

ผลกระทบของการติดตั้ง NGR ต่อคุณภาพไฟฟ้า เมื่อมีการต่อเชื่อม
ของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก

IMPACT OF NGR AND SPP ON POWER QUALITY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-020-366

ผลกระทบของการติดตั้ง NGR ต่อคุณภาพไฟฟ้า เมื่อมีการต่อเชื่อม
ของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก

IMPACT OF NGR AND SPP ON POWER QUALITY



เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 82707
วัน,เดือน,ปี..... 22 ก.ค. 2551

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้บัณฑิตวิทยาลัย นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-020-366

IMPACT OF NGR AND SPP ON POWER QUALITY



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-020-366

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ ลิขสิทธิ์ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT.S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของการติดตั้ง NGR ต่อคุณภาพไฟฟ้า เมื่อมีการต่อเชื้อของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก

Impact of NGR and SPP on Power Quality

นักศึกษา นายสุธีร์วัฒน์ นงนุช

รหัสประจำตัว 46060339

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ทิลาจินดาไกรฤกษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ศุภี บรรจงจิตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ศุภี	บรรจงจิตร	
ดร.ภพ	จันทร์เจริญสุข	
ดร.เอกรินทร์	วาสนาส่ง	
ผศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ	
รศ.มณฑล	ทิลาจินดาไกรฤกษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 29 พฤษภาคม 2551 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1



บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเป็น วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 451

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของการติดตั้ง NGR ต่อคุณภาพไฟฟ้า เมื่อมีการต่อเชื่อมของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก
นักศึกษา	นายสุธีรวัฒน์ นงนุช
รหัสประจำตัว	46060339
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ศุติ บรรจงจิตร

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการกระจายตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ซึ่งส่วนใหญ่มักต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั้งในระบบไฟฟ้า 22 kV, 33 kV และ 115 kV ผลจากการต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมีส่วนทำให้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลัง (Power Quality) ในระบบไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปทั้งในทิศทางที่ดีขึ้นและแย่ลงกว่าเดิม สำหรับการศึกษานี้จะมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบทางด้านคุณภาพไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะ ปัญหา Voltage Sag และ ปัญหา Voltage Swell โดยไม่พิจารณาผลการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง Neutral Grounding Resistor (NGR) ในระบบ 22 kV เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้ผลกระทบดังกล่าวข้างต้นมีระดับความรุนแรงจนส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าทำงานผิดพลาด โดยอาศัยการจำลองระบบไฟฟ้าในพื้นที่ตัวอย่างด้วยโปรแกรม DIgSILENT Power Factory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Impact of NGR and SPP on Power Quality
Student	Mr.Suterawat Nongnoot
Student ID.	46060339
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Monthon Leerachindakaileak
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Sulee Bunjongjit

ABSTRACT

This policy can affect to the Addition of Small Power Producer (SPP) on 22 kV, 33 kV and 115 kV of PEA's systems SPP can affect the performance of power quality (both positively and negatively) in various ways. This thesis will study concerning impact of Small Power Producer (SPP) on power quality and only focus on voltage sag and voltage swell and cut of power flow in area of 22 kV Neutral Grounding Resistor (NGR) system. The Studies have been performed considering both techniques and effects by using simulation of DIGSILENT Power Factory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ศุภี บรรจงจิตร ท่านผู้อำนวยการ สำนักส่งเสริมและบริการวิชาการพระจอมเกล้าลาดกระบังและรองศาสตราจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ท่านรองคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและแนะนำตลอดจนให้คำปรึกษาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ชายชาญ โภธิสาร และ ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือจนนำมาสู่การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ตันติฉายากร ท่านผู้อำนวยการกองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ และ คุณกิตติกร มณีสว่าง กองวิจัยฝ่ายพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่กรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้าย ความดีและประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่ พ่อ-แม่ ซึ่งเป็นพรหมของลูกเป็นปฐุนีขบถุคคที่ได้ให้ปัจจุบันและอนาคตแก่ผู้วิจัย

สุธีรวัฒน์ นงนุช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	XIX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า.....	5
2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง.....	7
2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System).....	7
2.1.2 ระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission System).....	8
2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System).....	8
2.2 ปัญหา Voltage Sag/Dip.....	9
2.2.1 มาตรฐานเกี่ยวกับ Voltage Sag/Dip.....	10
2.2.1.1 นิยามความหมายของ Voltage Sag ตาม IEEE Std.1159-1995.....	11
2.2.1.2 นิยามความหมายของ Voltage Dip ตาม IEC Std.61000-2-8.....	12
2.2.1.3 นิยามความหมายของ Voltage Dip ตาม EN Std.50160-1999.....	13
2.2.1.4 มาตรฐาน CBEMA.....	13
2.2.1.5 มาตรฐาน ITIC.....	14
2.2.1.6 มาตรฐาน SEMI Curve.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip.....	16
2.2.3 ขนาดของ Voltage Sag/Dip.....	18
2.2.4 ระยะเวลาของการเกิด Voltage Sag/Dip.....	22
2.2.5 การจำแนกประเภทของ Voltage Sag/Dip.....	23
2.2.6 การเปลี่ยนแปลงของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ขณะเกิด Voltage Sag/Dip.....	27
2.2.7 ผลของ Vector Group หม้อแปลงไฟฟ้า (Effect of Vector Group on Sag/Dip).....	29
2.3 ปัญหา Voltage Swell.....	32
บทที่ 3 อิทธิพลของการต่อลงดินต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้า.....	35
3.1 การต่อลงดิน.....	35
3.1.1 ระบบ Ungrounded Systems.....	35
3.1.2 ระบบ Resistance Grounding.....	36
3.1.3 ระบบ Reactance Grounding.....	37
3.1.4 ระบบ Ground-Fault Neutralizer (Resonant Grounding).....	38
3.1.5 ระบบ Solid Grounding.....	38
3.2 ความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้า.....	39
3.2.1 ระบบต่อลงดินเป็นแบบ Solid Grounding.....	42
3.2.2 ระบบต่อลงดินเป็นแบบ Impedance Grounding.....	42
3.3 การต่อลงดินโดยผ่าน Neutral Grounding Resistor (NGR) ในระบบไฟฟ้า.....	43
3.3.1 ค่า Impedance ที่ใช้ในการคำนวณ.....	48
3.3.2 สมการที่ใช้คำนวณ.....	48
3.3.3 ผลการคำนวณ.....	50
3.3.4 การคำนวณขนาด NGR	54
3.3.5 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ NGR ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งาน.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การต่อเชื่อมของ SPP ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR.....	57
4.1 การต่อเชื่อมของ SPP เข้าระบบไฟฟ้า.....	57
4.2 วิธีการศึกษาด้วยโปรแกรม DIgSILENT Power Factory.....	60
4.2.1 กรณีไม่มี SPP.....	61
4.2.2 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	63
4.2.3 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	63
4.3 การจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSILENT Power Factory.....	66
4.3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า.....	67
4.3.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า.....	67
4.3.3 แบบจำลองสายไฟฟ้า.....	70
4.3.4 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	71
4.4 ผลการวิเคราะห์การต่อเชื่อมของ SPP ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR.....	72
4.4.1 กรณีไม่มี SPP.....	72
4.4.2 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	124
4.4.3 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	149
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	208
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	208
5.1.1 กรณีไม่มี SPP.....	208
5.1.2 กรณีมี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	210
5.1.3 กรณีมี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	211
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	212
เอกสารอ้างอิง.....	188
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ภาคผนวก.....	189
ประวัติผู้เขียน.....	197

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของลักษณะคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE Std.1159.....	6
2.2 ประเภทของ Voltage Sag/Dip แยกตาม Fault Type, Sag Type และ Load Connection.....	26
2.3 ประเภทของ Voltage Sag/Dip ที่ด้านทุติยภูมิ เมื่อเกิดความผิดปกติประเภทต่างๆ ที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformation of Sag Type to Lower Voltage Levels).....	26
2.4 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 เมื่อเกิดความผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault ที่ด้านปฐมภูมิ.....	30
2.5 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn1 เมื่อเกิดความผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault ที่ด้านปฐมภูมิ.....	31
2.6 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 เมื่อเกิดความผิดปกติประเภท Phase to Phase Fault ที่ด้านปฐมภูมิ.....	31
2.7 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn1 เมื่อเกิดความผิดปกติประเภท Phase to Phase Fault ที่ด้านปฐมภูมิ.....	32
2.8 ผลของ X_0/X_1 จากการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าคือปัญหา Voltage Swell.....	34
3.1 สถานีไฟฟ้าย่อยที่ติดตั้ง NGR.....	44
3.2 แสดงค่า Impedance ที่ใช้ในการคำนวณ.....	48
3.3 แสดงค่ากระแสผิดปกติประเภท Single Line to Ground ที่เฟส a.....	50
3.4 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) หลังจากติดตั้ง NGR.....	51
3.5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสหลังจากติดตั้ง NGR.....	52
3.6 แสดงการตัดสินใจของสถาบัน JICA ในการเลือกขนาด NGR.....	53
3.7 แสดงข้อกำหนดทางเทคนิคของ NGR.....	56
4.1 ข้อมูลแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า.....	67
4.2 กระแสผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ.....	76
4.3 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	77
4.4 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1a) กระทบด้านการค้า เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.5 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	79
4.6 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	79
4.7 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	81
4.8 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	84
4.9 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	82
4.10 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	83
4.11 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	84
4.12 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	84
4.13 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....	85
4.14 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	86
4.15 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	87
4.16 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	88
4.17 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	89
4.19 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	90
4.20 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	91
4.21 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	92
4.22 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	93
4.23 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	94
4.24 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	94
4.25 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	95
4.26 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	96
4.27 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	97
4.28 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	98
4.29 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	99
4.30 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุผลสมควร และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.31 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	100
4.32 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	101
4.33 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	102
4.34 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	102
4.35 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	103
4.36 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	103
4.37 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	104
4.38 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	104
4.39 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	105
4.40 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	105
4.41 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	106
4.42 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	106
4.43 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่าวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิเผยแพร่แบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.44 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	107
4.45 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทาง 0 km และ 20 km.....	108
4.46 เปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้ง NGR และแบบ Solid Grounding ที่ขนาดโหลด 10 MVA....	109
4.47 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW.....	113
4.48 ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW.....	113
4.49 กระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ.....	113
4.50 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	114
4.51 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	115
4.52 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	116
4.53 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	116
4.54 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	117
4.55 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	118
4.56 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	119
4.57 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีพิเศษแบบขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.58 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	120
4.59 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	121
4.60 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	121
4.61 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	122
4.62 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	123
4.63 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	124
4.64 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	124
4.65 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	125
4.66 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	126
4.67 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	126
4.68 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	127
4.69 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	128
4.70 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.71 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	130
4.72 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	130
4.73 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	131
4.74 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	131
4.75 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	132
4.76 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	132
4.77 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	133
4.78 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	133
4.79 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus SPP เมื่อ เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	134
4.80 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW.....	136
4.81 ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW.....	136
4.82 กระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ.....	137
4.83 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	138
4.84 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22kv (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	139
4.85 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22kv (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	140

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.86 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	140
4.87 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	141
4.88 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	142
4.89 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a...	144
4.90 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	144
4.91 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	146
4.92 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	146
4.93 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	147
4.94 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	147
4.95 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	149
4.96 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	150
4.97 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	151
4.98 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.99 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติ พ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	153
4.100 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	153
4.101 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	154
4.102 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	155
4.103 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	157
4.104 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	157
4.105 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	159
4.106 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	159
4.107 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	160
4.108 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	160
4.109 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	162
4.110 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	163
4.111 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิด ความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- 4.112 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....165
- 4.113 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....166
- 4.114 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22kV (2) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....166
- 4.115 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....167
- 4.116 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....168
- 4.117 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....170
- 4.118 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....171
- 4.119 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....171
- 4.120 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....172
- 4.121 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....172
- 4.122 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....173
- 4.123 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....173
- 4.124 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ผู้ออกพิมพ์ขอสงวนสิทธิ์ในคดีและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.125 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	174
4.126 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....	175
4.127 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....	175
4.128 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	176
5.1 ข้อมูลทางเทคนิคของกัปดักฟ้าผ่าในระบบ 22 kV.....	178
5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบ Safety Margin ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	179
5.3 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	181
5.4 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	182
5.5 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	182
5.6 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	183
5.7 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	183
5.8 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	184
5.9 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a....	184
5.10 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	185

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- 5.11 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....185
- 5.12 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....186
- 5.13 ข้อมูลเปรียบเทียบ Safety Margin ที่ระยะเวลาต่างๆ กรณี SPP ติดตั้ง NGR.....186



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบผลิตไฟฟ้า.....	7
2.2 ระบบสายส่งไฟฟ้า.....	8
2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	8
2.4 การส่งจ่ายระบบไฟฟ้ากำลัง.....	9
2.5 ข้อมูลเชิงสถิติของปัญหา Voltage Sag/Dip เนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า.....	10
2.6 ความหมายของ Voltage Sag.....	11
2.7 ความหมายของ Voltage Dip.....	11
2.8 มาตรฐาน Voltage Sag ตาม IEEE Std.1159-1995.....	12
2.9 มาตรฐาน Voltage Dip ตาม IEC Std. 61000-2-8.....	12
2.10 มาตรฐาน Voltage Dip ตาม EN Std.50160-1999.....	13
2.11 มาตรฐาน CBEMA.....	14
2.12 มาตรฐาน ITIC.....	15
2.13 มาตรฐาน SEMI Curve.....	16
2.14 เปรียบเทียบมาตรฐาน CBEMA, ITIC (New CBEMA) และ SEMI.....	16
2.15 รูปคลื่น Voltage Sag/Dip แบบสมมูล.....	17
2.16 รูปคลื่น Voltage Sag/Dip แบบไม่สมมูล.....	18
2.17 การคำนวณ Voltage Sag/Dip แบบสมมูล.....	18
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Impedance กับ Voltage Sag/Dip แบบสมมูล.....	19
2.19 ตัวอย่างการคำนวณ Voltage Sag/Dip แบบสมมูล.....	20
2.20 การคำนวณหา Voltage Sag/Dip แบบสมมูลจากค่า Impedance ของระบบไฟฟ้า.....	21
2.21 เปรียบเทียบเวลาการทำงานของ Standard Invert, Very Invert และExtremely Invert.....	22
2.22 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type A.....	23
2.23 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type B.....	23
2.24 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type C.....	24
2.25 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type D.....	24
2.26 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type E.....	25
2.27 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type F.....	25
2.28 ลักษณะของ Voltage Sag/Dip แบบ Type G.....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ในระบบไฟฟ้า.....	27
2.30 แสดงระนาบความสัมพันธ์ของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ในระบบไฟฟ้า.....	28
2.31 แสดงการเปลี่ยนแปลง Phase-Angle Jump (+ 45°).....	28
2.32 แสดงการเปลี่ยนแปลง Phase-Angle Jump (- 45°).....	29
2.33 หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group เป็นแบบ Dyn11.....	29
2.34 หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group เป็นแบบ Dyn1.....	30
2.35 Voltage Swell ที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault.....	33
2.36 ผลของ X_0/X_1 ต่อปัญหา Voltage Swell.....	33
3.1 ระบบ Ungrounded.....	35
3.2 ระบบ Resistance Grounding.....	37
3.3 ระบบ Reactance Grounding.....	37
3.4 ระบบ Ground-Fault Neutralizer.....	38
3.5 ระบบ Solid Grounding.....	39
3.6 แสดงส่วนประกอบสมมาตร.....	39
3.7 การต่อเชื่อมส่วนประกอบสมมาตรแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a.....	40
3.8 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้า กรณีเกิดความผิดปกติที่เฟส a.....	41
3.9 การติดตั้ง NGR ในระบบไฟฟ้า.....	43
3.10 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส a ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c.....	45
3.11 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส b ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c.....	46
3.12 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส c ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c.....	46
3.13 แสดง Single Line Diagram การติดตั้ง NGR.....	47
3.14 แสดงกระแสผิดปกติที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามขนาดของ NGR.....	50
3.15 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) หลังจากติดตั้ง NGR.....	51
3.16 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสหลังจากติดตั้ง NGR.....	52
3.17 แสดงส่วนประกอบที่ใช้คำนวณขนาดของ NGR.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ภาพรวมกำลังผลิตไฟฟ้าของ SPP (MW).....	57
4.2 รูปแบบการต่อเชื่อมของ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW.....	58
4.3 รูปแบบการต่อเชื่อมของ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW.....	59
4.4 โปรแกรม DIgSILENT Power Factory	61
4.5 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ไม่มี SPP.....	62
4.6 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	64
4.7 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	65
4.8 ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อยในพื้นที่ตัวอย่าง	66
4.9 แบบจำลองแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า.....	67
4.10 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้.....	68
4.11 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 12 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยของ SPP.....	69
4.12 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2 MVA ของผู้ใช้ไฟกลุ่มตัวอย่าง.....	69
4.13 แบบจำลองสายไฟฟ้าขนาด 185 sq.mm. ชนิด Partial Insulated Cable (PIC).....	70
4.14 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	71
4.15 แบบจำลองกรณีไม่มี SPP.....	72
4.16 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางประมาณ 2 km จากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 20 MW).....	73
4.17 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault ที่เฟส b ที่ระยะทางประมาณ 2.4 km จากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 10 MW).....	74
4.18 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติประเภท Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางประมาณ 3.2 km จากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 10 MW).....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Solid Grounding และมี NGR ขนาด 12.7 Ω	76
4.20 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลดรวม 10 MVA.....	77
4.21 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความผิดพลาด แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA.....	78
4.22 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 ที่โหลด 10 MVA	80
4.23 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 เมื่อเกิด พอร์แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA.....	81
4.24 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลด 20 MVA.....	82
4.25 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA.....	83
4.26 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 20 MVA.....	91
4.27 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA.....	86
4.28 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลด 30 MVA.....	87
4.29 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA.....	88
4.30 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 30 MVA.....	90
4.31 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA.....	91
4.32 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 ที่โหลด 40 MVA	92
4.33 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA.....	93
4.34 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 40 MVA.....	95
4.35 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA.....	96
4.36 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 ที่โหลด 50 MVA.....	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.37 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA.....	98
4.38 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 50 MVA.....	100
4.39 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความ ผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA.....	101
4.40 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้ง NGR และแบบ Solid Grounding.....	110
4.41 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	111
4.42 แบบจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW.....	112
4.43 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ทั้งในกรณีที่ไม่มี SPP และมี SPP ขนาด ≤ 3 MW.....	114
4.44 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 1 MW.....	129
4.45 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 1 MW.....	117
4.46 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 1 MW.....	118
4.47 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 2 MW.....	120
4.48 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 2 MW.....	122
4.49 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 2 MW.....	123
4.50 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 3 MW.....	125
4.51 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 3 MW.....	127
4.52 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 3 MW.....	128
4.53 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER2 และมี SPP 3 MW.....	129
4.54 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	135
4.55 แบบจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW.....	136
4.56 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ทั้งในกรณีที่ไม่มี SPP และมี SPP ขนาด > 3 MW.....	137
4.57 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 4 MW.....	138

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.58 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	139
4.59 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 4 MW.....	158
4.60 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	142
4.61 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 4 MW.....	143
4.62 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	143
4.63 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 5 MW.....	145
4.64 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	145
4.65 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 5 MW.....	148
4.66 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	148
4.67 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 5 MW.....	149
4.68 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	150
4.69 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 6 MW.....	151
4.70 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	152
4.71 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 6 MW.....	154
4.72 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	155
4.73 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 6 MW.....	156
4.74 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้สงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.75 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 7 MW.....	158
4.76 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	158
4.77 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 7 MW.....	161
4.78 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	161
4.79 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 7 MW.....	162
4.80 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	163
4.81 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 8 MW.....	164
4.82 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	165
4.83 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 8 MW.....	167
4.84 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	168
4.85 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 8 MW.....	169
4.86 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติ แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ.....	169
4.87 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER2 และมี SPP 8 MW.....	170
5.1 TOV Curve ของกั๊บดั๊กฟ้าผ่าขนาด 5 kA	178

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากข้อมูลในเชิงสถิติเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดำเนินการสำรวจพบว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่สร้างผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟมากที่สุด คือ ปัญหา Voltage Sag ที่มีผลมาจากความผิดปกติ (Fault) ในระบบไฟฟ้า แล้วส่งผลกระทบทำให้แรงดันไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้เคียงมีค่าลดลง สร้างผลกระทบในวงกว้างต่อกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟในกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเป็นตัวกำหนด อาทิเช่น ระดับ MVA Short Circuit ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ขนาดของกระแสผิดปกติ ชนิดของความผิดปกติ และระยะเวลาในการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกัน เป็นต้น

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ดำเนินการปรับปรุงระบบไฟฟ้าในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมโดยการติดตั้ง Neutral Grounding Resistor (NGR) ในระบบ 22 kV เพื่อช่วยลดผลกระทบของปัญหา Voltage Sag จากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามผลจากการติดตั้ง NGR ทำให้เกิดผลกระทบข้างเคียง คือ ทำให้เกิด Voltage Swell ขึ้นในระบบไฟฟ้า และตั้งแต่ปี พ.ศ.2535 เป็นต้นมา รัฐบาลได้ดำเนินนโยบายส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนผลิตไฟฟ้าขาย จึงมีโครงการพัฒนาแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเกิดขึ้น เรียกว่า “ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก” (Small Power Producer, SPP) ซึ่งเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนที่จ่ายไฟเข้ามาในระบบไฟฟ้าทำให้การจ่ายไฟในระบบไฟฟ้าไม่เป็นที่ไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานในการออกแบบที่มีอยู่เดิม ในบางกรณีระบบถูกปรับปรุง เปลี่ยนแปลงเพื่อให้สามารถรองรับการจ่ายไฟของ SPP ได้ นอกจากนั้นการเชื่อมโยง SPP เข้าระบบไฟฟ้ายังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบในหลายด้าน เช่น การไหลของพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ความรุนแรงของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า ตลอดจนทำให้การจัดความสัมพันธ์ในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายนั้น ๆ ซับซ้อนขึ้นด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อทำความเข้าใจและกำหนดวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบต่าง ๆ รวมทั้งวางแผนการดำเนินงานเพื่อรองรับการจ่ายไฟของ SPP ได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีคุณภาพไฟฟ้า มีความเชื่อถือได้และมีเสถียรภาพมั่นคงต่อไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาการต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้าของ SPP ในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR ในระบบ 22 kV เพื่อหาเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆซึ่งมีผลต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag และ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.1.1 เพื่อศึกษาผลกระทบและเงื่อนไขหรือองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของ ปัญหา Voltage Sag และ Voltage Swell ในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR และเกี่ยวข้องกับการต่อเชื่อม SPP เข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- 1.1.2 เพื่อศึกษาทำความเข้าใจและกำหนดวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ รวมทั้งวางแผนการดำเนินงาน เพื่อรองรับการจ่ายไฟของ SPP ได้อย่างถูกต้อง
- 1.1.3 เพื่อกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาเชิงเทคนิคเพื่อให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR ภายหลังจากการต่อเชื่อมของ SPP ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดิม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมบางแห่งมีการติดตั้ง NGR ที่หม้อแปลงไฟฟ้าระบบ 115/22 kV ขนาด 30/40/50 MVA แบบ Dyn1 เพื่อลดระดับความรุนแรงของ Voltage Sag ที่เกิดจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ผลจากการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ไฟได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากในปัจจุบันรัฐบาลได้มีการสนับสนุนให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตสามารถรับซื้อพลังงานไฟฟ้าได้จาก SPP และมักต่อเชื่อมเพื่อจ่ายไฟเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้โดยตรง ผลจากการต่อเชื่อมดังกล่าวอาจส่งผลทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR มีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากระเบียบว่าด้วยการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่มีข้อกำหนดให้ SPP ที่จะต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้าต้องติดตั้ง NGR ด้วย ดังนั้นเมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ขึ้นภายหลังจากที่ SPP รายใหม่ต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้าแล้ว กระแสผิดปกติที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP จ่ายออกมาอาจสร้างปัญหาทำให้ Voltage Sag มีระดับความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นจนส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟ ดังนั้นจึงควรพิจารณากำหนดให้ SPP ต้องติดตั้ง NGR เพื่อช่วยลดขนาดของกระแสผิดปกติที่เกิดขึ้นเหมือนกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อย่างไรก็ตามการติดตั้ง NGR จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบป้องกันทั้งทางด้านกระแสและแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดิม อาจจำเป็นต้องแก้ไขระเบียบว่าด้วยการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบป้องกันของ SPP ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรทางไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อการเกิดปัญหา Voltage Sag ในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าประกอบไปด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า นอกจากนั้นผลของ Connection หม้อแปลงไฟฟ้าและรูปแบบของระบบไฟฟ้าที่ต่อเป็นแบบ Grounded System และ Ungrounded System จะทำให้พฤติกรรมของ Voltage Sag มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นทั้งในแง่การคำนวณและวิธีการวิเคราะห์ โดยเฉพาะเมื่อเกิดความผิดปกติแบบไม่สมดุลขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเป็นแบบ Solidly Grounded System จะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติมีขนาดลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่เฟสอื่นๆ ซึ่งไม่ได้เกิดความผิดปกติยังคงมีค่าใกล้เคียงค่าปกติ แต่ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเป็นแบบ Ungrounded System หรือแบบ Grounded System แต่ต่อผ่านระบบ NGR จะให้ผลที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault จะทำให้เกิด Voltage Sag ขึ้นในเฟสที่เกิดความผิดปกติ แต่สำหรับเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะเกิด Voltage Swell ขึ้น อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากจุดอ้างอิงของระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือเกิด Neutral Shift ขึ้น ซึ่งพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อใช้งานเป็นแบบ Phase to Neutral นอกจากนั้นระบบ Ungrounded System หรือแบบ Grounded System แต่ต่อผ่านระบบ NGR ยังมีผลต่อการทำให้กระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault มีขนาดที่น้อยลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของระบบป้องกันทางด้านกระแส

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.1.1 ศึกษาการออกแบบระบบ NGR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- 1.1.2 ศึกษาเงื่อนไขหรือองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของ ปัญหา Voltage Sag และ Voltage Swell ในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR
- 1.1.3 วิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ รวมทั้งวางแผนการดำเนินงานเพื่อรองรับการจ่ายไฟของ SPP ทั้งในกรณีที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 3 MW และที่จ่ายพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 3 MW ใน พื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR
- 1.1.4 พิจารณาความเหมาะสมของระบบป้องกันสำหรับระบบที่มีการติดตั้ง NGR
- 1.1.5 กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหาในเชิงเทคนิคเพื่อให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR ภายหลังจากการต่อเชื่อมของ SPP ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดิม

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษาทฤษฎีการเกิดปัญหา Voltage Sag และ Voltage Swell ในระบบไฟฟ้าจากเอกสารทางวิชาการต่างๆ ซึ่งเป็นที่ยอมรับ
- 1.6.2 ศึกษากฎระเบียบและรวบรวมข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับ SPP ในประเทศไทย
- 1.6.3 รวบรวมข้อมูลระบบไฟฟ้าในพื้นที่ตัวอย่างเพื่อจัดทำระบบจำลองทางไฟฟ้า
- 1.6.4 เปรียบเทียบขนาดของ Voltage Sag และ Voltage Swell ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลองทางไฟฟ้าที่จัดทำขึ้น
- 1.6.5 ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรทางไฟฟ้าต่างๆ ในระบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาเงื่อนไขและองค์ประกอบที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag และ Voltage Swell
- 1.6.6 พิจารณาหาแนวทางแก้ไขปัญหาในเชิงเทคนิคเพื่อให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR ภายหลังการต่อเชื่อมของ SPP ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากลายเป็นปัญหาสำคัญที่หลายๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในภาครัฐและภาคเอกชนต่างให้ความสนใจ เนื่องจากมักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ต้องปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าอยู่เสมอ เป็นผลทำให้กระบวนการผลิตต่างๆ ทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมต้องหยุดชะงัก ซึ่งส่งผลให้เศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศได้รับความเสียหาย อย่างไรก็ตามปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งมีที่มาจากพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟที่เปลี่ยนแปลงไป โดยผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่หันไปพึ่งพาอุปกรณ์ไฟฟ้าสมัยใหม่กันมากขึ้น ข้อได้เปรียบของอุปกรณ์ไฟฟ้าสมัยใหม่ทั้งในเรื่องของฟังก์ชันการทำงานที่มีให้เลือกได้หลากหลายมากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ารุ่นเก่าๆ รวมทั้งใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่น้อยกว่า ส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าสมัยใหม่ได้รับความสนใจจากผู้ใช้ไฟ และมีแนวโน้มการใช้งานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้างบางประการในเรื่องของคุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ ข้อจำกัดดังกล่าวเป็นผลมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าสมัยใหม่มีขีดจำกัดความทนได้ต่อคุณภาพไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปต่ำ จึงเป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้มักปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้ง

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดได้จากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Fault) การปลด-สับคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ การสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่แบบ Direct on Line การใช้โหลดประเภท Arc Furnace หรือโหลดประเภท Non-Linear Load นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางเทคนิคที่เอื้อต่อพฤติกรรมของการเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าอีก อาทิเช่น การออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าให้เป็นแบบ Ungrounded System หรือ Grounded System การเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้าของ SPP ค่า MVA Short Circuit ของระบบไฟฟ้า ความรวดเร็วและความถูกต้องในการทำงานของระบบป้องกันทั้งทางด้านกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

หากกล่าวถึงนิยามความหมายของคุณภาพไฟฟ้าตามความเข้าใจของบุคคลโดยทั่วไปแล้วมักมีข้อแตกต่างกันบ้างบางประการ บางความหมายอาจจะระบุเป็นค่าความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า (Reliability) และบางความหมายสนใจเฉพาะแค่เพียงปัญหาไฟฟ้าดับ (Interruption) เท่านั้น แต่โดยภาพรวมแล้ว คุณภาพไฟฟ้าหมายถึง ปัญหาใดๆในระบบไฟฟ้ากำลังก็ตามที่เกิดขึ้นแล้ว มีผลทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและค่าความถี่ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติจนมีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ และการไฟฟ้าฯ ได้รับความเสียหาย หรือทำงานผิดพลาดจนต้องปลดตัวเองออกไป โดยปกติแล้วคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ซึ่งมาตรฐาน IEEE Std. 1159 ได้จำแนกประเภทของปัญหาคุณภาพไฟฟ้าออกเป็น 7 กลุ่มตามขนาด ระยะเวลา และค่าความถี่ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิดเหตุการณ์

ประเภท ซึ่งมาตรฐาน IEEE Std. 1159 ได้จำแนกประเภทของปัญหาคุณภาพไฟฟ้าออกเป็น 7 กลุ่มตามขนาด ระยะเวลา และค่าความถี่ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิดเหตุการณ์

ตารางที่ 2.1 ประเภทของลักษณะคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE Std.1159 [6]

No.	Categories	Typical Spectral Content	Typical Duration	Typical Voltage Magnitude
1.	Transients			
	1.1 Impulse			
	1.1.1. Nanosecond	5 – ns rise	< 50 ns	
	1.1.2. Microsecond	1 – μs rise	50 ns - 1 ms	
	1.1.3. Millisecond	0.1 – ms rise	> 1 ms	
	1.2 Oscillatory			
	1.2.1. Low Frequency	< 5 kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 PU.
	1.2.2. Medium Frequency	5 – 500 kHz	20 μs	0 – 8 PU.
	1.2.3. High Frequency	0.5 – 5 MHz	5 μs	0 – 4 PU.
2.	Short – Duration Variations			
	2.1 Instantaneous			
	2.1.1. Sag		0.5–30 cycles	0.1 – 0.9 PU.
	2.1.2. Swell		0.5–30 cycles	1.1 – 1.8 PU.
	2.2 Momentary			
	2.2.1. Interruption		30 cycles-3 s	< 0.1 PU.
	2.2.2. Sag		30 cycles-3 s	0.1 – 0.9 PU.
	2.2.3. Swell		30 cycles-3 s	1.1 – 1.4 PU.
	2.3 Temporary			
	2.3.1. Interruption		3 s – 1 min	< 0.1 PU.
	2.3.2. Sag		3 s – 1 min	0.1 – 0.9 PU.
	2.3.3. Swell		3 s – 1 min	1.1 – 1.2 PU.
3.	Long – Duration Variations			
	3.1 Interruption, Sustained		> 1 min	0.0 PU.
	3.2 Under voltages		> 1 min	0.8 – 0.9 PU.
	3.3 Over voltages		> 1 min	1.1 – 1.2 PU.
4.	Voltage Imbalance		Steady State	0.5 – 2%
5.	Waveform Distortion			
	5.1 DC Offset		Steady State	0 - 0.1%
	5.2 Harmonics	0 -100th harmonic	Steady State	0 - 20%
	5.3 Inter-harmonics	0 – 6 kHz	Steady State	0 – 2%
	5.4 Notching		Steady State	
	5.5 Noise	Broad-Band	Steady State	0 – 1%
6.	Voltage Fluctuations	< 25 Hz	Intermittent	0.1 – 7%
7.	Power Frequency Variations		< 10 s	

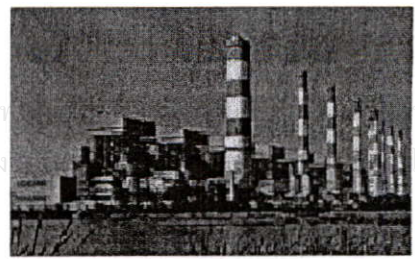
เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังทั้งหมดถูกต้องเชื่อมถึงกันเป็นแบบเครือข่าย ดังนั้นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังจึงสามารถส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังระบบอื่นๆ ทั้งในระบบผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่งไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมไปถึงจนถึงระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ

2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง

พลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งจ่ายจากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วยหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (Step-Up Transformer) เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าไปตามสายส่งแรงสูงแล้วเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงที่สถานีไฟฟ้าย่อยด้วยหม้อแปลงลดแรงดัน (Step-Down Transformer) เข้าสู่ระบบจำหน่ายที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาดปานกลางเพื่อจ่ายไฟในบริเวณที่ใช้ไฟฟ้าหรือจ่ายให้กับภาคธุรกิจอุตสาหกรรม นอกจากนั้นยังได้เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระบบแรงต่ำโดยการติดตั้งหม้อแปลงระบบจำหน่าย (Distribution Transformer) เพื่อจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงระบบไฟฟ้ากำลังโดยรวมจึงสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System)

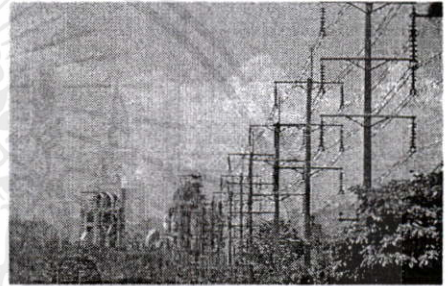
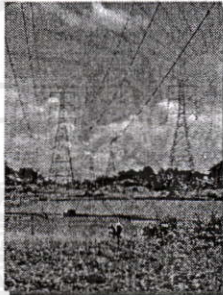
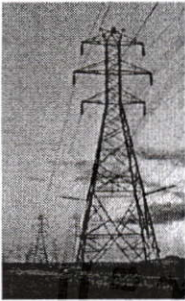
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเป็นผู้รับผิดชอบในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 6.6 KV, 13.8 KV, 22 KV และ 24 KV แล้วแต่พื้นที่ของการผลิต และเชื้อเพลิงพลังงานที่เลือกใช้ในการผลิต เพื่อจ่ายไปยังส่วนต่างๆ ของประเทศโดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นตั้งแต่ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kV จนถึง 500 kV และในปัจจุบันรัฐบาลได้สนับสนุนและส่งเสริมให้มีการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Very Small Power Producer: VSPP) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหญ่ (Independent Power Producer: IPP) ซึ่งบางส่วนเป็นกลุ่มบริษัทที่แปรรูปมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระบบผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจร (MVA Short Circuit) ของระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระดับคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้า

2.1.2 ระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission System)

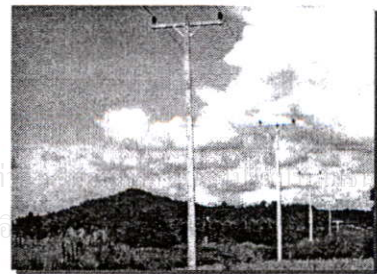
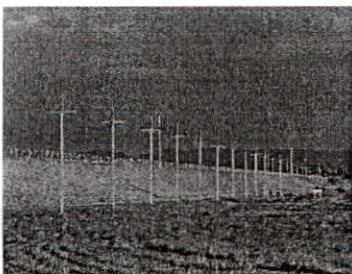
โดยปกติการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย และกลุ่มผู้ใช้ไฟตามที่ต่างๆด้วยระดับแรงดัน 69 KV, 115 KV, 230 KV และ 500 KV ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ขนาด ระยะทางและปริมาณความต้องการของผู้ใช้ไฟ นอกจากนี้ในปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังได้ดำเนินการก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าในระบบ 69 KV และ 115 KV ขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบของตนเองเพื่อสนองตอบต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟที่ต้องการความมั่นคงสูง หรือสนองตอบผู้ใช้ไฟที่มีปริมาณการใช้ไฟที่สูงเกินกว่าขีดความสามารถของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้ได้



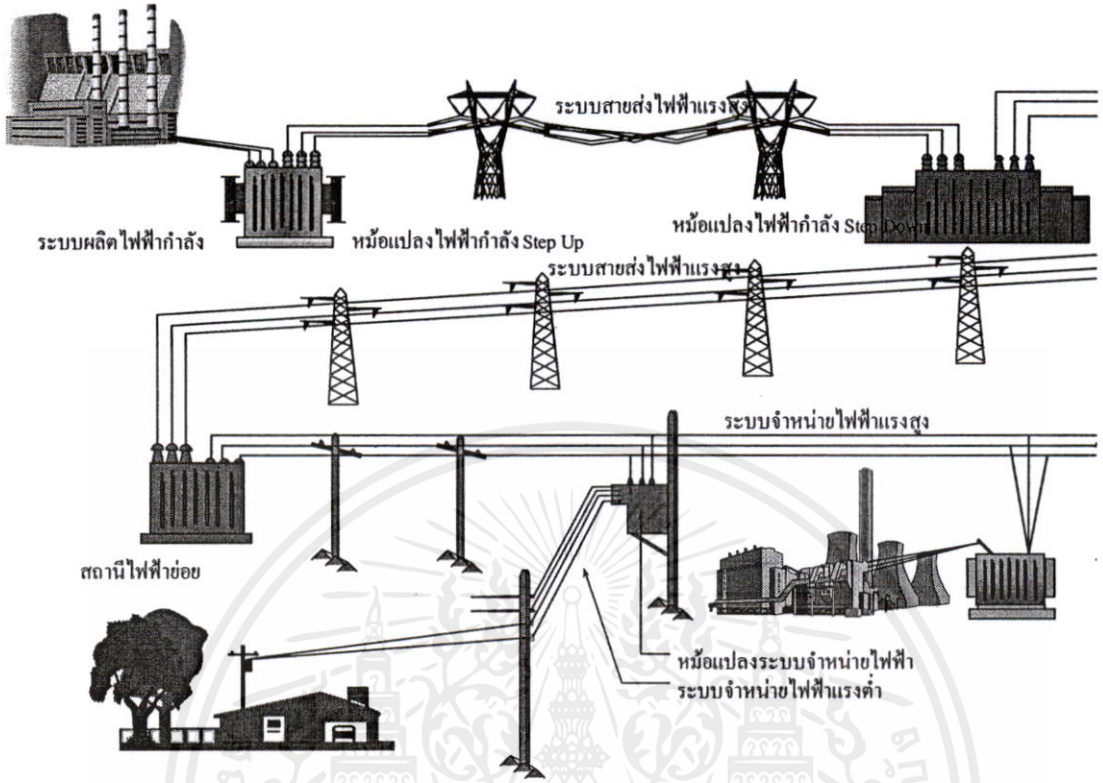
รูปที่ 2.2 ระบบสายส่งไฟฟ้า

2.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System)

การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการจัดสรรและจัดจ่ายกระแสไฟฟ้าในส่วนของระบบจำหน่ายให้กับภาคธุรกิจอุตสาหกรรม และผู้ใช้ไฟโดยทั่วไป โดยการไฟฟ้านครหลวงจะรับผิดชอบเฉพาะในเขตพื้นที่ 3 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และจ่ายไฟในระบบ 12 KV, 24 KV และ 380/220 V ส่วนที่เหลือจะอยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และจ่ายไฟในระบบ 22 KV, 33 KV และ 380/220 V



รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

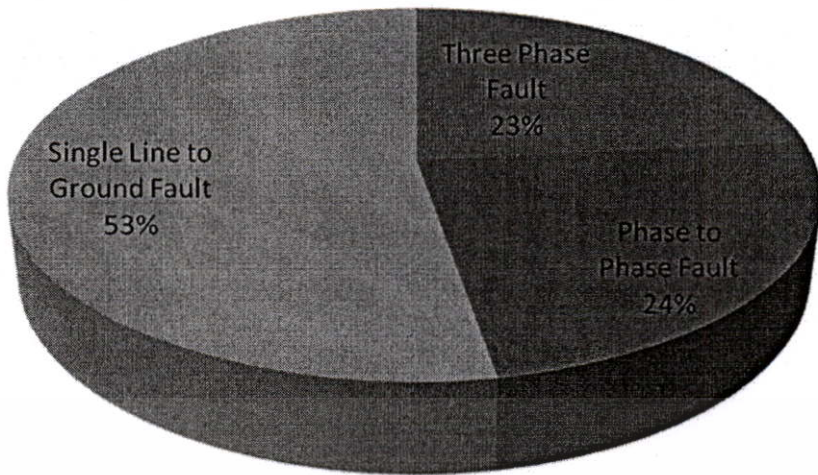


รูปที่ 2.4 การส่งจ่ายระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 ปัญหา Voltage Sag/Dip

จากข้อมูลเชิงสถิติที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจัดเก็บจากสถานีไฟฟ้าย่อยในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคกลางจำนวน 4 แห่ง เป็นระยะเวลาประมาณ 425 วัน ในช่วงปี 2547-2548 พบว่า ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระบบ 22 KV ที่สร้างผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟมากที่สุด คือ ปัญหา Voltage Sag/Dip ที่เกิดจากความผิดปกติ (Fault) ทั้งในแบบ Three Phase Fault, Phase to Phase Fault และ Single Line to Ground Fault แล้วส่งผลกระทบต่อทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้เคียงมีขนาดที่ลดลง สร้างผลกระทบในวงกว้างต่อกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟในกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเป็นตัวกำหนด อาทิเช่น ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ขนาดของกระแสผิดพลาด ชนิดของความผิดปกติ และระยะเวลาในการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



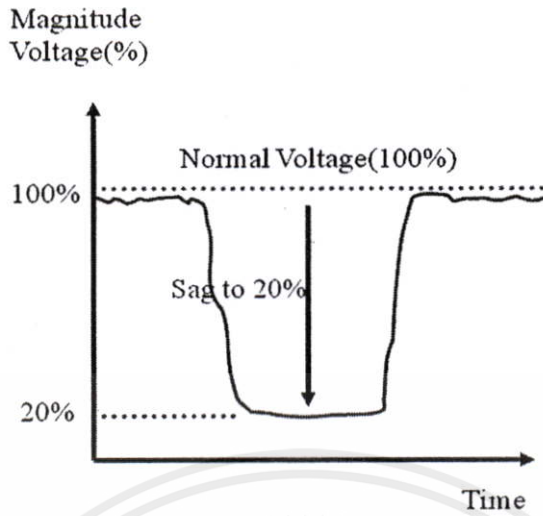
ความผิดปกติแบบ Three Phase Fault	96	ครั้ง
ความผิดปกติแบบ Phase to Phase Fault	98	ครั้ง
ความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault	216	ครั้ง
รวมจำนวนความผิดปกติทั้งหมด	410	ครั้ง

รูปที่ 2.5 ข้อมูลเชิงสถิติของปัญหา Voltage Sag/Dip เนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

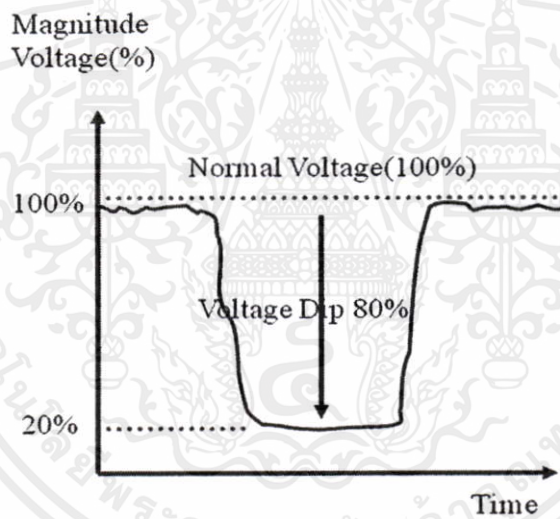
2.2.1 มาตรฐานเกี่ยวกับ Voltage Sag/Dip

มาตรฐานต่างๆที่กล่าวถึงปัญหา Voltage Sag/Dip นั้น โดยทั่วไปมักจะกล่าวถึงแต่เพียงขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงไปจากพิกัดแรงดันไฟฟ้าปกติและระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์เท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ยังมีส่วนอื่นที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย อาทิเช่น Point-on-Wave, Phase-Angle Jump, Post-Fault Dip เป็นต้น ในการใช้มาตรฐานใดๆเพื่อการอ้างอิงจำเป็นต้องทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้ เนื่องจากในข้อเท็จจริงแล้วมาตรฐานต่างๆจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดบางประการ อาทิเช่น ในบางมาตรฐานจะเรียกพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดลดลงในขณะเกิดความผิดปกติว่า “Voltage Sag” แต่บางมาตรฐานจะเรียกว่า “Voltage Dip” ชื่อเรียกที่แตกต่างกันนี้มีความหมายในเชิงขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความหมายของ Voltage Sag



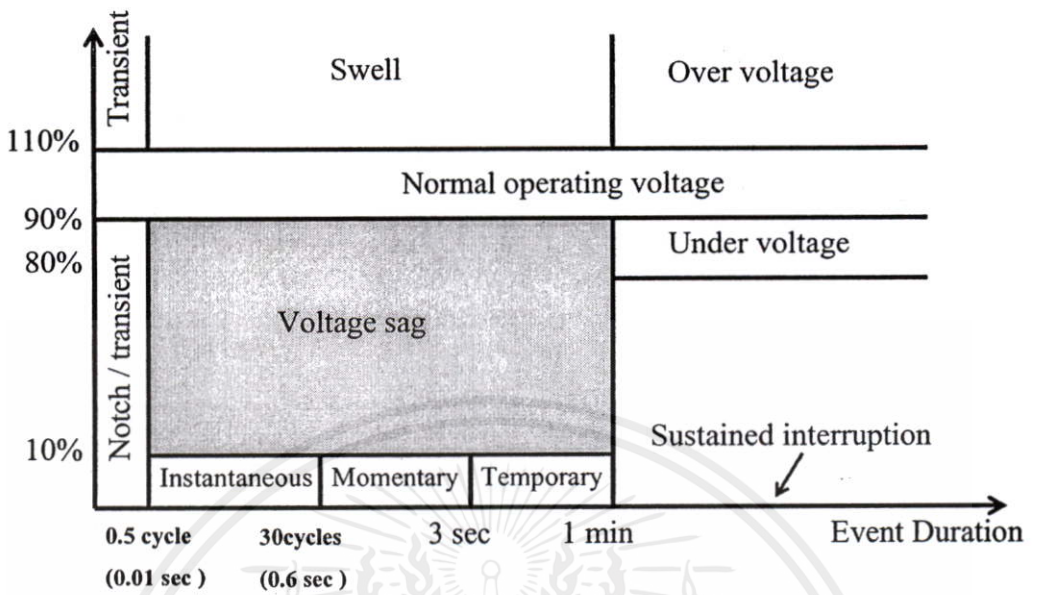
รูปที่ 2.7 ความหมายของ Voltage Dip

2.2.1.1 นิยามความหมายของ Voltage Sag ตาม IEEE Std.1159-1995 [6]

มาตรฐาน IEEE Std.1159-1995 กำหนดให้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าซึ่งจัดอยู่ในประเภทของ Voltage Sag นั้น มีขนาดของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าลดลงอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.9 P.U. ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าปกติ โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นนานตั้งแต่ 0.5 Cycle จนถึง 1 นาที หากเกิดขึ้นนานกว่านี้ถือว่าเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าประเภทอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Event Magnitude

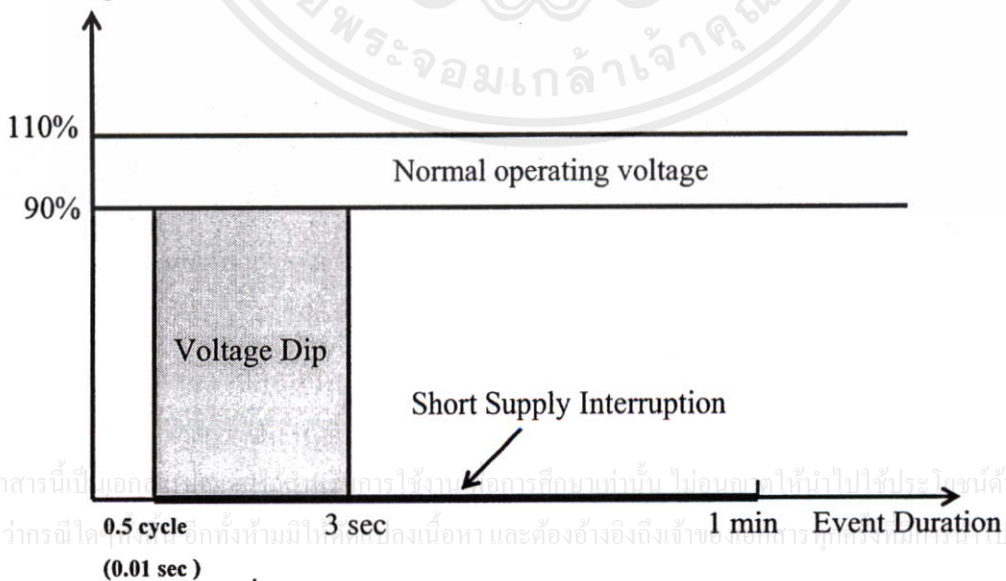


รูปที่ 2.8 มาตรฐาน Voltage Sag ตาม IEEE Std.1159-1995

2.2.1.2 นิยามความหมายของ Voltage Dip ตาม IEC Std.61000-2-8

มาตรฐาน IEC Std. 61000-2-8 กำหนดให้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่จัดอยู่ในประเภทของ Voltage Dip นั้น มีขนาดของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าลดลงอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 0.9 P.U. ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าปกติ โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นนานตั้งแต่ 0.5 Cycle จนถึง 3 วินาที

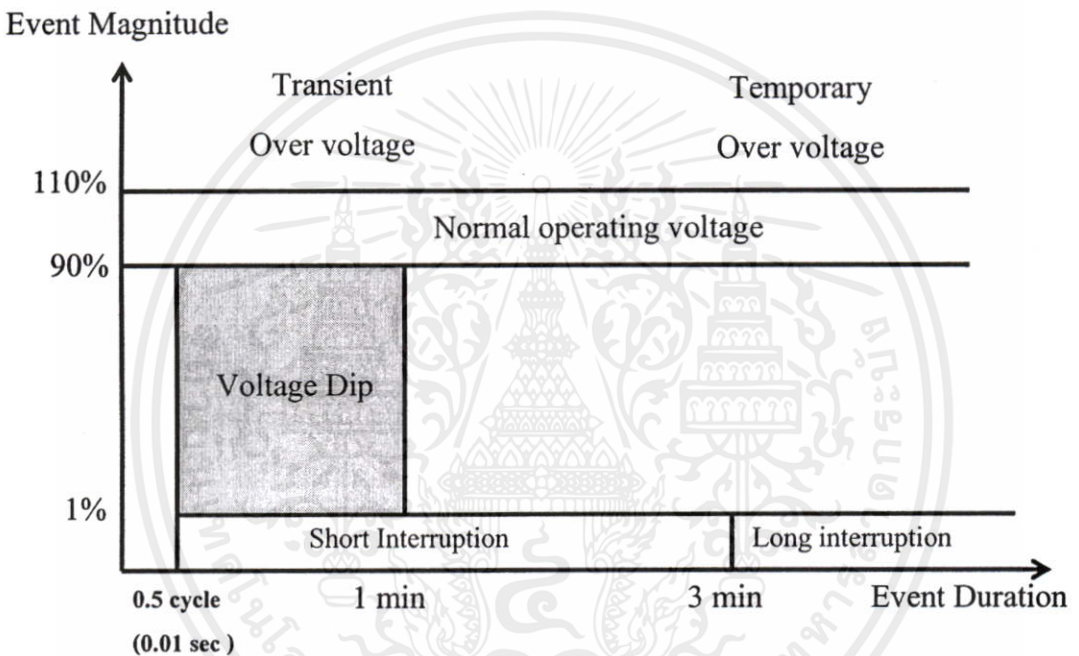
Event Magnitude



รูปที่ 2.9 มาตรฐาน Voltage Dip ตาม IEC Std. 61000-2-8

2.2.1.3 นิยามความหมายของ Voltage Dip ตาม EN Std.50160-1999

มาตรฐาน EN Std. 50160 (European Standard) กำหนดให้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่จัดอยู่ในประเภทของ Voltage Dip นั้น มีขนาดของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าลดลงอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.9 P.U. ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าปกติ โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นนานตั้งแต่ 10 ms (0.5 Cycle) จนถึง 1 min แต่หาก Voltage Dip มีขนาดลดลงต่ำกว่า 0.01 P.U. และมีระยะเวลาขณะเกิดเหตุการณ์น้อยกว่า 3 min จะถือเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าประเภทไฟดับแบบ Short Interruption และหากเกิดนานกว่า 3 min จะถือเป็นไฟดับแบบ Long Interruption

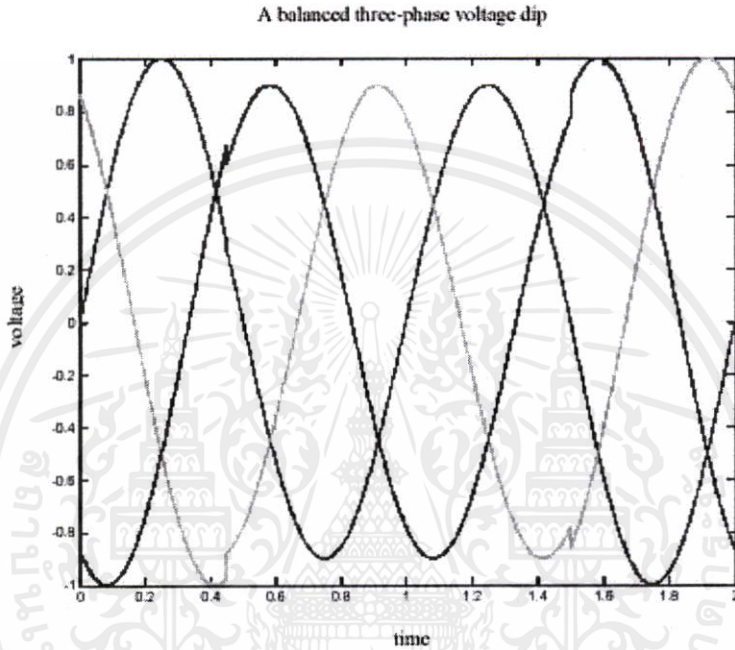


รูปที่ 2.10 มาตรฐาน Voltage Dip ตาม EN Std.50160-1999

2.2.1.4 มาตรฐาน CBEMA

การรวมกลุ่มกันของผู้ประกอบการทางด้านคอมพิวเตอร์ (The Computer Business Equipment Manufacturers Association) เพื่อกำหนดขีดความสามารถของอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการทนต่อปัญหารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ที่มาของมาตรฐาน CBEMA Curve ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานนี้ได้มีการนำเสนออย่างเป็นทางการในมาตรฐาน IEEE Std. 446 ปี 1987 หลังจากนั้นได้มีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง อุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นโดยอ้างอิงตามมาตรฐานนี้จะต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันภายในระยะเวลาที่กำหนดเมื่อเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าผิดปกติที่เกิดขึ้นอยู่ในย่านที่กำหนดดังแสดงในกราฟ

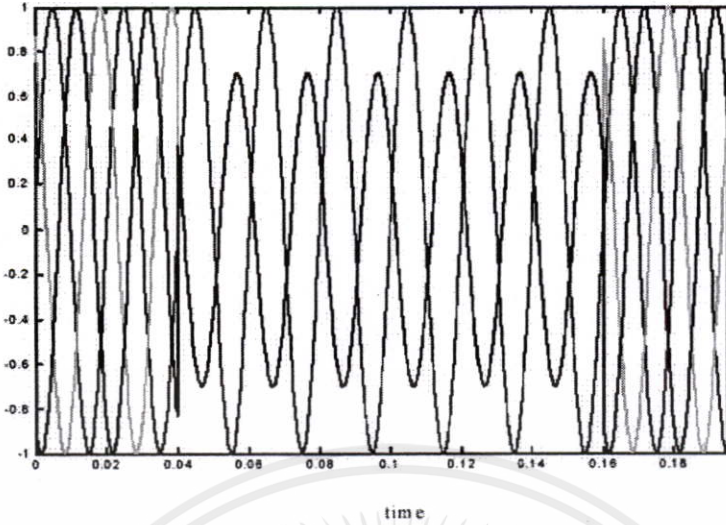
เป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดปัญหา Voltage Sag/Dip ขึ้น ดังนั้นการลดลงของแรงดันไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับชนิดของความผิดปกติด้วย โดยทั่วไปความผิดปกติในระบบไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ความผิดปกติแบบสมดุล และความผิดปกติแบบไม่สมดุล การเกิดความผิดปกติในลักษณะแบบสมดุล (Three Phase Fault) จะทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าลดลงเท่ากันทั้งสามเฟสและมี Phase Shift ห่างกัน 120° เท่ากัน



รูปที่ 2.15 รูปคลื่น Voltage Sag/Dip แบบสมดุล

ผลจากการเกิดความผิดปกติแบบไม่สมดุลต่างๆ ทั้งในกรณีของ Phase to Phase Fault, Double Phase to Ground Fault และ Single Line to Ground Fault มีผลทำให้ขนาดและ Phase Shift ของ Voltage Sag/Dip ในแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน โดยแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติจะมีขนาดที่ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติ ส่วน Phase Shift จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามค่า Impedance ของระบบไฟฟ้า สำหรับสาเหตุของการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า นอกจากจะมีสาเหตุมาจากสัตว์ ดันไม้ และคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้ว ผลจากภัยธรรมชาติที่เกิดจากลมพายุและฟ้าผ่าก็เป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่ามีผลสืบเนื่องมาจากการที่ฉนวนของระบบไฟฟ้าไม่สามารถทนต่อค่าแรงดันไฟฟ้าเกินขนาดใหญ่มากจากถ้ากระแสฟ้าผ่าได้ทำให้เกิดการ Flash Overvoltage หรือ Back Flash Overvoltage ขึ้นที่ฉนวน ซึ่งสามารถนำมาสู่การเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้าได้

A phase-to-phase fault

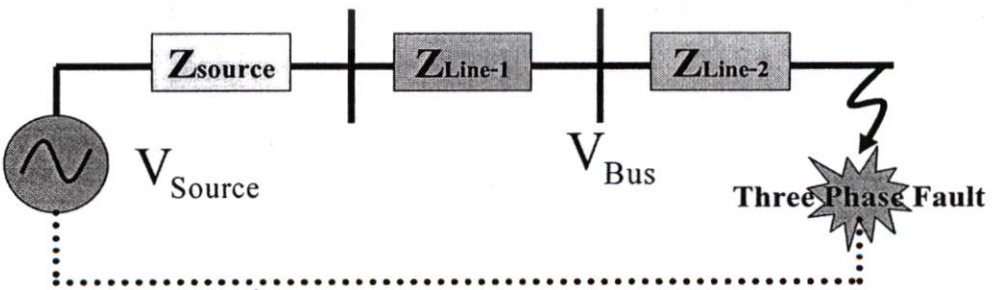


รูปที่ 2.16 รูปคลื่น Voltage Sag/Dip แบบไม่สมดุล

2.2.1 ขนาดของ Voltage Sag/Dip

โดยทั่วไปหากความผิดปกติเป็นแบบสมดุล ในทางทฤษฎีจะมีผลทำให้ Voltage Sag/Dip มีลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงเป็นแบบสมดุลด้วย โดยสามารถคำนวณหาขนาดของ Voltage Sag/Dip ได้จากหลักการของ Voltage Divider ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบ Three Phase Fault ขึ้นในระบบไฟฟ้า ระดับของ Voltage Sag/Dip ที่จุดต่อร่วมหรือบัสสามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ 2.1

$$V_{Bus} = \left(\frac{Z_{Line-2}}{Z_{Source} + Z_{Line-1} + Z_{Line-2}} \right) V_{source} \tag{2.1}$$

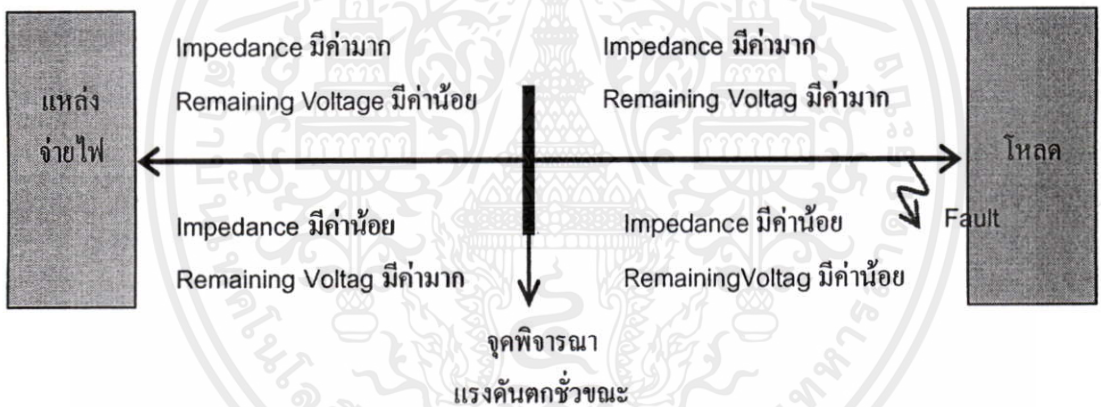


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง รูปที่ 2.17 การคำนวณ Voltage Sag/Dip แบบสมดุล ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการคำนวณค่า Voltage Sag/Dip แบบสมดุลชี้ให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏที่ตำแหน่งบัสจะขึ้นอยู่กับค่า Impedance ของระบบไฟฟ้าตั้งแต่บัสจนถึงจุดเกิดความผิดปกติ

(Z_{Line-2}) เป็นสำคัญ หากระยะที่เกิดความผิดปกติอยู่ใกล้บัสมากจะทำให้ค่า Impedance (Z_{Line-2}) มีค่าน้อย และนั่นย่อมหมายความว่า กระแสผิดปกติแบบ Three Phase Fault ที่แหล่งจ่ายไฟจ่ายออกมาจะมีค่ามาก เป็นผลทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าลดลงมากจนอาจมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นหากต้องการควบคุมไม่ให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติมีค่าลดต่ำลงจนก่อให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟ จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดความผิดปกติขึ้นที่ระยะใกล้กับตำแหน่งบัส แต่หากพิจารณาเฉพาะค่า Impedance ตั้งแต่แหล่งจ่ายไฟจนถึงบัส ($Z_{Source} + Z_{Line-1}$) จะพบว่าแหล่งจ่ายไฟที่มีเสถียรภาพมากหรือมีค่า Impedance ต่ำจะมีส่วนช่วยลดความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip ได้

การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า Impedance ของระบบไฟฟ้าที่มีผลต่อ Voltage Sag/Dip ให้ง่ายขึ้น ควรเริ่มต้นจากการกำหนดจุดพิจารณา และใช้สมการคำนวณหาขนาดของ Voltage Sag/Dip แบบสมมูลมาประกอบการอธิบายจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

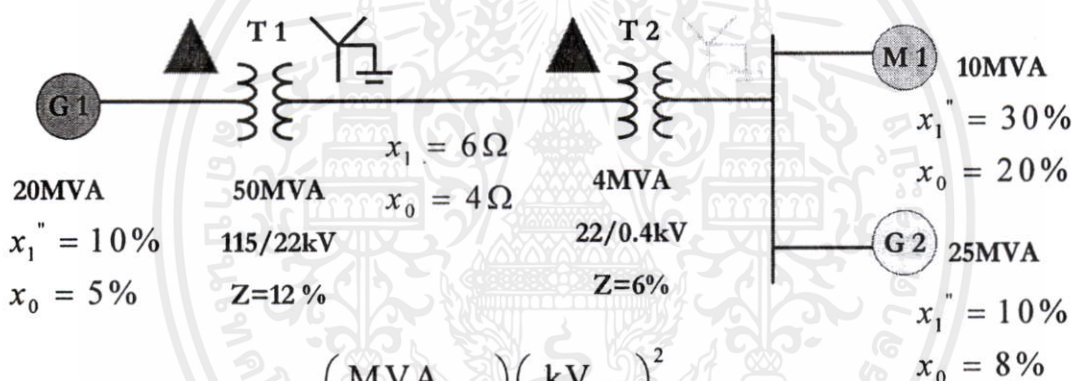


รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Impedance กับ Voltage Sag/Dip แบบสมมูล

ค่า Impedance ของระบบไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อการเกิดปัญหา Voltage Sag/Dip ในขณะที่เกิดความผิดปกติประกอบไปด้วย ค่า Impedance ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า ในกรณีที่ความผิดปกติเป็นแบบไม่สมมูล ผลของ Connection หม้อแปลงไฟฟ้าและรูปแบบของระบบไฟฟ้าที่ต่อเป็นแบบ Grounded System และ Ungrounded System จะทำให้พฤติกรรมของ Voltage Sag/Dip มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นทั้งในแง่การคำนวณและวิธีการวิเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground ในระบบไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเป็นแบบ Solidly Grounded System จะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติมีขนาดลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่เฟสอื่นๆ ซึ่งไม่ได้เกิดความผิดปกติยังคงมีค่าใกล้เคียงระดับปกติ แต่ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเป็น

แบบ Grounded System ที่ต่อผ่าน Impedance (NGR) จะให้ผลของ Voltage Sag/Dip แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground จะทำให้เกิด Voltage Sag/Dip ขึ้นในเฟสที่เกิดความผิดปกติเช่นเดียวกับระบบ Solidly Grounded System แต่สำหรับเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะมีแรงดันเกินขนาดประมาณ 1.7 P.U. เกิดขึ้น

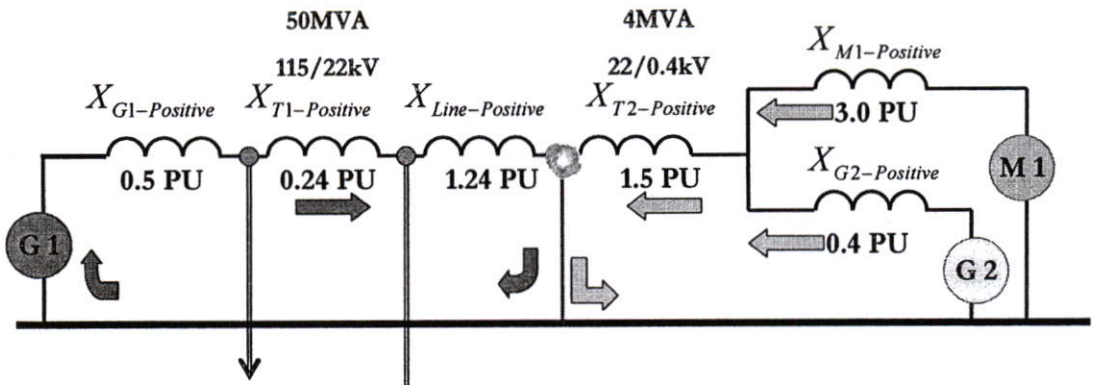
จากข้อมูลทางสถิติชี้ให้เห็นว่าความผิดปกติแบบไม่สมดุลเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าบ่อยครั้งมากกว่าความผิดปกติแบบสมดุล อย่างไรก็ตามหากเทียบระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip แล้ว จะพบว่าความผิดปกติแบบสมดุล (Three Phase Fault) หากเกิดขึ้นแล้วจะสามารถสร้างผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระดับที่รุนแรงมากกว่าความผิดปกติแบบไม่สมดุล การคำนวณและวิเคราะห์ปัญหา Voltage Sag/Dip จากความผิดปกติแบบสมดุลสามารถแสดงด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้าอย่างง่ายดังตัวอย่างต่อไปนี้



$$Z_{\text{new(p.u.)}} = Z_{\text{old(p.u.)}} \left(\frac{\text{MVA}_{\text{new}}}{\text{MVA}_{\text{old}}} \right) \left(\frac{\text{kV}_{\text{old}}}{\text{kV}_{\text{new}}} \right)^2$$

Component	4 MVA		10 MVA		20 MVA		25 MVA		50 MVA		100 MVA	
	X_1	X_0	X_1''	X_0	X_1''	X_0	X_1''	X_0	X_1	X_0	X_1	X_0
G 1	-	-	-	-	0.1 PU	0.05 PU	-	-	-	-	0.5 PU	0.25 PU
T 1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12 PU	0.12 PU	0.24 PU	0.24 PU
Line	$Z_{\text{Base}} = \frac{kV^2}{\text{MVA}_{\text{Base}}} = \frac{22^2}{100} = 4.84 \rightarrow X_1 = \frac{6}{4.84}, X_0 = \frac{4}{4.84}$										1.24 PU	0.83 PU
T 2	0.06 PU	0.06 PU	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5 PU	1.5 PU
M 1	-	-	0.3 PU	0.2 PU	-	-	-	-	-	-	3.0 PU	2.0 PU
G 2	-	-	-	-	-	-	0.1 PU	0.08 PU	-	-	0.4 PU	0.32 PU

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการคำนวณ Voltage Sag/Dip แบบสมดุล

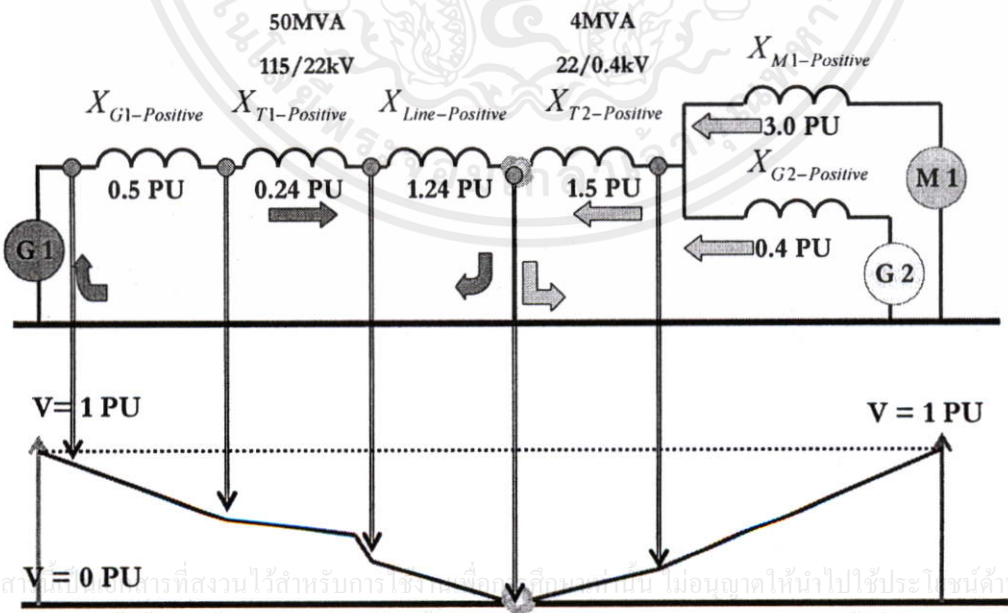


$$V_{\text{Sag}} = \left(\frac{X_{T1-Positive} + X_{\text{Line-Positive}}}{X_{G1-Positive} + X_{T1-Positive} + X_{\text{Line-Positive}}} \right) \times 1.0 \text{ PU}$$

$$V_{\text{Sag}} = \left(\frac{0.24 + 1.24}{0.5 + 0.24 + 1.24} \right) \times 1.0 = 0.75 \text{ PU}$$

$$V_{\text{Sag}} = \left(\frac{X_{\text{Line-Positive}}}{X_{G1-Positive} + X_{T1-Positive} + X_{\text{Line-Positive}}} \right) \times 1.0 \text{ PU}$$

$$V_{\text{Sag}} = \left(\frac{1.24}{0.5 + 0.24 + 1.24} \right) \times 1.0 = 0.62 \text{ PU}$$



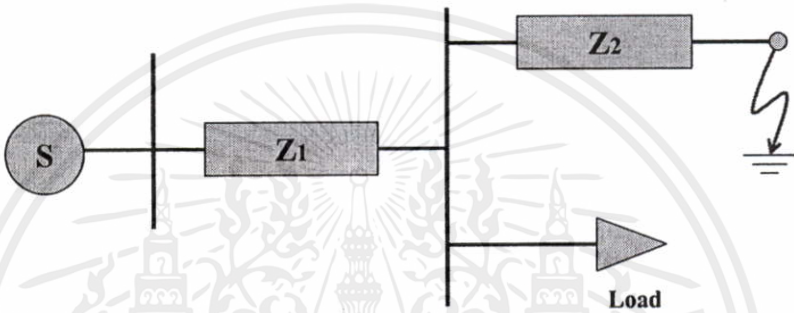
G1

M1,G2

รูปที่ 2.20 การคำนวณหา Voltage Sag/Dip แบบสมมูลจากค่า Impedance ของระบบไฟฟ้า

2.2.6 การเปลี่ยนแปลงของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ขณะเกิด Voltage Sag/Dip

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าไม่ได้ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีขนาดลดลงเท่านั้น แต่ยังเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหา Phase-Angle Jump ($\Delta\phi$) ตามมาด้วย ความแตกต่างของมุมระหว่าง Feeder Impedance (Z_2 หรือ $\frac{X_2}{R_2}$) และ Source Impedance (Z_1 หรือ $\frac{X_1}{R_1}$) ในขณะที่เกิดความผิดปกติมีผลทำให้เกิด Impedance Angle (α) ขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักมีค่าเป็นลบเนื่องจากค่า $\frac{X_1}{R_1}$ ของ Source Impedance จะมีค่ามากกว่า $\frac{X_2}{R_2}$ ของ Feeder Impedance



$$\alpha = \arctan\left(\frac{X_2}{R_2}\right) - \arctan\left(\frac{X_1}{R_1}\right) \quad (2.9)$$

$$\Delta\phi = \arctan(Z_2) - \arctan(Z_1 + Z_2) \quad (2.10)$$

$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{X_2}{R_2}\right) - \arctan\left(\frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}\right) \quad (2.11)$$

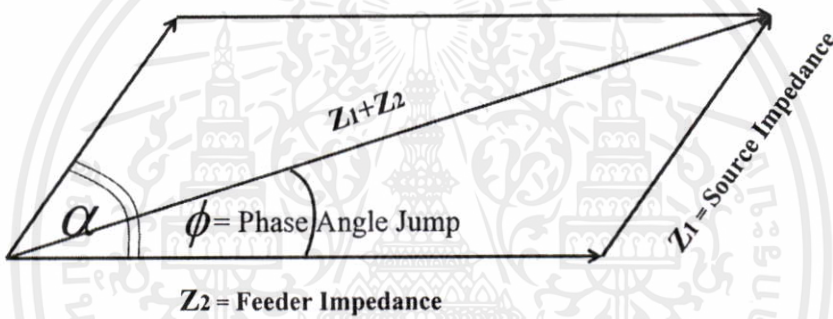
เมื่อ Source Impedance = $Z_1 = R_1 + j X_1$ และ Feeder Impedance = $Z_2 = R_2 + j X_2$

รูปที่ 2.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ในระบบไฟฟ้า

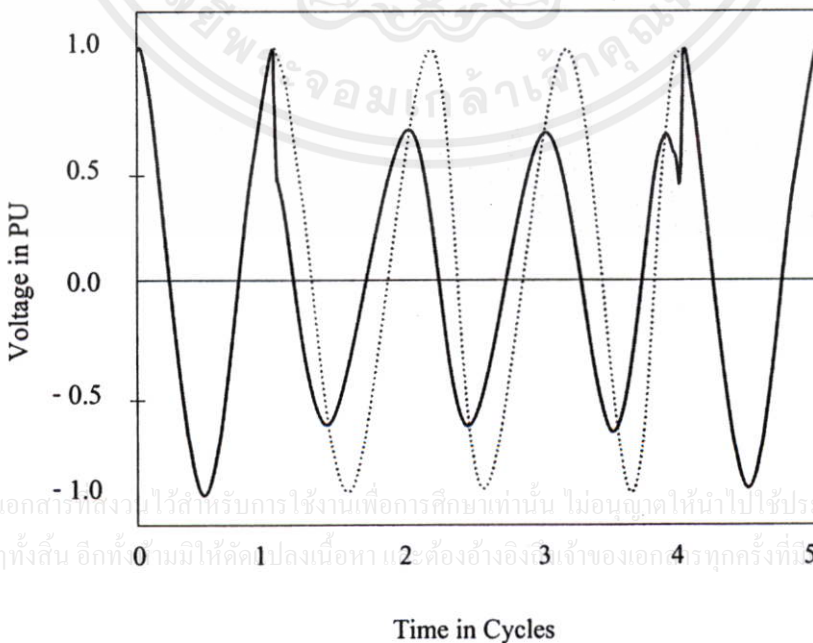
Phase-Angle Jump คือ ความแตกต่างของมุมก่อนเกิดความผิดปกติและมุมขณะที่เกิดความผิดปกติ หรืออีกนัยหนึ่ง คือ มุมที่อยู่ระหว่าง Feeder Impedance (Z_2) และ System Impedance ($Z_1 + Z_2$) ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีค่าอัตราส่วนของ $\frac{X_1}{R_1} = \frac{X_2}{R_2}$ จะมีผลทำให้ Phase-Angle Jump มีค่าเป็นศูนย์หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสใดๆ ขึ้นในระบบไฟฟ้าขณะที่เกิดความผิดปกติ อย่างไรก็ตามกรณีเช่นนี้เป็นไปได้ยากมากเนื่องจากในความเป็นจริงแล้วระบบไฟฟ้ามีการใช้สายหลายชนิด หลายขนาด รวมทั้งมีการออกแบบการวางตัวของสายตัวนำในระบบจำหน่าย

หรือสายส่งที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้ค่า $\frac{X}{R}$ มีค่าที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นผลของ Vector Group ของหม้อแปลงไฟฟ้าและการต่อโหลด (Wye/Delta) ในระบบไฟฟ้าก็มีผลอย่างมากต่อ Phase-Angle Jump ในขณะที่เกิดความผิดปกติ ดังนั้นในทุกครั้งที่เกิดความผิดปกติแบบไม่สมดุลขึ้น จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงของ Phase-Angle Jump ได้และโดยปกติแล้ว Phase-Angle Jump สามารถเปลี่ยนแปลงได้ถึง 60° หากโหลดต่อเป็นแบบ Wye และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ถึง 30° ในกรณีที่โหลดต่อเป็นแบบ Delta

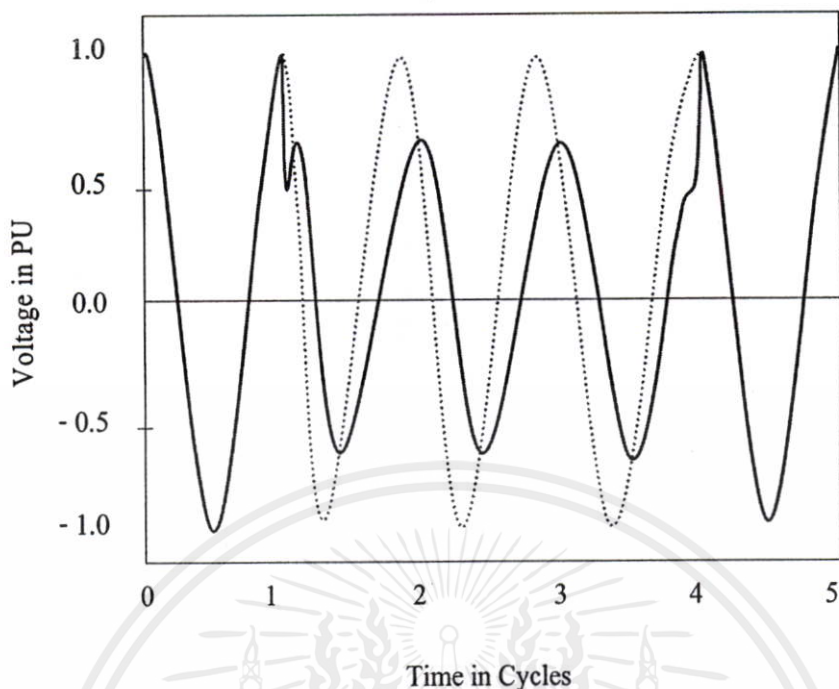
$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{X_2}{R_2}\right) - \arctan\left(\frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}\right) \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.30 แสดงระนาบความสัมพันธ์ของมุมเฟส (Phase-Angle Jump) ในระบบไฟฟ้า



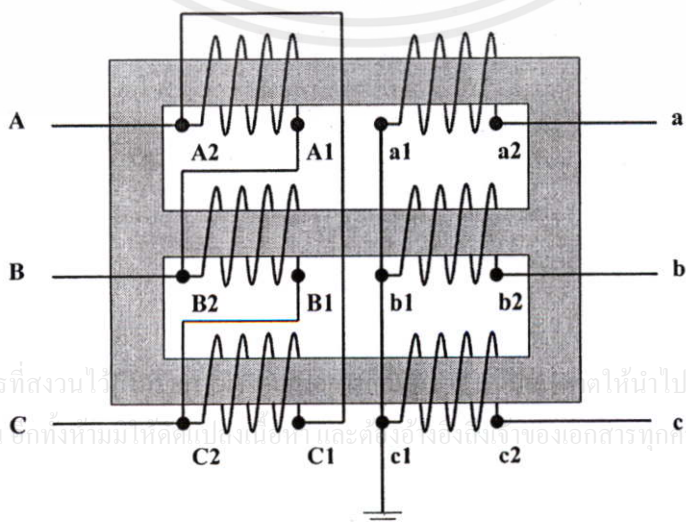
รูปที่ 2.31 แสดงการเปลี่ยนแปลง Phase-Angle Jump ($+45^\circ$)



รูปที่ 2.32 แสดงการเปลี่ยนแปลง Phase-Angle Jump (-45°)

2.2.6 ผลของ Vector Group หม้อแปลงไฟฟ้า (Effect of Vector Group on Sag/Dip)

ในขณะที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟสต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมี Vector Group เป็นแบบ Dyn11 ระดับของ Voltage Sag/Dip ทั้งแบบ Phase to Neutral และ Phase to Phase ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป และมีค่าโดยประมาณดังนี้



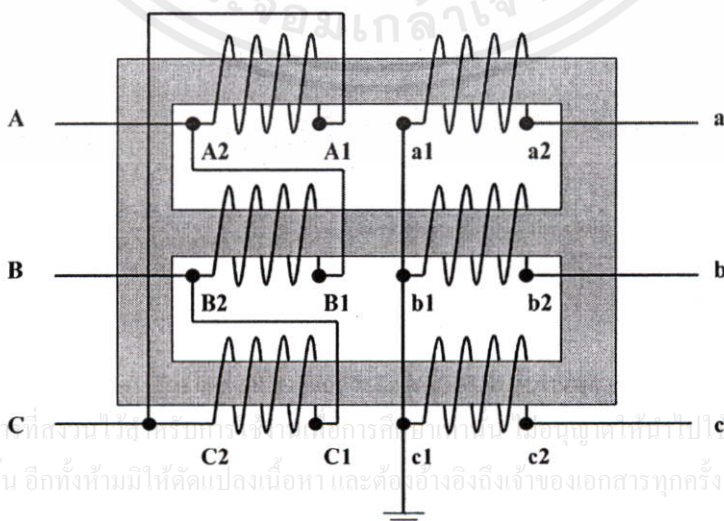
รูปที่ 2.33 หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group เป็นแบบ Dyn11

ระดับ Voltage Sag/Dip ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 ที่เกิดจากความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ทางด้านปฐมภูมิ สามารถสรุปเป็นค่าโดยประมาณดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ที่ด้านปฐมภูมิ

Faulted Phase on Primary (SLG)	Voltage Sag on Secondary with Dyn11 Connection					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	An (P.U.)	AB (P.U.)	Bn (P.U.)	BC (P.U.)	Cn (P.U.)	CA (P.U.)
Phase A	0.57	0.88	1.00	0.88	0.57	0.33
Phase B	0.57	0.33	0.57	0.88	1.00	0.88
Phase C	1.00	0.88	0.57	0.33	0.57	0.88

สำหรับระดับ Voltage Sag/Dip ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn1 ที่เกิดจากความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ทางด้านปฐมภูมิ สามารถสรุปเป็นค่าโดยประมาณดังตารางต่อไปนี้



รูปที่ 2.34 หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group เป็นแบบ Dyn1

ตารางที่ 2.5 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn1 เมื่อเกิดความผิดปกติ

แบบ Single Line to Ground Fault ที่ด้านปฐมภูมิ

Faulted Phase on Primary (SLG)	Voltage Sag on Secondary with Dyn1 Connection					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	An (P.U.)	AB (P.U.)	Bn (P.U.)	BC (P.U.)	Cn (P.U.)	CA (P.U.)
Phase A	0.57	0.33	0.57	0.88	1.00	0.88
Phase B	1.00	0.88	0.57	0.33	0.57	0.88
Phase C	0.57	0.88	1.00	0.88	0.57	0.33

ในขณะที่เกิดความผิดปกติแบบ Phase to Phase Fault ที่เฟสต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมี Vector Group เป็นแบบ Dyn11 ระดับ Voltage Sag/Dip ทั้งแบบ Phase to Neutral และ Phase to Phase ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป และมีค่าโดยประมาณดังนี้

ตารางที่ 2.6 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 เมื่อเกิดความผิดปกติ

แบบ Phase to Phase Fault ที่ด้านปฐมภูมิ

Faulted Phase on Primary (P-P)	Voltage Sag on Secondary with Dyn11 Connection					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	An (P.U.)	AB (P.U.)	Bn (P.U.)	BC (P.U.)	Cn (P.U.)	CA (P.U.)
Phase AB	0.00	0.50	0.86	1.00	0.86	0.50
Phase BC	0.86	0.50	0.00	0.50	0.86	1.00
Phase CA	0.86	1.00	0.86	0.50	0.00	0.50

หม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group เป็นแบบ Dyn1 ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน โดยเมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Phase to Phase Fault ที่เฟสต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ระดับ Voltage Sag/Dip ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าประมาณดังนี้

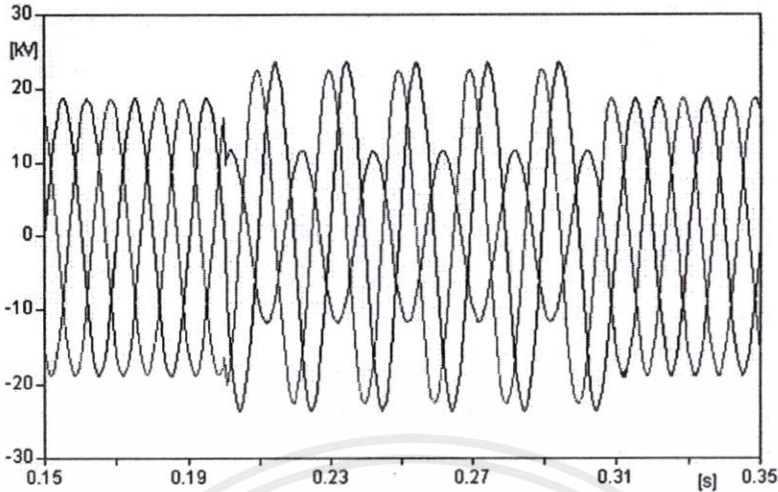
ตารางที่ 2.7 ระดับ Voltage Sag/Dip ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn1 เมื่อเกิดความผิดปกติ
แบบ Phase to Phase Fault ที่ด้านปฐมภูมิ

Faulted Phase on Primary (P-P)	Voltage Sag on Secondary with Dyn1 Connection					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	An (P.U.)	AB (P.U.)	Bn (P.U.)	BC (P.U.)	Cn (P.U.)	CA (P.U.)
Phase AB	0.86	0.50	0.00	0.50	0.86	1.00
Phase BC	0.86	1.00	0.86	0.50	0.00	0.50
Phase CA	0.00	0.50	0.86	1.00	0.86	0.50

การเกิดความผิดปกติทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าถึงแม้จะก่อให้เกิดปัญหา Voltage Sag/Dip ที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าตามมา แต่ Vector Group ของหม้อแปลงไฟฟ้าก็มีผลเพียงทำให้ระดับ Voltage Sag/Dip ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าเลื่อนเฟสไปจากเฟสที่เกิดความผิดปกติทางด้านปฐมภูมิ กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิไม่เหมือนกัน อาทิเช่น Vector Group เป็นแบบ Dyn1, Dyn11, Yd1 และ Yd11 เป็นต้น โดยที่ Vector Group จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของ Voltage Sag/Dip ที่เกิดจากความผิดปกติทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

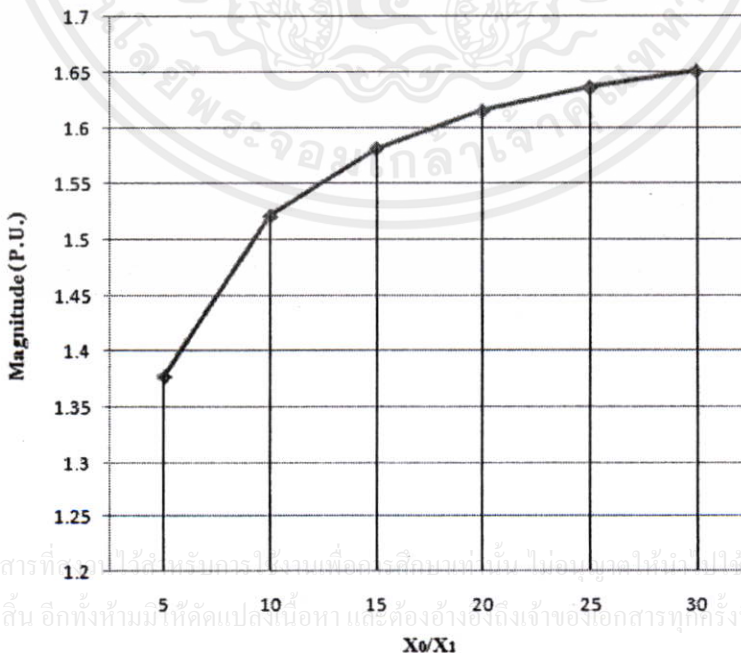
2.1 ปัญหา Voltage Swell

ปัญหา Voltage Swell มีสาเหตุหลักมาจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault และจะเกิดขึ้นพร้อมกับปัญหา Voltage Sag/Dip แต่จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ตรงกันข้าม กล่าวคือ Voltage Swell จะมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติปกติอยู่ในช่วง 1.1-1.8 P.U. เป็นระยะเวลาประมาณ 0.5 Cycle – 1 นาที โดยในขณะที่เกิดความผิดปกติขึ้นนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะมีขนาดเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence Impedance) ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Ungrounded System ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติอาจมีค่าสูงถึง 1.73 P.U. แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าประมาณ 1.4 P.U. ส่วนในระบบไฟฟ้าที่เป็นแบบ Grounded System จะเกิด Voltage Swell ขึ้นได้เช่นกัน หากมีการต่อค่าความต้านทานเข้ากับ Ground ของระบบไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่มักต่อเข้ากับด้าน Wye ของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.35 Voltage Swell ที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault

นอกจากนั้นการต่อเชื่อมของ SPP เข้าระบบไฟฟ้าก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด Voltage Swell ขึ้น ซึ่งเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP มีการต่อ Ground ที่ไม่เหมาะสม และโดยปกติจะเกี่ยวข้องกับการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบ Delta-Wye หรือ Delta-Delta ด้วย เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault จะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติอาจมีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Phase-to-Phase Voltage) โดยที่ประสิทธิภาพของการต่อ Ground ที่มีผลต่อการเกิด Voltage Swell นั้นจะถูกกำหนดด้วยอัตราส่วน X_0/X_1 ตามสมการที่ 2.13



รูปที่ 2.36 ผลของ X_0/X_1 ต่อปัญหา Voltage Swell

$$|V| = \sqrt{0.866^2 + \left(0.5 + \frac{(X_0/X_1) - 1}{(X_0/X_1) + 2}\right)^2} \quad (2.13)$$

ตารางที่ 2.8 ผลของ X_0/X_1 จากการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าต่อปัญหา Voltage Swell

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า	ผลของ X_0/X_1	อัตราส่วน X_0/X_1
Grounded-Wye/ Grounded-Wye	ลักษณะการต่อแบบนี้จะยอมให้กระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ไหลได้ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP ต่อเชื่อมอยู่ในระบบไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ยังสามารถไหลในระบบของ SPP หาก SPP ต่อลงดินโดยตรง (Solidly Grounded)	มีค่าน้อย (ไม่เกิด Voltage Swell หรือเกิด Voltage Swell แต่มีค่าต่ำมาก)
Grounded-Wye/ Ungrounded-Wye	การต่อแบบนี้จะไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ไหลผ่านของหม้อแปลงไฟฟ้า	มีค่าสูงมาก (Voltage Swell มีค่าสูง)
Grounded-Wye/ Delta	กระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์เดิมที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าจะไหลในขดลวดปฐมภูมิที่มีการต่อเป็นแบบ Wye โดยที่กระแสไฟฟ้าเหล่านี้จะหมุนวนอยู่ในขดลวด Delta ของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ไหลในระบบของ SPP	มีค่าน้อย (ไม่เกิด Voltage Swell หรือเกิด Voltage Swell แต่มีค่าต่ำมาก)
Delta/ Grounded-Wye	เนื่องจากการต่อแบบ Delta ไม่มีเส้นทางให้กระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ไหล	มีค่าเป็นอนันต์ (Voltage Swell มีค่าสูงมาก)
Delta/ Delta	การต่อลักษณะนี้ไม่แนะนำให้ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP เนื่องจากการที่ไม่มีจุดต่อลงดินทั้งสองด้านของหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้การป้องกันทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ไหลผ่าน	มีค่าเป็นอนันต์ (Voltage Swell มีค่าสูงมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

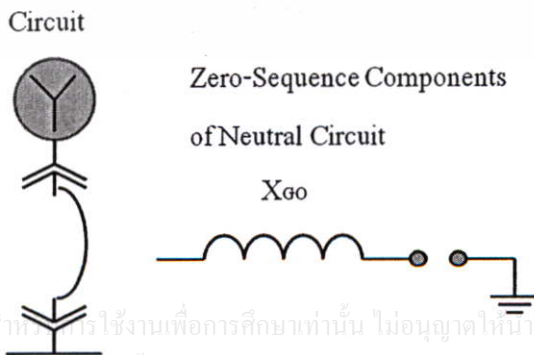
อิทธิพลของการต่อลงดินต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

3.1 การต่อลงดิน

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเป็นการต่อสายเฟสหรือสาย Neutral ลงดินโดยตั้งใจเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับดินให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ทั้งในสภาวะที่ปกติและผิดปกติ โดยการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าอยู่บนจุดอ้างอิงเดียวกัน นอกจากนั้นการต่อลงดินยังมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าไหลกลับเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันสามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าได้ โดยปกติการต่อลงดินสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ Solid Grounding และ Impedance Grounding โดยที่การต่อลงดินแบบ Impedance Grounding ยังแบ่งแยกออกเป็น Resistance Grounding, Reactance Grounding และ Ground-Fault Neutralizer (Resonant Grounding) ในบางกรณีระบบไฟฟ้าถูกออกแบบให้ไม่มีส่วนใดถูกต่อลงดิน ซึ่งจะทำให้ระบบป้องกันไฟฟ้าและการออกแบบลวดนไฟฟ้ามีเงื่อนไขทางเทคนิคที่แตกต่างไปจากระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดิน

3.1.1 ระบบ Ungrounded Systems

ระบบไฟฟ้าที่ตั้งใจออกแบบให้ไม่มีส่วนใดต่อลงดินโดยตรง เรียกว่า Ungrounded Systems แต่ในความเป็นจริงระบบไฟฟ้าจะถูกต่อลงดินโดยผ่านค่า Capacitance ระหว่างสายเฟสกับดิน ซึ่งปกติจะมีค่าที่สูงมาก (Extremely High Impedance) การออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นแบบ Ungrounded Systems มีเหตุผลหลักเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าผิดปกติแบบ Ground Fault ให้มีค่าน้อยและไม่ต้องลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการต่อลงดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_{G0} คือ ค่า Zero Sequence Reactance ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 3.1 ระบบ Ungrounded อย่างไร

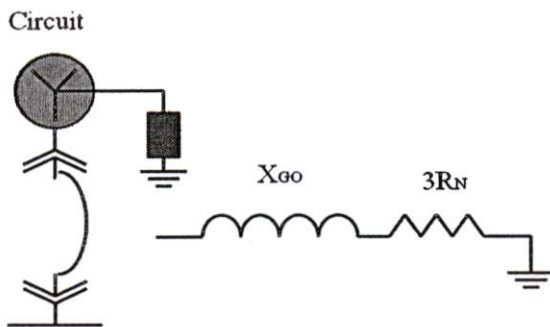
ก็ตามผลของการออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นแบบ Ungrounded Systems จะมีความอ่อนไหวต่อการเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินขึ้นในระบบไฟฟ้า และนั่นก็เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้การป้องกันความผิดปกติแบบ Ground Fault ในระบบ Ungrounded Systems ต้องใช้การตรวจจับด้วยรีเลย์ที่เรียกว่า Zero Sequence Overvoltage Relay (59N) ซึ่งมักจะต่อผ่าน Voltage Transformer (V.T.) ที่มีการต่อด้านปฐมภูมิเป็นแบบ Grounded-Wye และด้านทุติยภูมิจะต่อเป็นแบบ Broken Delta

3.1.2 ระบบ Resistance Grounding

ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อ Neutral ลงดินโดยผ่านค่าความต้านทานจะช่วยลดขนาดกระแสไฟฟ้าผิดปกติแบบ Ground Fault ได้ แต่จะต้องออกแบบให้ขนาดค่าความต้านทานมีค่าที่เหมาะสมเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดการทำลายจากปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในสถานะชั่วคราว (Transient Overvoltage) ซึ่งปกติมักถูกจำกัดไว้ที่ $R_0 \leq X_{c0}$ และ $R_0 \geq 2X_0$ การออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นแบบ Resistance Grounding มีเหตุผลหลักดังนี้

- ลดการเกิดเพลิงไหม้หรือการหลอมละลายติดกันภายในตัวอุปกรณ์ที่เกิดความผิดปกติหรือมี กระแสไฟฟ้าผิดปกติไหลผ่าน เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า
- ลดความเครียดทางกลในระหว่างที่กระแสไฟฟ้าผิดปกติไหลผ่านตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ลดอันตรายที่จะเกิดกับสิ่งมีชีวิต
- ลดความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip ในระบบไฟฟ้า
- ช่วยควบคุมระดับความรุนแรงของแรงดันไฟฟ้าเกินในสถานะชั่วคราว (Transient Overvoltage) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ระบบไฟฟ้าแบบ Resistance Grounding จำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ Low Resistance Grounding และ High Resistance Grounding ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าผิดปกติที่ต้องการควบคุมให้ไหลผ่าน อย่างไรก็ตามไม่มีมาตรฐานใดรับรองอย่างแน่ชัดเกี่ยวกับการจำแนกขนาดค่าความต้านทานด้วยกระแสไฟฟ้าผิดปกติแบบ Ground Fault แต่การออกแบบโดยทั่วไปจะกำหนดให้ระบบไฟฟ้าที่มีการควบคุมขนาดกระแสไฟฟ้าผิดปกติไว้ไม่ให้เกิน 10 A หรือน้อยกว่า จัดอยู่ในกลุ่มของ High Resistance Grounding ซึ่งทำให้อุปกรณ์ป้องกันไม่จำเป็นต้องกำจัดความผิดปกติอย่างทันทีทันใดเนื่องจากกระแส Ground Fault มีปริมาณต่ำมาก ส่วน Low Resistance Grounding จะใช้ในการออกแบบเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าผิดปกติให้มีขนาดอย่างน้อย 100 A แต่โดยปกติจะออกแบบให้อยู่ในช่วงระหว่าง 200 -1,000 A การออกแบบ Resistance Grounding ทั้ง 2 แบบจะต้องควบคุมไม่ให้แรงดันไฟฟ้าเกินในสถานะชั่วคราวมีค่าเกินกว่า 2.5 เท่าของพิกัดปกติและจะต้องเลือกกับดักฟ้าผ่า (Arrester) ให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าเกินในสถานะชั่วคราวด้วย



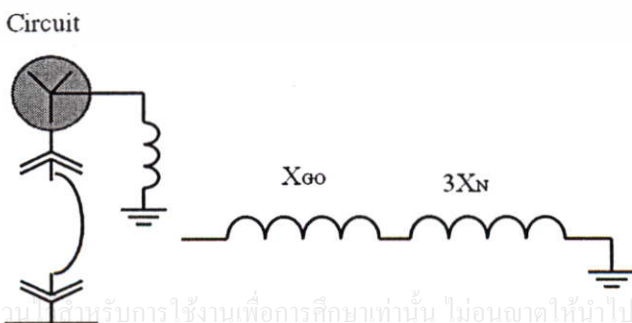
R_N คือ ค่า Resistance ที่ต่อจากจุด Neutral ลงดิน

รูปที่ 3.2 ระบบ Resistance Grounding

3.1.3 ระบบ Reactance Grounding

ระบบไฟฟ้าที่ออกแบบให้มีการต่อ Neutral ลงดินโดยผ่านค่า Reactor ได้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ระบบไฟฟ้าจะต้องถูกควบคุมให้มีกระแส Ground Fault ไหลอย่างน้อย 0.25 เท่าของกระแสแบบ Three Phase Fault (ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 0.6 เท่า) หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ระบบไฟฟ้าต้องมีค่า $X_0 \leq 10X_1$ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าเกินในสถานะชั่วคราว (Transient Overvoltage)

สำหรับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีรูปแบบการต่อเป็นแบบ Solid Grounding ซึ่งไม่มีการต่อ Impedance ไว้ที่ตำแหน่ง Neutral จะมีค่ากระแส Ground Fault ที่สูงกว่ากระแส Three Phase Fault ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเสี่ยงที่จะเสียหายได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย มักออกแบบให้มีการต่อ Neutral ลงดินโดยผ่านค่า Reactor ขนาดเล็กเพื่อลดกระแส Ground Fault ให้มีขนาดเท่ากับกระแส Three phase Fault

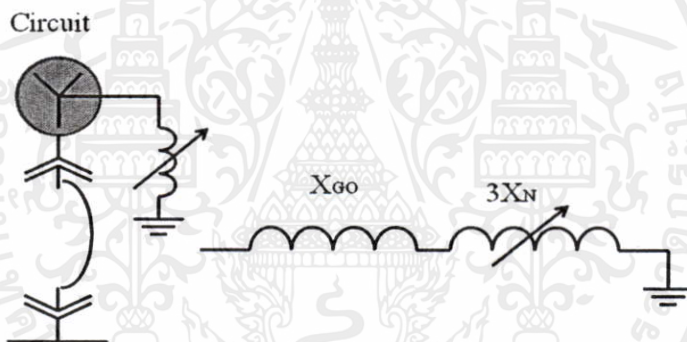


X_N คือ ค่า Reactance ที่ต่อจากจุด Neutral ลงดิน

รูปที่ 3.3 ระบบ Reactance Grounding

3.1.4 ระบบ Ground-Fault Neutralizer (Resonant Grounding)

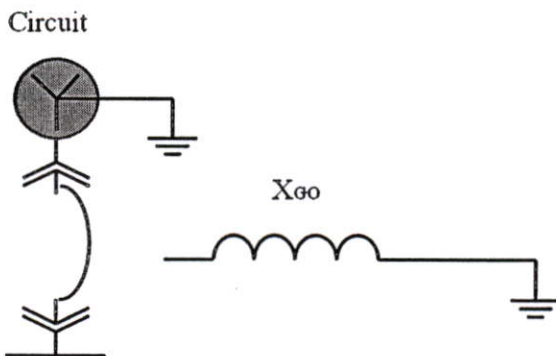
ระบบ Ground-Fault Neutralizer คือ ระบบไฟฟ้าที่มีการต่อ Neutral ลงดินโดยผ่าน Reactor แต่ค่า Reactor ที่ใช้จะต้องถูกเลือกให้มีค่า Reactance ที่สูงและเหมาะสมกับระบบไฟฟ้านั้นๆ กล่าวคือ ค่า Reactance จะถูกเลือกเพื่อปรับให้ค่า Reactance Current มีค่าสัมพันธ์กับ Charging Current ของระบบไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการหักล้างกันจนกระทั่งเหลือเพียงกระแสไฟฟ้าในส่วน of Resistance Current ซึ่งมีปริมาณน้อยและมีเฟสที่ตรงกันกับแรงดันไฟฟ้า จึงทำให้ Recovery Voltage มีค่าที่ต่ำมาก ซึ่งนั่นเป็นข้อดีที่เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในอากาศในลักษณะเดียวกับการวาบไฟตามผิวลูกถ้วย (Flashover) จะทำให้ Arc Fault ที่เกิดขึ้นดับลงไปเอง การต่อลงดินแบบนี้เหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 15 kV ขึ้นไปและมักถูกเลือกใช้รองลงมาจากแบบ Resistance Grounding แต่มีข้อควรระวังในการใช้งาน คือ ค่า Reactance จะต้องสามารถปรับค่าไปตามค่า Capacitance ของระบบไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.4 ระบบ Ground-Fault Neutralizer

3.1.5 ระบบ Solid Grounding

ระบบ Solid Grounding จะเป็นการต่อ Neutral ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าลงดินโดยตรง โดยจะต้องพิจารณาไม่ให้ค่า X_0 มีค่าสูงกว่า X_1 มากเกินไป เพราะจะทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในสภาวะชั่วคราว (Transient Overvoltage) ขึ้นได้ การควบคุมให้ค่า $R_0 \leq X_1$ และ $X_0 \leq 3X_1$ จะทำให้ระบบการต่อลงดินเปลี่ยนจาก Solid Grounding เป็น Effectively Grounded ซึ่งจะมีผลทำให้กระแส Ground Fault มีค่าอย่างน้อย 0.6 เท่าของกระแส Three Phase Fault และทำให้สามารถลดพิกัดใช้งานของกับดักฟ้าผ่าให้มีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Phase ได้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

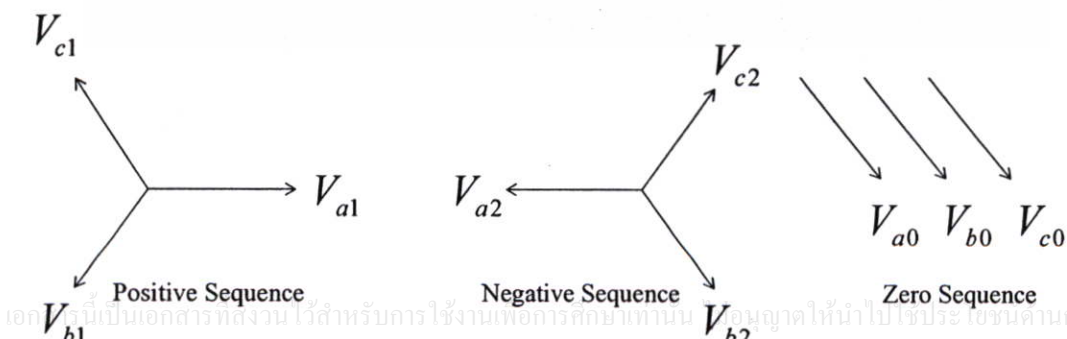


รูปที่ 3.5 ระบบ Solid Grounding

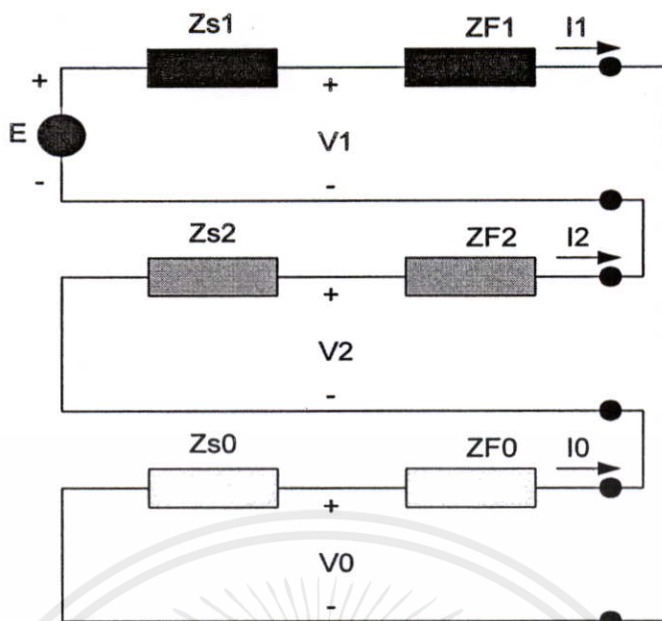
3.2 ความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้า

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกือบทั้งหมดเป็นระบบเหนือดิน (Overhead Line) จึงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดปกติได้ง่าย และจากข้อมูลที่ได้บันทึกไว้พบว่า กระแสไฟฟ้าขัดข้องส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ซึ่งสามารถทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติมีค่าต่ำลง ในขณะที่เดียวกันก็สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติมีค่าสูงขึ้นได้หากระบบไฟฟ้าถูกต่อเป็นแบบ Ungrounded หรือ Impedance Grounding

ในการวิเคราะห์ความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault จำเป็นต้องอาศัยหลักการของส่วนประกอบแบบสมมาตร (Symmetrical Component) เพื่อสร้างเฟสเซอร์ที่ไม่สมมาตรในการอธิบายถึงสภาวะที่ไม่สมดุล อันประกอบไปด้วยส่วนประกอบลำดับบวก (Positive Sequence) ส่วนประกอบลำดับลบ (Negative Sequence) และส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence)



รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบสมมาตร



รูปที่ 3.7 การต่อเชื่อมส่วนประกอบสมมาตรแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ถ้ากำหนดให้แรงดันไฟฟ้า $E = 1$ P.U. และจากหลักการของ Voltage Divider สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของส่วนประกอบต่างๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_1 = \frac{Z_{F1} + Z_{S2} + Z_{F2} + Z_{S0} + Z_{F0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.1)$$

$$V_2 = \frac{Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.2)$$

$$V_0 = \frac{Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.3)$$

และจากสมการที่ (3.1), (3.2) และ (3.3) สามารถนำมาคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสขณะเกิดความผิดปกติได้ดังสมการที่ (3.4), (3.5) และ (3.6)

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0 \quad (3.4)$$

$$V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0 \quad (3.5)$$

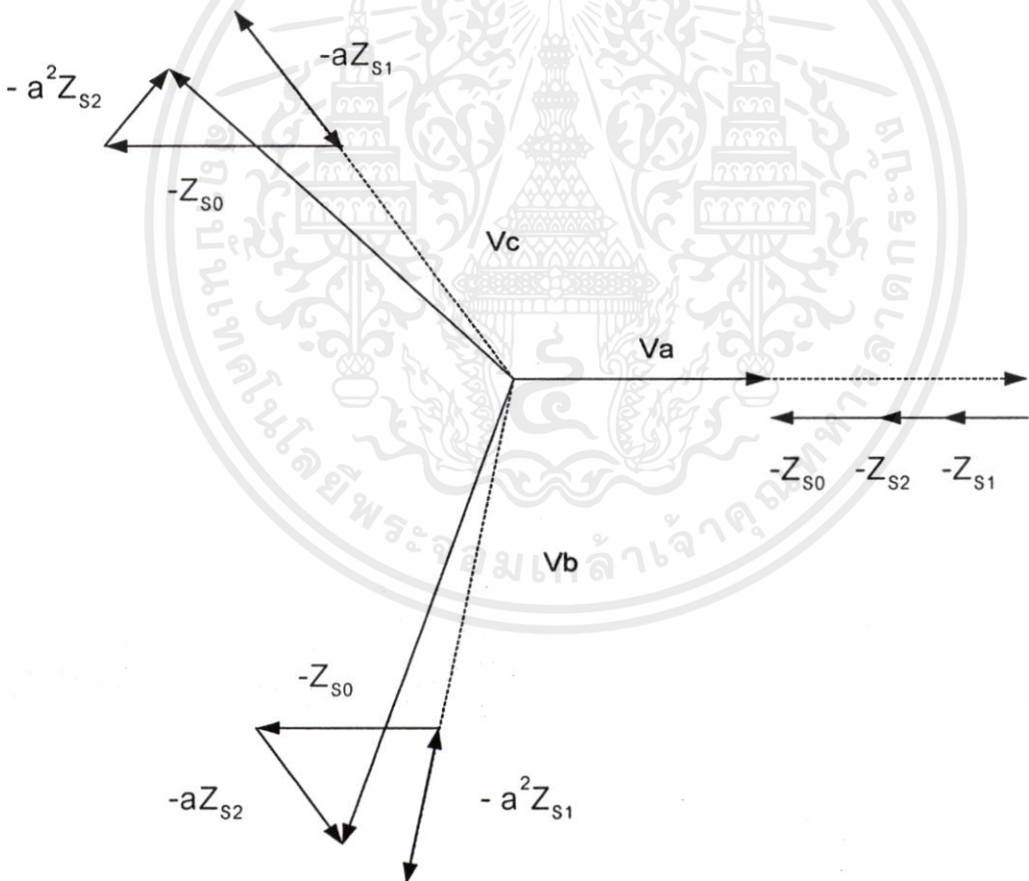
$$V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0 \quad (3.6)$$

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสได้ใหม่ดังสมการที่ (3.7), (3.8) และ (3.9)

$$V_a = 1 - \frac{Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.7)$$

$$V_b = a^2 \frac{a^2 Z_{S1} + a Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.8)$$

$$V_c = a \frac{a Z_{S1} + a^2 Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.8 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันไฟฟ้า กรณีเกิดความผิดปกติที่เฟส a
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ (3.10) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะ

ขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างระหว่างส่วนประกอบอิมพีแดนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence) กับส่วนประกอบอิมพีแดนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence) ซึ่งปกติส่วนประกอบทั้งสองนี้จะมีค่าที่เท่ากัน

$$V_b - V_c = (a^2 - a) \left[1 - \frac{Z_{S1} - Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \right] \quad (3.10)$$

3.2.1 ระบบต่อลงดินเป็นแบบ Solid Grounding

เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินเป็นแบบ Solid Grounding จะสามารถประเมินค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$V_a = - \frac{Z_{S1}}{\frac{1}{3}(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + Z_{S1}} \quad (3.11)$$

$$V_b = a^2 \quad (3.12)$$

$$V_c = a \quad (3.13)$$

3.2.2 ระบบต่อลงดินเป็นแบบ Impedance Grounding

เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินเป็นแบบ Impedance Grounding จะสามารถประเมินค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟส เมื่อค่า $Z_{S1} = Z_{S2}$ และ $Z_{F1} = Z_{F2}$ ได้ดังนี้

$$V_a = 1 - \frac{Z_{S0} + 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (3.14)$$

$$V_b = a^2 - \frac{Z_{S0} - 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (3.15)$$

$$V_c = a - \frac{Z_{S0} - 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (3.16)$$

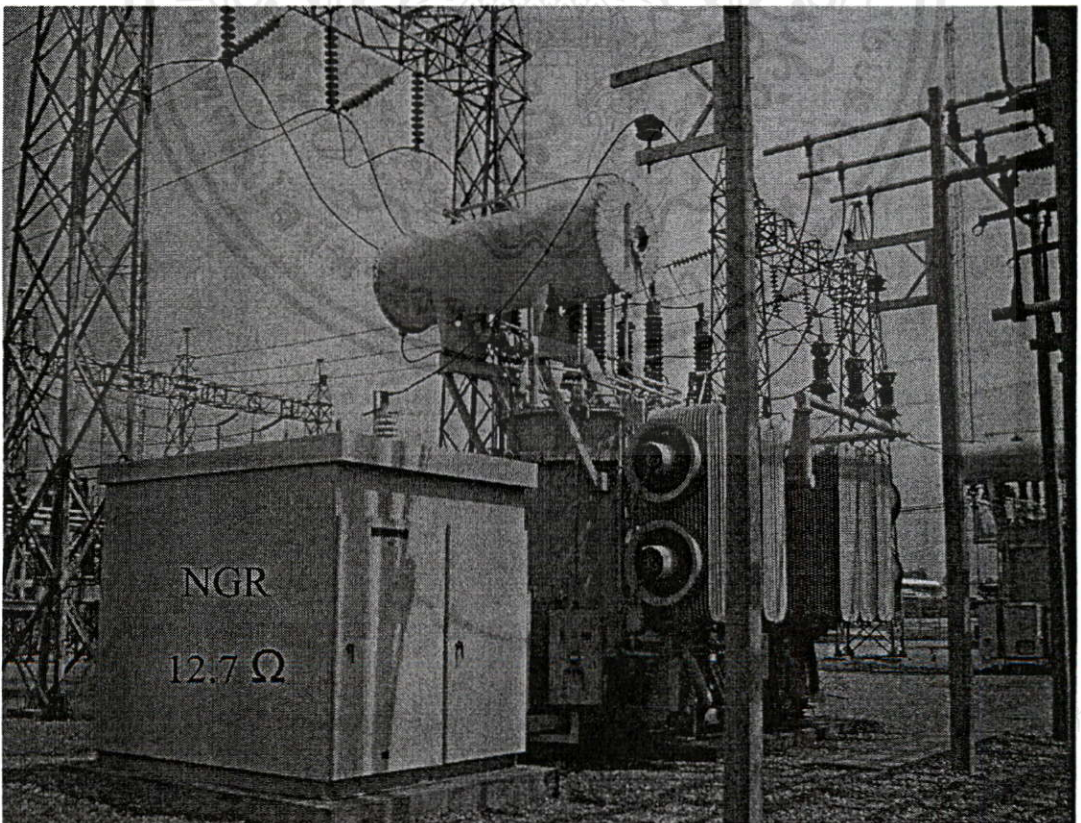
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากสมการที่ (3.14), (3.15) และ (3.16) จะสังเกตว่าส่วนประกอบลำดับศูนย์เป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดขนาดของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสระหว่างที่เกิดความผิดปกติ

3.1 การต่อลงดินโดยผ่าน Neutral Grounding Resistor (NGR) ในระบบไฟฟ้า

ในปี พ.ศ. 2535 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้รับความช่วยเหลือจากประเทศญี่ปุ่นผ่านสถาบัน JICA ในการจัดทำโครงการ Distribution Automation Systems (DAS) เพื่อควบคุมการตัดจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยมีการติดตั้งสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดวงจรระยะไกลหรืออุปกรณ์ Remote Terminal Unit (RTU) ในการดำเนินงานตามโครงการดังกล่าวจำเป็นต้องติดตั้ง NGR ที่สถานีไฟฟ้าย่อยนคร 1 และนคร 2 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อควบคุมปริมาณกระแส Ground Fault ให้อยู่ในพิสัยที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ RTU และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และยังต้องช่วยควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงปกติเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ในระบบ DAS ทำงานผิดพลาด ภายหลังติดตั้งใช้งานพบว่านอกจาก NGR จะช่วยลดกระแส Ground Fault ได้แล้วยังสามารถลดข้อร้องเรียนของผู้ใช้ไฟฟ้าจากปัญหา Voltage Sag/Dip ที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย



รูปที่ 3.9 การติดตั้ง NGR ในระบบไฟฟ้า

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ขยายผลในการติดตั้ง NGR เพิ่มเติมในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมอีกจำนวนทั้งสิ้น 30 แห่ง รวมกับจำนวน NGR ที่ติดตั้งเดิมเป็น 32 แห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมขนาดของ Voltage Sag/Dip ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในระบบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 หรือยอมให้แรงดันไฟฟ้าหายไปจากระบบได้ไม่เกินร้อยละ 20 ของพิกัดปกติ โดยการติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω เพื่อควบคุมปริมาณกระแสแบบ Single Line to Ground Fault ให้มีขนาดไม่เกิน 1,000 A

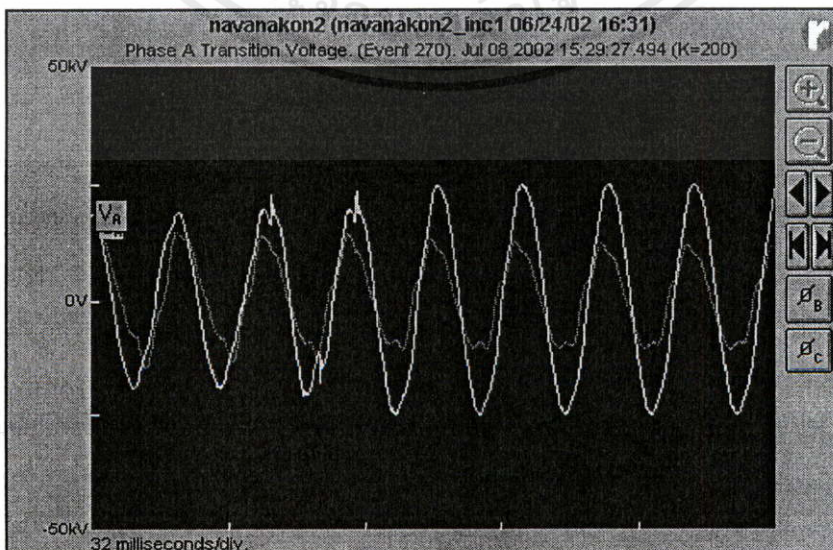
ตารางที่ 3.1 สถานีไฟฟ้าย่อยที่ติดตั้ง NGR

ลำดับที่	สถานีไฟฟ้าย่อย	สถานที่ติดตั้ง	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า
1	สถานีไฟฟ้าย่อยบางกระเจ็ด	จังหวัดปทุมธานี	2x40 MVA
2	สถานีไฟฟ้าย่อยบางกระสัน	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	2x40 MVA
3	สถานีไฟฟ้าย่อยหนองปลิง	จังหวัดสระบุรี	2x50 MVA
4	สถานีไฟฟ้าย่อยโรจนะ	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	2x40 MVA
5	สถานีไฟฟ้าย่อยบึง	จังหวัดชลบุรี	2x40 MVA
6	สถานีไฟฟ้าย่อยบางสมัคร	จังหวัดฉะเชิงเทรา	1x40 MVA, 1x50 MVA
7	สถานีไฟฟ้าย่อยบ่อวิน 2	จังหวัดชลบุรี	2x50 MVA
8	สถานีไฟฟ้าย่อยมาบตาพุด 1	จังหวัดระยอง	2x50 MVA
9	สถานีไฟฟ้าย่อยแหลมฉบัง 1	จังหวัดชลบุรี	2x40 MVA
10	สถานีไฟฟ้าย่อยท่าทราย	จังหวัดท่าทราย	2x40 MVA
11	สถานีไฟฟ้าย่อยลำพูน	จังหวัดลำพูน	2x50 MVA
12	สถานีไฟฟ้าย่อยหัวทะเล	จังหวัดนครราชสีมา	2x50 MVA
13	สถานีไฟฟ้าย่อยกบินทร์บุรี	จังหวัดปราจีนบุรี	1x50 MVA
14	สถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 1	จังหวัดปทุมธานี	2x50 MVA
15	สถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 2	จังหวัดปทุมธานี	2x50 MVA
16	สถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 3	จังหวัดปทุมธานี	2x50 MVA
17	สถานีไฟฟ้าย่อยบ้านเลน	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	2x40 MVA
18	สถานีไฟฟ้าย่อยบางพระครู	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	2x40 MVA
19	สถานีไฟฟ้าย่อยปลวกแดง 1	จังหวัดระยอง	2x50 MVA
20	สถานีไฟฟ้าย่อยปลวกแดง 2	จังหวัดระยอง	2x50 MVA
21	สถานีไฟฟ้าย่อยระยอง 2	จังหวัดระยอง	2x50 MVA
22	สถานีไฟฟ้าย่อยคลองขวาง	จังหวัดฉะเชิงเทรา	2x50 MVA

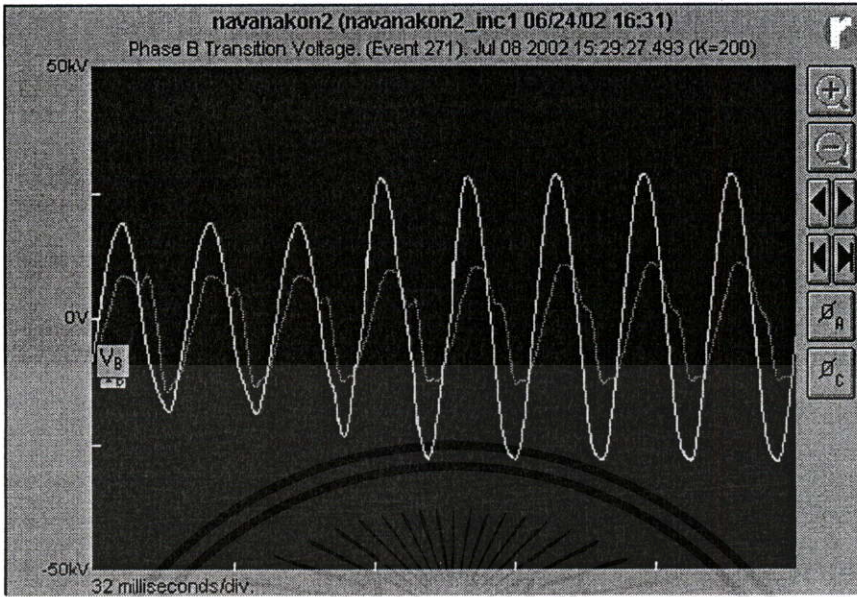
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ลำดับที่	สถานีไฟฟ้าย่อย	สถานที่ติดตั้ง	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า
23	สถานีไฟฟ้าย่อยบางบัว	จังหวัดฉะเชิงเทรา	2x40 MVA
24	สถานีไฟฟ้าย่อยบางปะกง	จังหวัดชลบุรี	2x40 MVA
25	สถานีไฟฟ้าย่อยสมุทรสาคร4	จังหวัดสมุทรสาคร	2x50 MVA
26	สถานีไฟฟ้าย่อยศาลายา	จังหวัดนครปฐม	2x50 MVA
27	สถานีไฟฟ้าย่อยอ้อมน้อย	จังหวัดนครปฐม	2x50 MVA
28	สถานีไฟฟ้าย่อยอ้อมใหญ่ 1	จังหวัดนครปฐม	2x50 MVA
29	สถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม 1	จังหวัดนครปฐม	2x50 MVA
30	สถานีไฟฟ้าย่อยเขาย้อย	จังหวัดเพชรบุรี	2x50 MVA
31	สถานีไฟฟ้าย่อยนนทบุรี	จังหวัดปทุมธานี	2x50 MVA
32	สถานีไฟฟ้าย่อยโคกเข้	จังหวัดสระบุรี	2x50 MVA

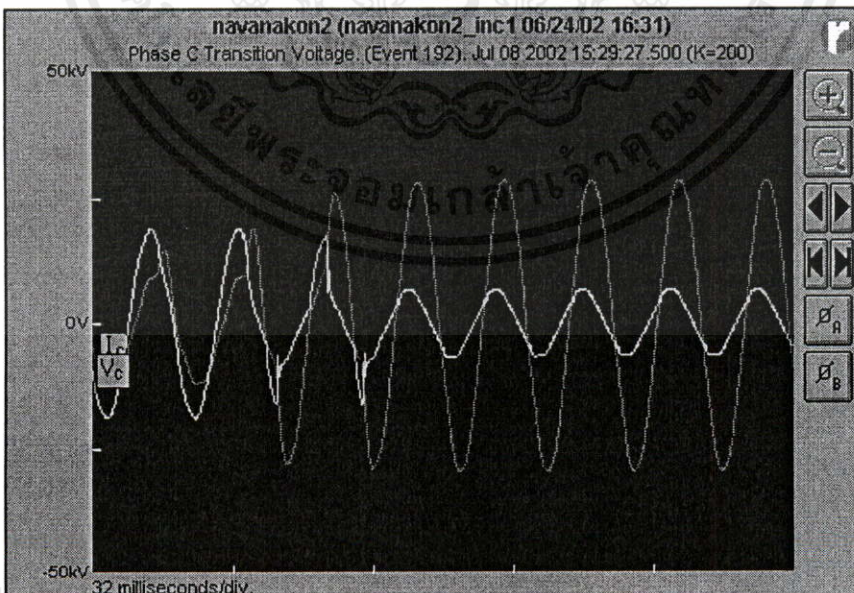
อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการติดตั้ง NGR จะสามารถแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ในระบบไฟฟ้าได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ก็ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินที่เรียกว่า “Voltage Swell” ขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยเมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ขึ้น แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติจะมีขนาดที่ลดลงเกิดเป็น Voltage Sag/Dip แต่แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติจะมีขนาดเพิ่มขึ้นกลายเป็น Voltage Swell ที่สามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของกับดักฟ้าผ่าและอุปกรณ์ป้องกันทางด้านแรงดันไฟฟ้า นอกจากนั้นการลดค่ากระแส Ground Fault ก็มีผลทำให้เกิดผลกระทบในการจัดความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ป้องกันทางด้านกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส a ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c



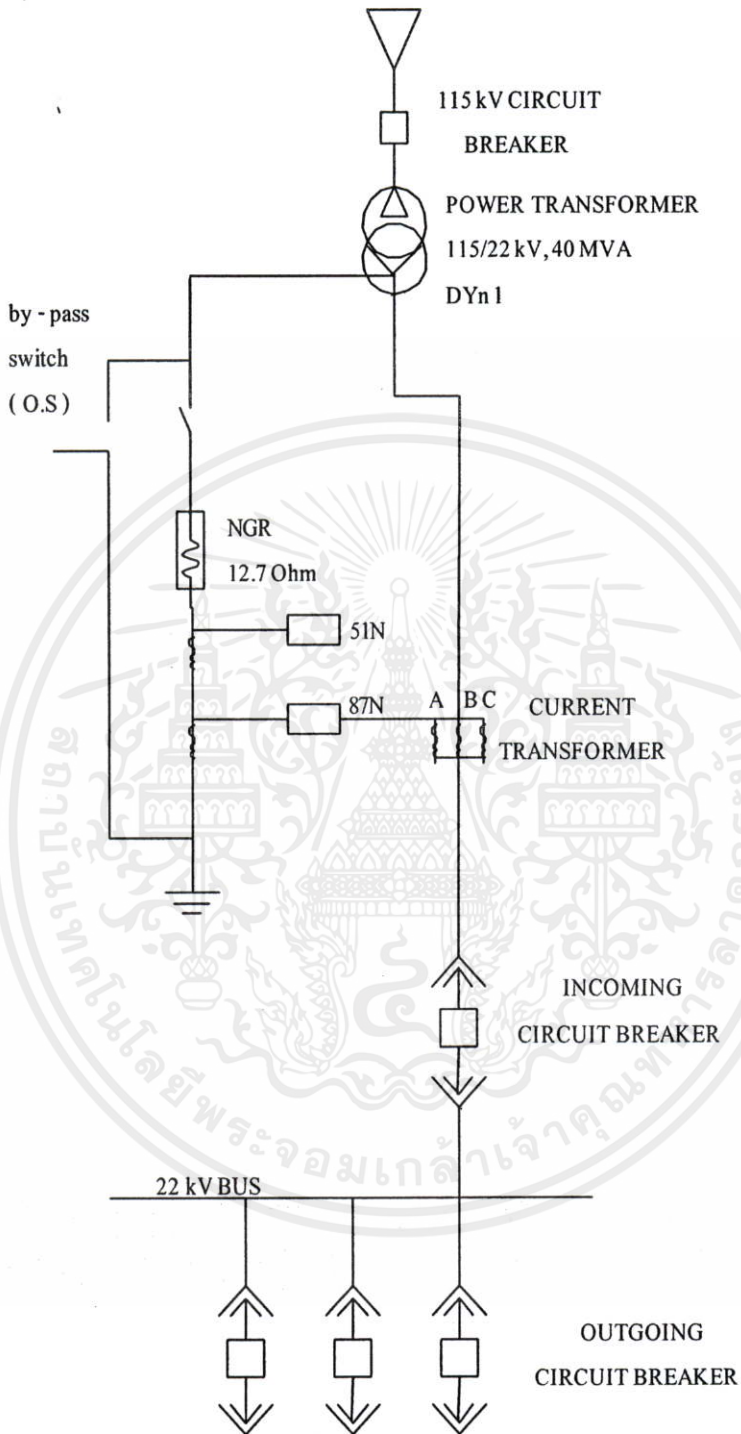
รูปที่ 3.11 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส b ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ระบุชื่อหน่วยงาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฟส c ขณะเกิดความผิดปกติที่เฟส c



รูปที่ 3.13 แสดง Single Line Diagram การติดตั้ง NGR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบรรดาผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ
 ใด ๆ ทั้งสิ้น หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข
 ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสผิพรองและการจัดความสัมพันธของระบบป้องกันไฟฟ้าจากการ
 ปรับเปลี่ยนขนาดของ NGR ที่ขนาด 5, 10, 12.7, 15, 20 และ 25 Ω

3.3.1 ค่า Impedance ที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า Impedance ที่ใช้ในการคำนวณ

ค่า Impedance ที่ใช้ในการคำนวณ	สถานีไฟฟ้าอ่อนนคร 1	สถานีไฟฟ้าอ่อนนคร 2	
Source Impedance (P.U.) Base: 100 MVA	R_{S1}	0.00497	0.00602
	X_{S1}	0.07314	0.07982
	R_{S0}	0.016	0.02157
	X_{S0}	0.11987	0.15274
Transformer Impedance (P.U.) Base: 100 MVA	R_{T1}	0	0
	X_{T1}	0.151	0.151
	R_{T0}	0	0
	X_{T0}	0.151	0.151
Source Impedance (Ω) ขนาดสาย 185 mm ² (Double Circuit)	R_{L1}	0.175713	0.175713
	X_{L1}	0.349567	0.349567
	R_{L0}	0.471713	0.471713
	X_{L0}	2.68893	2.68893

3.3.2 สมการที่ใช้คำนวณ

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground ที่เฟส a สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) ที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติและกระแสผิดปกติได้ดังนี้

$$V_b = \frac{(a^2 - 1)Z_0 + (a^2 - a)Z_1}{2Z_1 + Z_0} \times V_n \quad (3.17)$$

$$V_c = \frac{(a - 1)Z_0 + (a - a^2)Z_1}{2Z_1 + Z_0} \times V_n \quad (3.18)$$

$$I_f = \frac{3V_n}{2Z_1 + Z_0} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_b คือ แรงดันไฟฟ้าที่เฟส b

V_c คือ แรงดันไฟฟ้าที่เฟส c

Z_1 คือ ค่า Impedance ลำดับบวกที่มองจากแหล่งจ่ายไฟไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติ

Z_0 คือ ค่า Impedance ลำดับศูนย์ที่มองจากแหล่งจ่ายไฟไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติ

V_n คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส (Phase to Ground) ที่สภาวะปกติ

I_f คือ ค่ากระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault

$$Z_0 = R_0 + jX_0 \quad (3.20)$$

$$R_0 = R_{T_0} + R_{L_0} + 3(R_G + R_F) \quad (3.21)$$

$$X_0 = X_{T_0} + X_{L_0} \quad (3.22)$$

โดยที่ R_{T_0} คือ ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

X_{T_0} คือ ค่า Reactance ลำดับศูนย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

R_{L_0} คือ ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ของสายตัวนำไฟฟ้า

X_{L_0} คือ ค่า Reactance ลำดับศูนย์ของสายตัวนำไฟฟ้า

R_G คือ ค่าความต้านทานของ NGR

R_T คือ ค่าความต้านทานของความผิดปกติ

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad (3.23)$$

$$R_1 = R_{S_1} + R_{T_1} + R_{L_1} \quad (3.24)$$

$$X_1 = X_{S_1} + X_{T_1} + X_{L_1} \quad (3.25)$$

โดยที่ R_{S_1} คือ ค่าความต้านทานลำดับบวกของแหล่งจ่ายไฟ

X_{S_1} คือ ค่า Reactance ลำดับบวกของแหล่งจ่ายไฟ

R_{T_1} คือ ค่าความต้านทานลำดับบวกของหม้อแปลงไฟฟ้า

X_{T_1} คือ ค่า Reactance ลำดับบวกของหม้อแปลงไฟฟ้า

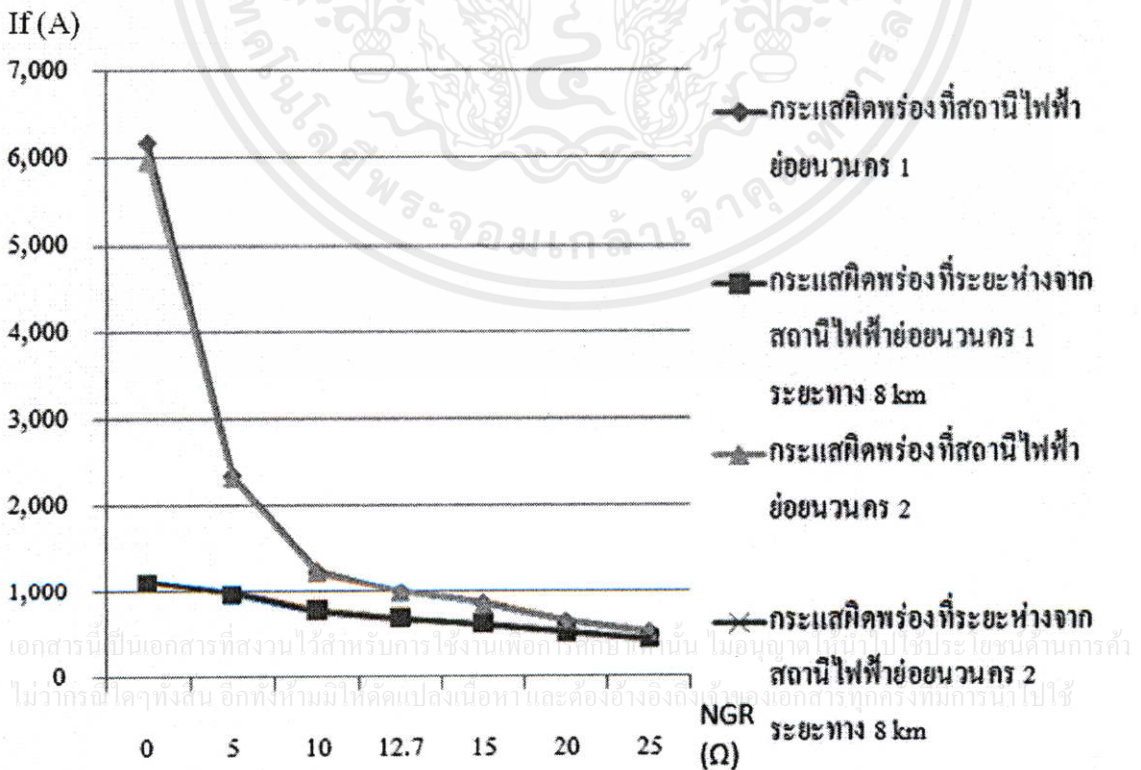
R_{L_1} คือ ค่าความต้านทานลำดับบวกของสายตัวนำไฟฟ้า

X_{L_1} คือ ค่า Reactance ลำดับบวกของสายตัวนำไฟฟ้า

3.3.3 ผลการคำนวณ

ตารางที่ 3.3 แสดงค่ากระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground ที่เฟส a

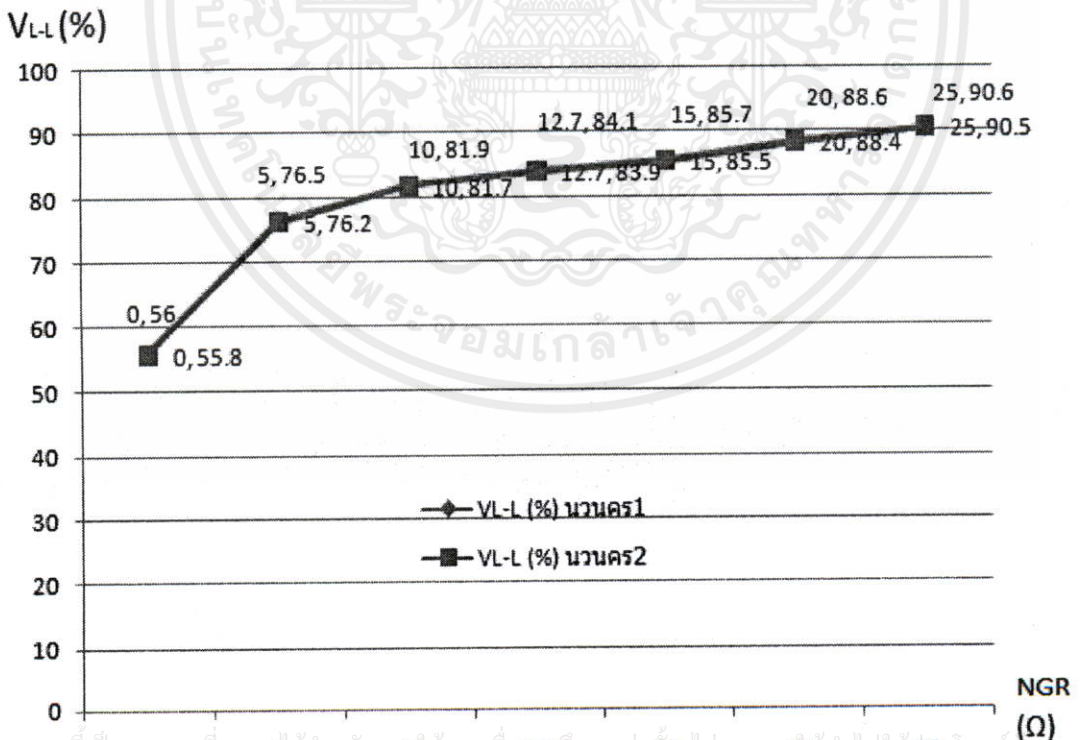
NGR (Ω)	สถานีไฟฟ้าย่อยนคร 1		สถานีไฟฟ้าย่อยนคร 2	
	กระแสผิดพลาดที่สถานีไฟฟ้า (A)	กระแสผิดพลาดที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า 8 km (A)	กระแสผิดพลาดที่สถานีไฟฟ้า (A)	กระแสผิดพลาดที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า 8 km (A)
0	6,156	1,122	5,963	1,116
5	2,342	960	2,327	955
10	1,242	770	1,239	767
12.7	986	683	984	682
15	838	620	837	619
20	631	512	631	511
25	506	432	506	432



รูปที่ 3.14 แสดงกระแสผิดพลาดที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามขนาดของ NGR

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) หลังจากติดตั้ง NGR

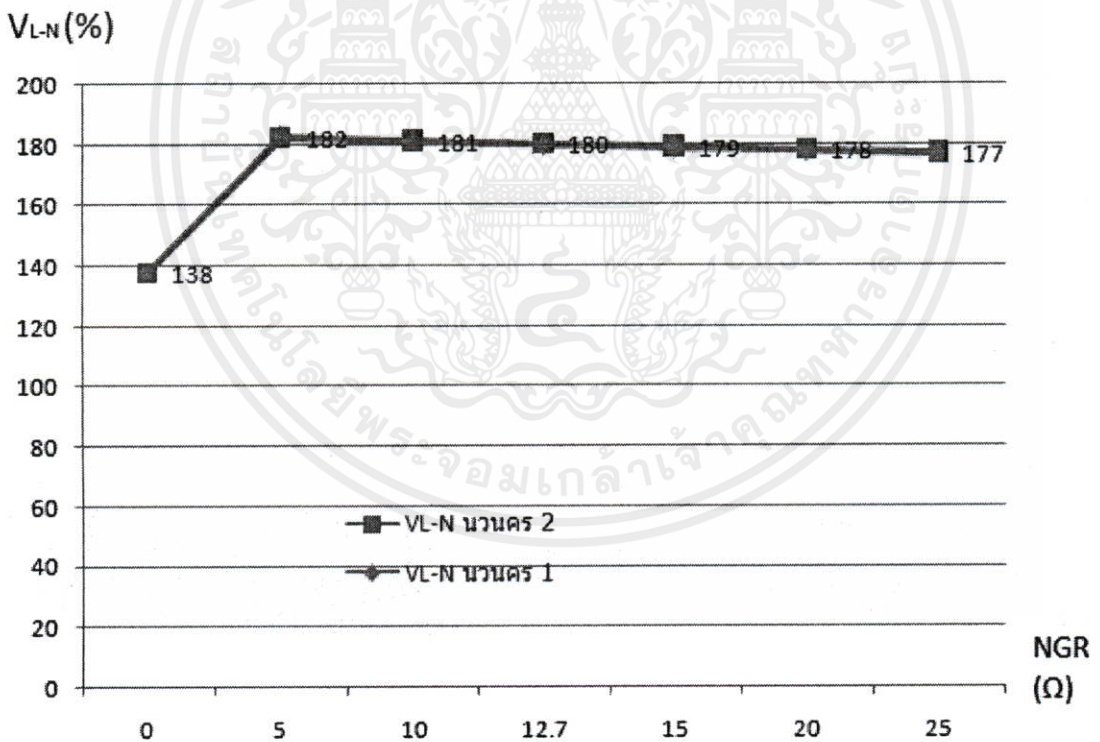
NGR (Ω)	สถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 1		สถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 2	
	V_{L-L} (%)	ระยะทางจากสถานีไฟฟ้าย่อย (km)	V_{L-L} (%)	ระยะทางจากสถานีไฟฟ้าย่อย (km)
0	56	0	55.8	0
5	76.5	4	76.2	4
10	81.9	8	81.7	8
12.7	84.1	8	83.9	8
15	85.7	8	85.5	8
20	88.6	8	88.4	8
25	90.6	8	90.5	8



รูปที่ 3.15 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) หลังจากติดตั้ง NGR

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสหลังจากติดตั้ง NGR

NGR (Ω)	สถานีไฟฟ้าช้อยนวนคร 1		สถานีไฟฟ้าช้อยนวนคร 2	
	V _{L-N} (%)	ระยะทางจากสถานีไฟฟ้าช้อย (km)	V _{L-N} (%)	ระยะทางจากสถานีไฟฟ้าช้อย (km)
0	138	8	138	8
5	183	0	182	0
10	181	0	181	0
12.7	180	0	180	0
15	179	0	179	0
20	178	0	178	0
25	177	0	177	0

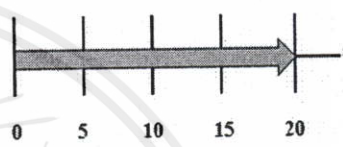
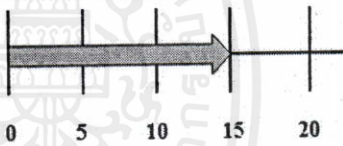
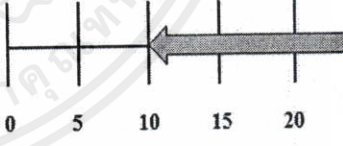
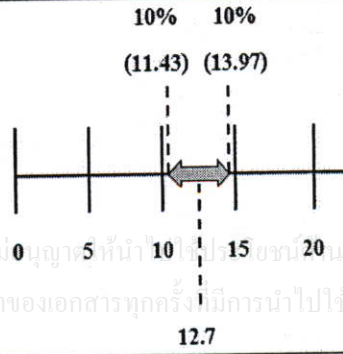


รูปที่ 3.16 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสหลังจากติดตั้ง NGR

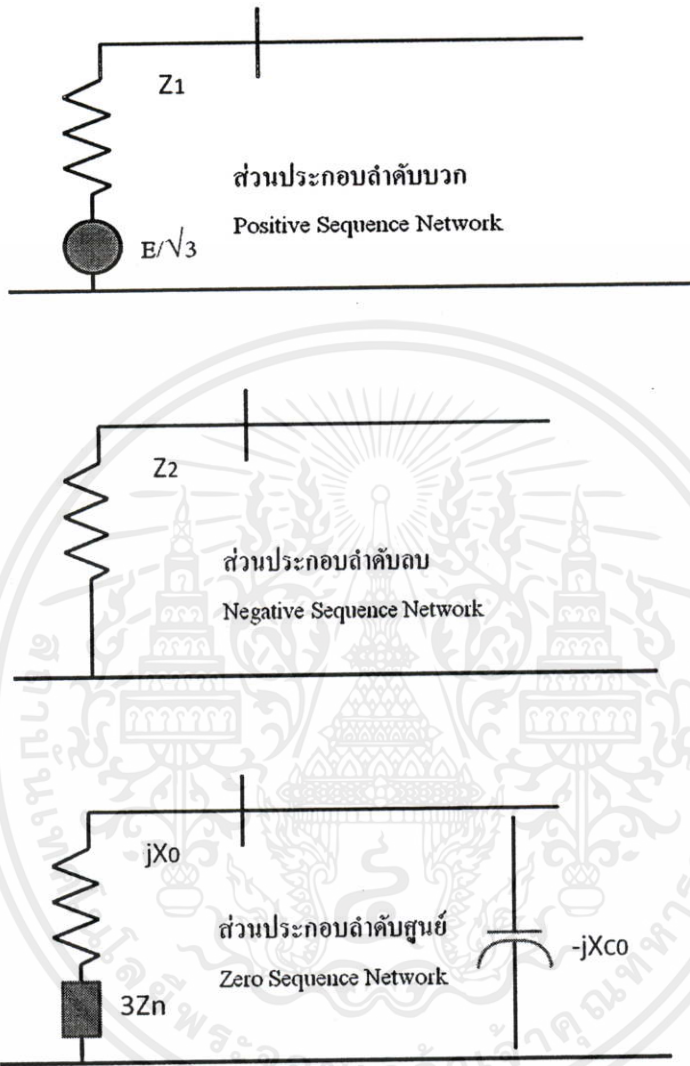
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง NGR พบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะมีค่าสูงประมาณร้อยละ 179 - 181 ของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด $\left(\frac{22}{\sqrt{3}} \times 1.1 = 1.4 \text{ kV}\right)$ ในสภาวะปกติหรือประมาณ 25 kV ขึ้นอยู่กับขนาด

NGR ที่เลือกใช้ สถาบัน JICA ได้แนะนำให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้ NGR ขนาด 12.7 Ω ในการแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip เนื่องจากเป็นขนาด NGR ที่สามารถลดกระแสผิดพลาดพร้อมให้มีขนาดไม่เกิน 1,000 A และสามารถควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าในระบบเหลือมากกว่าร้อยละ 80 ประกอบกับเป็น NGR ที่มีขนาดเดียวกับค่ามาตรฐานที่มีขายอยู่ในท้องตลาดขณะนั้น

ตารางที่ 3.6 แสดงการตัดสินใจของสถาบัน JICA ในการเลือกขนาด NGR

ข้อมูลในการตัดสินใจ	เหตุผลในการตัดสินใจ	ขนาด NGR (Ω)
การจัดความสัมพันธ์ทางด้านฉนวน	ผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าเกินหรือ Voltage Swell ในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อ การป้องกันทางฉนวนของ อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือส่งผลกระทบต่อเฉพาะกับดักฟ้าผ่า	
การจัดความสัมพันธ์ของระบบป้องกันไฟฟ้า	ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าแต่ใช้การกำหนดค่าการทำงานใหม่	
การลดความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip	สามารถควบคุมระดับ Voltage Sag/Dip ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้ไฟยอมรับหรือไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟ	
การตัดสินใจเลือก NGR	ขนาด NGR ที่เหมาะสมต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10 - 15 Ω จึงเลือก NGR ขนาด 12.7 Ω ซึ่งยอมให้มีค่าคลาดเคลื่อน (Tolerance) ในระหว่างการใช้งานประมาณร้อยละ 10	

3.3.4 การคำนวณขนาด NGR



รูปที่ 3.17 แสดงส่วนประกอบที่ใช้คำนวณขนาดของ NGR

พิกัดกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่ไหลผ่าน NGR สามารถคำนวณได้จาก

$$I_t = \frac{\sqrt{3} E}{Z_1 + Z_2 + jX_0 + 3R_n} \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_t = \frac{\sqrt{3} E}{2Z_1 + jX_0 + 3R_n} \quad (3.27)$$

$$\begin{array}{l} \text{เมื่อ} \\ X_{C0} \approx |Z_0| \end{array} \quad \begin{array}{l} X_{C0} ? X_0 \\ \text{และ} \\ |Z_0| ? 3R_n \end{array} \quad \begin{array}{l} Z_1 = Z_2 \end{array}$$

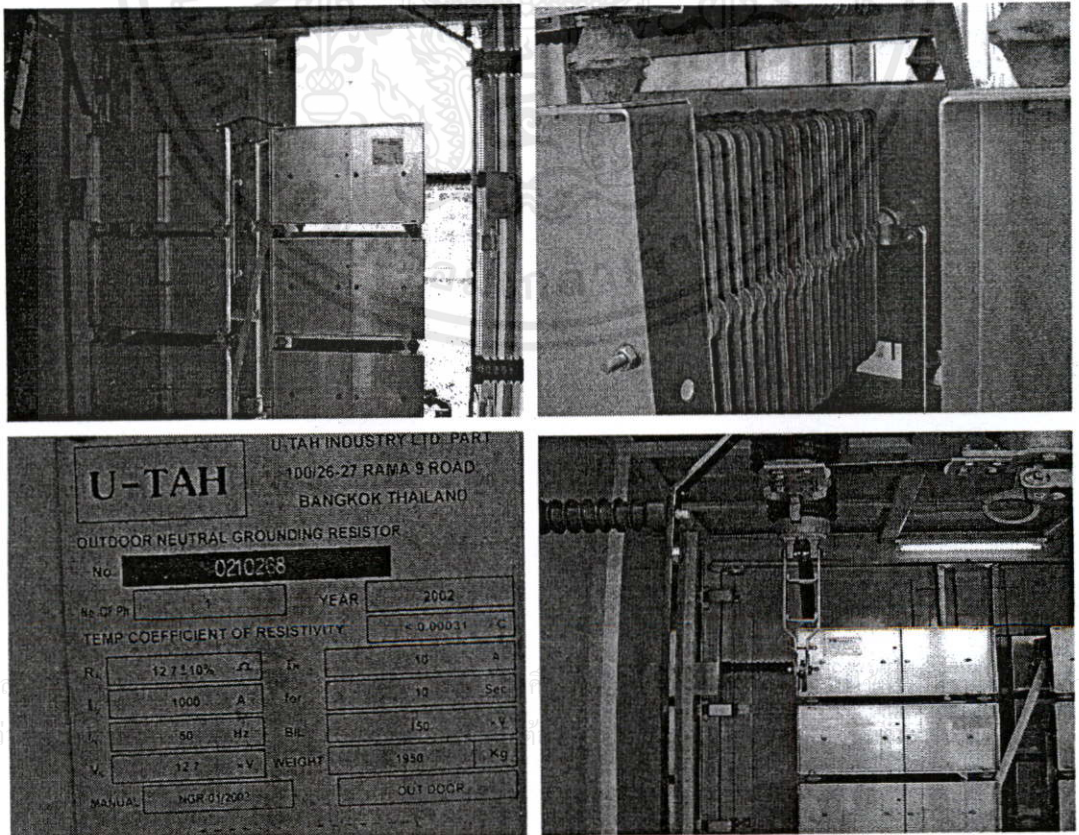
พิกัดแรงดันไฟฟ้าของ NGR สามารถคำนวณได้จาก

$$V = I_t \times R_n \quad (3.28)$$

$$\text{เมื่อ} \quad V = \frac{E}{\sqrt{3}}$$

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการออกแบบให้กระแสผิดพ่วงแบบ Single Line to Ground Fault ไหลผ่าน NGR ประมาณ 1,000 A ในระบบไฟฟ้า 22 kV ต้องเลือก NGR ที่มีขนาด 12.7 Ω

$$R_n = \frac{22,000}{1,000 \times \sqrt{3}} = 12.7 \Omega \quad (3.29)$$



รูปที่ 3.18 แสดง NGR ขนาด 12.7 Ω

3.3.5 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ NGR ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งาน

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อกำหนดทางเทคนิคของ NGR

ลำดับที่	ค่าตัวแปรทางไฟฟ้า	หน่วย	ข้อกำหนด
1	Rated Voltage	kV	$22/\sqrt{3}=12.7$
2	Rated Current	A	1,000
3	Rated Frequency	Hz	50
4	BIL	kV	150
5	Resistance	Ω	$12.7\pm 10\%$
6	Temperature Coefficient of Resistivity	-	Not more than 0.00031 per $^{\circ}\text{C}$
7	Rated Time	Second	10
8	Temperature Rise	$^{\circ}\text{C}$	760
9	Altitude	-	Up to 1,000 m above sea level
10	Annual Relative Humidity	%	79
11	Mean Maximum Annual Relative Humidity	%	94
12	Maximum Ambient Air Temperature	$^{\circ}\text{C}$	Up to 45
13	Mean Maximum Annual Ambient Air Temperature	$^{\circ}\text{C}$	35
14	Climatic Condition	-	Tropical Climate
15	Maximum Wind Velocity	km/h	100
16	Lightning Stroke Expectancy	-	100 Thunderstorm Days/Year
17	Sheet Steel Thickness	-	At least 12AWG or 2.0 mm.
18	Degree of Protection	-	IP 44 or Better
19	Cubicle Type	-	Metal Enclosed, Air Insulated
20	Applied Standard	-	IEEE Standard 32 or Equivalent

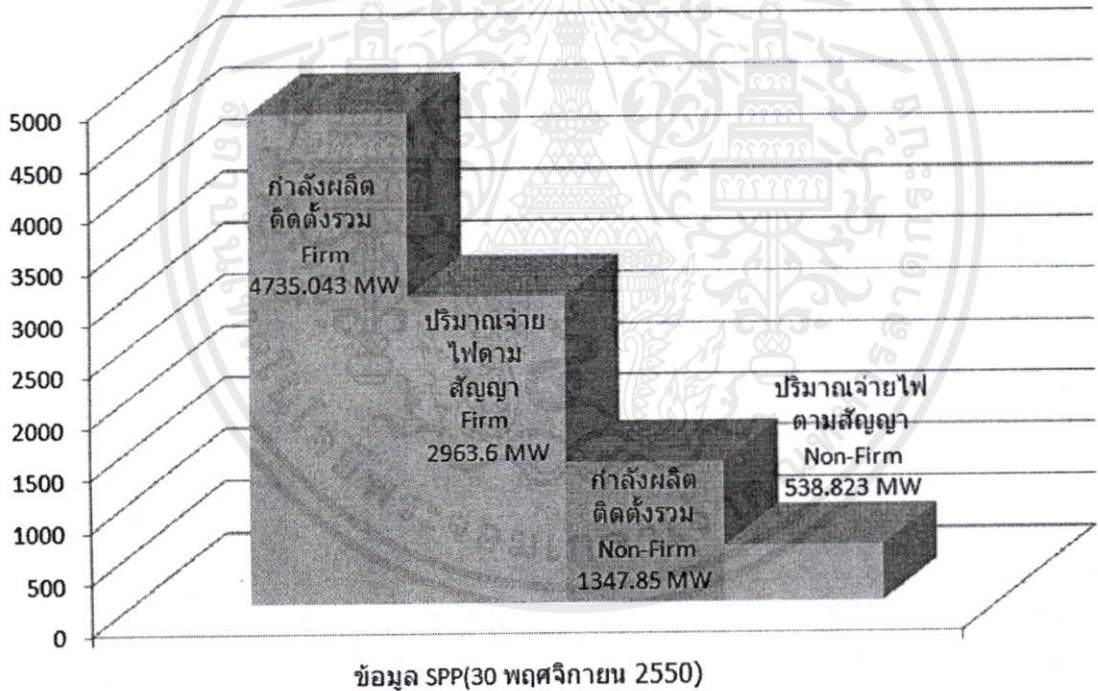
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การต่อเชื่อมของ SPP ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR

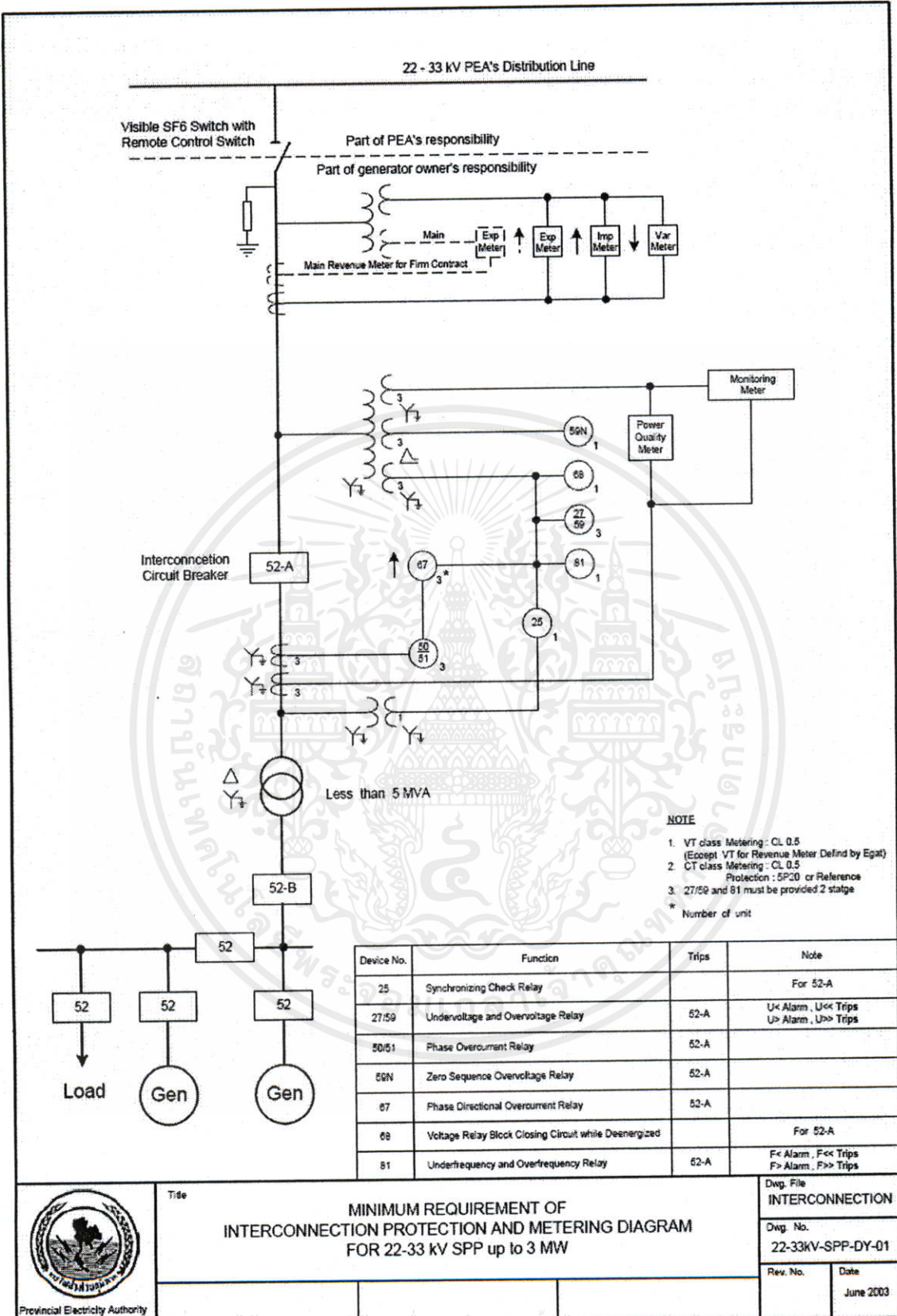
4.1 การต่อเชื่อมของ SPP เข้าระบบไฟฟ้า

ระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2546 ในส่วนของระบบไฟฟ้า 22 kV กำหนดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ยอมให้จ่ายเข้าระบบไฟฟ้าได้ไม่เกิน 8 MW โดยจะต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าที่มี Vector Group ที่สามารถแยก Zero Sequence ระหว่างระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและ SPP ออกจากกัน การต่อเชื่อมของ SPP เข้าระบบไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบ Non-Firm และแบบ Firm



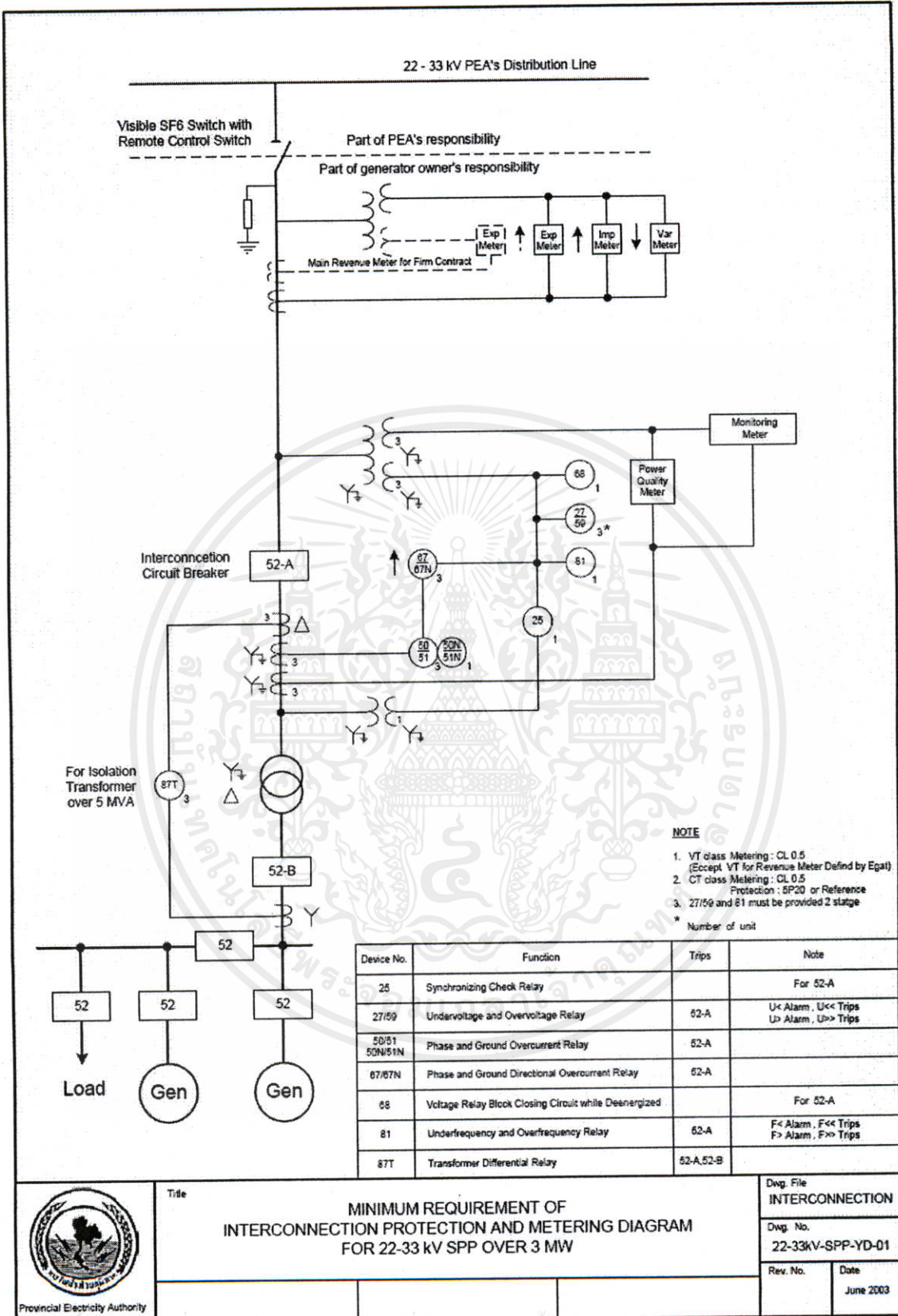
รูปที่ 4.1 ภาพรวมกำลังผลิตไฟฟ้าของ SPP (MW)

สำหรับรูปแบบการต่อเชื่อม SPP เข้าระบบไฟฟ้า 22 kV นั้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระบุให้ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 5 MVA เป็นแบบ Dy แต่หาก SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเกิน 5 MVA เป็นแบบ Yd



รูปที่ 4.2 รูปแบบการต่อเชื่อมของ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องขอโทษถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแบบการต่อเชื่อมของ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW

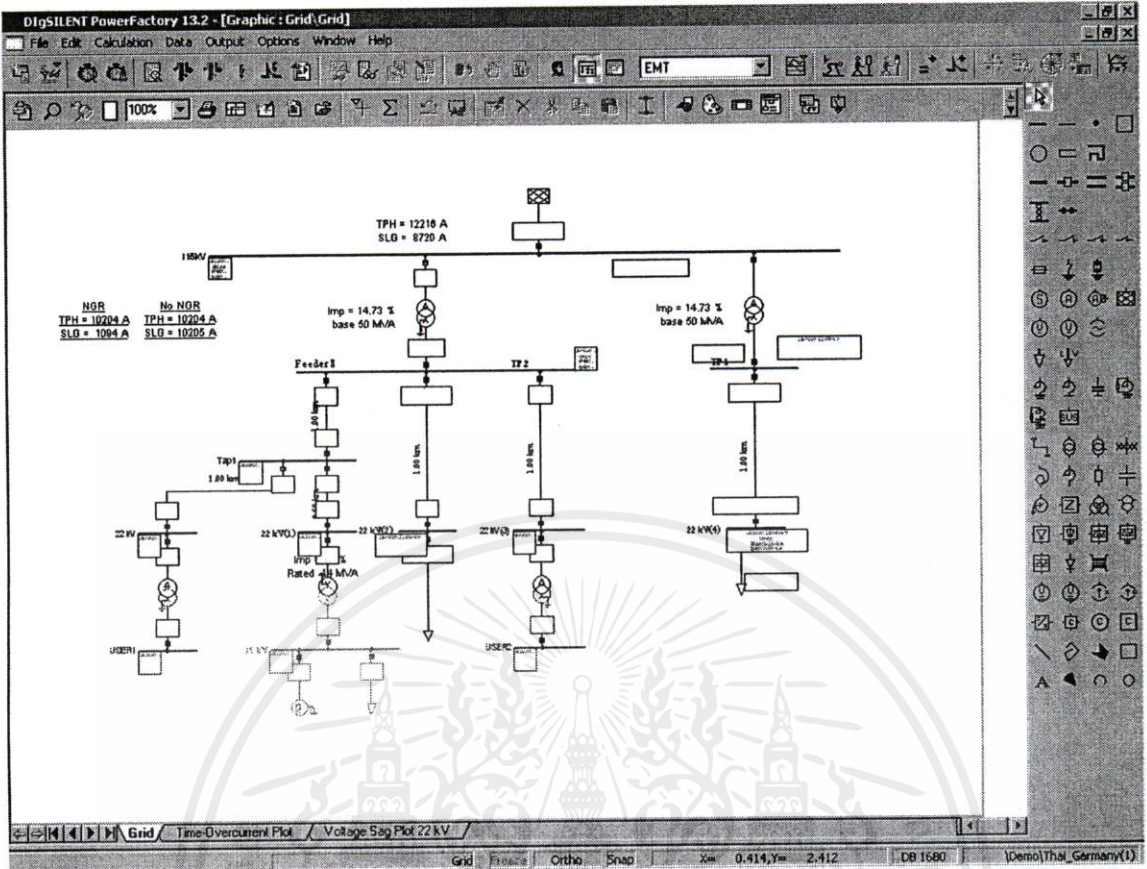
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกให้ใหม่ ให้สอดคล้องกับเงื่อนไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วิธีการศึกษาด้วยโปรแกรม DigSILENT Power Factory

ในการศึกษาผลกระทบจากการต่อเชื่อมของ SPP ต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจะใช้เทคนิคการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSILENT Power Factory ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ที่สามารถสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพหรือป้อนข้อมูลด้วย Text file โปรแกรมนี้มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาได้ทั้งในสถานะคงตัว (Steady State) และสถานะชั่วครู่ (Transient State) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย และระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดขีดความสามารถในการวิเคราะห์ดังนี้

- Load Flow and Fault Analysis of complete AC/DC network representation , meshed & mixed 1-,2-and 3-phase AC and /or DC networks
- Low Voltage Network Analysis
- Distribution Network Optimization
- IEC Cable Sizing
- Dynamic Simulation
- EMT Simulation
- Eigenvalue Analysis
- System Identification
- Protection Analysis
- Harmonic Analysis
- Reliability
- Production Planing
- Voltage Stability Analysis
- Contingency analysis
- Power Electronic Device Modeling
- DPL User Script
- A/D Interfacing
- DOLE Interface for SCADA/GIS
- PSS/E & PSS/U Compatibility
- Multi-User Database
- Virtual Instruments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ดิจิทัลทั้งหมดนี้ให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

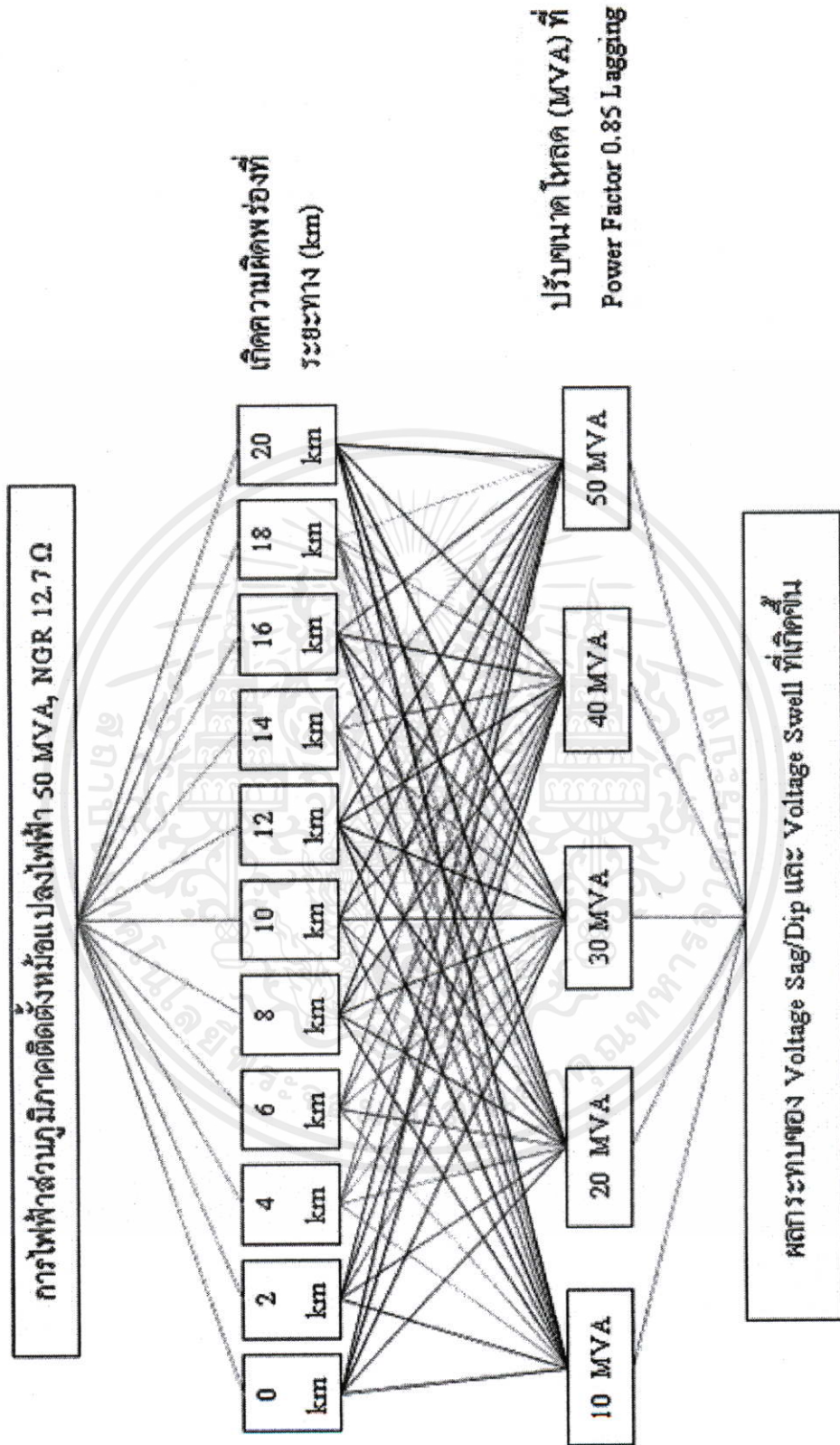


รูปที่ 4.4 โปรแกรม DigSILENT Power Factory

เนื่องจากลักษณะปัญหา Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่เกิดจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR จะสร้างผลกระทบต่อวงจร (Feeder) ข้างเคียงและวงจรที่เกิดความผิดปกติ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆที่มีผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell จะใช้วิธีการสร้างแบบจำลองในระบบตัวอย่างจริง โดยพิจารณาปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรทางไฟฟ้าต่างๆที่สำคัญ และมีผลต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ดังนี้

4.2.1 กรณีไม่มี SPP

- กำหนดให้ NGR ที่สถานีไฟฟ้าข่อยมีค่า 12.7Ω ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ออกแบบไว้
- ปรับเปลี่ยนระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault
- ปรับเปลี่ยนปริมาณโหลดรวมที่จ่ายผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA โดยปรับค่าครั้งละ 10 MVA (กำหนดให้ค่า Power Factor ของโหลดมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.85 Lagging)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ไม่มี SPP

4.2.2 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

ในกรณีนี้ SPP ที่ต่อเข้าระบบไฟฟ้าจะไม่สามารถติดตั้ง NGR ทางด้าน 22 kV ได้ เนื่องจากทางด้าน High Side ของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกต้องเป็นแบบ Delta ดังนั้นจึงควรศึกษาเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆเพื่อกำหนดวิธีการลดความรุนแรงของ Voltage Sag และ Voltage Swell ดังนี้

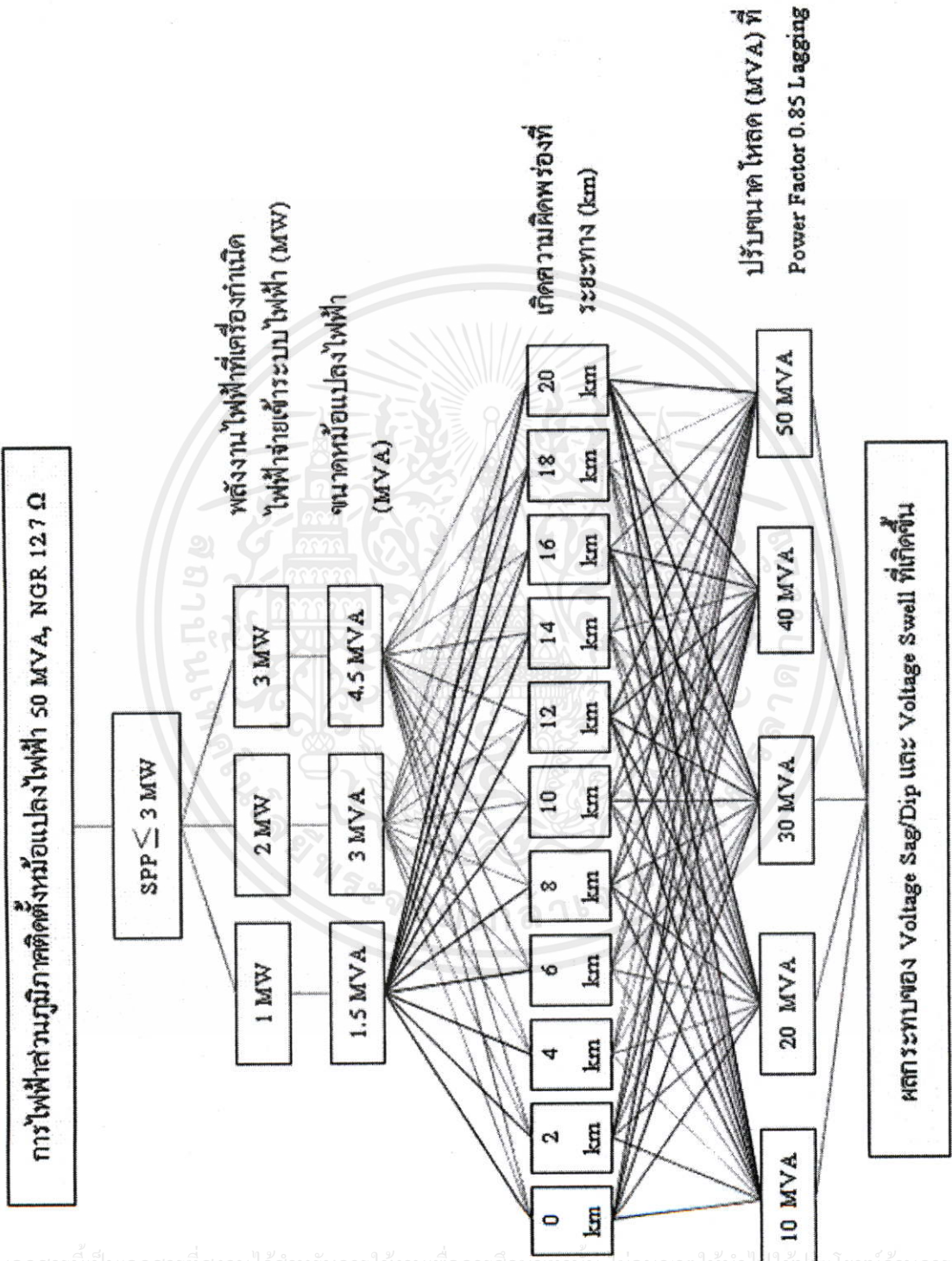
- กำหนดให้ NGR ที่สถานีไฟฟ้าย่อยมีค่า 12.7Ω ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ออกแบบไว้
- ปรับเปลี่ยนขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าของ SPP โดยกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy มีขนาดร้อยละ 125 ของปริมาณที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด
- ปรับเปลี่ยนระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ทั้งในวงจรเดียวกับที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้า และในวงจรข้างเคียง
- ปรับเปลี่ยนปริมาณโหลดรวมที่จ่ายผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA โดยกำหนดให้ค่า Power Factor ของโหลดมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.85 Lagging

4.2.3 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

ในกรณีนี้ SPP สามารถติดตั้ง NGR ทางด้าน 22 kV ได้ เนื่องจากทางด้าน High Side ของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกต้องเป็นแบบ Wye ดังนั้นจึงควรพิจารณาศึกษาขนาดของ NGR ที่เหมาะสมซึ่งสัมพันธ์กับการจ่ายกระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดิม กล่าวคือ ต้องสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Phase ด้าน 22 kV ให้เหลือมากกว่าร้อยละ 80 นอกจากนั้นยังต้องควบคุมไม่ให้ขนาดของ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง NGR มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการต่อใช้งานเป็นแบบ Phase to Ground ในระบบ 22 KV เช่น กับดักฟ้าผ่า (Arrester) หรือรีเลย์แรงดันไฟฟ้าเกินของลูกค้ำ เป็นต้น

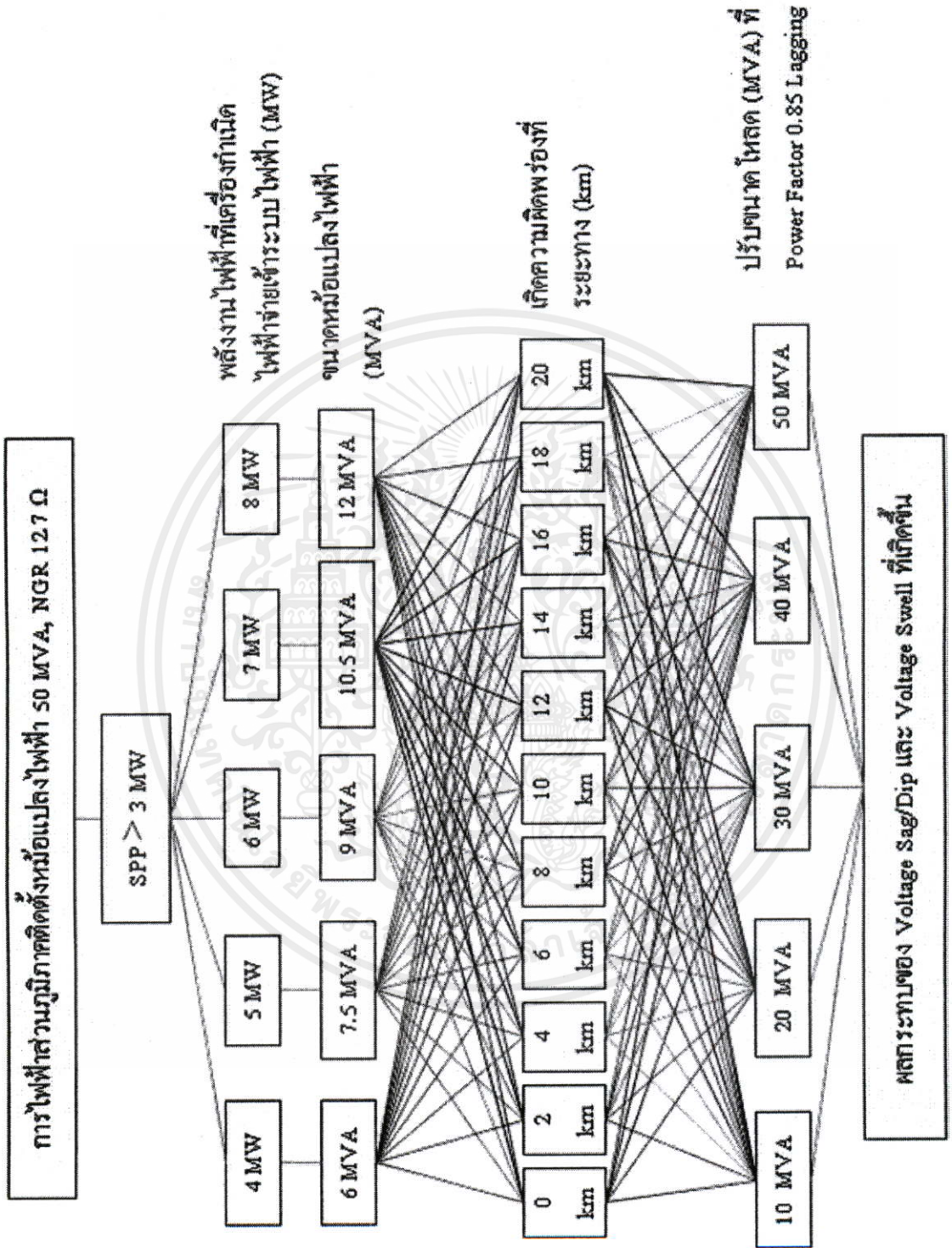
- กำหนดให้ NGR ที่สถานีไฟฟ้าย่อยมีค่า 12.7Ω ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ออกแบบไว้
- ปรับเปลี่ยนขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าของ SPP โดยกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd มีขนาดร้อยละ 125 ของปริมาณที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด
- ปรับเปลี่ยนระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ทั้งในวงจรเดียวกับที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้า และในวงจรข้างเคียง
- ปรับเปลี่ยนปริมาณโหลดรวมที่จ่ายผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA โดยกำหนดให้ค่า Power Factor ของโหลดมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.85 Lagging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นมีหนังสือขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถตีพิมพ์หรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

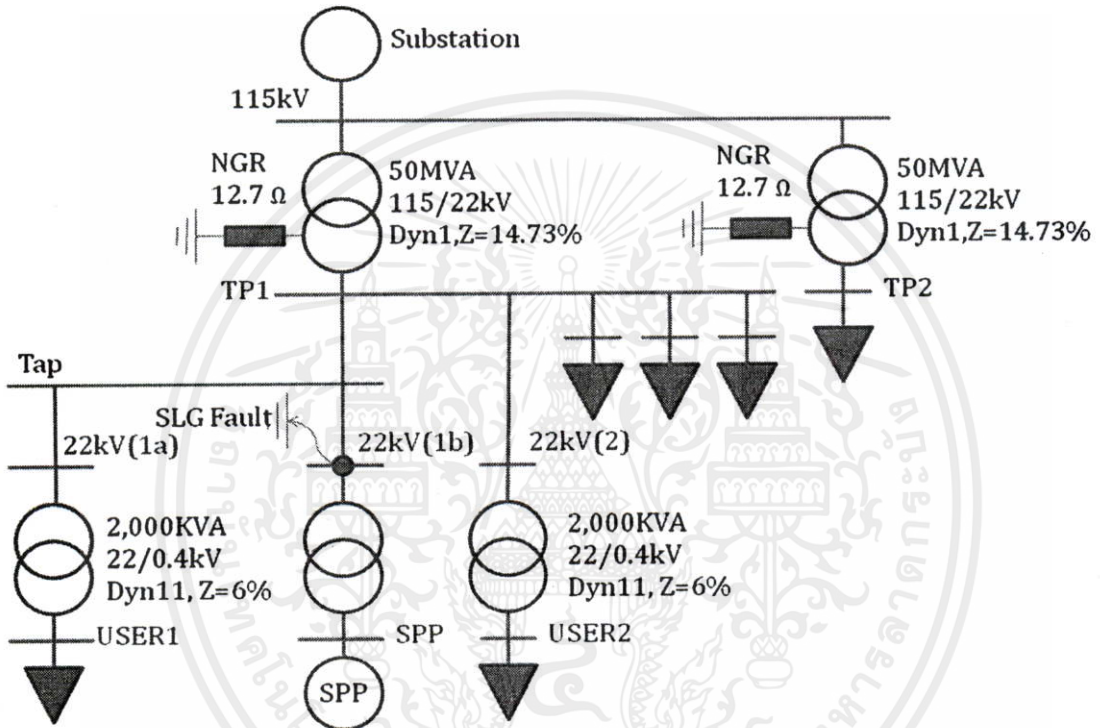


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

4.1 การจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSIENT Power Factory

โดยปกติรูปแบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR จะเป็นแบบ Main and Transfer และติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA ระบบ 115/22 kV แบบ Dyn1 จำนวน 2 เครื่อง หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละเครื่องถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ 5 วงจร และแต่ละวงจรถูกควบคุมให้จ่ายพลังงานไฟฟ้ารวมได้ไม่เกิน 8 MW



รูปที่ 4.8 ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อยในพื้นที่ตัวอย่าง

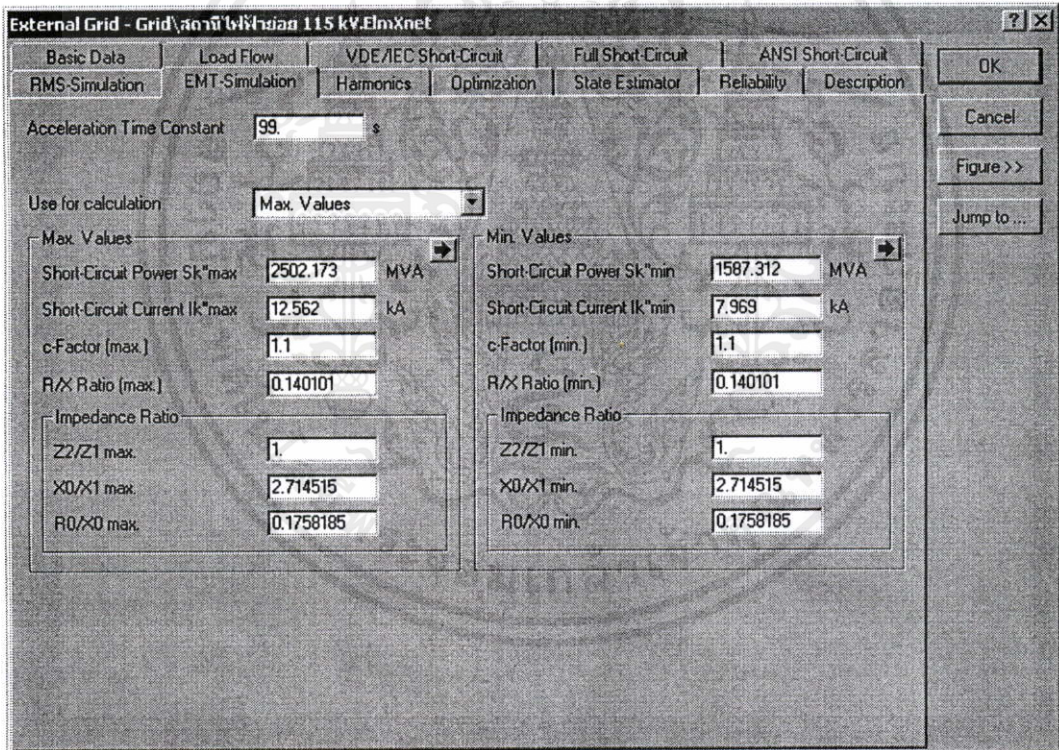
ในขั้นตอนแรกของการศึกษาจะจำลองระบบไฟฟ้าตัวอย่างในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง NGR จริง และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการตรวจวัดไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะจำลองระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ จังหวัดสระบุรี เนื่องจากเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีการติดตั้ง NGR และเป็นระบบไฟฟ้าที่มี SPP ต่อเชื่อมอยู่ในระบบไฟฟ้า 22 kV ในวงจรที่ 8 โดย SPP มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เสนอขาย 8 MW และอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ประมาณ 1.5 km

ใช้การคำนวณเชิงวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่รับมาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

สถานี ไฟฟ้า ย่อย	Bus Voltage kV	หม้อแปลง MVA	3P Fault kA	SLG Fault kA	R1 P.U.	X1 P.U.	R0 P.U.	X0 P.U.
โคกแย้	115 kV	50	12.562	7.969	0.00610	0.04354	0.02078	0.1189
	22 kV- TP1	50	8.842	1.091	0.01352	0.37041	7.87876	0.3215
	22 kV- TP2	50	8.842	1.091	0.01352	0.37041	7.87866	0.3199



รูปที่ 4.9 แบบจำลองแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

4.3.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า

แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้

Rated Primary Voltage 115 kV

Rated Secondary Voltage 22 kV

Rated Power 50 MVA

% Impedance Voltage 14.73%

Vector Group Dyn 1

2-Winding Transformer Type - Library\2-Winding Transformer Type.TypeTr2

RMS-Simulation	EMT-Simulation	Harmonics	Optimization	State Estimator	Reliability	Description
Basic Data	Load Flow	VDE/IEC Short-Circuit	Full Short-Circuit	ANSI Short-Circuit		

Name: 2-Winding Transformer Type

Technology: Three Phase Transformer

Rated Power: 50 MVA

Nominal Frequency: 50 Hz

Rated Voltage:

- HV-Side: 115 kV
- LV-Side: 22 kV

Vector Group:

- HV-Side: D
- LV-Side: YN
- Phase Shift: 1 *30deg
- Name: Dyn1

Positive Sequence Impedance:

- Short-Circuit Voltage uk: 14.73 %
- Copper Losses: 0 kW

Zero Sequ. Impedance, Short-Circuit Voltage:

- Absolute uk0: 14.73 %
- Resistive Part ukr0: 0 %

รูปที่ 4.10 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกแซ่

แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 12 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยของ SPP

Rated Primary Voltage	22 kV
Rated Secondary Voltage	11 kV
Rated Power	12 MVA
% Impedance Voltage	8%
Vector Group	YNd1

แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2 MVA ของผู้ใช้ไฟกลุ่มตัวอย่าง

Rated Primary Voltage	22 kV
Rated Secondary Voltage	0.4 kV
Rated Power	2 MVA
% Impedance Voltage	6%
Vector Group	Dyn11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-Winding Transformer Type - Library\2-Winding Transformer Type(3).TypTr2

RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics Optimization State Estimator Reliability Description

Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Full Short-Circuit ANSI Short-Circuit

Name: 2-Winding Transformer Type3

Technology: Three Phase Transformer

Rated Power: 12 MVA

Nominal Frequency: 50 Hz

Rated Voltage

HV-Side: 22 kV

LV-Side: 11 kV

Vector Group

HV-Side: YN

LV-Side: D

Phase Shift: 1 *30deg

Name: YNd1

Positive Sequence Impedance

Short-Circuit Voltage uk: 8 %

Copper Losses: 50.1 kW

Zero Sequ. Impedance, Short-Circuit Voltage

Absolute uk0: 8 %

Resistive Part ukr0: 0 %

OK

Cancel

รูปที่ 4.11 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 12 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยของ SPP

2-Winding Transformer Type - Library\2-Winding Transformer Type(2).TypTr2

RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics Optimization State Estimator Reliability Description

Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Full Short-Circuit ANSI Short-Circuit

Name: 2-Winding Transformer Type2

Technology: Three Phase Transformer

Rated Power: 2 MVA

Nominal Frequency: 50 Hz

Rated Voltage

HV-Side: 22 kV

LV-Side: 0.4 kV

Vector Group

HV-Side: D

LV-Side: YN

Phase Shift: 11 *30deg

Name: Dyn11

Positive Sequence Impedance

Short-Circuit Voltage uk: 6 %

Copper Losses: 24 kW

Zero Sequ. Impedance, Short-Circuit Voltage

Absolute uk0: 6 %

Resistive Part ukr0: 0 %

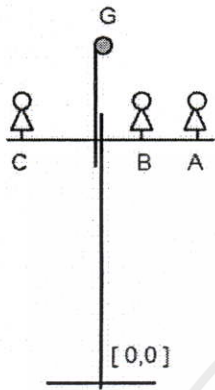
OK

Cancel

รูปที่ 4.12 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2 MVA ของผู้ใช้ไฟกลุ่มตัวอย่าง

4.3.3 แบบจำลองสายไฟฟ้า

แบบจำลองสายไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV จะใช้สายจำหน่ายชนิด Partial Insulated Cable (PIC) ขนาด 185 sq.mm. โดยมีรายละเอียดดังนี้



Positive Resistance (R1)	0.21441 Ω /km
Positive Reactance (X1)	0.22402 Ω /km
Zero Resistance (R0)	0.45996 Ω /km
Zero Reactance (X0)	1.75580 Ω /km
Positive Susceptance (B1)	5.3073 μ S/km
Zero Susceptance (B0)	1.7898 μ S/km

Line - Grid\Line(1).ElmLine ? X

RMS-Simulation	EMT-Simulation	Harmonics	Optimization	State Estimator	Reliability	Description
Basic Data	Load Flow	VDE/IEC Short-Circuit	Full Short-Circuit	ANSI Short-Circuit		

Name:

Type:

Terminal i: TP.2

Terminal j: Tap1

Zone:

Out of Service

Number of parallel Lines:

Parameters:

Length of Line: km

Derating Factor:

Type of Line: Overhead Line

Line Model:

Lumped Parameter (PI)

Distributed Parameter

Routes/Cubicles/Sections:

Resulting Values:

Rated Current	0.3 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0.3100913 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	46.25567 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0.21441 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0.22402 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	0.45996 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	1.7558 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	0.06820054 A
Earth Factor, Magnitude	1.667613
Earth Factor, Angle	34.63708 deg

รูปที่ 4.13 แบบจำลองสายไฟฟ้าขนาด 185 sq.mm. ชนิด Partial Insulated Cable (PIC)

4.3.4 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสมีรายละเอียดดังนี้

แรงดันไฟฟ้า	11 kV (YN)
กำลังผลิต	10 MVA
Power Factor	0.8
ความเร็ว	1,500 MIN
ความถี่	50 Hz
Synchronous Reactance (x_d)	2.93 P.U.
(x_q)	2.65 P.U.
Transient Reactance (x_d')	0.27 P.U.
Subtransient Reactance (x_d'')	0.2 P.U.
Negative Reactance (X_2)	0.2 P.U.
Zero Reactance (X_0)	0.1 P.U.

Synchronous Machine Type - Library\Synchronous Machine Type(1).Typ5Sym

RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics | Optimization | State Estimator | Reliability | Description

Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Full Short-Circuit | ANSI Short-Circuit

OK

Cancel

Subtransient Reactance

saturated value x_d'' sat p.u.

Steady-State Shc. Current I_k

I_k instead of Reactances

Stator Resistance

rstr p.u.

Zero Sequence Data

Reactance x_0 p.u.

Resistance r_0 p.u.

Neg. Sequence Data

Reactance x_2 p.u.

Resistance r_2 p.u.

For single fed short-circuit

Reciprocal of short-circuit ratio p.u.

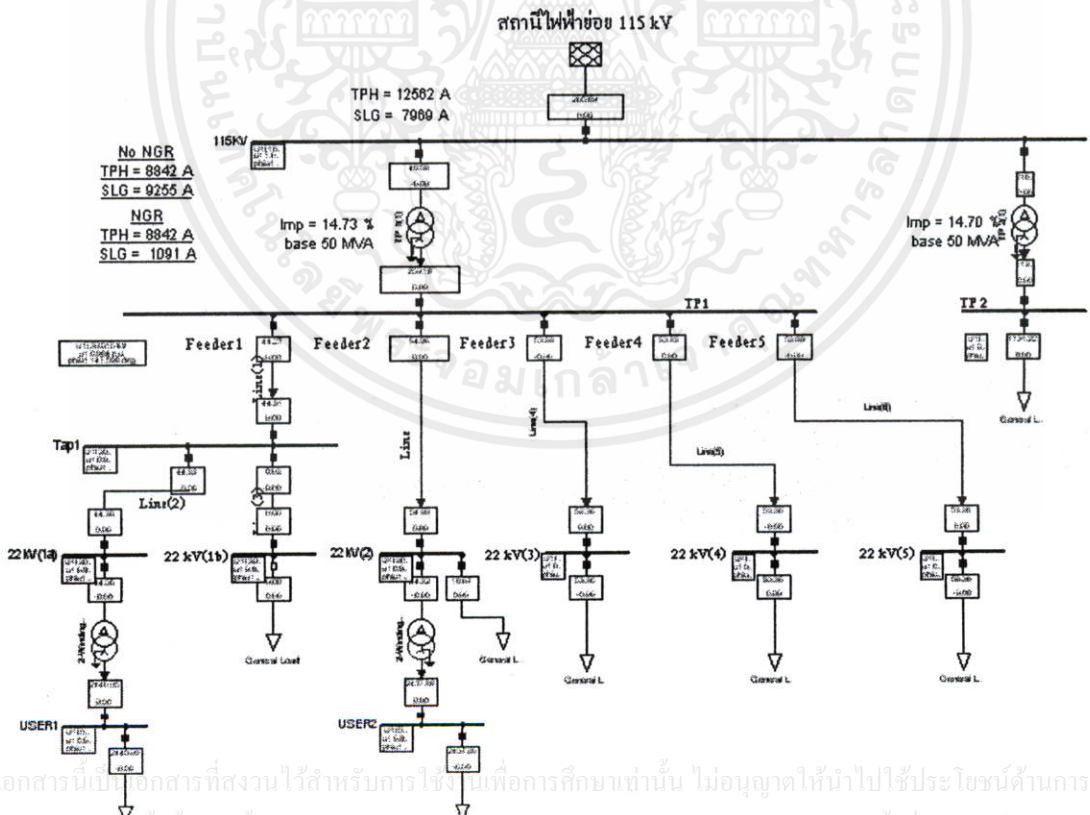
Machine Type IEC909

รูปที่ 4.14 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.2 ผลการวิเคราะห์การต่อเชื่อมของ SPP ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR

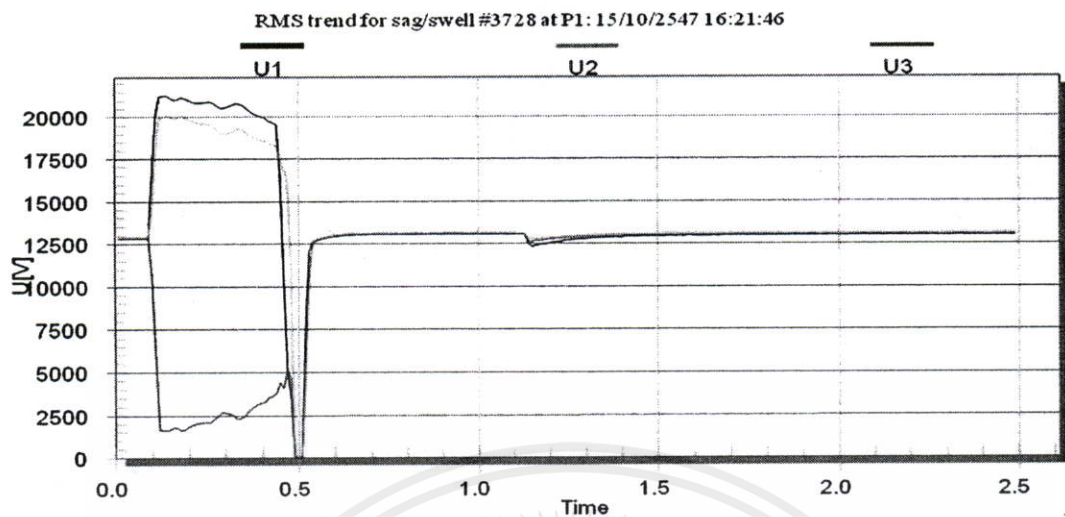
4.4.1 กรณีไม่มี SPP

การจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มี SPP จะจำลองให้หม้อแปลงไฟฟ้า TP1 มีสายป้อน 5 วงจร โดยจำลองให้วงจรที่ 1 และ 2 มีผู้ใช้ไฟต่อเชื่อมห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้ที่ระยะทาง 1 km เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 V การจำลองในกรณีที่ไม่มี SPP จะเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ได้จากโปรแกรม DIgSILENT Power Factory กับรูปคลื่นที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองที่ได้ทำขึ้น ในการศึกษาจะดำเนินการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือระยะทางที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในวงจรที่ 1 ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) รวมทั้งปรับเปลี่ยนขนาดโหลดในแต่ละวงจรตามขั้นตอนในรูปที่ 4.5 เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ของแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 22 kV ที่ Bus name ชื่อ TP1, 22kV (1a), 22 kV (1b) และ 22 kV (2) และที่แรงดันไฟฟ้า 400 V ที่ Bus name ชื่อ USER1 และ USER2

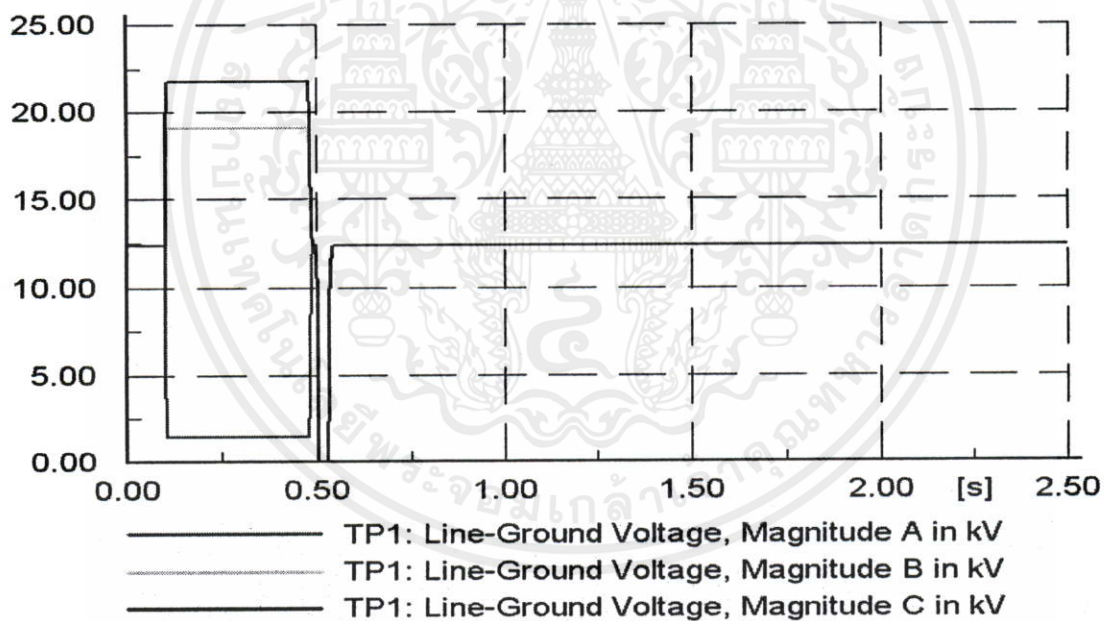


รูปที่ 4.15 แบบจำลองกรณีไม่มี SPP

KYE-32: Sags/Swells



(a)

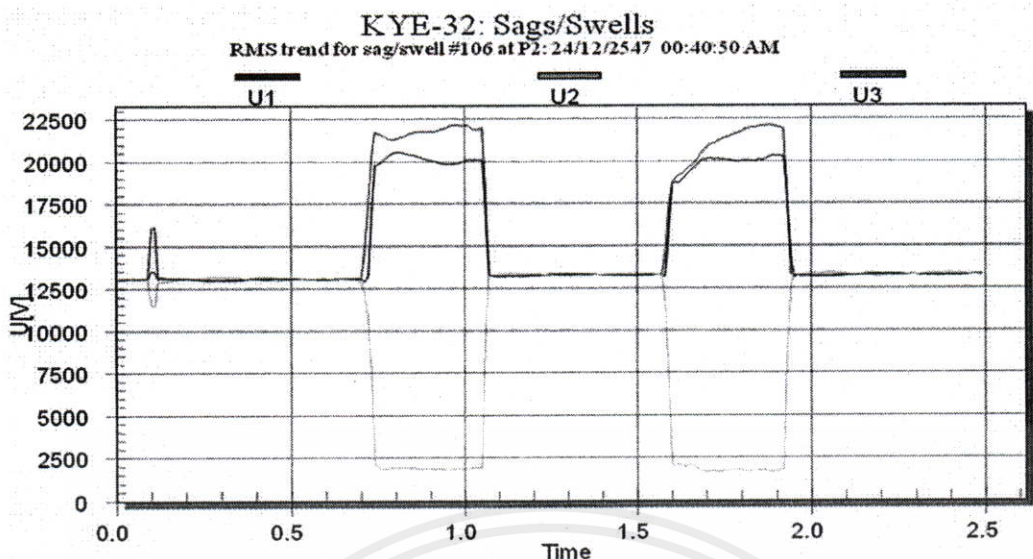


(b)

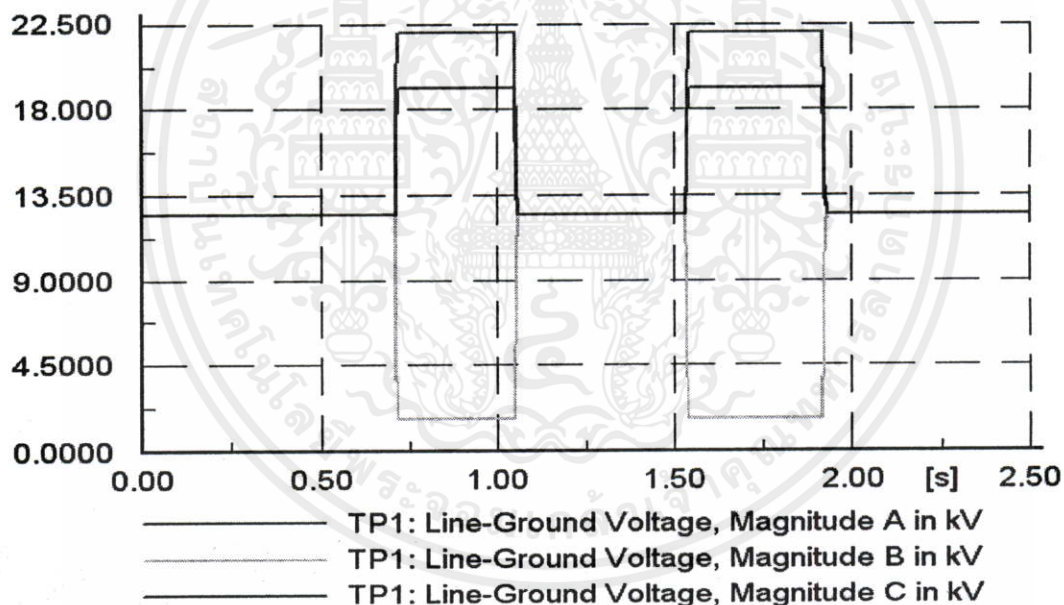
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติ
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางประมาณ 2 km จากสถานีไฟฟ้า
ย่อยโคกเข้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 20 MW)

(a) รูปคลื่นจากการตรวจวัดที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกเข้

(b) รูปคลื่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIGSILENT Power Factory



(a)

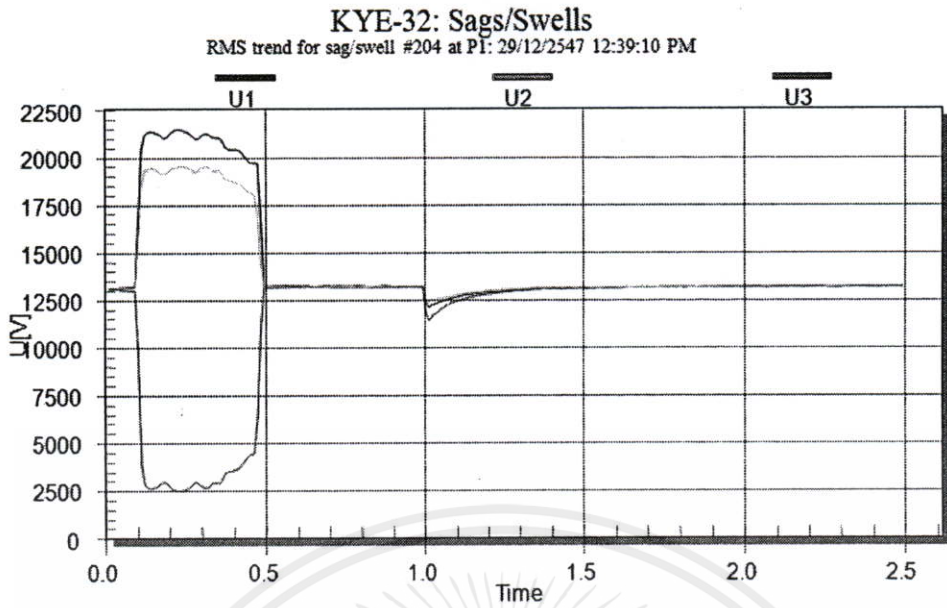


(b)

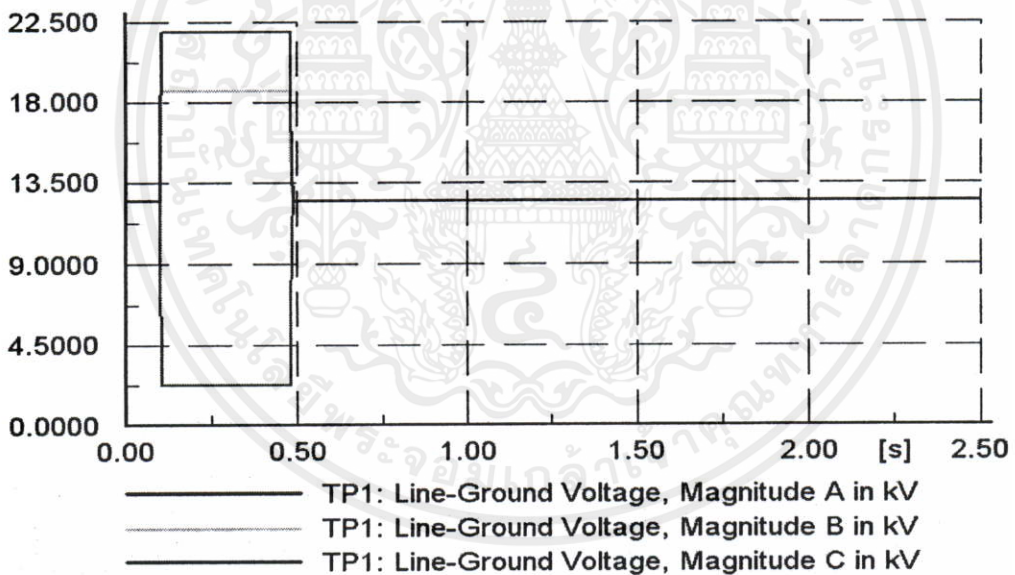
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส b ที่ระยะทางประมาณ 2.4 km จากสถานีไฟฟ้าย่อยโคกเข้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 10 MW)

(a) รูปคลื่นจากการตรวจวัดที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกเข้

(b) รูปคลื่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIGSILENT Power Factory



(a)



(b)

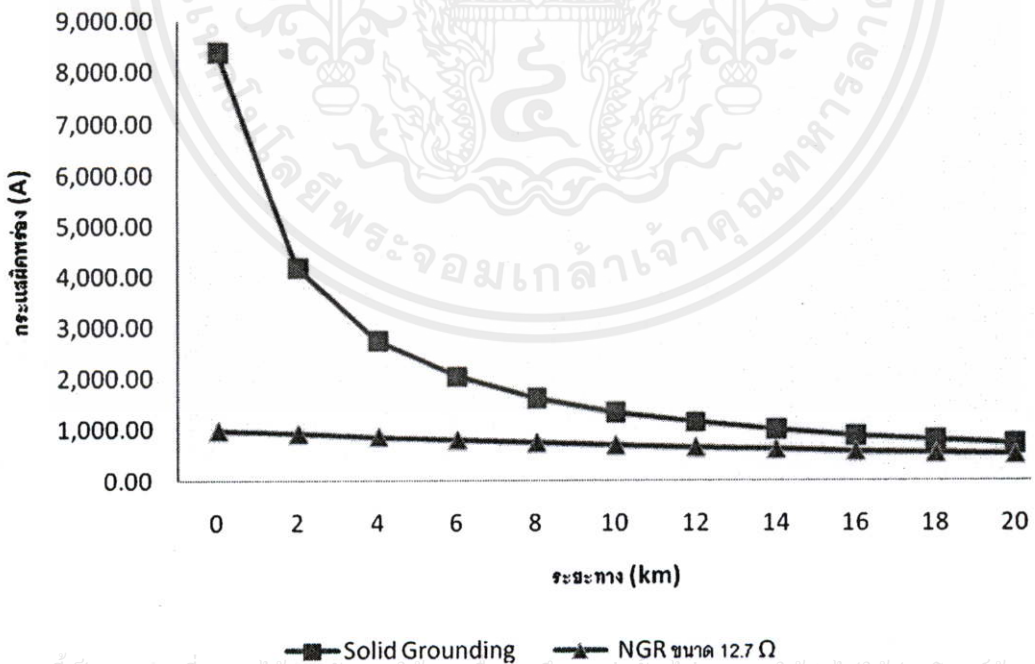
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบรูปคลื่น Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ขณะเกิดความผิดปกติ
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางประมาณ 3.2 km จากสถานี
ไฟฟ้าย่อยโคกแย้ (ขนาดโหลดรวมประมาณ 10 MW)

(a) รูปคลื่นจากการตรวจวัดที่สถานีไฟฟ้าย่อยโคกแย้

(b) รูปคลื่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIgSILENT Power Factory

ตารางที่ 4.2 กระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ

ความผิดพลาดที่ Bus 22 kV (1b)	กระแสผิดพลาดที่เฟส a แบบ Single Line to Ground Fault (A)	
ระยะทาง (km)	Solid Grounding	NGR ขนาด 12.7 Ω
0	8,393.18	991.50
2	4,176.80	931.16
4	2,756.26	870.11
6	2,053.85	811.25
8	1,635.99	756.09
10	1,359.14	705.32
12	1,162.31	659.05
14	1,015.20	617.14
16	901.11	579.27
18	810.03	545.06
20	735.65	514.13

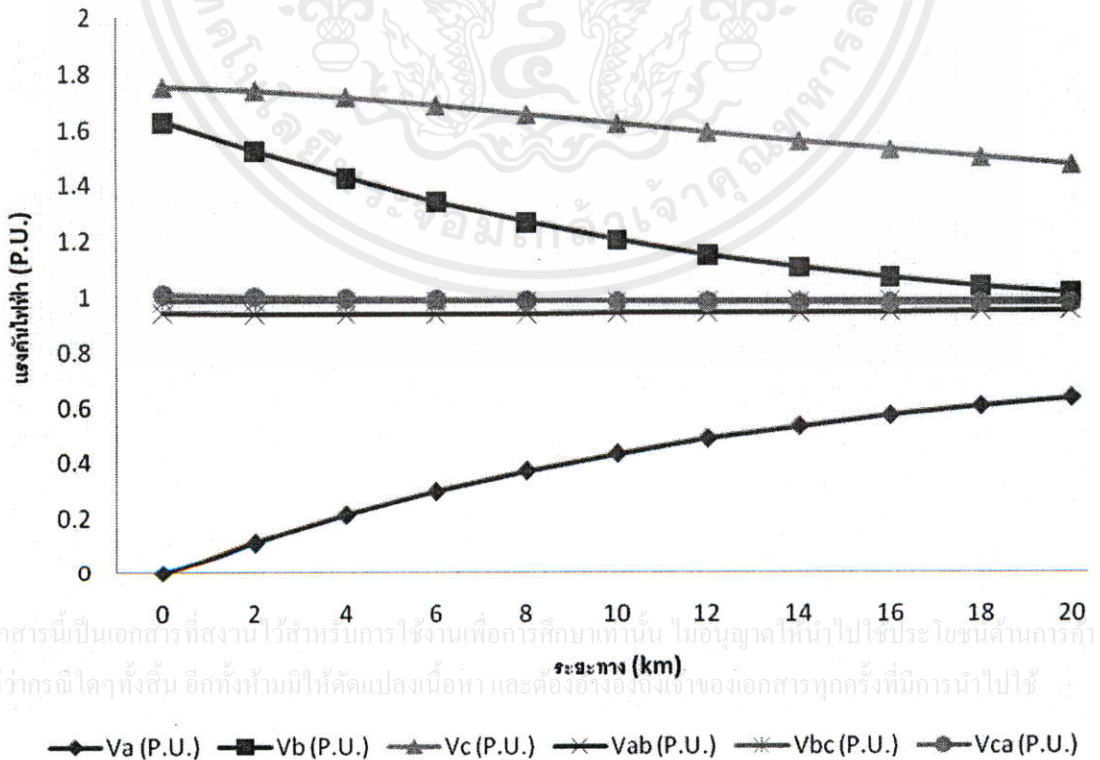


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

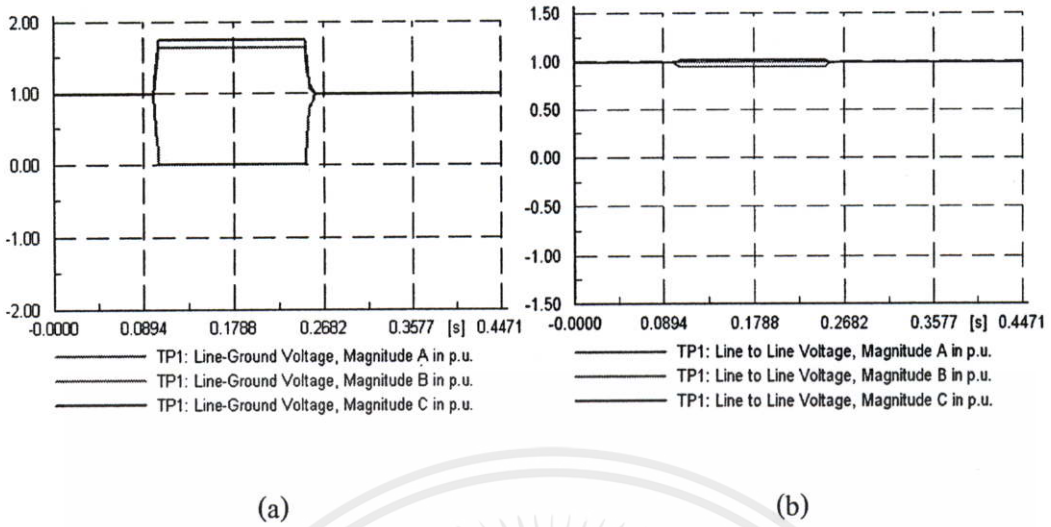
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Solid Grounding และมี NGR ขนาด 12.7 Ω

ตารางที่ 4.3 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
2	0.115	1.524	1.738	0.938	0.984	1.003
4	0.214	1.428	1.715	0.937	0.984	0.996
6	0.298	1.342	1.685	0.937	0.984	0.991
8	0.371	1.268	1.652	0.938	0.984	0.987
10	0.432	1.204	1.619	0.940	0.984	0.984
12	0.485	1.151	1.586	0.942	0.984	0.981
14	0.530	1.106	1.554	0.944	0.984	0.979
16	0.568	1.070	1.524	0.945	0.984	0.978
18	0.602	1.039	1.496	0.947	0.984	0.977
20	0.631	1.014	1.470	0.949	0.984	0.976



รูปที่ 4.20 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลดรวม 10 MVA



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.4 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.628	1.750	0.939	0.983	1.010
2	0.057	1.551	1.727	0.924	0.983	0.997
4	0.160	1.454	1.706	0.924	0.983	0.990
6	0.248	1.368	1.677	0.925	0.984	0.984
8	0.324	1.293	1.646	0.927	0.983	0.979
10	0.388	1.229	1.613	0.929	0.983	0.976
12	0.444	1.175	1.581	0.932	0.983	0.974
14	0.491	1.129	1.550	0.934	0.983	0.972
16	0.532	1.091	1.521	0.937	0.983	0.971
18	0.567	1.060	1.494	0.939	0.983	0.970
20	0.598	1.033	1.468	0.942	0.983	0.969

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
2	0.00	1.578	1.718	0.911	0.983	0.992
4	0.00	1.538	1.686	0.888	0.983	0.973
6	0.00	1.505	1.654	0.869	0.983	0.955
8	0.00	1.480	1.625	0.855	0.983	0.983
10	0.00	1.461	1.598	0.844	0.983	0.922
12	0.00	1.447	1.573	0.836	0.983	0.908
14	0.00	1.437	1.552	0.830	0.983	0.896
16	0.00	1.429	1.533	0.825	0.983	0.885
18	0.00	1.424	1.516	0.822	0.983	0.875
20	0.00	1.421	1.501	0.820	0.983	0.867

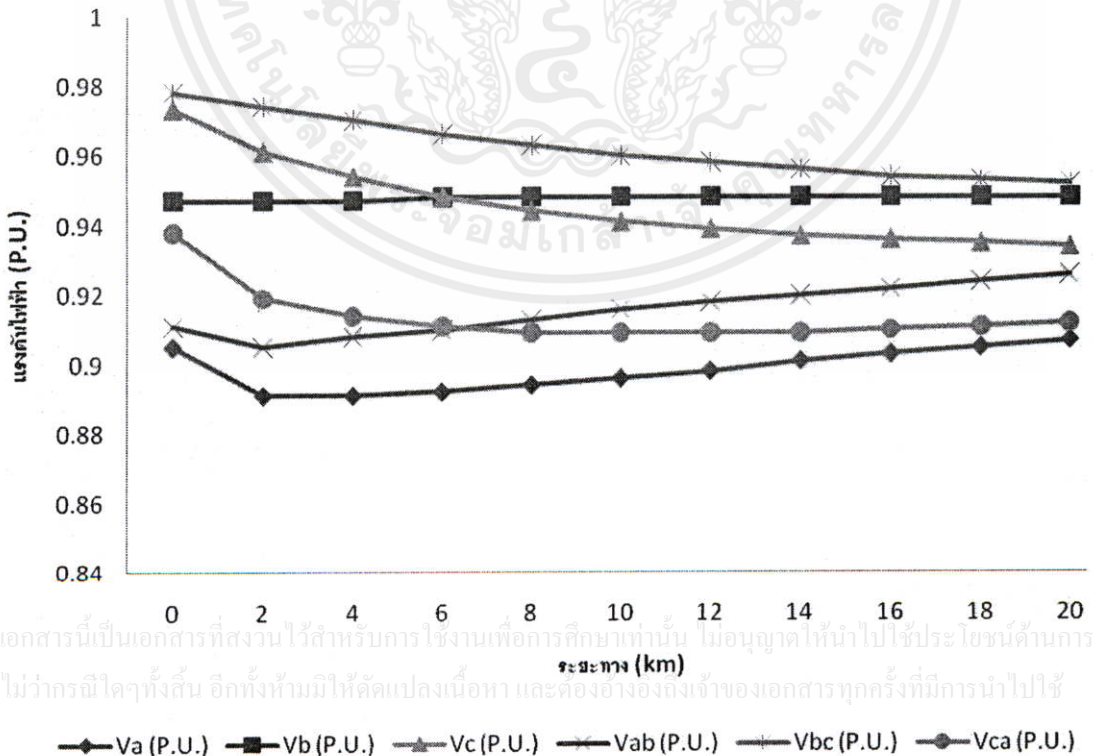
ตารางที่ 4.6 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.628	1.750	0.939	0.983	1.010
2	0.114	1.523	1.737	0.937	0.983	1.001
4	0.213	1.427	1.713	0.936	0.983	0.995
6	0.297	1.341	1.684	0.936	0.983	0.990
8	0.370	1.267	1.651	0.937	0.983	0.985
10	0.431	1.203	1.617	0.939	0.983	0.983
12	0.484	1.150	1.584	0.940	0.983	0.980
14	0.529	1.106	1.553	0.942	0.983	0.978
16	0.567	1.069	1.523	0.944	0.983	0.977
18	0.600	1.038	1.495	0.946	0.983	0.976
20	0.629	1.013	1.469	0.948	0.983	0.975

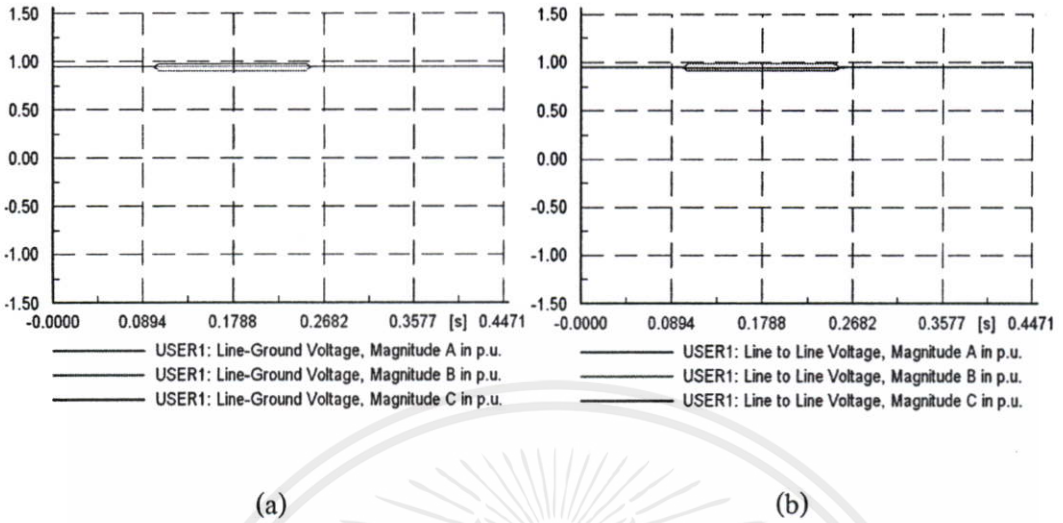
ตารางที่ 4.7 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ

เกิด ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.905	0.947	0.973	0.911	0.978	0.938
2	0.891	0.947	0.961	0.905	0.974	0.919
4	0.891	0.947	0.954	0.908	0.970	0.914
6	0.892	0.948	0.948	0.910	0.966	0.911
8	0.894	0.948	0.944	0.913	0.963	0.909
10	0.896	0.948	0.941	0.916	0.960	0.909
12	0.898	0.948	0.939	0.918	0.958	0.909
14	0.901	0.948	0.937	0.920	0.956	0.909
16	0.903	0.948	0.936	0.922	0.954	0.910
18	0.905	0.948	0.935	0.924	0.953	0.911
20	0.907	0.948	0.934	0.926	0.952	0.912



รูปที่ 4.22 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 ที่โหลด 10 MVA



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

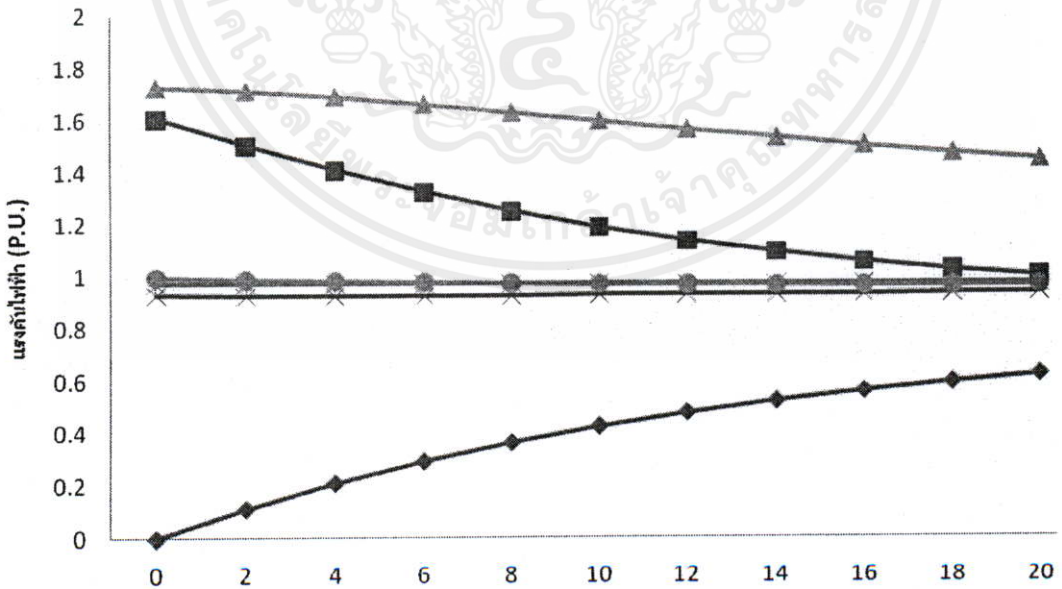
ตารางที่ 4.8 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.905	0.947	0.973	0.910	0.978	0.937
2	0.903	0.947	0.965	0.912	0.973	0.930
4	0.902	0.947	0.959	0.913	0.970	0.925
6	0.902	0.947	0.954	0.915	0.966	0.922
8	0.903	0.947	0.950	0.917	0.963	0.920
10	0.905	0.947	0.947	0.919	0.961	0.919
12	0.909	0.947	0.944	0.921	0.959	0.918
14	0.908	0.947	0.943	0.923	0.957	0.918
16	0.910	0.947	0.941	0.925	0.955	0.918
18	0.912	0.947	0.940	0.926	0.954	0.919
20	0.913	0.947	0.940	0.928	0.953	0.920

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1เมื่อ

เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.605	1.723	0.927	0.970	0.995
2	0.113	1.502	1.711	0.924	0.970	0.987
4	0.210	1.408	1.688	0.924	0.970	0.981
6	0.294	1.324	1.659	0.924	0.970	0.976
8	0.365	1.250	1.627	0.925	0.970	0.972
10	0.426	1.188	1.594	0.927	0.970	0.969
12	0.478	1.135	1.562	0.929	0.970	0.966
14	0.522	1.092	1.531	0.931	0.970	0.965
16	0.560	1.055	1.502	0.932	0.970	0.963
18	0.593	1.025	1.474	0.934	0.970	0.962
20	0.622	1.000	1.449	0.936	0.970	0.962

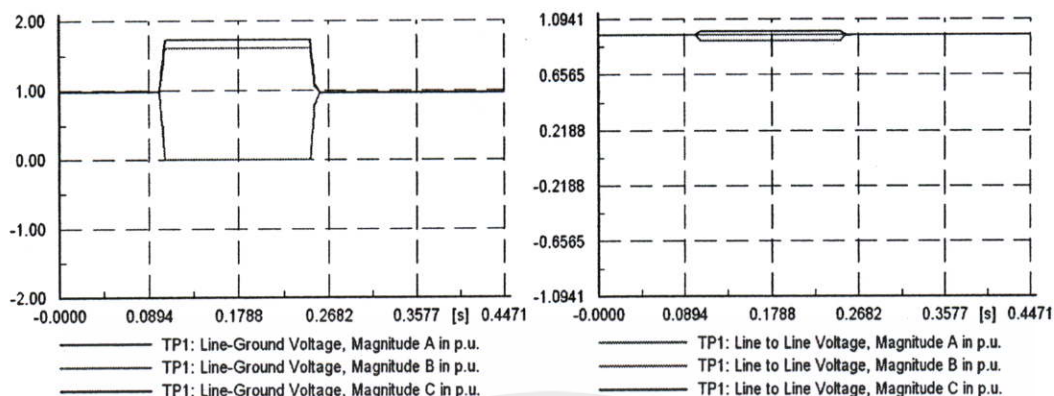


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.24 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลด 20 MVA



(a)

(b)

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values

(b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.10 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.604	1.722	0.926	0.969	0.994
2	0.056	1.529	1.700	0.911	0.969	0.981
4	0.157	1.434	1.679	0.911	0.969	0.974
6	0.244	1.349	1.652	0.912	0.969	0.969
8	0.319	1.275	1.621	0.914	0.969	0.964
10	0.383	1.212	1.589	0.916	0.969	0.961
12	0.437	1.159	1.557	0.919	0.969	0.959
14	0.484	1.114	1.527	0.922	0.969	0.957
16	0.524	1.077	1.499	0.924	0.969	0.956
18	0.559	1.045	1.472	0.926	0.969	0.956
20	0.590	1.020	1.447	0.929	0.969	0.955

ตารางที่ 4.11 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

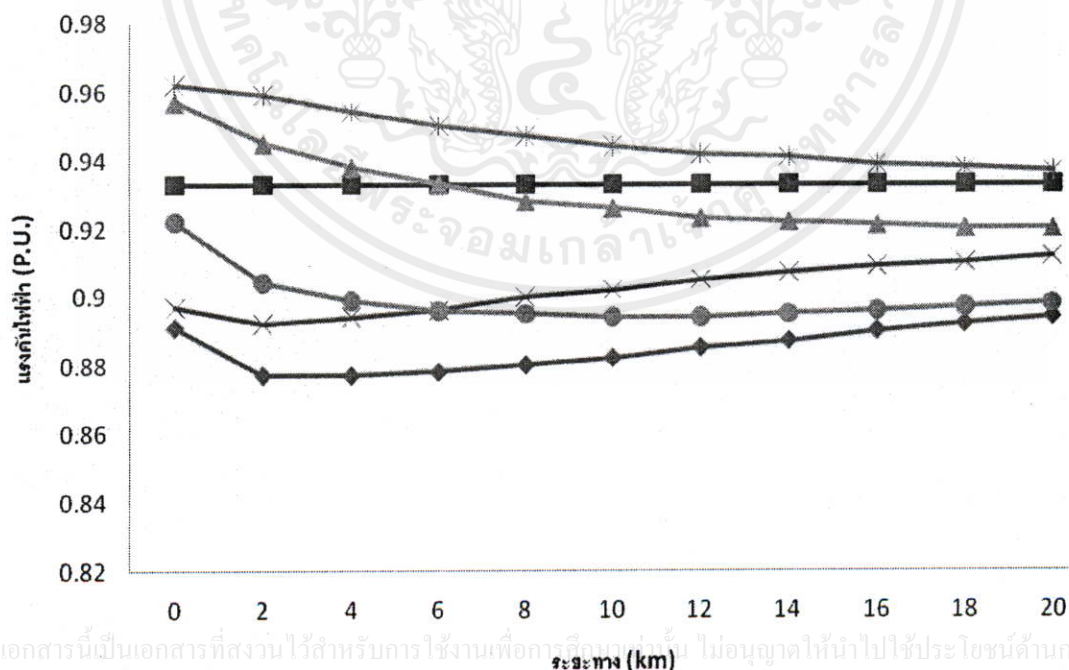
เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.605	1.723	0.927	0.970	0.995
2	0.000	1.556	1.691	0.898	0.969	0.976
4	0.000	1.516	1.660	0.875	0.969	0.958
6	0.000	1.484	1.629	0.857	0.969	0.940
8	0.000	1.460	1.600	0.843	0.969	0.924
10	0.000	1.441	1.574	0.832	0.969	0.908
12	0.000	1.427	1.550	0.824	0.969	0.895
14	0.000	1.417	1.529	0.818	0.969	0.883
16	0.000	1.410	1.510	0.814	0.969	0.872
18	0.000	1.405	1.493	0.811	0.969	0.862
20	0.000	1.401	1.479	0.809	0.970	0.854

ตารางที่ 4.12 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

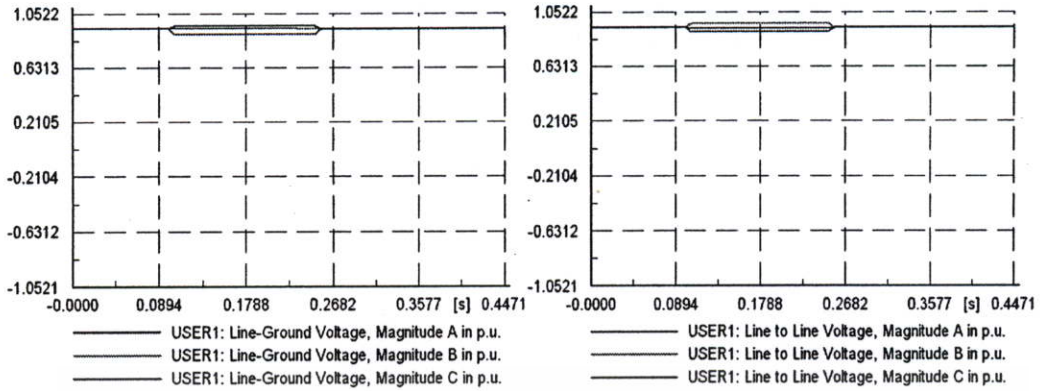
เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.002	1.603	1.720	0.924	0.968	0.992
2	0.111	1.501	1.708	0.922	0.968	0.984
4	0.208	1.406	1.685	0.921	0.968	0.978
6	0.292	1.322	1.656	0.922	0.968	0.973
8	0.363	1.249	1.624	0.923	0.968	0.969
10	0.424	1.186	1.591	0.924	0.968	0.966
12	0.475	1.134	1.559	0.926	0.968	0.964
14	0.520	1.090	1.528	0.928	0.968	0.962
16	0.558	1.053	1.499	0.930	0.968	0.961
18	0.591	1.023	1.472	0.932	0.968	0.960
20	0.619	0.998	1.446	0.933	0.968	0.959

ตารางที่ 4.13 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.891	0.933	0.957	0.897	0.962	0.922
2	0.877	0.933	0.945	0.892	0.959	0.904
4	0.877	0.933	0.938	0.894	0.954	0.899
6	0.878	0.933	0.933	0.896	0.950	0.896
8	0.880	0.933	0.928	0.900	0.947	0.895
10	0.882	0.933	0.926	0.902	0.944	0.894
12	0.885	0.933	0.923	0.905	0.942	0.894
14	0.887	0.933	0.922	0.907	0.941	0.895
16	0.890	0.933	0.921	0.909	0.939	0.896
18	0.892	0.933	0.920	0.910	0.938	0.897
20	0.894	0.933	0.920	0.912	0.937	0.898



รูปที่ 4.26 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 20 MVA



(a)

(b)

รูปที่ 4.27 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values

(b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.14 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ USER2

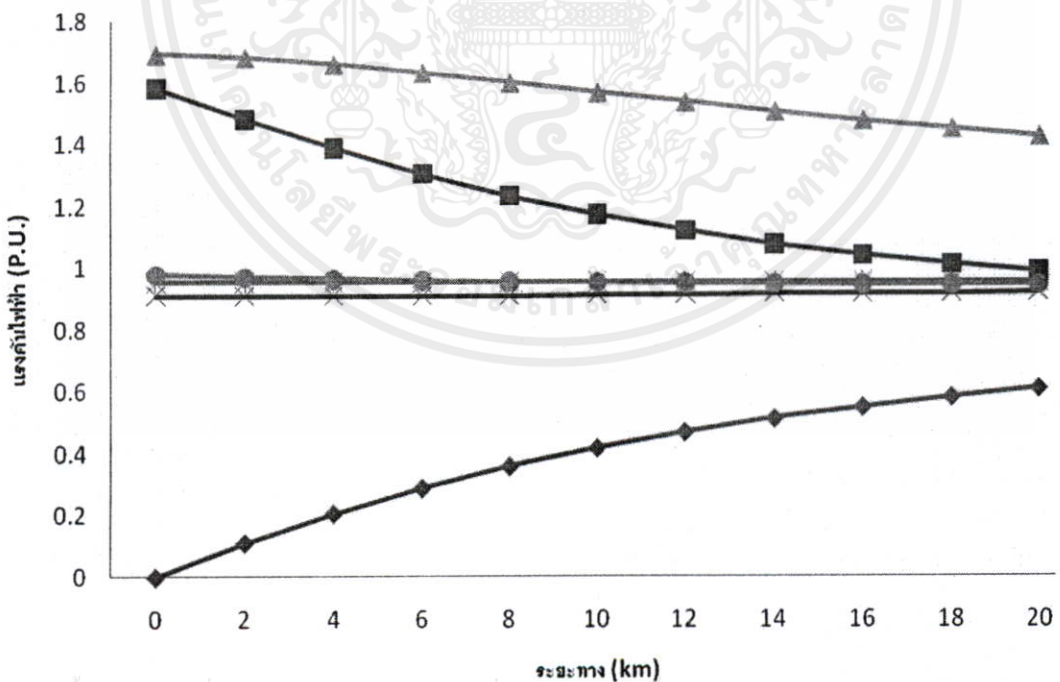
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b)

แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.890	0.931	0.955	0.896	0.961	0.920
2	0.888	0.931	0.948	0.897	0.956	0.914
4	0.887	0.931	0.941	0.898	0.952	0.909
6	0.887	0.931	0.937	0.900	0.949	0.906
8	0.888	0.931	0.933	0.902	0.946	0.904
10	0.890	0.932	0.930	0.905	0.944	0.903
12	0.892	0.932	0.928	0.906	0.942	0.902
14	0.893	0.932	0.926	0.908	0.940	0.903
16	0.895	0.932	0.925	0.910	0.939	0.903
18	0.897	0.932	0.924	0.911	0.938	0.903
20	0.899	0.932	0.923	0.913	0.937	0.904

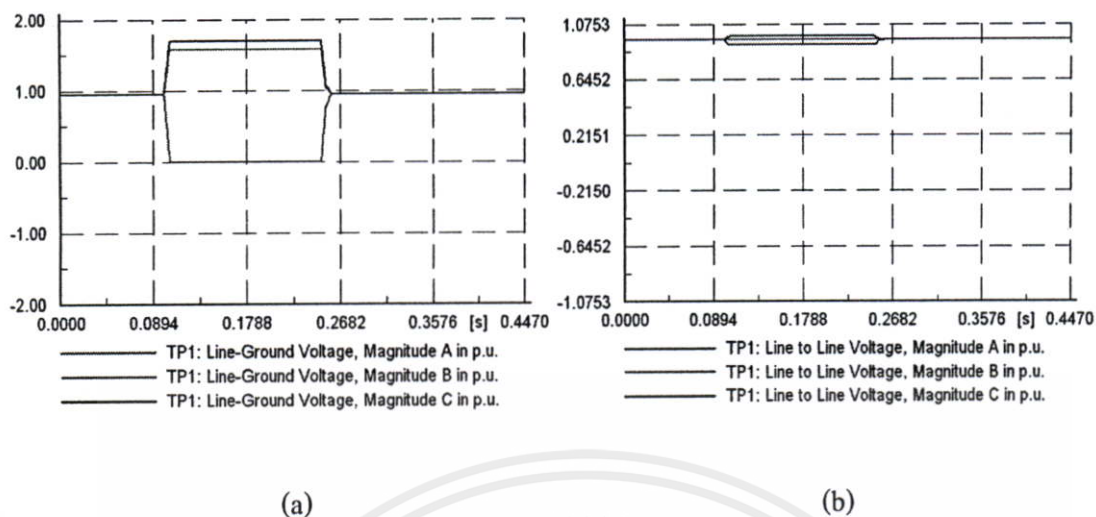
ตารางที่ 4.15 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
2	0.111	1.479	1.682	0.910	0.955	0.970
4	0.207	1.387	1.660	0.910	0.955	0.964
6	0.289	1.304	1.632	0.910	0.955	0.959
8	0.360	1.232	1.600	0.911	0.956	0.956
10	0.419	1.171	1.568	0.913	0.955	0.953
12	0.470	1.119	1.537	0.915	0.955	0.951
14	0.514	1.076	1.506	0.917	0.955	0.949
16	0.551	1.040	1.478	0.919	0.955	0.948
18	0.584	1.010	1.451	0.920	0.956	0.947
20	0.612	0.986	1.426	0.922	0.956	0.946



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า

รูปที่ 4.28 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 ที่โหลด 30 MVA



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.16 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.579	1.692	0.911	0.954	0.977
2	0.055	1.505	1.671	0.897	0.954	0.964
4	0.155	1.412	1.651	0.897	0.954	0.958
6	0.240	1.329	1.624	0.898	0.954	0.952
8	0.314	1.257	1.594	0.900	0.954	0.948
10	0.377	1.194	1.563	0.903	0.954	0.946
12	0.430	1.142	1.532	0.905	0.954	0.943
14	0.476	1.098	1.503	0.908	0.954	0.942
16	0.516	1.061	1.475	0.910	0.954	0.941
18	0.550	1.030	1.448	0.913	0.954	0.940
20	0.581	1.005	1.424	0.915	0.954	0.940

ตารางที่ 4.17 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
2	0.000	1.532	1.662	0.884	0.954	0.960
4	0.000	1.493	1.632	0.862	0.954	0.942
6	0.000	1.462	1.602	0.844	0.954	0.925
8	0.000	1.438	1.574	0.830	0.954	0.908
10	0.000	1.420	1.548	0.820	0.954	0.894
12	0.000	1.406	1.525	0.812	0.954	0.880
14	0.000	1.396	1.504	0.806	0.954	0.868
16	0.000	1.389	1.486	0.802	0.955	0.858
18	0.000	1.384	1.469	0.799	0.955	0.848
20	0.000	1.381	1.455	0.797	0.955	0.840

ตารางที่ 4.18 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

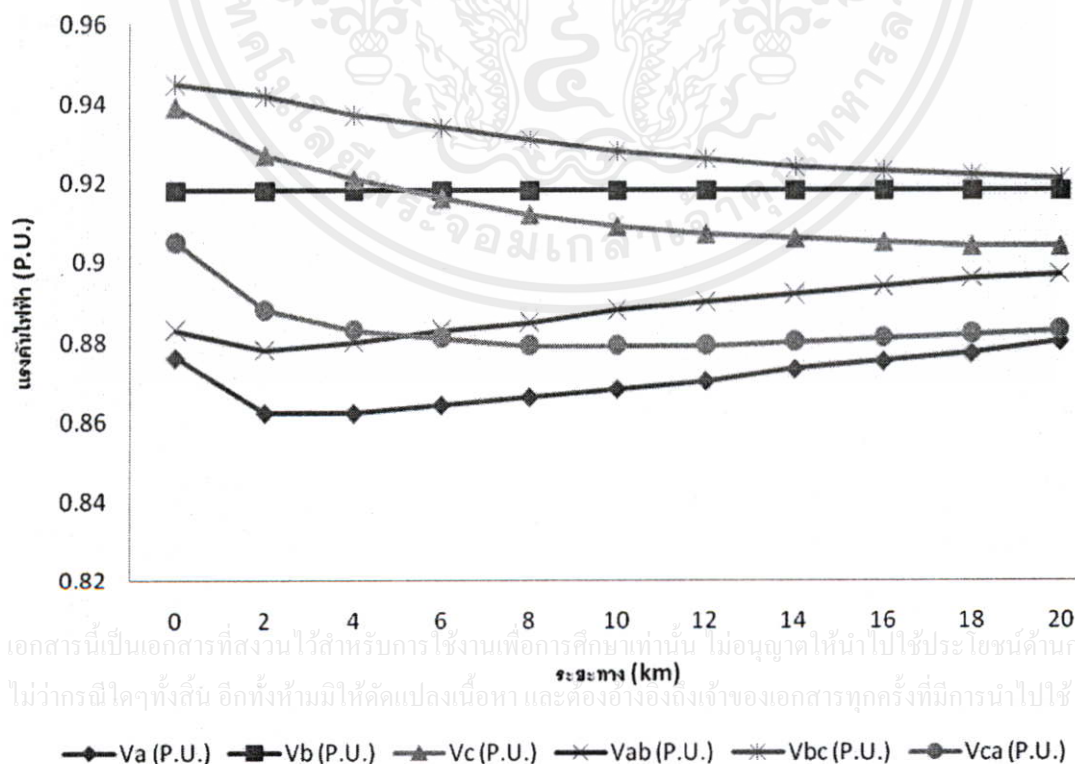
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.004	1.577	1.689	0.908	0.951	0.974
2	0.108	1.477	1.678	0.906	0.951	0.966
4	0.204	1.384	1.656	0.906	0.951	0.960
6	0.286	1.301	1.628	0.906	0.951	0.955
8	0.356	1.229	1.596	0.908	0.951	0.951
10	0.416	1.168	1.564	0.909	0.951	0.949
12	0.467	1.116	1.533	0.911	0.951	0.947
14	0.510	1.073	1.502	0.913	0.952	0.945
16	0.548	1.037	1.474	0.915	0.952	0.944
18	0.580	1.007	1.447	0.917	0.952	0.943
20	0.608	0.983	1.422	0.918	0.952	0.943

ตารางที่ 4.19 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b)

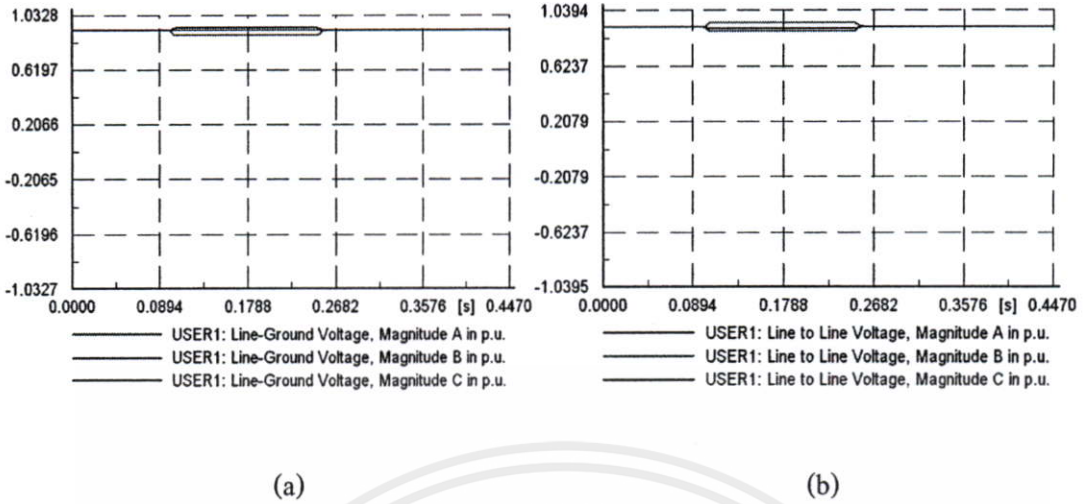
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.876	0.918	0.939	0.883	0.945	0.905
2	0.862	0.918	0.927	0.878	0.942	0.888
4	0.862	0.918	0.921	0.880	0.937	0.883
6	0.864	0.918	0.916	0.883	0.934	0.881
8	0.866	0.918	0.912	0.885	0.931	0.879
10	0.868	0.918	0.909	0.888	0.928	0.879
12	0.870	0.918	0.907	0.890	0.926	0.879
14	0.873	0.918	0.906	0.892	0.924	0.880
16	0.875	0.918	0.905	0.894	0.923	0.881
18	0.877	0.918	0.904	0.896	0.922	0.882
20	0.880	0.918	0.904	0.897	0.921	0.883



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.30 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 30 MVA



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus USER1
เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault
ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

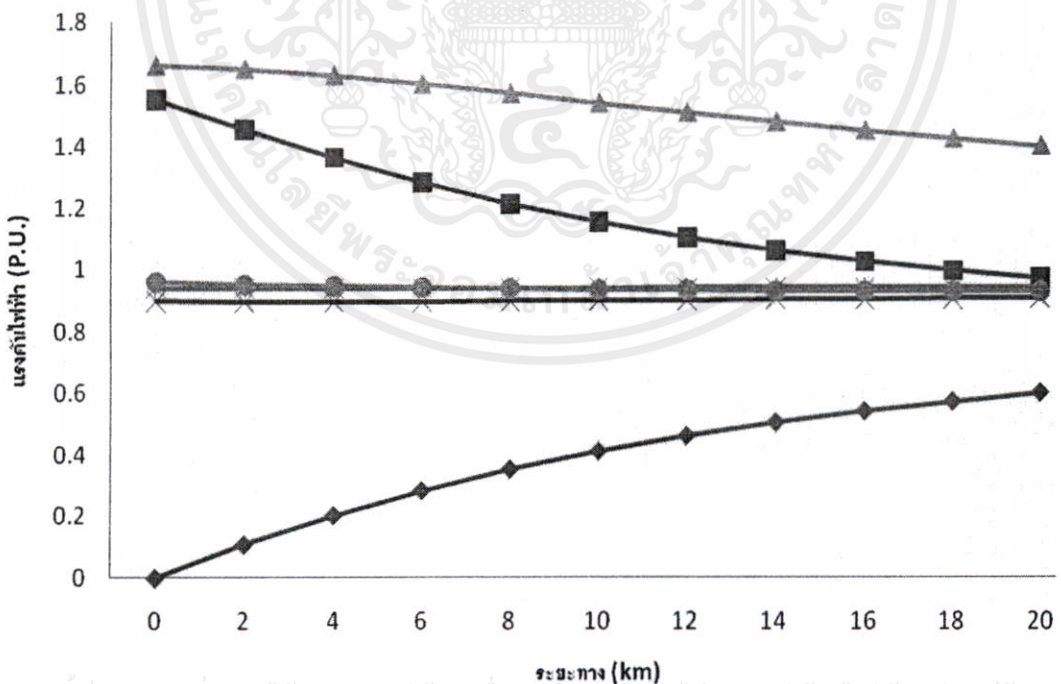
ตารางที่ 4.20 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.873	0.915	0.936	0.880	0.942	0.902
2	0.871	0.915	0.929	0.881	0.938	0.896
4	0.871	0.915	0.923	0.883	0.934	0.891
6	0.871	0.915	0.918	0.885	0.931	0.889
8	0.872	0.915	0.915	0.887	0.928	0.887
10	0.874	0.915	0.912	0.889	0.926	0.886
12	0.876	0.915	0.910	0.891	0.924	0.886
14	0.878	0.915	0.908	0.892	0.923	0.886
16	0.879	0.915	0.907	0.894	0.921	0.886
18	0.881	0.915	0.907	0.895	0.920	0.887
20	0.883	0.915	0.906	0.896	0.919	0.888

ตารางที่ 4.21 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ

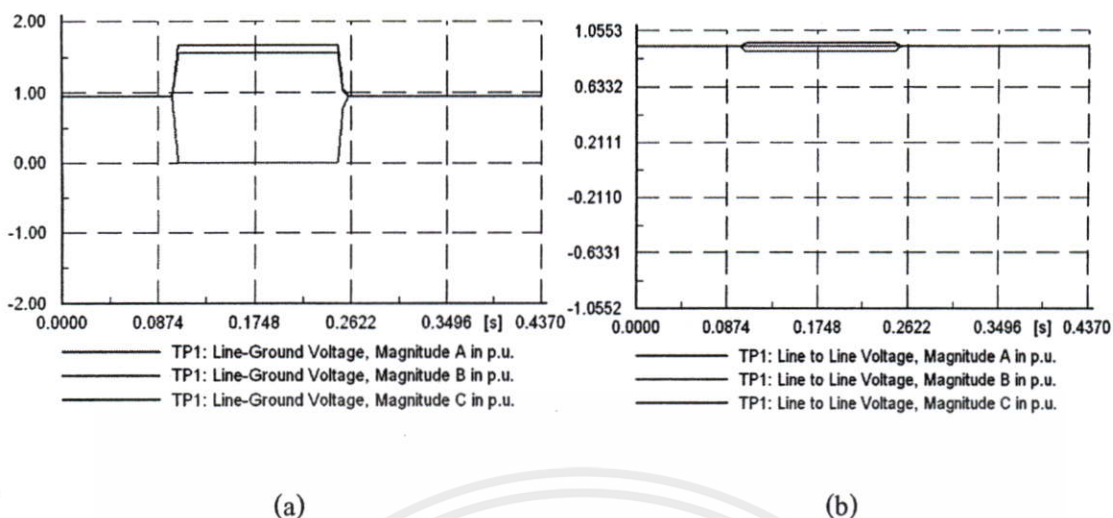
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.553	1.662	0.897	0.939	0.959
2	0.109	1.455	1.651	0.895	0.939	0.952
4	0.203	1.364	1.630	0.895	0.939	0.947
6	0.284	1.283	1.602	0.895	0.939	0.942
8	0.353	1.212	1.572	0.897	0.939	0.938
10	0.412	1.152	1.541	0.898	0.939	0.936
12	0.462	1.101	1.510	0.900	0.940	0.934
14	0.505	1.059	1.480	0.902	0.940	0.932
16	0.542	1.024	1.452	0.904	0.940	0.931
18	0.574	0.994	1.426	0.905	0.940	0.931
20	0.602	0.970	1.402	0.907	0.940	0.930



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ

รูปที่ 4.32 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 ที่โหลด 40 MVA



รูปที่ 4.33 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line Voltage, RMS Values

ตารางที่ 4.22 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.552	1.661	0.896	0.938	0.958
2	0.054	1.480	1.640	0.882	0.938	0.947
4	0.152	1.389	1.621	0.882	0.938	0.940
6	0.236	1.307	1.595	0.884	0.938	0.935
8	0.308	1.236	1.566	0.886	0.938	0.931
10	0.370	1.175	1.536	0.888	0.938	0.929
12	0.423	1.124	1.505	0.891	0.938	0.927
14	0.468	1.080	1.477	0.893	0.938	0.925
16	0.507	1.044	1.449	0.895	0.938	0.924
18	0.541	1.014	1.423	0.898	0.938	0.924
20	0.571	0.989	1.399	0.900	0.938	0.924

ตารางที่ 4.23 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.553	1.662	0.897	0.939	0.959
2	0.000	1.506	1.632	0.870	0.938	0.942
4	0.000	1.468	1.602	0.848	0.938	0.925
6	0.000	1.438	1.573	0.830	0.938	0.908
8	0.000	1.415	1.545	0.817	0.938	0.892
10	0.000	1.397	1.520	0.806	0.938	0.878
12	0.000	1.383	1.498	0.799	0.938	0.865
14	0.000	1.374	1.477	0.793	0.939	0.853
16	0.000	1.367	1.460	0.789	0.939	0.843
18	0.000	1.362	1.444	0.780	0.939	0.834
20	0.000	1.358	1.430	0.784	0.939	0.826

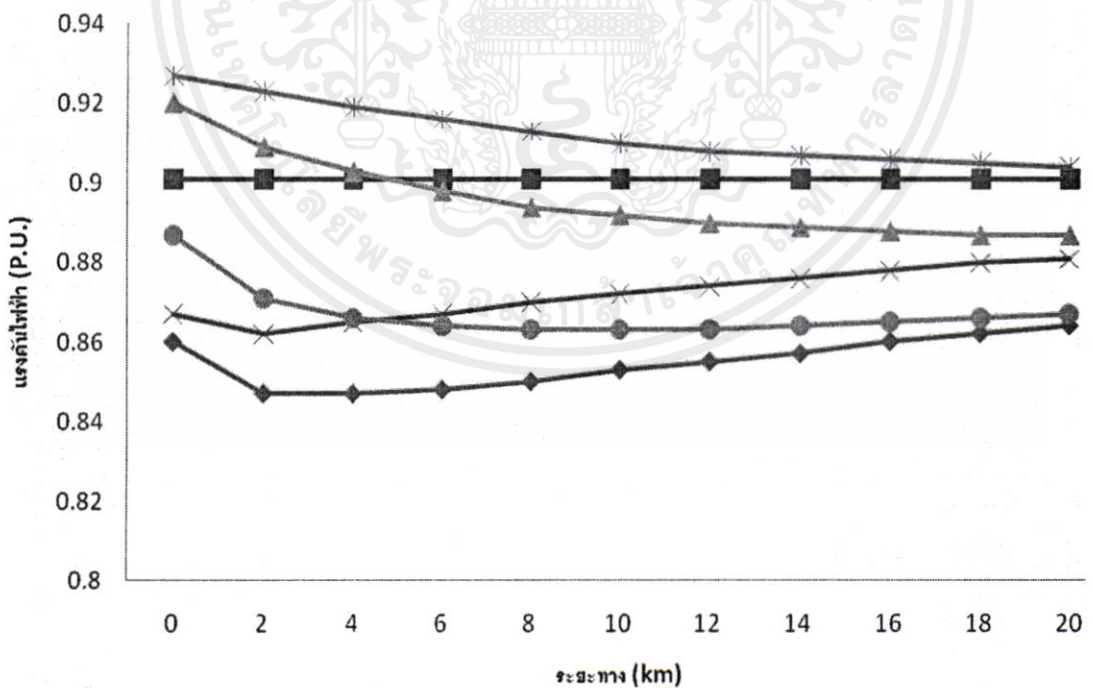
ตารางที่ 4.24 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.005	1.544	1.656	0.892	0.934	0.954
2	0.105	1.451	1.645	0.890	0.934	0.947
4	0.199	1.360	1.624	0.889	0.934	0.941
6	0.280	1.279	1.597	0.890	0.934	0.937
8	0.349	1.209	1.566	0.891	0.934	0.933
10	0.407	1.148	1.535	0.893	0.934	0.930
12	0.457	1.098	1.504	0.895	0.934	0.928
14	0.500	1.055	1.475	0.897	0.934	0.927
16	0.537	1.020	1.447	0.899	0.934	0.926
18	0.569	0.990	1.420	0.900	0.934	0.925
20	0.597	0.966	1.396	0.902	0.934	0.925

ตารางที่ 4.25 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ

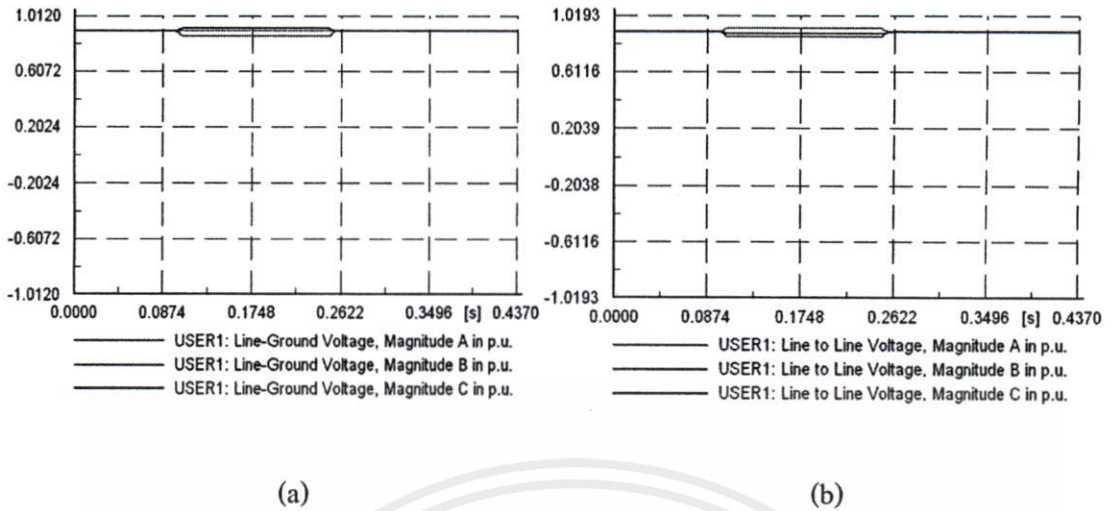
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.860	0.901	0.920	0.867	0.927	0.887
2	0.847	0.901	0.909	0.862	0.923	0.871
4	0.847	0.901	0.903	0.865	0.919	0.866
6	0.848	0.901	0.898	0.867	0.916	0.864
8	0.850	0.901	0.894	0.870	0.913	0.863
10	0.853	0.901	0.892	0.872	0.910	0.863
12	0.855	0.901	0.890	0.874	0.908	0.863
14	0.857	0.901	0.889	0.876	0.907	0.864
16	0.860	0.901	0.888	0.878	0.906	0.865
18	0.862	0.901	0.887	0.880	0.905	0.866
20	0.864	0.901	0.887	0.881	0.904	0.867



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2910-7000

รูปที่ 4.34 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 40 MVA



รูปที่ 4.35 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA

(a) Phase Voltage, RMS Values

(b) Line to Line, RMS Values

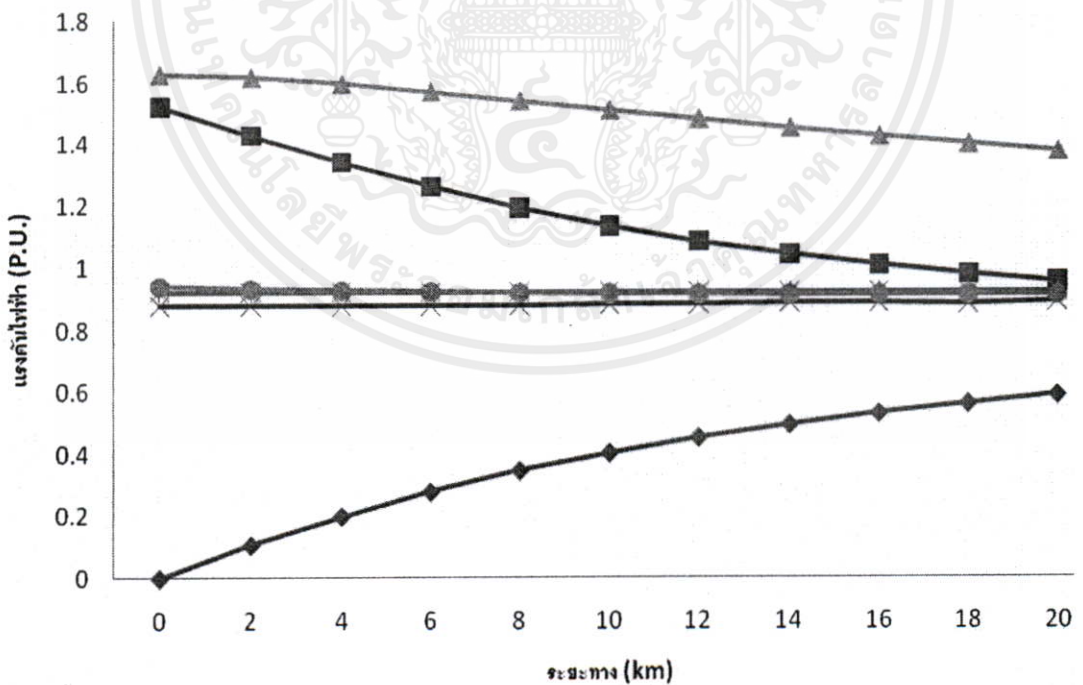
ตารางที่ 4.26 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.856	0.896	0.916	0.863	0.922	0.883
2	0.854	0.896	0.909	0.864	0.918	0.877
4	0.854	0.896	0.903	0.866	0.915	0.873
6	0.854	0.896	0.899	0.868	0.912	0.870
8	0.855	0.896	0.895	0.870	0.909	0.869
10	0.857	0.897	0.893	0.872	0.907	0.868
12	0.859	0.897	0.891	0.873	0.905	0.868
14	0.861	0.897	0.890	0.875	0.904	0.868
16	0.862	0.897	0.889	0.877	0.902	0.869
18	0.864	0.897	0.888	0.878	0.902	0.869
20	0.866	0.897	0.888	0.879	0.901	0.870

ตารางที่ 4.27 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ

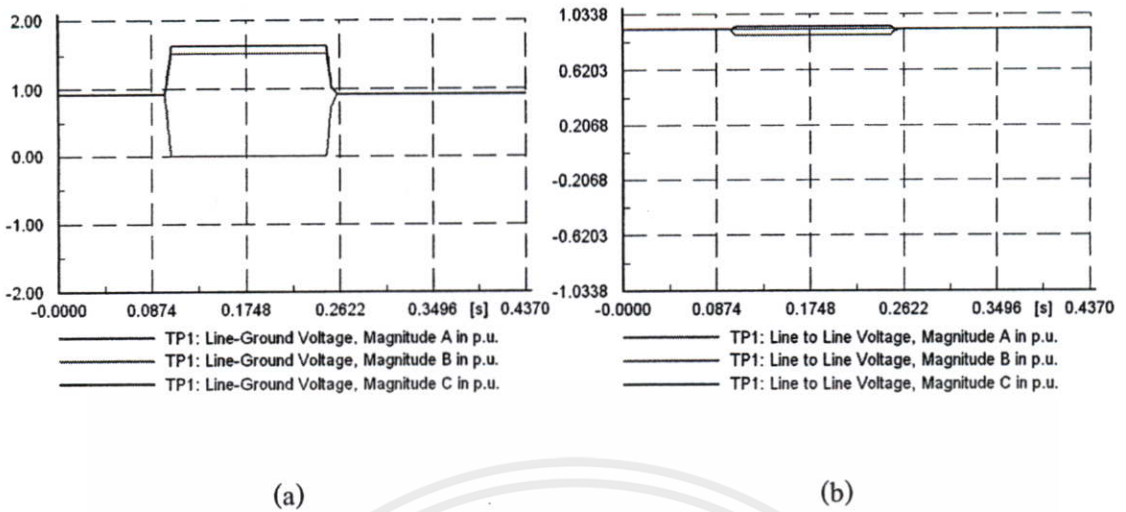
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.524	1.628	0.880	0.922	0.940
2	0.107	1.428	1.618	0.879	0.922	0.933
4	0.199	1.339	1.597	0.878	0.922	0.928
6	0.279	1.260	1.571	0.879	0.922	0.923
8	0.347	1.191	1.541	0.880	0.922	0.920
10	0.404	1.132	1.511	0.882	0.922	0.918
12	0.454	1.082	1.481	0.884	0.922	0.916
14	0.496	1.040	1.452	0.886	0.922	0.914
16	0.532	1.006	1.425	0.888	0.922	0.913
18	0.563	0.977	1.399	0.881	0.922	0.913
20	0.591	0.953	1.375	0.891	0.922	0.912



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2911-1000

รูปที่ 4.36 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 ที่โหลด 50 MVA



รูปที่ 4.37 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.28 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.001	1.523	1.627	0.879	0.921	0.939
2	0.053	1.453	1.607	0.866	0.921	0.928
4	0.149	1.364	1.589	0.866	0.921	0.921
6	0.232	1.284	1.564	0.868	0.921	0.917
8	0.302	1.214	1.535	0.870	0.921	0.913
10	0.363	1.155	1.506	0.872	0.921	0.911
12	0.415	1.104	1.477	0.875	0.921	0.909
14	0.459	1.061	1.448	0.877	0.921	0.908
16	0.498	1.026	1.422	0.880	0.921	0.907
18	0.531	0.996	1.396	0.882	0.921	0.906
20	0.560	0.972	1.373	0.884	0.921	0.906

ตารางที่ 4.29 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

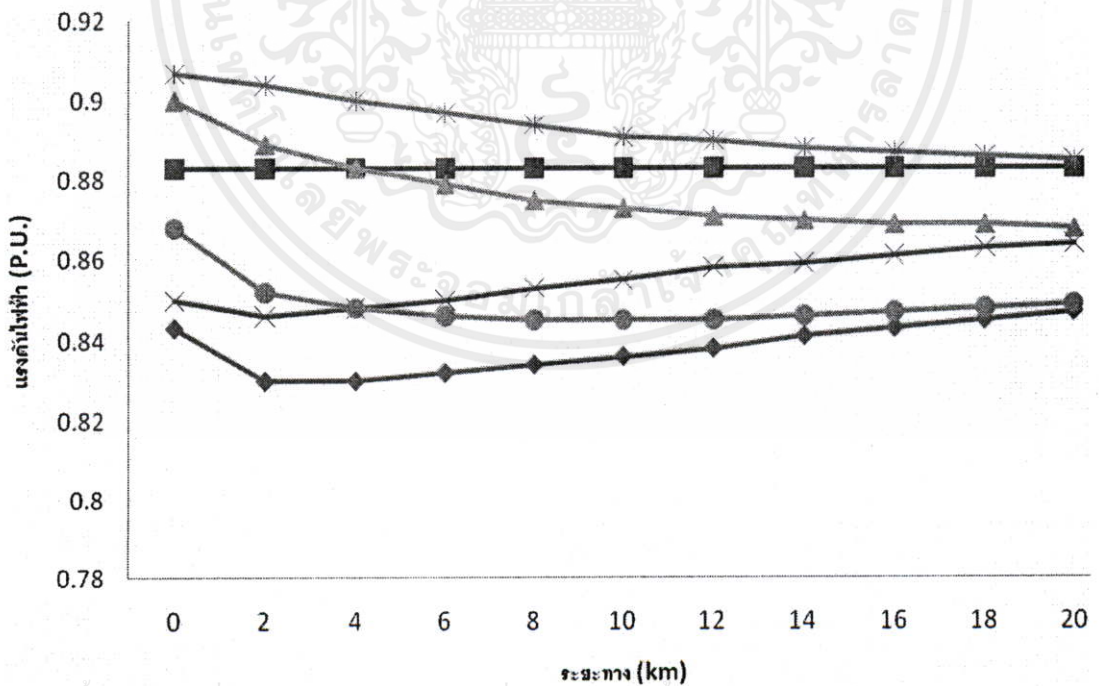
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.000	1.524	1.628	0.880	0.922	0.940
2	0.000	1.479	1.599	0.854	0.921	0.923
4	0.000	1.442	1.570	0.832	0.921	0.907
6	0.000	1.412	1.542	0.815	0.921	0.890
8	0.000	1.389	1.515	0.802	0.921	0.875
10	0.000	1.372	1.491	0.792	0.921	0.861
12	0.000	1.359	1.469	0.785	0.921	0.848
14	0.000	1.349	1.449	0.779	0.921	0.837
16	0.000	1.342	1.432	0.775	0.921	0.827
18	0.000	1.338	1.416	0.772	0.921	0.818
20	0.000	1.334	1.403	0.770	0.921	0.810

ตารางที่ 4.30 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.007	1.519	1.621	0.874	0.915	0.933
2	0.102	1.423	1.611	0.872	0.915	0.926
4	0.194	1.335	1.590	0.872	0.915	0.921
6	0.273	1.255	1.564	0.873	0.915	0.917
8	0.341	1.186	1.534	0.874	0.915	0.913
10	0.398	1.127	1.504	0.876	0.915	0.911
12	0.447	1.077	1.474	0.877	0.915	0.909
14	0.489	1.036	1.445	0.879	0.915	0.908
16	0.526	1.001	1.418	0.881	0.915	0.907
18	0.557	0.972	1.392	0.883	0.915	0.906
20	0.584	0.948	1.368	0.884	0.915	0.906

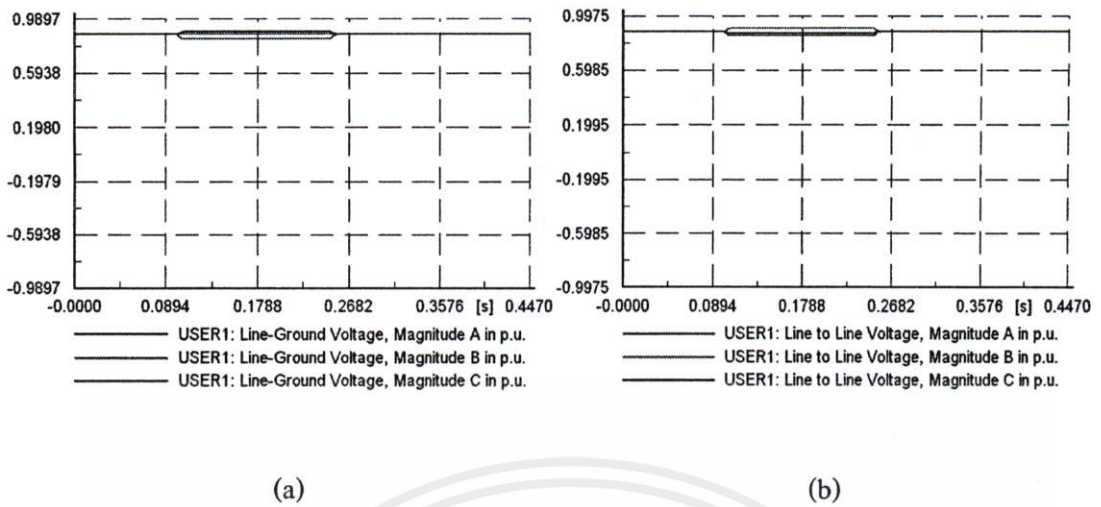
ตารางที่ 4.31 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ USER1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.843	0.883	0.900	0.850	0.907	0.868
2	0.830	0.883	0.889	0.846	0.904	0.852
4	0.830	0.883	0.883	0.848	0.900	0.848
6	0.832	0.883	0.879	0.850	0.897	0.846
8	0.834	0.883	0.875	0.853	0.894	0.845
10	0.836	0.883	0.873	0.855	0.891	0.845
12	0.838	0.883	0.871	0.858	0.890	0.845
14	0.841	0.883	0.870	0.859	0.888	0.846
16	0.843	0.883	0.869	0.861	0.887	0.847
18	0.845	0.883	0.869	0.863	0.886	0.848
20	0.847	0.883	0.868	0.864	0.885	0.849



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า

รูปที่ 4.38 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 ที่โหลด 50 MVA



รูปที่ 4.39 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA
 (a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.32 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.837	0.877	0.894	0.844	0.901	0.862
2	0.835	0.877	0.887	0.846	0.897	0.857
4	0.835	0.877	0.882	0.848	0.894	0.853
6	0.836	0.877	0.878	0.849	0.891	0.851
8	0.837	0.877	0.875	0.851	0.888	0.849
10	0.839	0.877	0.872	0.853	0.886	0.849
12	0.841	0.877	0.871	0.855	0.885	0.849
14	0.842	0.877	0.869	0.857	0.883	0.849
16	0.844	0.877	0.869	0.858	0.882	0.849
18	0.846	0.877	0.868	0.859	0.881	0.850
20	0.847	0.877	0.868	0.861	0.880	0.851

ตารางที่ 4.33 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.000	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
	10	0.432	1.204	1.619	0.940	0.984	0.984
	20	0.631	1.014	1.470	0.949	0.984	0.976
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.628	1.750	0.939	0.983	1.010
	10	0.388	1.229	1.613	0.929	0.983	0.976
	20	0.598	1.033	1.468	0.942	0.983	0.969
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
	10	0.00	1.461	1.598	0.844	0.983	0.922
	20	0.00	1.421	1.501	0.820	0.983	0.867
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.001	1.628	1.750	0.939	0.983	1.010
	10	0.431	1.203	1.617	0.939	0.983	0.983
	20	0.629	1.013	1.469	0.948	0.983	0.975

ตารางที่ 4.34 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 400 v ที่ขนาดโหลดรวม 10 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.001	1.628	1.750	0.939	0.983	1.010
	10	0.431	1.203	1.617	0.939	0.983	0.983
	20	0.629	1.013	1.469	0.948	0.983	0.975
Bus User2 (P.U.)	0	0.905	0.947	0.973	0.910	0.978	0.937
	10	0.905	0.947	0.947	0.919	0.961	0.919
	20	0.913	0.947	0.940	0.928	0.953	0.920

ตารางที่ 4.35 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.000	1.605	1.723	0.927	0.970	0.995
	10	0.426	1.188	1.594	0.927	0.970	0.969
	20	0.622	1.000	1.449	0.936	0.970	0.962
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.604	1.722	0.926	0.969	0.994
	10	0.383	1.212	1.589	0.916	0.969	0.961
	20	0.590	1.020	1.447	0.929	0.969	0.955
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.000	1.605	1.723	0.927	0.970	0.995
	10	0.000	1.441	1.574	0.832	0.969	0.908
	20	0.000	1.401	1.479	0.809	0.970	0.854
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.002	1.603	1.720	0.924	0.968	0.992
	10	0.424	1.186	1.591	0.924	0.968	0.966
	20	0.619	0.998	1.446	0.933	0.968	0.959

ตารางที่ 4.36 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 400 v ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.891	0.933	0.957	0.897	0.962	0.922
	10	0.882	0.933	0.926	0.902	0.944	0.894
	20	0.894	0.933	0.920	0.912	0.937	0.898
Bus User2 (P.U.)	0	0.890	0.931	0.955	0.896	0.961	0.920
	10	0.890	0.932	0.930	0.905	0.944	0.903
	20	0.899	0.932	0.923	0.913	0.937	0.904

ตารางที่ 4.37 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
	10	0.419	1.171	1.568	0.913	0.955	0.953
	20	0.612	0.986	1.426	0.922	0.956	0.946
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.579	1.692	0.911	0.954	0.977
	10	0.377	1.194	1.563	0.903	0.954	0.946
	20	0.581	1.005	1.424	0.915	0.954	0.940
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
	10	0.000	1.420	1.548	0.820	0.954	0.894
	20	0.000	1.381	1.455	0.797	0.955	0.840
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.004	1.577	1.689	0.908	0.951	0.974
	10	0.416	1.168	1.564	0.909	0.951	0.949
	20	0.608	0.983	1.422	0.918	0.952	0.943

ตารางที่ 4.38 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User ที่ขนาดโหลดรวม 20 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.004	1.577	1.689	0.908	0.951	0.974
	10	0.416	1.168	1.564	0.909	0.951	0.949
	20	0.608	0.983	1.422	0.918	0.952	0.943
Bus User2 (P.U.)	0	0.873	0.915	0.936	0.880	0.942	0.902
	10	0.874	0.915	0.912	0.889	0.926	0.886
	20	0.883	0.915	0.906	0.896	0.919	0.888

ตารางที่ 4.39 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
	10	0.612	0.986	1.426	0.922	0.956	0.946
	20	0.419	1.171	1.568	0.913	0.955	0.953
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.579	1.692	0.911	0.954	0.977
	10	0.377	1.194	1.563	0.903	0.954	0.946
	20	0.581	1.005	1.424	0.915	0.954	0.940
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
	10	0.000	1.420	1.548	0.820	0.954	0.894
	20	0.000	1.381	1.455	0.797	0.955	0.840
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.004	1.577	1.689	0.908	0.951	0.974
	10	0.416	1.168	1.564	0.909	0.951	0.949
	20	0.608	0.983	1.422	0.918	0.952	0.943

ตารางที่ 4.40 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User ที่ขนาดโหลดรวม 30 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.004	1.577	1.689	0.908	0.951	0.974
	10	0.416	1.168	1.564	0.909	0.951	0.949
	20	0.608	0.983	1.422	0.918	0.952	0.943
Bus User2 (P.U.)	0	0.873	0.915	0.936	0.880	0.942	0.902
	10	0.874	0.915	0.912	0.889	0.926	0.886
	20	0.883	0.915	0.906	0.896	0.919	0.888

ตารางที่ 4.41 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.873	0.915	0.936	0.880	0.942	0.902
	10	0.874	0.915	0.912	0.889	0.926	0.886
	20	0.883	0.915	0.906	0.896	0.919	0.888
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.552	1.661	0.896	0.938	0.958
	10	0.370	1.175	1.536	0.888	0.938	0.929
	20	0.571	0.989	1.399	0.900	0.938	0.924
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.000	1.553	1.662	0.897	0.939	0.959
	10	0.000	1.397	1.520	0.806	0.938	0.878
	20	0.000	1.358	1.430	0.784	0.939	0.826
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.005	1.544	1.656	0.892	0.934	0.954
	10	0.407	1.148	1.535	0.893	0.934	0.930
	20	0.597	0.966	1.396	0.902	0.934	0.925

ตารางที่ 4.42 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User ที่ขนาดโหลดรวม 40 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.860	0.901	0.920	0.867	0.927	0.887
	10	0.853	0.901	0.892	0.872	0.910	0.863
	20	0.864	0.901	0.887	0.881	0.904	0.867
Bus User2 (P.U.)	0	0.856	0.896	0.916	0.863	0.922	0.883
	10	0.857	0.897	0.893	0.872	0.907	0.868
	20	0.866	0.897	0.888	0.879	0.901	0.870

ตารางที่ 4.43 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.000	1.524	1.628	0.880	0.922	0.940
	10	0.404	1.132	1.511	0.882	0.922	0.918
	20	0.591	0.953	1.375	0.891	0.922	0.912
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.001	1.523	1.627	0.879	0.921	0.939
	10	0.363	1.155	1.506	0.872	0.921	0.911
	20	0.560	0.972	1.373	0.884	0.921	0.906
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.001	1.523	1.627	0.879	0.921	0.939
	10	0.363	1.155	1.506	0.872	0.921	0.911
	20	0.560	0.972	1.373	0.884	0.921	0.906
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.007	1.519	1.621	0.874	0.915	0.933
	10	0.398	1.127	1.504	0.876	0.915	0.911
	20	0.584	0.948	1.368	0.884	0.915	0.906

ตารางที่ 4.44 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User ที่ขนาดโหลดรวม 50 MVA (Power Factor 0.85)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.843	0.883	0.900	0.850	0.907	0.868
	10	0.836	0.883	0.873	0.855	0.891	0.845
	20	0.847	0.883	0.868	0.864	0.885	0.849
Bus User2 (P.U.)	0	0.837	0.877	0.894	0.844	0.901	0.862
	10	0.839	0.877	0.872	0.853	0.886	0.849
	20	0.847	0.877	0.868	0.861	0.880	0.851

ตารางที่ 4.45 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทาง 0 km และ 20 km

ขนาดโหลด (MVA)	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
10	0	0.00	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
	20	0.631	1.014	1.470	0.949	0.984	0.976
20	0	0.000	1.605	1.723	0.927	0.970	0.995
	20	0.622	1.000	1.449	0.936	0.970	0.962
30	0	0.000	1.580	1.693	0.912	0.955	0.978
	20	0.612	0.986	1.426	0.922	0.956	0.946
40	0	0.000	1.553	1.662	0.897	0.939	0.959
	20	0.602	0.970	1.402	0.907	0.940	0.930
50	0	0.000	1.524	1.628	0.880	0.922	0.940
	20	0.591	0.953	1.375	0.891	0.922	0.912

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มี SPP เพื่อศึกษาเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆที่มีผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ตามขั้นตอนการศึกษาในรูปที่ 4.5 โดยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับขนาดโหลดและตำแหน่งของความผิดปกติที่ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย จากผลการศึกษาในกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในกรณีที่สถานีไฟฟ้าย่อยติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω พบว่าตำแหน่งของความผิดปกติมีอิทธิพลอย่างมากต่อขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell โดยหากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติอยู่ใกล้สถานีไฟฟ้าย่อยจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Sag ที่เหลืออยู่มีค่าน้อย (เข้าใกล้ 0 P.U.) แต่ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Swell จะมีค่าสูงมาก (เข้าใกล้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line) ในทางตรงกันข้ามหากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Sag ที่เหลืออยู่มีค่ามาก (เข้าใกล้ 1 P.U.) และระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Swell จะมีค่าลดลง (เข้าใกล้ 1 P.U.) เช่นกัน จากผลการจำลองสะท้อนให้เห็นว่า Impedance ที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติมีผลทำให้ระดับความรุนแรงของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell มีค่าลดลงเข้าใกล้ 1 P.U. นอกจากนี้ในการศึกษายังพบว่าขนาดโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย จึงกล่าวได้ว่าขนาด

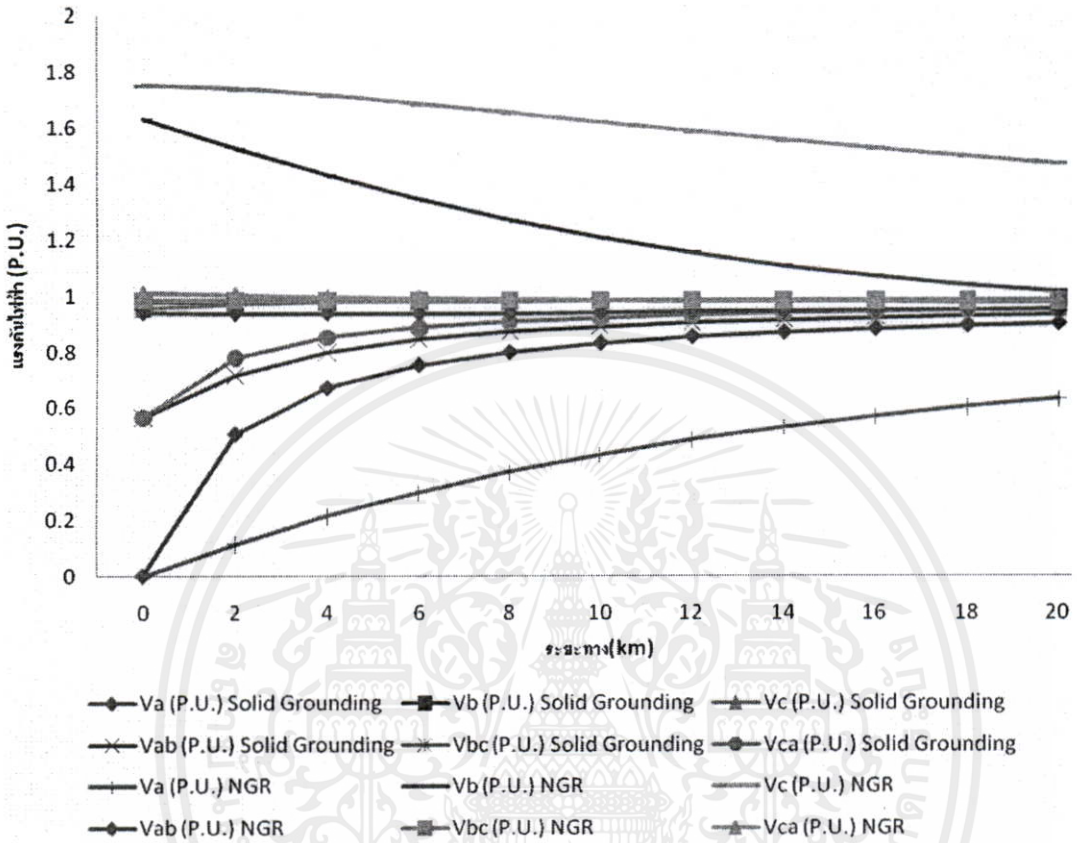
โหลดไม่ใช่องค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip หรือ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 4.46 เปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้ง NGR และแบบ Solid Grounding ที่ขนาด โหลด 10 MVA

ความผิดปกติ พ่วงที่ Bus 22 kV (1b)	กระแสผิดพลาดที่เฟส a แบบ Single Line to Ground Fault (A)											
	Solid Grounding						NGR ขนาด 12.7 Ω					
ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.003	0.979	0.953	0.565	0.984	0.565	0.000	1.629	1.751	0.940	0.984	1.011
2	0.507	0.978	0.971	0.715	0.984	0.778	0.115	1.524	1.738	0.938	0.984	1.003
4	0.671	0.979	0.976	0.799	0.984	0.851	0.214	1.428	1.715	0.937	0.984	0.996
6	0.752	0.980	0.978	0.844	0.984	0.886	0.298	1.342	1.685	0.937	0.984	0.991
8	0.799	0.981	0.979	0.872	0.984	0.906	0.371	1.268	1.652	0.938	0.984	0.987
10	0.831	0.981	0.980	0.890	0.984	0.919	0.432	1.204	1.619	0.940	0.984	0.984
12	0.853	0.981	0.981	0.904	0.984	0.929	0.485	1.151	1.586	0.942	0.984	0.981
14	0.870	0.981	0.981	0.914	0.984	0.936	0.530	1.106	1.554	0.944	0.984	0.979
16	0.883	0.982	0.982	0.922	0.984	0.942	0.568	1.070	1.524	0.945	0.984	0.978
18	0.893	0.982	0.982	0.928	0.984	0.946	0.602	1.039	1.496	0.947	0.984	0.977
20	0.901	0.982	0.982	0.933	0.984	0.949	0.631	1.014	1.470	0.949	0.984	0.976

หากพิจารณาผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ในกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่ เฟส a พบว่าระบบไฟฟ้าที่เป็นแบบ Solid Grounding จะไม่เกิดปัญหา Voltage Swell ขึ้น แต่จะเกิด Voltage Sag/Dip ในเฟส a ซึ่งเป็นเฟสที่เกิดความผิดปกติ ส่วนระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR จะเกิด Voltage Swell ขึ้นในเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติ และเกิด Voltage Sag/Dip ในเฟสที่เกิดความผิดปกติเช่นเดียวกับกรณี Solid Grounding แต่ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่จะมีค่าที่น้อยกว่าแบบ Solid Grounding เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะทางหรือตำแหน่งความผิดปกติเดียวกัน และหากพิจารณาแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line จะพบว่าระบบ

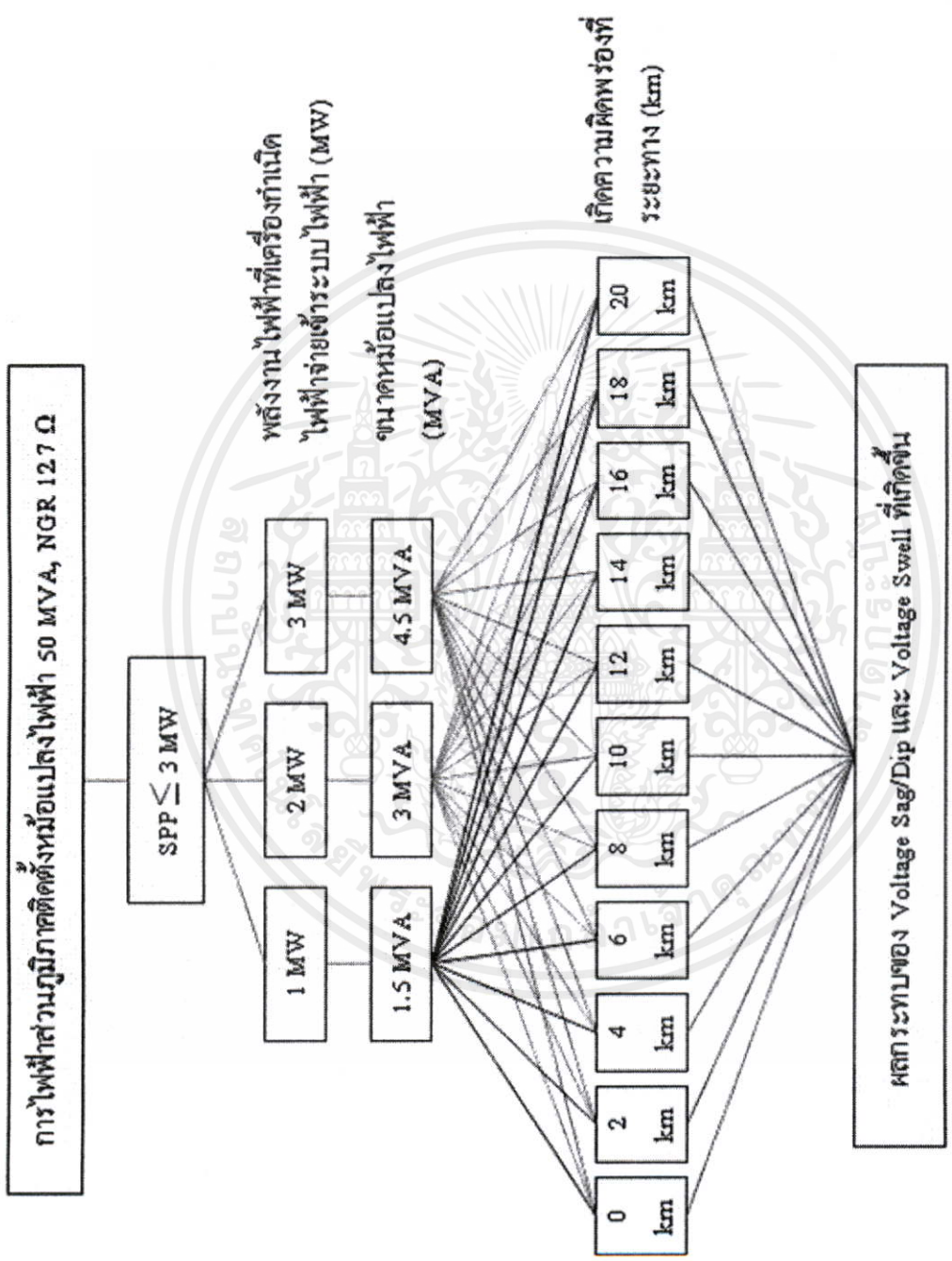
ไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ให้มีค่าใกล้เคียง 1 P.U. มากกว่าระบบ Solid Grounding



รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage Sag และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 ในกรณีที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้ง NGR และแบบ Solid Grounding

4.4.2 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

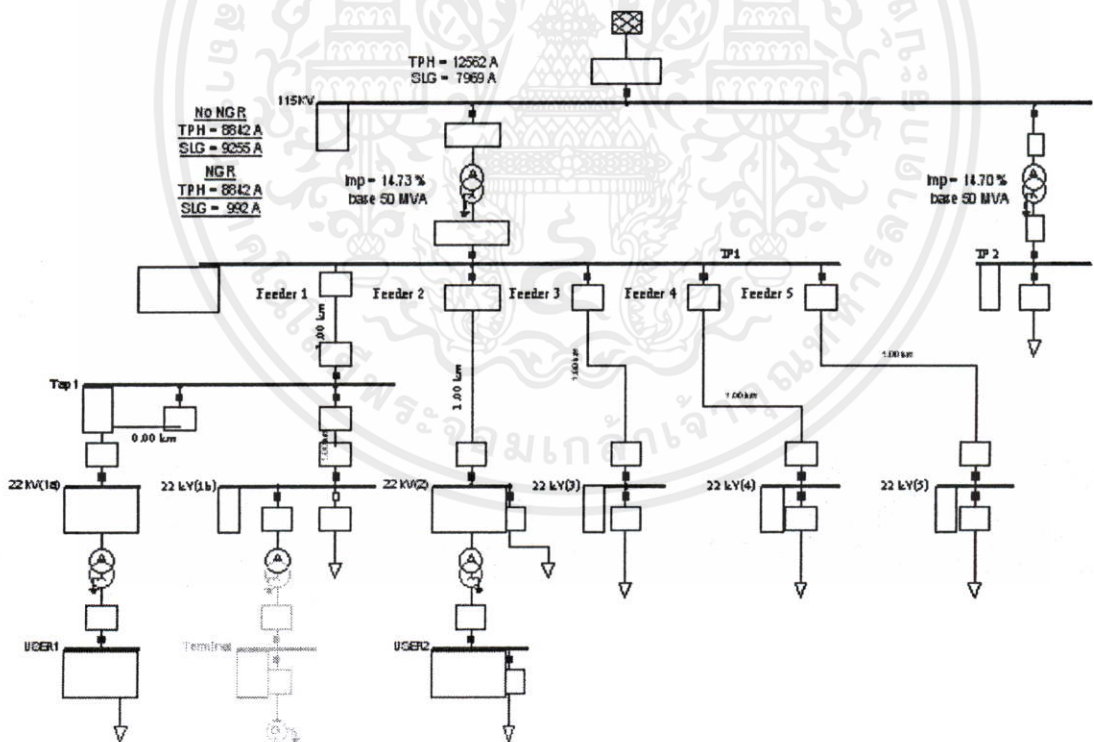
จากการศึกษาระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ในกรณีที่ไม่มี SPP พบว่าขนาดโหลดมีผลต่อขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell เพียงเล็กน้อย เนื่องจากขนาดโหลดส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนที่จะเกิดความผิดปกติเพียงเล็กน้อย และในความเป็นจริงระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากสถานีไฟฟ้าย่อยจะถูกควบคุมให้มีขนาดใกล้เคียงกับพิกัดแรงดันไฟฟ้าปกติหรือมีค่าใกล้เคียง 1 P.U. และถูกควบคุมให้มีความเหมาะสมกับขนาดโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการใช้ On Load Tap Changer (OLTC) ของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพิ่มเติม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าขนาดโหลดมีผลต่อขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell น้อยมาก การศึกษาระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ในกรณีที่มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW จะไม่พิจารณาขนาดโหลดและเปลี่ยนขั้นตอนการศึกษาจากรูปที่ 4.6 เป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.41 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

การจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW จะใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มี SPP แต่จะเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP ในวงจรที่ 1 ตามขั้นตอนในรูปที่ 4.66 ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าตามเงื่อนไขที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระบุให้ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 5 MVA เป็นแบบ Dy ในการจำลองจะดำเนินการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือระยะทางที่เกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ในวงจรที่ 1 ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ของแรงดันไฟฟ้าที่ Bus name ชื่อ TP1, 22kV (1a), 22 kV (1b), 22 kV (2), SPP, USER1 และ USER2

นอกจากนั้นการศึกษาในกรณีที่มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW จะทำการศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อปัญหา Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าตามตารางที่ 4.35 ให้สัมพันธ์กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 4.36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ใช้เปลี่ยนแปลงได้ และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารที่ออกให้ที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.42 แบบจำลองในกรณีที่มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

ตารางที่ 4.47 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW

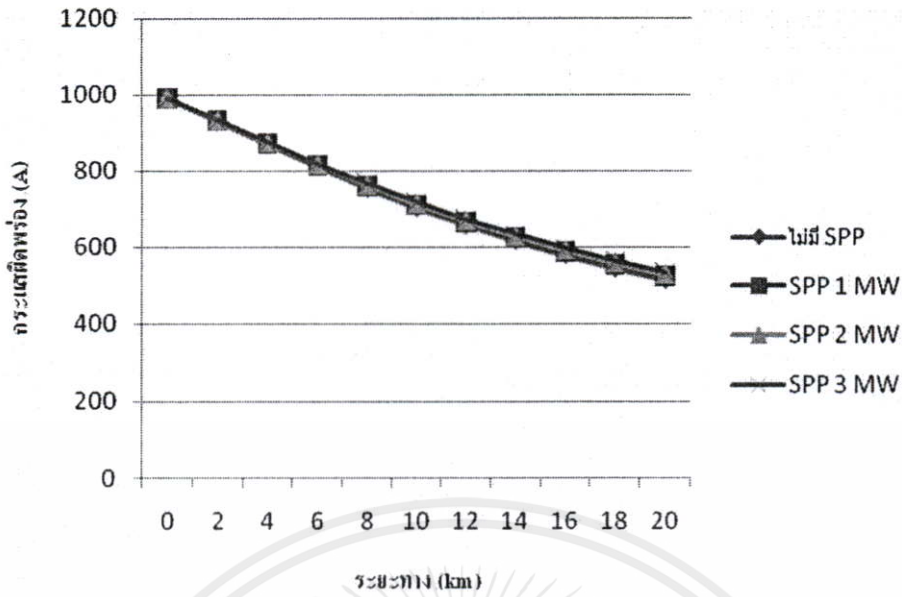
ขนาด (kVA)	No Load Losses (วัตต์)	Load Losses (วัตต์)	Vector Group	อิมพีแดนซ์ ที่ 75 °C (%)
1,500	1,840	19,800	Dyn11	6
3,000	3,100	33,000	Dyn11	7
4,500	3,350	37,500	Dyn11	7

ตารางที่ 4.48 ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 3 MW

ขนาด (MW)	P.F.	Xd (P.U.)	Xq (P.U.)	xd' (P.U.)	xd'' (P.U.)	R2 (P.U.)	X2 (P.U.)	R0 (P.U.)	X0 (P.U.)
1	0.8	1.5	1.4	0.3	0.2	0.02	0.161	0.0	0.09
2	0.8	1.8	1.56	0.3	0.2	0.02	0.2	0.0	0.09
3	0.8	2.0	1.7	0.3	0.21	0.02	0.21	0.0	0.1

ตารางที่ 4.49 กระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ

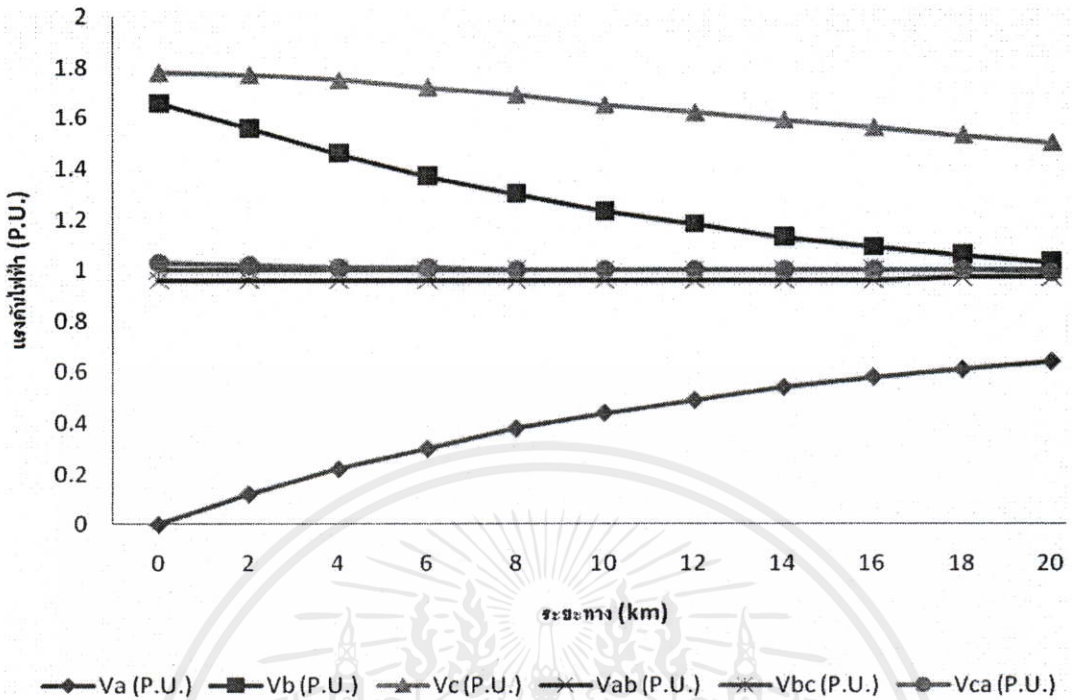
ความผิดพลาดที่ Bus 22 kV (1b)	กระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) (สถานีไฟฟ้าย่อยติดตั้ง NGR 12.7 Ω)			
	ไม่มี SPP	มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบขนาด		
ระยะทาง (km)		1 MW	2 MW	3 MW
0	991.50	991.54	991.64	991.74
2	931.16	932.28	933.19	934.09
4	870.11	872.44	874.23	875.99
6	811.25	814.76	817.38	819.95
8	756.09	760.66	764.03	767.31
10	705.32	710.80	714.79	718.67
12	659.05	665.30	669.80	674.18
14	617.14	624.01	628.93	633.69
16	579.27	586.65	591.89	596.95
18	545.06	552.84	558.34	563.63
20	514.13	522.24	527.93	533.40



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ทั้งในกรณีที่ไม่มี SPP และมี SPP ขนาด ≤ 3 MW

ตารางที่ 4.50 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1 เมื่อเกิดความผิดพลาดที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดพลาดที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.12	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.37	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.00
10	0.44	1.23	1.65	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.62	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.13	1.59	0.96	1.00	1.00
16	0.58	1.09	1.56	0.96	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.53	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.03	1.50	0.97	1.00	0.99



รูปที่ 4.44 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 1 MW

ตารางที่ 4.51 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.06	1.58	1.76	0.94	1.00	1.02
4	0.16	1.49	1.74	0.94	1.00	1.01
6	0.25	1.40	1.71	0.94	1.00	1.00
8	0.33	1.32	1.68	0.95	1.00	1.00
10	0.40	1.26	1.65	0.95	1.00	1.00
12	0.45	1.20	1.62	0.95	1.00	0.99
14	0.50	1.15	1.59	0.95	1.00	0.99
16	0.54	1.11	1.56	0.96	1.00	0.99
18	0.58	1.08	1.53	0.96	1.00	0.99
20	0.61	1.05	1.50	0.96	1.00	0.99

ตารางที่ 4.52 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.00	1.61	1.75	0.93	1.00	1.01
4	0.00	1.57	1.72	0.91	1.00	0.99
6	0.00	1.54	1.69	0.89	1.00	0.98
8	0.00	1.52	1.66	0.88	1.00	0.96
10	0.00	1.50	1.63	0.86	1.00	0.94
12	0.00	1.48	1.61	0.86	1.00	0.93
14	0.00	1.47	1.59	0.85	1.00	0.92
16	0.00	1.47	1.57	0.85	1.00	0.91
18	0.00	1.46	1.56	0.84	1.00	0.90
20	0.00	1.46	1.55	0.84	1.00	0.89

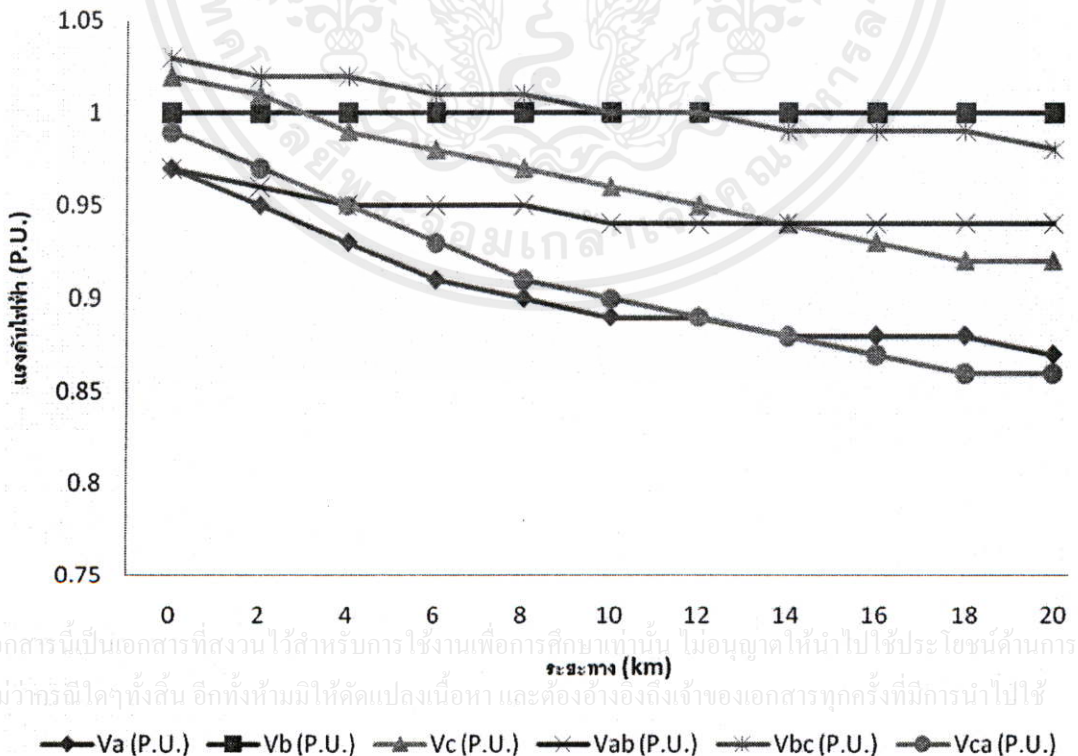
ตารางที่ 4.53 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.12	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.37	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.00
10	0.44	1.23	1.65	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.62	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.13	1.59	0.96	1.00	1.00
16	0.58	1.09	1.56	0.96	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.53	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.03	1.50	0.97	1.00	0.99

ตารางที่ 4.54 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ

เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

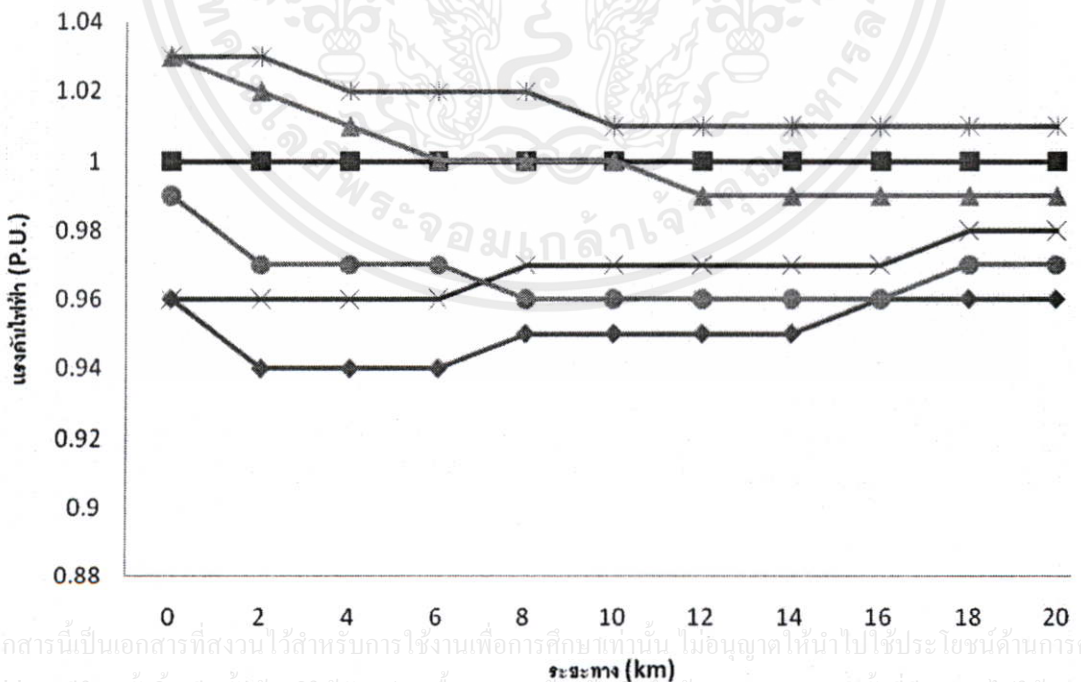
เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.03	0.99
2	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
4	0.93	1.00	0.99	0.95	1.02	0.95
6	0.91	1.00	0.98	0.95	1.01	0.93
8	0.90	1.00	0.97	0.95	1.01	0.91
10	0.89	1.00	0.96	0.94	1.00	0.90
12	0.89	1.00	0.95	0.94	1.00	0.89
14	0.88	1.00	0.94	0.94	0.99	0.88
16	0.88	1.00	0.93	0.94	0.99	0.87
18	0.88	1.00	0.92	0.94	0.99	0.86
20	0.87	1.00	0.92	0.94	0.98	0.86



รูปที่ 4.45 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 1 MW

ตารางที่ 4.55 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.94	1.00	1.02	0.96	1.03	0.97
4	0.94	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
6	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
8	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.96
10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.96
12	0.95	1.00	0.99	0.97	1.01	0.96
14	0.95	1.00	0.99	0.97	1.01	0.96
16	0.96	1.00	0.99	0.97	1.01	0.96
18	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97



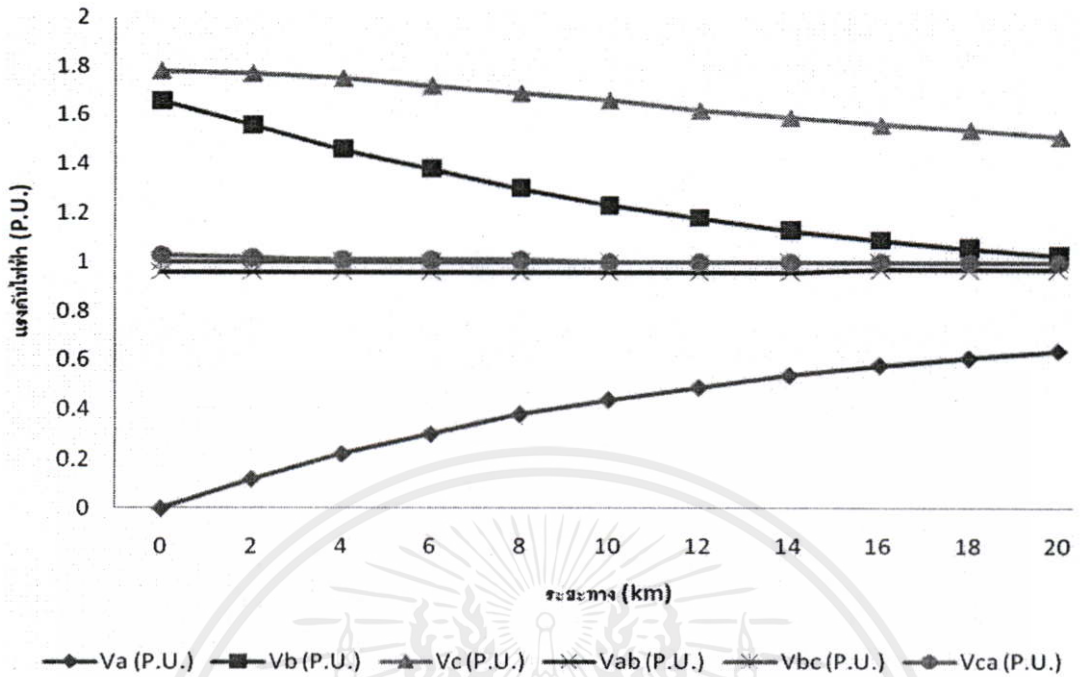
รูปที่ 4.46 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 1 MW

ตารางที่ 4.56 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 1 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.96	1.00	1.02	0.96	1.03	0.99
4	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
6	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
8	0.96	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97
10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
12	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
14	0.96	1.00	1.00	0.98	1.01	0.97
16	0.96	1.00	1.00	0.98	1.01	0.97
18	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.97
20	0.97	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97

ตารางที่ 4.57 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.12	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.38	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.01
10	0.44	1.23	1.66	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.62	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.13	1.59	0.96	1.00	1.00
16	0.58	1.09	1.56	0.97	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.54	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.03	1.51	0.97	1.00	1.00



รูปที่ 4.47 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 2 MW

ตารางที่ 4.58 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.06	1.59	1.76	0.94	1.00	1.02
4	0.16	1.49	1.74	0.94	1.00	1.01
6	0.25	1.40	1.71	0.95	1.00	1.00
8	0.33	1.33	1.68	0.95	1.00	1.00
10	0.40	1.26	1.65	0.95	1.00	1.00
12	0.45	1.21	1.62	0.95	1.00	0.99
14	0.50	1.16	1.59	0.96	1.00	0.99
16	0.54	1.12	1.56	0.96	1.00	0.99
18	0.58	1.08	1.54	0.96	1.00	0.99
20	0.61	1.06	1.51	0.96	1.00	0.99

ตารางที่ 4.59 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.00	1.61	1.75	0.93	1.00	1.01
4	0.00	1.58	1.72	0.91	1.00	0.99
6	0.00	1.55	1.69	0.89	1.00	0.98
8	0.00	1.52	1.67	0.88	1.00	0.96
10	0.00	1.50	1.64	0.87	1.00	0.95
12	0.00	1.49	1.62	0.86	1.00	0.94
14	0.00	1.48	1.60	0.86	1.00	0.92
16	0.00	1.47	1.58	0.85	1.00	0.91
18	0.00	1.47	1.57	0.85	1.00	0.91
20	0.00	1.47	1.56	0.85	1.00	0.90

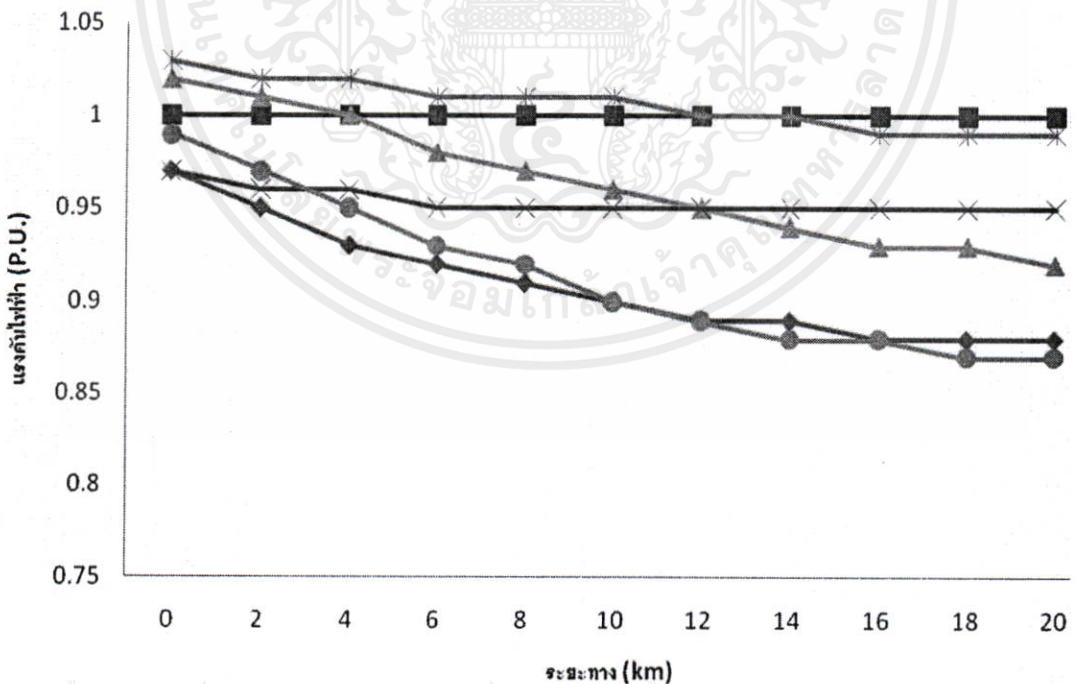
ตารางที่ 4.60 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.12	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.38	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.01
10	0.44	1.23	1.66	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.62	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.13	1.59	0.96	1.00	1.00
16	0.58	1.09	1.56	0.97	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.54	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.03	1.51	0.97	1.00	1.00

ตารางที่ 4.61 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ

เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.03	0.99
2	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
4	0.93	1.00	1.00	0.96	1.02	0.95
6	0.92	1.00	0.98	0.95	1.01	0.93
8	0.91	1.00	0.97	0.95	1.01	0.92
10	0.90	1.00	0.96	0.95	1.01	0.90
12	0.89	1.00	0.95	0.95	1.00	0.89
14	0.89	1.00	0.94	0.95	1.00	0.88
16	0.88	1.00	0.93	0.95	0.99	0.88
18	0.88	1.00	0.93	0.95	0.99	0.87
20	0.88	1.00	0.92	0.95	0.99	0.87

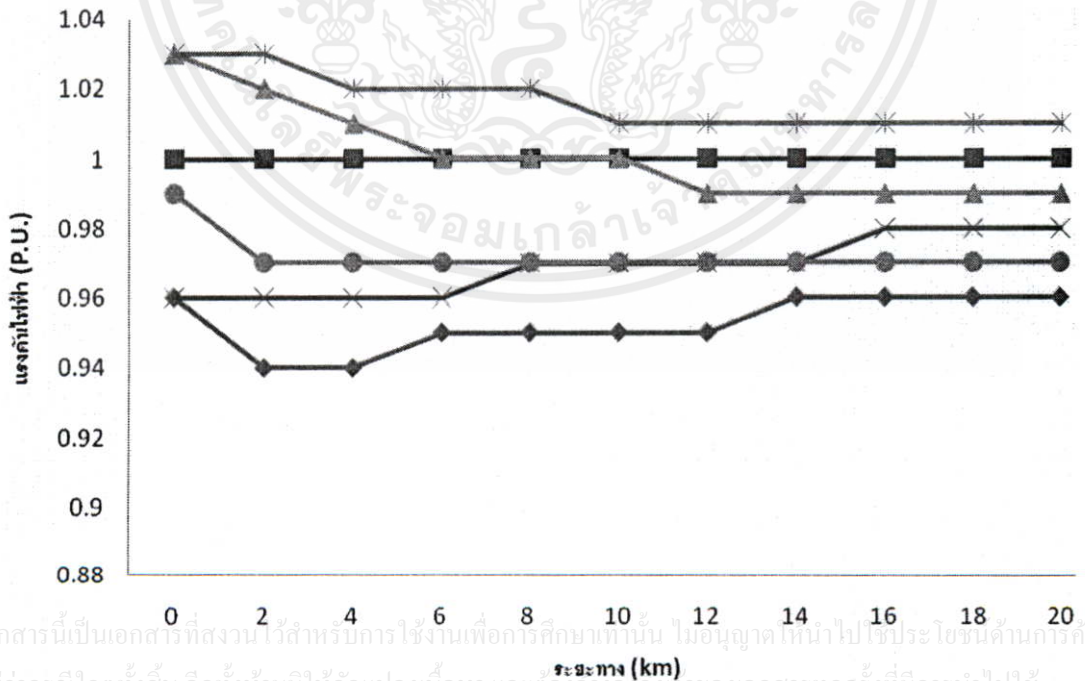


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม

รูปที่ 4.48 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 2 MW

ตารางที่ 4.62 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.94	1.00	1.02	0.96	1.03	0.97
4	0.94	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
6	0.95	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
8	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97
10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
12	0.95	1.00	0.99	0.97	1.01	0.97
14	0.96	1.00	0.99	0.97	1.01	0.97
16	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
18	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97



◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

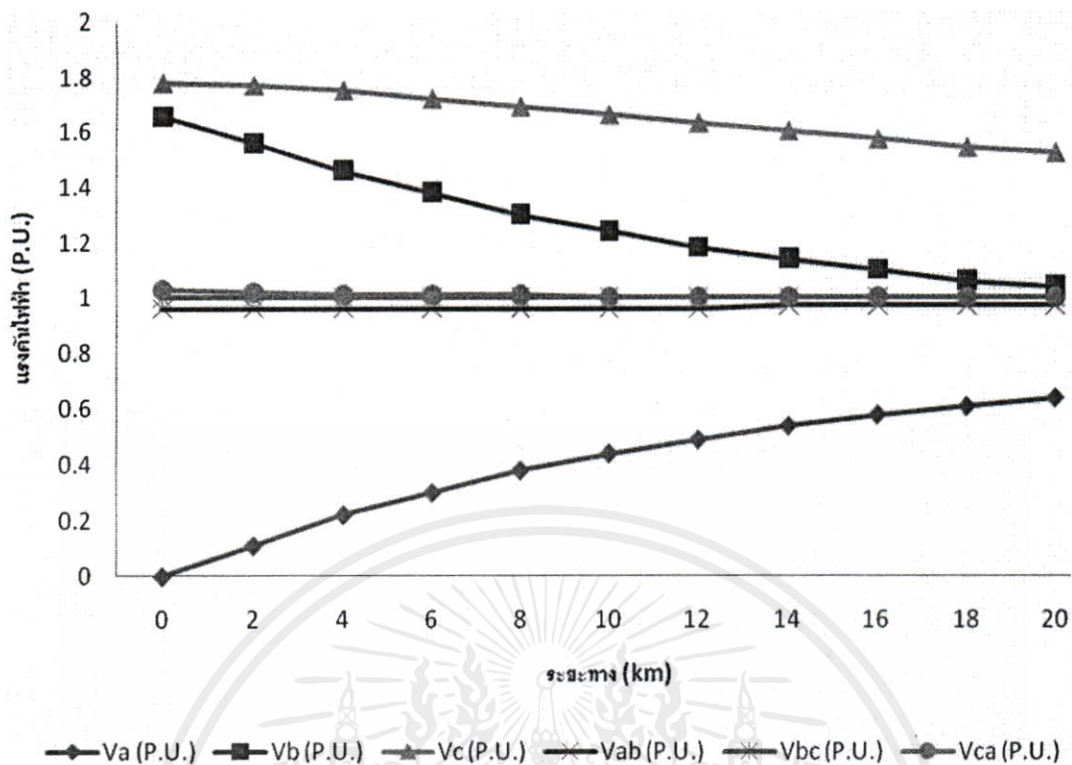
รูปที่ 4.49 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 2 MW

ตารางที่ 4.63 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 2 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.96	1.00	1.02	0.96	1.03	0.99
4	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
6	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
8	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98
12	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
14	0.96	1.00	1.00	0.98	1.01	0.97
16	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
18	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
20	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98

ตารางที่ 4.64 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.11	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.38	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.01
10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.63	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.14	1.60	0.97	1.00	1.00
16	0.58	1.10	1.57	0.97	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.54	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00



รูปที่ 4.50 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 3 MW

ตารางที่ 4.65 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.06	1.59	1.76	0.95	1.00	1.02
4	0.16	1.49	1.74	0.95	1.00	1.01
6	0.25	1.41	1.72	0.95	1.00	1.00
8	0.33	1.33	1.69	0.95	1.00	1.00
10	0.39	1.27	1.66	0.95	1.00	1.00
12	0.45	1.21	1.63	0.96	1.00	1.00
14	0.50	1.16	1.60	0.96	1.00	0.99
16	0.54	1.12	1.57	0.96	1.00	0.99
18	0.58	1.09	1.54	0.96	1.00	0.99
20	0.61	1.06	1.52	0.96	1.00	0.99

ตารางที่ 4.66 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิด พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.00	1.62	1.75	0.93	1.00	1.01
4	0.00	1.58	1.72	0.91	1.00	0.99
6	0.00	1.55	1.69	0.89	1.00	0.98
8	0.00	1.53	1.67	0.88	1.00	0.96
10	0.00	1.51	1.65	0.87	1.00	0.95
12	0.00	1.50	1.63	0.87	1.00	0.94
14	0.00	1.49	1.61	0.86	1.00	0.93
16	0.00	1.48	1.59	0.86	1.00	0.92
18	0.00	1.48	1.58	0.85	1.00	0.91
20	0.00	1.48	1.57	0.85	1.00	0.91

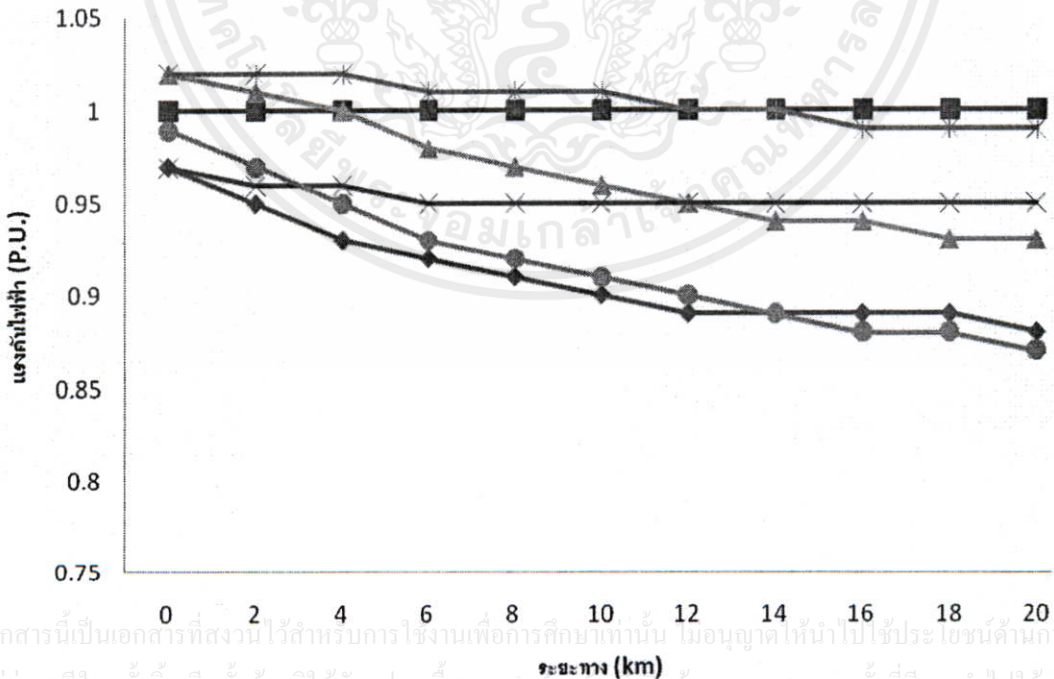
ตารางที่ 4.67 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22 kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิด พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
2	0.11	1.56	1.77	0.96	1.00	1.02
4	0.22	1.46	1.75	0.96	1.00	1.01
6	0.30	1.38	1.72	0.96	1.00	1.01
8	0.38	1.30	1.69	0.96	1.00	1.01
10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
12	0.49	1.18	1.63	0.96	1.00	1.00
14	0.54	1.14	1.60	0.97	1.00	1.00
16	0.58	1.10	1.57	0.97	1.00	1.00
18	0.61	1.06	1.54	0.97	1.00	1.00
20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00

ตารางที่ 4.68 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ

เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.02	0.99
2	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
4	0.93	1.00	1.00	0.96	1.02	0.95
6	0.92	1.00	0.98	0.95	1.01	0.93
8	0.91	1.00	0.97	0.95	1.01	0.92
10	0.90	1.00	0.96	0.95	1.01	0.91
12	0.89	1.00	0.95	0.95	1.00	0.90
14	0.89	1.00	0.94	0.95	1.00	0.89
16	0.89	1.00	0.94	0.95	0.99	0.88
18	0.89	1.00	0.93	0.95	0.99	0.88
20	0.88	1.00	0.93	0.95	0.99	0.87



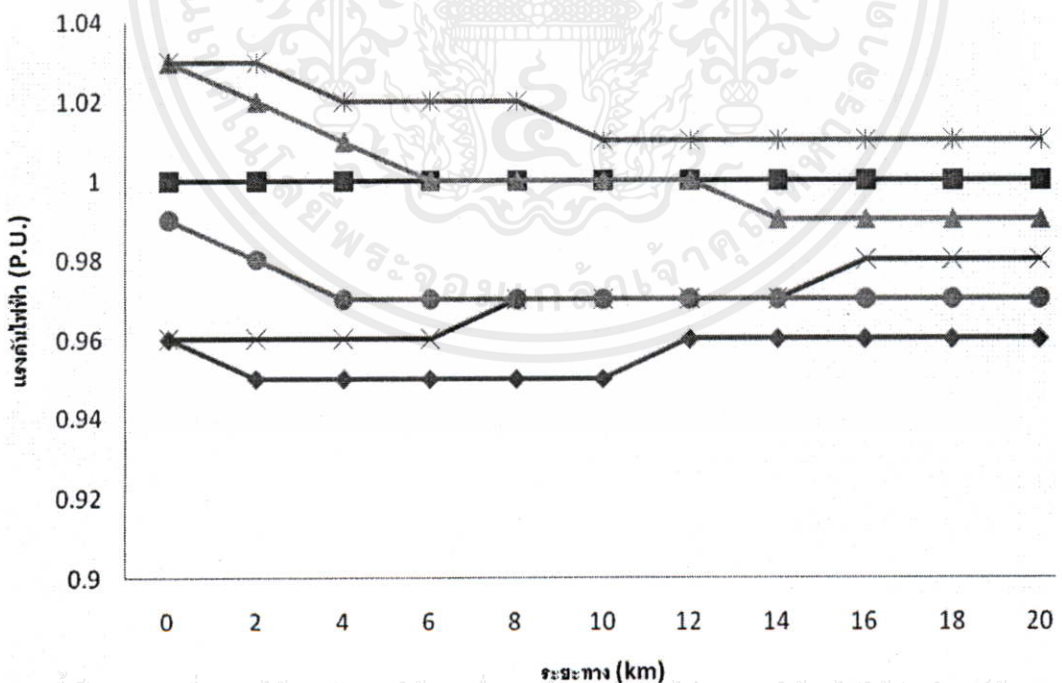
◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.51 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 3 MW

ตารางที่ 4.69 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1เมื่อ

เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.95	1.00	1.02	0.96	1.03	0.98
4	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
6	0.95	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
8	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97
10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
12	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
14	0.96	1.00	0.99	0.97	1.01	0.97
16	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
18	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97



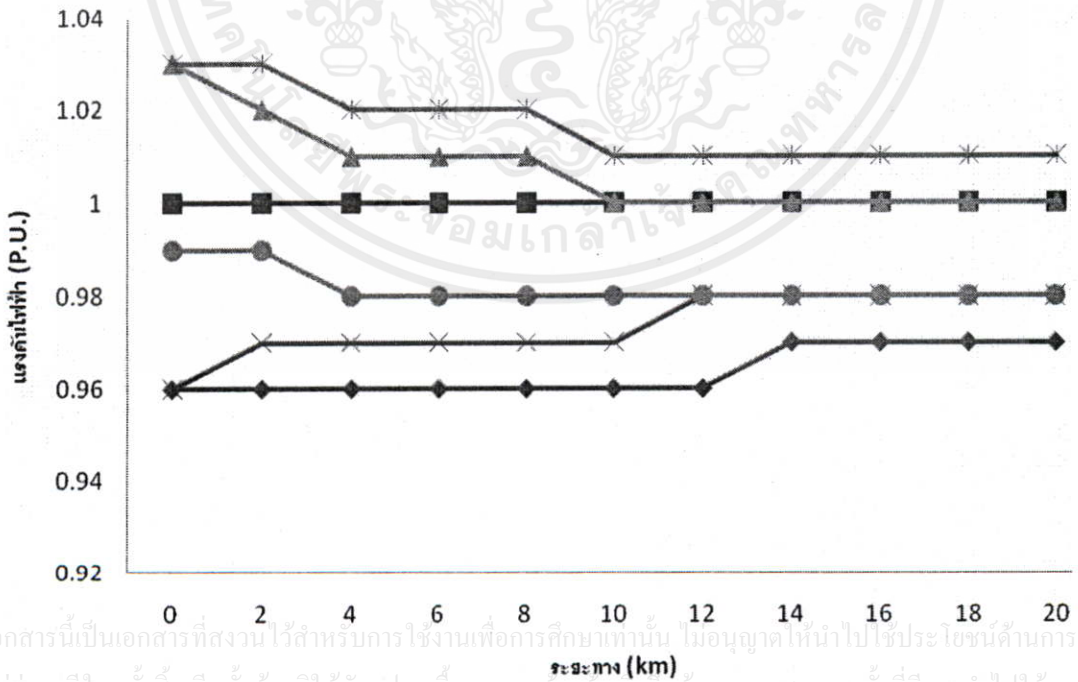
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม

◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.52 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 3 MW

ตารางที่ 4.70 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 3 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
2	0.96	1.00	1.02	0.97	1.03	0.99
4	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
6	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
8	0.96	1.00	1.01	0.97	1.02	0.98
10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98
12	0.96	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
14	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
16	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
18	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98
20	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98



รูปที่ 4.53 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER2 และมี SPP 3 MW

ตารางที่ 4.71 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 1 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.23	1.65	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.03	1.50	0.97	1.00	0.99
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.23	1.65	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.03	1.50	0.97	1.00	0.99
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.00	1.50	1.63	0.86	1.00	0.94
	20	0.00	1.46	1.55	0.84	1.00	0.89
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.23	1.65	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.03	1.50	0.97	1.00	0.99

ตารางที่ 4.72 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 1 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.96
	20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
Bus User2 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
	20	0.97	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97

ตารางที่ 4.73 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 2 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.40	1.26	1.65	0.95	1.00	1.00
	20	0.61	1.06	1.51	0.96	1.00	0.99
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.40	1.26	1.65	0.95	1.00	1.00
	20	0.61	1.06	1.51	0.96	1.00	0.99
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.00	1.50	1.64	0.87	1.00	0.95
	20	0.00	1.47	1.56	0.85	1.00	0.90
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.23	1.66	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.03	1.51	0.97	1.00	1.00

ตารางที่ 4.74 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 2 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
	20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
Bus User2 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98
	20	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98

ตารางที่ 4.75 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 3 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.39	1.27	1.66	0.95	1.00	1.00
	20	0.61	1.06	1.52	0.96	1.00	0.99
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.00	1.51	1.65	0.87	1.00	0.95
	20	0.00	1.48	1.57	0.85	1.00	0.91
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00

ตารางที่ 4.76 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 3 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
	20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
Bus User2 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98
	20	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98

ตารางที่ 4.77 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 3 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.39	1.27	1.66	0.95	1.00	1.00
	20	0.61	1.06	1.52	0.96	1.00	0.99
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.00	1.51	1.65	0.87	1.00	0.95
	20	0.00	1.48	1.57	0.85	1.00	0.91
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.66	1.78	0.96	1.00	1.03
	10	0.44	1.24	1.66	0.96	1.00	1.00
	20	0.64	1.04	1.52	0.97	1.00	1.00

ตารางที่ 4.78 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 3 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.95	1.00	1.00	0.97	1.01	0.97
	20	0.96	1.00	0.99	0.98	1.01	0.97
Bus User2 (P.U.)	0	0.96	1.00	1.03	0.96	1.03	0.99
	10	0.96	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98
	20	0.97	1.00	1.00	0.98	1.01	0.98

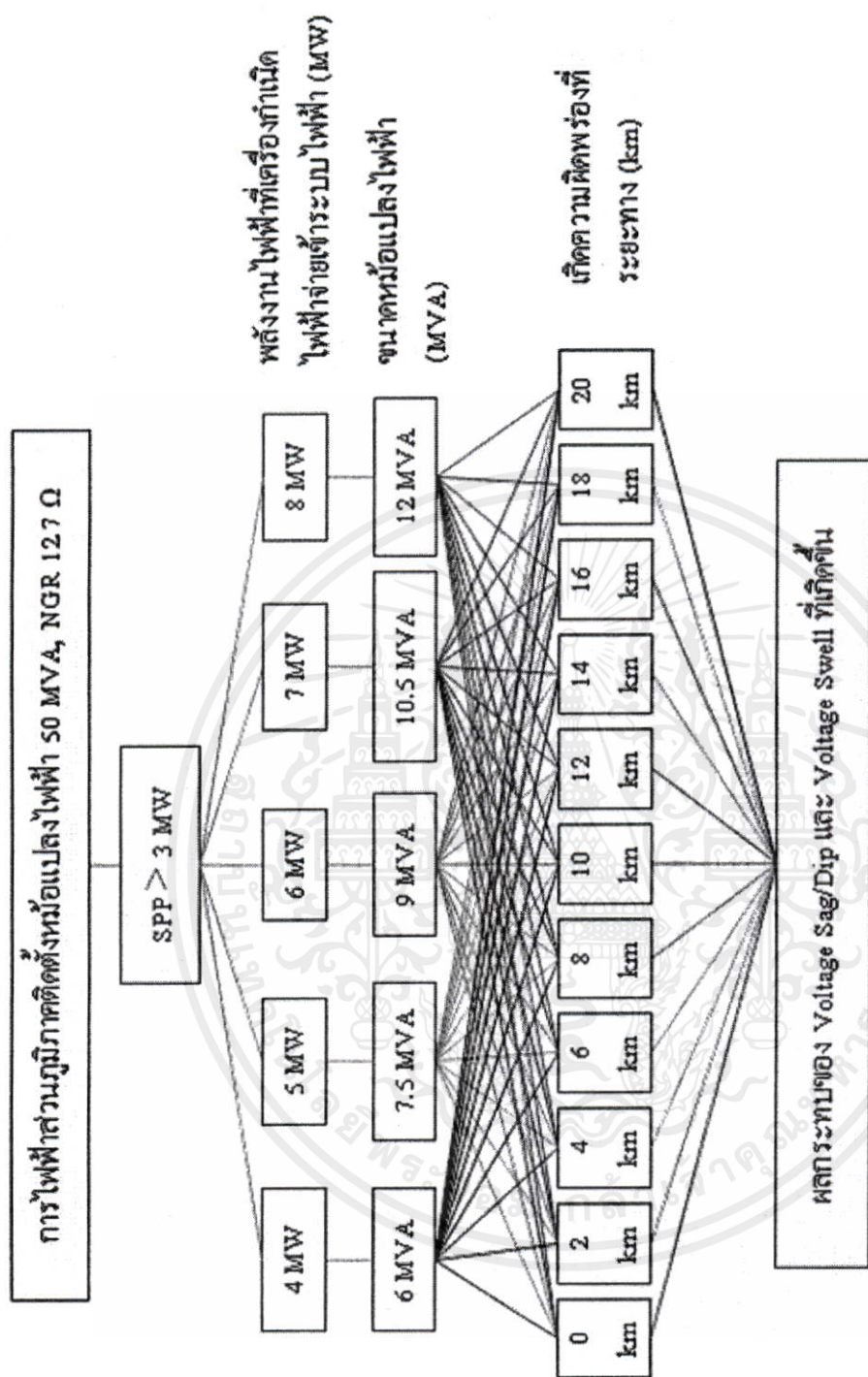
ตารางที่ 4.79 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด SPP (MW)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP ($SPP \leq 3$)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
1 MW	0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.03	0.99
	10	0.89	1.00	0.96	0.94	1.00	0.90
	20	0.87	1.00	0.92	0.94	0.98	0.86
2 MW	0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.03	0.99
	10	0.90	1.00	0.96	0.95	1.01	0.90
	20	0.88	1.00	0.92	0.95	0.99	0.87
3 MW	0	0.97	1.00	1.02	0.97	1.02	0.99
	10	0.90	1.00	0.96	0.95	1.01	0.91
	20	0.88	1.00	0.93	0.95	0.99	0.87

4.4.3 กรณีมี SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

การจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW จะใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าเช่นเดียวกับกรณีไม่เกิน 3 MW แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP ในวงจรที่ 1 จะต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าตามเงื่อนไขที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระบุให้ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเกิน 5 MVA เป็นแบบ Yd ในการจำลองจะไม่พิจารณาปัจจัยเกี่ยวกับโหลดเนื่องจากผลการศึกษาในกรณีไม่มี SPP พบว่ามีผลต่อขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell น้อยมาก โดยจะเปลี่ยนขั้นตอนการศึกษาจากรูปที่ 4.7 เป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.90 และดำเนินการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือระยะทางที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ในวงจรที่ 1 ที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b) เพื่อพิจารณาผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ของแรงดันไฟฟ้าที่ Bus name ชื่อ TP1, 22kV (1a), 22 kV (1b), 22 kV (2), SPP, USER1 และ USER2

นอกจากนั้นการศึกษาในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW จะทำการศึกษายปัจจัยเกี่ยวกับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อปัญหา Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าตามตารางที่ 4.59 ให้สัมพันธ์กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 4.60 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 ขั้นตอนการจำลองในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

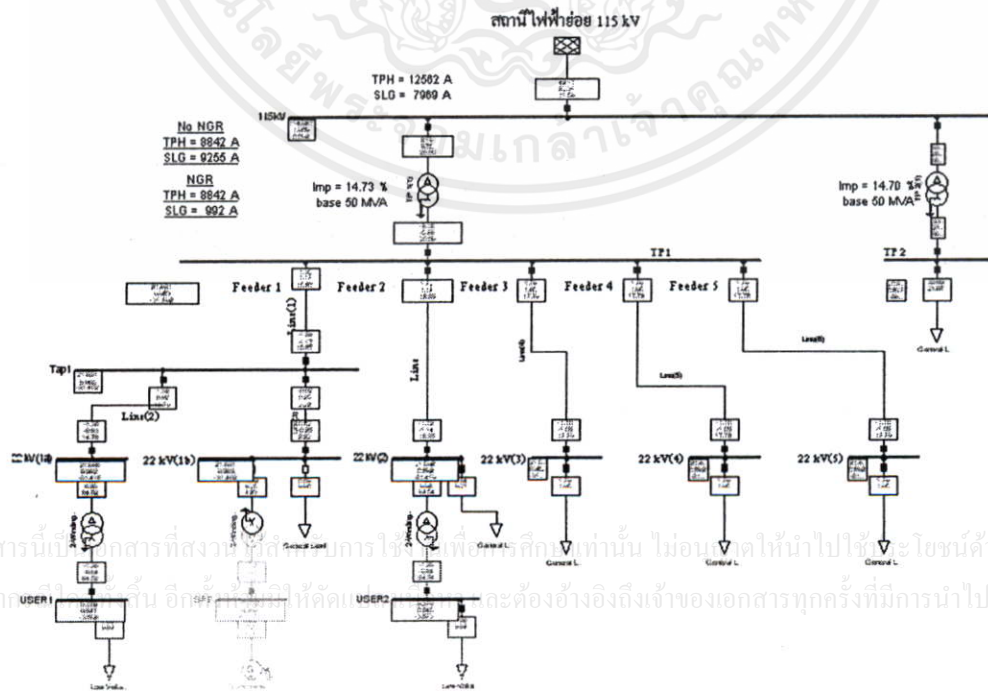
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.80 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW

ขนาด (kVA)	No Load Losses (วัตต์)	Load Losses (วัตต์)	Vector Group	อิมพีแดนซ์ ที่ 75 °C (%)
6,000	3,400	39,400	Ynd1	7
7,500	3,800	41,600	Ynd1	7
9,000	4,090	44,100	Ynd1	7
10,500	4,240	46,400	Ynd1	8
12,000	5,480	50,100	Ynd1	8

ตารางที่ 4.81 ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW

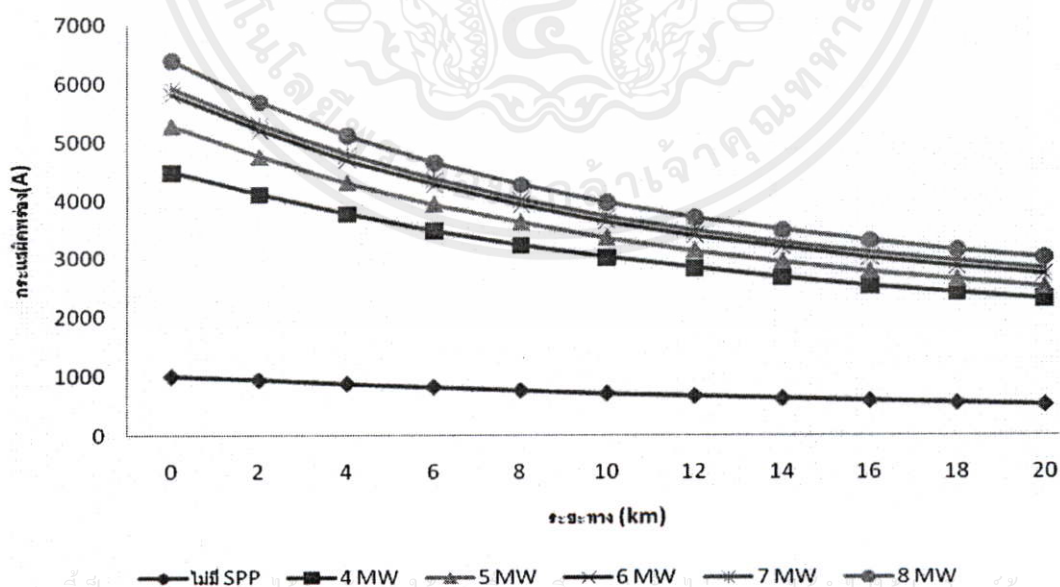
ขนาด (MW)	P.F.	Xd (P.U.)	Xq (P.U.)	xd' (P.U.)	xd'' (P.U.)	R2 (P.U.)	X2 (P.U.)	R0 (P.U.)	X0 (P.U.)
4	0.8	2.0	1.75	0.256	0.168	0.0	0.2	0.0	0.1
5	0.8	2.34	2.22	0.26	0.24	0.0	0.2	0.0	0.1
6	0.8	2.45	2.43	0.2	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1
7	0.8	2.71	2.59	0.21	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1
8	0.8	2.93	2.65	0.27	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1



รูปที่ 4.55 แบบจำลองในกรณีศึกษาที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

ตารางที่ 4.82 กระแสผิดพ่วงแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ

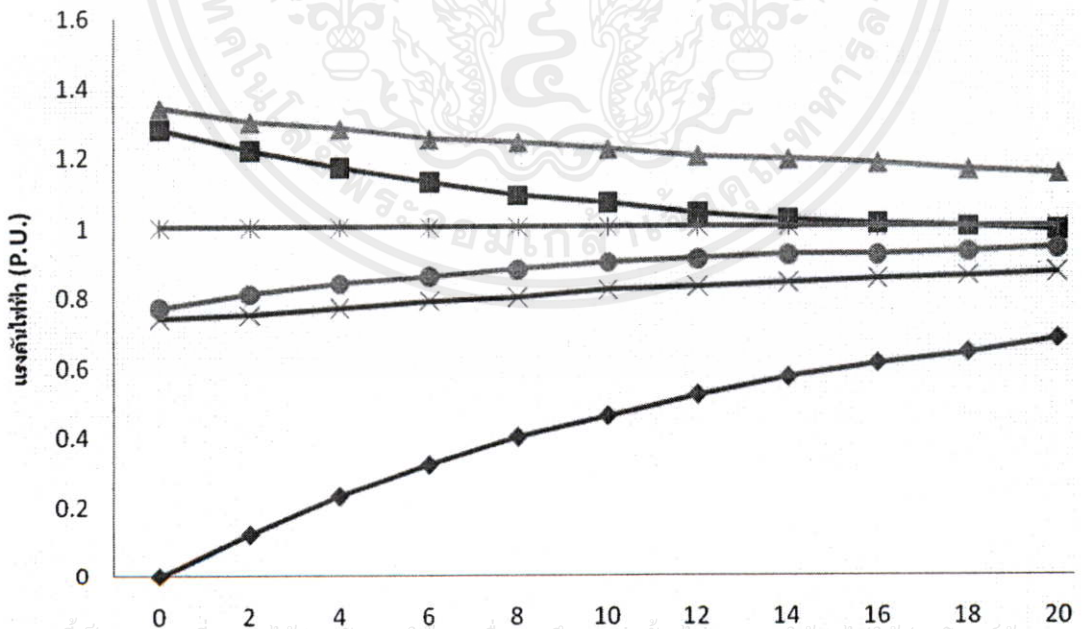
ความผิดพ่วงที่ Bus 22 kV (Ib)	กระแสผิดพ่วงแบบ Single Line to Ground Fault (A) (สถานีไฟฟ้าย่อยติดตั้ง NGR 12.7 Ω)						
	ระยะทาง (km)	ไม่มี SPP	SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบขนาด				
			4 MW	5 MW	6 MW	7 MW	8 MW
0	991.50	4,482.95	5,271.54	5,820.23	5,916.29	6,395.52	
2	931.16	4,093.93	4,743.54	5,202.82	5,293.23	5,690.52	
4	870.11	3,756.52	4,297.32	4,689.13	4,775.87	5,112.42	
6	811.25	3,467.12	3,924.69	4,267.26	4,352.11	4,645.17	
8	756.09	3,219.08	3,613.10	3,919.89	4,004.09	4,266.04	
10	705.32	3,005.83	3,350.96	3,631.60	3,715.96	3,955.39	
12	659.05	2,821.59	3,128.71	3,390.01	3,475.03	3,697.94	
14	617.14	2,661.51	2,938.69	3,185.54	3,271.51	3,482.09	
16	579.27	2,521.59	2,774.91	3,010.81	3,097.90	3,299.15	
18	545.06	2,398.57	2,632.62	2,860.17	2,948.45	3,142.53	
20	514.13	2,289.79	2,508.10	2,729.20	2,818.70	3,007.22	



รูปที่ 4.56 เปรียบเทียบกระแสผิดพ่วงแบบ Single Line to Ground Fault (A) ที่เฟส a ที่ระยะทางต่างๆ กรณีระบบไฟฟ้าติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ทั้งในกรณีที่ไม่มี SPP และมี SPP ขนาด > 3 MW

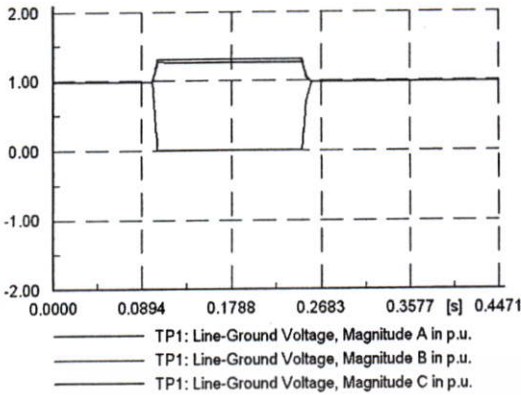
ตารางที่ 4.83 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name ชื่อ 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
2	0.12	1.22	1.30	0.75	1.00	0.81
4	0.23	1.17	1.28	0.77	1.00	0.84
6	0.32	1.13	1.25	0.79	1.00	0.86
8	0.40	1.09	1.24	0.80	1.00	0.88
10	0.46	1.07	1.22	0.82	1.00	0.90
12	0.52	1.04	1.20	0.83	1.00	0.91
14	0.57	1.02	1.19	0.84	1.00	0.92
16	0.61	1.01	1.18	0.85	1.00	0.92
18	0.64	1.00	1.16	0.86	1.00	0.93
20	0.68	0.99	1.15	0.87	1.00	0.94

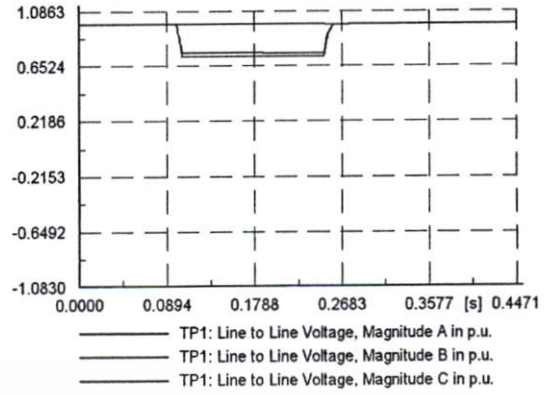


◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.57 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 4 MW



(a)



(b)

รูปที่ 4.58 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ
 (a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.84 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
2	0.06	1.24	1.26	0.74	1.00	0.76
4	0.17	1.19	1.24	0.75	1.00	0.79
6	0.27	1.14	1.22	0.77	1.00	0.82
8	0.35	1.10	1.21	0.78	1.00	0.84
10	0.42	1.07	1.19	0.80	1.00	0.86
12	0.48	1.05	1.18	0.81	1.00	0.88
14	0.53	1.03	1.17	0.82	1.00	0.89
16	0.57	1.02	1.16	0.84	1.00	0.90
18	0.61	1.00	1.15	0.85	1.00	0.91
20	0.64	0.99	1.14	0.85	1.00	0.91

ตารางที่ 4.85 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
2	0.00	1.26	1.22	0.73	1.00	0.71
4	0.00	1.23	1.13	0.71	1.00	0.65
6	0.00	1.21	1.06	0.70	1.00	0.61
8	0.00	1.19	1.01	0.69	1.01	0.58
10	0.00	1.17	0.97	0.68	1.01	0.56
12	0.00	1.16	0.94	0.67	1.01	0.54
14	0.00	1.15	0.92	0.66	1.01	0.53
16	0.00	1.13	0.90	0.65	1.01	0.52
18	0.00	1.12	0.88	0.65	1.01	0.51
20	0.00	1.11	0.87	0.64	1.01	0.50

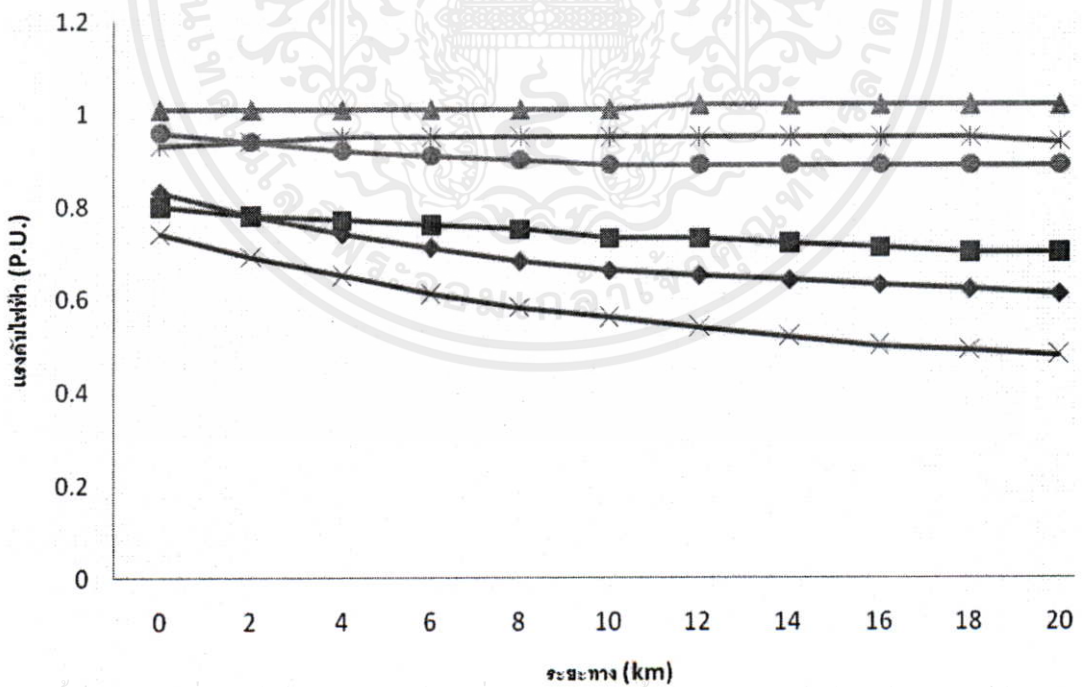
ตารางที่ 4.86 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
2	0.12	1.22	1.30	0.75	1.00	0.81
4	0.23	1.17	1.28	0.77	1.00	0.84
6	0.32	1.13	1.25	0.79	1.00	0.86
8	0.40	1.09	1.24	0.80	1.00	0.88
10	0.46	1.07	1.22	0.82	1.00	0.90
12	0.52	1.04	1.20	0.83	1.00	0.91
14	0.57	1.02	1.19	0.84	1.00	0.92
16	0.61	1.01	1.18	0.85	1.00	0.92
18	0.64	1.00	1.16	0.86	1.00	0.93
20	0.68	0.99	1.15	0.87	1.00	0.94

ตารางที่ 4.87 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ

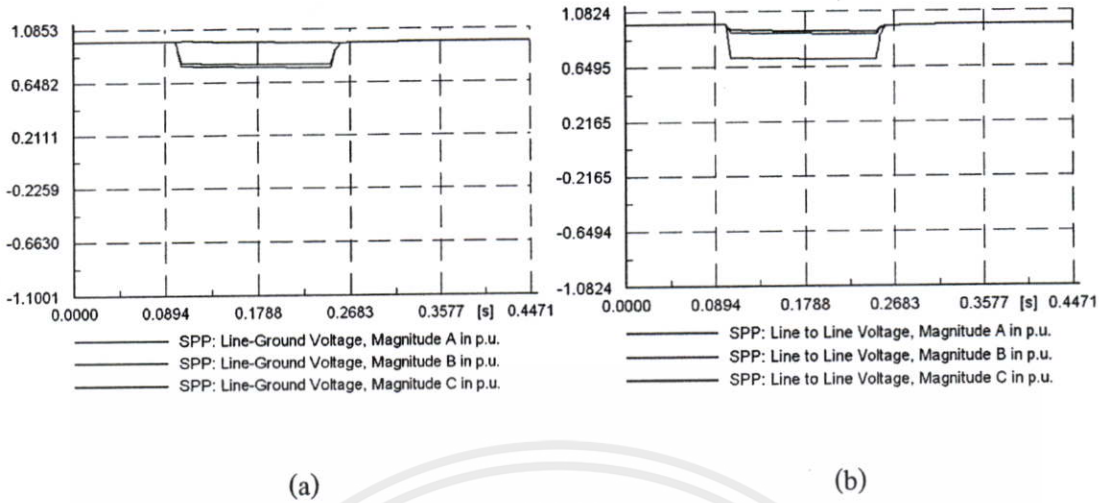
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.83	0.80	1.01	0.74	0.93	0.96
2	0.78	0.78	1.01	0.69	0.94	0.94
4	0.74	0.77	1.01	0.65	0.95	0.92
6	0.71	0.76	1.01	0.61	0.95	0.91
8	0.68	0.75	1.01	0.58	0.95	0.90
10	0.66	0.73	1.01	0.56	0.95	0.89
12	0.65	0.73	1.02	0.54	0.95	0.89
14	0.64	0.72	1.02	0.52	0.95	0.89
16	0.63	0.71	1.02	0.50	0.95	0.89
18	0.62	0.70	1.02	0.49	0.95	0.89
20	0.61	0.70	1.02	0.48	0.94	0.89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า

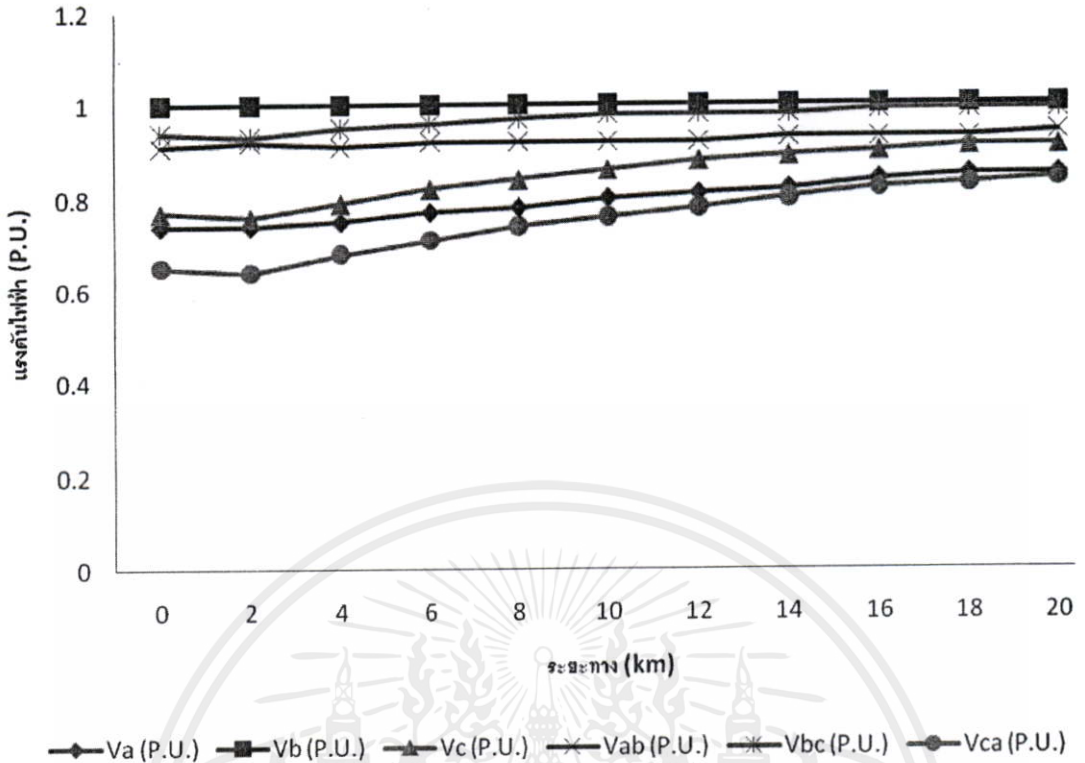
รูปที่ 4.59 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 4 MW



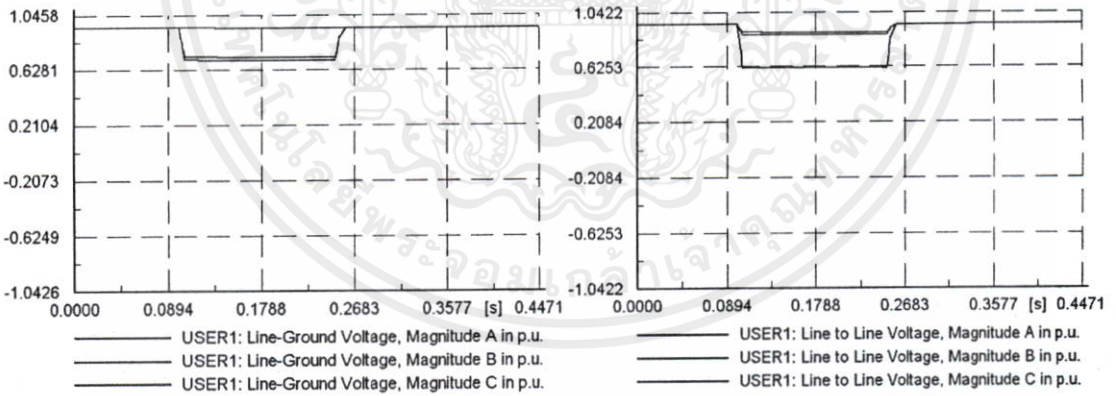
รูปที่ 4.60 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อม โยงอยู่ในระบบ
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.88 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.74	1.00	0.77	0.91	0.94	0.65
2	0.74	1.00	0.76	0.92	0.93	0.64
4	0.75	1.00	0.79	0.91	0.95	0.68
6	0.77	1.00	0.82	0.92	0.96	0.71
8	0.78	1.00	0.84	0.92	0.97	0.74
10	0.80	1.00	0.86	0.92	0.98	0.76
12	0.81	1.00	0.88	0.92	0.98	0.78
14	0.82	1.00	0.89	0.93	0.98	0.80
16	0.84	1.00	0.90	0.93	0.99	0.82
18	0.85	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
20	0.85	1.00	0.91	0.94	0.99	0.84



รูปที่ 4.61 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 4 MW



(b)

(b)

รูปที่ 4.62 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 4 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

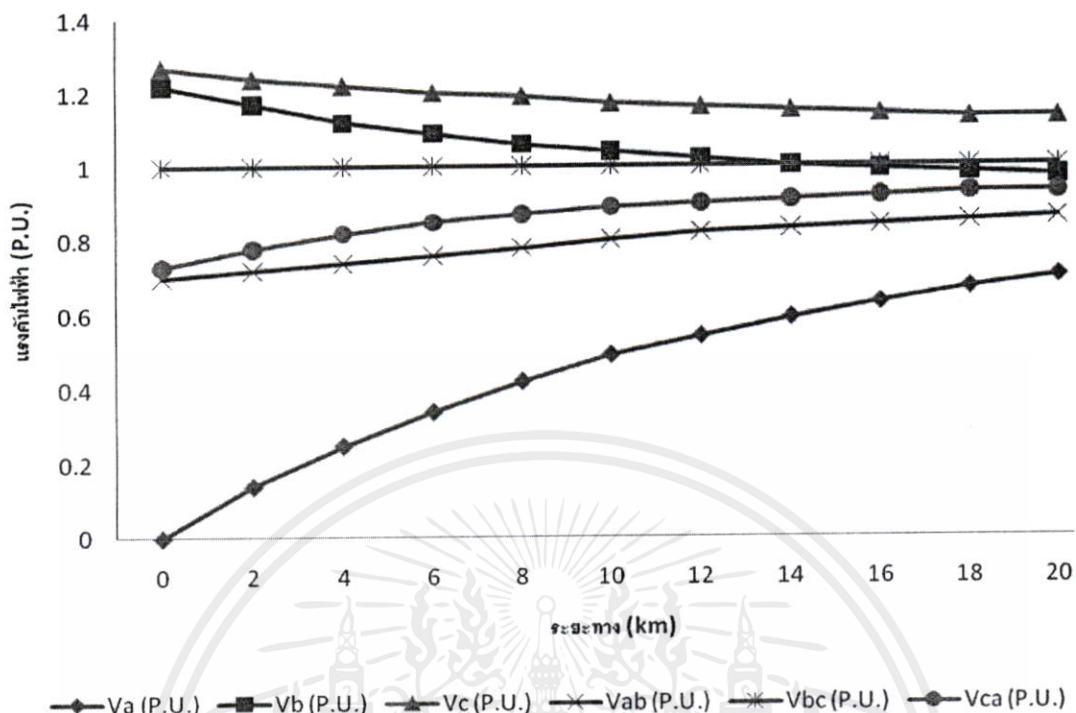
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.89 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

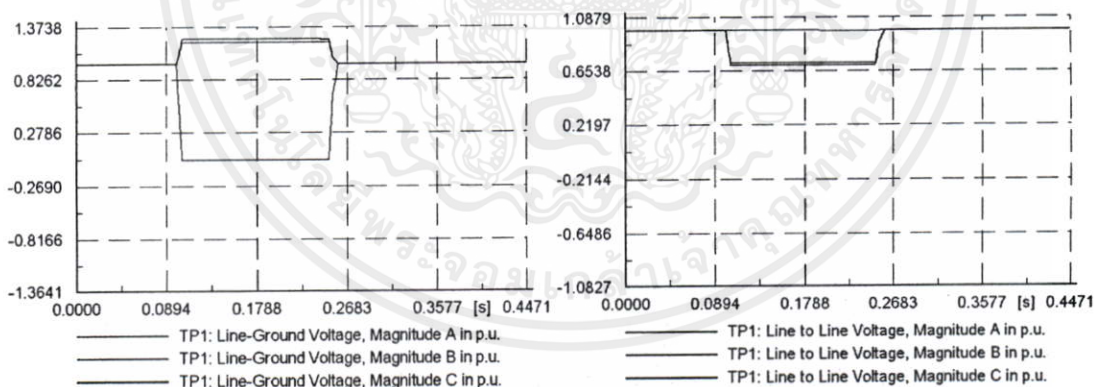
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 4 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.74	1.00	0.77	0.91	0.94	0.65
2	0.75	1.00	0.81	0.91	0.96	0.69
4	0.77	1.00	0.84	0.91	0.97	0.73
6	0.79	1.00	0.86	0.91	0.98	0.76
8	0.80	1.00	0.88	0.92	0.99	0.78
10	0.82	1.00	0.90	0.92	0.99	0.80
12	0.83	1.00	0.91	0.93	0.99	0.82
14	0.84	1.00	0.92	0.93	1.00	0.84
16	0.85	1.00	0.92	0.93	1.00	0.85
18	0.86	1.00	0.93	0.94	1.00	0.86
20	0.87	1.00	0.94	0.94	1.00	0.87

ตารางที่ 4.90 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
2	0.14	1.17	1.24	0.72	1.00	0.78
4	0.25	1.12	1.22	0.74	1.00	0.82
6	0.34	1.09	1.20	0.76	1.00	0.85
8	0.42	1.06	1.19	0.78	1.00	0.87
10	0.49	1.04	1.17	0.80	1.00	0.89
12	0.54	1.02	1.16	0.82	1.00	0.90
14	0.59	1.00	1.15	0.83	1.00	0.91
16	0.63	0.99	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.67	0.98	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.13	0.86	1.00	0.93



รูปที่ 4.63 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 5 MW



(a)

(b)

รูปที่ 4.64 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.91 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
2	0.07	1.18	1.19	0.70	1.00	0.72
4	0.19	1.14	1.18	0.72	1.00	0.77
6	0.29	1.10	1.17	0.74	1.00	0.80
8	0.37	1.07	1.16	0.76	1.00	0.83
10	0.44	1.04	1.15	0.78	1.00	0.85
12	0.50	1.02	1.14	0.79	1.00	0.87
14	0.55	1.01	1.13	0.81	1.00	0.88
16	0.59	0.99	1.13	0.82	1.00	0.89
18	0.63	0.98	1.12	0.83	1.00	0.90
20	0.66	0.98	1.11	0.84	1.00	0.91

ตารางที่ 4.92 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

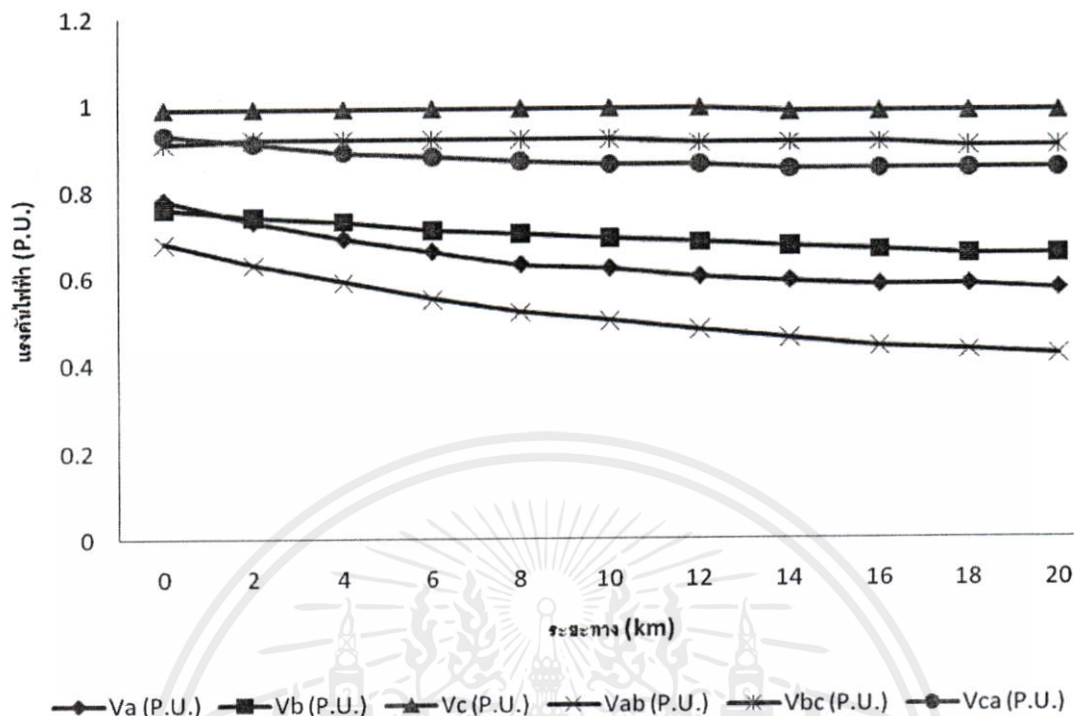
เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
2	0.00	1.20	1.15	0.69	1.00	0.66
4	0.00	1.18	1.06	0.68	1.00	0.61
6	0.00	1.16	1.00	0.67	1.00	0.58
8	0.00	1.14	0.95	0.66	1.00	0.55
10	0.00	1.12	0.92	0.65	0.99	0.53
12	0.00	1.10	0.89	0.64	0.99	0.51
14	0.00	1.09	0.87	0.63	0.99	0.50
16	0.00	1.07	0.86	0.62	0.99	0.49
18	0.00	1.06	0.85	0.61	0.99	0.49
20	0.00	1.05	0.84	0.61	0.99	0.48

ตารางที่ 4.93 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

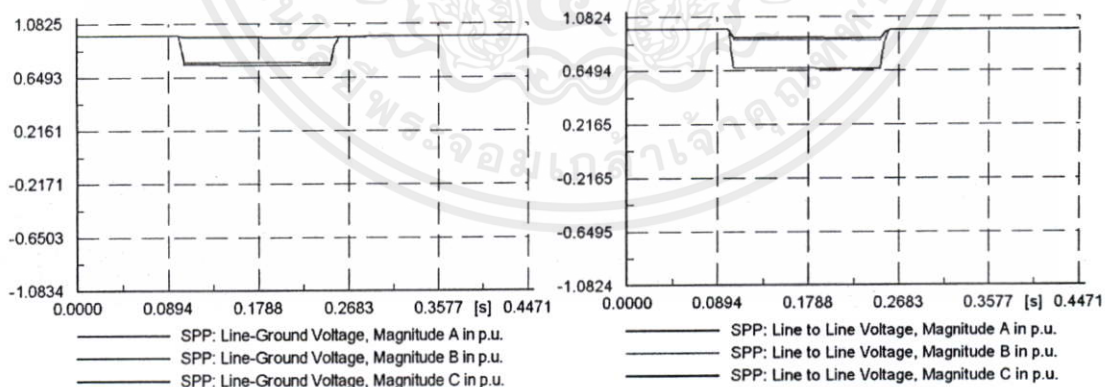
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
2	0.14	1.17	1.24	0.72	1.00	0.78
4	0.25	1.12	1.22	0.74	1.00	0.82
6	0.34	1.09	1.20	0.76	1.00	0.85
8	0.42	1.06	1.19	0.78	1.00	0.87
10	0.49	1.04	1.17	0.80	1.00	0.89
12	0.54	1.02	1.16	0.82	1.00	0.90
14	0.59	1.00	1.15	0.83	1.00	0.91
16	0.63	0.99	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.67	0.98	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.13	0.86	1.00	0.93

ตารางที่ 4.94 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.78	0.76	0.99	0.68	0.91	0.93
2	0.73	0.74	0.99	0.63	0.92	0.91
4	0.69	0.73	0.99	0.59	0.92	0.89
6	0.66	0.71	0.99	0.55	0.92	0.88
8	0.63	0.70	0.99	0.52	0.92	0.87
10	0.62	0.69	0.99	0.50	0.92	0.86
12	0.60	0.68	0.99	0.48	0.91	0.86
14	0.59	0.67	0.98	0.46	0.91	0.85
16	0.58	0.66	0.98	0.44	0.91	0.85
18	0.58	0.65	0.98	0.43	0.90	0.85
20	0.57	0.65	0.98	0.42	0.90	0.85



รูปที่ 4.65 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 5 MW



(a)

(b)

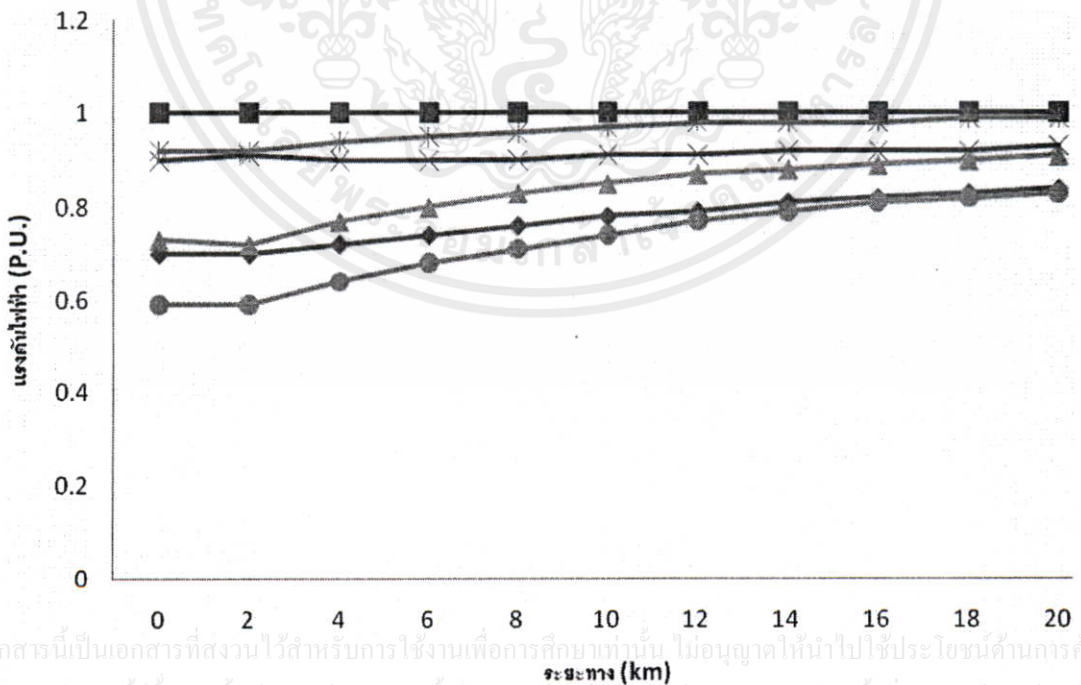
รูปที่ 4.66 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

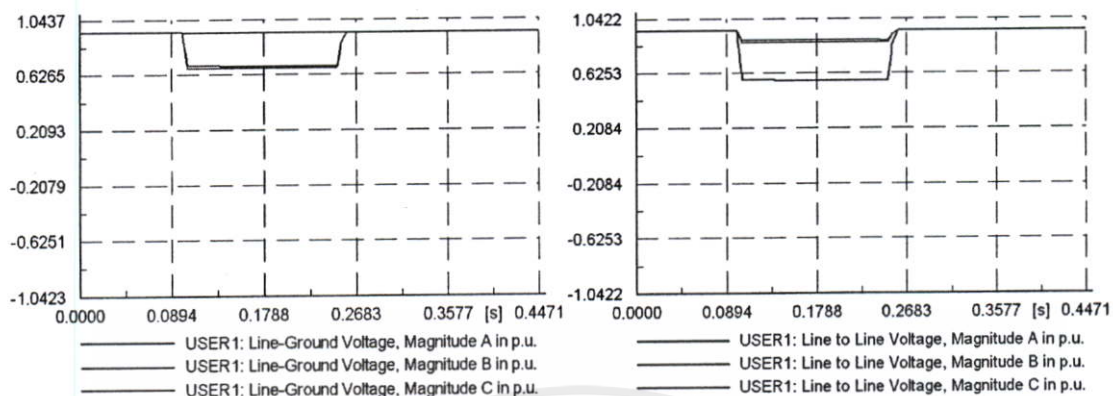
ตารางที่ 4.95 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อ
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.70	1.00	0.73	0.90	0.92	0.59
2	0.70	1.00	0.72	0.91	0.92	0.59
4	0.72	1.00	0.77	0.90	0.94	0.64
6	0.74	1.00	0.80	0.90	0.95	0.68
8	0.76	1.00	0.83	0.90	0.96	0.71
10	0.78	1.00	0.85	0.91	0.97	0.74
12	0.79	1.00	0.87	0.91	0.98	0.77
14	0.81	1.00	0.88	0.92	0.98	0.79
16	0.82	1.00	0.89	0.92	0.98	0.81
18	0.83	1.00	0.90	0.92	0.99	0.82
20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83



◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.67 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 5 MW



(a)

(b)

รูปที่ 4.68 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 5 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

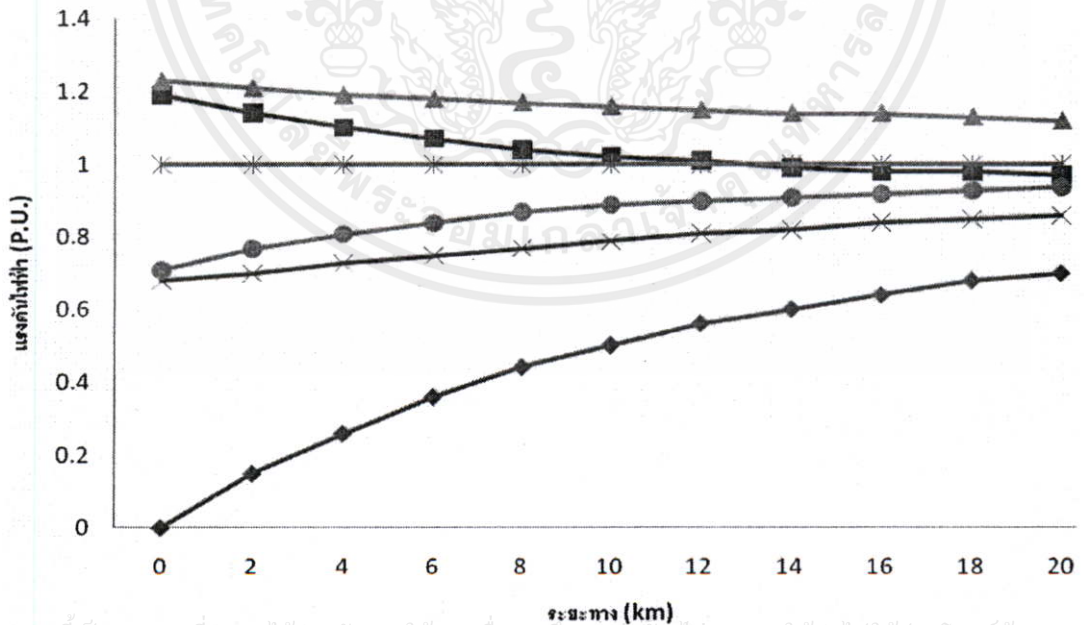
ตารางที่ 4.96 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 5 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.70	1.00	0.73	0.90	0.92	0.59
2	0.72	1.00	0.78	0.90	0.95	0.65
4	0.74	1.00	0.82	0.90	0.96	0.69
6	0.76	1.00	0.85	0.90	0.97	0.73
8	0.78	1.00	0.87	0.90	0.98	0.76
10	0.80	1.00	0.89	0.91	0.99	0.79
12	0.82	1.00	0.90	0.91	0.99	0.81
14	0.83	1.00	0.91	0.92	0.99	0.83
16	0.84	1.00	0.92	0.92	1.00	0.84
18	0.85	1.00	0.93	0.93	1.00	0.85
20	0.86	1.00	0.93	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.97 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อ

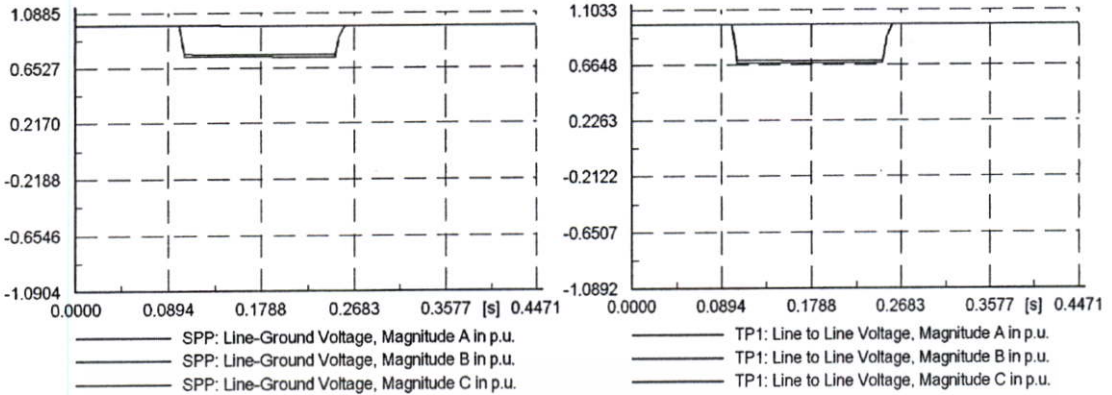
เกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
2	0.15	1.14	1.21	0.70	1.00	0.77
4	0.26	1.10	1.19	0.73	1.00	0.81
6	0.36	1.07	1.18	0.75	1.00	0.84
8	0.44	1.04	1.17	0.77	1.00	0.87
10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
12	0.56	1.01	1.15	0.81	1.00	0.90
14	0.60	0.99	1.14	0.82	1.00	0.91
16	0.64	0.98	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.68	0.98	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94



Legend: ◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.69 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 6 MW



(a)

(b)

รูปที่ 4.70 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.98 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
2	0.07	1.16	1.16	0.69	1.00	0.71
4	0.20	1.11	1.15	0.70	1.00	0.76
6	0.30	1.08	1.15	0.73	1.00	0.80
8	0.38	1.05	1.14	0.75	1.00	0.83
10	0.45	1.03	1.14	0.77	1.00	0.85
12	0.51	1.01	1.13	0.79	1.00	0.87
14	0.56	1.00	1.12	0.80	1.00	0.88
16	0.60	0.99	1.12	0.82	1.00	0.89
18	0.64	0.98	1.11	0.83	1.00	0.90
20	0.67	0.97	1.11	0.84	1.00	0.91

ตารางที่ 4.99 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
2	0.00	1.17	1.11	0.68	1.00	0.64
4	0.00	1.15	1.03	0.67	1.00	0.59
6	0.00	1.14	0.97	0.66	1.00	0.56
8	0.00	1.12	0.93	0.65	1.00	0.54
10	0.00	1.10	0.90	0.64	1.00	0.52
12	0.00	1.09	0.88	0.63	1.00	0.51
14	0.00	1.07	0.87	0.62	1.00	0.50
16	0.00	1.06	0.86	0.61	1.00	0.49
18	0.00	1.05	0.85	0.61	1.00	0.49
20	0.00	1.04	0.84	0.60	1.00	0.49

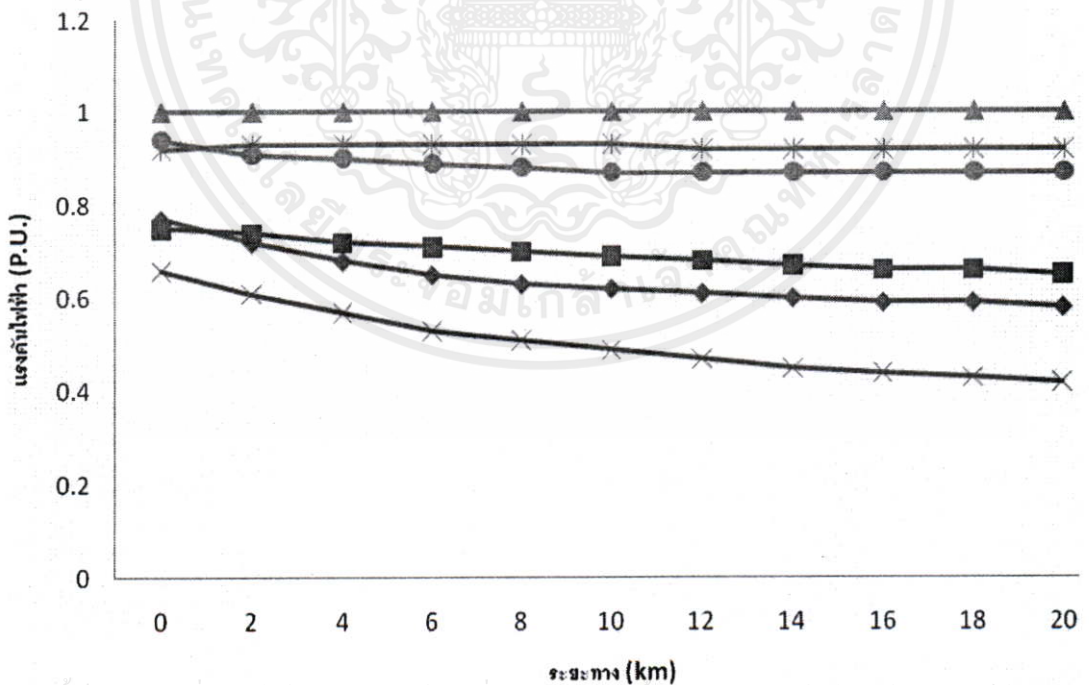
ตารางที่ 4.100 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
2	0.15	1.14	1.21	0.70	1.00	0.77
4	0.26	1.10	1.19	0.73	1.00	0.81
6	0.36	1.07	1.18	0.75	1.00	0.84
8	0.44	1.04	1.17	0.77	1.00	0.87
10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
12	0.56	1.01	1.15	0.81	1.00	0.90
14	0.60	0.99	1.14	0.82	1.00	0.91
16	0.64	0.98	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.68	0.98	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94

ตารางที่ 4.101 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิด

ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

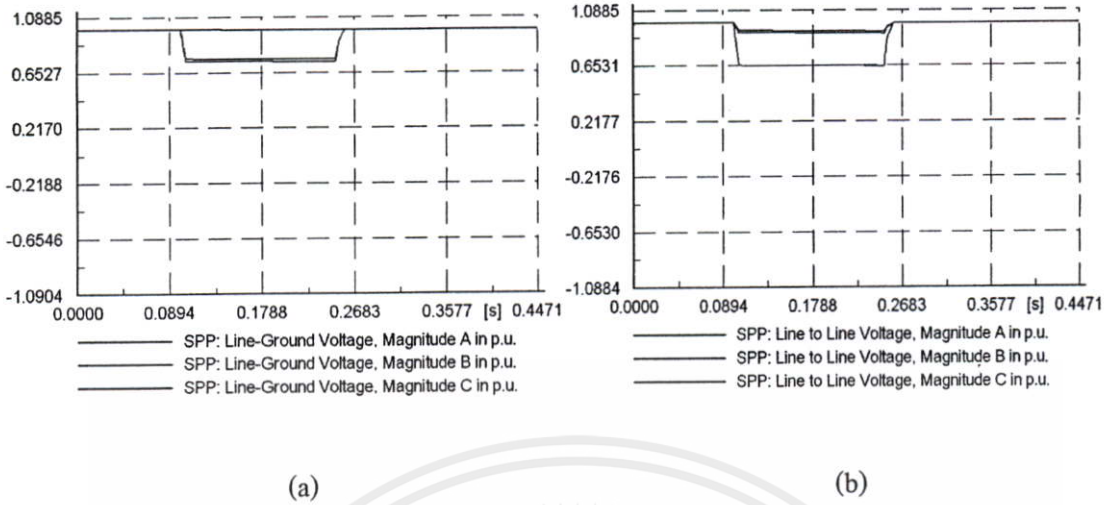
เกิดความผิดปกติที่ พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.77	0.75	1.00	0.66	0.92	0.94
2	0.72	0.74	1.00	0.61	0.93	0.91
4	0.68	0.72	1.00	0.57	0.93	0.90
6	0.65	0.71	1.00	0.53	0.93	0.89
8	0.63	0.70	1.00	0.51	0.93	0.88
10	0.62	0.69	1.00	0.49	0.93	0.87
12	0.61	0.68	1.00	0.47	0.92	0.87
14	0.60	0.67	1.00	0.45	0.92	0.87
16	0.59	0.66	1.00	0.44	0.92	0.87
18	0.59	0.66	1.00	0.43	0.92	0.87
20	0.58	0.65	1.00	0.42	0.92	0.87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า

◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) × Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.71 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 6 MW

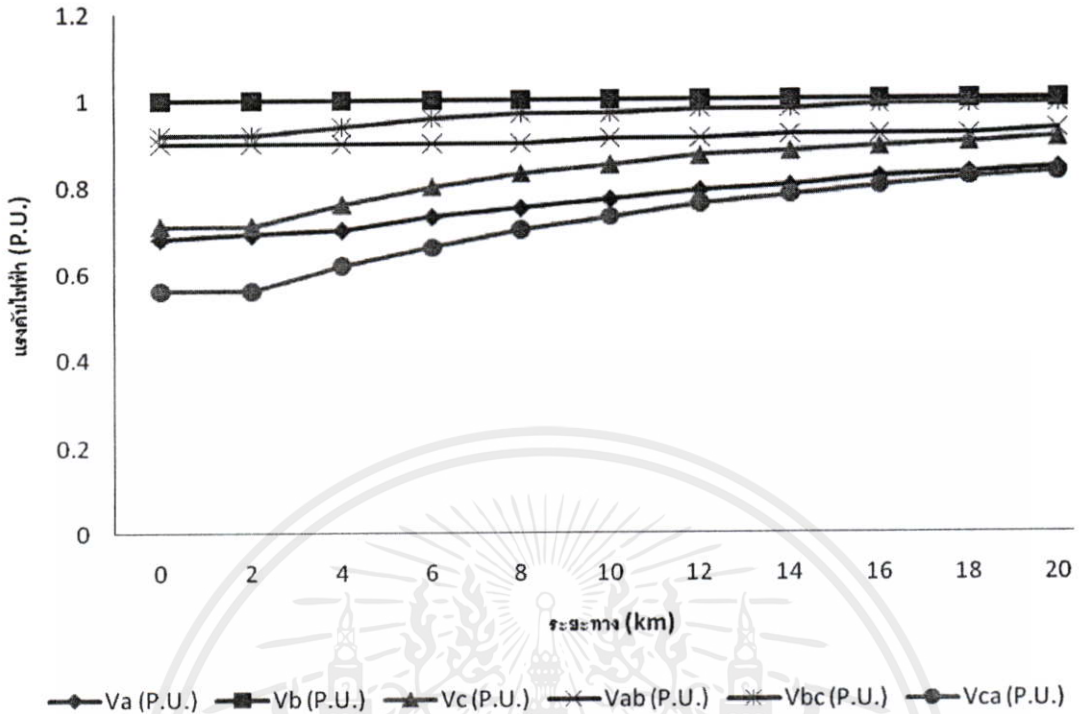


รูปที่ 4.72 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

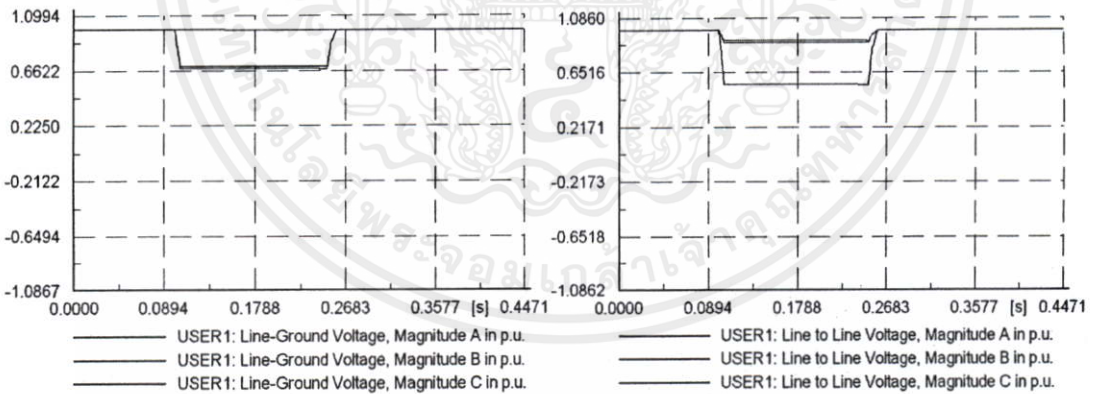
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.102 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
2	0.69	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
4	0.70	1.00	0.76	0.90	0.94	0.62
6	0.73	1.00	0.80	0.90	0.96	0.66
8	0.75	1.00	0.83	0.90	0.97	0.70
10	0.77	1.00	0.85	0.91	0.97	0.73
12	0.79	1.00	0.87	0.91	0.98	0.76
14	0.80	1.00	0.88	0.92	0.98	0.78
16	0.82	1.00	0.89	0.92	0.99	0.80
18	0.83	1.00	0.90	0.92	0.99	0.82
20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83



รูปที่ 4.73 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 6 MW



(a)

(b)

รูปที่ 4.74 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

โดยมี SPP ขนาด 6 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values

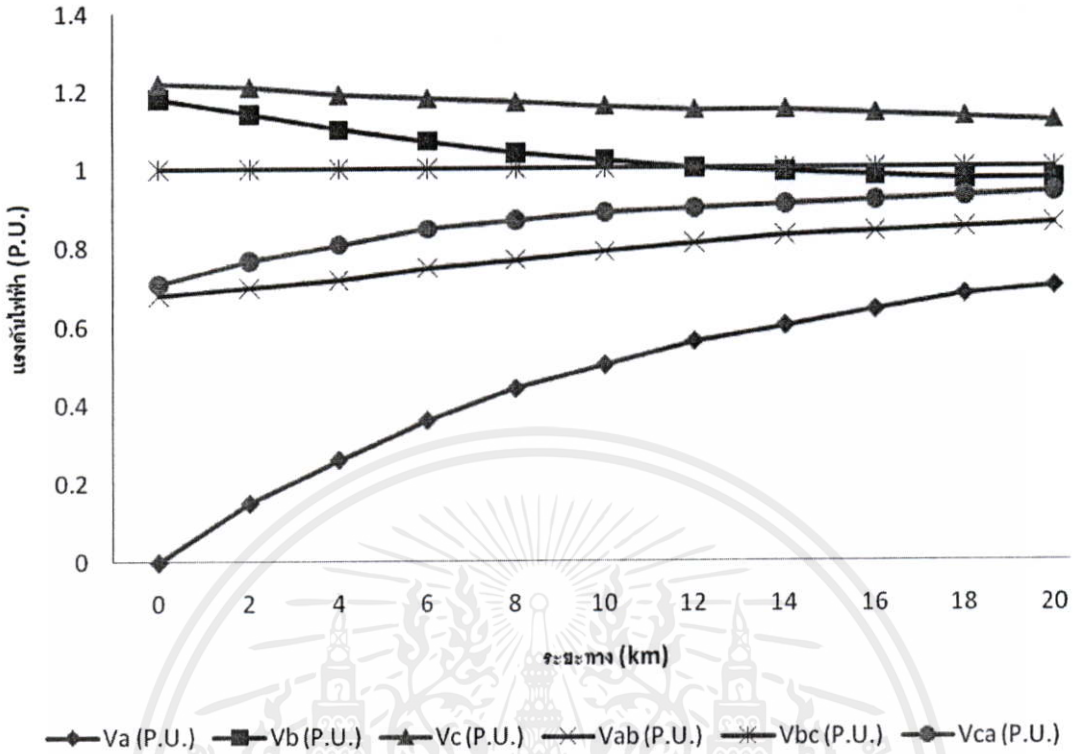
(b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.103 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

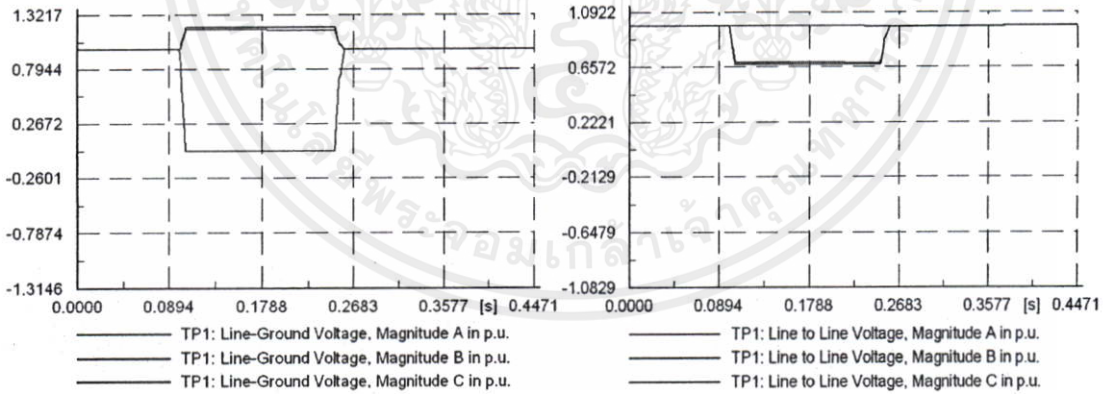
เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 6 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
2	0.70	1.00	0.77	0.89	0.95	0.62
4	0.73	1.00	0.81	0.89	0.97	0.68
6	0.75	1.00	0.84	0.90	0.98	0.72
8	0.77	1.00	0.87	0.90	0.99	0.75
10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
12	0.81	1.00	0.90	0.91	0.99	0.80
14	0.82	1.00	0.91	0.92	1.00	0.82
16	0.84	1.00	0.92	0.92	1.00	0.84
18	0.85	1.00	0.93	0.93	1.00	0.85
20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.104 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
2	0.15	1.14	1.21	0.70	1.00	0.77
4	0.26	1.10	1.19	0.72	1.00	0.81
6	0.36	1.07	1.18	0.75	1.00	0.85
8	0.44	1.04	1.17	0.77	1.00	0.87
10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
12	0.56	1.00	1.15	0.81	1.00	0.90
14	0.60	0.99	1.15	0.83	1.00	0.91
16	0.64	0.98	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.68	0.97	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94



รูปที่ 4.75 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 7 MW



(a)

(b)

รูปที่ 4.76 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.105 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
2	0.07	1.15	1.16	0.69	1.00	0.70
4	0.20	1.11	1.15	0.70	1.00	0.76
6	0.30	1.08	1.15	0.73	1.00	0.80
8	0.38	1.05	1.14	0.75	1.00	0.83
10	0.45	1.03	1.14	0.77	1.00	0.85
12	0.51	1.01	1.13	0.79	1.00	0.87
14	0.56	1.00	1.13	0.80	1.00	0.88
16	0.60	0.98	1.12	0.82	1.00	0.89
18	0.64	0.98	1.12	0.83	1.00	0.90
20	0.67	0.97	1.11	0.84	1.00	0.91

ตารางที่ 4.106 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

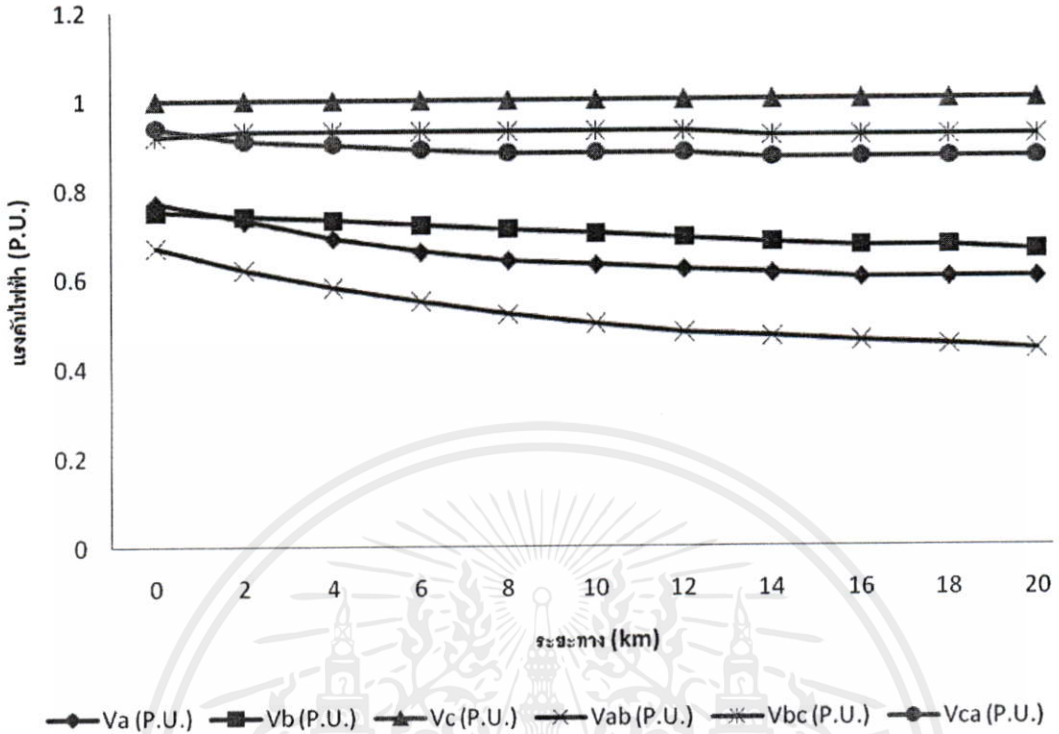
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
2	0.00	1.17	1.11	0.68	1.00	0.64
4	0.00	1.15	1.03	0.67	1.00	0.59
6	0.00	1.13	0.97	0.65	1.00	0.56
8	0.00	1.12	0.93	0.64	1.00	0.54
10	0.00	1.10	0.91	0.64	1.00	0.52
12	0.00	1.09	0.89	0.63	1.00	0.51
14	0.00	1.07	0.87	0.62	1.00	0.50
16	0.00	1.06	0.86	0.61	1.00	0.50
18	0.00	1.05	0.85	0.61	1.00	0.49
20	0.00	1.04	0.85	0.60	1.00	0.49

ตารางที่ 4.107 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

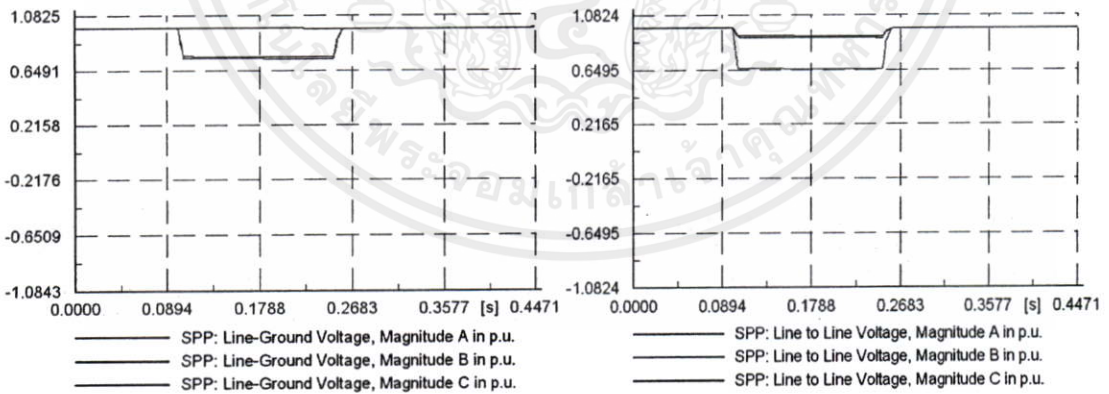
เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
2	0.15	1.14	1.21	0.70	1.00	0.77
4	0.26	1.10	1.19	0.72	1.00	0.81
6	0.36	1.07	1.18	0.75	1.00	0.85
8	0.44	1.04	1.17	0.77	1.00	0.87
10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
12	0.56	1.00	1.15	0.81	1.00	0.90
14	0.60	0.99	1.15	0.83	1.00	0.91
16	0.64	0.98	1.14	0.84	1.00	0.92
18	0.68	0.97	1.13	0.85	1.00	0.93
20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94

ตารางที่ 4.108 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name SPP เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.77	0.75	1.00	0.67	0.92	0.94
2	0.73	0.74	1.00	0.62	0.93	0.91
4	0.69	0.73	1.00	0.58	0.93	0.90
6	0.66	0.72	1.00	0.55	0.93	0.89
8	0.64	0.71	1.00	0.52	0.93	0.88
10	0.63	0.70	1.00	0.50	0.93	0.88
12	0.62	0.69	1.00	0.48	0.93	0.88
14	0.61	0.68	1.00	0.47	0.92	0.87
16	0.60	0.67	1.00	0.46	0.92	0.87
18	0.60	0.67	1.00	0.45	0.92	0.87
20	0.60	0.66	1.00	0.44	0.92	0.87



รูปที่ 4.77 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 7 MW



(a)

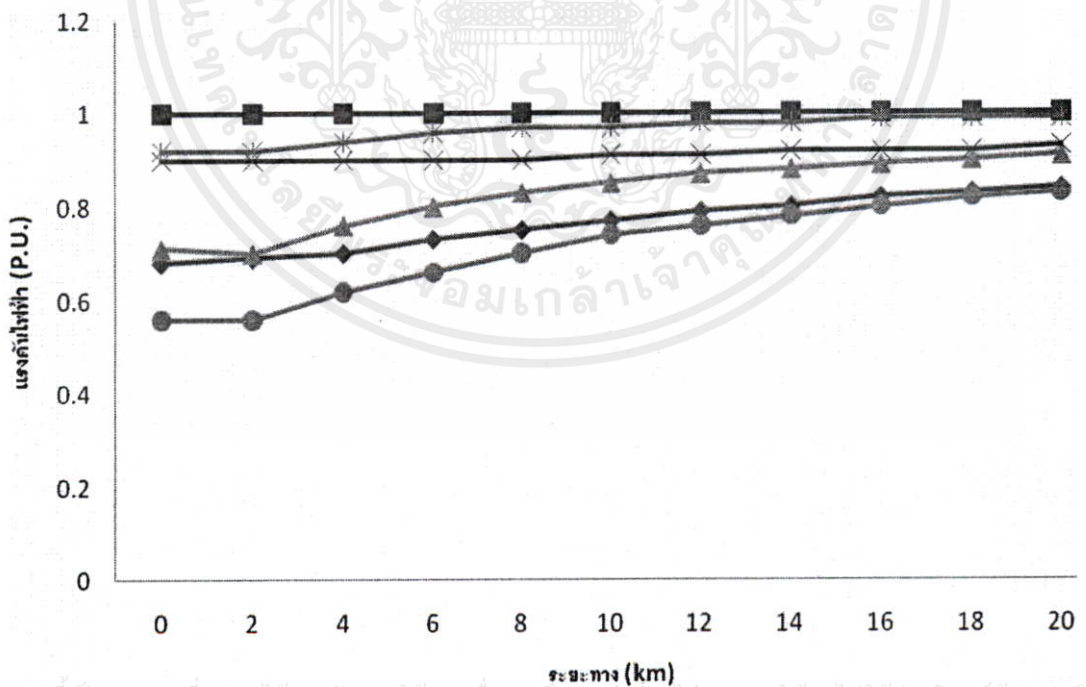
(b)

รูปที่ 4.78 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP ไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ
 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a
 โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

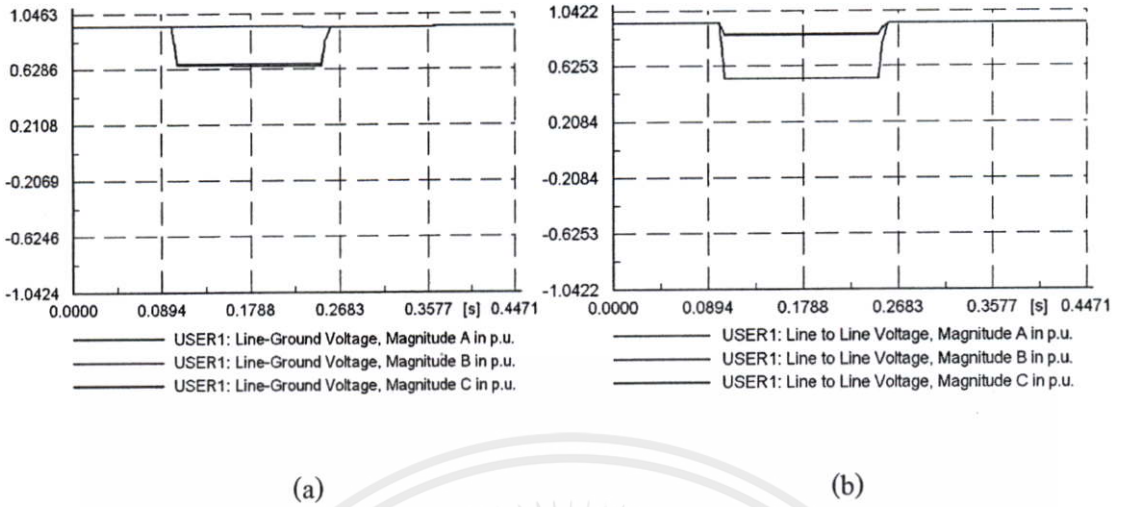
ตารางที่ 4.109 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ USER1 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติ พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
2	0.69	1.00	0.70	0.90	0.92	0.56
4	0.70	1.00	0.76	0.90	0.94	0.62
6	0.73	1.00	0.80	0.90	0.96	0.66
8	0.75	1.00	0.83	0.90	0.97	0.70
10	0.77	1.00	0.85	0.91	0.97	0.74
12	0.79	1.00	0.87	0.91	0.98	0.76
14	0.80	1.00	0.88	0.92	0.98	0.78
16	0.82	1.00	0.89	0.92	0.99	0.80
18	0.83	1.00	0.90	0.92	0.99	0.82
20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ

รูปที่ 4.79 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 7 MW



รูปที่ 4.80 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 7 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

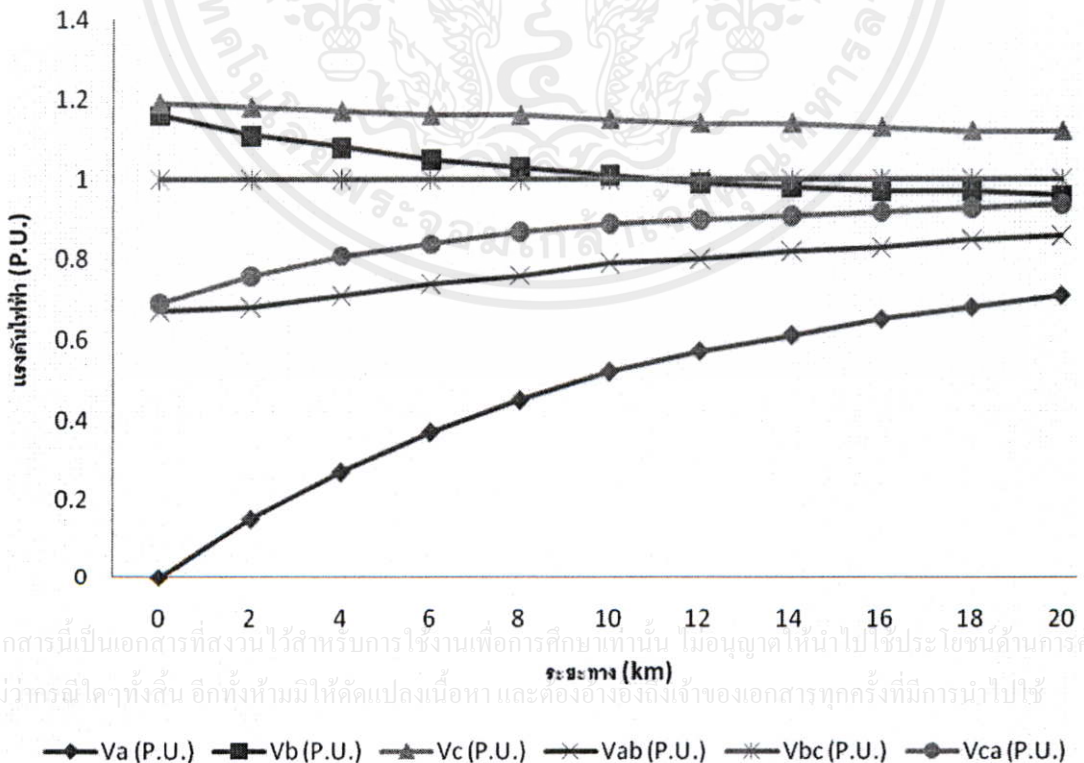
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.110 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

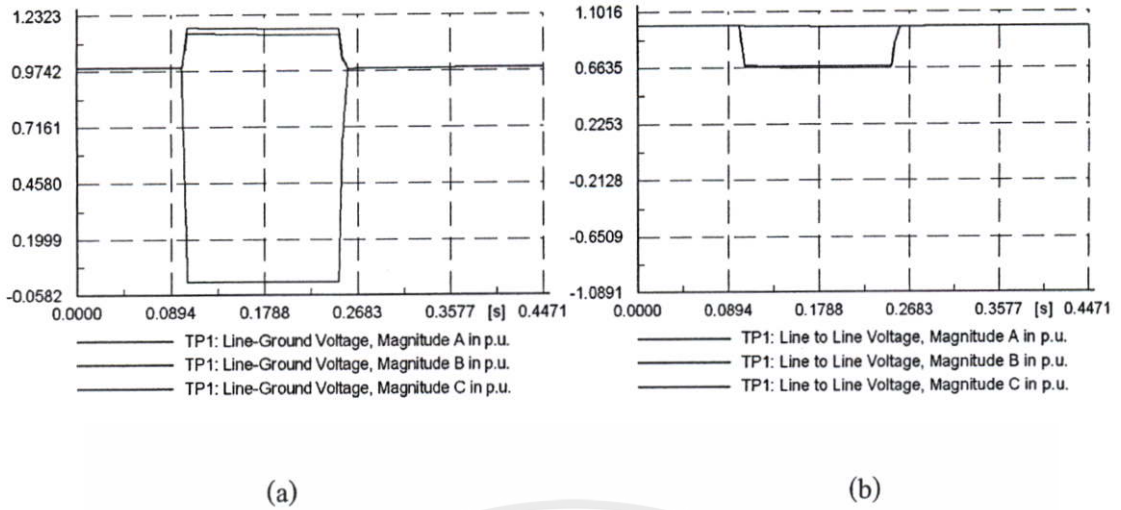
เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 7 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
2	0.70	1.00	0.77	0.89	0.95	0.62
4	0.72	1.00	0.81	0.89	0.97	0.68
6	0.75	1.00	0.85	0.90	0.98	0.72
8	0.77	1.00	0.87	0.90	0.99	0.75
10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
12	0.81	1.00	0.90	0.91	0.99	0.80
14	0.83	1.00	0.91	0.92	1.00	0.82
16	0.84	1.00	0.92	0.92	1.00	0.84
18	0.85	1.00	0.93	0.93	1.00	0.85
20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.111 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
2	0.15	1.11	1.18	0.68	1.00	0.76
4	0.27	1.08	1.17	0.71	1.00	0.81
6	0.37	1.05	1.16	0.74	1.00	0.84
8	0.45	1.03	1.16	0.76	1.00	0.87
10	0.52	1.01	1.15	0.79	1.00	0.89
12	0.57	0.99	1.14	0.80	1.00	0.90
14	0.61	0.98	1.14	0.82	1.00	0.91
16	0.65	0.97	1.13	0.83	1.00	0.92
18	0.68	0.97	1.12	0.85	1.00	0.93
20	0.71	0.96	1.12	0.86	1.00	0.94



รูปที่ 4.81 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 และมี SPP 8 MW



รูปที่ 4.82 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ TP1 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.112 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1a) เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1a) (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
2	0.08	1.13	1.13	0.67	1.00	0.69
4	0.21	1.09	1.13	0.69	1.00	0.75
6	0.31	1.06	1.13	0.71	1.00	0.79
8	0.39	1.03	1.13	0.74	1.00	0.82
10	0.46	1.01	1.12	0.76	1.00	0.85
12	0.52	1.00	1.12	0.78	1.00	0.87
14	0.57	0.99	1.12	0.80	1.00	0.88
16	0.61	0.98	1.11	0.81	1.00	0.89
18	0.65	0.97	1.11	0.83	1.00	0.90
20	0.68	0.96	1.10	0.84	1.00	0.91

ตารางที่ 4.113 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (1b) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

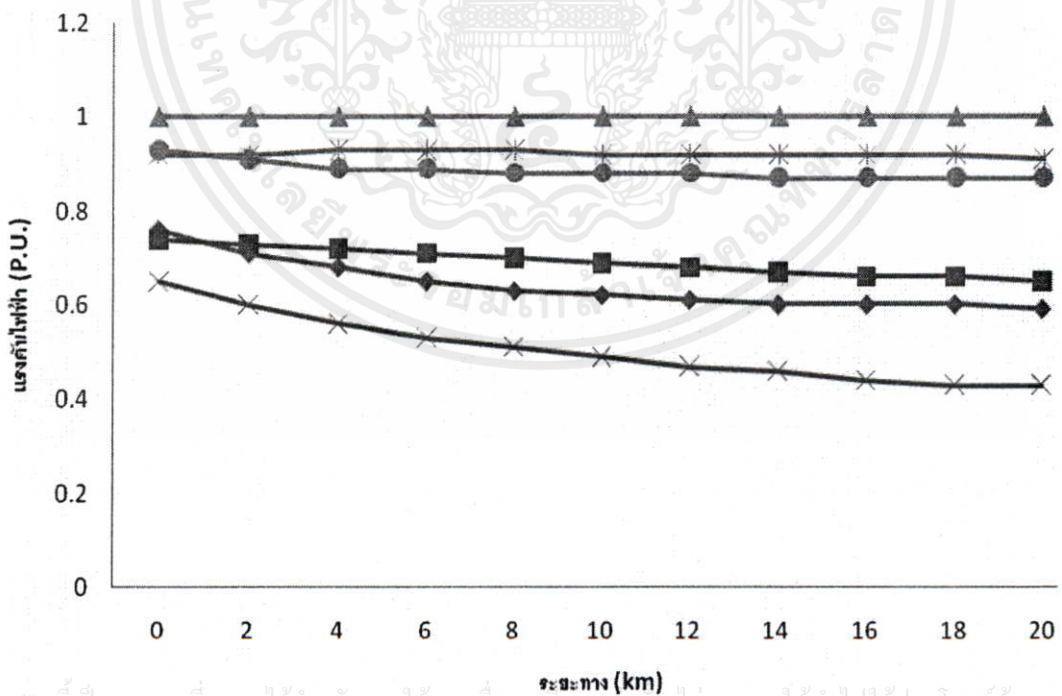
เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (1b) (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
2	0.00	1.15	1.08	0.66	1.00	0.62
4	0.00	1.13	1.00	0.65	1.00	0.58
6	0.00	1.11	0.95	0.64	1.00	0.55
8	0.00	1.10	0.92	0.63	1.00	0.53
10	0.00	1.08	0.89	0.62	1.00	0.52
12	0.00	1.07	0.88	0.62	1.00	0.51
14	0.00	1.06	0.86	0.61	1.00	0.50
16	0.00	1.05	0.86	0.60	1.00	0.49
18	0.00	1.04	0.85	0.60	1.00	0.49
20	0.00	1.03	0.85	0.59	1.00	0.49

ตารางที่ 4.114 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name 22kV (2) เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kV (2) (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
2	0.15	1.11	1.18	0.68	1.00	0.76
4	0.27	1.08	1.17	0.71	1.00	0.81
6	0.37	1.05	1.16	0.74	1.00	0.84
8	0.45	1.03	1.16	0.76	1.00	0.87
10	0.52	1.01	1.15	0.79	1.00	0.89
12	0.57	0.99	1.14	0.80	1.00	0.90
14	0.61	0.98	1.14	0.82	1.00	0.91
16	0.65	0.97	1.13	0.83	1.00	0.92
18	0.68	0.97	1.12	0.85	1.00	0.93
20	0.71	0.96	1.12	0.86	1.00	0.94

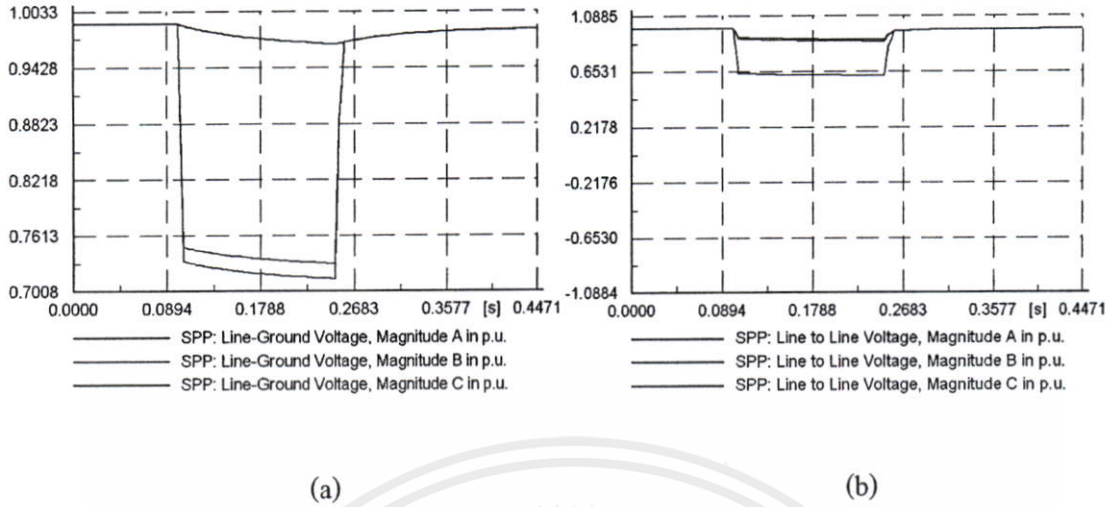
ตารางที่ 4.115 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name ชื่อ SPP เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิด พร้อมที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.76	0.74	1.00	0.65	0.92	0.93
2	0.71	0.73	1.00	0.60	0.92	0.91
4	0.68	0.72	1.00	0.56	0.93	0.89
6	0.65	0.71	1.00	0.53	0.93	0.89
8	0.63	0.70	1.00	0.51	0.93	0.88
10	0.62	0.69	1.00	0.49	0.92	0.88
12	0.61	0.68	1.00	0.47	0.92	0.88
14	0.60	0.67	1.00	0.46	0.92	0.87
16	0.60	0.66	1.00	0.44	0.92	0.87
18	0.60	0.66	1.00	0.43	0.92	0.87
20	0.59	0.65	1.00	0.43	0.91	0.87



—◆— Va (P.U.) —■— Vb (P.U.) —▲— Vc (P.U.) —×— Vab (P.U.) —*— Vbc (P.U.) —●— Vca (P.U.)

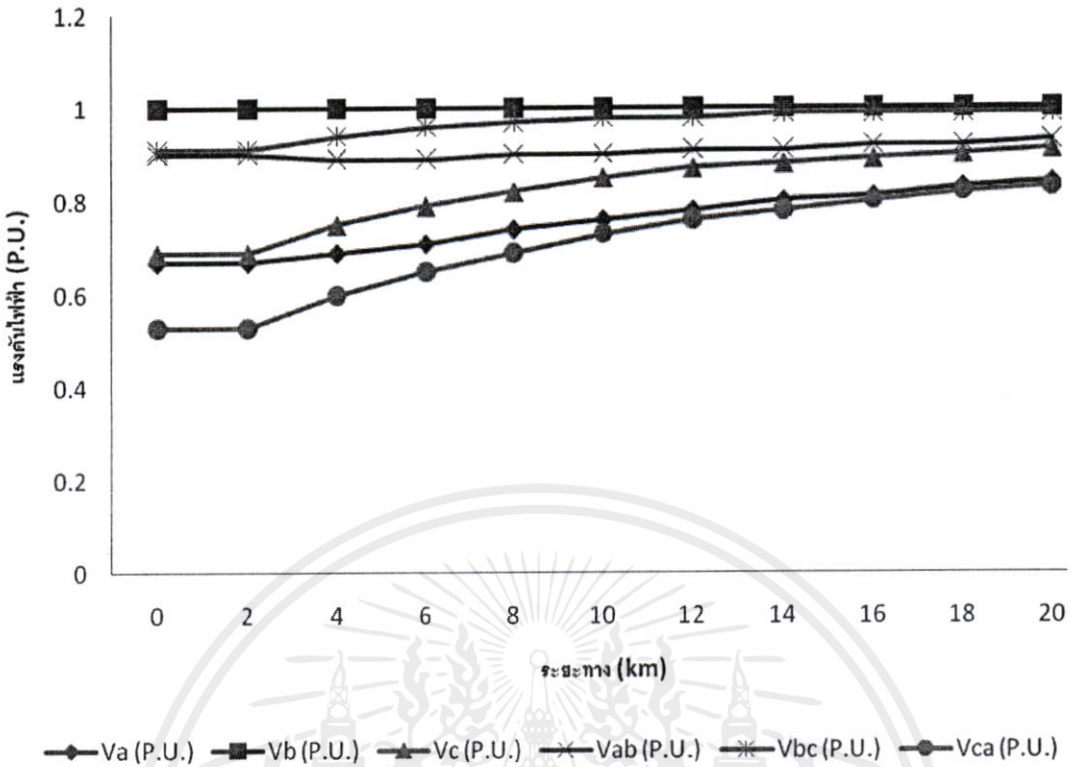
รูปที่ 4.83 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP และมี SPP 8 MW



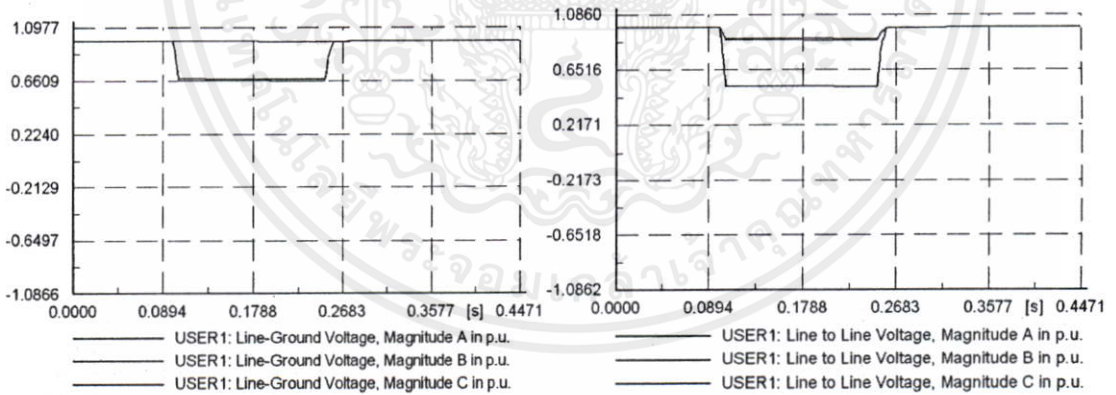
รูปที่ 4.84 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ SPP เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ
(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.116 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.67	1.00	0.69	0.90	0.91	0.53
2	0.67	1.00	0.69	0.90	0.91	0.53
4	0.69	1.00	0.75	0.89	0.94	0.60
6	0.71	1.00	0.79	0.89	0.96	0.65
8	0.74	1.00	0.82	0.90	0.97	0.69
10	0.76	1.00	0.85	0.90	0.98	0.73
12	0.78	1.00	0.87	0.91	0.98	0.76
14	0.80	1.00	0.88	0.91	0.99	0.78
16	0.81	1.00	0.89	0.92	0.99	0.80
18	0.83	1.00	0.90	0.92	0.99	0.82
20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83



รูปที่ 4.85 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1 และมี SPP 8 MW



(a)

(b)

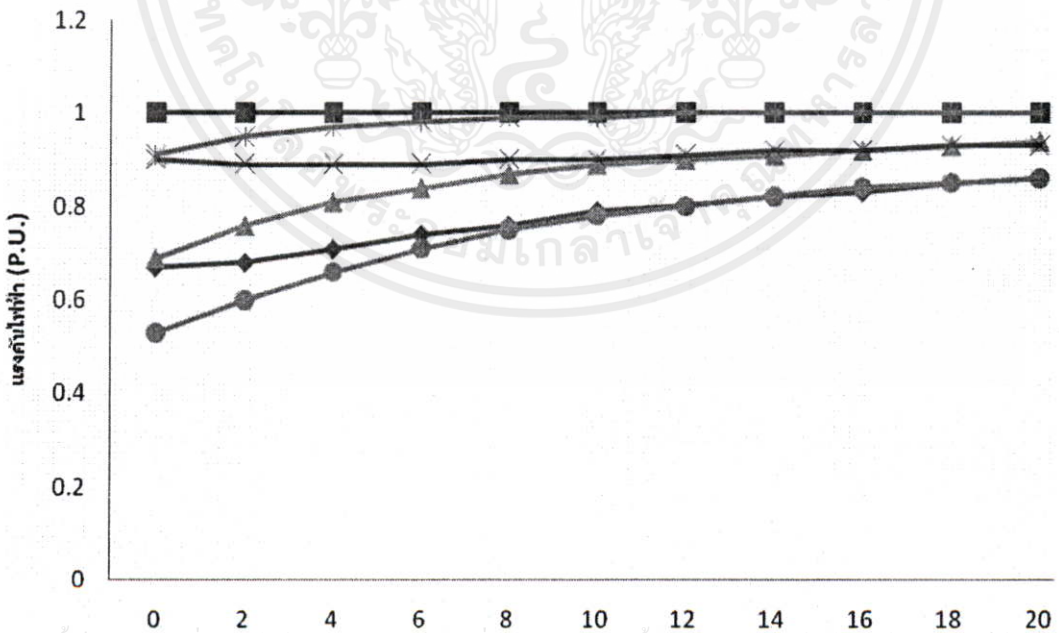
รูปที่ 4.86 ตัวอย่างรูปคลื่นของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a โดยมี SPP ขนาด 8 MW เชื่อมโยงอยู่ในระบบ

(a) Phase Voltage, RMS Values (b) Line to Line, RMS Values

ตารางที่ 4.117 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER2 เมื่อเกิด
ความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER2 (SPP ขนาด 8 MW)					
	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
0	0.67	1.00	0.69	0.90	0.91	0.53
2	0.68	1.00	0.76	0.89	0.95	0.60
4	0.71	1.00	0.81	0.89	0.97	0.66
6	0.74	1.00	0.84	0.89	0.98	0.71
8	0.76	1.00	0.87	0.90	0.99	0.75
10	0.79	1.00	0.89	0.90	0.99	0.78
12	0.80	1.00	0.90	0.91	1.00	0.80
14	0.82	1.00	0.91	0.92	1.00	0.82
16	0.83	1.00	0.92	0.92	1.00	0.84
18	0.85	1.00	0.93	0.93	1.00	0.85
20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86



◆ Va (P.U.) ■ Vb (P.U.) ▲ Vc (P.U.) ✕ Vab (P.U.) * Vbc (P.U.) ● Vca (P.U.)

รูปที่ 4.87 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ USER2 และมี SPP 8 MW

ตารางที่ 4.118 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 4 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
	10	0.46	1.07	1.22	0.82	1.00	0.90
	20	0.68	0.99	1.15	0.87	1.00	0.94
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
	10	0.42	1.07	1.19	0.80	1.00	0.86
	20	0.64	0.99	1.14	0.85	1.00	0.91
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
	10	0.00	1.17	0.97	0.68	1.01	0.56
	20	0.00	1.11	0.87	0.64	1.01	0.50
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.28	1.34	0.74	1.00	0.77
	10	0.46	1.07	1.22	0.82	1.00	0.90
	20	0.68	0.99	1.15	0.87	1.00	0.94

ตารางที่ 4.119 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 4 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.74	1.00	0.77	0.91	0.94	0.65
	10	0.80	1.00	0.86	0.92	0.98	0.76
	20	0.85	1.00	0.91	0.94	0.99	0.84
Bus User2 (P.U.)	0	0.74	1.00	0.77	0.91	0.94	0.65
	10	0.82	1.00	0.90	0.92	0.99	0.80
	20	0.87	1.00	0.94	0.94	1.00	0.87

ตารางที่ 4.120 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 5 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
	10	0.49	1.04	1.17	0.80	1.00	0.89
	20	0.70	0.97	1.13	0.86	1.00	0.93
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
	10	0.44	1.04	1.15	0.78	1.00	0.85
	20	0.66	0.98	1.11	0.84	1.00	0.91
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
	10	0.00	1.12	0.92	0.65	0.99	0.53
	20	0.00	1.05	0.84	0.61	0.99	0.48
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
	10	0.49	1.04	1.17	0.80	1.00	0.89
	20	0.70	0.97	1.13	0.86	1.00	0.93

ตารางที่ 4.121 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 400 v (SPP ขนาด 5 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.70	1.00	0.73	0.90	0.92	0.59
	10	0.78	1.00	0.85	0.91	0.97	0.74
	20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
Bus User2 (P.U.)	0	0.70	1.00	0.73	0.90	0.92	0.59
	10	0.80	1.00	0.89	0.91	0.99	0.79
	20	0.86	1.00	0.93	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.122 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 6 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.00	1.22	1.27	0.70	1.00	0.73
	10	0.49	1.04	1.17	0.80	1.00	0.89
	20	0.70	0.97	1.13	0.86	1.00	0.93
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
	10	0.45	1.03	1.14	0.77	1.00	0.85
	20	0.67	0.97	1.11	0.84	1.00	0.91
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
	10	0.00	1.10	0.90	0.64	1.00	0.52
	20	0.00	1.04	0.84	0.60	1.00	0.49
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.19	1.23	0.68	1.00	0.71
	10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
	20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94

ตารางที่ 4.123 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 6 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.77	1.00	0.85	0.91	0.97	0.73
	20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
Bus User2 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
	20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.124 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 7MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
	20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
	10	0.45	1.03	1.14	0.77	1.00	0.85
	20	0.67	0.97	1.11	0.84	1.00	0.91
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
	10	0.00	1.10	0.91	0.64	1.00	0.52
	20	0.00	1.04	0.85	0.60	1.00	0.49
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.18	1.22	0.68	1.00	0.71
	10	0.50	1.02	1.16	0.79	1.00	0.89
	20	0.70	0.97	1.12	0.86	1.00	0.94

ตารางที่ 4.125 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus User (SPP ขนาด 7MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.77	1.00	0.85	0.91	0.97	0.74
	20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
Bus User2 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
	20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.126 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus 22 kv
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 22 kv (SPP ขนาด 8 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus TP1 (P.U.)	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.79	1.00	0.89	0.91	0.99	0.78
	20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86
Bus 22kv (1a) (P.U.)	0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
	10	0.46	1.01	1.12	0.76	1.00	0.85
	20	0.68	0.96	1.10	0.84	1.00	0.91
Bus 22 kv (1b) (P.U.)	0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
	10	0.00	1.08	0.89	0.62	1.00	0.52
	20	0.00	1.03	0.85	0.59	1.00	0.49
Bus 22 kv (2) (P.U.)	0	0.00	1.16	1.19	0.67	1.00	0.69
	10	0.52	1.01	1.15	0.79	1.00	0.89
	20	0.71	0.96	1.12	0.86	1.00	0.94

ตารางที่ 4.127 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus User
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

Bus ที่ เกิดผล กระทบ	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus 400 v (SPP ขนาด 8 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
Bus User1 (P.U.)	0	0.67	1.00	0.69	0.90	0.91	0.53
	10	0.76	1.00	0.85	0.90	0.98	0.73
	20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
Bus User2 (P.U.)	0	0.67	1.00	0.69	0.90	0.91	0.53
	10	0.79	1.00	0.89	0.90	0.99	0.78
	20	0.86	1.00	0.94	0.93	1.00	0.86

ตารางที่ 4.128 การเปรียบเทียบผลกระทบของ Voltage sag/Dip และ Voltage swell ที่ Bus SPP เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kv (1b) แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด SPP (MW)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus SPP (SPP > 3 MW)						
	ระยะทาง (km)	Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
4 MW	0	0.83	0.80	1.01	0.74	0.93	0.96
	10	0.66	0.73	1.01	0.56	0.95	0.89
	20	0.61	0.70	1.02	0.48	0.94	0.89
5 MW	0	0.78	0.76	0.99	0.68	0.91	0.93
	10	0.62	0.69	0.99	0.50	0.92	0.86
	20	0.57	0.65	0.98	0.42	0.90	0.85
6 MW	0	0.68	1.00	0.71	0.90	0.92	0.56
	10	0.77	1.00	0.85	0.91	0.97	0.73
	20	0.84	1.00	0.91	0.93	0.99	0.83
7 MW	0	0.77	0.75	1.00	0.67	0.92	0.94
	10	0.63	0.70	1.00	0.50	0.93	0.88
	20	0.60	0.66	1.00	0.44	0.92	0.87
8 MW	0	0.76	0.74	1.00	0.65	0.92	0.93
	10	0.62	0.69	1.00	0.49	0.92	0.88
	20	0.59	0.65	1.00	0.43	0.91	0.87

ผลการศึกษาร่วมกันของ SPP ในระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ในกรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW พบว่าทำให้ประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ลดลง กล่าวคือทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV ลดเหลือต่ำกว่าร้อยละ 80 จนมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 V ในบางเฟสมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆหยุดชะงักหรือทำงานผิดพลาด ส่วนระดับของ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นนั้นพบว่ามีค่าต่ำกว่ากรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 กรณีไม่มี SPP

จากการจำลองระบบไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อยติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω ในกรณีที่ไม่มี SPP เพื่อศึกษาเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆที่มีผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell โดยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับขนาดโหลดและตำแหน่งของความผิดพลาดที่ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย จากผลการศึกษาในกรณีที่เกิดความผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a พบว่าตำแหน่งของความผิดพลาดมีอิทธิพลอย่างมากต่อขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell โดยหากตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดอยู่ใกล้สถานีไฟฟ้าย่อยจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Sag ที่เหลืออยู่มีค่าน้อย (เข้าใกล้ 0 P.U.) แต่ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Swell จะมีค่าสูงมาก (เข้าใกล้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line) ในทางตรงกันข้ามหากตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Sag ที่เหลืออยู่มีค่ามาก (เข้าใกล้ 1 P.U.) และระดับแรงดันไฟฟ้า Voltage Swell จะมีค่าลดลง (เข้าใกล้ 1 P.U.) เช่นกัน จากผลการจำลองสะท้อนให้เห็นว่า Impedance ที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดมีผลทำให้ระดับความรุนแรงเนื่องจาก Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell มีค่าลดลงเข้าใกล้ 1 P.U. นอกจากนั้นในการศึกษายังพบว่าขนาดโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย จึงกล่าวได้ว่าขนาดโหลดไม่ใช่องค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญต่อระดับความรุนแรงของปัญหา Voltage Sag/Dip หรือ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

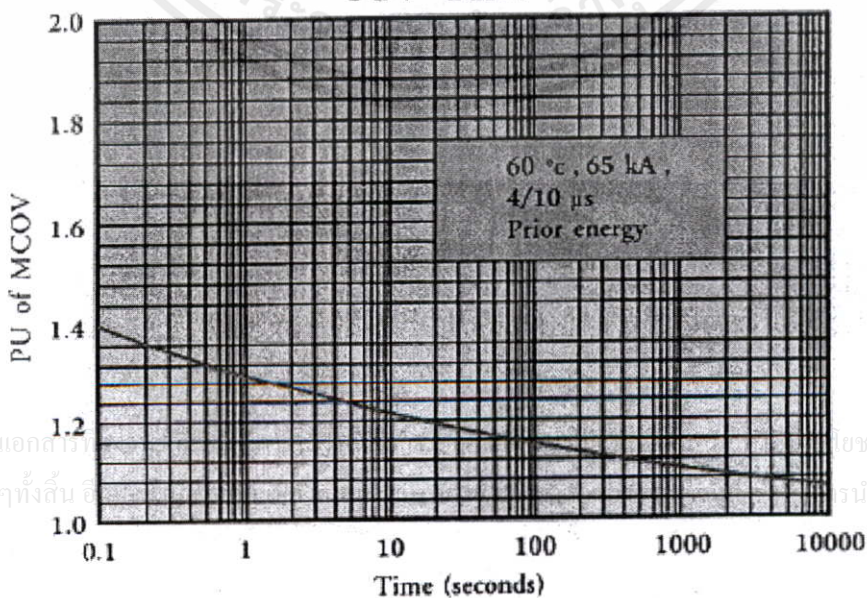
สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีการติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω สามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV ให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่เกินร้อยละ 80 ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 V มีขนาด Voltage Sag/Dip เหลือมากกว่าร้อยละ 80 ด้วย ซึ่งหากพิจารณาจากมาตรฐาน SEMI F-47 ในรูปที่ 2.13 จะพบว่าระดับของ Voltage Sag/Dip ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง NGR จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานนี้ นอกจากนั้นผลการศึกษาในกรณีนี้ให้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกับที่สถาบัน JICA ได้ทำการศึกษาให้กับสถานีไฟฟ้าย่อยนวนคร 1 และ นวนคร 2 กล่าวคือ การติดตั้ง NGR มีผลทำให้เกิด Voltage Swell ขึ้นในเฟสที่ไม่เกิดความผิดพลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงกับดักฟ้าผ่าขนาด 21 kV ที่ติดตั้งอยู่เดิม ซึ่งหากพิจารณาตามตารางที่ 5.1 จะพบว่ากับดักฟ้าผ่าขนาด 21 kV จะมีค่า U_c อยู่ที่ 17.0 kV และจากรูปที่ 5.1 กับดักฟ้าผ่าจะทน

แรงดันไฟฟ้าขนาด 1.318 เท่าของ U_c หรือ 22.4 kV ให้นาน 1 วินาที แต่จากผลการศึกษพบว่า Voltage Swell ในกรณีนี้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.751 P.U ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย และเนื่องจากระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ให้อยู่ระหว่าง 20.9 kV-23.1 kV ซึ่งเทียบเท่ากับแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Neutral ที่ค่าระหว่าง 12.07 kV – 13.34 kV จึงมีผลทำให้ขนาดของ Voltage Swell ที่ 1.751 P.U. มีค่าอยู่ระหว่าง 21.13 kV-23.36 kV (Phase to Neutral) ซึ่งมีโอกาสที่กับดักฟ้าผ่าจะชำรุดเสียหาย หากอุปกรณ์ป้องกันทางด้านกระแสไม่สามารถกำจัดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ได้ก่อน 1 วินาที ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อกับดักฟ้าผ่าจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนพิคคขนาดของกับดักฟ้าผ่า (U_r) จากเดิม 21 kV เป็น 24 kV เพื่อเพิ่มค่า Continuous Operating Voltage (U_c) ซึ่งจะมีผลทำให้กับดักฟ้าผ่าสามารถทนแรงดันไฟฟ้าเกินได้ถึง 25.7 kV เป็นเวลานาน 1 วินาที

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลทางเทคนิคของกับดักฟ้าผ่าในระบบ 22 kV

Type	Rated Voltage (U_r) (kV)	Continuous Operating Voltage (U_c) (kV)	TOV Capability for 1 Sec (kV)
PAZ-P21-2	21	17.0	22.4
PAZ-P24-2	24	19.5	25.7

TOV Curve



รูปที่ 5.1 TOV Curve ของกับดักฟ้าผ่าขนาด 5 kA

5.1.2 กรณีมี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

จากผลการศึกษาพบว่าขนาดของ Voltage Swell ในกรณีนี้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.78 P.U ที่ตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย และเนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ให้อยู่ระหว่าง 20.9 kV-23.1 kV ซึ่งเทียบเท่ากับแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Neutral ที่ค่าระหว่าง 12.07 kV – 13.34 kV จึงมีผลทำให้ Voltage Swell ที่ 1.78 P.U. มีค่าอยู่ระหว่าง 21.48 kV-23.75 kV (Phase to Neutral) แต่เนื่องจากกับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 25.7 kV เป็นระยะเวลาสั้น 1 วินาที ดังนั้น Voltage Swell ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อ กับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV อย่างไรก็ตามหากพิจารณา Safety Margin ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่กับดักฟ้าผ่าสามารถทนได้ที่เวลา 1 วินาที กับขนาดของ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเพียง 1.95 kV ดังนั้นเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น จึงควรกำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันทางด้านกระแสทั้งในส่วนของการไฟฟ้าย่อยและ SPP สามารถกำจัดความผิดปกติที่เกิดขึ้นให้เร็วกว่า 1 วินาที ซึ่งจะมีผลทำให้ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นถูกกำจัดไปด้วย

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบ Safety Margin ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันทางด้านกระแสสามารถกำจัดความผิดปกติได้ (Sec)	Voltage Swell สูงสุดในระบบไฟฟ้า (kV)	ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV สามารถทนได้ตามระยะเวลาในรูปที่ 5.1 (kV)	Safety Margin (kV)
0.1	23.75	27.30	3.55
0.2		26.52	2.77
0.5		25.74	1.99
0.7		25.72	1.97
1.0		25.70	1.95

สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 V นั้นพบว่ามีขนาดใกล้เคียง 1 P.U ทั้งแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line และแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Neutral อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหม้อแปลงไฟฟ้าของ SPP ในกรณีนี้ถูกกำหนดให้ต่อเชื่อมเป็นแบบ Dyn11 จึงทำให้กระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เกิดขึ้นในระบบ 22 kV เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่ไม่มี SPP ดังแสดงในรูปที่ 4.68 เพียงเล็กน้อยหรือกล่าวอีกนัยได้ว่ากระแสผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ SPP ไม่สามารถไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dyn11 ไปยังด้าน 22 kV ได้ จึงทำให้ขนาดของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่ไม่มี SPP เพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ในระบบไฟฟ้าด้วย NGR จึงยังคง

สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV ให้มีค่าเหลือเกินร้อยละ 80 ได้ เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มี SPP ต่อเชื่อม

5.1.3 กรณีมี SPP ถ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW

จากผลการศึกษาพบว่า การต่อเชื่อมของ SPP ในกรณีนี้ทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ด้วย NGR มีประสิทธิภาพลดลง กล่าวคือ ทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV ในขณะที่เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault มีขนาดเหลือต่ำกว่าร้อยละ 80 จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 V ในบางเฟสมีขนาดลดลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 80 ด้วย ซึ่งหากพิจารณาจากมาตรฐาน SEMI F-47 ในรูปที่ 2.13 จะพบว่า มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับ Voltage Swell ในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติมีขนาดสูงสุดอยู่ที่ 1.34 P.U ซึ่งต่ำกว่าทั้งสองกรณีที่ผ่านมา จึงไม่ส่งผลกระทบต่อคัทไฟฟ้านขนาด 21 kV และ 24 kV

การต่อเชื่อมของ SPP ที่ถ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิน 3 MW ถูกกำหนดให้ต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Ynd1 จึงทำให้ปริมาณกระแสผิดปกติมีขนาดที่สูงกว่าทั้งสองกรณีที่ผ่านมาเป็นผลทำให้ Voltage Sag/Dip มีระดับความรุนแรงมากขึ้น แต่ Voltage Swell มีระดับความรุนแรงที่ลดลง และหากพิจารณาขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้ารวมด้วยจะพบว่า SPP ที่มีกำลังการผลิตมากและต่อผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line เหลืออยู่ในระบบน้อยกว่า SPP ที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ Voltage Swell ที่เกิดจาก SPP ขนาดใหญ่จะมีความรุนแรงที่น้อยกว่า SPP ที่มีขนาดกำลังผลิตขนาดเล็กกว่า

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจะให้ผลเช่นเดียวกับทั้งสองกรณีที่ผ่านมา กล่าวคือ หากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยระดับความรุนแรงของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell จะลดลงและทำให้แรงดันไฟฟ้าทั้งแบบ Line to Line และ Phase to Neutral มีค่าเข้าใกล้ 1 P.U. ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า Impedance ระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าถึงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติมีผลและเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อระดับความรุนแรงของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่เกิดขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า หากต้องการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV ให้มีค่าเหลือมากกว่าร้อยละ 80 จะต้องควบคุมไม่ให้เกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่ระยะใกล้กับสถานีไฟฟ้าในช่วง 10 km แรก ซึ่งจากข้อเท็จจริงการควบคุมไม่ให้เกิดความผิดปกติในช่วง 10 km แรกนั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกือบทั้งหมดเป็นระบบเหนือนดิน จึงมีโอกาสที่จะเกิดความผิดปกติได้ง่าย ดังนั้นเพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR สามารถรองรับการต่อเชื่อมของ SPP ที่มีขนาดเกิน 3 MW ได้ โดยยังคงทำให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีคุณภาพไฟฟ้า มีความเชื่อถือได้ และมีเสถียรภาพมั่นคง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาหาแนวทางเพิ่มเติมและสรุปอยู่ในข้อเสนอแนะดังกล่าวต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจาก SPP ที่มีขนาดเกิน 3 MW ถูกกำหนดให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบ Ynd1 การติดตั้ง NGR เพิ่มเติมทางด้าน Wye ที่ระบบ 22 kV เพื่อช่วยลดปริมาณกระแสผิดพลาดที่เกิดจาก SPP อาจเป็นแนวทางที่จะทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ด้วย NGR มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มี SPP มาต่อเชื่อม จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการกำหนดให้ SPP ที่มีขนาดเกิน 3 MW ติดตั้ง NGR ขนาด 5, 12.7, 15 และ 20 Ω และเนื่องจากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าขนาดของ Voltage Swell จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย คือ ที่ BUS TP1 ดังนั้นในการศึกษาเพิ่มเติมจะพิจารณาการเกิดความผิดพลาดที่ตำแหน่งนี้เป็นสำคัญ โดยจะพิจารณาขนาดของ Voltage Sag/Dip ที่ระดับ 400 V ที่ BUS USER1 ร่วมด้วย

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1

เมื่อเกิดความผิดพลาดที่ Bus name 22 kV (1b)

แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดพลาดที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 4 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.00	1.44	1.77	0.83	1.00	1.02
	20	0.76	0.86	1.37	0.92	1.00	1.00
12.7	0	0.00	1.58	1.80	0.91	1.00	1.04
	20	0.72	0.92	1.47	0.95	1.00	1.01
15	0	0.00	1.59	1.80	0.92	1.00	1.04
	20	0.72	0.94	1.48	0.95	1.00	1.01
20	0	0.00	1.61	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.70	0.96	1.50	0.96	1.00	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1
เมื่อเกิดความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิด พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 4 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.83	1.00	1.02	0.88	1.07	0.91
	20	0.90	1.00	0.98	0.94	1.02	0.92
12.7	0	0.91	1.00	1.04	0.93	1.05	0.97
	20	0.93	1.00	1.00	0.96	1.02	0.96
15	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.96
20	0	0.93	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.96

ตารางที่ 5.5 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติพ่วงที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิด พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 5 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.00	1.44	1.79	0.83	1.00	1.03
	20	0.77	0.85	1.38	0.92	1.00	1.00
12.7	0	0.00	1.58	1.81	0.92	1.00	1.04
	20	0.73	0.92	1.48	0.95	1.00	1.01
15	0	0.00	1.60	1.80	0.92	1.00	1.04
	20	0.72	0.94	1.49	0.95	1.00	1.01
20	0	0.00	1.62	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.70	0.96	1.50	0.96	1.00	1.01

ตารางที่ 5.6 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 5 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.83	1.00	1.03	0.88	1.07	0.92
	20	0.90	1.00	0.99	0.94	1.02	0.93
12.7	0	0.91	1.00	1.04	0.93	1.05	0.97
	20	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.96
15	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.96
20	0	0.93	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97

ตารางที่ 5.7 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 6 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.00	1.45	1.80	0.84	1.00	1.04
	20	0.77	0.85	1.40	0.92	1.00	1.00
12.7	0	0.00	1.59	1.81	0.92	1.00	1.04
	20	0.73	0.93	1.49	0.95	1.00	1.01
15	0	0.00	1.60	1.80	0.92	1.00	1.04
	20	0.72	0.94	1.50	0.96	1.00	1.01
20	0	0.00	1.62	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.70	0.96	1.51	0.96	1.00	1.01

ตารางที่ 5.8 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 6 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.84	1.00	1.04	0.88	1.07	0.92
	20	0.90	1.00	0.99	0.94	1.03	0.93
12.7	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.96
15	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
20	0	0.93	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97

ตารางที่ 5.9 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1
เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 7 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.00	1.45	1.80	0.84	1.00	1.04
	20	0.77	0.85	1.41	0.92	1.00	1.00
12.7	0	0.00	1.59	1.81	0.92	1.00	1.04
	20	0.73	0.93	1.50	0.95	1.00	1.01
15	0	0.00	1.60	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.72	0.94	1.51	0.96	1.00	1.01
20	0	0.00	1.62	1.80	0.94	1.00	1.04
	20	0.70	0.97	1.52	0.96	1.00	1.01

ตารางที่ 5.10 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)

แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติที่ พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 7 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.84	1.00	1.04	0.88	1.07	0.92
	20	0.91	1.00	0.99	0.94	1.03	0.93
12.7	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.94	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
15	0	0.93	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.96	1.02	0.97
20	0	0.94	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97

ตารางที่ 5.11 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name TP1

เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b)

แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติที่ พ่วงที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus TP1 (SPP ขนาด 8 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.00	1.46	1.81	0.84	1.00	1.04
	20	0.78	0.84	1.42	0.93	1.00	1.01
12.7	0	0.00	1.59	1.81	0.92	1.00	1.04
	20	0.73	0.93	1.51	0.96	1.00	1.01
15	0	0.00	1.61	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.72	0.95	1.51	0.96	1.00	1.01
20	0	0.00	1.62	1.80	0.93	1.00	1.04
	20	0.70	0.97	1.52	0.96	1.00	1.01

ตารางที่ 5.12 ผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ที่ Bus name USER1

เมื่อเกิดความผิดปกติที่ Bus name 22 kV (1b) แบบ Single Line to Ground Fault
ที่เฟส a

ขนาด NGR (Ω)	เกิดความผิดปกติ ที่ ระยะทาง (km)	แรงดันไฟฟ้าที่ Bus USER1 (SPP ขนาด 8 MW)					
		Va (P.U.)	Vb (P.U.)	Vc (P.U.)	Vab (P.U.)	Vbc (P.U.)	Vca (P.U.)
5	0	0.84	1.00	1.04	0.88	1.07	0.93
	20	0.91	1.00	1.00	0.94	1.03	0.94
12.7	0	0.92	1.00	1.04	0.93	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
15	0	0.93	1.00	1.04	0.94	1.05	0.98
	20	0.95	1.00	1.01	0.96	1.02	0.97
20	0	0.94	1.00	1.04	0.94	1.05	0.99
	20	0.96	1.00	1.00	0.97	1.02	0.97

ผลการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าการติดตั้ง NGR ขนาดตั้งแต่ 5, 12.7, 15 และ 20 Ω ให้ SPP ขนาดเกิน 3 MW ที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเป็นแบบ Ynd1 สามารถทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับก่อนที่จะมี SPP ต่อเชื่อม กล่าวคือ ทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ในระบบ 22 kV มีค่าเหลือมากกว่าร้อยละ 80 เป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ 400 V มีค่าเหลือมากกว่าร้อยละ 80 ทั้งแบบ Line to Line และแบบ Phase to Neutral ซึ่งหากพิจารณาจากมาตรฐาน SEMI F-47 ในรูปที่ 2.13 พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานนี้และ NGR ขนาด 5 Ω เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้ติดตั้งโดยสามารถควบคุมระดับ Voltage sag และ Voltage swell ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลเปรียบเทียบ Safety Margin ที่ระยะเวลาต่างๆ กรณี SPP ติดตั้ง NGR

ระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกัน ทางด้านกระแสสามารถ กำจัดความผิดปกติได้ (Sec)	Voltage Swell สูงสุดในระบบไฟฟ้า (kV)	ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กักเก็บที่ ขนาด 24 kV สามารถทนได้ตาม ระยะเวลาในรูปที่ 5.1 (kV)	Safety Margin (kV)
0.1	24.15	27.30	3.15
0.2		26.52	2.37
0.5		25.74	1.59
0.7		25.72	1.57
1.0		25.70	1.55

และจากผลการศึกษาพบว่าขนาดของ Voltage Swell ในกรณีที่มี SPP ขนาดเกิน 3 MW ติดตั้ง NGR มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.81 P.U. ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับสถานีไฟฟ้าย่อย และเนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบ Line to Line ให้อยู่ระหว่าง 20.9 kV-23.1 kV ซึ่งเทียบเท่ากับแรงดันไฟฟ้าแบบ Phase to Neutral ที่ค่าระหว่าง 12.07 kV – 13.34 kV จึงมีผลทำให้ Voltage Swell ที่ 1.81 P.U. มีค่าอยู่ระหว่าง 21.85 kV-24.15 kV (Phase to Neutral) แต่เนื่องจากกับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 25.7 kV เป็นระยะเวลาสั้น 1 วินาที ดังนั้น Voltage Swell ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV ใดๆก็ตามเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น จึงควรเผื่อ Safety Margin ดังตารางที่ 5.13 โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันทางด้านกระแสทั้งในส่วนของสถานีไฟฟ้าย่อยและ SPP กำจัดความผิดปกติที่เกิดขึ้นให้เร็วกว่า 1 วินาที ซึ่งจะมีผลทำให้ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นถูกกำจัดไปเร็วขึ้นทำให้สามารถช่วยในการเพิ่ม Safety Margin ให้กับกับดักฟ้าผ่าด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ.2546
- [2] ศุภี บรรจงจิตร, “หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า ” บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2548
- [3] The National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) “Application Guide for Distributed Generation Interconnection: 2003 Update The NRECA Guide to IEEE 1547” April 2003, www.nreca.org
- [4] Vu Van Thong, Johan Driesen and Ronnie Belmans “Overview and Comparisons of Existing DG Interconnection Standards and Technical”
- [5] EPRI “Power Quality Impacts of Distributed Generation” Palo Alto, CA: 2000
- [6] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995
- [7] Math H. J. Bollen “Understanding Power Quality Problems”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความตีพิมพ์

วารสาร วิศวกรรมลาดกระบัง

บทความเรื่อง ผลกระทบจากการต่อเชื่อมของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้า
(Impact of Small Power Producer on Power Quality)

โดยตีพิมพ์ในปีที่ 25 ฉบับที่ 2 เดือน มิถุนายน 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบจากการต่อเชื่อมของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กต่อคุณภาพไฟฟ้า

Impact of Small Power Producer on Power Quality

สุธีร์วัฒน์ นงนุช มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ ศุภี บรรจงจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ตามที่รัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนให้เอกชนเข้ามามีบทบาทและร่วมลงทุนในการผลิตไฟฟ้าและจำหน่ายไฟฟ้าในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ซึ่งส่วนใหญ่มักต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระบบ 22 kV ผลจากการต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้าของ SPP มีส่วนทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลัง (Power Quality) ในระบบไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปทั้งในทิศทางที่ดีขึ้นและแย่ลงกว่าเดิม สำหรับการศึกษานี้จะมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบทางด้านคุณภาพไฟฟ้ากำลัง เฉพาะ ปัญหา Voltage Sag และ ปัญหา Voltage Swell ในพื้นที่ซึ่งมีการติดตั้ง Neutral Grounding Resistor (NGR) ในระบบ 22 kV เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขและองค์ประกอบต่างๆที่ทำให้ผลกระทบดังกล่าวข้างต้นมีระดับความรุนแรงจนส่งผลทำให้อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้าทำงานผิดพลาด โดยอาศัยการจำลองระบบไฟฟ้าในพื้นที่ตัวอย่างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า

Abstract

The Policy of the Royal Thai Government has been supported to purchase electrical power from Small Power Producer (SPP) using renewable energy as fuel and co-generation. This policy can affect to the addition of Small Power Producer (SPP) on 22 kV of PEA's systems. SPP can affect the performance of power quality (both positively and negatively) in various ways. This thesis will study concerning impact of Small Power Producer (SPP) on power quality and only focuses to voltage sag and voltage swell in area of 22 kV Neutral Grounding Resistor (NGR) system. The Studies have been performed considering both techniques and effects by using simulation of Engineering Program.

1. บทนำ

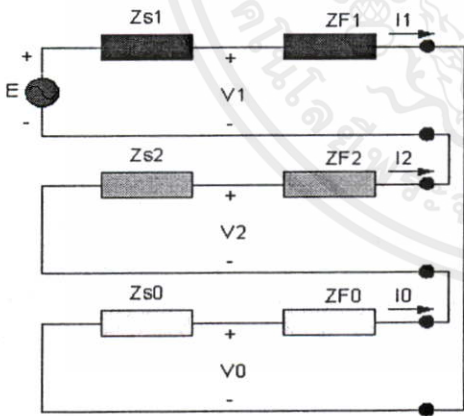
ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมบางแห่งมีการติดตั้ง NGR ที่หม้อแปลงไฟฟ้าระบบ 115/22 kV ขนาด 30/40/50 MVA แบบ Dyn1 เพื่อลดระดับความรุนแรงของ Voltage Sag ที่เกิดจากความผิดปกติของระบบ Single Line to Ground Fault เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ให้เหลืออยู่ในระบบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ผลจากการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ไฟได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากปัจจุบันรัฐบาลได้สนับสนุนให้ SPP ต่อเชื่อมเพื่อจ่ายไฟโดยตรงเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผล

จากการต่อเชื่อมดังกล่าวส่งผลทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag ด้วย NGR มีประสิทธิภาพลดลง บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาค่าผลกระทบจากการต่อเชื่อมของ SPP ทั้งในกรณีที่มี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW และในกรณีที่จ่ายเกิน 3 MW ตามระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2546

2.ทฤษฎีพื้นฐาน

ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกือบทั้งหมดเป็นระบบเหนือดิน (Overhead Line) จึงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดปกติได้ง่าย และจากข้อมูลที่ได้บันทึกไว้พบว่ากระแสไฟฟ้าขัดข้องส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ซึ่งสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดความผิดปกติมีค่าต่ำลงเกิดเป็นปัญหา Voltage Sag/Dip ในขณะที่เดียวกันก็สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติมีค่าสูงขึ้นเกิดเป็น Voltage Swell หากระบบไฟฟ้าถูกต่อเป็นแบบ Ungrounded หรือ Impedance Grounding



รูปที่ 1. การต่อเชื่อมส่วนประกอบสมมาตรแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a

ในการวิเคราะห์ความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault จะต้องอาศัยหลักการของส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) เพื่อสร้างเฟสเซอร์ที่ไม่สมมาตรในการอธิบายถึงระบบไฟฟ้าในสถานะที่ไม่สมดุล

อันประกอบไปด้วยส่วนประกอบลำดับบวก (Positive Sequence) ส่วนประกอบลำดับลบ (Negative Sequence) และส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence)

ถ้ากำหนดให้แรงดันไฟฟ้า E = 1 P.U. และจากหลักการของ Voltage Divider สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของส่วนประกอบต่างๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_1 = \frac{Z_{F1} + Z_{S2} + Z_{F2} + Z_{S0} + Z_{F0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{1}$$

$$V_2 = \frac{Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{2}$$

$$V_0 = \frac{Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{3}$$

และจากสมการที่ (1), (2) และ (3) สามารถนำมาคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสขณะเกิดความผิดปกติได้ดังสมการที่ (4), (5) และ (6)

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0 \tag{4}$$

$$V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0 \tag{5}$$

$$V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0 \tag{6}$$

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสได้ใหม่ดังสมการที่ (7), (8) และ (9)

$$V_a = 1 - \frac{Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{7}$$

$$V_b = a^2 \frac{a^2 Z_{S1} + a Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{8}$$

$$V_c = a \frac{a Z_{S1} + a^2 Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \tag{9}$$

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สำหรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ (10) ซึ่งจะสังเกตได้ว่า

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติจะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างระหว่างส่วนประกอบอิมพีแดนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence) กับส่วนประกอบอิมพีแดนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence) ซึ่งปกติจะมีค่าที่เท่ากัน

$$V_b - V_c = (a^2 - a) \left[1 - \frac{Z_{S1} Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \right] \quad (10)$$

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินเป็นแบบ Solid Grounding จะสามารถประเมินค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$V_a = -\frac{Z_{S1}}{\frac{1}{3}(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + Z_{S1}} \quad (11)$$

$$V_b = a^2 \quad (12)$$

$$V_c = a \quad (13)$$

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินเป็นแบบ Impedance Grounding จะสามารถประเมินค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น P.U. ในแต่ละเฟส เมื่อค่า $Z_{S1} = Z_{S2}$ และ $Z_{F1} = Z_{F2}$ ได้ดังนี้

$$V_a = 1 - \frac{Z_{S0} + 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (14)$$

$$V_b = a^2 - \frac{Z_{S0} - 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (15)$$

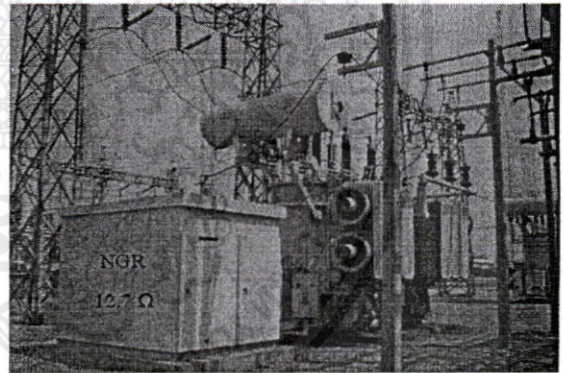
$$V_c = a - \frac{Z_{S0} - 2Z_{S1}}{(2Z_{F1} + Z_{F0}) + (2Z_{S1} + Z_{S0})} \quad (16)$$

ซึ่งจากสมการที่ (14), (15) และ (16) จะสังเกตว่า ส่วนประกอบลำดับศูนย์เป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนด

ขนาดของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสระหว่างที่เกิดความผิดปกติ

ตารางที่ 1 ค่ากระแสผิดปกติ Single Line to Ground ที่เฟส a

NGR (Ω)	สถานีไฟฟ้าช้อยนวนคร 1		สถานีไฟฟ้าช้อยนวนคร 2	
	กระแสผิดปกติ พ่วงที่ สถานีไฟฟ้า (A)	กระแสผิดปกติ พ่วงที่ ระยะห่างจาก สถานีไฟฟ้า 8 km (A)	กระแสผิดปกติ พ่วงที่ สถานีไฟฟ้า (A)	กระแสผิดปกติ พ่วงที่ ระยะห่างจาก สถานีไฟฟ้า 8 km (A)
0	6,156	1,122	5,963	1,116
5	2,342	960	2,327	955
10	1,242	770	1,239	767
12.7	986	683	984	682
15	838	620	837	619
20	631	512	631	511
25	506	432	506	432



รูปที่ 2. NGR ขนาด 12.7 Ω ในระบบไฟฟ้า

การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบจากการต่อเชื่อมของ SPP ต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจะอ้างอิงรูปแบบการต่อเชื่อมของ SPP ในระบบ 22 kV ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกระบุรีให้ SPP ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 5 MVA แบบ Dyn11 แต่หาก SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเกิน 5 MVA แบบ YNd1 ในการศึกษาจะใช้สถานีไฟฟ้าช้อยโคกแฉะ จังหวัดสระบุรีเป็นพื้นที่ตัวอย่าง โดยจะปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือระยะทางที่เกิดความผิดปกติ

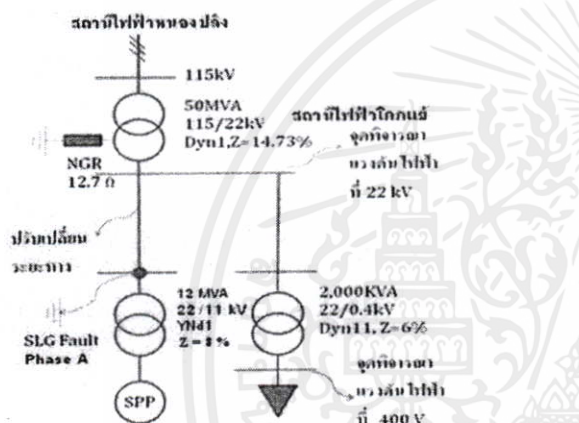
แบบ Single Line to Ground Fault ที่เฟส a ในวงจรเดียวกับที่ SPP เชื่อมต่ออยู่ที่ระยะทางต่างๆ ซึ่งการปรับเปลี่ยนระยะทางนี้จะทำให้จุดต่อเชื่อมของ SPP เปลี่ยนแปลงและอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าข้อยตามไปด้วย

การศึกษาจะใช้โปรแกรม DigSILENT Power Factory สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของ Voltage Sag/Dip และ Voltage Swell ทั้งในระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV และ 400 V ที่อยู่ในวงจรข้างเคียงตามรูปที่ 3

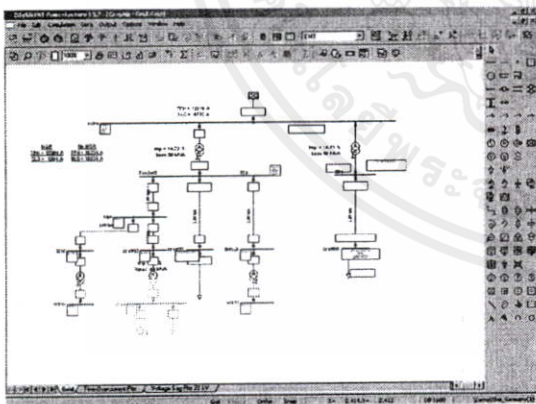
แรงดันไฟฟ้าแบบ Phase-Phase ในระบบ 22 kV มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 แต่จะทำให้เกิด Voltage Swell ในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติขนาดประมาณ 1.5 - 1.78 P.U. ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ 400 V มีค่าใกล้เคียง 1 P.U. ทั้งแบบ Phase-Phase และ Phase-Neutral

ตารางที่ 2 แรงดันไฟฟ้ากรณี SPP ขนาดไม่เกิน 3 MW

แรงดันไฟฟ้า (P.U.)	Bus 22 kV (TP1)		Bus 400 V (USER2)	
	0 km	20 km	0 km	20 km
Va	0.00	0.64	0.96	0.97
Vb	1.66	1.03	1.00	1.00
Vc	1.78	1.50	1.03	0.99
Vab	0.96	0.97	0.96	0.98
Vbc	1.00	1.00	1.03	1.01
Vca	1.03	0.99	0.99	0.97



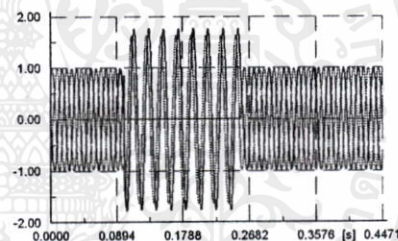
รูปที่ 3. แบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้ในการศึกษา



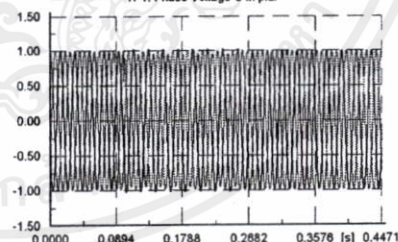
รูปที่ 4. แบบจำลองโปรแกรม DigSILENT Power Factory

4. ผลการจำลอง

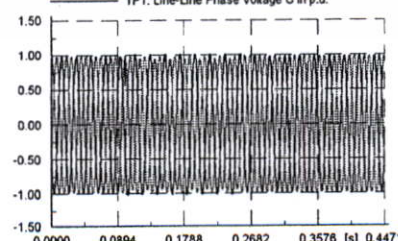
4.1 กรณี SPP ขนาดไม่เกิน 3 MW ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลการจำลองกรณี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW พบว่า Voltage Sag/Dip ที่เกิดขึ้นไม่ทำให้



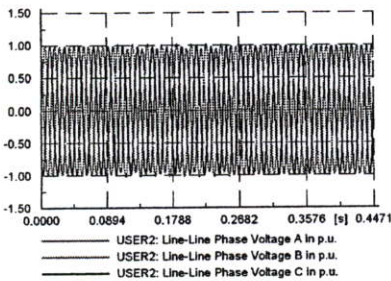
(ก) แรงดันไฟฟ้า Phase-Neutral ที่ Bus 22 kV



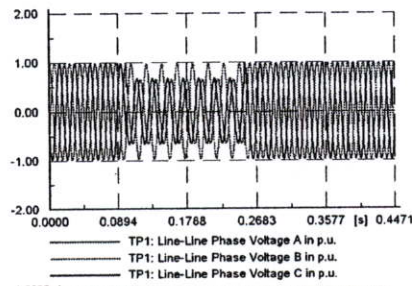
(ข) แรงดันไฟฟ้า Phase-Phase ที่ Bus 22 kV



(ค) แรงดันไฟฟ้า Phase-Neutral ที่ Bus 400 V



(ง) แรงดันไฟฟ้า Phase-Phase ที่ Bus 400 V



(ข) แรงดันไฟฟ้า Phase-Phase ที่ Bus 22 kV

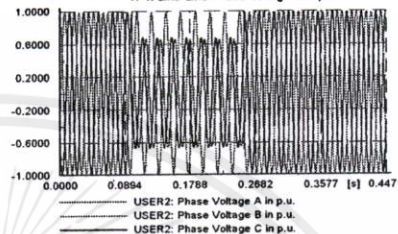
รูปที่ 5. แรงดันไฟฟ้ากรณี SPP ขนาดไม่เกิน 3 MW

4.2 กรณี SPP ขนาดเกิน 3 MW

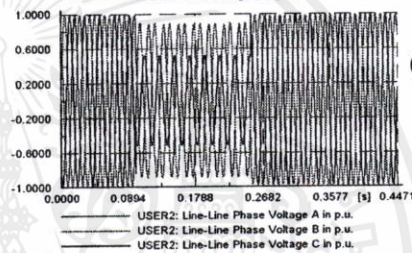
ผลการจำลองกรณี SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเกิน 3 MW พบว่า Voltage Sag/Dip ที่เกิดขึ้นมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Phase-Phase ในระบบ 22 kV มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 หาก SPP ต่อเชื่อมอยู่ในระยะใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย จึงมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบ 400 V ในบางเฟสมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆหยุดชะงักหรือทำงานผิดพลาด ส่วนระดับของ Voltage Swell ที่เกิดขึ้นนั้นพบว่ามีความต่ำกว่ากรณีที่ SPP จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบไม่เกิน 3 MW

ตารางที่ 3 แรงดันไฟฟ้ากรณี SPP ขนาดเกิน 3 MW

แรงดันไฟฟ้า (P.U.)	Bus 22 kV (TP1)		Bus 400 V (USER2)	
	0 km	20 km	0 km	20 km
Va	0.00	0.71	0.67	0.86
Vb	1.16	0.96	1.00	1.00
Vc	1.19	1.12	0.69	0.94
Vab	0.67	0.86	0.90	0.93
Vbc	1.00	1.00	0.91	1.00
Vca	0.69	0.94	0.53	0.86



(ค) แรงดันไฟฟ้า Phase-Neutral ที่ Bus 400 V



(ง) แรงดันไฟฟ้า Phase-Phase ที่ Bus 400 V

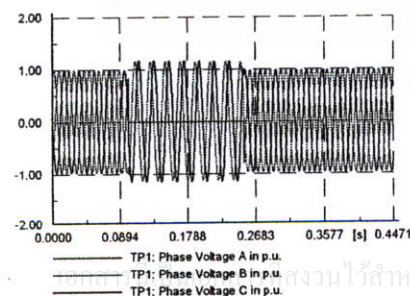
รูปที่ 6. แรงดันไฟฟ้ากรณี SPP ขนาดเกิน 3 MW

5.สรุป

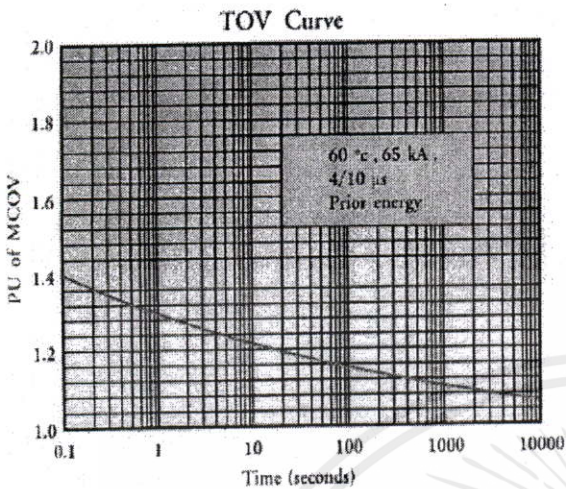
ระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω จะกำหนดให้ใช้กับดักฟ้าผ่า (Arrester) ขนาด 24 kV ซึ่งมีค่า Uc อยู่ที่ 19.5 kV และจากรูปที่ 7 กับดักฟ้าผ่าจะทนแรงดันไฟฟ้าขนาด 1.318 เท่าของ Uc หรือ 25.7 kV ได้นาน 1 วินาที ซึ่งจากการศึกษาพบว่าหาก SPP ที่ต่อเชื่อมเข้าระบบไฟฟ้ามีขนาดไม่เกิน 3 MW ผลของ Voltage Swell ขนาด 1.5-1.78 P.U. (22.61-19.05kV) ที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault จะไม่ส่งผลกระทบต่อกับดักฟ้าผ่า และไม่มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Phase-Phase ในระบบ 22 kV มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80

ตารางที่ 4 ข้อมูลทางเทคนิคของกับดักฟ้าผ่า

Type	Rated Voltage Ur (kV)	Continuous Operating Voltage (Uc) (kV)	TOV Capability for 1 Sec (kV)
PAZ-P21-2	21	17.0	22.4
PAZ-P24-2	24	19.5	25.7



(ก) แรงดันไฟฟ้า Phase-Neutral ที่ Bus 22 kV



รูปที่ 7. TOV Curve ของกับดักฟ้าผ่าขนาด 5 kA

ผลการศึกษาการต่อเชื่อม SPP ที่มีขนาดเกิน 3 MW เข้ากับระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง NGR ขนาด 12.7 Ω พบว่าทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip มีประสิทธิภาพที่ลดลง กล่าวคือ ทำให้แรงดันไฟฟ้าแบบ Phase-Phase ในระบบ 22 kV มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 และส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ 400 V มีค่าเหลือต่ำกว่าร้อยละ 80 ในบางเฟส ซึ่งมีผลต่อการปลดวงจรออกของอุปกรณ์ไฟฟ้า อาทิเช่น Magnetic Contactor, Adjustable Speed Drive, Air Circuit Breaker และระบบควบคุมไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น

ตารางที่ 5 แรงดันไฟฟ้ากรณีที่มี SPP (≥ 3 MW) ติดตั้ง NGR

แรงดันไฟฟ้า (P.U.)	ขนาด NGR (Ω)					
	Bus 22 kV (TP1)			Bus 400 V (USER2)		
	5	12.7	20	5	12.7	20
Va	0.00	0.00	0.00	0.84	0.92	0.94
Vb	1.46	1.59	1.62	1.00	1.00	1.00
Vc	1.81	1.81	1.80	1.04	1.04	1.04
Vab	0.84	0.92	0.94	0.88	0.93	0.94
Vbc	1.00	1.00	1.00	1.07	1.05	1.05
Vca	1.04	1.04	1.04	0.93	0.98	0.99

สามารถติดตั้ง NGR เพิ่มเติมทางด้านระบบ 22 kV ได้ และจากผลการศึกษาเพิ่มเติมตามตารางที่ 5 โดยการจำลองให้ระบบไฟฟ้าของ SPP ติดตั้ง NGR ขนาด 5, 12.7 และ 20 Ω พบว่าทำให้การแก้ไขปัญหา Voltage Sag/Dip ด้วย NGR มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและไม่ทำให้ Voltage Swell มีค่าสูงเกินพิกัดการทำงานของกับดักฟ้าผ่าขนาด 24 kV อย่างไรก็ตามการเลือกขนาด NGR ที่เหมาะสมสำหรับ SPP นั้นจำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขเกี่ยวกับระบบป้องกันทางด้านกระแสด้วย เนื่องจากการติดตั้ง NGR จะทำให้ขนาดของกระแสผิดพลาดแบบ Single Line to Ground Fault มีขนาดที่ลดลง ซึ่งหากกำหนดค่าการทำงานของระบบป้องกันไม่เหมาะสมจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดนั้นได้

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเกิน 1000 กิโลวัตต์ในระบบไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ.2546
- [2] สุทธิ บรรจงจิตร, “หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า” บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2548
- [3] The National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) “Application Guide for Distributed Generation Interconnection: 2003 Update The NRECA Guide to IEEE 1547” April 2003, www.nreca.org
- [4] Vu Van Thong, Johan Driesen and Ronnie Belmans “Overview and Comparisons of Existing DG Interconnection Standards and Technical”
- [5] EPRI “Power Quality Impacts of Distributed Generation” Palo Alto, CA: 2000
- [6] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995
- [7] Math H. J. Bollen “Understanding Power Quality Problems”

เนื่องจาก SPP ที่มีขนาดเกิน 3 MW ถูกกำหนดให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดของเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ปฏิบัติงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ YNd1 ดังนั้นจึง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุธีร์วัฒน์ นงนุช
วัน เดือน ปีเกิด	14 ตุลาคม 2514 ที่ปราจีนบุรี
ที่อยู่	23 ม.5 ต. วัดโบสถ์ อ.เมือง จ. ปราจีนบุรี 25000
ประวัติการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ประสบการณ์การทำงาน	
2539 - 2549	อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
2549 - ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสระแก้ว ต. วัฒนานคร อ. วัฒนานคร จ. สระแก้ว 27160



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้