจากด้านส่งของโหลด 60 วัตต์, 120 วัตต์, บัลลาสต์, 60 วัตต์ กับบัลลาสต์ และ 120 วัตต์ กับบัลลาสต์ ได้แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน (DG)

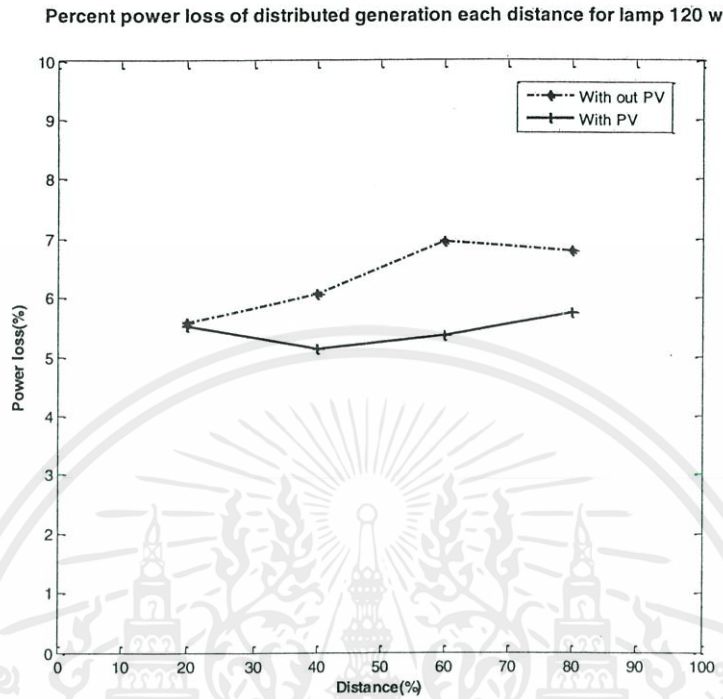
ระยะความยาวระบบจำหน่ายที่วัดจากด้านส่ง (%)	หลอดไฟ 60 วัตต์		หลอดไฟ 120 วัตต์		บัลลาสต์		หลอดไฟ 60 วัตต์ และ บัลลาสต์		หลอดไฟ 120 วัตต์ และ บัลลาสต์	
	ไม่มี DG	มี DG	ไม่มี DG	มี DG	ไม่มี DG	มี DG	ไม่มี DG	มี DG	ไม่มี DG	มี DG
	20%	4.516	2.889	5.579	5.520	17.247	14.001	7.116	5.177	7.985
40%	4.583	3.930	6.061	5.128	17.486	11.540	6.389	4.999	7.102	7.146
60%	4.946	3.179	6.948	5.345	17.487	9.712	7.889	4.903	7.786	5.882
80%	4.494	3.187	6.787	5.744	16.962	4.853	6.297	6.407	8.176	6.484

Percent power loss of distributed generation each distance for lamp 60 w

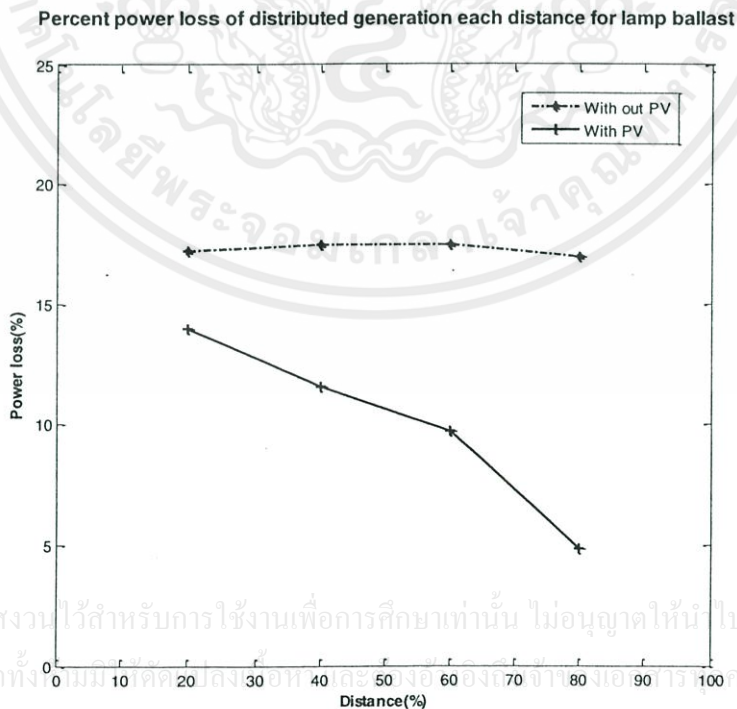


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีที่คัดลอกผลงานนี้ไปใช้โดยไม่แจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



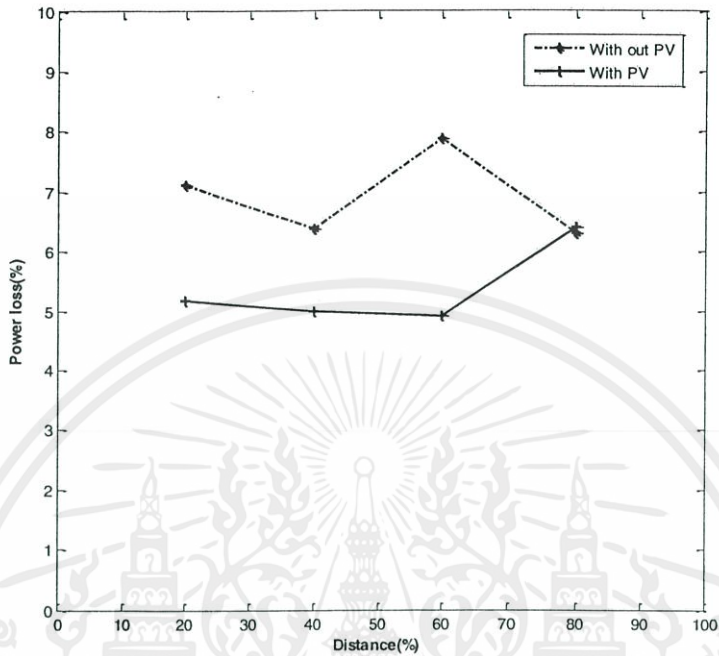
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้ด้วย

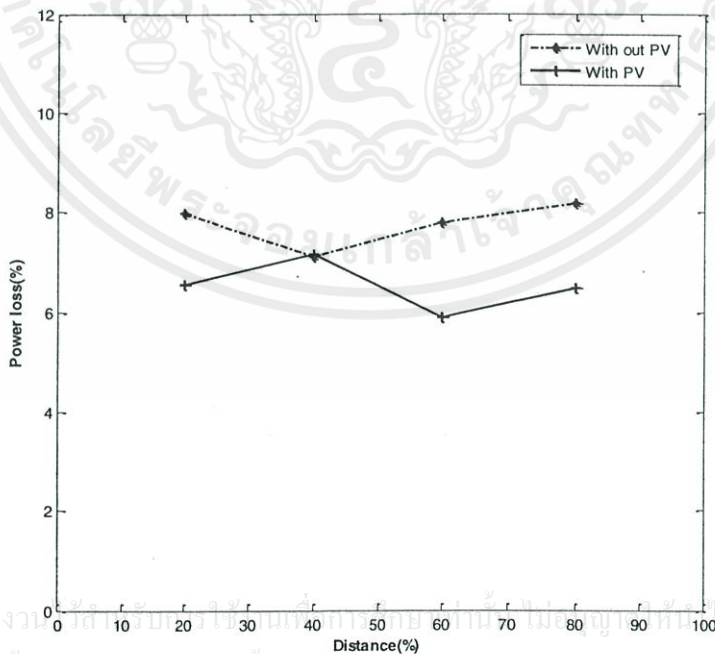
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่โหลดบัลลาสต์

Percent power loss of distributed generation each distance for lamp 60 w and ballast



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของความยาวระบบจำหน่ายที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์และบัลลาสต์

Percent power loss of distributed generation each distance for lamp 120 w and ballast



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้สอนที่นำมาใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 ก แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ที่โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์และบัลลาสต์

จากตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทน จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าสู่ระบบจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายลดลง

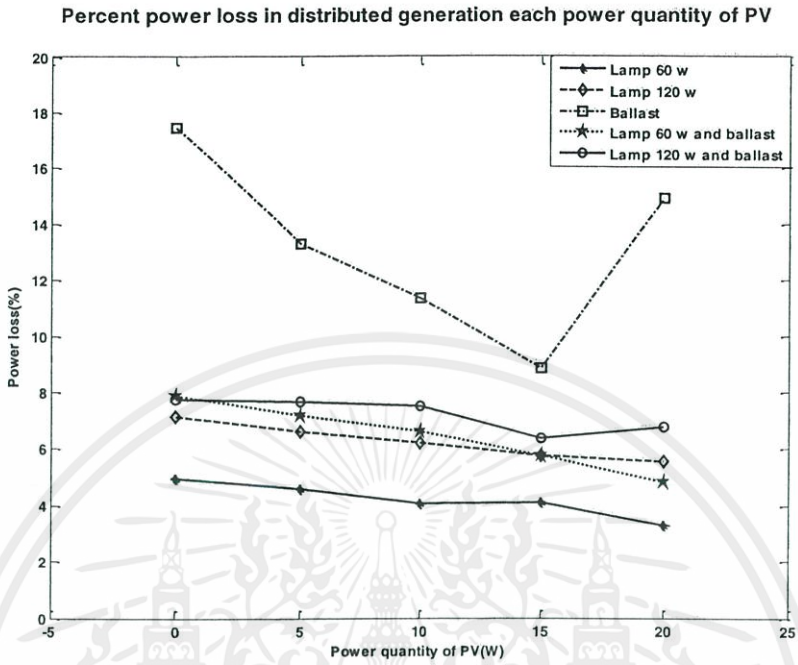
กราฟในรูปที่ 5.1 – 5.5 ซึ่งความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ของความยาวระบบจำหน่ายที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทน ของโหลด 60 วัตต์, 120 วัตต์, บัลลาสต์, 60วัตต์ กับบัลลาสต์ และ120 วัตต์ กับบัลลาสต์ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับขณะไม่มีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน แต่เปอร์เซ็นต์ของความยาวระบบจำหน่ายที่วัดจากด้านส่งกลับมีผลน้อยมาก

ต่อไปเป็นผลการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่ายของโหลด 60 วัตต์, 120 วัตต์, บัลลาสต์, 60 วัตต์ กับบัลลาสต์ และ 120 วัตต์ กับบัลลาสต์ ได้แสดงดังต่อไปนี้

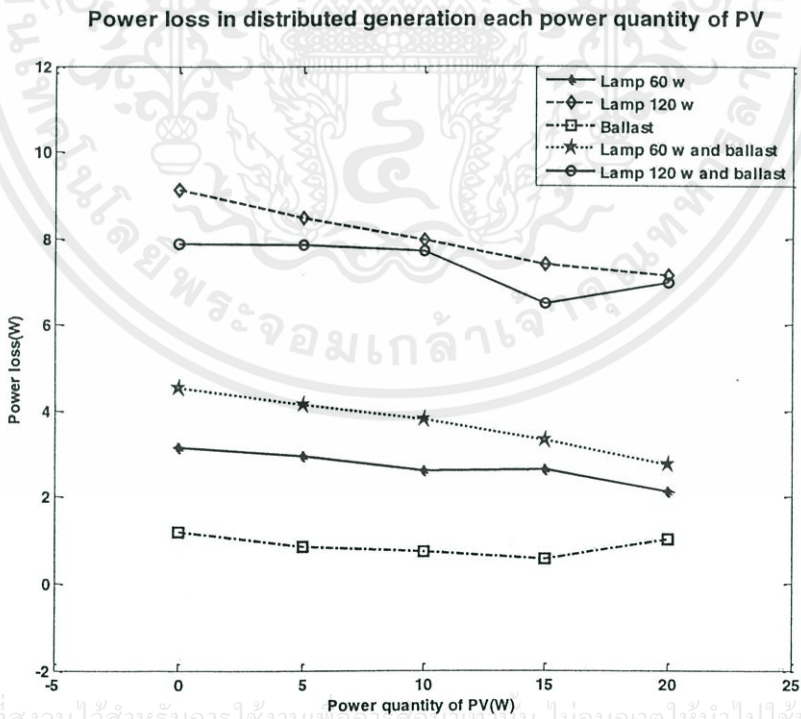
ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย

ค่ากำลังไฟฟ้า พลังงานทดแทน (W)	โหลดไฟ 60 วัตต์	โหลดไฟ 120 วัตต์	บัลลาสต์	โหลดไฟ 60 วัตต์ และ บัลลาสต์	โหลดไฟ 120 วัตต์ และ บัลลาสต์
0 w	4.942	7.129	17.487	7.888	7.767
5 w	4.609	6.607	13.308	7.199	7.689
10 w	4.069	6.204	11.358	6.624	7.511
15 w	4.121	5.767	8.851	5.782	6.377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด 20 w อีกทั้งห้าม 3.310 คัดแปลงนี้ 5.560 จะต้องอ้าง 14.924 ของเอกสาร 4.839 ครั้งที่มิภา 6.762 ใช้



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย

จากตารางที่ 5.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจ่ายเข้าสู่ระบบจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายลดลง

กราฟในรูปที่ 5.6 – 5.10 รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายเข้าไปในระบบจำหน่าย ของโหลด 60 วัตต์, 120 วัตต์, บัลลาสต์, 60วัตต์ กับบัลลาสต์ และ120 วัตต์ กับบัลลาสต์ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนมากขึ้น แต่รูปที่ 5.6 ที่โหลดบัลลาสต์ ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน 20 วัตต์ พบว่ากำลังสูญเสียกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่พลังงานทดแทนจ่ายมีค่ามากกว่าโหลดมาก เนื่องจากผลของกระแสไฟฟ้าและส่งผลให้เกิดการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับไปทิศทางของระบบจำหน่าย จึงทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้น

ซึ่งในการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนมากกว่าโหลดมาก ก็จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้นตามไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากค่าที่ตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในระบบจำลองมีค่าไม่ตรงกับค่าที่ได้จากคำนวณพารามิเตอร์ของระบบจำหน่าย เป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน
2. โหลดที่ได้ทำการทดลองมีค่าน้อยเกินไป เนื่องจากไม่สามารถปรับแรงดันให้ได้ตามต้องการ ควรหาแหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่านี้ เพื่อจะได้ใช้กับโหลดที่หลากหลายมากขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น การนำหม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงแรงดันขึ้นเพื่อให้สามารถปรับค่าแรงดันให้สูงขึ้นได้ตามต้องการ และในทางด้านโหลดก็ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงแรงดันลงเพื่อใช้ในการแปลงแรงดันให้ลดลง เหลือแรงดันหน้าโหลดที่ 230 V_{ac}
3. ในการบันทึกผลการทดลอง พบว่าแรงดันที่จำลองจ่ายในระบบจำหน่ายไม่เพียงพอ ยังเกิดการกระเพื่อมของแรงดัน จึงควรหาอุปกรณ์ที่สามารถกรองแรงดันต้นทางให้หนึ่ง เพื่อจะได้ดูผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์ของระบบจำหน่ายได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vu Van Thong and Johan Driesen, "Handbook of Power Quality Edited by Angelo Baggi, Distributed Generation and Power Quality," John Wiley & Sons Ltd., England, 2008.
- [2] F.B. Araujo, R.B. Prada, "Distributed Generation: Voltage Stability Analysis," Department of Electrical Engineering, Pontifical Catholic University, Vicente 225.
- [3] M. Chakravorty and D. Das, "Voltage stability analysis of radial distribution networks," *Elect. Power Energy Syst.*, vol. 23, pp. 129–135, 2001.
- [4] Nasser G. A. Hemdan, and Michael Kurrat, *Member, IEEE*, "Distributed Generation Location and Capacity Effect on Voltage Stability of Distribution Networks," Institute of High Voltage Technology and Electric Power Systems Braunschweig University of Technology, Braunschweig, Germany
- [5] Rakibuzzaman Shah, Nadarajah Mithulananathan, Ramesh Bansal, Kwang Y. Lee and Abraham Lomi, "Influence of Large-scale PV on Voltage Stability of Sub-transmission System," The school of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 2012.
- [6] Akash T. Davda, M. D. Desai and B. R. Parekh, "IMPACT OF EMBEDDING RENEWABLE DISTRIBUTED GENERATION ON VOLTAGE PROFILE OF DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY," Research Scholar, Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, India, 2011.
- [7] V.H. Mendez และคณะ, "Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 21, NO. 2, MAY 2006.
- [8] M. Sedighzadeh, and A. Rezaadeh, "Using Genetic Algorithm for Distributed Generation Allocation to Reduce Losses and Improve Voltage Profile," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008.
- [9] Pukar Mahat, "Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction," Department of Energy, Aalborg University, 2006.
- [10] วิชิต เครือสุข, "การหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบใช้การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด", การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม, 14 สิงหาคม 2552.
- [11] Pukar, M., Weerakom, O. and Nadarajah, M., "Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction," *Energy for Sustainable Development; Prospects and Issues for Asia (Electronic)*, pp. 1-6.
- [12] ยุทธนา เอี่ยมสมบูรณ์, การหาตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมเพื่อลดกำลังสูญเสียและเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยวิธีการหาแบบตาบู่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

[13] ทรงพล ปัทมธรรม และ คณะ, “ชุดทดลองการลัดวงจรในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า,” ปรินูญานีพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[14] นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ, ศิริวัฒน์ สงวนหมุ่ม, วัชระ พบพร, “แบบจำลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เพื่อลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย,” โปรแกรมวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, 2551.

[15] ณัฐภพ นิมปิตวิน, “พื้นฐานระบบสื่อสารสำหรับการจ่ายไฟฟ้า (Basic Communication Systems for Power Grid Network),” สืบค้นจาก : www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach

[16] ผศ.ดร. ปานจิต ดำรงกุลกำจร, “โครงการสนับสนุนงานด้านเทคนิคเพื่อการจัดการไฟฟ้าและพลังงานทดแทน, ผลกระทบจากพลังงานหมุนเวียนต่อระบบไฟฟ้า,” สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.

[17] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, “มาตรการบรรเทาผลกระทบด้านพลังงาน,” มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, ครั้งที่ 2, 2553.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

EXPERIMENTAL DISTRIBUTION SYSTEM WHICH INTERCONNECTION WITH RENEWABLE ENERGY

ณัฐนันท์ พันธุ์นิล ณัฐพงษ์ จูนิะกุล ณัฐพล ธารธุวศิลป์ และณัฐสุดา ชัยเนตร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบชุดทดลองเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เป็นการจำลองโดยนำเครื่องผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มาจำลองเหตุการณ์ ตำแหน่งในการวาง PV จะอยู่ที่ระยะ 20% (8km), 40% (16km), 40% (24km) และ 80% (32km) ผลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์สามารถนำไปวิเคราะห์ว่า การเชื่อมต่อไฟฟ้าพลังงานทดแทนมีผลอย่างไรกับระบบจำหน่าย จากผลการทดสอบพบว่า ปัจจัยที่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง คือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพบว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่าย แต่ถ้าปริมาณกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนมากกว่าโหลดมาก ก็จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบกระจาย

Abstract

This project presents a design and construction about transmission line system which interconnect with Photovoltaic energy distributed generation. Simulation of the distributed generation with renewable energy, that is used by photovoltaic (PV) to simulation. Distance of PV connecting to the transmission line is 20% (8km), 40% (16km), 60% (24km) and 80% (32km). The results showed that, Factors that affect to reduce the percentage of power loss is injection renewable power into the electric distribution system. The amount paid to renewable electric power distribution system is inversely proportional to the percentage of power losses in the distribution system. However, if the amount of photovoltaic energy rather than load, power loss is increase.

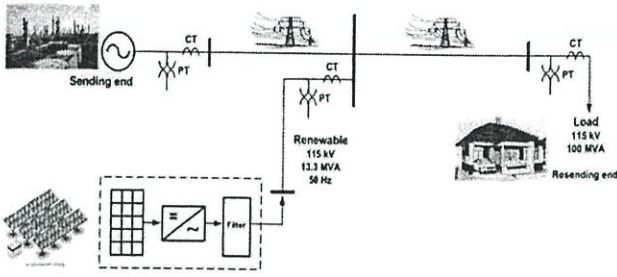
Keywords: distributed generation

1. บทนำ

เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ากลับลดลงทุกปี จึงมีความคิดที่จะนำพลังงานทดแทนมาใช้ เพื่อเสริมศักยภาพด้านพลังงานของประเทศ และลดการนำเข้าทรัพยากรจากต่างประเทศ ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนที่พบได้บ่อยคือการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนมากมาย อาทิเช่น งานวิจัยของ M. Sedighzadeh, and A. Rezazadeh[1] ศึกษาการหาค่าพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่าย, งานวิจัยของ Nasser G. A. Hemdan, and Michael Kurat [2] วิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนต่อความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า, งานวิจัยของ Rakibuzzaman Shah [3] ระบบแรงดันไฟฟ้าไว้ว่า แรงดันไฟฟ้าที่ไม่เสถียรถือเป็นหนึ่งในข้อเสียหลักในการรักษาความปลอดภัย, Akash T. Davda , M. D. Desai and B. R. Parekh[4] ได้เสนอการแก้ปัญหาแรงดันตกโดยการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน, จากงานวิจัยของ V.H. Mendezและคณะ[5] ศึกษาความสูญเสียพลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีของระบบจำหน่าย, Pukar Mahat [6] ได้วิจัยการหาขนาดกำลังไฟฟ้าและตำแหน่งในการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบได้จริง เนื่องจากการสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีความยากลำบากในการทดลองและมีข้อจำกัดมาก โครงการนี้จึงจำลองไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องจำลองพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่ได้จากพลังงานธรรมชาติ และจำลองระบบจำหน่ายพลังงานแบบพหุระยะ 40 กิโลเมตร โดยมีแนวคิดในการจำลองระบบให้สามารถนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการได้อย่างปลอดภัยและไม่มีความอันตรายกับผู้ทดลอง โดยจะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณและค่าเพอร์ยูนิตในชุดทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเพอร์ยูนิตของการไฟฟ้า เพื่อให้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด

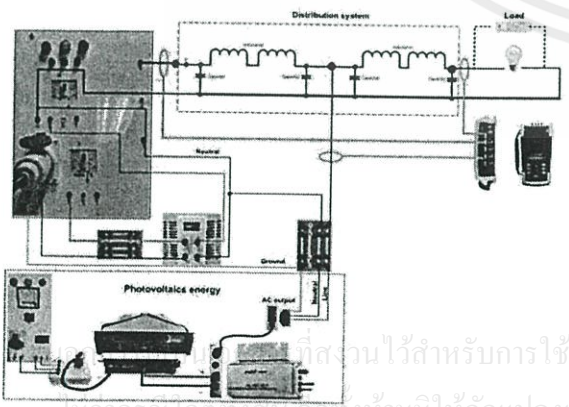


รูปที่ 1 วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายพลังงานทดแทน

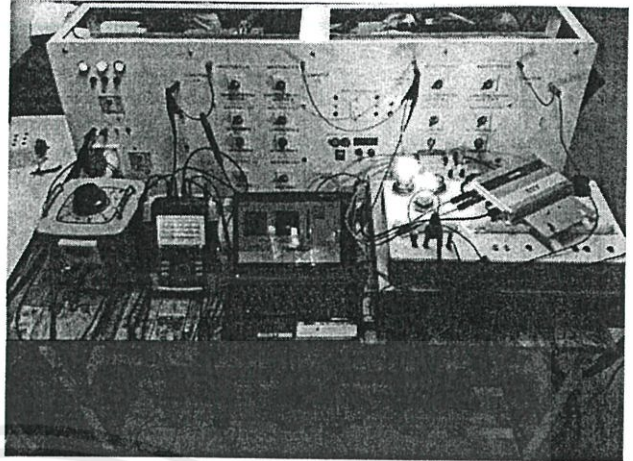
2. การออกแบบชุดทดลอง

การสร้างวงจรจำลองของโครงการนี้ จะรับแรงดันไฟฟ้ามาจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 230 V เข้ามาที่เคเบิลไฟ 3 เฟส จากนั้นส่งผ่านมายัง หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ 1 เฟส (Variable Voltage Transformer) เพื่อทำการรักษาแรงดันทางด้านโหลดให้คงที่ที่ 230V แล้วส่งกลับไปยังชุดทดลอง โดยมีระบบป้องกัน คือ เซอร์คิตเบรกเกอร์ และ ฟิวส์ เพื่อป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ จากนั้นจะเข้าสู่วงจรจำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยมีการออกแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ โดยการนำไปใช้โดยการหมุนตัวปรับค่าเพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ต้องการ และมีการออกแบบตัวเก็บประจุ คือ ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 630 V_{AC} มาทำการค้อนานหรืออนุกรมเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ

สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะรับไฟ 3 เฟส จากห้องปฏิบัติการอีกระบบหนึ่ง จ่ายผ่านเครื่องจำลองพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) โดยเครื่องจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีคุณลักษณะตรงกับไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นจะจ่ายผ่านไปยังตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Micro Inverter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจ่ายเข้าสู่วงจรจำลองระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อกลางวงจร



รูปที่ 2 แผนภาพเส้นเดียว (One-line Diagram) ของการติดตั้งชุดทดลอง



รูปที่ 3 การต่อวงจรจำลองของชุดทดลอง

เมื่อกำลังไฟฟ้าผ่านวงจรการจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าแล้ว จากนั้นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดก็จะผ่านไปยังโหลด โดยจะกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าด้านรับของวงจรหรือด้านหน้าของโหลดเป็นค่าคงที่เท่ากับ 230 V โดยโหลดของระบบจำลองนี้จะทำการกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟ ไม่สามารถปรับค่าได้ จึงต้องทำการกำหนดโหลดให้เป็นค่าคงที่เพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่ฝั่งรับคงที่ที่ 230 V โดยโหลดที่ใช้ในการทดสอบจะมีอยู่ 5 แบบ เพื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มและลดโหลด โดยมี หลอดไฟ 60 วัตต์, หลอดไฟ 120 วัตต์, บัลลัสต์, หลอดไฟ 60 วัตต์กับบัลลัสต์ และหลอดไฟ 120 วัตต์กับบัลลัสต์

3. ผลการทดลอง

เพื่อความชัดเจนบทความฉบับนี้เสนอตัวอย่างผลการทดลองการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์ระยะทางจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่วัดจากด้านส่ง โดยมีและไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน ซึ่งจะได้ผลจากการทดลอง

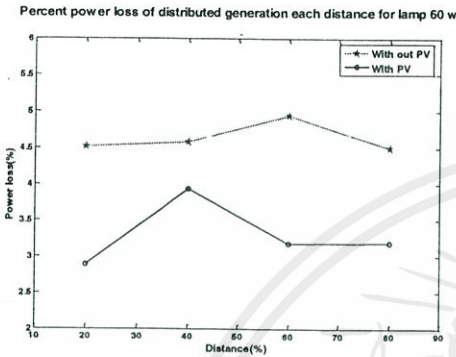
ตำแหน่งการวัดและสถานะการทำงานของ micro inverter	V	I	S	P	Q	p.f
	(Volt)	(Amp)	(VA)	(Watt)	(VAR)	
ฝั่งส่ง	With out PV	0.396	99	57	79	0.58
	With PV	0.344	86	36	76	0.42
จุดเชื่อมต่อ	With out PV	0.062	14	0	13	0.00
	With PV	0.119	26	21	14	0.78
ฝั่งรับ	With out PV	0.425	84	53	65	0.63
	With PV	0.430	86	54	66	0.63

ตารางที่ 1 และรูปที่ 3-7 ตารางตัวอย่างผลการพารามิเตอร์ที่ระยะที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลัสต์

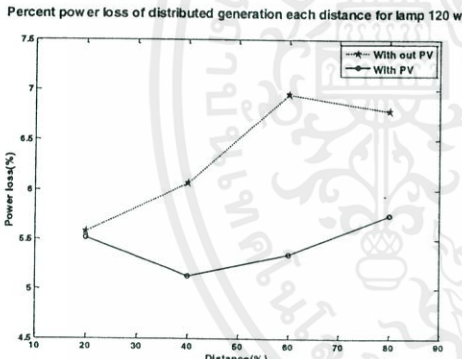
จากตารางที่ 1 นำค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียได้จากสูตร แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

$$P_{loss} = (P_{input} + P_{dg}) - P_{load}$$

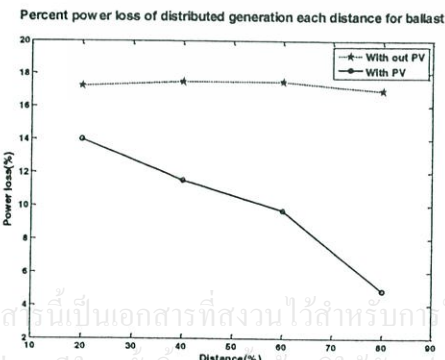
$$\%P_{loss} = \frac{((P_{input} + P_{dg}) - P_{load})}{(P_{input} + P_{dg})} \times 100$$



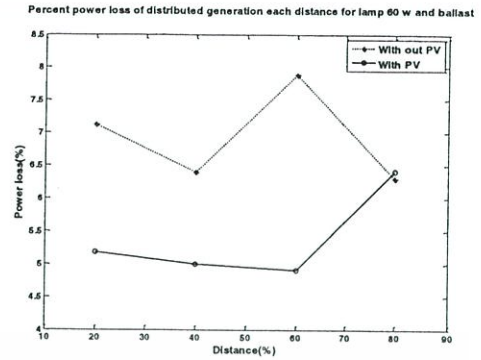
รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่โหลด 60 วัตต์



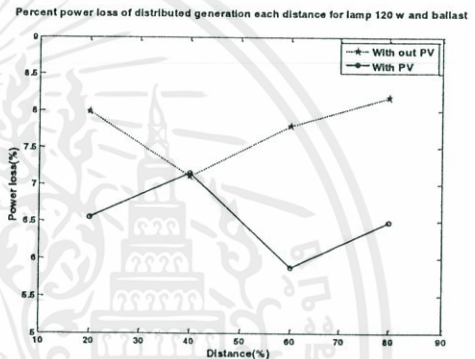
รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่โหลด 120 วัตต์



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่โหลดบัลลาสต์

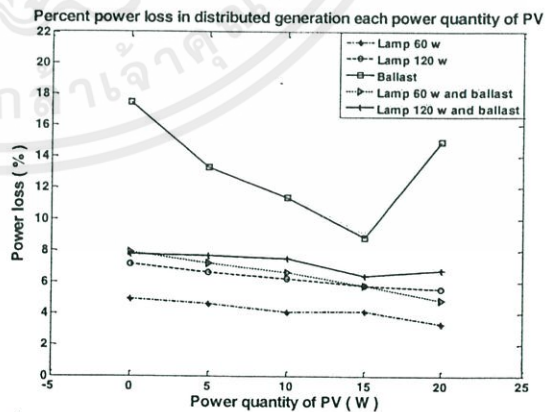


รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่โหลด 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่โหลด 120 วัตต์ และบัลลาสต์

จากนั้นทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับปริมาณกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่จ่ายให้กับระบบจำหน่าย ซึ่งจะได้อผลจากการทดลอง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 9 กราฟเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียกับปริมาณพลังงานทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำรายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปและยืนยันได้จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้ศึกษามา ว่าระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนสามารถช่วยลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่าย พร้อมทั้งเป็นตัวช่วยในการลดภาระในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าด้วย อีกทั้งการแก้ปัญหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกบริเวณปลายสายสามารถทำได้จริง เมื่อมีจุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าที่ไกลมากขึ้น สอดคล้องกับผลในการทดลองนี้จะเห็นชัดเจนเมื่อมีการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ จะมีเริ่มเห็นค่าของแรงดันที่จุดเชื่อมต่อมีการกระเพื่อมขึ้นอย่างชัดเจนและส่งผลกระทบต่อโวลต์ที่โวลต์ค่ามากขึ้นตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพื่อพัฒนาและปรับปรุงไปใช้ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในอนาคตอย่างจริงจังต่อไป

ประวัติผู้เขียนบทความ



นาย ฉัฐนันท์ พันธุ์นิล เกิด 24 สิงหาคม 2535
ที่อยู่ 9/1-4 หมู่ 8 ถนนกาญจนาภิเษก ตำบลน้ำ
น้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
โทร 092-7175998



นาย ฉัฐพงษ์ จินะกุล เกิด 14 พฤษภาคม 2536
ที่อยู่ 138/15 หมู่ 10 ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง
จังหวัดชุมพร 86120 โทร 093-9635903
nptk.fiathp@gmail.com



นาย ฉัฐพล ชารุชศิลป์ เกิด 7 กุมภาพันธ์ 2536
ที่อยู่ 26/325 หมู่ 1 ตำบลนาป่า อำเภอเมือง
จังหวัดชลบุรี 20000 โทร 082-7800910
Slipknot_rr@windowslive.com



นางสาว ฉัฐสุดา ชัยเนตร เกิด 11 พฤศจิกายน 2535
ที่อยู่ 64 หมู่ 14 ถนน พหลโยธิน ตำบลพิชัย
อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000 โทร 089-5536625
nutsuda_fahkaka@hotmail.com

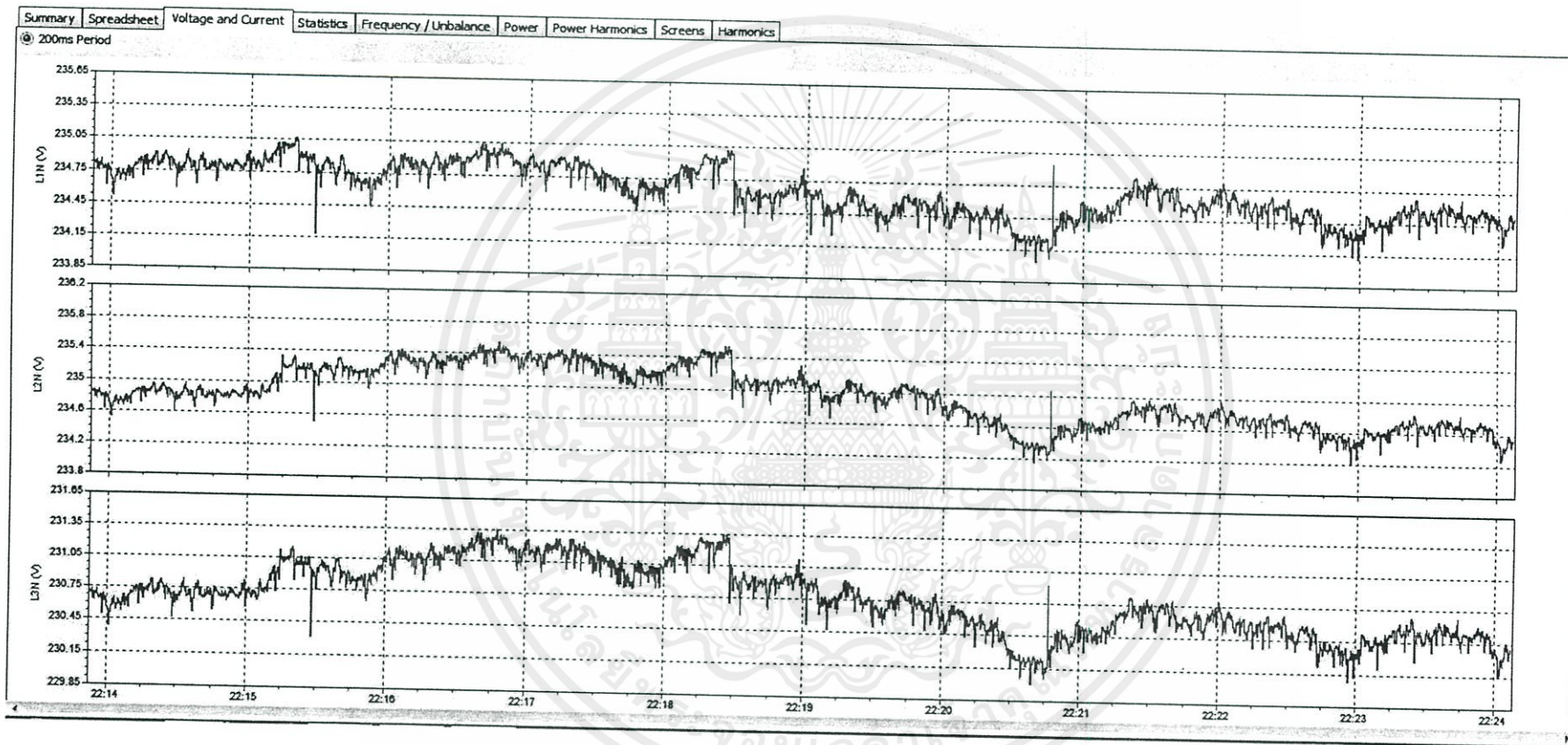
เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Sedighzadeh, and A. Rezazadeh, "Using Genetic Algorithm for Distributed Generation Allocation to Reduce Losses and Improve Voltage Profile," World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.
- [2] Nasser G. A. Hemdan, and Michael Kurrat, *Member, IEEE*, "Distributed Generation Location and Capacity Effect on Voltage Stability of Distribution Networks," Institute of High Voltage Technology and Electric Power Systems Braunschweig University of Technology, Braunschweig, Germany
- [3] Rakibuzzaman Shah, Nadarajah Mithulananathan, Ramesh Bansal, Kwang Y. Lee and Abraham Lomi, "Influence of Large-scale PV on Voltage Stability of Sub-transmission System," The school of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 2012.
- [4] Akash T. Davda, M. D. Desai and B. R. Parekh, "IMPACT OF EMBEDDING RENEWABLE DISTRIBUTED GENERATION ON VOLTAGE PROFILE OF DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY," Research Scholar, Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, India, 2011.
- [5] V.H. Mendez, "Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation," IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 21, NO. 2, MAY 2006.
- [6] Pukar Mahat, "Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction," Department of Energy, Aalborg University, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

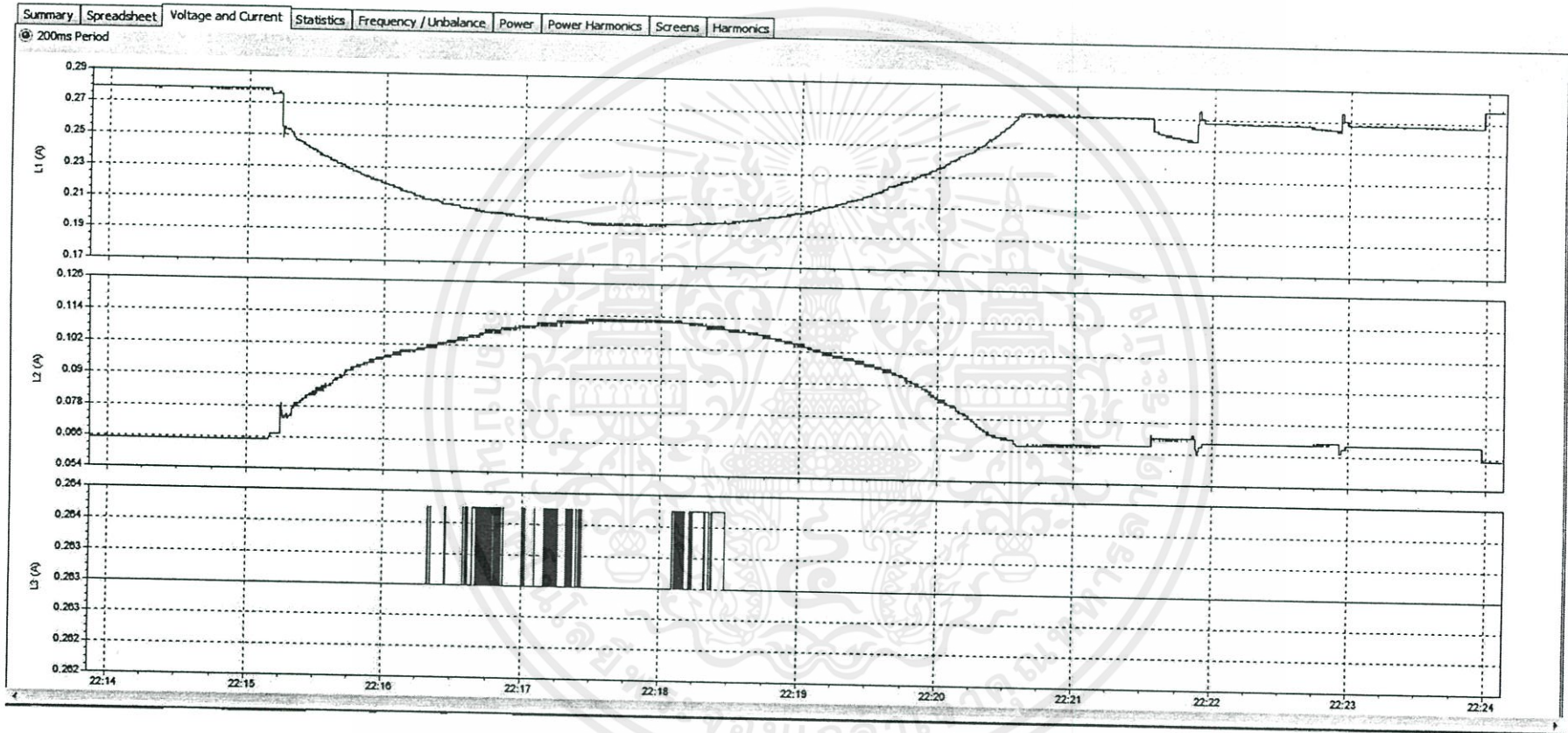


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



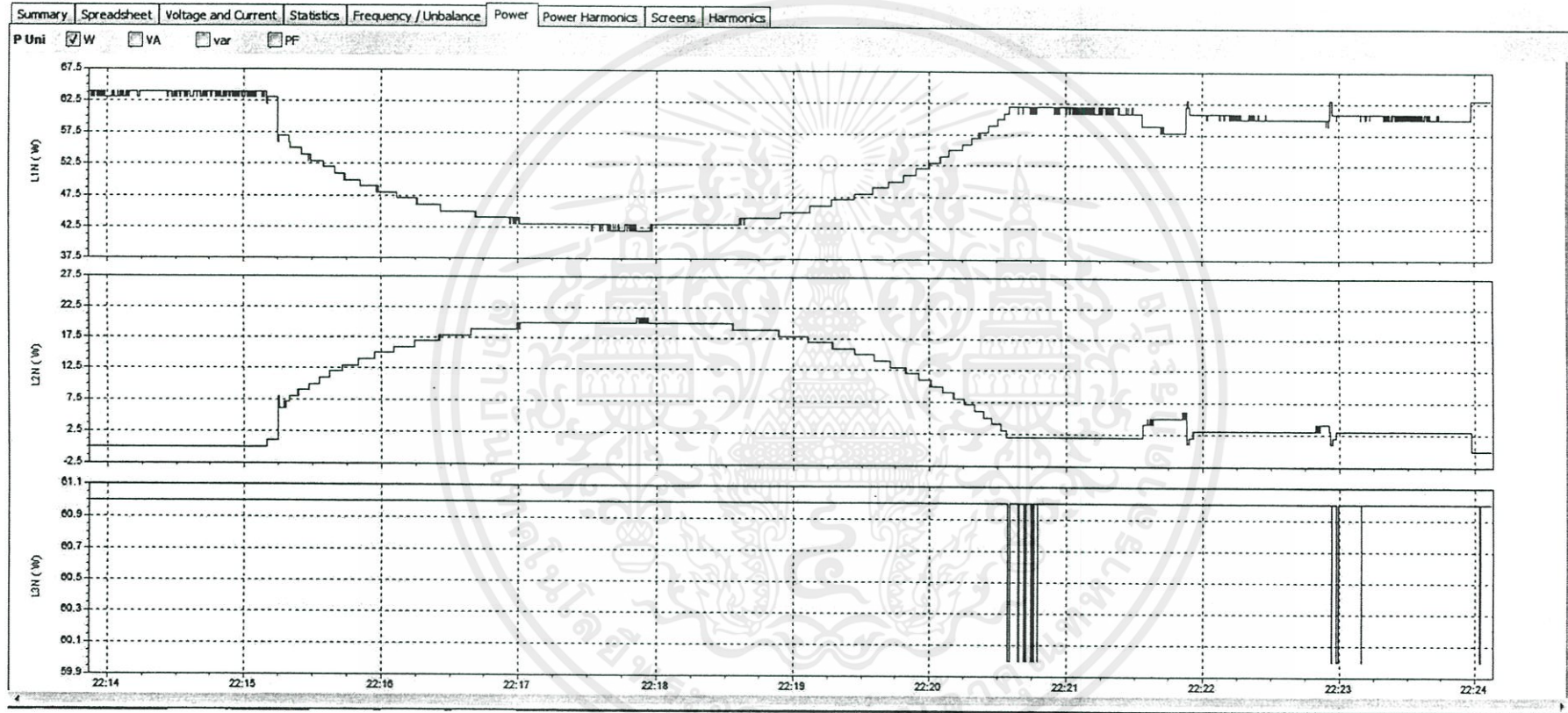
รูปที่ ข-1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



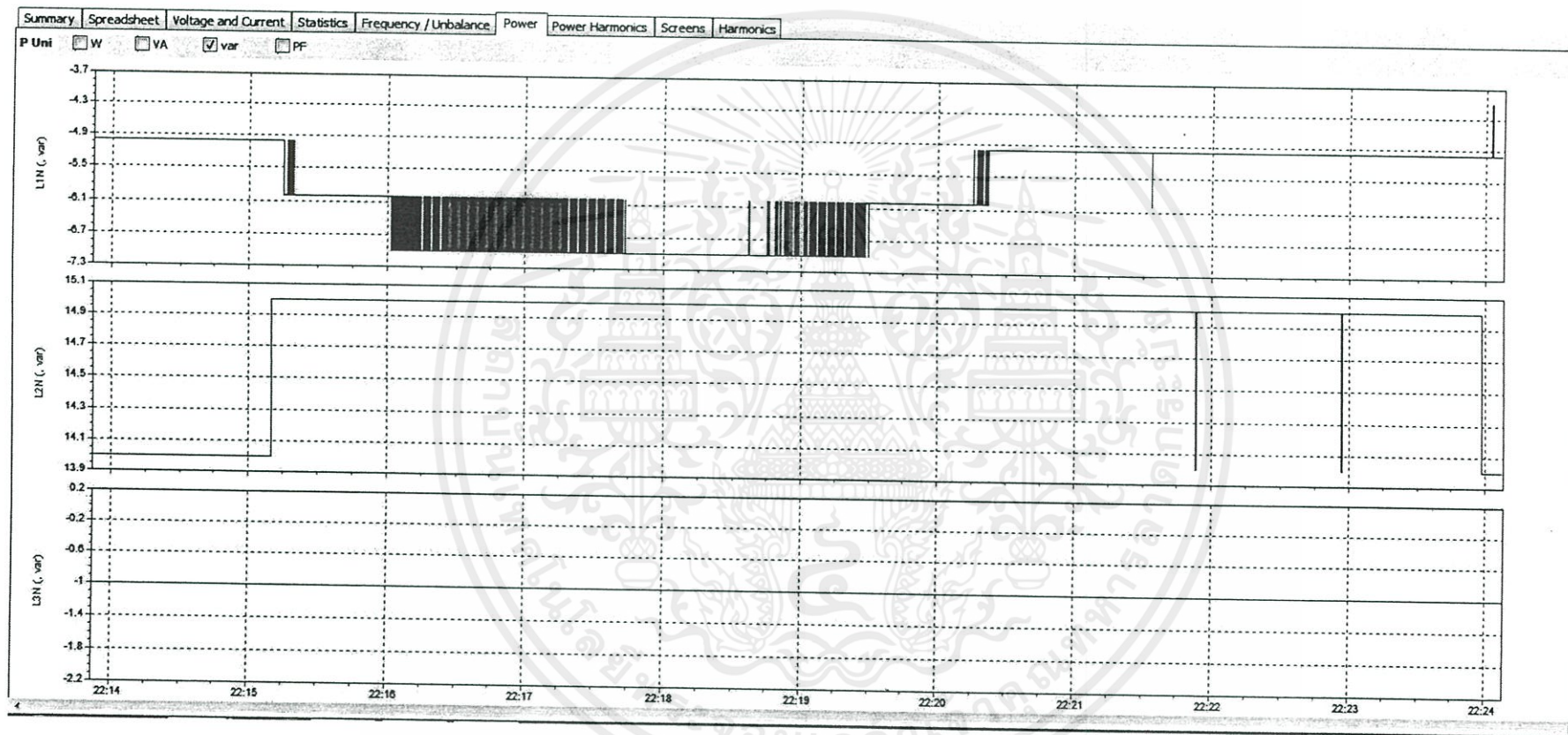
รูปที่ ข-2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



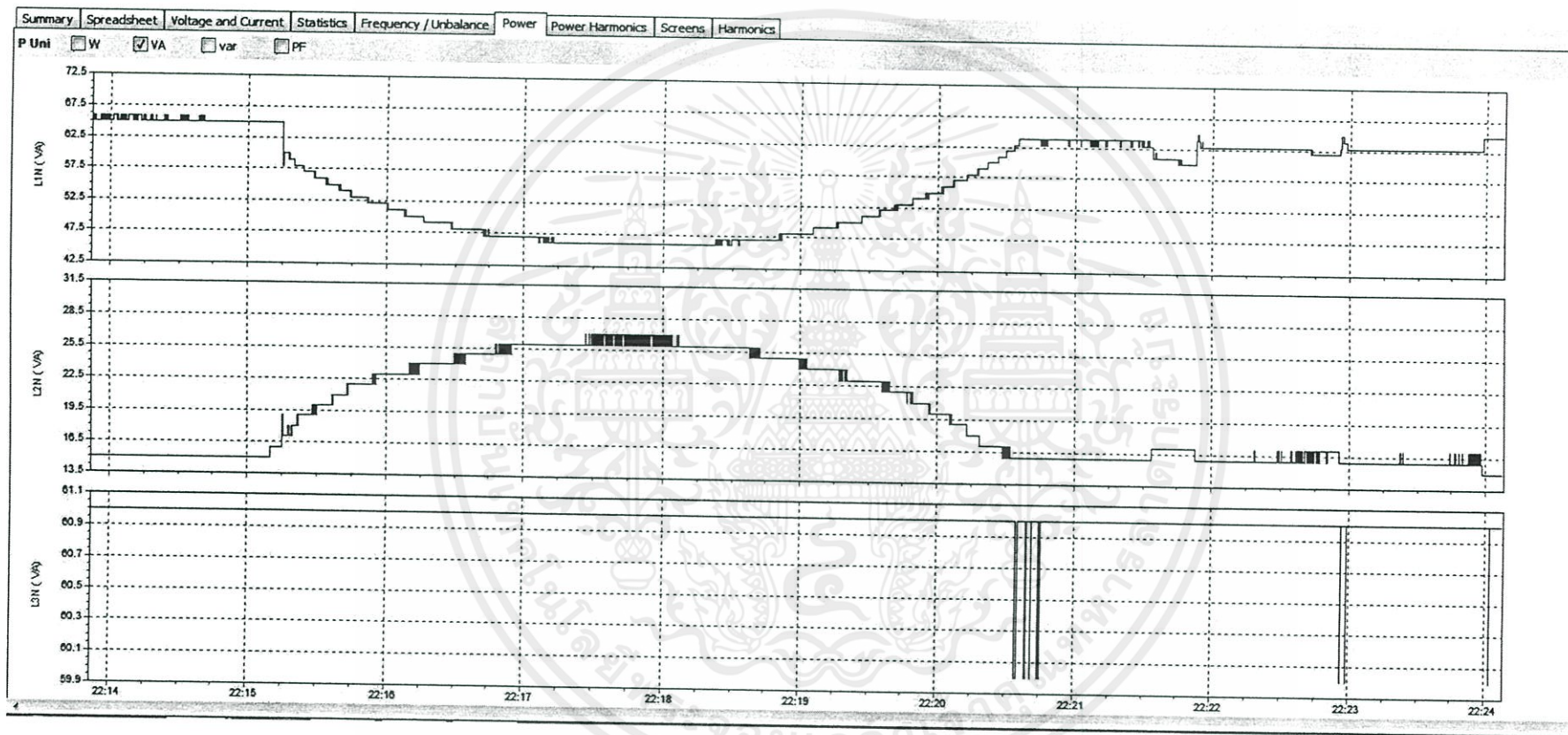
รูปที่ ข-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



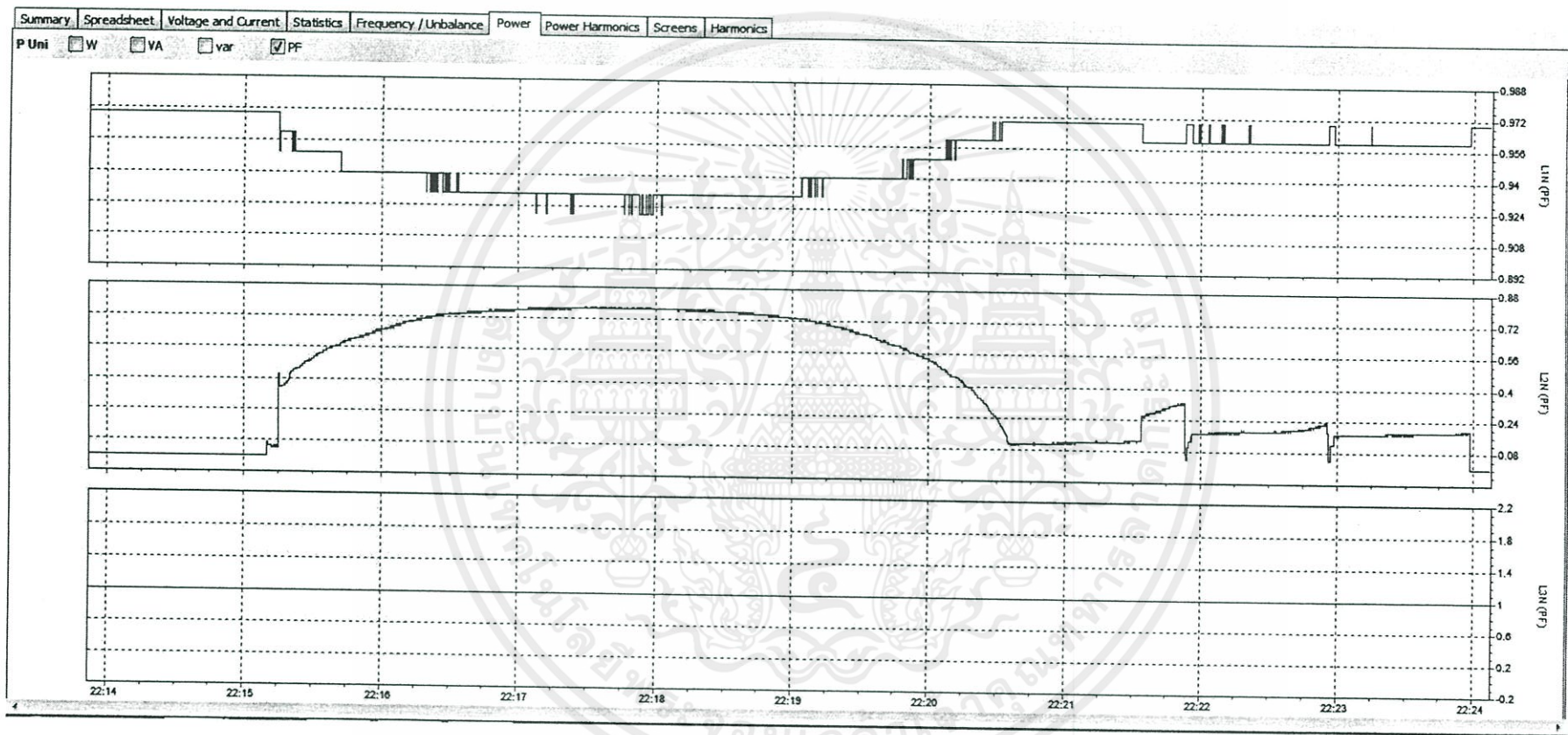
รูปที่ ข-4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

จากรูปที่ ข-1 ถึง ข-6 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.2

จากรูปที่ ข-1 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-2 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

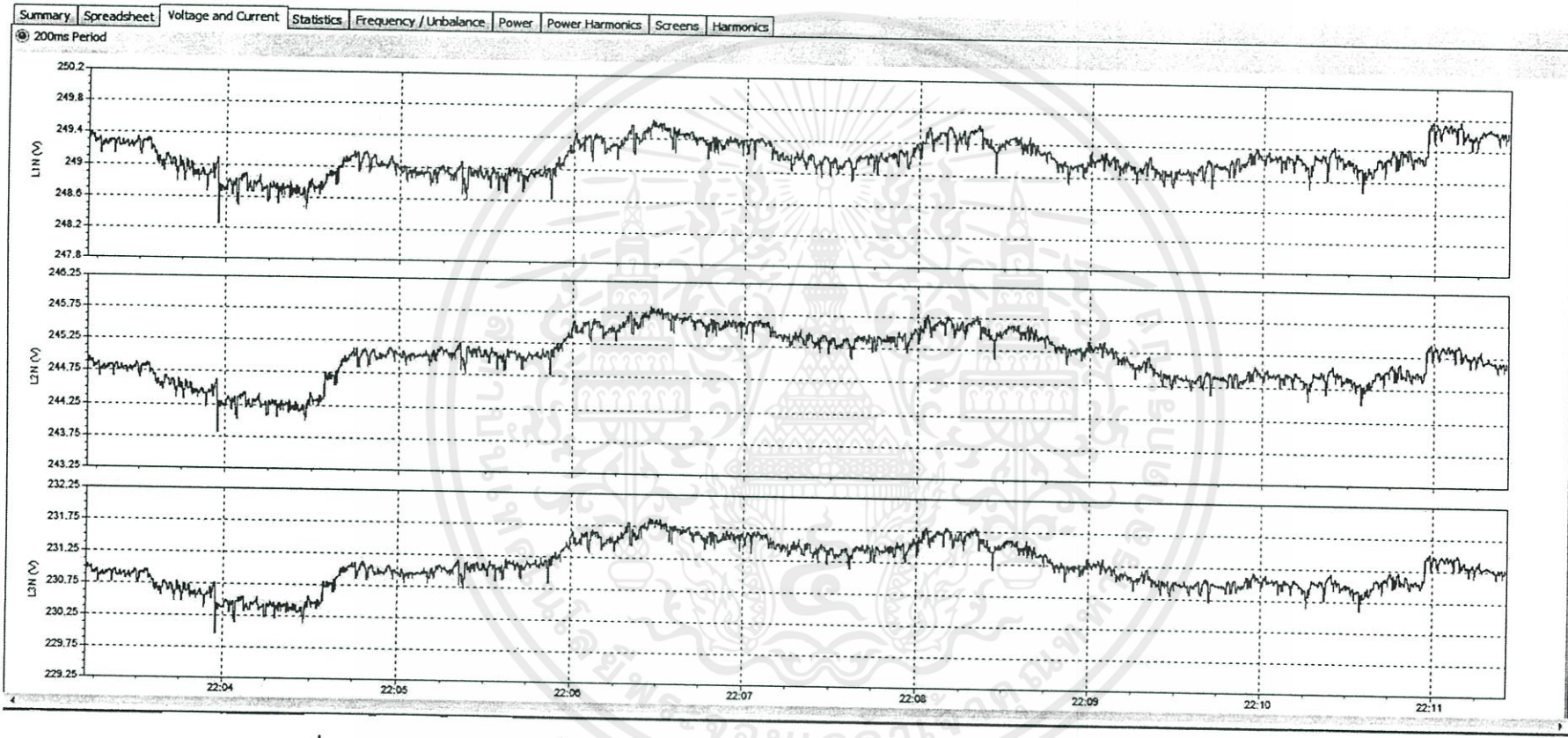
จากรูปที่ ข-3 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-4 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-5 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-3

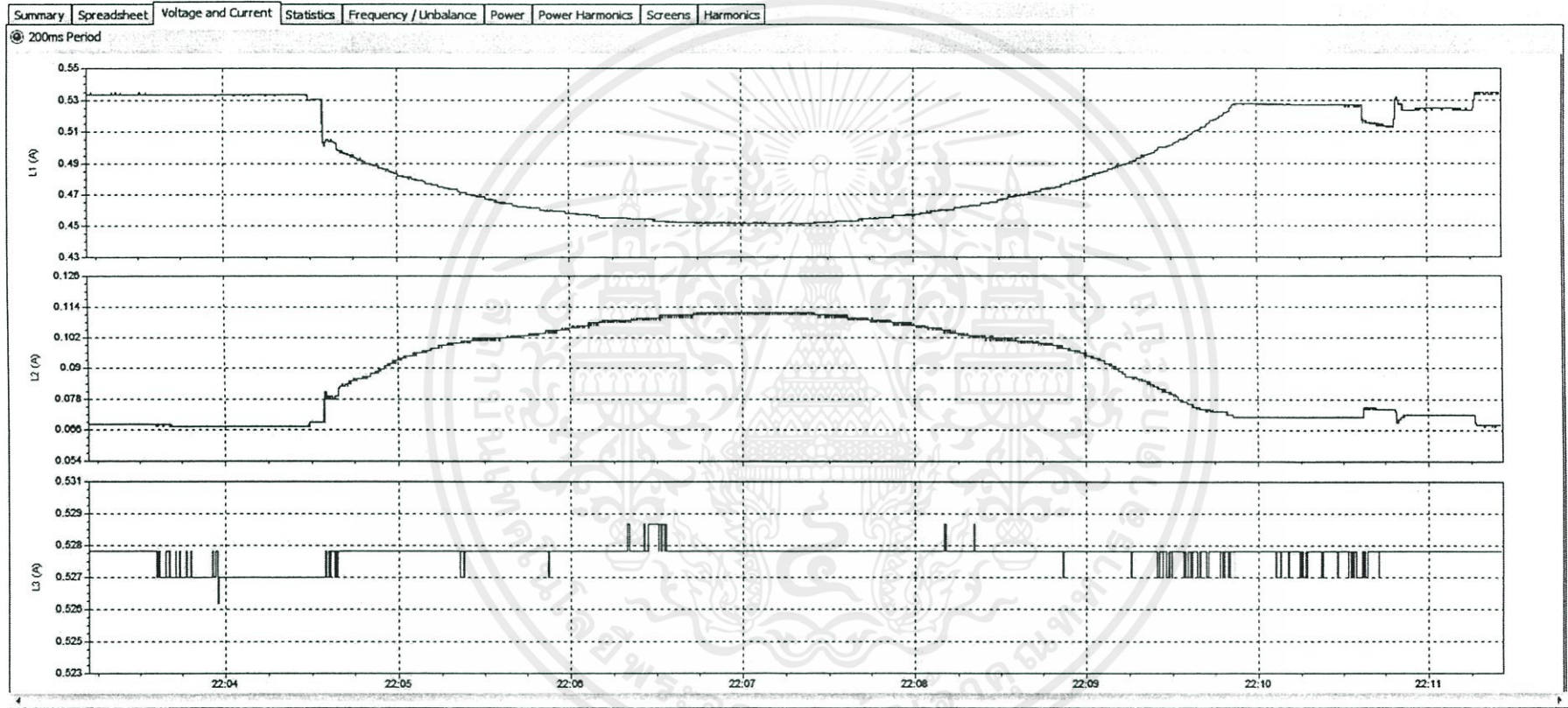
จากรูปที่ ข-6 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



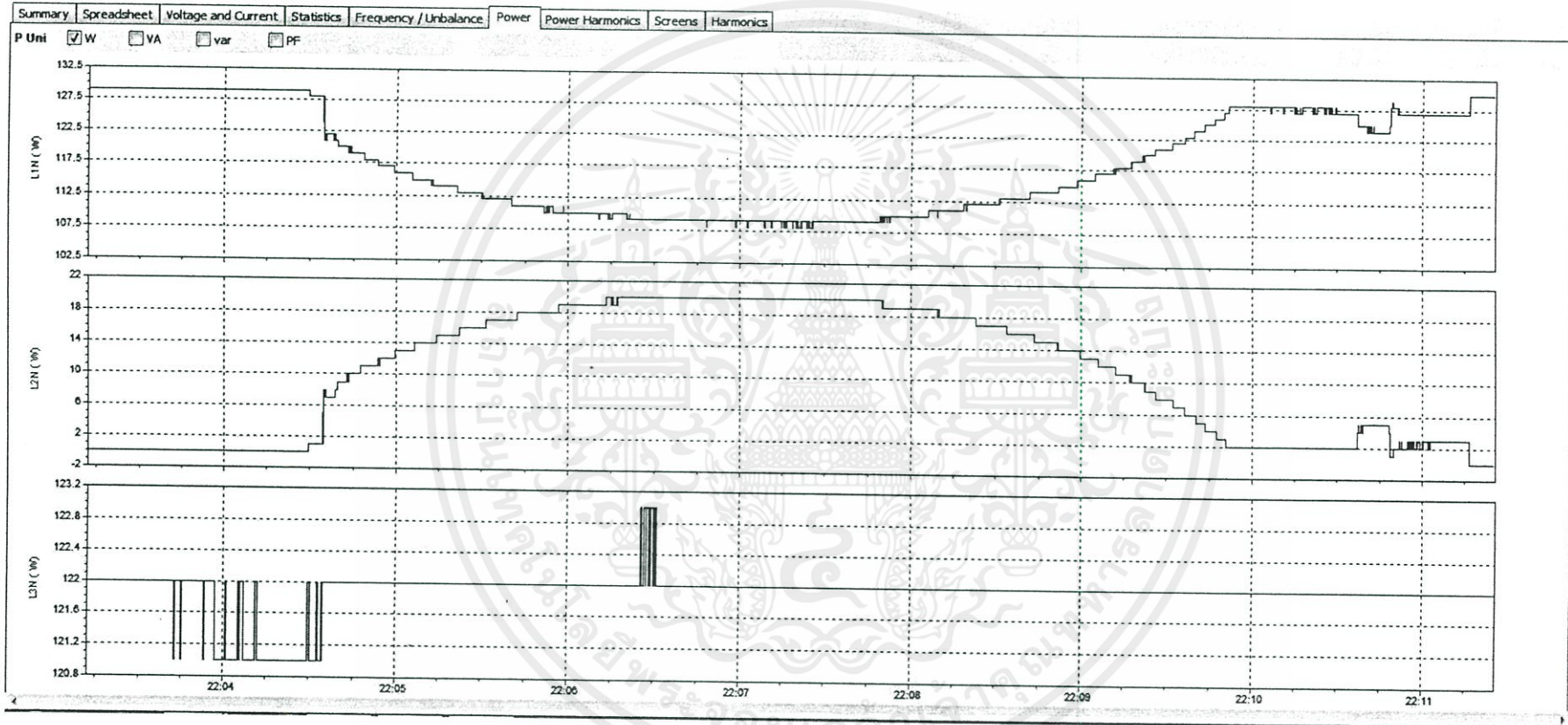
รูปที่ ข-7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซนต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



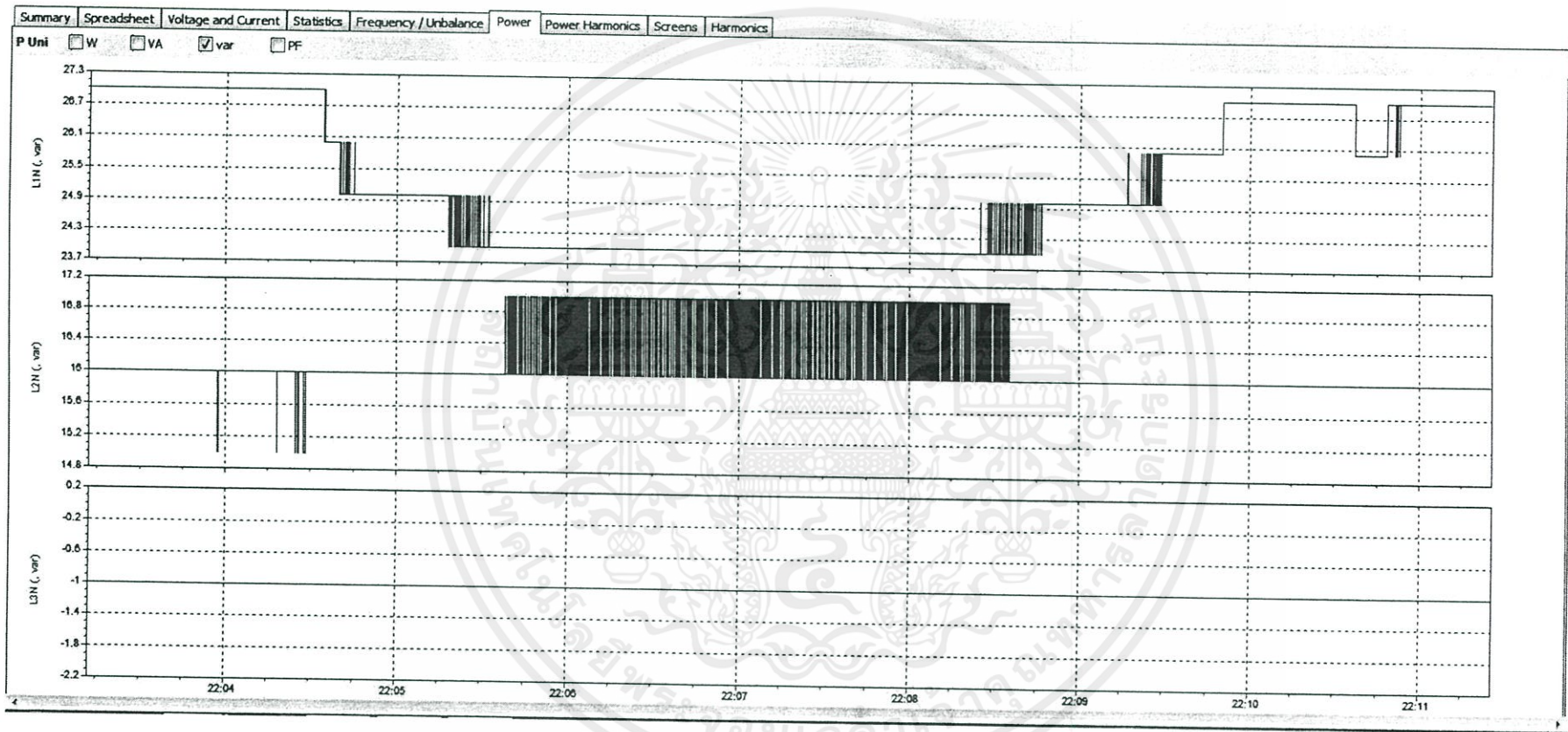
รูปที่ ข-8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



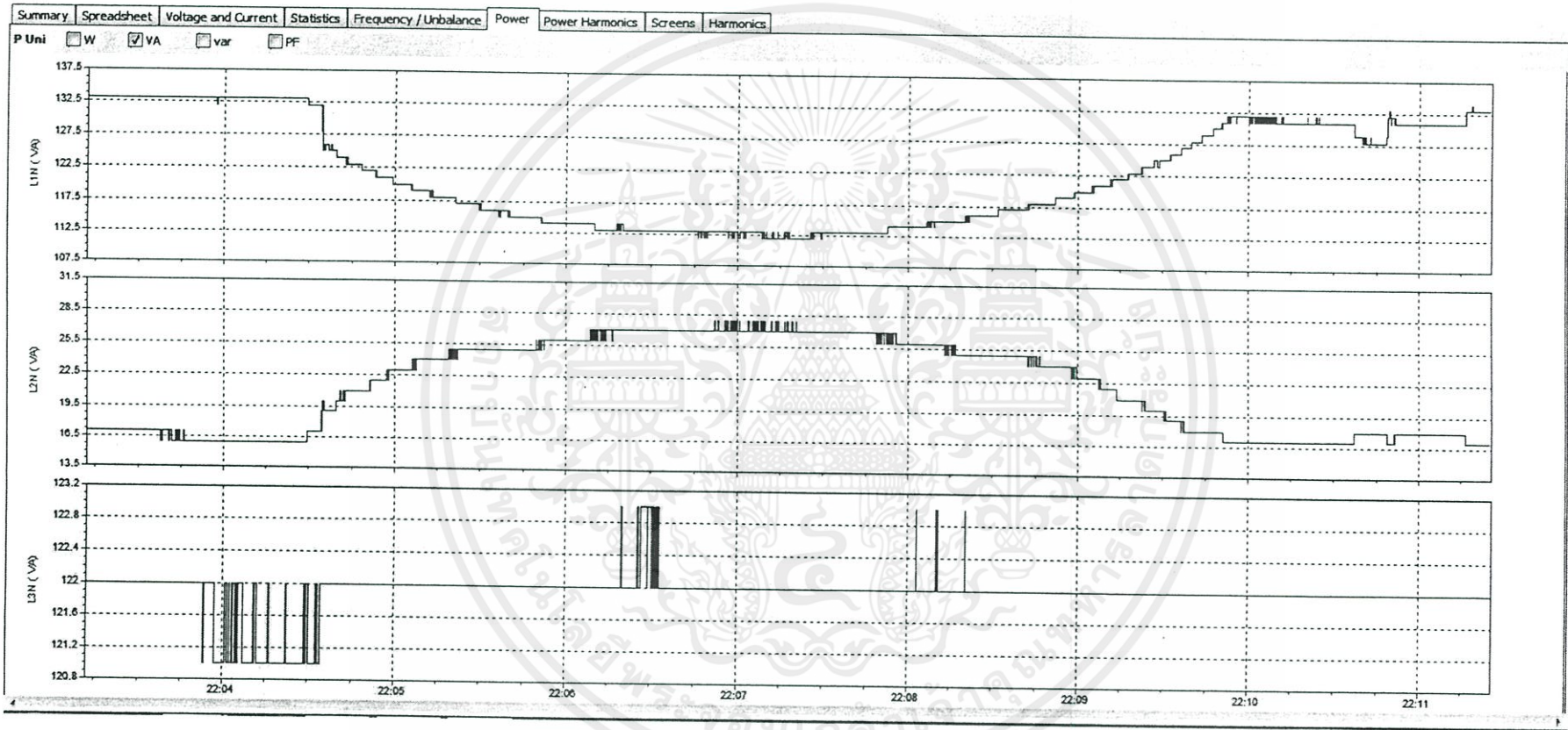
รูปที่ ข-9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



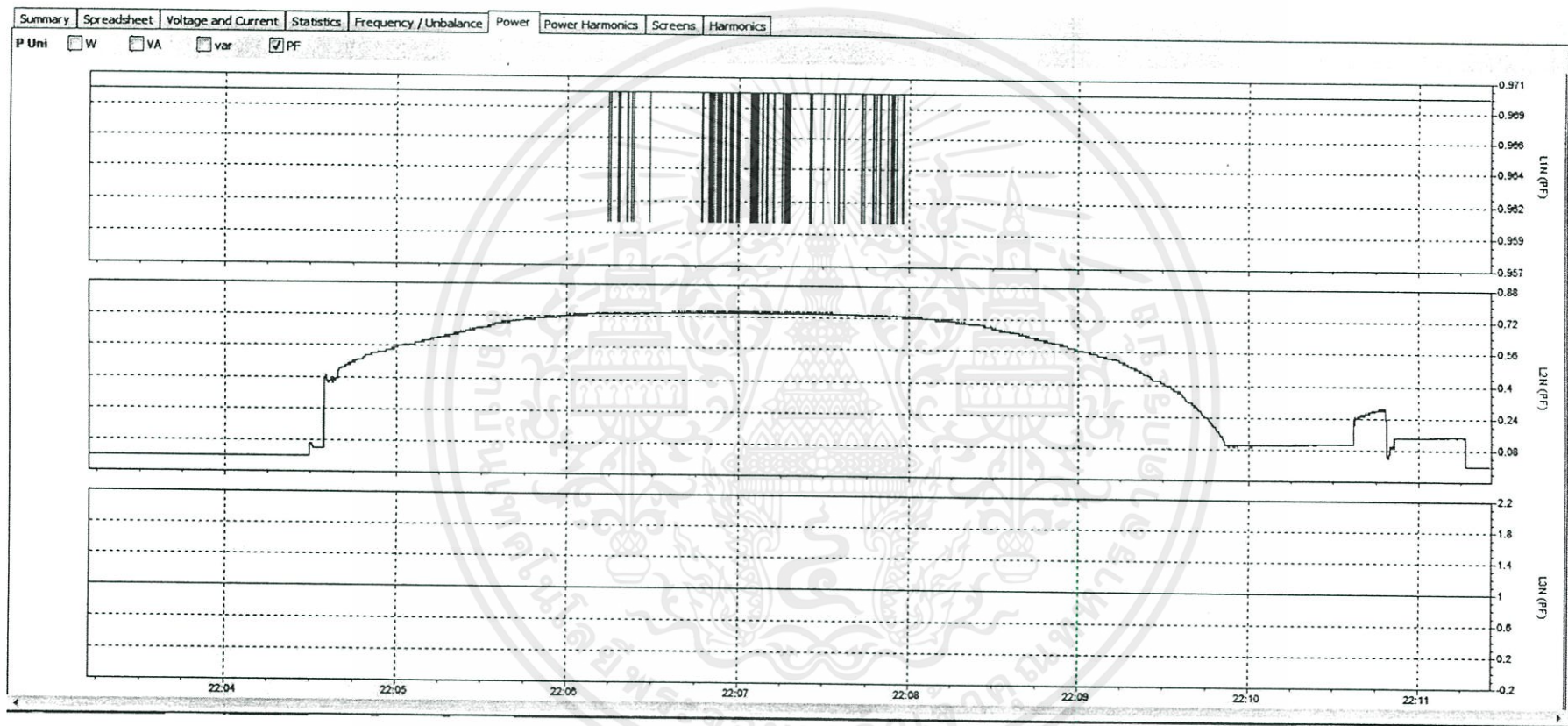
รูปที่ ข- 10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

จากรูปที่ ข-7 ถึง ข-12 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.3

จากรูปที่ ข-7 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้า พลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-8 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้า พลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

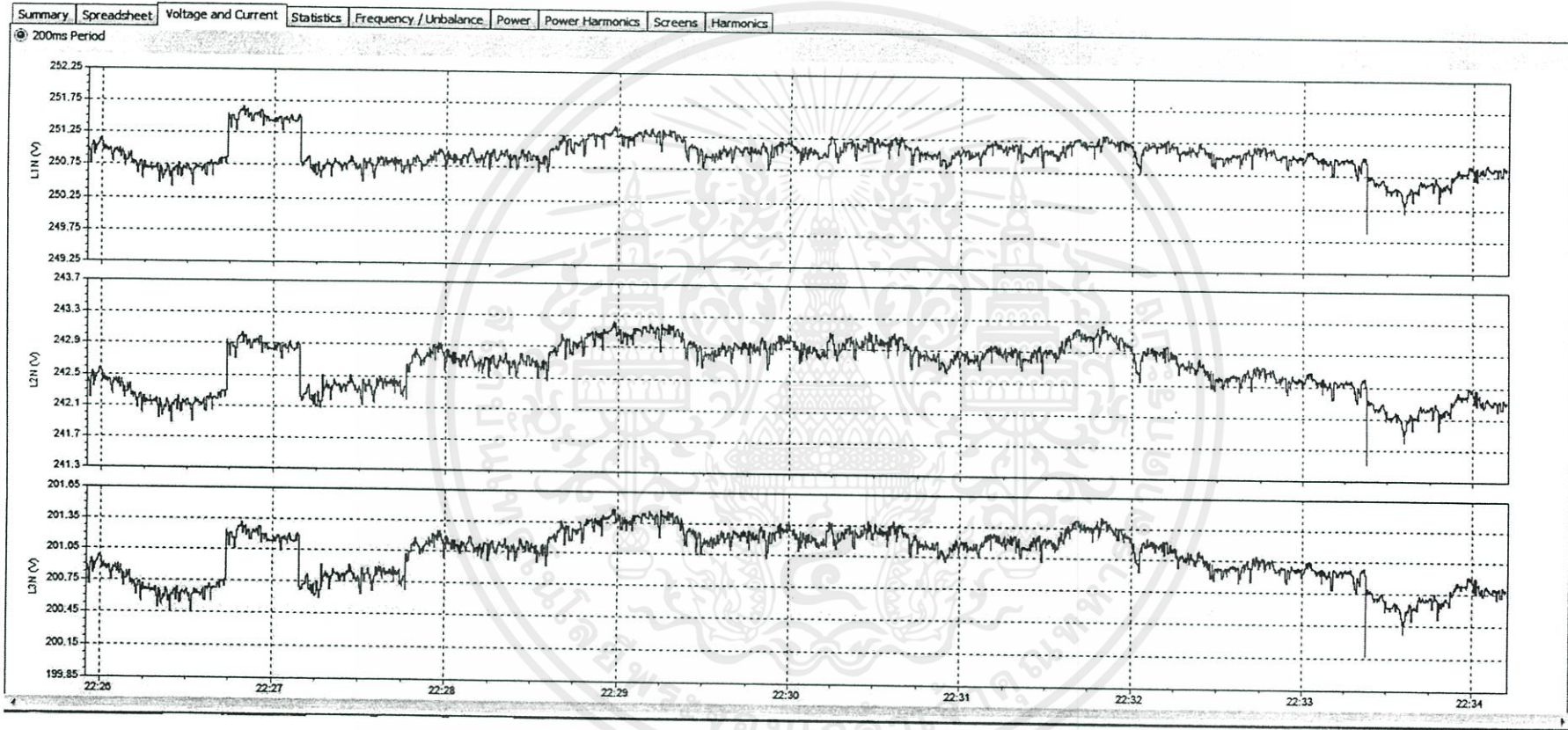
จากรูปที่ ข-9 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่าย กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจาก พลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-10 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-11 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจำหน่าย กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง เหมือนรูปที่ ข-9

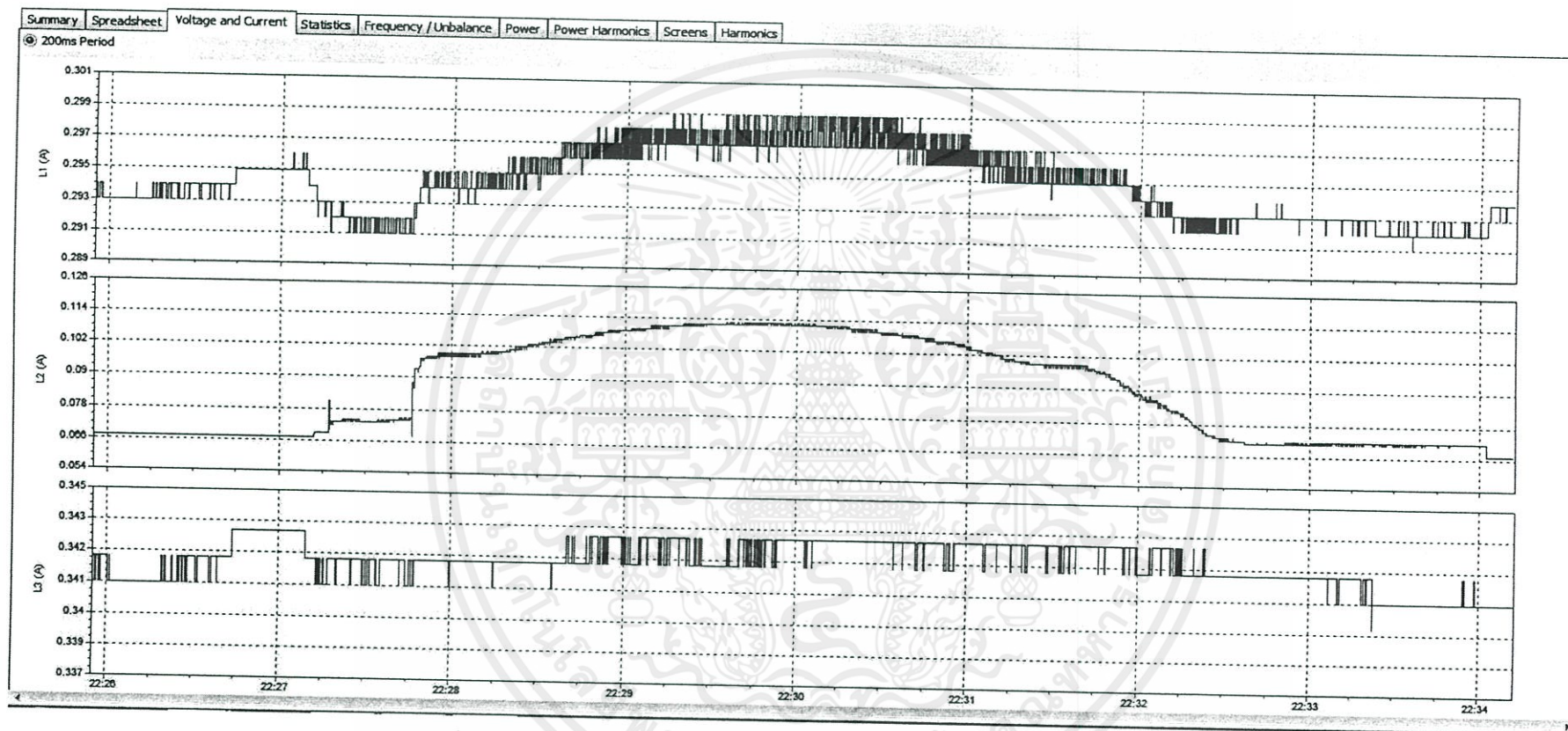
จากรูปที่ ข-12 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการ เปลี่ยนแปลงถือน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



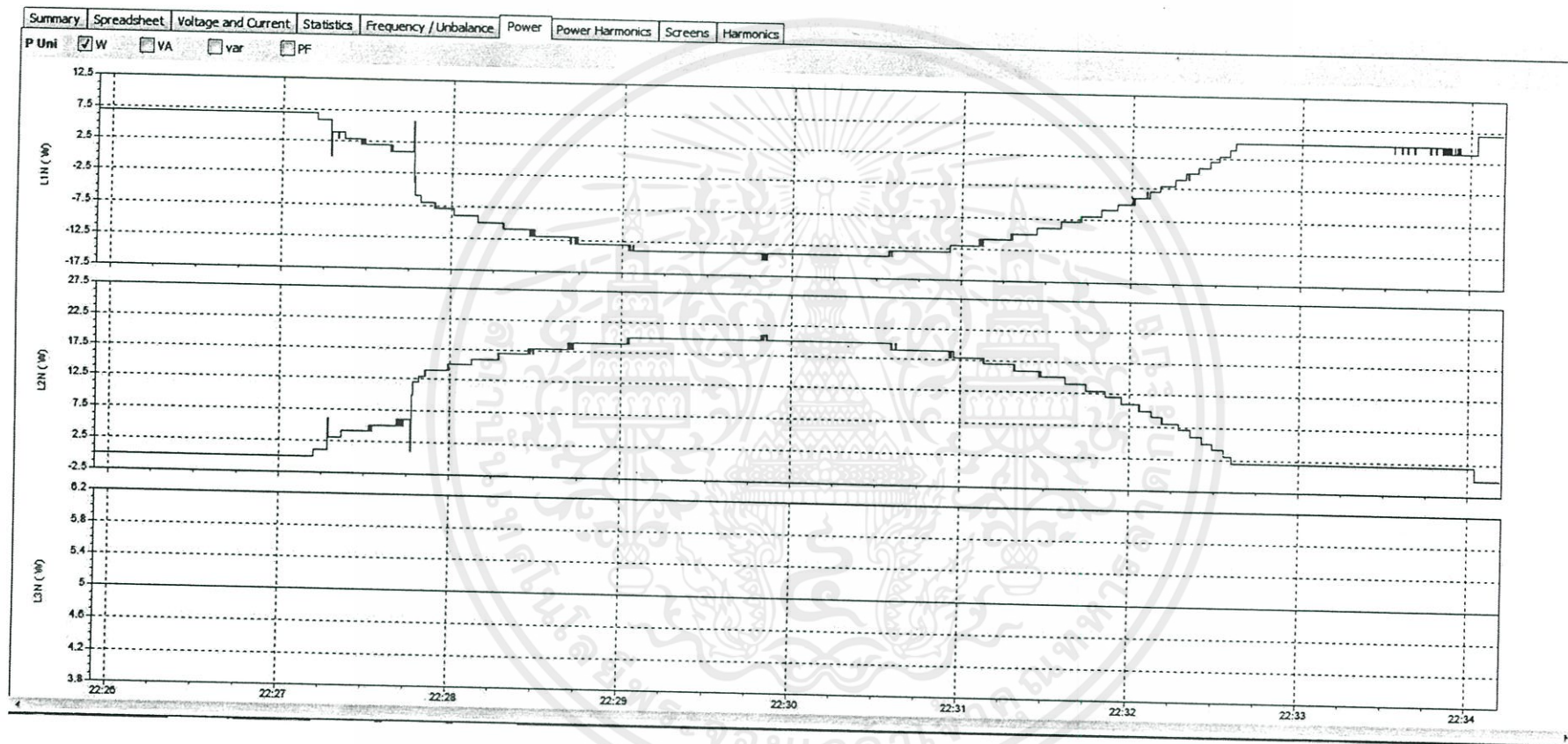
รูปที่ ข-13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลัสต์



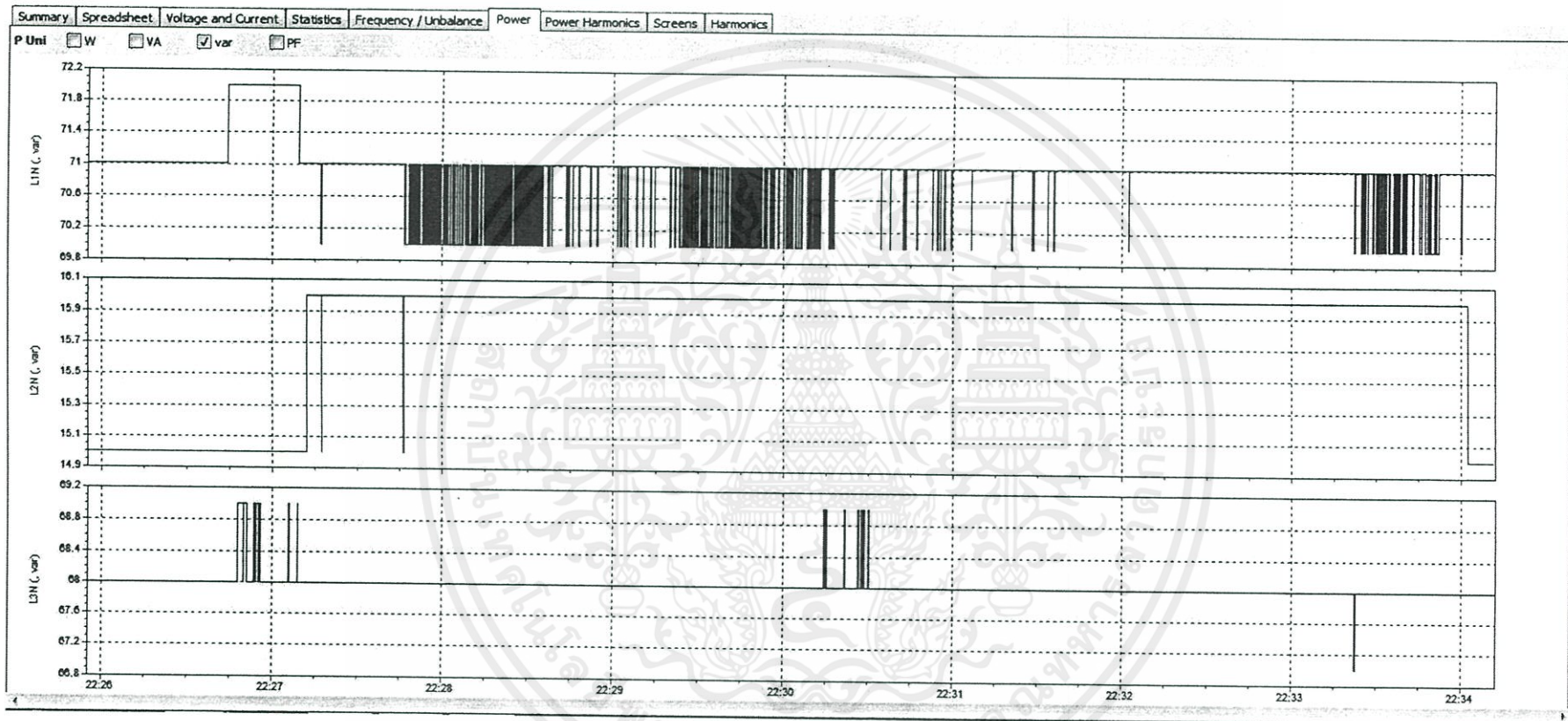
รูปที่ ข-14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



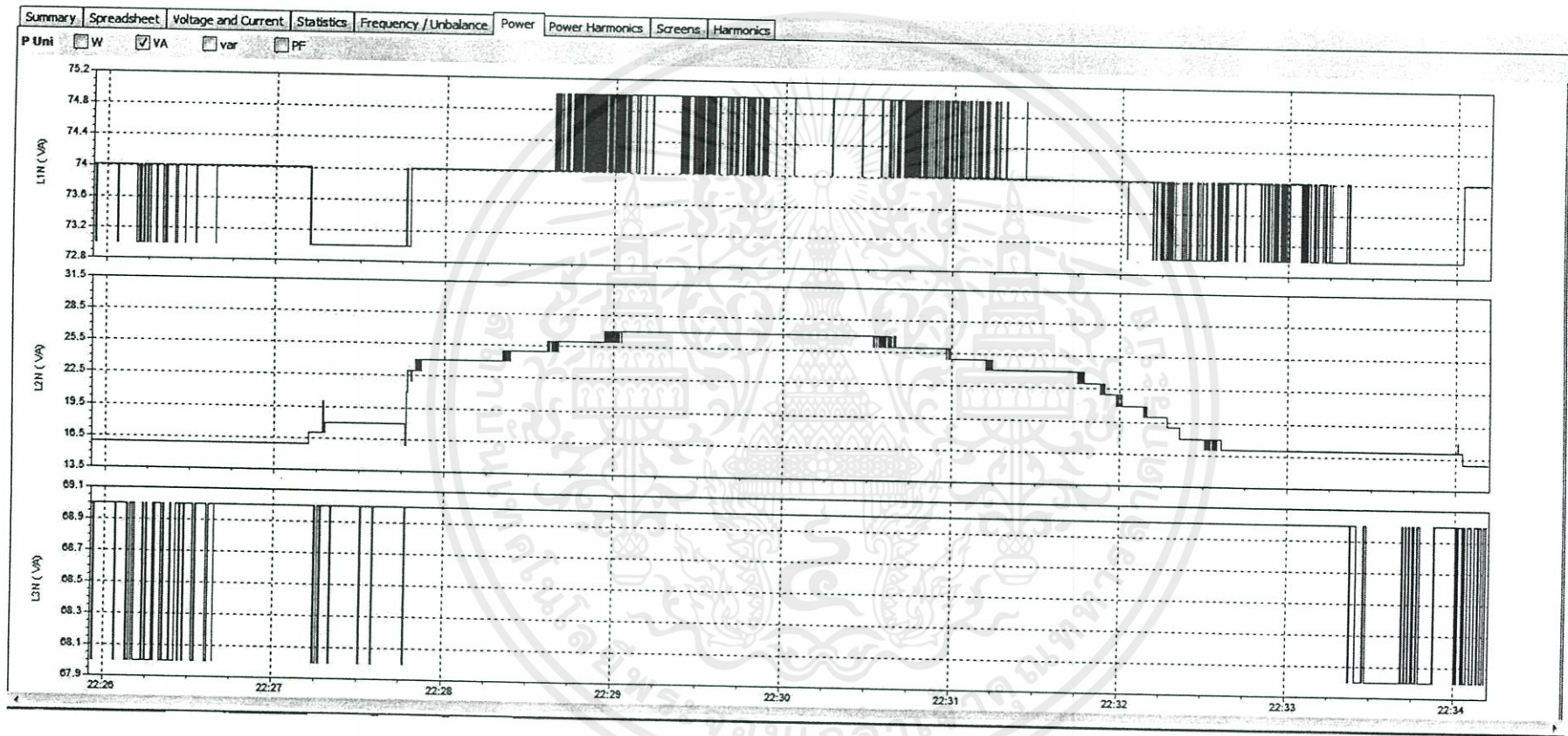
รูปที่ ข-15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



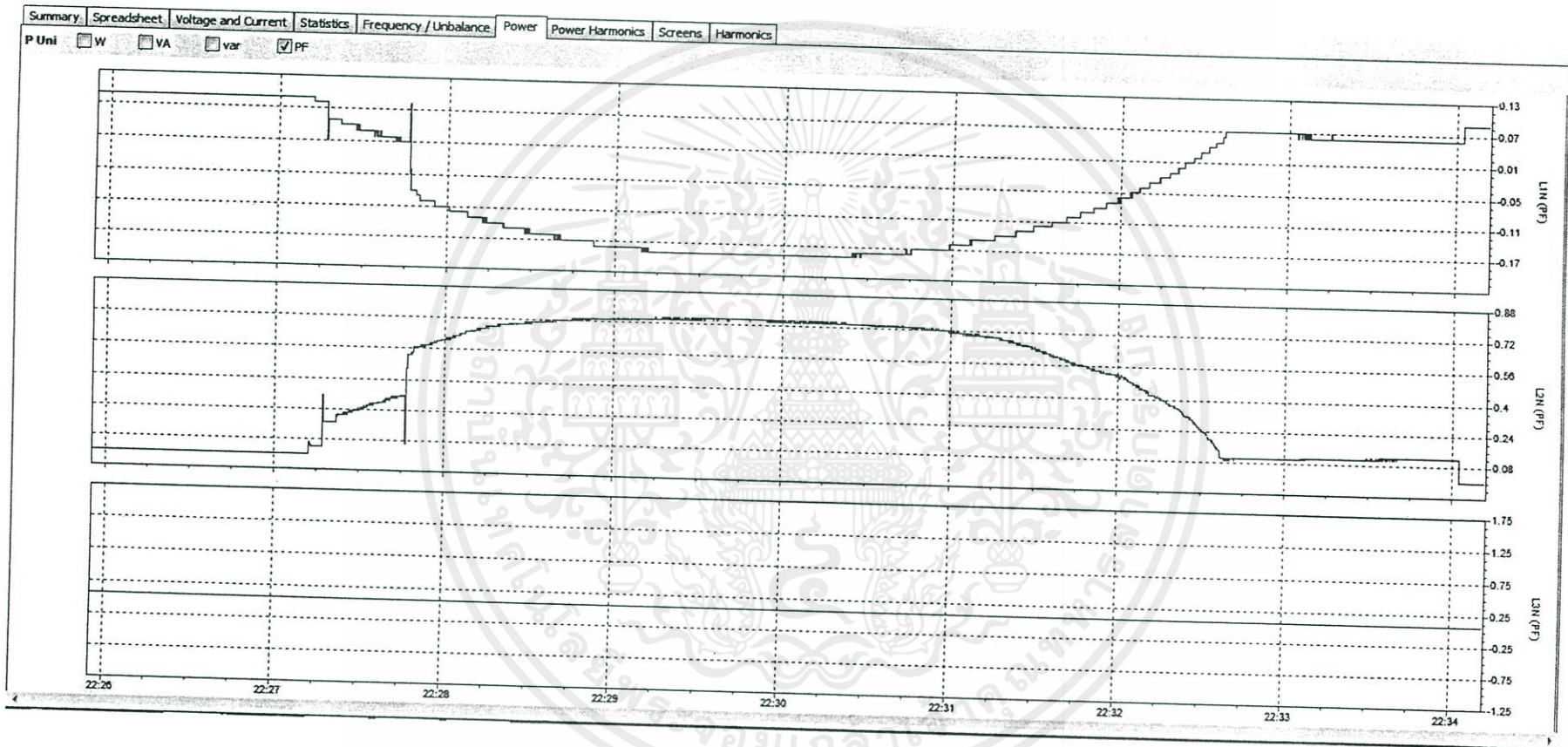
รูปที่ ข-16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบลลัสต์



รูปที่ ข-18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-13 ถึง ข-18 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 18 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 200 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.4

จากรูปที่ ข-13 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-14 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ ข-15 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

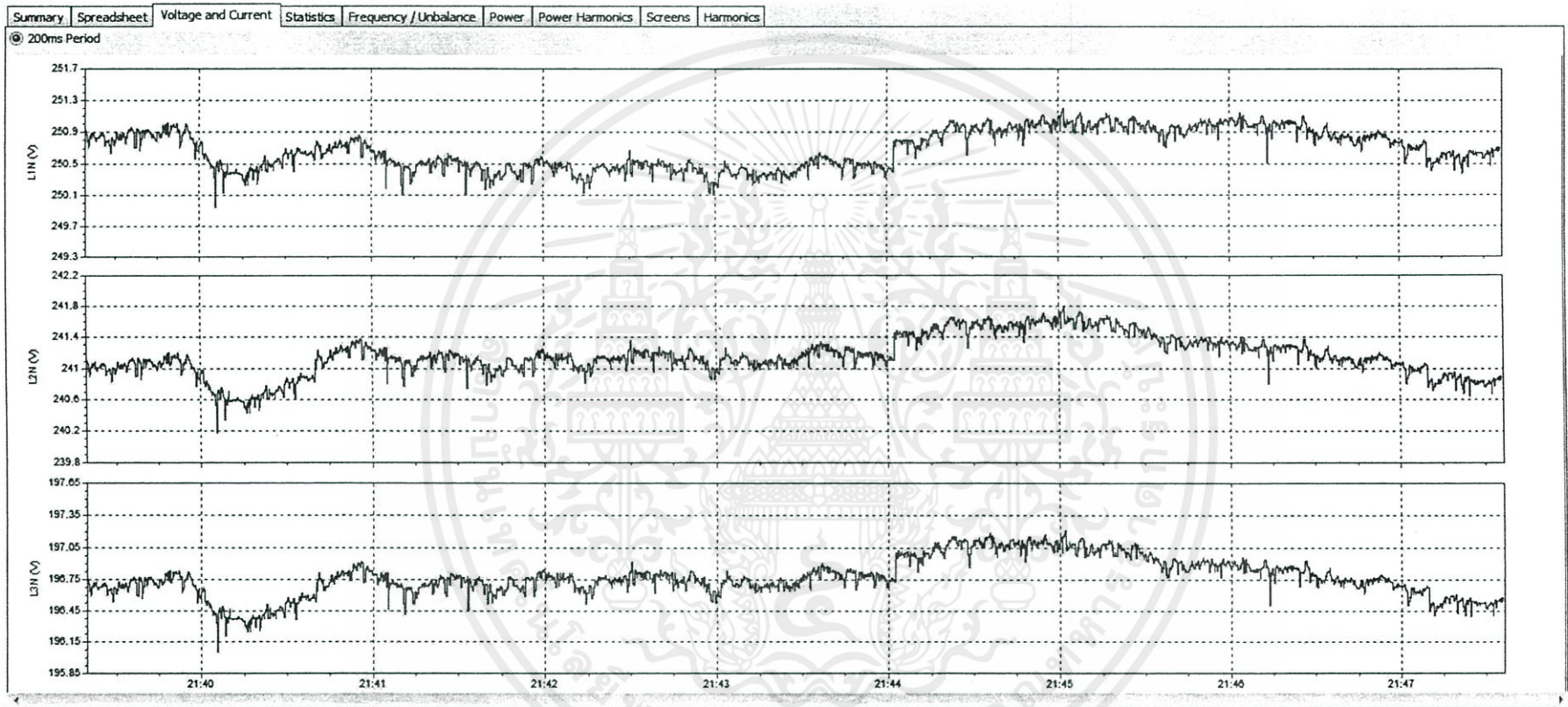
จากรูปที่ ข-16 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-17 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-15

จากรูปที่ ข-18 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

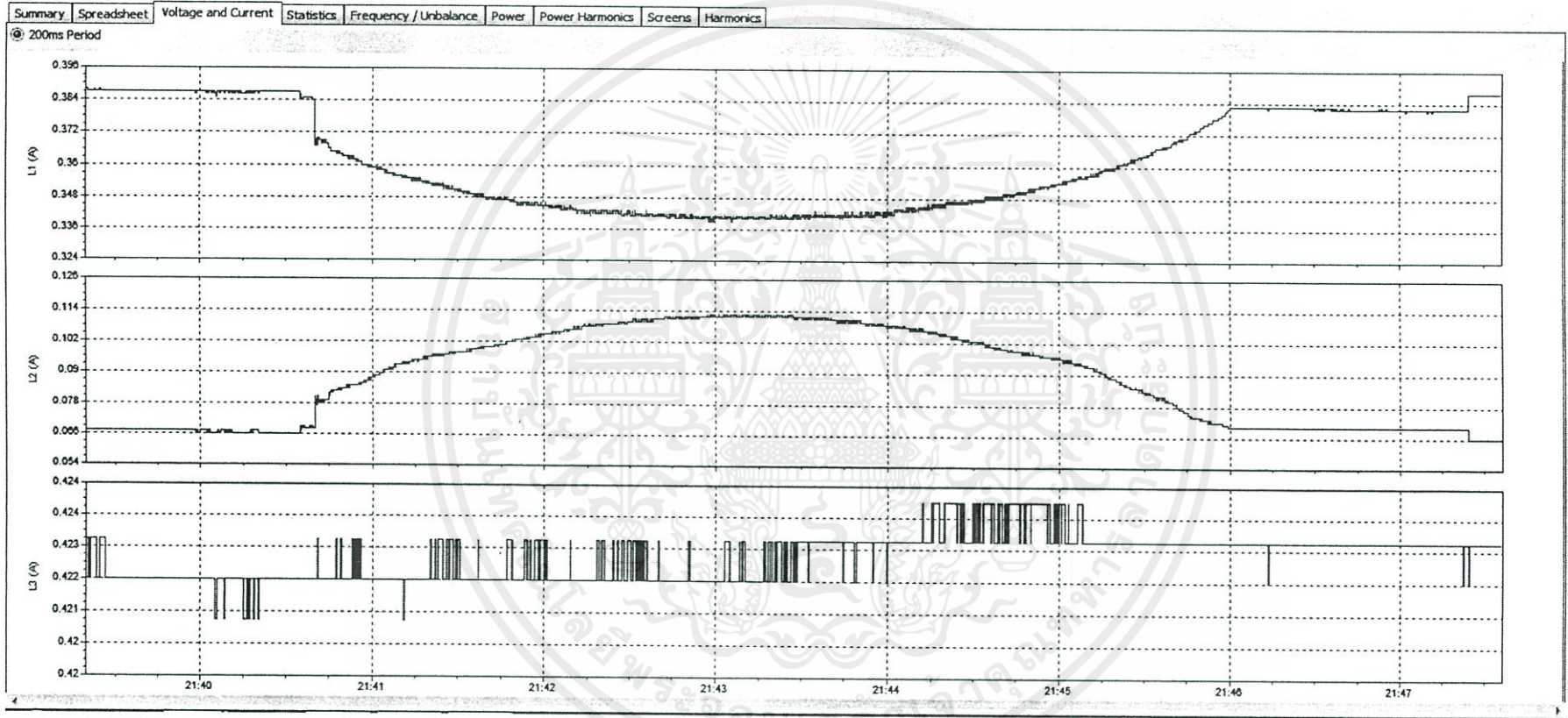
ด้วยผลของโหลดที่มีค่าความเหนี่ยวนำอย่างเดียวจะส่งผลให้กราฟการเปลี่ยนแปลงมีการผิดเพี้ยนเล็กน้อยไม่ราบเรียบเหมือนกรณีอื่นๆ แต่แนวโน้มของยังคงเหมือนเดิมกรณีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



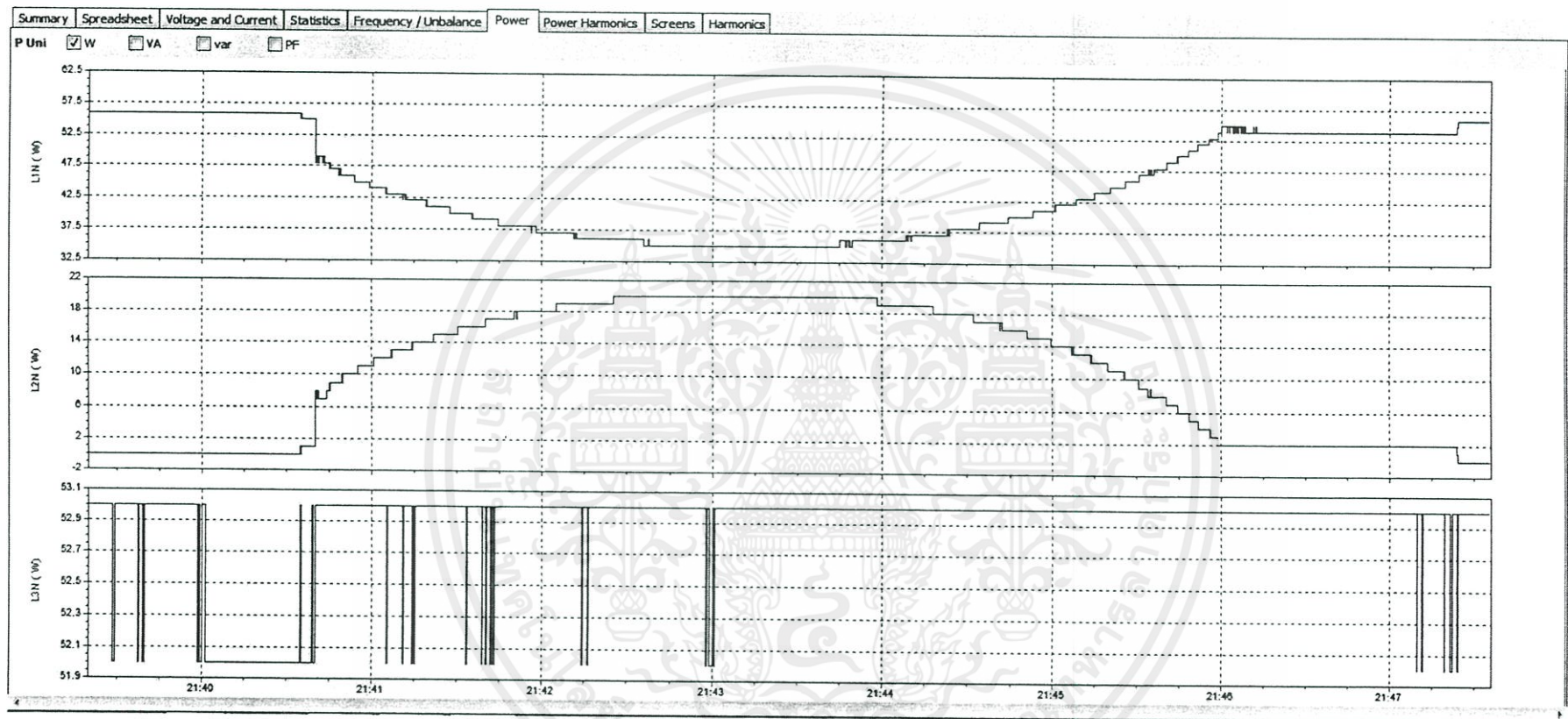
รูปที่ ข-19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



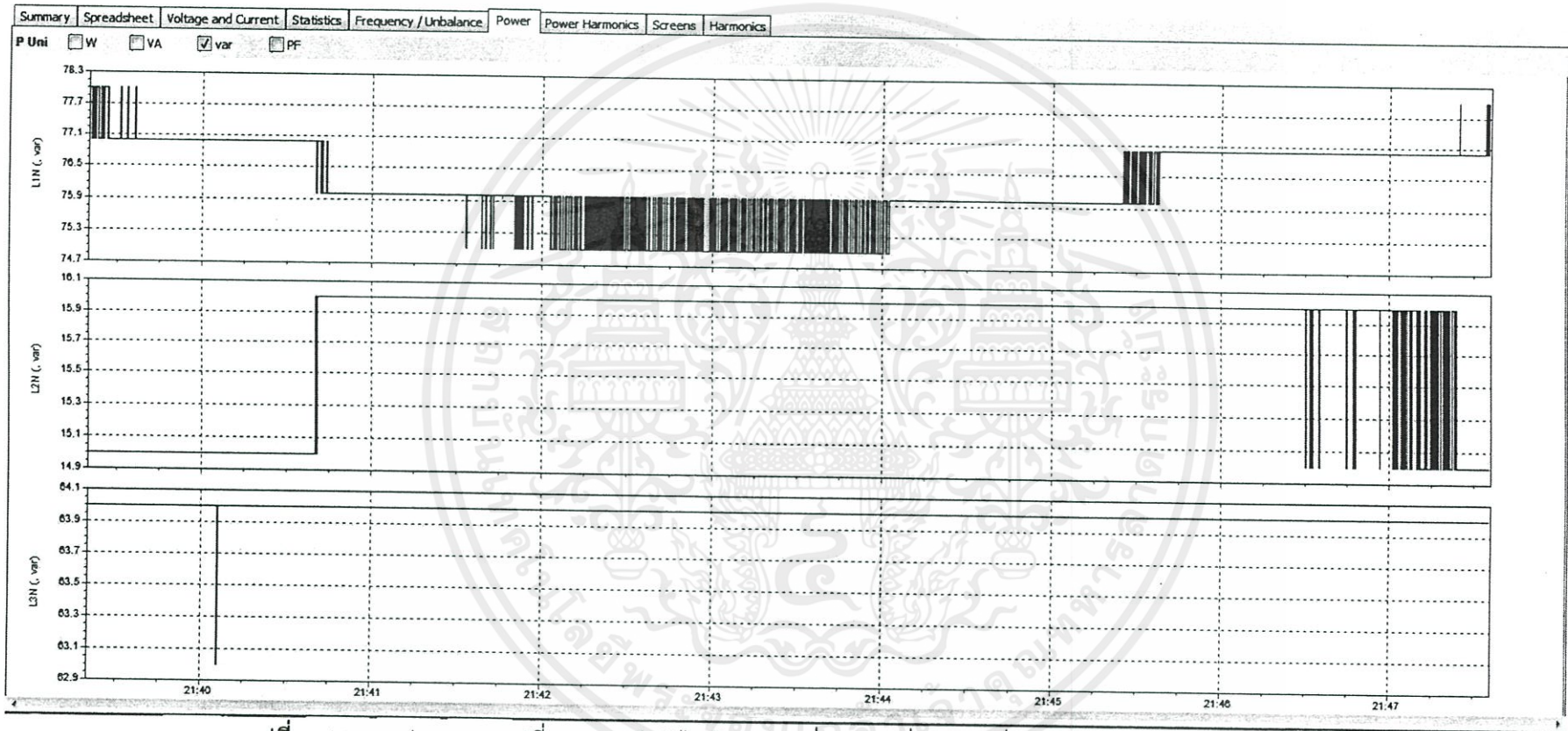
รูปที่ ข-20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



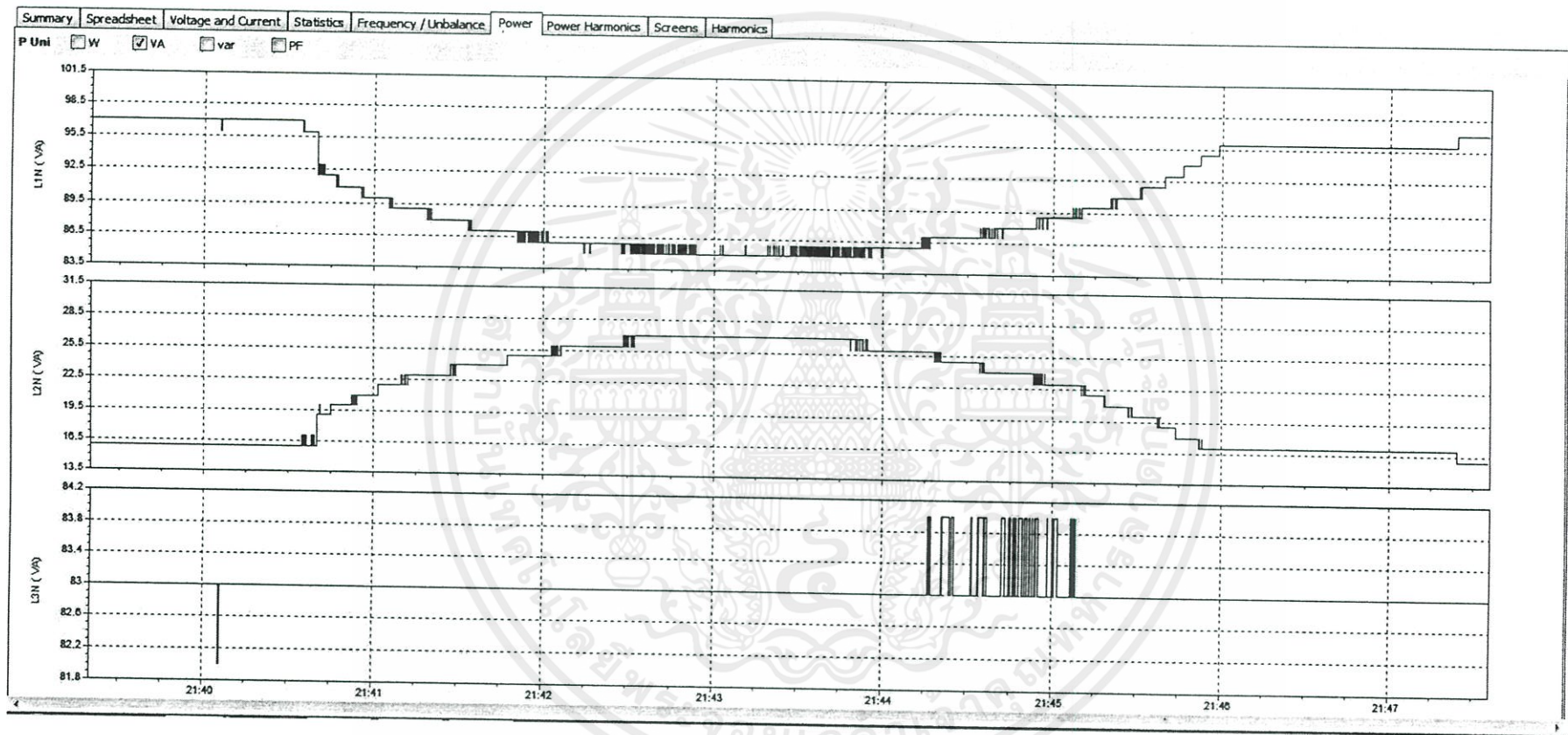
รูปที่ ข-21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



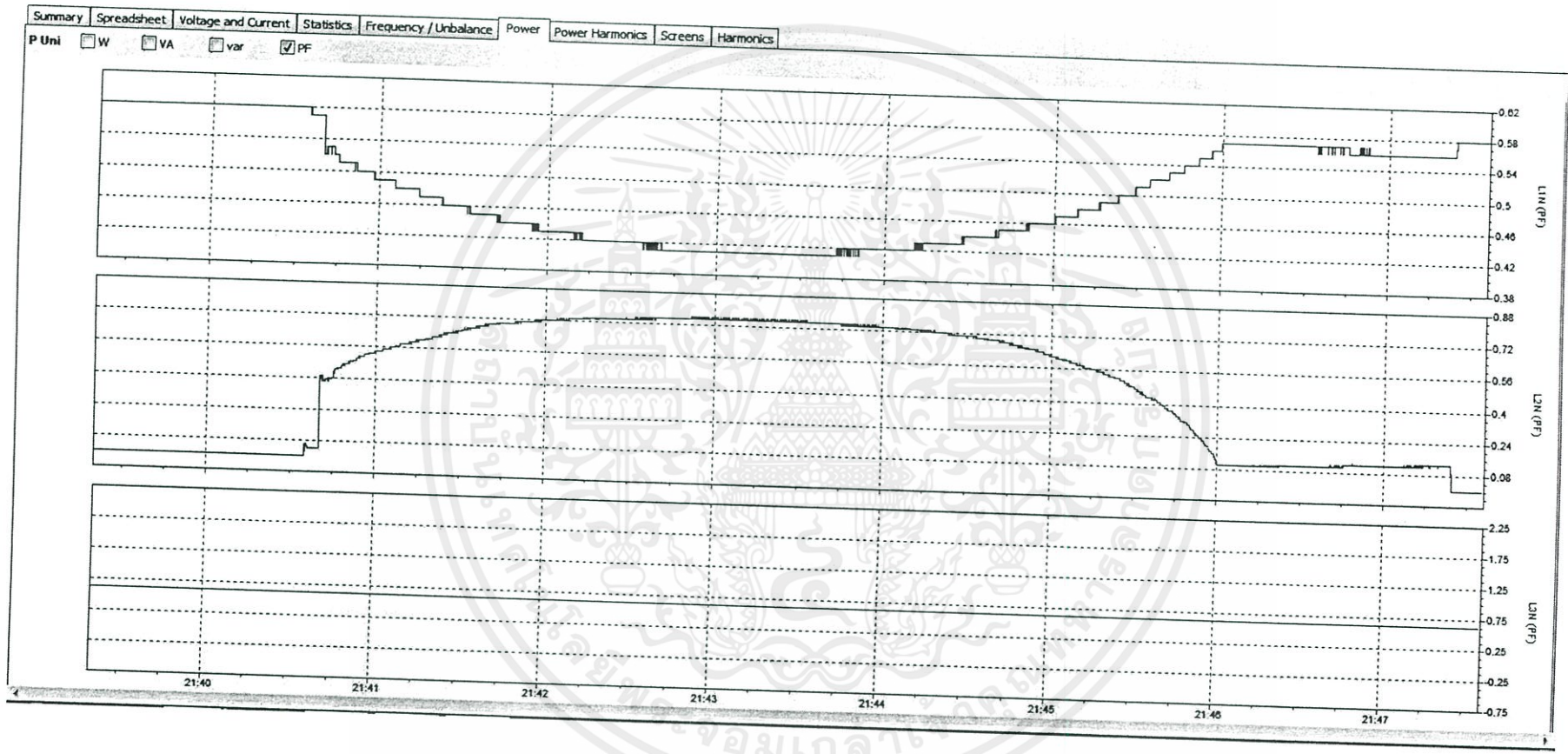
รูปที่ ข-22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-19 ถึง ข-24 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 80 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 197 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.5

จากรูปที่ ข-19 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-20 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

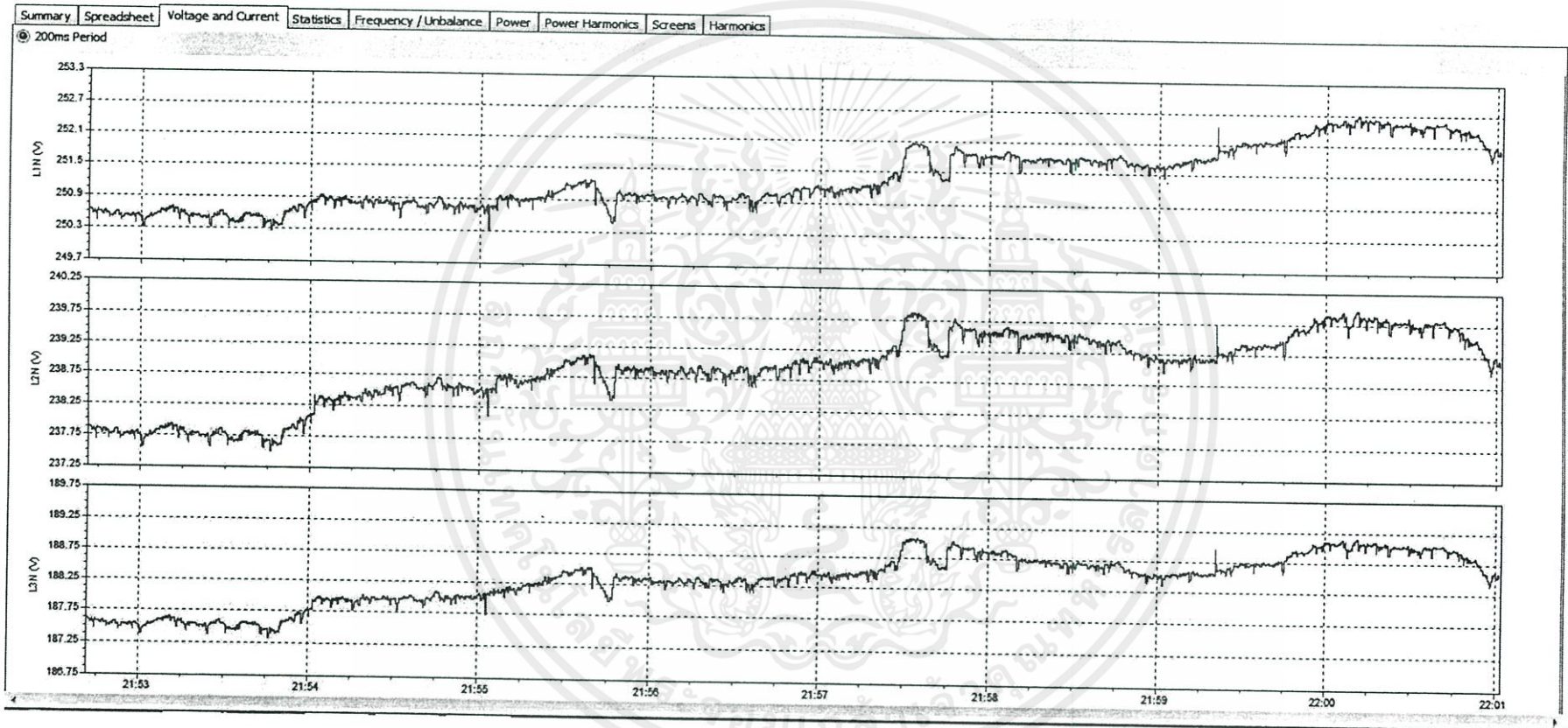
จากรูปที่ ข-21 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-22 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-23 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-21

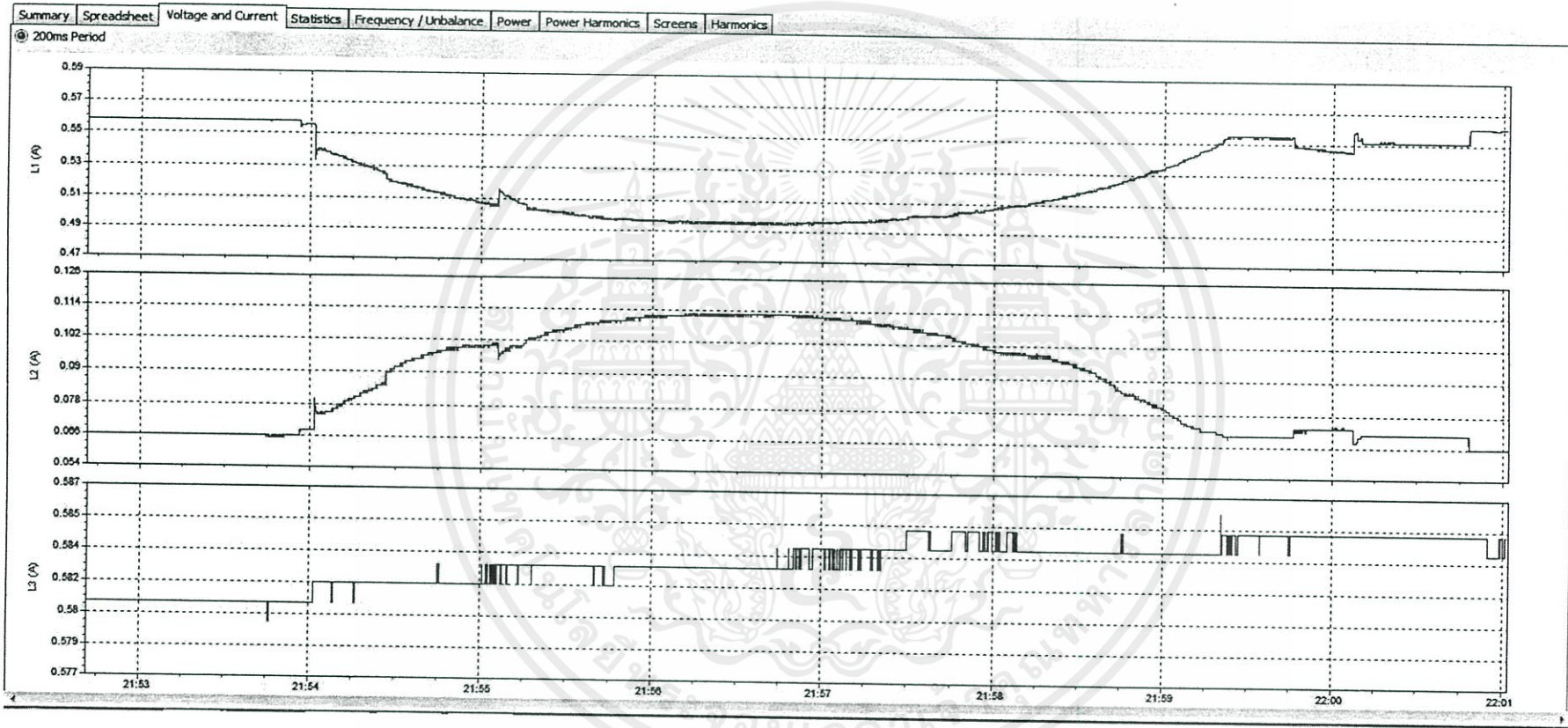
จากรูปที่ ข-24 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



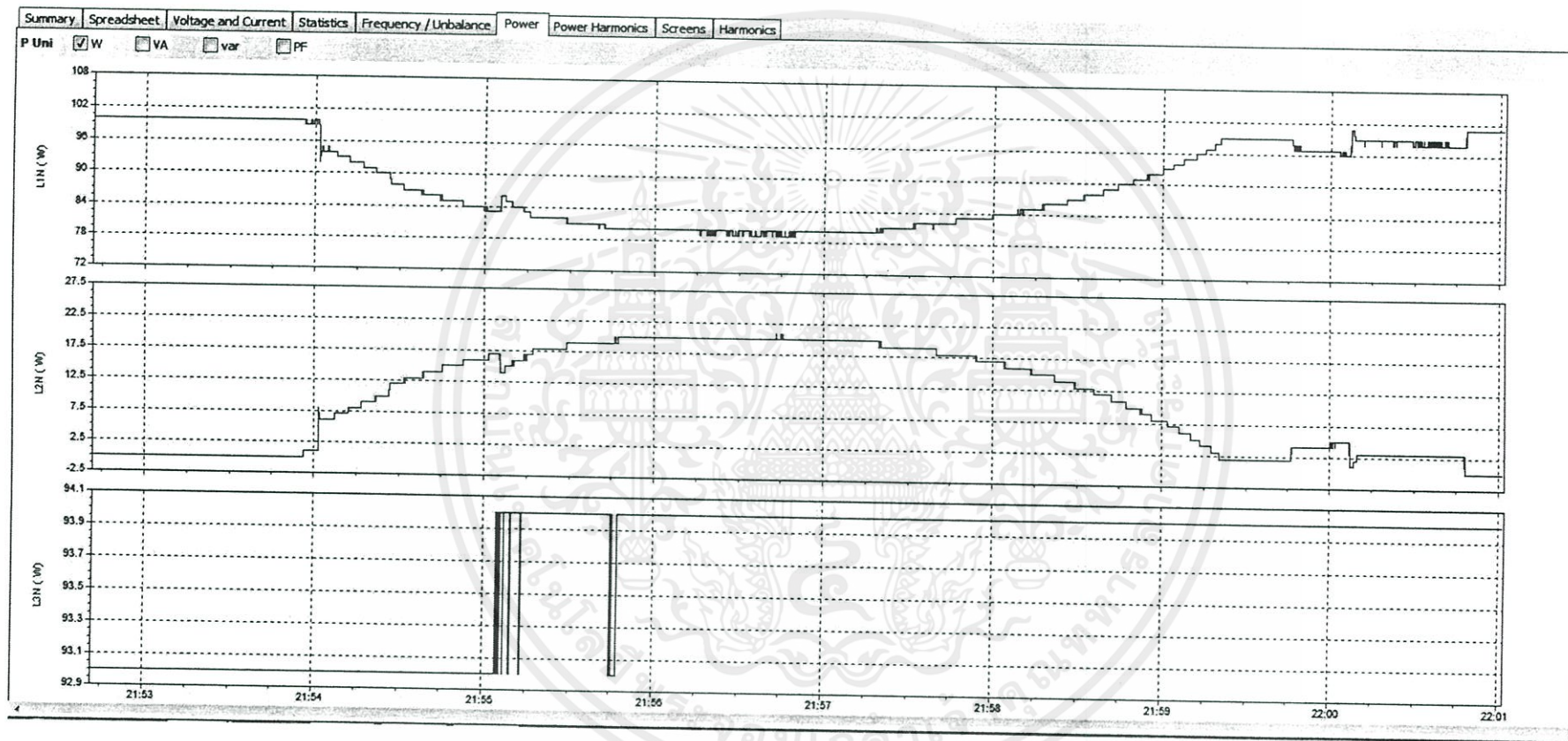
รูปที่ ข-25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เพอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



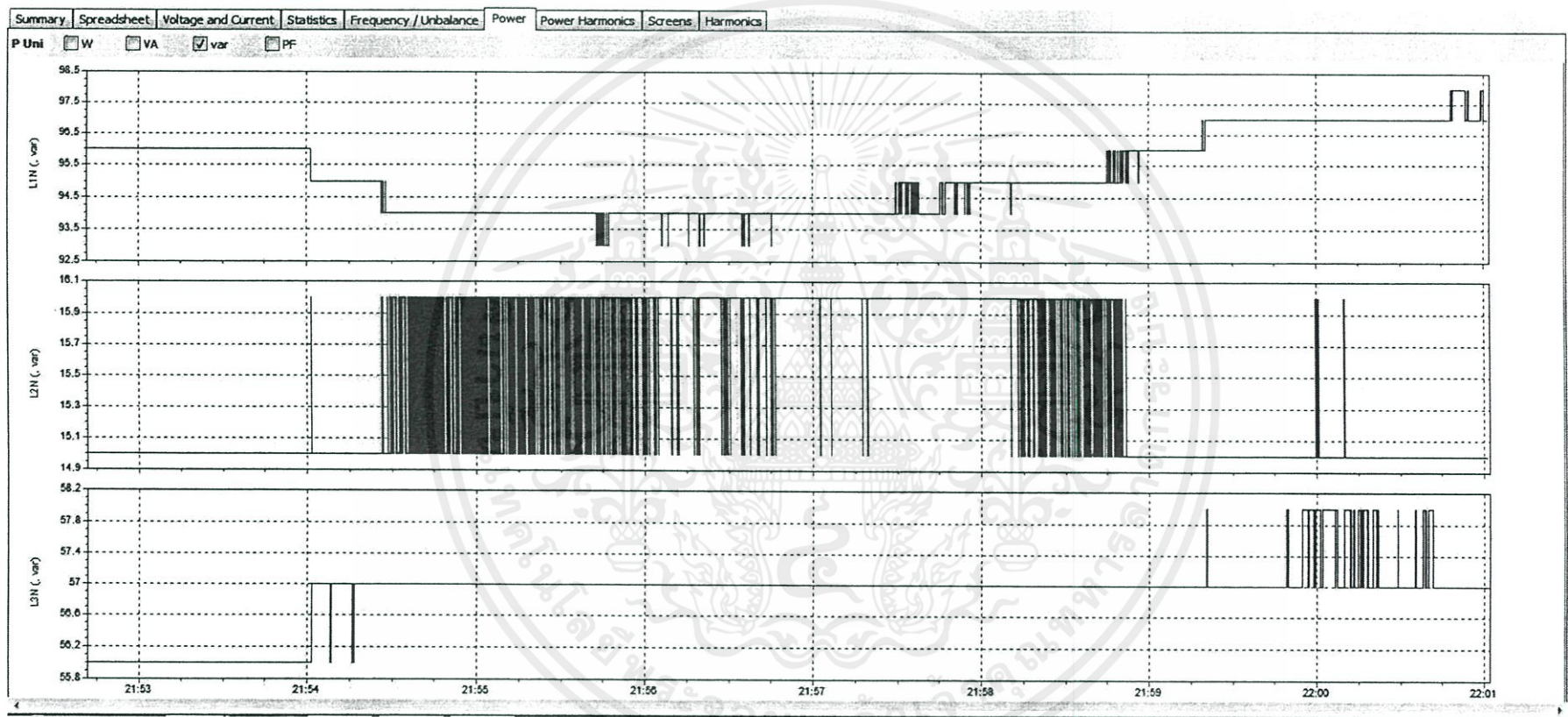
รูปที่ ข-26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



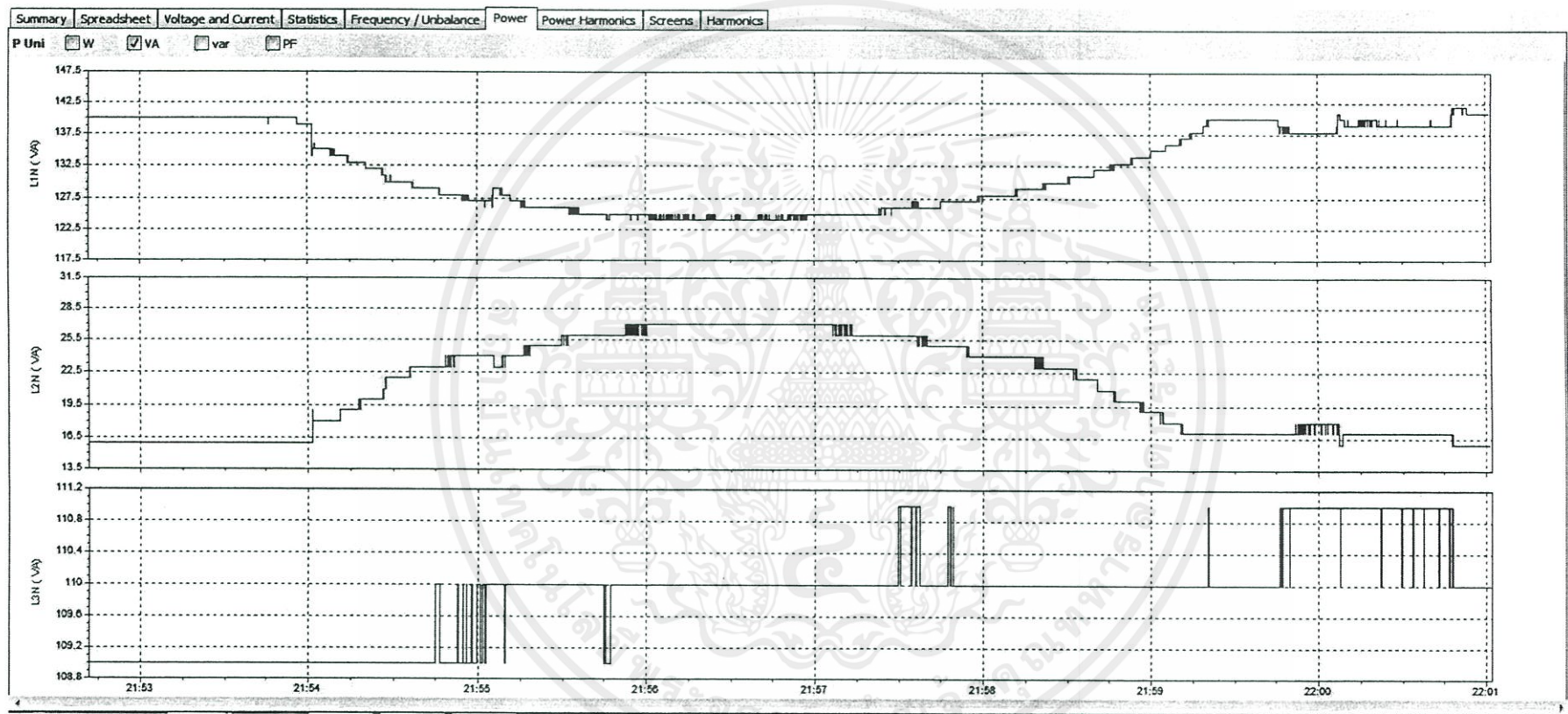
รูปที่ ข-27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เพอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



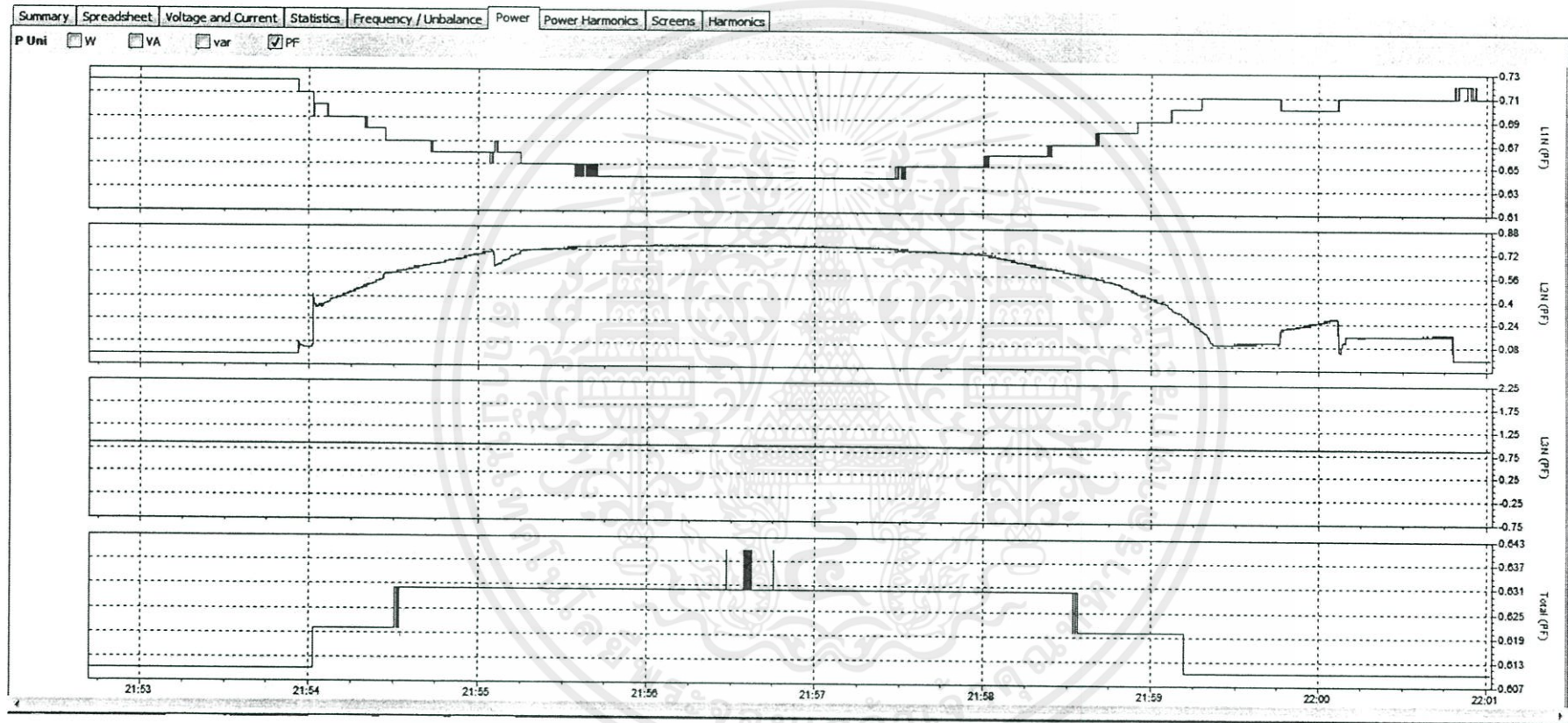
รูปที่ ข-28 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบลูสาด์

จากรูปที่ ข-25 ถึง ข-30 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 140 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 189 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.6

จากรูปที่ ข-25 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-26 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

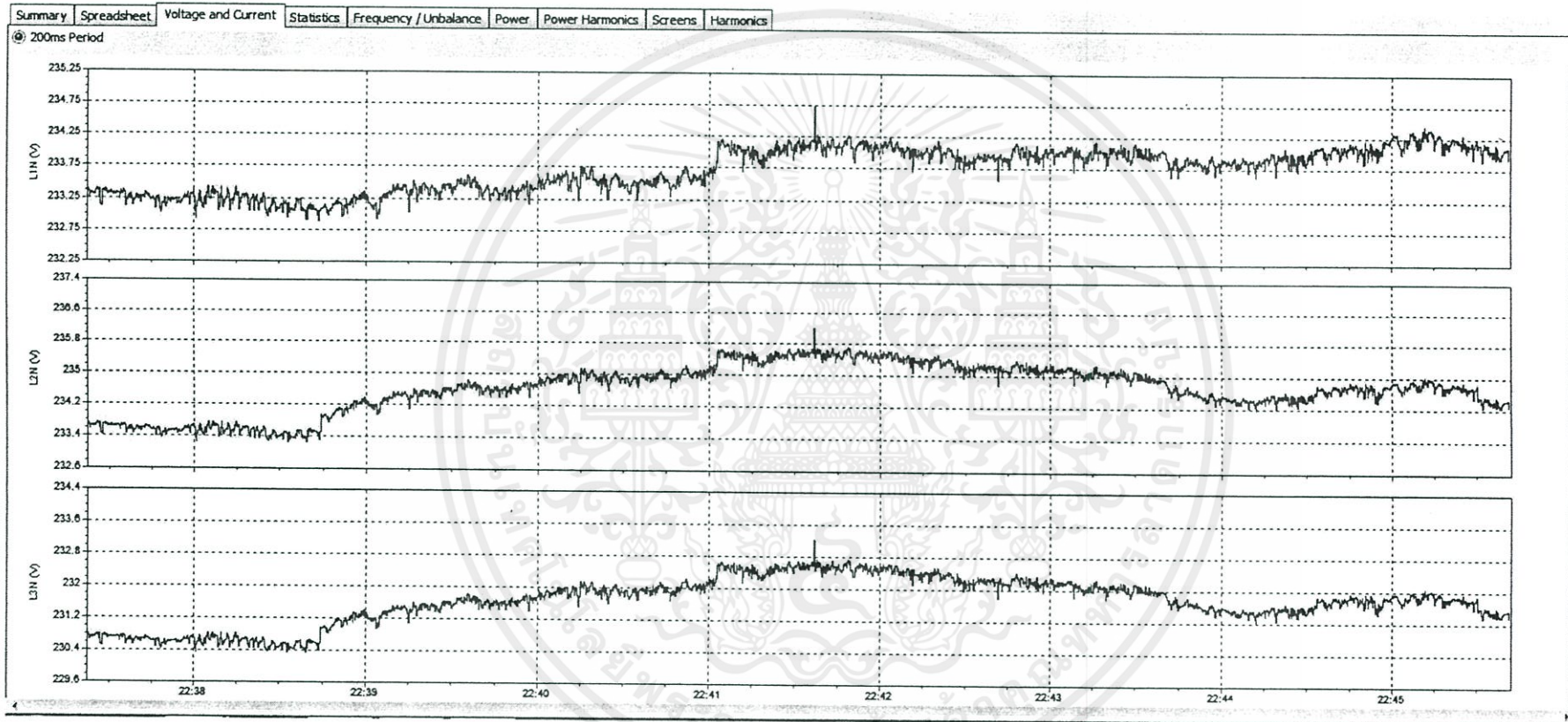
จากรูปที่ ข-27 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-28 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-29 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-27

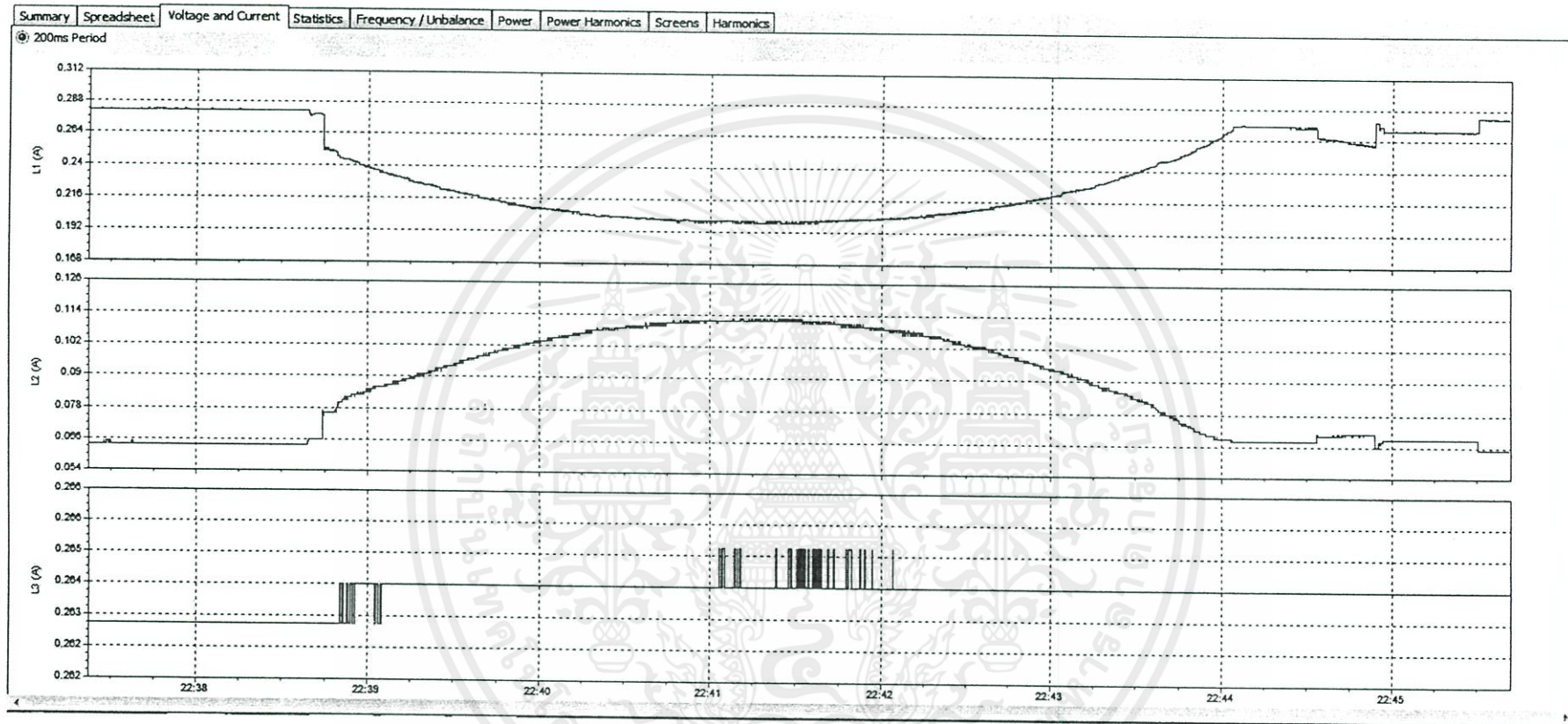
จากรูปที่ ข-30 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



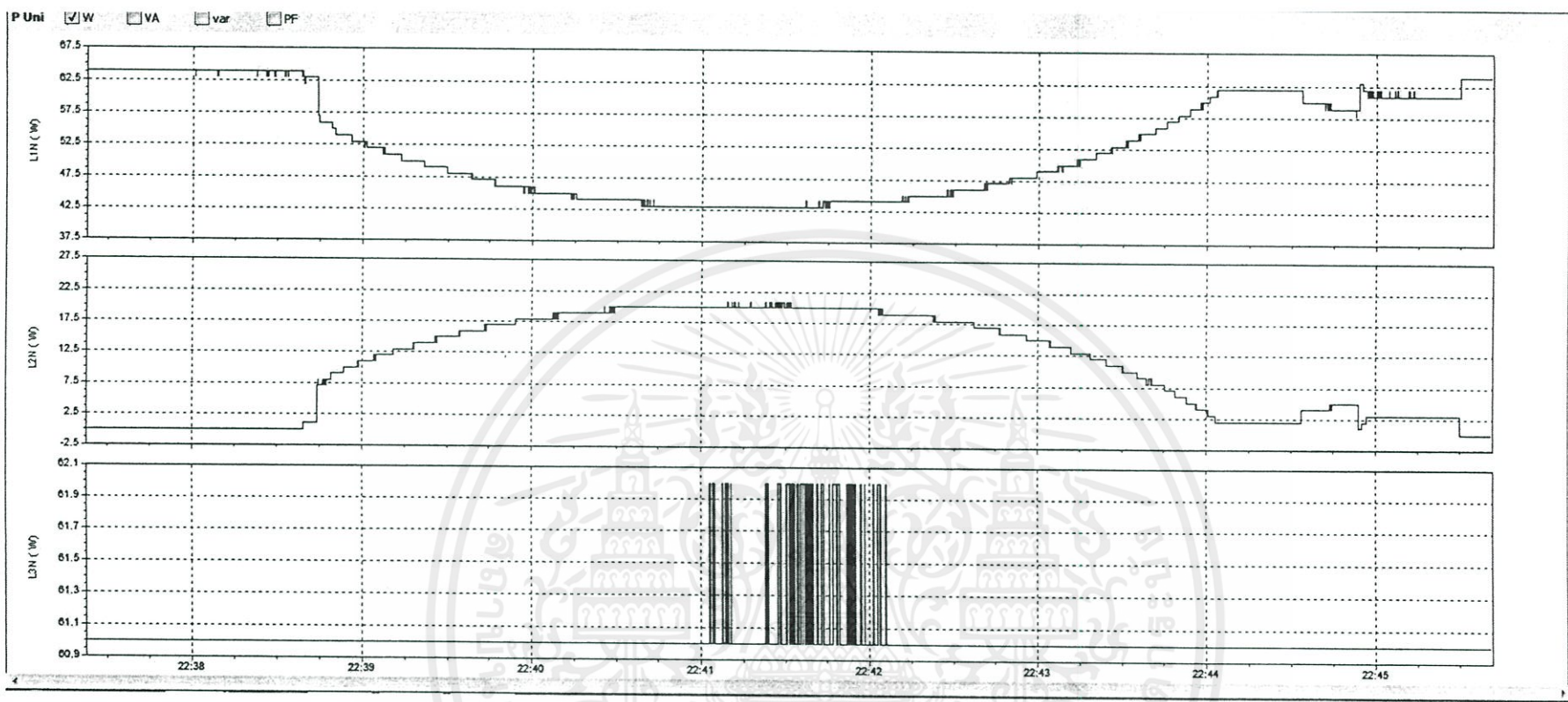
รูปที่ ข-31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



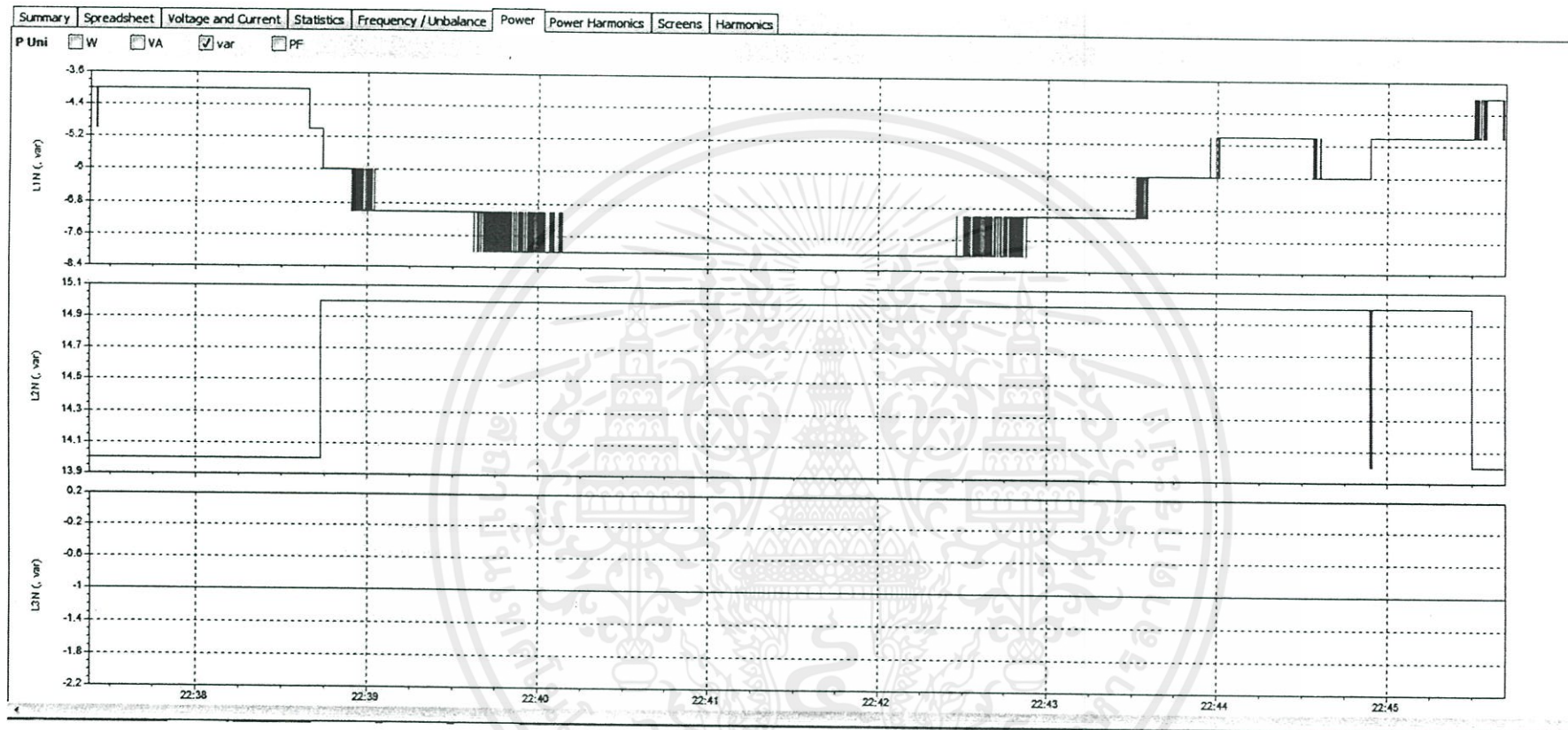
รูปที่ ข-32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์

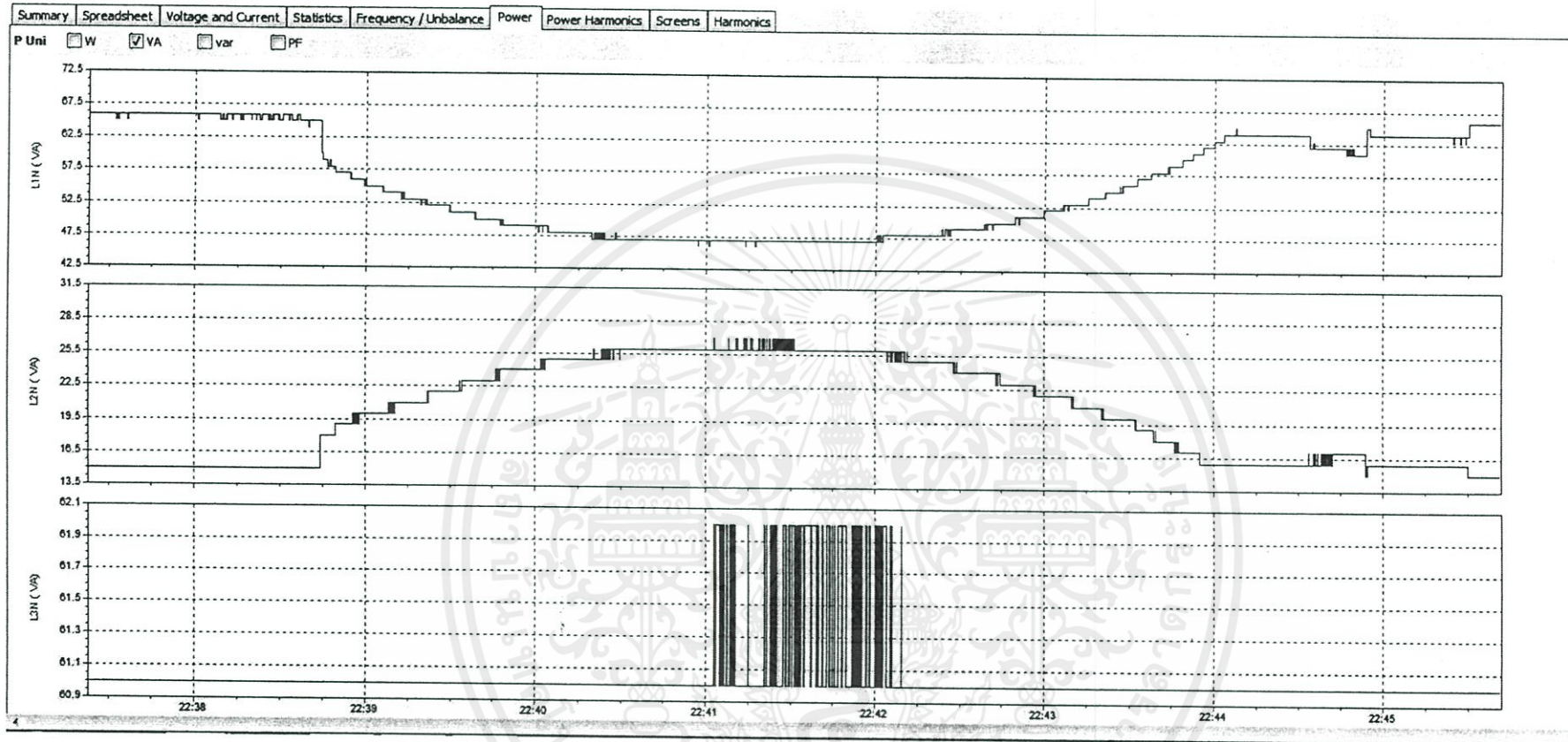


รูปที่ ข-33 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

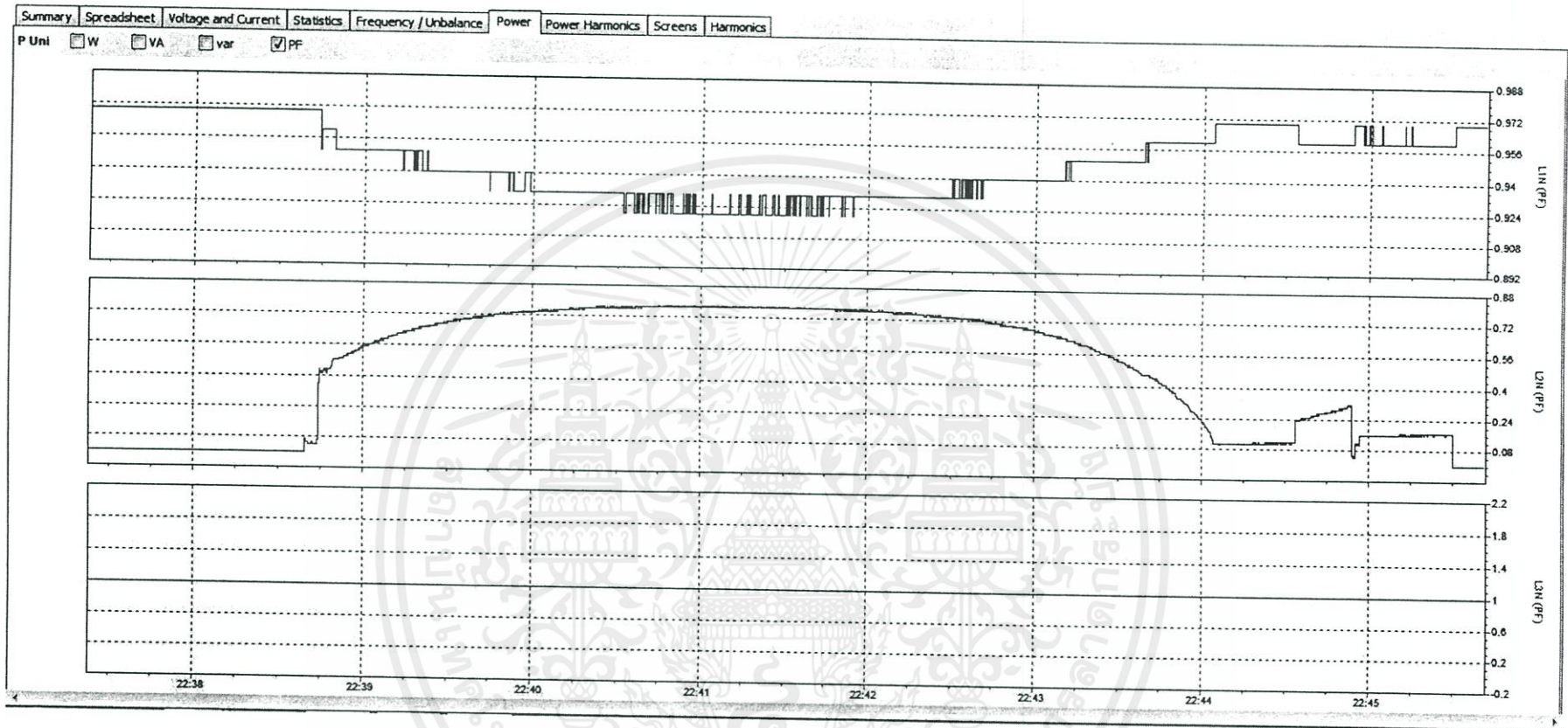
ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ
 ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-35 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ
 ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

จากรูปที่ ข-31 ถึง ข-36 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.7

จากรูปที่ ข-31 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-32 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

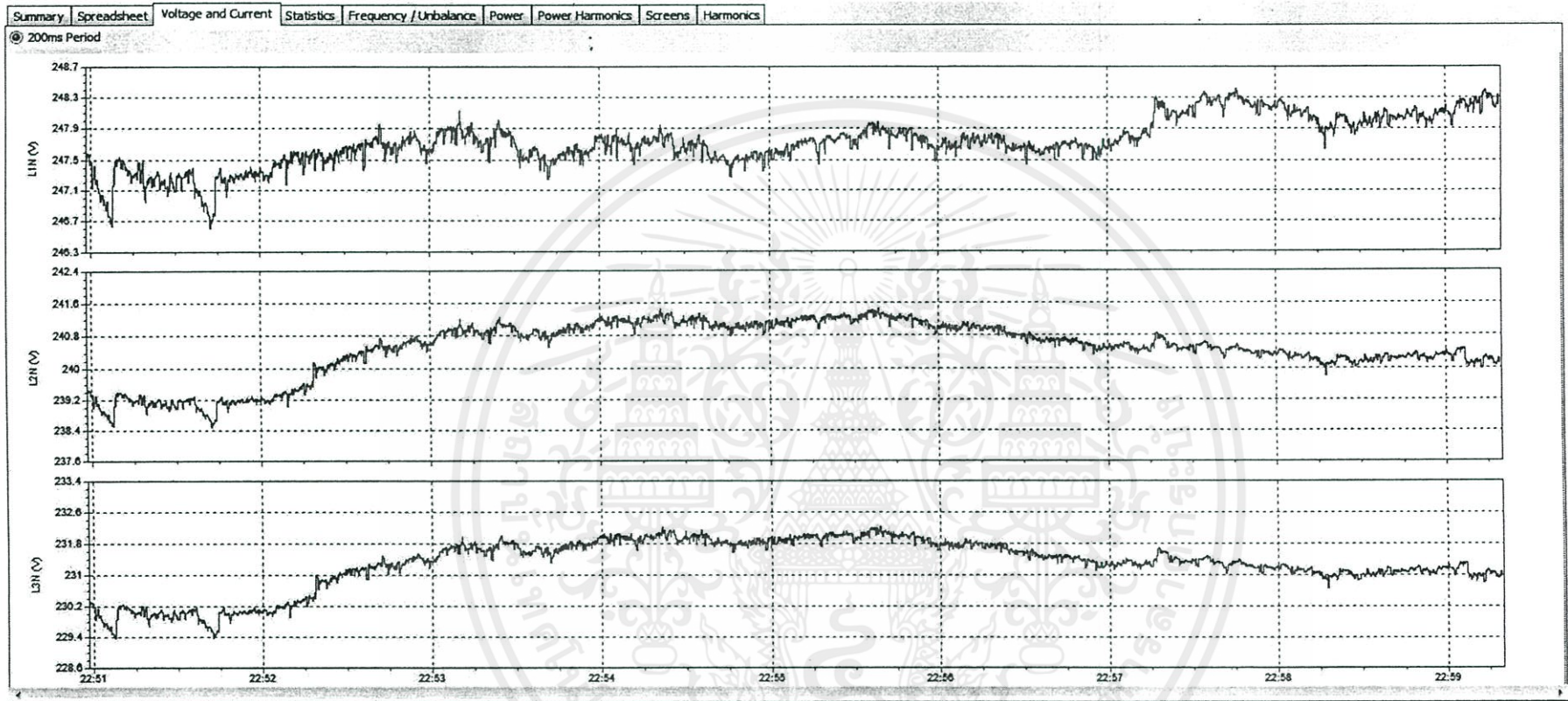
จากรูปที่ ข-33 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-34 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-35 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-33

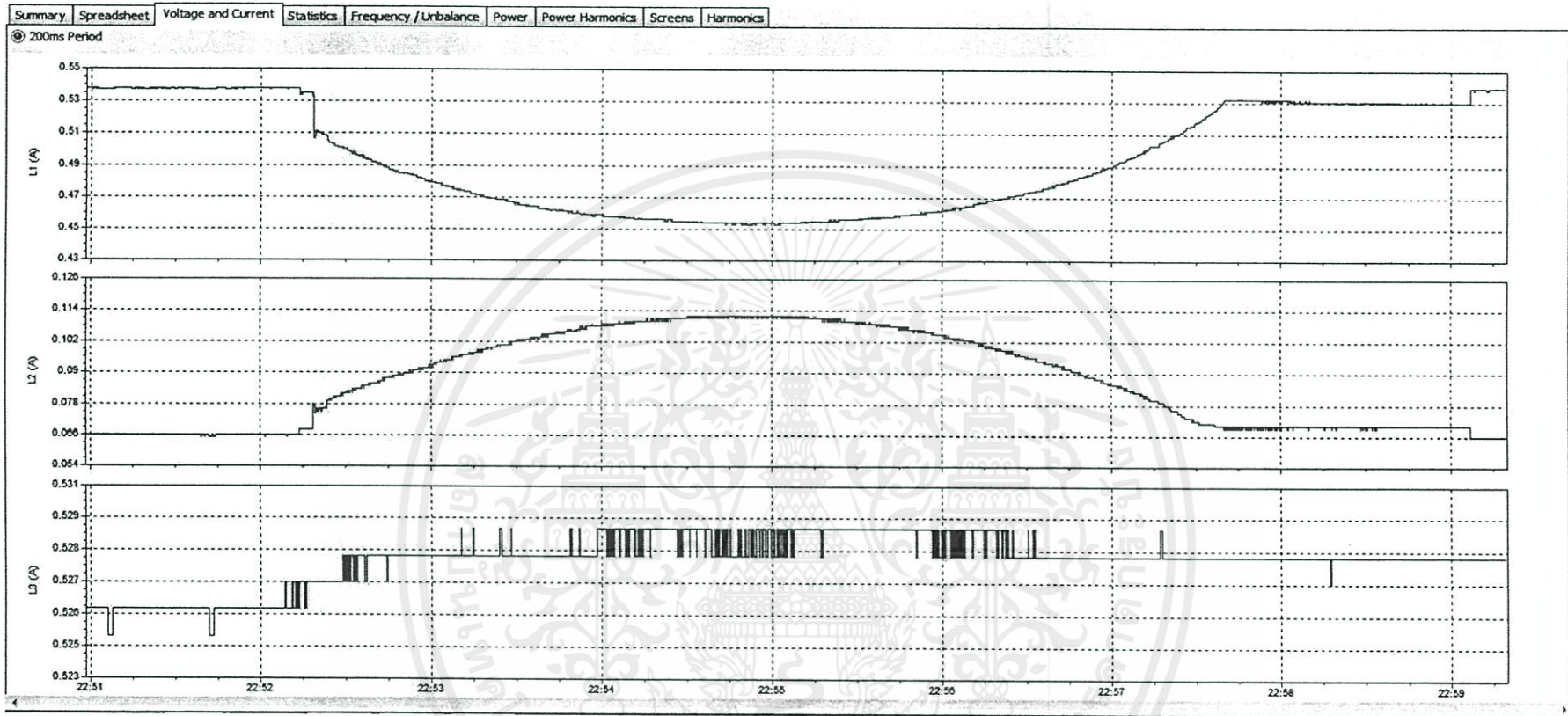
จากรูปที่ ข-36 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



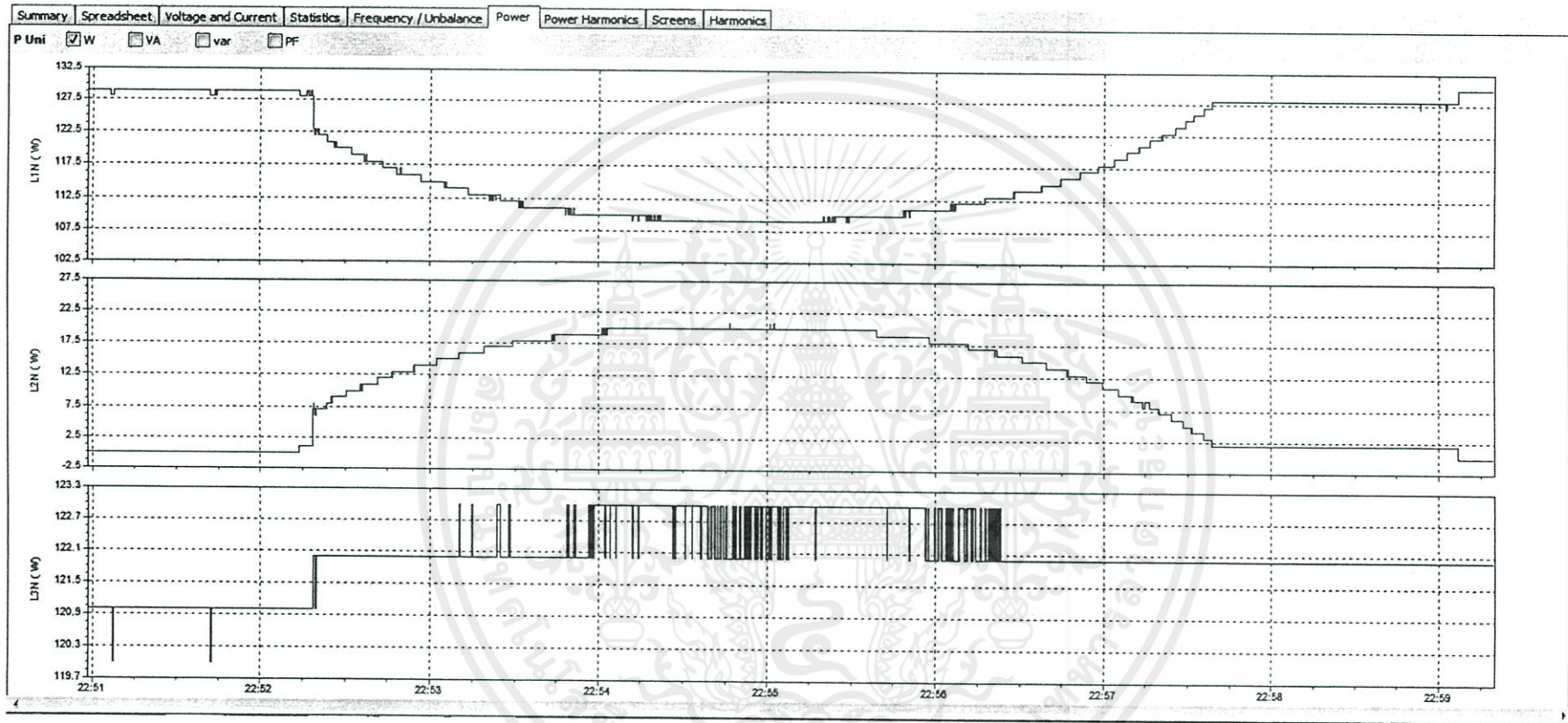
รูปที่ ข-37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



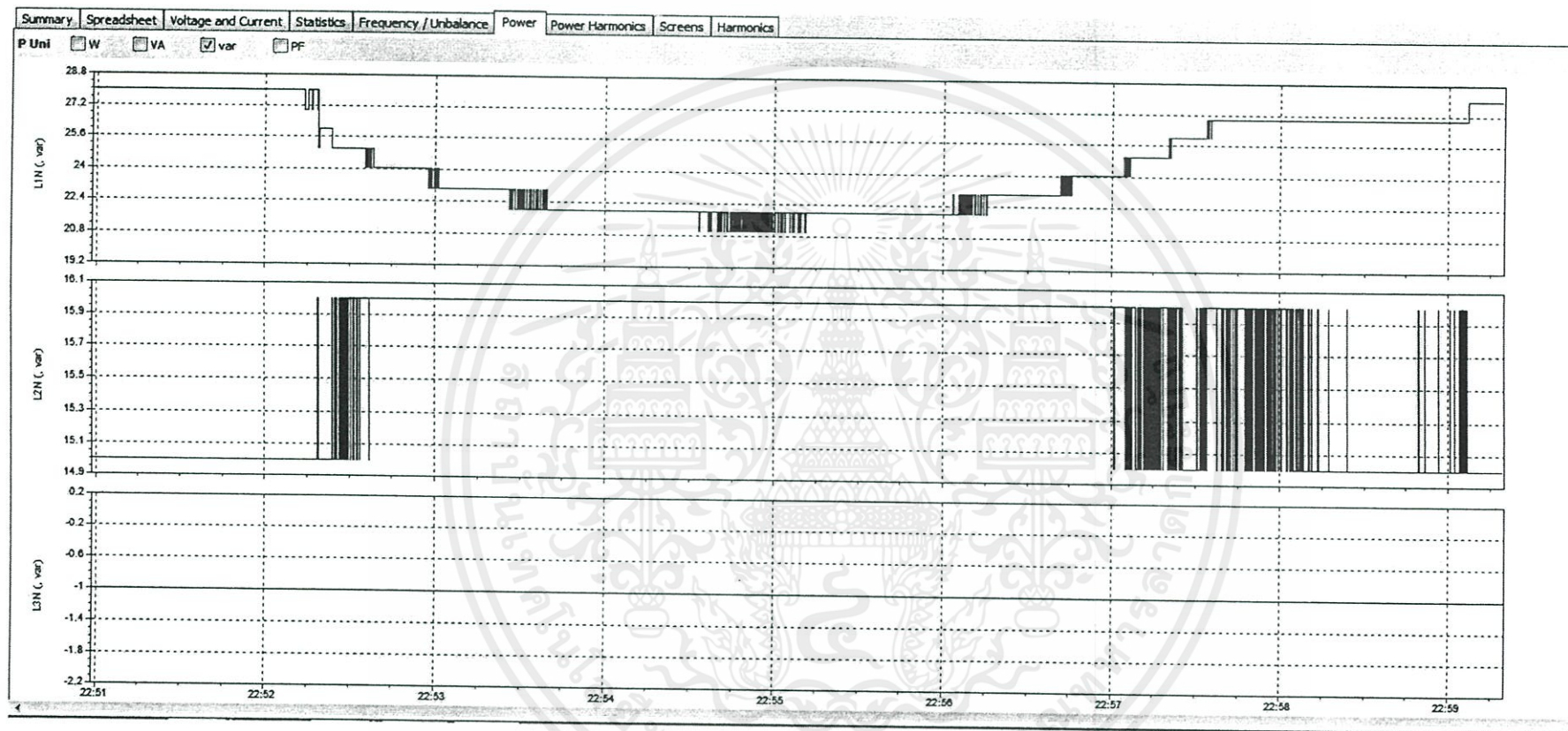
รูปที่ ข-38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



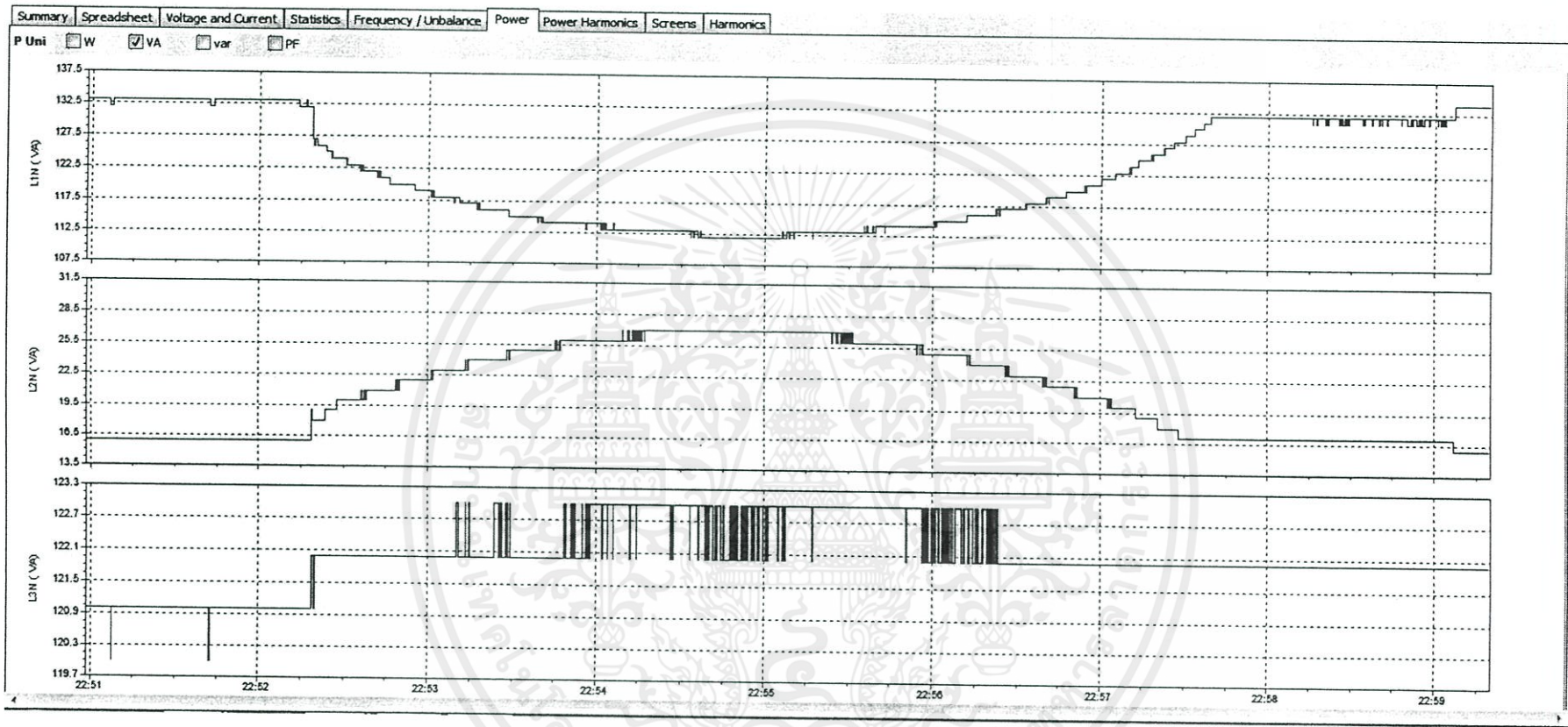
รูปที่ ข-39 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

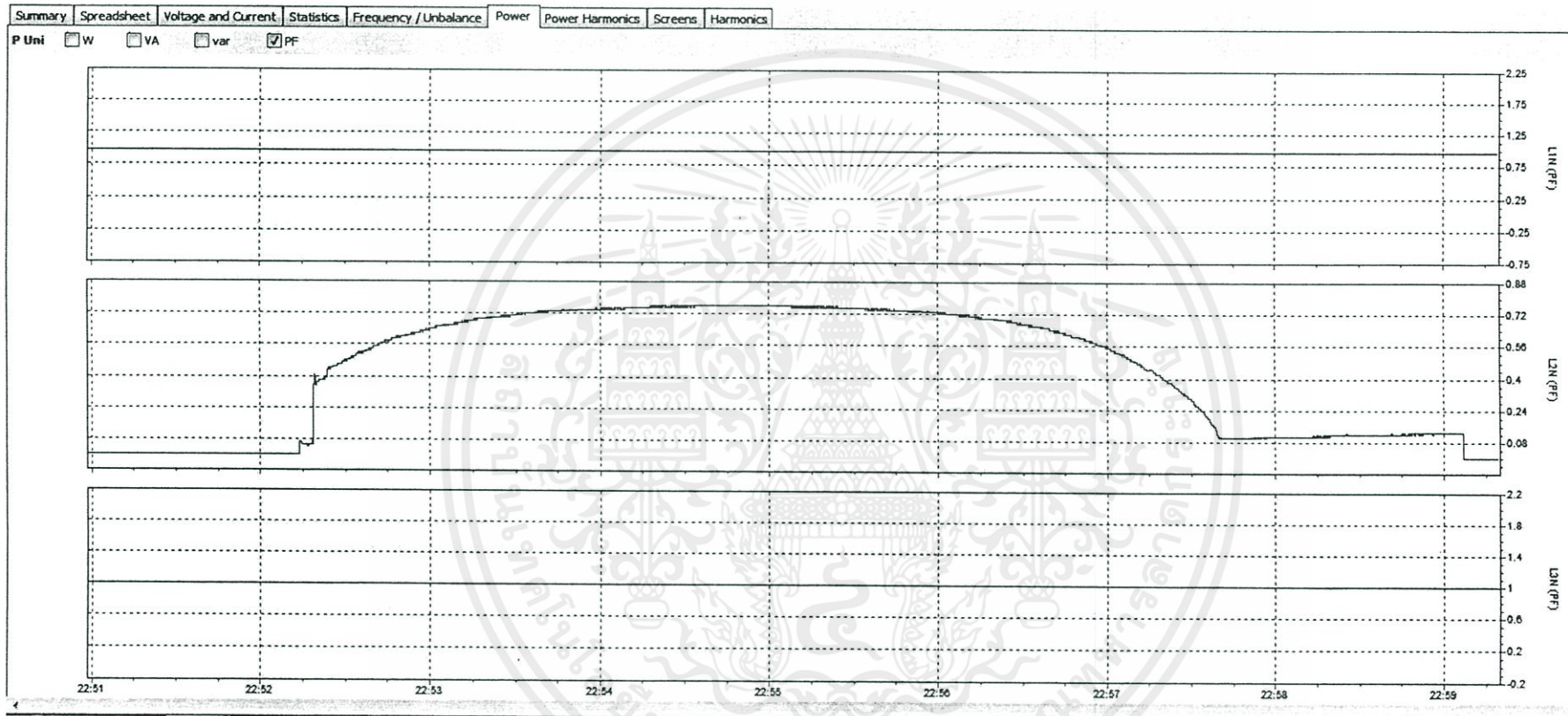


รูปที่ ข-40 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-41 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ
 ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-42 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ
 ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

จากรูปที่ ข-37 ถึง ข-42 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.8

จากรูปที่ ข-37 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-38 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

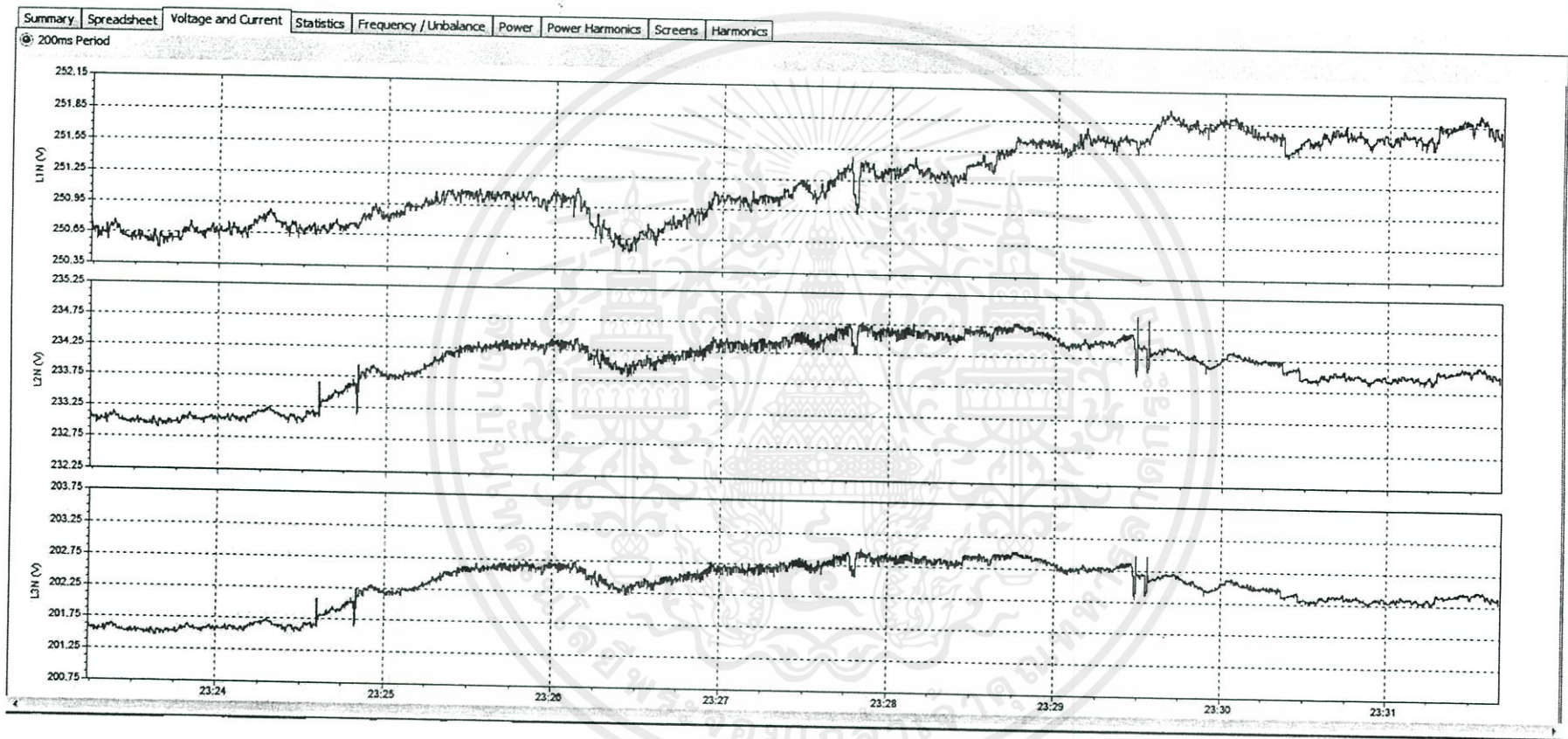
จากรูปที่ ข-39 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-40 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

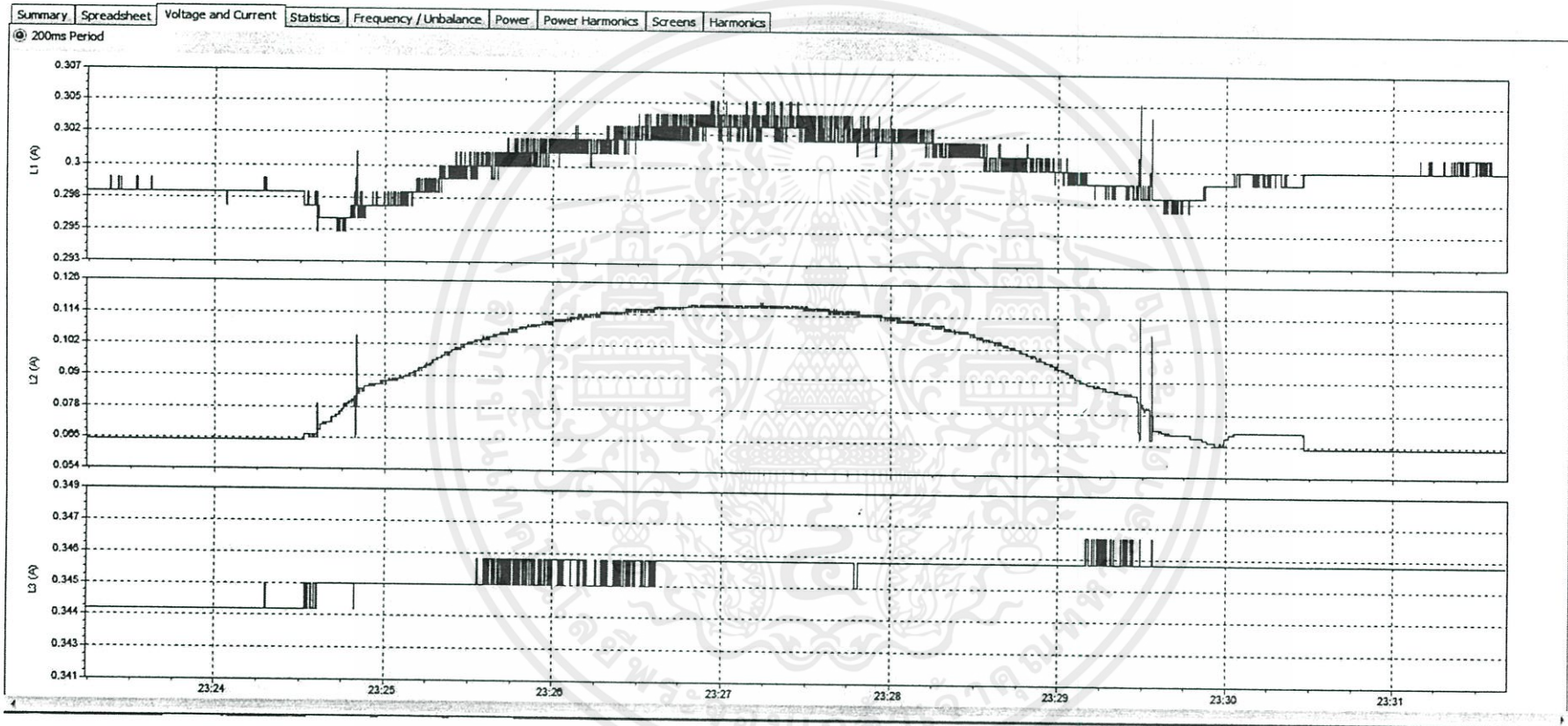
จากรูปที่ ข-41 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-39

จากรูปที่ ข-42 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

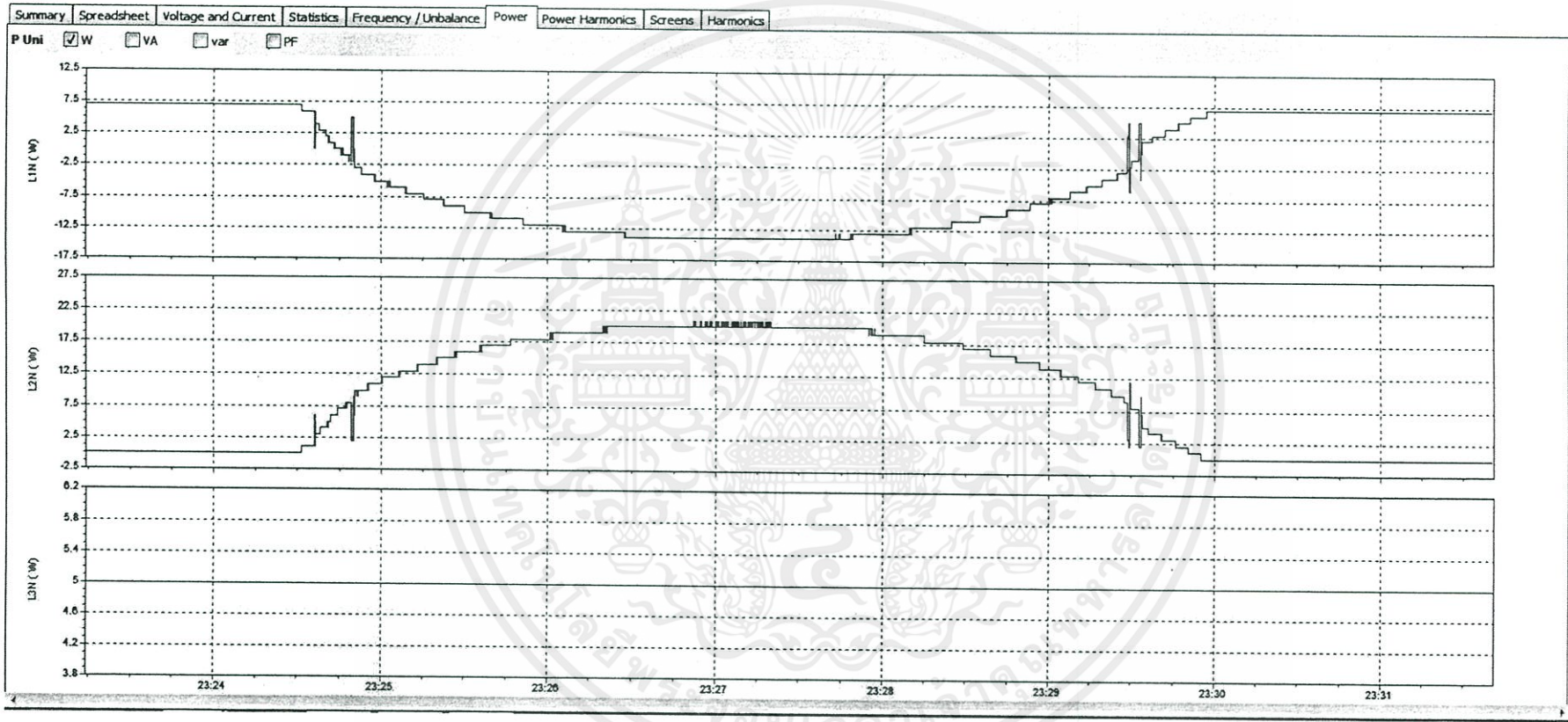
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



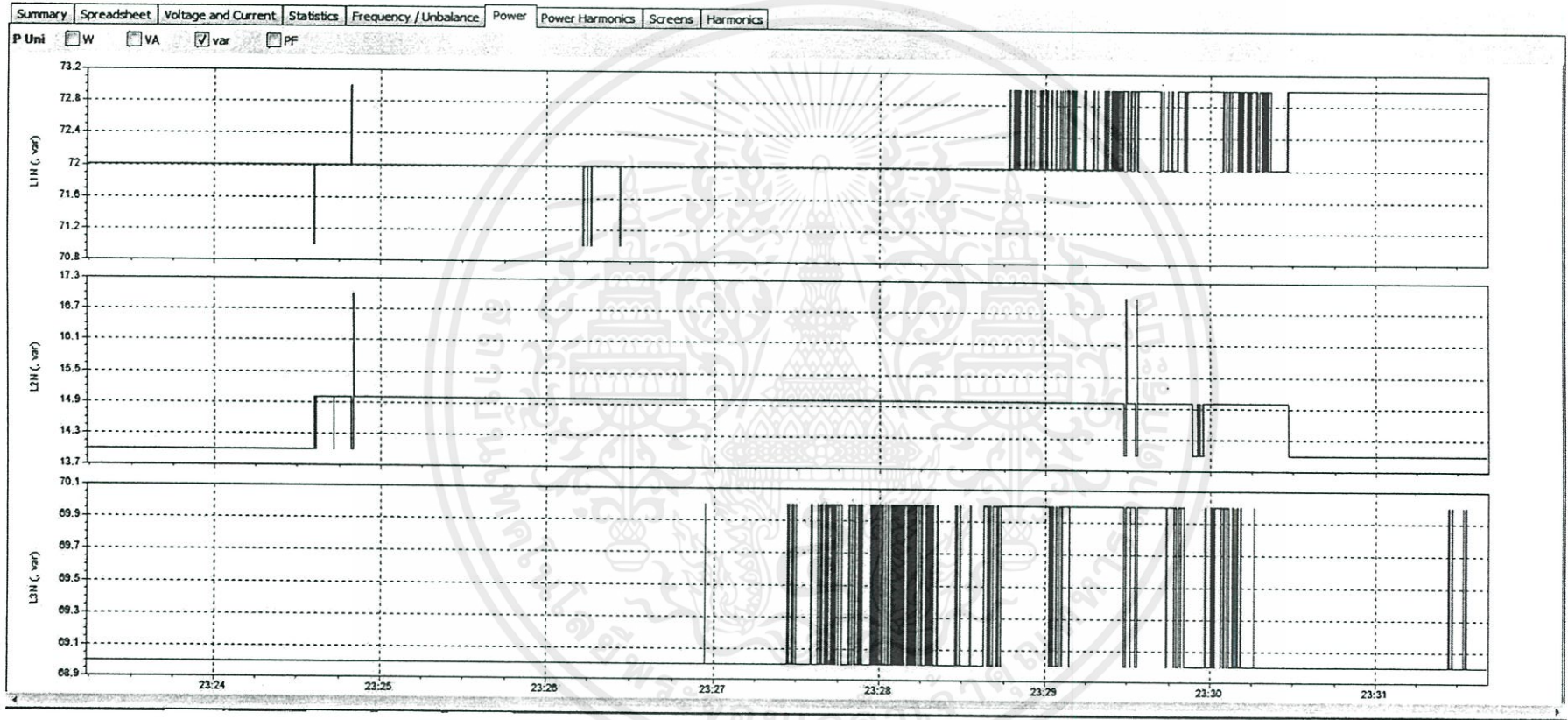
รูปที่ ข-43 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซนต์ โหลดบัลลาสต์



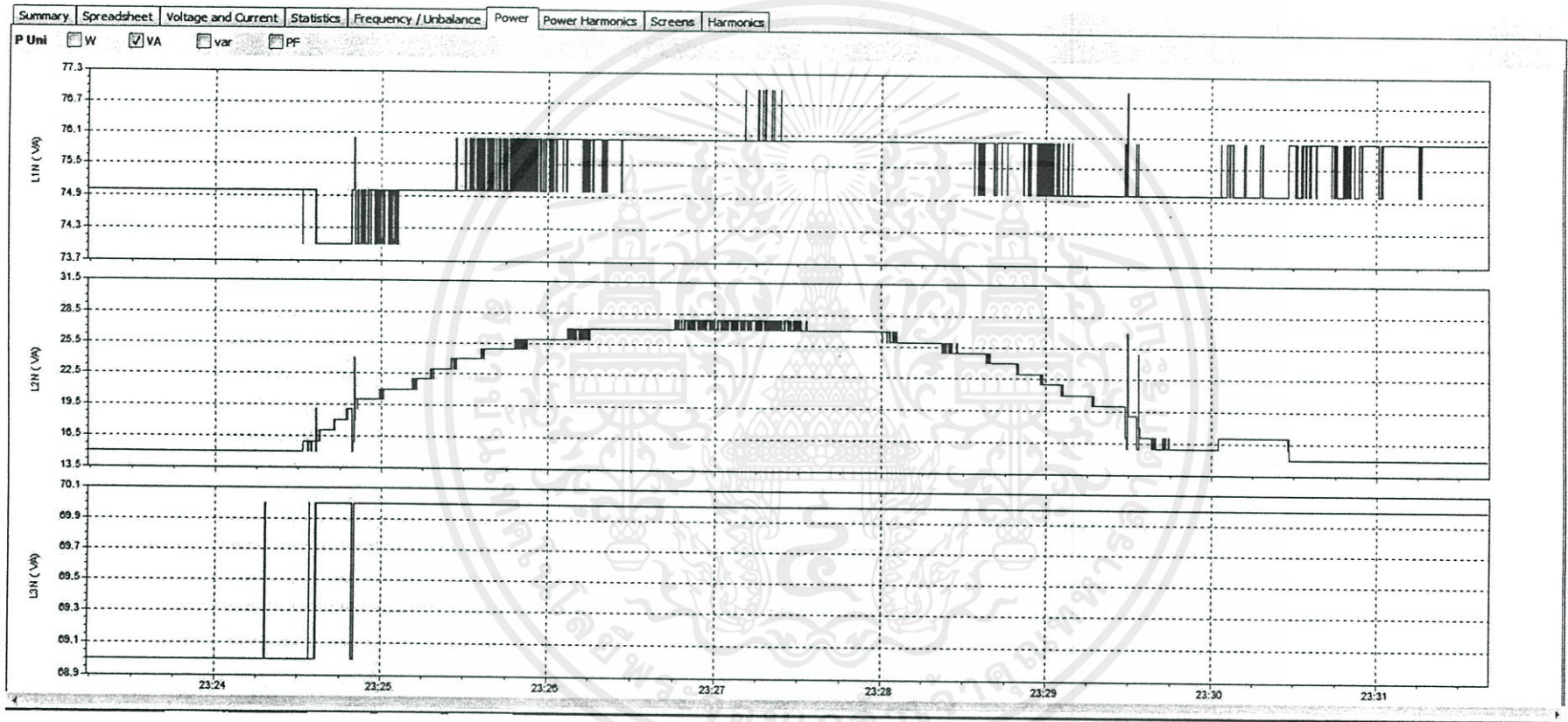
รูปที่ ข-44 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เพอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



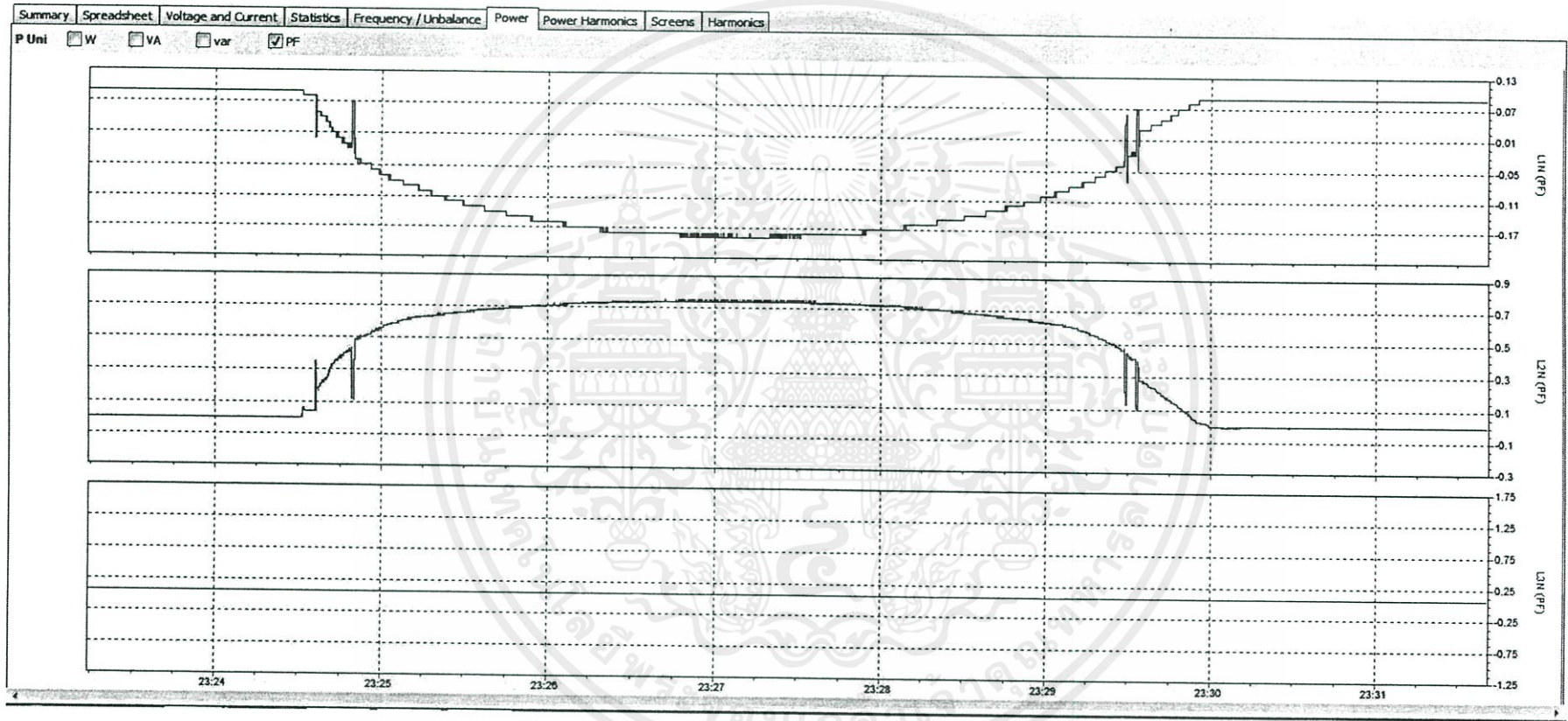
รูปที่ ข-45 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-46 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เพอร์เซ็นต์ โทลด์บัลลาสต์



รูปที่ ข-47 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-48 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-43 ถึง ข-48 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 18 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 200 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.9

จากรูปที่ ข-43 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-44 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

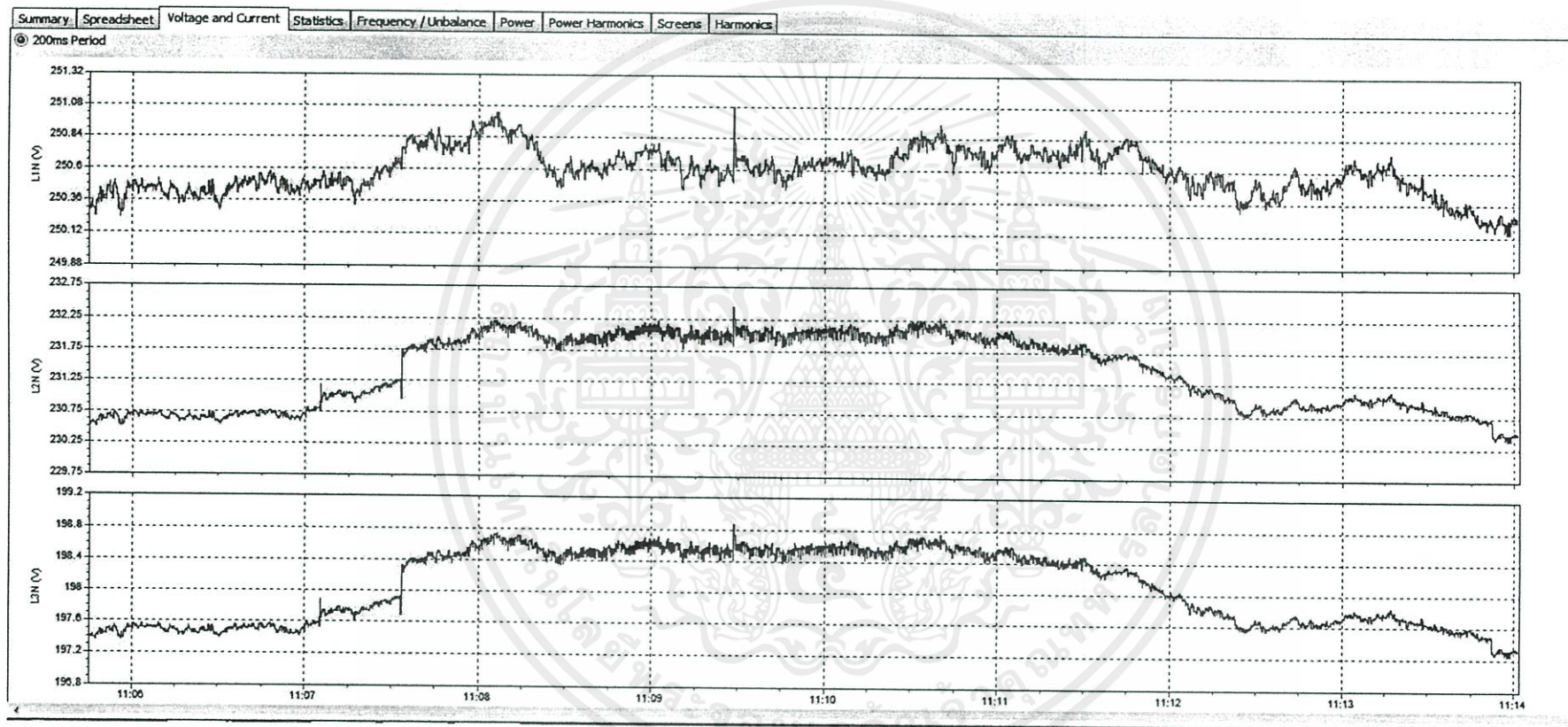
จากรูปที่ ข-45 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-46 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-47 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-45

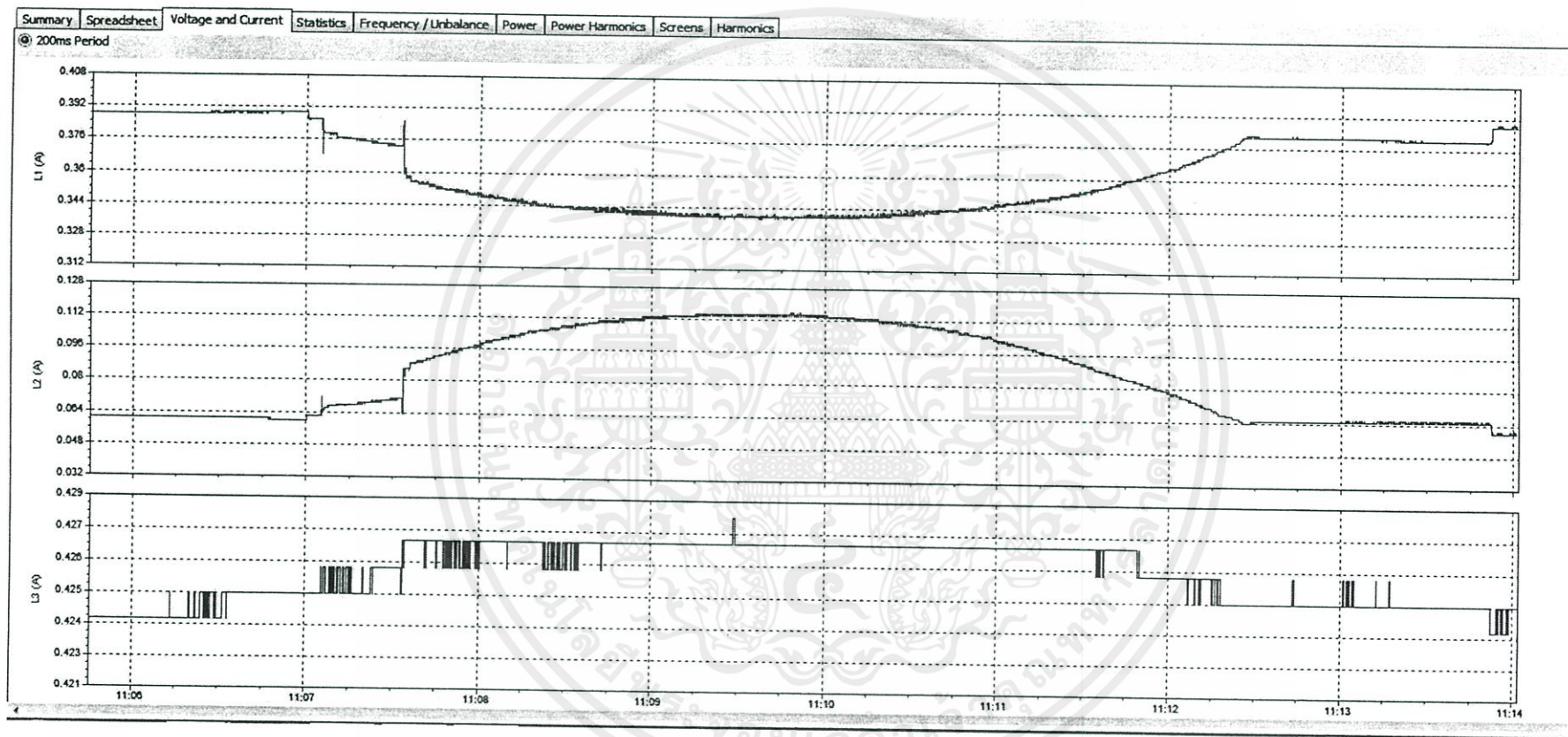
จากรูปที่ ข-48 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



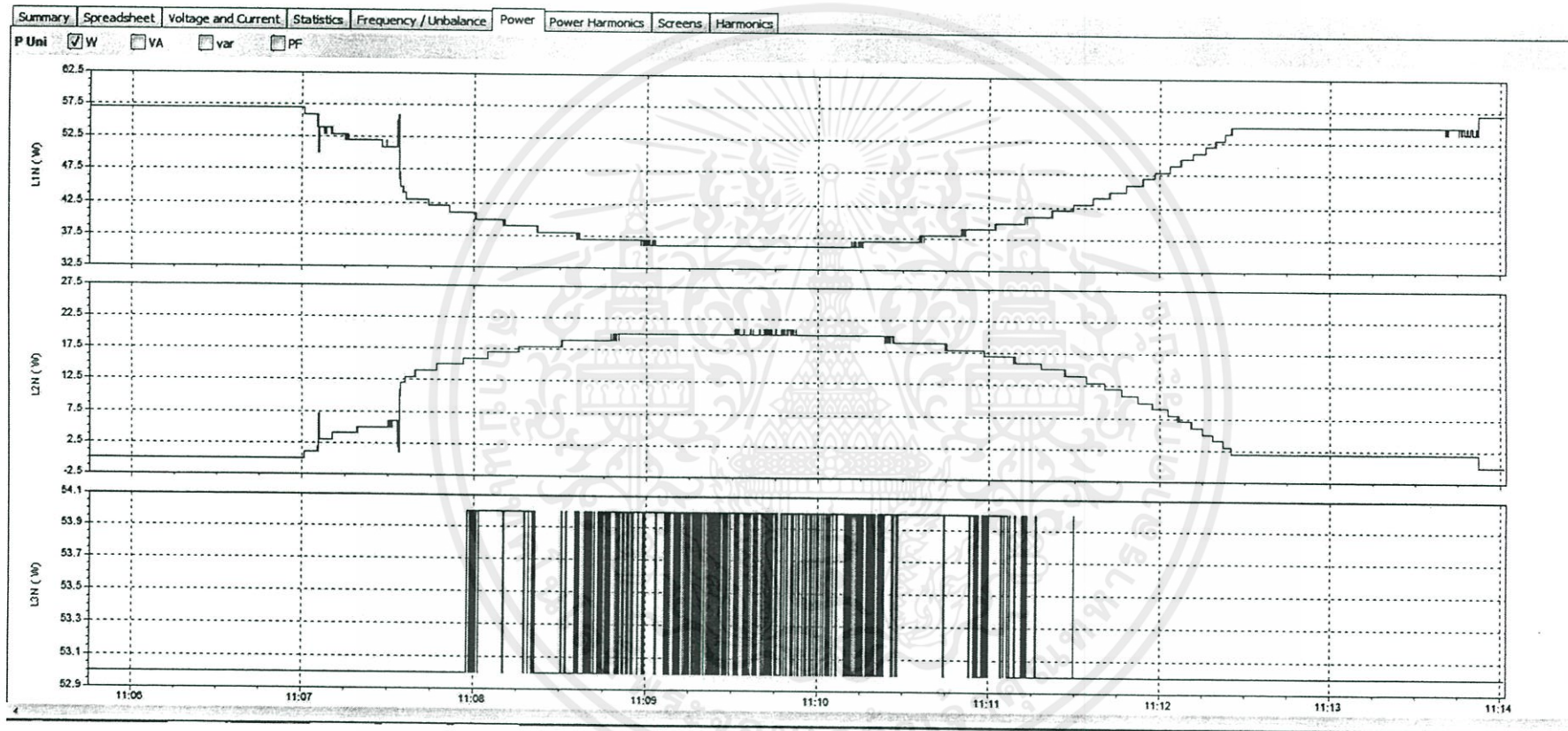
รูปที่ ข-49 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



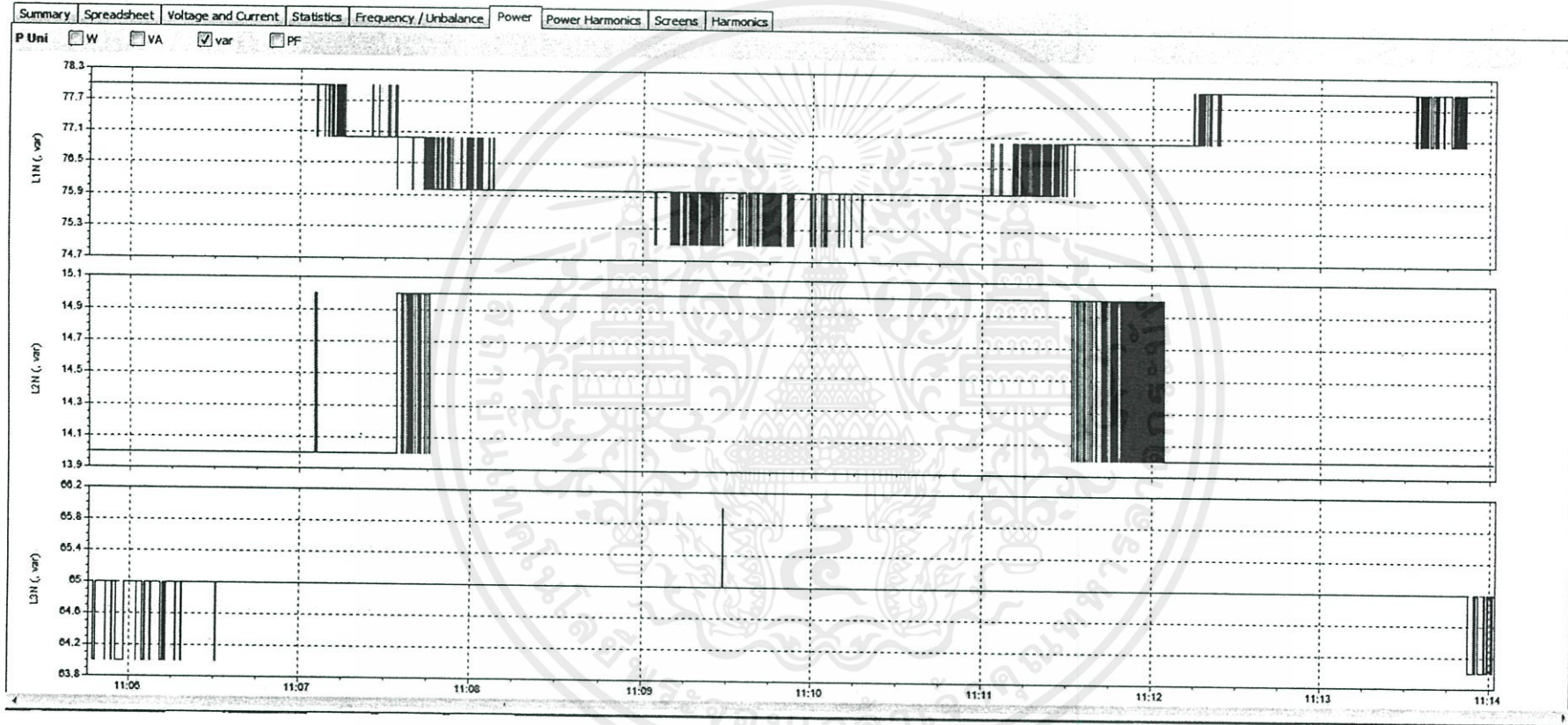
รูปที่ ข-50 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



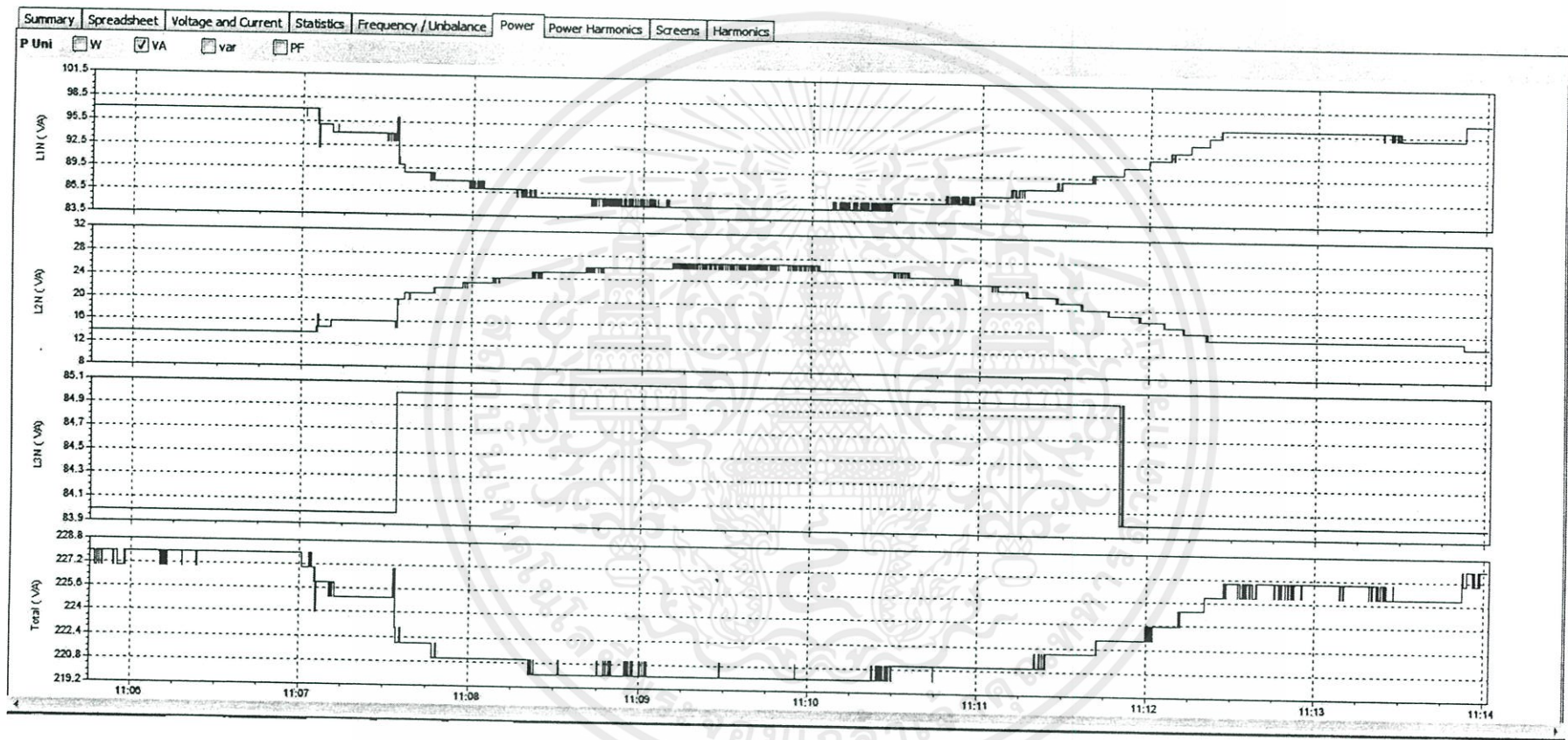
รูปที่ ข-51 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



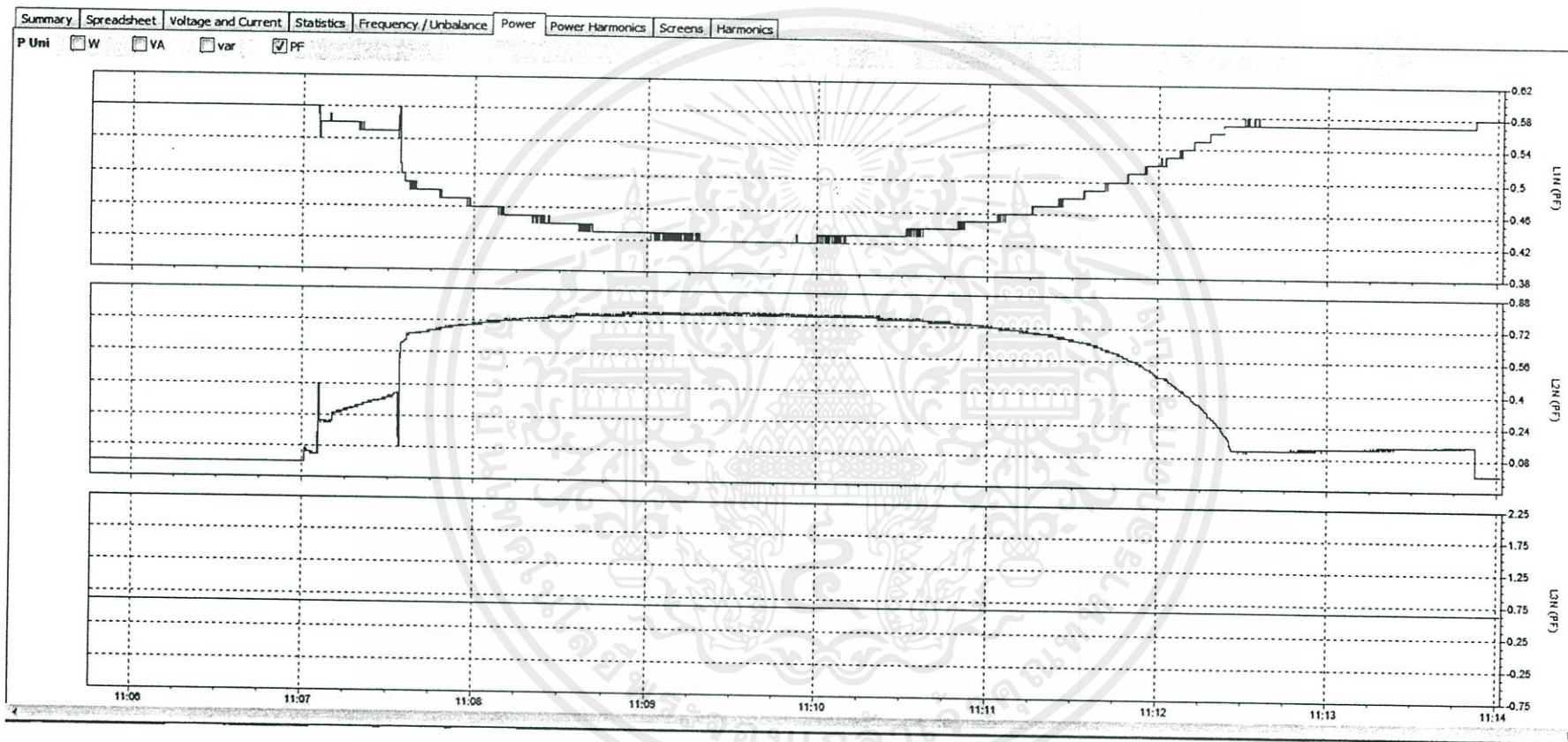
รูปที่ ข-52 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-53 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-54 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-49 ถึง ข-54 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 80 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 197 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.10

จากรูปที่ ข-49 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-50 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

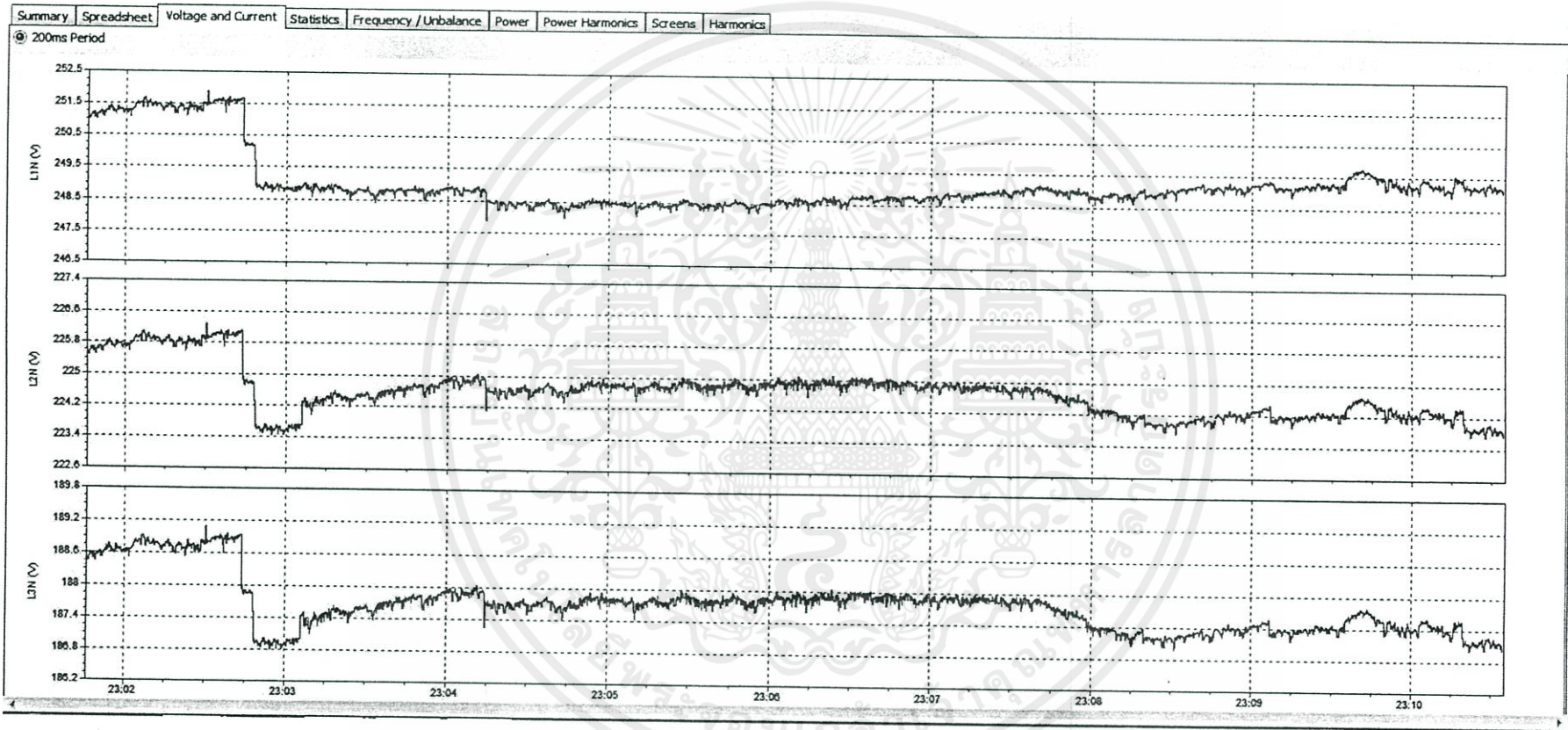
จากรูปที่ ข-51 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-52 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-53 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-52

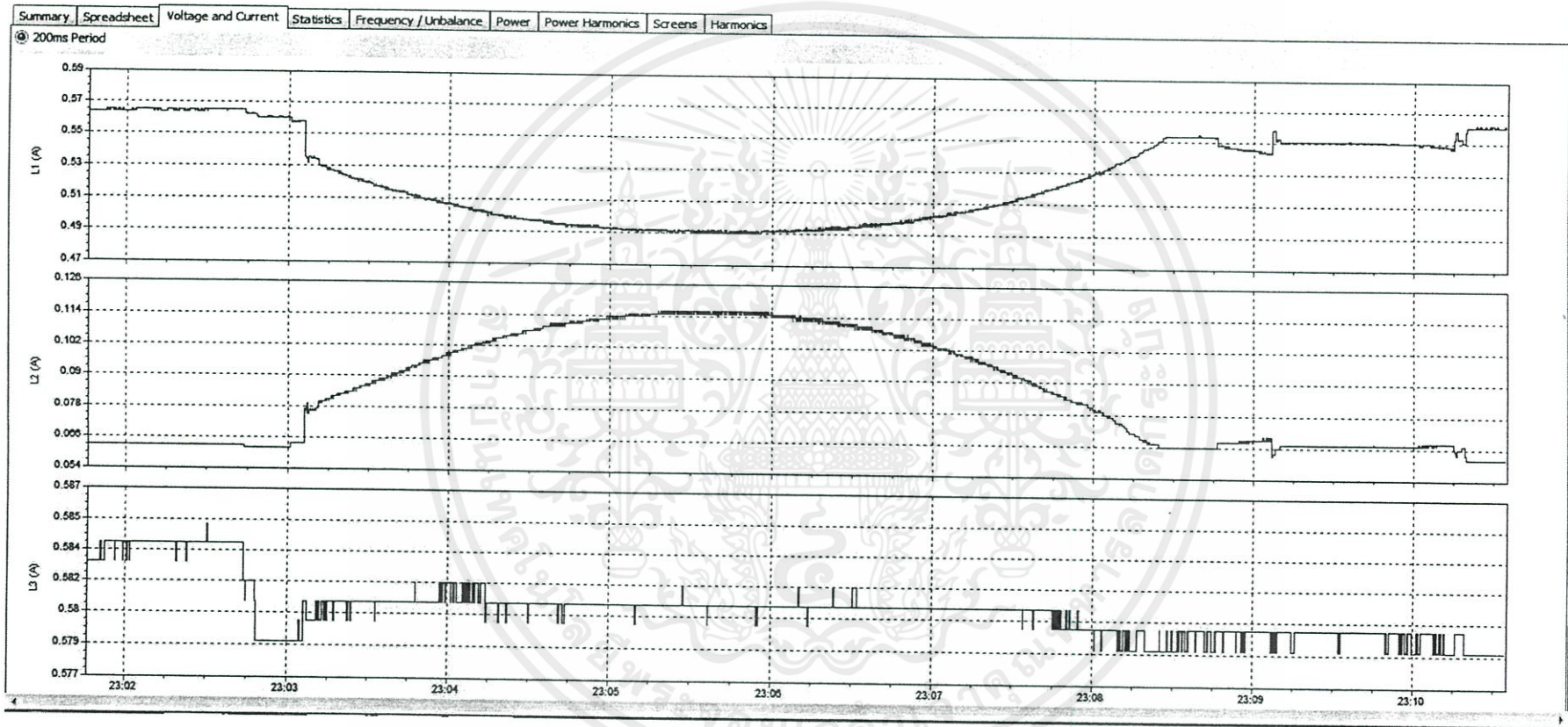
จากรูปที่ ข-54 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



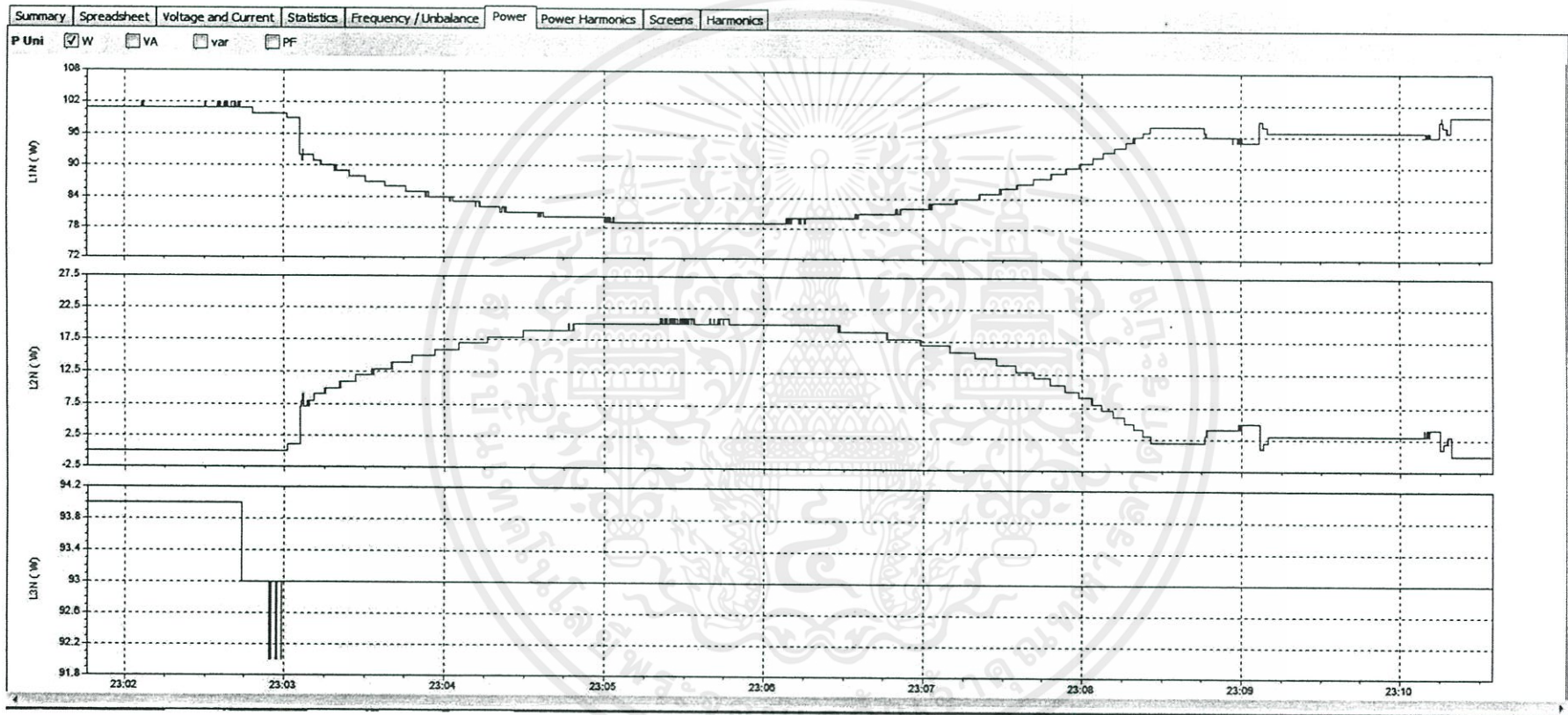
รูปที่ ข-55 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



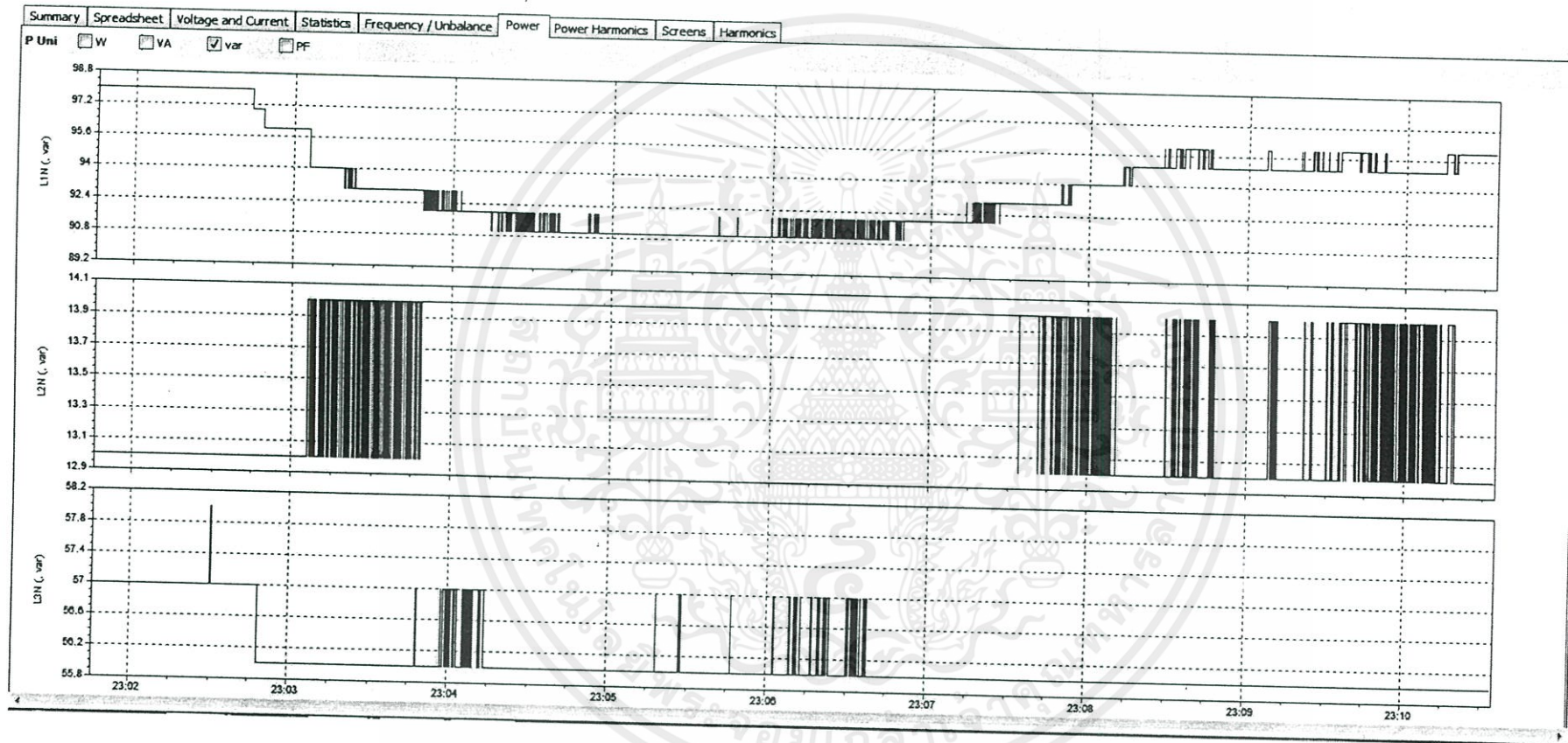
รูปที่ ข-56 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



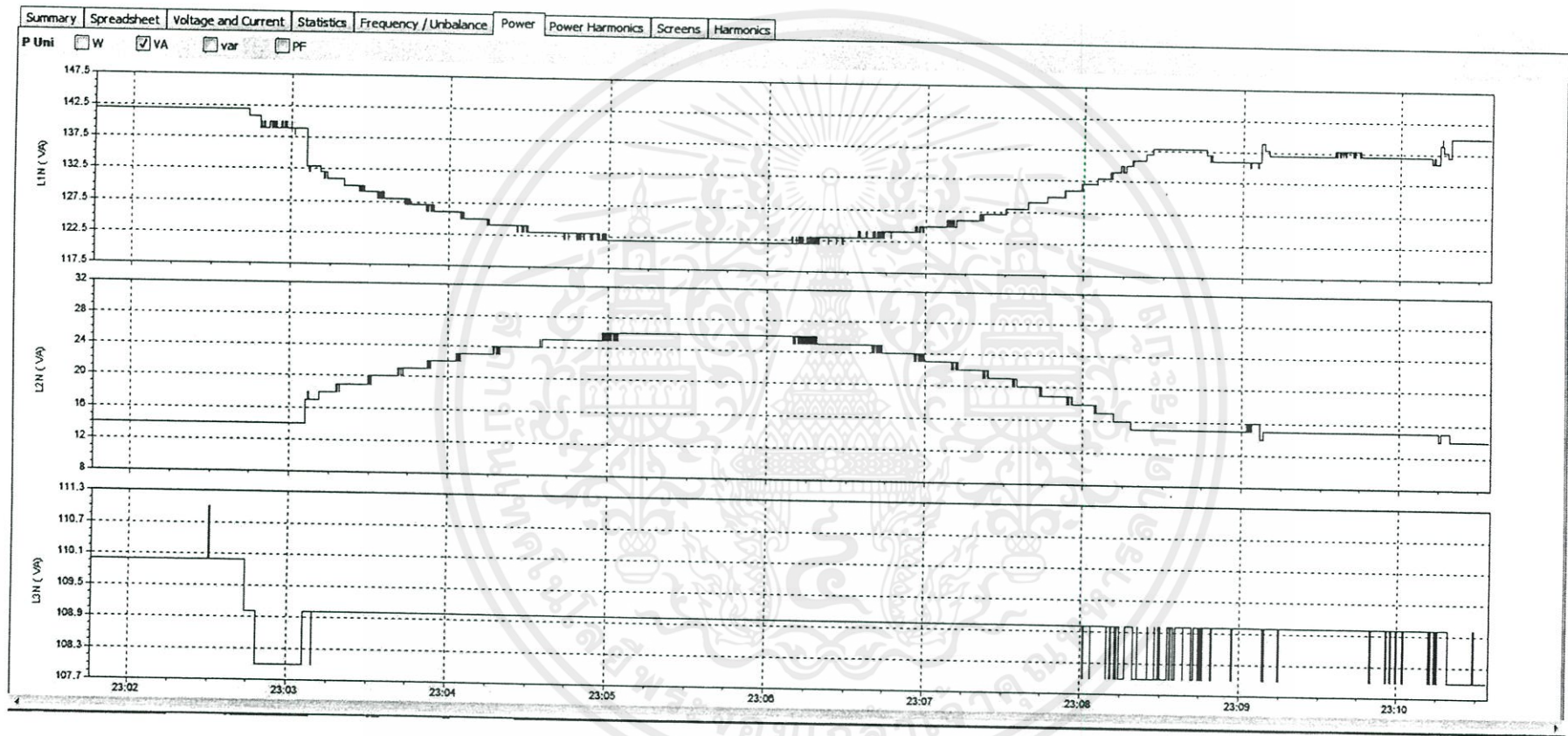
รูปที่ ข-57 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



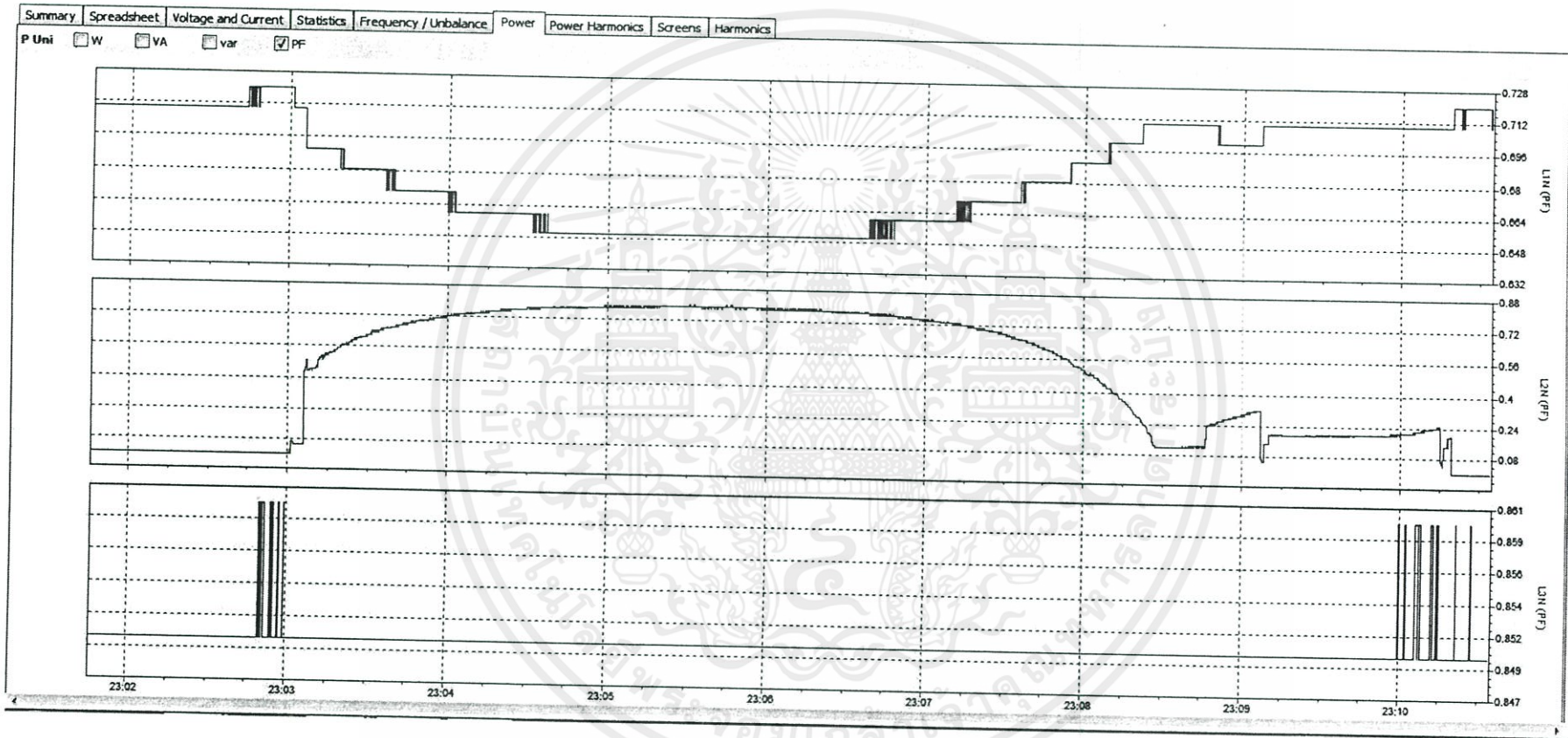
รูปที่ ข-58 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-59 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-60 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 40 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-55 ถึง ข-60 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 40 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดตลอดไฟขนาด 140 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 189 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.11

จากรูปที่ ข-55 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-56 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

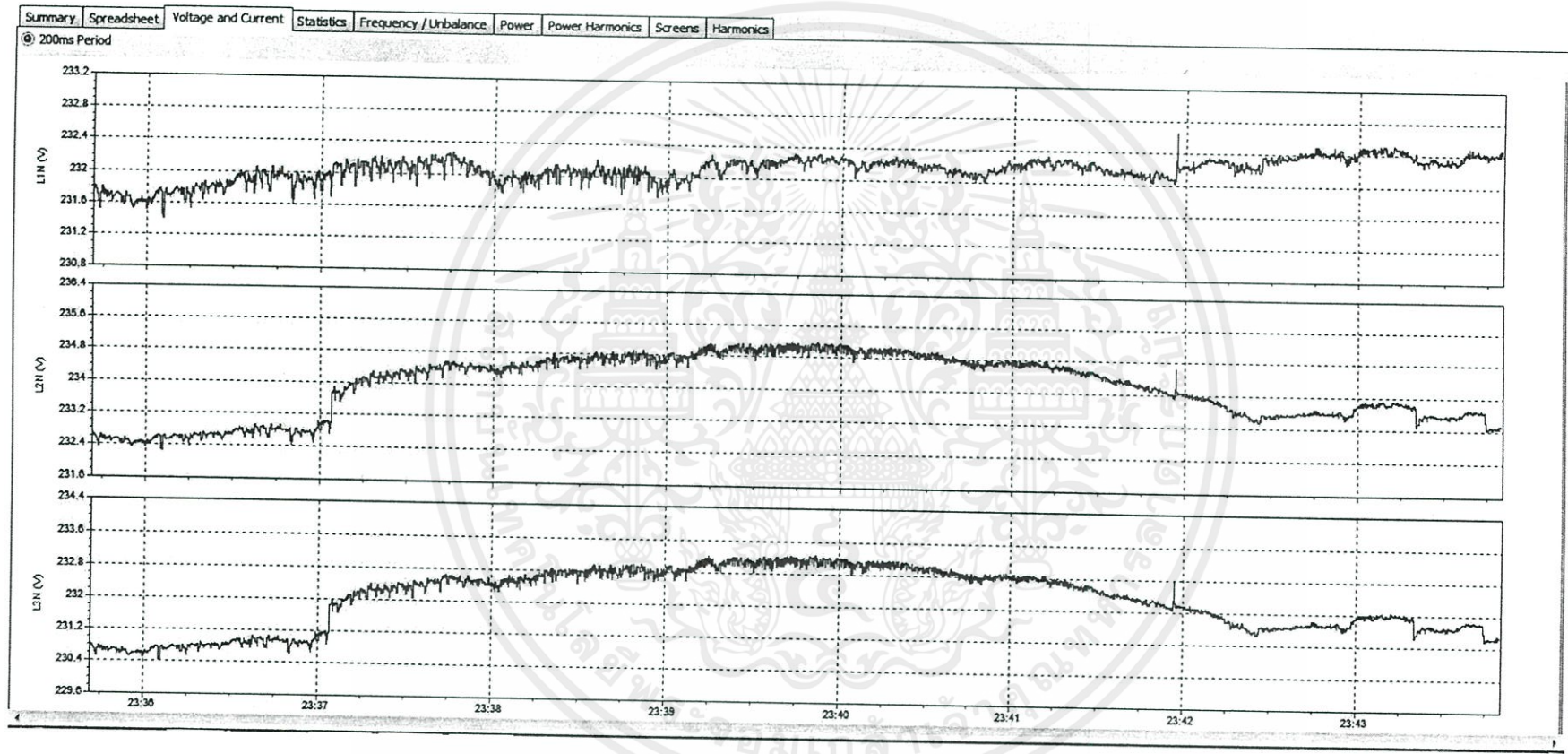
จากรูปที่ ข-57 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-58 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

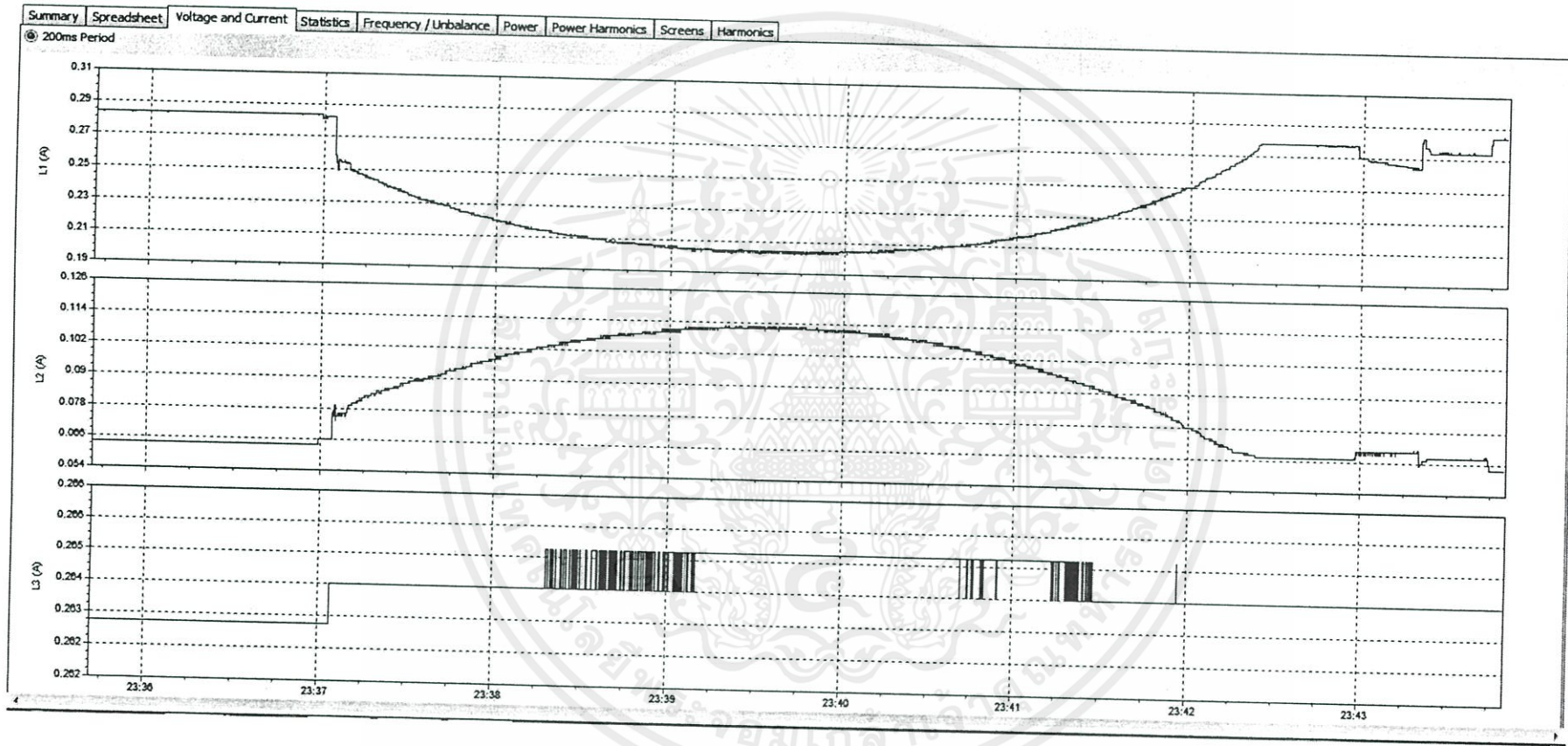
จากรูปที่ ข-59 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-57

จากรูปที่ ข-60 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

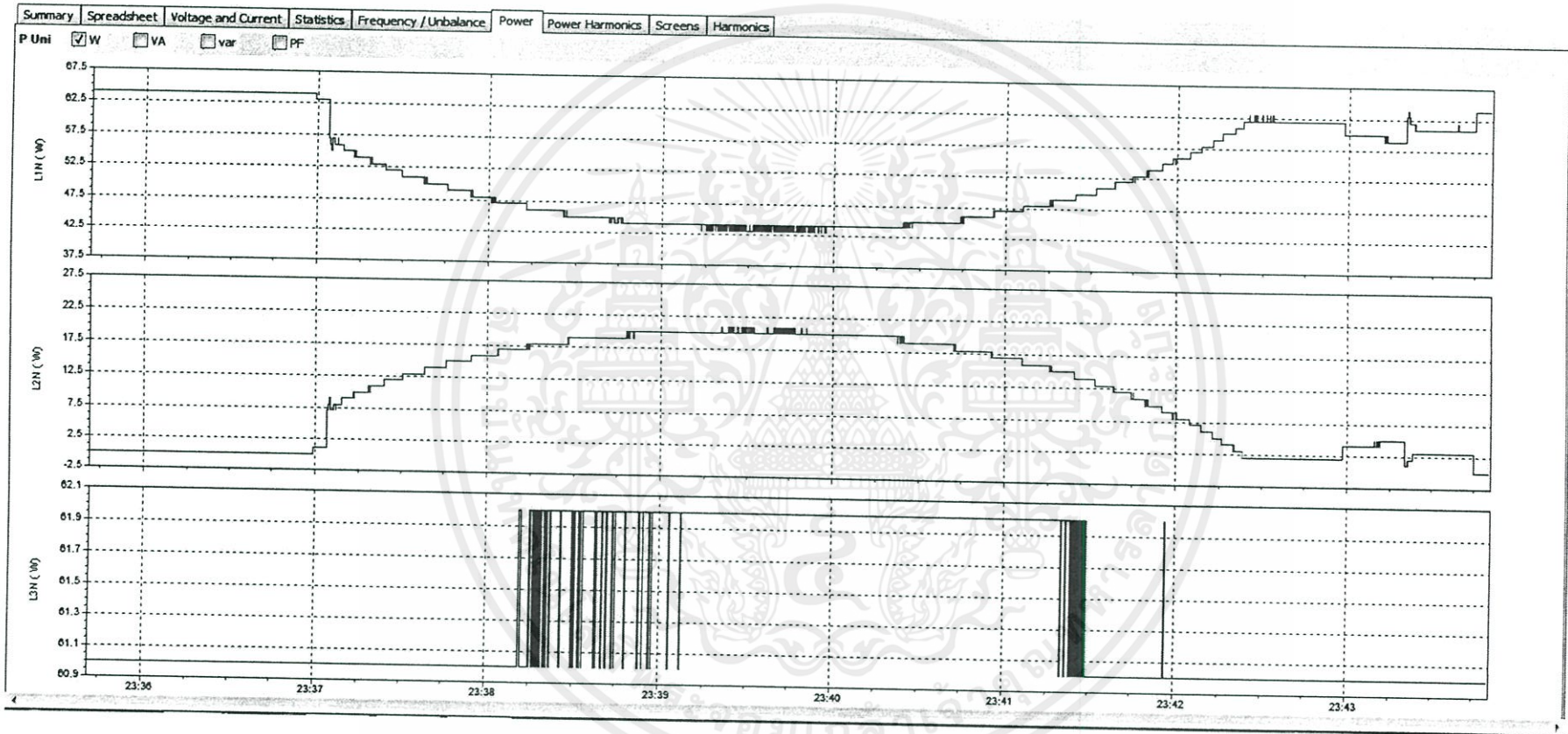
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



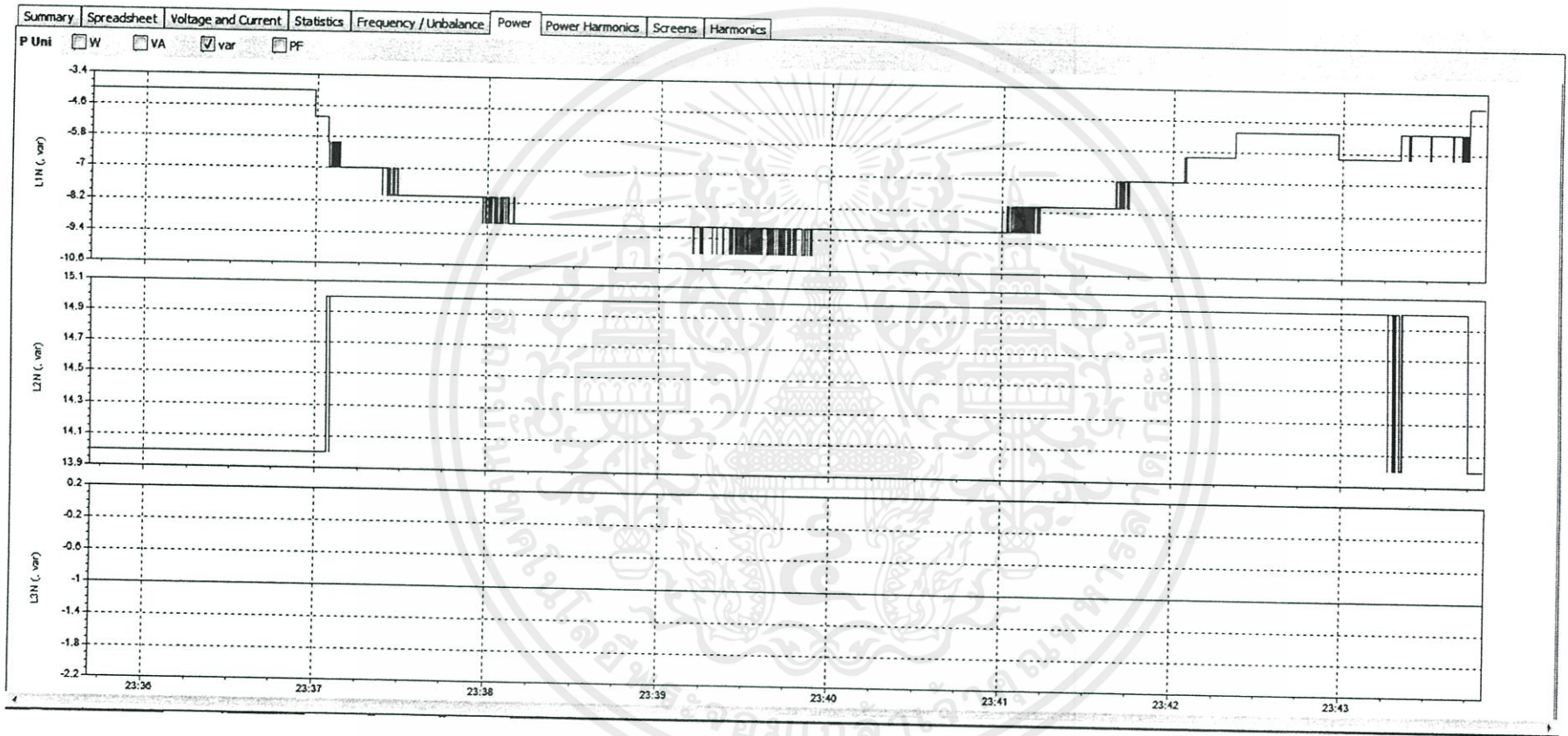
รูปที่ ข-61 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-62 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์

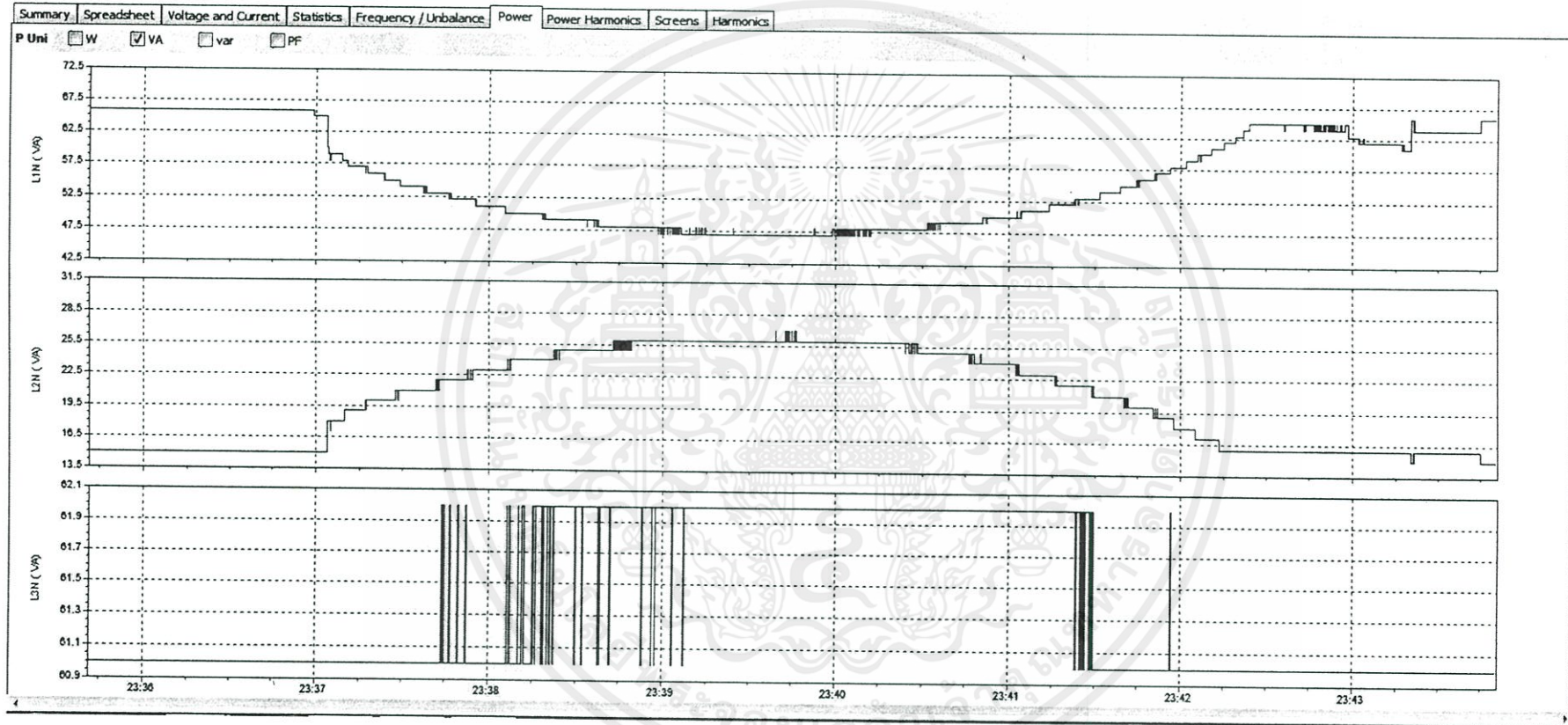


รูปที่ ข-63 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



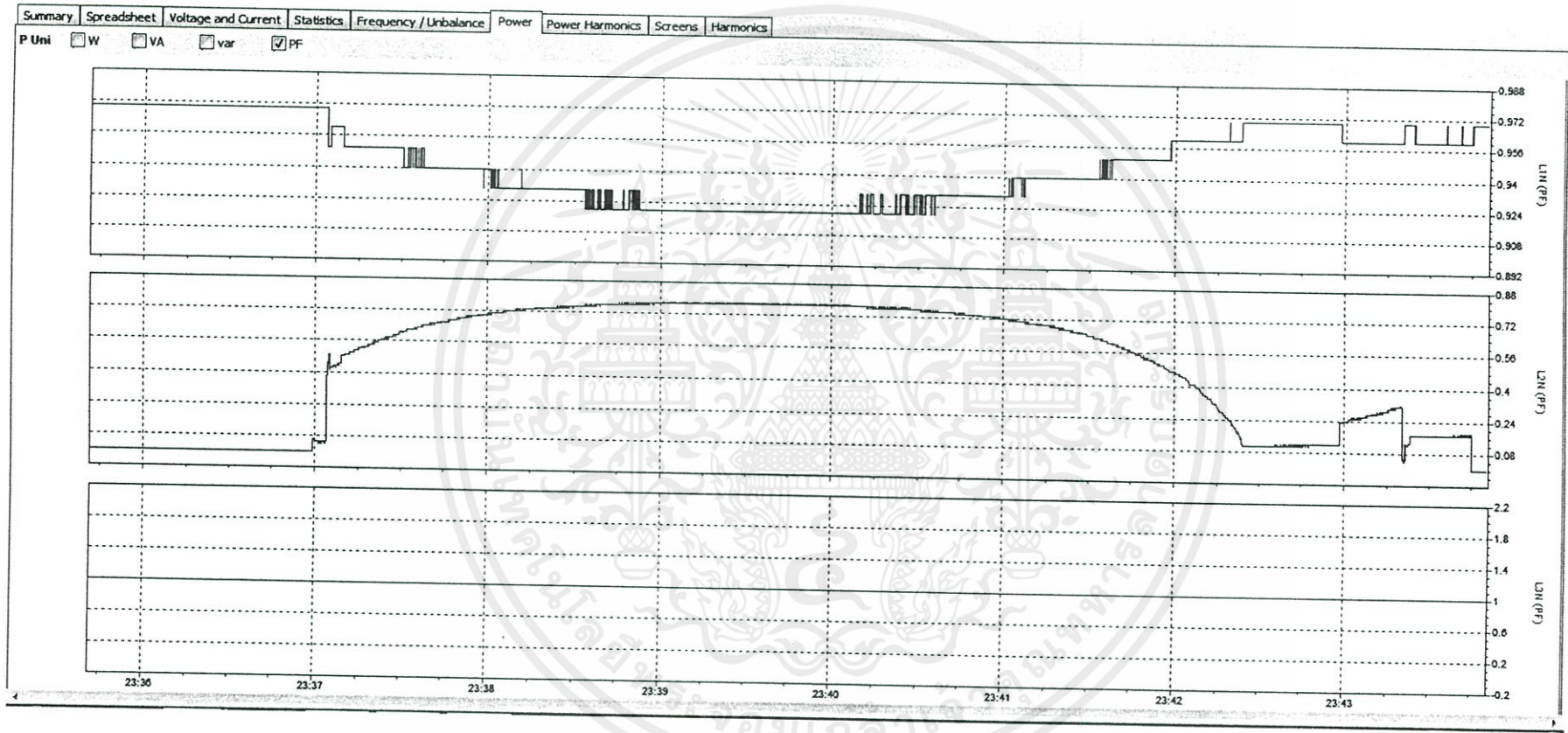
รูปที่ ข-64 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60

วัตต์



รูปที่ ข-65 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-66 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์

จากรูปที่ ข-61 ถึง ข-66 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.12

จากรูปที่ ข-61 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-62 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

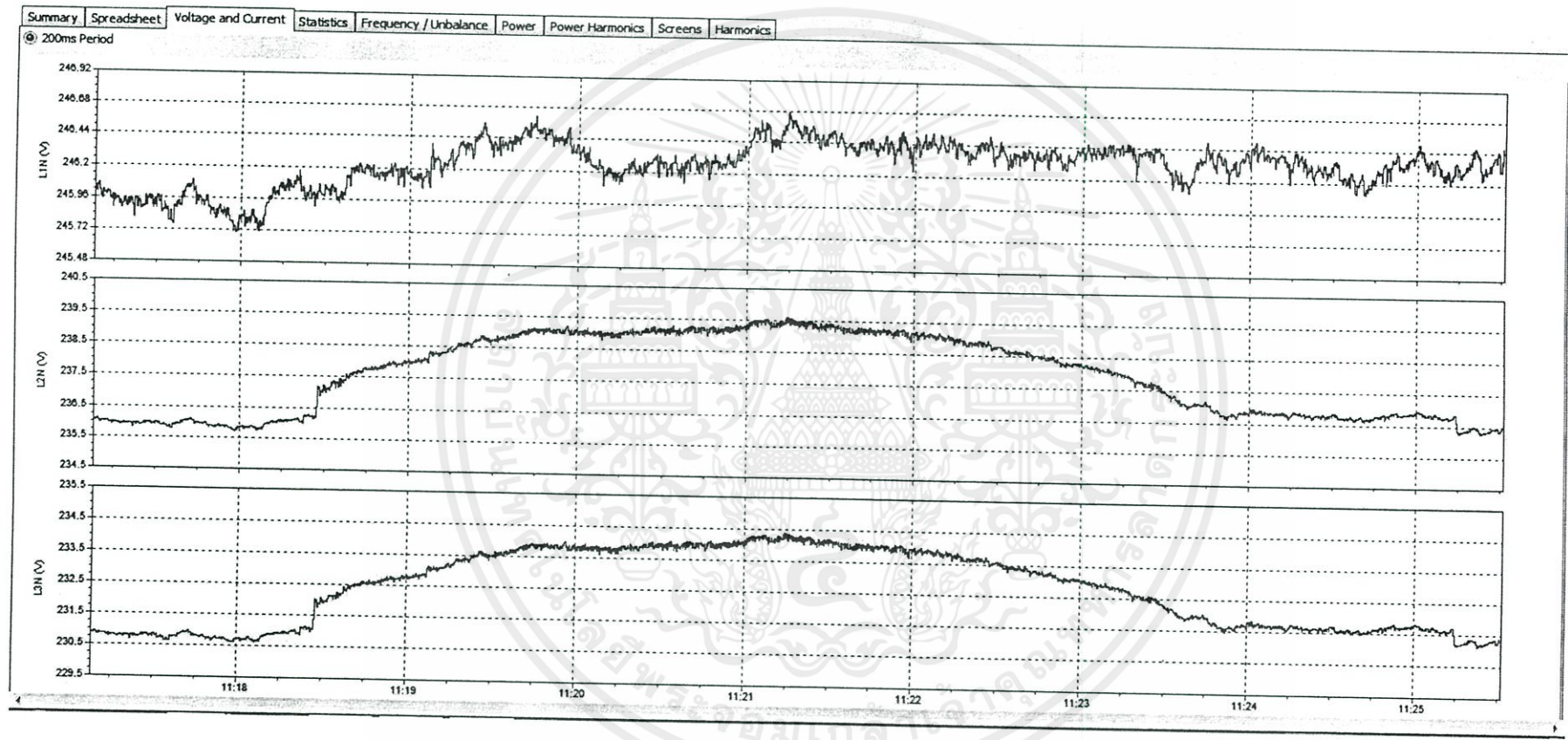
จากรูปที่ ข-63 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-64 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

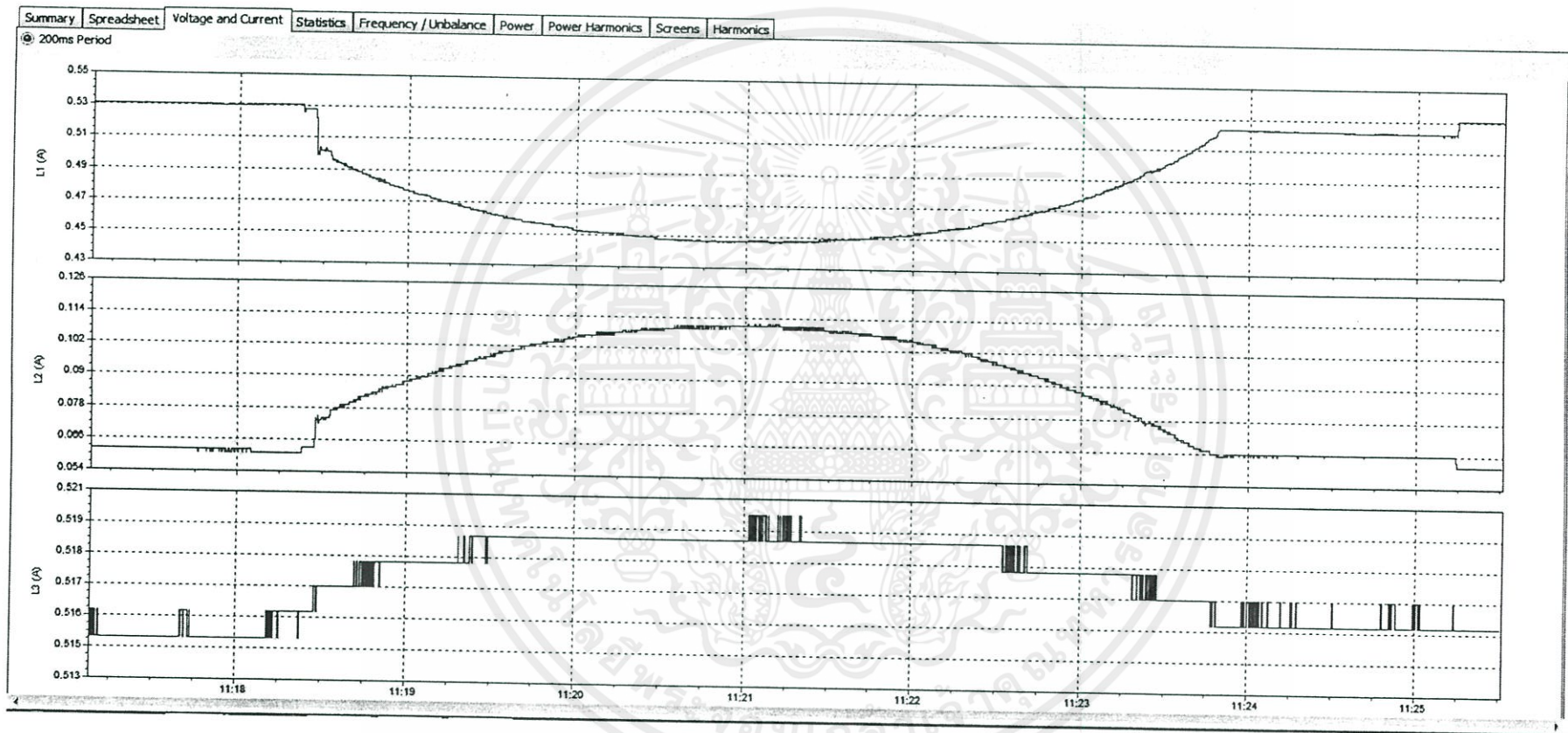
จากรูปที่ ข-65 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-63

จากรูปที่ ข-66 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

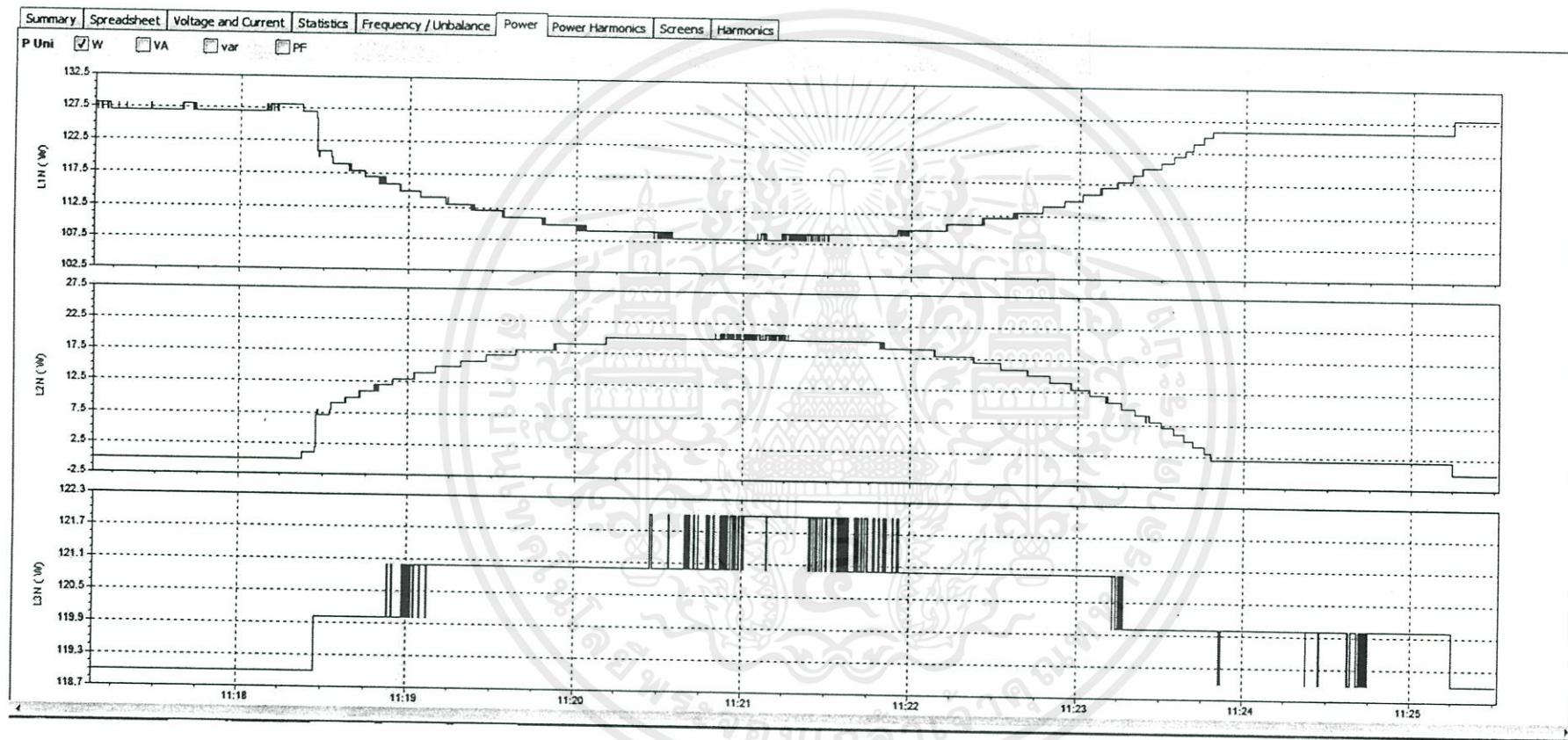
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



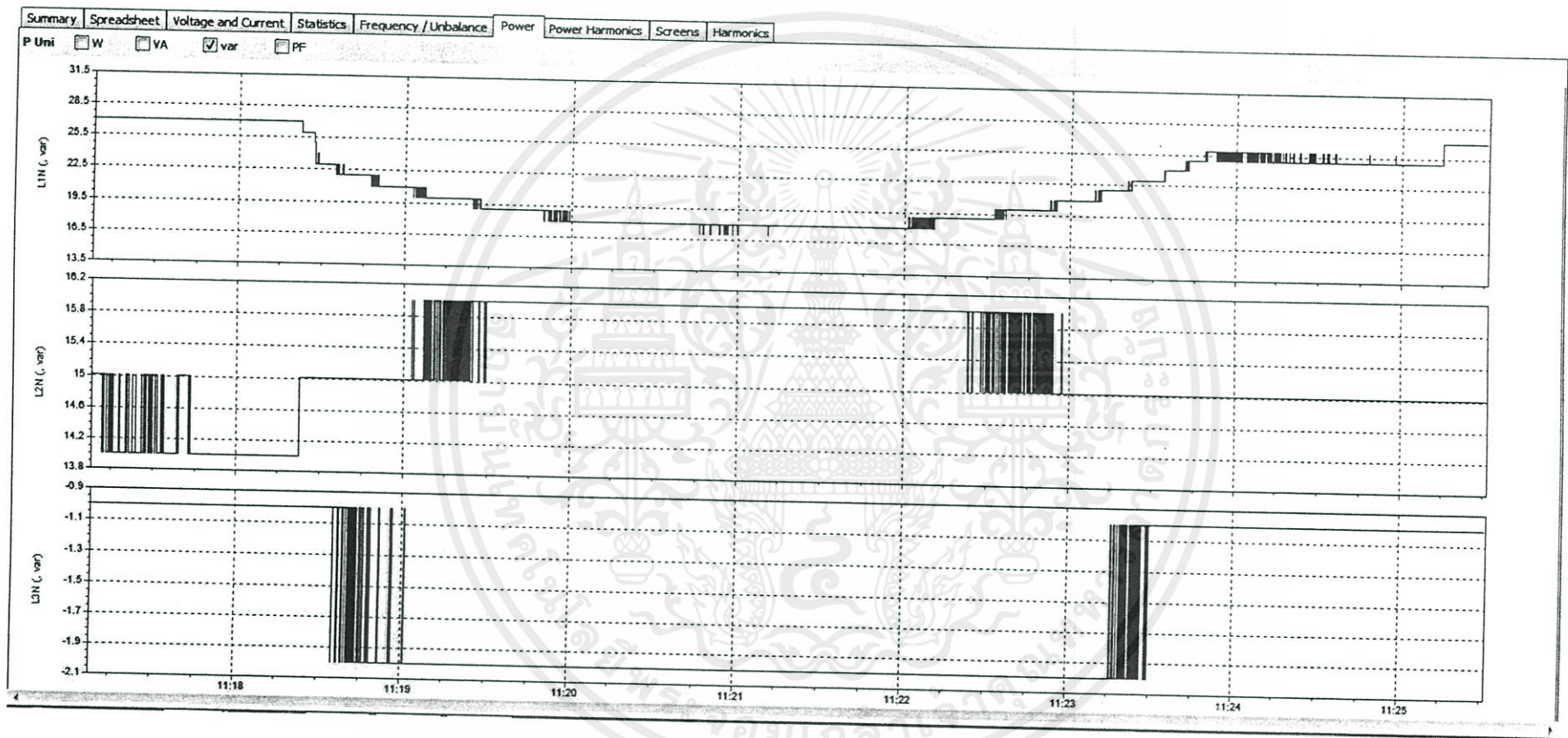
รูปที่ ข-67 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-68 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

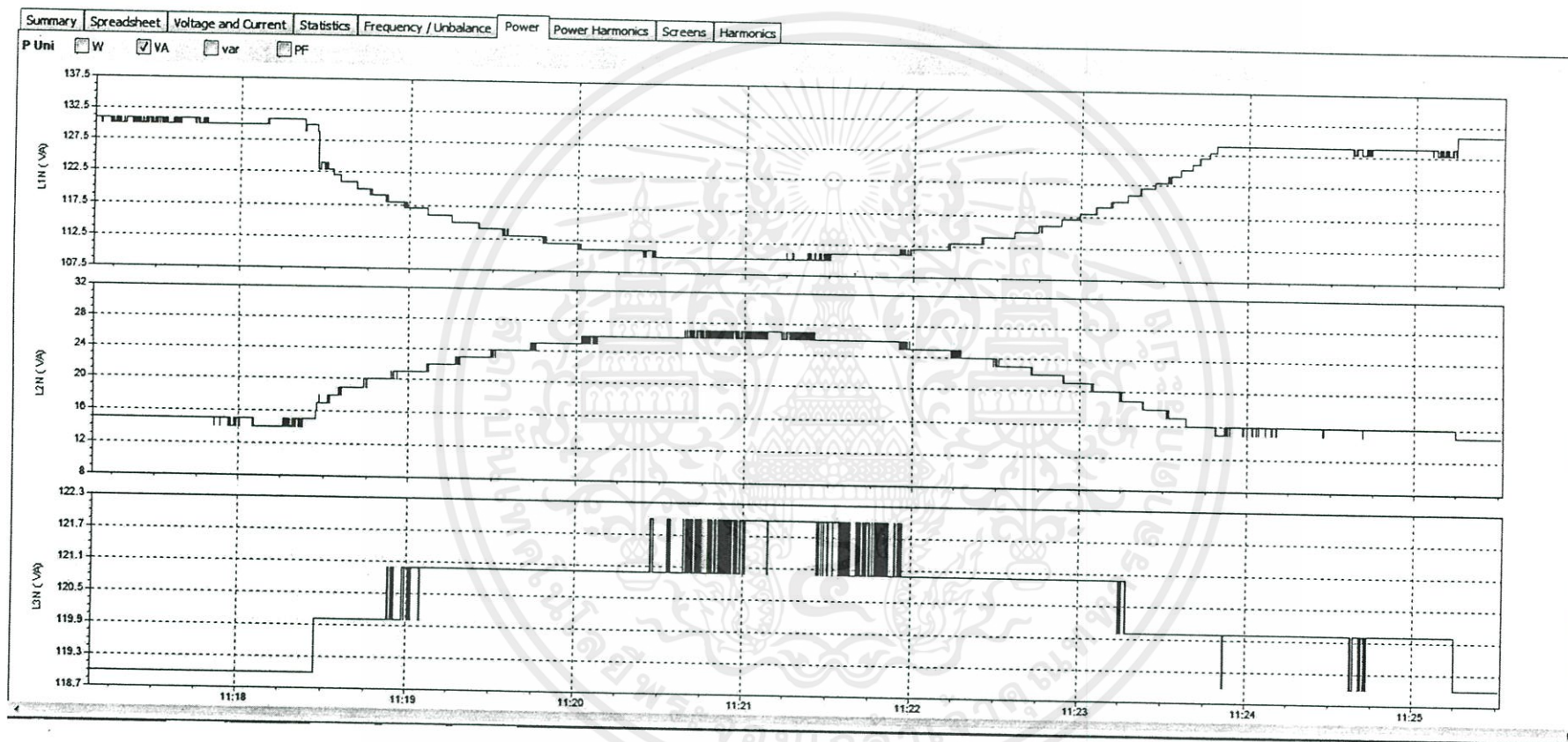


รูปที่ ข-69 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์



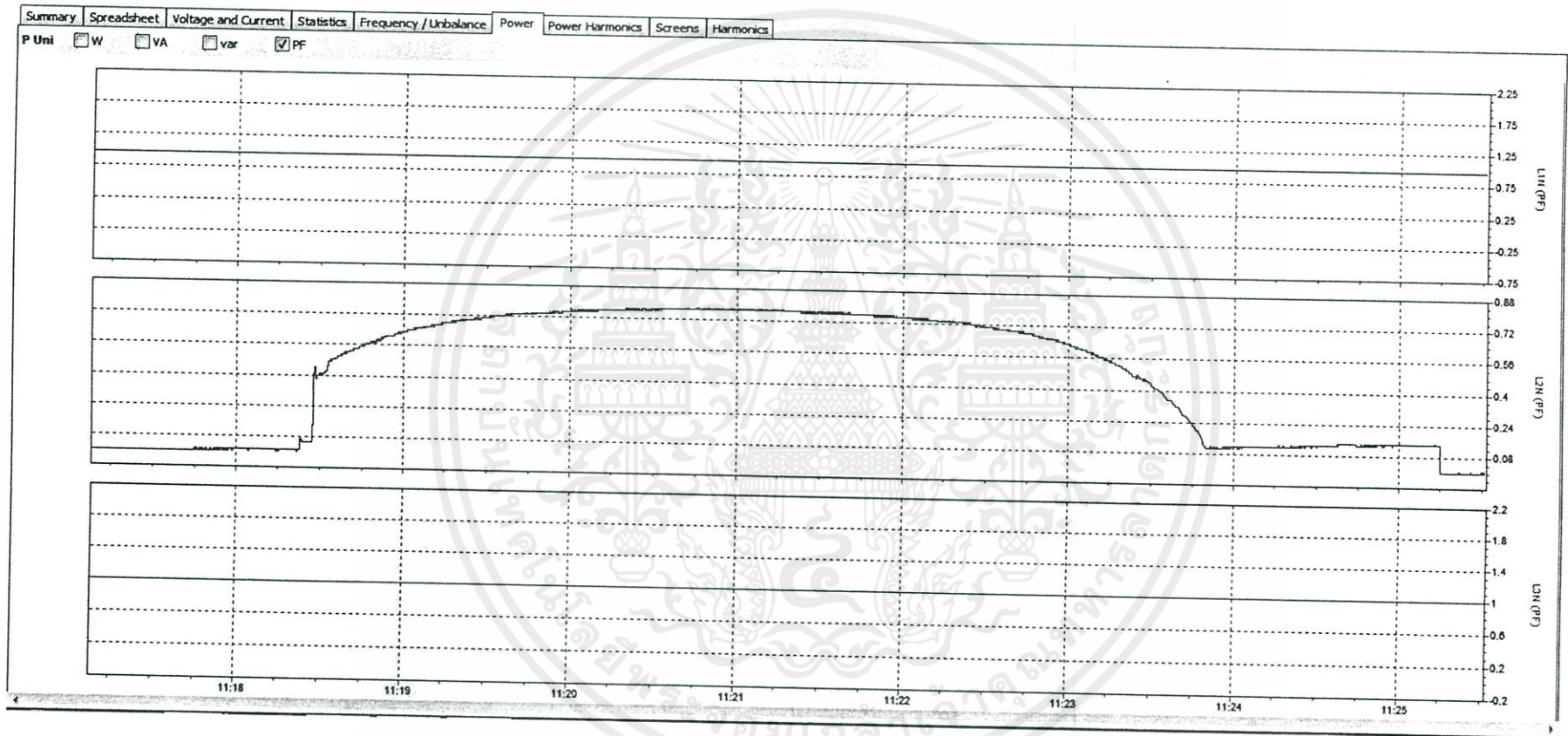
รูปที่ ข-70 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-71 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-72 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์

จากรูปที่ ข-67 ถึง ข-72 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.13

จากรูปที่ ข-67 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-68 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

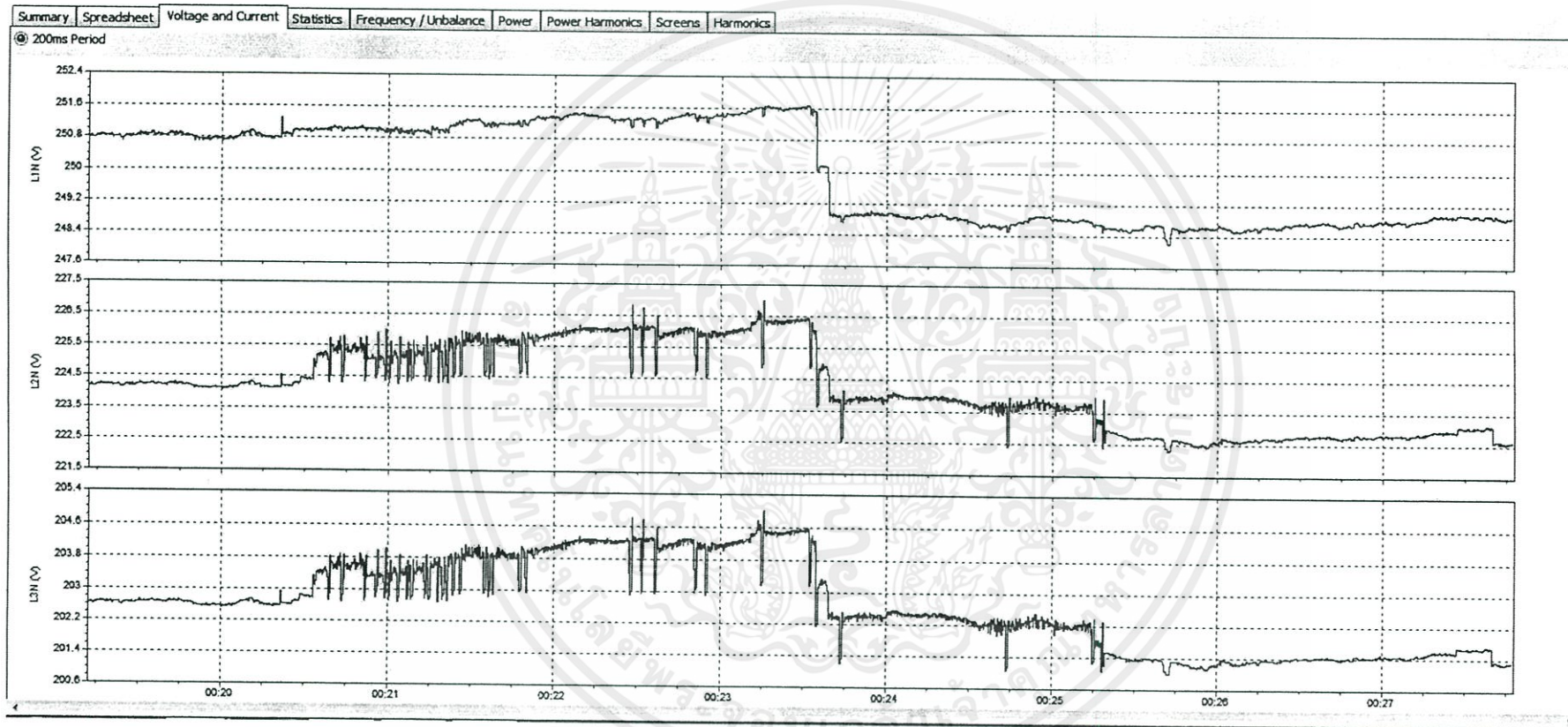
จากรูปที่ ข-69 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-70 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

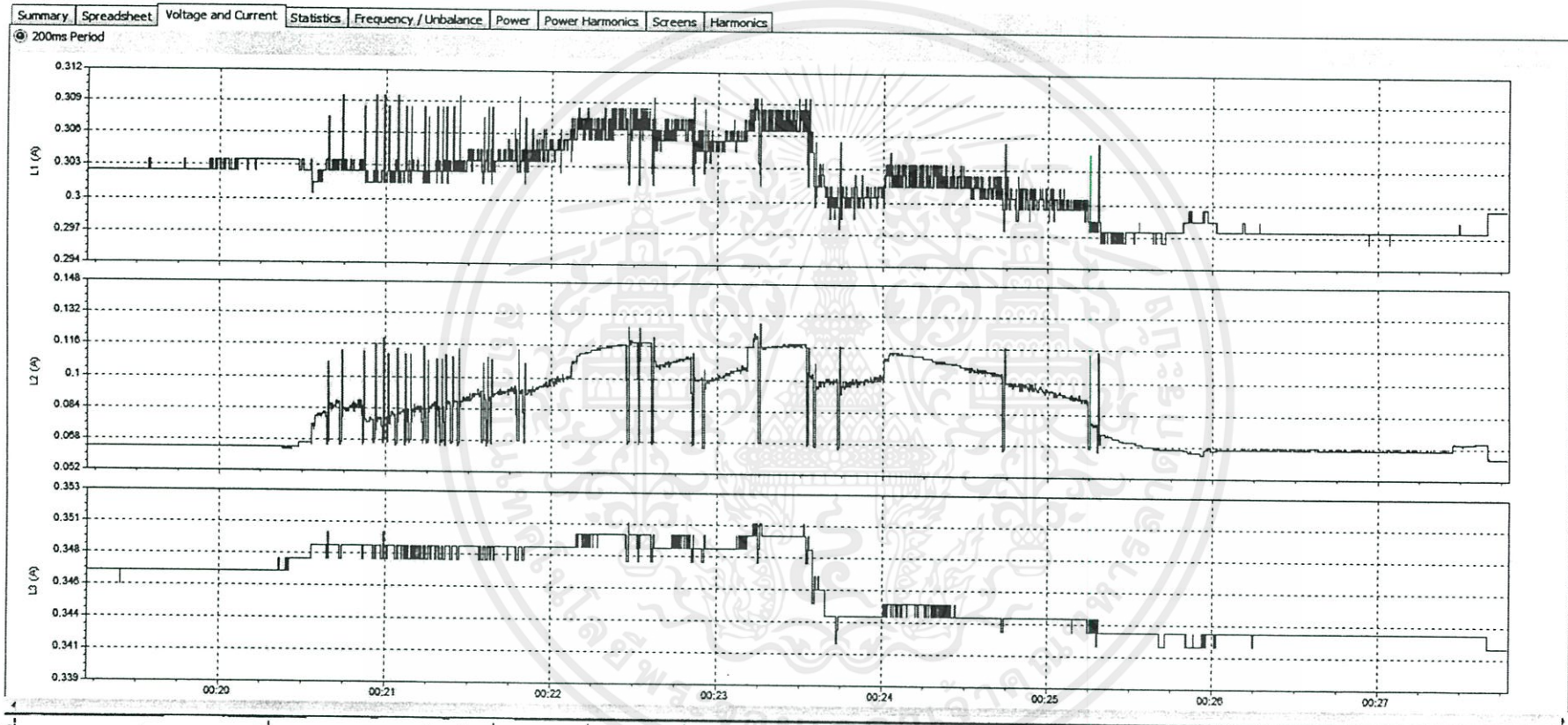
จากรูปที่ ข-71 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-69

จากรูปที่ ข-72 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

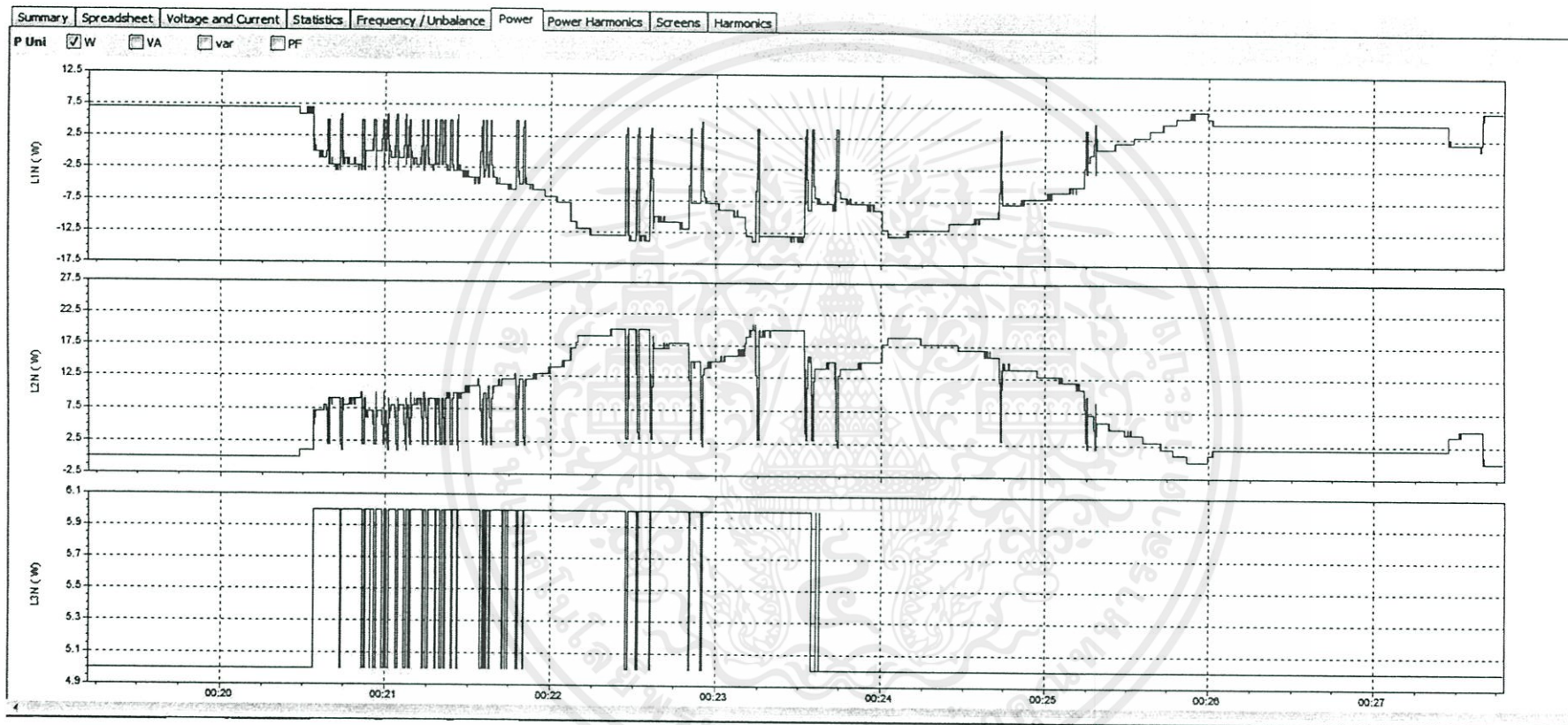
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



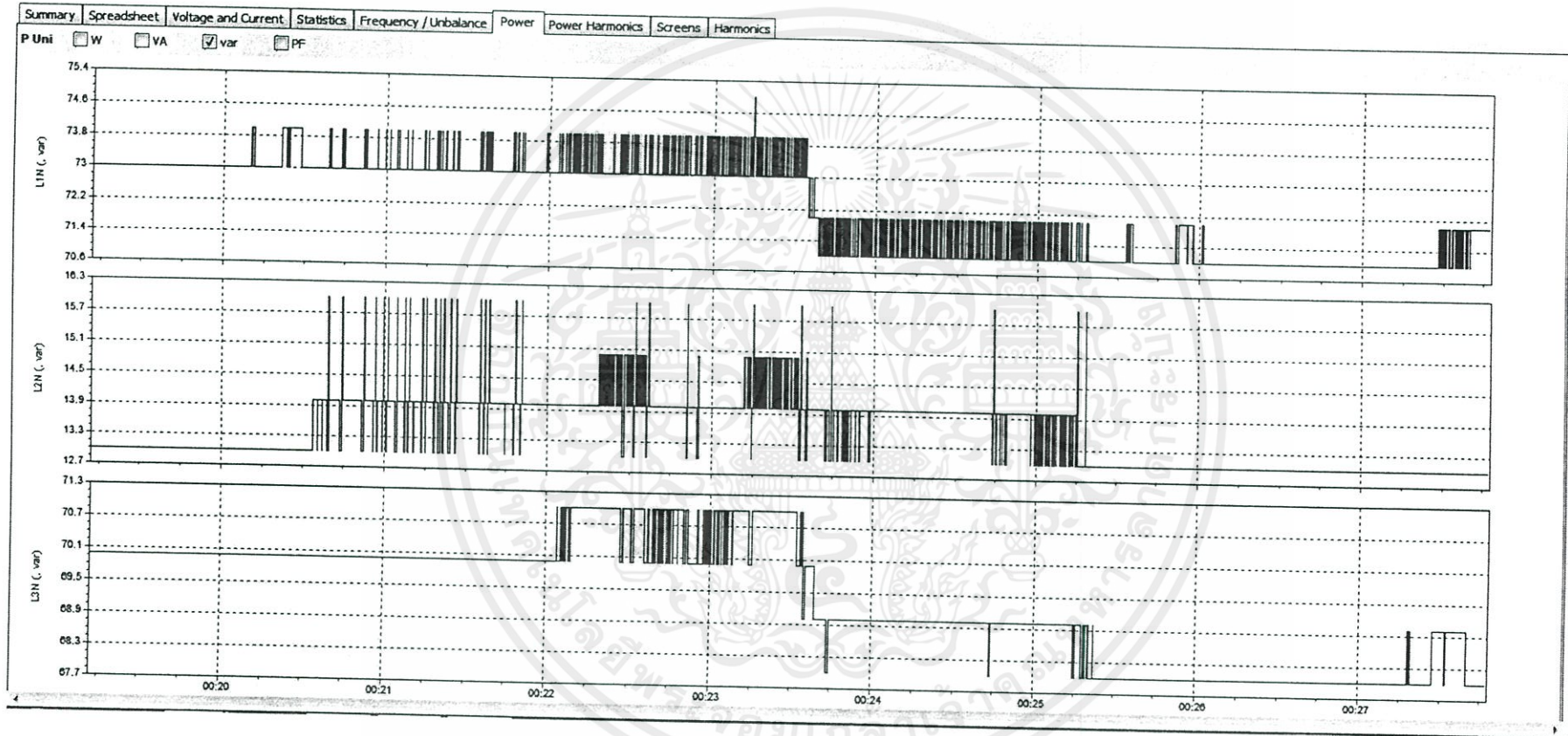
รูปที่ ข-73 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



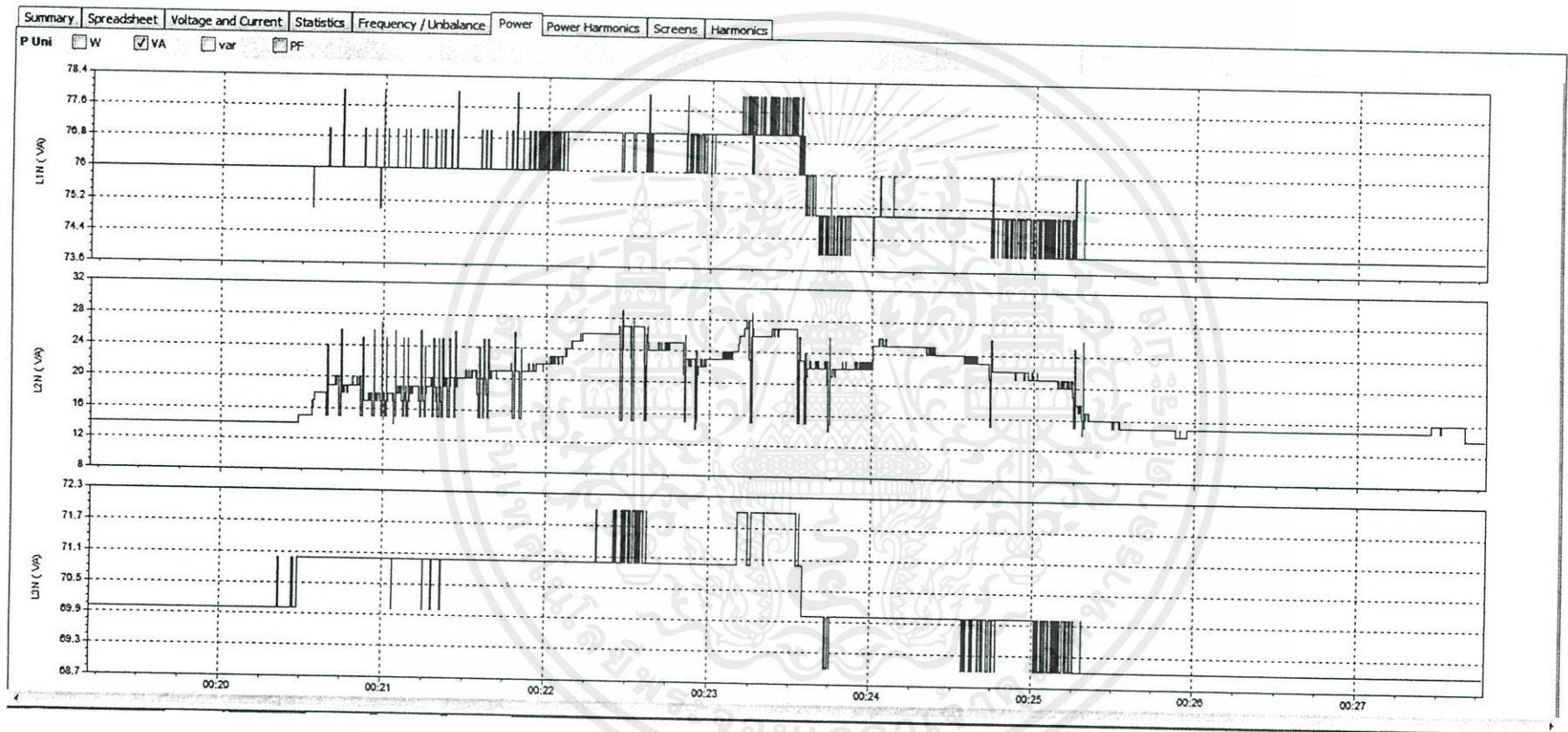
รูปที่ ข-74 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



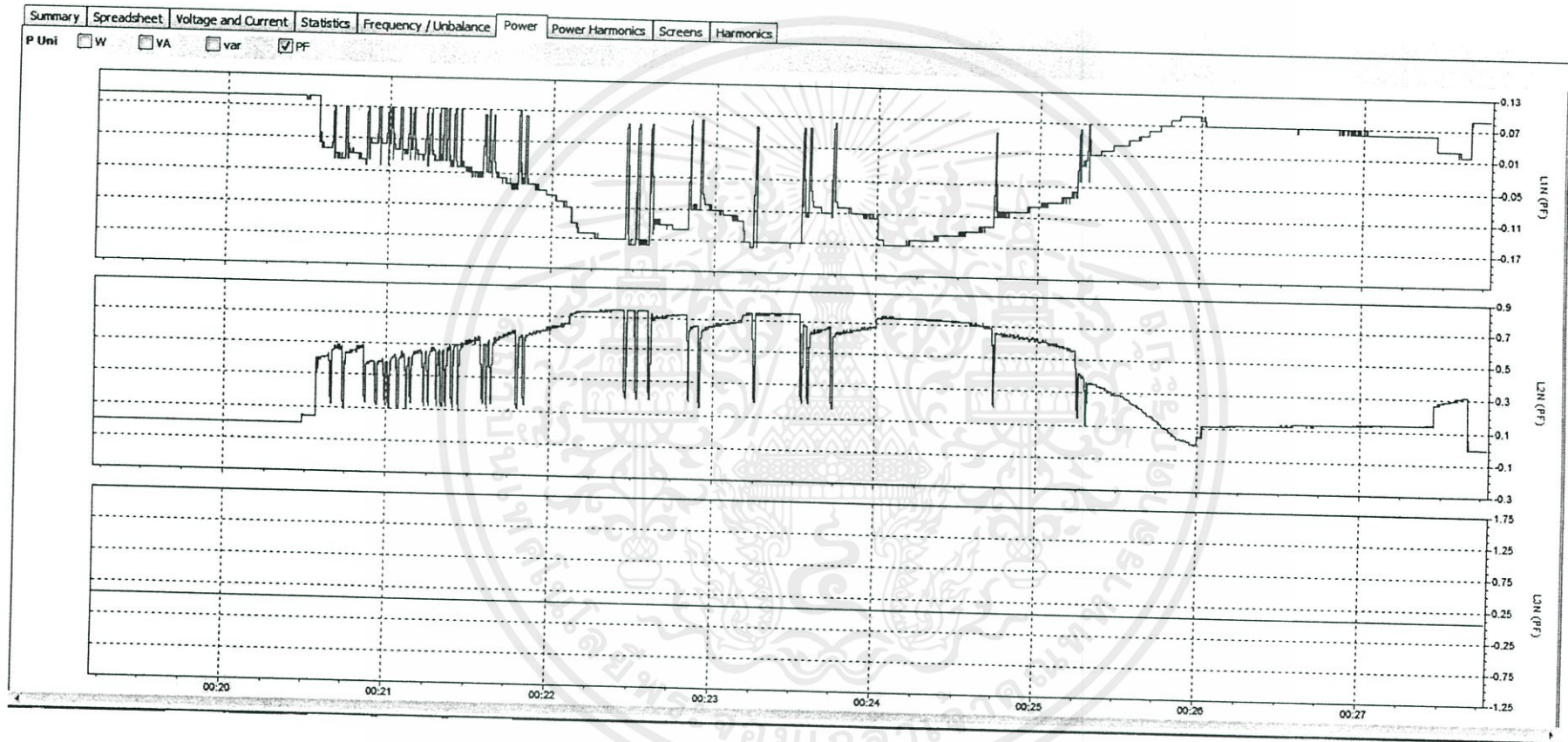
รูปที่ ข-75 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-76 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-77 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-78 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-73 ถึง ข-78 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 60 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 18 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 200 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.14

จากรูปที่ ข-73 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-74 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

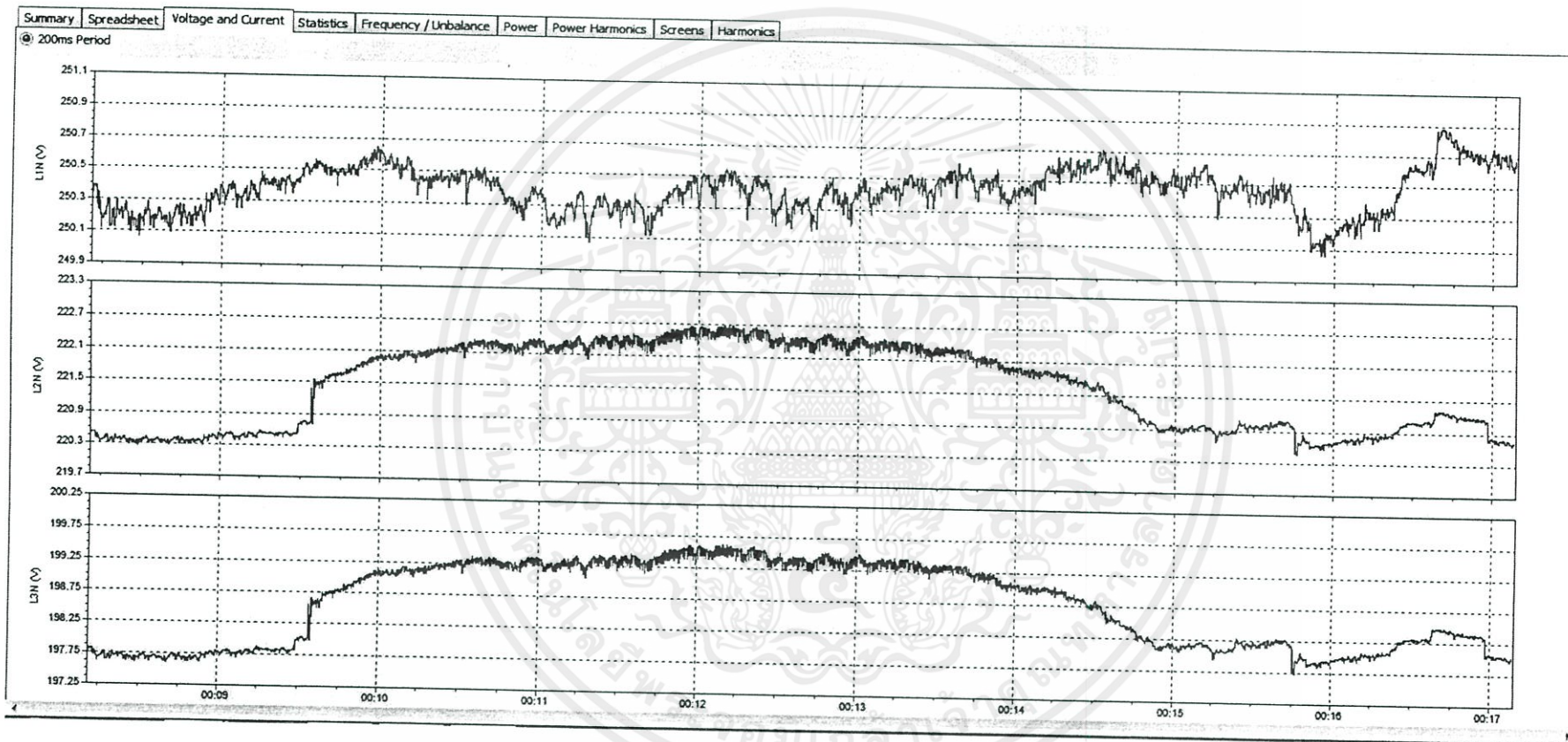
จากรูปที่ ข-75 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-76 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-77 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-75

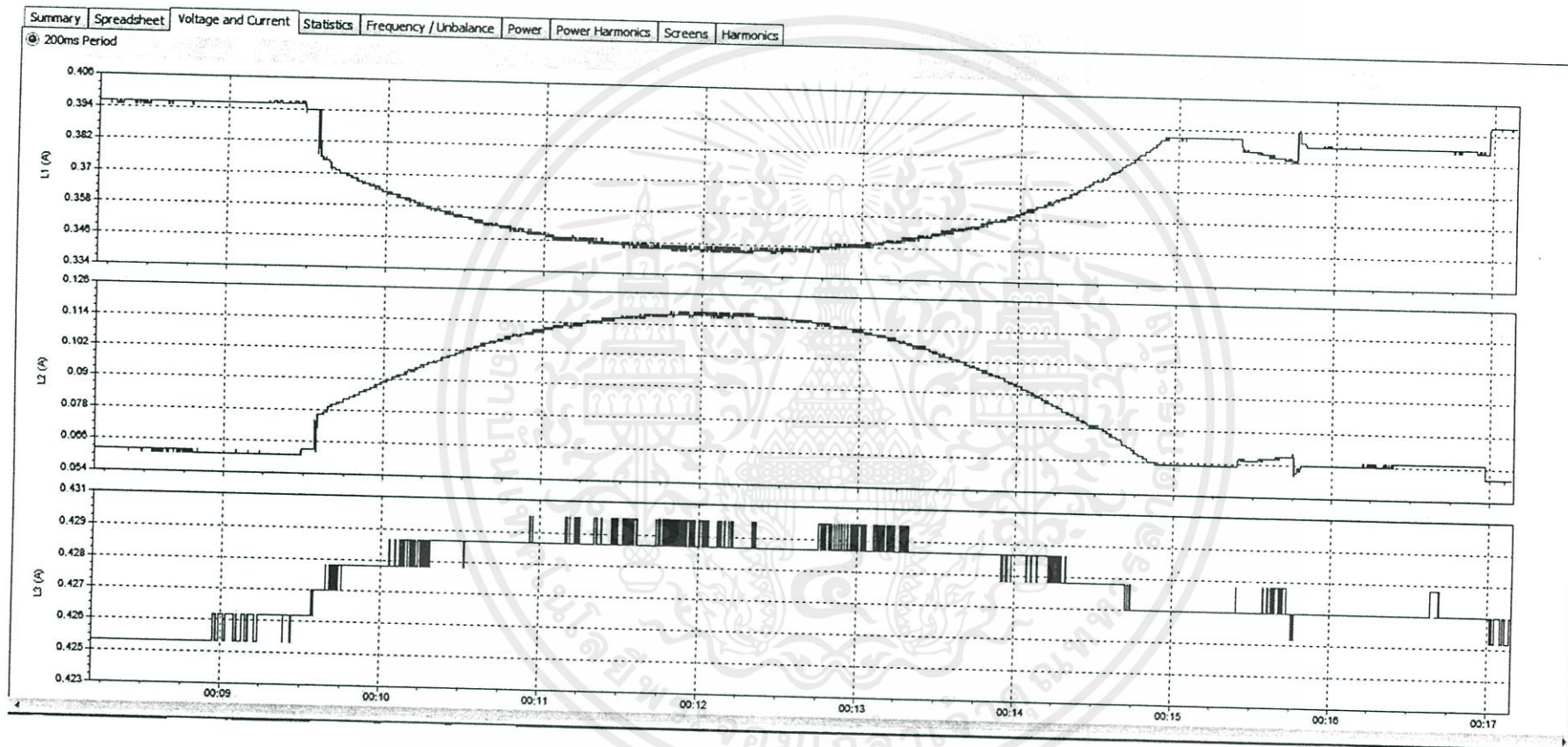
จากรูปที่ ข-78 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



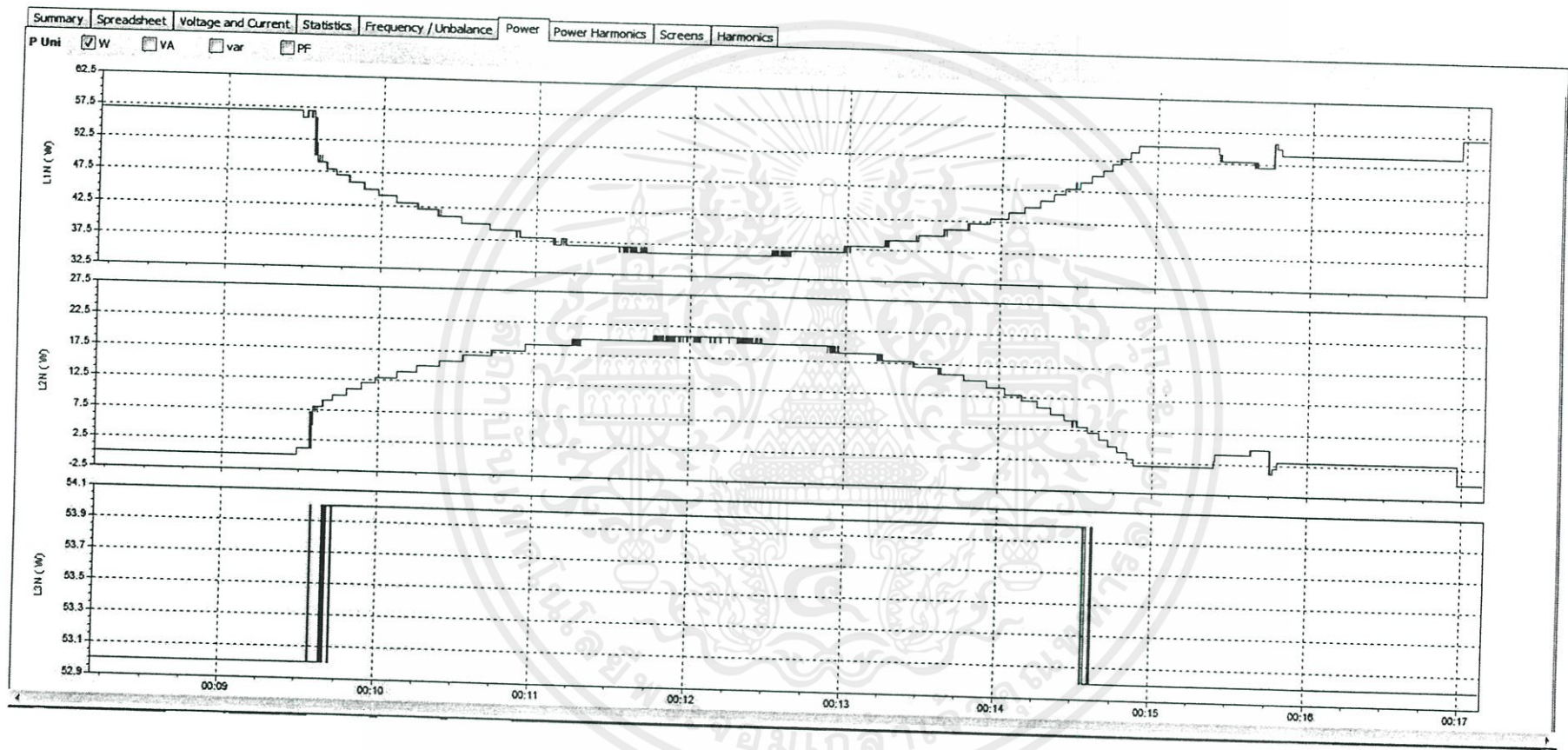
รูปที่ ข-79 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



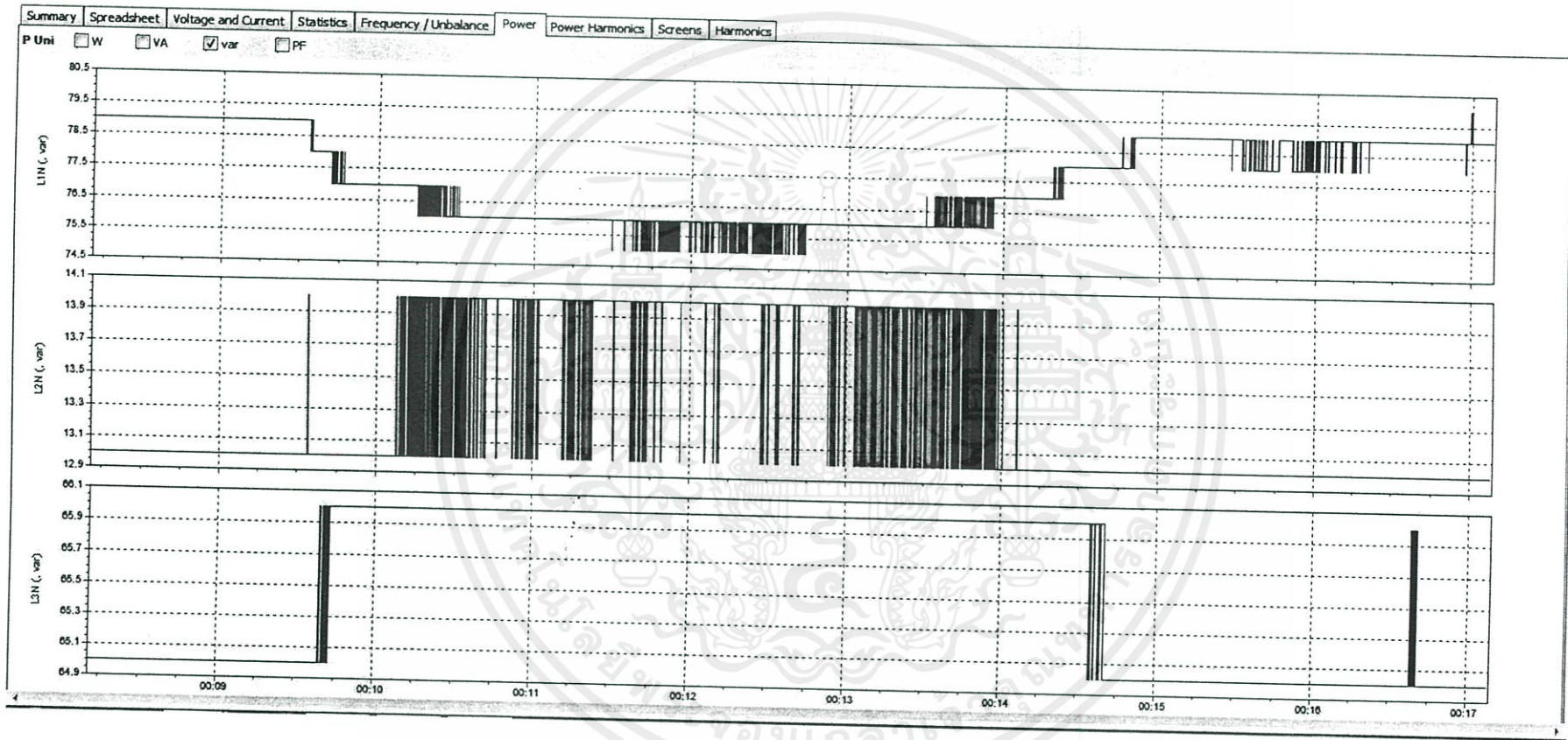
รูปที่ ข-80 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



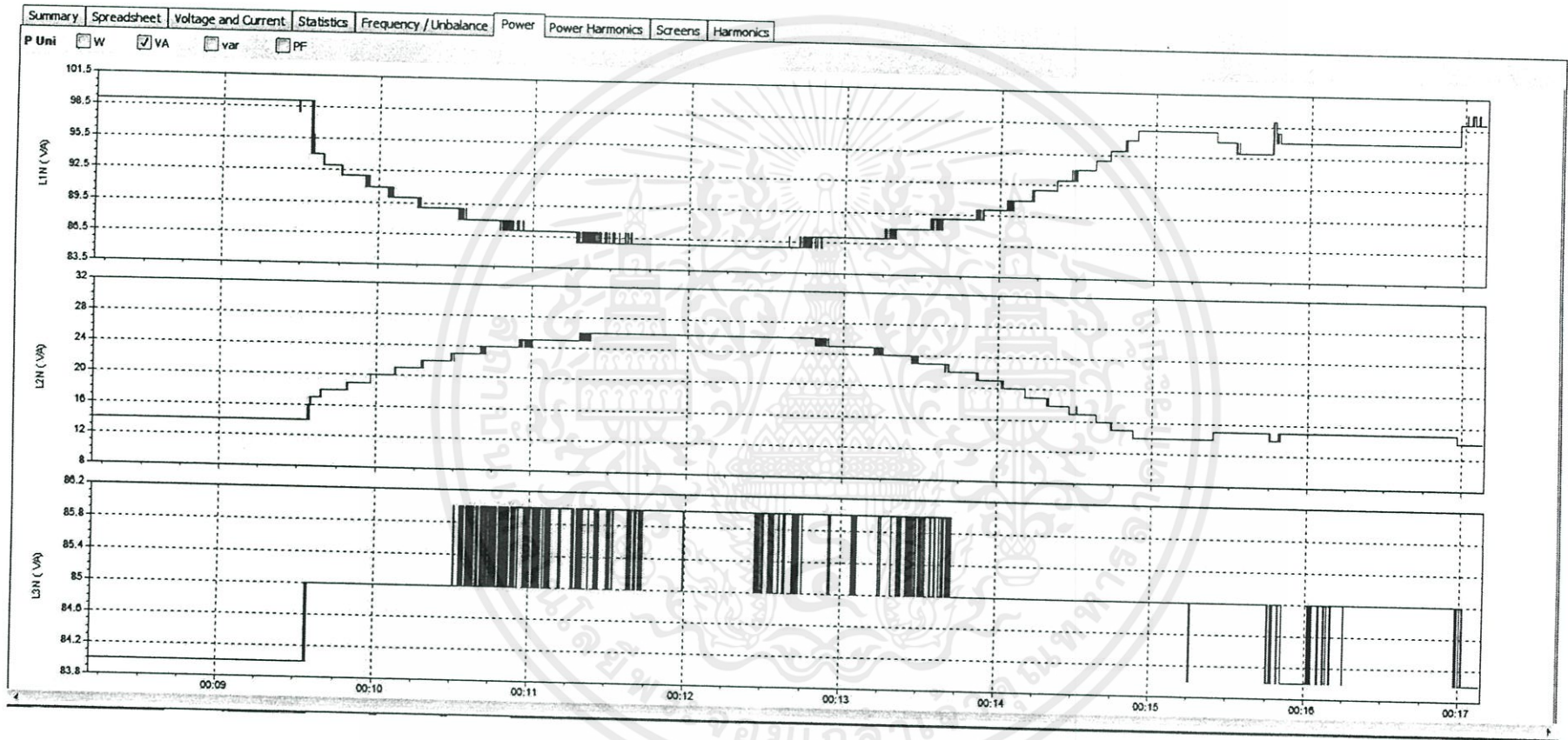
รูปที่ ข-81 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



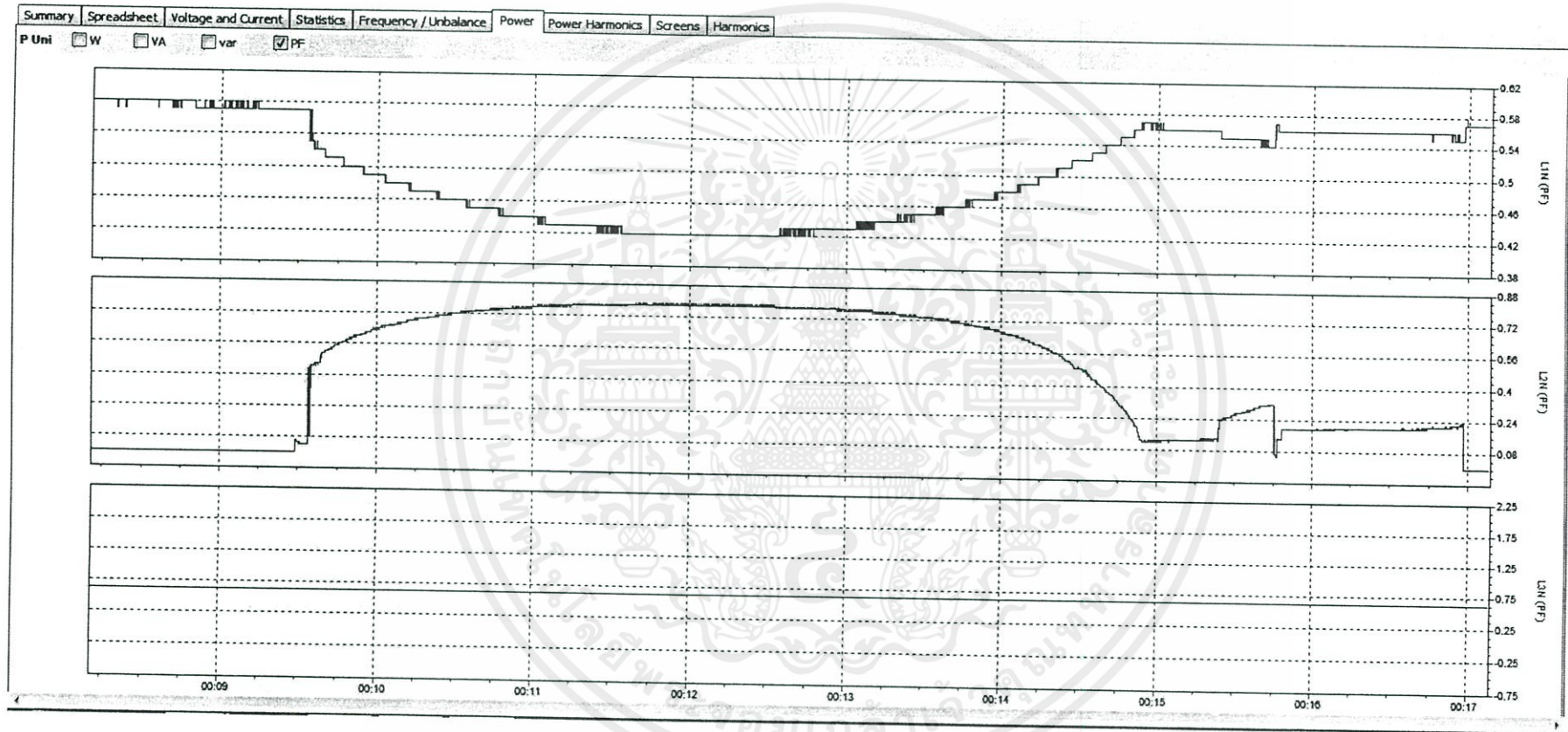
รูปที่ ข-82 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-83 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-84 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูป ข-79 ถึง ข-84 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 80 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 197 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.15

จากรูปที่ ข-79เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-80 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

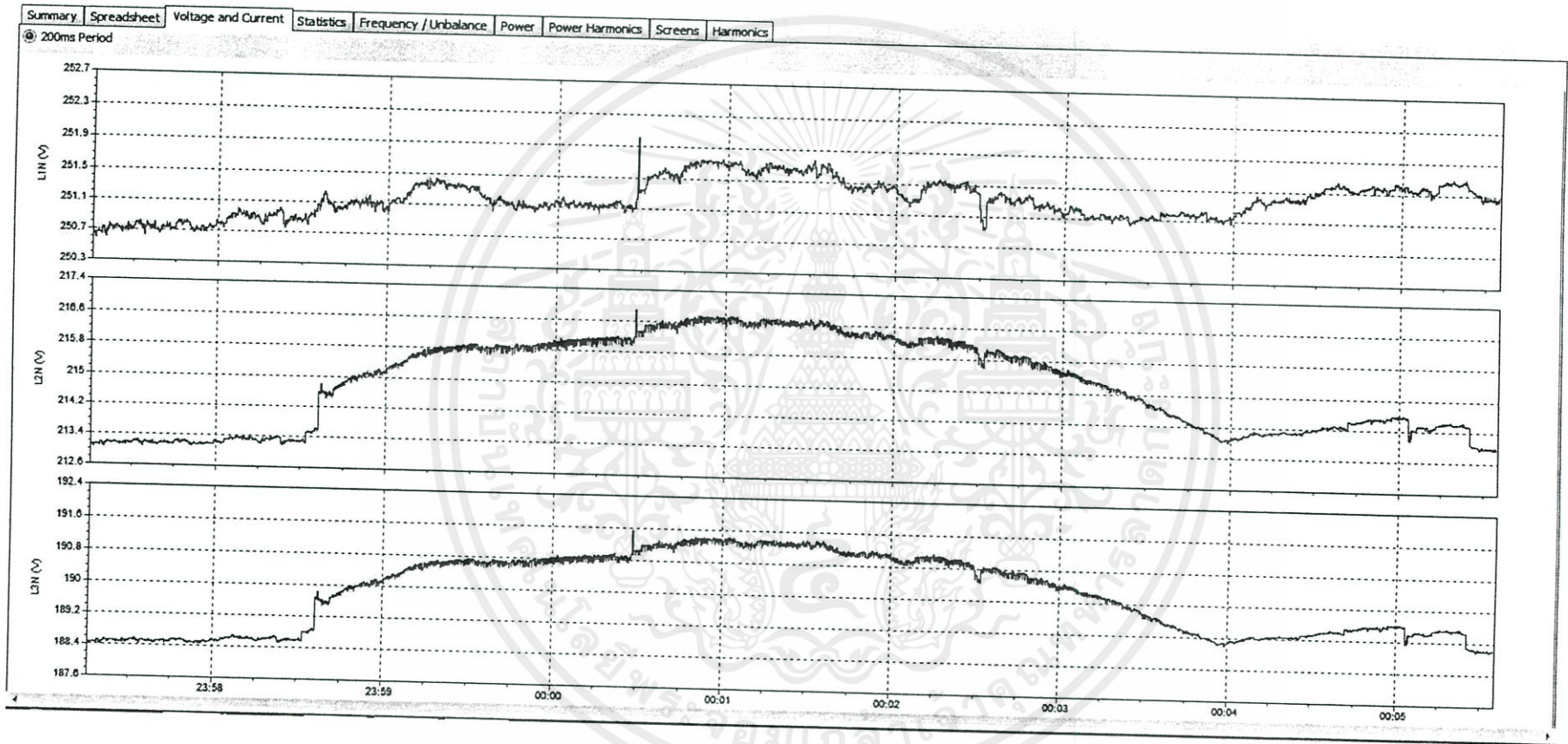
จากรูปที่ ข-81 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-82 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-83 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-81

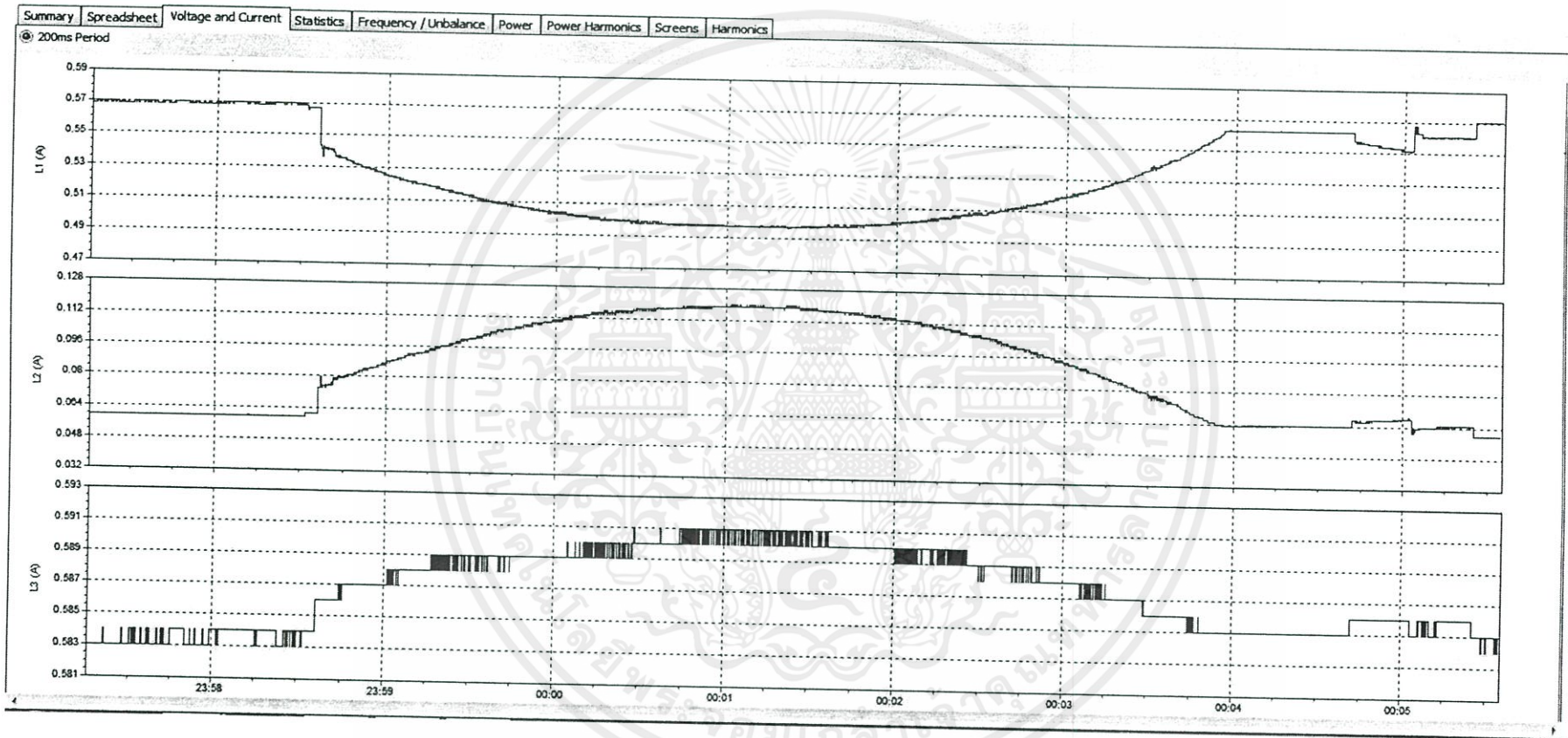
จากรูปที่ ข-84เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



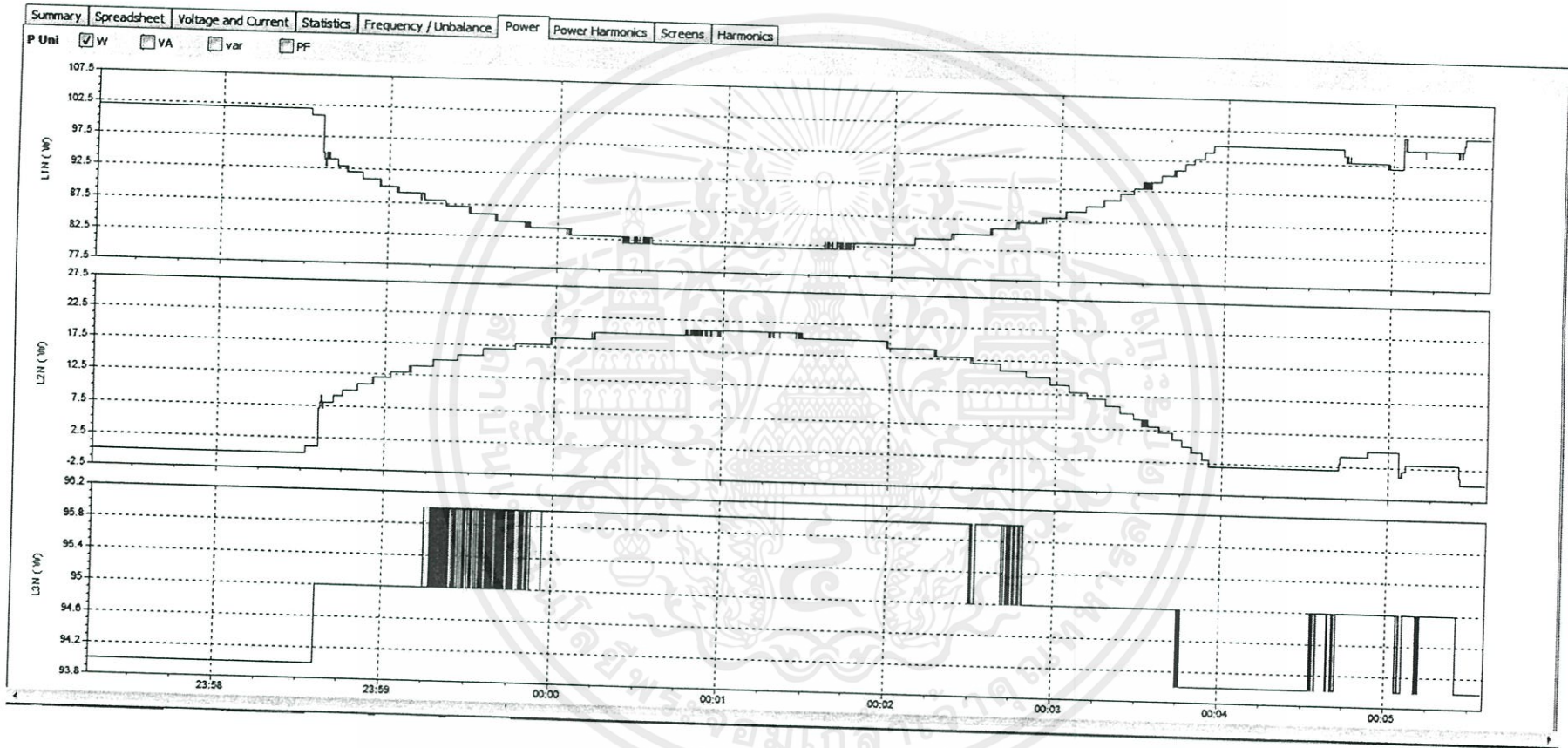
รูปที่ ข-85 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



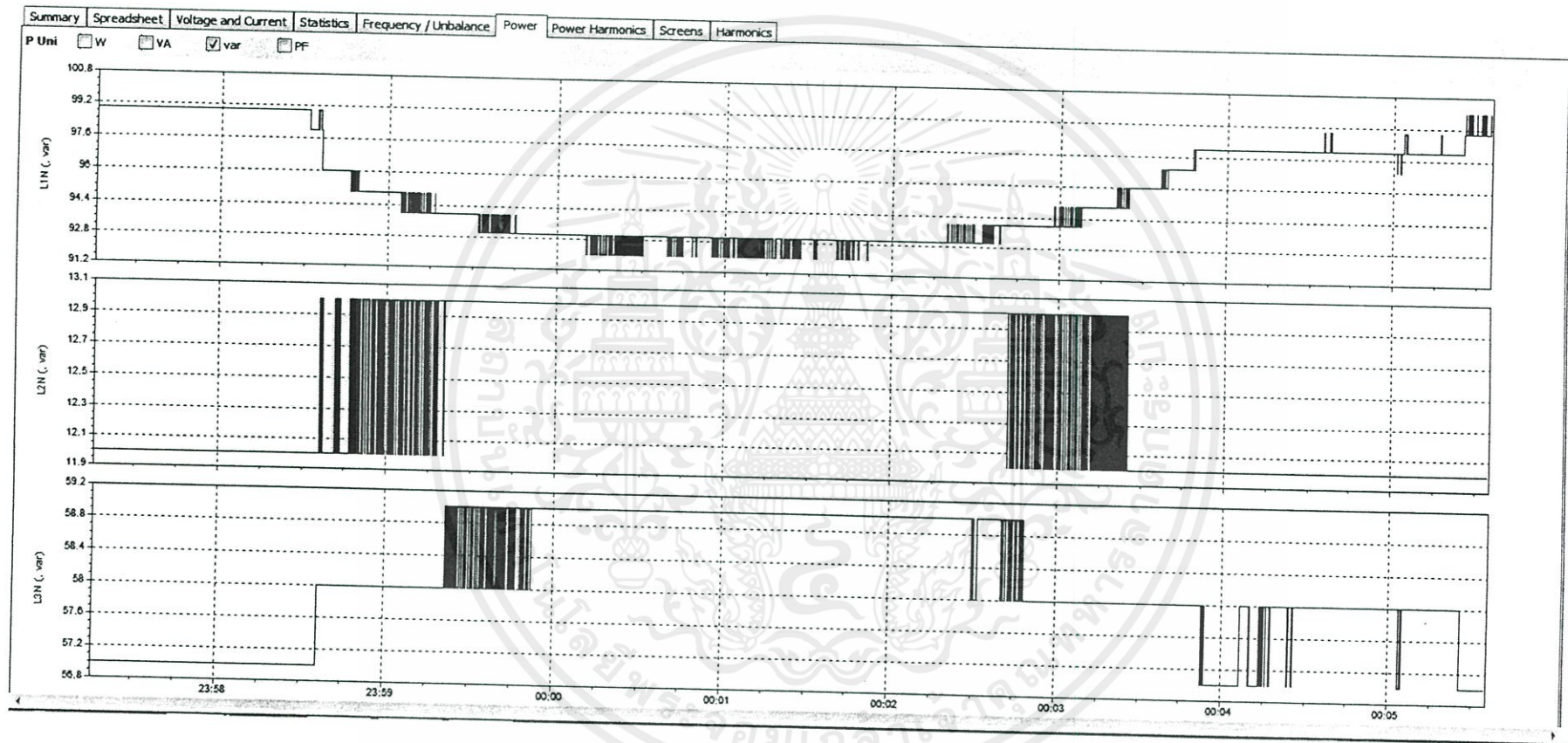
รูปที่ ข-86 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะเวลาเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



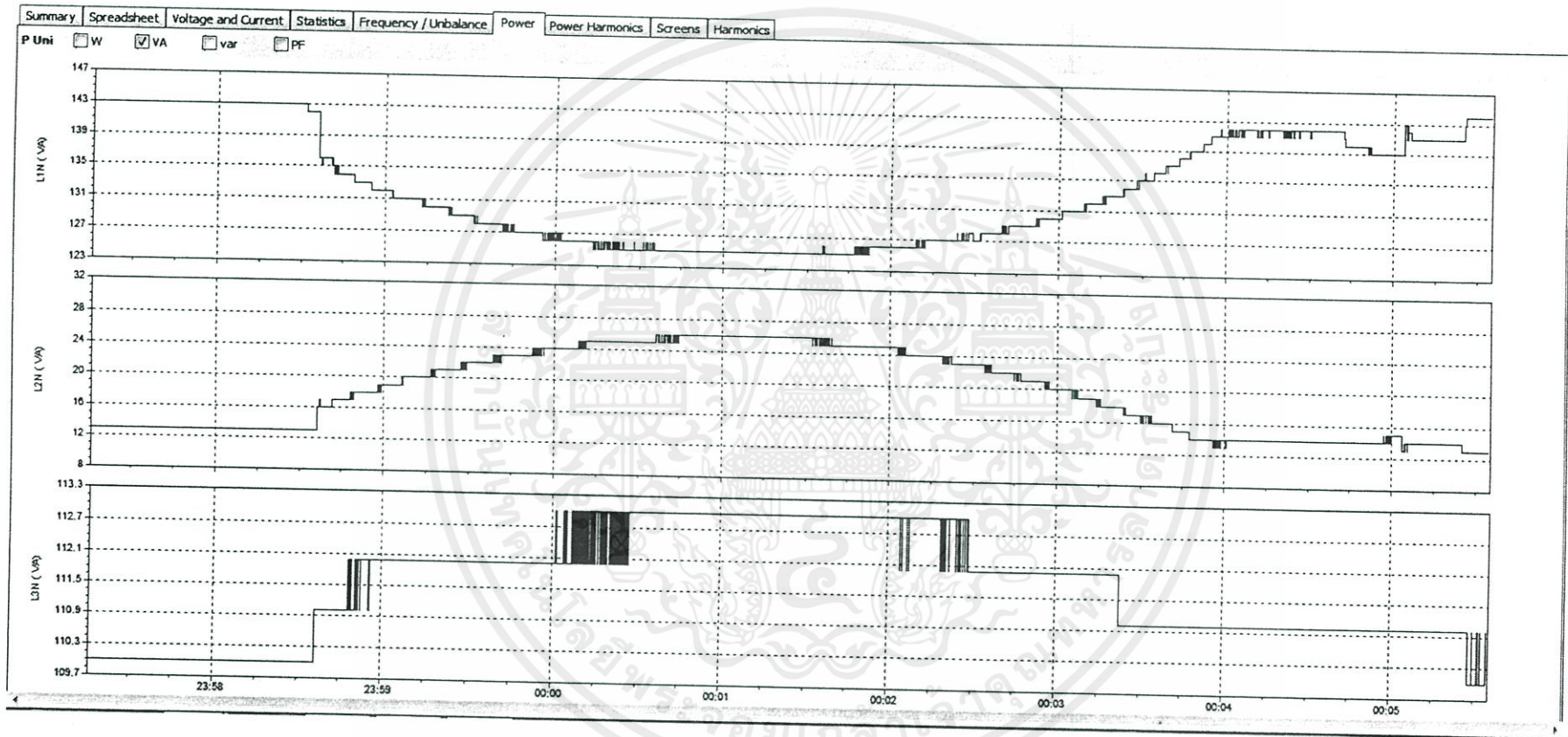
รูปที่ ข-87 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

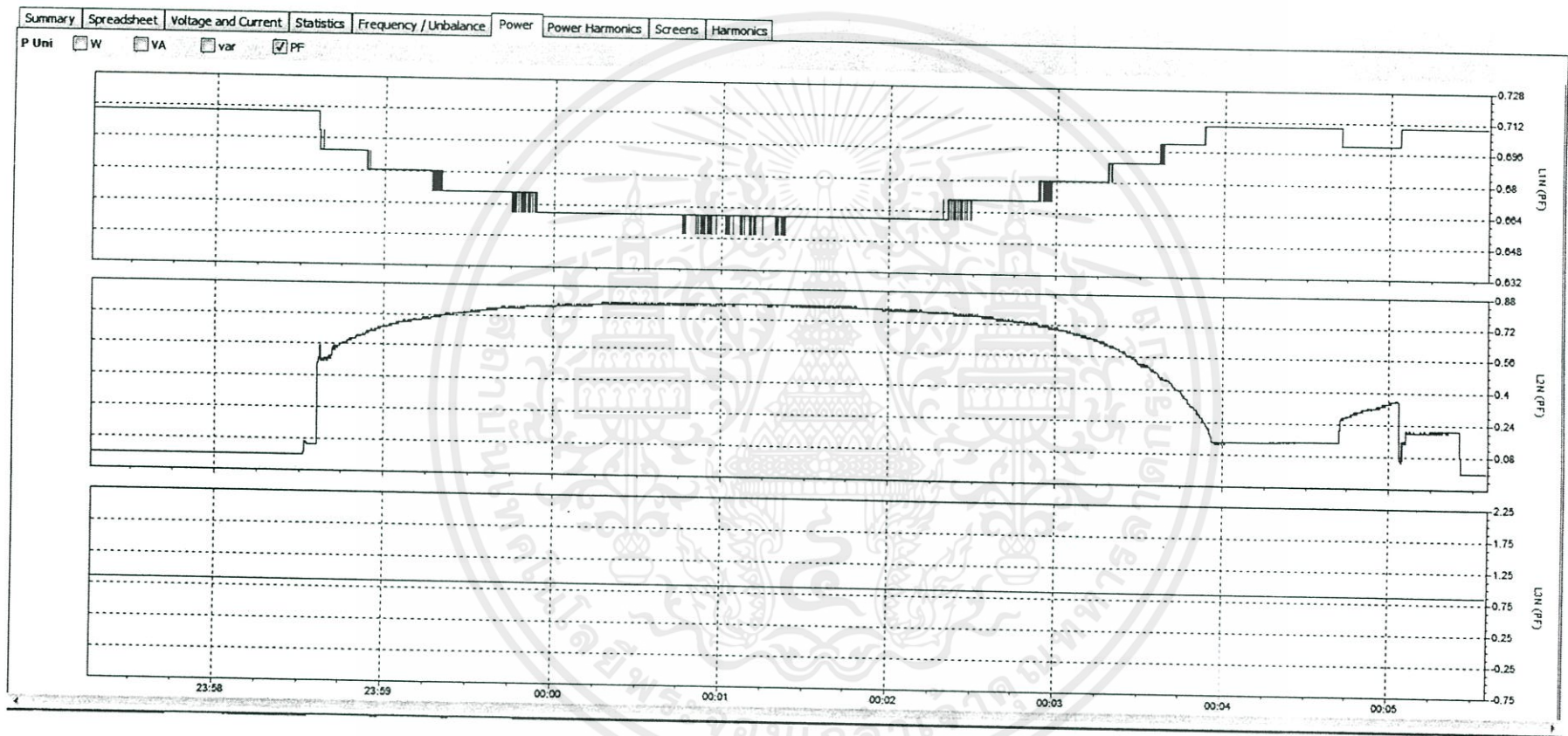


รูปที่ ข-88 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เพอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-89 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ
 ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-90 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-85 ถึง ข-90 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 20 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 140 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 189 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.16

จากรูปที่ ข-85 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-86 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

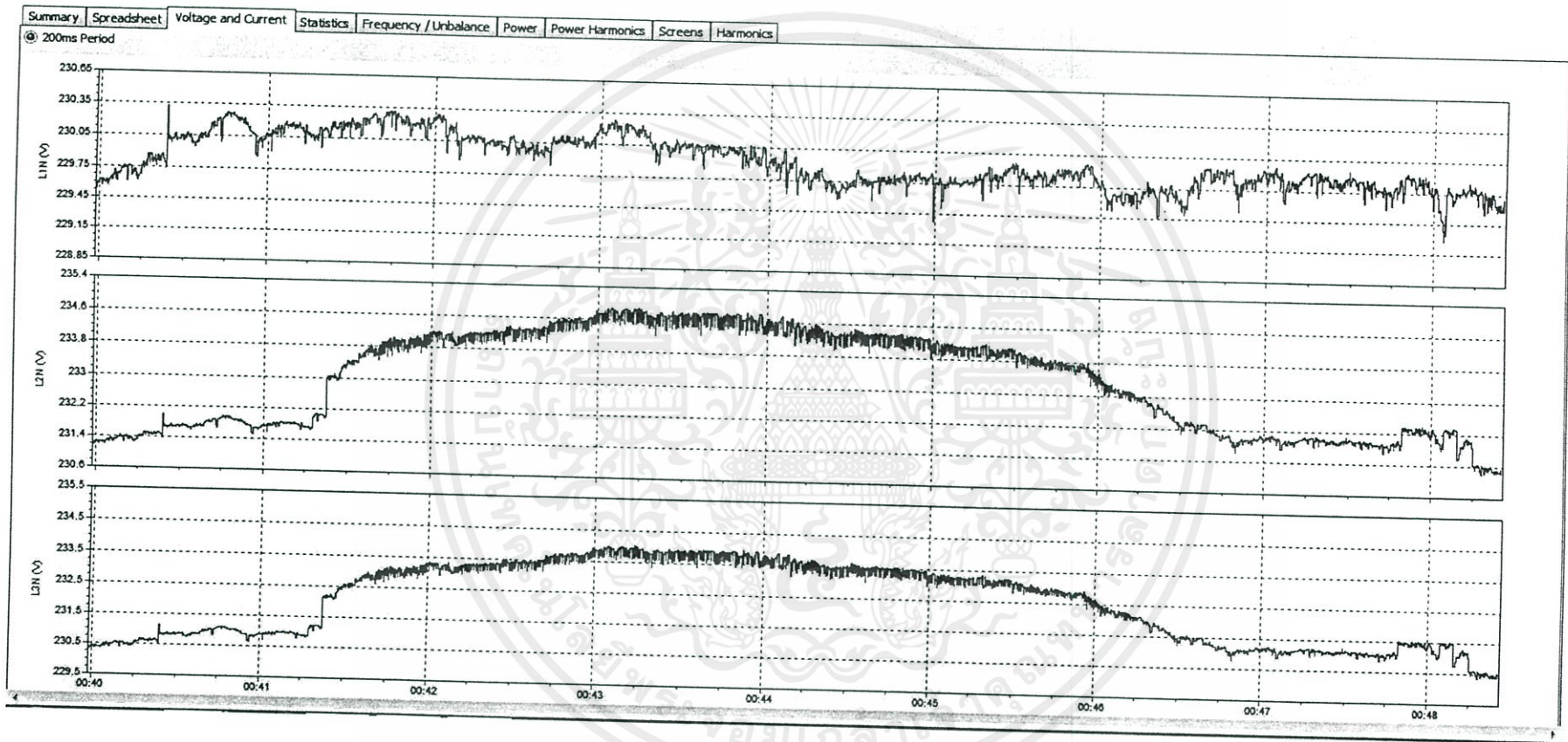
จากรูปที่ ข-87 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-88 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

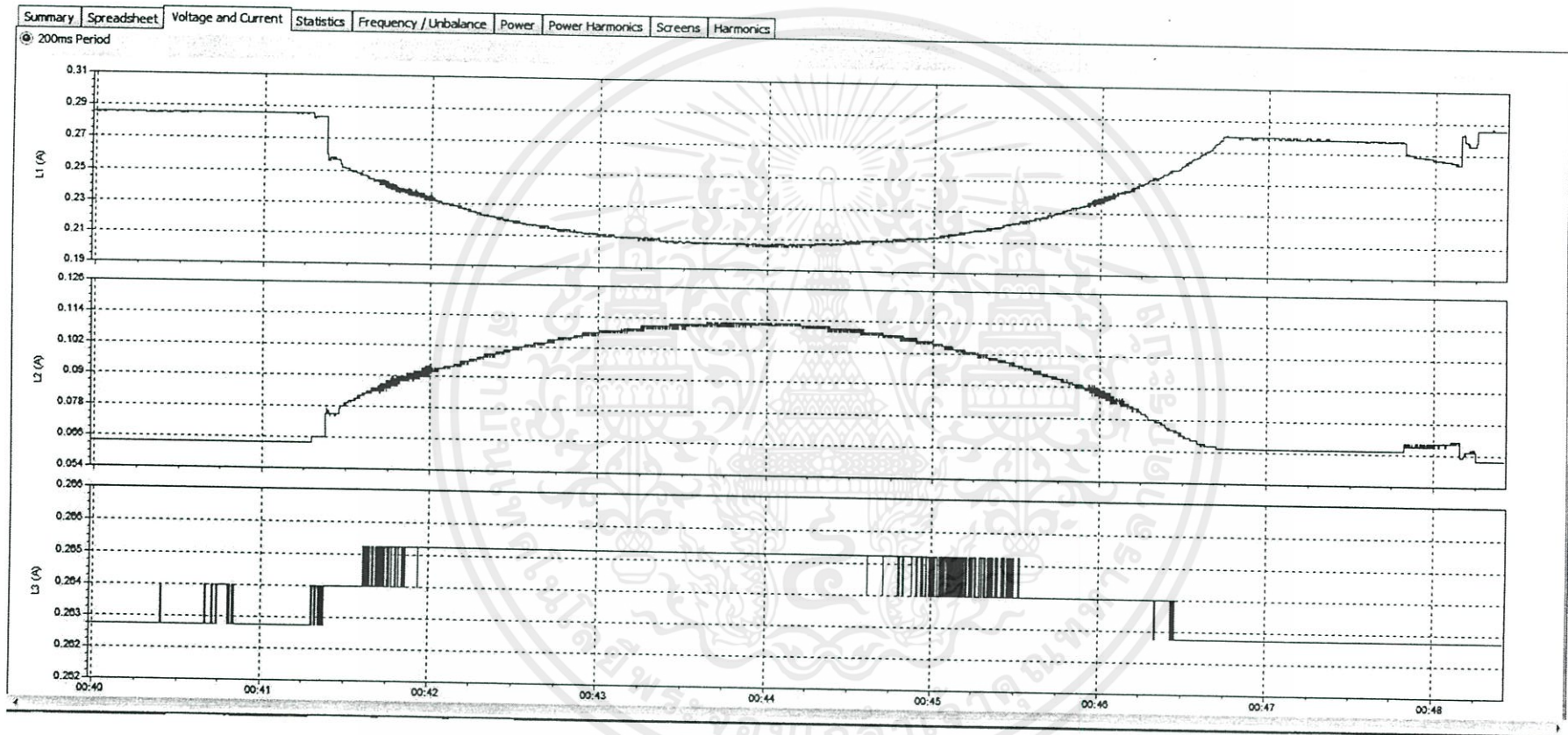
จากรูปที่ ข-89 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-86

จากรูปที่ ข-90 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

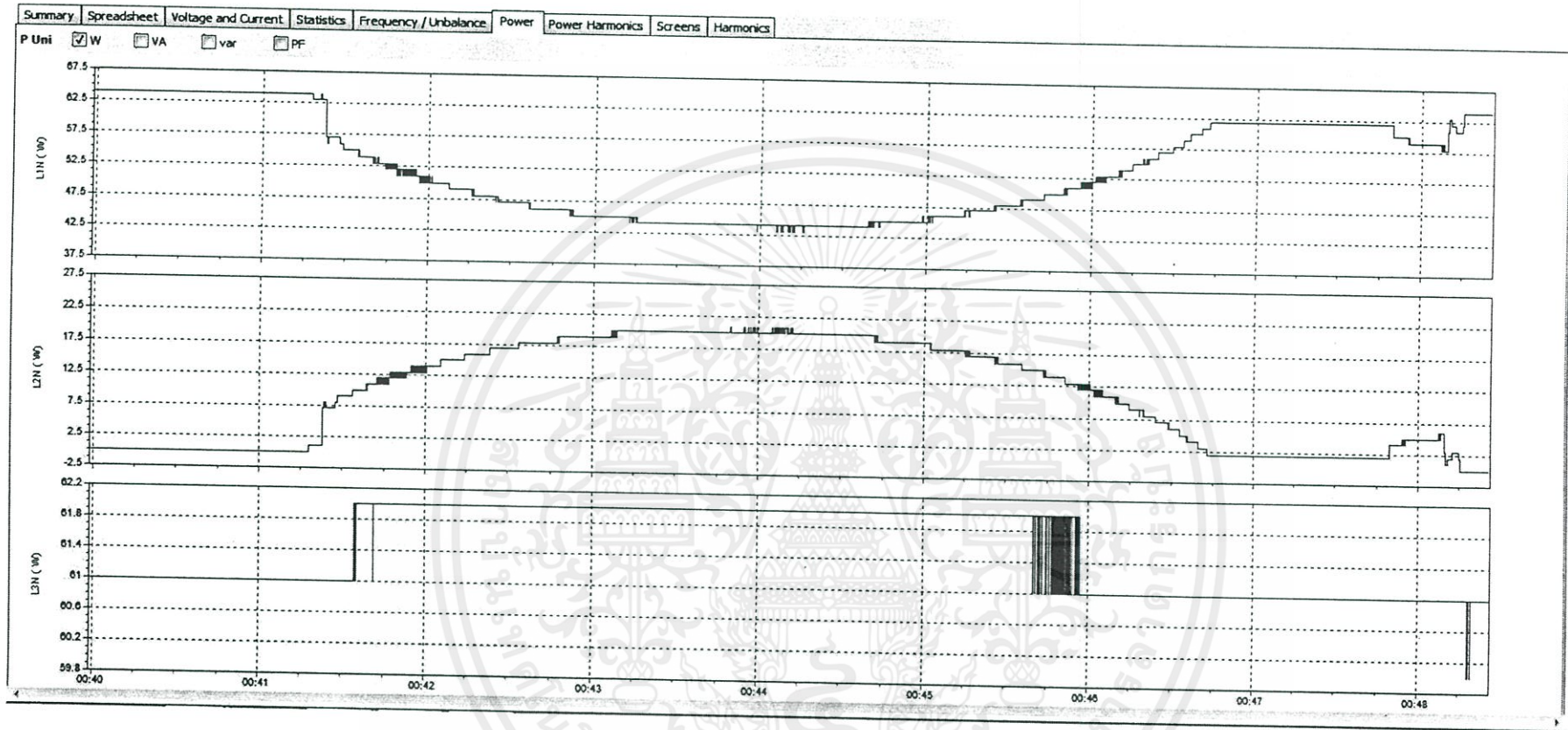
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



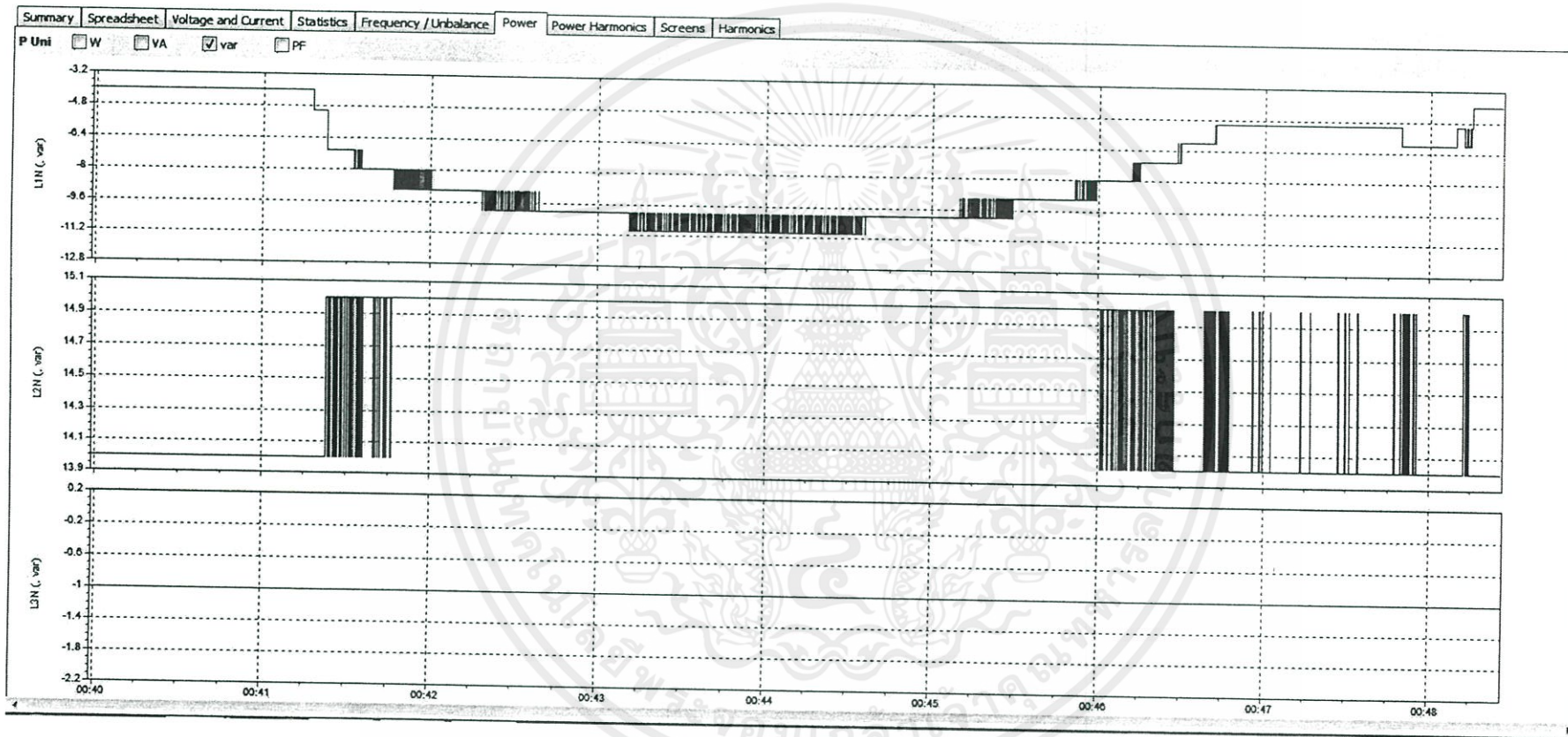
รูปที่ ข-91 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-92 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์

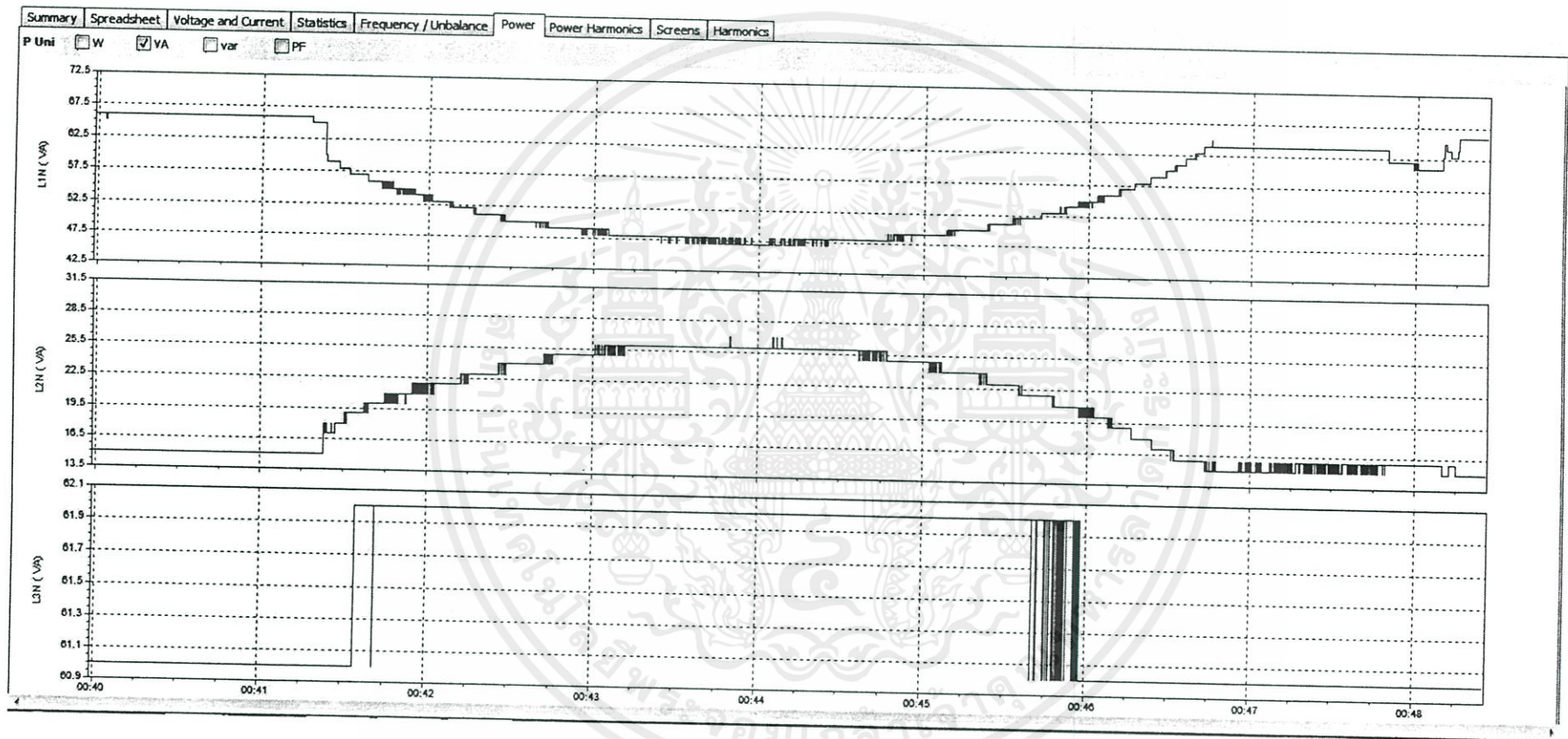


รูปที่ ข-93 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เพอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์



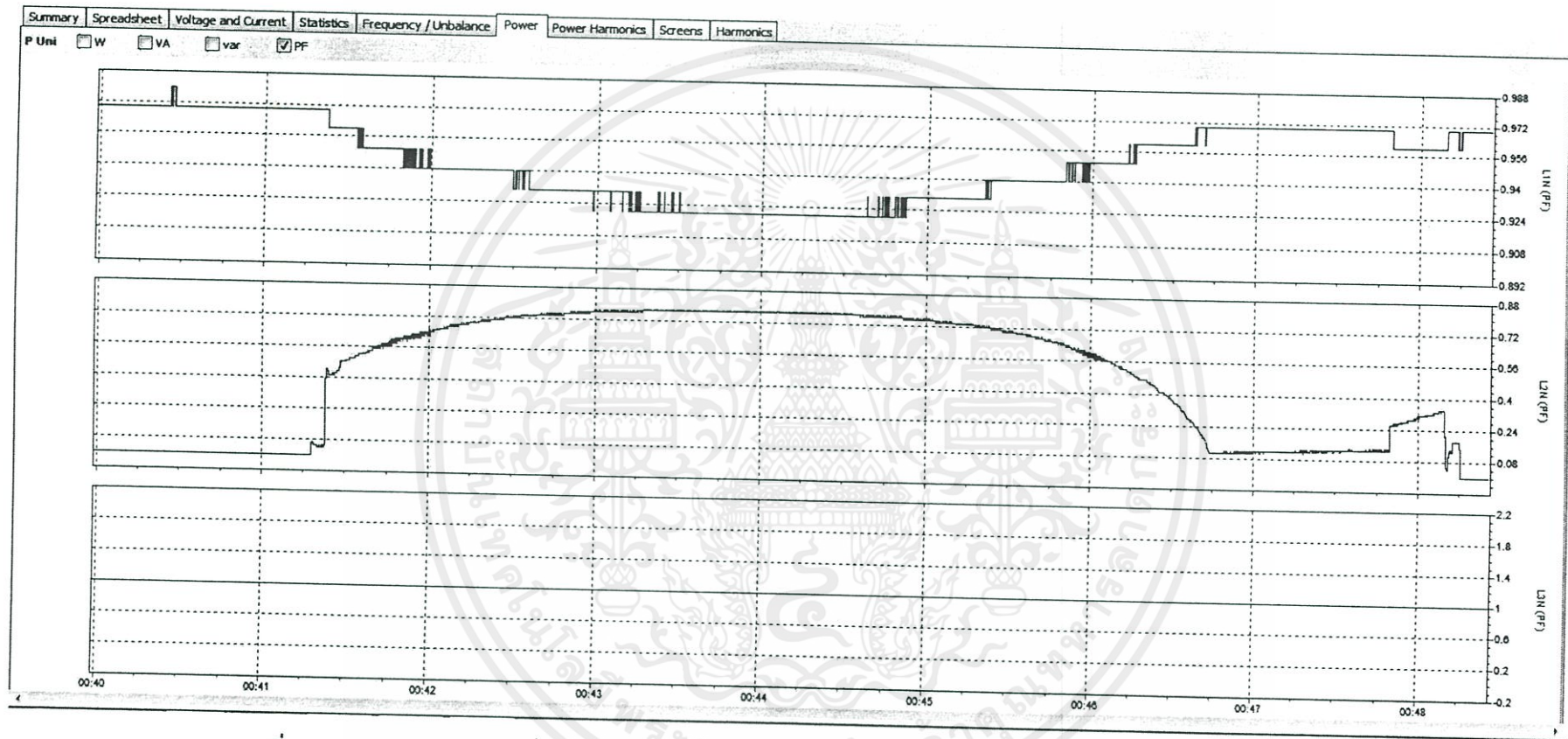
รูปที่ ข-94 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-95 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์



รูปที่ ข-96 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์

จากรูปที่ ข-91 ถึง ข-96 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.17

จากรูปที่ ข-91 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-92 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ฝั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

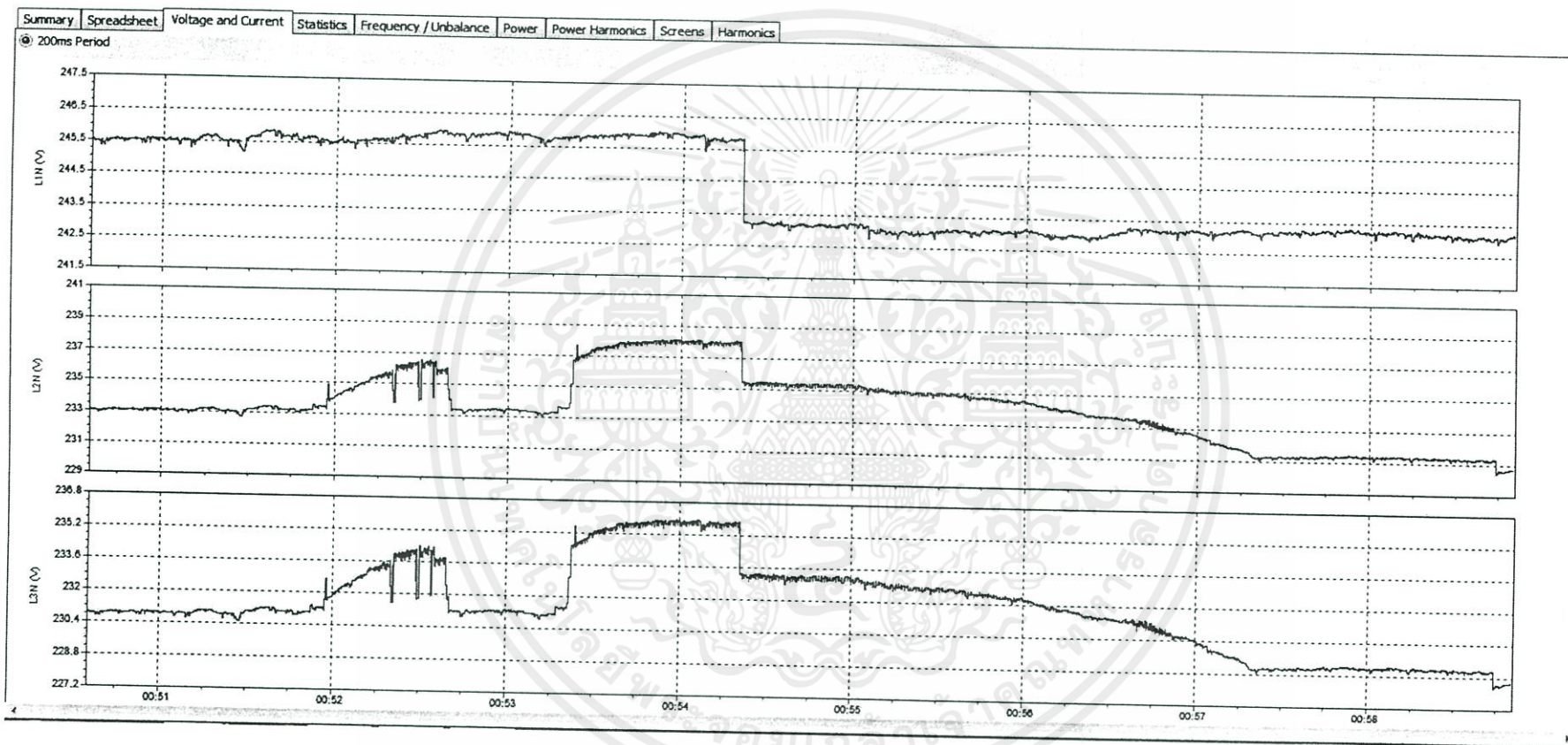
จากรูปที่ ข-93 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-94 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

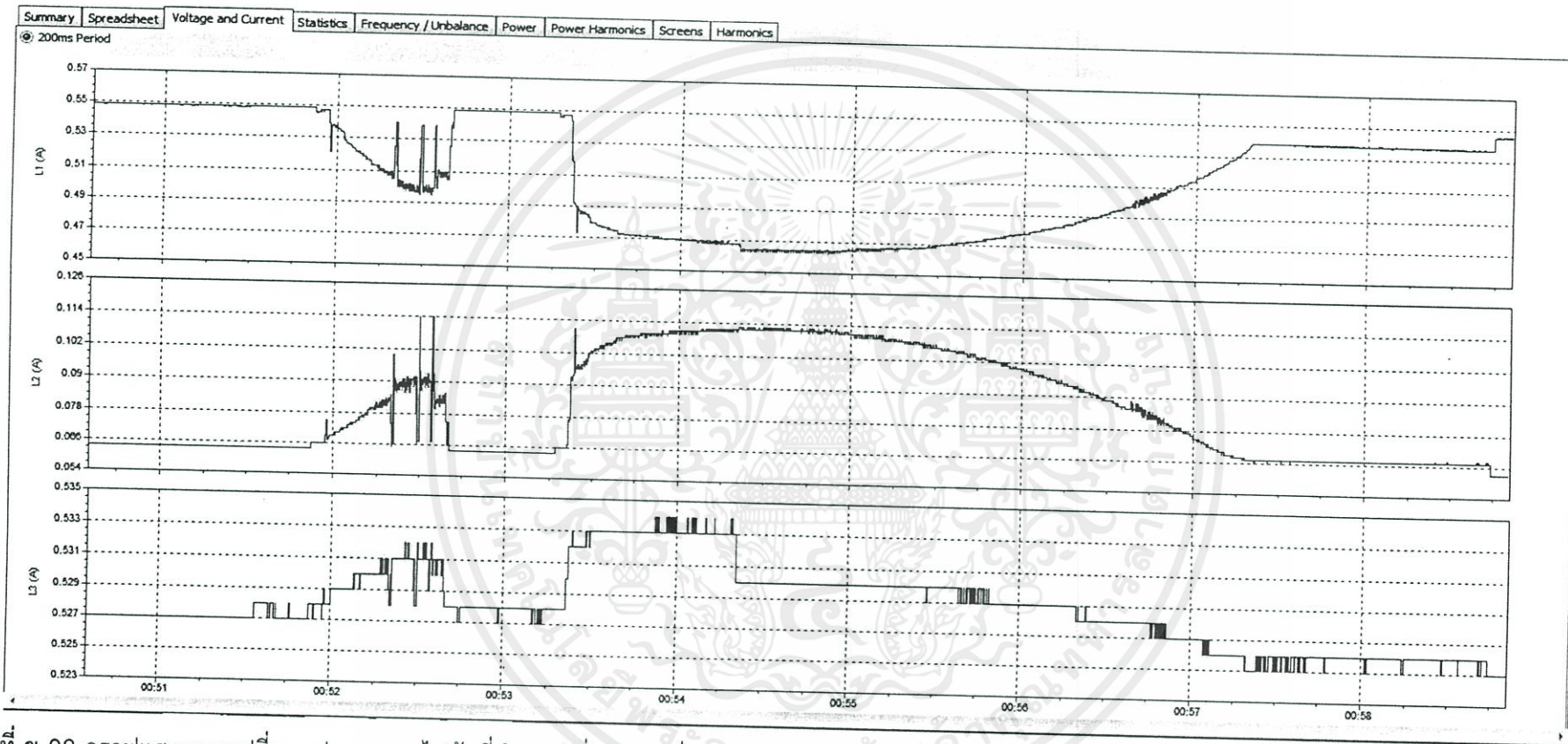
จากรูปที่ ข-95 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-93

จากรูปที่ ข-96 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

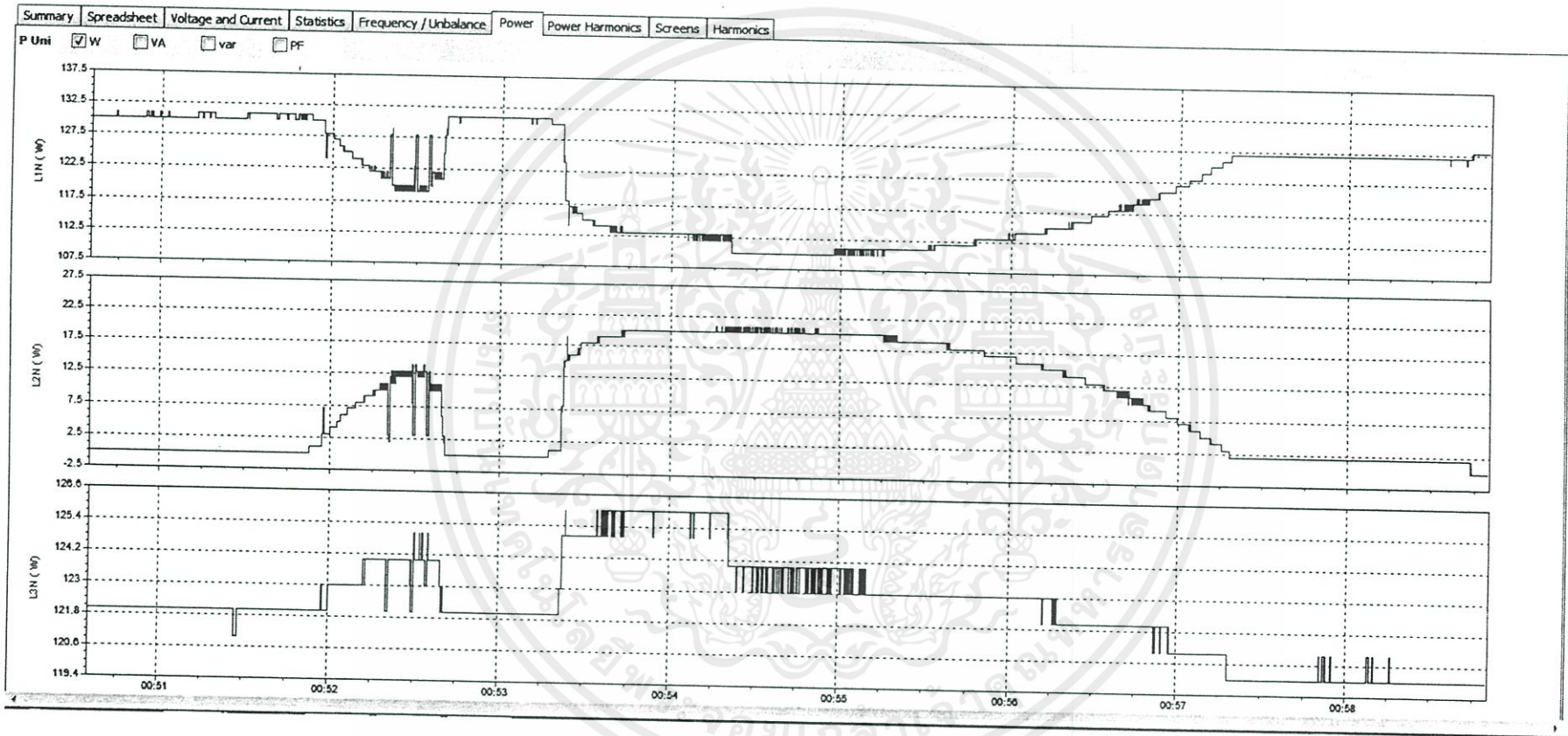
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



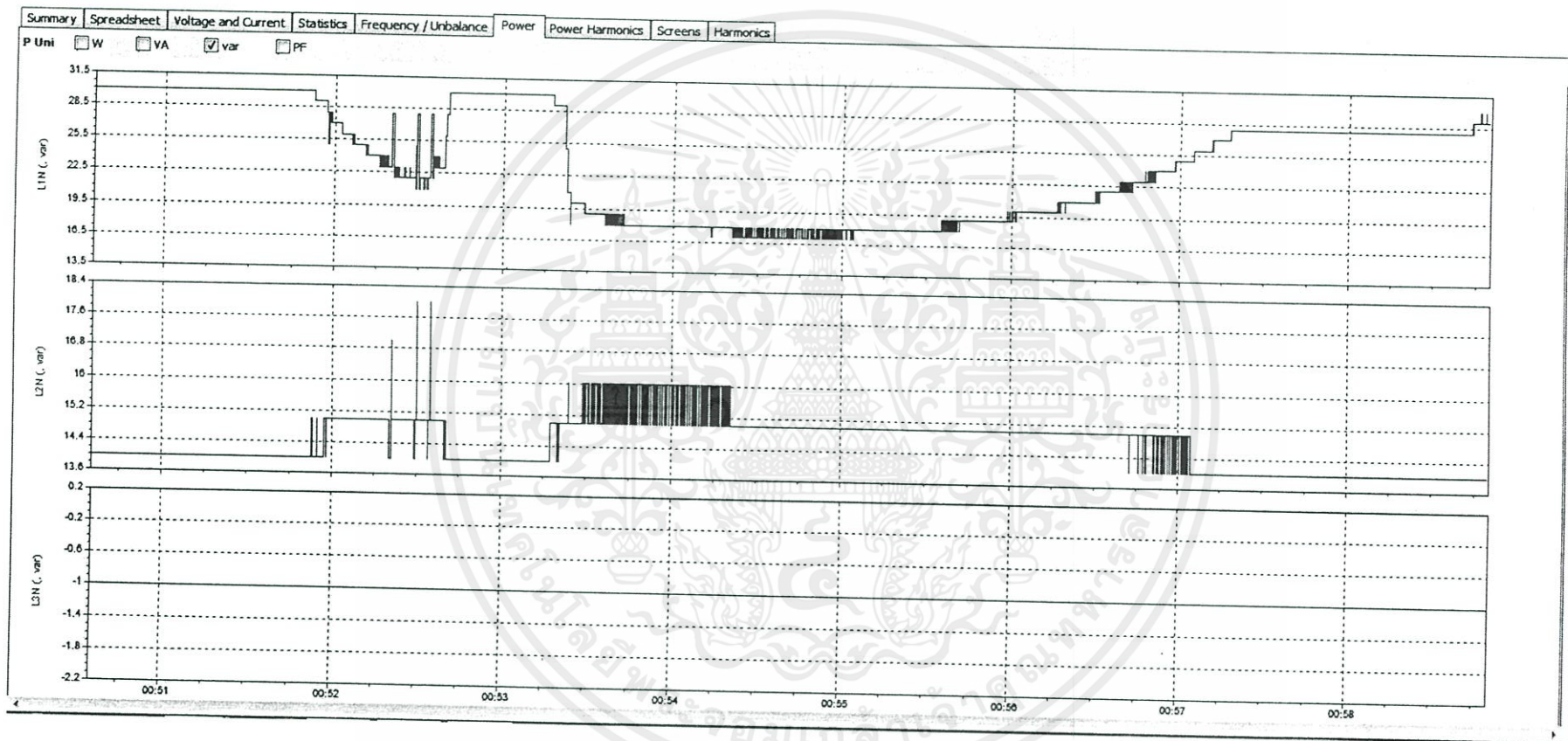
รูปที่ ข-97 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-98 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

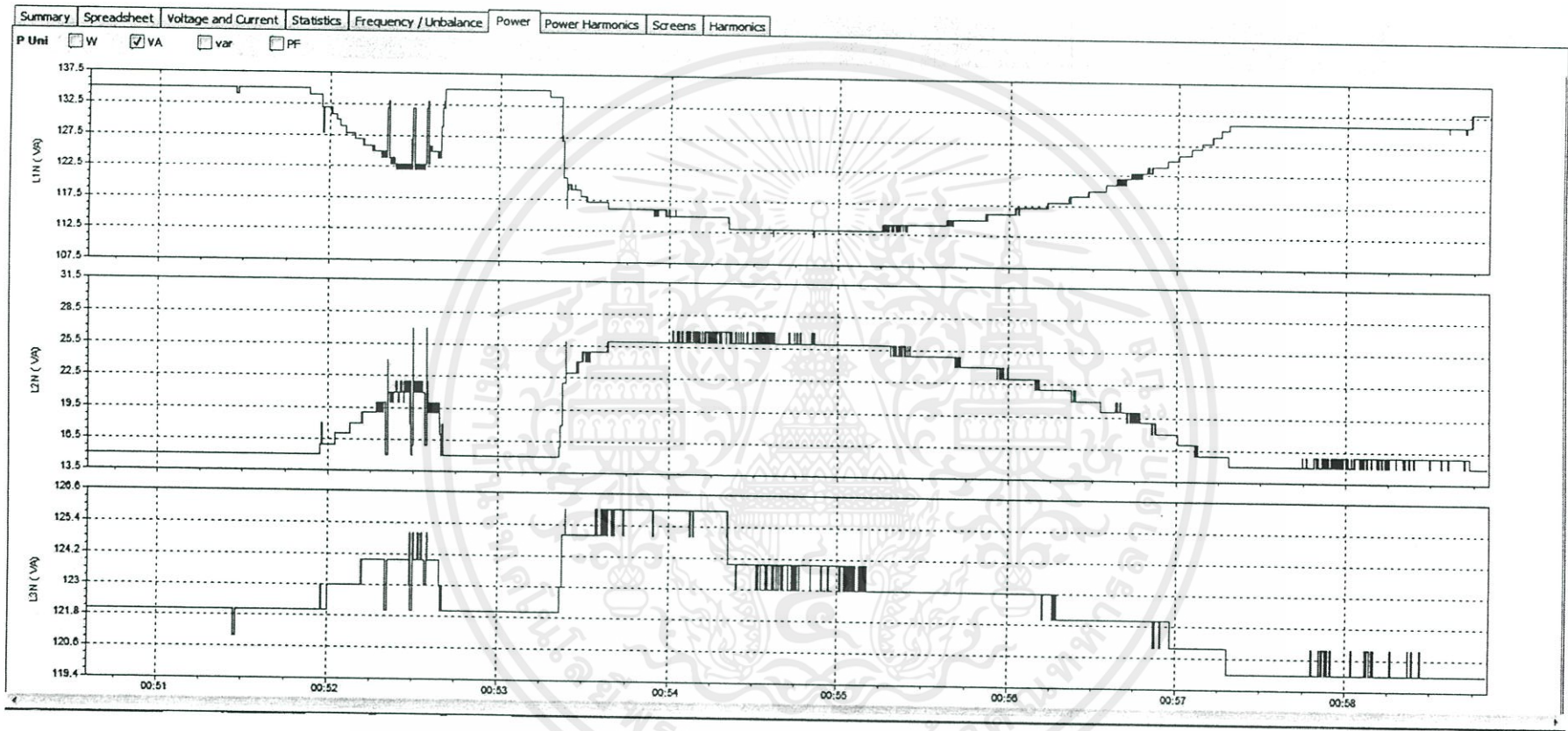


รูปที่ ข-99 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



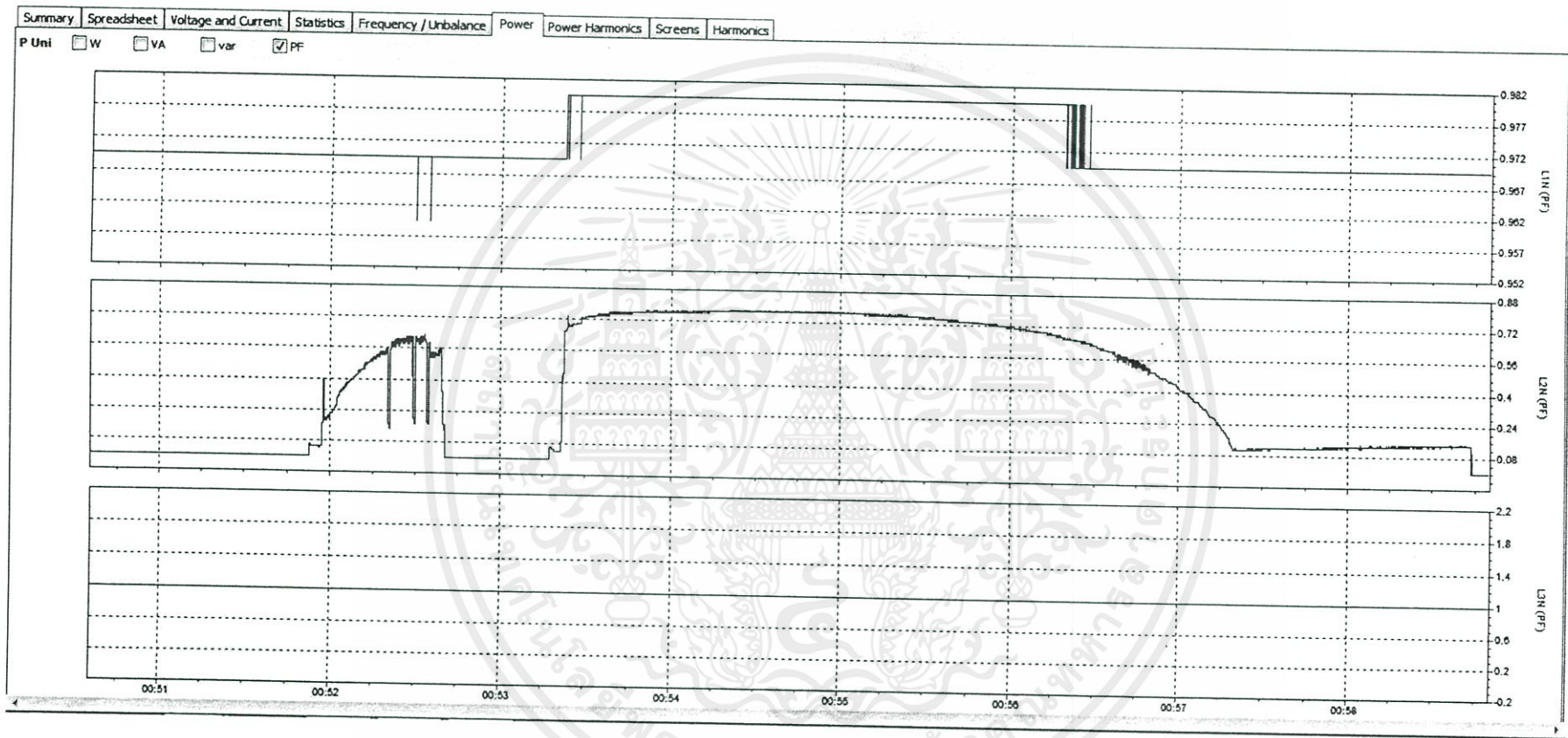
รูปที่ ข-100 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-101 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์



รูปที่ ข-102 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์

จากรูปที่ ข-96 ถึง ข-102 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 120 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 230 โวลต์ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.18

จากรูปที่ ข-96 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-97 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

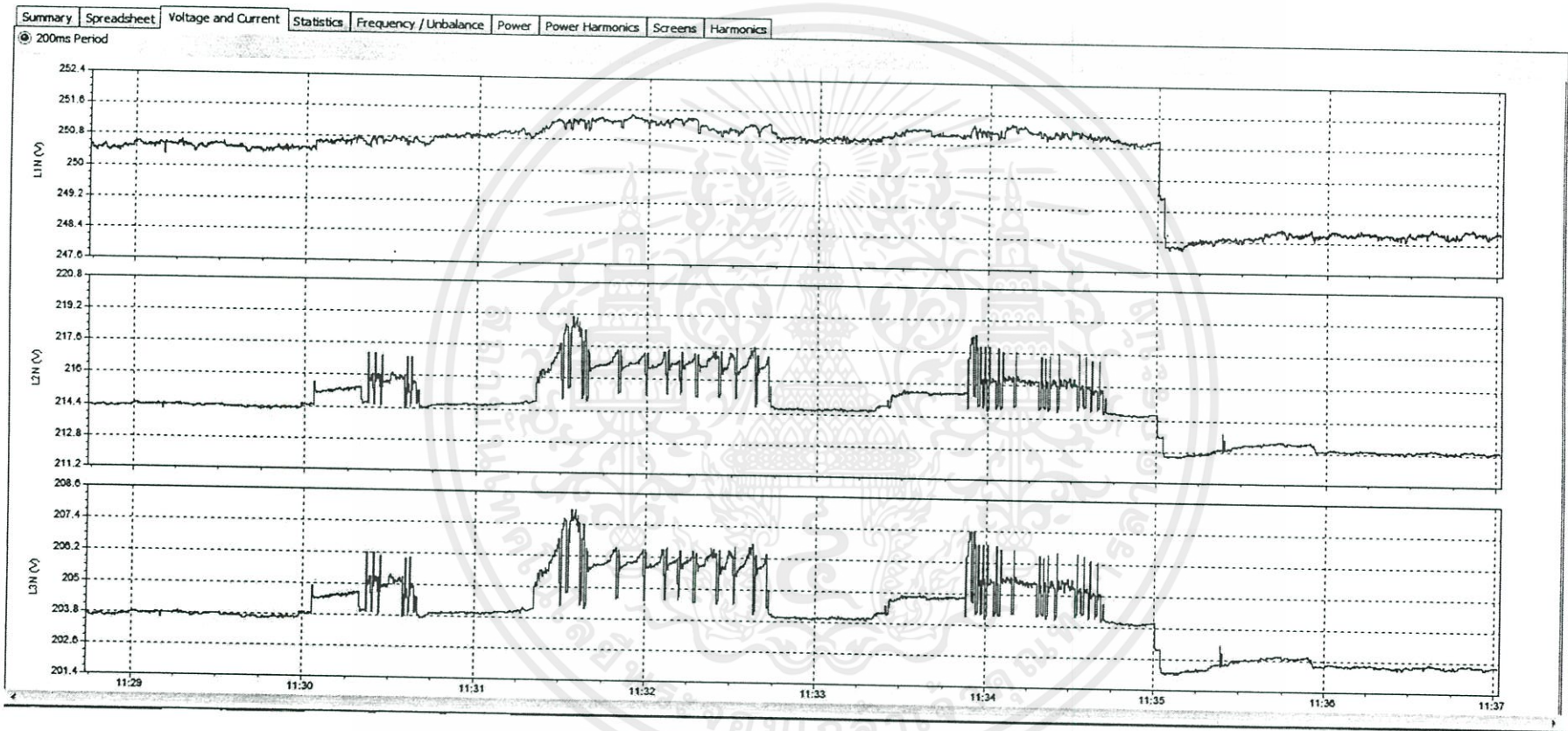
จากรูปที่ ข-98 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-99 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

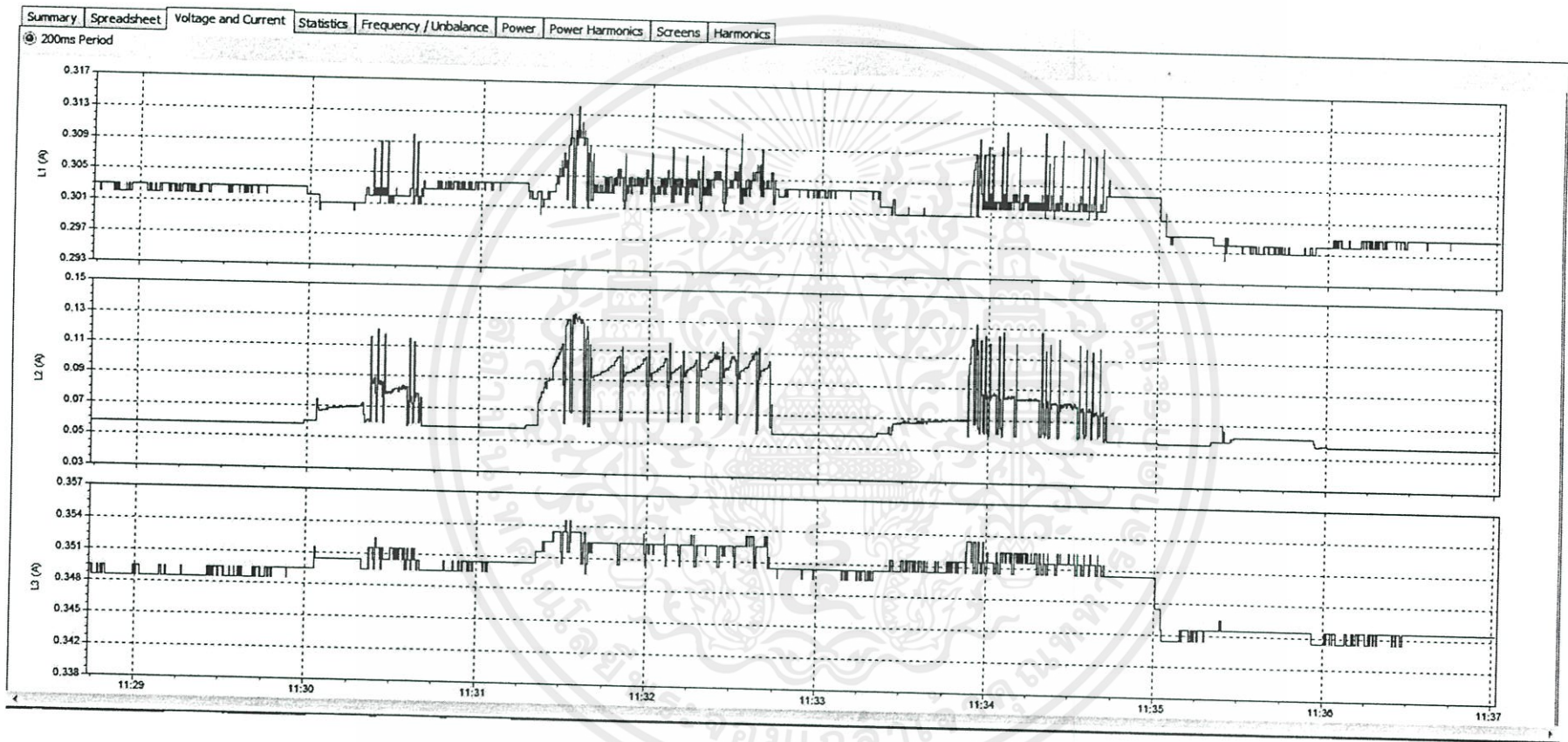
จากรูปที่ ข-101 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ก-98

จากรูปที่ ข-102 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

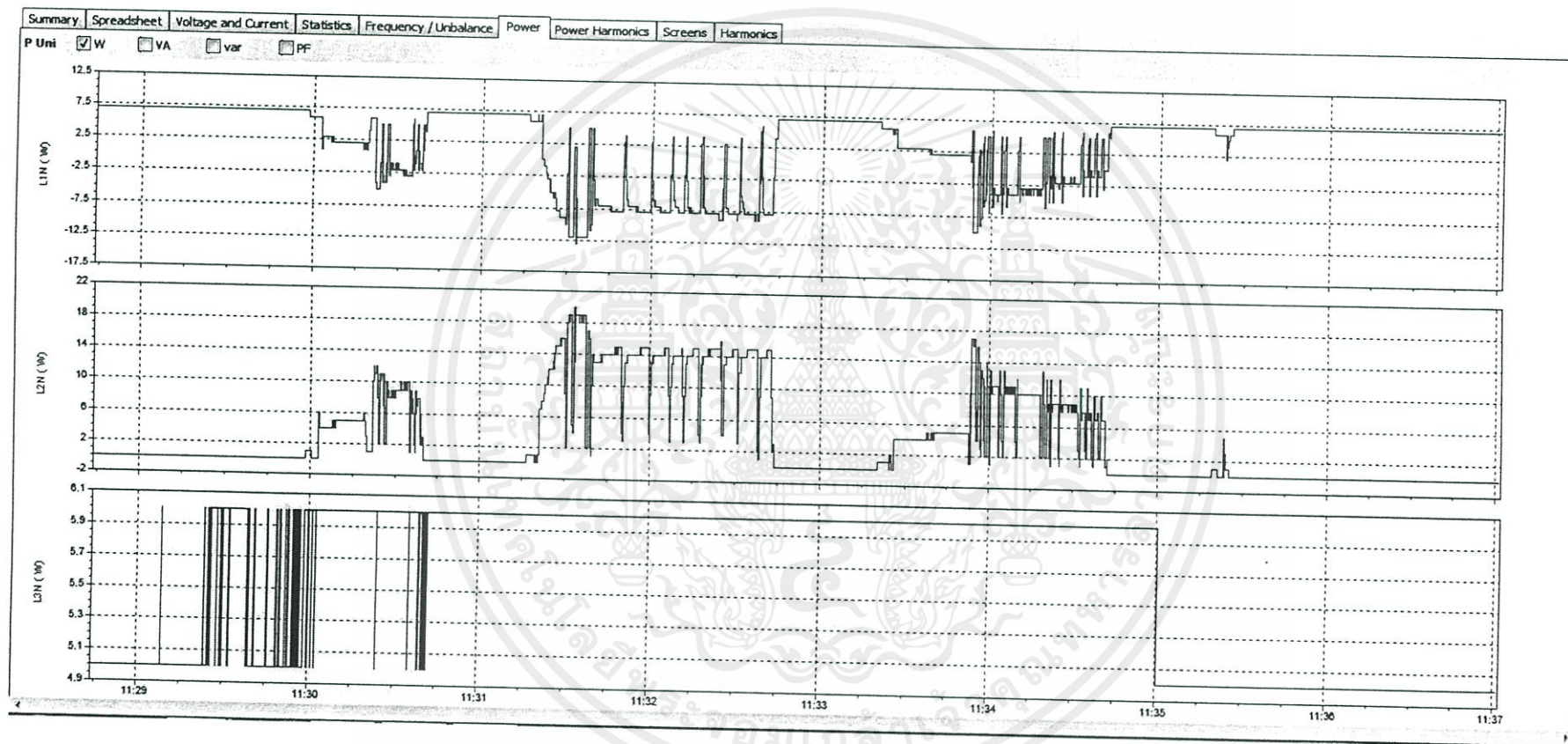
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



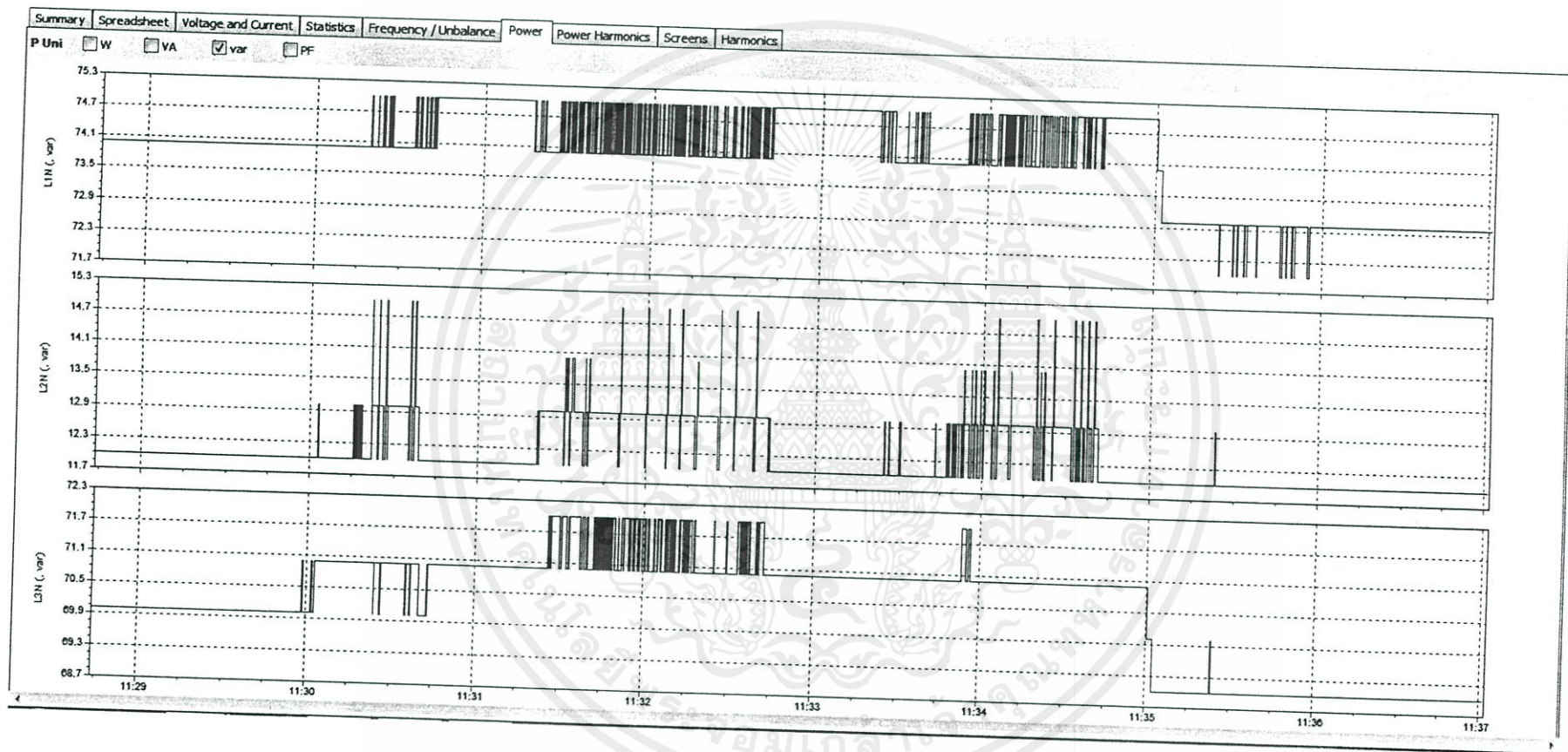
รูปที่ ข-103 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



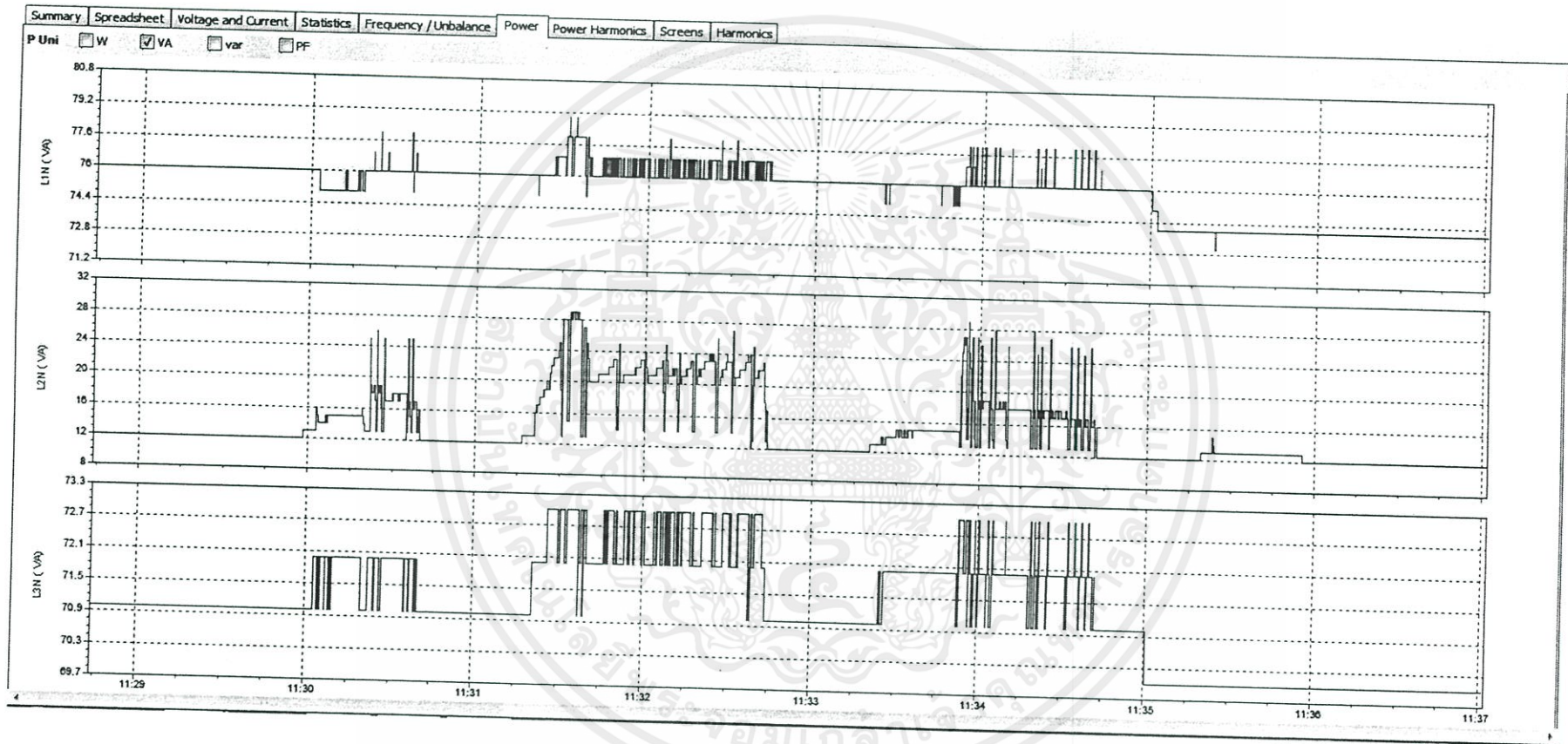
รูปที่ ข-104 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



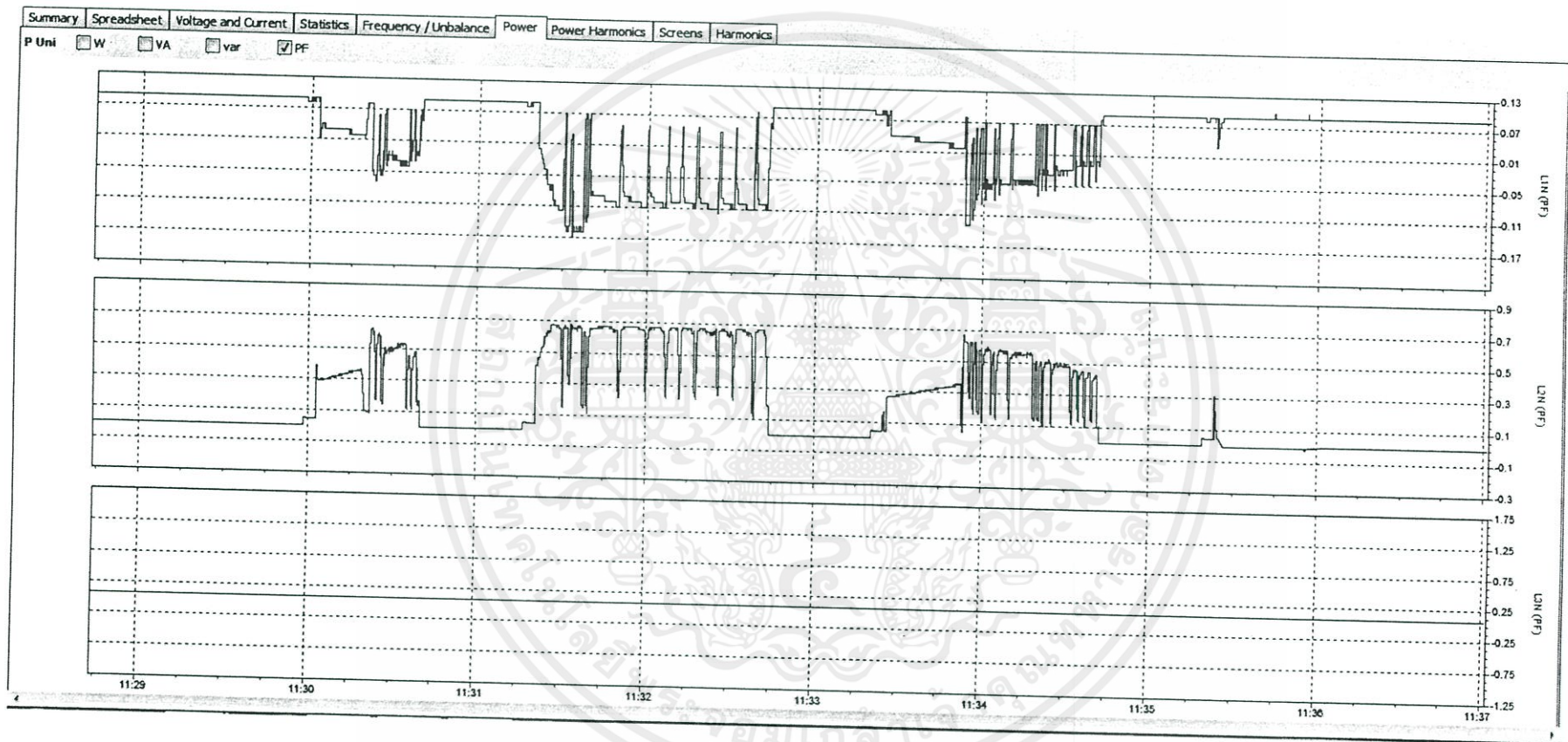
รูปที่ ข-105 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-106 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



รูปที่ ข-107 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลาสต์



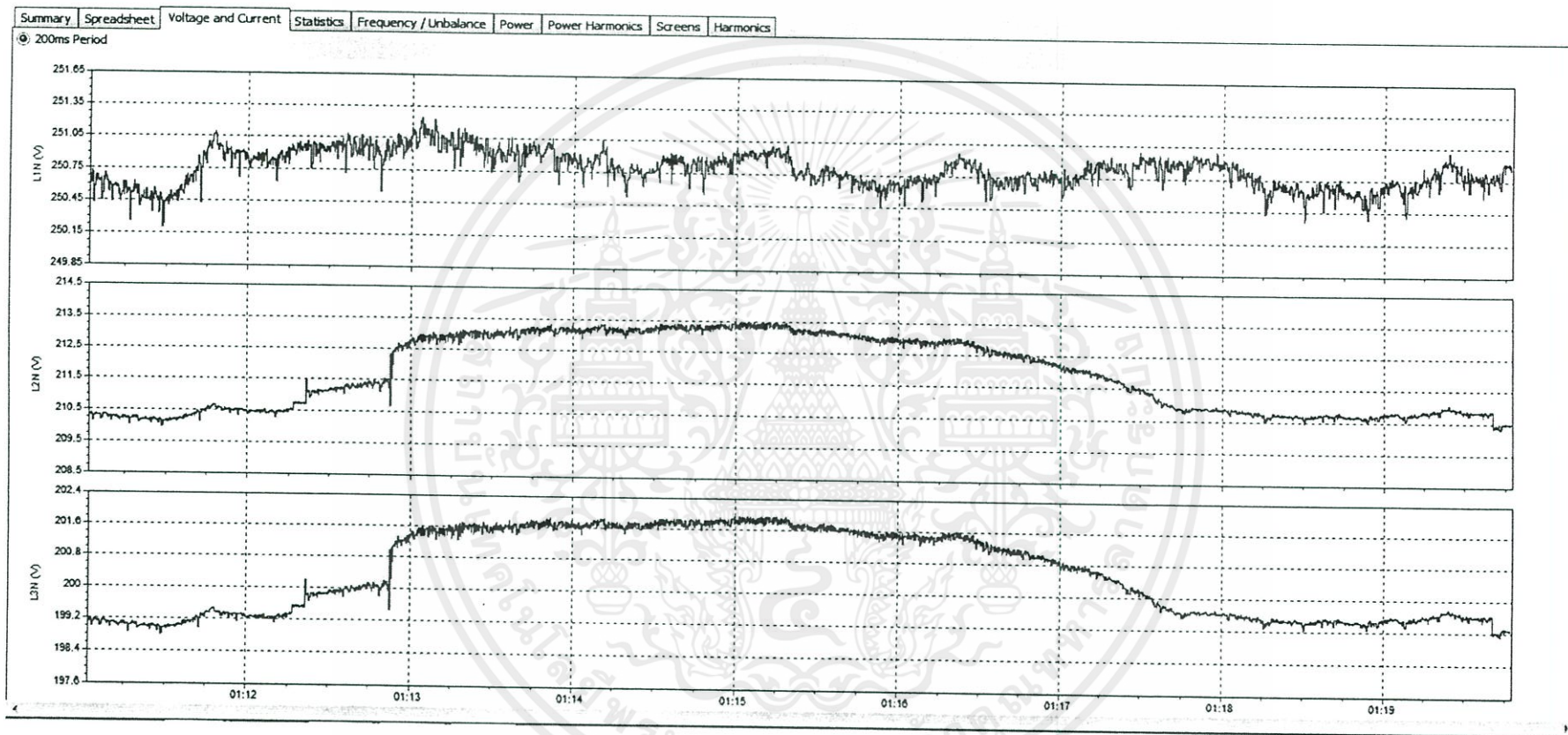
รูปที่ ข-108 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดบัลลัสต์

จากรูปที่ ก-103 ถึง ก-108 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 18 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 200 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ฝั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และฝั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.19

กราฟการเปลี่ยนแปลงด้วยรูปที่ ก -103 ถึง ก - 108 เป็นกรณีที่ไม่สามารถให้ผลการทดลองที่เป็นไปตามแนวโน้มของเป้าหมายการทดลอง เนื่องจากผลของการมีผลของค่าความเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวและระยะจุดเชื่อมต่อไกลที่สุดทำให้เครื่องจำลองการกำลังไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ไม่สามารถทำงานได้ที่ MTTP 95 % ซึ่งหมายถึงการที่เครื่องจำลองการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากับโซล่าเซลล์ไม่สามารถทำงานร่วมกับเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Invertor) จึงเป็นผลให้กราฟการเปลี่ยนแปลงมีการผิดเพี้ยนดังที่แสดงในรูปที่ ก -103 ถึง ก - 108

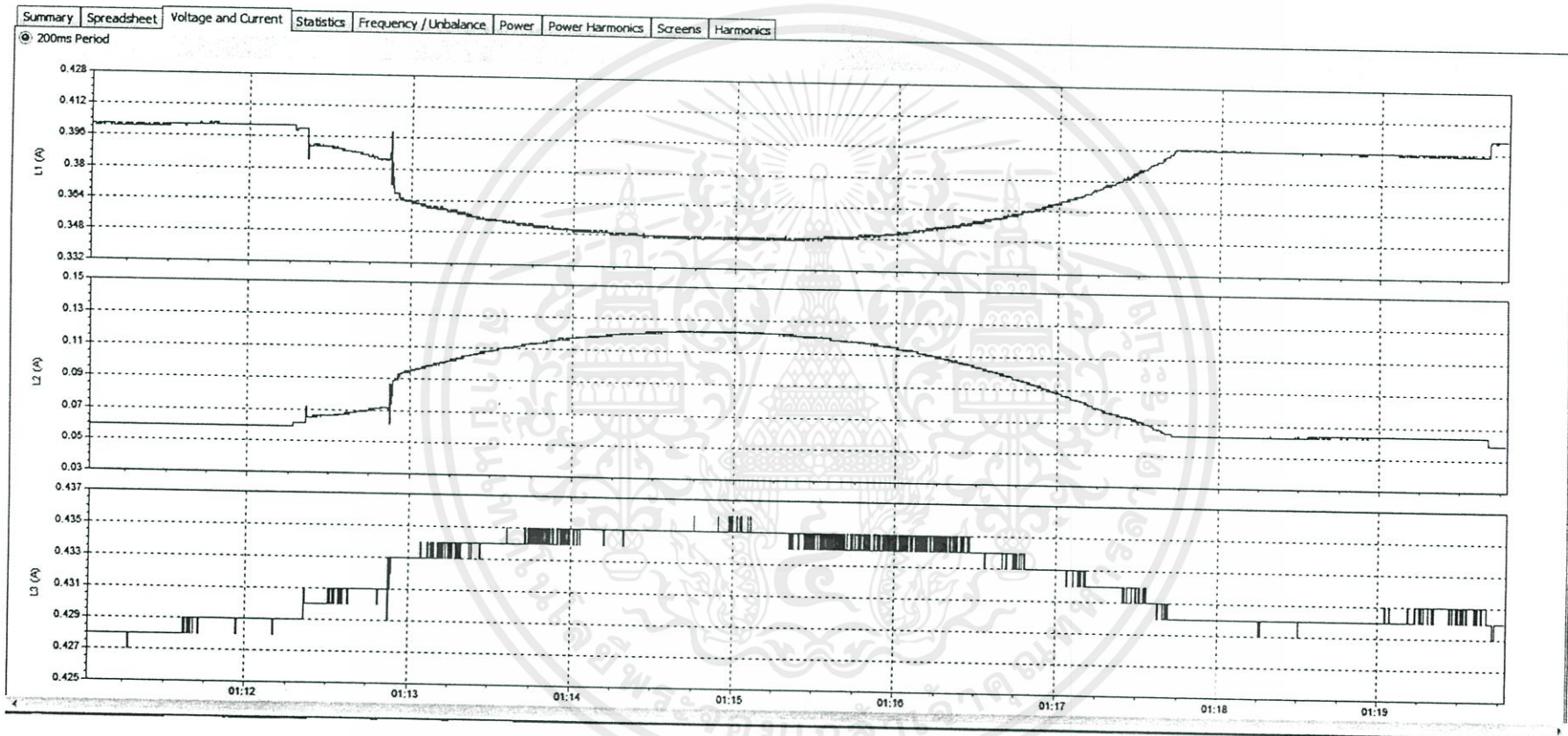


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



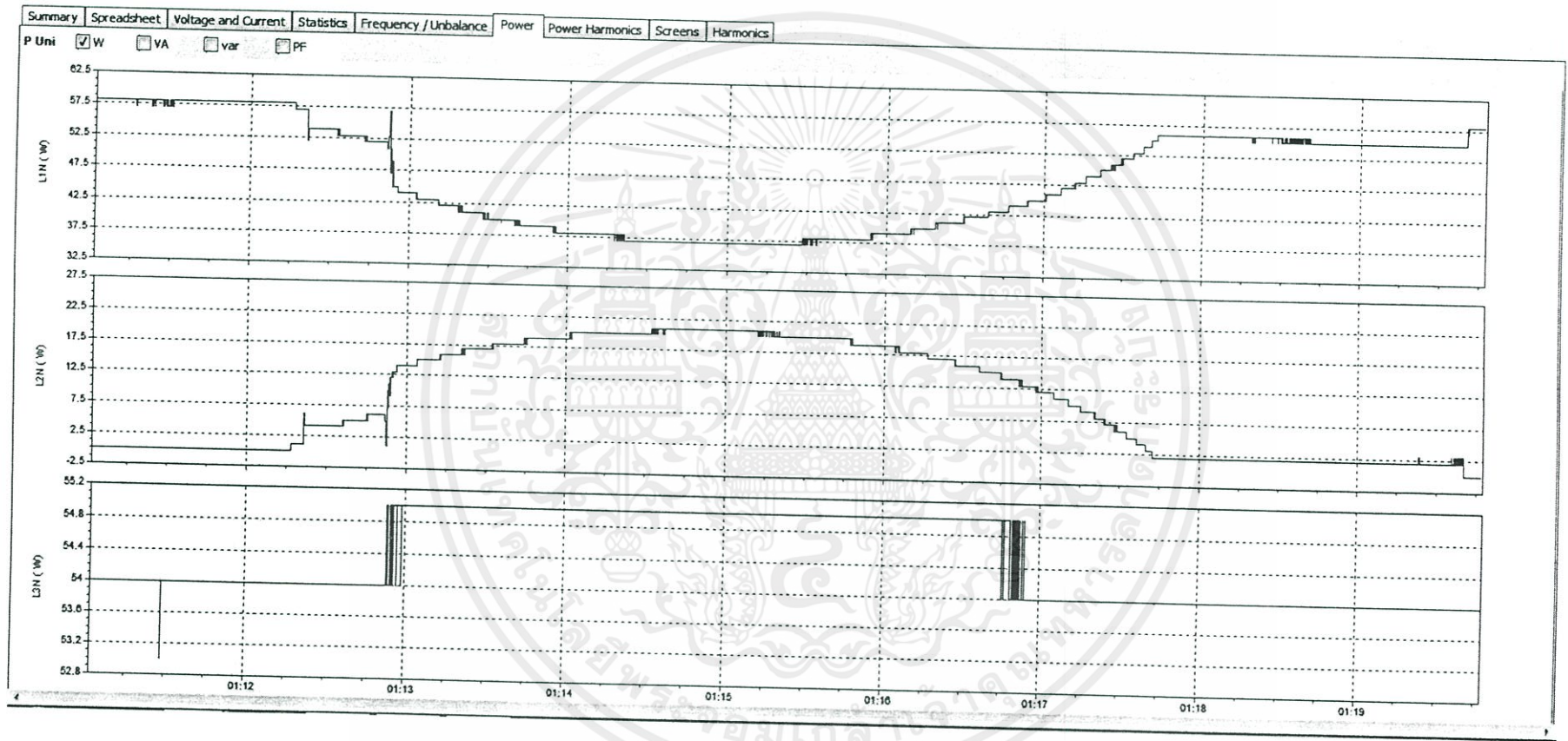
รูปที่ ข-109 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

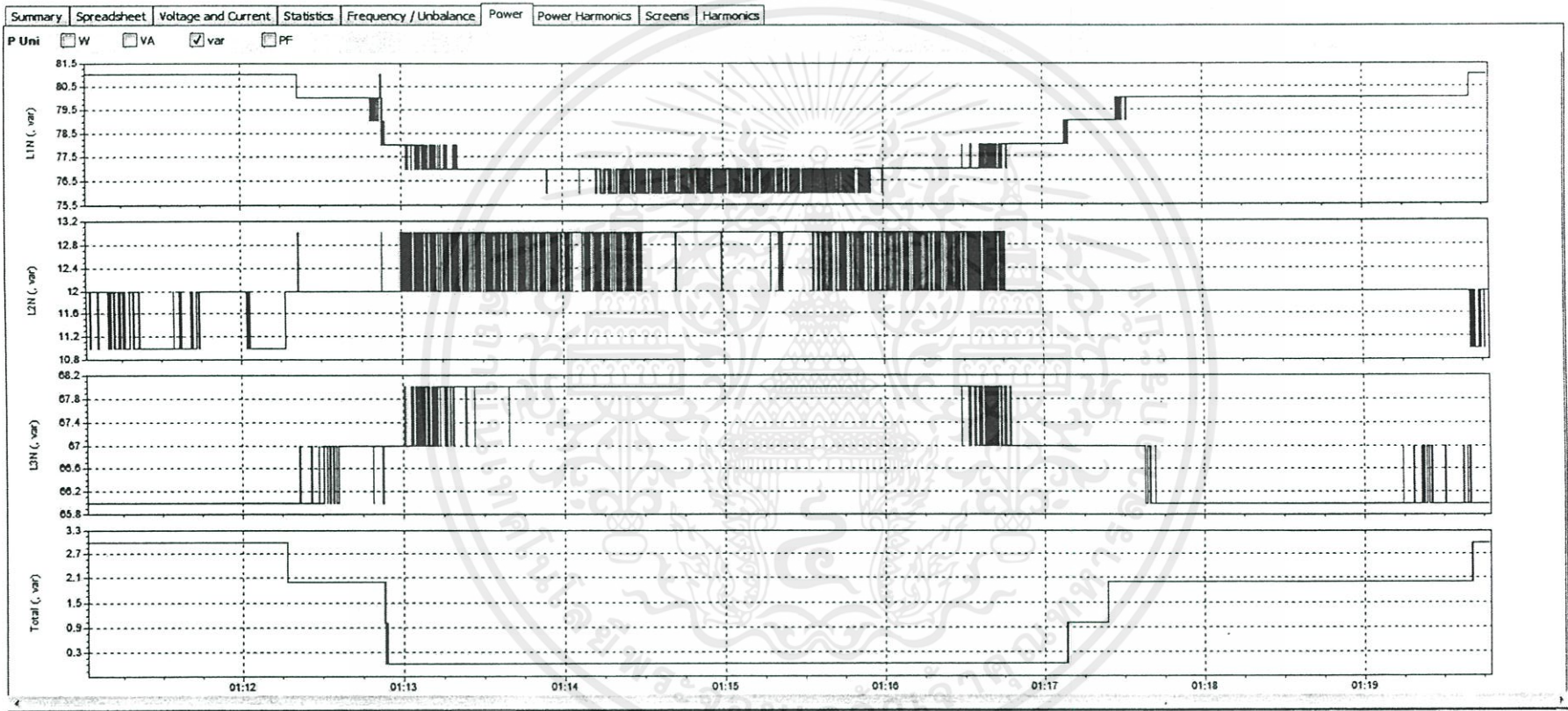


รูปที่ ข-110 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

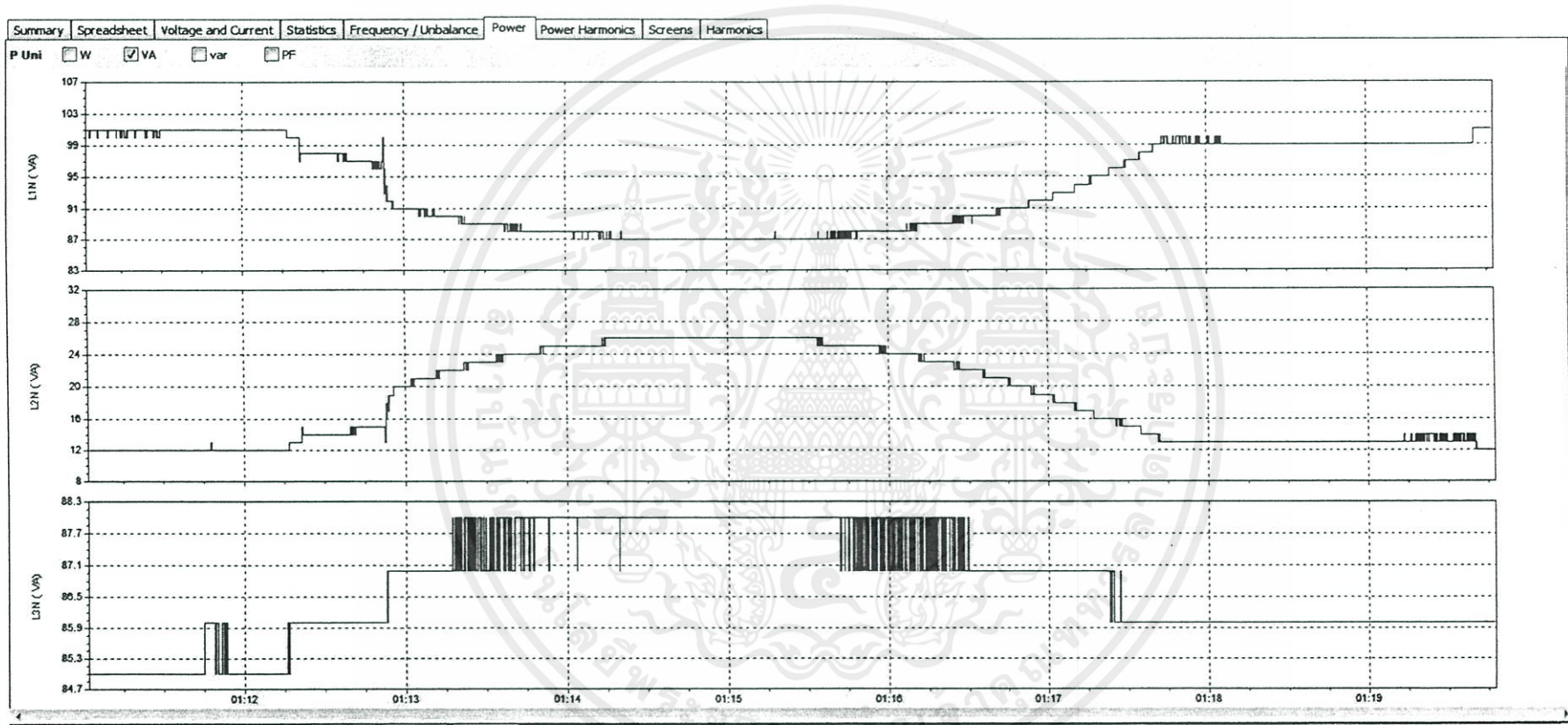


รูปที่ ข-111 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทด



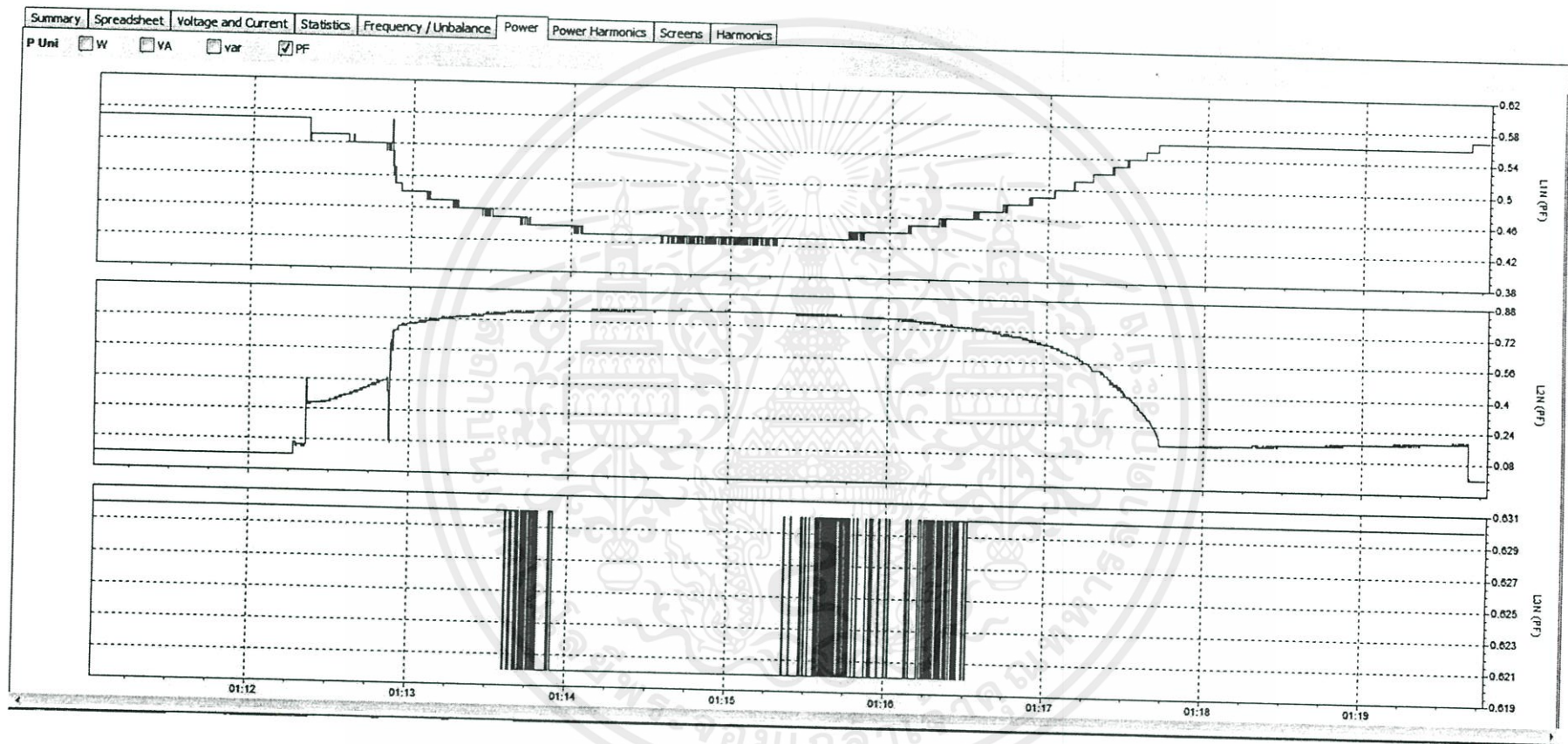
รูปที่ ข-112 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-113 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง,จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-114 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 60 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-109 ถึง ข-114 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดตลอดไฟขนาด 80 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 197 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่าได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผั่งส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผั่งรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.20

จากรูปที่ ข-109 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-110 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผั่งส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลดยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

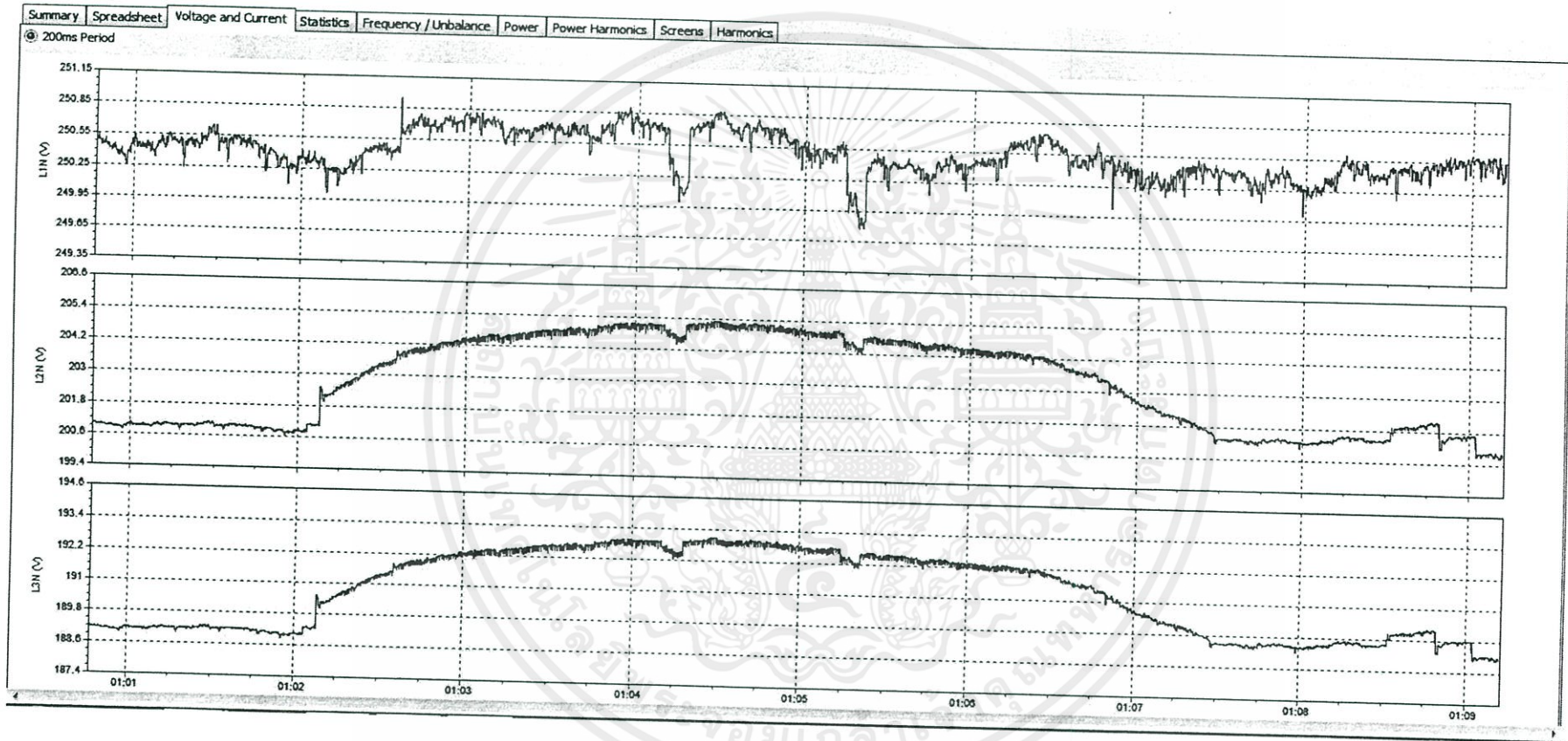
จากรูปที่ ข-111 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-112 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-113 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ --111

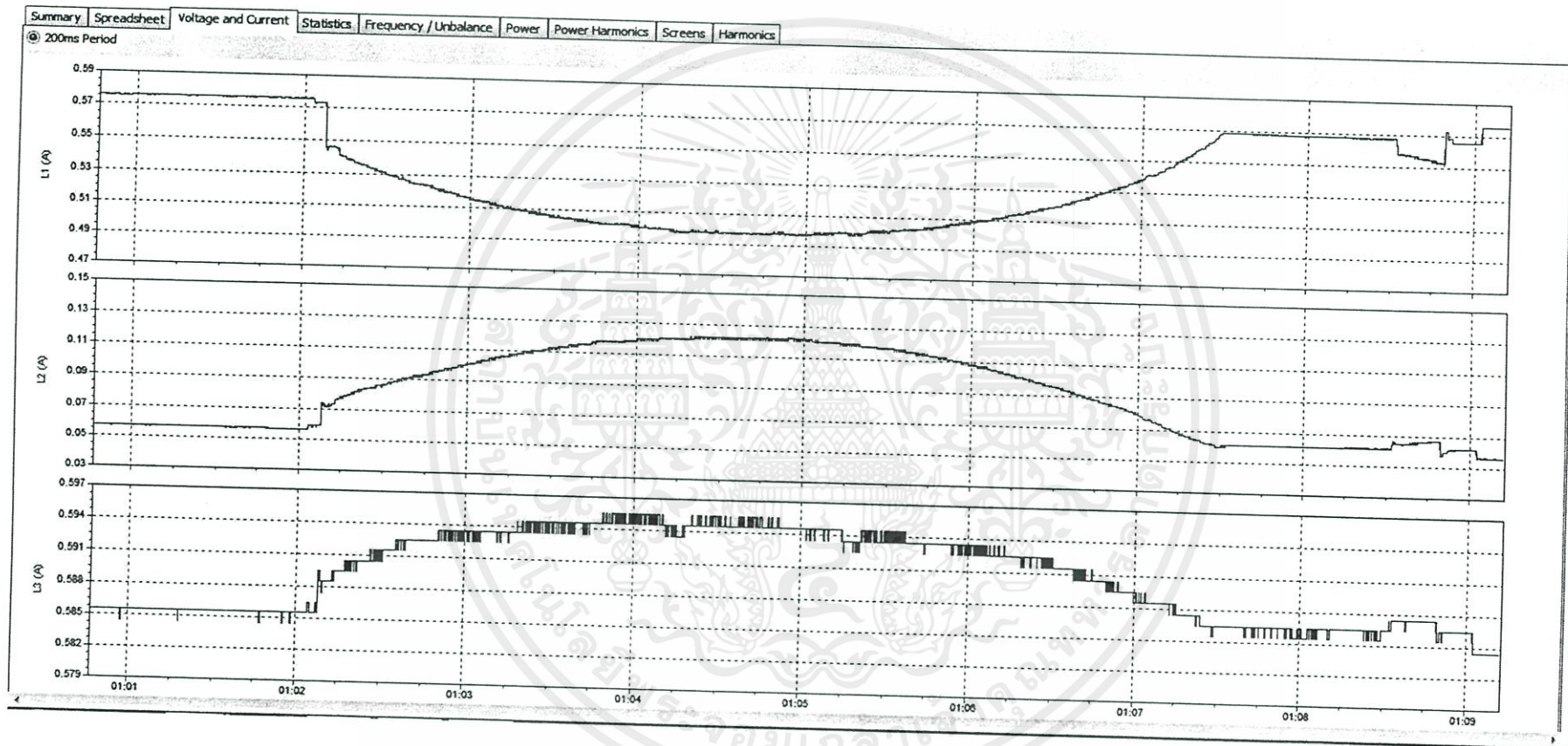
จากรูปที่ ข-114 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



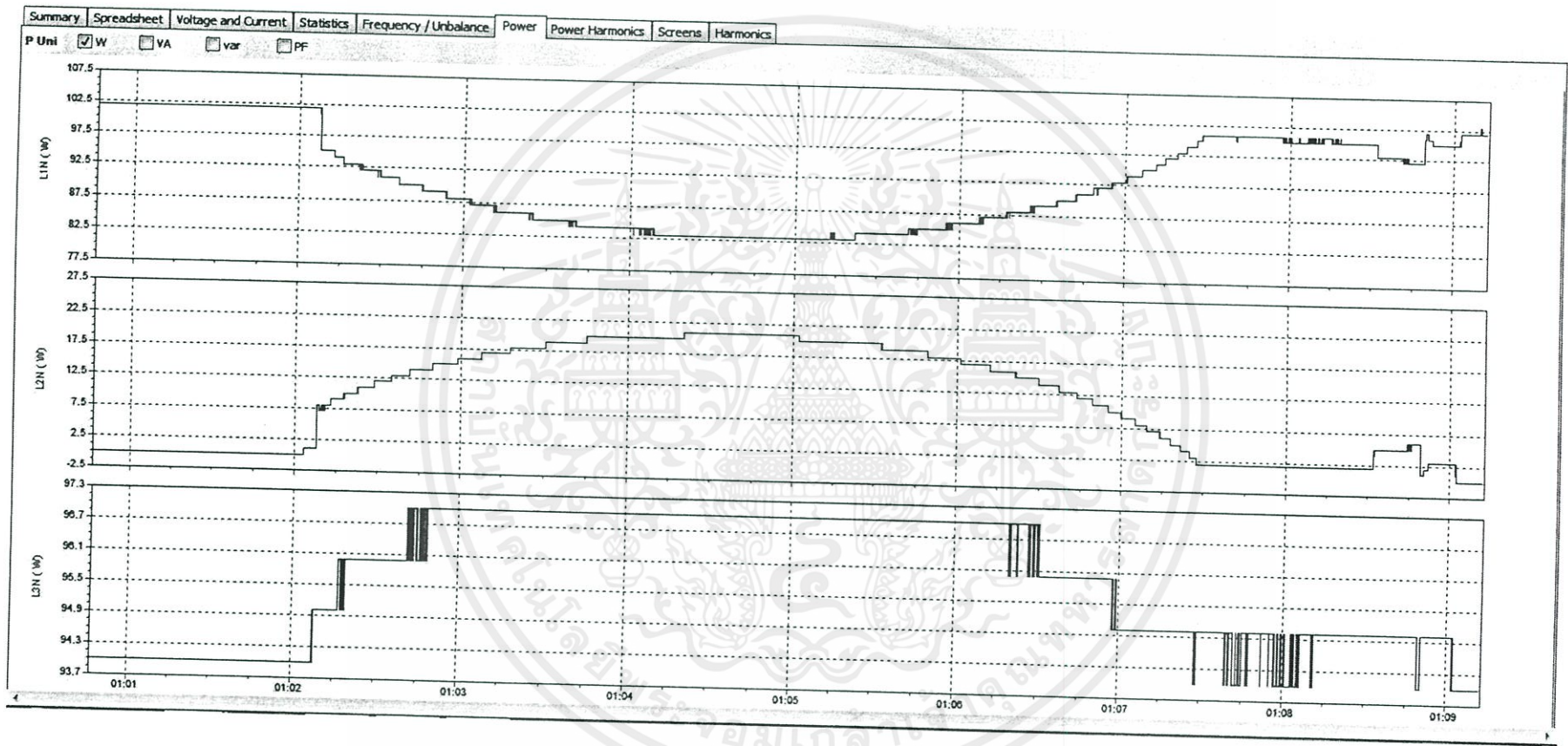
รูปที่ ข-115 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



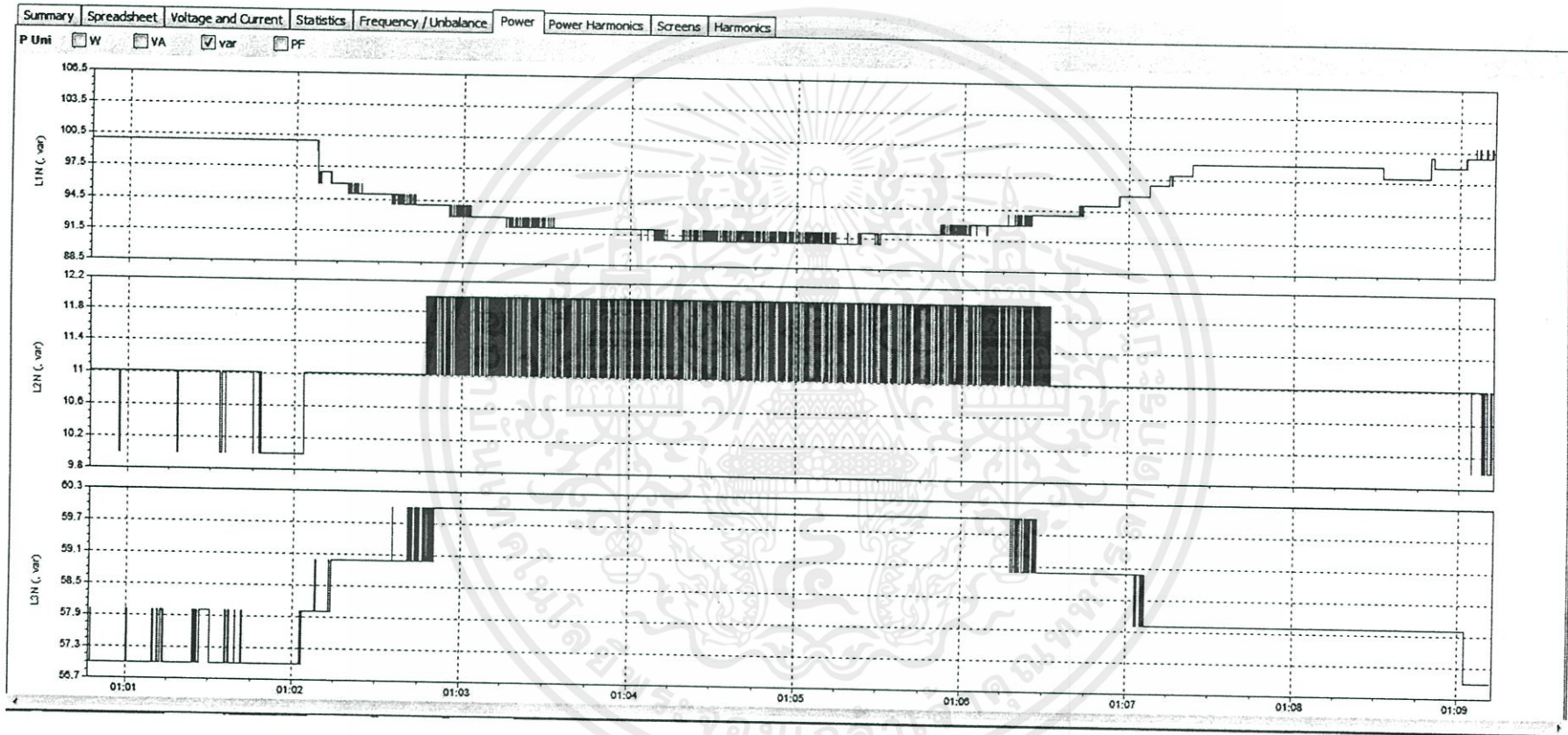
รูปที่ ข-116 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



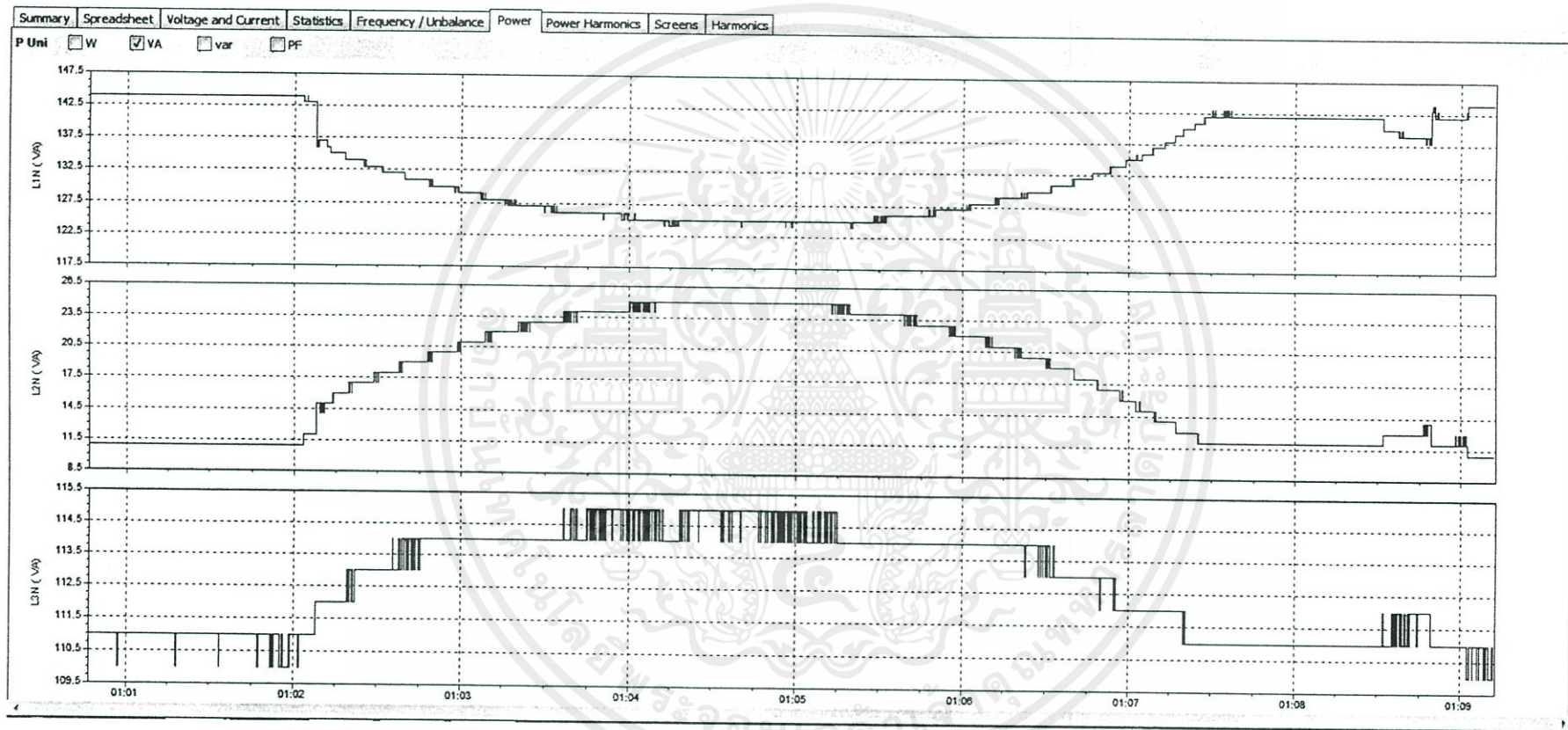
รูปที่ ข-117 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



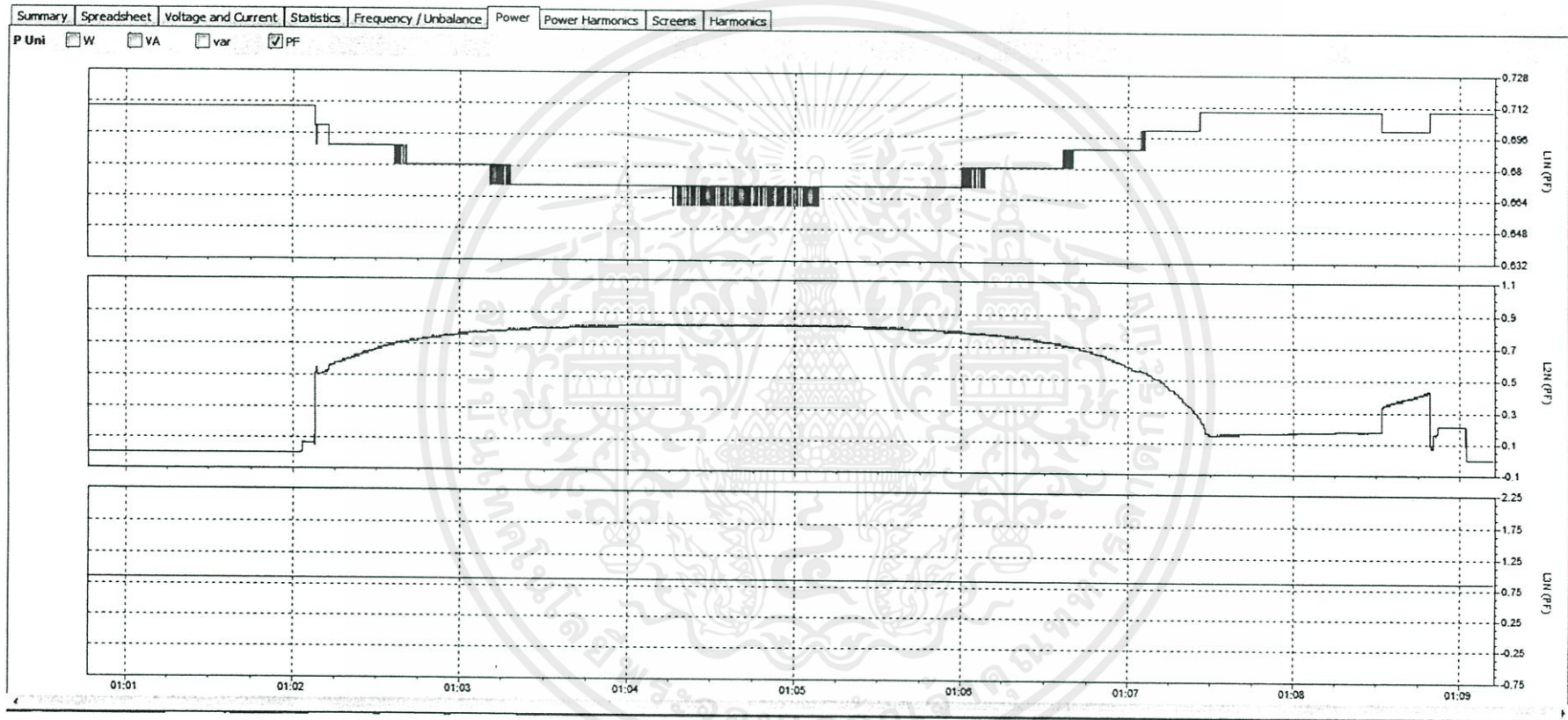
รูปที่ ข-118 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดโหลดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-119 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์



รูปที่ ข-120 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่งฝั่งส่ง, จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทน และฝั่งรับ

ที่ระยะการเชื่อมต่อ 80 เปอร์เซ็นต์ โหลดหลอดไฟ 120 วัตต์ และบัลลาสต์

จากรูปที่ ข-115 ถึง ข-120 เป็นการยกตัวอย่างการทดลองที่จุดเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่ระยะ 80 % ของความยาวสายส่ง โดยการใช้โหลดหลอดไฟขนาด 140 วัตต์ โดยให้แรงดันที่โหลดคงที่ 189 โวลต์ สาเหตุมาจากผลของโหลด L มีปัญหาในเรื่องของแรงดันตก และด้วยพิกัดของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าปรับค่า ได้จึงไม่รักษาแรงดันที่โหลดให้คงที่ 230 โวลต์ได้ พร้อมทั้งการวัดค่าพารามิเตอร์ 3 ตำแหน่งคือ ผังส่ง (L1N) จุดเชื่อมต่อ (L2N) และผังรับ (L3N) โดยบันทึกค่าเหมือนเช่นเดียวกับผลการทดลองตามตารางที่ 4.21

จากรูปที่ ข-115 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้า พลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อและแรงดันที่โหลดจะมีการกระเพื่อมขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-116 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแส จะพบว่าตำแหน่งที่มีการเริ่มจำหน่าย กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้าไปในระบบ กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ผังส่ง) จะลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่โหลด ยังมีค่าคงเดิมอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ ข-117 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าใช้จริง จะพบว่าเมื่อเริ่มการจ่าย กำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนเข้ามาในระบบ กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะลดลงต่ำสุดเมื่อกำลังไฟฟ้าจาก พลังงานถูกจ่ายมามากที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากรูปที่ ข-118 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนจะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

จากรูปที่ ข-119 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะพบว่าเมื่อมีการเริ่ม จำหน่ายกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนจะมีผลมาจากการกำลังไฟฟ้าจริงเป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการ เปลี่ยนแปลงเหมือนรูปที่ ข-117

จากรูปที่ ข-120 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้านี้จะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือนไม่มีการ เปลี่ยนแปลงถือว่าน้อยมาก

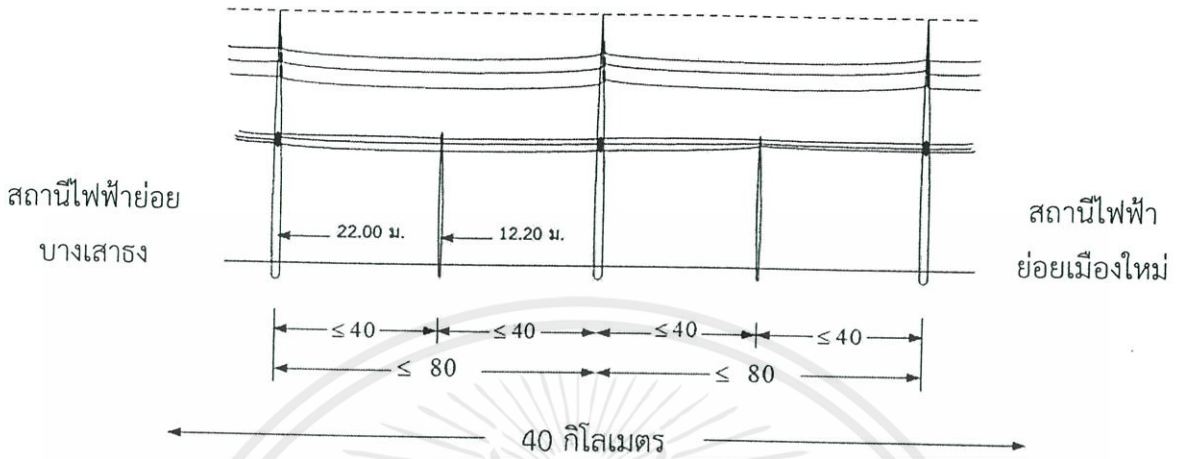
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของสายส่งระบบจำหน่าย

ก.1 ระบบจำหน่ายเหนือดิน



รูปที่ ข-1 สายส่งกำลังไฟฟ้าเหนือดินของการไฟฟ้า 115 kV ช่วงสถานีไฟฟ้าย่อยบางเสาธงถึง สถานีไฟฟ้าย่อยเมืองใหม่

การหาค่าความต้านทาน (R) [21]

ในการหาค่าความต้านทานสามารถหาได้จากคู่มือผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้าชนิด All Aluminium Stranded Conductor ขนาด 400 ตารางมิลลิเมตร ของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งสายไฟฟ้าชนิดดังกล่าวเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายเหนือดินที่แรงดัน 115 kV โดยใช้กับเสาส่งชนิดวงจรรเดี่ยว สายไฟฟ้าเดี่ยว (SS) ซึ่งมีค่าความต้านทานที่ 50 Hz เท่ากับ 0.0742 Ω/km ดังนั้นค่าความต้านทานของสายทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$$R = 0.0742 \times 40 \text{ } \Omega$$

$$R = 2.968 \text{ } \Omega$$

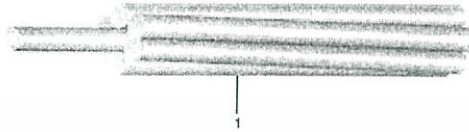
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ALUMINIUM CONDUCTOR

AAC

ALL ALUMINIUM STRANDED CONDUCTOR



Construction
 1. Conductor : Stranded hard-drawn aluminium wires

Reference Standard :
 IIS 85 - 2543
 (Reference to IIS 85 - 2522)

Application
 • For aerial power transmission and distribution line.

Cross-sectional area mm ² (Nominal)	Cross-sectional area mm ² (Actual)	Number of wires	Diameter of wire mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	Conductor resistance at 20°C Ω/km (Max)	Rated tensile strength kN (Min)	Current rating in free air at 40°C ambient A	Conductor weight kg/km (Approx)	Standard length m/drum
16	15.89	7	1.70	5.10	1.8022	2.844	110	44	4,000
25	25.18	7	2.14	6.42	1.1373	4.316	146	46	4,000
35	34.91	7	2.52	7.56	0.8202	5.731	170	48	4,000
50	50.14	7	3.02	9.06	0.5711	7.891	200	50	4,000
50	49.97	19	1.83	8.15	0.5758	8.721	200	50	4,000
70	68.98	19	2.15	10.75	0.4171	11.811	240	52	4,000
95	94.76	19	2.52	12.60	0.3036	15.511	280	54	4,000
120	121.21	19	2.85	14.25	0.2374	19.411	320	56	4,000
150	147.12	37	2.25	15.75	0.1960	25.211	360	58	4,000
185	184.54	37	2.52	17.64	0.1563	30.211	400	60	4,000
240	242.54	61	2.25	20.25	0.1191	39.311	450	62	4,000
300	304.24	61	2.52	22.68	0.0942	47.211	500	64	4,000
400	397.14	61	2.85	25.65	0.0742	59.011	550	66	4,000

ค่าความต้านทานสายส่ง
 115 kV ตัวนำแบบ AAC
 400 mm
 มีค่า 0.0742 $\frac{\Omega}{km}$

รูปที่ ข-2 ตารางหาค่าความต้านทานจากบริษัทผู้ผลิต

การหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \frac{H}{m} / \text{phase}$$

$$\begin{aligned} GMR &= 0.7788 \times r \\ &= 0.7788 \times 0.012825 \\ &= 0.009988 \text{ m} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\begin{aligned} GMD &= \sqrt[3]{D \times D \times D} \\ &= \sqrt[3]{2.5 \times 2.5 \times 5} \\ &= 3.1498 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{3.1498}{0.009988} \frac{\text{H}}{\text{m}} / \text{phase} \\
 &= 1.1507 \times 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}} / \text{phase} \\
 &= 1.1507 \times 10^{-6} \times 40 \times 1000 \\
 &= 46.028 \text{ mH/ phase}
 \end{aligned}$$

การหาค่าความจุไฟฟ้า (C)

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}}} \frac{\text{F}}{\text{m}} \text{ to neutral}$$

$$\text{GMR} = r$$

$$= 0.012825 \text{ m}$$

$$\text{GMD} = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$= \sqrt[3]{2.5 \times 2.5 \times 5}$$

$$= 3.1498 \text{ m}$$

ดังนั้น

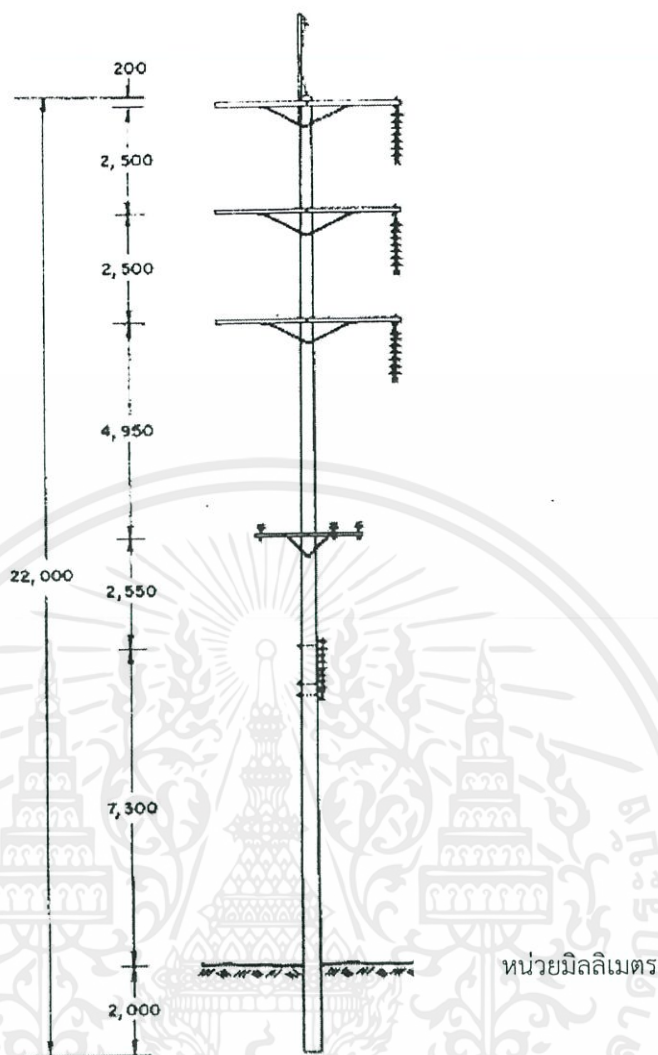
$$C = \frac{2\pi \times 10^{-9}}{36\pi \times \ln \frac{3.1498}{0.012825}} \frac{\text{F}}{\text{m}} \text{ to neutral}$$

$$= 1.00942 \times 10^{-5} \frac{\mu\text{F}}{\text{m}} / \text{phase}$$

$$= 1.00942 \times 10^{-5} \times 80 \times 1000$$

$$= 40.3768 \text{ nF/ phase}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 โครงสร้างเสาส่งชนิดวงจรถัดเดียว สายไฟฟ้าเดี่ยว (SS)

ดังนั้นระบบจำหน่ายเหนือดินการไฟฟ้านครหลวงช่วงสถานีไฟฟ้าย่อยบางเสาธงถึงสถานีไฟฟ้าย่อยเมืองใหม่ ระยะทาง 80 กิโลเมตร มีความต้านทาน (R) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $R = 2.968 \Omega/\text{phase}$ มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $46.028 \text{ mH}/\text{phase}$ และมีค่าความจุไฟฟ้า (C) ทั้งหมดบนสายส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $40.3768 \text{ nF}/\text{phase}$

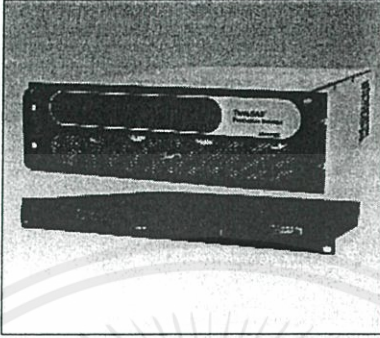


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

ข้อมูลอุปกรณ์สำหรับระบบจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elgar ETS TerraSAS		1kW-1MW		
Standalone TerraSAS Photovoltaic Simulator		60-1000 V		
<ul style="list-style-type: none"> • Low output capacitance • High bandwidth up to 30kHz • High resolution I-V curve simulates static and dynamic conditions • Designed for high speed Maximum Power Point Tracking (MPPT) • Can be integrated into a multi-channel system for higher power testing • Energy Harvest built in. * • Low voltage, high bandwidth version for DC Power Optimizers • EN50530 support 		 208	400	480
		 115	ETHERNET	
<p>For microgrids, energy storage, and inverter test applications, the TerraSAS™ series photovoltaic (PV) simulators are specifically designed to emulate the dynamic electrical behavior of a terrestrial PV solar array. They offer low output capacitance and high closed loop bandwidth to keep up with the advanced Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms used in today's grid-tied inverters.</p> <p>The Embedded TerraSAS (ETS) is a high performance solution in a small form factor that combines an agile power supply with an innovative I-V curve generator in a single standalone unit.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ETS 600 / 1000: For isolated and non-isolated string inverters up to 1000Vdc Voc. 	<p>inverters will use this approach in the near future, since end users are very sensitive to the overall efficiency of their solar energy installations. To satisfy this requirement, the PV simulator must be capable of reproducing the voltage / current behavior of a solar array at the ripple frequency. Most standard switching power supplies employ very large output capacitors and inductors in their output circuits and are unable to deliver the required performance - regardless of the response speed of the I-V curve controller. Elgar's TerraSAS line of PV simulators are based on high speed versions of our standard products, where output capacitors and other speed-limiting components have been adjusted. This results in a speed improvement of 10 times or better.</p>	<p>Proprietary features built into the PV controller hardware and firmware, combined with our high speed power supplies, deliver the required performance. This technology was extensively tested on micro-inverters and is ready to test the next generation of inverters. The required performance is delivered by high speed switching power supplies and advanced Digital Signal Processing techniques. In some conditions traditional DC power sources using IGBT technology do not meet MPPT response speed requirements, depending on the MPPT principles. Our power supplies use Power MOSFETs, which typically switch ten times as fast as the most recent IGBTs. Higher switching frequency translates to smaller output capacitors and inductors - which is the key to a successful high speed power supply design</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • ETS 60 / 80 / 150: For use with micro-inverters or DC optimizers up to 150Vdc Voc <p>Application Many solar inverters generate AC ripple on their DC input, which is connected to the photovoltaic array. For single phase inverters, the frequency of this ripple is twice the line frequency (120 Hz for US models). The simulator's power supplies must not suppress this ripple as a function of their regulation loop. An increasing number of inverters (and virtually all micro-inverters) accurately measure amplitude and phase of the ripple voltage and current to quickly track the MPP of the array. This approach allows tracking the MPP at a much higher speed when compared to conventional dithering techniques (also called perturbate-and-observe). Faster tracking of the MPP results in a much higher overall efficiency in cloudy conditions, where the irradiance is constantly changing. It is likely that all solar</p>	<p style="text-align: right;"> AMETEK Programmable Power 9250 Brown Deer Road San Diego, CA 92121-2267 USA </p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Elgar ETS TerraSAS

1kW-1MW

Specifications

Model Number ¹	ETS60X14C	ETS80X10.5C	ETS150X5.6C	ETS80X15C	ETS600X __	ETS1000 X10
Output voltage Voc (V)	60	80	150	80	600	1000
Maximum output voltage (V)	66	88	165	88	660	1100
Output current Isc (A)	14	10.5	5.6	15	8.3, 16.7, 25	10
Output power @ 0.85FF (W)	714	714	714	1020	4250, 8500, 12750	8500
MPP tracking speed (Hz) ²	250	250	250	120	200	200
I-V curve resolution (# of pts)	1024	1024	1024	1024	1024	1024
Output capacitance	< 10nF	< 10nF	< 10nF	< 70uF	< 70uF	< 3uF
Output isolation (Vpk)	±1000	±1000	±1000	± 600	± 600	± 1400
Available I/O	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Remote sense	2V	2V	2V	2V	10V	10V
AC Input Voltage, V (max operational range)	85-264VAC	85-264VAC	85-264VAC	100-130VAC low 170-230VAC high	C: 187-242VAC D: 342-440 VAC E: 396-528 VAC	C: 187-242VAC D: 342-440 VAC E: 396-528 VAC
Input frequency, Hz	47-63	47-63	47-63	47-63	47-63	47-63
Power factor	> 0.99 typical	> 0.99 typical	> 0.99 typical	> 0.7 typical	> 0.9 typical	> 0.9 typical
Output voltage noise Measured across a 1µF capacitor at the end of a 1.8m(6ft) line at full load, 20MHz	< 0.35 Vpp	< 0.35 Vpp	< 0.6 Vpp	< 1 Vpp	< 0.6 Vpp	< 0.6 Vpp
Output current noise Measured with hall effect sensor, BW = 650KHz	< 60 mApp	< 60 mApp	< 60 mApp	< 100 mApp	< 200 mApp	< 200 mApp
Operating temperature	0-40 degs C	0-40 degs C	0-40 degs C	0-50 degs C	0-50 degs C	0-50 degs C
Physical dimensions	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	20.4 x 1.7 x 19.0 in 518 x 43.6 x 483 mm 23 lbs (10.5 kg)	25.5 x 5.3 x 19.0 in 64.7 x 13.3 x 48.3 cm 5kW 40 lbs (18 kg) 10kW 60lbs (27kg) 15kW 80lbs (36kg)	28.3 x 5.3 x 19.0 in 71.8 x 13.3 x 48.3 cm 10kW 60lbs (27kg)
Regulatory	Certified to UUCSA 61010 and IEC/EN 61010-1					

Notes

- 1 See next page for full listing of model numbers and configurations
2 Maximum MPP rate of the inverter under test. Closed loop analog output bandwidth is much greater.

ETS Model Numbers

Model Number	Output isolation (V)	Output leakage capacitance (nF)	Voc (V)	Isc (A)	Power rating	Input Voltage (AC)	MPP Update Rate
ETS60X14C-PVF	±1000	45	60	14	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS80X10.5C-PVF	±1000	45	80	10.5	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS150X5.6C-PVF	±1000	45	150	5.6	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS80X15C-PVE	±600	300	80	15	1200W	110/220VAC	120Hz
ETS600X8C-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	208VAC	200Hz
ETS600X8D-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	400VAC	200Hz
ETS600X8E-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	480VAC	200Hz
ETS600X17C-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	208VAC	200Hz
ETS600X17D-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	400VAC	200Hz
ETS600X17E-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	480VAC	200Hz
ETS600X25C-PVF	±600	440	600	25	15kW	208VAC	200Hz
ETS600X25D-PVF	±600	440	600	25	15kW	400VAC	200Hz
ETS600X25E-PVF	±600	440	600	25	15kW	480VAC	200Hz
ETS1000X10C-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	208VAC	200Hz
ETS1000X10D-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	400VAC	200Hz
ETS1000X10E-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	480VAC	200Hz

(*) these models also support power optimizers. Not intended for spacecraft or high frequency shunt switching regulators. Consult factory for this or any other special application.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นด้านการค้า



ภาคผนวก จ

ขั้นตอน และวิธีการใช้โปรแกรม TerraSAS สำหรับกำหนดค่าการทำงานของเครื่องจำลอง
Photovoltaic simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

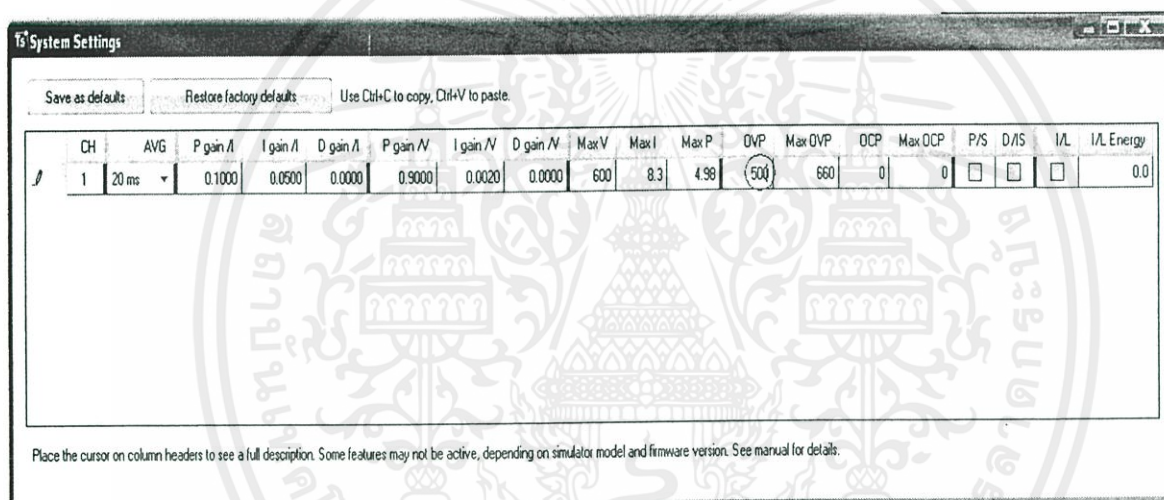
การใช้โปรแกรม TerraSAS

การใช้โปรแกรม TerraSAS ในการกำหนดค่าเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator

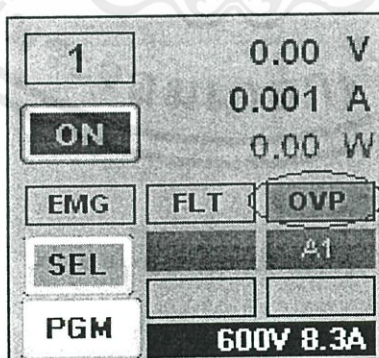
TerrestrialSolar Array Simulator (TerraSAS) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator ตามคุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนด โดยนำข้อมูลแผงเซลล์จากผู้ผลิตมาป้อนลงในโปรแกรม ซึ่งเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator มีพิกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 5 kW (600 V 8.3 A)

ตั้งค่าโปรแกรม TerraSAS

เนื่องจากเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator จ่ายแรงดันสูงสุดได้ไม่เกิน 600 V จึงต้องมีการกำหนดขอบเขตของค่า OVP โดยตั้งค่าไว้ที่ 500 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ตั้งค่าไว้เพื่อความปลอดภัย ถ้าแรงดันเกินกว่าแรงดัน OVP เครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator ก็จะหยุดทำงานทันที



รูปที่ ค.1 การตั้งค่า OVP ในโปรแกรม TerraSAS



รูปที่ ค.2 หน้าจอแสดงผลเมื่อจ่ายแรงดันเกิน OVP

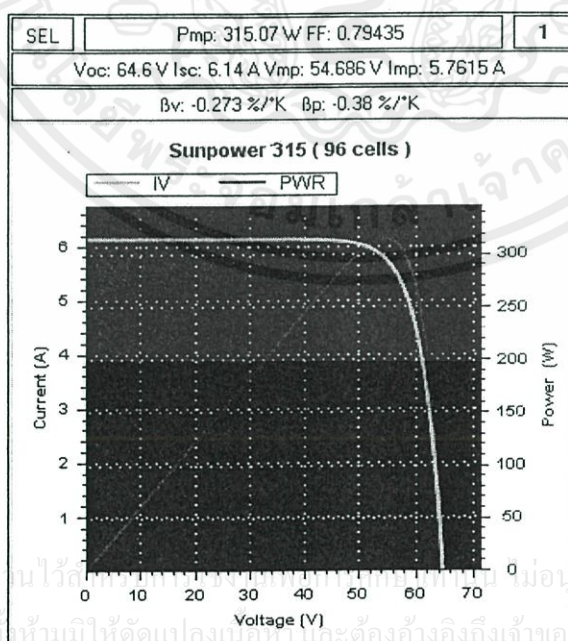
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการป้อนข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าแผงเซลล์ฯ (ตามข้อมูลจากผู้ผลิต) โดยมีค่าที่สำคัญคือ แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}), แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{mp}), กระแสไฟฟ้่าลัดวงจร (I_{sc}), กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp}), สัมประสิทธิ์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (B_v) และ สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (B_p)

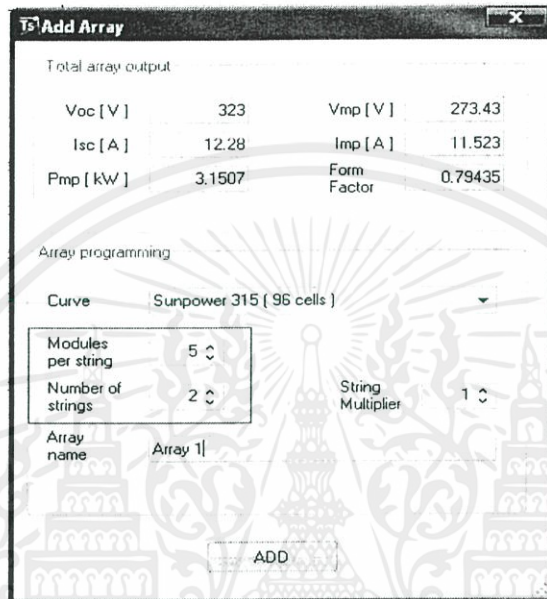
รูปที่ ค.3 การตั้งค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากตั้งค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าแผงเซลล์ฯทั้งหมด ทำการกด ADD เพื่อสร้างกราฟ IV-Curve และ PV-Curve ของแผงเซลล์ (1 แผง)



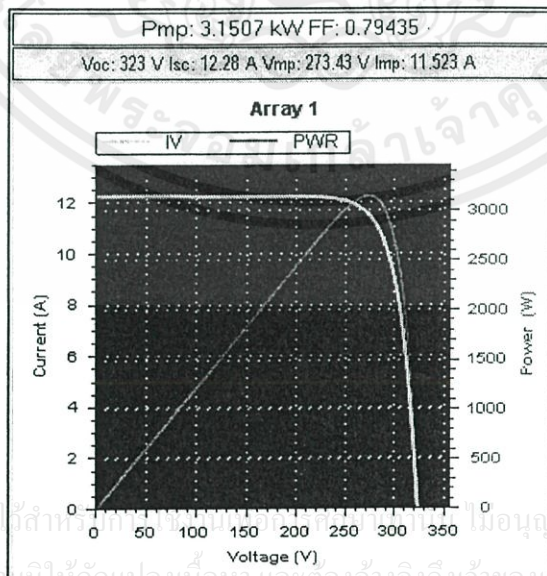
รูปที่ ค.4 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve และ PV-Curve) 1 แผง
การสร้าง Array

ในการจำลองสามารถเพิ่มกำลังวัตต์ติดตั้งแผงเซลล์ฯได้ โดยทำการการสร้าง Array ซึ่งเกิดจากการนำแผงเซลล์ฯที่กำหนดมาต่ออนุกรมหรือขนานกัน โดยทำการปรับค่า Modules Per String เป็นจำนวนการต่ออนุกรมของแผงเซลล์ในหนึ่งชุด (String) และค่า Numbers Per String เป็นจำนวนการต่อขนานชุดแผงเซลล์ โดยถ้าต้องการให้กำลังวัตต์สูงขึ้น 10 เท่า อาจจะทำให้การต่ออนุกรม 5 แผง และต่อขนาน 2 ชุด (รวม 10 แผง) ดังนั้นจึงทำการกำหนดค่า Modules Per String เท่ากับ 5 และ กำหนดค่า Numbers Per String เท่ากับ 2



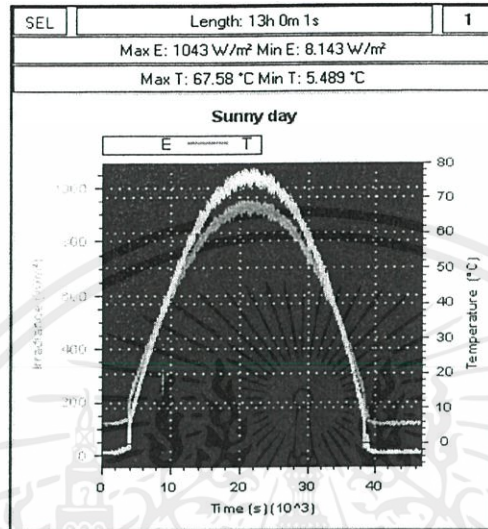
รูปที่ ค.5 การสร้าง Array

หลังจากตั้งค่าต่างๆตามข้อมูลของโซลาเซลล์จากผู้ผลิตจากนั้นกด ADD เพื่อสร้าง IV-Curve และ PV-Curve (10 แผง)



รูปที่ ค.6 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve และ PV-Curve) 1 array การกำหนดค่าสภาวะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

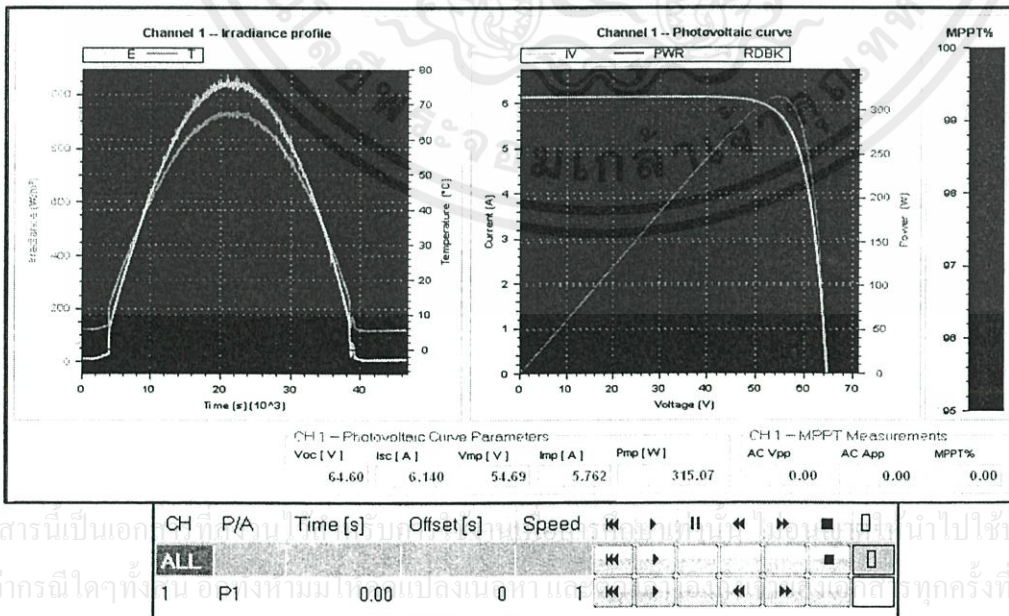
การกำหนดสภาวะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ การกำหนดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งโปรแกรม TerraSAS สามารถเลือกใช้สภาพอากาศที่มีอยู่ได้แก่ ความเข้มแสงแบบ Sunny Day , Cloudy Day และ Heavy Clouds Day ซึ่งสภาพอากาศทั้ง 3 รูปแบบจะมีลักษณะความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกันไป



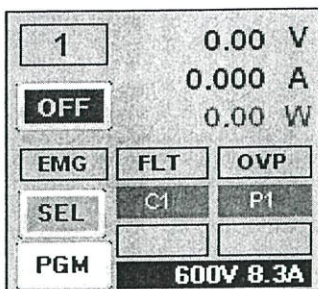
รูปที่ ค.7 ความเข้มแสงแบบ Sunny Day

การจ่ายกำลังไฟฟ้า

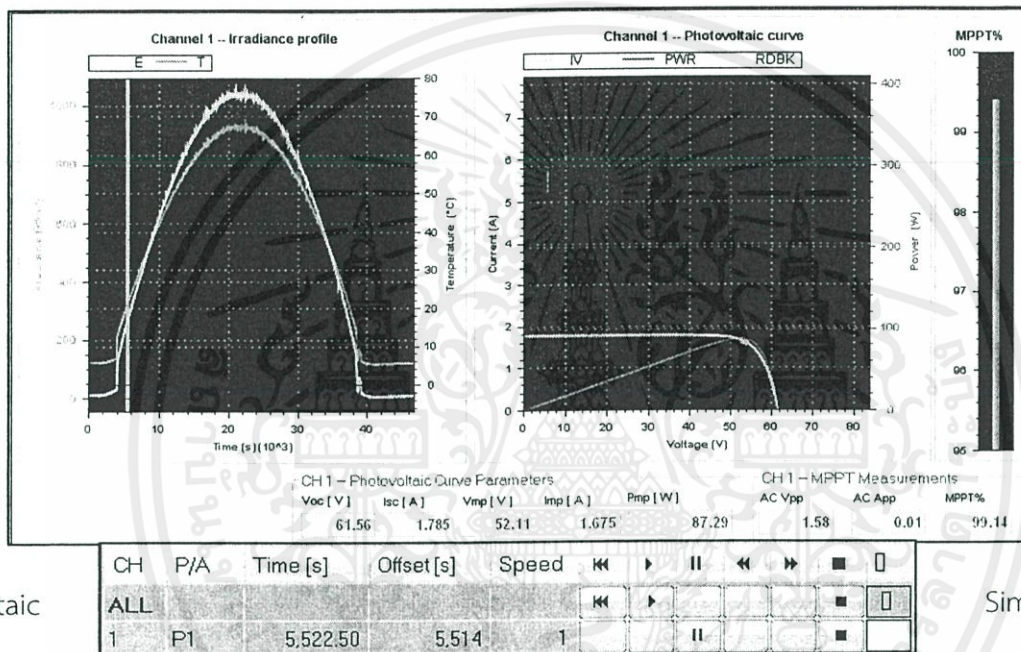
ทำการนำกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve , PV-Curve) และสภาวะการทำงานที่ได้เลือกไว้ ลากขึ้นหน้าจอแสดงผล จากนั้นกดปุ่ม OFF เป็น ON และกดปุ่ม Play เพื่อเริ่มต้นจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของ Photovoltaic Simulator



รูปที่ ค.8 สภาวะปกติเมื่อยังไม่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้า



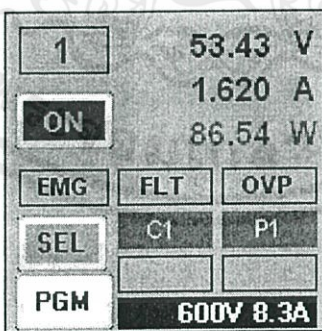
รูปที่ ค.9 หน้าจอแสดงผลสถานะปกติเมื่อยังไม่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ ค. 10
สถานะเมื่อเริ่มจำลองการจ่ายกำลังวัตต์ของ Photov

oltaic

Simulator



รูปที่ ค.11 หน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มจำลองการจ่ายกำลังวัตต์ของ Photovoltaic Simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICRO-0.25/0.3-I-OUTD-US-208/240 - QUICK INSTALLATION GUIDE



This Quick Installation Guide is offered in addition to the full Technical Manual which can be found on the Power-One Renewable Energy website at: <http://www.power-one.com>.

The installation is to be done by a qualified installer, normally a licensed electrician or contractor, according to the applicable local code regulations (National Electric Code (NEC), Canadian Electric Code (CEC), and other).

The two models of the MICRO are delineated by the maximum output power (0.25 kW or 0.3 kW). Each version is also available in either a 240Vac split phase or 208Vac single phase AC grid connection.

This document applies only to the inverter models listed below. All model dimensions are 15.0"H x 9.7"W x 1.37"D and weigh 3-1/2 lb (1.65kg).

- MICRO-0.25-I-OUTD-US-208/240 - 250 Watts Output power
- MICRO-0.3-I-OUTD-US-208/240 - 300 Watts Output power

The nameplate shown below is affixed to the inverter and provides the following information:

Product Origin Model Name Certification	DC Rating	AC Rating	Environmental Rating	Serial Number MAC Address

LABELS AND SPECIFICATIONS

SAFETY WARNINGS

SYSTEM COMPONENTS

SAFETY WARNINGS

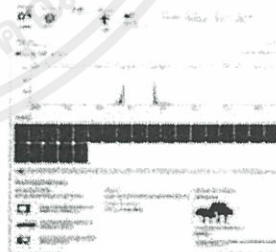
AURORA MICRO Inverter



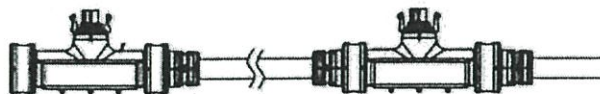
Aurora CDD is necessary for the Micro monitoring and data collection



Aurora Easy View Web Portal provides remote access via internet for system monitoring.



The AC-TRUNK-BUS cable available in three configurations depending on the type of installation and use of the PV panel. The installer may cut the cable to the length needed for the specific installation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT SAFETY INSTRUCTIONS

SAVE THESE INSTRUCTIONS-KEEP IN SAFE PLACE!

This is a list of special safety symbols used in this guide that highlight potential safety risks and/or useful information. The symbol usage is described below:

SAFETY WARNINGS



WARNING: Indicates directions which must be understood and followed in entirety in order to avoid potential safety hazards, including equipment damage or personal injury.



CAUTION: The reader should stop, use caution and fully understand the operations explained before proceeding.



DANGEROUS VOLTAGE: The product works with high voltages. During inverter operation, parts will be energized at voltage levels. **HOT TEMPERATURE:** Some surfaces may become hot. Do not touch the product while it is in operation.



UL 1741 Standard for Safety for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for use with Distributed Energy Resources. CSA-C22.2 No. 107.1-01 - General Use Power Supplies.

EQUIPMENT SAFETY WARNINGS:



System earth conductor (main grounding protective earth, PE)



AC Value



DC Value



Phase



Grounding (earth)

ELECTRICAL CONNECTION WARNINGS - This grid-tied inverter system operates only when properly connected to the AC distribution network. Before connecting the AURORA MICRO to the power distribution grid, contact the local power company to get appropriate approvals.

It is the responsibility of the installer to follow NEC and ANSI/NFPA 70 methods and requirements and any other local regulations when installing the required external disconnects and overcurrent protection devices, making electrical connections (conductor terminations, fuse, ground connections), and when installing the system grounding.

Connect only to a circuit with maximum branch OC protection of 20 Amps. The AC output neutral is not bonded to ground. Note input and output circuits are isolated from the inverter enclosure. Voltage and Frequency Tolerances are as follows:

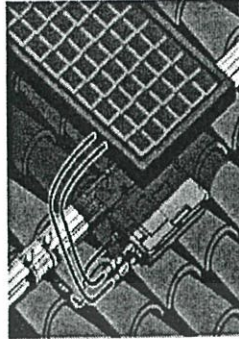
SAFETY WARNINGS

Utility Interconnection and Voltage and Frequency Trip Limits and Trip Times			
Condition	Simulated Utility Source		Max.time (sec) at 60Hz before cessation of current to the simulated utility
	Voltage	Frequency	
A	$V < 50\% V_{norr}$ (Not Adjustable)	Rated	0.16 sec (Not Adjustable)
B	$50\% V_{norr} < V < 88\% V_{norr}$ Adjustable Set Points 55% to 88%	Rated	2 sec (Default) (Adj. Set Points 0.16 to 5 sec)
C	$110\% V_{norr} < V < 120\% V_{norr}$ Adjustable Set Points 110% to 118%	Rated	1 sec (Default) (Adj. Set Points 0.16 to 5 sec)
D	$V \geq 120\% V_{norr}$ (Not Adjustable)	Rated	0.16 sec (Not Adjustable)
E	Rated	$f > 60.5$ (Not Adjustable)	0.16 sec (Not Adjustable)
F	Rated	$f < 59.3$ (Default) (Adj. Set Points 59.8 Hz to 57.2 Hz)	0.16 sec (Default) (Adj. Set Points 0.16 to 300 sec)
G	Rated	$f < 57.0$ (Not Adjustable)	0.16 sec (Not Adjustable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น
 ไม่ควรใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต
 โปรดอ่านคู่มือฉบับเต็มก่อนใช้งาน

1

Installation of the equipment is based on the system design and the place in which the equipment is installed. When choosing the place of installation, comply with the following conditions: Install MICRO Inverter underneath the photovoltaic modules in the shade, otherwise the inverter could undergo derating. Maintenance or replacement of the device could require the technician to dismount the photovoltaic module mounted on the top of the MICRO Inverter, ensure distances are correct for normal control and maintenance.



2

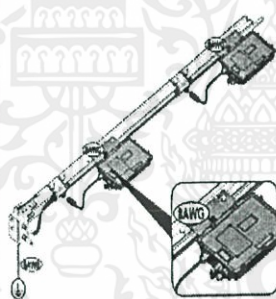
Run the AC cable along the frame structure provided for installing the photovoltaic modules. Secure the MICRO Inverter to the photovoltaic module frame with the logo side facing downwards.

The inverter and photovoltaic modules must be connected to an equipment grounding conductor.

The inverter must be earth grounded using the correct clamp secured to the chassis. There are two possible configurations for grounding the inverters shown below.

Equipment grounding conductor coupling all the MICRO Inverters: The conductor must have a minimum cross section of 6 AWG (BAWG in conduits).

Equipment grounding through racking system: Conductor linking assembly to the grounding distribution structure must be at least 6AWG. The conductor bonding the MICRO to the structure must have a minimum

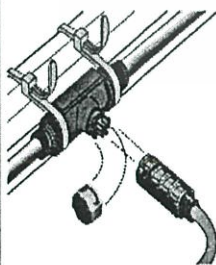


CAUTION DO NOT EXCEED THE MAXIMUM NUMBER OF MICRO INVERTERS PERMITTED FOR INSTALLATION

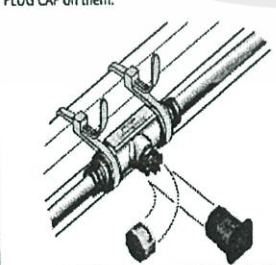
WARNING USE A RACKING SYSTEM CERTIFIED FOR USE AS A GROUNDING STRUCTURE

3

Fasten the AC-TRUNK cable to the frame using cable ties rated for use in the installation location. Keep the connectors in a position accessible to the AC-TRUNK cable coming from the MICRO.



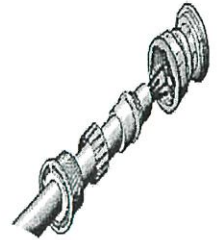
Remove temporary cap from AC-TRUNK cable connectors and connect MICRO inverters. The connectors are coupled correctly when two clicks are heard. Keep unused AC-TRUNK cable connectors watertight by fitting the AC-TRUNK PLUG CAP on them.



4

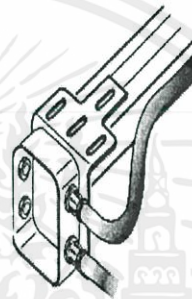
Fit the appropriate AC-TRUNK END CAP on the unused ends of the AC-TRUNK cable as follows:

- Fit the ring nut and gasket around the cable to terminate.
- Strip 50 mm/2" of the external insulation and separate each conductor.
- Insert the conductors inside the cap to block them.
- Insert the gasket into the cap with slight pressure.
- Tighten the ring nut to the correct pressure on the gasket (max. 2.45Nm/1.8 ft-lbs).
- Secure the section of the terminated cable to the frame with cable ties.



5

Connect the AC-TRUNK cable/s coming from the MICRO Inverters to the junction box or to the AC distribution panel.



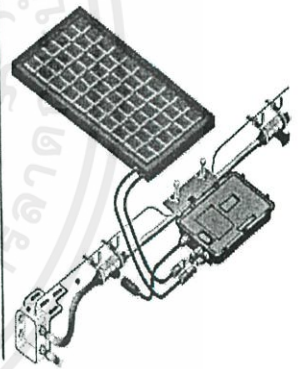
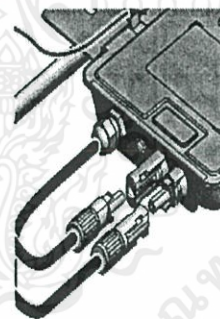
6

Use the labels affixed to each inverter to create the system map. Place the adhesive labels on the diagram found on Page 2 of this guide.



7

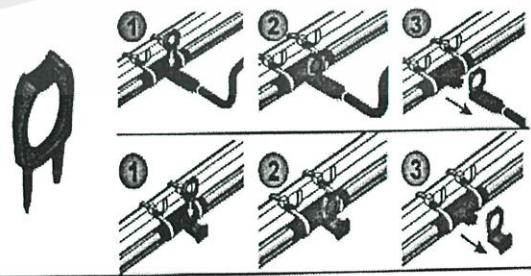
Plug the DC cables into the corresponding inputs on the MICRO inverters and install the photovoltaic modules.



WARNING Each module must be connected to the MICRO Inverter with a DC cable length of less than 3mm.

The AC-TRUNK UNLOCK TOOL is used for the disconnection of the AC connect or MICRO Inverter and for the removal of the AC-TRUNK PLUG CAP from the connectors on the AC-TRUNK cable.

DISCONNECTING TOOL




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICRO-0.25/0.3-I-OUTD-US-208/240 QUICK INSTALLATION GUIDE


LOAD PROTECTION SWITCH (ACDISCONNECT SWITCH) - To protect AC connection lines of, it is required to install a device for protection against over current with the following characteristics:

Protection breaker rating		6A	10A	16A	20A
Max number of Inverters @240VAC	MICRO-0.25	4	7	12	15
	MICRO 0.3	3	6	9	12
Max number of inverters @208VAC	MICRO-0.25	4	6	10	13
	MICRO-0.3	3	5	8	11


Dimensions of the thermal-magnetic circuit breaker is determined by the number of MICRO inverters connected to a single AC line. A 20A thermal-magnetic circuit breaker represents the maximum value permitted for installation in a single AC line, based on the AC cable cross section (10 AWG).

 It is the installer's responsibility to adequately size the overcurrent protection, based on the number and types of MICRO inverters in the system. The inverter shall be connected only to a dedicated branch circuit.


INTERFACE PROTECTION SYSTEM AND DEVICE DOWNSTREAM OF THE INVERTER - The inverter does not include any electromechanical devices (relays, contactors, etc.) for automatic disconnection from the power grid. The system must be provided with external protection for the physical disconnection of the MICRO inverters from the grid, typically composed of an interface protection system that analyzes and controls the grid parameters and sends commands to the interface device in charge of physically disconnecting the PV installation MICRO inverters line.

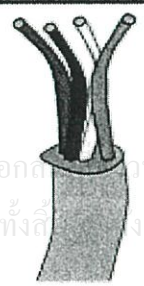
 To reduce the risk of fire, connect only to a circuit provided with 20A maximum branch circuit overcurrent protection in accordance with the National Electric Code (ANSI/NFPA 70).


The Power-One AC cables coming from MICRO inverters must be joined inside a junction box. A single line cable must form the connection to the distribution grid. The AC cable used is quadropole and grounding is obligatory. Line cable (not supplied from Power-One) runs between the junction box and the load distribution panel. Power-One AC cables from the MICRO inverters have four conductors shown below. Close the junction box after the wiring is complete. Ensure that the seal is tight.

 To prevent electrical hazards, all the connection operations must be carried out with the disconnect switch downstream of the inverter (grid side) open and locked.

The Power-One AC cables coming from MICRO inverters must be joined inside a junction box. A single line cable must form the connection to the distribution grid. The AC cable used is quadropole and grounding is obligatory. Line cable (not supplied from Power-One) runs between the junction box and the load distribution panel. Power-One AC cables from the MICRO inverters have four conductors shown below. Close the junction box after the wiring is complete. Ensure that the seal is tight.

 To prevent electrical hazards, all the connection operations must be carried out with the disconnect switch downstream of the inverter (grid side) open and locked.

	Item code	Description
	AC-TRUNK SPOOL-41inches-50plugs	AC cable (4 conductors): 10 AWG; wheelbase 41" 50 connectors
	AC-TRUNK SPOOL-67inches-32plugs	AC cable (4 conductors): 10 AWG; wheelbase 67" 32 connectors
	AC-TRUNK SPOOL-81inches-27plugs	AC cable (4 conductors): 10 AWG; wheelbase 81" 27 connectors

 The installation technician is responsible for selecting a junction box with the appropriate dimensions and insulation. Do not to reverse the phase with the neutral!