





## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลัง ด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

ผู้ดำเนินโครงการ นายชนกร ทรงดำรงกุล รหัส 51383836

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ปิยนัย ภาชนะพรณ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.ปิยนัย ภาชนะพรณ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัชวานิช)

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

ชื่อหัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลัง ด้วย โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory
ผู้ดำเนินโครงการ	นายชนกร ทรงคำรงค์กุล รหัส 51383836
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปิยคนัย ภาชนะพรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำการศึกษาวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ด้วย โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ ซึ่งประเภทของโหลดคือ โหลดบ้านพักอาศัย โดยใช้โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory ในการออกแบบระบบเพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านแรงดันเกินและวิธีแก้ไข ด้วยวิธีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแก้บัสอัตโนมัติ และการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงข้างไว้ ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3 เฟส 400 V ที่ประกอบด้วยโหลดบ้านพักอาศัยจำนวน 50 หลัง โดยใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าและลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาใน 1 วัน จากการทดสอบพบว่าทั้ง 2 วิธี สามารถใช้แก้ปัญหาแรงดันเกินและแรงดันตกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**Project Title**                    Analysis of Over Voltage in Low-Voltage Distribution Networks with Solar Rooftop Systems using DIgSILENT PowerFactory software

**Author**                            Mr.Thanakorn Songdamrongkul                    ID 51383836

**Project Advisor**                Dr.Piyadanai Pachanapan

**Major**                                Electrical Engineering

**Department**                    Electrical and Computer Engineering

**Academic Year**                 2015

.....

### Abstract

This project introduced the analysis of over voltage in low-voltage distribution networks with solar rooftop systems using DIgSILENT PowerFactory software, when the majority of connected loads is located at the end of low voltage feeder. Assuming the connected loads were residential houses. The DIgSILENT PowerFactory software was used to analysis the impact of solar rooftop systems on the voltage level in the networks. To mitigate the over voltage problem, the control solutions by using distribution-transformer with automatic tap changer and using automatic capacitor bank with fixed tap changer transformer are proposed. The test system is three phase 400 V radial distribution networks with 50 residential houses, including the data of residential load profile and solar rooftop generation profile in 24 hours (1 day). The simulation results showed that these two solution can prevent the over voltage and under voltage problems efficiently

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. ปิยนัย ภาชนะพรรณน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิภา วัฒนะ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อนุเคราะห์ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบในการทำโครงการนี้

เหนือสิ่งอื่นใดที่จะขาดไม่ได้เลยในการดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง คอยเป็นกำลังใจจนได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวของผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายชนกร ทรงคำรงค์กุล

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
กิตติกรรมประกาศ .....	ง
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
<b>บทที่ 1</b> บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ .....	3
1.6 งบประมาณ .....	3
<b>บทที่ 2</b> หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า .....	4
2.2 ผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง .....	5
2.3 การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า .....	5
2.4 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบปรับแท็บได้ .....	10
2.5 ตัวเก็บประจุ .....	14
2.6 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	19
2.7 การหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	21

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ .....	22
3.1 การคิดโหลดเฉลี่ยและการคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	22
3.2 การกำหนดจำนวนแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	25
3.3 การเลือกแบบบ้านและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ .....	28
3.4 ข้อมูลความเข้มแสง .....	30
3.5 การออกแบบระบบเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา .....	35
3.6 เทคโนโลยี intelligent electronic device .....	37
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินและวิธีแก้ไข .....	39
4.1 ลักษณะของระบบ .....	40
4.2 วิธีแก้ไขปัญหาแรงดันเกิน .....	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	57
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	57
5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ .....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก รายละเอียดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA.....	61
ภาคผนวก ข รายละเอียดอินเวอร์เตอร์ .....	66
ภาคผนวก ค รายละเอียดสายไฟฟ้า .....	68
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อกำหนดการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	70
ภาคผนวก จ รายละเอียด การตั้งค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory ใน สำหรับการทดสอบและวิเคราะห์ระบบ .....	75

## สารบัญ

	หน้า
ภาคผนวก จ รายละเอียดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	87
ภาคผนวก ช รายละเอียดหลักการควบคุมการเปลี่ยนแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอัตโนมัติ ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory .....	90
ภาคผนวก ซ รายละเอียดหลักการควบคุมการเปลี่ยนแท็บชุดตัวเก็บประจุกำลังอัตโนมัติ ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory .....	94
ภาคผนวก ฌ รายละเอียดข้อกำหนดน้ำหนักรรทุกจร .....	96
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	98





## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางการกำหนดค่ากระแสเบสส์ .....	5
2.2	ตารางอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า.....	10
3.1	ตารางการคำนวณ โหลดเฉลี่ยของ โหลดบ้านพักอาศัย .....	22
3.2	จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือน .....	25
3.3	ตารางกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามความเข้มแสง .....	33
3.4	ตารางข้อมูลความเข้มแสงตลอดทั้งวันของวันที่ 12 ตุลาคม 2012 .....	33



## สารบัญรูป

ภาพที่		หน้า
2.1	ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอย่างง่าย.....	6
2.2	ระบบโครงข่ายที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสู่ระบบ.....	8
2.3	แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเมื่อมีและไม่มี การควบคุมแรงดันจากหม้อแปลง สถานี.....	11
2.4	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเท็บของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเปลี่ยนแปลงเท็บอัตโนมัติ.....	12
2.5	หลักการควบคุมแรงดัน .....	13
2.6	การกำหนดค่าต่างๆ ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงเท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังใน โปรแกรม DIgSILENT Power Factory .....	14
2.7	แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเมื่อ ไม่มีตัวเก็บประจุติดตั้งในสายป้อนและมีตัวเก็บ ประจุติดตั้งในสายป้อน .....	15
2.8	ลักษณะการควบคุมแรงดัน.....	16
2.9	ลักษณะการต่อของชุดตัวเก็บประจุ.....	18
2.10	การกำหนดค่าต่างๆ ของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติใน โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory.....	19
2.11	หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อ ได้รับแสง .....	20
3.1	ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของโหลดบ้านพักอาศัย .....	24
3.2	คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	26
3.3	อินเวอร์เตอร์ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค .....	28
3.4	ลักษณะแบบบ้าน.....	29
3.5	การจัดวางและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	30
3.6	IV Curves 130 W รุ่น ND-130 UJF .....	31
3.7	กราฟความชันของความเข้มแสง .....	32
3.8	กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 31 แผง ผลิต ได้ต่อวันที่ความเข้ม แสงต่าง ๆ .....	34
3.9	การต่อสาย RS-485 แบบขนาน .....	38

## สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.1	โครงสร้างของระบบโดยโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory .....	39
4.2	ลักษณะแรงดันของโหลดทั้ง 5 บัส .....	40
4.3	ลักษณะ โครงสร้างของระบบที่มีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้ามาในระบบจำหน่าย.....	41
4.4	แรงดันของโหลดกับกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้าน 1 หลัง .....	42
4.5	แรงดันที่บัสต่างๆ ทั้ง 5 บัสเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อ .....	43
4.6	แรงดันที่บัส 5 เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อ .....	44
4.7	แรงดันเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงค้ำบวค 1 สเต็ปกับไม่ได้ปรับแท็บหม้อแปลงที่บัส 5 ของระบบ .....	45
4.8	แรงดันเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลง ไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 สเต็ปกับไม่ได้ปรับแท็บหม้อแปลงที่บัส 5 ของระบบ .....	46
4.9	แรงดันเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงอัตโนมัติกับ ไม่ได้ปรับแท็บหม้อแปลงที่ บัส 5 ของระบบ .....	47
4.10	ลักษณะการปรับแท็บอัตโนมัติของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 315 kVA .....	48
4.11	รูปแบบการต่อชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเข้าสู่ระบบที่หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ...	49
4.12	แรงดันของเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงค้ำบวค 2 สเต็ปกับการปรับแท็บหม้อแปลงค้ำบวค 2 สเต็ป ที่เชื่อมต่อปรับชุดตัวเก็บประจุ 50 kVar จำนวน 10 สเต็ป เข้าสู่ระบบวัดที่บัส 5.....	50
4.13	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลง ไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง .....	51
4.14	ลักษณะการปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 50 Kvar จำนวน 9 สเต็ป.....	52
4.15	ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติที่บัสปลายทาง.....	53

## สารบัญญรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.16	แรงดันเปรียบเทียบแรงดันของการปรับแก้หม้อแปลงค้ำงบวก 2 สเต็ป และการปรับแก้หม้อแปลงค้ำงบวก 2 สเต็ป ที่เชื่อมต่อบริษชุดตัวเก็บประจุ 10 kVar จำนวน 7 สเต็ปเข้าสู่ระบบ วัดที่บัส 5.....	54
4.17	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุ วัตต์ โนมัลติขนาด 10 kVar จำนวน 7 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลง ไฟฟ้ากำลังค้ำงบวก 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งบัส 5 .....	55
4.18	การปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุวัตต์ โนมัลติ.....	56



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน เพื่อเป็นการแบ่งเบาภาระในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้า เนื่องจากเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อยและยังสามารถสร้างกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เป็นการเปิดโอกาสให้มีการแข่งขันผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ ทำให้มีผู้ผลิตเอกชนรายเล็กมากขอติดตั้งโรงไฟฟ้าเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทยเป็นระบบการจ่ายไฟแบบเรเดียล ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งจ่ายไฟไปยังโหลดในทิศทางเดียว ทำให้การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวยังมีความยุ่งยาก ซับซ้อน และใช้เวลานาน เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่จะประกอบไปด้วยสายส่งและบัสจำนวนมาก

ดังนั้นการวางแผนติดตั้งและวิเคราะห์ผลกระทบของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบแรงดันเกิน แรงดันตก ฮาร์มอนิกส์ เพราะผลกระทบเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ป้องกันของระบบ เนื่องจากระบบเป็นแบบเรเดียล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่อาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดรวมถึงการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจร จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดกับระบบก่อนที่จะมีการติดตั้งหรือเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

สำหรับโครงการนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่าย ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ ซึ่งประเภทของโหลดคือโหลดบ้านพักอาศัย โดยใช้โปรแกรม DIGSILENT PowerFactory ในการออกแบบระบบเพื่อทำการวิเคราะห์และวิธีควบคุมผลกระทบด้านแรงดันเกินด้วยวิธีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแก้บัสอัตโนมัติ และการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์และควบคุมผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบ

จำหน่ายแรงดันต่ำ เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ โดยวิธีการควบคุมแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ด้วยวิธีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแก้กำลังอัตโนมัติ และการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงข้างไว้

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า
- 1.3.2 วิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า
- 1.3.3 การควบคุมผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า ด้วยวิธีปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอัตโนมัติและการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงข้างไว้

### 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2558						พ.ศ. 2559					
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1) ศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า	➔											
2) วิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า				➔								
3) วิธีควบคุมผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้า					➔							
4) สรุปผลการดำเนินงานและนำเสนอโครงการ							➔					
5) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									➔			

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

สามารถวิเคราะห์ผลกระทบด้านแรงดันเกินของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระดับแรงดันต่ำ เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ ทั้งนี้หวังว่าการศึกษาค้นคว้ารวมไปถึงผลการวิเคราะห์และวิธีควบคุมแรงดันเกินนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและต้องการศึกษาเรื่องผลกระทบของแรงดันเกินของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

### 1.6 งบประมาณ

ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	1,000	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	1,000	บาท



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับผลกระทบด้านแรงดันเกินของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ เพื่อใช้ในการทำโครงการซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า และหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ดังต่อไปนี้

#### 2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วการควบคุมแรงดันไฟฟ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะคำนวณจากการไหลของกำลังไฟฟ้ามีทิศการไหลทางเดียวไหลจากต้นทาง แต่เมื่อมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไปแล้ว จะทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้ามีมากกว่าหนึ่งทาง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่พิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเดิม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ก่อนทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบจำหน่ายจึงต้องมีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อนำผลการคำนวณมาพิจารณาว่ามีผลกระทบกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายหรือไม่ เพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าภายในระบบทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏ ใช้ศึกษาสภาพการทำงานในสภาวะปกติและในเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลง โหลด เพื่อนำมาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของระบบได้ การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสของวงจรจะมีค่า 4 ค่าด้วยกัน คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้าจินตภาพ ค่าขนาดของแรงดันระหว่างสายกับดิน และค่ามุมของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าใดๆ 2 ค่า จากค่าทั้งหมด 4 ค่านี้ จะเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนไปได้และจะถูกกำหนดค่าไว้ ในขณะที่ค่าอื่น ๆ อีก 2 ค่า เป็นสิ่งที่ต้องการทราบค่า แต่ด้วยเหตุที่ว่าค่าไฟฟ้าที่ผลิตออกมาและโหลดผู้ใช้นั้นเป็นค่าทางฟิสิกส์ ดังนั้น ค่าของเงื่อนไขทางไฟฟ้าต่างๆ ของแต่ละบัสนั้น จะถูกกำหนดให้อยู่ในเทอมของค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าของกำลังไฟฟ้าจินตภาพมากกว่า การกำหนดค่ากระแสขั้วสมมติ โดยทั่วไปปัญหาในเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นจะมีการแบ่งบัสทางไฟฟ้าออกได้เป็น 3 ชนิด สรุปดังตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่ากระแสบัล

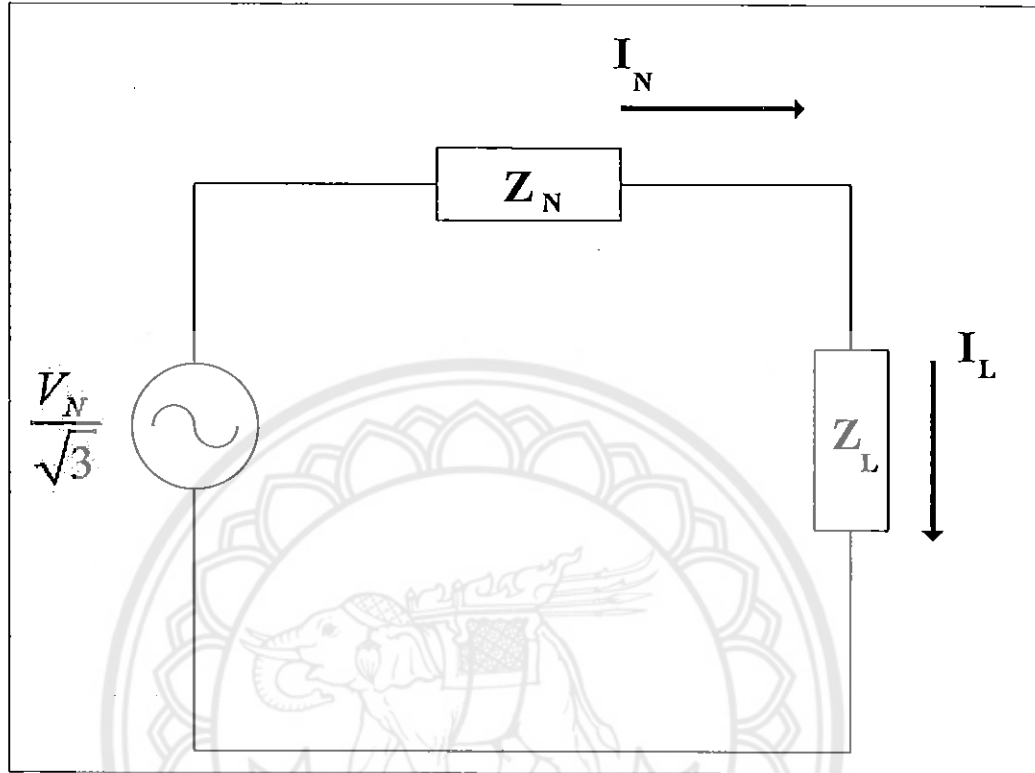
ชนิดของบัล	ปริมาณที่ทราบค่า	ปริมาณที่ไม่ทราบค่า
บัลสแล็ค	$ V =0, \delta=0$	P,Q
บัลควบคุมแรงดันหรือบัล PV	P, $ V $	Q, $\delta$
บัลโหลด หรือบัล PQ	P,Q	$ V , \delta$

วิธีการแก้ปัญหาในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในทางปฏิบัติต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อช่วยประหยัดเวลาในการหาคำตอบ วิธีการแก้ปัญหานั้นที่รู้จักกันนั้นคือ วิธีเกาส์ไซเคิล และวิธีนิวตัน-ราฟสัน แต่โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory จะใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน ในการคำนวณ

## 2.2 ผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สามารถช่วยปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ เนื่องจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในบริเวณที่มีโหลดหนาแน่นอยู่และช่วงปลายของสายป้อนซึ่งเป็นบริเวณที่แรงดันไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจะช่วยจ่ายโหลดบริเวณนั้น ทำให้ระบบมองว่าปริมาณโหลดน้อยลง กระแสที่ไหลจากสถานีจ่ายไฟฟ้าก็จะน้อยลง ทำให้แรงดันตกคร่อมสายไฟน้อยลง ส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่าสูงขึ้น แต่การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น บางครั้งกลับมีผลกระทบต่อระดับแรงดันในกรณีที่มีโหลดมีน้อยแต่กำลังผลิตในขณะนั้นมีมากจึงทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ ปัญหาแรงดันเกินถือเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงของภาวะไฟฟ้ากรณีที่เกิดขึ้นเป็นเวลานาน และแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 15 – 20% ของพิกัดแรงดันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันชำรุดเสียหายได้ อีกทั้งหากมีกรณี ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเกินความต้องการของผู้ใช้ไฟ จะทำให้ปริมาณพลังงานที่เหลือนั้นจ่ายย้อนกลับเข้าไปในระบบของการไฟฟ้า แล้วไปยังโหลดที่อยู่ในระยะทางไกล จึงทำให้เกิดความสูญเสียในสายส่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการจ่ายไฟในระบบจำหน่ายต้องจ่ายผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หม้อแปลงรวมทั้งจุดต่อของอุปกรณ์ อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้เกิดกำลังพลังงานไฟฟ้าสูญเสียขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันไฟฟ้าในสภาวะทำงานตามปกติอาจจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ระบุหรือค่าต้องการเล็กน้อย แต่ในบางเหตุการณ์อาจทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าหรือ

น้อยกว่าค่าที่ต้องการ โดยในระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะมีโครงสร้างอย่างง่ายประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าของระบบ อิมพีแดนซ์ของระบบ และอิมพีแดนซ์ของโหลด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอย่างง่าย

จากรูปที่ 2.1 สามารถเขียนสมการแรงดันไฟฟ้าของระบบได้ดังนี้

$$\frac{V_N}{\sqrt{3}} = I_N (Z_N + Z_L) \quad (2.1)$$

โดยที่

$V_N$  คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบ (V)

$I_N$  คือ กระแสไฟฟ้าของระบบ (A)

$Z_N$  คือ อิมพีแดนซ์ของระบบ ( $\Omega$ )

$Z_L$  คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด ( $\Omega$ )

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะเกิดจากแรงดันไฟฟ้าตกในอิมพีแดนซ์ของระบบ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระบบ โดยที่  $I_L = I_N$  จะสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta V_L = -\Delta I_L \times Z_L \quad (2.2)$$

โดยที่

$\Delta V_L$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป (V)

$\Delta I_L$  คือ กระแสไฟฟ้าโหลดที่เปลี่ยนแปลง (A)

กำลังไฟฟ้าลัดวงจร ( $S_{sc}$ ) ณ จุดโหลดหาได้จาก

$$S_{sc} = \frac{V_N^2}{Z_N} \quad (2.3)$$

กระแสโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถหาได้จากขนาดของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป

$$\Delta I_L = \frac{\Delta S_L}{\sqrt{3} \times V_N} \quad (2.4)$$

โดยที่

$S_{sc}$  คือ กำลังไฟฟ้าลัดวงจร (VA)

$\Delta S_L$  คือ กำลังไฟฟ้าหรือ โหลดที่เปลี่ยนแปลงไป (VA)

โดยจากสมการที่ (2.2) จะสามารถคำนวณขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้ คือ

$$\Delta V_L = -\frac{\Delta S_L}{\sqrt{3} \times V_N} \times \frac{V_N^2}{S_{sc}} \quad (2.5)$$

หรือ

$$\Delta V_L = -\frac{\Delta S_L}{S_{sc}} \times \frac{V_N}{\sqrt{3}} \quad (2.6)$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณร้อยละของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้จาก

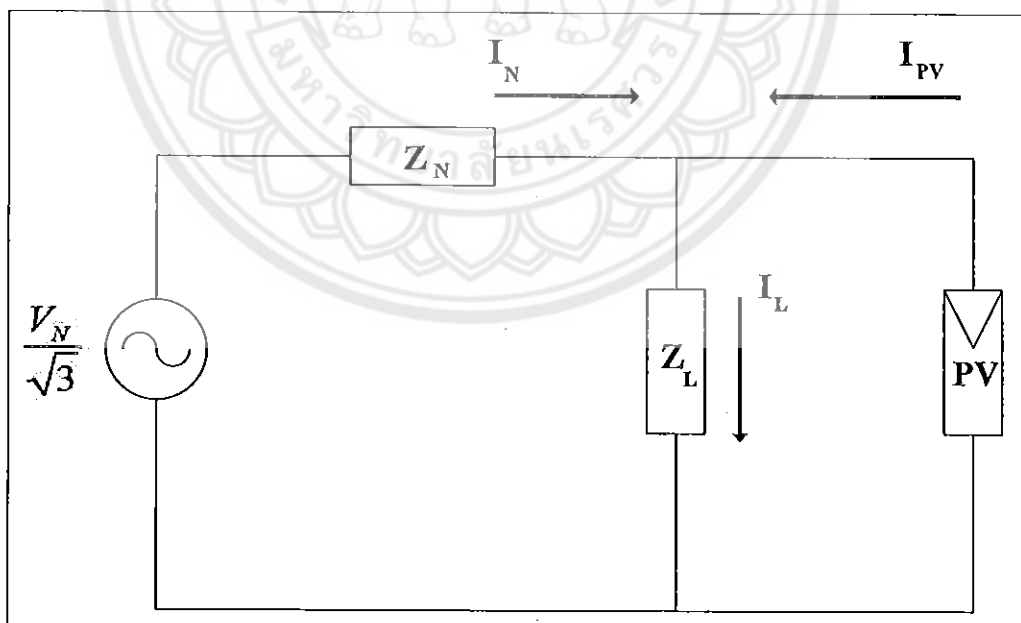
$$\% \Delta V_L = -\frac{\Delta S_L}{S_{sc}} \times 100 \quad (2.7)$$

โดยที่

$\% \Delta V$  คือ ร้อยละของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ( $\mathcal{V}$ )

$\Delta S_L$  คือ กำลังไฟฟ้าหรือโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป ( $VA$ )

จะพบว่าเมื่อโหลดของระบบมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีค่าที่ลดลงด้วย เนื่องจากค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของระบบเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบนั้นทำให้มีการไหลของกระแสของระบบมากกว่าเดิม คือ มีการไหลจากแหล่งจ่ายและไหลจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากกรณีที่มิกระแสไหลเป็นสองทางทำให้ส่งผลต่อแรงดันด้วย ถึงแม้แรงดันของแหล่งจ่ายกับเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากันแต่กระแสที่เพิ่มขึ้นของระบบจะส่งผลต่อแรงดันของระบบดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบโครงข่ายที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 2.2 จะพบว่าผลของกระแสของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อด้านแรงดัน การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม โหลดจะเกิดจากแรงดันไฟฟ้าของระบบกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตกในอิมพีแดนซ์ของระบบ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระบบ จะสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_L = I_L \times Z_L \quad (2.8)$$

โดยที่

$V_L$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด ( $V$ )

$Z_L$  คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด ( $\Omega$ )

$I_L$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดของระบบ ( $A$ )

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โหลดของระบบมีค่าดังต่อไปนี้

$$I_L = I_N + I_{PV} \quad (2.9)$$

หรือ

$$I_N = I_L - I_{PV} \quad (2.10)$$

โดยที่

$I_N$  คือ กระแสไฟฟ้าของระบบ ( $A$ )

$I_{PV}$  คือ กระแสไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ( $A$ )

จากสมการที่ 2.9 จะพบว่ากระแสที่ไหลผ่าน โหลดจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้ามา เพราะว่าโหลดของระบบได้รับทั้งกระแสของระบบและกระแสจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แต่เมื่อกระแสที่ไหลจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่ากระแสของระบบทำให้กระแสจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นไหลเข้าสู่ระบบทำให้เกินแรงดันเกินกับระบบจำหน่าย

## 2.3 การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

การเกิดของแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินถือว่าเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ทั่วไปในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยการเกิดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสหนึ่งๆ จะลดลงหรือเพิ่มขึ้นเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ของข้อกำหนดการเชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้า การเกิดของผลกระทบด้านแรงดันอาจเกิดขึ้นในระยะเวลาที่แตกต่างกันตามสาเหตุที่ทำให้การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกิน ระยะเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้จะมีการเกิดผลกระทบด้านแรงดันที่ระยะเวลาการเกิดมากกว่า 60 วินาที หรือ 1 นาที ขึ้นไปการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น สาเหตุที่เกิดจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า และสาเหตุที่เกิดจากตัวผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะต้องอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยปกติการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะมีหน้าที่ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า ความถี่ของไฟฟ้าให้มีค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานของโหลด ซึ่งในบางสายส่งที่มีความยาวของสายมาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายอาจมีค่าที่ต่ำกว่าปกติ ดังนั้นการไฟฟ้าจึงต้องเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของสายในส่วนนั้น เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ปลายสายของระบบไม่ตกเกินที่กำหนดเอาไว้ การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปมีด้วยกัน 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า

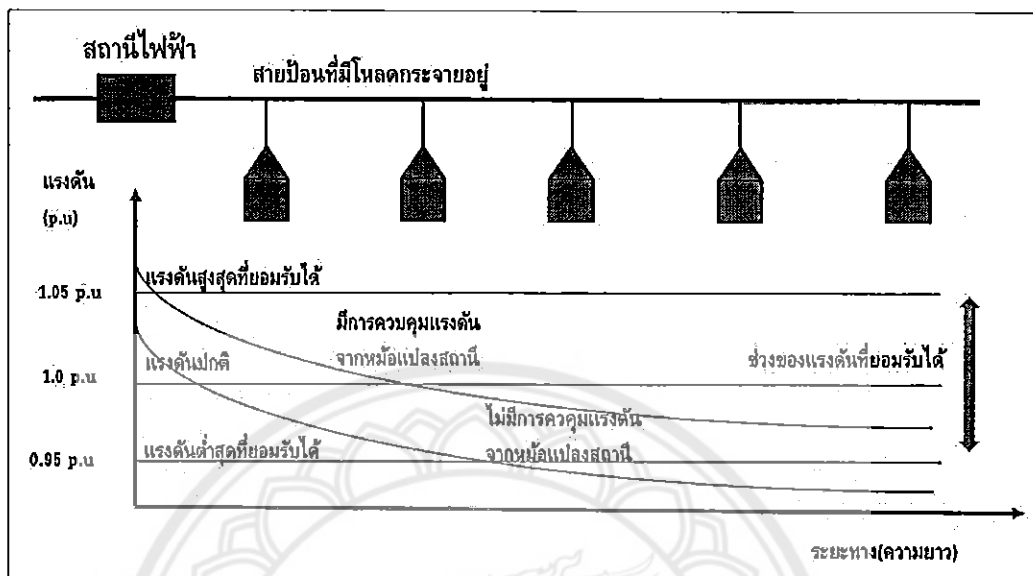
อุปกรณ์	ตำแหน่งการติดตั้ง	ผลของการทำงาน
Load tap changer	หม้อแปลงของสถานีไฟฟ้า	ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้นสายส่ง
Voltage regulator	สถานีไฟฟ้าหรือสายส่ง	ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้นสายส่งหรือในสายส่ง
Capacitor bank	สถานีไฟฟ้าหรือสายส่ง	ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558)

## 2.4 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบปรับแท็บได้

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบปรับแท็บได้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามต้องการเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งความยาวสายป้อนให้ได้รับคุณภาพไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐาน โดยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับแท็บได้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดการเปลี่ยนแท็บขณะมีโหลด (on-load tap changer) ซึ่งจะสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่โดยอัตโนมัติขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องดับไฟ ซึ่งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าคั่นทางได้รับแรงดันไฟฟ้าตาม

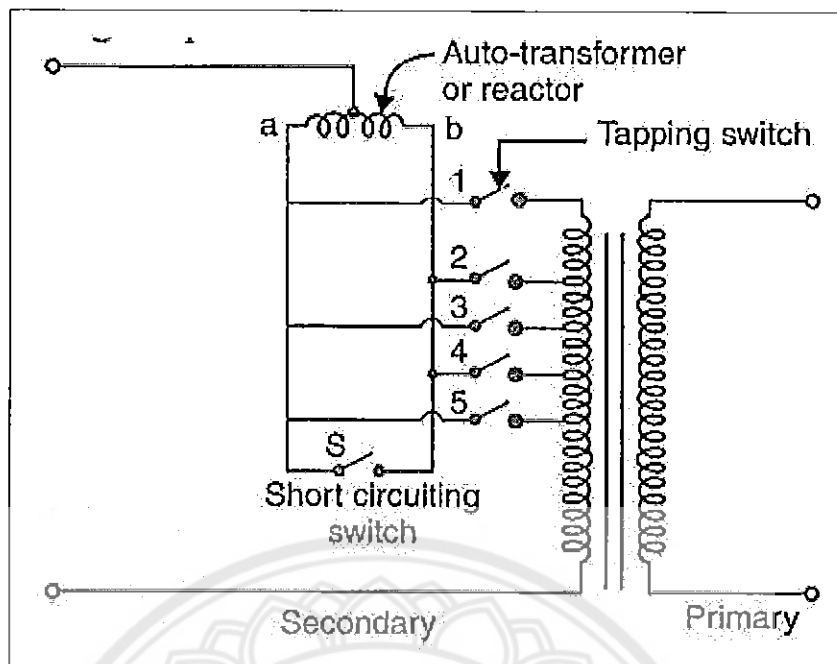
มาตรฐานแล้ว แต่ผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทางอาจจะได้รับแรงดันไฟฟ้าต่ำเกินไป ทำให้ต้องมีการยกระดับของแรงดันไฟฟ้าจากต้นทางเพื่อลดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเมื่อมีและไม่มี การควบคุมแรงดันจากหม้อแปลงสถานี

ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558)

โดยทั่วไปแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะอยู่ทางด้านขดลวดแรงสูงเพราะมีจำนวนรอบมาก และมีกระแสไหลน้อย ปกติแท็บหม้อแปลงจะมี 5 แท็บ แต่ละแท็บจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไปประมาณ 2.5% โดยหมุนปรับตามเข็มนาฬิกา ซึ่งแต่ละตำแหน่งที่หมุนเพิ่มขึ้น จะเป็นการลดจำนวนรอบของขดลวดของหม้อแปลงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการเปลี่ยนแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเปลี่ยนแท็บอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.4 เป็นโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บอัตโนมัติ ซึ่งโครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บธรรมดาจะแตกต่างจากหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บอัตโนมัติตรงที่ไม่มีขดลวด auto-transformer ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บธรรมดาก่อนที่จะทำการปรับแท็บหม้อแปลงต้องทำการปลดโหลดก่อนจึงจะสามารถปรับแท็บหม้อแปลงได้ ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บอัตโนมัตินั้นสามารถปรับได้โดยตามคำสั่งของอุปกรณ์ควบคุมโดยไม่ต้องปลดโหลดออกจากระบบดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.11)$$

หรือ

$$v_2 = \frac{n_2}{n_1} \times v_1 \quad (2.12)$$

โดยที่

$v_1$  คือ แรงดันด้านแรงสูง (V)

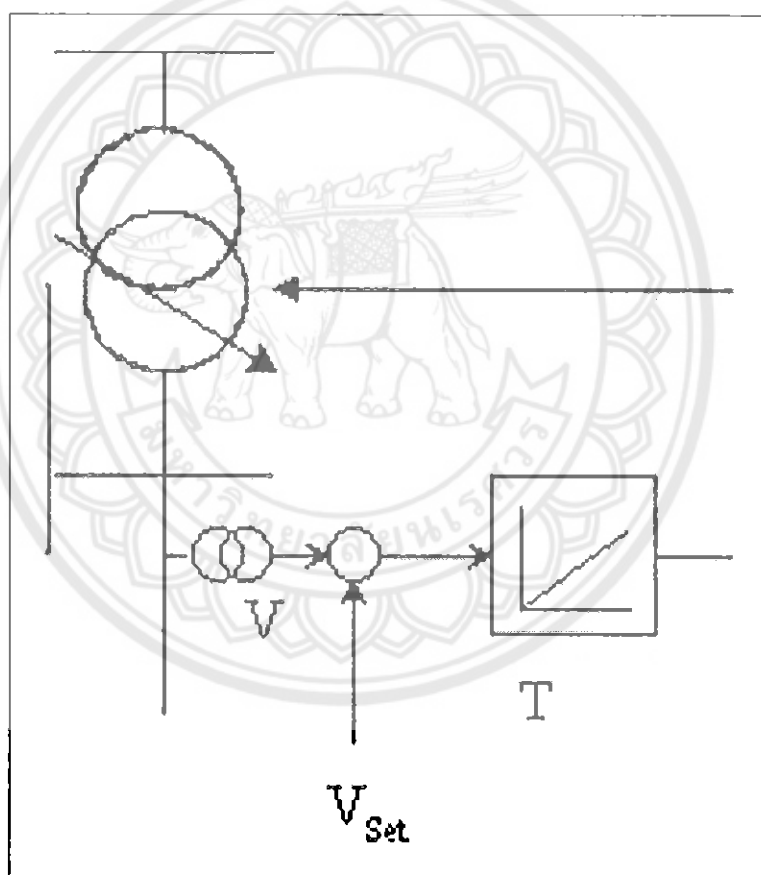
$v_2$  คือ แรงดันด้านแรงต่ำ (V)

$n_1$  คือ จำนวนขดลวดด้านแรงสูง



$n_2$  คือ จำนวนขดลวดด้านแรงต่ำ

จากสมการที่ 2.12 จะพบว่าการเพิ่มหรือลดจำนวนขดลวด ( $n_1$ ) ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ด้านแรงสูง จะส่งผลโดยตรงต่อแรงดันที่เกิดขึ้นด้านแรงต่ำ คือ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนขดลวดด้านแรงสูงจะทำให้แรงดันด้านแรงต่ำลดลง และเมื่อลดจำนวนขดลวดด้านแรงสูง จะทำให้แรงดันด้านแรงต่ำเพิ่มขึ้น ซึ่งการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนี้เป็นการเพิ่มหรือลดจำนวนขดลวดด้านแรงสูง หรือแรงต่ำของหม้อแปลง การปรับแก้ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขึ้นอยู่กับความต้องการแรงดันของระบบลักษณะการปรับแก้หม้อแปลงแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยการปรับแก้ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory จะมีลักษณะการวัดและปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการควบคุมแรงดัน

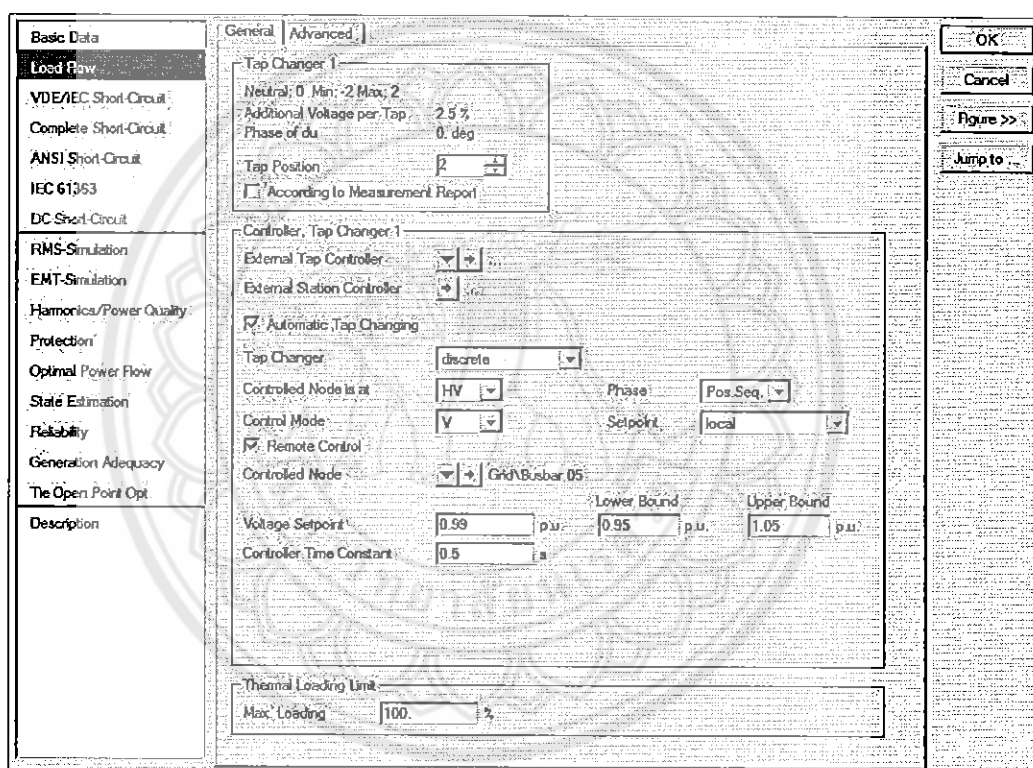
โดยที่

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบ (V)

$V_{set}$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (p.u)

$T$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาควบคุม ( $s$ )

จากรูปที่ 2.5 จะพบว่า การเปลี่ยนแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขึ้นอยู่กับ การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด เมื่อแรงดันเข้าใกล้เขตวิกฤติหรือค่าที่ตั้งเอาไว้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะปรับแท็บทันที ซึ่งจะปรับทีละสเต็ปไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้แรงดันในระดับที่ต้องการ ซึ่งการเปลี่ยนแท็บหนึ่งสเต็ปความไวหรือการหน่วงในการเปลี่ยนขึ้นอยู่กับค่าคงที่ทางเวลาที่กำหนด ดังนั้น เพื่อให้การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนั้นทำงานได้ตามที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ซึ่งบัสที่จะควบคุมนั้นเป็นบัสปลายทางและในการควบคุมการเปลี่ยนแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกำหนดค่าต่างๆ ในการควบคุมการเปลี่ยนแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

## 2.5 ตัวเก็บประจุ

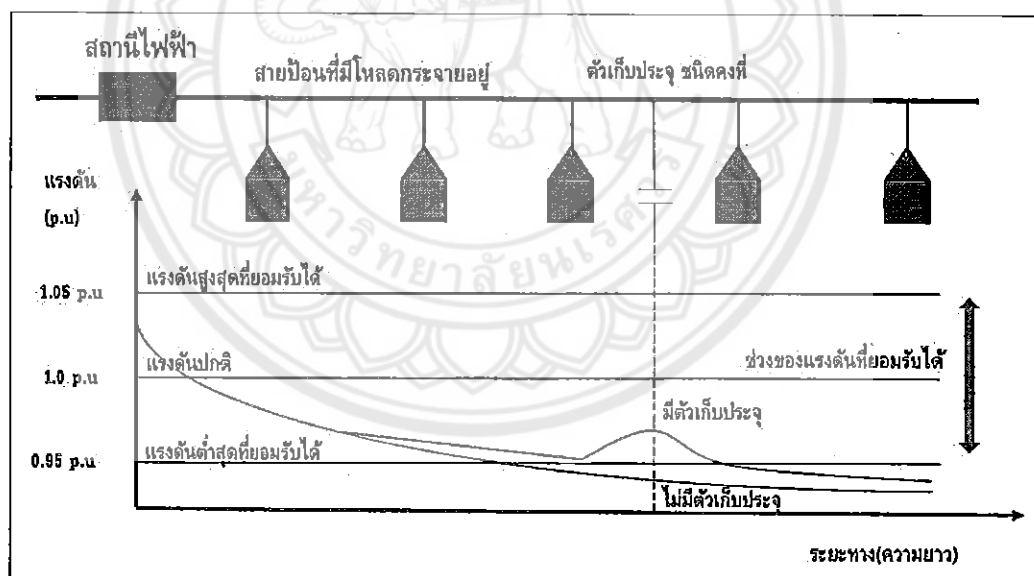
ตัวเก็บประจุสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากตัวเก็บประจุสามารถสร้างกระแสแบบนำ ซึ่งเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานเหนี่ยวนำในสายป้อนจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเพิ่มขึ้นดังแสดงในสมการที่ (2.13) (สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558)

$$\% \text{Voltage Rise} = \frac{k \text{ var} \times d \times X}{10 \times (kV)^2} \quad (2.13)$$

โดยที่

- $kvar$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟกักตัวของตัวเก็บประจุ ( $kVAR$ )  
 $d$  คือ ระยะห่างจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าถึงตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุ (km)  
 $X$  คือ ตัวต้านทานเหนี่ยวนำในสายป้อน ( $\Omega/km$ )  
 $kV$  คือ ค่าแรงดันระหว่างสาย (line to line voltage) ( $kV$ )

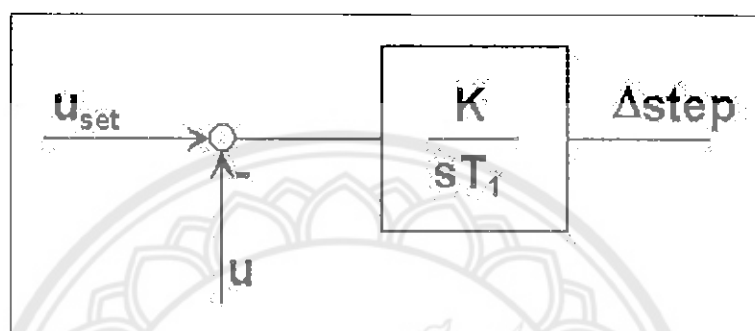
โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดสวิทช์จะถูกใช้ในขณะที่มีขนาดโหลดสูงในสายป้อนเท่านั้น ซึ่งขนาดของของตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปในระบบจะขึ้นอยู่กับขนาดโหลดในสายป้อน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลด และเงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าในสายป้อน โดยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนเมื่อไม่มีตัวเก็บประจุติดตั้งในสายป้อนและมีตัวเก็บประจุติดตั้งในสายป้อน

ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558)

จากรูปที่ 2.7 จะพบว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อให้อุปกรณ์ในระบบเกินแรงดันตกในระบบทั้งนี้ การติดตั้งตัวเก็บประจุนี้จะส่งผลให้ระบบเกินแรงดันเกินเมื่อระบบทำงานอยู่ในสภาวะปกติ เพื่อให้เป็นการประหยัดเวลาและความสะดวกการติดตั้งตัวเก็บประจุอัตโนมัติถือว่าเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าตัวเก็บประจุธรรมดา เพราะสามารถตั้งค่าให้ตัวเก็บประจุอัตโนมัติทำงานได้ตามค่าที่ต้องการ ซึ่งในโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory ตัวเก็บประจุอัตโนมัติจะมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการควบคุมแรงดัน

โดยที่

$u_{set}$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ( $p.u$ )

$u$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ ( $p.u$ )

$T_1$  คือ ค่าคงที่ทางเวลา (s)

$\Delta step$  คือ จำนวนการเปลี่ยนสแต็ป

สามารถหาค่าคงที่ทางเวลาได้จากสมการ

$$T_1 = \frac{T_{ctrl}}{T_{minctrl} \times krelax} \quad (2.14)$$

โดยที่

$T_{ctrl}$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาควบคุม

$T_{minctrl}$  คือ เวลาที่ไวที่สุดของ  $T_{ctrl}$  เมื่อมีการเปลี่ยนแท็บมือแปลงหรือตัวเก็บประจุ

$krelax$  คือ ค่าต่ำสุดของ controller relaxation factor ในคำสั่ง load flow มีค่าเท่ากับ 1

จากรูปที่ 2.7 สามารถหาอัตราขยายของระบบได้จากสมการ

$$K = K_{ctrl} \times krelax \times ncapx \times orientation \times 100\% \quad (2.15)$$

โดยที่

$K$	คือ อัตราขยายของระบบ
$K_{ctrl}$	คือ ความไวของประจุกต่อแรงดัน (p.u/%)
$ncapx$	คือ จำนวนสูงสุดของสเต็มป์
$orientation$	คือ ค่าเริ่มต้นของสเต็มป์

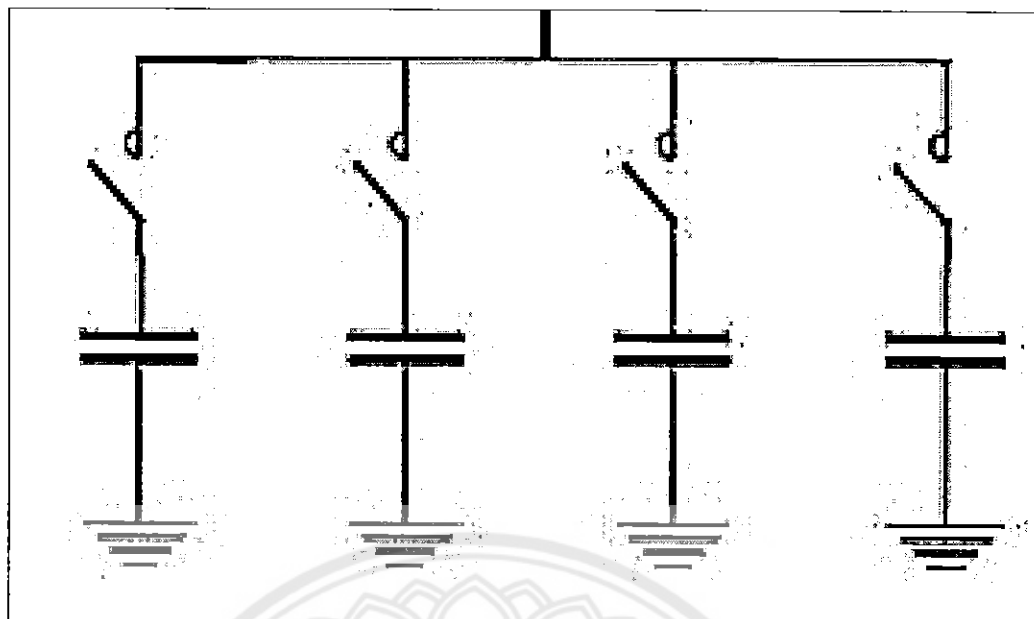
จากรูปที่ 2.2  $u_{set}$  คำนวณมาจากค่าจำกัดของค่าสูงสุดและต่ำสุดของแรงดัน ดังสมการต่อไปนี้

$$u_{set} = \frac{u_{set}(upper) - u_{set}(lower)}{2} \quad (2.16)$$

โดยที่

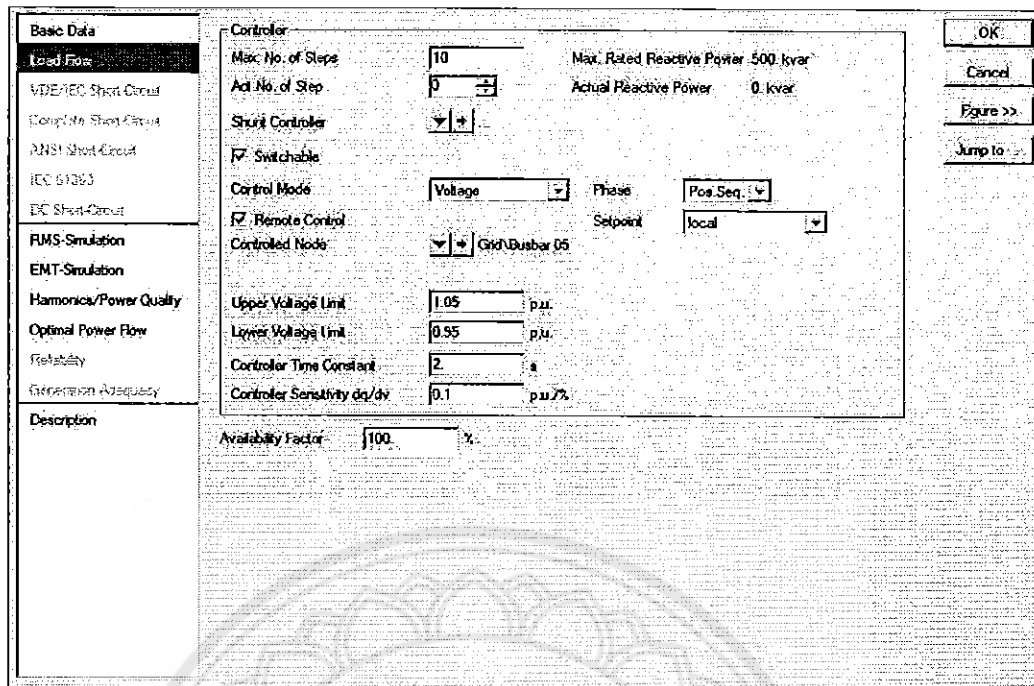
$u_{set}(upper)$	คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่กำหนด
$u_{set}(lower)$	คือ ค่าแรงดันต่ำสุดที่กำหนด

ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จำนวนหลายชุดที่ใส่ขนานเข้ามาในระบบไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่เพิ่มแรงดันของระบบให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเกิดแรงดันตกในระบบ โดยจำนวนหรือขนาดของตัวเก็บประจุที่ต้องการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่ากำลังงานรีแอคทีฟที่เกิดขึ้นในระบบในขณะนั้น ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจูดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะการต่อของชุดตัวเก็บประจุ  
ที่มา: บริษัท เพาเวอร์ ควอลิตี้ ทิม จำกัด (2559)

ในการสับชุดตัวเก็บเพื่อช่วยระบบในช่วงที่เกิดแรงดันตกภายในระบบ ระบบนั้นจะทำการวัดค่าแรงดันของระบบก่อนหากว่าเกิดแรงดันตกในระบบ จะมีคำสั่งให้มีการสับชุดตัวเก็บประจุ แต่จะสับที่จุดนั้นขึ้นอยู่กับผลของแรงดันตกช่วงนั้น เช่น อาจจะสับที่ละสเต็ปหรือสับที่ละ 3 สเต็ป แต่ถ้าเกิดแรงดันตกอย่างรุนแรงอาจสับทั้งหมดทีเดียว ซึ่งการสับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุนั้นสามารถสับพร้อมกันทีเดียวก็สเต็ปก็ได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ จากสมการที่ 2.16 สามารถกำหนดค่าต่างๆ ของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติในโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory ได้ ดังรูปที่ 2.10

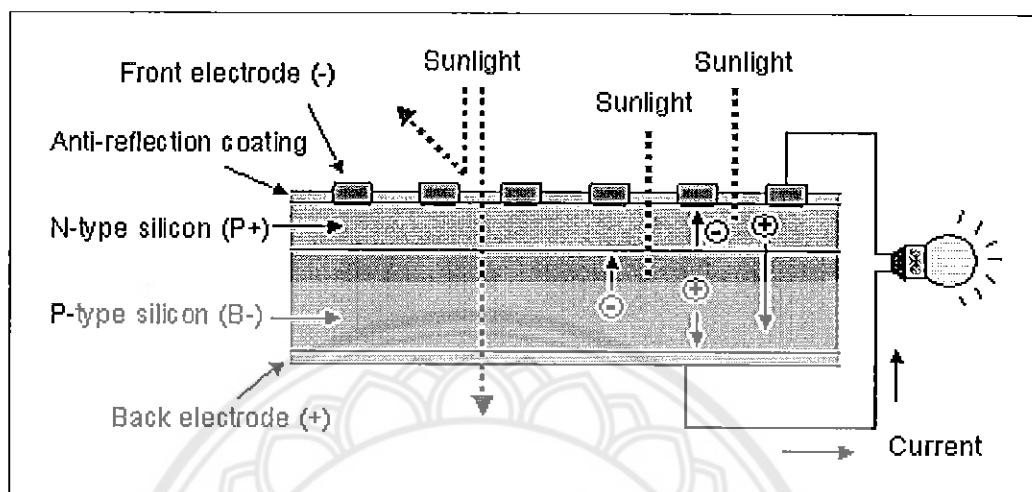


รูปที่ 2.10 การกำหนดค่าต่างๆของชุดตัวเก็บประจุกัด โนมติในโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory

## 2.6 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป เมื่อมีแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและซึ่งเป็นพลังงานมากกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะก่อให้เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถนำกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอนหรือโฮล เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบ โลหะเรียกว่า back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง  
ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2559)

จากรูปที่ 2.11 จะพบว่าเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคู่อิเล็กตรอนและโฮล เมื่อมีพลังงานมากพอที่จะทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type อิเล็กตรอนจะวิ่งไปรวมกันที่ front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก front electrode และ back electrode ให้ครบวงจรจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งในแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันจึงมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ คือ ความเข้มของแสง และอุณหภูมิ ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อมีความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์จะไม่แปรตามความเข้มของแสงมาก



## 2.7 การหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพของแผงไม่เท่ากับประสิทธิภาพของแผงจะขึ้นอยู่กับปัจจัย ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผลคูณของพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{PV} = \left( \frac{W_{PV}}{A \times I_T} \right) \times 100 \% \quad (2.17)$$

โดยที่

$\eta_{PV}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$W_{PV}$  คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $W$ )

$A$  คือ พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

$I_T$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $kJ/hr.m^2$ )

ในการพิจารณาชนิดของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต้องพิจารณาจากความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อน โดยปริมาณการผลิตพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ของอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประเภท ได้แก่ ค่าสมรรถนะของเทคโนโลยีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และศักยภาพของแสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่ใช้เทคโนโลยีนั้น ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยสามารถจะคาดคะเนปริมาณพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟพร้อมทั้งการเลือกใช้นิคมของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิต ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสาย โดยจะมีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ การคิด โหลดเฉลี่ยและการคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเลือกแบบบ้านและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลความเข้มแสง และการออกแบบระบบเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 การคิดโหลดเฉลี่ยและการคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปกติแล้วบ้านแต่ละหลังมีจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันและมีจำนวนไม่เท่ากันดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประมาณ โหลดโดยเฉลี่ย การคำนวณ โหลดเฉลี่ยเพื่อนำ ไปพิจารณาปริมาณการใช้ โหลดเบื้องต้นเพื่อนำ ไปสู่การพิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้เพียงพอกับความต้องการ และไม่มากจนเกินความจำเป็น ซึ่งจะพิจารณาตามจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าและจำนวนชั่วโมงของการใช้งานดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การคำนวณ โหลดเฉลี่ยของโหลบบ้านพักอาศัย

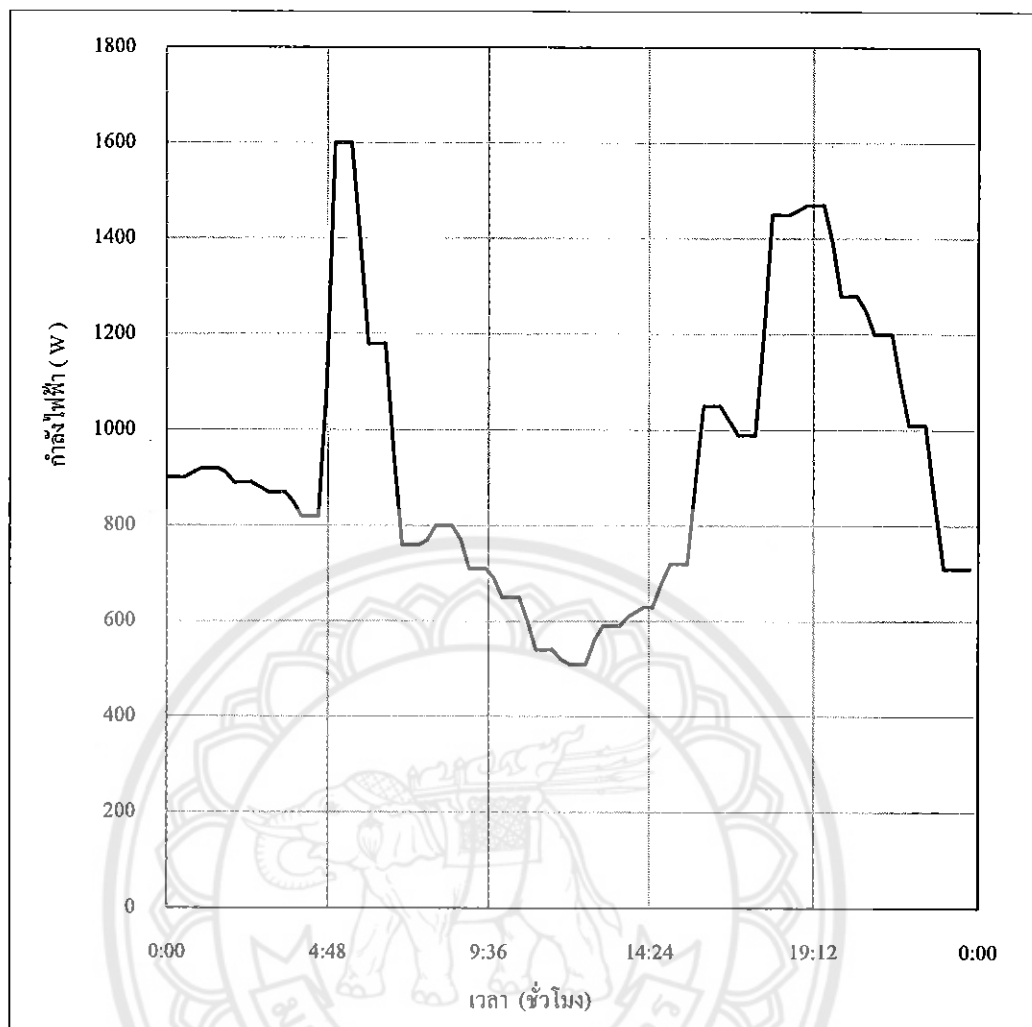
ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เฉลี่ย 40 ราย)	ขนาดกำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า (W)
หลอดไส้	0.52 หลอด	25	13
หลอดตะเกียบ	0.43 หลอด	14	6.02
หลอดฟลูออเรสเซนต์	10.75 หลอด	28	301
เครื่องปรับอากาศ	0.57 เครื่อง	1,000	570
พัดลม	3.28 เครื่อง	45	147.6
ตู้เย็น	1.67 เครื่อง	53	88.51
ตู้แช่	0.03 เครื่อง	100	3
เครื่องทำความเย็น	0.03 เครื่อง	54	1.62
เตาอบไมโครเวฟ	0.13 เครื่อง	800	104
หม้อหุงข้าว	1.08 เครื่อง	530	572.4

ตารางที่ 3.1 การคำนวณ โหลดเฉลี่ยของโหลดบ้านพักอาศัย (ต่อ)

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เฉลี่ย 40 ราย)	ขนาดกำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า (W)
กาต้มน้ำไฟฟ้า	0.95 เครื่อง	600	570
โทรทัศน์	2.45 เครื่อง	110	269.5
เครื่องเล่น VCD	0.08 เครื่อง	30	2.4
เครื่องเสียง	0.22 ชุด	130	28.6
คอมพิวเตอร์	0.05 เครื่อง	300	15
เครื่องซักผ้า	0.88 เครื่อง	350	308
เตารีด	1.25 เครื่อง	1,000	1,250
ปั้มน้ำ	0.30 เครื่อง	300	90
รวม			4,340.65

ที่มา: บริษัท เมอร์ริรา จำกัด (2552)

จากตารางโหลดรวมเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าบ้านหลังหนึ่งใช้ไฟฟ้าประมาณ 4.34065 kW ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง โหลดเฉลี่ยบ้านอาศัยโดยทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งในที่นี้ได้ทำการเลือกบ้านที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าของโหลดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของโหลดบ้านพักอาศัย  
ที่มา: บริษัท เบอร์รา จำกัด (2552)

จากรูปที่ 3.1 มีข้อมูลทั่วไปดังต่อไปนี้

จำนวนตัวอย่างที่พักอาศัยทั้งหมด 40 หลังคาเรือน มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 664.56 หน่วย ต่อหลังคาเรือน โดยช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด คือ เวลา 05.00 – 06.00น. และเวลา 19.00 – 20.00 น.

อุปกรณ์ไฟฟ้าหลักที่ใช้คือ

- 1) เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับการให้ความเย็น
- 2) เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับการประกอบอาหาร
- 3) เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับการทำความสะอาด
- 4) เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับการให้ความบันเทิง

17195047

ปี  
พ.ศ. 2557

ปี พ.ศ. 2560

## 5) เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับการให้แสงสว่าง

ตารางที่ 3.2 จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือน

สำนักหอสมุด

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน
หลอดไส้	0.52 หลอด	หม้อหุงข้าว	1.08 เครื่อง
หลอดตะเกียบ	0.43 หลอด	กาต้มน้ำไฟฟ้า	0.95 เครื่อง
หลอดฟลูออโรสเซนต์	10.75 หลอด	โทรทัศน์	2.45 เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ	0.57 เครื่อง	เครื่องเล่น VCD	0.08 เครื่อง
พัดลม	3.28 เครื่อง	เครื่องเสียง	0.22 ชุด
ตู้เย็น	1.67 เครื่อง	คอมพิวเตอร์	0.05 เครื่อง
ตู้แช่	0.03 เครื่อง	เครื่องซักผ้า	0.88 เครื่อง
เครื่องทำความเย็น	0.03 เครื่อง	เตารีดไฟฟ้า	1.25 เครื่อง
เตาอบไมโครเวฟ	0.13 เครื่อง	ปั้มน้ำ	0.30 เครื่อง

ที่มา: บริษัท เบอร์รา จำกัด (2552)

จากข้อมูลข้างต้นเป็นการเฉลี่ยจากครัวเรือนทั่วประเทศ ซึ่งแบ่งออกตามประเภท โหลดและจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน ซึ่งจากข้อมูลเป็นการวัดตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2549 – ตุลาคม 2550 และมีการเฉลี่ยมาจากผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 40 ราย จำนวนหน่วยไฟฟ้าเฉลี่ย 664.56 หน่วยต่อเดือนต่อราย ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจะมีการวัดและเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ข้อมูลทั้งหมดจากลักษณะการใช้ไฟฟ้าของ โหลดนั้นมากจากการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาครวมกัน

## 3.2 การกำหนดจำนวนแผงของเซลล์แสงอาทิตย์

การคำนวณจำนวนแผงของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้โดยใช้กำลังไฟฟ้าของระบบหารด้วยกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ที่แผงผลิตได้ เมื่อทราบค่าจำนวนแผงแล้วจะต้องคำนวณว่าจะต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมหรือขนานกันอย่างไร จึงจะได้แรงดันไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้งาน จำนวนของแผงเซลล์ที่จะต้องต่ออนุกรมกันสามารถหาได้โดยการใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการหารด้วยแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง เมื่อรู้ว่าจะต้องติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิตขนาด 4.34065 kW ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะมากหรือน้อยกว่าโหลดก็ได้ ดังนั้นในโครงการนี้จะเลือกติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิตขนาด 4 kW 1 เฟส และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องป้อนให้อินเวอร์เตอร์ คือ 550 V ดังนั้นต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดกี่แผงและควรต่อเรียงกันอย่างไรจึงจะสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ตามที่

ต้องการ ซึ่งได้ทำการเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 130 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 17.82 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 7.3 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 22.1 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร 8.05 แอมแปร์ โดยมีการคำนวณดังนี้

$$\text{การประมาณเริ่มต้นของจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = 4,000 \text{ (W)} / 130 \text{ (W)}$$

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องติดตั้งทั้งหมด} = 30.76 \cong 31 \text{ แผง}$$

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรม} = 550 \text{ (V)} / 17.82 \text{ (V)} = 30.86 \cong 31 \text{ แผง}$$

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อขนาน} = 31 \text{ แผง} / 31 \text{ แผง} = 1 \text{ แถว}$$

ดังนั้น บ้านหลังนี้จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด =  $31 \times 1 = 31$  แผง โดยต่อวงจรแบบอนุกรมแถวละ 31 แผง มีการเลือกขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Maximum Power (Pmax)*	130 W
Tolerance of Pmax	+10%/-5%
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	36 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	21.9 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	17.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.2 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.5 A
Module Efficiency (%)	13.1%
Maximum System (DC) Voltage	600 V
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C
*Measured at (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m <sup>2</sup> insolation, AM 1.5	
MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Dimensions (A x B x C below)	261" x 59.0" x 1.8"/662 x 1499 x 46 mm
Type of Output Terminal	Junction Box
Weight	30.9 lbs / 14.0 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)

รูปที่ 3.2 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Sharp Electronics Corporation (2008)

### รูปที่ 3.2 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Sharp Electronics Corporation (2008)

จากการคำนวณข้างต้นในการเลือกอินเวอร์เตอร์สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงภายในบ้าน สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ก็จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถควบคุมและปรับขนาดของแรงดันและความถี่ได้โดยการทำงานของอินเวอร์เตอร์ซึ่งองค์ประกอบภายในของอินเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วย 1) ชุดคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 2) ชุดอินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดของแรงดันและความถี่ได้ ซึ่งวงจรที่ 1 และ 2 จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นและผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ 3) ชุดวงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เรียกว่า กริดไท อินเวอร์เตอร์ (grid-tied inverter) ของ Schneider Electric รุ่น Conext RL 5000 E ซึ่งมีคุณสมบัติด้านเทคนิคดังต่อไปนี้ (Schneider Electric, 2016)

#### Input DC

- MPPT voltage range, full power: 180 – 500 V
- Operating voltage range: 90 – 550 V
- Starting voltage: 100 V
- Max. Input voltage, open circuit: 550 V
- Number of MPPT: 2
- Max. Input current per MPPT: 18 A
- Max. Short circuit current per MPPT: 25 A
- Nominal input power: 5.3 kW
- Max. DC input power per MPPT: 3.5 kW

#### Output AC

- Nominal AC Output Power: 5 kVA
- Nominal output voltage: 230 V, single-phase
- AC voltage range: 184 – 276 V
- Frequency: 50 / 60 Hz
- Frequency range: 50 / 60 Hz +/- 5 Hz
- Max. Output current: 23.2 A
- Power factor (adjustable): 0.8 lead to 0.8 lag

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเชื่อมต่อการไฟฟ้า จะต้องเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ได้มาตรฐานและเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า โดยการไฟฟ้ามียกขนาดของอินเวอร์เตอร์ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม จากข้อมูลข้างต้นของอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้นั้นเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้างดรูปที่ 3.3



รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

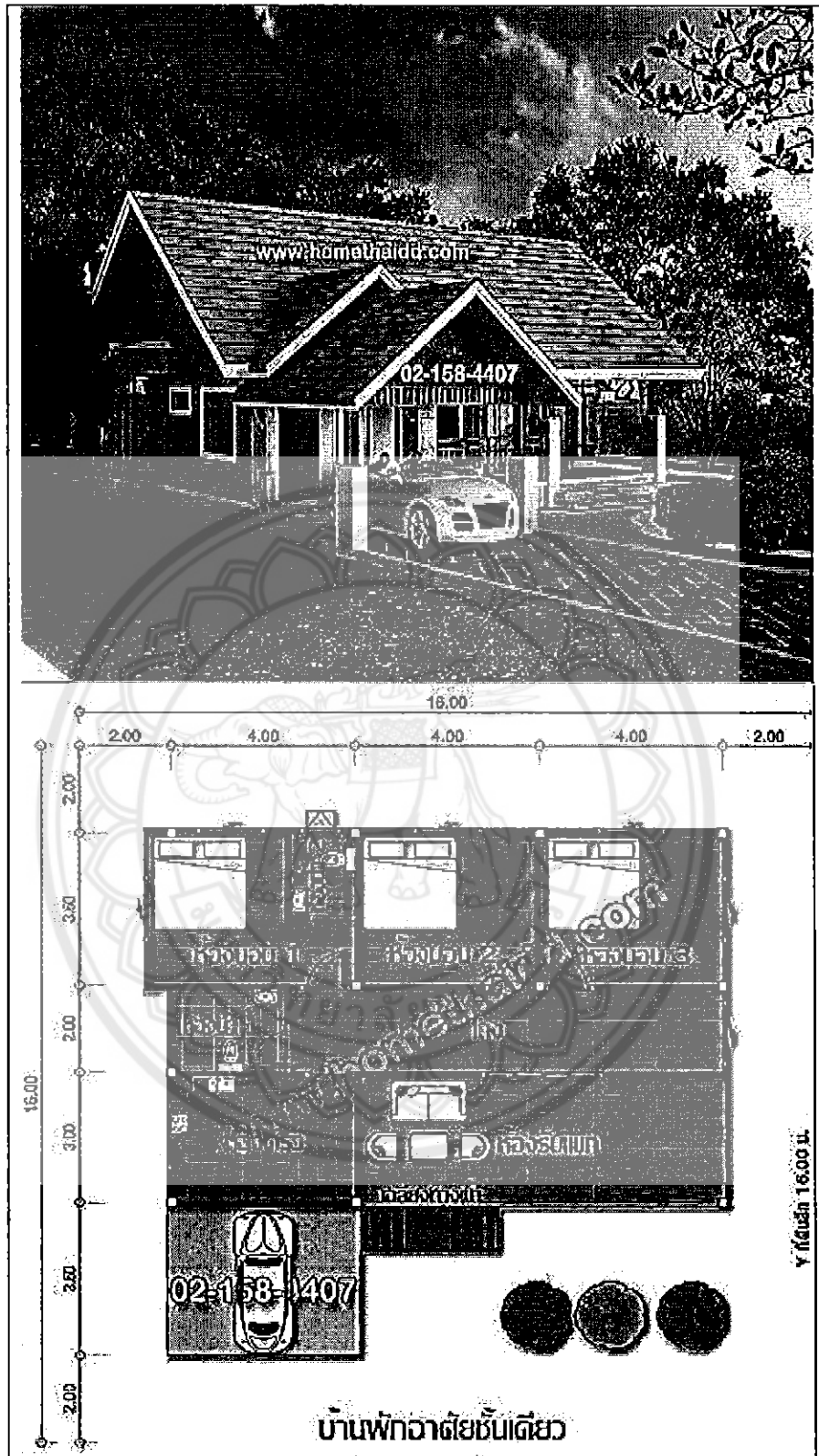
No.	ชื่อผู้ผลิต	ชื่อรุ่น (Model)	Rated Power	AC Voltage Rated	สามารถใช้งานได้ในระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งรวม
1.	Schneider	1.1 XC 680	680 kW	3Ph, 380 V	ทุกขนาด
		1.2 XC 630	630 kW	3Ph, 350 V	ทุกขนาด
		1.3 XC 540	540 kW	3Ph, 300 V	ทุกขนาด
		1.4 Conext TL 20000 E	20 kVA	3Ph, 230/400 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.5 Conext TL 15000 E	15 kVA	3Ph, 230/400 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.6 Conext RL 3000 E, Conext RL 3000 E-S	3 kVA	1Ph, 230 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.7 Conext RL 4000 E, Conext RL 4000 E-S	4 kVA	1Ph, 230 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.8 Conext RL 5000 E, Conext RL 5000 E-S	5 kVA	1Ph, 230 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.9 Conext TL 8000 E	8 kVA	3Ph, 230/400 V	ไม่เกิน 500 kW
		1.10 Conext TL 10000 E	10 kVA	3Ph, 230/400 V	ไม่เกิน 500 kW

รูปที่ 3.3 อินเวอร์เตอร์ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558)

### 3.3 การเลือกแบบบ้านและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

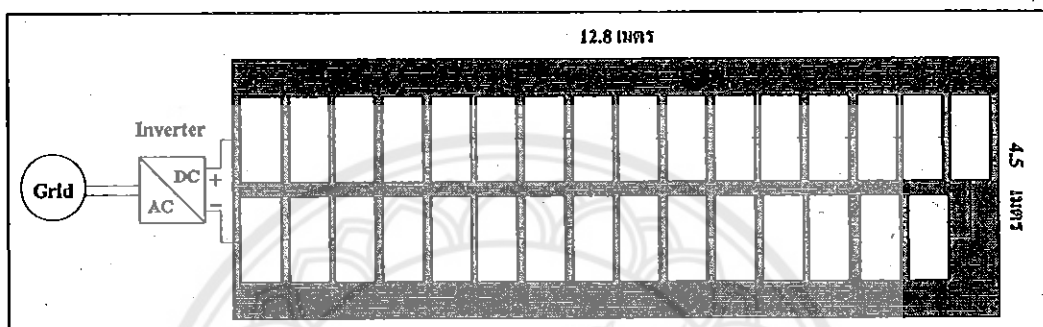
การเลือกบ้านที่จะใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะต้องเป็นบ้านที่มีโครงสร้างหลังคาที่สามารถรองรับน้ำหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการติดตั้ง ซึ่งในการเลือกแบบบ้านนั้นในทางปฏิบัติบ้านแต่ละหลังนั้นมีขนาดของหลังคาไม่เท่ากัน ดังนั้นในโครงการนี้จึงทำการเลือกแบบบ้านที่มีขนาดหลังคามีพื้นที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 kW และสามารถรับน้ำหนักของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยทำการเลือกแบบบ้านดังรูปที่ 3.4





รูปที่ 3.4 ลักษณะแบบบ้าน  
ที่มา: บริษัท โอ.เอ็ม.โฮม แอนด์ ดีไซน์ จำกัด (2559)

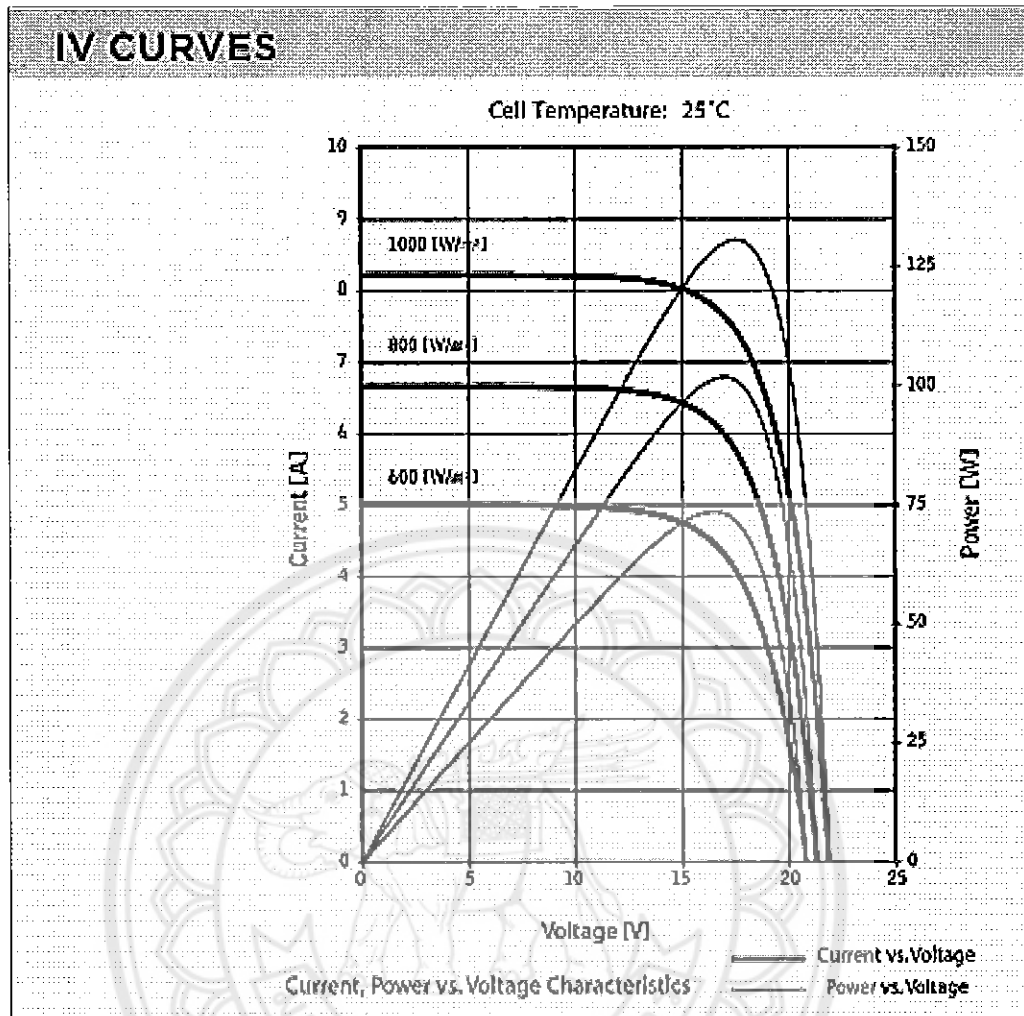
ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะติดตั้งแค่ด้านเดียวของหลังคา ดังนั้นจึงคิดแค่พื้นที่ด้านเดียวคือ  $12.8 \times 4.5 = 57.6$  ตารางเมตร ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผ่น มีขนาดเท่ากับ  $1.499 \times 0.66 = 0.99$  ตารางเมตร เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดเท่ากับ 31 แผง จะใช้พื้นที่ของหลังคาทั้งหมดคือ  $31 \times 0.99 = 31.68$  ตารางเมตร จากพื้นที่ทั้งหมดของหลังคา 57.6 ตารางเมตร และหลังคาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรได้อย่างน้อย 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และสามารถจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การจัดวางและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

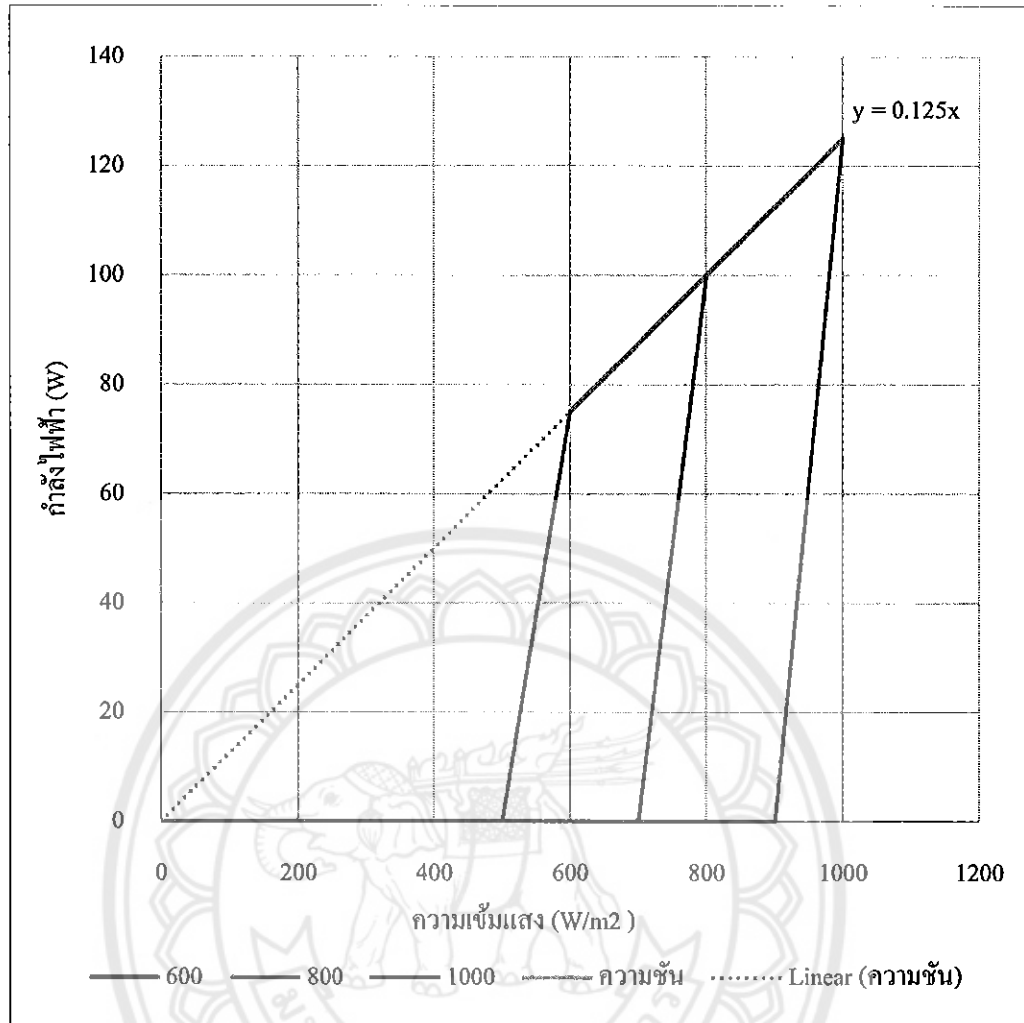
### 3.4 ข้อมูลความเข้มแสง

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนหลังคานั้นจะเป็นการติดตั้งแบบคงที่ไม่สามารถเอียงตามดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้นในการติดตั้งจะต้องคำนึงถึงมุมเอียงและทิศทางที่จะใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหันหน้าไปทางทิศใต้และทำมุมกับพื้นดิน 10 องศา เพราะประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นขนานที่ 6 – 10 องศาเหนือ เป็นมุมที่ผ่านการคำนวณมาแล้วว่าจะทำให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับข้อมูลความเข้มแสงนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร แต่ข้อมูลที่ได้นั้นเป็นข้อมูลความเข้มแสง แต่สิ่งที่ต้องการคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเข้มแสงที่ค่าต่างๆ ซึ่งไม่สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการโดยตรง โครงการนี้จึงนำค่าความเข้มแสงที่ได้นี้มาพล็อตการใน Microsoft Excel เพื่อให้ได้สมการความชันและหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออกที่ความเข้มแสงต่างๆ ได้ โดยมีลักษณะของกราฟของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 130 W รุ่น ND-130 UJF ของบริษัท Sharp ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 IV Curves 130 W รุ่น ND-130 UJF  
ที่มา: Sharp Electronics Corporation (2008)

จากกราฟรูปที่ 3.6 กราฟของกระแสและแรงดันของแผงจะพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างกระแสและกำลังไฟฟ้าอยู่ด้วย เมื่อมีเฉพาะข้อมูลความเข้มแสงอย่างเดียว ในที่นี่ใช้วิธีการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเข้มแสง แต่เนื่องจากความเข้มแสงนั้นมีค่าไม่คงที่จึงต้องทำการหาจุดสูงสุดของกราฟความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาหาความชันและนำสมการความชันนั้นไปหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่างๆ โดยนำค่าความเข้มแสงที่ทราบค่าจากกราฟกระแสและแรงดันของแผงมาพล็อตกราฟใน Microsoft Excel ซึ่งได้ค่าความชันดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กราฟความชื้นของความเข้มแสง

จากกราฟความชื้นของความเข้มแสงในรูปที่ 3.7 จะได้สมการดังนี้

$$y = 0.125x \quad (3.1)$$

โดยที่

$y$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ขาออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ (W)

$x$  คือ ค่าความเข้มแสง (W/m<sup>2</sup>)

0.125 คือ ค่าความชื้น

จากสมการความชื้นจะพบว่าเมื่อนำสมการความชื้นนี้ไปคูณกับค่าความเข้มแสงจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเข้มแสงต่างๆ ที่ไม่ทราบค่ากำลังไฟฟ้าขาออกมาจากแผงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามความเข้มแสง

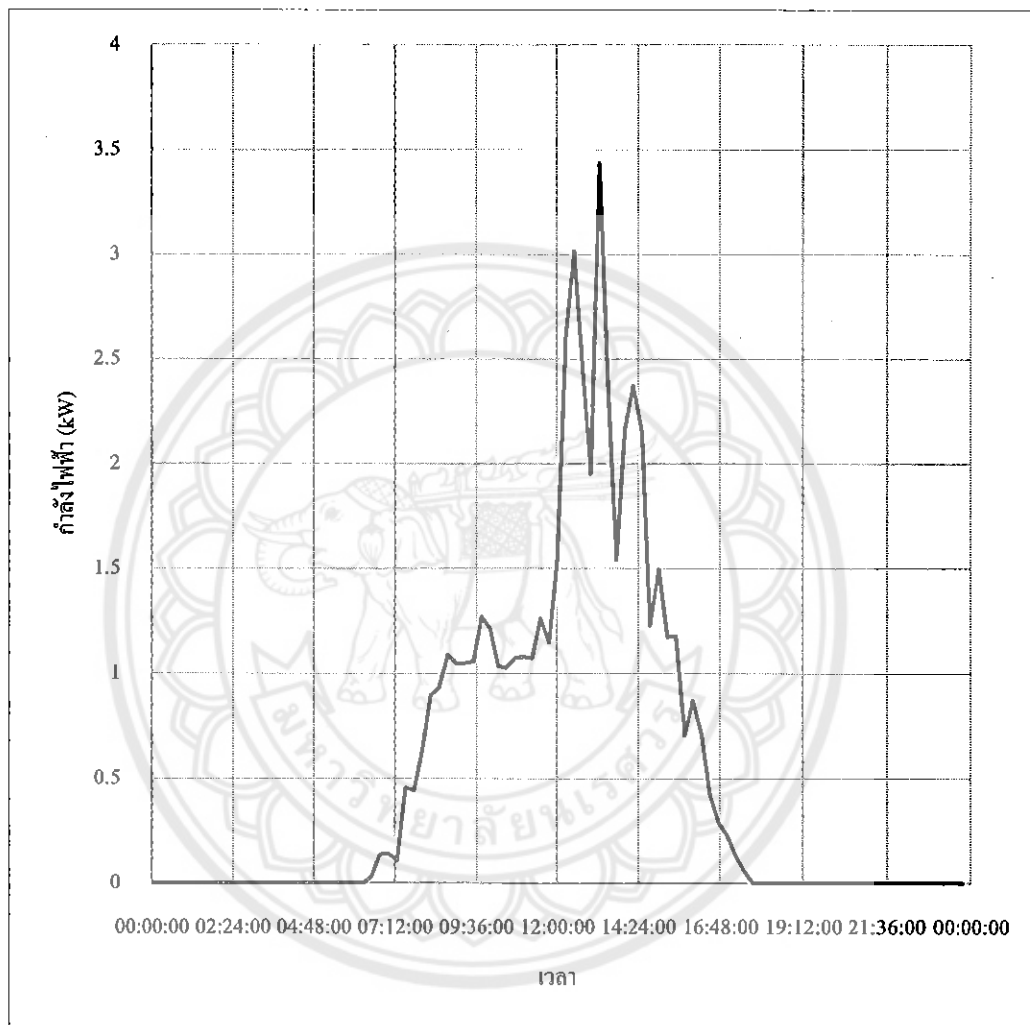
ค่าความเข้มแสง ( $W/m^2$ )	กำลังไฟฟ้าผลิต (W)
100	12.50
200	25.00
300	37.50
400	50.00
500	62.50
600	75.00
700	87.50
800	100.00
900	112.50
1,000	125.00

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลความเข้มแสงตลอดทั้งวันของวันที่ 12 ตุลาคม 2012

เวลา	ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )	เวลา	ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )	เวลา	ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )	เวลา	ความเข้มแสง ( $W/m^2$ )
06:30	8.4806	09:15	270.998	12:00	399.823	14:45	317.4822
06:45	35.0704	09:30	273.0172	12:15	672.1606	15:00	385.965
07:00	36.2606	09:45	327.3232	12:30	777.8178	15:15	302.9864
07:15	28.3538	10:00	313.465	12:45	637.6216	15:30	303.6454
07:30	117.1986	10:15	267.1084	13:00	504.333	15:45	182.4932
07:45	114.6056	10:30	265.5144	13:15	886.1324	16:00	224.769
08:00	164.8306	10:45	277.8634	13:30	609.7778	16:15	183.896
08:15	231.613	11:00	278.5222	13:45	398.2076	16:30	109.1006
08:30	240.6462	11:15	277.3532	14:00	557.8312	16:45	74.8804
08:45	281.0516	11:30	325.5802	14:15	612.1158	17:00	58.9182
09:00	270.4666	11:45	296.8438	14:30	554.9194	17:15	33.625

ที่มา: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร (2559)

จากข้อมูลความเข้มแสงในตารางที่ 3.3 จะพบว่ามีกรเก็บข้อมูลความเข้มแสงทุกๆ 15 นาที เมื่อนำค่าความเข้มแสงจากตารางที่ 3.3 ไปแทนในสมการที่ 3.1 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าออกมาทำให้ได้ลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 31 แผง ที่ผลิตได้ตลอดทั้งวัน ของวันที่ 12 ตุลาคม 2012 ดังรูปกราฟที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 31 แผง ผลิตได้ต่อวันที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

จากกราฟรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ใน 1 วัน โดยที่มีจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 31 แผง และสมมุติว่าแต่ละแผงนั้นสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้เท่ากัน

### 3.5 การออกแบบระบบเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา

การออกแบบระบบเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา เป็นการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบในด้านต่างๆที่เกิดกับระบบ ซึ่งการออกแบบต้องคำนึงถึงการใช้งานจริงของอุปกรณ์ เพราะอุปกรณ์ในระบบเป็นตัวแปรสำคัญต่อความเชื่อถือของระบบ ระบบที่มีความเชื่อถือของระบบดีขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบที่ดีด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงการอุปกรณ์ที่ออกแบบระบบเพื่อใช้ในการศึกษาซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.5.1 การเลือกหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

การเลือกขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ในการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าต้องดูจากโหลดที่จะเข้ามาต่อกับระบบว่า โหลดมีมากน้อยเพียงใด และสิ่งสำคัญในการเลือกขนาดของหม้อแปลงควรที่จะเลือกขนาดที่ใหญ่กว่า โหลดเป็นการเผื่อโหลดเอาไว้ในอนาคตที่จะเข้ามาต่อ ซึ่งไม่ควรเลือกขนาดของหม้อแปลงที่พอดีกับ โหลดเพราะหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดจะทำให้หม้อแปลงนั้นไม่สามารถใช้งานได้หรือทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหาย เนื่องจากโครงการนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์และควบคุมผลกระทบด้านแรงดันเกินในระบบแรงต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกหม้อแปลงให้สอดคล้องกับโหลดของระบบ โหลดในระบบทั้งหมดมีทั้งหมด 200 kVA โหลดทั้งหมดนั้นมาจากบัสทั้ง 5 บัส ซึ่งแต่ละบัสนั้นมีขนาด 40 kVA จึงได้ทำการเลือกหม้อแปลงขนาด 315 kVA แปลงจากแรงดัน 22 kV/400V 3 เฟส และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงคือ  $\pm 2 \times 2.5\%$  และจำนวนแท็บหม้อแปลงทั้งหมด 5 แท็บ ของบริษัท Thai Center Transformer จำกัด มีรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก

#### 3.5.2 การคำนวณขนาดสายไฟฟ้าของระบบ

การคำนวณสายไฟฟ้าของระบบถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะว่าหากไม่คำนวณให้ดีอาจส่งผลทำให้สายไฟฟ้าเกิดการไหม้หรือการเลือกซื้อสายที่เกินความจำเป็น หากขนาดของสายเล็กกว่าความต้องการของโหลดทั้งหมด เมื่อมีการจ่ายกระแสเข้าไปยัง โหลดสายนั้นจะทนแรงดันและกระแสที่จ่ายไม่ได้ทำให้สายไฟฟ้าเกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการคำนวณสายโดยมีการคำนวณสายของระบบที่ออกแบบดังต่อไปนี้

โหลดที่หักอาศักรวม = 200 kVA แบ่งเป็น 5 จุด ทั้งหมด 50 หลัง จุดละ 10 หลัง บ้านหลังละ 4 kVA ดังนั้นแต่ละบัสจะมีค่า = 40 kVA

จากสมการ

$$I = \frac{P_L}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (3.2)$$

โดยที่

$V_L$  คือ แรงดันระหว่างสายเฟสกับเฟส ( $V$ )

$P_L$  คือ โหลด ( $\Omega$ )

จะได้กระแสไหลรวมทั้งหมดของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

$$I = \frac{200kVA}{\sqrt{3} \times 400V} = 288.675A$$

จากกระแสไหล เลือกสายเป็น Aluminum ขนาด  $150 \text{ mm}^2$  จากข้อมูลของสายไฟฟ้าในภาคผนวก ค จะพบว่าสายไฟฟ้านั้นสามารถทนกระแสได้ 310 A มีความต้านทานสายเท่ากับ 0.206 โอห์ม และค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ 0.1897 โอห์ม ซึ่งจากภาคผนวก ค ไม่มีค่ารีแอกแตนซ์ของสายโครงการนี้จึงใช้ค่ารีแอกแตนซ์ของสาย Aluminum ขนาด  $150 \text{ mm}^2$  จากโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory เนื่องจากข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ยอมให้แรงดันตกของสายในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 400/220 ได้เท่ากับ 10 % ซึ่งในทางปฏิบัติบางครั้งแรงดันตกของสายไฟฟ้าอาจจะตกเกินหรือน้อยกว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นในโครงการนี้จึงคิดแรงดันตกของสายไฟฟ้าในกรณีที่เกิดกว่ามาตรฐานของการไฟฟ้า คือ คิดที่แรงดันตกของสายไฟฟ้าเท่ากับ 15 % ดังนั้นความยาวของสายจากสมการแรงดันตกของสายคิดที่แรงดันตกของสายเท่ากับ 15 % ได้ตามสมการนี้ (DIgSILENT GmbH, 2013)

$$I = \frac{V_D}{\sqrt{3I[(R \cos \theta + X_L \sin \theta)]}} \quad (3.3)$$

โดยที่

$l$  คือ ความยาว (m)

$V_D$  คือ เปรอร์เซ็นต์แรงดันตก

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าของระบบ (A)

$R$  คือ ค่าความต้านทานของสายไฟฟ้า ( $\Omega$ )

$X_L$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของสายไฟฟ้า ( $\Omega$ )

$\cos \theta$  คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด



จากสมการที่ 3.3 แทนค่าเข้าไปจะได้ว่า

$$l = \frac{400 \times \left( \frac{15}{100} \right)}{\sqrt{3} \times (288.675) \times [(0.206 \times 0.95) + (0.1897 \times 0.31)]}$$

$$l = 471.5 \text{ เมตร}$$

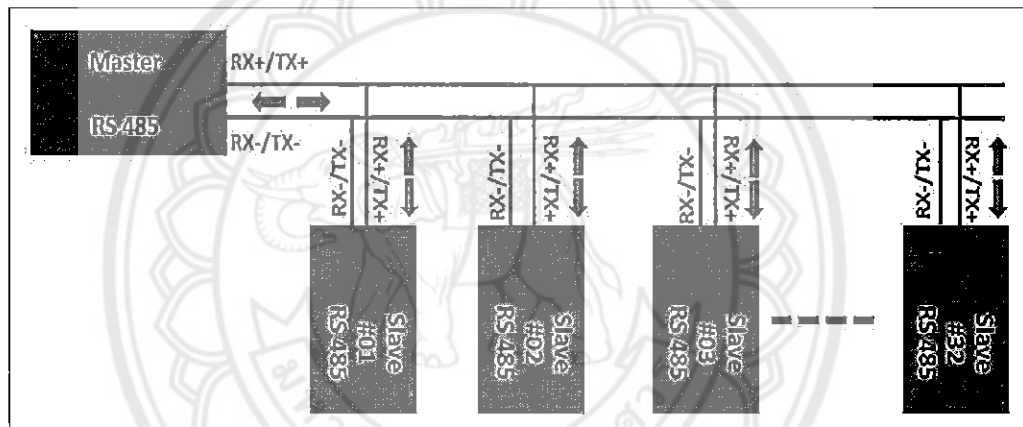
ดังนั้นที่  $\%V_D = 15 \%$  จะได้ความยาวสาย  $l = 471.5 \text{ เมตร} \approx 470 \text{ เมตร}$

### 3.6 เทคโนโลยี intelligent electronic device

การวัดแรงดันไฟฟ้าของระบบในบัสต่างๆ เพื่อที่จะทำการวัดตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของระบบตลอดทั้งวันนั้นว่าเกิดแรงดันเกินหรือแรงดันตกตกช่วงเวลาใดบ้างนั้นเป็นเรื่องยาก จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัดและทำการควบคุมระบบแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ เมื่อมีผลกระทบด้านแรงดันเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งอุปกรณ์นี้มีชื่อว่า intelligent electronic device หรือเรียกอีกชื่อว่า IED เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สามารถทำงานด้านด้านหนึ่งได้ เช่น ป้องกันวัดค่า บันทึกราคาความผิดพลาด และการควบคุม เป็นต้น ภายในอุปกรณ์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้ 1) signal processing unit 2) microprocessor with input/output unit 3) communication interface โดยทั่วไป IED จะทำหน้าที่ รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อที่จะออกคำสั่งและควบคุม เช่น การทริปวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อมีการตรวจพบว่ามี แรงดัน กระแส หรือ ความถี่ ผิดปกติ หรือเพิ่มและลดระดับแรงดันในระบบ เพื่อรักษาระดับแรงดันในระบบตามให้ เป็นไปตามที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้ว IED จะเอาไว้ควบคุมการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ และตัวเก็บประจุ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วโดยทั่วไปการทำงานของ IED นั้น จะถูกตั้งค่ามาจากค่าการทดสอบระบบหรือเพิ่มข้อมูลของระบบ เพื่อที่จะควบคุมการทำงานของ IED ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์วัดค่านั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์นั้น ในที่นี้ได้ทำการเลือกการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

โดยมาตรฐาน RS-485 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อสัญญาณแบบอนุกรม มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบหลายจุด สายสัญญาณที่ใช้มีทั้งแบบที่เป็น 2 สายและแบบที่เป็น 4 สาย การต่อแบบหลายจุดนี้ทำให้สามารถมองสายสัญญาณเป็นบัสนำสัญญาณได้ จำนวนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถอยู่บนมาตรฐาน RS-485 บัสหนึ่งถูกกำหนดไว้ที่ 32 ตัว ความยาวของสายสัญญาณตาม

หัวข้อรูปแบบการเชื่อมต่อ การออกแบบการเชื่อมต่อมักขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบรูปแบบ การการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อแบบ RS-485 จะต่อกันแบบขนานทั้งระบบ วิธีการต่อแบบนี้ต้องมีการ จัดอันดับความสำคัญของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ คือ ให้มีอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวแม่ 1 ตัว สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลเองทั้งหมด หรือเป็นเพียงการจัดลำดับการรับส่ง ให้กับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ส่วนตัวลูก ในครั้งแรกต้องกำหนดให้เป็นการรับข้อมูลไว้ตลอดเวลา ตัวแม่จะ ทำหน้าที่ สแกนตัวลูกทีละตัว เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อมูลที่ต้องการส่งหรือไม่ ถ้ามีต้องส่งถึงตัวใด แล้วตัวแม่จึงสั่งให้อุปกรณ์ตัวที่ระบุนั้นคอยรับข้อมูลโดยตรงเอง แล้วตัวแม่จะเปลี่ยนทิศทางมาเป็น รับข้อมูลเพื่อปล่อยสายสัญญาณให้ว่าง เพื่อที่อุปกรณ์ทั้งสองตัวที่ได้รับอนุญาตจะได้รับส่งข้อมูลกัน ต่อไป เมื่อทั้งคู่ทำการรับส่งข้อมูลกันเสร็จแล้ว ตัวลูกต้องส่งคำสั่งมาบอกตัวแม่ให้ทราบ ว่า เสร็จแล้ว เพื่อตัวแม่จะได้สแกนตัวอื่นต่อไปต่อไปดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การต่อสาย RS-485 แบบขนาน

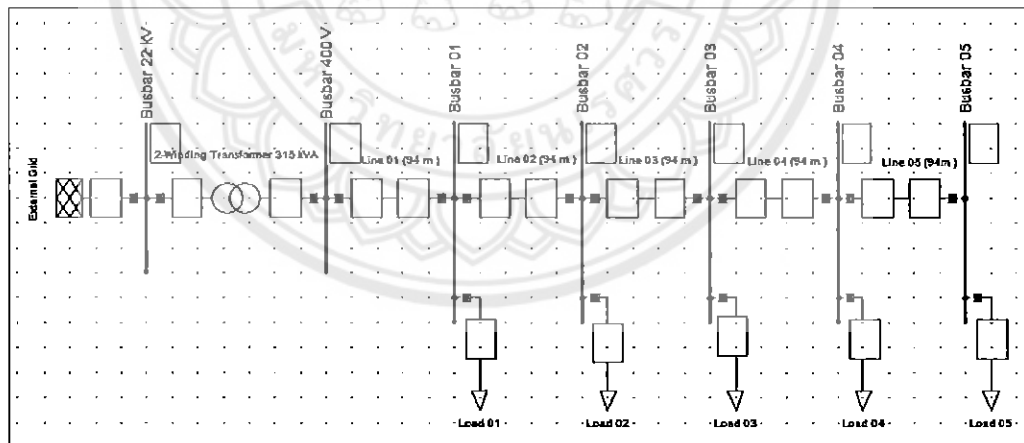
ที่มา: Texas Instruments Incorporated (2010)

สำหรับมาตรฐาน RS-485 นั้นความยาวของสายสัญญาณตามมาตรฐาน RS-485 นี้สามารถ ยาวได้ถึง 1.2 กม. แต่ความยาวของสายของโครงการนี้ยาวเพียง 470 เมตร ดังนั้นมาตรฐานการเชื่อ ต่อนี้สามารถใช้กับระบบที่ออกแบบมาได้ และการรับ-ส่งสัญญาณของมาตรฐาน RS-485 นี้สามารถ ใช้สายสัญญาณอินเทอร์เน็ต และสายไฟฟ้าในการติดต่อสื่อสารได้

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินและวิธีแก้ไข

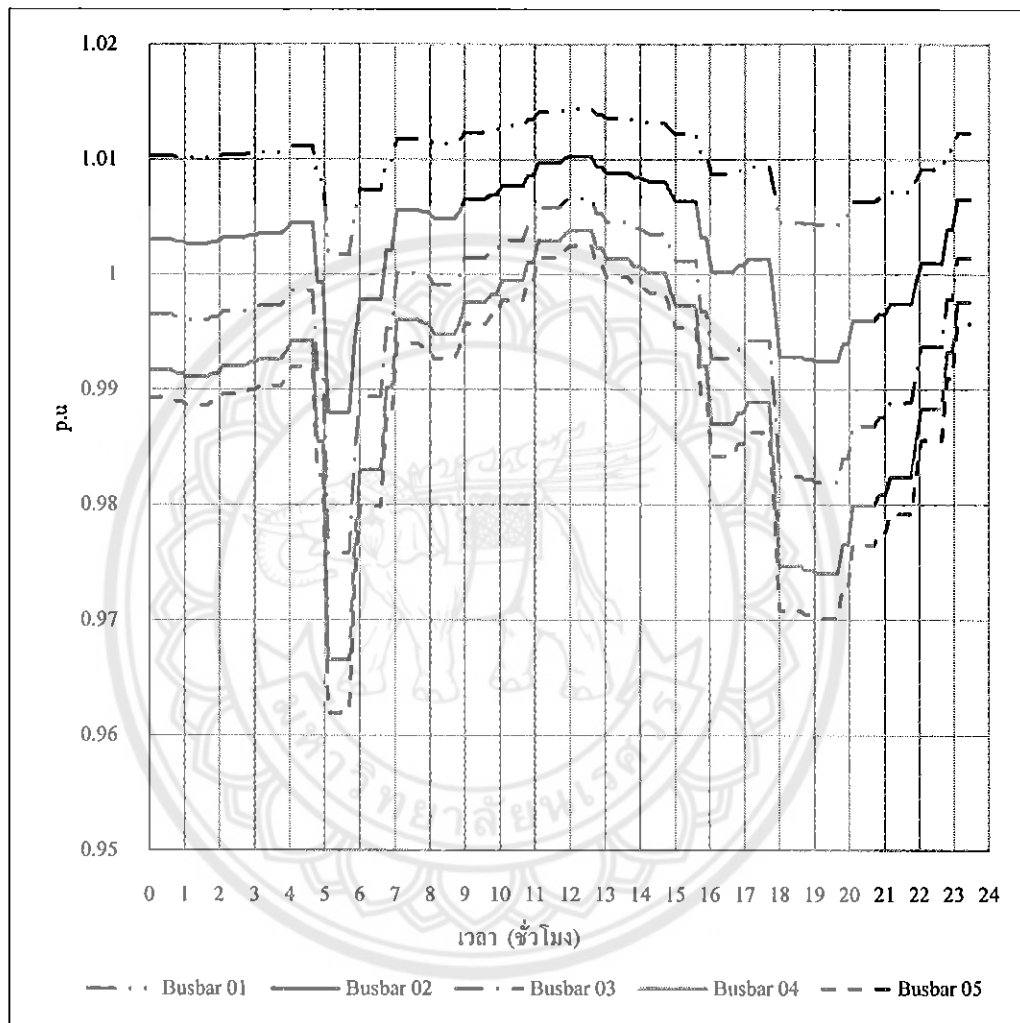
จากที่ได้ทำการอธิบายการดำเนินงานในโครงการ โดยเริ่มตั้งแต่ การคิดโหลดเฉลี่ยและการคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเลือกแบบบ้านและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลความเข้มแสง การเลือกหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส การเลือกอินเวอร์เตอร์ การคำนวณขนาดสายไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังบทที่ 3 ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบด้านแรงดันเกินของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ โดยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory ในการวิเคราะห์นี้จะแบ่งระบบออกเป็น 5 จุด การแบ่งจำนวนบ้านในแต่ละจุดเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงจะเป็นจำนวนบ้านหนึ่งหลังมีขนาด 4 kVA ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 0.95 ทั้งหมด 50 หลัง โหลดทั้งหมด 400 kVA ซึ่งมีการแบ่งจำนวนโหลดทั้งตั้งแต่บัส 1 – 5 ดังนี้คือ 5, 5, 10, 15 และ 15 หลัง และระบบที่ออกแบบเป็นระบบ 3 เฟสสมมาตร ซึ่งบัส 22 kV เป็นบัสสแล็คกับ ส่วนบัส 400 V และบัส 01 - 05 เป็นบัสชนิด โหลดและมีการจัดเรียงลำดับจากบัสต้นทางไปยังบัสสุดท้ายดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบโดยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

#### 4.1 ลักษณะของระบบ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ระบบเมื่อมีเฉพาะโหลดอย่างเดียวลักษณะของระบบตามรูปที่ 4.1 เพื่อทำการวิเคราะห์ผลของระบบก่อนการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ โดยลักษณะของโหลดจะมีลักษณะแรงดันของระบบดังต่อรูปที่ 4.2

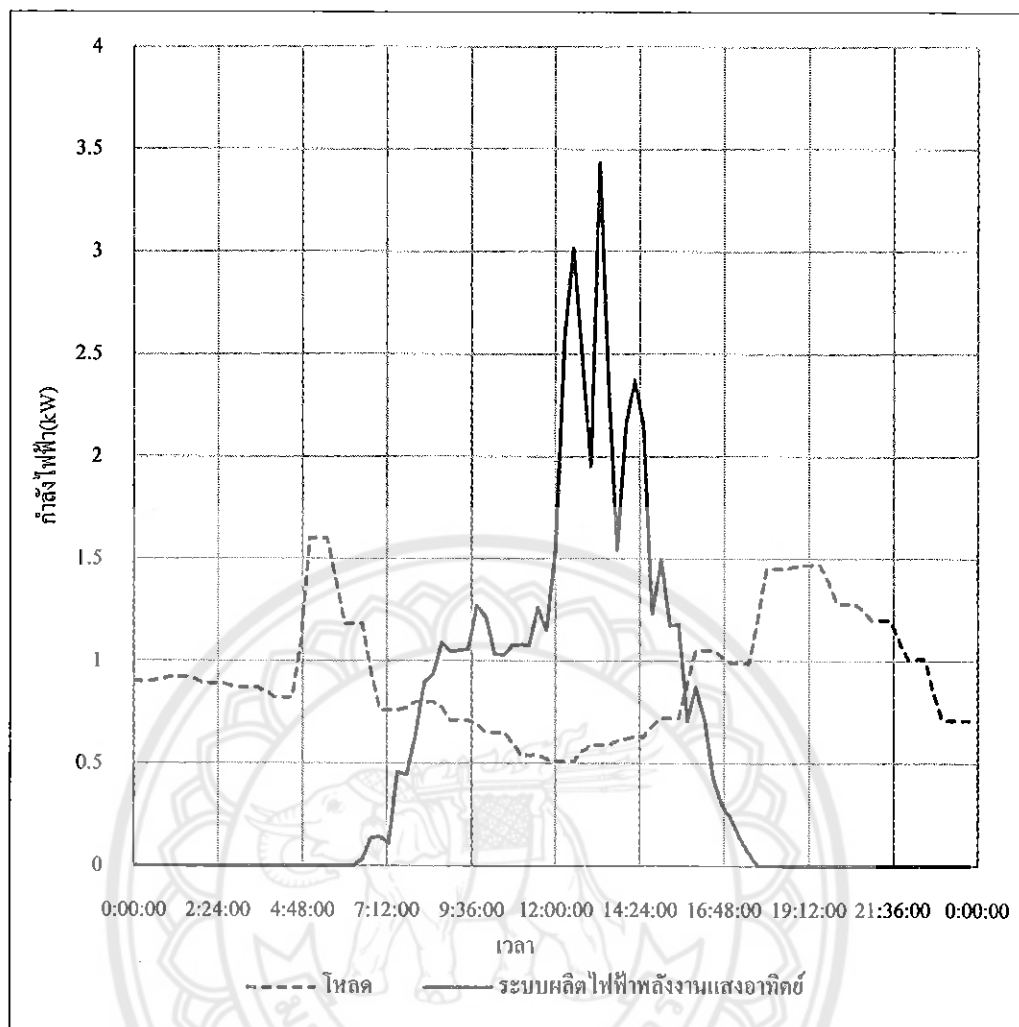


รูปที่ 4.2 ลักษณะแรงดันของโหลดทั้ง 5 บัส

จากรูปที่ 4.2 ลักษณะแรงดันของโหลดทั้ง 5 บัส จะเห็นได้ว่าทั้ง 5 บัสนั้นไม่มีผลกระทบของแรงดันเกินและแรงดันตกในระบบ แต่ว่าในบัสที่ 5 นั้น เริ่มมีแนวโน้มที่จะเกิดแรงดันตกมากที่สุดของระบบในช่วงเวลา 05.00 – 06.00 น. และ 18.00 – 20.00 น. และเมื่อเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเข้ามาเชื่อมต่อกับ จะมีลักษณะ โครงสร้างของระบบดังรูปที่ 4.3

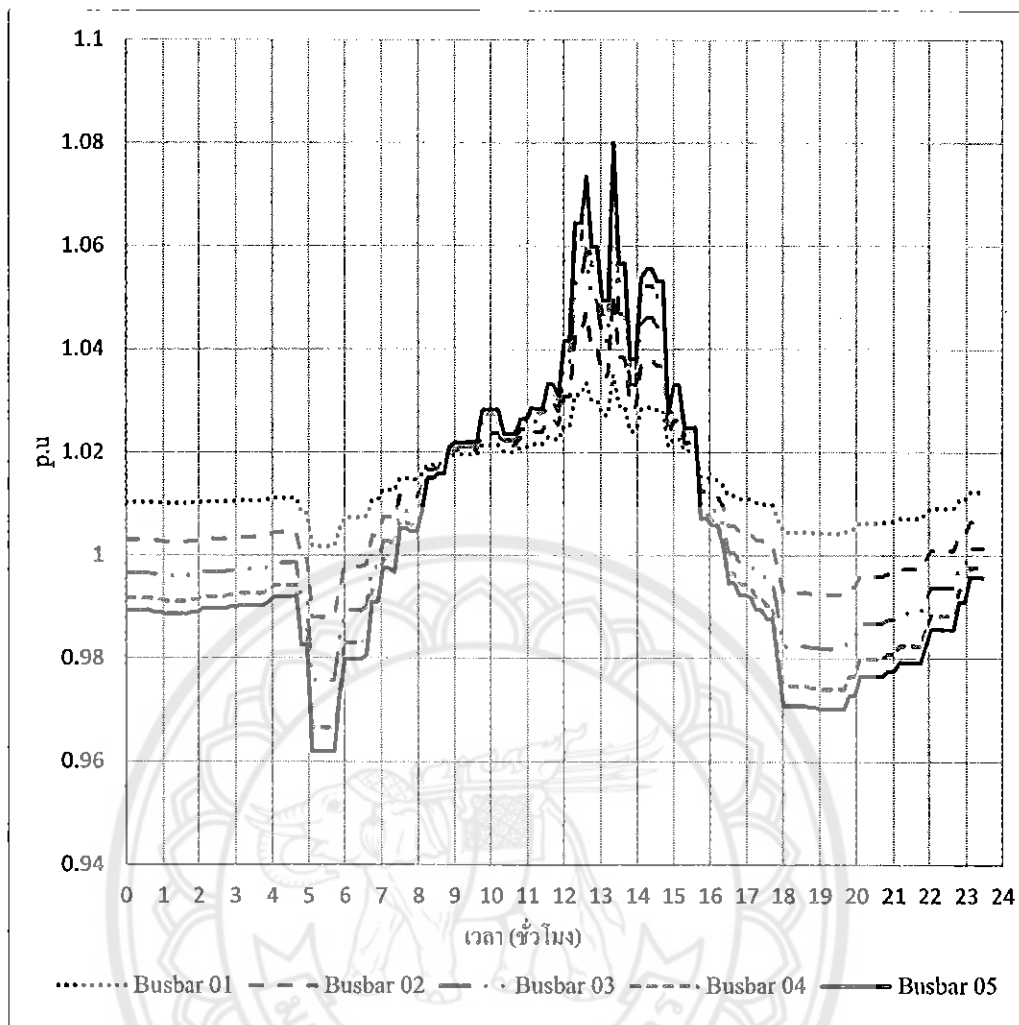
**MISSING**





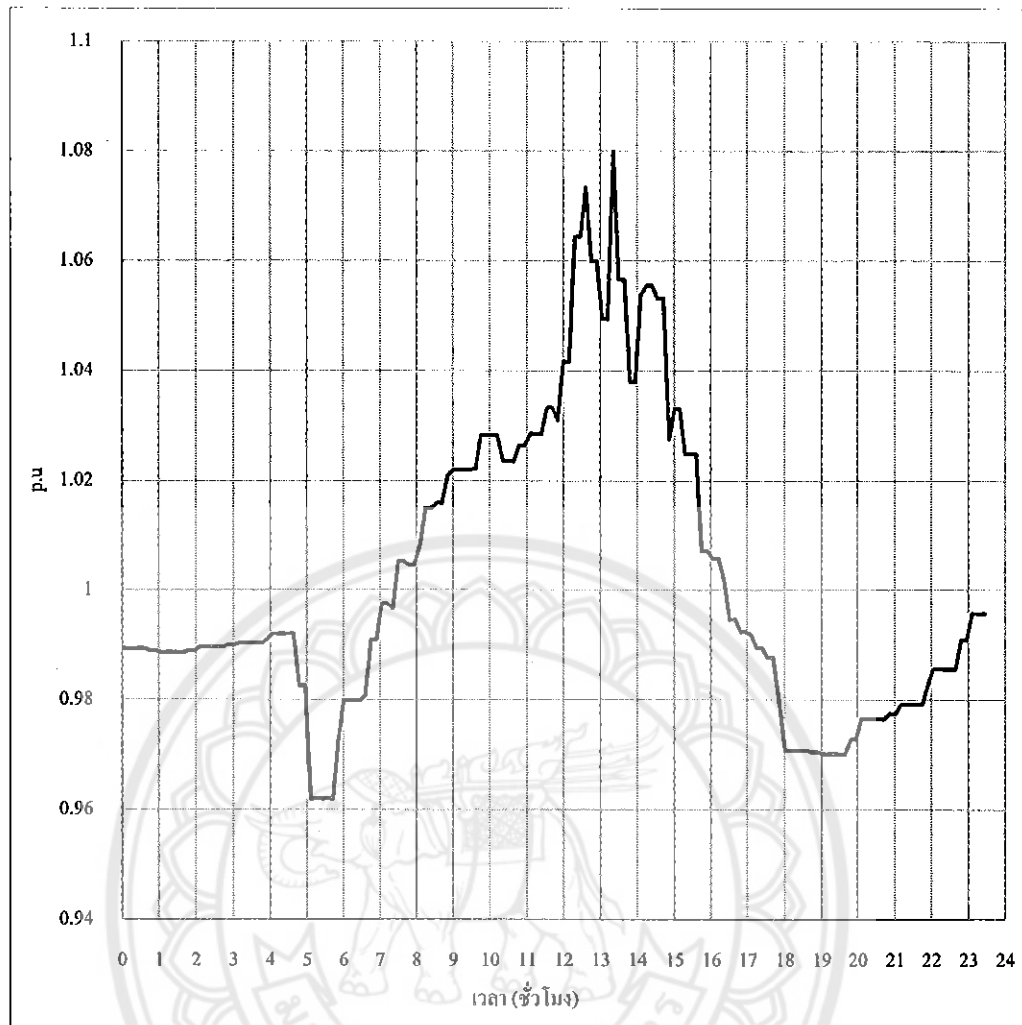
รูปที่ 4.4 แรงดันของ โหลดกับกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้าน 1 หลัง

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่โหลดในระบบมีมากหรือความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบมากนั้นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้คือช่วงเช้าที่เวลา 05.00 – 06.00 น. และ 18.00 น. ส่วนช่วงที่ความต้องการระบบนั้นไม่ได้มีความต้องการใช้การไฟฟ้ามากแต่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กลับผลิตได้ออกมามากคือช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แรงดันที่บัสต่างๆ ทั้ง 5 บัสเมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อ

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าแรงดันที่บัสต่างๆ ทั้ง 5 บัส เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจะส่งผลกระทบต่อแรงดันเกินอย่างเฉียด แต่ช่วงเวลา 05.00 – 06.00 น. ที่มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อแรงดันตกได้เช่นกัน จะเห็นได้เมื่อระบบโครงข่ายมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเชื่อมต่อ ซึ่งตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าแรงดันตกของระบบจะต้องไม่ต่ำกว่า 0.95 p.u และแรงดันเกินของระบบจะต้องไม่เกิน 1.05 p.u จะพบว่า มี 2 บัส ที่ส่งผลของแรงดันเกินมากที่สุดคือ บัสที่ 4 และ 5 ของระบบ ดังนั้นในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาผลกระทบด้านแรงดันเกินของระบบจะนำเฉพาะบัสที่ 5 มาวิเคราะห์เท่านั้น เพราะว่าเป็นบัสที่มีแรงดันเกินสูงสุดและเป็นบัสที่อยู่สุดท้ายของระบบดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แรงดันที่บัส 5 เมื่อมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อ

## 4.2 วิธีแก้ไขปัญหาแรงดันเกิน

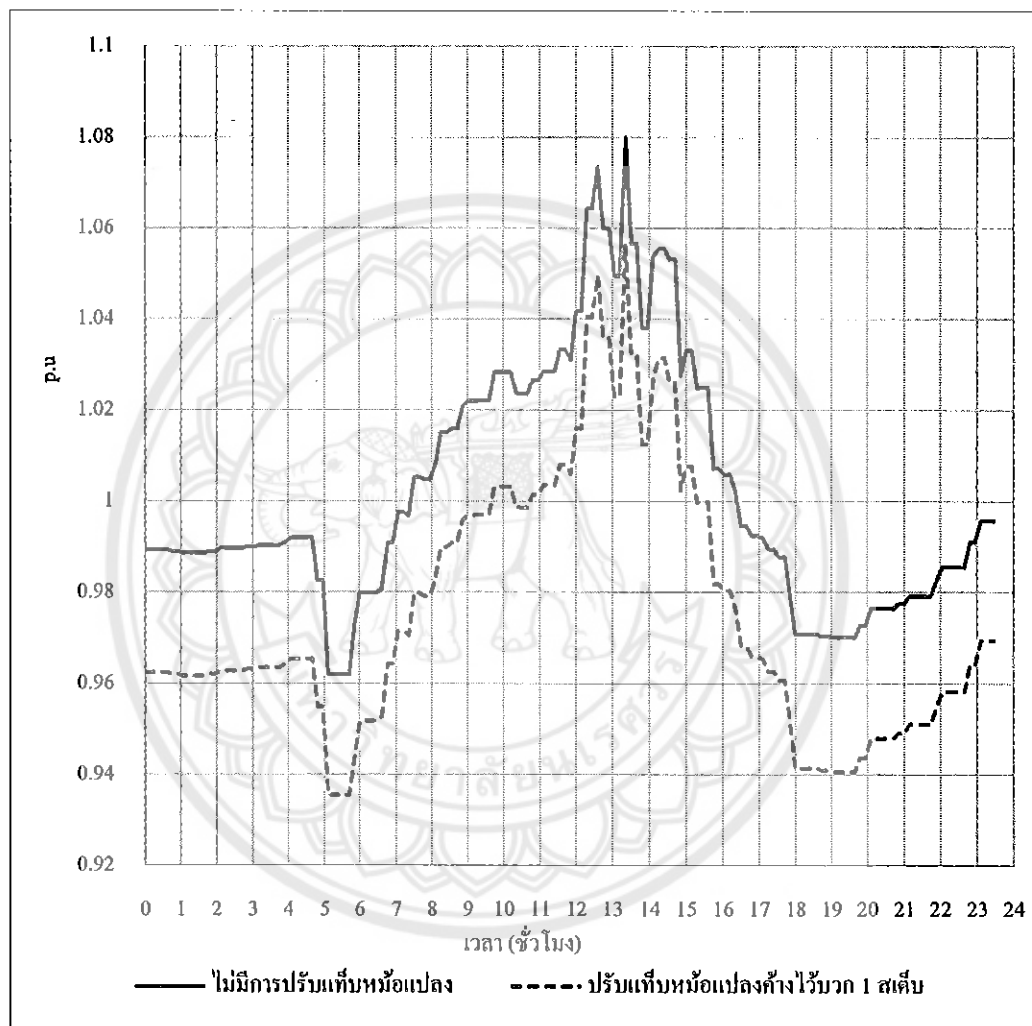
จากกราฟในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านแรงดันเกินส่งผลกระทบต่อระบบมาก ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาระบบแรงดันเกินในโครงการนี้จะแก้ไขโดยใช้ 2 วิธีคือ การแก้ไขปัญหาระบบแรงดันเกินโดยการปรับหม้อแปลง และใช้ชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับหม้อแปลงข้างไว้เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหานี้

### 4.2.1 การปรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

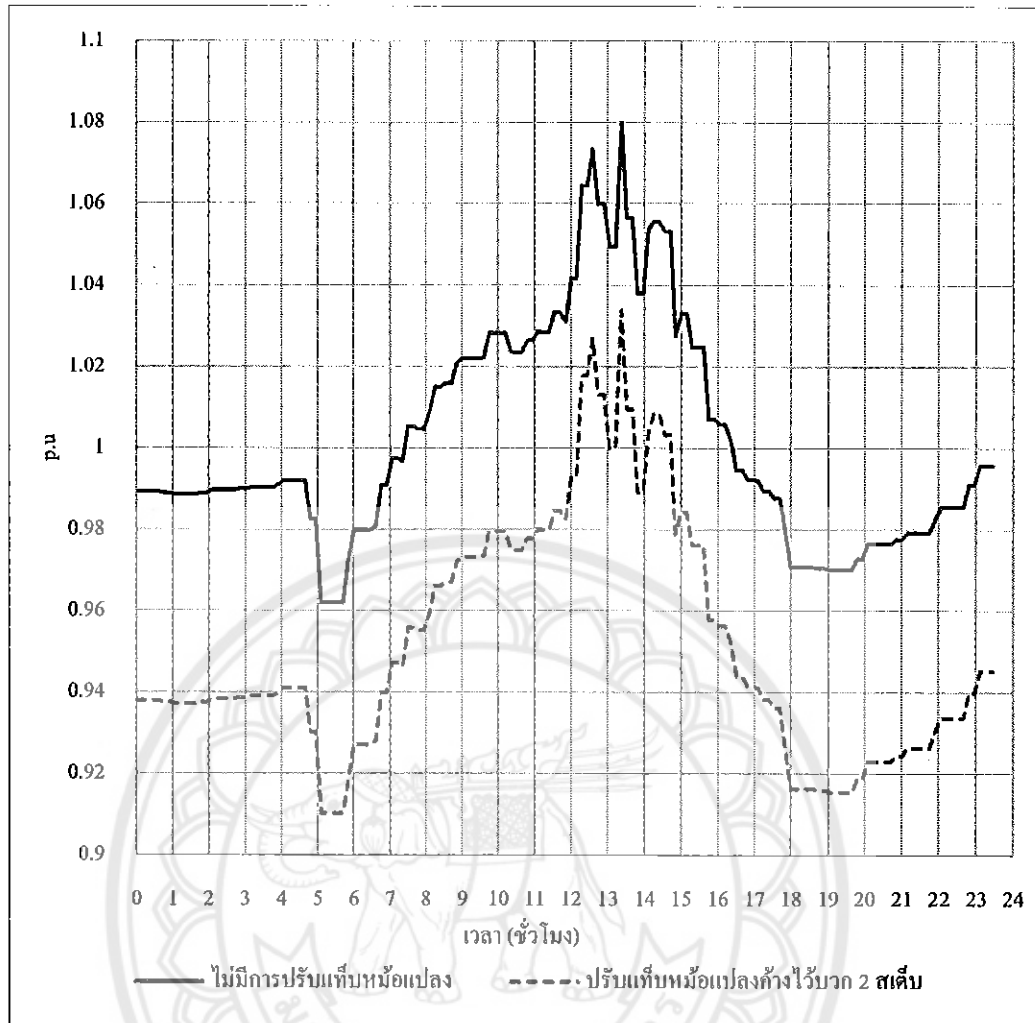
โดยทั่วไปแล้วเมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นหรือน้อยลงจะส่งผลโดยตรงกับระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้านแรงดันสูงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าในระบบกลับไปสู่สภาวะปกติ จึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ที่คอยปรับระดับแรงดันภายในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้จ่ายโหลดได้ต่อเนื่องได้ คือ ตัวเปลี่ยนแท็บ และเป็นส่วนหนึ่งของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง



ลักษณะการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง คือ สามารถเพิ่มจำนวนแท็บและลดจำนวนแท็บในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เช่น กรณีเกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบจะเพิ่มจำนวนแท็บของหม้อแปลง และกรณีแรงดันตกของระบบจะลดจำนวนแท็บของหม้อแปลง การปรับแท็บนี้จะปรับในด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นเมื่อเกิดแรงดันเกินในระบบจึงจำเป็นต้องปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังลงเพื่อลดแรงดันที่ระบบจ่ายผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังซึ่งส่งผลกระทบดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แรงดันเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวก 1 สเต็ป กับไม่ได้ปรับแท็บหม้อแปลงที่บัส 5 ของระบบ

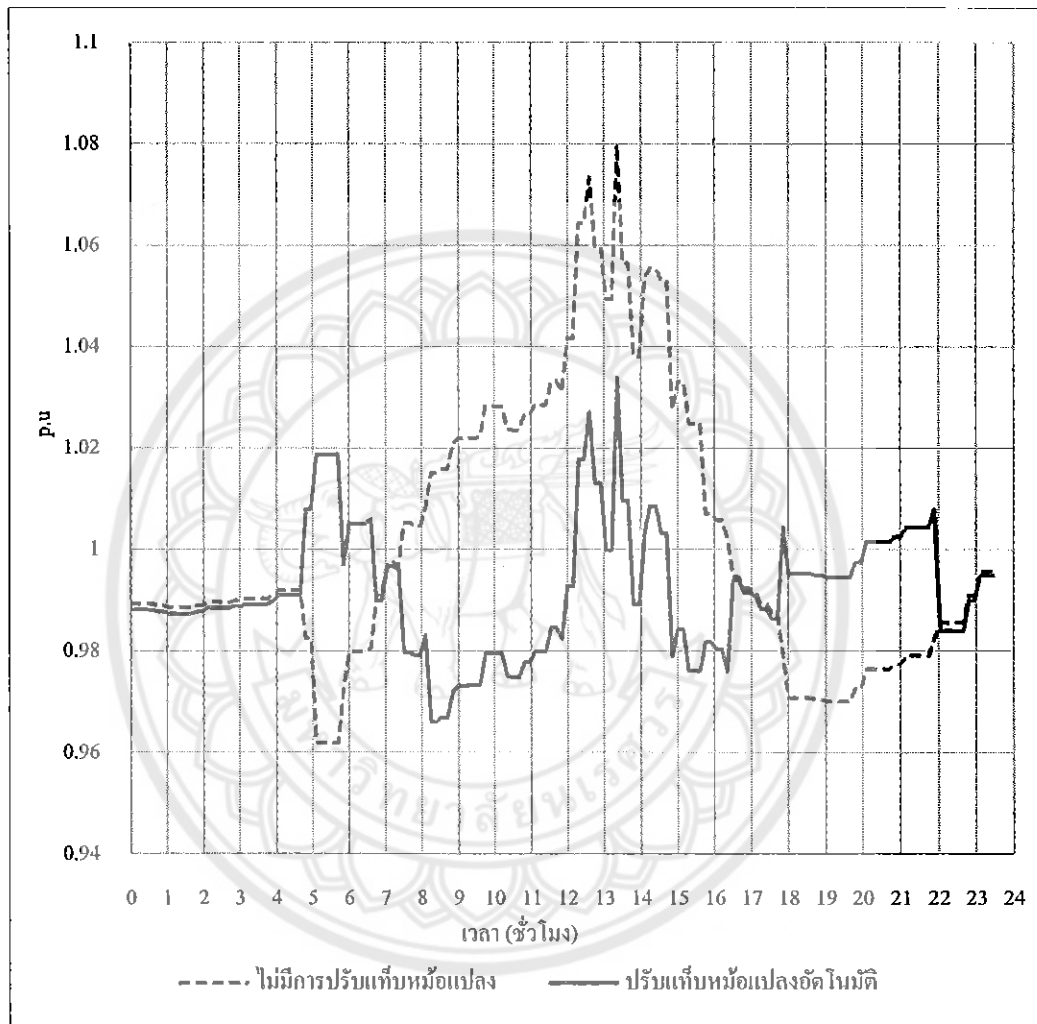


รูปที่ 4.8 แรงดันเปรียบเทียบระหว่างปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวก 2 สเต็ป กับไม่ได้ปรับแก้หม้อแปลงที่บัส 5 ของระบบ

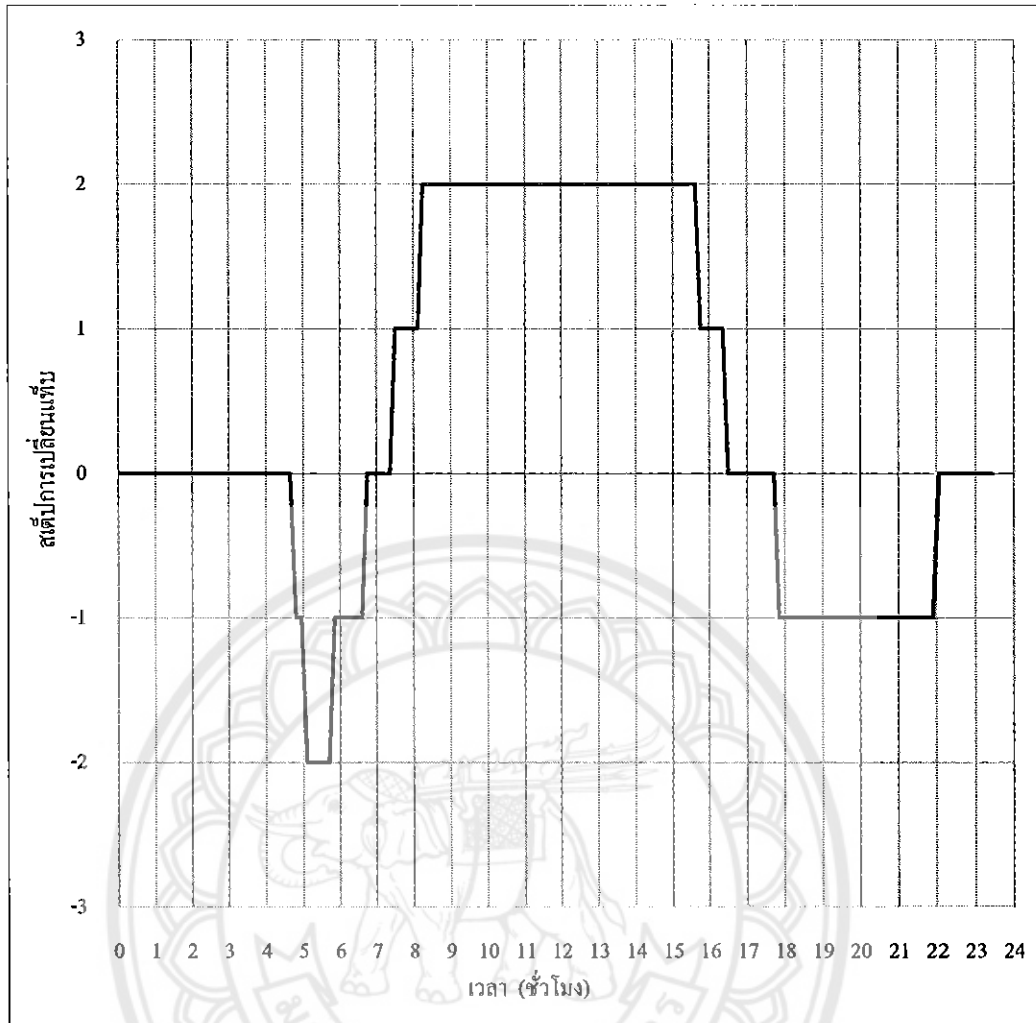
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะพบว่ากรปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำเอาไว้ 1 สเต็ป ไม่สามารถช่วยลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้ยังส่งผลให้เกิดแรงดันตก ส่วนการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวก 2 สเต็ป นั้นสามารถช่วยลดผลของแรงดันเกินที่บัสที่ 5 ได้ตามที่ต้องการ แต่กลับส่งผลของแรงดันตกเพิ่มขึ้นให้กับระบบที่เวลา 00.00 – 07.00 น. และเวลา 17.00 – 24.00 น.

#### 4.2.2 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บอัตโนมัติ

สำหรับหม้อแปลงปรับแท็บอัตโนมัติถือว่าเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้สำหรับช่วยลดผลของแรงดันเกินและแรงดันตกเนื่องจากการปรับแท็บค้างเอาไว้อาจส่งผลกระทบต่อด้านแรงดันตก ซึ่งผลของการปรับแท็บหม้อแปลงอัตโนมัติด้านแรงดันสูงค่าดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 แรงดันเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงอัตโนมัติกับไม่ได้ปรับแท็บหม้อแปลงที่บัส 5 ของระบบ



รูปที่ 4.10 ลักษณะการปรับแท็ปอัตโนมัติของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 315 kVA

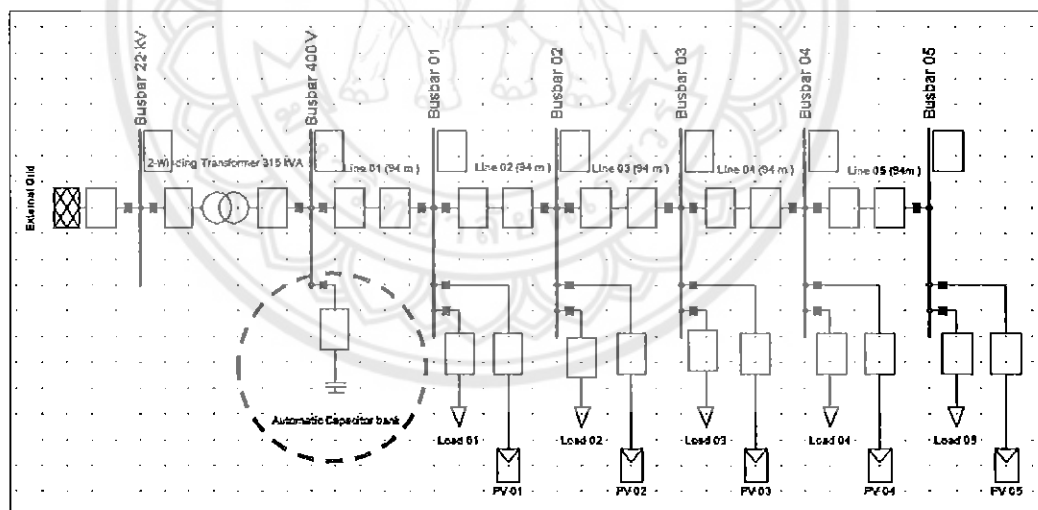
จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าการปรับแท็ปหม้อแปลงอัตโนมัตินั้นจะเริ่มมีการปรับก่อนที่แรงดันจะตกถึงที่กำหนดเอาไว้ การที่หม้อแปลงนั้นมีการปรับแท็ปก่อนที่แรงดันจะตกนั้นเป็นการตรวจสอบแนวโน้มของแรงดันตกและเกินว่ามีแนวโน้มจะตกหรือเกินมากน้อยเพียงใด โดยกระบวนการตรวจสอบแรงดันของระบบเป็นไปตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.1 หากเริ่มมีแนวโน้มที่จะตกเกินค่าวิกฤตหม้อแปลงจะปรับแท็ปเอาไว้รอ เพื่อไม่ให้เวลาแรงดันตกถึงจุดวิกฤตการที่แรงดันตกถึงจุดวิกฤตแล้วจะส่งผลกระทบต่อระบบมาก จึงต้องมีการตรวจสอบแนวโน้มของแรงดันก่อนที่จะปรับแท็ปหม้อแปลง สำหรับการปรับแท็ปหม้อแปลงจะมีค่าคงที่ทางเวลาควบคุม 0.5 วินาที ในการปรับแท็ปแต่ละครั้ง

### 4.2.3 การใช้ชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคุมการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้

ตัวเก็บประจุที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั่วไปจะใช้เมื่อเกิดแรงดันตกในระบบ แต่สำหรับการใช้ชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัตินี้จะใช้ควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ เนื่องจาก การปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ส่งผลให้เกิดแรงดันตกในระบบจึงต้องมีชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเข้ามาช่วยในช่วงที่ระบบเกิดแรงดันตก ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง และการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบ

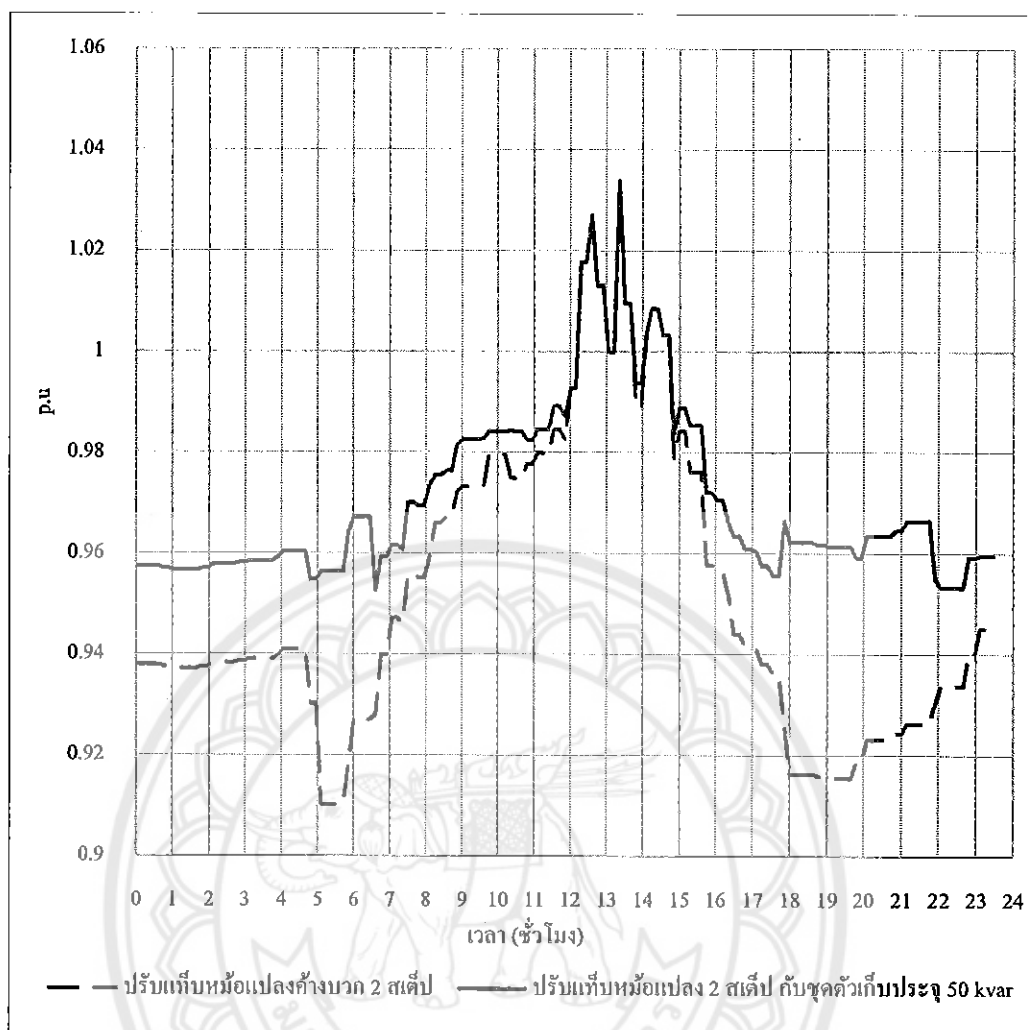
#### 4.2.3.1 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง การทดสอบนี้จะใช้ชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป มีลักษณะการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติต่อจากรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังของระบบ

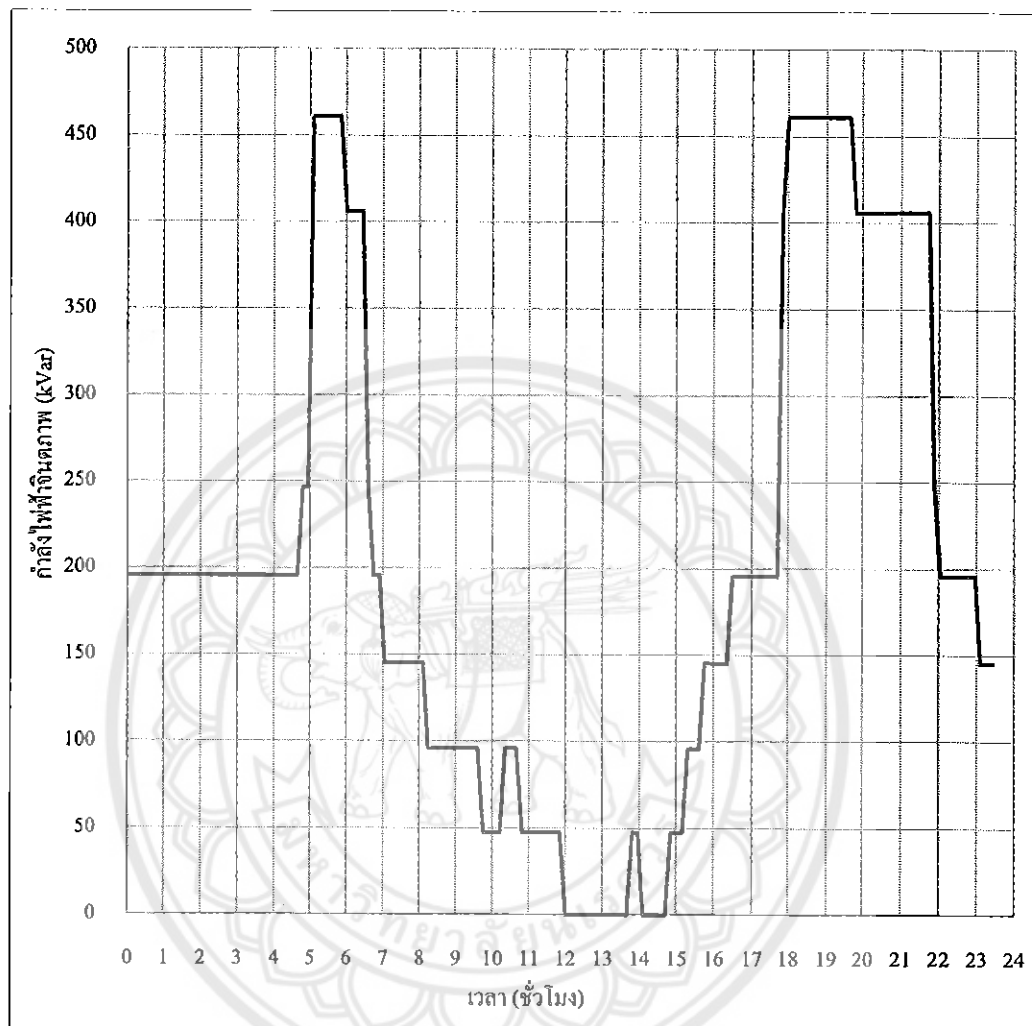
จากรูปที่ 4.11 การต่อของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำไว้ 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง จะสามารถช่วยลดผลกระทบด้านแรงดันที่เกิดกับระบบดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แรงดันของเปรียบเทียบระหว่างการปรับแท็บหม้อแปลงข้างบวก 2 สเต็ป กับชุดตัวเก็บประจุขนาด 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงข้างบวก 2 สเต็ป วัดที่บัส 5

จากรูปที่ 4.12 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุขนาด 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังข้างบวก 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง จะเห็นได้ สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกินและแรงดันตกที่เกิดกับระบบได้ ซึ่งต่างจากการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังข้างที่ สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกินได้ แต่ไม่สามารถช่วยลดผลของแรงดันตกได้ การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังข้างบวก 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ยังช่วยให้ลดผลกระทบด้านแรงดันตกของระบบได้และยังรักษาแรงดันในระบบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าได้กำหนดเอาไว้ที่ 0.95 p.u. และจะพบว่า

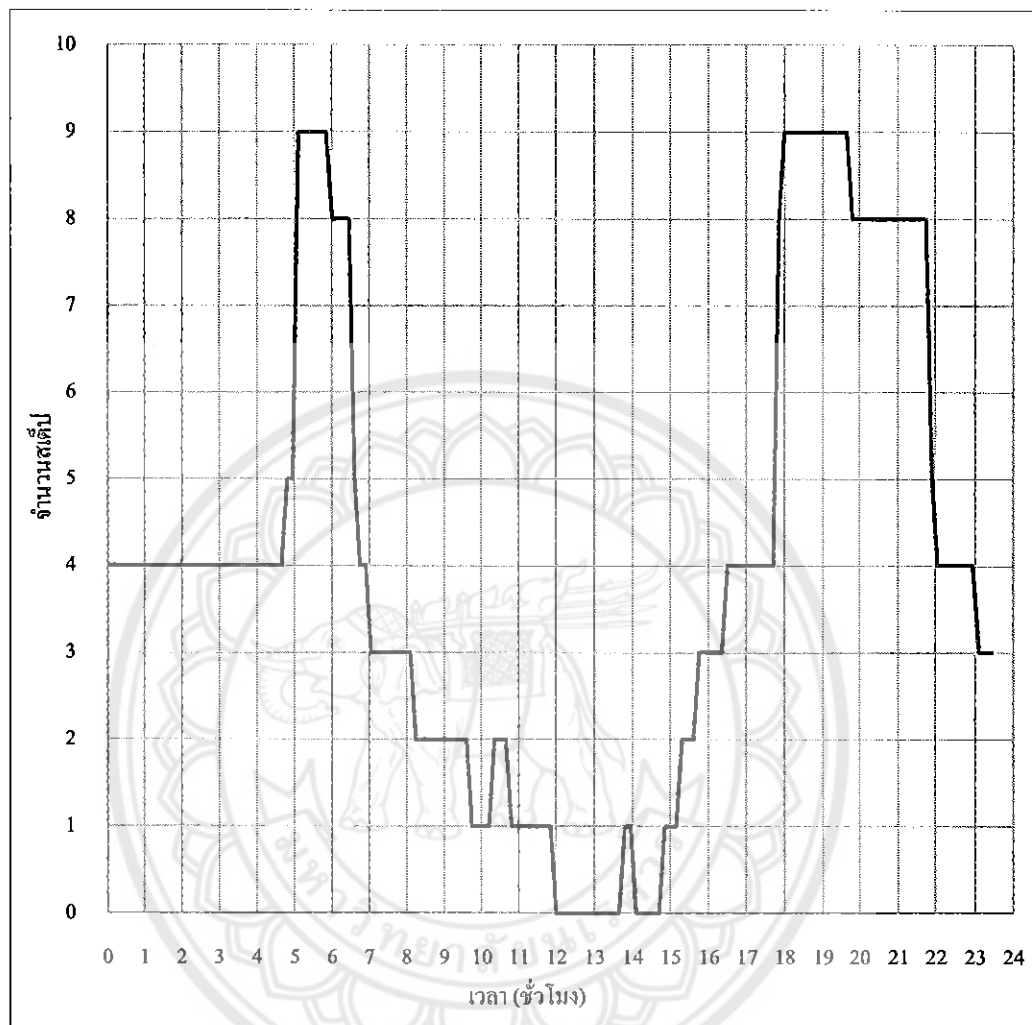
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติมีการปรับตั้งรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำงบวก 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

จากรูปที่ 4.13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำงบวก 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เมื่อ 1 สเต็ป ของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเท่ากับ 50 kVar ดังนั้น 9 สเต็ป เท่ากับ 450 kVar จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าที่จุดสูงสุดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 460.939

kVar เท่ากับ 9 สเต็ป สำหรับการเปลี่ยนแท็บของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ 1 สเต็ป จะใช้ค่าคงที่ทางเวลา 2 วินาที ลักษณะการปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 4.14



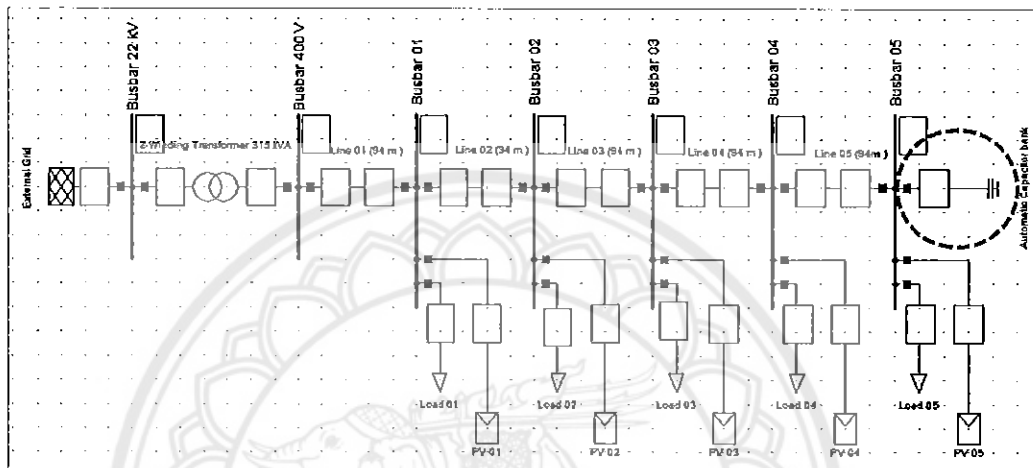
รูปที่ 4.14 ลักษณะการปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป

จากรูปที่ 4.14 ลักษณะการปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 50 kVar จำนวน 9 สเต็ป จะพบว่าเริ่มปรับที่เวลา 00.00 น. จำนวน 4 สเต็ป เนื่องจากการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้างไว้ส่งผลให้เกิดแรงดันตกเกินกว่า 0.95 p.u.

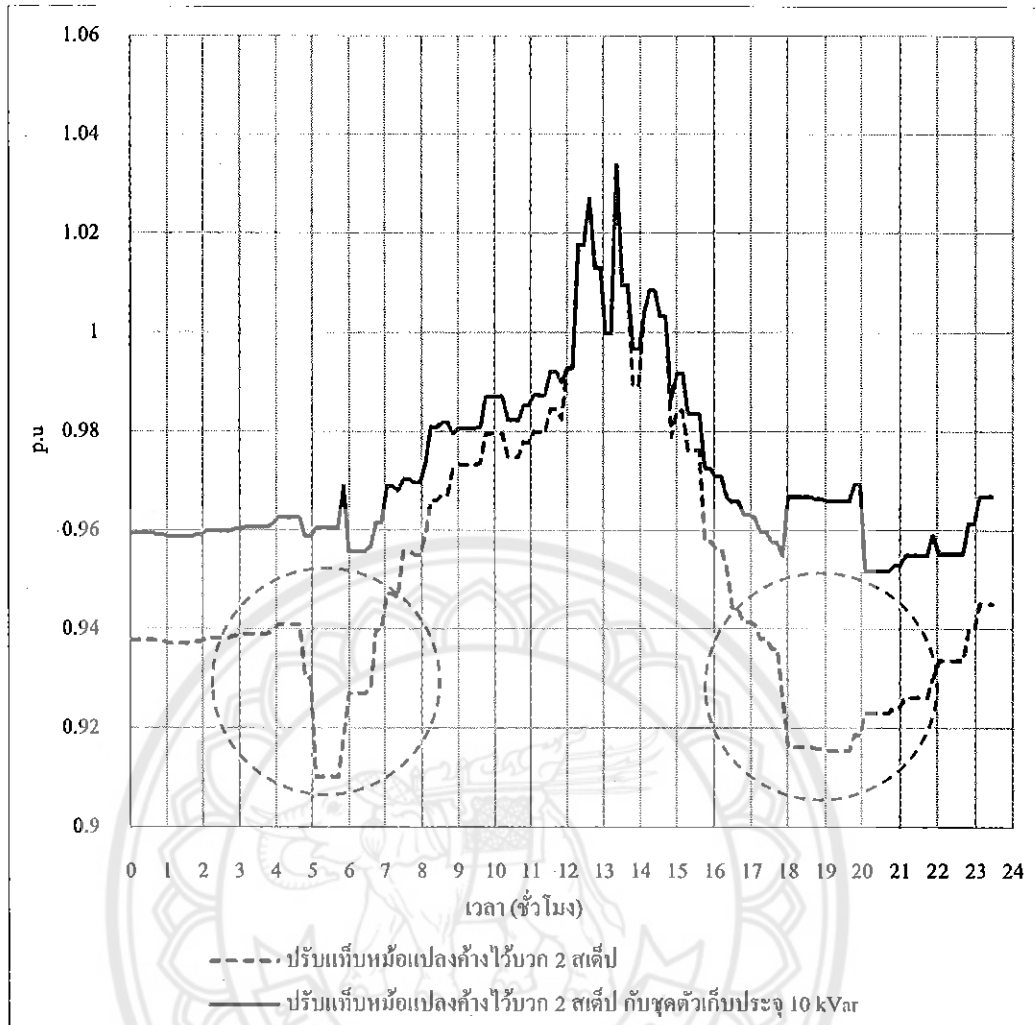


#### 4.2.3.2 การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลง ค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบ

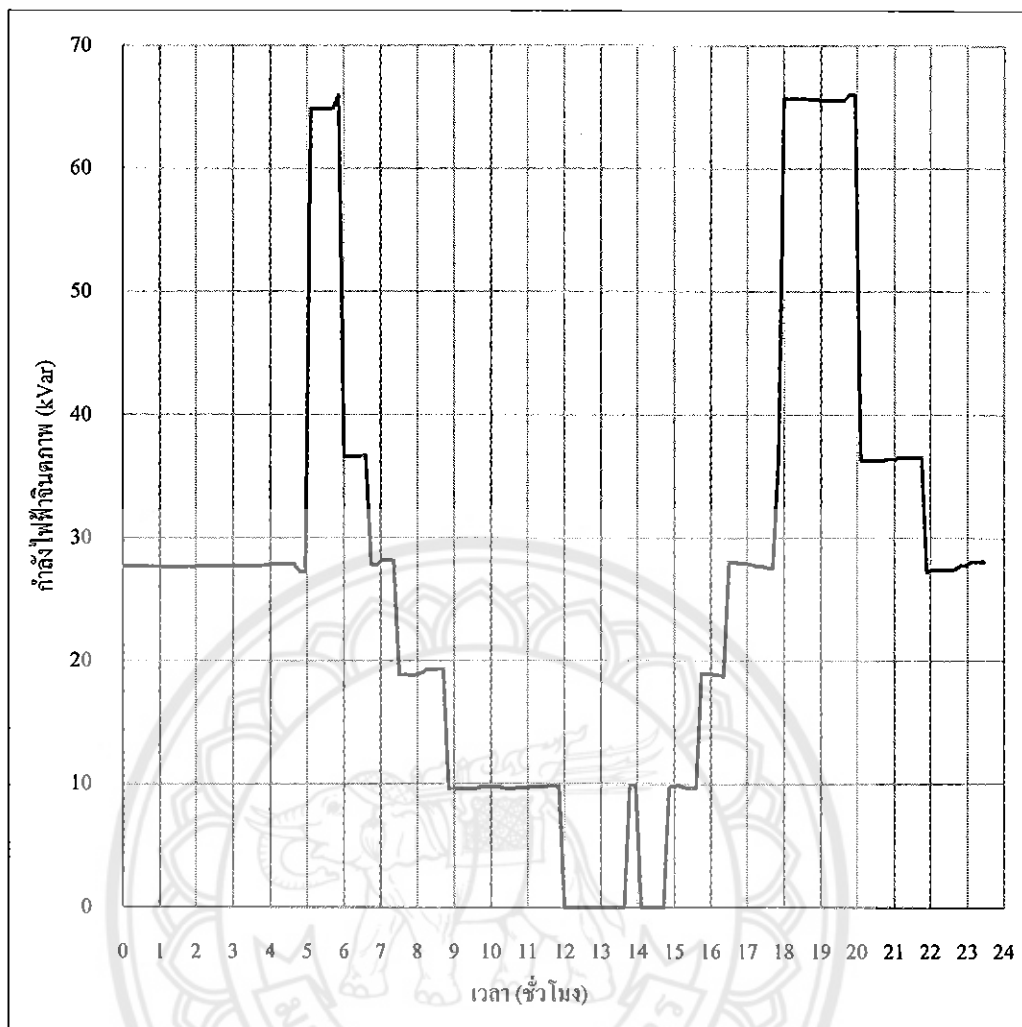
การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุที่บัสสุดท้ายของระบบจะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10 kVar จำนวน 7 ชุด ควควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 ชุด มีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุที่บัสปลายสายของระบบดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ลักษณะการต่อชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบ



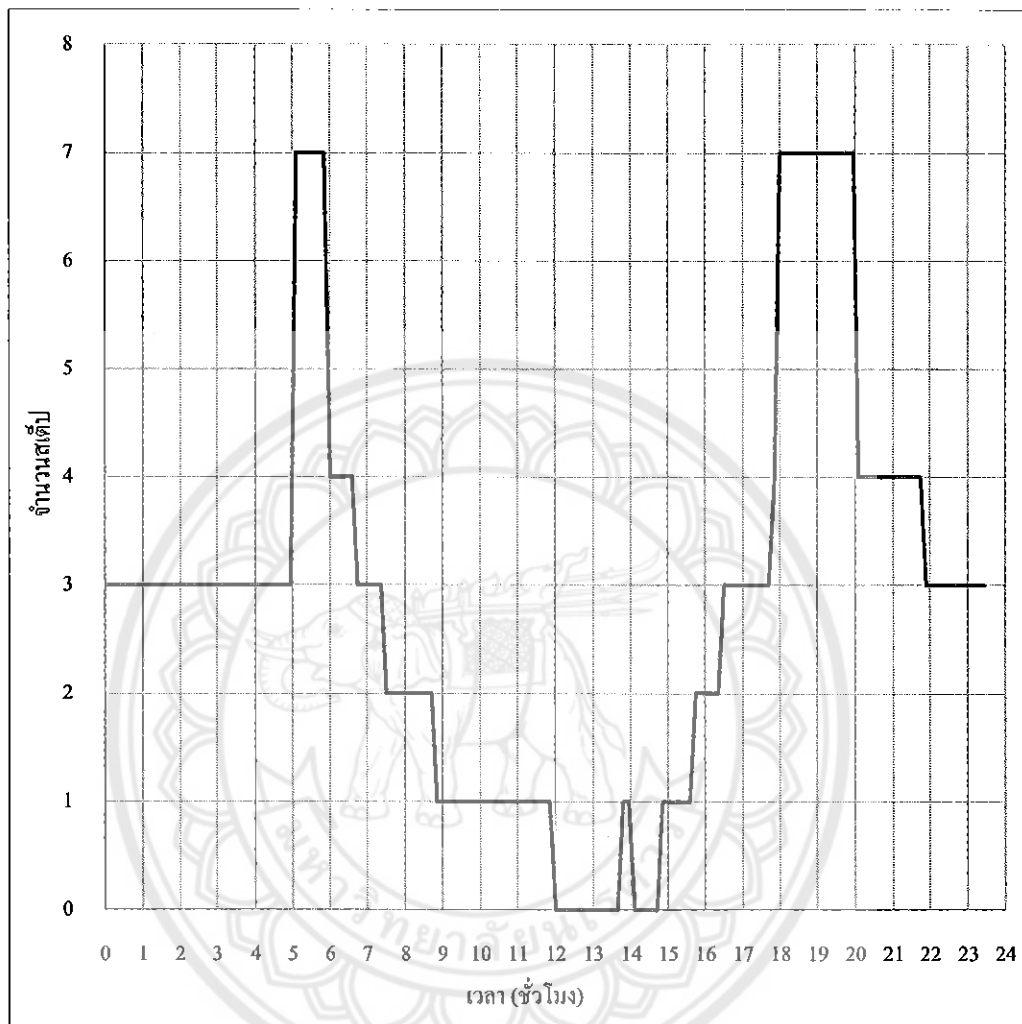
รูปที่ 4.16 แรงดันเปรียบเทียบแรงดันของการปรับแก้หม้อแปลงค้ำบวก 2 สเต็ป และชุดตัวเก็บประจุ 10 kVar จำนวน 7 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแก้หม้อแปลงค้ำบวก 2 สเต็ป วัดที่บัส 5



รูปที่ 4.17 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 10 kVar จำนวน 7 สเต็ป ควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งบัส 5

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 สเต็ป สามารถช่วยลดผลของแรงดันเกินและแรงดันตกได้ และจากรูปที่ 4.17 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจินตภาพของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาด 10 kVar จำนวน 7 สเต็ป ที่ปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวค 2 สเต็ป ที่ตำแหน่งบัส 5 นั้น จุดสูงสุดของแรงดันนั้นมีค่าเท่ากับ 64.85 kVar ที่เวลา 05.00-06.00 น. และ 64.85 kVar ที่เวลา 18.40-20.00 น. จาก 1 สเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเท่ากับ 10 kVar ดังนั้นที่ 64.85 kVar จากค่าสูงสุดทั้งสองของกราฟแสดงว่ามีการใช้ชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติไป

ทั้งหมดจำนวน 7 สเต็ป และการเปลี่ยนแปลงแท็บของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ 1 สเต็ป จะใช้ค่าคงที่ทางเวลา 2 วินาที ซึ่งมีการเปลี่ยนสเต็ปดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ลักษณะการปรับสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติ

จากรูปที่ 4.18 จะพบว่าการเปลี่ยนสเต็ปของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติของระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ และการปรับแท็บชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังกับตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบนั้น มีลักษณะการปรับเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันตรงขนาดของชุดตัวเก็บประจุ ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบจะใช้ขนาดของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาดเล็กกว่าที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ตามที่โครงการเล่มนี้ได้ศึกษาการวิเคราะห์แรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ด้วยโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory เมื่อโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบโดยโปรแกรม DIGSILENT PowerFactory โดยการวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันเกินในระบบพบว่า ในระบบที่ไม่มีการต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบนั้นจะไม่มีผลกระทบด้านแรงดันเกินและแรงดันตกกับระบบ แต่เมื่อโหลดที่ตามที่มีการต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ จะทำให้เกิดผลกระทบด้านแรงดันเกินกับระบบ ส่วนการแก้ไขผลกระทบด้านแรงดันเกินสำหรับโครงการนี้ใช้ 3 วิธีคือ

- 1) หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับแท็บอัตโนมัติ
- 2) การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
- 3) การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุควบคู่กับการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบ

จากผลการทดลองจะพบว่าการกระจายของโหลดที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคานั้น จะเกิดผลกระทบด้านแรงดันเกินกับระบบ เมื่อระบบนั้นมีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อยและระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคานั้นผลิตออกมาได้มาก และลักษณะการกระจายของโหลดที่ส่งผลกระทบด้านแรงดันเกินมากที่สุดคือการกระจายของโหลดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ที่ปลายสายของระบบ หากว่าโหลดบ้านพักอาศัยไม่ได้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทุกบ้านหรือกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาน้อยกว่าโหลดเฉลี่ยโอกาสที่จะเกิดผลกระทบด้านแรงดันเกินในระบบนั้นจะน้อยมากหรือแทบจะไม่ส่งผลกระทบด้านแรงดันเกินกับระบบเลย

วิธีแก้ไขผลกระทบด้านแรงดันเกินของระบบโดยวิธีการปรับแท็บหม้อแปลงกำลังค้ำเอาไว้ นั้นสามารถลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้ในกรณีปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ 2 สเต็ป ส่วนการปรับแค่ 1 สเต็ปนั้นไม่สามารถลดผลกระทบได้ แต่การปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ยังส่งผลกระทบด้านแรงดันตกตามมา ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ ส่วนการปรับแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอัตโนมัติ นั้นสามารถช่วยลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ

ด้านแรงดันตกอีกด้วย สำหรับการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงค้ำไว้ที่ตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและที่บัสสุดท้ายของระบบนั้น ก็สามารถลดผลกระทบของแรงดันเกินได้เมื่อทำการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำเอาไว้ แต่การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงค้ำไว้ นั้นใช้ได้กับการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำบวก 2 สเต็ปเท่านั้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 วิธีสามารถแก้ไขผลกระทบของแรงดันเกินที่เกิดกับระบบได้ทั้งหมด

จากผลการทดลองในโปรแกรมที่พบว่าทั้ง 3 วิธีที่สามารถใช้ลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้นั้นมีปัญหาที่ต่างกันไป คือ วิธีการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอัตโนมัติ นั้นได้ผลที่ดีที่สุด แต่หาซื้อหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับเทียบอัตโนมัติตามท้องตลาดยาก เพราะปัจจุบันยังไม่เป็นนิยมใช้ และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับเทียบอัตโนมัติ นั้นยังมีราคาสูงกว่าหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังธรรมดา การติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งติดกับหม้อแปลงนั้นสามารถลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้เช่นกันแต่ จะต้องใช้ตัวเก็บประจุอัตโนมัติขนาดใหญ่ ส่วนการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายจะพบว่าสามารถลดผลกระทบด้านแรงดันเกินได้ และสามารถแก้ไขปัญหาแรงดันตกที่เกิดจากการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ได้ และยังมีขนาดของตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็กกว่าที่ตำแหน่งการติดตั้งติดกับหม้อไฟฟ้ากำลัง

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังปรับเทียบอัตโนมัติยังไม่เป็นที่นิยมในการใช้ จึงทำให้การหารายละเอียดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค่อนข้างยากและข้อมูลที่ให้มีขนาดจำกัดในการเลือกใช้ ในการแก้ไขปัญหาผลกระทบด้านแรงดันเกินทั้ง 3 วิธี ควรเลือกวิธีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบ เพราะที่ใช้ขนาดของชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติเล็กกว่าที่ตำแหน่งของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้ ขนาดของชุดตัวเก็บประจุนั้นหากว่ามีขนาดใหญ่ย่อมมีราคาสูงกว่า ดังนั้นการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุอัตโนมัติควบคู่กับการปรับเทียบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค้ำไว้ที่ตำแหน่งบัสสุดท้ายของระบบจึงเหมาะสมที่สุดในด้านการลงทุน

## เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559). ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2551). ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551. กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- บริษัท โอ.เอ็ม. โสม แอนด์ ดีไซน์ จำกัด. (2559). บ้านพักอาศัยชั้นเดียว. นนทบุรี: บริษัท โอ.เอ็ม. โสม แอนด์ ดีไซน์ จำกัด.
- บริษัท เบอร์รา จำกัด. (2552). โครงการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) เพื่อรองรับการปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- บริษัท เพาเวอร์ ควอลิตี้ ทิม จำกัด. (2559). Capacitor Bank คืออะไร?. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เพาเวอร์ ควอลิตี้ ทิม จำกัด.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2522). พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒. กรุงเทพมหานคร: ราชกิจจานุเบกษา.
- วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2559). ข้อมูลความเข้มแสง. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสนับสนุนแรงดันไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ABB s.a.-n.v. (2015). CLMD Low-voltage Capacitors for Reliable Power Factor Correction. Zaventem: ABB s.a.-n.v.
- DIgSILENT GmbH. (2013). DIgSILENT PowerFactory 15. Gomaringen: DIgSILENT GmbH.
- Schneider Electric. (2016). Conext RL Single-Phase Inverters. Rueil-Malmaison: Schneider Electric.

Sharp Electronics Corporation. (2008). **130 WATT ND-130UJF**. Huntington Beach, CA:  
Sharp Electronics Corporation.

Texas Instruments Incorporated. (2010). **RS-422 and RS-485 Standards Overview and System  
Configurations**. Dallas, TX: Texas Instruments Incorporated.

Thai Center Transformer Co., Ltd. (2016). **Specification Oil Immersed Transformer 315 KVA.  
3 Ph. 50 Hz 22000 - 400/230 V**. Nakonpathom: Thai Center Transformer Co., Ltd.



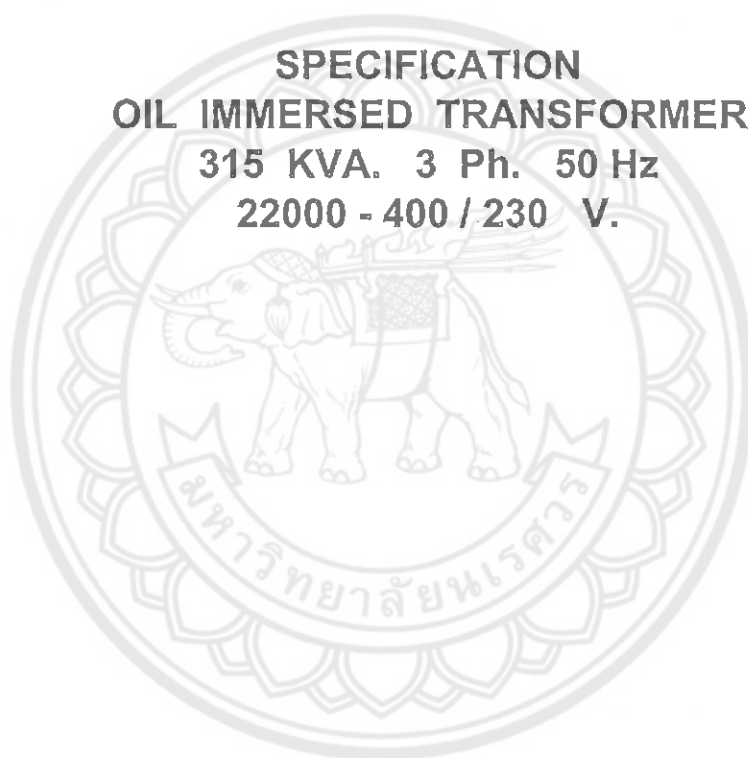




ภาคผนวก ก

รายละเอียดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA

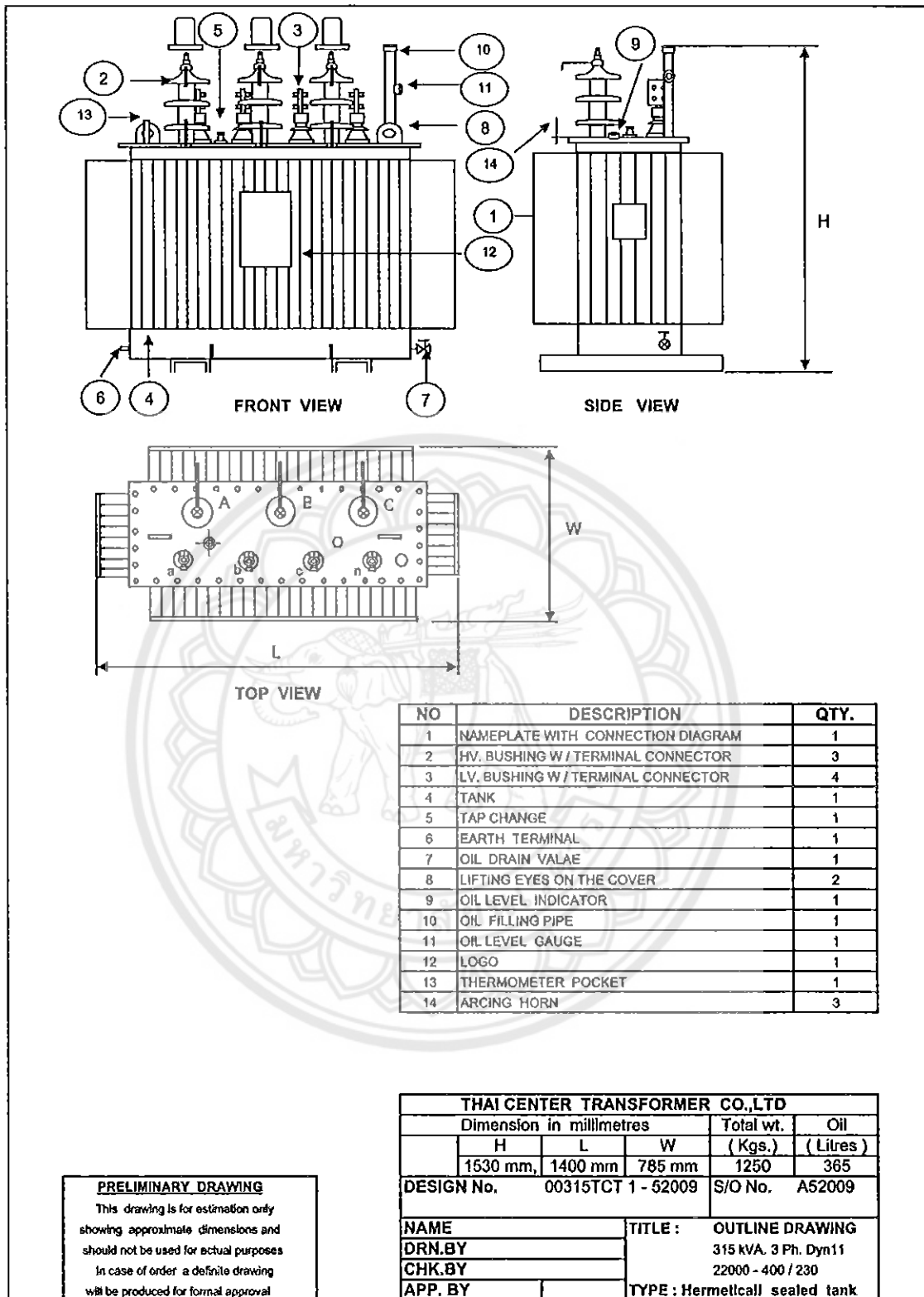
**SPECIFICATION**  
**OIL IMMERSED TRANSFORMER**  
**315 KVA. 3 Ph. 50 Hz**  
**22000 - 400 / 230 V.**



**THAI CENTER TRANSFORMER CO., LTD**

<b>TCT THAI CENTER TRANSFORMER CO.,LTD</b> <b>SPECIFICSTION THREE PHASE TRANSFORMER</b> Address : 67/1 Moo.7 T. Bangkam A. Maung Nakhonpathom 73000 Tel . 081 - 8054856 , 034 - 219036 Fax 034 - 984092 <a href="http://www.thaicentertransformer.com">http://www.thaicentertransformer.com</a> e - mail : thaicenter671@hotmail.com		
<b>Transformer Specificstion</b>		
<b>Quote. Ref :</b>		
<b>Customer :</b>		
<b>Project :</b>		
Rated power	.....KVA	315
Type of transformer	-	Oil immersed ( Hermetically sealed )
Standard	-	IEC 76
Cooling System	-	ONAN
No. Of phase	-	3
Frequency	.....Hz	50
Rate of voltage	: Primary .....V.	22000
	: Secondary .....V.	400/230
Vector group	-	Dyn 11
Tapping	Type -	off circuit tap changer
	No. of steps -	5
	Percentage of tapping -	$\pm 2 \times 2.5 \%$
Impedance voltage at 75 C	.....%	4
NO - Load current	.....%	1
Ambient temperature	.....C	40
Average Temperature rise of winding	.....C	65
Average Temperature rise of top oil	.....C	60
Noise level not more than	.....dB	56
No - Load loss	.....Watt	600
Load loss at 75 C	.....Watt	3500
Efficiency at P.F. = 1	: 25 % of rate power .....%	98.94
	: 50 % of rate power .....%	98.08
	: 75 % of rate power .....%	98.79
	: 100 % of rate power .....%	98.56
Voltage regulation	: at P.F. = 0.8 .....%	3.22
	: at P.F. = 0.9 .....%	2.71
	: at P.F. = 1. .....%	1.17
Impulse Withstand	: Primary winding .....KV.	125
Voltage	: Secondary winding .....KV.	-
Power Frequency	: Primary winding .....KV.	50
	: Secondary winding .....KV.	3
Terminal arrangement H.V. Side		Cable
L.V. Side		Cable
Installation on		Pole mounted / Plantform

<b>TCT THAI CENTER TRANSFORMER CO.,LTD</b> <b>SPECIFICSTION THREE PHASE TRANSFORMER</b> Address : 67/1 Moo.7 T. Bangkain A. Maung Nakhonpathom 73000 Tel. 081 - 8054856 , 034 - 219036 Fax 034 - 984092 <a href="http://www.thaicentertransformer.com">http://www.thaicentertransformer.com</a> e - mail : thaicenter671@hotmail.com	
<b>Transformer Specification</b>	
Quote. Ref :	
Customer :	
Project :	
Rated power	315
Type of transformer	Oil immersed ( Hermetically sealed )
<b>Accessories</b>	
H.V. Bushing with terminal connector	Included
L.V. Bushing with terminal connector	Included
Grounding pad or earth terminal	Included
upper fillter press sampling valve	Included
Oil drain, filter press sampling valve	Included
Name plate	Included
Arcing Horn	Included
Skid Base	Included
Mechanical pressure relief device	Included ( without contact )
Oil level indicator	Included ( with contact )
	Included ( with contact )
	Included ( with contact )
<b>Testing</b>	
<b>- Routine test</b>	
Ratio test at each position of tap	Included
Polarity and phase relation test	Included
Resistance measurement	Included
No - Load loss and exciting current test	Included
Impedance and load loss test	Included
Applied potential test	Included
Induced potential test	Included
Insulation resistance test	Included
Oil test	Included
<b>- Specia test</b>	
Impulse withstand test	Included ( Thaicenter lab )
Temperature rise test	Included ( Thaicenter lab )



NO	DESCRIPTION	QTY.
1	NAMEPLATE WITH CONNECTION DIAGRAM	1
2	HV. BUSHING W / TERMINAL CONNECTOR	3
3	LV. BUSHING W / TERMINAL CONNECTOR	4
4	TANK	1
5	TAP CHANGE	1
6	EARTH TERMINAL	1
7	OIL DRAIN VALVE	1
8	LIFTING EYES ON THE COVER	2
9	OIL LEVEL INDICATOR	1
10	OIL FILLING PIPE	1
11	OIL LEVEL GAUGE	1
12	LOGO	1
13	THERMOMETER POCKET	1
14	ARCING HORN	3

THAI CENTER TRANSFORMER CO.,LTD				
Dimension in millimetres			Total wt.	Oil
H	L	W	(Kgs.)	(Litres)
1530 mm	1400 mm	785 mm	1250	365
DESIGN No.	00315TCT 1 - 52009	S/O No.	A52009	

**PRELIMINARY DRAWING**  
 This drawing is for estimation only showing approximate dimensions and should not be used for actual purposes. In case of order a definite drawing will be produced for formal approval.

NAME	TITLE :	OUTLINE DRAWING
DRN.BY		315 kVA, 3 Ph. Dyn11
CHK.BY		22000 - 400 / 230
APP. BY		TYPE : Hermetically sealed tank

ภาคผนวก ข  
รายละเอียดอินเวอร์เตอร์



# Technical Specifications

## Conext RL

Device short name	RL 3000 E	RL 4000 E	RL 5000 E
<b>Electrical specifications</b>			
<b>Input (DC)</b>			
MPPT voltage range, full power	160 - 500 V	180 - 500 V	180 - 500 V
Operating voltage range	90 - 550 V	90 - 550 V	90 - 550 V
Starting voltage	100 V	100 V	100 V
Max. input voltage, open circuit	550 V	550 V	550 V
Number of MPPT	2	2	2
Max. input current per MPPT	10 A	12 A	18 A
Max. short circuit current per MPPT	13.9 A	16.7 A	25.0 A
Nominal input power	3.2 kW	4.2 kW	5.3 kW
Max. DC input power per MPPT	3.2 kW	3.2 kW	3.5 kW
DC connection type	MC4, 2 pairs (1+1)	MC4, 4 pairs (2+2)	MC4, 4 pairs (2+2)
DC switch	Integrated (optional)	Integrated (optional)	Integrated (optional)
<b>Output (AC)</b>			
Nominal output power	3 kVA	4 kVA*	5 kVA**
Nominal output voltage	230 V, single-phase	230 V, single-phase	230 V, single-phase
Isolation	Transformerless	Transformerless	Transformerless
AC voltage range	184 V - 276 V	184 V - 276 V	184 V - 276 V
Frequency	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Frequency range	50 / 60 Hz +/- 5 Hz	50 / 60 Hz +/- 5 Hz	50 / 60 Hz +/- 5 Hz
Max. output current	13.9 A	18.2 A***	23.2 A
Total harmonic distortion	<3 %	<3 %	<3 %
Power factor (adjustable)	0.8 lead to 0.8 lag	0.8 lead to 0.8 lag	0.8 lead to 0.8 lag
AC connection type	IP67 connector	IP67 connector	IP67 connector
<b>Efficiency</b>			
Peak	97.5%	97.5%	97.5%
European	97.0%	97.0%	97.0%
<b>General specifications</b>			
Power consumption, night time	<1 W	<1 W	<1 W
IP degree of protection	IP65 (electronics and balance)	IP65 (electronics and balance)	IP65 (electronics and balance)
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H
Cooling	Natural convection	Natural convection	Natural convection
Enclosure material	Aluminium	Aluminium	Aluminium
Product weight	20.0 kg (44.1 lb)	21.0 kg (46.3 lb)	24.0 kg (52.9 lb)
Shipping weight	25.0 kg (55.1 lb)	25.0 kg (55.1 lb)	30.0 kg (66.1 lb)
Product dimensions (H x W x D)	42.0 x 48.0 x 16.0 cm (16.5 x 18.9 x 6.3 in)	42.0 x 48.0 x 16.0 cm (16.5 x 18.9 x 6.3 in)	44.5 x 51.0 x 17.7 cm (17.5 x 20.1 x 7.0 in)
Shipping dimensions (H x W x D)	50.5 x 59.5 x 29.5 cm (19.9 x 23.4 x 11.6 in)	50.5 x 59.5 x 29.5 cm (19.9 x 23.4 x 11.6 in)	56.6 x 61.9 x 33.1 cm (22.3 x 24.4 x 13.0 in)
Ambient air temperature for operation	-20 to 65°C (-4°F to 149°F)****	-20 to 65°C (-4°F to 149°F)****	-20 to 65°C (-4°F to 149°F)****
Operating altitude	Up to 2000 m	Up to 2000 m	Up to 2000 m
Relative humidity	4 - 100% condensing	4 - 100% condensing	4 - 100% condensing
Noise emission (at 1 m distance)	<40 dbA	<40 dbA	<40 dbA
<b>Features and options</b>			
Embedded data logger	365 days		
Display	LCD 2-line 16 digits, 2 Buttons		
Communication interface standard/optional	RS 485, MODBUS / Ethernet (with built-in web server)		
Multifunction relay	Yes		
Warranty in years standard/optional	5 / 10		
<b>Regulatory approvals</b>			
Electrical safety	CE marked for the Low Voltage Directive 2006/95/EC EN / IEC 62109-1 EN / IEC 62109-2, AS3100/AS5033		
Grid interconnection	VDE-AR-N 4105, RD1699, CEI 0-21, UTE C15-712-1, AS4777, VDE 0126, IEC 62116, IEC 61727, MEA, PEA, IEC 61683, G83/2 for Conext RL 3000E and 4000E, G59/2 for Conext RL 5000E, C10/C11 ed. 06.2012		
Environmental	RoHS, REACH, IEC 60068-2 (as per MNRE Technical Specifications)		
EMC	CE marked for the EMC directive 2004-108-EC   Emissions: EN 61000-6-3 (residential) Immunity: EN 61000-6-2 (Industrial)		
<b>Available product variants</b>			
Standard	PVSNVC3000 (RL 3000 E)	PVSNVC4000 (RL 4000 E)	PVSNVC5000 (RL 5000 E)
With integrated DC switch	PVSNVC3000S (RL 3000 E-S)	PVSNVC4000S (RL 4000 E-S)	PVSNVC5000S (RL 5000 E-S)

Specifications are subject to change without notice. \*3.66 kVA for UK. \*\*4.6 kVA for Germany. 4.95kVA for Queensland. \*\*\* 18A for UK. \*\*\*\*-20°C cold start temperature.

© 2018 Schneider Electric. All Rights Reserved. All trademarks are owned by Schneider Electric Industries SAS or its affiliated companies  
DS20160610\_ConextRL

Life Is On

Schneider  
Electric



ภาคผนวก ค  
รายละเอียดสายไฟฟ้า





ALUMINUM CABLES

**APPLICATION :**

For use above ground overhead distribution.

**CLASSIFICATION :**

Maximum conductor temperature 70°C Circuit voltage does not exceed 750 volts

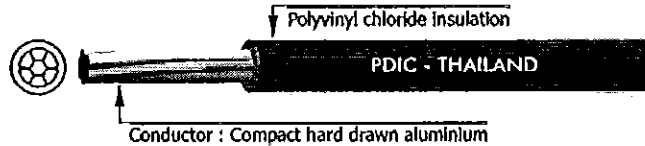
**TESTING VOLTAGE :**

2,500 V

**REFERENCE STANDARD :**

IEC 291/2521 IES 67

**PHELPS DODGE CONDUCTOR TYPE WPC COMPACT WEATHER-PROOF OR WEATHER-RESISTANCE CABLE (COMPACT)**



**CONSTRUCTION :**

Conductor : Solid or stranded hard drawn aluminium wire.  
Size 10 mm<sup>2</sup> up to 500 mm<sup>2</sup>

Insulation : Polyvinyl chloride (70°C)

Conductor cross section (mm <sup>2</sup> )	Conductor diameter (mm)	Conductor strands (No.)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)	Conductor diameter (mm)
10	9.64	6	3.5-4.1	1.1	7	3.0800	1,768	54	50	1,000/R	
16	15.55	6	4.6-5.2	1.1	8	1.9100	2,734	73	72	1,000/R	
25	24.75	6	5.6-6.5	1.3	10	1.2000	4,120	97	110	1,000/R	
35	34.21	6	6.6-7.5	1.3	11	0.8680	5,591	121	143	1,000/R	
50	46.32	6	7.7-8.6	1.5	13	0.6410	7,313	147	202	1,000/R	
70	67.03	12	9.3-10.2	1.5	14	0.4430	10,420	189	262	1,000/R	
95	92.79	15	11.0-12.0	1.7	16	0.3200	14,098	231	360	1,000/R	
120	117.37	15	12.5-13.5	1.7	18	0.2530	18,518	268	440	1,000/R	
150	144.15	15	13.9-15.0	1.9	20	0.2060	22,457	310	538	1,000/R	
185	181.06	30	15.5-16.8	2.1	22	0.1640	28,974	354	670	1,000/R	
240	237.55	30	17.8-19.2	2.3	25	0.1250	37,506	419	872	1,000/R	
300	296.94	30	20.0-21.6	2.5	27	0.1000	45,642	485	1,085	1,000/R	
400	381.67	53	22.9-24.6	2.7	30	0.0778	56,992	584	1,370	1,000/R	
500	490.81	53	25.7-27.6	3.1	34	0.0605	72,195	674	1,784	1,000/R	

R = Packing in reel



รายละเอียดข้อกำหนดการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารแนบท้ายประกาศหมายเลข ๒.๒

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1. ข้อกำหนดทางเทคนิค

1.1 แรงดันและความถี่

แรงดันและความถี่ของระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จะต้องเข้ากันได้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเป็นไปตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.2 ฮาร์โมนิก (Harmonics)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิกจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 สำหรับการตรวจวัดที่ระดับแรงดันอื่นๆ นอกเหนือจากข้อกำหนดข้างต้นให้นำมาตรฐาน IEC ที่เหมาะสมมาใช้

1.3 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.4 การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Injection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.5 การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power control)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องสามารถควบคุมตัวประกอบกำลังหรือกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อรักษาระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อม ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟผ. โดยระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการจะต้องมีความสามารถดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1. การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากำลังของระบบผลิตไฟฟ้าแบ่งตามระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อมกับระบบของ กฟผ.

ระดับแรงดัน ณ จุด PCC	ความสามารถในการปรับค่า Power factor	วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
1) ระดับแรงดันต่ำ	0.95 lagging to	ควบคุมอย่างน้อย 1 วิธี คือ A fixed displacement factor $\cos \theta$
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	0.95 leading เป็นอย่างน้อย	
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	0.90 lagging to 0.90 leading เป็นอย่างน้อย	ควบคุมได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ 1) A fixed displacement factor $\cos \theta$ 2) A variable reactive power depending on the voltage $Q(U)$

### 1.6 การควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control)

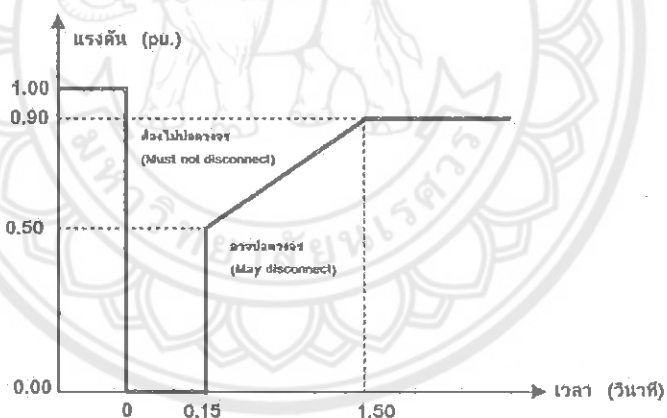
ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าจาก 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือศูนย์เปอร์เซ็นต์ ได้ โดยสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าอย่างน้อยครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อทันที ทั้งนี้ กรณีที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติในระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือเหตุการณ์ใดๆ ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาแล้วเห็นว่า มีผลกระทบต่อความปลอดภัยและเสถียรภาพของระบบโครงข่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะแจ้งและ/หรือ สั่งการให้ปรับลดกำลังไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสม

### 1.7 ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายในเวลาที่กำหนด ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยกำหนดตามระดับแรงดัน ณ จุด ต่อเชื่อมดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2. ระยะเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะได้

ระดับแรงดัน ณ จุด PCC	Duration time (วินาที)
1) ระดับแรงดันต่ำ	ไม่ต้องการ
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	ดังรูปที่ 1.
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	ดังรูปที่ 1.



รูปที่ 1. กราฟแสดงความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through)

### 1.8 การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหากขนาดของแรงดัน Line to Neutral ในระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่าออกนอกช่วงที่ระบุไว้ตามตารางที่ 3. ดังนี้

ตารางที่ 3. ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันปกติ

ระดับแรงดัน ณ จุดPCC	ระยะเวลาปลดวงจร (วินาที)
$V < 50\%$	0.3
$50\% \leq V < 90\%$	2.0
$90\% \leq V \leq 110\%$	แรงดันทำงานต่อเนื่อง
$110\% < V < 120\%$	1.0
$V \geq 120\%$	0.16

### 1.9 การป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน (Under and Over frequency protection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายใน 0.1 วินาที เมื่อความถี่ที่จุดเชื่อมต่อมีค่าไม่อยู่ในช่วง 48 Hz – 51 Hz

### 1.10 การป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าให้ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายใน 2 วินาที

### 1.11 การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Response to utility recovery)

ภายหลังจากที่ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาทีถึง 5 นาที

## 2. ข้อกำหนดอื่นๆ

2.1 การต่อลงดิน (Earthing), การป้องกันการลัดวงจร (Short circuit protection) และการตัดตอนและการปลดสับ (Isolation and switching) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712

2.2 การจัดหาและติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power quality Monitoring) ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 นั้น ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องจัดหา ออกแบบ และติดตั้งระบบ Monitoring Systems สำหรับคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถเรียกดูข้อมูลในรูปแบบเวลาจริง (Real time) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตซึ่งได้แก่ข้อมูล แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง THDv, THDi, Pst, และ Plt เป็นต้น รวมทั้งต้องจัดส่งรายงานผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจาก PQM ตามแบบฟอร์มหรือรูปแบบที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเป็นประจำทุกเดือน

2.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้ามากกว่า 56 กิโลวัตต์ จะต้องมีระบบ Monitoring Systems ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถเรียกดูข้อมูลการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบเวลาจริง (Real time) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตหรือแอปพลิเคชันต่างๆ ซึ่งได้แก่ข้อมูลกำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ เป็นต้น

#### 2.4 สำหรับการเชื่อมโยงในระบบจำหน่ายแรงต่ำ 380/220 กิโลโวลต์

2.4.1 ขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของระบบผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำ จะต้องไม่เกิน 25% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์)

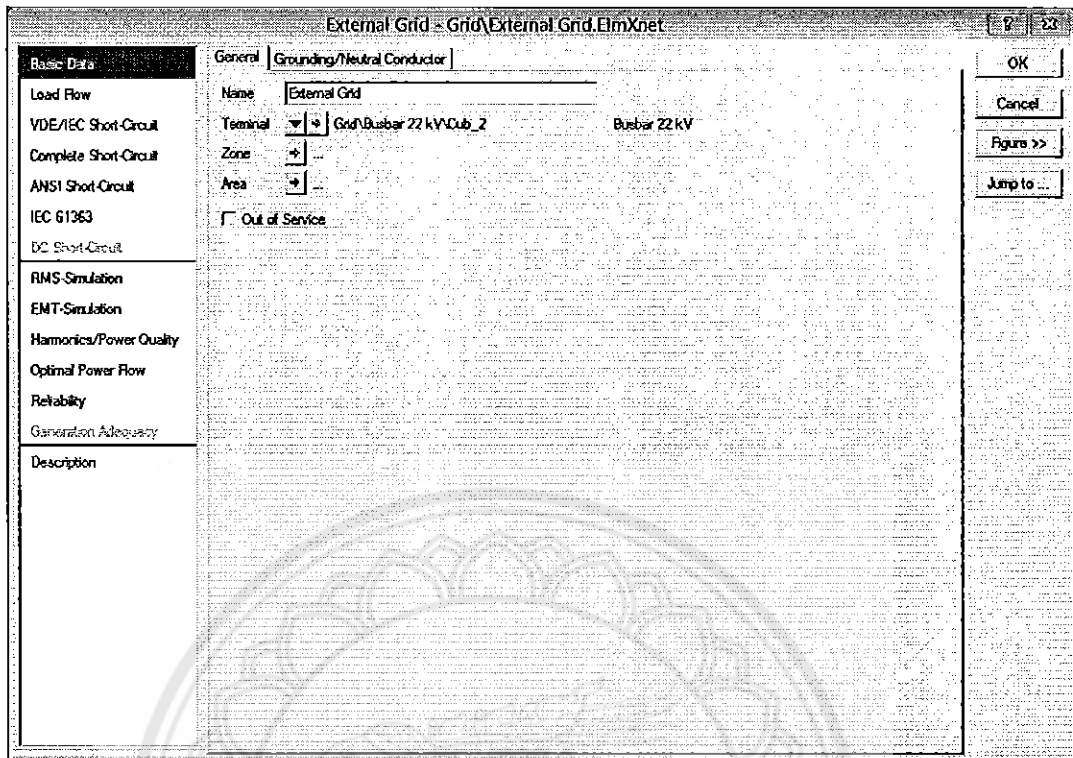
2.4.2 หากกำลังผลิตติดตั้งรวมของระบบผลิตไฟฟ้าตามข้อ 2.4.1 เชื่อมต่อเต็มขีดจำกัด 25% ของขนาดพิกัดหม้อแปลงแล้ว ผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องไปเชื่อมต่อในระบบจำหน่ายแรงดัน 22 หรือ 33 กิโลโวลต์ โดยผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องเป็นผู้จัดหาหม้อแปลงจำหน่ายและอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

2.5 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากรายใดที่ไม่ผ่านข้อกำหนดทางเทคนิคของผู้ให้บริการจะต้องทำการศึกษาและแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นถ้าหากมีความจำเป็นต้องการปรับปรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นรายๆ ไป

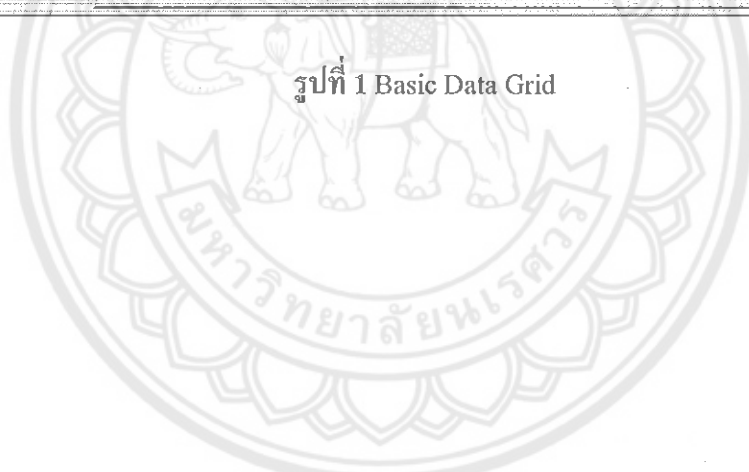
2.6 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดทางเทคนิคตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัยความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าและผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก

ภาคผนวก จ  
รายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory  
สำหรับการทดสอบและวิเคราะห์ระบบ





รูปที่ 1 Basic Data Grid





External Grid - Grid\External Grid.ElmXnet

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Optimal Power Flow

Reliability

Generation Adequacy

Description

Bus Type: SL

Setpoint: local

Operation Point

Angle: 0 deg

Voltage Setpoint: 1.02 p.u.

Reference Busbar: [ ]

Reactive Power Operational Limits

Capability Curve: [ ]

Min: -9999 Mvar Scaling Factor (min): 100 %

Max: 9999 Mvar Scaling Factor (max): 100 %

OK

Cancel

Figure >>

Jump to ...

รูปที่ 2 Load Flow Grid

Terminal - Grid\Busbar 22 kV.ElmTerm

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Protection

Optimal Power Flow

Reliability

Generation Adequacy

Tie Open Point Opt.

Description

Name: Busbar 22 kV

Type: [ ] ...ent Type Library\Busbar 22 kV

Zone: [ ]

Area: [ ]

Out of Service

System Type: AC Usage: Busbar

Phase Technology: ABC

Nominal Voltage

Line-Line: 22 kV

Line-Ground: 12.70171 kV

Earthed

OK

Cancel

Jump to

Cubicles

รูปที่ 3 Basic Data Bus bar 22 kV

Terminal - Grid\Busbar 22 kV.ElmTerm

<b>Basic Data</b>	<b>Voltage Control</b>
<b>Load Flow</b>	Target Voltage: 1 p.u. 22 kV
VDE/IEC Short-Circuit	Delta V max: 5 %
Complete Short-Circuit	Delta V min: -5 %
ANSI Short-Circuit	Priority: -1
IEC 61363	
DC Short-Circuit	<b>Steady State Voltage Limits</b>
RMS-Simulation	Max. Voltage: 1.05 p.u.
EMT-Simulation	Min. Voltage: 0 p.u.
Harmonics/Power Quality	<b>Voltage Step Change Limits</b>
<b>Protection</b>	n-1: 6 %
Optimal Power Flow	n-2: 12 %
Reliability	Busbar Fault: 12 %
Generation Adequacy	
<b>Tie Open Point Opt.</b>	
Description	

OK  
Cancel  
Jump to ...  
Cubicles

รูปที่ 4 Load Flow Bus bar 22 kV

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\2-Winding Transformer\315 kVA typ1r2

<b>Basic Data</b>	Name: 2-Winding Transformer 315 kVA	OK
<b>Load Flow</b>	Technology: Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power: 315 kVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency: 50 Hz	
ANSI Short-Circuit	<b>Rated Voltage</b>	<b>Vector Group</b>
IEC 61363	HV-Side: 22 kV	HV-Side: D
DC Short-Circuit	LV-Side: 0.4 kV	LV-Side: YN
RMS-Simulation	<b>Positive Sequence Impedance</b>	Phase Shift: 0 °30deg
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk: 3 %	Name: Dyn0
Harmonics/Power Quality	Copper Losses: 0 kW	
<b>Protection</b>	<b>Zero Sequence Impedance</b>	
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0: 3 %	
Reliability	SHC-Voltage (Rel.kk0) uk0: 0 %	
Generation Adequacy		
Description		

รูปที่ 5 Basic Data หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library \ 2-Winding Transformer 315 kVA TypTr2

Basic Data | **Load Flow** | General | Tap Changer | Saturation | Advanced

Magnetizing Impedance

No Load Current	1.25	%
No Load Losses	0.7	kW

Distribution of Leakage Reactances (p.u.)

x.Pos Seq. HV-Side	0.5
x.Pos Seq. LV-Side	0.5

Distribution of Leakage Resistances (p.u.)

r.Pos Seq. HV-Side	0.5
r.Pos Seq. LV-Side	0.5

OK  
Cancel

รูปที่ 6 Load Flow หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library \ 2-Winding Transformer 315 kVA TypTr2

Basic Data | **Load Flow** | General | Tap Changer | Saturation | Advanced

Tap Changer 1

Type: Ratio/Asym. Phase Shifter

at Side: HV

Additional Voltage per Tap: 2.5 %

Phase of  $\delta u$ : 0 deg

Neutral Position: 0

Minimum Position: -2

Maximum Position: 2

Tap Changer 2

Tap dependent impedance

OK  
Cancel

รูปที่ 7 การเปลี่ยนแท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA

2-Winding Transformer - Grid2-Winding Transformer 315 kVA ElmTr2

Basic Data | General | Advanced

Tap Changer 1  
Neutral: 0 Min: -2 Max: 2

Tap Position: 2

According to Measurement Report

Controller, Tap Changer 1

External Tap Controller: ...

External Station Controller: ...

Automatic Tap Changing

Tap Changer: discrete

Controlled Node is at: HV Phase: Pos.Seq.

Control Mode: V Setpoint: local

Remote Control

Controlled Node: Grid\Busbar 05

Voltage Setpoint	Lower Bound	Upper Bound
0.99 p.u.	0.95 p.u.	1.05 p.u.

Controller Time Constant: 0.5 s

Thermal Loading Limit

Max. Loading: 100 %

OK  
Cancel  
Figure >>  
Jump to

รูปที่ 8 การควบคุมระยะไกลของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส 315 kVA

Terminal - Grid\Busbar 400 V, ElmTerm

Basic Data

Name: Busbar 400 V

Type: ... ent Type Library\Busbar 400 V

Zone: ...

Area: ...

Out of Service

System Type: AC Usage: Busbar

Phase Technology: ABC

Nominal Voltage

Line-Line	0.4 kV
Line-Ground	0.2309401 kV

Earthed

OK  
Cancel  
Jump to  
Cubicles

รูปที่ 9 Basic Data Busbar 400 V

**Terminal - Grid\Busbar 400 V\ElmTerm**

<b>Basic Data</b> <b>Load Flow</b> VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS Simulation EMT Simulation Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Tie Open Point Opt. Description	<b>Voltage Control</b> Target Voltage: 1.0 p.u. [0.4 kV] Delta V max: 5.0 % Delta V min: -5.0 % Priority: -1	OK Cancel Jump to ... Cubicles
	<b>Steady State Voltage Limits</b> Max. Voltage: 1.05 p.u. Min. Voltage: 0.0 p.u.	
	<b>Voltage Step Change Limits</b> n-1: 6.0 % n-2: 12.0 % Busbar Fault: 12.0 %	

รูปที่ 10 Load Flow Busbar 400 V

**Line - Grid\Line 01\ElmLine**

<b>Basic Data</b> <b>Load Flow</b> VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS Simulation EMT Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Tie Open Point Opt. Cable Sizing Description	Name: Line 01 Type: Equipment Type Library\Line Terminal I: Grid\Busbar 400 V\Cub_2 (Busbar 400 V) Terminal J: Grid\Busbar 01\Cub_1 (Busbar 01) Zone: Terminal I Area: Terminal I <input type="checkbox"/> Out of Service	OK Cancel Figure >> Jump to ...
	Number of parallel Lines: 1	<b>Resulting Values</b> Rated Current (act.): 0.30368 kA Pos. Seq. Impedance, Z1: 0.03080321 Ohm Pos. Seq. Impedance, Angle: 42.64893 deg Pos. Seq. Resistance, R1: 0.02266 Ohm Pos. Seq. Reactance, X1: 0.02087272 Ohm Zero Seq. Resistance, R0: 0 Ohm Zero Seq. Reactance, X0: 0 Ohm Earth-Fault Current, Ice: 0 A Earth Factor, Magnitude: 0.3333333 Earth Factor, Angle: 180 deg
	<b>Parameters</b> Thermal Rating: [ ] Length of Line: 0.11 km Derating Factor: 1.0	
	Type of Line: Overhead Line Line Model: <input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI) <input type="radio"/> Distributed Parameter Sections/Line Loads: [ ]	

รูปที่ 11 Basic Data Line

Line Type - Equipment Type Library\Line.TypeLine

Name: Line

Rated Voltage: 40 kV

Rated Current: 0.30368 kA

Nominal Frequency: 50 Hz

Cable / OHL: Overhead Line

System Type: AC Phases: 3 Number of Neutrals: 0

Parameters per Length 1,2-Sequence

AC-Resistance R(20°C): 0.206 Ohm/km

Reactance X: 0.189752 Ohm/km

Parameters per Length Zero Sequence

AC-Resistance R0: 0 Ohm/km

Reactance X0: 0 Ohm/km

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Protection

Optimal Power Flow

Reliability

Generation Adequacy

Cable Sizing

Description

OK

Cancel

រូបភាព 12 Type Basic Data Line

Line Type - Equipment Type Library\Line.TypeLine

Parameters per Length 1,2-Sequence

Max. Operational Temperature: 80 degC

AC-Resistance R(20°C): 0.206 Ohm/km

Conductor Material: Aluminium

Parameters per Length 1,2-Sequence

Susceptance B: 0 uS/km

Ins. Factor: 0

Parameters per Length Zero Sequence

Susceptance B0: 0 uS/km

Ins. Factor: 0

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Protection

Optimal Power Flow

Reliability

Generation Adequacy

Cable Sizing

Description

OK

Cancel

រូបភាព 13 Type Load Flow Line

Shunt/Filter - Grid\Automatic cap bank 01.ElmShnt

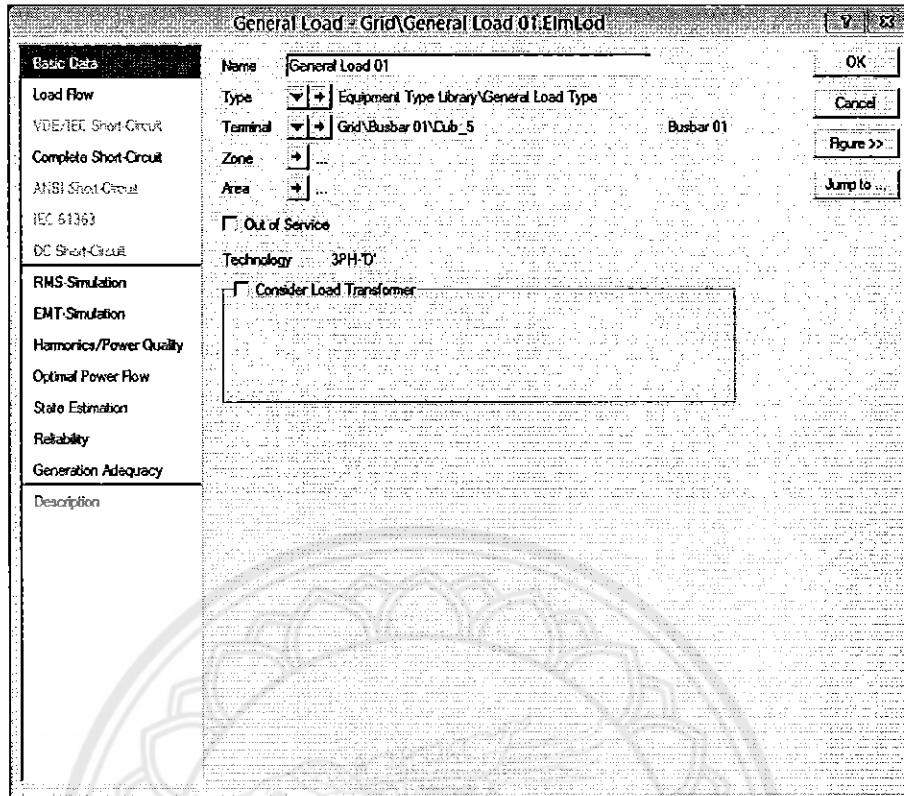
<b>Basic Data</b> Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Description	<b>General</b>   Measurement Report   Zero Sequence/Neutral Conductor	Name: Automatic cap bank 01 Terminal: Grid\Busbar 400 V\Obj_3 - Busbar 400 V Zone: Area: <input type="checkbox"/> Out of Service System Type: AC Technology: 3PH-Y Nominal Voltage: 0.4 kV Shunt Type: C Input Mode: Default	OK Cancel Figure >> Jump to...	
	<b>Controller</b> Max. No. of Steps: 9 Max. Rated Reactive Power: 450. kvar Act.No. of Step: 0 Actual Reactive Power: 0. kvar	<input type="checkbox"/> According to Measurement Report Design Parameter (per Step): Rated Reactive Power, C: 50. kvar Loss Factor, tan(delta): 0.	Layout Parameter (per Step): Susceptance: 312500. uS Parallel Conductance: 0. uS	

រូបភាព 14 Basic Data Automatic Cap Bank 01

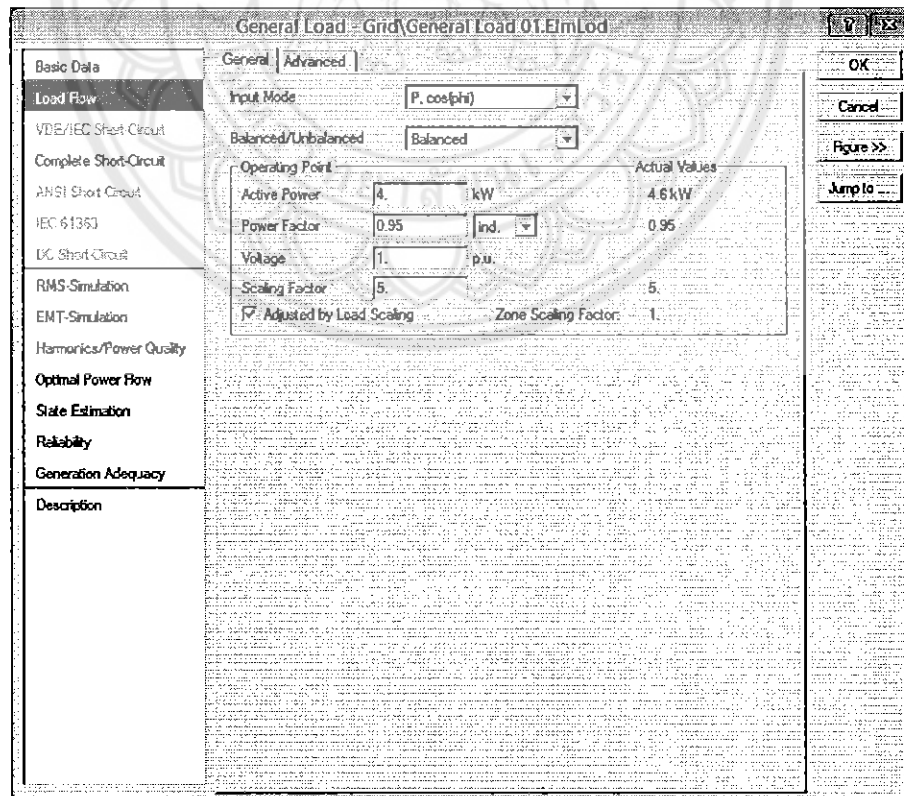
Shunt/Filter - Grid\Automatic cap bank 01.ElmShnt

<b>Basic Data</b> Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Description	<b>Controller</b> Max. No. of Steps: 9 Max. Rated Reactive Power: 450. kvar Act.No. of Step: 0 Actual Reactive Power: 0. kvar Shunt Controller: <input checked="" type="checkbox"/> Switchable Control Mode: Voltage Phase: Pos. Seq. <input checked="" type="checkbox"/> Remote Control Setpoint: local Controlled Node: Grid\Busbar 05 Upper Voltage Limit: 1.05 p.u. Lower Voltage Limit: 0.95 p.u. Controller Time Constant: 2 s Controller Sensitivity dq/dv: 0.1 p.u./% Availability Factor: 100. %	OK Cancel Figure >> Jump to...
--	---	---

រូបភាព 15 Load Flow Automatic Cap Bank 01

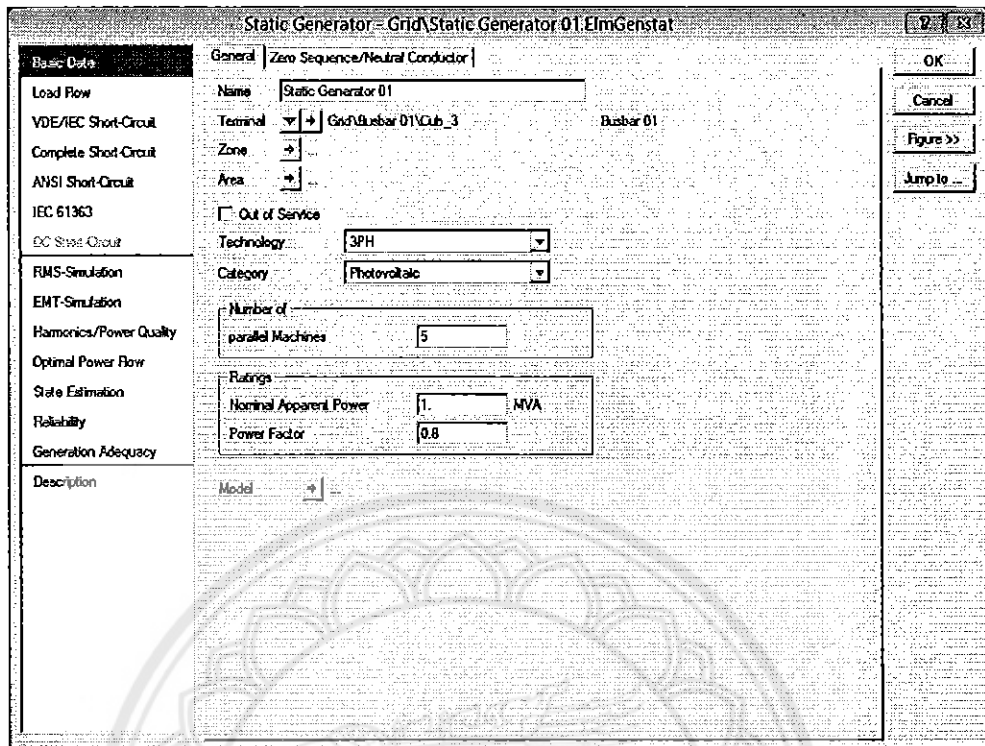


รูปที่ 16 Basic Data Load Profile

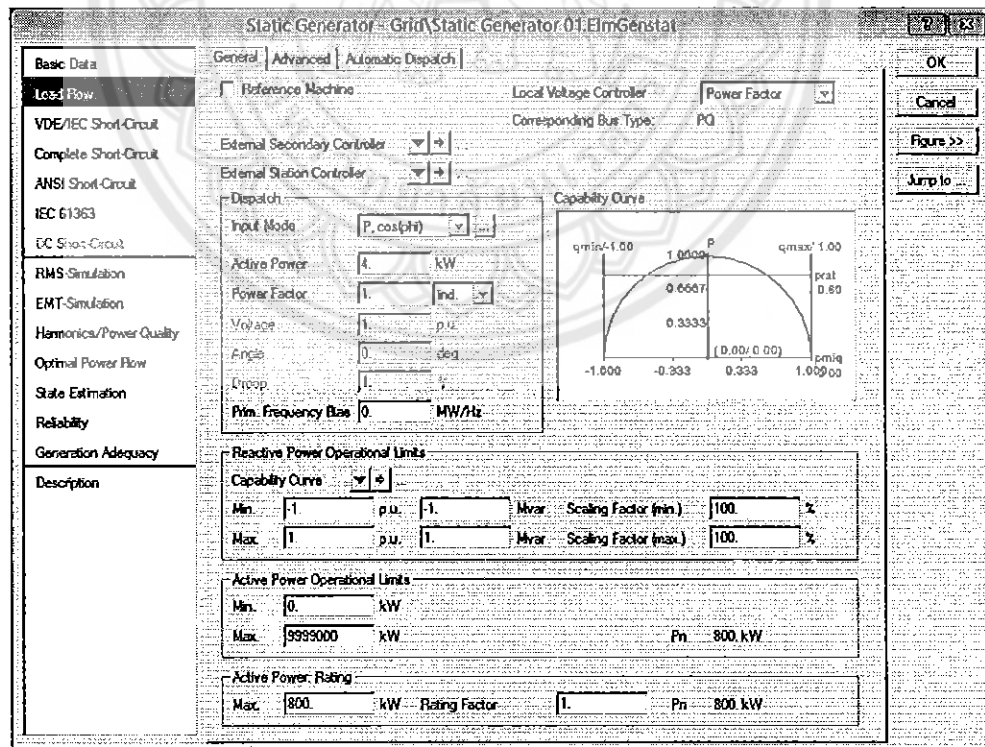


รูปที่ 17 Load Flow Load Profile





รูปที่ 18 Basic Data Solar Rooftop



รูปที่ 19 Load Flow Solar Rooftop

Shunt/Filter - Grid\Automatic cap bank 02.ElmShnt \*

Basic Data | Measurement Report | Zero Sequence/Neutral Conductor

**Basic Data**

Load How  
 VDE/IEC Short-Circuit  
 Complete Short-Circuit  
 ANSI Short-Circuit  
 IEC 61363  
 DC Short-Circuit

RMS-Simulation  
 EMT-Simulation  
 Harmonics/Power Quality  
 Optimal Power Flow  
 Reliability  
 Generation Adequacy

Description

General

Name: Automatic cap bank 02  
 Terminal: Grid\Busbar 05\Qub\_4 Busbar 05  
 Zone: →  
 Area: →

Out of Service

System Type: AC Technology: 3PH-Y

Nominal Voltage: 0.4 kV

Shunt Type: C

Input Mode: Default

Controller

Max. No. of Steps: 7 Max. Rated Reactive Power: 70 kvar  
 Act. No. of Step: 0 Actual Reactive Power: 0 kvar

According to Measurement Report

Design Parameter (per Step)

Rated Reactive Power, C: 10. kvar  
 Loss Factor, tan(delta): 0.

Layout Parameter (per Step)

Supercapacitor: 62500. uF  
 Parallel Capacitors: 0. uF

OK  
 Cancel  
 Figure >>  
 Jump to ...

រូបភាព 20 Basic Data Automatic Cap Bank 02

Shunt/Filter - Grid\Automatic cap bank 02.ElmShnt \*

Basic Data | Measurement Report | Zero Sequence/Neutral Conductor

**Basic Data**

Load How  
 VDE/IEC Short-Circuit  
 Complete Short-Circuit  
 ANSI Short-Circuit  
 IEC 61363  
 DC Short-Circuit

RMS-Simulation  
 EMT-Simulation  
 Harmonics/Power Quality  
 Optimal Power Flow  
 Reliability  
 Generation Adequacy

Description

Controller

Max. No. of Steps: 7 Max. Rated Reactive Power: 70 kvar  
 Act. No. of Step: 0 Actual Reactive Power: 0 kvar

Shunt Controller: →

Switchable

Control Mode: Voltage Phase: a

Remote Control Setpoint: local

Controlled Mode: Grid\Busbar 05

Upper Voltage Limit: 1.05 p.u.  
 Lower Voltage Limit: 0.95 p.u.

Controller Time Constant: 2. s  
 Controller Sensitivity dq/dv: 0.1 p.u./%

Availability Factor: 100. %

OK  
 Cancel  
 Figure >>  
 Jump to ...

រូបភាព 21 Load Flow Automatic Cap Bank 02

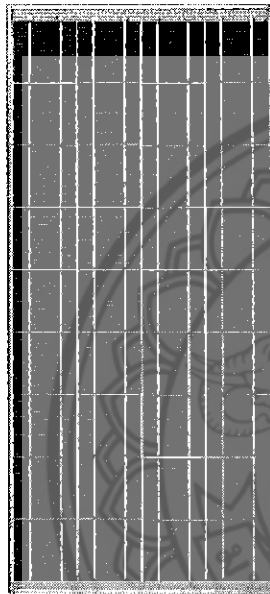


# SHARP®

solar electricity

## 130 WATT

OFF GRID MODULE



ND-130UJF

OFF GRID 130 WATT MODULE  
FROM THE WORLD'S TRUSTED  
SOURCE FOR SOLAR.

Using breakthrough technology, made possible by nearly 50 years of proprietary research and development, Sharp's ND-130UJF solar module incorporates (36) 155 mm square solar cells with an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency. Common applications include cabins, solar power stations, pumps, beacons, and lighting equipment.

You have many manufacturers to choose from when considering solar for your home or business. Partner with us to see why Sharp is a global leader in solar technology.

**ENGINEERING EXCELLENCE**

Module offers industry-leading performance for a variety of electrical power requirements.

**DURABLE**

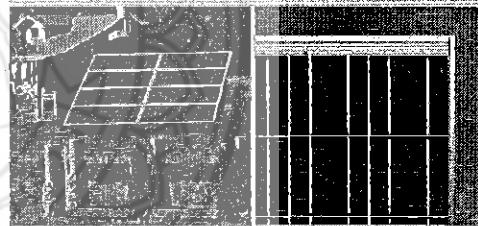
Designed and tested to withstand rigorous weather conditions.

**RELIABLE**

25-year limited warranty on power output.

**HIGH PERFORMANCE**

Solar cells have an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency.



Sharp off-grid modules offer industry-leading performance for a variety of applications.

Sharp's off-grid modules offer high efficiency performance under low light conditions.

**SHARP: THE NAME TO TRUST**

When you choose Sharp, you get more than well-engineered products. You also get Sharp's proven reliability, outstanding customer service and the assurance of our 25-year limited warranty on power output. A global leader in solar electricity, Sharp powers more homes and businesses than any other solar manufacturer worldwide.

**BECOME POWERFUL**

# 130 WATT

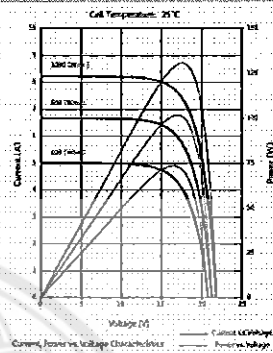
ND-130UJF

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Power (Pmax)*	130 W
Tolerance of Pmax	+10%/-5%
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	36 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	21.9 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	17.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.2 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.5 A
Module Efficiency (%)	13.1%
Maximum System (DC) Voltage	600 V
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C

\*Measured at (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1kW/m<sup>2</sup> irradiation, AM 1.5

### IV CURVES



### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions (A x B x C below)	26.1" x 59.0" x 1.8" / 662 x 1498 x 46 mm
Type of Output Terminal	Junction Box
Weight	30.9 lbs / 14.0 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)

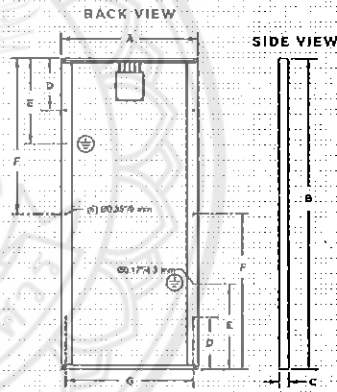
### QUALIFICATIONS

UL Listed	UL 1703	
Fire Rating	Class C	
FM	NI CLT DIV2 GPS A, B, C, D	

### WARRANTY

- 25-year limited warranty on power output
- Contact Sharp for complete warranty information

### DIMENSIONS



A	D	C	D	E
26.1"/662 mm	59.0"/1493 mm	1.0"/25 mm	9.6"/250 mm	16.2"/412 mm
F	G			
28.5"/720 mm	24.4"/619 mm			

Contact Sharp for tolerance specifications

# SHARP

SHARP ELECTRONICS CORPORATION  
 5801 Bolsa Avenue, Huntington Beach, CA 92647  
 1-800-SOLAR-06 • Email: [sharpsolar@sharpusa.com](mailto:sharpsolar@sharpusa.com)  
[www.sharpusa.com/solar](http://www.sharpusa.com/solar)

ภาคผนวก ข  
รายละเอียดหลักการควบคุมการเปลี่ยนเท็บหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอัตโนมัติ  
ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory



## 1 General Description



### 1.2.4 Automatic tap changer control

Automatic tap changer control is activated by setting the corresponding option on the load flow page of the transformer element. Additionally, automatic tap adjustment can be globally enabled or disabled by the load flow command. The information required for tap changer control is shown in Figure 1.9 and described in Table 1.3.

Figure 1.9: Data for automatic tap changer control

## 1 General Description



Table 1.3: Dialog fields for the automatic tap changer control

Parameter	Description
According to Measurement report	Instead of the type data for the tap-dependent transformer values the element-specific measurement report is used
Tap position	Tap position used during the load flow calculation. If <i>Automatic Tap Changing</i> is activated this value corresponds to the Initial tap position.
Automatic tap changing	Activating automatic tap adjustment in load flow analysis.
Tap changer	<p><i>continuous</i> An idealized, continuous tap changer is assumed. As a result, the tap controller can ideally comply with the specified control condition</p> <p>This option is useful for voltage regulators in distribution systems having a very large number of tap steps or for thyristor controlled tap changers.</p> <p><i>discrete</i> Standard option. Only Integer tap positions are considered.</p>
Controlled node	<p>HV Tap controls the HV-side.</p> <p>LV Tap controls the LV-side</p> <p>EXT <i>Slave</i> mode. The tap changer just follows the tap position of the selected <i>Master</i>-transformer.</p>
Setpoint	<p>Only for V control mode:</p> <p><i>local</i> the voltage setpoint and voltage range settings (max./min. voltage) must be enter in the transformer dialog</p> <p><i>bus target voltage</i> the voltage setpoint and voltage range settings (max./min. voltage) are taken from the controlled <i>busbar</i> (topological search)</p>
Control mode	<p>V Voltage control. For unbalanced load flow analysis, the controlled phase needs to be defined additionally.</p> <p>Q Reactive power control (see also Figure 1.10)</p> <p>P Active power control (only applicable to phase shifters, see also Figure 1.10)</p>

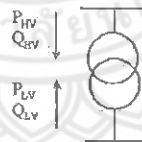


Figure 1.10: Orientation of Power values counted positive



1 General Description



Table 1.4: Additional data for tap changer control

Parameter	Description
Set Point	V-/Q-/P- reference (depending on selected control mode)
Lower/Upper bound	Lower and upper boundary of the controlled variable. In case of discrete tap changers, the tap control can drive the controlled variable just into a permitted band. In case of continuous tap changers the tap controller can ideally regulate to the reference point.
Remote Control	Allows for the selection of a bus bar different from the transformer terminals (V-control). In case of P- or Q-control the flow through any cubicle can be controlled.

Voltage control includes optional line drop compensation. This function controls the voltage at a remote busbar without measuring the voltage at that bus-bar. Instead, the actual value is estimated by measuring the voltage at the HV or LV side of the transformer and simulating the voltage drop across the line.

The principle of the line drop compensation is shown in Figure 1.11, the corresponding parameters are explained in Table 1.5.

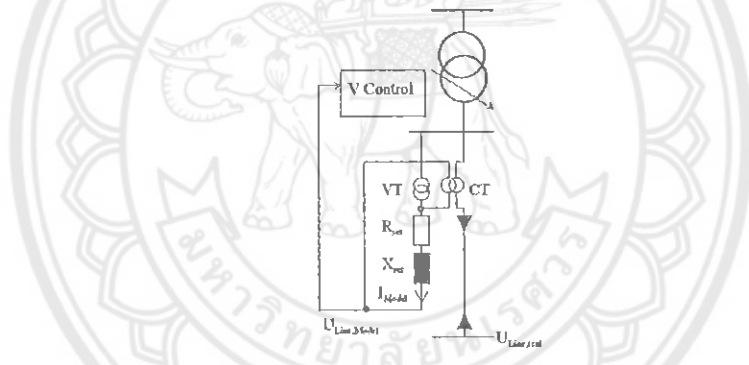


Figure 1.11: Principle of line drop compensation

Table 1.5: Line drop compensation (for voltage control)

Parameter	Description	Unit
Current transformer rating	Primary CT-current-rating.	A
Voltage transformer ratio	Ratio of the voltage transformer	-
RSet, XSet	LDC-impedance, defined as voltage drop at rated current. It corresponds to the LDC-impedance in Ohm times the secondary CT current rating.	V

ภาคผนวก ซ  
รายละเอียดหลักการควบคุมการเปลี่ยนแท็บชุดตัวเก็บประจุกำลังอัตโนมัติ  
ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory





## 1 Shunt Tap Adjustment

### 1.1 Common Tap Adjustment

The automatic tap adjustment is using the following internal logic.

#### 1.1.1 Voltage Control

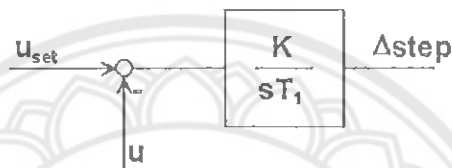


Figure 1.1: Voltage Control

$u_{set}$ : voltage set point in p.u.

$u$ : measured voltage in p.u.

$T1$ : time constant

$T_{ctrl}$ : controller Time Constant

$K$ : controller Factor

$K_{ctrl}$ : Sensitivity dq/dv in p.u./%

$ncapx$ : Max. no of steps

$orientation$ : step orientation (+1 for capacitive shunts, -1 for inductive shunts)

$\Delta step$ : step changes

$$T1 = T_{ctrl} / (T_{minctrl} \times krelax)$$

$$K = 100\% \times ncapx \times K_{ctrl} \times orientation$$

$T_{minctrl}$ : is the fastest controller time constant of all automatic adjusted tap-changer and shunts  
 $krelax$ : is the min. controller relaxation factor parameter in the load-flow command ('Advanced Options' page)

$u_{set}$ : is calculated from the upper and lower voltage limits according to following equation:

$$u_{set} = \frac{u_{set}(upper) + u_{set}(lower)}{2}$$



## 3-36 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

ข้อ 15 หน่วยงานที่ขึ้นกับราชการสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร นอกเหนือจากหน้าที่ของตัวอาคาร หรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น ให้คำนวณโดยประมาณเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าอัตรา ดังต่อไปนี้

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุกจรเป็น กิโลกรัมต่อตารางเมตร
(1) หลังคา	30
(2) กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
(3) ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
(4) ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและห้องคนใช้พิเศษของโรงพยาบาล	200
(5) สำนักงาน ธนาคาร	250
(6) (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงานและธนาคาร	300
(7) (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ กัฏาคาร ห้องประชุม ห้องเช่าหนังสือห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์หนึ่ง หรือรถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคาร พาณิชยกรรม มหาวิทยาลัยและโรงเรียน	400
(8) (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ กัฏาคาร ห้องสมุดและหอสมุด	500
(9) ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
(10) ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

กฎหมายอาคาร

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายธนกร ทรงดำรงกุล  
ภูมิลำเนา 247 หมู่ที่ 6 ตำบลม่วงยาย อำเภอเวียงแก่น  
จังหวัดเชียงราย 57310

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเชียงใหม่มัธยม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 8  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [thanakorns51@email.nu.ac.th](mailto:thanakorns51@email.nu.ac.th)

