

การศึกษาผลกระทบจากระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่ออุปกรณ์ป้องกัน  
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

STUDY OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEMS DUE TO  
IMPACTS OF DISTRIBUTED GENERATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2557  
KMITL-2014-EN-M-020-172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PROTECTIVE DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEMS DUE TO  
IMPACTS OF DISTRIBUTED GENERATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2014  
KMITL-2014-EN-M-020-172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบจากระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่ออุปกรณ์ป้องกัน  
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า  
Thesis Title Studies of Protective Devices in Distribution Systems Due to Impacts of  
Distributed Generation  
นักศึกษา นายสุจริต เมืองเจริญ  
รหัสประจำตัว 54610602  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อรรถพล เเงาพิทักษ์กุล  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-020-172

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	
รศ.ดร.อานันท์วัฒน์	คุณากร	
รศ.ศุภี	บรรจงจิตร	
รศ.ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล	
ผศ.ดร.อรรถพล	เเงาพิทักษ์กุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ณ วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบจากระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่ออุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
นักศึกษา	นายสุจริต เมืองเจริญ
รหัสประจำตัว	54610602
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอผลกระทบจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่ออุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ดัดแปลงจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในพื้นที่อำเภอโคกสำโรง จ.ลพบุรี ซึ่งมีพิวส์แรงสูงติดตั้งในระบบจำหน่ายจำนวน 31 จุด และรีโคลสเซอร์ จำนวน 1 จุด ในการทดลองใช้โปรแกรม DIGSILENT Power factory ในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร และระยะเวลาการทำงานของรีเลย์ที่สถานีไฟฟ้า รีโคลสเซอร์และพิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยทดลองย้ายตำแหน่งการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามมาตรฐานการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวน 5 จุด ประกอบด้วย 1.ในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์ 2.ในไลน์เมนใกล้กับสถานีไฟฟ้า 3.ในไลน์เมนบริเวณที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ 4.ในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์ และ 5.ในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์ และจำลองการเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทั้งแบบ 3 เฟส และแบบ 1 เฟส ลงกราวด์รวมจำนวน 31 ตำแหน่ง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 8 MW จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคิดเป็น 18.54 % ของกระแสลัดวงจรขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีกำลังการผลิตมากกว่า 3 MW และติดตั้งหลังรีโคลสเซอร์ ผลกระทบดังกล่าวจะส่งผลต่อโอกาสการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 20 ราย แต่หากเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ กระแสลัดวงจรและลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลง

<b>Thesis</b>	Studies of Protective Devices in Distribution Systems Due to Impacts of Distributed Generation
<b>Student</b>	Mr.Sujarit Maungcharoen
<b>Student ID.</b>	54610602
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2014
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

## ABSTRACT

This thesis proposes effect of distribution generator (Solar farm) on protective device. The data was simulated from distribution system in Khok Samrong province Lopburi. DiGSILENT power factory is use to calculate shortcircuit current and operating time of overcurrent relay, recloser and high voltage fuse. In examination distributed generation was connected in distribution system 5 position. The result show that when distribution generator was connected with distribution before recloser, 3 phase short circuit current in distribution system increase but don't effect on protective device co-ordination but when distribution generator capacity over 3 MW was connected in distribution system after recloser 3 phase short circuit current in distribution system increase and protective device co-ordination mis-operate.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ จากการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาแนะนำและเสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ทำนุผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ และข้อมูลต่าง ๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้

สุจริต เมืองเจริญ



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	4
2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.1 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งอิสระ.....	5
2.1.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย.....	5
2.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน.....	6
2.1.4 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.2 อินเวอร์เตอร์.....	10
2.2.1 วงจรต่างๆ ในภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์.....	10
2.2.2 ลักษณะและหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	11
2.2.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดผสมผสาน (Hybrid Inverter).....	12
2.2.4 การบันทึกข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	12
2.3 แบตเตอรี่.....	12
2.3.1 การทำปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแบตเตอรี่.....	13
2.3.2 การคายประจุหรือการจ่ายกระแสไฟฟ้า.....	13
2.3.3 การอัดประจุไฟฟ้า.....	13
2.3.4 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ.....	14
2.3.5 เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	16
บทที่ 3 ระบบไฟฟ้าและการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าผิดพ่วง.....	19
3.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	19
3.2 อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	22

## สารบัญ

	หน้า
3.3 การคำนวณกระแสผิดพลาด.....	23
3.4 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC609090.....	24
3.4.1 แหล่งกำเนิดแรงดันสมมูล.....	24
3.4.2 อิมพีแดนซ์ลัดวงจร (Short Circuit Impedance) .....	25
3.4.3 ขั้นตอนการพิจารณาคำนวณกระแสลัดวงจร.....	28
3.4.4 การคำนวณกระแสลัดวงจรกรณีกระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุด.....	28
3.4.5 การคำนวณกระแสลัดวงจรประเภทโกล และใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	30
3.4.6 รูปแบบของการเกิดลัดวงจร.....	32
3.4.7 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจร.....	33
3.5 การออกแบบระบบป้องกัน .....	41
3.5.1 การจัดลำดับความสัมพันธ์โดยใช้กระแส.....	43
3.5.2 การจัดความสัมพันธ์โดยใช้เวลา .....	43
3.5.3 การจัดความสัมพันธ์โดยใช้ทั้งกระแสและเวลา.....	43
3.6 คุณสมบัติของระบบป้องกัน.....	43
3.7 การแบ่งส่วนของระบบป้องกัน.....	44
3.8 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง .....	44
3.8.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breaker) .....	44
3.8.2 ฟิวส์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Fuses) .....	46
บทที่ 4 การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า .....	48
4.1 อุปกรณ์ป้องกันในสถานีไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง .....	48
4.1.1 รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay).....	48
4.1.2 รีเลย์แรงดัน (Voltage Relay).....	49
4.1.3 ฟิวส์แรงสูง.....	49
4.2 ข้อกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย 22 เควี. ของ กฟภ. ....	50
4.6.1 รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay).....	50
4.6.2 รีโคลสเซอร์ (Recloser).....	50
4.6.3 ฟิวส์แรงสูง.....	51
บทที่ 5 การทดสอบและวิเคราะห์ผล .....	52
5.1 ระบบทดสอบ .....	51
5.2 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์.....	57

## สารบัญ

	หน้า
5.2.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	57
5.2.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	58
5.2.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	61
5.2.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	73
5.3 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน ใกล้สถานีไฟฟ้า.....	74
5.3.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	74
5.3.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	77
5.3.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	79
5.3.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	91
5.4 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ ใกล้กับรีโวลูเตอร์.....	94
5.4.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	94
5.4.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	95
5.4.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	98
5.4.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	110
5.5 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยก หลังรีโวลูเตอร์.....	111
5.5.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	111
5.5.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	114
5.5.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	116
5.5.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	128
5.6 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หลังรีโวลูเตอร์.....	129

## สารบัญ

	หน้า
5.6.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	129
5.6.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	132
5.6.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	135
5.6.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจร ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	146
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	148
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	148
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	149
เอกสารอ้างอิง.....	150
ประวัติผู้เขียน.....	152



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การกระจายที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีไอทีกับค่าเอสไอซี	15
3.1 ค่าตัวประกอบแรงดันไฟฟ้า ( $c$ ) ของระบบไฟฟ้า	25
3.2 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรสามเฟสสมดุลเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	33
3.3 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรสามเฟสสมดุลเป็นผลจากเครื่องจักรกลหมุน (มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)	34
3.4 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดินเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	39
3.5 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรระหว่างเฟสลงดิน	40
3.6 ข้อมูลกระแสลัดวงจรเพื่อการเลือกค่าฟักัดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง	46
3.7 ข้อมูลกระแสลัดวงจรเพื่อการเลือกค่าฟักัดเซอร์กิตแรงดันปานกลาง	47
3.8 สรุปข้อมูลกระแสลัดวงจรเพื่อใช้พิจารณาค่าฟักัดอุปกรณ์ป้องกัน	47
5.1 พารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทดสอบ	52
5.2 พารามิเตอร์ของ External grid ที่สถานีไฟฟ้าของระบบทดสอบ	52
5.3 ปริมาณโหลดของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบทดสอบ	52
5.4 ระยะห่างของอุปกรณ์ป้องกันจากสถานีไฟฟ้า	54
5.5 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์	57
5.6 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์	59
5.7 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์	60
5.8 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 0 MW	61
5.9 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 1 MW	63
5.10 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.11 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 3 MW.....	65
5.12 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 4 MW.....	66
5.13 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 5 MW.....	68
5.14 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 6 MW.....	69
5.15 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 7 MW.....	70
5.16 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 8 MW.....	71
5.17 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์.....	73
5.18 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสถานะจ่ายโหลดปกติเมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า.....	76
5.19 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า.....	77
5.20 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า.....	78
5.21 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี กำลังการผลิต 0 MW.....	80
5.22 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและ มีกำลังการผลิต 1 MW.....	82

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.23 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี มีกำลังการผลิต 2 MW .....	82
5.24 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี กำลังการผลิต 3 MW .....	83
5.25 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี กำลังการผลิต 4 MW .....	85
5.26 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี กำลังการผลิต 5 MW .....	86
5.27 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี มีกำลังการผลิต 6 MW .....	87
5.28 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี มีกำลังการผลิต 7 MW .....	88
5.29 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้าและมี มีกำลังการผลิต 8 MW .....	90
5.30 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลมกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน ใกล้สถานีไฟฟ้า .....	91
5.31 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์ .....	94
5.32 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์ .....	96
5.33 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์ .....	97
5.34 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 0 MW .....	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.35 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 1 MW.....	100
5.36 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 2 MW .....	101
5.37 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 3 MW.....	102
5.38 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 4 MW.....	103
5.39 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 5 MW.....	105
5.40 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 6 MW.....	106
5.41 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 7 MW.....	107
5.42 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 8 MW.....	108
5.43 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน ใกล้รีโคลสเซอร์.....	110
5.44 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์.....	113
5.45 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์.....	114
5.46 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์.....	115

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.47 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 0 MW.....	117
5.48 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 1 MW.....	118
5.49 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 2 MW.....	119
5.50 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 3 MW.....	120
5.51 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 4 MW.....	122
5.52 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมี กำลังการผลิต 5 MW.....	123
5.53 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 6 MW.....	124
5.54 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 7 MW.....	125
5.55 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และ มีกำลังการผลิต 8 MW.....	127
5.56 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์.....	128
5.57 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสถานะจ่ายโหลดปกติเมื่อ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์.....	131
5.58 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อ	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์.....	132
5.59 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์.....	133
5.60 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 0 MW.....	135
5.61 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 1 MW.....	136
5.62 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW.....	137
5.63 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 3 MW.....	139
5.64 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 4 MW.....	140
5.65 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 5 MW.....	141
5.66 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 6 MW.....	142
5.67 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 7 MW.....	144
5.68 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 8 MW.....	145
5.69 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์.....	146

## สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย ปี 2556.....	4
2.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งอิสระ.....	6
2.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย.....	6
2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน.....	6
2.5 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน.....	7
2.6 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน.....	7
2.7 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร.....	9
2.8 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	9
2.9 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	9
2.10 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I - V Curve).....	10
2.11 ไดอะแกรมวงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์.....	11
2.12 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดผสมผสาน.....	12
2.13 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม.....	17
2.14 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบขั้นที่.....	17
2.15 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด.....	18
3.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network).....	20
3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network).....	21
3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network).....	22
3.4 วงจรไฟฟ้าสมมูลของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า.....	24
3.5 วงจรไฟฟ้าสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัส.....	26
3.6 แผนผังการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909.....	29
3.7 รูปคลื่นของกระแสลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	30
3.8 รูปคลื่นกระแสลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	31
3.9 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส.....	32
3.10 การเกิดลัดวงจรประเภทต่าง ๆ.....	33
3.11 กราฟแสดงค่า $\mu$ ต่อค่าอัตราส่วน $I_{kG}'' / I_{rG}$ หรือ $I_{kM}'' / I_{rM}$ .....	35
3.12 กราฟแสดงค่า $q$ ต่อกำลังจริงของมอเตอร์หนึ่งขั้ว.....	36
3.13 กราฟแสดงค่า $\lambda_{max}$ และ $\lambda_{min}$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใบพัด (Turbine Generator) ซึ่งมีค่าแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุด ได้เท่ากับ 1.3 เท่าของค่าพิกัดที่โหลดพิกัดและที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) พิกัด.....	36

# สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
3.14 กราฟแสดงค่า $\lambda_{\max}$ และ $\lambda_{\min}$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใบพัด (Turbine Generator) ซึ่งมีค่าแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 1.3 เท่าของค่าพิกัดที่โหลดพิกัดและที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) พิกัด.....	37
3.15 กราฟแสดงค่า $\lambda_{\max}$ และ $\lambda_{\min}$ ของเครื่องจักรกลแบบขั้วยื่น (Salient Pole) ซึ่งมีแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 1.6 เท่าของพิกัด.....	38
3.16 กราฟแสดงค่า $\lambda_{\max}$ และ $\lambda_{\min}$ ของเครื่องจักรกลแบบขั้วยื่น (Salient Pole) ซึ่งมีแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 2.0 เท่าของพิกัด.....	38
3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสลัดวงจรสูงสุดกับค่าองค์ประกอบลำดับต่าง ๆ.....	40
3.18 อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายแบบเบเรเดียล.....	42
4.1 วันไลน์ไดอะแกรมของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่าย 22 เควี. ที่สถานีไฟฟ้า.....	48
4.2 คุณลักษณะการทำงานของฟิวส์แบบ K.....	50
4.3 คุณลักษณะการทำงานของรีโคลสเซอร์.....	51
4.4 คุณลักษณะการทำงานของรีเลย์.....	51
5.1 ระบบทดสอบที่นำมาใช้เพื่อทำการศึกษา.....	55
5.2 ระบบทดสอบเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์.....	56
5.3 ระบบทดสอบเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้สถานีไฟฟ้า.....	75
5.4 ระบบทดสอบขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าใกล้รีโคลสเซอร์.....	93
5.5 ระบบทดสอบเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังรีโคลสเซอร์ในไลน์แยก.....	112
5.6 ระบบทดสอบขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์.....	131

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวางแผนเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอ แต่จากปัญหาโลกร้อน, ปัญหาสิ่งแวดล้อม ประกอบกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาแพง จึงมีการส่งเสริมให้ใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generator: DG) โดยการนำพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติ เมื่อใช้หมดไปแล้วสามารถผลิตทดแทนใหม่ได้ มาเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล [1] ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดปัญหาโลกร้อน ช่วยส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการกระจายโอกาสไปยังพื้นที่ห่างไกลให้มีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า และยังเป็นการแบ่งเบาภาระทางด้านการลงทุนของรัฐในระบบการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลกระทบที่มีต่อการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับระบบไฟฟ้าในหลาย ๆ หัวข้อ เช่น การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยการศึกษาผลกระทบที่มีต่อกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า โดยจะพิจารณาเฉพาะลำดับการทำงานระหว่างรีโคลลเซอร์กับฟิวส์แรงสูง [2-6], การพิจารณาขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสม ที่ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า [7-10], หรือการพิจารณาดำเนินการและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสมด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เพื่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด [11]

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบไฟฟ้า และการทำงานของระบบป้องกันที่ติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้ว เนื่องจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามีผลทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ระดับกระแสลัดวงจร รวมถึงทิศทางกระแสของกำลังไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 1547-2008 ได้กำหนดให้ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะต้องปลดวงจรออกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสภาพการมีไฟฟ้าใช้เพียงบางส่วนจากระบบไฟฟ้า (Islanding) เนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามักเป็นสิ่งที่ไม่อาจควบคุมได้ เช่น การลัดวงจรเนื่องจากมีกิ่งไม้พาดสายไฟฟ้า, สัตว์ต่าง ๆ เช่น งู กระรอก รวมทั้งการเกิดอุบัติเหตุรถยนต์ชนเสาไฟฟ้า เป็นต้น

ในทางปฏิบัติการเชื่อมโยงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนดตำแหน่งที่จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยมักจะถูกอยู่ใกล้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก ทำให้ยากต่อการควบคุมผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า [12] จากสาเหตุดังกล่าวอาจส่งผลทำให้อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าทำงานผิดพลาด เนื่องจากเมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า ค่าบัสอิมพีแดนซ์ของระบบจะเปลี่ยนไป เสถียรภาพและคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งผลกระทบเหล่านี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยเช่น ตำแหน่งของกลุ่มโหลด ตำแหน่งที่เชื่อมโยงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย, ชนิดและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

จากผลกระทบของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่กล่าวไปข้างต้น จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้บริโภค (Customer oriented Index) รวมทั้งเกิดความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าอันเนื่องมาจากเหตุการณ์ขัดข้อง และจากหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมาจะกล่าวถึงการศึกษา หรือการแก้ไขปัญหาเฉพาะหัวข้อ เช่น แก้ปัญหาการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกัน เนื่องจากกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายโดยการใช้ Current Limiter หรือ ปรับปรุงค่าการทำงาน ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ หรือการแก้ปัญหาค่าความสูญเสียในระบบไฟฟ้า ด้วยการลดขนาดกำลังผลิต หรือย้ายตำแหน่งที่เชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย เป็นต้น

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีผลต่อการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay), รีโคลสเซอร์ และ ฟิวส์แรงสูง เพื่อหาแนวทางการแก้ไขสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคตโดยใช้ระบบทดสอบที่ดัดแปลงมาจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีผลกระทบต่อลำดับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay), รีโคลสเซอร์ และฟิวส์แรงสูง เมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2.2 หาแนวทางการแก้ปัญหาอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทำงานไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีการควบคุมแบบประกอบกำลัง (Power Factor Control) โดยมีค่าเท่ากับหนึ่ง

1.3.2 ในการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจะพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรสูงสุดคือ 40 โอห์ม เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ และจะพิจารณาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีกระแสลัดวงจรที่ต่ำสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

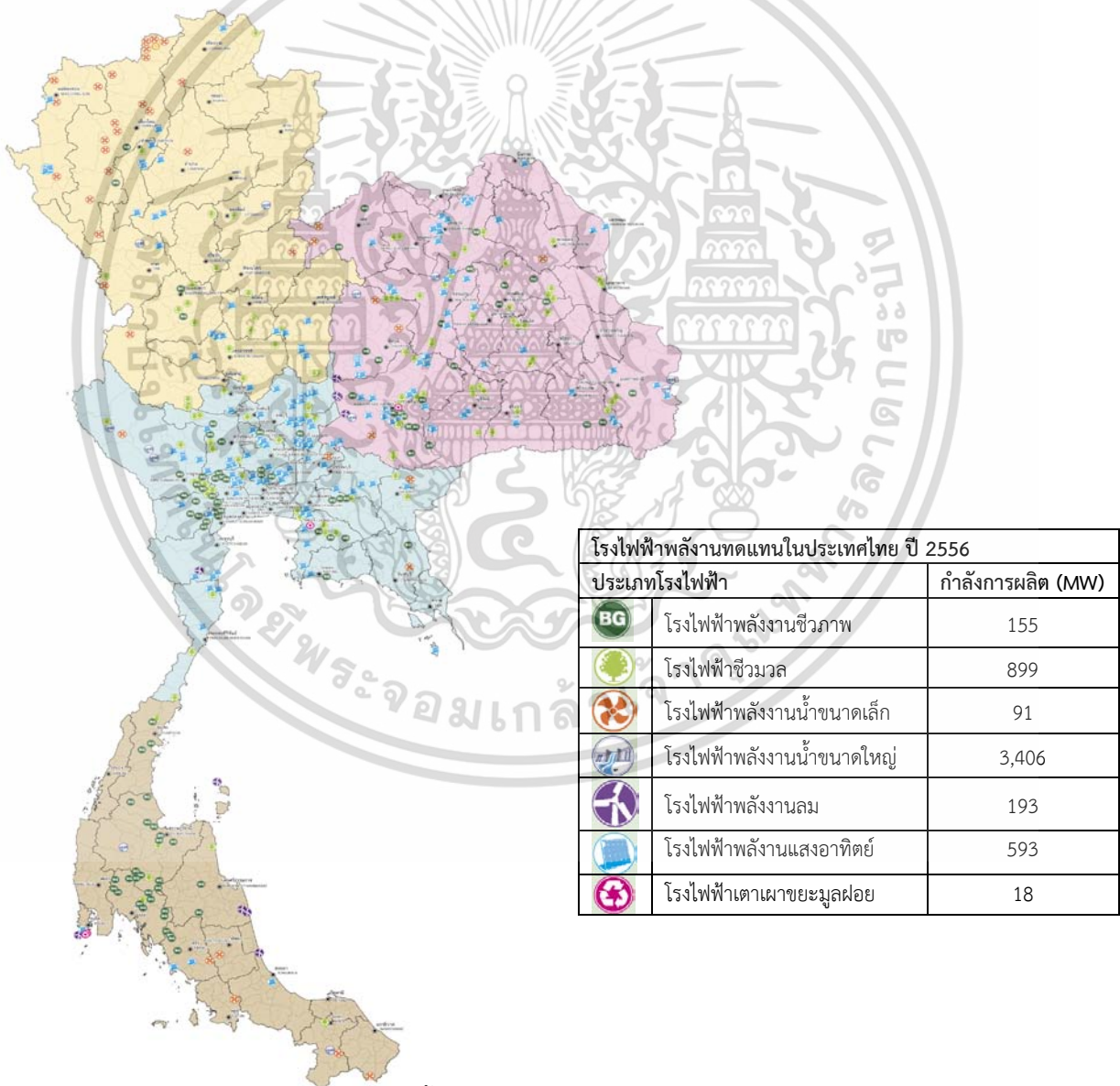
1.3.3 หม้อแปลงไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้ามี  
 เวกเตอร์รูปแบบ DYn0

## 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อจัดทำระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยม  
 ติดตั้งในประเทศไทย
- 1.4.3 รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น และสรุปสาเหตุของปัญหาที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดพลาด
- 1.4.4 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม DiGSILENT Power factory สำหรับการศึกษาค้นคว้าทางด้าน  
 อุปกรณ์ป้องกัน
- 1.4.5 สร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง เพื่อทำการศึกษามลกระทบที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
 แบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.4.6 ศึกษามูลค่าความเสียหายสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับเครื่อง  
 กำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลังการผลิตต่าง ๆ กัน
- 1.4.6 หาแนวทางแก้ไข และปรับปรุงให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น
- 1.4.7 สรุปผลการศึกษา

## การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มากเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในบทนี้จะขอล่าถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์ประเทศไทย [13]



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย ปี 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ทั่วไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการให้พื้นที่ใดได้รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดต่อวัน ก็จะต้องปรับพื้นที่รับแสงนั้นๆ ตามการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตกเสมอ นอกจากนี้ จากการศึกษาที่โลกเอียง ทำให้ซีกโลกเหนือหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน และเอียงซีกโลกใต้หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว ดังนั้นจึงต้องปรับมุมพื้นที่รับแสงนั้นๆ ในแนวเหนือใต้ (มุมก้มและมุมเงย) ให้สอดคล้องตามฤดูกาลด้วย เพื่อให้พื้นที่นั้นๆ รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดตลอดปี สำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 593 MW สามารถแบ่งตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกระจายที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ที่	ภูมิภาค	จำนวนโรงไฟฟ้า (โรง)	กำลังผลิตรวม (MW)
1	ภาคเหนือ	27	60
2	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	60	228.5
3	ภาคกลาง	84	305
4	ภาคใต้	4	0.1

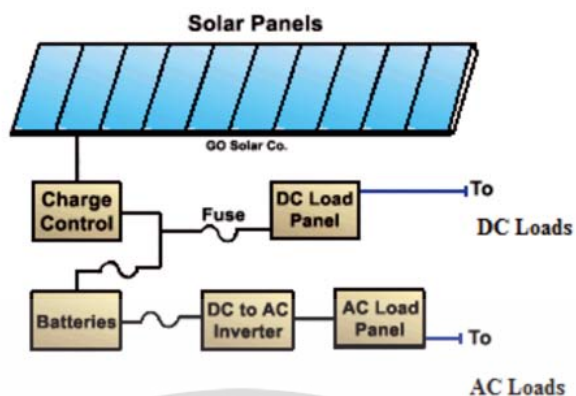
## 2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.1 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งอิสระ (Stand-alone Solar System)

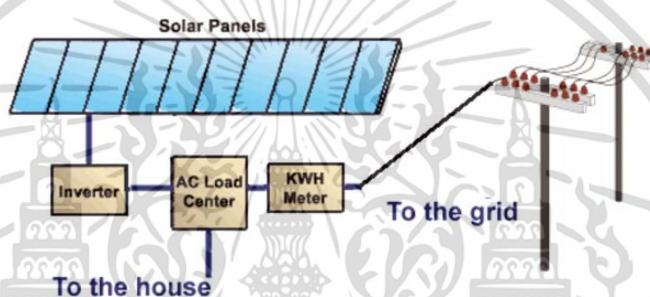
ออกแบบให้สามารถนำไปใช้งานแบบติดตั้งอิสระ เหมาะสำหรับทุกพื้นที่ซึ่งระบบสายส่งของการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง โดยมีเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เก็บไว้ใน แบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้งานกับเครื่องใช้ ไฟฟ้าที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้

### 2.1.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย (Grid connected Solar System)

ออกแบบเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับสายส่ง (Grid connected Inverter) จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำการขายคืนกระแสไฟฟ้าที่เกินความต้องการให้กับการไฟฟ้า โดยต้องทำสัญญาการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าได้



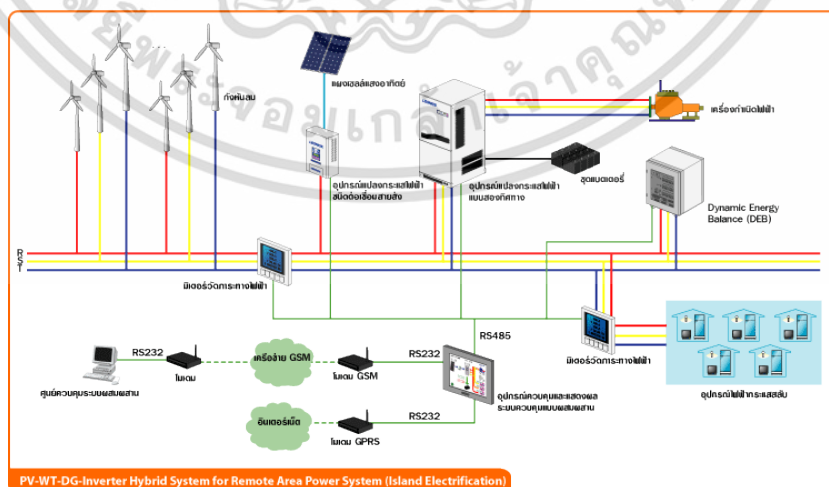
ภาพที่ 2.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งอิสระ



ภาพที่ 2.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย

### 2.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (PV-WT-DG-Inverter Hybrid System)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น



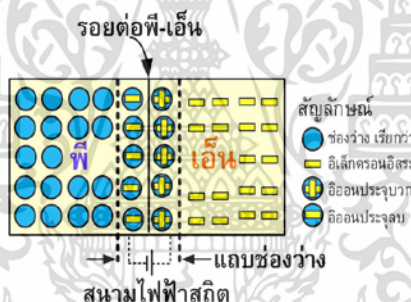
ภาพที่ 2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

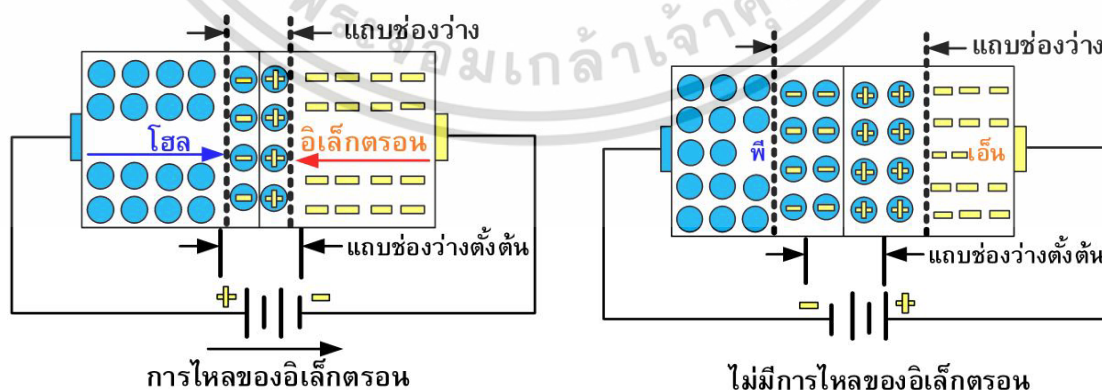
### 2.1.4 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทำจากสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นชั้นบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นชั้นลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย โดยส่วนใหญ่จะใช้การอธิบายสารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอน แม้ว่าปัจจุบันจะมีสารกึ่งตัวนำที่ทำจากวัสดุชนิดอื่นก็ตาม

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนใช้สารเจือปน คือโบรอน เพื่อทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ ทำให้ส่วนนี้เทียบได้กับอนุภาคประจุบวก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นผ่านการเติมสารเจือปน คือฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซึ่งจุดเชื่อมต่อเรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน



ภาพที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังบริเวณผลึกชนิดอื่นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ดังในภาพที่ 2.6 เมื่อต่อเข้ากับวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตลอดวงจร การเคลื่อนที่ไปยังวงจรมานอกของอิเล็กตรอนในกรณีของสารกึ่งตัวนำโดยผ่านวัสดุตัวนำที่ติดอยู่กับผิวด้านหน้าของเซลล์ในเวลาเดียวกันโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามผ่านเนื้อเซลล์จนถึงวัสดุตัวนำอีกส่วนหนึ่งที่ยึดติดอยู่กับด้านล่างของเซลล์ ทำให้ครบวงจรโดยร่วมกับอิเล็กตรอนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของวงจรมานอก แต่ในทางตรงข้าม การไหลของอิเล็กตรอนไม่เกิดขึ้นหากไม่สามารถทำให้ครบวงจร

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องอาศัยทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยที่กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลของอิเล็กตรอน และแรงดันไฟฟ้าเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อพี-เอ็น โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวจะออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ ที่กระแสไฟฟ้าประมาณ 2.5 แอมแปร์ ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1.25 วัตต์

#### 2.1.4.1 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสง ไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และความต้านทานและต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรมตามลำดับ

#### 2.1.4.2 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

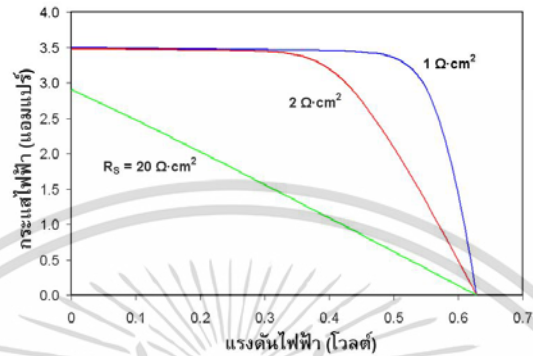
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความต้านทาน Shunt และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ สภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก ดังภาพที่ 2.7 ทั้งนี้ กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีต่อค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมากๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ IV-curve เป็นเส้นตรงดังภาพที่ 2.8 ค่าความต้านทาน Shunt ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.9 และค่าฟิลต์แฟกเตอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม

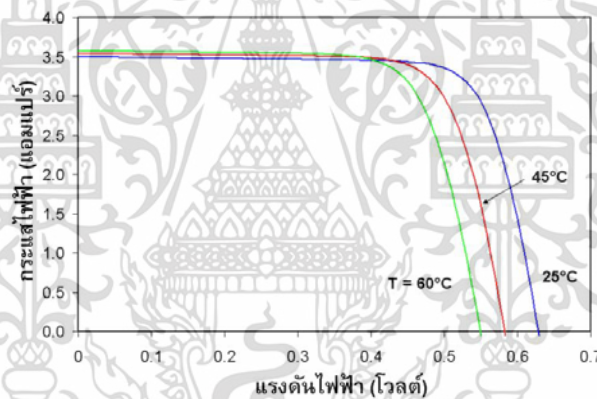
#### 2.1.4.3 สมบัติของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์ ภาพที่ 2.10 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรลัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรลัด (Short circuit current:  $I_{SC}$ ) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit voltage:  $V_{OC}$ ) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

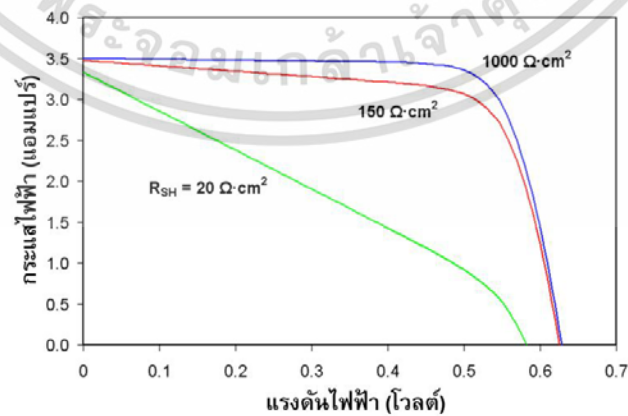
เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point: PMP) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: IMP) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point: VMP) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.7 ผลของอนุกรมต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร

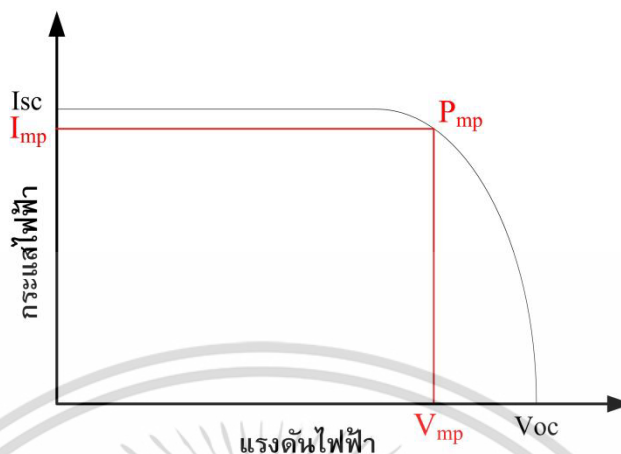


ภาพที่ 2.8 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน



ภาพที่ 2.9 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I - V Curve)

## 2.2 อินเวอร์เตอร์

ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์และ กังหันลม ฯลฯ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.2.1 วงจรต่างๆ ในภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์

วงจรของพีวีอินเวอร์เตอร์ต่างๆ สามารถแบ่งโดยอาศัยวิธีพิจารณาได้หลายวิธีเช่นมีการแยกโดดหรือไม่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Isolated or non-isolated) มีหรือไม่มีการคลี่ (Unfolding stage) และการใช้หลักการมอดูเลตด้วยความกว้างของพัลส์ (PWM) หรือใช้หลักการเรโซแนนซ์ อย่างไรก็ตามถ้ามีการเชื่อมต่อบริเวณจ่ายความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นวงจรต่างๆที่จะนำมาเป็นภาคกำลังของพีวีอินเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามการมีการแยกโดดและไม่มีการแยกโดด

#### 2.2.1.1 วงจรที่ไม่มีการแยกโดด

วงจรที่ไม่มีการแยกโดดหมายถึง การมีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างเมนส์และแผงเซลล์ซึ่งการแยกโดดจะต้องอาศัยการต่อผ่านหม้อแปลง ในแง่ความปลอดภัยทางไฟฟ้าวงจรที่ไม่มีการแยกโดดมีความปลอดภัยต่ำ ส่วนข้อดีคือการที่ไม่มีหม้อแปลง จะทำให้อินเวอร์เตอร์มีขนาดเล็ก และราคาถูก วงจรไม่แยกโดดมีดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แรงดันด้านเข้าสองขั้ว
2. อินเวอร์เตอร์ที่ใช้การสังเคราะห์ทางดิจิทัล
3. วงจรบริดจ์ที่อาศัยหลักการมอดูเลตความกว้างของพัลส์
4. วงจรที่มีพื้นฐานจากวงจรทอนระดับ
5. อินเวอร์เตอร์ที่ดัดแปลงมาจากวงจรแปลงผันแบบ Zeta สองวงจร

### 2.2.1.2 วงจรที่มีการแยกโดด

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการแยกโดดจะกั้นทางไฟฟ้าระหว่างเมนส์และแผงเซลล์ ทำให้มีความปลอดภัยทางไฟฟ้าสูงขึ้น โดยทั่วไปการแยกโดดโดยการใช้หม้อแปลงวงจรประเภทนี้หลายวงจร หม้อแปลงแยกโดดทำหน้าที่แปลงแรงดันขึ้นด้วย วงจรแยกโดดมีดังนี้

1. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบ Push-pull
2. วงจรที่ดัดแปลงมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค (Fly back converter)
3. วงจรที่มีพื้นฐานจากคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด (Forward converter)
4. วงจรที่มีพื้นฐานบนคอนเวอร์เตอร์แบบทอนสองวงจร (Topology based on double buck converter)
5. อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรแบบกึ่งบริดจ์ (Topology based on a half bridge circuit)
6. อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรแบบบริดจ์เต็ม (Topology based on a full bridge circuit)
7. อินเวอร์เตอร์มีวงจรถูกำหนดอนุกรมสองวงจร (Topology based on dual series resonant converter)

### 2.2.2 ลักษณะและหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array) ระบบจำหน่าย (Grid) และภาระทางไฟฟ้า (AC load) โดยรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความถี่และแรงดันเดียวกับระบบจำหน่าย โดยสัญลักษณ์ในไดอะแกรมวงจรสมมูลดังภาพที่ 2.11

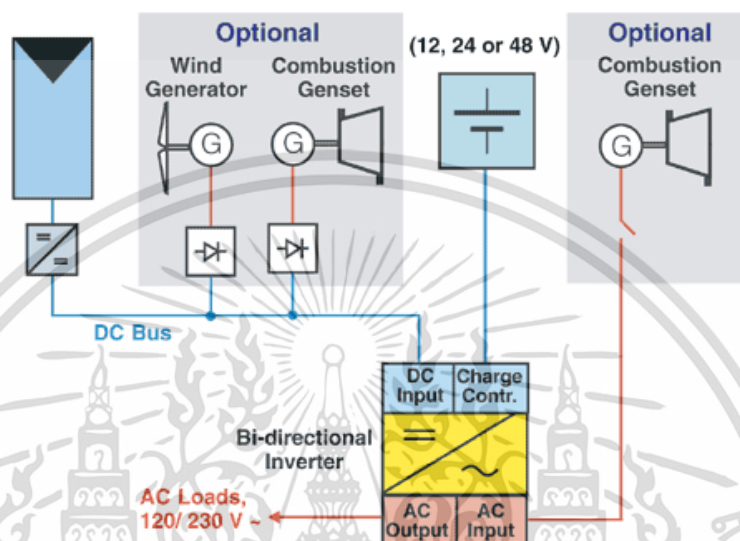


ภาพที่ 2.11 ไดอะแกรมวงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์

การเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายสามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายหลักโดยตรงหรือระบบจำหน่ายของอาคารมีความแตกต่างคือ การเชื่อมต่อโดยตรงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายโดยตรง แต่หากเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของอาคาร กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้กับภาระของอาคารก่อน ส่วนที่เหลือเกินจึงจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายหลัก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้สามารถใช้ได้กับทั้งระบบ 1 เฟสและ 3 เฟส เพื่อให้ป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้สูงสุดเสมอ อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จึงต้องทำงานที่จุดกำลังสูงสุด (MPP) ของพีวีอะเรย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ ดังนั้นตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด (MPP Tracker) ภายในอินเวอร์เตอร์จึงต้องปรับจุดกำลังสูงสุดให้เหมาะสมกับค่าแรงดันและกระแสของพีวีอะเรย์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่เป็น MPP Tracker จึงมีความจำเป็นต่ออินเวอร์เตอร์

### 2.2.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดผสมผสาน (Hybrid Inverter)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



ภาพที่ 2.12 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดผสมผสาน

### 2.2.4 การบันทึกข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์เกือบทุกรายจะผลิตอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีฟังก์ชันบันทึกข้อมูลภายในตัวเครื่องโดยตรงหรืออาจเป็นส่วนเพิ่มของอุปกรณ์ ข้อมูลเหล่านี้สามารถอ่านและแสดงผลบนหน้าจอของเครื่องหรือส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถติดตามและประเมินการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้ ข้อมูลทั่วไปซึ่งจะถูกบันทึกคือ

- 1 ด้านอินพุต ได้แก่ แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า
- 2 ด้านเอาต์พุต ได้แก่ แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า
- 3 เวลาในการทำงานของอินเวอร์เตอร์
- 4 ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้
- 5 สถานะของอินเวอร์เตอร์และความผิดปกติที่เกิดขึ้น

โดยข้อมูลเหล่านี้อาจถูกระบุเป็นรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือนและรายปี

### 2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อให้การจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่อง มีความแตกต่างจากแบตเตอรี่สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งได้รับการออกแบบให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนการแบ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือแบบปฐมภูมิ

(Primary Battery) และแบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) โดยแบตเตอรี่ปฐมภูมิ หมายถึง แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วจะต้องทิ้งไป เนื่องจากไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือแบตเตอรี่ที่สามารถทำการเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีกครั้งหรือกล่าวคือสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว-กรด นิเกิล-แคดเมียม นิเกิล-เหล็ก นิเกิล-ไฮไดรด์และลิเทียมแบตเตอรี่ เป็นต้น

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ เป็นต้น สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-เหล็กไม่นำมาใช้ เนื่องจากมีการคายประจุโดยตัวเองมีค่าสูง ส่วนแบตเตอรี่นิเกิล-ไฮไดรด์ราคาค่อนข้างสูงเมื่อคิดราคาต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อย่างไรก็ตามค่าความจุของแบตเตอรี่นี้มีช่วงให้เลือกใช้งานได้ระดับหลายร้อยจนถึงพันแอมแปร์-ชั่วโมง และต้องการระบบป้องกันในวงจรการประจุจึงเหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

### 2.3.1 การทำปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแบตเตอรี่

ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่เป็นการรับและให้อิเล็กตรอน หรือเรียกว่า “ปฏิกิริยารีดอกซ์” ซึ่งการเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้มีสภาพขาดแคลนอิเล็กตรอน แต่การรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ ทำให้มีสภาพอุดมด้วยอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) กับแผ่นธาตุบวก (เป็นตะกั่วไดออกไซด์) และแผ่นธาตุลบ (เป็นตะกั่วพูน) และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ การคายประจุ และการอัดประจุ

### 2.3.2 การคายประจุหรือการจ่ายกระแสไฟฟ้า

แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อขั้วบวกและขั้วลบต่อกับวงจรภายนอก (อุปกรณ์ไฟฟ้า) โดยที่ออกซิเจนจากแผ่นธาตุบวกจะรวมตัวกับไฮโดรเจนในกรดกำมะถันเกิดเป็นน้ำ ขณะเดียวกันจะเกิดสารประกอบเรียกว่า ตะกั่วซัลเฟตหรือซีเกล็ด (คราบหรือผลึกสีขาว) เช่นเดียวกับตะกั่วพูนในแผ่นธาตุลบก็จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟตจากกรดกำมะถันเกิดเป็นตะกั่วซัลเฟตเช่นกัน

### 2.3.3 การอัดประจุไฟฟ้า

เครื่องประจุไฟฟ้าถูกนำมาต่อกับแบตเตอรี่โดยการต่อขั้วบวกของเครื่องประจุไฟฟ้าเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่และต่อขั้วลบของเครื่องประจุไฟฟ้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบทำให้สารประกอบตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุทั้งสองออกมารวมตัวกับน้ำกลายเป็นน้ำกรดอีกครั้ง

แบตเตอรี่ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า (คายประจุ) จะเกิดตะกั่วซัลเฟต (ซีเกล็ด) ขึ้นที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ การที่อนุภาคซัลเฟตจากกรดกำมะถันถูกใช้ไปและเกิดเป็นน้ำมาแทนทำให้ความหนาแน่นของน้ำกรดลดลง ในทางกลับกันขณะอัดประจุไฟ กระแสไฟฟ้าจะแยกตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุโดยน้ำจะแยกตัวเป็นไฮโดรเจน และออกซิเจน อนุมูลซัลเฟตจะรวมตัวกับไฮโดรเจนกลายเป็นกรด ปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้สลับไปมาจนกระทั่งแผ่นธาตุทั้งสองเสื่อมสภาพไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 3-4 เท่า ของแบตเตอรี่ทั่วไป การจ่ายไฟต่อเนื่องได้นานกว่าด้วยอัตรากระแสเท่ากัน และการบำรุงรักษาต่ำกว่าโดยเติมน้ำกลั่น

น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของแผ่นธาตุใหญ่และหนา ทำให้เนื้อของแผ่นธาตุหลุดร่วงได้ยากและมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในเขตเมืองร้อน

### 2.3.4 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ

การใช้งานแบตเตอรี่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับศัพท์ทางเทคนิคและความหมาย บอกให้ทราบคุณสมบัติของแบตเตอรี่นั้นๆ เพื่อประกอบการพิจารณาเลือกใช้งาน ดังนี้

#### 2.3.4.1 ประสิทธิภาพ ค่าความจุ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป

พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมง คำนวณหาประสิทธิภาพของพลังงาน (energy efficiency) โดยใช้สมการที่ 2.1 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80 %

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน \%} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็ม}} \times 100 \quad (2.1)$$

ส่วนค่าความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) และประสิทธิภาพของการอัดประจุ (charge efficiency) หรืออาจเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ 2.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีค่าประมาณ 95 % แต่ในแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมจะมีค่าน้อยกว่านี้ โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง \%} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \times 100 \quad (2.2)$$

การอัดประจุหรือการอัดประจุเกิน ปฏิกริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม นั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

#### 2.3.4.2 อัตราการคายประจุ และอัตราการอัดประจุ

อัตราการคายประจุ (Discharge rate) และอัตราการอัดประจุ (Charge rate) จะสัมพันธ์กับพิกัดการเก็บประจุ ซึ่งผู้ผลิตมักจะแสดงค่า specific rated capacity ในหน่วยของ Ah ที่อัตราการคายประจุจำเพาะค่าหนึ่งๆ อาทิ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดความจุ 200 Ah (อัตรา 10 hour rate) แสดงว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.3 จากความจุของแบตเตอรี่หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\frac{C}{\text{ชั่วโมง}} = \text{กระแสที่จ่าย (แอมแปร์)} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad (2.3)$$

ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 200 Ah มีอัตราการคายประจุ C/10 จากสมการที่ 2.3 ค่ากระแสที่จ่ายหรืออัตราการคายประจุ เท่ากับ 20 แอมแปร์ เป็นต้น

#### 2.8.4.3 ความลึกของการคายประจุและการอัดประจุ

ค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือ%ของความจุซึ่งถูกใช้งานจากการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่าดีโอดีคือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือ % ของความจุที่คงใช้งานได้ ค่าดีโอดีหรือเอสโอซีจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่าดีโอดีและค่าเอสโอซี

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีโอดีกับค่าเอสโอซี

เอสโอซี (% SOC)	ดีโอดี (% DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

อย่างไรก็ตามอาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ค่าดีโอดี และค่าเอสโอซี คือความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้ว ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) การจ่ายกระแสต่ำจะให้ค่าดีโอดีมากกว่า 100 % ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100 % เมื่ออัตราการคายประจุต่ำกว่าอัตราการคายประจุปกติ

#### 2.3.4.4 อัตราการคายประจุด้วยตัวเอง

การคายประจุด้วยตัวเองเป็นการสูญเสียประจุของแบตเตอรี่ ถ้าหากปล่อยให้ทิ้งไว้ที่วงจรเปิดหรือไม่มีการจ่ายกระแสในระยะเวลาหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ปฐมภูมิที่ถูกวางบนชั้นจำหน่ายในร้านค้า เมื่อผ่านไปหลายๆ ปี จะพบว่าค่าความจุจะเหลืออยู่ไม่เท่ากับความจุตั้งต้น แต่สำหรับแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้น อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะอ้างอิงด้วยเปอร์เซ็นต์ความจุที่หายไปต่อเดือนโดยตั้งต้นที่ค่าความจุเต็มพิกัด แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควบคู่ไปด้วยกัน ในหลายๆ กรณีค่านี้จะเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จากการคำนวณแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะมีค่าต่ำโดยอยู่ในช่วง 1-4 % ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส

#### 2.3.4.5 วงจรอายุ (Cycle Life)

ความหมายของคำว่า ไซเคิล (Cycle) คือ การทำซ้ำๆ เพื่อการคายประจุและการอัดประจุซึ่งเป็นการทำงานปกติของแบตเตอรี่ ดังนั้นหนึ่งไซเคิล หรือ หนึ่งรอบเท่ากับการคายประจุหนึ่งครั้งตามด้วยการอัดประจุหนึ่งครั้ง ในวงจรอายุของแบตเตอรี่เป็นการวัดจำนวนไซเคิลของแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่

สามารถทำงานเป็นปกติได้ตลอดชั่วอายุ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากจำนวนไซเคิลของการคายประจุและค่าดีโอดี (DOD) รวมถึงสัดส่วนของค่าความจุก่อนที่จะลดลงไปต่อค่าความจุตั้งต้น (ปกติใช้ค่า 80 %)

วงจรรายขึ้นอยู่กับค่าความลึกของแต่ละไซเคิล หากทดสอบโดยวัดที่ค่าดีโอดีสูง และค่าดีโอดีต่ำลง แล้วให้นำผลของจำนวนไซเคิลคูณด้วยค่าดีโอดีแล้วพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงความจุมีค่าเช่นเดียวกับค่าดีโอดีที่ลดลง

### 2.3.5 เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยทั่วไปประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ และโหลดนั้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 12 โวลต์, 24 โวลต์ และ 48 โวลต์ ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 14.4 โวลต์ หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดผลึกซิลิกอนจำนวน 36 ถึง 40 เซลล์ มีแรงดันใช้งานได้ 15 ถึง 18 โวลต์ (ขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ) ข้อจำกัดทางเทคนิคที่กำหนดให้แรงดันใช้งานต้องมากกว่าแรงดันการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นซึ่งในกรณีนี้จะเห็นว่าแรงดันใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ แม้เกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าในสายไฟฟ้าและไดโอด (โดยทั่วไปไม่เกิน 2 %)

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่และควบคุมไม่ให้ประจุไฟฟ้าเกิน (overcharging) หลักการทำงานของเครื่อง คือ ตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ เพื่อกำหนด สถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้น เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจะตัดการประจุเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งเมื่อแรงดันไฟฟาลดลงเหลือ 13.4 โวลต์ และทำหน้าที่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากเกินไป หรือต่ำกว่าแบตเตอรี่จะรับได้ ส่วนการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าย้อนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีไดโอดป้องกันกระแสไหลย้อน ซึ่งปกติจะมีรวมอยู่ในเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ามีอยู่ทั่วไปแบ่งได้ 4 แบบ หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบต่างๆ มีดังนี้

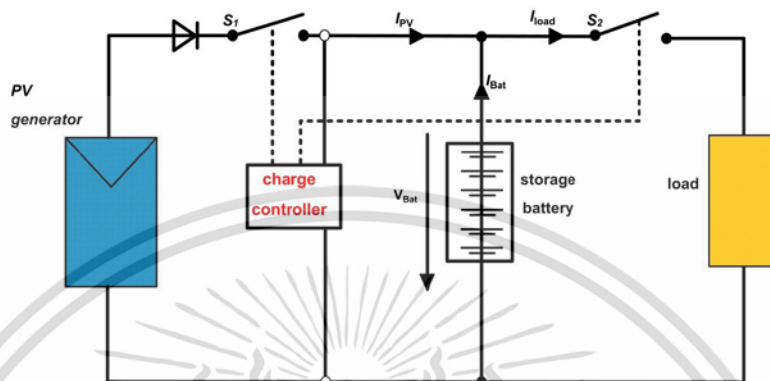
#### 2.3.5.1 เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series controllers)

การต่อเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม โดยจะตัดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเกินแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รับได้ และต่อวงจรเมื่อแรงดันไฟฟาลดลง อาศัยสวิตช์ควบคุมที่เป็นสวิตช์แม่เหล็ก เรียกว่า รีเลย์ (Relay) หรือตัวนำสัญญาณ S1 และหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.13 ข้อต่อของเครื่องแบบ คือ การสั้นของสวิตช์แม่เหล็กเนื่องจากการปิด-เปิดวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และก่อให้เกิดการสูญเสียขึ้นในระบบ ด้วยเหตุนี้จึงพัฒนาเครื่องควบคุมการประจุที่มีการควบคุมการทำงานต่อเนื่อง

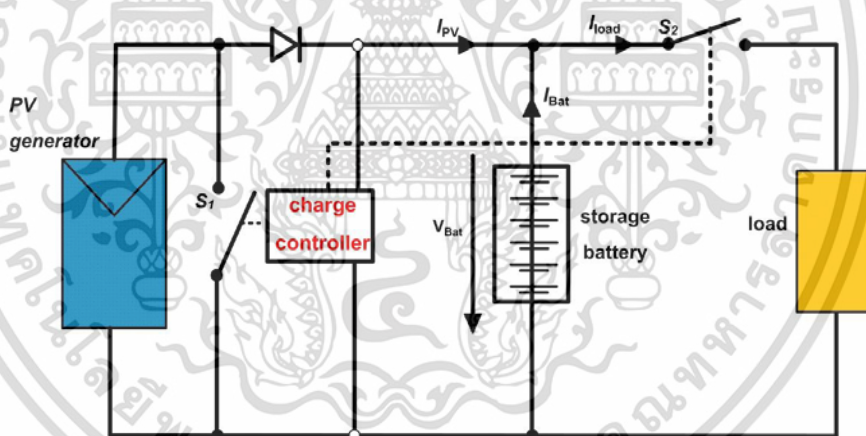
#### 2.3.5.2 เครื่องควบคุมการประจุแบบขนาน (Shunt controllers/parallel controllers)

การต่อเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ลดกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์อย่างต่อเนื่อง การต่อแบบนี้จะ

ปลอดภัยกับแบตเตอรี่ แต่แผงเซลล์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากกระแสตรงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์ไม่ได้จ่ายออกมา หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบขั้นที่แสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.13 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม



ภาพที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบขั้นที่

### 2.3.5.3 การประจุแบบป้องกันการคายประจุเกิน (Deep discharge protection)

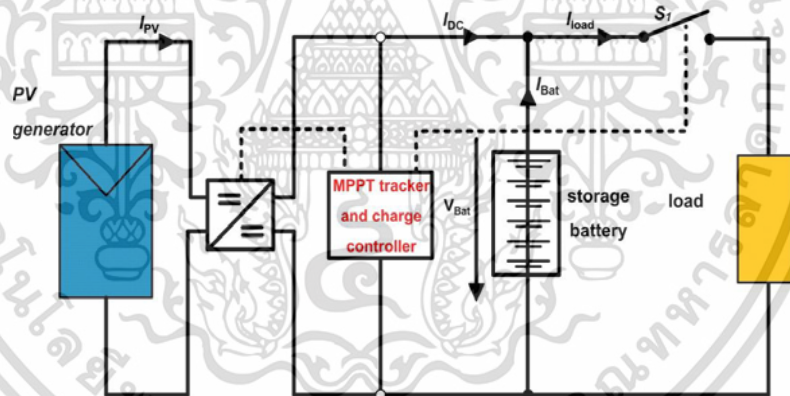
เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยทั่วไป ป้องกันการคายประจุเกินด้วยรีเลย์ เพื่อแยกโหลดออกจากแบตเตอรี่ ดังสัญลักษณ์  $S_2$  ในภาพที่ 2.14 และภาพที่ 2.15 และสัญลักษณ์  $S_1$  ในภาพที่ 2.16 ตัวอย่างเช่น แรงดันของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่าแรงดันจ่ายของแบตเตอรี่เนื่องจากโหลดต้องการจ่ายกระแสสูง (ตู้เย็น) เหตุการณ์เช่นนี้ตัวควบคุมจะแยกโหลดออก และนำแรงดันไฟฟ้ากลับมาโดยเร็วที่สุด ซึ่งโดยทั่วไป จะเพียงพอต่อการจ่ายให้โหลดขนาดเล็ก (หลอดไฟฟ้า) เครื่องควบคุมการประจุไฟฟารุ่นใหม่จะมีตัววัดอุณหภูมิด้วย เพื่อวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และปกติเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจะต่อ

กับแบตเตอรี่โดยตรง ดังนั้นอุณหภูมิของทั้งสองจึงใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีแบตเตอรี่รับภาระโหลดมาก อาจเกิดความร้อนขึ้น ทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องควบคุมการประจุ ทั้งนี้แบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้อย่างดีจะไม่ได้รับผลกระทบนี้

#### 2.3.5.4 เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด (MPP charge controllers)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าได้ ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ ซึ่งการต่อเครื่องควบคุมการประจุและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง 10–40 % ทั้งนี้การหลีกเลี่ยงทำได้โดยใช้ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point, MPP) หรือเรียกว่า Maximum Power Point Tracker (MPPT)

MPPT ประกอบด้วย ตัวควบคุมการแปลงกระแสไฟตรงเป็นไฟตรง และจะทำงานทุกๆ 5 นาที เพื่อวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นจะมีวงจรที่ควบคุม เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีประสิทธิภาพ 90–96 % ส่วนระบบที่เหมาะสมกับการใช้ MPPT ควรมีขนาดตั้งแต่ 200 วัตต์ขึ้นไป หากระบบมีขนาดเล็กกว่านี้จะเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปลงมากกว่าจะได้รับมาเนื่องจากวงจรมีความซับซ้อน ปัจจุบันพบว่าเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบนี้จะใช้ในระบบขนาดตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป นอกจากนี้เครื่องควบคุมแบบนี้มีราคาค่อนข้างสูง



ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด

หน้าที่ของเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าได้ดังนี้

1. ควบคุมให้มีการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม
2. ป้องกันการประจุไฟฟ้าเกินกว่าแบตเตอรี่จะรับได้
3. ป้องกันการคายประจย้อนกลับ
4. ป้องกันการคายประจุเกิน
5. แสดงสถานะของแบตเตอรี่ (บางรุ่น)

## ระบบไฟฟ้าและการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าผิตพร้อง

ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากระบบผลิตไฟฟ้า (Generating system) ผ่านระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission system) เพื่อทำการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักต่างๆคือ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (Substation) สายป้อน (Feeder) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformer) สายจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำและอุปกรณ์ป้องกัน (Protective devices)

หน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่สำคัญประการหนึ่งคือ การส่งจ่ายพลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา มีความมั่นคงในการส่งไฟฟ้าสูง หากเกิดเหตุขัดข้องก็สามารถแก้ไขให้ไฟฟ้าดับกลับคืนในเวลารวดเร็วหรือทำให้มีระยะเวลาการขัดข้องที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการลัดวงจร (Short circuit) ในสายป้อน หรือ หม้อแปลง การเกิดการลัดวงจรนี้อาจเกิดได้ใน 2 ลักษณะ คือ แบบถาวร (Permanent failure) และแบบชั่วคราว (Temporary Failure) ที่อาจส่งผลให้เกิดแรงดันตก หรือ ไฟกระพริบแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ อันเป็นสาเหตุให้เกิดการไฟฟ้าดับแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งพบบ่อยในย่านผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม หากการทำหน้าที่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่สมบูรณ์แล้วก็จะมีความเชื่อถือได้ต่อระบบโดยรวมได้ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดขัดข้องหรือเกิดเหตุไฟฟ้าดับขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงดังกล่าวไว้บทที่ 1 ด้วยเหตุดังกล่าวการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ผ่านมาจึงจำเป็นต้องทราบสภาวะการทำงานและล้มเหลวของอุปกรณ์ต่างๆในระบบเกณฑ์ในการขัดข้องที่จุดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมถึงการทำงานจากระบบเกณฑ์ในการขัดข้องที่จุดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมถึงการทำงานจากระบบป้องกัน

โดยทั่วไปเมื่อสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยได้รับแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งก็แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงแล้วส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งมีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเหมาะสมกับผู้ใช้ไฟฟ้าย่อย หลังจากนั้นจึงส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำไปยังบ้านเรือน หรือ ธุรกิจห้างร้านทั่วไปในกรณีที่เป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ก็อาจรับแรงดันไฟฟ้าผ่านสายป้อนไปยังหม้อแปลงของตนเองได้ โดยไม่ผ่านหม้อแปลงระบบจำหน่าย นอกจากนั้นหากเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่มากก็อาจรับไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าแล้วสร้างสถานีจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเอง สิ่งที่ยกตัวอย่างต่อไปนี้เป็นในรูปแบบต่างๆ ระบบจำหน่ายที่มีอยู่โดยทั่วไป

### 3.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

แบ่งระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าออกเป็น 2 ระบบหลัก คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าพาดในอากาศ (Overhead aerial system) และระบบจำหน่ายไฟฟ้าใต้ดิน (Underground cable system) การเลือกใช้ระบบใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อมและความประหยัด เป็นต้น แต่ที่พบเห็นโดยทั่วไปในประเทศไทยจะเป็นระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเหนือหัวเนื่องจากมีราคาต่ำกว่าระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบบใต้ดินมาก แต่อย่างไรก็ตามในบริเวณที่มีบ้านเรือนหนาแน่น กรณีต้องเดิน

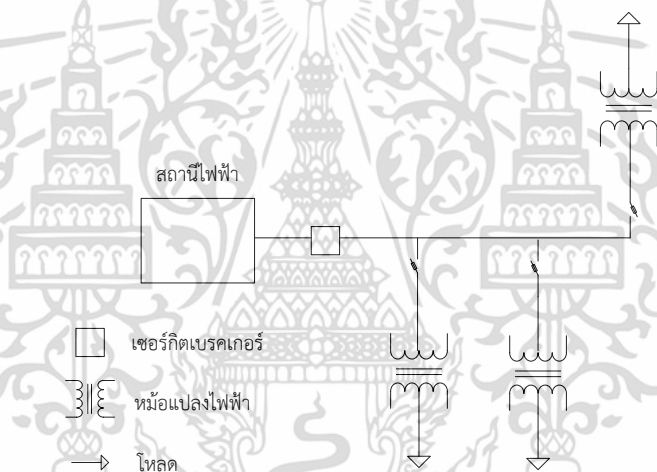
สายไฟข้ามแม่น้ำ หรือภายในนิคมอุตสาหกรรม นิยมใช้ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดินเนื่องจากสายใต้ดินเป็นสายที่มีฉนวนหุ้ม ย่อมมีความปลอดภัยและความมั่นคงสูงกว่าการใช้สายจำหน่ายเหนือหัวซึ่งมักเป็นสายเปลือก

สำหรับลักษณะรูปแบบของระบบจำหน่ายนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ

1. ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network)
2. ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network)
3. ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network)

### 3.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลคือระบบที่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าไปในสายจำหน่ายเพียงด้านเดียวและมีสายแยกออกไปดังแสดงในภาพที่ 3.1 การวางแผนใช้ระบบจำหน่ายแบบนี้หากมีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถที่จะเพิ่มระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้กลายเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน หรือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห ต่อไปได้



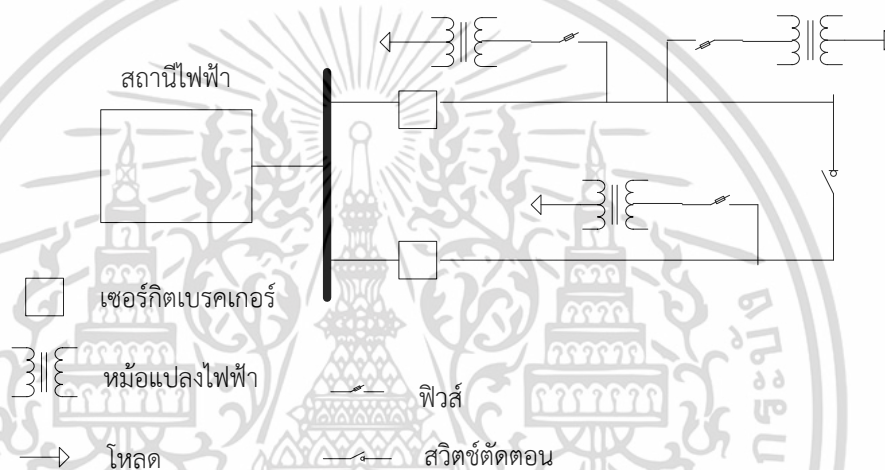
ภาพที่ 3.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial Network)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลนิยมใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั่วไปหรือในชนบทเนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าประเภทที่ลงทุนต่ำ มีการป้องกันระบบได้โดยวิธีง่ายๆ และลักษณะของการวางสายแบบนี้สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าต่ำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบทดสอบ เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทยมีการจ่ายไฟฟ้าในลักษณะนี้

### 3.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network)

ลักษณะระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้จัดทำเป็นรูปแบบวงแหวนกล่าวคือมีการจ่ายไฟเข้าที่ต้นทางและปลายทางโดยสถานีจ่ายไฟฟ้าแห่งเดียวกันตามภาพที่ 3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้ในการใช้งานจริงบางครั้งจะเปิดวงจรออกทำให้ระบบเป็นวงจรแบบเรเดียลก็ได้ การกระทำเช่นนี้จะทำให้การป้องกันระบบนั้นทำได้ง่ายขึ้น

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนนี้สามารถนำไปใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรมได้ ข้อดีของระบบนี้คือ เมื่ออุปกรณ์ตัวหนึ่งตัวใดเกิดขัดข้องก็สามารถทำการตัดส่วนนั้นออกไปและวงจรส่วนที่เหลืออยู่ก็สามารถทำการจ่ายไฟฟ้าต่อไปได้อีก ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงขึ้นกว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล แต่ข้อเสียระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนคือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะกระทำได้โดยผ่านสถานีจ่ายไฟฟ้าเพียงสถานีเดียว ดังนั้นถ้าเกิดการขัดข้องขึ้นภายในสถานีจ่ายไฟฟ้า ย่อมทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง และระบบป้องกันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวนก็ยังมีขีดความสามารถสูงขึ้นกว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเนื่องจากระบบป้องกันต้องตรวจสอบให้ทราบว่าจะเกิดการลัดวงจรขึ้นที่อุปกรณ์ตัวใดเพื่อที่จะได้ตัดอุปกรณ์ส่วนนั้นออกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

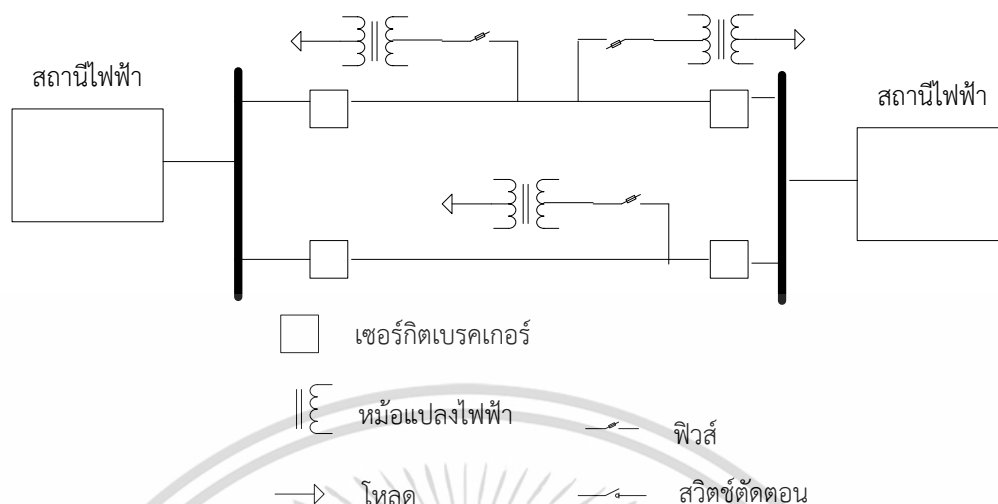


ภาพที่ 3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน (Ring Network)

### 3.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network)

ตามภาพที่ 3.3 เป็นรูปของระบบจำหน่ายแบบร่างแห สังเกตได้ว่าการต่อกันของสายจำหน่ายจะมีลักษณะเหมือนแหที่กระจายออกไปครอบคลุมแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าต่างๆ และมีสถานีจ่ายไฟฟ้าเข้าในระบบจำหน่ายได้หลายจุด

ข้อดีของระบบนี้คือระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้มีความเชื่อถือได้สูงสุดกว่าทุกระบบที่กล่าวมา และสามารถสร้างสถานีจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ง่ายเมื่อโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้ต้องลงทุนในการก่อสร้างระบบค่อนข้างสูงเช่นกัน เนื่องจากระบบดังกล่าวต้องสร้างสายส่งและอุปกรณ์ป้องกันจำนวนมาก และในขณะที่ทำการจ่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร (Short Circuit) จะทำให้กระแสลัดวงจรมีขนาดสูงมากได้



ภาพที่ 3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห (Mesh Network)

### 3.2 อุปกรณ์หลักในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตามมาตรฐานการก่อสร้างวัสดุ อุปกรณ์ และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าทั้งการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบจำหน่ายจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หลักต่างๆดังนี้

1. สายไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ สายเปลือย และสายหุ้มฉนวน การเลือกใช้สายไฟฟ้าแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หากต้องการระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูงควรใช้สายเคเบิลใต้ดิน แต่การลงทุนก็จะสูงตามไปด้วย
2. หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ต่ำลงเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ประเภทต่างๆ ด้วยระบบแรงดันต่ำต่อไป
3. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) โดยทั่วไปใช้ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกันใช้ในการกำจัดการเกิดผิดพลาดในระบบ
4. รีโคลสเซอร์ (Recloser)
  - 4.1 ใช้ติดตั้งในระบบจำหน่ายที่มีปัญหาเกิดความผิดพลาดแบบชั่วคราว บ่อยๆ
  - 4.2 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายที่แยกอยู่ที่อยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าตั้งแต่ 10 กิโลเมตรขึ้นไปและในสายเมนหรือสายแยกใดๆ ที่มีปัญหาเกิดความผิดพลาดแบบชั่วคราวบ่อยครั้งหรือเป็นระบบจำหน่ายที่มีความสำคัญก็อาจพิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม
  - 4.3 อาจพิจารณาคิดตั้งรีโคลสเซอร์ที่สถานีไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแทนเซอร์กิตเบรกเกอร์
  - 4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ต้องพิจารณาให้สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และค่ากระแสผิดพลาดซึ่งอาจเกิดขึ้น ณ จุดนี้ จะต้องมีค่าไม่มากกว่าพิกัดการตัดกระแสของรีโคลสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5. ดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ (Dropout Fuse Cutout) เป็นอุปกรณ์ป้องกันอีกชนิดหนึ่ง

5.1 ติดตั้งในสายแยกที่ระยะทางเกินกว่า 1 กิโลเมตร และในสายย่อยที่มีระยะทางเกินกว่า 5 กิโลเมตร

5.2 กรณีสายแยกที่มีระยะทางไม่เกินกว่า 1 กิโลเมตร และสายย่อยที่มีระยะทางไม่เกิน 5 กิโลเมตร อาจติดตั้งดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ได้ถ้าพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมเพียงพอ เช่น มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟฟ้ามาก

5.3 ในสายเมนไม่ควรติดตั้งดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ หรือถ้าจะติดตั้งก็ควรมีน้อยที่สุดโดยพิจารณาเห็นว่ามีความจำเป็น

5.4 ดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ที่ติดตั้งจะต้องทำงานสัมพันธ์กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ รีโคลสเซอร์ หรือ ดรอพเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ด้วยกัน

### 6. สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Load Break Switch) และสวิตช์แบบน้ำมัน (Oil Switch)

6.1 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนเข้าเมืองที่สำคัญ อาจติดตั้งทุกๆ 20 กิโลเมตรก็ได้

6.2 ติดตั้งในสายเชื่อมตำแหน่งที่มีการเชื่อมโยงระหว่างสายป้อนหรือระหว่างสถานีไฟฟ้า

6.3 กรณีสายแยกใดที่มีโหลดมากและต้องติดตั้งสวิตช์ตัดตอนให้พิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

### 7. สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch)

7.1 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนที่สถานีไฟฟ้าและก่อนเข้าสายเคเบิลแรงสูง

7.2 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนก่อนเข้าและออกจากรีโคลสเซอร์ และ โวลท์เตจเรจกูเลเตอร์

7.3 ติดตั้งเป็นสวิตช์บายพาสที่รีโคลสเซอร์

7.4 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนออกจากเมืองสำคัญ

### 8. สวิตช์แบบอากาศ (Air Switch)

8.1 ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเพื่อเป็นสวิตช์สำหรับทำบายพาส

8.2 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกแทนตำแหน่งของติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนเมื่อต้องการปิดหรือเปิดวงจรขณะที่มีโหลด

### 9. เสาไฟฟ้า คอนสาย และลูกถ้วย (Pole Cross arm and Insulator)

## 3.3 การคำนวณกระแสผิดพลาด

ตามปกติระบบไฟฟ้ากำลัง จะผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบ 3 เฟสสมดุล เมื่อเกิดความผิดพลาด (Fault) ขึ้นในระบบ จะทำให้เกิดกระแสผิดพลาดซึ่งมักมีค่าสูงกว่ากระแสปกติหลายเท่า ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและชนิดของการผิดพลาด ปริมาณกระแสผิดพลาดที่คำนวณได้สามารถนำไปใช้ในการเลือกพิคัดของอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า ได้อย่างเหมาะสม ตามปกติสามารถคำนวณหากระแสผิดพลาดสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การคำนวณด้วยมือ นิยมใช้กับระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น ระบบเรเดียล (Radial) ซึ่งใช้กันทั่วไปในสถานประกอบการในโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

2. การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ วิธีคำนวณด้วยบัสอิมพีแดนซ์ การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์นิยมใช้กับระบบที่มีความยุ่งยาก เช่น ในระบบ ร่างแห แต่ก็สามารถใช้กับระบบที่ไม่ซับซ้อนเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว

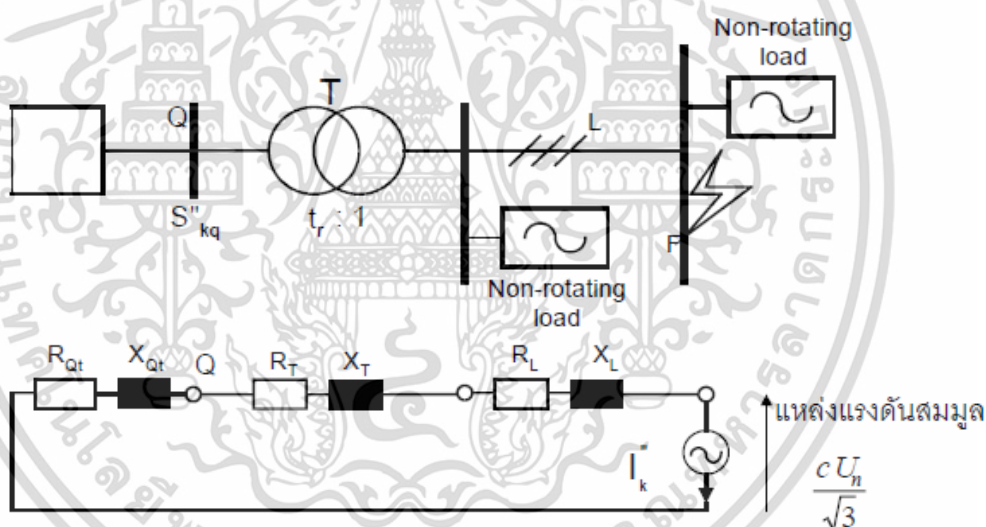
สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม DigSILENT Power Factory เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว

### 3.4 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909

ขอบเขตการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 [14] ได้กำหนดให้มีลักษณะดังนี้

1. ระบบไฟฟ้าที่คำนวณเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ระดับแรงดันต่ำ (100 V ถึง 1 kV) ที่ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz
2. ระบบไฟฟ้าที่คำนวณเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟฟ้าปานกลางถึงสูง คือตั้งแต่ 1 kV แต่ไม่เกิน 230 kV ที่ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz

#### 3.4.1 แหล่งกำเนิดแรงดันสมมูล



ภาพที่ 3.4 วงจรไฟฟ้าสมมูลของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

ตามภาพที่ 3.4 แหล่งจ่ายแรงดันสมมูลเป็นผลมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในการคำนวณกระแสลัดวงจรจะกำหนดให้มีแหล่งจ่ายแรงดันสมมูลที่ตำแหน่งลัดวงจร ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\frac{cU_n}{\sqrt{3}}$  โดยที่  $c$  เป็นตัวประกอบกำลังสามารถหาได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวประกอบแรงดันไฟฟ้า ( $c$ ) ของระบบไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้ากัก	ค่าตัวประกอบแรงดันไฟฟ้า $c$	
	กระแสลัดวงจรสูงสุด	กระแสลัดวงจรต่ำสุด
แรงดัน 100 V ถึง 1000 V	1.05	0.95
แรงดัน 1 kV ถึง 35 kV	1.10	1.00
แรงดันสูง 35 kV	1.10	1.00

### 3.4.2 อิมพีแดนซ์ลัดวงจร (Short Circuit Impedance)

การคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 จะใช้แหล่งแรงดันสมมูลเพียงแหล่งเดียวในการคำนวณขณะเกิดลัดวงจร ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าจะแทนด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์นั้น จากนั้นทำการรวมค่าอิมพีแดนซ์ทั้งหมดรวมกันเป็นอิมพีแดนซ์ลัดวงจรสมมูล (Equivalent Short Circuit Impedance) ภายหลัง เพื่อใช้คำนวณต่อไป โดยสามารถแบ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 3.4.2.1 อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Impedance of Network Feeder)

ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1

$$Z_Q = R_Q + jX_Q \quad (3.1)$$

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} I_{kQ}''} = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \quad (3.2)$$

ในกรณีที่ทราบค่า ความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของระบบไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 และในกรณีที่ระบบมีแรงดันสูงกว่า 35 kV ค่าความต้านทานของระบบไฟฟ้าจะมีค่าต่ำมากจนสามารถกำหนดเป็นศูนย์ได้

$$X_Q = 0.995 \cdot Z_Q \quad (3.3)$$

$$R_Q = 0.1 \cdot X_Q \quad (3.4)$$

โดยที่  $Z_Q$  คือ อิมพีแดนซ์ลัดวงจรลำดับบวก

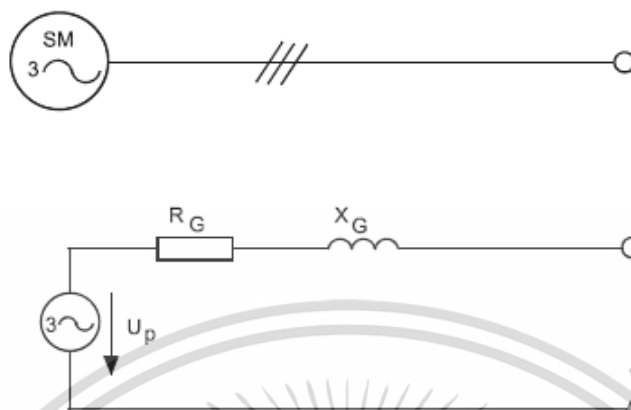
$R_Q$  คือ ค่าความต้านทานของระบบไฟฟ้า

$X_Q$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของระบบไฟฟ้า

$I_{kQ}''$  คือ ค่ากระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นของระบบไฟฟ้า

$U_{nQ}$  คือ แรงดันไฟฟ้ากักของระบบไฟฟ้า

### 3.4.2.2 ค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัส



ภาพที่ 3.5 วงจรไฟฟ้าสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัส

ค่ากระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นสามารถหาได้จากสมการที่ 3.5

$$I_k'' = \frac{U_{qe}}{X_d} \quad (3.5)$$

ค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลในขดลวดสนามแม่เหล็ก สามารถหาได้จากสมการที่ 3.6

$$I_k' = \frac{U_{qe}}{X_d'} \quad (3.6)$$

และค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อเนื่องสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7

$$I_k = \frac{U_{qe}}{X_d} \quad (3.7)$$

โดยที่

$$Z_G = R_G + jX_d'' \quad (3.8)$$

สำหรับในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ สามารถหาค่าความต้านทานได้จากสมการที่ 3.9

$$R_G = 0.12X_d'' \quad (3.9)$$

สำหรับในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง และกำลังไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 100 MVA สามารถหาค่าความต้านทานได้จากสมการที่ 3.10

$$R_G = 0.05X_d'' \quad (3.10)$$

สำหรับในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง และกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 100 MVA สามารถหาค่าความต้านทานได้จากสมการที่ 3.11

$$R_G = 0.7X_d'' \quad (3.11)$$

โดยที่  $U_{qe}$  คือ แรงดันไฟฟ้าก่อนการลัดวงจร

$X''$  คือ ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์สถานะชั้ทรานเซียนต์

$X_d'$  คือ ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์สถานะทรานเซียนต์

$X_d$  คือ ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์สถานะชิ่งโครนัส

### 3.4.2.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Impedance of transformer)

ในการคำนวณอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์นี้ จะพิจารณาเฉพาะกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ขดลวด (Two-winding Transformer) โดยค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า  $Z_T = R_T + jX_T$  สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$Z_T = \frac{U_{kT}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (3.14)$$

$$R_T = \frac{U_{rT}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (3.15)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (3.16)$$

โดย  $U_{rT}$  คือ แรงดันพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงดันต่ำ  
 $I_{rT}$  คือ กระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงดันสูงหรือด้านแรงดันต่ำ  
 $S_{rT}$  คือ กำลังปรากฏพิกัดของหม้อแปลง  
 $P_{krT}$  คือ กำลังสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงในขดลวดที่กระแสพิกัด  
 $U_{kT}$  คือ แรงดันลัดวงจรพิกัด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์  
 $U_{rT}$  คือ แรงดันพิกัดโอห์มมิก (Ohmic Voltage)

สำหรับข้อมูลอื่นของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จำเป็นนั้น สามารถหาได้จากป้ายพิกัด (Name Plate) หรือสอบถามจากบริษัทผู้ผลิต

### 3.4.2.4 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าหรือสายเคเบิล (Impedance of Overhead Line and Cable)

ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของสายไฟฟ้าหรือสายเคเบิล  $Z_L = R_L + jX_L$  นั้นสำหรับสายไฟเหนือศีรษะ (Overhead Line) สามารถหาข้อมูลได้จากผู้ผลิตหรือสามารถหาได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$R_L = \frac{\rho}{q_n} \quad (3.17)$$

โดย  $\rho$  คือ ความต้านทานจำเพาะ  
 $q_n$  คือ พื้นที่หน้าตัดของสายไฟเหนือศีรษะ

$$X_L = 2\pi f \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{0.25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) = f\mu_0 \left( \frac{0.25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad (3.18)$$

โดย  $d$  คือ ระยะเฉลี่ยเรขาคณิตระหว่างตัวนำ  
 $f$  คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า  
 $n$  คือ จำนวนตัวนำบันเดิล (bundle)  
 $r$  คือ รัศมีของตัวนำเดี่ยว ซึ่งในกรณีของตัวนำบันเดิลจะแทน  $r$  ด้วย  $\sqrt[n]{nrR^{n-1}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu_0$  คือ ค่าความซาบซึมได้ของสุญญากาศเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-4}$

โดยความจุไฟฟ้าในสายไฟเหนือศีรษะสามารถละลายได้

สำหรับค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของสายเคเบิลสามารถหาได้จากผู้ผลิตสายเคเบิลนั่นเอง  
ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหน่วยของโอห์มต่อหน่วยความยาว

### 3.4.3 ขั้นตอนการพิจารณาคำนวณกระแสลัดวงจร

ในการคำนวณกระแสลัดวงจรนั้น ผู้คำนวณควรทราบวัตถุประสงค์ว่าจะนำผลลัพธ์ในการคำนวณไปใช้งานประเภทใด ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ประเภทงานดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

- 1 การเลือกพิกัดอุปกรณ์
- 2 การปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

จากลักษณะงานทั้งสองประเภทข้างต้น จะมีความมุ่งหมายที่แตกต่างกันคือ ในการเลือกพิกัดอุปกรณ์นั้น ต้องการค่ากระแสลัดวงจรที่สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุปกรณ์นั้น ส่วนการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันนั้น ต้องใช้ทั้งค่ากระแสลัดวงจรที่สูงสุดและต่ำสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้

ดังนั้น ในการคำนวณกระแสลัดวงจรจึงควรคำนวณกระแสลัดวงจรทุกกรณี ทุกประเภทและทุกแบบ รวมทั้งทุกชนิดของกระแสลัดวงจรด้วย เพื่อได้ข้อมูลกระแสลัดวงจรไปใช้ในงานทั้ง 2 ประเภท โดยขั้นตอนในการพิจารณาคำนวณกระแสลัดวงจรนั้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.6 ซึ่งจะเห็นว่าในการพิจารณาคำนวณกระแสลัดวงจรนั้น จะเป็นลำดับต่อไป โดยขั้นแรกคือพิจารณาว่าการคำนวณนั้นเป็นการคำนวณกรณีกระแสลัดวงจรสูงสุดหรือต่ำสุด จากนั้นพิจารณาว่าการลัดวงจรนั้น เป็นการลัดวงจรประเภทโกล หรือโกลล์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วจึงมาพิจารณาว่าการเกิดลัดวงจรเป็นแบบใด คือลัดวงจรแบบสามเฟสสมมูล ลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน เป็นต้น ซึ่งในขั้นสุดท้ายจึงคำนวณกระแสลัดวงจรชนิดต่าง ๆ เช่น กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น ( $I_k''$ ) กระแสลัดวงจรสมมาตร ( $I_b$ ) ฯลฯ ต่อไป

### 3.4.4 การคำนวณกระแสลัดวงจรกรณีกระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุด

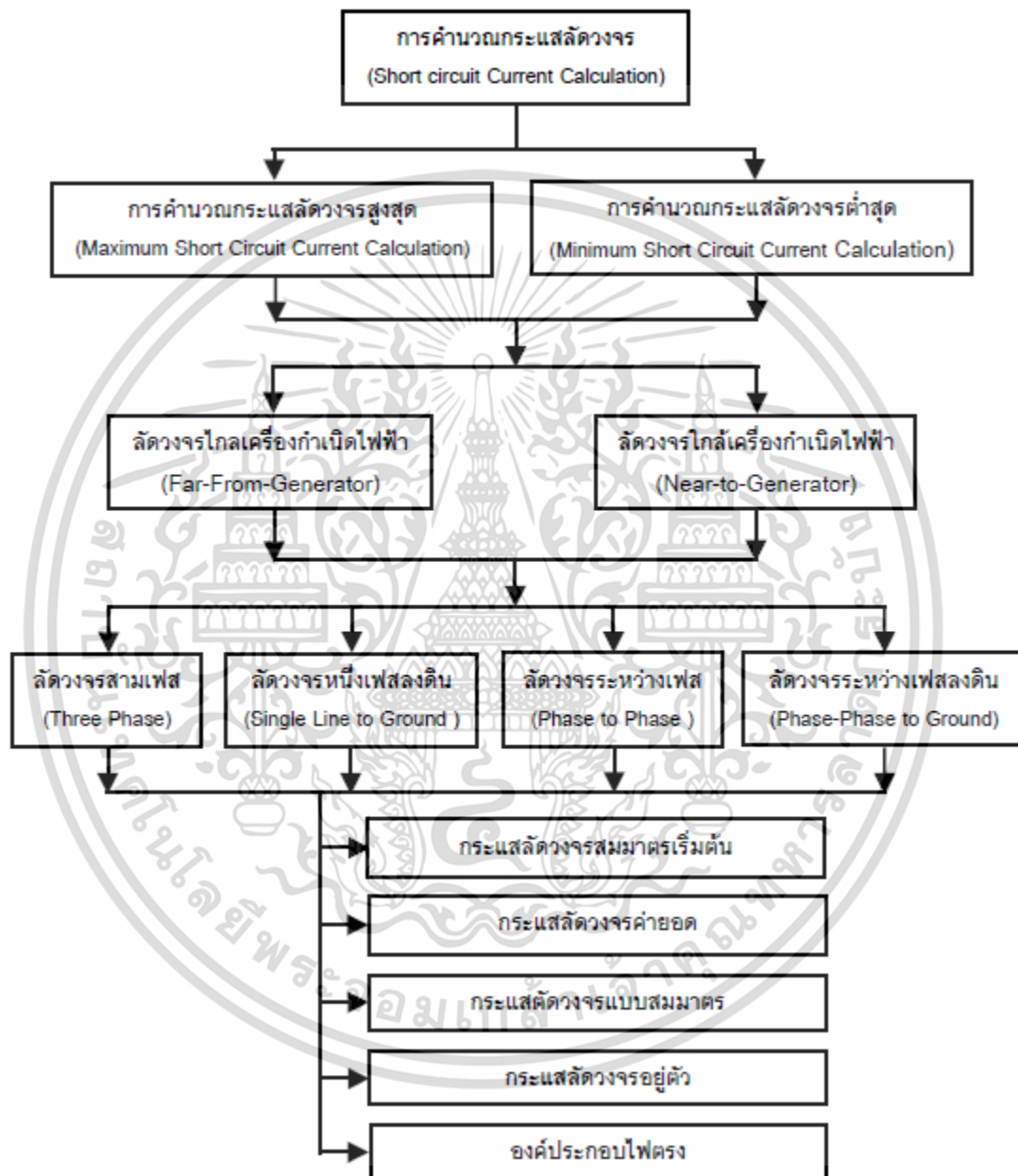
ในการคำนวณกระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุดมีรายละเอียดหรือข้อกำหนดในการคำนวณไม่เหมือนกัน โดยการคำนวณกระแสลัดวงจรสูงสุดนั้น ต้องพิจารณารูปแบบของวงจรไฟฟ้าที่ทำให้เกิดลัดวงจรสูงสุด คือ คัดผลของกระแสลัดวงจรจากมอเตอร์ทั้งหมดและพิจารณาแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมด รวมทั้งพิจารณารูปแบบของระบบไฟฟ้าที่มีการจ่ายโหลดสูงสุดส่วนวิธีการคำนวณและความสัมพันธ์ในการหาค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดนั้น จะคล้ายกับการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด เพียงมีรายละเอียดเพิ่มเติมในการคำนวณซึ่งมาตรฐาน IEC60909 ได้กล่าวไว้ดังนี้

3.4.4.1 ค่าตัวประกอบ c ที่ใช้ในความสัมพันธ์จะใช้ค่า  $c_{min}$  ในตารางที่ 3.1

3.4.4.2 รูปแบบของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา ต้องพิจารณากรณีที่จะเกิดกระแสลัดวงจรมินที่สุด เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้คำนวณต้องคำนวณระบบไฟฟ้าในขณะที่เดินเครื่องต่ำที่สุด หรือจ่ายโหลดต่ำที่สุด

3.4.4.3 ไม่คิดผลของกระแสลัดวงจรที่มาจากมอเตอร์

3.4.4.4 พิจารณาความต้านทานของสายเคเบิลที่ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ค่าความต้านทานจะมีค่าสูง ซึ่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าลดลง โดยความต้านทานที่อุณหภูมิใด ๆ สามารถคำนวณได้



ภาพที่ 3.6 แผนผังการคำนวณกระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การคำนวณกระแสลัดวงจรประเภทไกล และใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

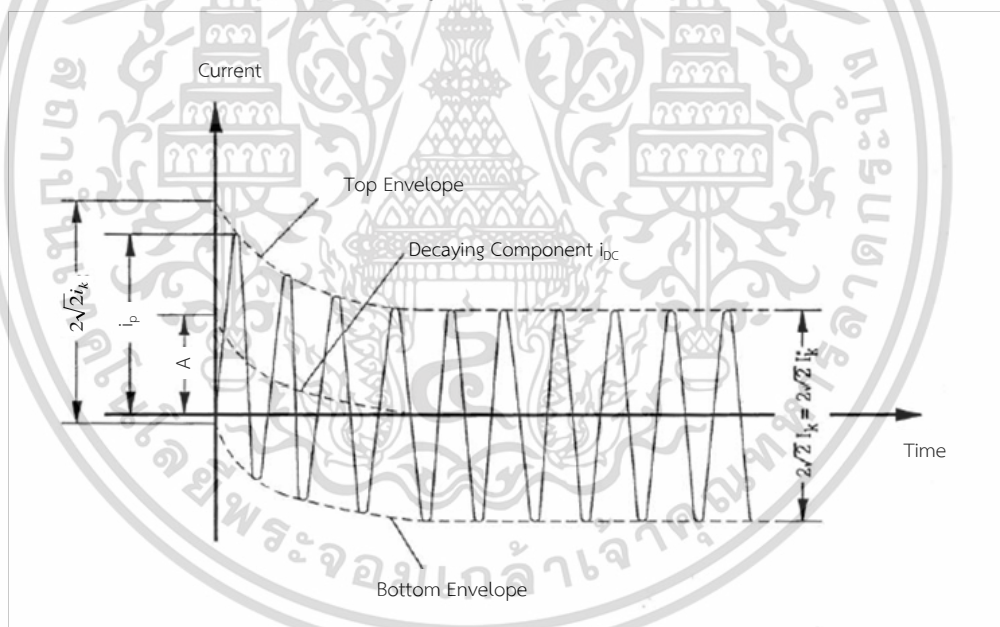
#### 3.4.5.1 การลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Far from Generator Short Circuit)

การลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือการลัดวงจรที่ไม่คิดผลการลดลงขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นการพิจารณาการลัดวงจรที่ไม่มีผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์อุปกรณ์จักรกลหมุน (มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) หรือค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรทั้งหมดมีค่าคงที่ตลอดการเกิดลัดวงจร โดยรูปคลื่นกระแสลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

ค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณได้ สามารถพิจารณาเป็นผลรวมขององค์ประกอบ 2 ส่วน คือ องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Component) เป็นองค์ประกอบหลักของกระแสลัดวงจร ซึ่งการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีขนาดคงที่ตลอดการเกิดลัดวงจร โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Component) เป็นองค์ประกอบมีค่าคงที่ค่าหนึ่งในช่วงเริ่มต้นและลดลงเท่ากับศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง โดยการคำนวณกระแสลัดวงจรในส่วนขององค์ประกอบไฟตรง ( $i_{DC}$ ) นั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์คือ

$$i_{DC} = \sqrt{2} I_k e^{-\frac{R}{X} 2\pi f t} \quad (3.19)$$



ภาพที่ 3.7 รูปคลื่นของกระแสลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การคำนวณกระแสลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้พิจารณากับระบบไฟฟ้าที่มีลักษณะรับไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย หรือระบบไฟฟ้าแรงดันสูง แรงดันปานกลาง และแรงดันต่ำของการไฟฟ้า ส่วนกระแสลัดวงจรที่มีผลมาจากมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะพิจารณาเป็นการลัดวงจรแบบใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

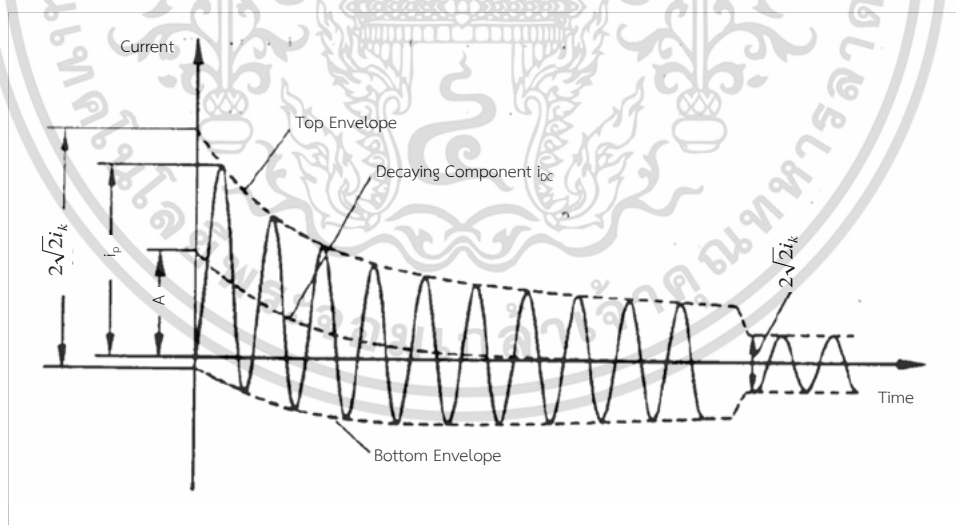
### 3.4.5.2 การลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Near to Generator Short Circuit)

การคำนวณกระแสลัดวงจรประเภทลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการพิจารณาการลัดวงจรที่มีผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์จักรกลหมุนมาเกี่ยวข้อง หรือคือการพิจารณาผลของกระแสลัดวงจรจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์โดยมีสิ่งที่น่าสนใจอยู่ที่กระแสลัดวงจรสามมาตร ( $I_b$ ) และกระแสลัดวงจรอยู่ตัว ( $I_k$ ) เพราะความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณจะแตกต่างจากกรณีลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์จักรกลหมุนด้วย

ในกรณีการลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณได้สามารถพิจารณาเป็นผลรวมขององค์ประกอบ 2 ส่วน เหมือนการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับ และองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งรูปคลื่นกระแสลัดวงจรกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 โดยแตกต่างจากการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (รูปที่ 3.7) ตรงที่มีการลดลงขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงแรกแล้วเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์จักรกลหมุนนั่นเอง

หลักการคำนวณกระแสลัดวงจรในการลัดวงจรประเภทนี้คล้ายกับการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงที่พิจารณาเสมือนมีแหล่งแรงดันไฟฟ้าสมมูลที่จุดเกิดลัดวงจรเหมือนกัน แตกต่างที่ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์บางประเภทจะพิจารณาแตกต่างกัน โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาเกี่ยวข้องเพิ่มเติม ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้าโดยตรงกับระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้จากความสัมพันธ์



ภาพที่ 3.8 รูปคลื่นกระแสลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$Z_{GK} = K_G Z_G = K_G (R_G + jX_d'') \quad (3.20)$$

โดย  $R_G$  คือ ค่าความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หน่วย โอห์ม

$X_d''$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หน่วย โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$K_G$  สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \times \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}} \quad (3.21)$$

โดยที่  $c_{\max}$  คือ ตัวประกอบแรงดันไฟฟ้า

$U_n$  คือ แรงดันของระบบไฟฟ้า

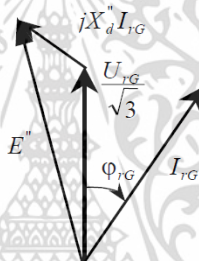
$U_{rG}$  คือ แรงดันพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$Z_{GK}$  คือ อิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการคำนวณ

$Z_G$  คือ อิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง

$x_d''$  คือ ค่าซับทรานเซียนต์อิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$\varphi_{rG}$  คือ มุมระหว่าง  $I_{rG}$  และ  $\frac{U_G}{\sqrt{3}}$



ภาพที่ 3.9 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

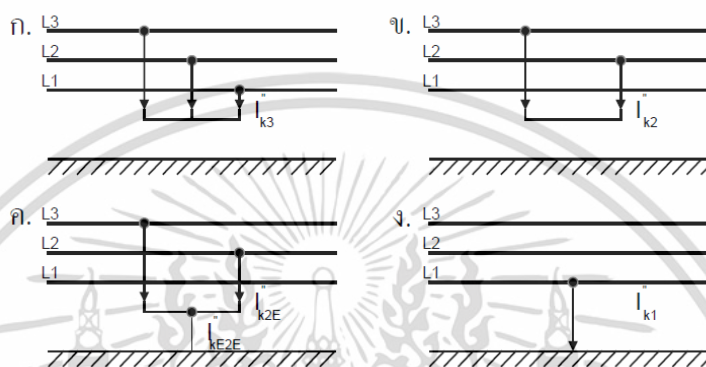
### 3.4.6 รูปแบบของการเกิดลัดวงจร

หลังจากทราบแล้วว่าในการคำนวณกระแสลัดวงจรจะพิจารณาเป็นประเภทลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือประเภทลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว จึงพิจารณาต่อว่าจะเป็นการลัดวงจรแบบใด โดยสามารถแบ่งรูปแบบของการเกิดลัดวงจรได้เป็น 2 แบบ คือ

3.4.6.1 การเกิดลัดวงจรแบบสมดุล (Balance Short Circuit) หรือการลัดวงจรแบบสามเฟส มักจะถูกพิจารณาเสมอ เพราะการลัดวงจรแบบนี้มักจะทำให้เกิดค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด โดยการคำนวณการลัดวงจรแบบสมดุลนี้ จะพิจารณาเฉพาะอิมพีแดนซ์องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Component) เท่านั้น

3.4.6.2 การเกิดลัดวงจรแบบไม่สมดุล (Unbalance Short Circuit) ได้แก่ การลัดวงจรแบบระหว่างเฟส, การลัดวงจรแบบระหว่างเฟสลงดิน และการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน ซึ่งโดยทั่วไปค่ากระแสลัดวงจรจากการลัดวงจรแบบไม่สมดุลจะมีค่าน้อยกว่าการลัดวงจรแบบสมดุล แต่ในกรณีเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งใกล้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการต่อลงดิน หรือมีค่าอิมพีแดนซ์องค์ประกอบลำดับศูนย์ต่ำ การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดินอาจให้ค่ากระแสลัดวงจรมากกว่าการลัดวงจรแบบสมดุลได้ ดังนั้นการ

คำนวณการเกิดลัดวงจรแบบไม่สมดุลนี้จะพิจารณาองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วน คือ องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Component) และองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence Component) โดยไม่คิดผลการเหนี่ยวนำระหว่างอุปกรณ์ และจะพิจารณาให้องค์ประกอบลำดับบวกเท่ากับ องค์ประกอบลำดับลบ ซึ่งรูปแบบการลัดวงจรที่ให้ค่ากระแสลัดวงจรค่าต่ำสุดนั้นไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่ จะเป็นการลัดวงจรแบบระหว่างเฟส แต่เพื่อความสมบูรณ์จึงควรคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจร ทุกรูปแบบ แล้วพิจารณาว่าค่ากระแสลัดวงจรต่ำที่สุดนั้นมีค่าเท่าใด เกิดจากลัดวงจรรูปแบบใด



ภาพที่ 3.10 การเกิดลัดวงจรประเภทต่าง ๆ

### 3.4.7 การคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

#### 3.4.7.1 การคำนวณลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล (Balance Three Phase Short Circuit)

โดยทั่วไปการลัดวงจรประเภทนี้จะให้กระแสลัดวงจรสูงสุด ดังนั้นในการออกแบบระบบไฟฟ้าทุกครั้งต้องมีการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุลเสมอ โดยความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทการลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแสดงดังตารางที่ 3.2

ส่วนในการลัดวงจรประเภทใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์ในการคำนวณชนิดของกระแสลัดวงจรที่มาจากผลของเครื่องจักรกลหมุน ซึ่งได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรสามเฟสสมดุลเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชนิดกระแสไฟฟ้า	ลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$I''_{k3}$	$I''_{k3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k}$
$i_{p3}$	$i_{p3} = \chi\sqrt{2}I''_{k3}$
$I_{b3}$	$I_{b3} = I''_{k3}$
$I_{k3}$	$I_{k3} = I_{b3} = I''_{k3}$
$i_{DC3}$	$i_{DC3} = \sqrt{2}I''_{k3}e^{-2\pi t \frac{R_k}{X_k}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $Z_k$  คือ อิมพีแดนซ์สมมูลของประกอบลำดับบวก ที่ตำแหน่งลัดวงจร  $k$  ซึ่ง

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$\chi \approx 1.02 + 0.98e^{-3R_k/X_k}$$

**ตารางที่ 3.3** ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรสามเฟสสมมูลเป็นผลจากเครื่องจักรกลหมุน (มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

ชนิดกระแสลัดวงจร	ลัดวงจรใกล้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ผลจากมอเตอร์	ผลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$I''_{k3M}, I''_{k3G}$	$I''_{k3M} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_{kM}^2 + X_{kM}^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_{kM}}$	$I''_{k3G} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_{kG}^2 + X_{kG}^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_{kG}}$
$i_{p3M}, i_{p3G}$	$i_{p3M} = \chi_M \sqrt{2}I''_{k3M}$	$i_{p3G} = \chi_G \sqrt{2}I''_{k3G}$
$I_{b3M}, I_{b3G}$	$I_{b3M} = \mu q I''_{k3M}$	$I_{b3G} = \mu I''_{k3G}$
$I_{k3M}, I_{k3G}$	$I_{k3M} = 0$	$I_{k3G \max} = \lambda_{\max} I_{rG},$ $I_{k3G \min} = \lambda_{\min} I_{rG}$
$i_{DC}$	$i_{DC} = \sqrt{2}I''_{k3M} e^{-2\pi f t \frac{R_{kM}}{X_{kM}}}$	$i_{DC} = \sqrt{2}I''_{k3G} e^{-2\pi f t \frac{R_{kG}}{X_{kG}}}$

หมายเหตุ ในการคำนวณสามารถละเลยผลของมอเตอร์เมื่อ มอเตอร์ดังกล่าวมีค่ากระแสลัดวงจรน้อยกว่า 1% ของกระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นที่ตำแหน่งเกิดลัดวงจรโดยไม่มีผลของมอเตอร์

โดย 1.  $Z_{kM}, Z_{kG}$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลที่จุดเกิดการลัดวงจร โดยรวมค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับ

$$2. \chi_M \approx 1.02 + 0.98e^{-3R_{kM}/X_{kM}}$$

$$3. \chi_G \approx 1.02 + 0.98e^{-3R_{kG}/X_{kG}}$$

4.  $\mu$  จะขึ้นกับค่า Minimum Time Delay ( $t_{\min}$ ) และอัตราส่วนของกระแสลัดวงจรจากอุปกรณ์จักรกลหมุนต่อค่ากระแสลัดวงจรของอุปกรณ์จักรกลหมุนนั้น เช่น ในกรณีของมอเตอร์คือ  $I''_{kM}/I_{rM}$  ซึ่งความสัมพันธ์ของค่า  $\mu$  มีดังนี้

$$\mu = 0.84 + 0.26e^{-0.26I''_{kM}/I_{rM}} \text{ เมื่อ } t_{\min} = 0.02s$$

$$\mu = 0.71 + 0.51e^{-0.30I''_{kM}/I_{rM}} \text{ เมื่อ } t_{\min} = 0.05s$$

$$\mu = 0.62 + 0.72e^{-0.32I''_{kM}/I_{rM}} \text{ เมื่อ } t_{\min} = 0.10s$$

$$\mu = 0.56 + 0.94e^{-0.38I''_{kM}/I_{rM}} \text{ เมื่อ } t_{\min} \geq 0.25s$$

5. ค่า  $q$  จะขึ้นกับค่า Minimum Time Delay ( $t_{\min}$ ) และค่า  $m$  คือค่ากำลังใช้งานพิกัดของมอเตอร์ (MW) ต่อคู่ของขั้ว ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

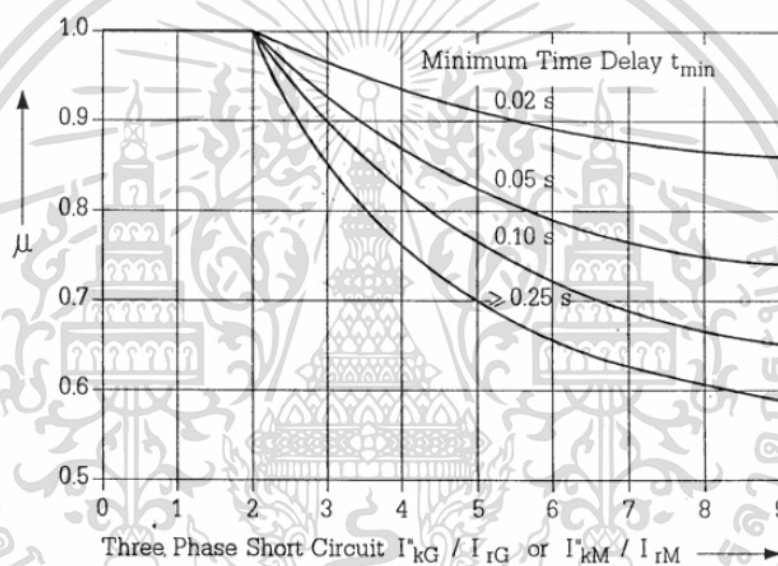
$$q = 1.03 + 0.12 \ln m \quad \text{เมื่อ } t_{\min} = 0.02s$$

$$q = 0.79 + 0.12 \ln m \quad \text{เมื่อ } t_{\min} = 0.05s$$

$$q = 0.57 + 0.12 \ln m \quad \text{เมื่อ } t_{\min} = 0.10s$$

$$q = 0.26 + 0.12 \ln m \quad \text{เมื่อ } t_{\min} \geq 0.25s$$

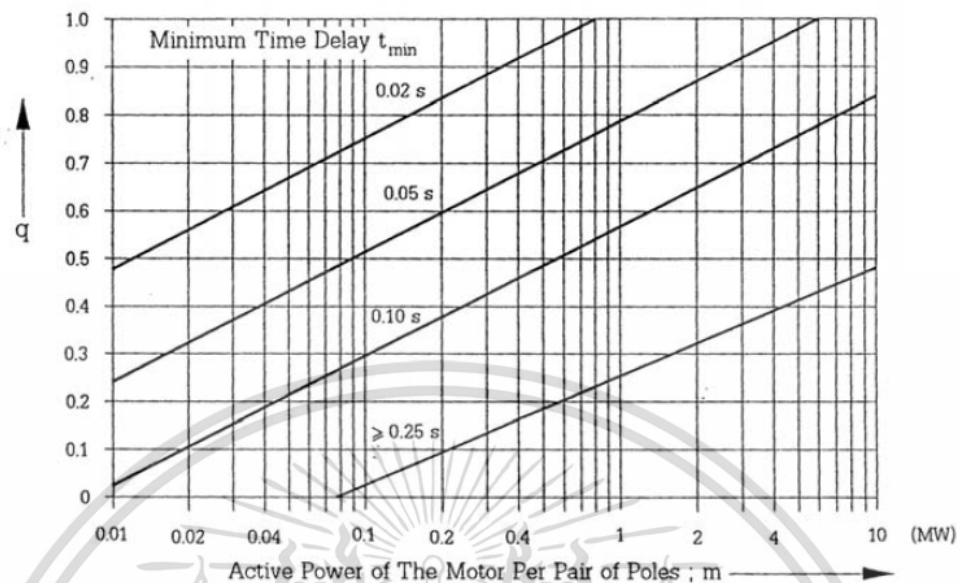
และถ้าค่า  $t_{\min}$  ที่พิจารณาไม่ตรงกับข้อกำหนดความสัมพันธ์ข้างต้น ให้ทำการประมาณระหว่างความสัมพันธ์ที่  $t_{\min}$  อยู่ระหว่างข้อกำหนดนั้น หรือการประมาณค่า (Interpolation) ระหว่างความสัมพันธ์ที่  $t_{\min}$  อยู่ระหว่างข้อกำหนดนั้น และถ้าคำนวณได้ค่า  $q$  มากกว่า 1 ให้ใช้ค่า  $q=1$  แทน ค่า  $\mu$  และ ค่า  $q$  ได้กราฟรูปที่ 3.11 และ รูปที่ 3.12



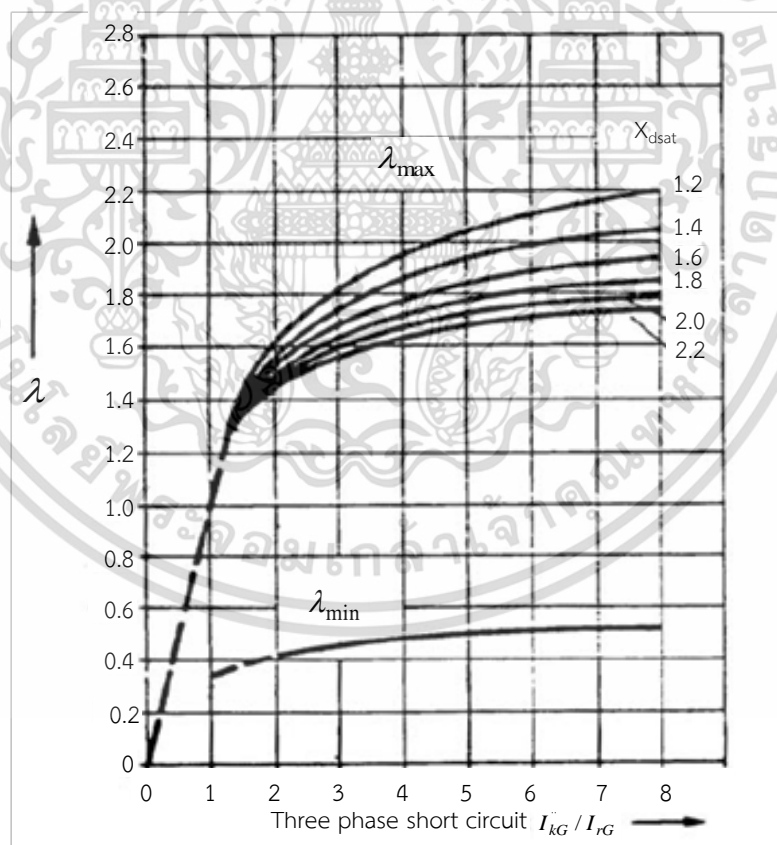
ภาพที่ 3.11 กราฟแสดงค่า  $\mu$  ต่อค่าอัตราส่วน  $I''_{kG} / I_{rG}$  หรือ  $I''_{kM} / I_{rM}$

ค่าตัวคูณ  $\lambda_{\max}$  และ  $\lambda_{\min}$  ที่ใช้สำหรับคำนวณค่ากระแสลัดวงจรอยู่ตัวที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 ถึงรูปที่ 3.16 ซึ่งแบ่งตามประเภทของค่าอิมพีแดนซ์อิมิตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรอยู่ตัวที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในความสัมพันธ์ (3.29) และ (3.30) นั้น ตามมาตรฐาน IEC 60909 กล่าวว่า ค่ากระแสลัดวงจรอยู่ตัวขึ้นอยู่กับผลของความอิมิตัวและวิธีการตัดต่อสวิตช์ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นการคำนวณที่ได้จะไม่แม่นยำเท่าการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น และความสัมพันธ์ (3.29) และ (3.30) นั้นเป็นการประมาณค่ากระแสลัดวงจรอยู่ตัวมากที่สุดและน้อยสุดที่เพียงพอ (Sufficient Estimate) ซึ่งมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์จักรกลเชิงโรนัส 1 ตัว



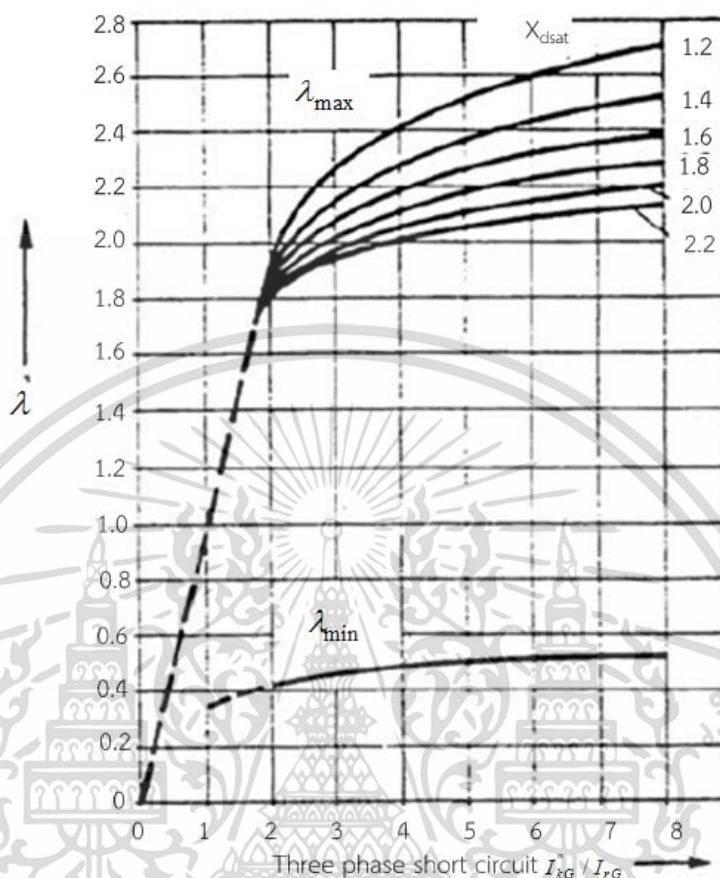
ภาพที่ 3.12 กราฟแสดงค่า  $q$  ต่อกำลังจริงของมอเตอร์หนึ่งขั้ว



ภาพที่ 3.13 กราฟแสดงค่า  $\lambda_{\max}$  และ  $\lambda_{\min}$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใบพัด (Turbine Generator) ซึ่งมีค่าแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 1.3 เท่าของค่าพิกัดที่โหลดพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) พิกัด

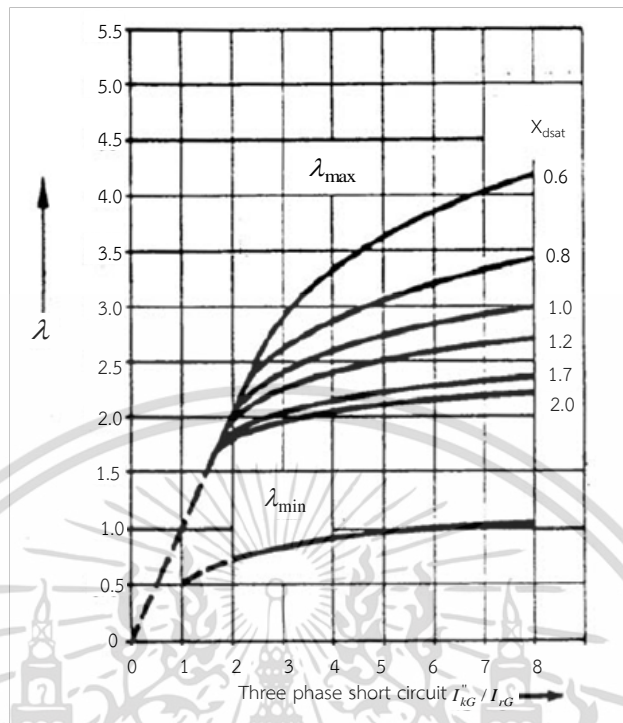


ภาพที่ 3.14 กราฟแสดงค่า  $\lambda_{max}$  และ  $\lambda_{min}$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใบพัด (Turbine Generator) ซึ่งมีค่าแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 1.3 เท่าของค่าพิกัดที่โหลดพิกัด และที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) พิกัด

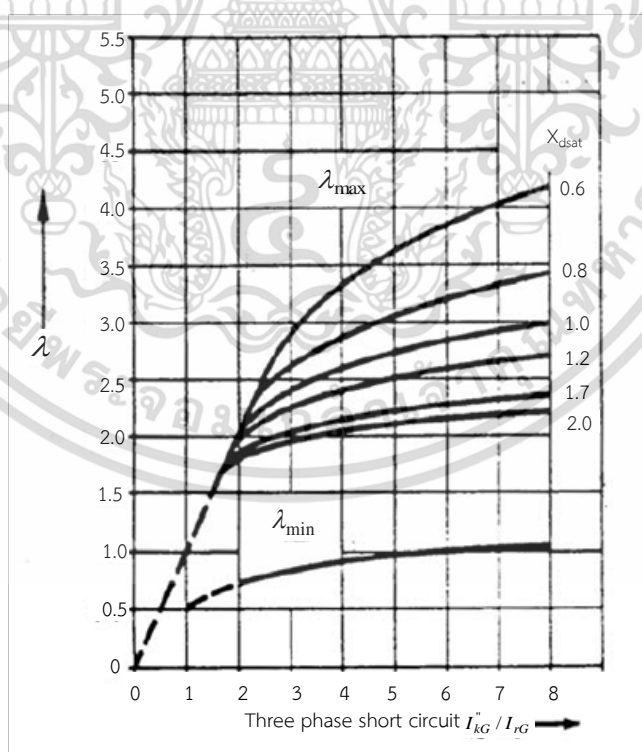
#### 3.4.7.2 การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน (Single Line to Ground Short Circuit)

การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดินเป็นการลัดวงจรที่เกิดบ่อยที่สุด และค่ากระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบนี้มีช่วงกว้างมาก ซึ่งในบางกรณีมีค่าสูงกว่าการลัดวงจรแบบสามเฟสสมดุล

ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดินเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทการลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (กระแสลัดวงจรที่มาจากระบบไฟฟ้า) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.15 กราฟแสดงค่า  $\lambda_{\max}$  และ  $\lambda_{\min}$  ของเครื่องจักรกลแบบขั้วยื่น (Salient Pole) ซึ่งมีแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 1.6 เท่าของพิกัด



ภาพที่ 3.16 กราฟแสดงค่า  $\lambda_{\max}$  และ  $\lambda_{\min}$  ของเครื่องจักรกลแบบขั้วยื่น (Salient Pole) ซึ่งมีแรงดันกระตุ้น (Excitation Voltage) สูงสุดได้เท่ากับ 2.0 เท่าของพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดินเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชนิดกระแสลัดวงจร	ลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$I''_{k1}$	$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{ Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)} } = \frac{\sqrt{3}cU_n}{ 2Z_{k(1)} + Z_{k(0)} }$
$i_{p1}$	$i_{p1} = \chi\sqrt{2}I''_{k1}$
$I_{b1}$	$I_{b1} = I''_{k1}$
$I_{k1}$	$I_{k1} = I_{b1} = I''_{k1}$
$i_{DC1}$	$i_{DC1} = \sqrt{2}I''_{k1}e^{-2\pi f t} \frac{R_k}{X_k}$

โดย  $Z_{k(1)}$ ,  $Z_{k(2)}$  และ  $Z_{k(0)}$  คืออิมพีแดนซ์สมมูลองค์ประกอบลำดับบวก ลบ ศูนย์ ณ ตำแหน่งเกิดลัดวงจร ตามลำดับ

สำหรับกรณีของการลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์ในการคำนวณชนิดของกระแสลัดวงจรที่มาจากผลของเครื่องจักรกลหมุนดังตารางที่ 3.4 คล้ายกัน แตกต่างเพียงแต่เปลี่ยนตัวแปรจากกระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นของการลัดวงจรแบบสามเฟส ( $I''_{k3}$ ) เป็นความสัมพันธ์กระแสลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้นของการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน ( $I''_{k1}$ ) เท่านั้น

### 3.4.7.3 การลัดวงจรแบบระหว่างเฟสลงดิน (Phase to Phase to Ground Short Circuit)

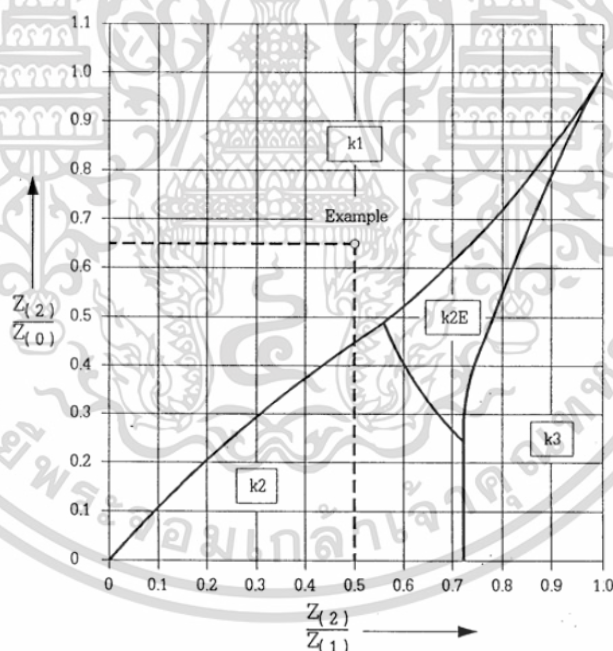
การลัดวงจรแบบนี้ จะมีค่าอยู่ระหว่างการลัดวงจรแบบสามเฟสสมมูล และการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน แต่โดยทั่วไปแล้วการลัดวงจรแบบนี้จะไม่เกิดในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบระหว่างเฟสลงดินเมื่อพิจารณาการลัดวงจรประเภทการลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (กระแสลัดวงจรที่มาจากระบบไฟฟ้า) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5 และการลัดวงจรประเภทไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายกพิจารณาเหมือนกับรูปแบบการลัดวงจรอื่น ๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

จากรูปแบบการลัดวงจรต่าง ๆ ข้างต้นนั้น การพิจารณาว่าการลัดวงจรแบบใดจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรมากที่สุดดูนั้น ในมาตรฐาน IEC60909 ได้แสดงกราฟในการพิจารณาเรื่องดังกล่าวตามรูปที่ 3.17 ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้เช่น ถ้า  $\frac{Z_{(2)}}{Z_{(1)}}$  เท่ากับ 0.5 และ  $\frac{Z_{(2)}}{Z_{(1)}}$  เท่ากับ 0.65 จะเห็นว่ากรลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรมากที่สุด

ตารางที่ 3.5 ความสัมพันธ์ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรระหว่างเฟสลงดิน

ชนิดกระแสลัดวงจร	ลัดวงจรไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$I''_{k2E}$ (ไหลในเฟส)	$I''_{k2E} = cU_n \frac{ 1 + a^2 + Z_{k(0)} / Z_{k(1)} }{ Z_{k(1)} + 2Z_{k(0)} }$
$I''_{kE2E}$ (ไหลลงดิน)	$I''_{kE2E} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{ Z_{k(1)} + 2Z_{k(0)} }$
$i_{p2E}$	$i_{p2E} = \chi\sqrt{2}I''_{k2E}$
$I_{b2E}$	$I_{b2E} = I''_{k2E}$
$I_{k2E}$	$I_{k2E} = I_{b2E} = I''_{k2E}$
$i_{DC}$	$i_{DC} = \sqrt{2}I''_{k1} e^{-2\pi f t \frac{R_k}{X_k}}$



ภาพที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสลัดวงจรสูงสุดกับค่าองค์ประกอบลำดับต่าง ๆ

#### 3.4.7.4 การคำนวณกระแสลัดวงจรอสมมาตร (Asymmetrical Short Circuit Current)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น กระแสลัดวงจรประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง และองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในหัวข้อที่ผ่านมาค่ากระแสลัดวงจรที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ข้างต้นนั้น จะคิดเฉพาะส่วนขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะเป็นกระแสลัดวงจรสมมาตร (Symmetrical Short Circuit Current) แต่ในการใช้งานบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงผลขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงด้วย เช่น ในกรณีคำนวณกระแสลัดวงจรอสมมาตร (Asymmetrical Short Circuit Breaking Current) เพื่อใช้พิจารณาเลือกพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง ดังนั้นเพื่อพิจารณาผลขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงแล้วค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะเป็นกระแสลัดวงจรอสมมาตร

ค่ากระแสลัดวงจรอสมมาตรสามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์

$$\%i_{dc} = \frac{i_{dc}}{I_{AC}} \times 100\% = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{sym} \cdot e^{\frac{-2\pi f t R}{X}}}{\sqrt{2} \cdot I_{sym}} \times 100\% = e^{\frac{-2\pi f t R}{X}} \times 100\% \quad (3.25)$$

$$I_{asym} = I_{sym} \sqrt{1 + 2 \left( \frac{\%i_{dc}}{100} \right)^2} \quad (3.26)$$

โดย  $I_{asym}$  คือ ค่ากระแสลัดวงจรอสมมาตร RMS

$I_{sym}$  คือ ค่ากระแสลัดวงจรสมมาตร RMS

$I_{AC}$  คือ ค่าองค์ประกอบไฟสลับ

$\%i_{dc}$  คือ เปอร์เซนต์ขององค์ประกอบไฟตรงเทียบกับองค์ประกอบไฟสลับ

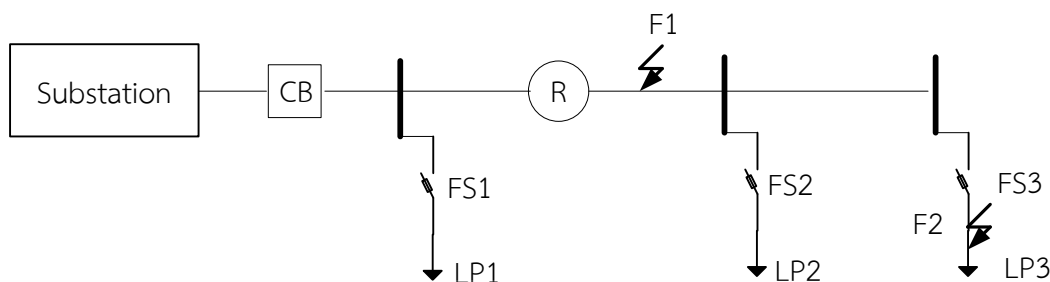
มาตรฐาน IEC60909 ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ของกระแสลัดวงจรในรูปของฟังก์ชันเวลา แต่ในกรณีที่ต้องการพิจารณากระแสลัดวงจรจากอุปกรณ์จักรกลโดยละเอียดแล้วสามารถพิจารณาได้ตามความสัมพันธ์ที่ดังนี้

$$i(t) = E\sqrt{2} \left[ \left( \frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d} \right) e^{\frac{-t}{T_d}} + \left( \frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{\frac{-t}{T_d}} + \frac{1}{X_d} \right] \sin(\omega t) - \frac{E\sqrt{2}}{X_d''} e^{\frac{-t}{T_d}} \quad (3.27)$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่มาจากอุปกรณ์จักรกลที่เวลาใด ๆ ได้

### 3.5 การออกแบบระบบป้องกัน

การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลโดยพื้นฐานแล้วจะประกอบไปด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สถานีไฟฟ้า และรีโคลสเซอร์ติดตั้งที่กลางสายป้อนหรือสายป้อนย่อยที่มีความยาวมาก จากนั้นจะติดตั้งดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์เพื่อป้องกันสายย่อยในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แสดงได้ดังภาพที่



ภาพที่ 3.18 อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

พิจารณาภาพที่ 3.18 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ป้องกันหลัก 3 ชนิด คือติดตั้ง เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางสถานีไฟฟ้า ทำหน้าที่ป้องกันสายป้อนหลักในส่วนต้นทาง และทำหน้าที่สำรอง การทำงานของรีโกลสเซอร์และดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ รีโกลสเซอร์จะติดตั้งอยู่ตรงกลางทางสายป้อน หลักทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของสายป้อนหลักและแยกความผิดปกติของแบบชั่วคราว หรือถาวรออก จากระบบจำหน่ายไฟฟ้า และยังทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรองของดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ ส่วน ดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ติดตั้งที่สายป้อนย่อย ทำหน้าที่ป้องกันโหลดในกิ่งย่อยของระบบ

ในกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นที่ตำแหน่ง F1 รีโกลสเซอร์จะทำงานเปิดวงจรครั้งแรกด้วยการ ทำงานแบบเร็ว (Fast Curve) และจะต่อวงจรกลับสู่สภาวะปกติ ถ้าความผิดปกติที่เกิดขึ้นถูกกำจัดออก จากระบบก่อนที่รีโกลสเซอร์จะปิดวงจร จะทำให้จุดโหลด LP2 และ LP3 เกิดไฟฟ้าดับแบบชั่วคราว แต่ ถ้าความผิดปกติที่เกิดขึ้นยังคงอยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รีโกลสเซอร์จะทำการเปิดวงจรอีกครั้งด้วยการ ทำงานแบบช้า (Slow Curve) จะทำให้จุดโหลด LP2 และ LP3 เกิดไฟฟ้าดับแบบถาวร และเมื่อหลังจาก ที่เราแก้ไขความผิดปกติได้แล้ว จึงจะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กลับจุดโหลด LP2 และ LP3 ได้

นอกจากนี้หากเกิดความผิดปกติขึ้นที่ตำแหน่ง F2 รีโกลสเซอร์จะเปิดวงจรครั้งแรกด้วยการทำงาน แบบเร็ว (Fast Curve) และจะปิดวงจรกลับสู่สภาวะปกติ ถ้าความผิดปกติที่เกิดขึ้นถูกกำจัดออกจาก ระบบจำหน่ายไฟฟ้าก่อนที่รีโกลสเซอร์จะปิดวงจร จะทำให้จุดโหลด LP2 และ LP3 เกิดไฟฟ้าดับแบบ ชั่วคราว แต่ถ้าความผิดปกติยังคงอยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดรอปเอาต์ฟิวส์คัทเอาต์ FS2 จะทำงาน และทำให้จุดโหลด LP2 เกิดเหตุการณ์ไฟดับขึ้น

การป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น นอกจากจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายแล้วยังต้อง มีการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายให้มีความสอดคล้องกันด้วย ระบบป้องกัน จึงจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันจะเป็นการจัดลำดับการป้องกันโดยให้อุปกรณ์ที่อยู่ ใกล้ความผิดปกติทำงานก่อน และอุปกรณ์ที่อยู่ถัดมาทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง (Backup) ใน กรณีที่อุปกรณ์ที่อยู่ใกล้ความผิดปกติไม่ทำงานอุปกรณ์ป้องกันที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง จะต้องทำงานตัดความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้าแทน โดยเงื่อนไขที่ใช้จัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ จะพิจารณา ดังนี้

### 3.5.1 การจัดลำดับความสัมพันธ์โดยใช้กระแส

การจัดลำดับความสัมพันธ์โดยใช้กระแสผิตพรอง อาศัยหลักการที่ว่ากระแสผิตพรองจะแปรตามตำแหน่งที่เกิดความผิตพรอง ซึ่งเป็นการแปรผันตามอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สายเคเบิล สายส่ง และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น อุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดจะถูกปรับตั้งให้ทำงานที่ค่าเหมาะสม โดยอุปกรณ์ป้องกันตัวที่อยู่ใกล้กับจุดที่เกิดความผิตพรองมากที่สุดจะทำงานก่อน

### 3.5.2 การจัดความสัมพันธ์โดยใช้เวลา

การจัดความสัมพันธ์โดยใช้เวลา อาศัยหลักการที่ว่า รีเลย์ควบคุมอุปกรณ์ป้องกันอื่น ๆ แต่ละตัวจะถูกตั้งค่าหน่วงเวลา (Time Delay) ไว้คงที่ อุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ไกลจากแหล่งจ่ายมากที่สุดมีค่าหน่วงเวลาสั้นที่สุด เวลาในการทำงานไม่ขึ้นกับระดับของกระแสผิตพรอง ข้อเสียวิธีนี้คือ อุปกรณ์ตัวที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายซึ่งเป็นจุดที่มีระดับกระแสผิตพรองสูง จะมีค่าหน่วงเวลายาวนานเมื่อเกิดความผิตพรองใกล้แหล่งจ่าย กระแสผิตพรองอาจคงอยู่นานเกินไป ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต้นทางได้

### 3.5.3 การจัดความสัมพันธ์โดยใช้ทั้งกระแสและเวลา

เนื่องจากจัดความสัมพันธ์ของการป้องกันโดยใช้กระแสผิตพรอง หรือใช้เวลาอย่างเดียว มีข้อจำกัดจึงมีการพัฒนาลักษณะสมบัติของกระแสเกินผิตพรองกับเวลา (Inverse Time Overcurrent Characteristic) และได้พัฒนาต่อมาเป็น Inverse Definite Minimum Time Characteristic (IDMT) โดยที่ลักษณะของเวลาการทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแสที่ใช้ คือกระแสยิ่งมากเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ยิ่งสั้น

ดังนั้นในการออกแบบระบบป้องกันในระบบทดสอบ จึงได้เลือกใช้การจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์โดยใช้ทั้งแบบกระแสและเวลา เนื่องจากต้องการให้ระบบป้องกันมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และลดข้อผิตพลาดที่กล่าวไว้ข้างต้นอาจเกิดขึ้น อีกทั้งในการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสผิตพรองจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DG) เข้ามา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตรงกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

## 3.6 คุณสมบัติของระบบป้องกัน

คุณสมบัติที่จำเป็นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการป้องกันอย่างสูงสุด ถูกต้อง และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นระบบป้องกันควรมีลักษณะดังนี้

**Reliability** หมายถึง ความเชื่อถือได้ในความแน่นอนของอุปกรณ์ป้องกันในขณะทำงานว่าจะสามารถทำงานได้

**Dependability** หมายถึง การที่ระบบป้องกันตั้งทำงานถูกต้องทุกครั้งที่เกิดความผิตพรอง และจะต้องทำงานถูกต้องสำหรับความผิตพรองทุกแบบด้วย อีกทั้งต้องทำงานได้ขณะที่ต้องการให้ทำงาน เช่น อาจต้องทำงานซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้งในช่วงเวลาสั้น ๆ หรืออาจต้องทำงานแม้จะไม่ได้ทำงานมาเป็นระยะเวลาเวลานานก็ตาม

Security หมายถึง ระบบป้องกันต้องไม่ทำงานเมื่อไม่ต้องการให้ทำงาน เช่น จะต้องไม่ทำงานในสภาวะโหลตปกติ หรือเกิดสภาวะทรานเซียนส์ชั่วขณะ หรือเมื่อเกิดความผิดปกติของนอกเขตการป้องกัน ซึ่งการตัดวงจรโดยไม่จำเป็นจะส่งผลเสียหายทางเศรษฐกิจ

Selectivity หมายถึง Security ที่จำกัดพื้นที่ให้อยู่ในขอบเขตจำกัดหรือไม่จำกัดในระบบไฟฟ้า ซึ่งในเขตนี้เรียกว่าเขตการป้องกัน (Zone of Protection) ซึ่งจะเป็นแบบจำกัด (Close) หรือไม่จำกัด (Open) ก็ได้ หรือกล่าวได้ว่า Selectivity ก็คือการที่ใช้อุปกรณ์ป้องกันทำงานภายในเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งโดยมากขอบเขตการป้องกันนี้จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งขอบเขตการป้องกันนี้จะถูกกำหนดโดยหม้อแปลงกระแสตนเอง

Speed ระบบป้องกันจะต้องสามารถตัดวงจรได้รวดเร็วพอที่จะให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบยังไม่เสียหายซึ่งโดยทั่วไปแล้วยังทำงานเร็วเท่าไร อุปกรณ์ก็จะได้รับความปลอดภัยมากขึ้น แต่ในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์หลายตัวจะต้องมีการหน่วงเวลาบ้างพอสมควร แต่ทั้งนี้ก็ไม่ควรช้าจนทำให้อุปกรณ์เสียหาย

### 3.7 การแบ่งส่วนของระบบป้องกัน

ระบบป้องกันแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ 1.การป้องกันปฐมภูมิ และ 2.การป้องกันทุติยภูมิ

1.การป้องกันปฐมภูมิ (Primary Protection) หมายถึง การป้องกันลำดับแรกซึ่งอุปกรณ์ป้องกันในเขตป้องกันต้องทำหน้าที่แยกส่วนของวงจรที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบการทำงานปฐมภูมิจะต้องทำงานเร็วที่สุด และแยกส่วนวงจรให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดความเสียหายกับระบบโดยรวมน้อยที่สุด

2.การป้องกันทุติยภูมิ (Backup Protection) หมายถึงการใช้ระบบป้องกันอีกชุดหนึ่งที่มีเวลาในการทำงานช้ากว่าระบบปฐมภูมิ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันวงจรในกรณีที่การทำงานของชุดปฐมภูมิไม่ทำงาน ซึ่งต้องแยกส่วนของวงจรรอกมากกว่าระบบป้องกันปฐมภูมิในการจำกัดความผิดปกติ การป้องกันปฐมภูมิแบ่งได้ 2 แบบคือ

Local Backup Protection คือระบบป้องกันที่ติดตั้งบริเวณเดียวกับระบบปฐมภูมิ จึงอาจใช้อุปกรณ์หลายอย่างร่วมกับชุดของระบบป้องกันปฐมภูมิเช่น หม้อแปลงกระแส แบตเตอรี่ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น ดังนั้นอาจเกิดการดำเนินงานผิดพลาดของอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุดได้ ถ้าอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันเสียหาย

Remote Backup Protection คือระบบป้องกันที่ติดตั้งห่างไกลจากอุปกรณ์ป้องกันของระบบปฐมภูมิ ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ จะแยกการใช้งานกัน

### 3.8 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (1kV ถึง 35kV) ที่พิจารณาได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง ฟิวส์แรงดันปานกลาง รวมไปถึงรีเลย์ โดยคุณลักษณะและข้อพิจารณาในการเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้

### 3.8.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breaker)

คุณสมบัติการทำงานโดยทั่วไปของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง คล้ายกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ แตกต่างที่ระดับแรงดันใช้งานและข้อกำหนดในการเลือกค่าพิกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งมาตรฐานที่ใช้พิจารณาเกี่ยวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลางคือ IEC 56

#### 3.8.1.1 คุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง

โดยทั่วไป คุณสมบัติการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลางจะถูกควบคุมการทำงานโดย หน่วยควบคุมการทำงาน ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. หน่วยการทำงานตัดวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ หน่วยการทำงานตัดวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ในที่นี้จะเหมือนกับหน่วยการทำงานตัดวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ ดังนั้นจึงใช้รายละเอียดดั่งข้างต้น

2. รีเลย์ คือ อุปกรณ์ป้องกันที่ตรวจสอบความผิดปกติของระบบไฟฟ้าซึ่งรวมไปถึงกระแสลัดวงจร โดยรับสัญญาณจากหม้อแปลงกระแส และ/หรือ หม้อแปลงแรงดัน หรือรับจากตัวตรวจจับ (Sensor) อื่นๆ เพื่อตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นเมื่อค่าผิดปกติถึงระดับที่ปรับตั้งไว้ รีเลย์จะทำการสั่งให้อุปกรณ์ตัดวงจร คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำการตัดส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้า

รีเลย์ที่ใช้ในระบบป้องกันนั้นมีหลายประเภท บางชนิดไม่ต้องทำการจัดลำดับการทำงานกับอุปกรณ์ป้องกันตัวอื่น เช่น รีเลย์แบบผลต่าง (Differential Relay: 87) หรือรีเลย์ความดัน (Pressure Relay: 63) ซึ่งใช้ตรวจจับความผิดปกติภายในตัวหม้อแปลงน้ำมัน เป็นต้น แต่บางชนิดต้องใช้กระแสลัดวงจรเป็นข้อมูลพิจารณาค่าปรับตั้ง เช่น รีเลย์กระแสเกินแบบทำงานทันที (50) หรือแบบหน่วงเวลา (51)

#### 3.8.1.2 การเลือกค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง

ค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง ที่ต้องพิจารณาโดยใช้ข้อมูลกระแสลัดวงจร อ้างอิงมาจากมาตรฐาน IEC 56 โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณา 2 ค่าคือ พิกัดกระแสตัดวงจรและพิกัดกระแสปิดวงจร

- พิกัดกระแสตัดวงจร ( $I_b$ ) คือ ค่าความสามารถในการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ค่าพิกัดนี้โดยทั่วไปแสดงในรูปของกระแสสมมาตร (Symmetrical Current) ซึ่งจากภาพที่ 3.8 แสดงรูปคลื่นกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ทำการเปิดวงจรที่ตำแหน่ง EE' ซึ่งที่ตำแหน่งดังกล่าว กระแสลัดวงจรจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ

1. ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) ขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับของกระแสตัดวงจร ( $I_b$ )

2. ค่าเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง (%  $i_{dc}$ ) เทียบกับกระแสลัดวงจรในส่วนขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสสลับ ณ ขณะกำลังแยกหน้าสัมผัส ซึ่งต้องสอดคล้องกับเวลาในการเปิดวงจรจากรูปที่ 3.9 อธิบายได้ว่า ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลางมีเวลาในการเปิดวงจรต่ำสุดเท่ากับ 40 มิลลิวินาที ค่าเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง (%  $i_{dc}$ ) ที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ดังกล่าวต้องสามารถรับได้จะเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างในการพิจารณาเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง สามารถยกตัวอย่างได้ เช่น ค่ากระแสตัดวงจร ( $I_b$ ) ที่คำนวณได้เท่ากับ 27 kA และค่า %  $i_{dc}$  (จากความสัมพันธ์ที่ 3.25) ที่คำนวณได้เท่ากับ 65% ดังนั้นกระแสตัดวงจรแบบอสมมาตร (Asymmetrical breaking current) จะเท่ากับ  $27kA\sqrt{1 + 2(0.65)^2} = 36.7$  kA และถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์มีเวลาในการตัดวงจรต่ำสุดเท่ากับ 50 มิลลิวินาทีแล้ว จะได้ว่าค่า %  $i_{dc}$  ที่กำหนดจะเท่ากับ 30% ดังนั้นค่าพิกัดการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะพิจารณาได้ว่า

$$I_{asym} = I_{sym}\sqrt{1 + 2\left(\frac{\%dc}{100}\right)^2} \quad (3.28)$$

$$I_{sym} = \frac{I_{asym}}{\sqrt{1 + 2\left(\frac{\%dc}{100}\right)^2}} \quad (3.29)$$

ดังนั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ในกรณีนี้ต้องมีค่าพิกัดตัดวงจร (ค่าพิกัดของอุปกรณ์ที่บริษัทกำหนดมาจะอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยกำลังสอง ดังนั้นจึงต้องแปลงจากกระแสตัดวงจรอสมมาตร มาเป็นกระแสตัดวงจรสมมาตร) มากกว่าหรือเท่ากับ 33.8 kA ซึ่งค่าพิกัดที่ใกล้เคียงที่สุดเท่ากับ 40 kA

- พิกัดกระแสปิดวงจร ( $I_{MC}$ ) คือ พิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทำการปิดวงจรได้ ซึ่งในมาตรฐาน [7] ได้กล่าวว่ามีค่า 2.5 เท่าของค่า RMS ขององค์ประกอบไฟสลับของพิกัดกระแสตัดวงจร ( $I_b$ ) หรืออาจพิจารณาให้เท่ากับกระแสคายอด ( $i_p$ ) ก็ได้

ดังนั้น ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง จึงมีข้อมูลกระแสลัดวงจรในการเลือกค่าพิกัดดังแสดงได้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลกระแสลัดวงจรเพื่อการเลือกค่าพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง

กระแสลัดวงจรเพื่อการเลือกค่าพิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง			
ค่าพิกัดการตัดกระแสลัดวงจร ( $I_b$ )		ค่าพิกัดกระแสปิดวงจร ( $I_{MC}$ )	
กระแสลัดวงจรสูงสุด	กระแสลัดวงจรต่ำสุด	กระแสลัดวงจรสูงสุด	กระแสลัดวงจรต่ำสุด
$I_b, i_{dc}$	-	$i_p$	-

### 3.8.2 ฟิวส์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Fuses)

ฟิวส์แรงดันปานกลางมีคุณสมบัติคล้ายฟิวส์แรงดันต่ำ ต่างแต่เพียงระดับแรงดันใช้งาน ซึ่งฟิวส์แรงดันปานกลางมีพิกัดแรงดันในช่วง 1 kV ถึง 35 kV คุณสมบัติการทำงานของฟิวส์แรงดันปานกลางเหมือนกับฟิวส์แรงดันต่ำที่ได้อธิบายในหัวข้อข้างต้น

#### 3.8.2.1 การเลือกค่าพิกัดของฟิวส์แรงดันปานกลาง

ค่าพิกัดของฟิวส์แรงดันปานกลางจะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 282-1 [17] ซึ่งค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูลกระแสลัดวงจรพิจารณามีดังนี้

3.8.2.1.1 พิกัดกระแสตัดวงจร ( $I_b$ ) คือ ค่ากระแสตัดวงจรซึ่งฟิวส์สามารถทำการตัดวงจรได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นชนิดของกระแสตัดวงจรที่ใช้พิจารณาควรเป็นค่ากระแสตัดวงจรที่คำนวณได้ โดยข้อมูลกระแสตัดวงจรที่ใช้พิจารณาเลือกฟิวส์แรงดันปานกลางแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลกระแสตัดวงจรเพื่อการเลือกค่าพิกัดฟิวส์แรงดันปานกลาง

กระแสตัดวงจรเพื่อการเลือกค่าพิกัดฟิวส์แรงดันปานกลาง			
ค่าพิกัดการตัดกระแสตัดวงจร ( $I_b$ )		ค่าพิกัดกระแสปิดวงจร	
กระแสตัดวงจรสูงสุด	กระแสตัดวงจรต่ำสุด	กระแสตัดวงจรสูงสุด	กระแสตัดวงจรต่ำสุด
$I_b$	-	-	-

จากรายละเอียดการเลือกค่าพิกัดต่างๆ ข้างต้น สามารถสรุปถึงชนิดของกระแสตัดวงจรที่ต้องคำนวณเพื่อใช้เลือกค่าพิกัดได้ดังตารางที่ 3.8 ดังนั้นในการเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน จึงควรคำนวณกระแสตัดวงจรตั้งข้อกำหนดในตารางดังกล่าว รวมถึงต้องหาค่ากระแสตัดวงจร ณ ตำแหน่งที่อุปกรณ์นั้นติดตั้ง

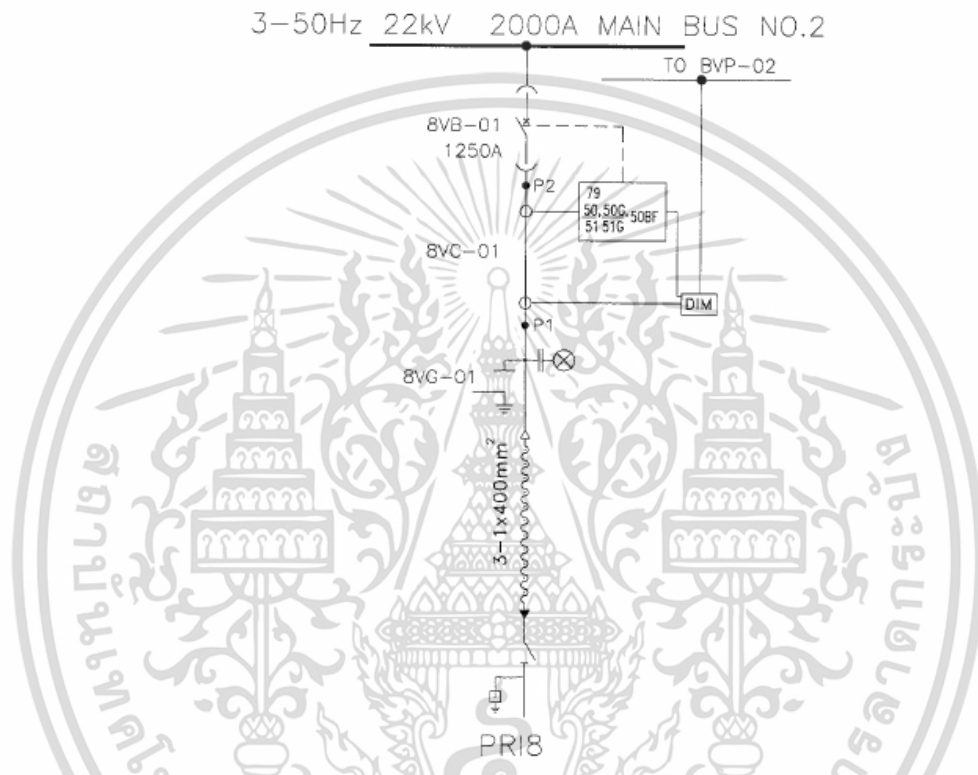
ตารางที่ 3.8 สรุปข้อมูลกระแสตัดวงจรเพื่อใช้พิจารณาค่าพิกัดอุปกรณ์ป้องกัน

อุปกรณ์ป้องกัน	ค่าพิกัดอุปกรณ์ป้องกันที่พิจารณา			
	ค่าพิกัดกระแสตัดวงจร		ค่าพิกัดกระแสปิดวงจร	
	กระแสตัดวงจรสูงสุด	กระแสตัดวงจรต่ำสุด	กระแสตัดวงจรสูงสุด	กระแสตัดวงจรต่ำสุด
แรงดันไฟฟ้าต่ำ (น้อยกว่า 1 kV)				
- เซอร์กิตเบรกเกอร์	$I_b$	-	$I_p$	-
- ฟิวส์	$I_b$	-	-	-
แรงดันไฟฟ้าปานกลาง (1kV ถึง 35 kV)				
- เซอร์กิตเบรกเกอร์	$I_b, I_{dc}$	-	$I_p$	-
- ฟิวส์	$I_b$	-	-	-

## บทที่ 4

# การกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของระบบไฟฟ้า

### 4.1 อุปกรณ์ป้องกันในสถานีไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง [15]



ภาพที่ 4.1 วันไลน์ไดอะแกรมของอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่าย 22 เควี. ที่สถานีไฟฟ้า

#### 4.1.1 รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay)

ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสเกินค่าที่กำหนด ซึ่งเกิดขึ้นในส่วนที่ต้องการป้องกัน และสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานดังนี้

1 รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (Instantaneous Overcurrent Relay) รีเลย์จะทำงานทันทีเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรีเลย์เท่ากับ หรือสูงกว่ากระแสเริ่มทำงาน (Pick up)

2 รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาตายตัว (Definite time Overcurrent Relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานในช่วงเวลาที่ค่าหนึ่ง เมื่อกระแสที่ไหลผ่านรีเลย์มีค่าเท่ากับหรือเกินกว่ากระแสเริ่มทำงาน โดยรีเลย์จะทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด

3 รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผัน (Inverse time Overcurrent Relay) รีเลย์ชนิดนี้ เวลาที่ใช้ในการทำงานจะเป็นส่วนกลับกับค่ากระแสไฟฟ้า กล่าวคือ กระแสไฟฟ้ายิ่งสูงรีเลย์จะทำงานยิ่ง

เร็ว และถ้ากระแสไฟฟ้าต่ำรีเลย์จะใช้เวลาในการทำงานนาน การออกแบบรีเลย์ให้มีคุณสมบัติของเวลา ผกผันมีอยู่หลายชนิด เช่น เวลาผกผัน เวลาผกผันมาก เวลาผกผันมากที่สุด

#### 4.1.2 รีเลย์แรงดัน (Voltage Relay)

รีเลย์ชนิดนี้มีใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากจะใช้ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และกระแสรั่วลงดิน โครงสร้างของรีเลย์ตอบสนองแรงดันเหมือนกับรีเลย์กระแสเกิน จะแตกต่างกันที่มีขดลวดแรงดันรับสัญญาณจากหม้อแปลงแรงดัน (VT) คุณลักษณะของรีเลย์ชนิดเวลา ผกผันเหมือนรีเลย์กระแสเกินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

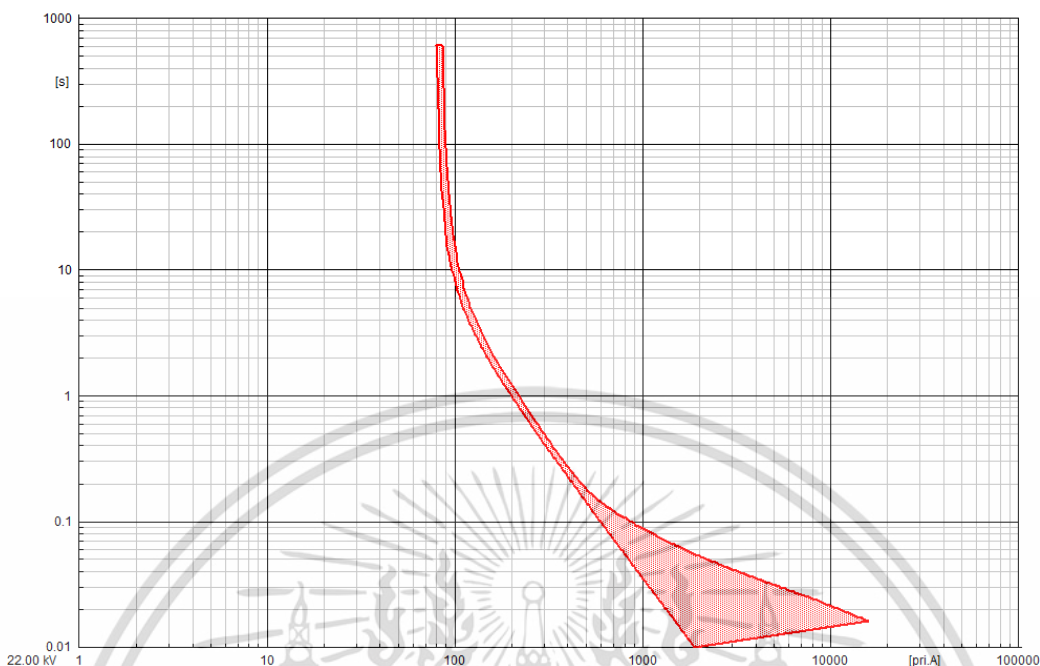
รีเลย์แรงดันต่ำเกิน (Undervoltage Relay) จะใช้สำหรับป้องกันมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์ กำลังรับโหลด มอเตอร์จะดึงกระแสจากระบบจ่ายไฟมากขึ้น ถ้าแรงดันของระบบตก รีเลย์แรงดันต่ำเกิน จะสั่งทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดมอเตอร์ออกจากระบบก่อนที่กระแสจะเพิ่มขึ้นมากจนถึงระดับที่ มอเตอร์เกิดความร้อนสูงจนทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหายได้ หากมอเตอร์ไฟฟ้าเริ่มทำงานในขณะที่เกิด แรงดันตก จะทำให้ช่วงเวลาเริ่มทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ายืดนานออกไป

รีเลย์แรงดันสูงเกิน (Overvoltage Relay) ใช้ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากสภาวะแรงดัน เกิน ที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอัตโนมัติขัดข้อง หรือหลุดออกไปจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การที่ แรงดันไฟฟ้าสูงเกินสภาวะปกติจะทำให้เกิดอันตรายต่อฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วย

#### 4.1.3 ฟิวส์แรงสูง

ฟิวส์แรงสูงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดที่ตัวฟิวส์อยู่ในกระบอกฟิวส์ ชนิดที่ตัวฟิวส์ไม่ได้อยู่ใน กระบอก และชนิดที่ฟิวส์อยู่ภายในสิ่งห่อหุ้ม ซึ่งการเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมบริเวณที่ ติดตั้งฟิวส์เป็นหลัก

ลักษณะการทำงานของฟิวส์แรงสูง เมื่อเกิดลัดวงจรตัวฟิวส์จะหลอมละลายและเกิดอาร์ก ความร้อนในรูปประกายไฟ หรือเปลวไฟ ความดันก๊าซที่เกิดขึ้นภายในกระบอกฟิวส์ หรือสิ่งห่อหุ้มตัวฟิวส์ ก็จะทำให้ตัวฟิวส์แตกออกพร้อมกับชิ้นส่วนของฟิวส์ที่ขาดออกจากกันที่อยู่ส่วนล่างให้ห่างออกจากกัน มากพอที่จะไม่เกิดอาร์กต่อไปได้ ส่วนก๊าซและความร้อนที่ถูกขับออกมาอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ และสายไฟฟ้านั้นเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการออกแบบติดตั้งฟิวส์แรงสูงจะต้องคำนึงถึง ลักษณะการทำงานของฟิวส์ด้วย สำหรับความสัมพันธ์ของเวลาและกระแสของฟิวส์แรงสูง จะอธิบายได้จาก เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกระแสไฟฟ้าของฟิวส์แรงสูง โดยวิทยานิพนธ์นี้จะขอกกล่าวถึง เฉพาะฟิวส์ชนิดการทำงานเร็ว ซึ่งมาตรฐาน NEMA กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ K โดยสามารถแสดงได้ตาม ภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 คุณลักษณะการทำงานของฟิวส์แบบ K

#### 4.2 การกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ.

กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ กฟภ. ได้กำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยใช้ข้อกำหนดดังนี้

##### 4.2.1 รีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่สถานีไฟฟ้า

การทำงานด้านเฟส (Phase Setting) กำหนดให้กระแสเริ่มทำงานด้านเฟส (Pick Up Current Setting) เท่ากับ 200% ของกระแสโหลด (8 MVA) หรือ ไม่เกิน 120% ของ Thermal limit Transmission line ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดไว้ที่ 420 A คุณลักษณะของกราฟให้เป็นแบบ Extremely Inverse ที่ค่า TMS เป็น 0.125 และต้องสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับ Up Stream Phase Overcurrent โดยมีค่าเผื่อเวลา (Time Margin) ไม่น้อยกว่า 0.4 วินาที

การทำงานด้านกราวด์ (Ground Setting) กำหนดให้กระแสเริ่มทำงานด้านเฟส (Pick Up Current Setting) เท่ากับ 25% ของกระแสโหลด (8 MVA) หรือ ไม่เกิน 30% ของ Thermal limit Transmission line ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดไว้ที่ 105 A คุณลักษณะของกราฟให้เป็นแบบ Extremely Inverse ที่ค่า TMS เป็น 1.0 และต้องสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับ Up Stream Ground Overcurrent โดยมีค่าเผื่อเวลา (Time Margin) ไม่น้อยกว่า 0.4 วินาที

##### 4.2.2 รีโคลสเซอร์

การทำงานด้านเฟส (Phase Setting) กำหนดให้กระแสเริ่มทำงานด้านเฟส (Pick Up Current Setting) เท่ากับ 200% ของกระแสโหลด คุณลักษณะการทำงานของเร็ว (Fast Curve) 101 และคุณลักษณะการทำงานช้า (Slow Curve) 116 โดยต้องสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับ Up Stream Phase Overcurrent โดยมีค่าเผื่อเวลา (Time Margin) ไม่น้อยกว่า 0.4 วินาที และฟิวส์แรงสูงโดยมีค่าเผื่อเวลาไม่น้อยกว่า 0.01 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานด้านกราวด์ (Ground Setting) กำหนดให้กระแสเริ่มทำงานด้านเฟส (Pick Up Current Setting) เท่ากับ 25% ของกระแสโหลด คุณลักษณะการทำงานของเร็ว (Fast Curve) 102 และคุณลักษณะการทำงานช้า (Slow Curve) 165 โดยต้องสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับ Up Stream Ground Overcurrent โดยมีค่าเผื่อเวลา (Time Margin) ไม่น้อยกว่า 0.4 วินาที และฟิวส์แรงสูงโดยมีค่าเผื่อเวลาไม่น้อยกว่า 0.01 วินาที

#### 4.3.3 ฟิวส์แรงสูง

ฟิวส์แรงสูงที่ กฟภ. ใช้งานจะเป็นฟิวส์แบบ K โดยมีขนาดที่นิยมใช้งานดังนี้ 6K, 10K, 15K, 25K, 40K และ 65K โดยค่าเผื่อเวลาสำหรับการทำงานระหว่างรีเลย์กับฟิวส์แรงสูงจะต้องไม่ต่ำกว่า 0.15 วินาที และค่าเผื่อเวลาสำหรับฟิวส์แรงสูงกับรีโคลสเซอร์จะต้องไม่ต่ำกว่า 0.01 วินาที



## บทที่ 5

### การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในลักษณะต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกัน โดยการจำลองเหตุการณ์ในสถานะจ่ายโหลดปกติ และในสถานะเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยใช้ โปรแกรม DiGSILENT Powerfactory เพื่อหาผลกระทบของระบบไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งต่าง ๆ กัน จำนวน 5 จุด

#### 5.1 ระบบทดสอบ

ระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษาคือเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ที่จำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ อ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี แสดงดังภาพที่ 5.1 โดยมีรีโวลเซอร์ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำนวน 1 เครื่อง และฟิวส์แรงสูง จำนวน 31 ชุด

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทดสอบ

ชนิดสาย	R0	X0	R1	X1	R2	X2
50SAC	1.019329	1.897538	0.8219353	0.3395188	0.8219353	0.3395188
50PIC	1.001667	1.670839	0.8219279	0.4553402	0.8219279	0.4553402
50ACSR	0.8219702	1.669577	0.6403365	0.4545099	0.6403365	0.4545099
185PIC	0.3913551	1.629687	0.2106576	0.4144061	0.2106576	0.4144061
185SAC	0.402942	1.857875	0.2106598	0.2985855	0.2106598	0.2985855

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ของ External grid ที่สถานีไฟฟ้าของระบบทดสอบ

Parameter	$I_k''$	R1/X1	Z2/Z1	X0/X1	R0/X0
Value	5.64	0.11	1.00	0.58	0.02

ตารางที่ 5.3 ปริมาณโหลดของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบทดสอบ

ตำแหน่ง	ปริมาณโหลด		อุปกรณ์ป้องกัน ต้นทาง	จำนวนผู้ใช้ ไฟฟ้า
	MVA	P.F		
รีเลย์	5.64	0.85	-	7028
รีโวลเซอร์	1.77	0.87	รีเลย์	2525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ปริมาณโหลด		อุปกรณ์ป้องกัน ต้นทาง	จำนวนผู้ใช้ ไฟฟ้า
	MVA	P.F		
1	0.10	0.86	รีเลย์	58
2	0.06	0.87	รีเลย์	21
3	0.34	0.88	รีเลย์	1109
4	0.14	0.88	รีเลย์	524
5	0.00	0.00	รีเลย์	0
6	0.64	0.79	รีเลย์	3
7	0.04	0.89	รีโคลสเซอร์	150
8	0.21	0.84	รีโคลสเซอร์	59
9	0.19	0.83	รีโคลสเซอร์	3
10	0.01	0.94	รีโคลสเซอร์	20
11	0.66	0.87	รีโคลสเซอร์	710
12	0.10	0.88	รีโคลสเซอร์	20
13	0.10	0.88	รีโคลสเซอร์	138
14	0.03	0.89	รีโคลสเซอร์	97
15	0.02	0.89	รีโคลสเซอร์	77
16	0.22	0.85	รีโคลสเซอร์	101
17	0.01	0.98	รีโคลสเซอร์	20
18	0.07	0.94	รีโคลสเซอร์	161
19	0.01	0.93	รีโคลสเซอร์	20
20	0.02	0.92	รีโคลสเซอร์	40
21	0.02	0.96	รีโคลสเซอร์	40
22	0.15	0.90	รีเลย์	181
23	0.01	0.97	รีเลย์	20
24	0.02	0.93	รีเลย์	40
25	0.10	0.88	รีเลย์	61
26	0.10	0.88	รีเลย์	41
27	0.54	0.85	รีเลย์	258
28	0.05	0.87	รีเลย์	190
29	0.15	0.87	รีเลย์	358
30	0.04	0.88	รีเลย์	150
31	0.03	0.87	รีเลย์	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ระยะห่างของอุปกรณ์ป้องกันจากสถานีไฟฟ้า

รหัสอุปกรณ์	ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า (km)	พิกัดพิวส์/ค่าการทำงาน
1	3.61	10K
2	3.76	10K
3	5.54	40K
4	10.86	25K
5	17.34	10K
6	5.71	25K
7	8.93	65K
8	10.73	65K
9	14.91	65K
10	15.77	40K
11	16.65	65K
12	19.30	40K
13	21.22	40K
14	22.10	40K
15	23.40	40K
16	25.00	40K
17	17.81	65K
18	20.02	65K
19	22.49	40K
20	24.06	40K
21	24.12	40K
22	4.42	65K
23	4.17	10K
24	8.72	10K
25	10.11	10K
26	10.71	10K
27	13.13	40K
28	17.81	10K
29	13.78	25K
30	16.03	10K
31	19.48	10K
รีโคลสเซอร์	6.53	Phase pick up 300 A TCC1 101 TCC2 116 Ground pick up 85 A Curve 102 TCC2 165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์

ในการทดลองนี้จะทดลองเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 0-8 MW กับไลน์เมนบริเวณพิวส์แรงสูงตำแหน่งที่ 31 ห่างจากสถานีไฟฟ้าระยะทาง 19.48 km แสดงดังภาพที่ 5.2 โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด, ขนาดและทิศทางของกระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาลำดับการทำงานของรีเลย์ รีโคลสเซอร์ และพิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

### 5.2.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของพิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0-8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 5.2

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของรีโคลสเซอร์ในไลน์เมน และพิวส์แรงสูงในไลน์แยก แต่จะส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจากสถานีไฟฟ้า

ตารางที่ 5.5 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสถานะจ่ายโหลดปกติเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	2.65	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.66	2.67	2.67
2	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56
3	8.80	8.81	8.82	8.83	8.84	8.85	8.85	8.86	8.87
4	3.65	3.65	3.66	3.66	3.67	3.67	3.67	3.67	3.68
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	16.51	16.53	16.55	16.57	16.59	16.60	16.62	16.63	16.64
7	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08
8	5.41	5.42	5.43	5.43	5.44	5.44	5.45	5.45	5.45
9	5.05	5.06	5.06	5.07	5.07	5.08	5.08	5.09	5.09
10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
11	17.14	17.16	16.87	16.58	16.60	16.61	16.63	16.64	16.65
12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25
13	2.65	2.65	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
14	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83
15	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
16	5.79	5.80	5.81	5.82	5.82	5.83	5.83	5.84	5.84
17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
18	1.76	1.76	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
19	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
20	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
21	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
22	3.72	3.72	3.73	3.73	3.74	3.74	3.75	3.75	3.75
23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
25	2.61	2.61	2.62	2.62	2.62	2.63	2.63	2.63	2.63
26	2.58	2.60	2.61	2.63	2.64	2.44	2.45	2.46	2.47
27	13.85	13.94	14.03	14.11	13.93	13.12	13.10	13.16	13.22
28	1.39	1.40	1.41	1.41	1.42	1.43	1.35	1.36	1.36
29	3.93	3.96	3.99	4.01	4.03	3.75	3.77	3.79	3.80
30	1.01	1.01	1.02	1.03	1.03	0.95	0.96	0.96	0.97
31	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91	0.76	0.76

### 5.2.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.6 -5.7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรมีค่ามากขึ้น โดยที่ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.6 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46	3.48	3.49	3.51
2	3.31	3.33	3.35	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.46
3	2.78	2.80	2.81	2.82	2.84	2.85	2.86	2.88	2.89
4	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61
5	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03
6	2.73	2.75	2.76	2.78	2.79	2.80	2.81	2.83	2.84
7	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16	2.17	2.18
8	1.88	1.89	1.89	1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.93
9	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.50
10	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	1.45	1.45	1.45	1.46
11	1.32	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34
12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14
13	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
14	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98
15	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92
16	0.84	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
17	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32	1.33
18	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06
19	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
20	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87
21	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87
22	3.00	3.02	3.04	3.06	3.07	3.09	3.11	3.13	3.14
23	3.07	3.09	3.11	3.13	3.15	3.17	3.18	3.20	3.22
24	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.84	1.84	1.85	1.85
25	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64
26	1.80	1.83	1.85	1.88	1.90	1.92	1.95	1.97	1.99
27	1.57	1.60	1.62	1.65	1.67	1.69	1.72	1.74	1.76
28	1.13	1.15	1.16	1.17	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23
29	1.52	1.55	1.57	1.60	1.62	1.64	1.67	1.69	1.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
30	1.30	1.32	1.34	1.35	1.37	1.39	1.41	1.42	1.44
31	1.18	1.21	1.23	1.25	1.28	1.30	1.33	1.35	1.37

ตารางที่ 5.7 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.30	3.35	3.35	3.35	3.35	3.34	3.34	3.34
2	3.31	3.25	3.30	3.30	3.30	3.30	3.29	3.29	3.29
3	2.78	2.73	2.77	2.77	2.76	2.76	2.76	2.75	2.75
4	1.58	1.54	1.56	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.53
5	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98
6	2.73	2.68	2.72	2.72	2.72	2.71	2.71	2.70	2.70
7	2.12	2.07	2.10	2.10	2.09	2.09	2.08	2.08	2.07
8	1.88	1.84	1.87	1.86	1.86	1.85	1.85	1.84	1.84
9	1.47	1.44	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.43	1.42
10	1.43	1.40	1.42	1.41	1.41	1.40	1.40	1.39	1.39
11	1.32	1.29	1.30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.28
12	1.12	1.10	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09	1.08
13	1.01	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
14	0.97	0.95	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93
15	0.91	0.89	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87
16	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
17	1.30	1.27	1.29	1.29	1.28	1.27	1.27	1.27	1.26
18	1.04	1.02	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
19	0.92	0.90	0.91	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89
20	0.86	0.84	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83
21	0.86	0.84	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82
22	3.00	2.94	2.99	2.99	2.99	2.98	2.98	2.98	2.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
23	3.07	3.01	3.06	3.06	3.06	3.06	3.05	3.05	3.05
24	1.80	1.77	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76	1.76
25	1.60	1.57	1.59	1.58	1.58	1.57	1.57	1.56	1.56
26	1.80	1.74	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
27	1.57	1.51	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.56
28	1.13	1.09	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10
29	1.52	1.46	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.51	1.51
30	1.30	1.24	1.29	1.29	1.29	1.28	1.28	1.28	1.27
31	1.18	1.12	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17

### 5.2.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขณะที่เกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรนี้ อาจส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์ โดยที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.8 – 5.17

ตารางที่ 5.8 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 0 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.765

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
5	0.010	-	2.066
6	0.012	-	0.242
7	0.025	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.525
9	0.041	0.016	0.892
10	0.010	0.016	0.945
11	0.051	0.016	1.133
12	0.028	0.016	1.626
13	0.035	0.016	2.081
14	0.038	0.016	2.320
15	0.043	0.017	2.735
16	0.050	0.018	3.296
17	0.052	0.016	1.161
18	0.166	0.016	1.946
19	0.042	0.017	2.625
20	0.048	0.017	3.148
21	0.048	0.017	3.165
22	0.010	-	0.200
23	0.010	-	0.191
24	0.010	-	0.573
25	0.010	-	0.737
26	0.010	-	0.573
27	0.014	-	0.767
28	0.010	-	1.588
29	0.015	-	0.824
30	0.010	-	1.165
31	0.010	-	1.449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 1 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.165
2	0.010	-	0.170
3	0.010	-	0.242
4	0.010	-	0.800
5	0.010	-	2.179
6	0.010	-	0.251
7	0.020	0.016	0.427
8	0.025	0.016	0.548
9	0.041	0.016	0.933
10	0.017	0.016	0.989
11	0.051	0.016	1.188
12	0.028	0.016	1.710
13	0.035	0.016	2.194
14	0.038	0.016	2.450
15	0.043	0.017	2.894
16	0.050	0.018	3.498
17	0.052	0.016	1.218
18	0.082	0.016	2.051
19	0.042	0.017	2.776
20	0.048	0.017	3.339
21	0.048	0.017	3.357
22	0.010	-	0.208
23	0.010	-	0.198
24	0.010	-	0.600
25	0.010	-	0.772
26	0.010	-	0.617
27	0.014	-	0.836
28	0.010	-	1.759
29	0.015	-	0.902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.285
31	0.010	-	1.643

ตารางที่ 5.10 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.235
4	0.010	-	0.778
5	0.010	-	2.118
6	0.010	-	0.244
7	0.020	0.016	0.415
8	0.025	0.016	0.533
9	0.041	0.016	0.908
10	0.017	0.016	0.962
11	0.050	0.016	1.156
12	0.028	0.016	1.663
13	0.034	0.016	2.132
14	0.038	0.016	2.380
15	0.043	0.017	2.809
16	0.050	0.018	3.392
17	0.052	0.016	1.185
18	0.081	0.016	1.993
19	0.042	0.017	2.695
20	0.048	0.017	3.238
21	0.048	0.017	3.256
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
24	0.010	-	0.582
25	0.010	-	0.749
26	0.010	-	0.575
27	0.014	-	0.770
28	0.010	-	1.623
29	0.015	-	0.827
30	0.010	-	1.180
31	0.010	-	1.458

ตารางที่ 5.11 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 3 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159784
2	0.010	-	0.164696
3	0.010	-	0.235716
4	0.010	-	0.784557
5	0.010	-	2.142945
6	0.010	-	0.244376
7	0.019	0.016	0.417409
8	0.025	0.016	0.536306
9	0.04	0.016	0.915754
10	0.017	0.016	0.970736
11	0.05	0.016	1.166452
12	0.028	0.016	1.680633
13	0.034	0.016	2.157265
14	0.038	0.016	2.408971
15	0.043	0.017	2.845196
16	0.049	0.018	3.438703
17	0.051	0.016	1.195762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
18	0.081	0.016	2.015698
19	0.041	0.017	2.728667
20	0.048	0.017	3.281846
21	0.048	0.017	3.299852
22	0.010	-	0.201386
23	0.010	-	0.191912
24	0.010	-	0.58639
25	0.010	-	0.75572
26	0.010	-	0.575581
27	0.013	-	0.771145
28	0.010	-	1.640544
29	0.014	-	0.828491
30	0.010	-	1.187803
31	0.010	-	1.461558

ตารางที่ 5.12 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 4 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.236
4	0.010	-	0.791
5	0.010	-	2.168

ตารางที่ 5.12 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.010	-	0.245
7	0.019	0.016	0.420
8	0.024	0.016	0.540
9	0.04	0.016	0.923
10	0.017	0.016	0.979
11	0.05	0.016	1.177
12	0.028	0.016	1.698
13	0.034	0.016	2.182
14	0.037	0.016	2.437
15	0.043	0.017	2.881
16	0.049	0.018	3.484
17	0.051	0.016	1.207
18	0.081	0.016	2.038
19	0.041	0.017	2.762
20	0.048	0.017	3.325
21	0.048	0.017	3.343
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.591
25	0.010	-	0.762
26	0.010	-	0.576
27	0.013	-	0.772
28	0.010	-	1.658
29	0.014	-	0.830
30	0.010	-	1.195
31	0.010	-	1.465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 5 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.237
4	0.010	-	0.797
5	0.010	-	2.192
6	0.010	-	0.246
7	0.019	0.016	0.422
8	0.024	0.016	0.543
9	0.04	0.016	0.931
10	0.017	0.016	0.987
11	0.05	0.016	1.187
12	0.028	0.016	1.715
13	0.034	0.016	2.205
14	0.037	0.016	2.465
15	0.043	0.017	2.915
16	0.049	0.018	3.529
17	0.051	0.016	1.217
18	0.081	0.016	2.059
19	0.041	0.017	2.794
20	0.048	0.017	3.366
21	0.048	0.017	3.385
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.595
25	0.010	-	0.768
26	0.010	-	0.577
27	0.013	-	0.774
28	0.010	-	1.675
29	0.013	-	0.831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.202
31	0.010	-	1.469

ตารางที่ 5.14 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 6 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.238
4	0.010	-	0.803
5	0.010	-	2.215
6	0.010	-	0.247
7	0.019	0.016	0.424
8	0.024	0.016	0.546
9	0.04	0.016	0.938
10	0.017	0.016	0.995
11	0.05	0.016	1.197
12	0.028	0.016	1.732
13	0.034	0.016	2.229
14	0.037	0.016	2.492
15	0.042	0.017	2.949
16	0.049	0.018	3.573
17	0.051	0.016	1.228
18	0.08	0.016	2.080
19	0.041	0.017	2.826
20	0.047	0.017	3.408
21	0.047	0.017	3.427

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.598
25	0.010	-	0.774
26	0.010	-	0.578
27	0.012	-	0.775
28	0.010	-	1.692
29	0.013	-	0.832
30	0.010	-	1.209
31	0.010	-	1.473

ตารางที่ 5.15 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 7 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.238
4	0.010	-	0.809
5	0.010	-	2.238
6	0.010	-	0.247
7	0.019	0.016	0.426
8	0.024	0.016	0.550
9	0.04	0.016	0.945
10	0.017	0.016	1.002
11	0.049	0.016	1.207
12	0.027	0.016	1.748
13	0.034	0.016	2.251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
14	0.037	0.016	2.518
15	0.042	0.017	2.982
16	0.049	0.017	3.617
17	0.051	0.016	1.238
18	0.08	0.016	2.101
19	0.041	0.017	2.857
20	0.047	0.017	3.448
21	0.047	0.017	3.467
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.602
25	0.010	-	0.779
26	0.010	-	0.578
27	0.012	-	0.776
28	0.010	-	1.708
29	0.013	-	0.834
30	0.010	-	1.216
31	0.010	-	1.476

ตารางที่ 5.16 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหน้ารีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 8 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.161
2	0.010	-	0.166
3	0.010	-	0.239
4	0.010	-	0.815
5	0.010	-	2.261

ตารางที่ 5.16 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.010	-	0.248
7	0.019	0.016	0.428
8	0.024	0.016	0.553
9	0.039	0.016	0.952
10	0.017	0.016	1.010
11	0.049	0.016	1.217
12	0.027	0.016	1.764
13	0.034	0.016	2.274
14	0.037	0.016	2.544
15	0.042	0.017	3.015
16	0.049	0.017	3.659
17	0.05	0.016	1.248
18	0.079	0.016	2.121
19	0.041	0.017	2.888
20	0.047	0.017	3.487
21	0.047	0.017	3.507
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.606
25	0.010	-	0.785
26	0.010	-	0.579
27	0.012	-	0.777
28	0.010	-	1.725
29	0.012	-	0.835
30	0.010	-	1.223
31	0.010	-	1.479

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.2.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานต่ำที่สุดของรีเลย์, รีโคลสเซอร์ และขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.17 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.17 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
7	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
15	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

ตารางที่ 5.17 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
28	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

### 5.3 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า

ในการทดลองนี้จะทดลองเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 0-8 MW กับไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้า ห่างจากสถานีไฟฟ้าระยะทาง 2.62 km แสดงดังภาพที่ 5.3 โดยจะทำการศึกษากลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด, ขนาดและทิศทางของกระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาลำดับการทำงานของรีเลย์ รีโคสเซอร์ และฟิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

#### 5.3.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ และรีโคสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0-8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 5.3

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 5.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หน้ารีโคสเซอร์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของรีโคสเซอร์ในไลน์เมน และฟิวส์แรงสูงในไลน์แยก แต่จะส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจากสถานีไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อ  
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้สถานีไฟฟ้า

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	2.65	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.66	2.67	2.67
2	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56
3	8.80	8.81	8.82	8.83	8.84	8.84	8.85	8.86	8.87
4	3.65	3.65	3.66	3.66	3.66	3.67	3.67	3.67	3.68
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	16.51	16.53	16.55	16.57	16.58	16.60	16.62	16.63	16.65
7	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08
8	5.41	5.42	5.42	5.43	5.44	5.44	5.45	5.45	5.46
9	5.05	5.06	5.06	5.07	5.07	5.08	5.08	5.09	5.09
10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
11	17.14	17.16	16.87	16.58	16.59	16.61	16.62	16.64	16.65
12	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
13	2.65	2.65	2.34	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35	2.36
14	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83
15	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
16	5.79	5.80	5.81	5.81	5.82	5.83	5.83	5.84	5.84
17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
18	1.76	1.76	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
19	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
20	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
21	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
22	3.72	3.72	3.73	3.73	3.73	3.74	3.74	3.74	3.75
23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
25	2.61	2.61	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.63	2.63
26	2.58	2.59	2.59	2.59	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
27	13.85	13.87	13.88	13.90	13.91	13.92	13.94	13.95	13.96
28	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40
29	3.93	3.94	3.94	3.94	3.95	3.95	3.96	3.96	3.96
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
31	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88

### 5.3.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.19 -5.20 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรมีค่ามากขึ้น โดยที่ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.19 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้สถานีไฟฟ้า

ตำแหน่งลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.45	3.47	3.49	3.51
2	3.31	3.33	3.34	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46
3	2.78	2.79	2.81	2.82	2.84	2.85	2.86	2.87	2.89
4	1.58	1.58	1.58	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61
5	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03
6	2.73	2.75	2.76	2.77	2.79	2.80	2.81	2.82	2.84
7	2.12	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16	2.17	2.18
8	1.88	1.89	1.89	1.90	1.90	1.91	1.92	1.92	1.93
9	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.50
10	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	1.45	1.45	1.45	1.46
11	1.32	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34
12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14
13	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
14	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98
15	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92
16	0.84	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
17	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32	1.33
18	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06
19	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
20	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87
21	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87
22	3.00	3.01	3.03	3.04	3.06	3.08	3.09	3.11	3.12
23	3.07	3.08	3.10	3.12	3.13	3.15	3.17	3.18	3.20
24	1.80	1.81	1.81	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85
25	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64
26	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85
27	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61
28	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15
29	1.52	1.53	1.53	1.53	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55
30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32
31	1.18	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20

ตารางที่ 5.20 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้สถานีไฟฟ้า

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.35	3.35	3.35	3.34	3.34	3.34	3.34	3.33
2	3.31	3.30	3.30	3.30	3.29	3.29	3.29	3.29	3.28
3	2.78	2.78	2.77	2.77	2.76	2.76	2.75	2.75	2.74
4	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
5	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
6	2.73	2.73	2.72	2.72	2.71	2.71	2.70	2.70	2.69
7	2.12	2.11	2.10	2.10	2.09	2.08	2.08	2.07	2.07
8	1.88	1.87	1.87	1.86	1.85	1.85	1.84	1.84	1.83
9	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.43	1.42

ตารางที่ 5.20 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
10	1.43	1.42	1.42	1.41	1.41	1.40	1.39	1.39	1.38
11	1.32	1.31	1.30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27
12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09	1.08
13	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
14	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93	0.93
15	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87
16	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
17	1.30	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26
18	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
19	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89
20	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82
21	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82
22	3.00	2.99	2.99	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97	2.96
23	3.07	3.06	3.06	3.06	3.05	3.05	3.04	3.04	3.04
24	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.76	1.76	1.75
25	1.60	1.60	1.59	1.58	1.58	1.57	1.57	1.56	1.55
26	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76	1.75
27	1.57	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
28	1.13	1.13	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09
29	1.52	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48
30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26
31	1.18	1.18	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.14	1.14

### 5.3.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.3.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขณะที่เกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรนี้ อาจส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า โดยที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า

เปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.21 – 5.29

**ตารางที่ 5.21** ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 0 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.765
5	0.010	-	2.066
6	0.012	-	0.242
7	0.025	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.525
9	0.041	0.016	0.892
10	0.010	0.016	0.945
11	0.051	0.016	1.133
12	0.028	0.016	1.626
13	0.035	0.016	2.081
14	0.038	0.016	2.320
15	0.043	0.017	2.735
16	0.050	0.018	3.296
17	0.052	0.016	1.161
18	0.166	0.016	1.946
19	0.042	0.017	2.625
20	0.048	0.017	3.148
21	0.048	0.017	3.165
22	0.010	-	0.200
23	0.010	-	0.191
24	0.010	-	0.573
25	0.010	-	0.737
26	0.010	-	0.573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (วินาที)		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
27	0.014	-	0.767
28	0.010	-	1.588
29	0.015	-	0.824
30	0.010	-	1.165
31	0.010	-	1.449

ตารางที่ 5.22 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 1 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.771
5	0.010	-	2.092
6	0.010	-	0.243
7	0.019	0.016	0.413
8	0.025	0.016	0.529
9	0.041	0.016	0.900
10	0.017	0.016	0.954
11	0.051	0.016	1.144
12	0.028	0.016	1.644
13	0.034	0.016	2.106
14	0.038	0.016	2.350
15	0.043	0.017	2.771
16	0.050	0.018	3.343
17	0.052	0.016	1.173
18	0.082	0.016	1.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.22 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
19	0.042	0.017	2.659
20	0.048	0.017	3.193
21	0.048	0.017	3.210
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.578
25	0.010	-	0.743
26	0.010	-	0.577
27	0.014	-	0.773
28	0.010	-	1.606
29	0.015	-	0.831
30	0.010	-	1.177
31	0.010	-	1.465

ตารางที่ 5.23 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลัง  
การผลิต 2 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.235
4	0.010	-	0.778
5	0.010	-	2.117
6	0.010	-	0.244
7	0.019	0.016	0.415
8	0.025	0.016	0.533
9	0.041	0.016	0.908
10	0.017	0.016	0.962

ตารางที่ 5.23 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
11	0.051	0.016	1.156
12	0.028	0.016	1.663
13	0.034	0.016	2.132
14	0.038	0.016	2.380
15	0.043	0.017	2.809
16	0.050	0.018	3.391
17	0.052	0.016	1.185
18	0.081	0.016	1.993
19	0.042	0.017	2.694
20	0.048	0.017	3.237
21	0.048	0.017	3.255
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.582
25	0.010	-	0.750
26	0.010	-	0.582
27	0.014	-	0.780
28	0.010	-	1.624
29	0.015	-	0.838
30	0.010	-	1.189
31	0.010	-	1.481

ตารางที่ 5.24 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 3 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.236
4	0.010	-	0.785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
5	0.010	-	2.143
6	0.010	-	0.245
7	0.019	0.016	0.418
8	0.025	0.016	0.537
9	0.040	0.016	0.916
10	0.017	0.016	0.971
11	0.050	0.016	1.167
12	0.028	0.016	1.681
13	0.034	0.016	2.158
14	0.038	0.016	2.409
15	0.043	0.017	2.846
16	0.049	0.018	3.439
17	0.051	0.016	1.196
18	0.081	0.016	2.016
19	0.041	0.017	2.729
20	0.048	0.017	3.282
21	0.048	0.017	3.300
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.587
25	0.010	-	0.756
26	0.010	-	0.586
27	0.014	-	0.787
28	0.010	-	1.642
29	0.015	-	0.846
30	0.010	-	1.201
31	0.010	-	1.496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.25 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลัง  
การผลิต 4 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.165
3	0.010	-	0.237
4	0.010	-	0.792
5	0.010	-	2.169
6	0.010	-	0.246
7	0.019	0.016	0.420
8	0.025	0.016	0.541
9	0.040	0.016	0.924
10	0.017	0.016	0.980
11	0.050	0.016	1.178
12	0.028	0.016	1.700
13	0.034	0.016	2.183
14	0.037	0.016	2.439
15	0.043	0.017	2.883
16	0.049	0.018	3.487
17	0.051	0.016	1.208
18	0.081	0.016	2.040
19	0.041	0.017	2.764
20	0.048	0.017	3.327
21	0.048	0.017	3.346
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.591
25	0.010	-	0.762
26	0.010	-	0.590
27	0.014	-	0.793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.25 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
28	0.010	-	1.660
29	0.015	-	0.853
30	0.010	-	1.212
31	0.010	-	1.512

ตารางที่ 5.26 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 5 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.161
2	0.010	-	0.166
3	0.010	-	0.238
4	0.010	-	0.799
5	0.010	-	2.195
6	0.010	-	0.247
7	0.019	0.016	0.423
8	0.024	0.016	0.544
9	0.040	0.016	0.933
10	0.017	0.016	0.989
11	0.050	0.016	1.190
12	0.028	0.016	1.718
13	0.034	0.016	2.209
14	0.037	0.016	2.469
15	0.043	0.017	2.920
16	0.049	0.018	3.536
17	0.051	0.016	1.220
18	0.080	0.016	2.063
19	0.041	0.017	2.799

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.26 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
20	0.047	0.017	3.372
21	0.048	0.017	3.391
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.596
25	0.010	-	0.769
26	0.010	-	0.595
27	0.014	-	0.800
28	0.010	-	1.678
29	0.015	-	0.860
30	0.010	-	1.224
31	0.010	-	1.528

ตารางที่ 5.27 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 6 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.161
2	0.010	-	0.166
3	0.010	-	0.239
4	0.010	-	0.805
5	0.010	-	2.221
6	0.010	-	0.248
7	0.019	0.016	0.425
8	0.024	0.016	0.548
9	0.040	0.016	0.941
10	0.017	0.016	0.998

ตารางที่ 5.27 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
11	0.050	0.016	1.201
12	0.028	0.016	1.736
13	0.034	0.016	2.235
14	0.037	0.016	2.499
15	0.042	0.017	2.958
16	0.049	0.018	3.584
17	0.051	0.016	1.231
18	0.080	0.016	2.086
19	0.041	0.017	2.834
20	0.047	0.017	3.418
21	0.048	0.017	3.437
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.600
25	0.010	-	0.775
26	0.010	-	0.599
27	0.014	-	0.806
28	0.010	-	1.696
29	0.015	-	0.868
30	0.010	-	1.236
31	0.010	-	1.544

ตารางที่ 5.28 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลังการผลิต 7 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.161
2	0.010	-	0.166
3	0.010	-	0.240
4	0.010	-	0.812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.28 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
5	0.010	-	2.248
6	0.010	-	0.248
7	0.019	0.016	0.428
8	0.024	0.016	0.552
9	0.040	0.016	0.949
10	0.017	0.016	1.006
11	0.049	0.016	1.212
12	0.028	0.016	1.755
13	0.034	0.016	2.261
14	0.037	0.016	2.529
15	0.042	0.017	2.995
16	0.049	0.017	3.633
17	0.051	0.016	1.243
18	0.080	0.016	2.110
19	0.041	0.017	2.870
20	0.047	0.017	3.463
21	0.047	0.017	3.483
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.195
24	0.010	-	0.605
25	0.010	-	0.782
26	0.010	-	0.603
27	0.014	-	0.813
28	0.010	-	1.714
29	0.015	-	0.875
30	0.010	-	1.248
31	0.010	-	1.559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้าและมีกำลัง  
การผลิต 8 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.161
2	0.010	-	0.166
3	0.010	-	0.240
4	0.010	-	0.819
5	0.010	-	2.274
6	0.010	-	0.249
7	0.019	0.016	0.431
8	0.024	0.016	0.556
9	0.039	0.016	0.957
10	0.017	0.016	1.015
11	0.049	0.016	1.223
12	0.027	0.016	1.773
13	0.034	0.016	2.286
14	0.037	0.016	2.559
15	0.042	0.017	3.033
16	0.049	0.017	3.682
17	0.050	0.016	1.255
18	0.079	0.016	2.133
19	0.041	0.017	2.905
20	0.047	0.017	3.509
21	0.047	0.017	3.529
22	0.010	-	0.205
23	0.010	-	0.195
24	0.010	-	0.609
25	0.010	-	0.788
26	0.010	-	0.608
27	0.014	-	0.820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
28	0.010	-	1.732
29	0.015	-	0.882
30	0.010	-	1.260
31	0.010	-	1.575

#### 5.3.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานต่ำที่สุดของรีเลย์, รีโคลสเซอร์ และขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.30 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.30 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมนบริเวณสถานีไฟฟ้า

ตำแหน่งลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
7	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29

ตารางที่ 5.30 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
15	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้กับรีโคลสเซอร์

ในการทดลองนี้จะทดลองเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 0-8 MW กับไลน์เมนบริเวณพิวส์แรงสูง ตำแหน่งที่ 3 หน้ารีโคลสเซอร์ ห่างจากสถานีไฟฟ้าระยะทาง 5.54 km แสดงดังภาพที่ 5.4 โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด, ขนาดและทิศทางของกระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาลำดับการทำงานของรีเลย์ รีโคลสเซอร์ และพิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

### 5.4.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของพิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0-8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 5.4

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 5.29 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของรีโคลสเซอร์ในไลน์เมน และพิวส์แรงสูงในไลน์แยก แต่จะส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจากสถานีไฟฟ้า

**ตารางที่ 5.31** ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้รีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
รีโคลสเซอร์	45.61	45.41	45.21	45.31	45.40	45.49	45.58	45.67	45.75
1	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.67	2.67	2.67	2.68
2	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56	1.56
3	8.80	8.82	8.84	8.86	8.88	8.90	8.91	8.93	8.95
4	3.65	3.66	3.67	3.67	3.68	3.69	3.70	3.70	3.71
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	16.51	16.55	16.59	16.63	16.66	16.69	16.73	16.76	16.79
7	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09
8	5.41	5.42	5.44	5.45	5.46	5.47	5.48	5.49	5.50
9	5.05	5.06	5.07	5.09	5.10	5.11	5.12	5.13	5.14

ตารางที่ 5.31 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
11	17.14	16.87	16.60	16.63	16.67	16.70	16.74	16.77	16.80
12	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
13	2.65	2.34	2.35	2.35	2.36	2.36	2.37	2.37	2.38
14	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
15	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
16	5.79	5.81	5.82	5.84	5.85	5.86	5.87	5.88	5.89
17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
18	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
19	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24
20	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48
21	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
22	3.72	3.72	3.73	3.73	3.74	3.74	3.74	3.75	3.75
23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
25	2.61	2.61	2.62	2.62	2.62	2.63	2.63	2.63	2.63
26	2.58	2.59	2.59	2.59	2.60	2.60	2.60	2.61	2.61
27	13.85	13.87	13.89	13.90	13.92	13.93	13.95	13.96	13.98
28	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40	1.40
29	3.93	3.94	3.94	3.95	3.95	3.96	3.96	3.96	3.97
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
31	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88

#### 5.4.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.32 -5.33 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรมีค่ามากขึ้น โดยที่ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.32 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์ใกล้รีโคลเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.38	3.41	3.43	3.46	3.48	3.50	3.53	3.55
2	3.31	3.33	3.36	3.38	3.41	3.43	3.46	3.48	3.50
3	2.78	2.81	2.83	2.86	2.88	2.91	2.93	2.96	2.98
4	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.62	1.63	1.64
5	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04
6	2.73	2.76	2.78	2.81	2.83	2.85	2.88	2.90	2.93
7	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.19	2.20	2.22	2.23
8	1.88	1.89	1.90	1.91	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97
9	1.47	1.48	1.48	1.49	1.50	1.50	1.51	1.52	1.52
10	1.43	1.44	1.44	1.45	1.46	1.46	1.47	1.47	1.48
11	1.32	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34	1.35	1.35	1.36
12	1.12	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
13	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
14	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
15	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93
16	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86
17	1.30	1.31	1.31	1.32	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34
18	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.07
19	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94
20	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88
21	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
22	3.00	3.01	3.03	3.05	3.07	3.08	3.10	3.12	3.13
23	3.07	3.09	3.10	3.12	3.14	3.16	3.18	3.19	3.21
24	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85
25	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64
26	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.84	1.84	1.85	1.85
27	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.60	1.60	1.61	1.61
28	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15
29	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.32 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32	1.32
31	1.18	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20	1.20

ตารางที่ 5.33 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เกิลส์โคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
2	3.31	3.31	3.31	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
3	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
4	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
5	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97
6	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
7	2.12	2.11	2.11	2.10	2.10	2.09	2.09	2.08	2.08
8	1.88	1.87	1.87	1.86	1.86	1.85	1.85	1.84	1.84
9	1.47	1.46	1.45	1.45	1.44	1.44	1.43	1.42	1.42
10	1.43	1.42	1.42	1.41	1.40	1.40	1.39	1.39	1.38
11	1.32	1.31	1.30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.27	1.27
12	1.12	1.12	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09	1.08	1.08
13	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97
14	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92
15	0.91	0.90	0.90	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86
16	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80
17	1.30	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25
18	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00
19	0.92	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88
20	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82
21	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82
22	3.00	2.99	2.99	2.99	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97

ตารางที่ 5.33 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
23	3.07	3.06	3.06	3.06	3.05	3.05	3.05	3.04	3.04
24	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76	1.75
25	1.60	1.60	1.59	1.58	1.58	1.57	1.57	1.56	1.55
26	1.80	1.80	1.79	1.79	1.78	1.77	1.77	1.76	1.76
27	1.57	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
28	1.13	1.13	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09
29	1.52	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48
30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26
31	1.18	1.17	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.14	1.14

#### 5.4.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.3.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขณะที่เกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรนี้ อาจส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์ โดยที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.34 – 5.42

ตารางที่ 5.34 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 0 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.765
5	0.010	-	2.066

ตารางที่ 5.34 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.012	-	0.242
7	0.025	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.525
9	0.041	0.016	0.892
10	0.010	0.016	0.945
11	0.051	0.016	1.133
12	0.028	0.016	1.626
13	0.035	0.016	2.081
14	0.038	0.016	2.320
15	0.043	0.017	2.735
16	0.050	0.018	3.296
17	0.052	0.016	1.161
18	0.166	0.016	1.946
19	0.042	0.017	2.625
20	0.048	0.017	3.148
21	0.048	0.017	3.165
22	0.010	-	0.200
23	0.010	-	0.191
24	0.010	-	0.573
25	0.010	-	0.737
26	0.010	-	0.573
27	0.014	-	0.767
28	0.010	-	1.588
29	0.015	-	0.824
30	0.010	-	1.165
31	0.010	-	1.449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 1 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.772
5	0.010	-	2.096
6	0.010	-	0.242
7	0.020	0.016	0.412
8	0.025	0.016	0.529
9	0.041	0.016	0.900
10	0.017	0.016	0.954
11	0.051	0.016	1.146
12	0.028	0.016	1.647
13	0.034	0.016	2.111
14	0.038	0.016	2.356
15	0.043	0.017	2.779
16	0.050	0.018	3.354
17	0.052	0.016	1.174
18	0.081	0.016	1.974
19	0.042	0.017	2.666
20	0.048	0.017	3.202
21	0.048	0.017	3.220
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.578
25	0.010	-	0.743
26	0.010	-	0.577
27	0.014	-	0.773
28	0.010	-	1.606
29	0.015	-	0.831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.177
31	0.010	-	1.465

ตารางที่ 5.36 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.778
5	0.010	-	2.127
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.414
8	0.025	0.016	0.532
9	0.040	0.016	0.909
10	0.017	0.016	0.964
11	0.050	0.016	1.158
12	0.028	0.016	1.668
13	0.034	0.016	2.141
14	0.037	0.016	2.391
15	0.043	0.017	2.824
16	0.049	0.018	3.412
17	0.051	0.016	1.187
18	0.081	0.016	2.001
19	0.041	0.017	2.708
20	0.048	0.017	3.257
21	0.048	0.017	3.275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.36 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.582
25	0.010	-	0.750
26	0.010	-	0.582
27	0.014	-	0.780
28	0.010	-	1.624
29	0.015	-	0.839
30	0.010	-	1.189
31	0.010	-	1.481

ตารางที่ 5.37 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 3 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.785
5	0.010	-	2.157
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.416
8	0.024	0.016	0.536
9	0.040	0.016	0.918
10	0.017	0.016	0.973
11	0.050	0.016	1.171
12	0.028	0.016	1.690
13	0.034	0.016	2.172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.37 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
14	0.037	0.016	2.427
15	0.042	0.017	2.869
16	0.049	0.018	3.471
17	0.051	0.016	1.200
18	0.080	0.016	2.029
19	0.041	0.017	2.751
20	0.047	0.017	3.312
21	0.048	0.017	3.330
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.587
25	0.010	-	0.756
26	0.010	-	0.586
27	0.014	-	0.787
28	0.010	-	1.643
29	0.015	-	0.846
30	0.010	-	1.201
31	0.010	-	1.497

ตารางที่ 5.38 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 4 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.792
5	0.010	-	2.188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.38 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.418
8	0.024	0.016	0.539
9	0.040	0.016	0.926
10	0.017	0.016	0.983
11	0.049	0.016	1.183
12	0.027	0.016	1.711
13	0.034	0.016	2.202
14	0.037	0.016	2.462
15	0.042	0.017	2.914
16	0.049	0.017	3.530
17	0.050	0.016	1.213
18	0.080	0.016	2.056
19	0.041	0.017	2.793
20	0.047	0.017	3.367
21	0.047	0.017	3.386
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.591
25	0.010	-	0.763
26	0.010	-	0.590
27	0.014	-	0.793
28	0.010	-	1.661
29	0.015	-	0.853
30	0.010	-	1.213
31	0.010	-	1.513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.39 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 5 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.799
5	0.010	-	2.219
6	0.010	-	0.243
7	0.019	0.016	0.420
8	0.024	0.016	0.542
9	0.039	0.016	0.935
10	0.017	0.016	0.992
11	0.049	0.016	1.196
12	0.027	0.016	1.732
13	0.034	0.016	2.233
14	0.037	0.016	2.498
15	0.042	0.017	2.959
16	0.049	0.017	3.590
17	0.050	0.016	1.226
18	0.079	0.016	2.084
19	0.041	0.017	2.836
20	0.047	0.017	3.423
21	0.047	0.017	3.442
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.596
25	0.010	-	0.769
26	0.010	-	0.595
27	0.014	-	0.800
28	0.010	-	1.679
29	0.015	-	0.861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.39 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.225
31	0.010	-	1.529

ตารางที่ 5.40 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 6 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.805
5	0.010	-	2.250
6	0.010	-	0.243
7	0.018	0.016	0.422
8	0.023	0.016	0.546
9	0.039	0.016	0.943
10	0.017	0.016	1.001
11	0.049	0.016	1.208
12	0.027	0.016	1.754
13	0.033	0.016	2.264
14	0.037	0.016	2.534
15	0.042	0.017	3.005
16	0.048	0.017	3.650
17	0.050	0.016	1.239
18	0.079	0.016	2.112
19	0.040	0.017	2.879
20	0.047	0.017	3.479
21	0.047	0.017	3.498

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.40 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.600
25	0.010	-	0.775
26	0.010	-	0.599
27	0.014	-	0.806
28	0.010	-	1.697
29	0.015	-	0.868
30	0.010	-	1.237
31	0.010	-	1.545

ตารางที่ 5.41 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 7 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.812
5	0.010	-	2.281
6	0.010	-	0.243
7	0.018	0.016	0.424
8	0.023	0.016	0.549
9	0.039	0.016	0.952
10	0.016	0.016	1.011
11	0.048	0.016	1.221
12	0.027	0.016	1.775
13	0.033	0.016	2.294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.41 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
14	0.036	0.016	2.570
15	0.042	0.017	3.051
16	0.048	0.017	3.710
17	0.049	0.016	1.252
18	0.078	0.016	2.140
19	0.040	0.017	2.922
20	0.046	0.017	3.535
21	0.047	0.017	3.555
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.604
25	0.010	-	0.782
26	0.010	-	0.603
27	0.014	-	0.813
28	0.010	-	1.715
29	0.015	-	0.875
30	0.010	-	1.249
31	0.010	-	1.561

ตารางที่ 5.42 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนใกล้รีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 8 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.160
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.819
5	0.010	-	2.312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.42 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.010	-	0.243
7	0.018	0.016	0.426
8	0.023	0.016	0.552
9	0.038	0.016	0.961
10	0.016	0.016	1.020
11	0.048	0.016	1.233
12	0.027	0.016	1.797
13	0.033	0.016	2.325
14	0.036	0.016	2.606
15	0.041	0.017	3.097
16	0.048	0.017	3.771
17	0.049	0.016	1.265
18	0.078	0.016	2.168
19	0.040	0.017	2.965
20	0.046	0.017	3.592
21	0.046	0.017	3.612
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.609
25	0.010	-	0.788
26	0.010	-	0.607
27	0.014	-	0.819
28	0.010	-	1.733
29	0.015	-	0.882
30	0.010	-	1.260
31	0.010	-	1.576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานต่ำที่สุดของรีเลย์, รีโคลสเซอร์ และขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.43 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.43 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน หน้ารีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
7	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
15	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

ตารางที่ 5.43 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

## 5.5 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโกลสเซอร์

ในการทดลองนี้จะทดลองเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 0-8 MW กับไลน์แยกบริเวณพิวส์แรงสูง ตำแหน่งที่ 13 หลังรีโกลสเซอร์ ห่างจากสถานีไฟฟ้าระยะทาง 21.22 km แสดงดังภาพที่ 5.5 โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด, ขนาดและทิศทางของกระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาลำดับการทำงานของรีเลย์ รีโกลสเซอร์ และพิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

### 5.5.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ และรีโกลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของพิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0-8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 5.4

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 5.44 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยก หลังรีโกลสเซอร์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของรีโกลสเซอร์ในไลน์เมน และพิวส์แรงสูงในไลน์แยก แต่จะส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจากสถานีไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.44 ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อ  
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.67	2.67	2.67	2.67
2	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56	1.56
3	8.80	8.82	8.84	8.86	8.87	8.88	8.90	8.91	8.92
4	3.65	3.66	3.67	3.67	3.68	3.68	3.69	3.69	3.70
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	16.51	16.55	16.59	16.63	16.65	16.68	16.71	16.73	16.74
7	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09
8	5.41	5.44	5.46	5.48	5.50	5.52	4.55	4.56	4.57
9	5.05	5.08	5.11	5.14	5.16	4.20	4.22	4.23	4.25
10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
11	17.14	-13.99	-37.21	-62.19	-85.88	-109.11	-132.28	-154.80	-177.00
12	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26
13	2.65	2.37	2.40	2.43	2.45	2.48	2.42	2.44	2.46
14	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.80	0.80	0.81
15	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.62	0.54	0.55	0.55
16	5.79	5.87	5.95	5.03	5.09	5.14	5.11	5.15	5.19
17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
18	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84
19	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
20	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49
21	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47
22	3.72	3.72	3.73	3.73	3.73	3.74	3.74	3.74	3.74
23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
25	2.61	2.61	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.63	2.63
26	2.58	2.59	2.59	2.59	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
27	13.85	13.87	13.88	13.90	13.91	13.93	13.94	13.94	13.95
28	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40	1.40
29	3.93	3.94	3.94	3.95	3.95	3.95	3.96	3.96	3.96
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.44 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
31	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88

### 5.5.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.45 -5.46 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรมีค่ามากขึ้น โดยที่ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.45 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.38	3.40	3.43	3.45	3.47	3.49	3.51	3.53
2	3.31	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46	3.48
3	2.78	2.81	2.83	2.85	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96
4	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.63
5	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
6	2.73	2.76	2.78	2.81	2.83	2.85	2.87	2.89	2.91
7	2.12	2.14	2.17	2.19	2.21	2.24	2.26	2.28	2.30
8	1.88	1.91	1.93	1.95	1.98	2.00	2.02	2.04	2.06
9	1.47	1.49	1.52	1.54	1.56	1.59	1.61	1.63	1.65
10	1.43	1.45	1.48	1.50	1.53	1.55	1.57	1.60	1.62
11	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
12	1.12	1.15	1.17	1.20	1.22	1.24	1.27	1.29	1.31
13	1.01	1.04	1.06	1.08	1.11	1.13	1.15	1.18	1.20
14	0.97	0.99	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.12	1.14
15	0.91	0.93	0.95	0.96	0.98	1.00	1.02	1.04	1.06
16	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97

ตารางที่ 5.45 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
17	1.30	1.33	1.35	1.37	1.40	1.42	1.44	1.46	1.49
18	1.04	1.06	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.16
19	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01
20	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94
21	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93
22	3.00	3.01	3.03	3.05	3.06	3.08	3.09	3.11	3.12
23	3.07	3.09	3.10	3.12	3.14	3.15	3.17	3.18	3.19
24	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.84
25	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.63	1.64
26	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85
27	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61
28	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15
29	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55
30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32
31	1.18	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20

ตารางที่ 5.46 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
2	3.31	3.31	3.31	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
3	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
4	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.53
5	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
6	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
7	2.12	2.12	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11
8	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
9	1.47	1.47	1.47	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
10	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.42

ตารางที่ 5.46 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
11	1.32	1.29	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17	1.14	1.12
12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11
13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95
15	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
16	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
17	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.29	1.29
18	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01
19	0.92	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.86
20	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82
21	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81
22	3.00	2.99	2.99	2.99	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97
23	3.07	3.06	3.06	3.06	3.05	3.05	3.05	3.05	3.04
24	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76	1.76
25	1.60	1.60	1.59	1.58	1.58	1.57	1.57	1.56	1.56
26	1.80	1.80	1.79	1.79	1.78	1.77	1.77	1.76	1.76
27	1.57	1.57	1.56	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.53
28	1.13	1.13	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10
29	1.52	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48
30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26
31	1.18	1.17	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15	1.14

### 5.5.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.5.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขณะที่เกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรนี้ อาจส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนโคลลิคโคลสเซอร์ โดยที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.47 – 5.55

ตารางที่ 5.47 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 0 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.765
5	0.010	-	2.066
6	0.012	-	0.242
7	0.025	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.525
9	0.041	0.016	0.892
10	0.010	0.016	0.945
11	0.051	0.016	1.133
12	0.028	0.016	1.626
13	0.035	0.016	2.081
14	0.038	0.016	2.320
15	0.043	0.017	2.735
16	0.050	0.018	3.296
17	0.052	0.016	1.161
18	0.166	0.016	1.946
19	0.042	0.017	2.625
20	0.048	0.017	3.148
21	0.048	0.017	3.165
22	0.010	-	0.200
23	0.010	-	0.191
24	0.010	-	0.573
25	0.010	-	0.737
26	0.010	-	0.573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.47 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
27	0.014	-	0.767
28	0.010	-	1.588
29	0.015	-	0.824
30	0.010	-	1.165
31	0.010	-	1.449

ตารางที่ 5.48 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 1 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.771
5	0.010	-	2.096
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.526
9	0.040	0.016	0.893
10	0.017	0.016	0.946
11	0.051	0.016	1.185
12	0.027	0.016	1.632
13	0.033	0.016	2.093
14	0.036	0.016	2.339
15	0.041	0.017	2.765
16	0.048	0.018	3.346
17	0.050	0.016	1.164
18	0.079	0.016	1.968

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.48 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
19	0.041	0.017	2.666
20	0.047	0.017	3.207
21	0.047	0.018	3.224
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.578
25	0.010	-	0.743
26	0.010	-	0.577
27	0.014	-	0.773
28	0.010	-	1.606
29	0.015	-	0.831
30	0.010	-	1.177
31	0.010	-	1.465

ตารางที่ 5.49 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.778
5	0.010	-	2.125
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.411
8	0.024	0.016	0.526
9	0.039	0.016	0.895
10	0.016	0.016	0.947

ตารางที่ 5.49 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
11	0.051	0.016	1.239
12	0.026	0.016	1.638
13	0.032	0.016	2.104
14	0.035	0.016	2.356
15	0.040	0.017	2.795
16	0.046	0.018	3.395
17	0.048	0.016	1.166
18	0.077	0.016	1.989
19	0.040	0.017	2.706
20	0.046	0.018	3.265
21	0.046	0.018	3.283
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.582
25	0.010	-	0.749
26	0.010	-	0.581
27	0.014	-	0.780
28	0.010	-	1.623
29	0.015	-	0.838
30	0.010	-	1.189
31	0.010	-	1.480

ตารางที่ 5.50 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 3 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.50 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.784
5	0.010	-	2.154
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.411
8	0.023	0.016	0.526
9	0.037	0.016	0.896
10	0.016	0.016	0.948
11	0.051	0.016	1.296
12	0.026	0.016	1.643
13	0.030	0.016	2.114
14	0.033	0.016	2.373
15	0.038	0.017	2.824
16	0.044	0.018	3.443
17	0.047	0.016	1.169
18	0.075	0.016	2.009
19	0.039	0.017	2.747
20	0.045	0.018	3.323
21	0.045	0.018	3.342
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.586
25	0.010	-	0.755
26	0.010	-	0.586
27	0.014	-	0.786
28	0.010	-	1.641
29	0.015	-	0.845
30	0.010	-	1.200
31	0.010	-	1.495

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.51 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 4 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.791
5	0.010	-	2.182
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.023	0.016	0.527
9	0.036	0.016	0.897
10	0.015	0.016	0.949
11	0.051	0.016	1.357
12	0.024	0.016	1.648
13	0.029	0.016	2.124
14	0.032	0.016	2.389
15	0.037	0.017	2.852
16	0.043	0.018	3.491
17	0.045	0.016	1.171
18	0.073	0.016	2.029
19	0.038	0.017	2.786
20	0.044	0.018	3.381
21	0.044	0.018	3.400
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.590
25	0.010	-	0.761
26	0.010	-	0.589
27	0.014	-	0.792
28	0.010	-	1.657

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.51 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
29	0.015	-	0.852
30	0.010	-	1.211
31	0.010	-	1.510

ตารางที่ 5.52 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 5 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.797
5	0.010	-	2.209
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.022	0.016	0.527
9	0.035	0.016	0.898
10	0.015	0.016	0.950
11	0.051	0.016	1.421
12	0.020	0.016	1.652
13	0.028	0.016	2.133
14	0.031	0.016	2.404
15	0.035	0.017	2.880
16	0.041	0.018	3.539
17	0.044	0.016	1.172
18	0.071	0.016	2.049
19	0.037	0.017	2.826
20	0.043	0.018	3.439

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.52 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
21	0.043	0.018	3.459
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.594
25	0.010	-	0.767
26	0.010	-	0.593
27	0.014	-	0.798
28	0.010	-	1.673
29	0.015	-	0.858
30	0.010	-	1.221
31	0.010	-	1.524

ตารางที่ 5.53 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 6 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.802
5	0.010	-	2.236
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.022	0.016	0.527
9	0.034	0.016	0.899
10	0.014	0.016	0.951
11	0.051	0.016	1.488
12	0.022	0.016	1.656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.53 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
13	0.027	0.016	2.142
14	0.030	0.016	2.419
15	0.034	0.017	2.908
16	0.040	0.018	3.586
17	0.043	0.016	1.174
18	0.069	0.016	2.069
19	0.036	0.017	2.865
20	0.042	0.018	3.496
21	0.042	0.018	3.517
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.598
25	0.010	-	0.773
26	0.010	-	0.597
27	0.014	-	0.803
28	0.010	-	1.689
29	0.015	-	0.864
30	0.010	-	1.231
31	0.010	-	1.538

ตารางที่ 5.54 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 7 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.808

ตารางที่ 5.54 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
5	0.010	-	2.262
6	0.010	-	0.242
7	0.017	0.016	0.411
8	0.021	0.016	0.527
9	0.033	0.016	0.900
10	0.014	0.016	0.951
11	0.051	0.016	1.560
12	0.021	0.016	1.660
13	0.026	0.016	2.151
14	0.028	0.016	2.434
15	0.033	0.017	2.935
16	0.039	0.018	3.633
17	0.041	0.016	1.176
18	0.068	0.016	2.088
19	0.035	0.017	2.904
20	0.041	0.018	3.553
21	0.041	0.018	3.574
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.602
25	0.010	-	0.778
26	0.010	-	0.600
27	0.014	-	0.809
28	0.010	-	1.704
29	0.015	-	0.870
30	0.010	-	1.241
31	0.010	-	1.551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.55 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 8 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.814
5	0.010	-	2.288
6	0.010	-	0.242
7	0.017	0.016	0.411
8	0.021	0.016	0.527
9	0.033	0.016	0.901
10	0.014	0.016	0.952
11	0.051	0.016	1.635
12	0.021	0.016	1.663
13	0.025	0.016	2.159
14	0.027	0.016	2.448
15	0.032	0.017	2.961
16	0.037	0.018	3.680
17	0.040	0.016	1.177
18	0.066	0.016	2.106
19	0.035	0.017	3.112
20	0.040	0.018	3.610
21	0.041	0.018	3.632
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.606
25	0.010	-	0.783
26	0.010	-	0.604
27	0.014	-	0.814
28	0.010	-	1.719
29	0.015	-	0.876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.55 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.251
31	0.010	-	1.564

#### 5.5.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานต่ำที่สุดของรีเลย์, รีโคลสเซอร์ และขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.56 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.56 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์แยกหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่งลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
7	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28
12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

ตารางที่ 5.56 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27
15	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

## 5.6 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์

ในการทดลองนี้จะทดลองเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 0-8 MW กับไลน์เมน หลังรีโคลสเซอร์ แสดงดังภาพที่ 5.6 โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด, ขนาดและทิศทางของกระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาลำดับการทำงานของรีเลย์ รีโคลสเซอร์ และฟิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

### 5.6.1 ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการทดลองนี้ได้ศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0-8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามภาพที่ 5.6

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 5.57 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมน หลังรีโคลสเซอร์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดของรีโคลสเซอร์ในไลน์เมน และพิวส์แรงสูงในไลน์แยก แต่จะส่งผลกระทบต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดจากสถานีไฟฟ้า

**ตารางที่ 5.57** ขนาดกระแสไฟฟ้าจ่ายไปให้โหลด ที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันในสภาวะจ่ายโหลดปกติเมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าโหลด (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.66	2.67	2.67	2.67
2	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56
3	8.80	8.82	8.84	8.85	8.87	8.88	8.89	8.90	8.91
4	3.65	3.66	3.67	3.67	3.68	3.68	3.69	3.69	3.70
5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	16.51	16.55	16.59	16.62	16.65	16.67	16.70	16.72	16.73
7	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09
8	5.41	5.44	5.46	5.48	5.50	5.51	4.54	4.55	4.56
9	5.05	5.08	5.11	5.14	5.16	4.20	4.21	4.23	4.24
10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
11	17.14	16.64	16.75	16.85	16.94	17.03	15.65	15.71	15.76
12	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
13	2.65	2.35	2.37	2.38	2.40	2.41	2.42	2.43	2.44
14	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86
15	0.58	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60	0.61	0.61
16	5.79	5.84	5.88	5.91	5.94	5.97	5.02	5.04	5.06
17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
18	1.76	1.77	1.79	1.80	1.81	1.83	1.84	1.85	1.85
19	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25
20	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50
21	0.45	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48
22	3.72	3.72	3.73	3.73	3.73	3.74	3.74	3.74	3.74
23	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
24	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.57 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ขนาดกระแสไฟฟ้าไหลต (A) เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าเปลี่ยนไป								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
25	2.61	2.61	2.62	2.62	2.62	2.62	2.63	2.63	2.63
26	2.58	2.59	2.59	2.59	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
27	13.85	13.87	13.88	13.90	13.91	13.92	13.93	13.94	13.95
28	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40
29	3.93	3.94	3.94	3.95	3.95	3.95	3.96	3.96	3.96
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
31	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87

### 5.6.2 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ และรีโคลสเซอร์ รวมทั้งขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.58 - 5.59 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรมีค่ามากขึ้น โดยที่ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 5.58 ขนาดกระแสลัดวงจรตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรขณะโรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิตต่าง ๆ เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่งลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.38	3.40	3.43	3.45	3.47	3.49	3.51	3.53
2	3.31	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46	3.48
3	2.78	2.81	2.83	2.85	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96
4	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63
5	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
6	2.73	2.76	2.78	2.81	2.83	2.85	2.87	2.89	2.91
7	2.12	2.14	2.17	2.19	2.21	2.23	2.25	2.28	2.30
8	1.88	1.91	1.93	1.95	1.98	2.00	2.02	2.04	2.06
9	1.47	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.63	1.65
10	1.43	1.45	1.48	1.50	1.53	1.55	1.57	1.59	1.61

ตารางที่ 5.58 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
11	1.32	1.34	1.37	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
12	1.12	1.14	1.16	1.18	1.19	1.21	1.23	1.24	1.26
13	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11	1.12
14	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07
15	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
16	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92
17	1.30	1.33	1.35	1.38	1.40	1.42	1.44	1.47	1.49
18	1.04	1.06	1.08	1.11	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21
19	0.92	0.94	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05
20	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97
21	0.86	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97
22	3.00	3.01	3.03	3.05	3.06	3.08	3.09	3.10	3.12
23	3.07	3.09	3.10	3.12	3.14	3.15	3.17	3.18	3.19
24	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.84
25	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.63	1.64
26	1.80	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85
27	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61
28	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15
29	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55
30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32
31	1.18	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20

ตารางที่ 5.59 ขนาดกระแสลัดวงจรที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
2	3.31	3.31	3.31	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
3	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
4	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.59 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรจากสถานีไฟฟ้า (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
5	1.02	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
6	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
7	2.12	2.12	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11
8	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
9	1.47	1.47	1.47	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
10	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.42	1.42
11	1.32	1.32	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
12	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10
13	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
14	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93
15	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87
16	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80
17	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
18	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02
19	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89
20	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.82
21	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.82
22	3.00	2.99	2.99	2.99	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97
23	3.07	3.06	3.06	3.06	3.05	3.05	3.05	3.05	3.04
24	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76	1.76
25	1.60	1.60	1.59	1.58	1.58	1.57	1.57	1.56	1.56
26	1.80	1.80	1.79	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76
27	1.57	1.57	1.56	1.56	1.55	1.55	1.54	1.54	1.53
28	1.13	1.13	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11	1.10	1.10
29	1.52	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48
30	1.30	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26
31	1.18	1.17	1.17	1.16	1.16	1.16	1.15	1.15	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.6.3 ผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.6.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขณะที่เกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะทำให้กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรนี้ อาจส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการจำลองการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์ โดยที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.60 – 5.68

ตารางที่ 5.60 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 0 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.765
5	0.010	-	2.066
6	0.012	-	0.242
7	0.025	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.525
9	0.041	0.016	0.892
10	0.010	0.016	0.945
11	0.051	0.016	1.133
12	0.028	0.016	1.626
13	0.035	0.016	2.081
14	0.038	0.016	2.320
15	0.043	0.017	2.735
16	0.050	0.018	3.296
17	0.052	0.016	1.161
18	0.166	0.016	1.946
19	0.042	0.017	2.625

ตารางที่ 5.60 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
20	0.048	0.017	3.148
21	0.048	0.017	3.165
22	0.010	-	0.200
23	0.010	-	0.191
24	0.010	-	0.573
25	0.010	-	0.737
26	0.010	-	0.573
27	0.014	-	0.767
28	0.010	-	1.588
29	0.015	-	0.824
30	0.010	-	1.165
31	0.010	-	1.449

ตารางที่ 5.61 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 1 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.233
4	0.010	-	0.771
5	0.010	-	2.096
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.410
8	0.025	0.016	0.526
9	0.040	0.016	0.893
10	0.017	0.016	0.946
11	0.049	0.016	1.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.61 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
12	0.027	0.016	1.638
13	0.034	0.016	2.105
14	0.037	0.016	2.351
15	0.042	0.017	2.778
16	0.049	0.018	3.359
17	0.050	0.016	1.163
18	0.078	0.016	1.957
19	0.040	0.017	2.654
20	0.047	0.017	3.195
21	0.047	0.017	3.212
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.578
25	0.010	-	0.743
26	0.010	-	0.577
27	0.014	-	0.773
28	0.010	-	1.606
29	0.015	-	0.831
30	0.010	-	1.177
31	0.010	-	1.465

ตารางที่ 5.62 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 2 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234

ตารางที่ 5.62 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
4	0.010	-	0.778
5	0.010	-	2.125
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.411
8	0.024	0.016	0.526
9	0.039	0.016	0.895
10	0.016	0.016	0.947
11	0.047	0.016	1.137
12	0.027	0.016	1.650
13	0.033	0.016	2.129
14	0.036	0.016	2.382
15	0.041	0.017	2.822
16	0.047	0.018	3.422
17	0.048	0.016	1.165
18	0.075	0.016	1.967
19	0.039	0.017	2.682
20	0.045	0.018	3.241
21	0.045	0.018	3.259
22	0.010	-	0.201
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.582
25	0.010	-	0.749
26	0.010	-	0.581
27	0.014	-	0.780
28	0.010	-	1.623
29	0.015	-	0.838
30	0.010	-	1.188
31	0.010	-	1.480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.63 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 3 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.784
5	0.010	-	2.153
6	0.010	-	0.242
7	0.019	0.016	0.411
8	0.023	0.016	0.526
9	0.037	0.016	0.896
10	0.016	0.016	0.949
11	0.046	0.016	1.139
12	0.026	0.016	1.662
13	0.032	0.016	2.152
14	0.035	0.017	2.412
15	0.400	0.017	2.864
16	0.047	0.018	3.484
17	0.047	0.016	1.167
18	0.072	0.016	1.976
19	0.038	0.017	2.711
20	0.043	0.018	3.287
21	0.044	0.018	3.305
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.192
24	0.010	-	0.586
25	0.010	-	0.755
26	0.010	-	0.585
27	0.014	-	0.786
28	0.010	-	1.640
29	0.015	-	0.845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.63 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.200
31	0.010	-	1.495

ตารางที่ 5.64 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะทีโรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 4 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.790
5	0.010	-	2.181
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.023	0.016	0.527
9	0.036	0.016	0.897
10	0.015	0.016	0.950
11	0.044	0.016	1.140
12	0.025	0.016	1.673
13	0.031	0.016	2.175
14	0.034	0.017	2.441
15	0.039	0.017	2.907
16	0.045	0.018	3.546
17	0.045	0.016	1.169
18	0.070	0.016	1.985
19	0.036	0.017	2.739
20	0.042	0.018	3.332
21	0.042	0.018	3.352

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.64 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
22	0.010	-	0.202
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.590
25	0.010	-	0.761
26	0.010	-	0.589
27	0.014	-	0.792
28	0.010	-	1.656
29	0.015	-	0.851
30	0.010	-	1.210
31	0.010	-	1.509

ตารางที่ 5.65 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 5 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.796
5	0.010	-	2.207
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.022	0.016	0.527
9	0.035	0.016	0.899
10	0.015	0.016	0.951
11	0.043	0.016	1.142
12	0.024	0.016	1.684
13	0.030	0.016	2.197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.65 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
14	0.033	0.017	2.470
15	0.038	0.017	2.949
16	0.045	0.018	3.608
17	0.044	0.016	1.170
18	0.041	0.016	1.994
19	0.035	0.017	2.766
20	0.041	0.018	3.377
21	0.041	0.018	3.397
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.594
25	0.010	-	0.767
26	0.010	-	0.593
27	0.014	-	0.797
28	0.010	-	1.672
29	0.015	-	0.858
30	0.010	-	1.221
31	0.010	-	1.523

ตารางที่ 5.66 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 6 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.802
5	0.010	-	2.234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.66 (ต่อ)

ตำแหน่งสัตว์จร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	พิวส์แรงสูง	รีโคลเซอร์ TCC1	รีเลย์
6	0.010	-	0.242
7	0.018	0.016	0.411
8	0.022	0.016	0.527
9	0.034	0.016	0.900
10	0.015	0.016	0.951
11	0.042	0.016	1.143
12	0.024	0.016	1.695
13	0.030	0.016	2.219
14	0.033	0.017	2.499
15	0.037	0.017	2.990
16	0.044	0.018	3.669
17	0.042	0.016	1.171
18	0.065	0.016	2.003
19	0.034	0.017	2.793
20	0.040	0.018	3.422
21	0.040	0.018	3.443
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.193
24	0.010	-	0.598
25	0.010	-	0.772
26	0.010	-	0.597
27	0.014	-	0.803
28	0.010	-	1.688
29	0.015	-	0.864
30	0.010	-	1.230
31	0.010	-	1.536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.67 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ  
ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลัง  
การผลิต 7 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.807
5	0.010	-	2.259
6	0.010	-	0.242
7	0.017	0.016	0.411
8	0.021	0.016	0.527
9	0.034	0.016	0.901
10	0.014	0.016	0.952
11	0.040	0.016	1.144
12	0.023	0.016	1.706
13	0.029	0.016	2.241
14	0.032	0.017	2.528
15	0.037	0.017	3.032
16	0.043	0.018	3.730
17	0.041	0.016	1.172
18	0.063	0.016	2.011
19	0.033	0.017	2.820
20	0.039	0.018	3.467
21	0.039	0.018	3.488
22	0.010	-	0.203
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.601
25	0.010	-	0.777
26	0.010	-	0.600
27	0.014	-	0.808
28	0.010	-	1.702
29	0.015	-	0.870

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.67 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
30	0.010	-	1.240
31	0.010	-	1.549

ตารางที่ 5.68 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ขณะที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์เมนหลังรีโคลสเซอร์และมีกำลังการผลิต 8 MW

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
1	0.010	-	0.159
2	0.010	-	0.164
3	0.010	-	0.234
4	0.010	-	0.813
5	0.010	-	2.284
6	0.010	-	0.242
7	0.017	0.016	0.411
8	0.021	0.016	0.528
9	0.033	0.016	0.902
10	0.014	0.016	0.953
11	0.039	0.016	1.146
12	0.023	0.016	1.716
13	0.028	0.016	2.262
14	0.031	0.017	2.556
15	0.036	0.017	3.072
16	0.042	0.018	3.791
17	0.040	0.016	1.173
18	0.061	0.016	2.019
19	0.032	0.017	2.847
20	0.038	0.018	3.511
21	0.038	0.018	3.533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.68 (ต่อ)

ตำแหน่งลัดวงจร	เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน		
	ฟิวส์แรงสูง	รีโคลสเซอร์ TCC1	รีเลย์
22	0.010	-	0.204
23	0.010	-	0.194
24	0.010	-	0.605
25	0.010	-	0.782
26	0.010	-	0.603
27	0.014	-	0.813
28	0.010	-	1.717
29	0.015	-	0.875
30	0.010	-	1.249
31	0.010	-	1.562

#### 5.6.4 ผลกระทบของกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ขนาดของกระแสลัดวงจรมีผลต่อการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดค่าการทำงานต่ำที่สุดของรีเลย์, รีโคลสเซอร์ และขนาดพิกัดของฟิวส์แรงสูง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.59 แสดงให้เห็นว่า เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หากเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5.59 ค่ากระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ เมื่อเกิดลัดวงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในไลน์เมน หลังรีโคลสเซอร์

ตำแหน่งลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
1	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
6	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

ตารางที่ 5.59 (ต่อ)

ตำแหน่ง ลัดวงจร	ขนาดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งลัดวงจร (kA) เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าฯ มีค่าต่าง ๆ								
	0 (MW)	1 (MW)	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)
7	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
11	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
14	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
15	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในพื้นที่ อ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี โดยในระบบจำหน่ายไฟฟ้าติดตั้งรีโกลสเซอร์ จำนวน 1 เครื่อง และพิวส์แรงสูง จำนวน ๓๑ ชุด ในการทดลองได้กำหนดตำแหน่งที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 5 ตำแหน่ง มีกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-8 MW ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่าขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีผลต่อลำดับการทำงานของรีโกลสเซอร์และพิวส์แรงสูงที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนี้

6.1.1 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 8 MW เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหน้ารีโกลสเซอร์ (ในไลน์เมนหน้ารีโกลสเซอร์หรือ ในไลน์เมนใกล้สถานีไฟฟ้า)

ขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไลน์เมนหน้ารีโกลสเซอร์ ขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยที่กระแสลัดวงจรจะที่ตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุด คิดเป็น 16.39, 4.65 และ 7.15 เปอร์เซ็นต์ของค่ากระแสลัดวงจรขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อเกิดลัดวงจรบริเวณหน้าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิต 8 MW และเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหน้ารีโกลสเซอร์, ใกล้สถานีไฟฟ้า และบริเวณรีโกลสเซอร์ ตามลำดับ แต่จากการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะไม่ส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานระหว่าง รีเลย์- รีโกลสเซอร์, รีเลย์-พิวส์แรงสูง และรีโกลสเซอร์-พิวส์แรงสูง ซึ่งในขณะที่ เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่มีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และลำดับการทำงานของรีเลย์-รีโกลสเซอร์, รีเลย์-พิวส์แรงสูง และรีโกลสเซอร์-พิวส์แรงสูง

6.1.2 เมื่อโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังรีโกลสเซอร์

ขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังรีโกลสเซอร์ ตำแหน่งที่โรงไฟฟ้าฯ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยที่กระแสลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุด คิดเป็น 18.54 และ 16.07 เปอร์เซ็นต์ของค่ากระแสลัดวงจรขณะที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่เชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อเกิดลัดวงจรบริเวณหน้าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขณะที่โรงไฟฟ้าฯ มีกำลังการผลิต 8 MW และเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในไลน์แยกหลังรีโกลสเซอร์ และไลน์เมนหลังรีโกลสเซอร์ ตามลำดับ ซึ่งจากการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานระหว่าง รีโกลสเซอร์-พิวส์แรงสูง เมื่อขนาดกำลังการผลิตของ

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตมากกว่า 3 MW แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานระหว่างรีเลย์-ฟิวส์ และ รีเลย์-รีโคลสเซอร์ ซึ่งในขณะที่ เมื่อเกิดลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงกราวด์ ขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่มีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และลำดับการทำงานของรีเลย์-รีโคลสเซอร์, รีเลย์-ฟิวส์แรงสูง และรีโคลสเซอร์-ฟิวส์แรงสูง

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบกับระบบทดสอบจะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่เดิมจริง โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งในทางปฏิบัติการไฟฟ้าจะไม่สามารถกำหนดตำแหน่งการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ทำให้เกิดผลดีต่อระบบไฟฟ้าได้ โดยส่วนใหญ่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายจะเชื่อมต่อกับตำแหน่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งการแก้ปัญหาหลายวิธีเช่น การพิจารณากำหนดพิกัดของฟิวส์แรงสูง และรีโคลสเซอร์ใหม่ หรือการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ที่สามารถปลดวงจรเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ภายในเวลา 0.016 วินาที เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. การกำหนดส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จากพลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2554.
- [2] ภารต อินทรเทศ. “ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีต่อการป้องกันและความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [3] Karen L. et. al. “Impact of Distributed Generators on Protective Devices in Radial Distribution Systems” **IEEE**. 2006. Pp. 1 -2
- [4] Tales M.de Britto. et. al. “Distributed Generation Impacts on the Coordination of Protection Systems in Distribution Networks” **IEEE PES Transmission & Distribution Conference & Exposition**. 2004. Pp. 623-628.
- [5] Mahmud Fotuhi-Firuzabad. “An Analytical Method to Consider DG Impacts on Distribution System Reliability” **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China**. 2005 . pp. 31-6
- [6] Seyed Ali Mohammad Javadian and Maryam Massaeli. “Impact of distributed generation on distribution system’s reliability considering recloser-fuse miscoordination- A practical case study” **Indian Journal of Science and Technology**. 4(10). 2011. pp. 1279-1284.
- [7] Mojtaba Khederzadeh. et. al. “Source type impact of distributed generation (DG) on the distribution protection” **Developments in Power System Protection**. 2010. Pp. 1 – 5.
- [8] K Vinothkumar. et. al. “Impact of DG Model and Load Model on Placement of Multiple DGs in Distribution System” **International Conference on Industrial and Information Systems**. Jul 29 - Aug 01. 2010. Pp. 508 – 513.

- [9] S. Al Abri. et. al. “Distributed Generation Placement and Sizing Method to Improve the Voltage Stability Margin in a Distribution System” **Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)**. 2011. Pp. 1-7
- [10] สาธิต กล้าหาญ. “การหาค่ากำลังการผลิตที่มากที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กโดยไม่ส่งผลกระทบต่อลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย 22 kv.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2556.
- [11] บุญฤทธิ์ ทองพูล. “การกำหนดตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อลดความสูญเสีย โดยคำนึงถึงระดับความผิดพลาดในระบบเครือข่ายจำหน่ายไฟฟ้า.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552.
- [12] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คู่มือการพิจารณาปรับเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP). กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2549
- [13] กระทรวงพลังงาน. “ปฏิรูประบบโครงสร้างตลาดพลังงานทดแทน.” [Online]. Available : <http://www.dede.go.th>. 2557
- [14] International Electrochnical Commission. “Short circuit current calculation in three phase AC System.” IEC Std 909, 1 st Edition. Geneva. 1998.
- [15] กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์. หลักเกณฑ์ทั่วไปในการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2552.