



การประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
Assessment of Voltage Sag in Transmission System with Distributed Generation

เอกวัฒน์ ทองเปลว
Akekawatn Thongplaw


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้า
แบบกระจายตัว
Thesis title Assessment of Voltage Sag in Transmission System with
Distributed Generation
ชื่อ นามสกุล เอกวิวัฒน์ ทองเปลว
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

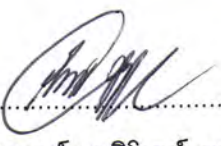
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(ดร.สุวิทย์ อัจริยะเมต)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ)


..... กรรมการและเลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง)

วันที่ 29 เดือน เมษายน พ.ศ. 2559

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
ชื่อ สกุล	เอกวัฒน์ ทองเปลว
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบสายส่ง การดำเนินการได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSCAD/EMTDC รุ่น 4.2 สำหรับจัดเตรียมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อสร้างแบบจำลอง และจำลองเหตุการณ์ในภาวะชั่วคราวและวิเคราะห์เหตุการณ์ความผิดปกติพร้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมทั้ง 5 ชนิดได้แก่ ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟส และความผิดปกติ 3 เฟส โดยพิจารณาจากค่าร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งก่อนเกิดการผิดปกติมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 หรือ 1.0 pu พบว่า กรณีมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบสายส่ง หลังจากเกิดความผิดปกติแล้วจะทำให้ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บัสของสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 มีร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของระดับแรงดันเฟสและแรงดันไลน์คงเหลือมากกว่าเมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ทั้งในระบบสายส่งที่จ่ายไฟแบบเรเดียล และระบบสายส่งที่จ่ายไฟแบบปัดวงจร

คำสำคัญ : แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว, แรงดันตกชั่วขณะ, ความผิดปกติ

Thesis title	Assessment of Voltage Sag in Transmission System with Distributed Generation
Author	Akekawatn Thongplaw
Degree	Master degree
Major program	Electrical Power Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2015

ABSTRACT

This thesis presents an assessment of voltage sags when faults are happened in the 115 kV transmission line of the Provincial Electricity Authority (PEA) when distributed generation (DG) is installed in the system. The computer program PSCAD/EMTDC (Power Systems Computer Aided Design / Electromagnetic Transient in DC system) version 4.2 is applied to provide electrical parameters for the modeling and simulation and to analyze the fault occurred which resulted in voltage sag.

Test results from PSCAD/EMTDC show the values of voltage sag when 5 types of fault are occurred (Single Line to Ground Fault, Double Line to Ground Fault, Three Phase to Ground Fault, Line to Line Fault and Three Phase Fault). For all cases, the value of root mean square voltage before fault is 100% or 1.0 pu. It can be seen that for both radial line and closed circuit, when DG are installed in the system, the value of phase to ground RMS residual voltage and phase to phase RMS residual voltage at the bus of Bang-pa-in 2 substation are more than the values in case of the system without DG.

Keywords : Distributed generation, Voltage sag, Fault

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงตามจุดประสงค์ได้ ถ้าหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทง ลานธารทอง ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการเขียนบทความวิชาการ บทความวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ช่วยถ่ายทอดความรู้ที่เอื้ออำนวยในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ และตรวจสอบจุดบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณความช่วยเหลือจากคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณณรงค์ ศรียามัย ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองวิศวกรรมและวางแผน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคกลาง) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ได้ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญในขั้นตอนการทำวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ นายเพ็ญพจน์ ทองเปลว และนางชฎิต แก้วนพ ซึ่งเป็นบิดาและมารดาของข้าพเจ้าอย่างสุดซึ้ง ที่เป็นกำลังใจ อบรมสั่งสอน ให้ข้าพเจ้ามีความตั้งใจ พากเพียร และปลุกฝังให้เห็นความสำคัญของการศึกษาเล่าเรียนมาตั้งแต่เยาว์วัยจวบจนปัจจุบัน ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาทั้งในเรื่องเรียน และเรื่องการใช้ชีวิต อีกทั้งส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสในการศึกษาจนบรรลุผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการ องค์ความรู้ คุณธรรมจริยธรรมแก่ข้าพเจ้า และเพื่อนทุกคน ที่ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือ ซึ่งส่งผลทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดำเนินตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกวัฒน์ ทองเปลว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ระบบสายส่ง	5
2.3 แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว	16
2.4 ความผิดพ้องในระบบไฟฟ้ากำลัง	18
2.5 แรงดันตกชั่วขณะ	21
2.6 การทบทวนวรรณกรรม	24
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	27
3.1 รูปแบบการศึกษา	27
3.2 หลักการของโปรแกรม PSCAD/EMTDC	27
3.3 การเลือกใช้แบบจำลองในการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC	30

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การทดสอบแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน	37
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	39
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	40
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	41
4.1 การสร้างแบบจำลอง	41
4.2 การทดสอบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติชนิดต่าง ๆ	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 บทนำ	65
5.2 สรุปผลการวิจัย	65
5.3 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก ก	75
ภาคผนวก ข	80
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	101



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การแบ่งส่วนของระบบสายส่ง	7
2.2 ตัวอย่างระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง สายส่งย่อย และสายบ่อน	10
2.3 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ	23
3.1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ เทเวนนินอิมพีแดนซ์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ข้อมูลจาก กฟผ. เมื่อไม่คิดผลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว	37
3.2 เปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จาก กฟผ.	39
4.1 ข้อมูลระบบสายส่งสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2	41
4.2 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	43
4.3 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG	43
4.4 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	44
4.5 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG	44
4.6 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	45
4.7 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG	45
4.8 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 15 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	46
4.9 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 15 กม. เมื่อติดตั้ง DG	46
4.10 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	47
4.11 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG	47
4.12 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	48
4.13 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG	48
4.14 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	49
4.15 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG	49
4.16 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	50
4.17 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG	50
4.18 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG	51
4.19 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG	51

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.44	แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 52.61 กม.เมื่อไม่ติดตั้งDG	64
4.45	แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 52.61 กม. เมื่อติดตั้ง DG	64



สารบัญญภาพ

ภาพ	หน้า	
2.1	สายส่งแบบเวเดี่ยลแบบง่าย	11
2.2	วงจรสายส่งย่อยแบบลูป	13
2.3	สายส่งย่อยแบบถ่ายโอน	14
2.4	ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน	19
2.5	ความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน	19
2.6	ความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน	20
2.7	ความผิดพลาด 2 เฟส	20
2.8	ความผิดพลาด 3 เฟส	21
2.9	แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า	22
3.1	แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า	31
3.2	แบบจำลองสายส่งและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า	32
3.3	แบบจำลองโหลดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า	32
3.4	แบบจำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า	33
3.5	แบบจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า	34
3.6	แบบจำลองความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน	35
3.7	แบบจำลองความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน	35
3.8	แบบจำลองความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน	36
3.9	แบบจำลองความผิดพลาด 2 เฟส	36
3.10	แบบจำลองความผิดพลาด 3 เฟส	36
3.11	ผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน	37
3.12	แผนภูมิผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุด เมื่อเกิดความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน	38
3.13	ผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน	38
3.14	แผนภูมิผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน	38
4.1	แผนผังการจ่ายไฟระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ทำให้มีความจำเป็นอย่างมากในการวางแผนจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ แต่เนื่องจากปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมทำให้หน่วยงานภาครัฐเข้ามาส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าตัวอย่างเช่น การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม (Wind Turbine) การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล (Bio Mass) รวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (Hydro Power) ดังนั้นจึงทำให้แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation, DG) เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ออกระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตรายเล็ก (Small Power Producer, SPP) การผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตรายเล็กจะใช้ระบบการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) หรือการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานนอกแบบ ใช้กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง โครงการผู้ผลิตรายเล็กแต่ละโครงการ จะจ่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าไม่เกิน 90 เมกะวัตต์ แต่เนื่องจากผู้ผลิตรายเล็กแต่ละแห่งสามารถขายไฟฟ้าให้ผู้บริโภค ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้โดยตรง กำลังการผลิตของผู้ผลิตรายเล็กมักจะอยู่ในระดับ 120-150 เมกะวัตต์

การที่ผู้ผลิตรายเล็กจ่ายไฟฟ้าเข้ามาในระบบของการไฟฟ้า อาจทำให้การจ่ายไฟในระบบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานในการออกแบบที่ใช้อยู่เดิม ซึ่งผู้ใช้ไฟของการไฟฟ้าที่ต้องการคุณภาพแรงดันไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพสูง เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น อุตสาหกรรมประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการลงทุนจากต่างชาติ ซึ่งคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าก็เป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจลงทุน โดยแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag) เป็นหนึ่งในปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่มีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจาก

เมื่อเกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะขึ้นในระบบไฟฟ้า จะทำให้กระทบกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ซึ่งคุณภาพแรงดันไฟฟ้าที่ดีต้องมีระดับแรงดันคงที่ตลอดเวลาตามมาตรฐาน IEEE 1159 [1]

ดังนั้นการวิจัยเพื่อประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถทำความเข้าใจและวิเคราะห์ผลกระทบต่าง ๆ รวมทั้งวางแผนการดำเนินการเพื่อรองรับการจ่ายไฟของผู้ผลิตรายเล็กได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าสามารถให้บริการพลังงานไฟฟ้าแก่ลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี และมีเสถียรภาพมั่นคงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อประเมินผลแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งที่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะของระบบไฟฟ้าในแต่ละสถานการณ์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลอง (Model) และการจำลอง (Simulation) ระบบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC (Power Systems Computer Aided Design / Electromagnetic Transient in DC system)

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.3.1 ศึกษาแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่ในระบบ
- 1.3.2 ศึกษาแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติที่ภาระโหลดสูงสุด
- 1.3.3 ศึกษาแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติโดยการวัดร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (%RMS Voltage) ที่บัสของสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2
- 1.3.4 ศึกษาแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบสายส่ง ขณะแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจ่ายโหลดคงที่ที่ร้อยละ 100

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาบทความวิชาการที่เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ ดังนี้

1. ผลกระทบทางด้านเทคนิค การวิเคราะห์และการประเมินแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเมื่อเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้ากำลัง
2. การจัดทำกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
3. แรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.4.2 สร้างแบบจำลองระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ของ กฟภ. ซึ่งมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่ในระบบสายส่งโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งเมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เปรียบเทียบกับเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

1.4.3 รวบรวมข้อมูล เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดทำเอกสารรายงานผลการวิจัยและเผยแพร่ที่เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1.5.1 สามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC มาช่วยวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
- 1.5.2 สามารถประเมินแรงดันตกชั่วขณะระบบสายส่งที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว
- 1.5.3 สามารถวิเคราะห์ผลของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในแต่ละสถานการณ์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดความต่อเนื่องของกระบวนการผลิตสินค้าในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงต้องปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าอยู่เสมอ [2] อย่างไรก็ตาม ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละภาคอุตสาหกรรมมักมีสาเหตุ และเงื่อนไขทางด้านเทคนิคที่ทำให้ผลกระทบของปัญหาคุณภาพไฟฟ้านั้นมีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน จากปัจจัยอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมรวมทั้งการพัฒนาทางด้านต่าง ๆ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบที่เชื่อมต่อกันระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นระบบที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟโดยตรง โดยเฉพาะระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จ่ายไฟในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมซึ่งต้องการคุณภาพไฟฟ้าในระดับสูง จากการสำรวจในสหรัฐอเมริกาพบว่าแรงดันตกชั่วขณะคิดเป็นร้อยละ 92 ของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า [3] เนื่องจากการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับโหลดที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดัน [4] เช่น โหลดที่เป็นอินเวอร์เตอร์ หรือคอนเวอร์เตอร์สำหรับจ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ในงานอุตสาหกรรม คอมพิวเตอร์ในสำนักงาน โดยสถานที่ที่สำคัญได้แก่ โรงงานผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณ อาคารสำนักงาน และโรงพยาบาล หรือศูนย์การแพทย์ เป็นต้น

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันตกชั่วขณะสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือความผิดปกติ (Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย แล้วส่งผลให้ผู้ใช้ไฟในวงจรข้างเคียงประสบกับปัญหา โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของกระแสลัดวงจร ชนิดของการลัดวงจร และระยะเวลาในการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันที่ต้นทาง [5] จะเห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง

เมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นและผู้ใช้ไฟอยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จึงต้องมีการเพิ่มกำลังผลิตและขยายระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้ทั่วถึง แต่การดำเนินการดังกล่าวมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น เชื้อเพลิง เงินลงทุน และพื้นที่ในการก่อสร้างที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเทคโนโลยีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation: DG) เข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ แต่การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าไปในระบบจำหน่ายจะส่งผลให้การทำงานและการควบคุมระบบไฟฟ้ามีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในตำแหน่งและขนาดที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้น ระดับแรงดันไฟฟ้าหรือขนาดกระแสลัดวงจรในระบบเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด พลังงานที่นำมาใช้กับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมีหลายประเภท ได้แก่ พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายมีประโยชน์ในการลดความสูญเสียของกำลังไฟฟ้า และยังสามารถปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย การเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นในระบบจำหน่ายมาก ปกติเวลาเกิดความผิดปกติในระบบอุปกรณ์ป้องกันจะแยกส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้า ทำให้แหล่งจ่ายหลักไม่สามารถที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนจึงส่งผลให้ระบบที่ถูกแยกออกไม่มีไฟฟ้าใช้ แต่ถ้าติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะสามารถเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกแยกออกจากระบบได้ และสามารถลดปริมาณผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบและความเสียหายทางเศรษฐกิจที่มาจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถปรับปรุงค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหลักการสำคัญในการออกแบบและการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างประหยัดและการหยุดจำหน่ายไฟฟ้าให้น้อยที่สุด แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการสำรองพลังงานไฟฟ้า

2.2 ระบบสายส่ง

ระบบสายส่งทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากระบบผลิตไฟฟ้าผ่านระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อทำการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบสายส่ง มี

ส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ได้แก่ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย หม้อแปลงจำหน่าย สายบ่อน สายจำหน่าย แรงดันไฟฟ้าต่ำและอุปกรณ์ป้องกัน

หน้าที่ของระบบสายส่งที่สำคัญประการหนึ่งคือ การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา มีความมั่นคงในการส่งไฟฟ้าสูง หากเกิดเหตุขัดข้องก็สามารถแก้ไขให้ไฟฟ้าดับกลับคืนในเวลารวดเร็วหรือทำให้มีระยะเวลาการขัดข้องน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ซึ่งเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการลัดวงจรในสายบ่อน หรือ หม้อแปลง การเกิดลัดวงจรนี้อาจเกิดได้ใน 2 ลักษณะ คือ แบบถาวรและแบบชั่วคราว ที่อาจส่งผลให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ หรือ ไฟกระพริบแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ อันเป็นสาเหตุในการเกิดไฟฟ้าดับแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะพบบ่อยในย่านผู้ใช้ไฟฟ้าอุตสาหกรรม หากการทำหน้าที่ของระบบสายส่งไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากเกิดการขัดข้องของอุปกรณ์แล้วก็จะมีผลต่อความเชื่อถือได้ต่อระบบโดยรวม ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดข้อขัดข้องหรือเกิดเหตุไฟฟ้าดับขึ้น

ในอดีตที่ผ่านมา ระบบสายส่ง ได้รับความสนใจในการศึกษาด้านความเชื่อถือได้ของระบบ น้อยกว่าระบบผลิตกำลังไฟฟ้า เนื่องจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้ามีการลงทุนสูง และการเกิดขัดข้องของระบบผลิตกำลังไฟฟ้า จะส่งผลให้เกิดผลกระทบเป็นบริเวณกว้าง ต่อทั้งสังคมและสิ่งแวดล้อม ระบบสายส่งเป็นส่วนที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำกว่า และผลกระทบจากการเกิดเหตุขัดข้องมีบริเวณที่แคบกว่า แต่จากประสบการณ์ของการไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่า สถิติการเกิดไฟฟ้าดับที่มีผลต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีสาเหตุจากระบบสายส่งมากที่สุด

อุปกรณ์หลักในระบบไฟฟ้ากำลัง

1. สายไฟฟ้า เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ สายเปลือยและสายหุ้มฉนวน การเลือกใช้สายไฟฟ้าแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หากต้องการระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูงควรใช้สายเคเบิลใต้ดิน แต่การลงทุนก็จะสูงตามไปด้วย
2. หม้อแปลง เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบสายส่งมีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ต่ำลงเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ประเภทต่าง ๆ ด้วยระบบแรงดันต่ำต่อไป
3. เซอร์คิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปใช้ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกันใช้ในการกำจัดการเกิดการผิดพลาดในระบบหรือตัดส่วนของอุปกรณ์ที่เกิดการผิดพลาดออกจากระบบ
4. สวิตช์ตัดตอน โดยทั่วไปใช้ติดตั้งในสายเมน ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบช่วงสุดท้ายที่รับไฟฟ้าจากระบบสายส่งเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงหรือระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีใช้ตอน

เริ่มแรกเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าตามเมืองใหญ่ๆ มาภายหลังระบบจำหน่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้เข้ามาแทนที่ทั้งนี้เนื่องจากประหยัดกว่าแบบไฟฟ้ากระแสตรง ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าปฐมภูมิซึ่งรับไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าย่อยและส่งต่อไปยังบริเวณผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก และแปลงไฟลงผ่านหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุติยภูมิซึ่งรับไฟจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายส่งต่อไปยังผู้ใช้ไฟเพื่อใช้งานเลย ระบบจำหน่ายสามารถจำแนกออกได้เป็นส่วนๆ ที่สำคัญดังนี้ สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง ระบบสายส่งย่อย สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย สายบ่อนปฐมภูมิ หม้อแปลงจำหน่าย และระบบจำหน่ายทุติยภูมิ ส่วนต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายที่กล่าวมานี้ใช้กับระบบจำหน่ายทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นระบบจำหน่ายที่แบ่งตามชนิดของโหลด เช่น อาคารพาณิชย์ ผู้อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม หรือแบ่งตามชนิดโครงสร้าง เช่น สายจำหน่ายเหนือดิน หรือสายจำหน่ายใต้ดิน

ตาราง 2.1 การแบ่งส่วนของระบบสายส่ง

ส่วนของระบบสายส่ง	หน้าที่และการทำงาน
สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง (Bulk Power Substation)	รับกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งและแปลงไฟ เพื่อให้ระบบสายส่งย่อย
ระบบสายส่งย่อย (Sub transmission System)	ระบบวงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง เพื่อส่งต่อไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย
สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Distribution Substation)	สถานีไฟฟ้ารับกำลังไฟฟ้าจากวงจรสายส่งย่อย และแปลงให้สายบ่อนปฐมภูมิ
สายบ่อนปฐมภูมิ (Primary Feeder)	วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อส่งไปยังหม้อแปลงจำหน่าย
สายบ่อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder)	วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่าย และส่งไปยังผู้ใช้ไฟ

2.2.1 สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง

สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง คือ สถานีเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบสายส่งให้ต่ำลงแล้วเข้าระบบสายส่งย่อย เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังนี้มีโหลดเป็นจำนวนมากไหลผ่าน การออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังจึงต้องพิถีพิถันในเรื่องการจ่ายไฟฟ้าให้โหลดอย่างต่อเนื่อง ถ้าหาก

สถานีไฟฟ้าย่อยขัดข้องไม่สามารถจ่ายไฟให้ระบบสายส่งย่อยได้ก็จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ลักษณะการจัذبัส และเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังมีด้วยกันหลายแบบขึ้นอยู่กับความสำคัญของโหลดที่จ่ายไฟว่าต้องการให้มีความมั่นคง มีไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องเพียงใด การจัذبัส และเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อยแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1. บัสเดี่ยวหรือบัสประธาน (Single or Main Bus) เป็นรูปแบบการจัذبัสและเบรกเกอร์อย่างง่าย มีหม้อแปลงสองชุด แปลงแรงดันไฟฟ้าของสายส่งลงไปเป็นระดับสายส่งย่อย ถ้าเกิดลัดวงจรที่บัสนี้ก็ทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟได้เลยแหล่งจ่ายไฟใดที่เกิดขัดข้องแหล่งจ่ายไฟที่เหลือก็ยังสามารถจ่ายไฟได้โดยไม่ขาดความต่อเนื่องในการจ่ายไฟถ้าหม้อแปลงที่จ่ายมีขนาดใหญ่มากพอ รูปแบบการจัذبัสเดี่ยวหรือบัสประธานนี้มีจุดอ่อนที่การเกิดลัดวงจรที่บัสทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟให้โหลดและหม้อแปลงในระบบนี้ต้องมีขนาดใหญ่

2. บัสแรงสูงตัดตอน การจัذبัสของระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากบัสเดี่ยวโดยการต่อแหล่งจ่ายไฟสองแหล่งเข้าด้วยกันเพื่อว่าเมื่อมีเหตุขัดข้องกับแหล่งจ่ายไฟใด อีกแหล่งจ่ายไฟหนึ่งยังสามารถส่งกำลังไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงทั้งสองแทนที่จะเป็นหม้อแปลงเดี่ยว สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ลงทุนน้อยก็จริงแต่ความต่อเนื่องในการจ่ายไฟไม่สูงเมื่อเทียบกับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบอื่น

3. บัสเดี่ยวตัดตอน การจัذبัสและเบรกเกอร์ของระบบนี้เหมือนกับแบบบัสประธานหรือบัสเดี่ยวยกเว้นบัสถูกแยกออกมาเป็นสองบัสหรือมากกว่า โดยใช้เบรกเกอร์เป็นตัวตัดตอนแยก ลักษณะแบบนี้มีผลดีคือบัสตอนใดถูกเอาออกจากระบบเพื่อการบำรุงรักษาได้โดยไม่มีผลต่อบัสตัดตอนอื่นๆ การเกิดลัดวงจรที่บัสตอนใดไม่ได้ทำให้ระบบหยุดชะงักการจ่ายไฟทั้งหมดเพียงแต่หยุดจ่ายบางส่วนเท่านั้น จะเห็นว่าการจัذبัส และเบรกเกอร์แบบนี้ก็เพื่อแก้ไขจุดอ่อนของการจัذبัสประธานหรือเดี่ยวในกรณีที่เกิดลัดวงจรที่บัสแล้วต้องหยุดชะงักการจ่ายไฟหมด เมื่อมีการจัذبัสให้ดีแล้วคือ ไม่ให้มีโหลดสูงเกินไป การบำรุงรักษาโดยการเอาบัสตัดตอนได้ออกสามารถทำได้โดยไม่ต้องปลดโหลดออกเลยเพื่อให้มีความต่อเนื่องของการจ่ายโหลดในกรณีนี้สถานีไฟฟ้าย่อยที่รับไฟจากบัสตัดตอนใดๆ ต้องรับไฟจากบัสตัดตอนอื่นๆ หรือจากสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังอื่นๆ

4. บัสประธานคู่ เป็นการจัذبัสและเบรกเกอร์เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงาน เบรกเกอร์หรือบัสสามารถตัดออกจากระบบเวลาใดก็ได้โดยไม่รบกวนการจ่ายไฟเลย ถ้าหากบัสทั้งสองถูกใช้งานอยู่และเกิดลัดวงจรขึ้นที่บัสใดบัสหนึ่ง จุดลัดวงจรดังกล่าวสามารถถูกตัดออกจากระบบได้ด้วยวิธีเลย์แบบดิฟเฟอเรนเชียล โดยยังสามารถจ่ายไฟได้เหมือนปกติอยู่ ระบบบัสประธานนี้อาจดัดแปลงได้โดยตัดบัสออกเป็นตอนๆ โดยใช้เบรกเกอร์ตัดตอนและสวิตช์ตัดตอน เบรกเกอร์คู่อาจใช้สำหรับบาง

วงจรโดยที่วงจรอื่นอาจต่อเข้ากับบัสโดยผ่านสวิตช์ตัดตอนเท่านั้น การเลือกวิธีการจัดบัสและเบรกเกอร์อย่างใดก็ขึ้นอยู่กับความสำคัญของวงจรว่าจะต้องมีการป้องกันมากหรือไม่

5. บัสประธานและบัสโอน บัสโอน หมายถึง บัสที่วงจรหนึ่งอาจถูกโอนจากบัสประธานมาที่บัสนี้ที่ละวงจรโดยผ่านทางเบรกเกอร์เชื่อมโยง (Tie Breaker) ระบบนี้อาจถูกดัดแปลงให้สายจ่ายไฟที่เข้ามาต่อผ่านสวิตช์ตัดตอนเพื่อว่าจะต่อเข้ากับบัสประธานหรือบัสโอนก็ได้ กรณีนี้ก็สามารถแก้ไขปัญหาที่ว่าเหตุขัดข้องที่บัสประธานทำให้ขาดการจ่ายไฟได้

6. บัสประธานสำรองและโอน บัสสำรองมีไว้สำหรับต่อสายบ้อนหรือสายจ่ายไฟ บัสสำรองนี้ทำหน้าที่เหมือนกับบัสประธานที่สอง สายบ้อนที่จ่ายไปสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ อาจแยกรับไฟจากสองบัสโดยมีสายจ่ายไฟบ้อนเข้าแต่ละบัสจากหม้อแปลง การบำรุงรักษาเบรกเกอร์ของสายบ้อนสามารถทำได้โดยต่อโหลดไว้ชั่วคราวเข้ากับบัสโอน

7. บัสประธานและบัสโอนสำรอง ซึ่งเป็นการดัดแปลงระบบการจัดบัสประธานสำรองและโอนโดยใช้บัสสำรองและบัสโอนรวมเข้าเป็นบัสเดียวกัน การจัดแบบนี้มีข้อดีคือสามารถบำรุงรักษาบัสใดหรือเบรกเกอร์ใดก็ได้ การเพิ่มบัสหรือเบรกเกอร์ใหม่เข้าไปก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องยากการบำรุงรักษาเบรกเกอร์ของสายบ้อนสามารถทำได้โดยจ่ายไฟผ่านเบรกเกอร์ของสายจ่ายไฟเข้าบัสประธานผ่านเบรกเกอร์เชื่อมโยงเข้าบัสโอนและไปยังโหลด ในการจัดบัสประธานและบัสโอนสำรองเพื่อจ่ายไฟต้องระมัดระวังในเรื่องการทำงานของสวิตช์ตัดตอนตามขั้นตอนด้วย

8. บัสเบรกเกอร์ครึ่ง เป็นระบบที่มีบัสประธานสองชุดที่ใช้อุปกรณ์น้อยลง ระบบใช้เบรกเกอร์ 3 ชุดต่อ 2 วงจร จึงเรียกว่าการจัดแบบนี้ว่าบัสเบรกเกอร์ครึ่ง การย้ายโหลดเพื่อรับไฟจากบัสประธานใดก็ทำโดยใช้เบรกเกอร์ ขั้นตอนการทำงานปิดเปิดของเบรกเกอร์ตามลำดับก็ไม่ยุ่งยาก

9. บัสวง มีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ ใช้เบรกเกอร์หนึ่งชุดต่อหนึ่งวงที่เข้าหรือออกจากระบบเท่านั้น และข้อได้เปรียบอีกประการคือ แต่ละวงจรของโหลดหรือวงจรที่ออกจากระบบได้รับการจ่ายไฟสองทาง ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายลดลงต่ำกว่าของระบบบัสประธานคู่หรือบัสเบรกเกอร์ครึ่งแต่บัสวงก็ยังมีคามมั่นคงและเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟ เบรกเกอร์ในระบบลัดวงจรใดๆ สามารถเอาออกจากระบบได้เพื่อการบำรุงรักษาโดยไม่ทำให้ระบบต้องหยุดจ่ายไฟอย่างไรก็ตามถ้ามีการลัดวงจรเกิดที่วงจรที่เข้ามาหรือออกไปในขณะที่มีการเอาเบรกเกอร์ออกไปบำรุงรักษาก็อาจทำให้วงจรอื่นที่อยู่ข้างเคียงไม่สามารถรับไฟได้

2.2.2 ระบบสายส่งย่อย

สายส่งย่อยมีหน้าที่รับกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังเพื่อส่งไปให้สถานีไฟฟ้าย่อยที่อยู่ตามแหล่งชุมชนต่างๆ ที่สถานีไฟฟ้าย่อยนี้ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่งย่อยถูกแปลงให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อไปยังสายบ่อน

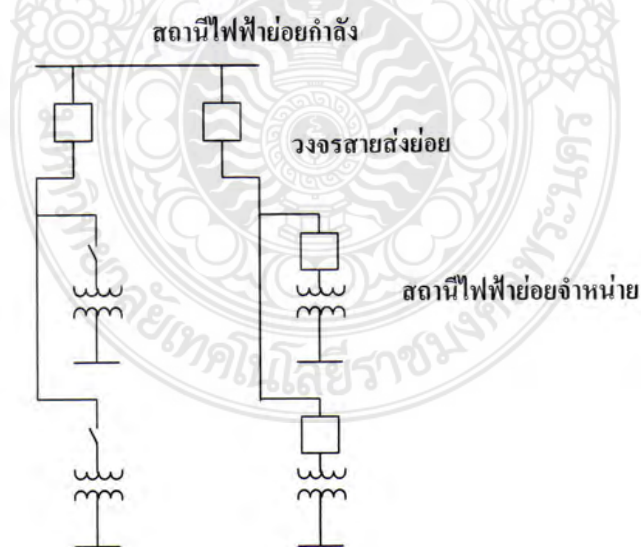
การจัดว่าระบบสายส่งใดเป็นระบบสายส่งหรือสายส่งย่อย ต้องพิจารณาจากการทำงานของระบบไม่ใช่พิจารณาจากระดับแรงดันไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับสายส่งย่อยขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระบบสายส่งย่อย ถ้าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายส่ง สายส่งย่อยและสายบ่อนมีค่าสูงมากเกินไปหรือต่ำมากเกินไปก็ไม่ใช่ ประหยัด ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่งย่อยที่ใช้กันอยู่ระหว่าง 28 และ 138 กิโลโวลต์ ตาราง 2.2 แสดงตัวอย่างรับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง สายส่งย่อยและสายบ่อน ระดับแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามตารางนี้

ตาราง 2.2 ตัวอย่างระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง สายส่งย่อย และสายบ่อน

กรณี	สายส่ง (kV)	สายส่งย่อย (kV)	สายบ่อน (kV)
1	34.5	13	4
2	69	13	4
3	69	34.5	4
4	69	34.5	13
5	69	46	13
6	69	46	4
7	115	22	4
8	115	46	4
9	115	69	13
10	138	69	13
11	138	34.5	4
12	138	69	23
13	230	138	13
14	230	138	23

บางระบบใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง และสายส่งย่อยระดับเดียวกันการใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวแยกว่าสายส่งใดเป็นสายส่งแรงสูง สายส่งย่อย หรือสายบ่อนทำได้ยาก บางระบบอาจใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าหนึ่งกับสายส่งย่อยในพื้นที่หนึ่งแต่กลับใช้กับสายบ่อนในอีกพื้นที่หนึ่งก็ได้ วงจรของสายส่งย่อยอาจจัดอยู่ในรูปเรเดียลหรือแบบอื่น ๆ ที่ยุ่งยากขึ้นไป ความแตกต่างสำคัญสองประการของการแบ่งชนิดของการจัดวงจรสายส่งย่อย คือ ระบบที่สถานีไฟฟ้าย่อยกำลังไม่ได้มีการเชื่อมโยงด้วยสายส่งย่อย และระบบที่สถานีไฟฟ้าย่อยกำลังที่มีการเชื่อมโยงด้วยสายส่งย่อย ระบบจำหน่ายที่ไม่มีมีการเชื่อมโยงระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังด้วยสายส่งย่อย จะส่งจ่ายแบบเรเดียล ลูป หรือกริดแบบแหล่งจ่ายเดียว สถานีไฟฟ้าย่อยกำลังสามารถเชื่อมโยงด้วยกันที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสายส่งย่อยโดยการแทป-ทาย (Tapped Tie) หรือกริดแบบหลายแหล่งจ่าย

1. วงจรสายส่งย่อยแบบเรเดียล (Radial) วงจรนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนักสำหรับระบบสายส่งเนื่องจากความมั่นคง หรือความเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟต่ำเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ เมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นในสายส่งย่อยใดจะทำให้ไม่มีการจ่ายไฟให้กับสถานีไฟฟ้าย่อยทุกแห่งที่รับไฟจากวงจรสายส่งย่อย

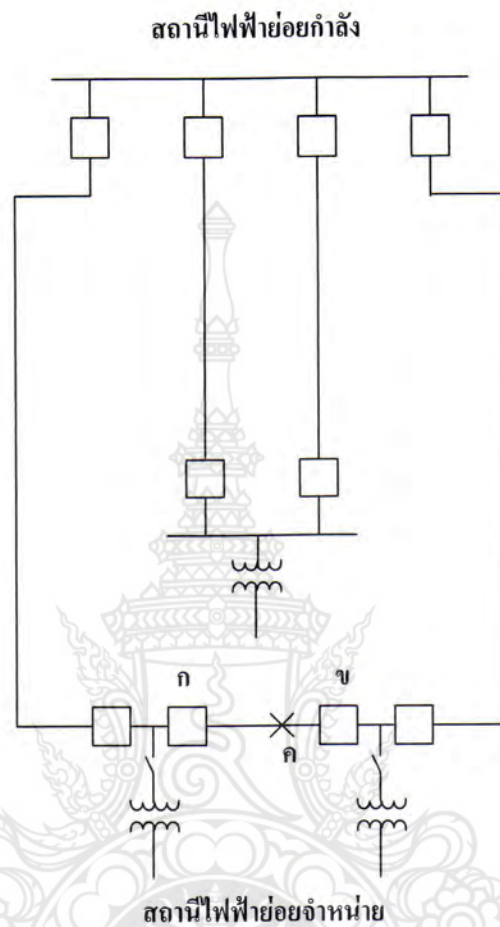


ภาพ 2.1 สายส่งแบบเรเดียลแบบง่าย

การปรับปรุงระบบสายส่งย่อยแบบเรเดียลให้ดีขึ้นสามารถทำได้ดังภาพ 2.1 ซึ่งแต่ละวงจรจ่ายไฟให้กับสถานีไฟฟ้าย่อยส่วนหนึ่ง และในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฉุกเฉินสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยอื่น ๆ การจัดแบบนี้ทำให้สามารถจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟได้รวดเร็วกรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้นในระบบและในกรณีที่ระบบมีปัญหา เช่น การลัดวงจรดังกล่าวนั้นการสวิตช์ไฟของสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อรับไฟจากสายส่งย่อยหนึ่งไปยังสายส่งย่อยอีกวงจรหนึ่งสามารถทำได้โดยสวิตช์หรือเบรกเกอร์ แต่ถ้าหากใช้เบรกเกอร์ต้องมีระบบล๊อคระหว่างกัน (Interlock) คือ เบรกเกอร์ที่กรณีปกติเปิดอยู่จะปิดลงก็ต่อเมื่อเบรกเกอร์ในวงจรที่เกิดลัดวงจรเปิดออกก่อน

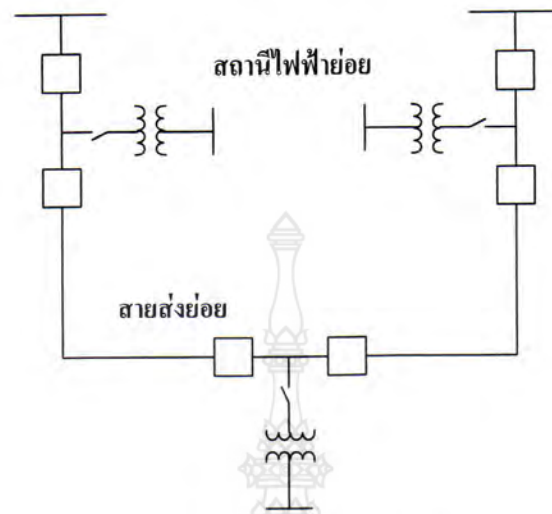
2. วงจรสายส่งย่อยแบบลูป (Loop) การแบ่งสายส่งย่อยในลูปเป็นตอน ๆ เมื่อมีการเกิดลัดวงจรขึ้นในสายส่งย่อยไม่ว่าตอนใดก็ตามก็ไม่สามารถทำให้สถานีไฟฟ้าย่อยใดหยุดจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟ เพราะจุดลัดวงจรในสายส่งย่อยจะถูกแยกออกจากระบบด้วยการเปิดของเบรกเกอร์ทั้งสองของสายส่งย่อยตอนนั้น สมมุติเกิดลัดวงจรในสายส่งย่อยตอนที่จุด ค. เบรกเกอร์ ก. และ ข. ก็เปิดออกทำให้จุดลัดวงจร ค. ถูกแยกออกจากระบบและสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งหมดก็สามารถรับไฟจากสถานีไฟฟ้าจ่ายกำลังได้เช่นเดิม แต่การออกแบบระบบนี้ทุกๆ ตอนของสายส่งย่อยต้องไม่รับโหลดเกินตัว (Overload) ในกรณีที่สายส่งวงจรย่อยตอนใดถูกตัดออกจากระบบ

บางครั้งการจัดวงจรแบบลูปทำให้สับสนคิดว่าเป็นวงจรแหวน (Ring) ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจระหว่างวงจรแบบลูปและวงแหวน ลูป หมายถึง วงจรซึ่งเริ่มต้นจากแหล่งจ่ายไฟหนึ่งไปยังโหลดต่างๆ และวนกลับมายังแหล่งจ่ายไฟเดิมที่จุดเริ่มต้นหรือบัสเดียวกัน วงแหวน หมายถึง วงจรที่มีการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟหลายแหล่งเข้าด้วยกัน การจัดวงจรแบบวงแหวนนิยมใช้กันมากสำหรับสายส่งย่อยและเมื่อระยะขยายมากขึ้นก็จะอยู่ในรูปของกริด (Grid)



ภาพ 2.2 วงจรสายส่งย่อยแบบลูบ

3. วงจรสายส่งย่อยแบบถ่ายโอน (Tapped-Tie) ระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนี้มีการเชื่อมโยงระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยกำลังด้วยสายส่งย่อย สถานีไฟฟ้าย่อยก็รับไฟจากสายส่งย่อยที่เชื่อมโยงนี้ดังแสดงในรูป 2.3 การจัดระบบนี้ต้องแบ่งระบบเป็นตอนๆ โดยมีเบรกเกอร์หัวท้ายของแต่ละตอนเพื่อเวลาการเกิดลัดวงจรขึ้นในตอนใดตอนหนึ่งของสายส่งจุดลัดวงจรก็ถูกตัดออกจากระบบด้วยการเปิดของเบรกเกอร์ที่หัวท้ายของตอนนั้น ๆ



ภาพ 2.3 สายส่งย่อยแบบถ่ายโอน

4. วงจรสายส่งย่อยแบบกริดเป็นระบบที่คล่องตัวเนื่องจากสามารถขยายเพื่อต่อให้กับสถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่มขึ้นได้อย่างทันทีโดยใช้โครงสร้างวงจรง่าย ระบบกริดใช้เบรกเกอร์จำนวนมากและระบบรีเลย์ยุ่งยากกว่าระบบเรเดียลและลูบ ระบบกริดให้ความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบมากขึ้น แต่ปัญหาเรื่องรีเลย์ก็ยุ่งยากมากขึ้นอย่างไรก็ตามการเชื่อมเข้ากับแหล่งจ่ายไฟหลายแหล่งมีข้อดี คือทำให้มีการกระจายโหลดสำหรับแหล่งจ่ายไฟทุกๆกัน

2.2.3 สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย

สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Distribution Substation) คือ สถานีไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า แบ่งจ่ายและแปลงแรงดันไฟฟ้าโดยรับไฟจากสายส่งย่อยเพื่อส่งต่อไปให้ผู้ผู้ใช้ไฟ สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายแบ่งออกได้ดังนี้

1. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบธรรมดา (Simple) ประกอบด้วย สวิตช์ตัดตอนแรงสูง หม้อแปลง และสายบ่อนพร้อมเบรกเกอร์ทางด้านแรงต่ำ โดยมากมีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าในหม้อแปลงหรือสายบ่อนเพื่อการบำรุงรักษา และการตรวจเช็คเบรกเกอร์หรือการตรวจเช็คโดยไม่ต้องดับไฟอาจใช้สวิตช์ทางผ่าน (By-Pass Switch)

2. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบหลายสายส่งย่อย (Multiple Subtransmission) รูปแบบเพื่อให้มีความมั่นคงและเชื่อถือได้ในการจ่ายไฟมากขึ้นจะเพิ่มสายส่งย่อยเข้าไปในสถานีไฟฟ้าย่อย สวิตช์ตัดตอนสองชุดแบบลือกระหว่างกันเพื่อใช้ในการโอนการรับไฟจากสายส่งย่อยหนึ่งไป

ยังสายส่งย่อยหนึ่ง เมื่อมีการลัดวงจรในสายส่งย่อยเบรกเกอร์ของสายส่งนั้นเปิดวงจรออก เวลาที่ผู้ใช้ไฟไม่ได้รับไฟก็คือช่วงเวลาของการอินสวิตซ์รับไฟไปยังสายส่งย่อยใหม่

3. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบหม้อแปลงหลายชุด (Multiple Transformer) เพื่อป้องกันการเกิดไฟดับเนื่องจากหม้อแปลงชำรุด หรือเสียหายโดยใช้หม้อแปลงหลายชุด หม้อแปลงในสถานีไฟฟ้าย่อยแบ่งออกเป็นสองชุด เมื่อหม้อแปลงหนึ่งไม่สามารถจ่ายโหลดได้หม้อแปลงที่เหลือก็สามารถรับโหลดที่เหลือได้ เพื่อป้องกันไม่ให้หม้อแปลงสองชุดทำงานขนานกันใช้สวิตซ์ชนิดตัดโหลดที่อยู่ระหว่างบัสแรงต่ำเป็นแบบลือกระหว่างกัน คือ สวิตซ์ชนิดตัดโหลดนี้จะปิดวงจรได้ก็ต่อเมื่อสวิตซ์ตัดตอนใดของหม้อแปลงเปิดวงจรออก

4. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบจ่ายไฟและต่อไฟอัตโนมัติ (Automatic Service Restoration) ถูกออกแบบให้การจ่ายโหลดทั้งหมดหรือบางส่วนหยุดชะงักชั่วคราวหรือเป็นการถาวร เมื่อเกิดการลัดวงจรในหม้อแปลงหรือสายส่งย่อยช่วงเวลาที่ยืดไฟคือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการสับสวิตซ์ต่างๆ หรือเวลาที่เปลี่ยนอุปกรณ์สำรอง การลดช่วงเวลาหยุดจ่ายไฟให้น้อยลงสามารถทำได้โดยใช้สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายแบบสับเปลี่ยนสวิตซ์อัตโนมัติ การทำงานเมื่อเกิดลัดวงจรเมนสายส่งย่อยหนึ่งเบรกเกอร์ทางต้นของสายส่งย่อยจะเปิดวงจรออกทำให้แรงดันไฟฟ้าของสายส่งย่อยตกไปเบรกเกอร์แรงสูงของปลายสายส่งย่อยก็เปิดออกกรีเลย์ทราบการเปิดวงจรของเบรกเกอร์แรงสูงนี้ก็ไปควบคุมเบรกเกอร์ตัดตอนด้านแรงสูงปิดวงจรทำให้หม้อแปลงทั้งสองชุดรวมจ่ายไฟตามปกติได้ เมื่อแก้ไขการลัดวงจรเรียบร้อยแล้วและจ่ายไฟทำให้เบรกเกอร์ตัดตอนด้านแรงสูงเปิดวงจรออกและเบรกเกอร์ ปลายสายส่งย่อยปิดวงจรและจ่ายไฟตามปกติ

5. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบแหล่งจ่ายไฟขนาน (Parallel Supply) มีการจ่ายไฟให้กับโหลดแบบต่อเนื่องได้โดยไม่มีการหยุดจ่ายไฟ เมื่อเกิดลัดวงจรในสายส่งย่อยหรือเบรกเกอร์ด้านแรงสูงถูกควบคุมด้วยรีเลย์กระแสเกินตามทิศทางและเปิดวงจรออกเมื่อเกิดลัดวงจรในระบบกระแสลัดวงจรไหลจากบัสแรงสูงของสถานีไฟฟ้าย่อยไปทางแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเกิดลัดวงจรในสายส่งย่อยเบรกเกอร์แรงสูงที่ต้นทางและปลายทางของสายส่งย่อยเปิดวงจรออก และแยกจากจุดลัดวงจรออกจากระบบสถานีไฟฟ้าย่อยและยังจ่ายโหลดต่อไปได้โดยอาศัยไฟจากอีกสายส่งย่อยที่ไม่เกิดการลัดวงจร

6. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบสปอต-เน็ตเวิร์ก (Spot-Network) มีความมั่นคงและความเชื่อถือได้สูงในการจ่ายไฟอย่างต่อเนื่องโดยใช้สวิตซ์ขั้วน้อยที่สุดหม้อแปลงแต่ละตัวทำงานร่วมกับสายส่งย่อยแต่ละวงจร และสวิตซ์ตัดตอนเฉพาะทางด้านแรงดันไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้นเบรกเกอร์ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงถูกควบคุมโดยรีเลย์กระแสเกินตามทิศทาง รีเลย์นี้ทำงานเพื่อเปิดวงจรของเบรกเกอร์หม้อ

แปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในสายส่งย่อย เบรกเกอร์ทางต้นทางของสายส่งย่อยและเบรกเกอร์ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงเปิดวงจรออกทำให้เหลือหม้อแปลงชุดเดียวกับโหลดทั้งหมด

7. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบการจัดบัสบัสซ้อน เป็นการจัดที่ให้ความคล่องตัวในการจ่ายไฟสูงมาก ใช้บัสประธานและสำรองทางด้านแรงต่ำสายบ้อนแต่ละสายอาจรับไฟจากบัสใดก็ได้ บัสหนึ่งสามารถใช้สำหรับรับและจ่ายไฟตามปกติส่วนอีกบัสหนึ่งเป็นบัสสำรองหรือฉุกเฉิน ในกรณีเกิดการลัดวงจรที่บัสประธานแรงต่ำเบรกเกอร์แรงต่ำทั้งสองของหม้อแปลงที่ต่อกับบัสประธานเปิดออกโดยอัตโนมัติ ดังนั้นเปิดวงจรเบรกเกอร์ของสายบ้อนที่เดิมอยู่กับบัสประธานด้วยมือและเปิดวงจรของเบรกเกอร์สองชุดของหม้อแปลงต่อเข้ากับบัสสำรอง และปิดวงจรของเบรกเกอร์สายบ้อนสี่ชุดที่ต่อกับบัสสำรองทำให้โหลดรับไฟจากหม้อแปลงตามปกติ

8. สถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ได้ ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยตั้งอยู่บนรถลากเพื่อเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ง่าย อุปกรณ์สวิตชิง หม้อแปลงและอุปกรณ์สวิตชิงแรงต่ำถูกประกอบไว้อย่างสอดคล้องกันจากโรงงานผู้ผลิตทั้งหมด ในกรณีมีปัญหาซึ่งไม่สามารถจ่ายไฟได้เป็นระยะเวลาสั้น คือ ไม่สามารถซ่อมแซมแก้ไขอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ขัดข้องให้ทำงานได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ก็จะต้องเอาสถานีไฟฟ้าย่อยแบบเคลื่อนที่ได้นี้เข้าไปทำหน้าที่แทนสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีปัญหา

2.3 แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation : DG) คือ การผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิต ตั้งแต่หน่วย กิโลวัตต์ ถึง เมกะวัตต์ ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับประเทศไทยได้นิยามแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวได้แก่

2.3.1 ผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็ก (Small Power Production: SPP) หมายถึง โครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบการผลิตพลังงานความร้อน และไฟฟ้าวร่วมกัน (Cogeneration) หรือการผลิตไฟฟ้า โดยใช้พลังงานนอกแบบกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิงโครงการ SPP แต่ละโครงการจะจำหน่ายไฟฟ้าให้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ไม่เกิน 90 เมกะวัตต์ แต่เนื่องจาก SPP แต่ละแห่งสามารถขายไฟฟ้าให้ผู้บริโภคที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้โดยตรงกำลังการผลิตของ SPP มักจะอยู่ในระดับ 120-150 เมกะวัตต์

2.3.2 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Production: VSPP) หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าทั้งภาคเอกชน รัฐบาล รัฐวิสาหกิจ และประชาชนทั่วไปที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเองขนาดไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย หมายถึง การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับคำนิยามของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจากบทความต่าง ๆ สรุปได้ว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมีความหมายค่อนข้างหลากหลายแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับคำจำกัดความของแต่ละประเทศที่กำหนดขึ้นยกตัวอย่างเช่น

2.3.3 บทความของ O. Amanifar, M.E. Hamedani Golshan, "The Effect of Placement of Generation on Mitigating Voltage Sag in Distribution Network" [6]

กล่าวถึงแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวคือการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่จุดศูนย์กลางของโหลด โดยการผลิตไฟฟ้าแยกต่างหากตามความต้องการให้กับลูกค้าและเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายและขายไฟให้กับการไฟฟ้า ขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมีตั้งแต่ระดับกิโลวัตต์ขึ้นไปจนถึงระดับสิบกว่าเมกะวัตต์ แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวบางแห่งจะเป็นของส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบต่าง ๆ

2.3.4 บทความของ O. Ipinimo, S. Chowdhury, S.P. Chowdhury, "ANN-Based Voltage Dip Mitigation in Power Networks Distributed Generation" [7]

กล่าวถึงคำจำกัดความของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวคือ แหล่งผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับระบบจำหน่าย แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะผลิตพลังงานไฟฟ้าในระดับที่ไม่สูงมากนัก และจะผลิตจากพลังงานหมุนเวียน มีมลภาวะต่ำ โดยปกติจะติดตั้งในจุดที่อยู่ใกล้กับโหลดหรือใกล้กับลูกค้า ข้อได้เปรียบของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวคือการไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มความมั่นคงในการจ่ายไฟ ลดปัญหาความสูญเสียในระบบไฟฟ้า สามารถปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้า

2.3.5 บทความของ M. Venmathi, Jitha Vargese, L. Ramesh, E. Sheeba Percis, "Impact of Grid Connected Distributed Generation on Voltage Sag" [8]

กล่าวถึงแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวคือแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ติดตั้งใกล้กับโหลด ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อเป็นการรักษาสีงแวดล้อม แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับลูกค้าได้เมื่อเกิดไฟดับ แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย

ตัวถูกคาดหวังให้มีผลทางด้านบวกเช่นการช่วยพยุกระดับแรงดัน การเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า มีขนาดเล็กและลดความสูญเสีย

การผลิตไฟฟ้าของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกำหนดจากการใช้พลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวมี 3 ประเภทดังนี้

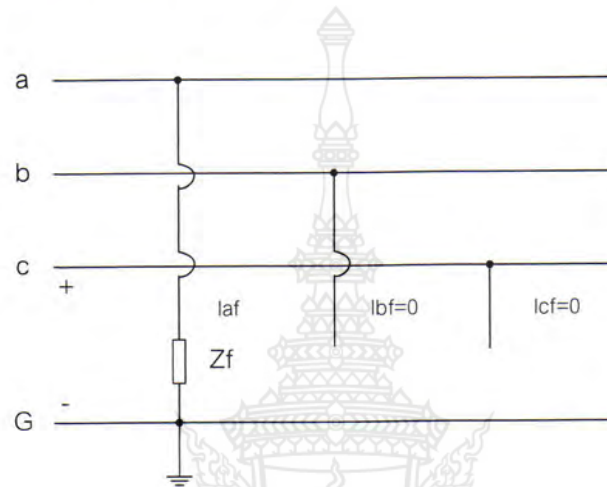
1. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังลม พลังแสงอาทิตย์ พลังน้ำขนาดเล็ก (Mini Hydroelectricity) พลังน้ำขนาดเล็กมาก (Micro Hydroelectricity) พลังคลื่นทะเลหรือมหาสมุทร พลังความร้อนใต้พิภพ และก๊าซชีวภาพ เป็นต้น
2. การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิง เช่น กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร หรือกากจากการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขยะมูลฝอยและไม่จากการปลูกป่าเป็นเชื้อเพลิง
3. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่ได้มาจากกระบวนการผลิต การใช้หรือการขนส่งเชื้อเพลิง ได้แก่ พลังงานที่เหลือทิ้ง เช่น ไอน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือการเกษตร พลังงานสูญเสีย เช่น ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ พลังงานที่เป็นผลพลอยได้ เช่นพลังงานกลได้จากการปรับลดความดันของก๊าซธรรมชาติ

ประโยชน์ที่ได้รับจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า เนื่องจากไม่ต้องส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไประยะทางไกลๆ เพราะแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมีขนาดเล็กสามารถติดตั้งใกล้แหล่งที่มีผู้ใช้ไฟฟ้าหนาแน่นได้ แรงดันไฟฟ้าดีขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกในสายไฟฟ้าน้อยลงแล้วระบบการผลิตอยู่ใกล้กับภาระทางไฟฟ้า (Load) ลดมลภาวะ เนื่องจากการผลิตส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ปล่อยมลภาวะน้อย หรือไม่มีส่วนทำลายสิ่งแวดล้อม และปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า [9], [10]

2.4 ความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

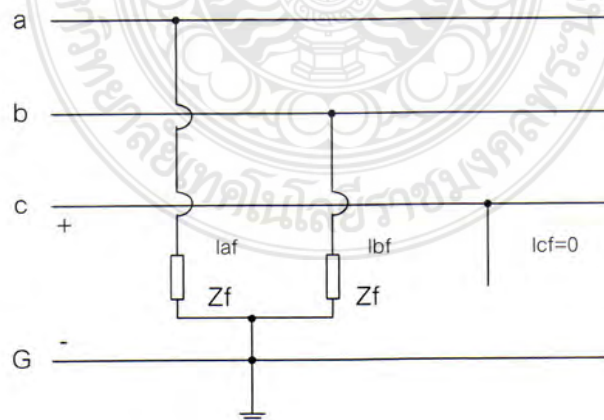
ในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย ระบบผลิต ระบบส่งและระบบจำหน่าย ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นระบบ 3 เฟส สมดุล แต่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบทำให้เกิด “การลัดวงจร” หรือ “ฟอลต์” ขึ้นในระบบจะทำให้กระแสจากส่วนต่างๆ ไหลไปยังจุดที่เกิดลัดวงจร กระแสลัดวงจรนี้จะมีสูงกว่ากระแสปกติหลายเท่าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นสามารถแบ่งประเภทของความผิดพลาดออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

2.4.1 ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน (Single Line to Ground Fault) ความผิดปกติประเภทนี้เกิดเมื่อสายไฟเส้นหนึ่งตกลงพื้นดินหรือมีสายตัวนำต่อระหว่างสายไฟหนึ่งเส้นกับสายนิวทรัลหรือพื้นดิน ความผิดปกติประเภทนี้มีสถิติการเกิดมากที่สุด



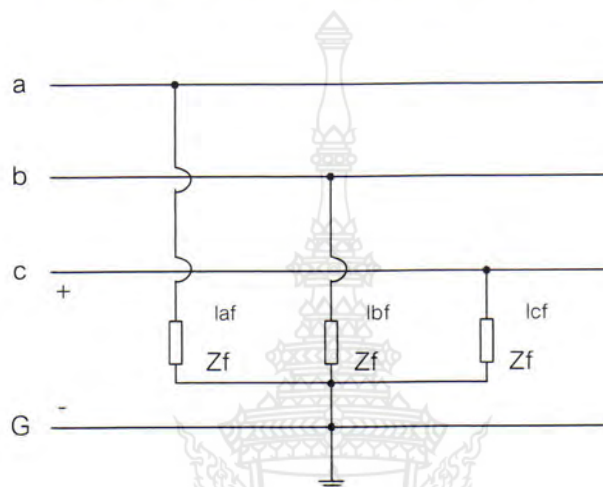
ภาพ 2.4 ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน

2.4.2 ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน (Double Line to Ground Fault) ความผิดปกติชนิดนี้เกิดเมื่อมีสายไฟสองเส้นมาสัมผัสกันหรือมีกิ่งไม้หรือสัตว์พาครระหว่างสายไฟสองเส้นแล้วลัดวงจรลงดิน



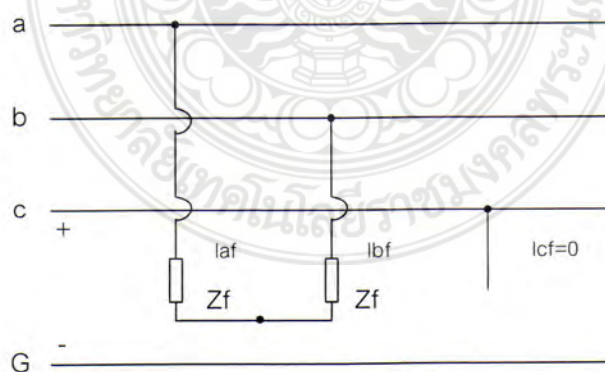
ภาพ 2.5 ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน

2.4.3 ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน (Three Phase to Ground Fault) ความผิดปกติประเภทนี้เป็น การลัดวงจรแบบสมมาตรลงดิน คือ Balance Fault หรือ Symmetrical Fault เป็นการลัดวงจรชนิดที่มี โอกาสเกิดขึ้นได้น้อยแต่เมื่อเกิดขึ้นมักจะมีกระแสลัดวงจรที่รุนแรงที่สุด



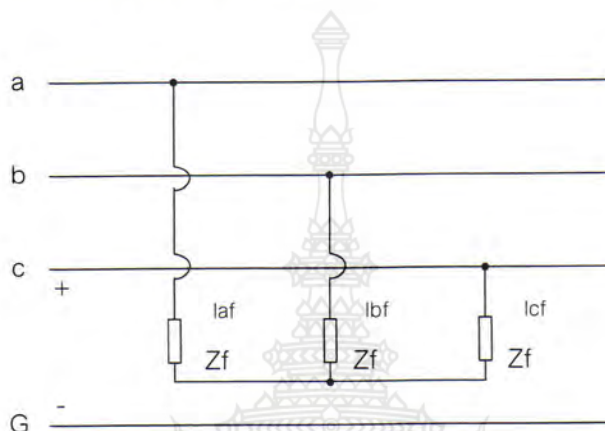
ภาพ 2.6 ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน

2.4.4 ความผิดปกติ 2 เฟส (Line to Line Fault) ความผิดปกติชนิดนี้เกิดเมื่อมีสายไฟสองเส้น มาสัมผัสกันหรือมีกิ่งไม้หรือสัตว์พาครหว่างสายไฟสองเส้นทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น



ภาพ 2.7 ความผิดปกติ 2 เฟส

2.4.5 ความผิดปกติ 3 เฟส (Three Phase Fault) ความผิดปกติประเภทนี้เป็นการลัดวงจรแบบสมมาตร คือ Balance Fault หรือ Symmetrical Fault เป็นการลัดวงจรชนิดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยแต่เมื่อเกิดขึ้นมักจะมีกระแสลัดวงจรที่รุนแรงที่สุด



ภาพ 2.8 ความผิดปกติ 3 เฟส

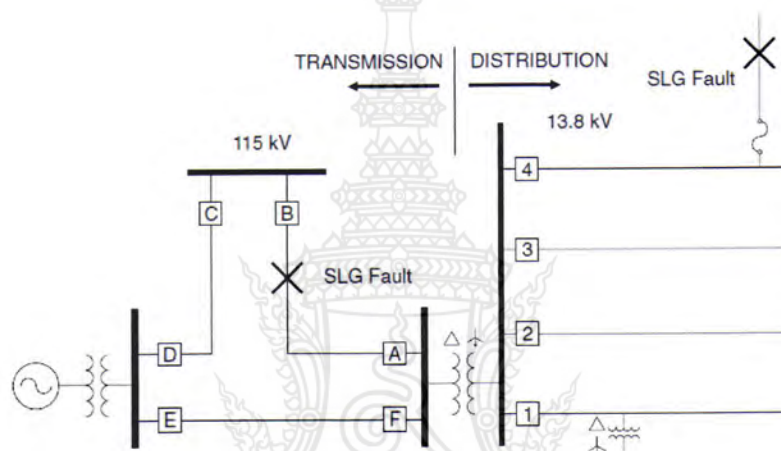
2.5 แรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันชั่วขณะ (Voltage Dip) คือ แรงดันไฟฟ้าค่ารากกำลังสองเฉลี่ยที่ลดลงในช่วงเวลาสั้นโดยทั่วไปมีช่วงเวลาดั้งแต่ 0.5-30 ไซเคิล โดยมีสาเหตุจากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังและการเริ่มเดินเครื่องของโหลดขนาดใหญ่ เช่น มอเตอร์ ขณะที่การเกิดไฟฟ้าดับชั่วขณะ (Momentary interruption) โดยทั่วไปจะมีช่วงเวลาไม่เกิน 2-5 วินาที และทำให้สูญเสียแรงดันไฟฟ้าโดยมักเกิดจากลัดวงจรชั่วคราว (Transient fault) และถ้าเกิดลัดวงจรแบบถาวร (Permanent fault) ก็จะทำให้เกิดไฟฟ้าดับที่ช่วงเวลานานกว่า 1 นาทีขึ้นไป

2.5.1 สาเหตุการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

การเกิดแรงดันตกชั่วขณะและการเกิดไฟฟ้าดับมีสาเหตุทั่วไปเกิดจากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า โดยพิจารณาตัวอย่างจากภาพ 2.9 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าจากสายป้อน (Feeder) ซึ่งถูกป้องกันโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ หมายเลข 4 (Breaker 4) ถ้าเกิดลัดวงจรที่สายป้อนนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะประสบกับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะระหว่างที่เกิดลัดวงจรและตามมาด้วยการเกิดไฟฟ้าดับเมื่อเบรกเกอร์เปิดวงจรเพื่อกำจัดฟอลต์ออกจากระบบ ถ้าการลัดวงจรเกิดขึ้นชั่วคราว การปิดวงจรซ้ำ

อีกครั้งของรีโคลเซอร์ จะสามารถทำได้และทำให้ไฟฟ้ากลับมาได้ เหตุการณ์ไฟฟ้ายดับนี้ก็จะจัดเป็น ไฟฟ้าดับชั่วคราว โดยใช้เวลาประมาณ 5-6 ไซเคิล ในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในช่วง เวลา ก่อนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์จะปิดวงจรนั้นเบรกเกอร์จะยังคงเปิดวงจรอยู่ ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา ประมาณ 20 ไซเคิล จนถึงประมาณ 2-5 วินาที ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของการไฟฟ้า ในช่วงเวลานี้ อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอาจตัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้าไปแล้ว



ภาพ 2.9 แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

สาเหตุที่พบบ่อย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ คือ การเกิดลัดวงจรในสาย บ่อนอื่นหรือเกิดลัดวงจรในระบบสายส่ง ในขณะที่เกิดลัดวงจรจะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะใน ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้ผู้ใช้ไฟและแรงดันไฟฟ้าจะกลับเข้าสู่ภาวะปกติอีกครั้งเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำงานและตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบ

2.5.2 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการความผิดพลาดใน ระบบไฟฟ้า โดยการแบ่งลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะนี้จะแบ่งตามความผิดพลาดที่เป็นสาเหตุให้ เกิดแรงดันตกชั่วขณะนั้น โดยแบ่งได้เป็น 7 แบบ ตามตาราง 2.3 โดยแรงดันตกชั่วขณะชนิด A B C และ E เกิดจากความผิดพลาดสามเฟส ความผิดพลาดหนึ่งเฟสลงดิน ความผิดพลาดสองเฟส และความผิดพลาดสองเฟสลงดินตามลำดับ ส่วนแรงดันตกชั่วขณะในแบบอื่น ๆ นั้นเกิดจากการ เปลี่ยนแปลงเมื่อแรงดันตกชั่วขณะผ่านหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ [5]

ตาราง 2.3 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

แบบแรงดันตกชั่วขณะ	สมการ	เฟสเซอร์
A	$V_o = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	
B	$V_o = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	
C	$V_o = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
D	$V_o = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	
E	$V_o = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
F	$V_o = V$ $V_b = -\frac{1}{3}j\sqrt{3} - \frac{1}{2}V - \frac{1}{6}Vj\sqrt{3}$ $V_c = +\frac{1}{3}j\sqrt{3} - \frac{1}{2}V - \frac{1}{6}Vj\sqrt{3}$	
G	$V_o = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}V$ $V_b = -\frac{1}{3} - \frac{1}{6}V - \frac{1}{2}Vj\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{3} - \frac{1}{6}V + \frac{1}{2}Vj\sqrt{3}$	

2.6 การทบทวนวรรณกรรม

1. งานวิจัยของ O. Ipinimo ,S. Chowdhury and S.P. Chowdhury “Effects of Renewable Distributed Generation (RDG) on Voltage Dip Mitigation in Microgrids” [11]

กล่าวถึงการศึกษาผลของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายสามารถบรรเทาปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้ โดยการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่าย IEEE 9 บัส และ ไมโครกริด และทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ทั้งไมโครกริดและเอ็กซ์เทอร์นอลกริด เชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยสายส่ง มีการติดตั้ง synchronous generator และติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว จำนวน 3 ชนิดได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนร่วม จากผลของการจำลองการเกิดความผิดปกติ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายโดยจำลองการเกิดความผิดปกติที่วินาทีที่ 2 และเคลียร์ความผิดปกติที่วินาทีที่ 2.3 และบันทึกระดับแรงดันที่แต่ละบัสที่วินาทีที่ 1 ,2.15 และ 3ตามลำดับ เปรียบเทียบการไม่ได้ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กับการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ผลจากการประเมินแรงดันตกชั่วขณะพบว่าการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะช่วยพุงระดับแรงดัน โดยแรงดันที่แต่ละบัสจะตกลงน้อยกว่า ทำให้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะน้อยกว่าการไม่ได้ติดตั้ง

2. งานวิจัยของ Omid Amanifar and Mohamad Esmail Hamedani Golshan “Optimal DG Allocation and Sizing for Mitigating Voltage Sag in Distribution System with Respect to Economic Consideration Using Particle Swarm Optimization” [12]

กล่าวถึงการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองของระบบจำหน่าย 15 บัส จำลองการเกิดความผิดปกติได้แก่ ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ความผิดปกติ 2 เฟส และความผิดปกติ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณด้วยวิธี Particle Swarm Optimization (PSO) หาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยพิจารณาความอ่อนไหวของโหลดในแต่ละบัสที่จะสามารถทนแรงดันตกชั่วขณะได้ พิจารณาค่าความเสียหายทางด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และพิจารณาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว สรุปได้ว่าการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในจุดที่เหมาะสมจะสามารถลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้

3. งานวิจัยของ Ali Saidian , Mehrdad Heidari and Davar Mirabbasi "Improvement of Voltage Unbalance and Voltage Sag in Radial Distribution System Using DG" [13]

กล่าวถึงการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายเรเดียล IEEE 34 บัส ใช้โปรแกรม MATLAB โดยการจำลองการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดต่าง ๆ พร้อมติดตั้งโหลดที่บัสที่ 34 ซึ่งอยู่ปลายสุดของระบบจำหน่าย เปรียบเทียบกับการไม่ได้ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและไม่ได้ติดตั้งโหลด และวิเคราะห์แรงดันตกชั่วขณะที่บัสต่าง ๆ สรุปได้ว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะช่วยปรับปรุงแรงดันตกชั่วขณะให้ดีขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวก็จะยิ่งทำให้ช่วยปรับปรุงแรงดันตกชั่วขณะให้ดีขึ้นไปอีก โดยผลของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในการช่วยปรับปรุงแรงดันตกชั่วขณะจะมีผลกับบัสที่อยู่ใกล้กับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมากกว่าบัสที่อยู่ไกลออกไป

4. งานวิจัยของ T. Tayjasanant and S. Surisunthon " Impacts of Distributed Generation on Voltage Sag Assessment in Thailand's Distribution Systems" [14]

กล่าวถึงผลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ในระบบจำหน่ายของประเทศไทย โดยการประเมินแรงดันตกชั่วขณะจะวิเคราะห์โดยการใช้กระบวนการกำหนดจุดเกิดความผิดพลาดในพื้นที่ระบบจำหน่ายที่มีความอ่อนแอ, ความถี่ในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ, ผลของจุดที่ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว สรุปได้ว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถบรรเทาความรุนแรงของแรงดันตกชั่วขณะได้ถ้าติดตั้งในวงจรเดียวกันกับที่มีอุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดันตกชั่วขณะ ถ้าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งในวงจรที่ติดกันกับวงจรที่มีอุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดันตกชั่วขณะ ประสิทธิภาพในการบรรเทาแรงดันตกชั่วขณะจะต่ำ แต่ยังคงดีกว่าการไม่ได้ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบ ผลของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในโหมดควบคุมแรงดัน เมื่อตั้งค่าแรงดันที่ 1.05 p.u. จะให้ผลดีกว่าการตั้งค่าควบคุมแรงดันที่ 1.0 p.u. และ 0.95 p.u. เพราะว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ตั้งค่าควบคุมแรงดันที่สูงกว่าจะสามารถพยุงแรงดันตกชั่วขณะเกิดความผิดพลาดได้ดีกว่าการตั้งค่าควบคุมแรงดันที่ต่ำกว่า

5. งานวิจัยของ Shuangyin Dai, Qionglin Li and Shuming Lui "Voltage Sag Assessment of Distribution Network with Distributed Generation" [15]

กล่าวถึงการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ชนิด Synchronous Machine และ ชนิด Inverter ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method)

โดยการใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC ในการจำลองระบบ สรุปว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิด Inverter จะช่วยลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่าย การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะช่วยปรับปรุงแรงดันตกชั่วขณะด้วยการเพิ่มกำลังไฟฟ้า (Active Power) และผลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวต่อการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับจุดที่ติดตั้ง



บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 รูปแบบการศึกษา

ในระบบไฟฟ้ากำลังจะมีเหตุการณ์หลายชนิดที่ส่งผลทำให้เกิดภาวะชั่วคราว (Transients) ยกตัวอย่างเช่นการเกิดฟ้าผ่า หรือในขั้นตอนการทำงานปกติ เช่นการเปิด-ปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และการสวิตชิงของอุปกรณ์ป้องกันหรืออุปกรณ์ตัดต่อนก็เป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะชั่วคราว หรือในสภาวะผิดปกติ เช่น การเกิดความผิดปกติ (Fault) ในระบบจำหน่ายและระบบสายส่งก็เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะชั่วคราวเช่นกัน ปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์อยู่มากมาย ที่ใช้สำหรับการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า วิทยานิพนธ์นี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSCAD/EMTDC (Power Systems Computer Aided Design / Electromagnetic Transient in DC system) เวอร์ชัน 4.2 ในการจัดเตรียมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ สำหรับในใช้จำลองเหตุการณ์โดยเฉพาะในภาวะชั่วคราว โดยจะทำการวิเคราะห์สาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้น และพิจารณาหาแนวทางแก้ไขสาเหตุนั้นต่อไป

ข้อดีของการใช้โปรแกรม PSCAD เนื่องจากเป็นโปรแกรมวาดรูปที่มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพสูงที่มีการเชื่อมต่อกับ EMTDC ทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างวงจร ทำการจำลอง วิเคราะห์ผลที่ได้และจัดการข้อมูลในวงจร การวาดกราฟที่สามารถควบคุมได้ โดยเครื่องมือวัดที่รวมอยู่ในตัวโปรแกรม ดังนั้นผู้ใช้สามารถเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ระหว่างการดำเนินการจำลองและดูผลได้โดยตรง

3.2 หลักการของโปรแกรม PSCAD/EMTDC

EMTDC (Electromagnetic Transient and DC) คือเครื่องมือจำลองภาวะชั่วคราว ซึ่งเริ่มมีการใช้งานประมาณกลางปี 1970 โดยเริ่มต้นจากดอกเตอร์เฮอermann ดอมเมล (Dr. Hermann Dommel) ได้นำเสนอบทความในการประชุม IEEE ในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 1969 โดย EMTDC มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โปรแกรม EMTDC รุ่นแรกได้ถูกพัฒนาโดย เดนนิส วูดฟอร์ดในปี ค.ศ. 1976 ที่โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาขึ้นมาเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

กระแสตรงแรงสูง (HVDC System) จนกระทั่งได้มีการเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรมให้สามารถจำลองเหตุการณ์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ

โปรแกรม PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) คือส่วนติดต่อผู้ใช้ทางกราฟิก ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันกับ EMTDC ที่แยกกันอยู่ โดยจุดประสงค์ทั่วไปของโปรแกรมที่อยู่ในเทอมเวลาจะใช้สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่เลียนแบบภาวะชั่วคราว และหน่วยควบคุม สัมพันธ์กับการเตรียมอุปกรณ์, แก๊ซการเปลี่ยนแปลงและความถูกต้องสำหรับการจำลองของอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าต่อมาได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการสร้างภาพแบบจำลอง และส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานสำหรับโปรแกรม EMTDC โดยเฉพาะที่ชื่อว่า PSCAD และได้มีการรวมทั้ง PSCAD และ EMTDC เข้าเป็นชุดโปรแกรมสำเร็จรูปชุดเดียวกันโดยใช้ชื่อว่า PSCAD/EMTDC

โปรแกรม PSCAD มีข้อมูลอย่างสมบูรณ์ในคลังโปรแกรม (Program Library) และตัวอย่างทดสอบต่าง ๆ เช่น การใช้โหลดหรือตัวภาวะ (Passive Elements) ฟังก์ชันควบคุมและอุปกรณ์ที่ซับซ้อนอีกมาก เช่น เครื่องจักรไฟฟ้า อุปกรณ์แฟกต์ส (FACTS Devices) สายส่งและสายเคเบิล ถ้าในแบบจำลอง (Models) เฉพาะไม่มีตามที่ต้องการ ผู้ใช้โปรแกรม PSCAD สามารถสร้างแบบจำลองเฉพาะตามที่ต้องการได้ หรืออาจจะประกอบแบบจำลองที่มีอยู่แล้วเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นแบบจำลองใหม่ตามที่ต้องการได้เช่นกัน

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่พบในระบบที่จะศึกษาโดยใช้ PSCAD

- Resistors, Inductors, Capacitors
- Mutually coupled windings, such as transformers
- Frequency dependent transmission lines and cables
- Current and voltage sources
- Switches and breakers
- Diodes, thyristors and GTOs
- Analog and digital control functions
- AC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models
- Meters and measuring functions
- Generic DC and AC controls
- HVDC, SVC, and other FACTS controllers

โปรแกรม PSCAD/EMTDC มีการพัฒนาตั้งแต่อดีตอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในโปรแกรมที่มีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพสูง ทำให้มีผู้ใช้งานอย่างกว้างขวาง PSCAD/EMTDC ทำงานโดยการแทนวงจร และคำนวณสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equations) ในระบบไฟฟ้ากำลัง และจากภาวะชั่วคราวทางแม่เหล็กไฟฟ้า ควบคุมในเทอมของเวลา และทางกลโดยการจำลองของเครื่องมือนี้จะแตกต่างจากเครื่องมือจำลองการไหลเวียนของไหล และภาวะชั่วคราวคงตัว (Transient Stability) โดยการใช้สมการสถานะคงตัว (Steady State Equations) แทนที่ในวงจรไฟฟ้า และการหาค่าตอบของสมการดิฟเฟอเรนเชียล ของพลวัตทางกล จากเครื่องจักรกล PSCAD/EMTDC จะประมวลผลรูปแบบการจำลองของส่วนประกอบทางกายภาพต่าง ๆ โดยมีอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานได้ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, สายส่ง, สวิตช์ตัดตอน, อุปกรณ์ป้องกัน, อุปกรณ์ล่อฟ้า, ระบบควบคุม และเครื่องจักรกลไฟฟ้า นำมาใช้ในการออกแบบสำหรับแก้ไข้ปัญหาของระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วย การเชื่อมต่อระหว่างความจุไฟฟ้า, ความต้านทาน, ความเหนี่ยวนำ, วงจรหนึ่งเฟส หรือวงจรหลายเฟส, สายจำหน่าย, สายส่ง และส่วนประกอบต่าง ๆ โปรแกรม PSCAD ประกอบด้วยโปรแกรมที่ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานจริงโดยการใช้อุปกรณ์สำหรับสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ขึ้นมาใหม่สามารถทำการแก้ไขสายส่ง และตัวแปรสายเคเบิลโดยทำการจำลอง EMTDC และส่งผลลัพธ์จากการประมวลผลของแบบจำลอง สามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ แบบจำลองของสายส่ง ระบบจำหน่าย และหม้อแปลงไฟฟ้ามีการปรับปรุงมาโดยตลอด ทำให้แบบจำลองมีการพัฒนาให้ถูกต้องมากขึ้น การจำลองความเพี้ยนของรูปคลื่นในสายส่งและการอิมพัลส์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยโปรแกรมยังมีรูปแบบการจำลองที่เกิดขึ้นภายในของเครื่องกลเชิงโรตัทกับระบบเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ด้วย

PSCAD จะประกอบด้วย 6 โปรแกรมโดยการรวมข้อมูลเอกสารจำนวนมาก ซึ่งจะจัดการโดยโปรแกรมจัดการไฟล์ (File Manager) ภายในโปรแกรมจะมีการเรียกใช้ 5 โปรแกรมอื่น และดำเนินการดูแลในส่วนที่รับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับระบบ โดยจุดเริ่มแรกสำหรับการศึกษาใด ๆ EMTDC จะทำการสร้างกราฟฟิคที่วาดเป็นรูปของวงจรและทำการแก้ไขโดยการ ใช้ Draft โปรแกรม (Draft Program) ซึ่งจะจัดเตรียมให้ผู้ใช้สามารถใช้นั้นที่สำหรับวาดวงจร และทำการเลือกอุปกรณ์ในที่เก็บของส่วนประกอบ โดยอุปกรณ์ที่เก็บจะเตรียมไอคอนส่วนประกอบทั้งหมด ซึ่งสามารถถูกลากมาไว้ที่พื้นที่สำหรับวาดวงจร และเชื่อมต่อกับส่วนประกอบอื่น ๆ โดยไอคอนบัสเวิร์ค (Bus Work) โดยไอคอนส่วนประกอบแต่ละอันจะเป็นรูปแบบที่สามารถเข้าไปในตัวแปรส่วนประกอบ ผู้ใช้สามารถสร้างไอคอนส่วนประกอบ หรือรูปแบบที่จะเข้าไป และรหัสภาษาฟอร์แทรน

(FORTRAN Code) ในวงจรจะมีส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่มีการพันขดลวดกลุ่มหกพัลส์ (Six Pulse Group), เครื่องจักรกลเชิงโคโรน่า, เซอร์คิตเบรกเกอร์, ตัวกรอง, บล็อกหน่วยควบคุม, ตรรกะเวลา (Timing Logic) และ อื่น ๆ

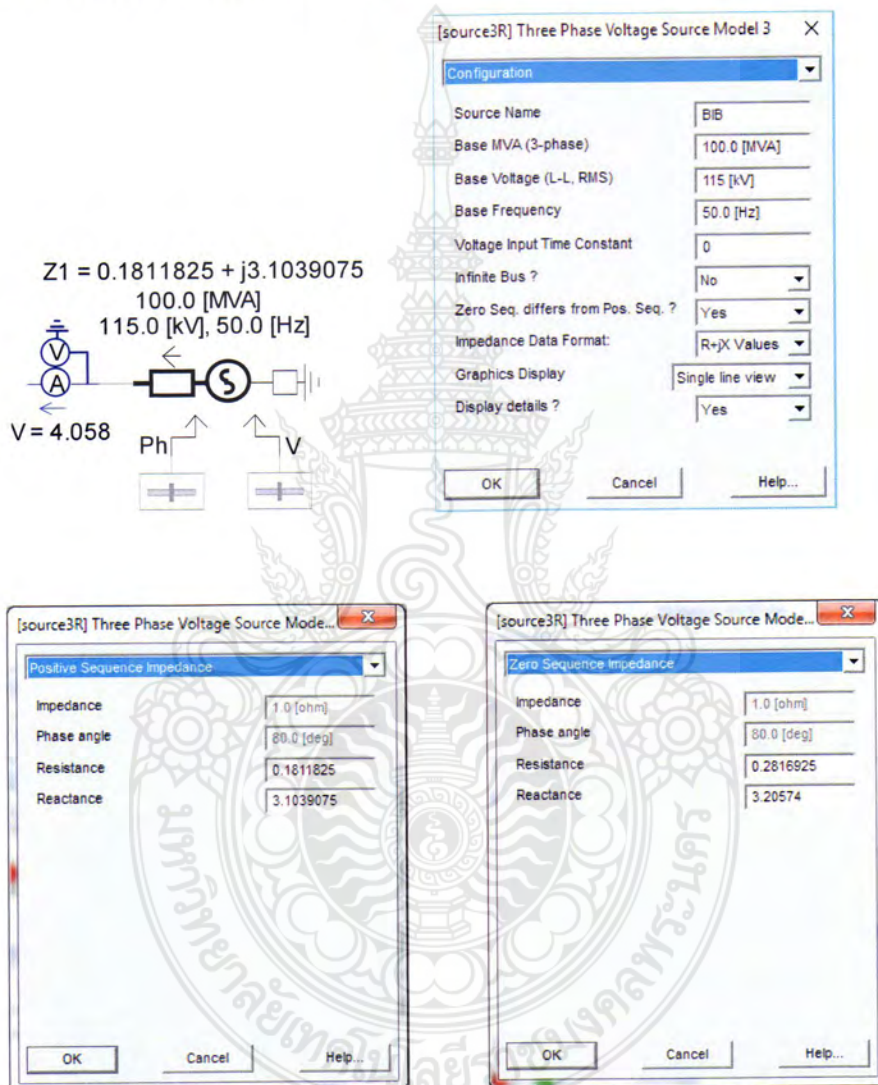
การประมวลผลที่ได้จากฉบับร่างจะนำไปเป็นส่วนหนึ่งของแฟ้มที่ใช้ใน EMTDC โดย PSCAD จะเรียกใช้ EMTDC เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา ซึ่งผู้ใช้สามารถสร้างปั๊ม, หมุน, สไลด์ และสามารถเขียนแผนภูมิได้ เมื่อทำการการเชื่อมต่อกับตัวแปรที่ใช้เป็นตัวนำเข้า (Input) หรือผลที่ได้มาจากแบบจำลอง โดยเมื่อจบการประมวลผลแบบจำลอง โปรแกรมจะทำการคัดลอกวิวัฒนาการเวลาของตัวแปรที่เจาะจงเข้าไปในแฟ้มข้อมูล เมื่อการประมวลผลเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ระบบที่การจำลองจบแล้ว สามารถเข้าไปในแฟ้มภาพเพื่อทำการจับภาพหน้าจอ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจำลองในอนาคต แฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ที่ประมวลผลจาก EMTDC สามารถแก้ไขและเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมโดยการใช้โปรแกรมยูนิพล็อต (Uniplot) หรือ โปรแกรมมัลติพล็อต (Multiplot) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถถูกประมวลผลโดยชุดโปรแกรมอื่น ๆ เช่น โปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) หรือโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเองได้ตามต้องการ โดยฉบับร่างสามารถบันทึกข้อมูลคำอธิบาย และสามารถแจกจ่ายให้ผู้ใช้ PSCAD อื่น ๆ [16]

3.3 การเลือกใช้แบบจำลองในการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

การเลือกใช้แบบจำลองต่าง ๆ ในการจำลองระบบสายส่งสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC นั้นจะเลือกใช้จากแบบจำลองที่รู้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากที่สุดเป็นหลักเพื่อความถูกต้องในการสร้างแบบจำลอง และการประมวลผล ซึ่งมีแบบจำลองต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบดังนี้

3.3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน

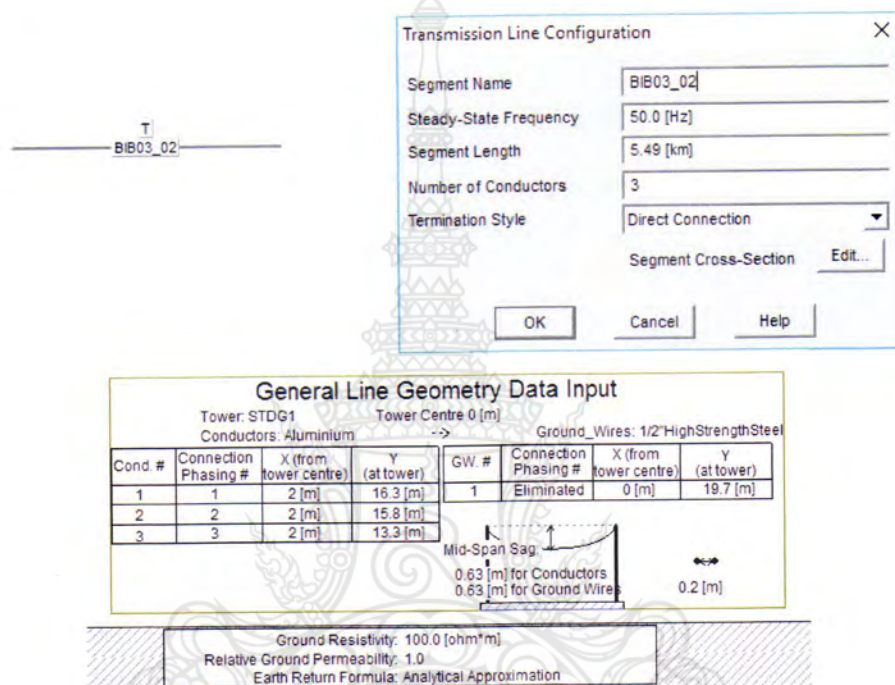
เลือกแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน ตามภาพ 3.1 สำหรับสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ซึ่งเป็นแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดันชนิด 3 เฟส



ภาพ 3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายไฟและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า

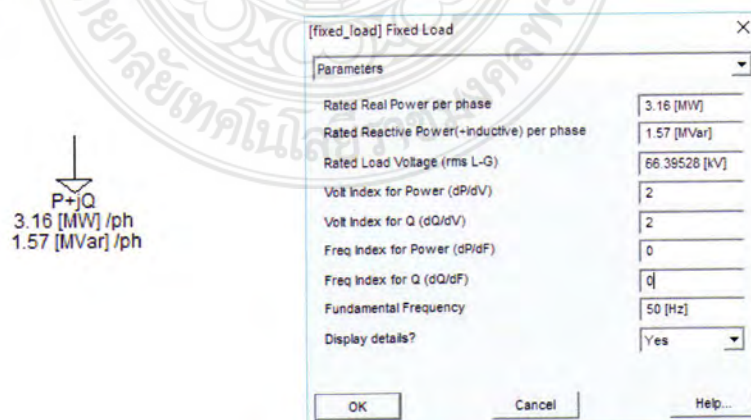
3.3.2 แบบจำลองสายส่ง

เลือกแบบจำลองสายส่ง ตามภาพ 3.2 สำหรับสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้า
บางปะอิน 2



ภาพ 3.2 แบบจำลองสายส่งและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า

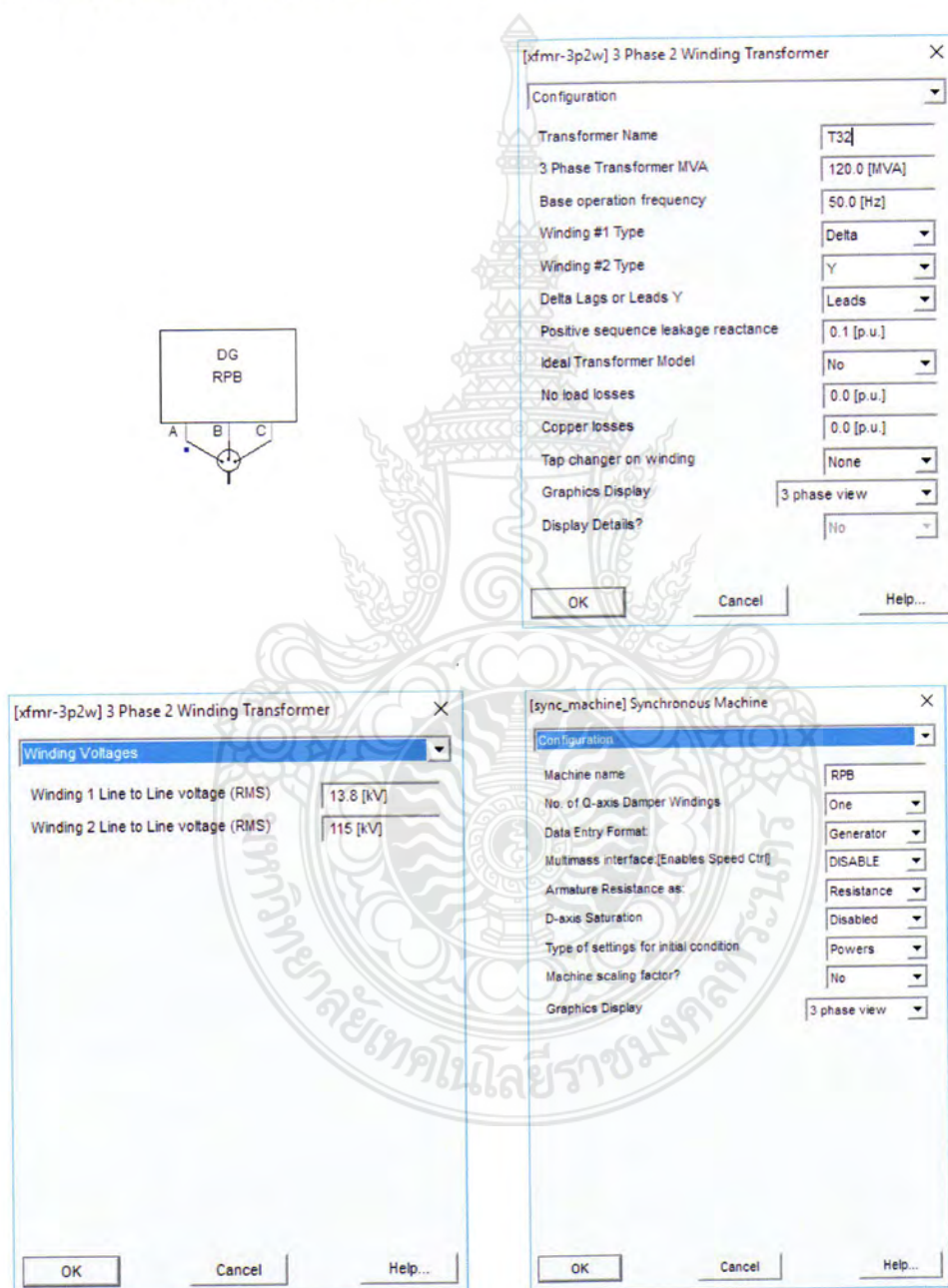
3.3.3 แบบจำลองโหลด



ภาพ 3.3 แบบจำลองโหลดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า

3.3.4 แบบจำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

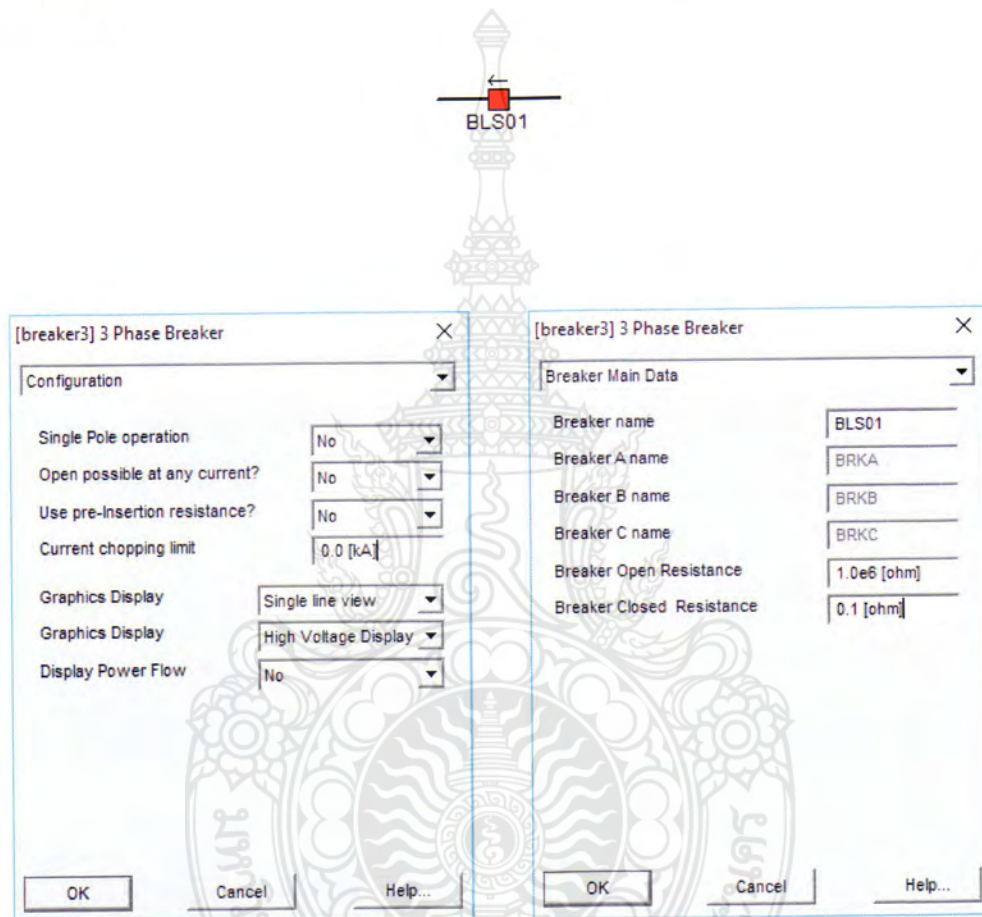
สร้างแบบจำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวโรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์ เป็นโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง



ภาพ 3.4 แบบจำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า

3.3.5 แบบจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์

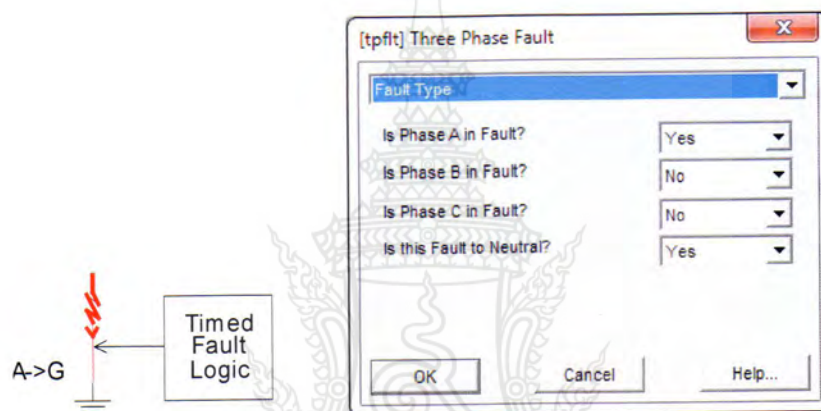
เลือกแบบจำลองสายส่ง ตามภาพ 3.5 สำหรับอุปกรณ์ป้องกันเบรกเกอร์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2



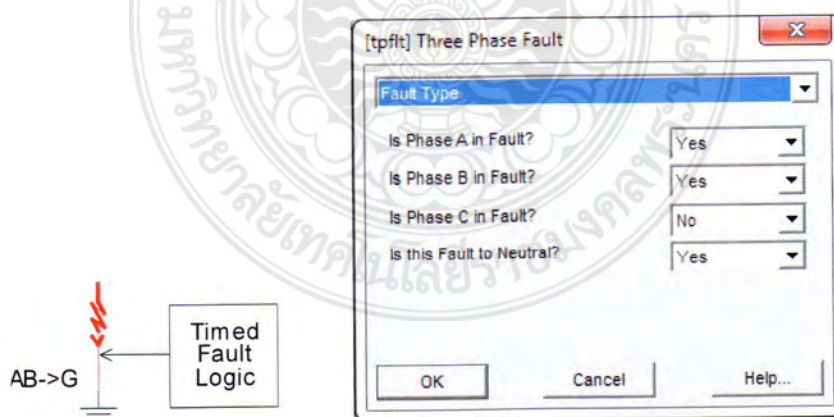
ภาพ 3.5 แบบจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้า

3.3.6 แบบจำลองการเกิดความผิดปกติ

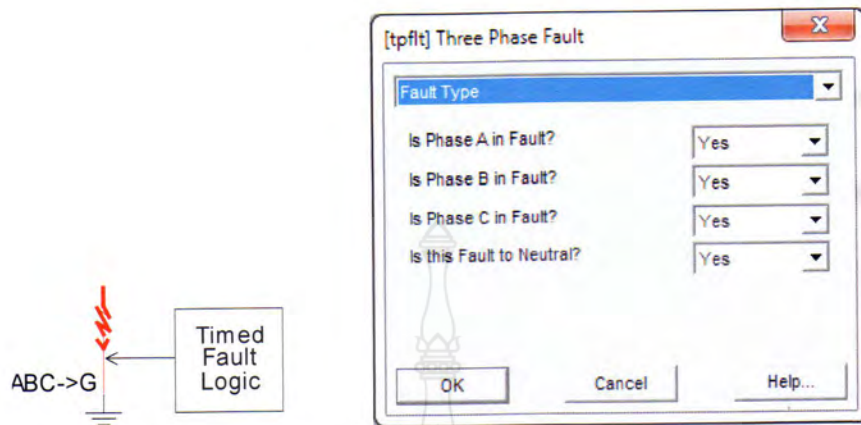
สร้างแบบจำลองการเกิดความผิดปกติทั้ง 5 ชนิดได้แก่ ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟส และ ความผิดปกติ 3 เฟส



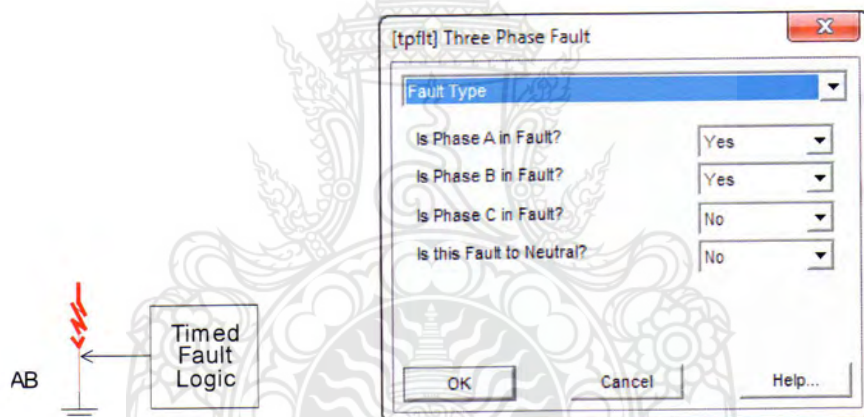
ภาพ 3.6 แบบจำลองความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน



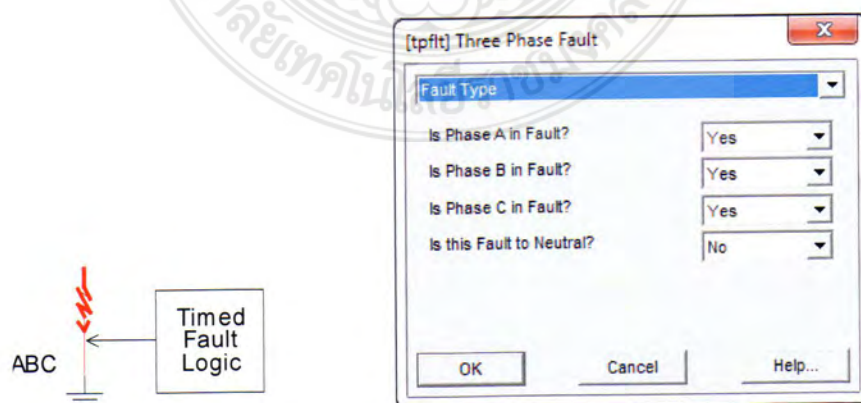
ภาพ 3.7 แบบจำลองความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน



ภาพ 3.8 แบบจำลองความผิดปกติพร้อม 3 เฟสลงดิน



ภาพ 3.9 แบบจำลองความผิดปกติพร้อม 2 เฟส



ภาพ 3.10 แบบจำลองความผิดปกติพร้อม 3 เฟส

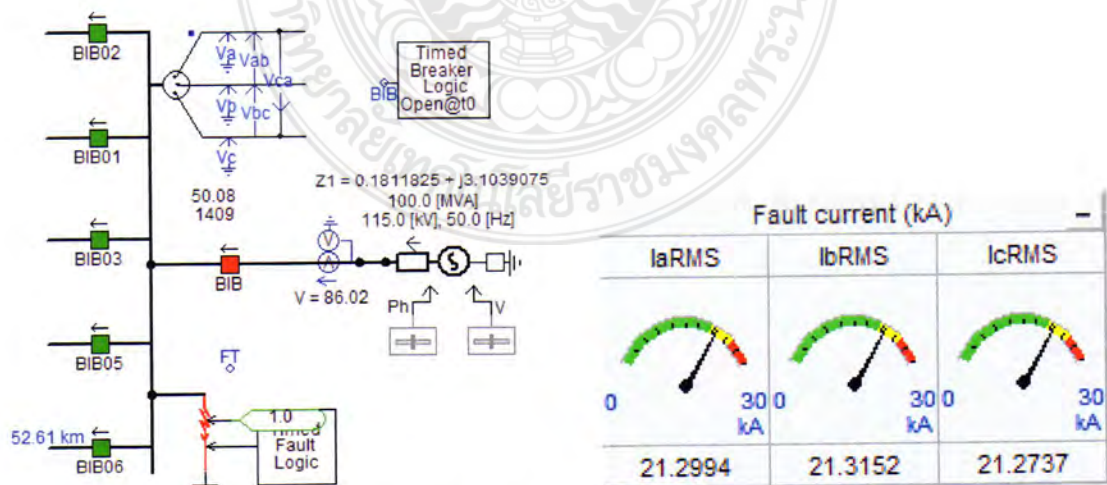
3.4 การทดสอบแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน

การสร้างแบบจำลองของระบบสายส่งจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน โดยการเลือกแบบจำลองจากโปรแกรม PSCAD/EMTDC ใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วทำการทดสอบค่ากระแสลัดวงจรว่าถูกต้องหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรของ กฟผ. และ กฟภ. เมื่อไม่คิดผลของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบสายส่ง โดยการทดลองนี้จะสร้างแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดันที่สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ซึ่งมีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ เทวณินิมพีแดนซ์ จากการคำนวณของ กฟผ. ตามตาราง 4.1

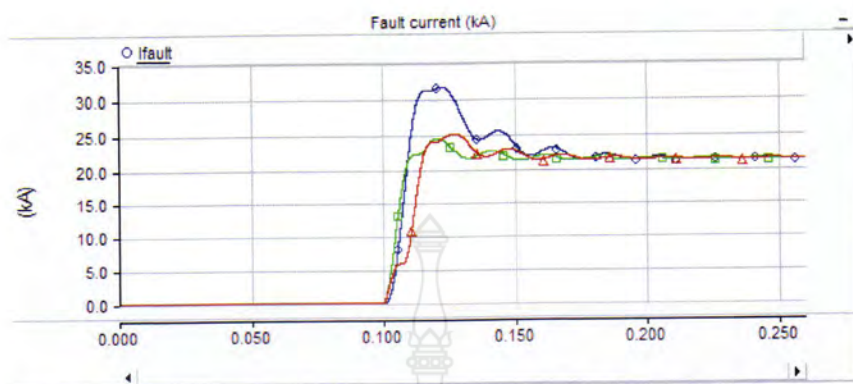
ตาราง 3.1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ เทวณินิมพีแดนซ์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ข้อมูลจาก กฟผ. เมื่อไม่คิดผลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

สถานีไฟฟ้า	แรงดัน (kV)	ความผิดพลาด 3 เฟส (kA)	ความผิดพลาด 1 เฟส (kA)	R1 (pu)	X1 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)
บางปะอิน 2	115	21.3526	21.0929	0.00137	0.02347	0.00213	0.02424

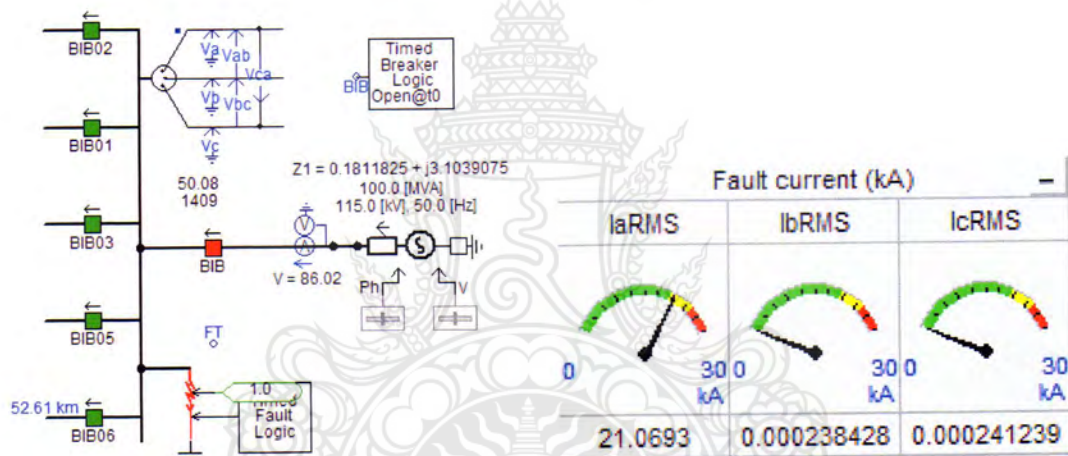
ใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC ในการหาค่ากระแสลัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน และความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน ที่สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 เมื่อไม่คิดผลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เปรียบเทียบว่าตรงกับค่าของ กฟผ. หรือไม่



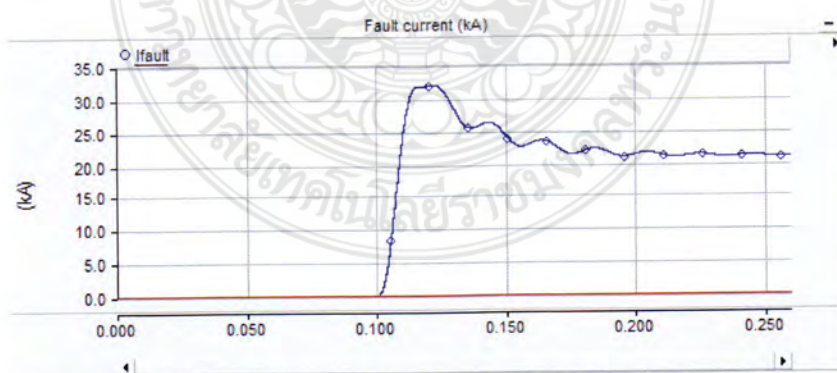
ภาพ 3.11 ผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน



ภาพ 3.12 แผนภูมิผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุด เมื่อเกิดความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน



ภาพ 3.13 ผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน



ภาพ 3.14 แผนภูมิผลการทดสอบกระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน

เมื่อทำการจำลองการเกิดลัดวงจร 3 เฟส และ 1 เฟส แล้วได้ผลตามตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากแบบจำลองกับค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการข้อมูลของ กฟผ. พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตาราง 3.2 เปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จาก กฟผ.

สถานีไฟฟ้า	แรงดัน (kV)	ความผิดพลาด 3 เฟส		ความผิดพลาด 1 เฟส	
		ค่าจาก กฟผ.	ค่าจาก แบบจำลอง	ค่าจาก กฟผ.	ค่าจาก แบบจำลอง
บางปะอิน 2	115	21.3526	21.3152	21.0929	21.0693

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 ใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC สร้างแบบจำลองระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ของ กฟผ. ซึ่งมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่ ได้แก่ โรงไฟฟ้าโรจนะ พาวเวอร์ โรงที่ 1 จ่ายกำลังไฟฟ้า 90 เมกะวัตต์, โรงไฟฟ้าโรจนะ พาวเวอร์ โรงที่ 2 จ่ายกำลังไฟฟ้า 90 เมกะวัตต์ และ โรงไฟฟ้าโรจนะ พาวเวอร์ โรงที่ 4 จ่ายกำลังไฟฟ้า 50 เมกะวัตต์ ทั้ง 3 แห่ง เป็น โรงไฟฟ้าความร้อนร่วม ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยแบบจำลองจะกำหนดให้แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่

3.5.2 ทำการจำลองการเกิดความผิดพลาด 5 ชนิดได้แก่

1. ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน (Single line to Ground Fault)
2. ความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน (Double line to Ground Fault)
3. ความผิดพลาด 3 เฟสลงดิน (Three phase to Ground Fault)
4. ความผิดพลาด 2 เฟส (Line to line Fault)
5. ความผิดพลาด 3 เฟส (Three phase Fault)

การเกิดความผิดพลาดชนิดต่าง ๆ จะมีผลทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag) ในระบบสายส่ง ตรวจสอบว่าการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบมีผลต่อทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะอย่างไร การจำลองจุดเกิดความผิดพลาดทั้ง 5 ชนิดจะพิจารณาดังนี้

1. กำหนดจุดเกิดความผิดพลาดทั้ง 5 ชนิดระยะทางทุก ๆ 5 กม. จากสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2
2. ประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2

3.5.3 พิจารณาระบบสายส่งเดิมตามข้อ 3.4.1 กรณีที่ไม่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์) ใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC สร้างแบบจำลอง ทำการจำลองการเกิดความผิดพลาดในลักษณะเดียวกัน

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 สรุปและเปรียบเทียบผลการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ในกรณีที่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวโดยสรุปว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวมีผลต่อการเกิดแรงดันตกชั่วขณะอย่างไร

3.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Intel Core i5, 2.8 GHz, Ram 8 GB)
2. ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ 10
3. โปรแกรมจำลองภาวะชั่วคราว PSCAD/EMTDC รุ่น 4.2

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การสร้างแบบจำลอง

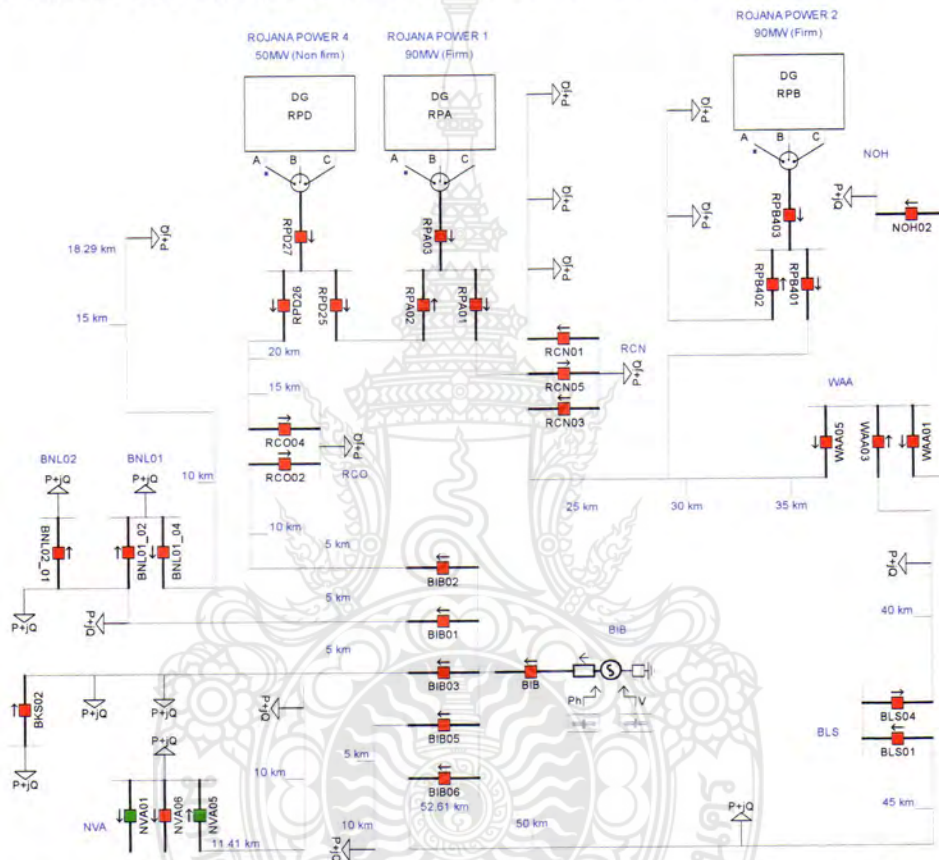
การทดสอบจะสร้างแบบจำลองระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ของ กฟภ. สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าต้นทาง โดยในระบบสายส่งจะมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่จำนวน 3 แห่งคือ โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 1 จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเข้าระบบของ กฟภ. 90 เมกะวัตต์, โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 2 จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเข้าระบบของ กฟภ. 90 เมกะวัตต์ และ โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 4 จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดเข้าระบบของ กฟภ. 50 เมกะวัตต์ โดยโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง เป็นโรงไฟฟ้าความร่วมร่วม ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง การสร้างแบบจำลองจะใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC รุ่นที่ 4.2 ในการสร้างโดยจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองแหล่งจ่ายแรงดัน แบบจำลองโหลด แบบจำลองเบรกเกอร์ แบบจำลองสายส่ง และแบบจำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เมื่อสร้างแบบจำลองระบบเสร็จแล้วจะทำการจำลองการเกิดความผิดปกติในระบบสายส่งทั้ง 5 ชนิด แล้วทำการตรวจวัดค่าแรงดันตกชั่วขณะในกรณีต่าง ๆ โดยดำเนินการและมีผลการทดสอบดังนี้

สร้างแบบจำลองระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 จ่ายไฟจำนวน 4 วงจรได้แก่ วงจร BIB01, BIB03, BIB05 และ BIB02-06 ตามตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ข้อมูลระบบสายส่งสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2

วงจร	รูปแบบการจ่ายไฟ	ความยาวสายส่ง (กม.)	หมายเหตุ
BIB01	แบบเรเดียล	18.29	
BIB03	แบบเรเดียล	11.41	
BIB05	แบบเรเดียล	10.00	
BIB02-06	แบบปิดวงจร	52.61	มี DG ติดตั้งอยู่

ในระบบสายส่งมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่ในวงจร BIB02-06 โดยกำหนดให้จ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ได้แก่โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 1 จ่ายกำลังไฟฟ้า 90 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 2 จ่ายกำลังไฟฟ้า 90 เมกะวัตต์ และโรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 4 จ่ายกำลังไฟฟ้า 50 เมกะวัตต์ โดยมีรายละเอียดแผนผังการจ่ายไฟตามภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แผนผังการจ่ายไฟระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2

4.2 การทดสอบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมชนิดต่างๆ

การทดสอบจะดำเนินการจำลองการเกิดความผิดปกติพร้อมทุก ๆ ระยะ 5 กม. จากสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 และวัดร้อยละแรงดันตกที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (%RMS Voltage) ที่บัสของสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 โดยจะจำลองการเกิดความผิดปกติพร้อมชนิดต่าง ๆ ทุกวงจรได้แก่ วงจร BIB01, BIB03, BIB05, และ BIB02-06 เมื่อไม่มี และมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวคือ โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 1, โรงที่ 2 และโรงที่ 4 ติดตั้งอยู่

แรงดันทั้งหมดก่อนการเกิดความผิดปกติพร้อมทุกชนิดได้แก่แรงดัน V_a , V_b , V_c , V_{ab} , V_{bc} และ V_{ca} จะเท่ากับ 100% RMS Voltage หรือเท่ากับ 1.0 pu มีผลการทดสอบดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB01 ที่ระยะ 0 กิโลเมตร

ตาราง 4.2 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	3.5148	97.9393	99.1163	55.0550	98.0738	59.1691
Phase B to Ground	99.1247	3.5241	97.9478	59.1721	55.0572	98.0722
Phase C to Ground	97.9408	99.1277	3.5208	98.0731	59.1710	55.0592
Phase AB to Ground	3.5578	3.5290	98.9909	3.5581	55.6360	59.1262
Phase AC to Ground	3.5128	98.9952	3.5695	55.6387	59.1226	3.5589
Phase BC to Ground	98.9747	3.5592	3.5131	59.1273	3.5689	55.6442
Phase ABC to Ground	3.5568	3.5631	3.5591	3.5582	3.5689	3.5589
Phase AB	51.9266	46.1278	98.0734	3.3970	83.2532	86.6022
Phase AC	46.1295	98.0734	51.9247	83.2551	86.6004	3.3977
Phase BC	98.0728	51.9352	46.1433	86.6060	3.4077	83.2619
Phase ABC	3.3419	3.3481	3.3443	3.3432	3.3539	3.3440

ตาราง 4.3 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	4.6590	103.9710	104.4831	58.1805	99.2025	62.8265
Phase B to Ground	104.4972	4.6688	103.9826	62.8266	58.1810	99.2022
Phase C to Ground	103.9730	104.4965	4.6622	99.2023	62.8258	58.1813
Phase AB to Ground	4.9608	4.9435	107.8140	5.1653	59.9760	65.0413
Phase AC to Ground	4.9348	107.8221	4.9726	59.9821	65.0356	5.1639
Phase BC to Ground	107.7962	4.9589	4.9275	65.0347	5.1689	59.9796
Phase ABC to Ground	5.1644	5.1685	5.1624	5.1653	5.1689	5.1639
Phase AB	53.8051	45.3953	99.2024	4.9321	83.4807	88.3371
Phase AC	45.3956	99.2024	53.8015	83.4812	88.3347	4.9309
Phase BC	99.2022	53.8078	45.4041	88.3383	4.9359	83.4862
Phase ABC	4.8533	4.8575	4.8515	4.8543	4.8582	4.8531

4.2.2 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB01 ที่ระยะ 5 กิโลเมตร

ตาราง 4.4 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	50.1533	97.3388	98.9161	74.4870	98.0740	76.3948
Phase B to Ground	98.9176	50.1581	97.3419	76.3971	74.4881	98.0729
Phase C to Ground	97.3385	98.9200	50.1586	98.0730	76.3958	74.4900
Phase AB to Ground	40.3052	37.9466	98.1678	27.8495	74.8206	76.7017
Phase AC to Ground	37.9418	98.1688	40.3100	74.8201	76.7022	27.8503
Phase BC to Ground	98.1653	40.3113	37.9489	76.7053	27.8595	74.8255
Phase ABC to Ground	27.8483	27.8540	27.8545	27.8495	27.8595	27.8503
Phase AB	56.2289	52.9872	98.0733	27.8235	85.0265	87.0850
Phase AC	52.9888	98.0734	56.2287	85.0284	87.0839	27.8243
Phase BC	98.0728	56.2348	52.9979	87.0869	27.8336	85.0327
Phase ABC	27.8138	27.8195	27.8200	27.8149	27.8251	27.8158

ตาราง 4.5 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	57.4396	100.5385	101.6644	79.9509	99.2026	81.8873
Phase B to Ground	101.6682	57.4434	100.5422	81.8874	79.9511	99.2022
Phase C to Ground	100.5386	101.6686	57.4431	99.2023	81.8873	79.9514
Phase AB to Ground	47.0861	44.1790	101.8572	36.0204	78.7638	81.4233
Phase AC to Ground	44.1738	101.8591	47.0903	78.7638	81.4226	36.0205
Phase BC to Ground	101.8541	47.0873	44.1750	81.4241	36.0238	78.7660
Phase ABC to Ground	36.0199	36.0224	36.0220	36.0204	36.0238	36.0205
Phase AB	60.6905	56.3885	99.2024	35.9890	86.3278	89.1980
Phase AC	56.3889	99.2024	60.6902	86.3284	89.1969	35.9891
Phase BC	99.2022	60.6916	56.3928	89.1980	35.9924	86.3305
Phase ABC	35.9780	35.9806	35.9802	35.9786	35.9821	35.9787

4.2.3 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB01 ที่ระยะ 10 กิโลเมตร

ตาราง 4.6 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 10 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	68.8488	97.4199	98.6956	83.3203	98.0741	84.4279
Phase B to Ground	98.6958	68.8505	97.4209	84.4278	83.3201	98.0729
Phase C to Ground	97.4192	98.6973	68.8507	98.0730	84.4276	83.3206
Phase AB to Ground	57.8166	55.2149	98.0551	47.5085	81.4763	83.4889
Phase AC to Ground	55.2135	98.0556	57.8183	81.4769	83.4884	47.5090
Phase BC to Ground	98.0537	57.8199	55.2170	83.4896	47.5131	81.4785
Phase ABC to Ground	47.5080	47.5107	47.5109	47.5085	47.5131	47.5090
Phase AB	65.4932	62.4746	98.0733	47.4944	87.0876	89.2789
Phase AC	62.4760	98.0734	65.4926	87.0894	89.2777	47.4949
Phase BC	98.0728	65.4951	62.4797	89.2786	47.4991	87.0906
Phase ABC	47.4893	47.4920	47.4922	47.4898	47.4945	47.4902

ตาราง 4.7 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	74.9823	99.7759	100.7213	87.8073	99.2026	88.9073
Phase B to Ground	100.7230	74.9838	99.7779	88.9074	87.8074	99.2023
Phase C to Ground	99.7758	100.7235	74.9837	99.2023	88.9075	87.8073
Phase AB to Ground	65.3586	62.5628	100.6025	57.0039	85.1684	87.6402
Phase AC to Ground	62.5614	100.6035	65.3600	85.1687	87.6398	57.0040
Phase BC to Ground	100.6011	65.3586	62.5614	87.6401	57.0048	85.1689
Phase ABC to Ground	57.0038	57.0045	57.0044	57.0039	57.0047	57.0040
Phase AB	71.6808	68.2203	99.2023	56.9891	89.1664	91.8410
Phase AC	68.2207	99.2024	71.6804	89.1670	91.8405	56.9892
Phase BC	99.2022	71.6805	68.2215	91.8406	56.9899	89.1672
Phase ABC	56.9840	56.9848	56.9846	56.9842	56.9850	56.9842

4.2.4 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB01 ที่ระยะ 15 กิโลเมตร

ตาราง 4.8 แรงดันตกชั่วขณะ BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 15 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	75.8799	97.5204	98.5680	86.8366	98.0740	87.5357
Phase B to Ground	98.5680	75.8809	97.5210	87.5356	86.8364	98.0729
Phase C to Ground	97.5196	98.5691	75.8811	98.0730	87.5357	86.8365
Phase AB to Ground	64.7336	62.9081	98.0361	55.9825	84.6096	85.9708
Phase AC to Ground	62.9075	98.0364	64.7344	84.6105	85.9700	55.9829
Phase BC to Ground	98.0351	64.7363	62.9104	85.9708	55.9861	84.6113
Phase ABC to Ground	55.9822	55.9842	55.9844	55.9825	55.9861	55.9829
Phase AB	69.9111	67.9779	98.0733	55.9737	88.6766	90.1681
Phase AC	67.9793	98.0734	69.9105	88.6784	90.1668	55.9741
Phase BC	98.0728	69.9125	67.9818	90.1673	55.9773	88.6788
Phase ABC	55.9704	55.9725	55.9727	55.9708	55.9745	55.9712

ตาราง 4.9 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB01 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 15 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	81.1401	99.5633	100.3657	90.6933	99.2026	91.4125
Phase B to Ground	100.3669	81.1411	99.5649	91.4126	90.6934	99.2022
Phase C to Ground	99.5631	100.3674	81.1411	99.2023	91.4128	90.6933
Phase AB to Ground	71.9870	70.0162	100.2002	65.1282	88.0778	89.7811
Phase AC to Ground	70.0152	100.2009	71.9879	88.0782	89.7809	65.1283
Phase BC to Ground	100.1992	71.9871	70.0153	89.7810	65.1289	88.0782
Phase ABC to Ground	65.1281	65.1287	65.1286	65.1282	65.1289	65.1283
Phase AB	76.2299	73.9618	99.2023	65.1195	90.9428	92.7967
Phase AC	73.9622	99.2024	76.2296	90.9434	92.7965	65.1195
Phase BC	99.2022	76.2296	73.9627	92.7965	65.1201	90.9434
Phase ABC	65.1165	65.1170	65.1169	65.1166	65.1172	65.1166

4.2.5 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 ที่ระยะ 0 กิโลเมตร

ตาราง 4.10 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	3.5146	97.9387	99.1165	55.0546	98.0737	59.1691
Phase B to Ground	99.1249	3.5239	97.9471	59.1720	55.0567	98.0719
Phase C to Ground	97.9402	99.1280	3.5206	98.0731	59.1709	55.0588
Phase AB to Ground	3.5569	3.5291	98.9904	3.5576	55.6358	59.1254
Phase AC to Ground	3.5129	98.9949	3.5686	55.6384	59.1217	3.5583
Phase BC to Ground	98.9743	3.5583	3.5132	59.1264	3.5683	55.6437
Phase ABC to Ground	3.5562	3.5626	3.5585	3.5576	3.5683	3.5583
Phase AB	51.9261	46.1283	98.0734	3.3964	83.2534	86.6020
Phase AC	46.1299	98.0734	51.9243	83.2553	86.6001	3.3971
Phase BC	98.0728	51.9347	46.1437	86.6057	3.4071	83.2622
Phase ABC	3.3414	3.3476	3.3438	3.3427	3.3534	3.3434

ตาราง 4.11 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	4.6587	103.9703	104.4833	58.1801	99.2025	62.8264
Phase B to Ground	104.4974	4.6685	103.9818	62.8264	58.1804	99.2021
Phase C to Ground	103.9723	104.4966	4.6619	99.2023	62.8257	58.1808
Phase AB to Ground	4.9597	4.9434	107.8136	5.1645	59.9759	65.0404
Phase AC to Ground	4.9347	107.8217	4.9714	59.9820	65.0346	5.1631
Phase BC to Ground	107.7958	4.9577	4.9274	65.0338	5.1681	59.9796
Phase ABC to Ground	5.1635	5.1676	5.1615	5.1645	5.1681	5.1631
Phase AB	53.8044	45.3959	99.2024	4.9313	83.4811	88.3367
Phase AC	45.3963	99.2024	53.8008	83.4816	88.3343	4.9301
Phase BC	99.2022	53.8072	45.4048	88.3379	4.9352	83.4866
Phase ABC	4.8526	4.8568	4.8508	4.8536	4.8575	4.8524

4.2.6 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 ที่ระยะ 5 กิโลเมตร

ตาราง 4.12 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	50.3832	97.7485	98.7074	74.9623	98.0741	76.2999
Phase B to Ground	98.7089	50.3882	97.7515	76.3023	74.9636	98.0729
Phase C to Ground	97.7481	98.7112	50.3885	98.0730	76.3008	74.9654
Phase AB to Ground	40.5210	37.8497	98.3111	27.8155	74.8762	76.9198
Phase AC to Ground	37.8448	98.3122	40.5258	74.8757	76.9204	27.8162
Phase BC to Ground	98.3087	40.5270	37.8519	76.9235	27.8254	74.8812
Phase ABC to Ground	27.8143	27.8200	27.8204	27.8155	27.8254	27.8162
Phase AB	56.2685	52.9187	98.0733	27.7899	84.9893	87.1159
Phase AC	52.9203	98.0734	56.2683	84.9912	87.1149	27.7907
Phase BC	98.0728	56.2744	52.9294	87.1178	27.8000	84.9955
Phase ABC	27.7803	27.7861	27.7865	27.7816	27.7916	27.7823

ตาราง 4.13 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	57.6292	100.8854	101.4897	80.3471	99.2026	81.8161
Phase B to Ground	101.4935	57.6331	100.8891	81.8164	80.3474	99.2023
Phase C to Ground	100.8854	101.4938	57.6327	99.2023	81.8161	80.3478
Phase AB to Ground	47.2720	44.0594	101.9566	35.9827	78.7773	81.6045
Phase AC to Ground	44.0542	101.9585	47.2762	78.7773	81.6038	35.9828
Phase BC to Ground	101.9535	47.2732	44.0554	81.6054	35.9860	78.7795
Phase ABC to Ground	35.9821	35.9847	35.9842	35.9827	35.9860	35.9828
Phase AB	60.7305	56.3097	99.2024	35.9517	86.2841	89.2327
Phase AC	56.3101	99.2024	60.7302	86.2847	89.2316	35.9518
Phase BC	99.2022	60.7316	56.3140	89.2327	35.9551	86.2868
Phase ABC	35.9409	35.9435	35.9431	35.9415	35.9449	35.9415

4.2.7 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 ที่ระยะ 10 กิโลเมตร

ตาราง 4.14 แรงดันตกชั่วขณะ BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	66.7510	97.8414	98.4978	82.6812	98.0741	83.3166
Phase B to Ground	98.4983	66.7535	97.8428	83.3171	82.6814	98.0729
Phase C to Ground	97.8408	98.5000	66.7537	98.0730	83.3165	82.6823
Phase AB to Ground	54.5342	52.9332	98.2104	43.8997	81.0125	82.2547
Phase AC to Ground	52.9314	98.2110	54.5363	81.0129	82.2544	43.9003
Phase BC to Ground	98.2089	54.5394	52.9370	82.2567	43.9068	81.0161
Phase ABC to Ground	43.8989	43.9030	43.9032	43.8997	43.9068	43.9003
Phase AB	62.9579	61.1070	98.0733	43.8873	87.0632	88.3733
Phase AC	61.1085	98.0734	62.9575	87.0650	88.3721	43.8879
Phase BC	98.0728	62.9619	61.1145	88.3740	43.8945	87.0675
Phase ABC	43.8824	43.8866	43.8869	43.8833	43.8905	43.8838

ตาราง 4.15 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB03 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	73.0621	100.2170	100.6488	87.2341	99.2026	87.9914
Phase B to Ground	100.6509	73.0642	100.2193	87.9914	87.2340	99.2023
Phase C to Ground	100.2169	100.6513	73.0640	99.2023	87.9914	87.2342
Phase AB to Ground	62.0450	60.1436	100.8357	53.3648	84.6805	86.4331
Phase AC to Ground	60.1411	100.8368	62.0471	84.6807	86.4327	53.3648
Phase BC to Ground	100.8341	62.0461	60.1422	86.4334	53.3669	86.4819
Phase ABC to Ground	53.3644	53.3660	53.3658	53.3648	53.3669	53.3648
Phase AB	69.0098	66.5401	99.2024	53.3513	89.0218	90.8830
Phase AC	66.5406	99.2024	69.0094	89.0224	90.8824	53.3514
Phase BC	99.2022	69.0104	66.5428	90.8827	53.3535	89.0235
Phase ABC	53.3465	53.3482	53.3479	53.3469	53.3490	53.3470

4.2.8 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 ที่ระยะ 0 กิโลเมตร

ตาราง 4.16 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	3.5129	97.9380	99.1167	55.0550	98.0736	59.1688
Phase B to Ground	99.1251	3.5223	97.9463	59.1715	55.0570	98.0720
Phase C to Ground	97.9395	99.1277	3.5190	98.0731	59.1701	55.0591
Phase AB to Ground	3.5544	3.5278	98.9899	3.5555	55.6363	59.1240
Phase AC to Ground	3.5115	98.9952	3.5663	55.6391	59.1202	3.5563
Phase BC to Ground	98.9738	3.5559	3.5117	59.1249	3.5663	55.6447
Phase ABC to Ground	3.5541	3.5606	3.5565	3.5555	3.5663	3.5563
Phase AB	51.9245	46.1300	98.0734	3.3946	83.2544	86.6010
Phase AC	46.1316	98.0734	51.9226	83.2563	86.5991	3.3953
Phase BC	98.0728	51.9330	46.1454	86.6047	3.4053	83.2631
Phase ABC	3.3396	3.3458	3.3420	3.3409	3.3516	3.3416

ตาราง 4.17 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	4.6565	103.9693	104.4836	58.1805	99.2025	62.8256
Phase B to Ground	104.4977	4.6664	103.9809	62.8256	58.1808	99.2022
Phase C to Ground	103.9714	104.4967	4.6597	99.2023	62.8248	58.1811
Phase AB to Ground	4.9565	4.9414	107.8132	5.1616	59.9770	65.0385
Phase AC to Ground	4.9327	107.8218	4.9683	59.9832	65.0327	5.1602
Phase BC to Ground	107.7955	4.9545	4.9252	65.0318	5.1652	59.9807
Phase ABC to Ground	5.1606	5.1647	5.1586	5.1616	5.1652	5.1602
Phase AB	53.8020	45.3984	99.2024	4.9287	83.4825	88.3354
Phase AC	45.3987	99.2024	53.7984	83.4830	88.3329	4.9274
Phase BC	99.2022	53.8048	45.4072	88.3365	4.9325	83.4880
Phase ABC	4.8500	4.8542	4.8482	4.8510	4.8549	4.8498

4.2.9 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 ที่ระยะ 5 กิโลเมตร

ตาราง 4.18 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	50.4014	98.0028	98.5919	75.1401	98.0741	76.2589
Phase B to Ground	98.5934	50.4064	98.0057	76.2614	75.1414	98.0729
Phase C to Ground	98.0024	98.5957	50.4068	98.0730	76.2599	75.1432
Phase AB to Ground	40.5364	37.7626	98.4128	27.7587	74.8763	77.0176
Phase AC to Ground	37.7577	98.4138	40.5411	74.8757	77.0183	27.7594
Phase BC to Ground	98.4104	40.5424	37.7646	77.0214	27.7685	74.8812
Phase ABC to Ground	27.7575	27.7632	27.7635	27.7587	27.7685	27.7594
Phase AB	56.2944	52.8467	98.0733	27.7333	84.9538	87.1417
Phase AC	52.8483	98.0734	56.2941	84.9556	87.1405	27.7340
Phase BC	98.0728	56.3001	52.8573	87.1435	27.7432	84.9599
Phase ABC	27.7237	27.7294	27.7298	27.7249	27.7349	27.7256

ตาราง 4.19 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	57.6253	101.1195	101.3885	80.4893	99.2026	81.7840
Phase B to Ground	101.3922	57.6293	101.1232	81.7843	80.4896	99.2023
Phase C to Ground	101.1195	101.3925	57.6288	99.2023	81.7840	80.4901
Phase AB to Ground	47.2681	43.9627	102.0395	35.9185	78.7550	81.6868
Phase AC to Ground	43.9574	102.0414	47.2723	78.7549	81.6861	35.9186
Phase BC to Ground	102.0364	47.2693	43.9586	81.6878	35.9218	78.7571
Phase ABC to Ground	35.9180	35.9205	35.9200	35.9185	35.9218	35.9186
Phase AB	60.7531	56.2240	99.2024	35.8876	86.2416	89.2611
Phase AC	56.2244	99.2024	60.7528	86.2421	89.2599	35.8877
Phase BC	99.2022	60.7542	56.2282	89.2610	35.8910	86.2442
Phase ABC	35.8769	35.8795	35.8790	35.8775	35.8808	35.8775

4.2.10 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 ที่ระยะ 10 กิโลเมตร

ตาราง 4.20 แรงดันตกชั่วขณะ BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	66.5066	98.0255	98.4180	82.6342	98.0741	83.2317
Phase B to Ground	98.4184	66.5091	98.0269	83.2322	82.6344	98.0729
Phase C to Ground	98.0249	98.4200	66.5092	98.0730	83.2317	82.6353
Phase AB to Ground	54.0715	52.1676	98.2814	42.9729	80.7391	82.2848
Phase AC to Ground	52.1658	98.2821	54.0736	80.7396	82.2846	42.9735
Phase BC to Ground	98.2800	54.0766	52.1713	82.2867	42.9799	80.7427
Phase ABC to Ground	42.9721	42.9762	42.9764	42.9730	42.9799	42.9735
Phase AB	62.6748	60.4051	98.0733	42.9596	86.8043	88.4000
Phase AC	60.4066	98.0734	62.6744	86.8062	88.3988	42.9602
Phase BC	98.0728	62.6786	60.4125	88.4006	42.9666	86.8087
Phase ABC	42.9544	42.9585	42.9587	42.9552	42.9622	42.9558

ตาราง 4.21 แรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB05 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	72.8284	100.4005	100.5800	87.1865	99.2026	87.9202
Phase B to Ground	100.5821	72.8304	100.4028	87.9202	87.1865	99.2023
Phase C to Ground	100.4003	100.5825	72.8302	99.2023	87.9202	87.1866
Phase AB to Ground	61.5321	59.3393	100.9007	52.4243	84.3754	86.4441
Phase AC to Ground	59.3368	100.9018	61.5341	84.3757	86.4436	52.4244
Phase BC to Ground	100.8991	61.5331	59.3377	86.4443	52.4263	84.3768
Phase ABC to Ground	52.4240	52.4255	52.4253	52.4243	52.4263	52.4244
Phase AB	68.6614	65.7737	99.2024	52.4098	88.7314	90.8932
Phase AC	65.7741	99.2024	68.6611	88.7320	90.8924	52.4098
Phase BC	99.2022	68.6619	65.7763	90.8928	52.4117	88.7330
Phase ABC	52.4046	52.4062	52.4059	52.4049	52.4069	52.4050

4.2.11 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 0 กิโลเมตร

ตาราง 4.22 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	3.5100	97.9412	99.1159	55.0662	98.0737	59.1701
Phase B to Ground	99.1245	3.5191	97.9496	59.1729	55.0682	98.0722
Phase C to Ground	97.9428	99.1272	3.5160	98.0731	59.1716	55.0702
Phase AB to Ground	3.5488	3.5267	98.9926	3.5518	55.6467	59.1257
Phase AC to Ground	3.5107	98.9981	3.5605	55.6501	59.1220	3.5525
Phase BC to Ground	98.9764	3.5501	3.5112	59.1263	3.5625	55.6547
Phase ABC to Ground	3.5505	3.5567	3.5529	3.5518	3.5625	3.5525
Phase AB	51.9176	46.1378	98.0734	3.3907	83.2588	86.5970
Phase AC	46.1394	98.0734	51.9159	83.2607	86.5952	3.3914
Phase BC	98.0728	51.9260	46.1529	86.6006	3.4013	83.2673
Phase ABC	3.3357	3.3418	3.3382	3.3370	3.3475	3.3377

ตาราง 4.23 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 0 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	4.0428	103.7747	104.7351	58.2805	99.2024	62.6313
Phase B to Ground	104.7510	4.0538	103.7869	62.6313	58.2808	99.2021
Phase C to Ground	103.7771	104.7499	4.0477	99.2023	62.6304	58.2814
Phase AB to Ground	4.2079	4.1850	107.8599	4.3078	60.3674	64.6162
Phase AC to Ground	4.1719	107.8686	4.2199	60.3737	64.6095	4.3079
Phase BC to Ground	107.8415	4.2081	4.1681	64.6098	4.3143	60.3731
Phase ABC to Ground	4.3064	4.3123	4.3059	4.3078	4.3143	4.3079
Phase AB	53.0844	46.1041	99.2024	4.0736	83.8913	87.9220
Phase AC	46.1044	99.2024	53.0816	83.8918	87.9201	4.0737
Phase BC	99.2023	53.0898	46.1160	87.9247	4.0804	83.8987
Phase ABC	3.9941	4.0000	3.9940	3.9956	4.0023	3.9956

4.2.12 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 5 กิโลเมตร

ตาราง 4.24 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 5 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	47.9373	97.3541	98.8540	73.6260	98.0740	75.2842
Phase B to Ground	98.8558	47.9427	97.3576	75.2867	73.6275	98.0729
Phase C to Ground	97.3539	98.8582	47.9433	98.0730	75.2854	73.6293
Phase AB to Ground	38.5932	36.1326	98.1308	26.0651	74.0758	75.9141
Phase AC to Ground	36.1271	98.1319	38.5987	74.0753	75.9148	26.0660
Phase BC to Ground	98.1279	38.5993	36.1344	75.9181	26.0757	74.0810
Phase ABC to Ground	26.0639	26.0698	26.0704	26.0651	26.0757	26.0660
Phase AB	55.5047	52.3854	98.0733	26.0381	84.9363	86.8962
Phase AC	52.3870	98.0734	55.5045	84.9381	86.8952	26.0389
Phase BC	98.0728	55.5110	52.3966	86.8984	26.0487	84.9428
Phase ABC	26.0279	26.0339	26.0345	26.0292	26.0398	26.0300

ตาราง 4.25 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดปกติที่ระยะ 5 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดปกติ	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	53.4318	100.2486	100.9135	77.7054	99.2026	79.6015
Phase B to Ground	100.9178	53.4358	100.2524	79.6018	77.7060	99.2023
Phase C to Ground	100.2486	100.9180	53.4351	99.2023	79.6017	77.7057
Phase AB to Ground	43.2191	39.2843	101.1716	30.1491	76.6664	79.9931
Phase AC to Ground	39.2791	101.1736	43.2229	76.6667	79.9919	30.1491
Phase BC to Ground	101.1683	43.2222	39.2821	79.9940	30.1539	76.6697
Phase ABC to Ground	30.1482	30.1520	30.1513	30.1491	30.1539	30.1491
Phase AB	58.6465	53.2920	99.2024	30.1055	85.4825	88.9200
Phase AC	53.2924	99.2025	58.6462	85.4830	88.9187	30.1056
Phase BC	99.2023	58.6484	53.2982	88.9205	30.1106	85.4865
Phase ABC	30.0903	30.0943	30.0936	30.0912	30.0963	30.0913

4.2.13 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 10 กิโลเมตร

ตาราง 4.26 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม.เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	61.9132	97.0738	98.8288	79.8792	98.0740	81.2477
Phase B to Ground	98.8296	61.9162	97.0758	81.2484	79.8795	98.0729
Phase C to Ground	97.0733	98.8318	61.9165	98.0730	81.2478	79.8806
Phase AB to Ground	50.0761	48.3469	97.9094	38.6450	79.1281	80.3475
Phase AC to Ground	48.3445	97.9101	50.0790	79.1285	80.3475	38.6458
Phase BC to Ground	97.9076	50.0818	48.3508	80.3499	38.6533	79.1322
Phase ABC to Ground	38.6441	38.6487	38.6492	38.6451	38.6533	38.6458
Phase AB	60.3840	58.3134	98.0733	38.6283	86.3906	87.8028
Phase AC	58.3150	98.0734	60.3838	86.3925	87.8017	38.6291
Phase BC	98.0728	60.3889	58.3220	87.8040	38.6367	86.3956
Phase ABC	38.6219	38.6265	38.6270	38.6228	38.6312	38.6236

ตาราง 4.27 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 10 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	67.2226	98.9723	99.6796	83.0285	99.2026	84.6408
Phase B to Ground	99.6821	67.2237	98.9745	84.6414	83.0295	99.2023
Phase C to Ground	98.9721	99.6825	67.2233	99.2023	84.6418	83.0291
Phase AB to Ground	55.7767	52.0832	99.3798	43.8873	80.8146	84.0825
Phase AC to Ground	52.0813	99.3809	55.7780	80.8156	84.0816	43.8873
Phase BC to Ground	99.3779	55.7782	52.0824	84.0821	43.8889	80.8159
Phase ABC to Ground	43.8870	43.8886	43.8881	43.8873	43.8889	43.8873
Phase AB	64.8823	59.9652	99.2024	43.8571	86.9170	90.3798
Phase AC	59.9656	99.2025	64.8819	86.9176	90.3786	43.8571
Phase BC	99.2023	64.8819	59.9680	90.3792	43.8588	86.9189
Phase ABC	43.8467	43.8485	43.8479	43.8471	43.8489	43.8471

4.2.14 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 15 กิโลเมตร

ตาราง 4.28 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 15 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	68.2738	96.9353	98.8366	82.7063	98.0740	84.1829
Phase B to Ground	98.8369	68.2753	96.9364	84.1829	82.7060	98.0729
Phase C to Ground	96.9346	98.8385	68.2755	98.0730	84.1829	82.7063
Phase AB to Ground	56.7398	54.2497	97.8203	45.9743	81.1709	83.0012
Phase AC to Ground	54.2486	97.8208	56.7413	81.1718	83.0006	45.9748
Phase BC to Ground	97.8189	56.7436	54.2527	83.0019	45.9795	81.1735
Phase ABC to Ground	45.9737	45.9767	45.9769	45.9743	45.9795	45.9748
Phase AB	64.5922	61.6844	98.0733	45.9588	86.9360	89.0240
Phase AC	61.6858	98.0734	64.5917	86.9378	89.0228	45.9593
Phase BC	98.0728	64.5947	61.6899	89.0239	45.9641	86.9393
Phase ABC	45.9531	45.9561	45.9564	45.9537	45.9590	45.9542

ตาราง 4.29 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 15 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	72.1903	97.8020	98.8600	84.2112	99.2027	86.2153
Phase B to Ground	98.8621	72.1919	97.8044	86.2170	84.2132	99.2023
Phase C to Ground	97.8029	98.8626	72.1918	99.2024	86.2173	84.2128
Phase AB to Ground	62.3814	57.5290	97.9496	51.0118	81.7716	86.0976
Phase AC to Ground	57.5285	97.9501	62.3818	81.7698	86.0991	51.0118
Phase BC to Ground	97.9480	62.3840	57.5310	86.0982	51.0146	81.7707
Phase ABC to Ground	51.0113	51.0130	51.0132	51.0118	51.0146	51.0118
Phase AB	69.4724	63.1869	99.2024	50.9817	87.2557	91.9094
Phase AC	63.1867	99.2025	69.4726	87.2552	91.9098	50.9817
Phase BC	99.2023	69.4740	63.1894	91.9102	50.9844	87.2566
Phase ABC	50.9713	50.9730	50.9731	50.9717	50.9745	50.9718

4.2.15 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 20 กิโลเมตร

ตาราง 4.30 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 20 กม.เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	71.2713	96.8159	98.8616	84.0708	98.0740	85.5412
Phase B to Ground	98.8618	71.2724	96.8169	85.5412	84.0708	98.0729
Phase C to Ground	96.8152	98.8633	71.2726	98.0729	85.5415	84.0709
Phase AB to Ground	59.7964	57.7029	97.7605	49.8584	82.5177	84.0150
Phase AC to Ground	57.7021	97.7609	59.7976	82.5188	84.0142	49.8589
Phase BC to Ground	97.7592	59.7999	57.7058	84.0154	49.8631	82.5200
Phase ABC to Ground	49.8579	49.8605	49.8608	49.8584	49.8631	49.8589
Phase AB	66.5293	64.1058	98.0733	49.8454	87.6146	89.4041
Phase AC	64.1072	98.0733	66.5288	87.6164	89.4029	49.8459
Phase BC	98.0728	66.5314	64.1108	89.4038	49.8501	87.6174
Phase ABC	49.8405	49.8432	49.8435	49.8410	49.8458	49.8415

ตาราง 4.31 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 20 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	70.8235	96.0743	97.3507	81.7963	99.2027	84.1600
Phase B to Ground	97.3528	70.8265	96.0770	84.1629	81.7995	99.2024
Phase C to Ground	96.0761	97.3534	70.8265	99.2024	84.1631	81.7991
Phase AB to Ground	63.7949	58.7029	95.1366	53.1470	80.3430	84.9716
Phase AC to Ground	58.7012	95.1368	63.7965	80.3397	84.9746	53.1470
Phase BC to Ground	95.1345	63.7980	58.7043	84.9723	53.1512	80.3403
Phase ABC to Ground	53.1463	53.1489	53.1490	53.1470	53.1512	53.1470
Phase AB	70.9234	64.2005	99.2025	53.1138	87.3593	92.4124
Phase AC	64.2003	99.2025	70.9235	87.3588	92.4128	53.1138
Phase BC	99.2023	70.9261	64.2040	92.4138	53.1178	87.3609
Phase ABC	53.1022	53.1046	53.1047	53.1028	53.1068	53.1028

4.2.16 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 25 กิโลเมตร

ตาราง 4.32 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 25 กม.เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	72.5911	96.7452	98.8956	84.5868	98.0740	86.2349
Phase B to Ground	98.8957	72.5919	96.7461	86.2349	84.5870	98.0729
Phase C to Ground	96.7445	98.8972	72.5921	98.0729	86.2354	84.5869
Phase AB to Ground	61.6946	59.1439	97.7365	51.9620	82.8781	84.7981
Phase AC to Ground	59.1432	97.7368	61.6956	82.8792	84.7972	51.9624
Phase BC to Ground	97.7352	61.6974	59.1463	84.7980	51.9657	82.8799
Phase ABC to Ground	51.9616	51.9637	51.9639	51.9620	51.9657	51.9624
Phase AB	68.0402	65.0189	98.0733	51.9486	87.6767	89.9411
Phase AC	65.0202	98.0733	68.0396	87.6784	89.9398	51.9490
Phase BC	98.0728	68.0417	65.0229	89.9404	51.9523	87.6789
Phase ABC	51.9437	51.9459	51.9461	51.9441	51.9479	51.9445

ตาราง 4.33 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 25 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	73.4387	95.7856	97.4625	82.6781	99.2027	85.5233
Phase B to Ground	97.4641	73.4425	95.7880	85.5265	82.6816	99.2024
Phase C to Ground	95.7872	97.4649	73.4425	99.2024	85.5267	82.6812
Phase AB to Ground	66.8321	61.0854	95.0046	56.1718	81.0513	86.3288
Phase AC to Ground	61.0834	95.0048	66.8342	81.0480	86.3321	56.1718
Phase BC to Ground	95.0029	66.8377	61.0888	86.3311	56.1791	81.0502
Phase ABC to Ground	56.1707	56.1750	56.1751	56.1718	56.1791	56.1718
Phase AB	73.1650	65.5294	99.2025	56.1378	87.3999	93.2619
Phase AC	65.5292	99.2025	73.1650	87.3995	93.2622	56.1378
Phase BC	99.2023	73.1702	65.5353	93.2647	56.1449	87.4030
Phase ABC	56.1255	56.1296	56.1298	56.1266	56.1336	56.1266

4.2.17 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 30 กิโลเมตร

ตาราง 4.34 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 30 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	72.6321	96.8608	98.8306	84.7759	98.0740	86.1335
Phase B to Ground	98.8307	72.6331	96.8617	86.1334	84.7759	98.0729
Phase C to Ground	96.8601	98.8322	72.6332	98.0729	86.1337	84.7759
Phase AB to Ground	61.5739	59.2603	97.7683	51.9432	83.0324	84.6877
Phase AC to Ground	59.2596	97.7686	61.5749	83.0335	84.6869	51.9436
Phase BC to Ground	97.7670	61.5768	59.2628	84.6878	51.9472	83.0343
Phase ABC to Ground	51.9428	51.9450	51.9453	51.9432	51.9472	51.9436
Phase AB	67.8119	65.2356	98.0733	51.9308	87.8427	89.7736
Phase AC	65.2369	98.0733	67.8113	87.8444	89.7723	51.9312
Phase BC	98.0728	67.8136	65.2398	89.7730	51.9348	87.8451
Phase ABC	51.9262	51.9285	51.9288	51.9267	51.9307	51.9271

ตาราง 4.35 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 30 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	77.1245	97.2445	98.5206	86.1082	99.2027	88.1036
Phase B to Ground	98.5224	77.1267	97.2468	88.1058	86.1107	99.2024
Phase C to Ground	97.2457	98.5230	77.1267	99.2024	88.1060	86.1103
Phase AB to Ground	68.4677	63.7387	97.2754	58.3844	83.7281	88.0102
Phase AC to Ground	63.7379	97.2758	68.4685	83.7259	88.0123	58.3844
Phase BC to Ground	97.2740	68.4723	63.7423	88.0119	58.3899	83.7278
Phase ABC to Ground	58.3835	58.3868	58.3869	58.3844	58.3899	58.3844
Phase AB	73.7505	67.7484	99.2025	58.3598	88.3593	93.0410
Phase AC	67.7483	99.2025	73.7506	88.3590	93.0413	58.3598
Phase BC	99.2023	73.7544	67.7529	93.0431	58.3652	88.3615
Phase ABC	58.3509	58.3541	58.3541	58.3517	58.3571	58.3517

4.2.18 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 35 กิโลเมตร

ตาราง 4.36 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 35 กม.เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	71.2615	96.9417	98.8055	84.1863	98.0740	85.4827
Phase B to Ground	98.8057	71.2627	96.9427	85.4826	84.1861	98.0729
Phase C to Ground	96.9410	98.8072	71.2629	98.0729	85.4828	84.1863
Phase AB to Ground	60.2138	57.8829	97.8034	50.3922	82.5016	84.1725
Phase AC to Ground	57.8819	97.8038	60.2151	82.5026	84.1718	50.3927
Phase BC to Ground	97.8021	60.2169	57.8853	84.1728	50.3965	82.5037
Phase ABC to Ground	50.3918	50.3942	50.3945	50.3922	50.3965	50.3927
Phase AB	66.9186	64.3265	98.0733	50.3793	87.6237	89.5450
Phase AC	64.3279	98.0734	66.9180	87.6255	89.5437	50.3797
Phase BC	98.0728	66.9205	64.3311	89.5445	50.3836	87.6264
Phase ABC	50.3745	50.3770	50.3772	50.3750	50.3794	50.3754

ตาราง 4.37 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 35 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	77.4360	98.1345	99.2548	87.1751	99.2027	88.9267
Phase B to Ground	99.2567	77.4372	98.1367	88.9282	87.1770	99.2023
Phase C to Ground	98.1352	99.2572	77.4373	99.2024	88.9285	87.1766
Phase AB to Ground	67.8587	63.6261	98.5007	58.0376	84.4384	88.2902
Phase AC to Ground	63.6260	98.5013	67.8590	84.4369	88.2918	58.0376
Phase BC to Ground	98.4993	67.8625	63.6294	88.2916	58.0418	84.4384
Phase ABC to Ground	58.0369	58.0394	58.0395	58.0376	58.0418	58.0376
Phase AB	73.2444	67.8552	99.2024	58.0161	88.5544	92.7484
Phase AC	67.8550	99.2025	73.2446	88.5540	92.7488	58.0161
Phase BC	99.2023	73.2473	67.8586	92.7499	58.0203	88.5559
Phase ABC	58.0083	58.0108	58.0109	58.0090	58.0132	58.0090

4.2.19 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 40 กิโลเมตร

ตาราง 4.38 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 40 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	67.3094	97.0881	98.7751	82.4342	98.0740	83.6419
Phase B to Ground	98.7755	67.3115	97.0895	83.6419	82.4341	98.0729
Phase C to Ground	97.0875	98.7773	67.3117	98.0730	83.6417	82.4347
Phase AB to Ground	55.9557	53.6662	97.8801	45.3698	80.9758	82.6020
Phase AC to Ground	53.6645	97.8807	55.9577	80.9764	82.6016	45.3704
Phase BC to Ground	97.8786	55.9598	53.6691	82.6033	45.3757	80.9787
Phase ABC to Ground	45.3692	45.3725	45.3728	45.3698	45.3757	45.3704
Phase AB	64.0888	61.5386	98.0733	45.3551	86.9911	88.8146
Phase AC	61.5400	98.0734	64.0883	86.9929	88.8134	45.3557
Phase BC	98.0728	64.0918	61.5448	88.8148	45.3611	86.9948
Phase ABC	45.3496	45.3530	45.3533	45.3503	45.3563	45.3508

ตาราง 4.39 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 40 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	73.9931	98.8793	99.7260	86.2442	99.2026	87.7479
Phase B to Ground	99.7280	73.9937	98.8814	87.7487	86.2454	99.2023
Phase C to Ground	98.8794	99.7285	73.9937	99.2023	87.7491	86.2450
Phase AB to Ground	63.4668	59.6313	99.3437	53.1769	83.4681	86.9217
Phase AC to Ground	59.6315	99.3445	63.4667	83.4670	86.9225	53.1769
Phase BC to Ground	99.3421	63.4683	59.6325	86.9221	53.1787	83.4677
Phase ABC to Ground	53.1766	53.1777	53.1778	53.1769	53.1787	53.1769
Phase AB	70.0870	65.1640	99.2024	53.1547	88.0579	91.7605
Phase AC	65.1638	99.2025	70.0872	88.0574	91.7609	53.1547
Phase BC	99.2023	70.0878	65.1655	91.7608	53.1565	88.0584
Phase ABC	53.1470	53.1481	53.1482	53.1473	53.1491	53.1473

4.2.20 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 45 กิโลเมตร

ตาราง 4.40 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 45 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	58.6643	97.2775	98.7733	78.6451	98.0740	79.6585
Phase B to Ground	98.7746	58.6683	97.2803	79.6600	78.6458	98.0729
Phase C to Ground	97.2772	98.7769	58.6687	98.0730	79.6590	78.6473
Phase AB to Ground	47.3288	45.7435	98.0117	35.9086	78.1396	79.1691
Phase AC to Ground	45.7398	98.0126	47.3328	78.1396	79.1693	35.9093
Phase BC to Ground	98.0094	47.3345	45.7464	79.1721	35.9177	78.1441
Phase ABC to Ground	35.9075	35.9126	35.9131	35.9086	35.9177	35.9093
Phase AB	58.8991	57.1978	98.0733	35.8919	86.2347	87.3736
Phase AC	57.1994	98.0734	58.8989	86.2365	87.3726	35.8927
Phase BC	98.0728	58.9047	57.2072	87.3753	35.9011	86.2401
Phase ABC	35.8854	35.8905	35.8911	35.8865	35.8957	35.8872

ตาราง 4.41 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 45 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	65.4590	99.7059	100.3731	83.0581	99.2026	84.2914
Phase B to Ground	100.3763	65.4616	99.7087	84.2917	83.0588	99.2023
Phase C to Ground	99.7057	100.3766	65.4611	99.2023	84.2919	83.0584
Phase AB to Ground	53.9185	51.1202	100.3628	42.7993	81.0433	83.4865
Phase AC to Ground	51.1168	100.3642	53.9210	81.0438	83.4854	42.7993
Phase BC to Ground	100.3603	53.9202	51.1183	83.4864	42.8020	81.0452
Phase ABC to Ground	42.7988	42.8012	42.8006	42.7993	42.8020	42.7993
Phase AB	63.7180	60.0399	99.2024	42.7746	87.2376	89.8093
Phase AC	60.0403	99.2025	63.7176	87.2381	89.8081	42.7746
Phase BC	99.2023	63.7186	60.0437	89.8089	42.7775	87.2400
Phase ABC	42.7659	42.7684	42.7678	42.7665	42.7694	42.7665

4.2.21 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 50 กิโลเมตร

ตาราง 4.42 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 50 กม. เมื่อไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	33.8554	97.5776	98.9159	67.5679	98.0740	69.7387
Phase B to Ground	98.9191	33.8634	97.5826	69.7419	67.5703	98.0729
Phase C to Ground	97.5778	98.9217	33.8641	98.0730	69.7408	67.5721
Phase AB to Ground	28.1988	25.0693	98.3694	16.5116	69.0731	71.4719
Phase AC to Ground	25.0593	98.3711	28.2079	69.0715	71.4731	16.5125
Phase BC to Ground	98.3647	28.2040	25.0663	71.4769	16.5236	69.0778
Phase ABC to Ground	16.5102	16.5169	16.5175	16.5116	16.5236	16.5125
Phase AB	53.0782	48.9607	98.0733	16.4691	84.0863	86.5500
Phase AC	48.9623	98.0734	53.0782	84.0881	86.5487	16.4700
Phase BC	98.0728	53.0855	48.9737	86.5529	16.4811	84.0937
Phase ABC	16.4537	16.4604	16.4610	16.4551	16.4671	16.4560

ตาราง 4.43 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 50 กม. เมื่อติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	39.3732	101.3884	102.1083	72.2786	99.2026	74.6457
Phase B to Ground	102.1149	39.3801	101.3941	74.6463	72.2794	99.2023
Phase C to Ground	101.3888	102.1149	39.3792	99.2023	74.6457	72.2798
Phase AB to Ground	32.4290	28.2381	102.9762	20.3226	72.6887	76.1900
Phase AC to Ground	28.2285	102.9795	32.4364	72.6886	76.1889	20.3226
Phase BC to Ground	102.9706	32.4315	28.2310	76.1920	20.3289	72.6930
Phase ABC to Ground	20.3214	20.3263	20.3254	20.3226	20.3289	20.3226
Phase AB	55.4513	49.6036	99.2024	20.2608	84.7092	88.2618
Phase AC	49.6039	99.2024	55.4510	84.7097	88.2602	20.2608
Phase BC	99.2023	55.4542	49.6114	88.2628	20.2673	84.7142
Phase ABC	20.2394	20.2444	20.2435	20.2406	20.2471	20.2406

4.2.22 ผลการทดสอบแรงดันตกชั่วขณะวงจร BIB02-06 ที่ระยะ 52.61 กิโลเมตร

ตาราง 4.44 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 52.61 กม. ไม่ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	3.5101	97.9401	99.1159	55.0650	98.0737	59.1699
Phase B to Ground	99.1244	3.5192	97.9485	59.1727	55.0669	98.0722
Phase C to Ground	97.9416	99.1271	3.5161	98.0731	59.1713	55.0690
Phase AB to Ground	3.5475	3.5277	98.9915	3.5515	55.6455	59.1242
Phase AC to Ground	3.5118	98.9964	3.5593	55.6486	59.1204	3.5522
Phase BC to Ground	98.9753	3.5488	3.5122	59.1248	3.5622	55.6535
Phase ABC to Ground	3.5502	3.5564	3.5526	3.5515	3.5622	3.5522
Phase AB	51.9173	46.1380	98.0734	3.3905	83.2590	86.5968
Phase AC	46.1396	98.0734	51.9156	83.2608	86.5950	3.3911
Phase BC	98.0728	51.9258	46.1531	86.6005	3.4010	83.2675
Phase ABC	3.3354	3.3415	3.3380	3.3367	3.3472	3.3374

ตาราง 4.45 แรงดันตกชั่วขณะ BIB02-06 เกิดความผิดพลาดที่ระยะ 52.61 กม. ติดตั้ง DG

ชนิดของการเกิด ความผิดพลาด	Va (%RMS)	Vb (%RMS)	Vc (%RMS)	Vab (%RMS)	Vbc (%RMS)	Vca (%RMS)
Phase A to Ground	4.2135	103.8265	104.6591	58.2574	99.2024	62.6856
Phase B to Ground	104.6746	4.2243	103.8386	62.6856	58.2577	99.2021
Phase C to Ground	103.8289	104.6735	4.2181	99.2023	62.6848	58.2582
Phase AB to Ground	4.4117	4.4020	107.8413	4.5477	60.2586	64.7323
Phase AC to Ground	4.3898	107.8500	4.4238	60.2649	64.7255	4.5476
Phase BC to Ground	107.8230	4.4116	4.3852	64.7256	4.5536	60.2640
Phase ABC to Ground	4.5463	4.5519	4.5455	4.5477	4.5536	4.5476
Phase AB	53.2831	45.9086	99.2024	4.3139	83.7779	88.0364
Phase AC	45.9088	99.2024	53.2801	83.7784	88.0343	4.3139
Phase BC	99.2023	53.2879	45.9199	88.0387	4.3200	83.7850
Phase ABC	4.2345	4.2402	4.2341	4.2359	4.2421	4.2360

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเปรียบเทียบกับไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ขณะเกิดความผิดปกติชนิดต่างๆ ได้แก่ ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟส และความผิดปกติ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมในการใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วครู่ โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะวิเคราะห์ผลของการเกิดความผิดปกติในระบบสายส่งที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และเป็นแนวทางในการพิจารณาติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในอนาคต โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

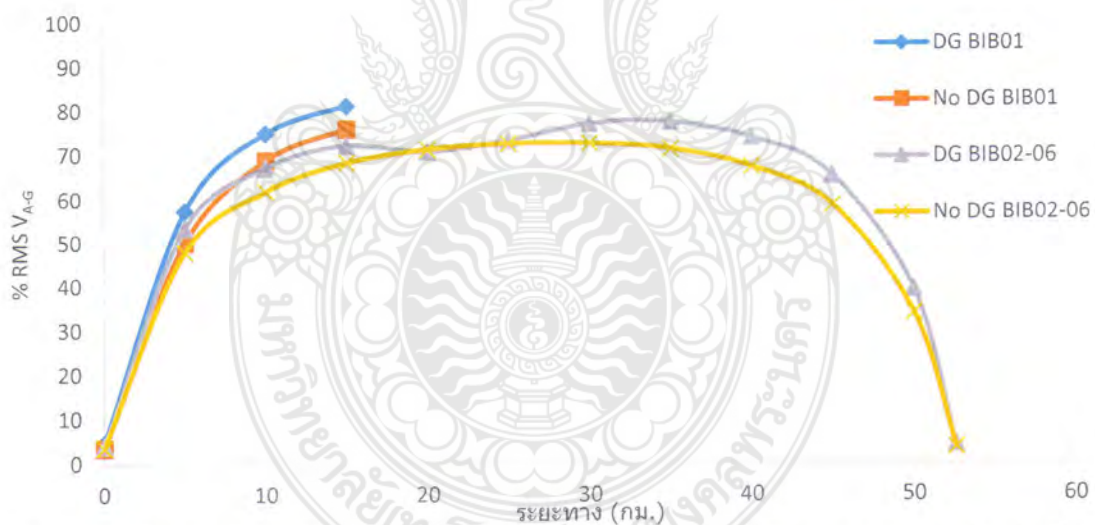
5.2 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งของ กฟภ. สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 ที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC สร้างแบบจำลองระบบสายส่ง สามารถประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติแบบต่าง ๆ ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน , ความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน , ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน , ความผิดปกติ 2 เฟส และความผิดปกติ 3 เฟส สรุปได้ดังนี้

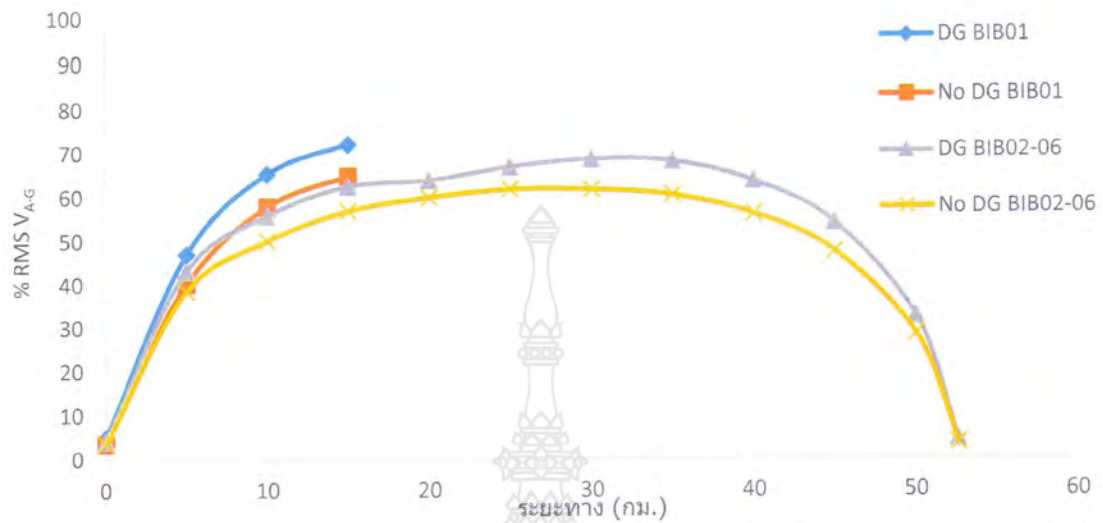
5.2.1 การประเมินแรงดันตกชั่วขณะโดยการวัดค่าร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (%RMS Voltage) เมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวก่อนการเกิดความผิดปกติเท่ากับร้อยละ 100 หรือ 1.0 pu และเมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวก่อนการเกิดความผิดปกติเท่ากับร้อยละ 100 หรือ 1.0 pu จะพบว่าเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว หลังจากเกิดความผิดปกติแล้วจะทำให้ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บัสสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 มี ระดับร้อยละของแรงดันเฟสและแรงดันไลน์คงเหลือมากกว่า เมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ทั้งในระบบสายส่งที่จ่ายไฟแบบเรเดียล (วงจร BIB01, BIB03, BIB05) และระบบสายส่งที่จ่ายไฟแบบปัดวงจร (BIB02-06) สรุปได้ว่าการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบ

สายส่ง จะช่วยลดปัญหาแรงดันตกช่วยขณะได้ โดยยกตัวอย่างไลน์วงจร BIB01 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบเรเดียล และไลน์วงจร BIB02-06 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบปิดวงจรได้ดังนี้

1. ประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกรณีมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กับกรณีไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G}) จากแผนภูมิภาพ 5.1-5.5 แสดงร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองในมุมมองแรงดันเฟสที่คงเหลือที่ระยะทางต่าง ๆ ยกตัวอย่าง V_{A-G} ทั้งนี้ V_{B-G} และ V_{C-G} จะมีแผนภูมิลักษณะเดียวกัน พบว่าเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจะสูงกว่าเมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เมื่อเกิดความผิดปกติทั้ง 5 ชนิด ยกตัวอย่างไลน์วงจร BIB01 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบเรเดียล และไลน์วงจร BIB02-06 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบปิดวงจร



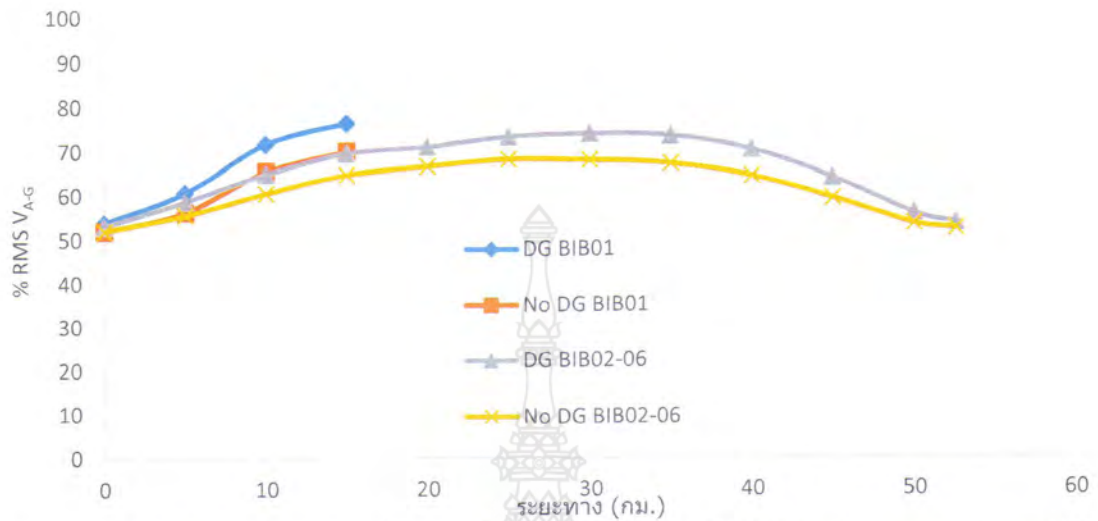
ภาพ 5.1 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดปกติชนิด 1 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G})



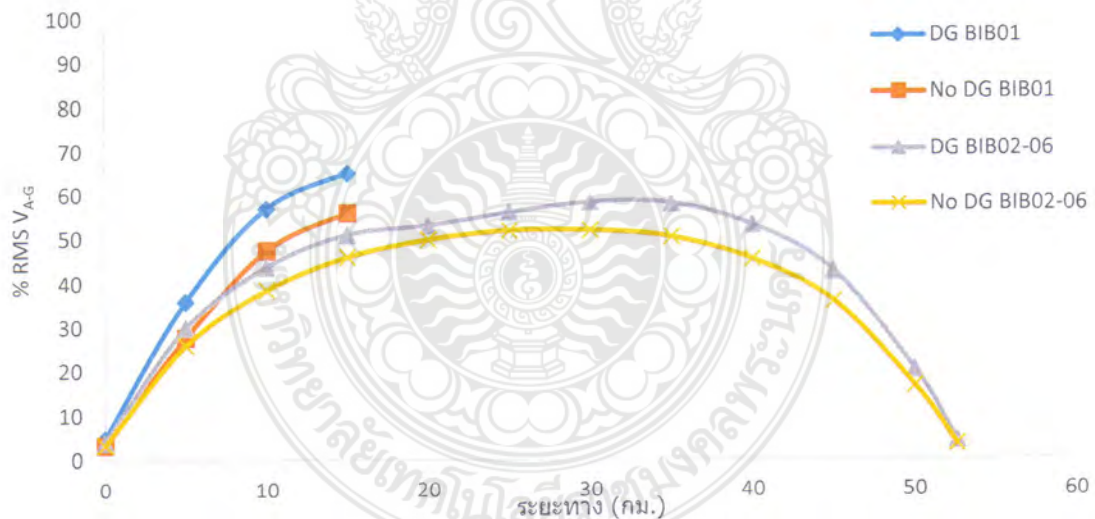
ภาพ 5.2 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดปกติชนิด 2 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G})



ภาพ 5.3 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดปกติชนิด 3 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G})

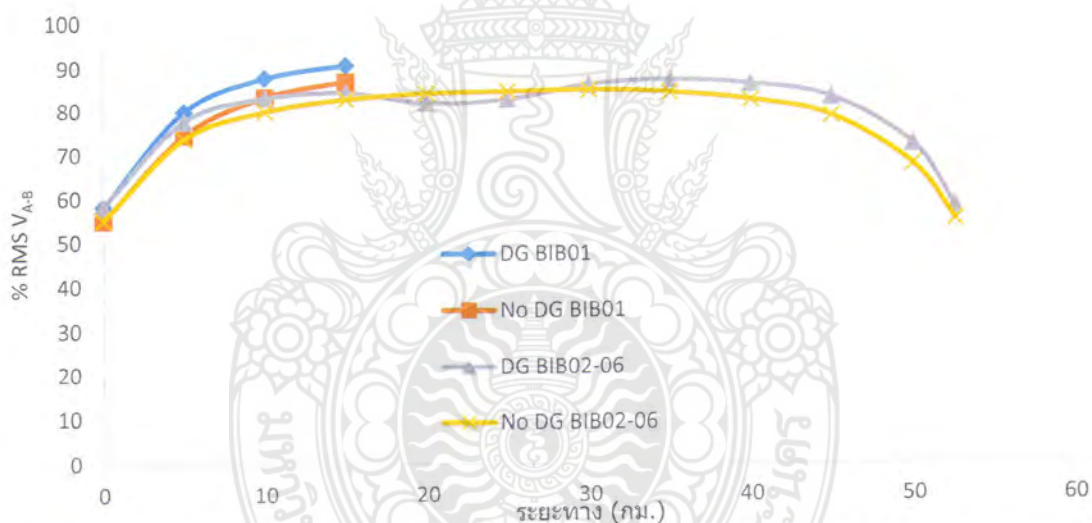


ภาพ 5.4 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 2 เฟส มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G})

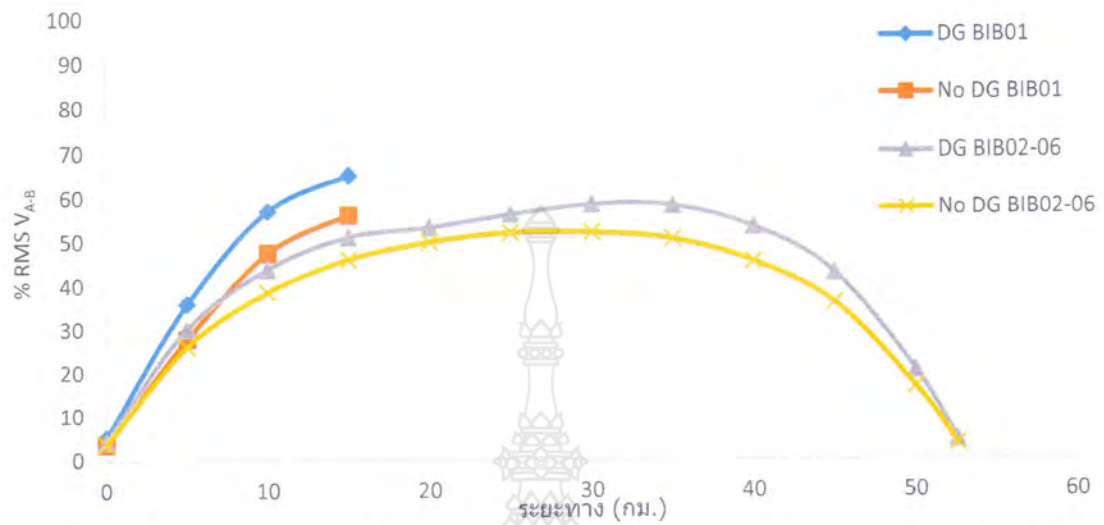


ภาพ 5.5 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 3 เฟส มุมมองแรงดันเฟส (V_{A-G})

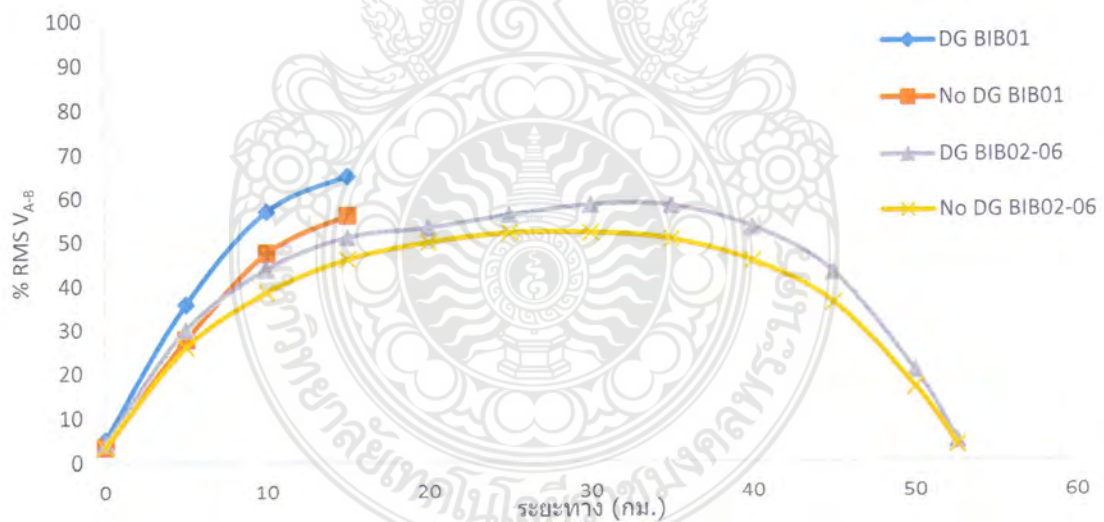
2. ประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกรณีมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กับกรณีไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B}) จากแผนภูมิภาพ 5.6-5.10 แสดงร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองในมุมมองแรงดันไลน์ที่คงเหลือที่ระยะทางต่าง ๆ ยกตัวอย่าง V_{A-B} ทั้งนี้ V_{B-C} และ V_{C-A} จะมีแผนภูมิลักษณะเดียวกัน พบว่าเมื่อมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจะสูงกว่าเมื่อไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เมื่อเกิดความผิดปกติทั้ง 5 ชนิด ยกตัวอย่างไลน์วงจร BIB01 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบเรเดียล และไลน์วงจร BIB02-06 ในกรณีที่จ่ายไฟแบบปิดวงจร



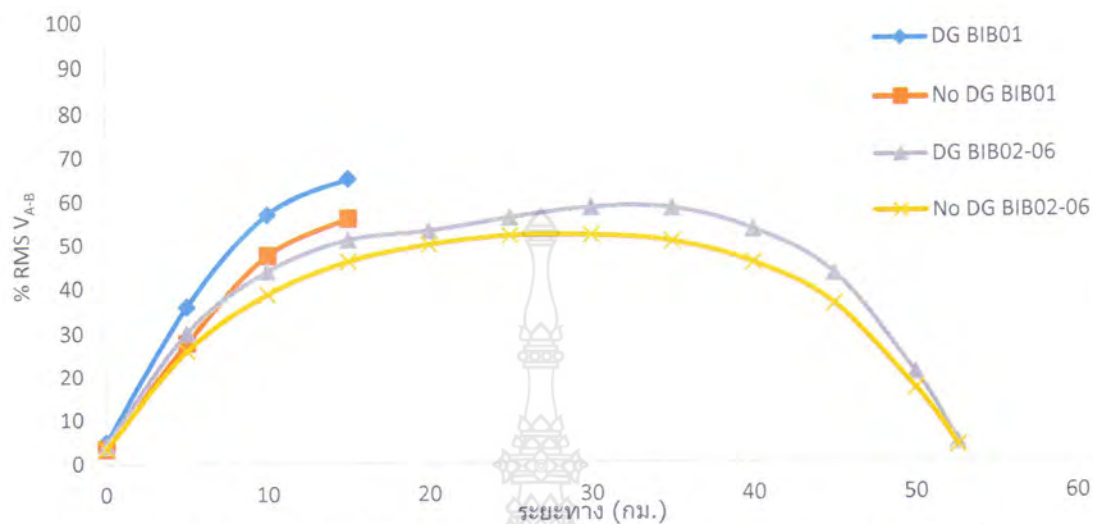
ภาพ 5.6 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดปกติชนิด 1 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B})



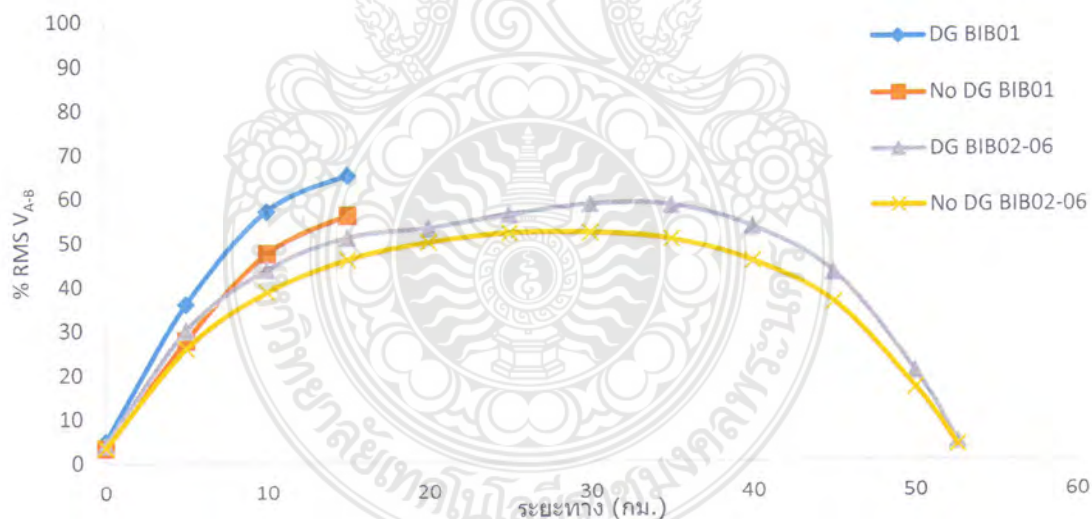
ภาพ 5.7 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 2 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B})



ภาพ 5.8 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 3 เฟสลงดิน มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B})



ภาพ 5.9 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 2 เฟส มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B})



ภาพ 5.10 เปรียบเทียบแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีและไม่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีเกิดความผิดพลาดชนิด 3 เฟส มุมมองแรงดันไลน์ (V_{A-B})

5.2.2 วิเคราะห์ผลของการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

พิจารณาแผนภูมิแรงดันตกชั่วขณะของวงจร BIB02-06 ภาพ 5.1-5.10 พบว่า ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองที่ระยะทางประมาณ 21 กม. จากสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 2 เมื่อเกิดความผิดปกติ 2 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน, ความผิดปกติ 2 เฟส และความผิดปกติ 3 เฟส จะมีความแตกต่างของแรงดันตกชั่วขณะระหว่างเมื่อไม่ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกับเมื่อติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวน้อยที่สุด และเมื่อเกิดความผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ที่ระยะดังกล่าวเมื่อติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะทำให้ร้อยละแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำกว่าการไม่ได้ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว สาเหตุเกิดจากที่จุดดังกล่าวเป็นจุดที่ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์โรงที่ 1 และ โรงที่ 4 เข้ากับบัสบาร์ที่บัสโหลด ทำให้ขณะเกิดความผิดปกติขึ้นภายในรูปกระแสความผิดปกติ (Fault Current) ส่วนหนึ่งจะจ่ายออกจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว และเนื่องจากโรงไฟฟ้าโรจนะพาวเวอร์เป็นแหล่งกำเนิดที่มีอิมพีแดนซ์ (Source Impedance) ที่ค่อนข้างสูง จึงส่งผลทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัสที่แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเชื่อมต่อยู่ ทั้งนี้สำหรับกรณีความผิดปกติที่เกิดขึ้นนอกบัสจะไม่ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของระดับแรงดัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดหลายอย่างอาจมีการพัฒนาและแก้ไขในอนาคตได้แก่

5.3.1 การนำเสนอวิธีการประเมินแรงดันตกชั่วขณะด้วยวิธีอื่น ๆ

5.3.2 การประเมินแรงดันตกชั่วขณะ โดยคำนึงถึงผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard 1159-2009 (Revision of IEEE Standard 1159-1995), 2009.
- [2] R. Dugan, M. McGranaghan and H. Beaty, Electrical Power Systems Quality; McGraw-Hill, Knoxville, USA, 1996.
- [3] Y.H. Chen, C.Y. Lin, J.M. Chen, and P.T. Cheng, "An Inrush Mitigation Technique of Load Transformers for the Series Voltage Sag Compensator" Power Electronics Specialists Conference (PESC), 2008.
- [4] Y. Sillapawicharn, "A Fast Voltage Sag Detector Based on Peak Detection" Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2015.
- [5] Math H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press, 2000.
- [6] O.Amanifar, M.E. Hamedani Golshan, "The Effect of Placement of Generation on Mitigating Voltage Sag in Distribution Network", Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 2012.
- [7] O. Ipinnimo, S. Chowdhury, S.P. Chowdhury, "ANN-Based Voltage Dip Mitigation in Power Networks Distributed Generation", Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011.
- [8] M. Venmathi, Jitha Vargese, L. Ramesh, E. Sheeba Percis, "Impact of Grid Connected Distributed Generation on Voltage Sag", Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON), 2011.
- [9] Juan A. Martinez-Velasco, Jacinto Martin-Arnedo, "Distributed Generation Impact on Voltage Sags in Distribution Networks", 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 2007.
- [10] Ehsan Nasrolahpour, Hassan Ghasemi, Hassan Monsef, Ehsan Khoub, "DG Placement Considering Voltage Sag and Losses", Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012.

- [11] O. Ipinnimo, S. Chowdhury and S.P. Chowdhury, "Effects of renewable distributed generation (RDG) on voltage dip mitigation in microgrids" *Developments in Power systems Protection (DPSP)*, 2012.
- [12] Omid Amanifar and Mohamad Esmaeil Hamedani Golshan "Optimal DG allocation and sizing for mitigating voltage sag in distribution system with respect to economic consideration using particle swarm optimization" *Electrical Power Distribution Networks (EPDC)*, 2012.
- [13] Ali Saidian, Mehrdad Heidari and Davar Mirabbasi "Improvement of voltage unbalance and voltage sag in radial distribution system using DG" *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2010.
- [14] T.Tayjasant and S.Surisunthon "Impacts of Distributed Generation on Voltage Sag Assessment in Thailand's Distribution Systems" *Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2012.
- [15] Shuangyin Dai, Qionglin Li and Shuming Lui "Voltage sag Assessment of Distribution Network with Distributed Generation" *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, 2012.
- [16] Craig Muller, "PSCAD User's Guide" *Manitoba HVDC Research Centre Inc.*, 2005.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการรันโปรแกรม PSCAD/EMTDC



Fault BIB01 at 0 km

Multiple Run Output File

Run #	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
1	1.00000000	4.658951835	103.9709665	104.4830612	58.18054321	99.20251227	62.82654650
2	2.00000000	104.4971725	4.668787421	103.9825979	62.82656343	58.18096490	99.20223195
3	3.00000000	103.9730274	104.4964664	4.662173985	99.20230639	62.82583933	58.18128172
4	4.00000000	4.960838100	4.943472581	107.8139517	5.165338397	59.97596238	65.04132991
5	5.00000000	4.934793542	107.8221033	4.972588732	59.98209883	65.03556006	5.163948348
6	6.00000000	107.7961586	4.958892120	4.927462189	65.03468872	5.168946580	59.97962681
7	7.00000000	5.164365054	5.168456538	5.162355861	5.165337618	5.168946580	5.163948348
8	8.00000000	53.80508526	45.39525375	99.20236091	4.932117413	83.48072710	88.33713686
9	9.00000000	45.39556891	99.20243365	53.80145102	83.48124087	88.33470361	4.930883391
10	10.00000000	99.20224724	53.80784442	45.40409185	88.33826428	4.935935099	83.48622063
11	11.00000000	4.853323130	4.857546181	4.851535827	4.854330645	4.858214665	4.853148710

Statistical Summary Based on 11 Runs:

	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
Minimum:	1.00000000	4.658951835	4.668787421	4.662173985	4.854330645	4.858214665	4.853148710
Maximum:	11.00000000	107.7961586	107.8221033	107.8139517	99.20230639	99.20251227	99.20223195
Mean:	6.00000000	49.02195742	49.02656571	49.02396647	48.83298453	48.83348296	48.83330029
Std Dev:	3.316624790	46.72591356	46.72654979	46.72714688	36.93692907	36.93459501	36.93811625
2% Level:	-.8115146514	-46.94133808	-46.93803644	-46.94186196	-27.02619443	-27.02090242	-27.02831686
98% Level:	12.81151465	144.9852529	144.9911679	144.9897949	124.6921635	124.6878683	124.6949174

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Va (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Vb (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 3, Vc (RMS)

Fault BIB01 at 0 km

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 4, Vab (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 5, Vbc (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 6, Vca (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Fault B1B01 at 5 km

Multiple Run Output File		Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
Run #	FT						
1	1.00000000	57.43959933	100.5384935	101.6644190	79.95093891	99.20260665	81.86733622
2	2.00000000	101.6682210	57.44343510	100.5421566	81.88741417	79.95113589	99.20223821
3	3.00000000	100.5385767	101.6685798	57.44308471	99.20229569	81.88726977	79.95142144
4	4.00000000	47.08612762	44.17901041	101.8572445	36.02044769	78.76383403	81.42328931
5	5.00000000	44.17378961	101.8590714	47.09030768	78.76383797	81.42257380	36.02053633
6	6.00000000	101.8540941	47.08731026	44.17504065	81.42405159	36.02379791	78.76597016
7	7.00000000	36.01986891	36.02242915	36.02203366	36.02044750	36.02379852	36.02054237
8	8.00000000	60.69045870	56.38847500	99.20235292	35.98896635	86.32779458	89.19798007
9	9.00000000	56.38890122	99.20242845	60.69018127	86.32837537	89.19691550	35.98906146
10	10.00000000	99.20223738	60.69163764	56.39280974	89.19801416	35.99240310	86.33048562
11	11.00000000	35.97798989	35.98061946	35.98022262	35.97858574	35.98205000	35.97868247

Statistical Summary Based on 11 Runs:

	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
Minimum:	1.00000000	35.97798989	35.98061946	35.98022262	35.97858574	35.98205000	35.97868247
Maximum:	11.00000000	101.8540941	101.8590714	101.8572445	99.20229569	99.20260665	99.20223821
Mean:	6.00000000	67.36726041	67.36922638	67.36907758	67.34212501	67.34310725	67.34250397
Std Dev:	3.316624790	27.67773252	27.67714778	27.67691344	25.45843472	25.45658111	25.45860872
2% Level:	-.8115146514	10.52414654	10.52731343	10.52764591	15.05689167	15.06168075	15.05691326
98% Level:	12.81151465	124.2103743	124.2111393	124.2105092	119.6273584	119.6245337	119.6280947

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Va (RMS)

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Vb (RMS)

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Probability Density Functions (%) for Variable 3, Vc (RMS)

Page 1

Fault B1B01 at 5 km

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Probability Density Functions (%) for Variable 4, Vab (RMS)

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Probability Density Functions (%) for Variable 5, Vbc (RMS)

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Probability Density Functions (%) for Variable 6, Vca (RMS)

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
-----------------	----------------	---------------------	----------------------

Fault B1B01 at 10 km

Multiple Run Output File

Run #	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
1	1.00000000	74.98227677	99.77594629	100.7213161	87.80733372	99.20258111	88.90734506
2	2.00000000	100.7229642	74.98376832	99.77788602	88.90739372	87.80738405	99.20225221
3	3.00000000	99.77576818	100.7234930	74.98366651	99.20228201	88.90753106	87.80734313
4	4.00000000	65.35862600	62.56277703	100.6025332	57.00393380	85.16839429	87.64015572
5	5.00000000	62.56143455	100.6034859	65.36004831	85.16869947	87.63978344	57.00400954
6	6.00000000	100.6010569	65.35857331	62.56144033	87.64013224	57.00475050	85.16890462
7	7.00000000	57.00380931	57.00450390	57.00437146	57.00393184	57.00474946	57.00401215
8	8.00000000	71.68075437	68.22026737	99.20234672	56.98909291	89.16636067	91.84100970
9	9.00000000	68.22071300	99.20242423	71.68043151	89.16696558	91.84053835	56.98917037
10	10.00000000	99.20223023	71.68045613	68.22150670	91.84064831	56.98994517	89.16716425
11	11.00000000	56.98403764	56.98476551	56.98462945	56.98416820	56.98503300	56.98424930

Statistical Summary Based on 11 Runs:

	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
Minimum:	1.00000000	56.98403764	56.98476551	56.98462945	56.98416820	56.98503300	56.98424930
Maximum:	11.00000000	100.7229642	100.7234930	100.7213161	99.20228201	99.20258111	99.20225221
Mean:	6.00000000	77.91760647	77.91822373	77.91819785	77.97405289	77.97427737	77.97414691
Std Dev:	3.316624790	18.37422966	18.37437807	18.37419058	17.00018980	16.99974378	17.00019725
2% Level:	-8.115146514	40.18155176	40.18186422	40.18222339	43.05993108	43.06107158	43.06000981
98% Level:	12.81151465	115.6536612	115.6545832	115.6541723	112.8881747	112.8874832	112.8882840

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Va (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Vb (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 3, Vc (RMS)

Fault B1B01 at 10 km

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 4, Vab (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 5, Vbc (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 6, Vca (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Fault BIB01 at 15 km

Multiple Run Output File

Run #	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
1	1.00000000	81.14010770	99.56331673	100.3656649	90.69330979	99.20258046	91.41252016
2	2.00000000	100.3668541	81.14108326	99.56485271	91.41256422	90.69341962	99.20224849
3	3.00000000	99.56308579	100.3674225	81.14105154	99.20227912	91.41277900	90.69330974
4	4.00000000	71.98696868	70.01615768	100.2002444	65.12820943	88.07782832	89.78105127
5	5.00000000	70.01517328	100.2009234	71.98792198	88.07821739	89.78085640	65.12829033
6	6.00000000	100.1991906	71.98705122	70.01529876	89.78101758	65.12885979	88.07823946
7	7.00000000	65.12812671	65.12865116	65.12857066	65.12820892	65.12885915	65.12829251
8	8.00000000	76.22986167	73.96177011	99.20234522	65.11946363	90.94280914	92.79673237
9	9.00000000	73.96222555	99.20242332	76.22957464	90.94342593	92.79646923	65.11954428
10	10.00000000	99.20222917	76.22961784	73.96272173	92.79645352	65.12013655	90.94343030
11	11.00000000	65.11647147	65.11701738	65.11693524	65.11655881	65.11724008	65.11664341

Statistical Summary Based on 11 Runs:

	FT	Va (RMS)	Vb (RMS)	Vc (RMS)	Vab (RMS)	Vbc (RMS)	Vca (RMS)
Minimum:	1.00000000	65.11647147	65.11701738	65.11693524	65.11655881	65.11724008	65.11664341
Maximum:	11.00000000	100.3668541	100.3674225	100.3656649	99.20227912	99.20258046	99.20224849
Mean:	6.00000000	82.08275407	82.08322133	82.08319834	82.12724621	82.12743979	82.12730021
Std Dev:	3.316624790	14.78210218	14.78225430	14.78210523	13.75959768	13.75926423	13.75957488
2% Level:	-.8115146514	51.72402736	51.72418221	51.72446538	53.86848705	53.86936544	53.86858787
98% Level:	12.81151465	112.4414888	112.4422604	112.4419313	110.3860054	110.3855141	110.3860126

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Va (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Vb (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 3, Vc (RMS)

Fault BIB01 at 15 km

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 4, Vab (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

Probability Density Functions (%) for Variable 5, Vbc (RMS)

Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

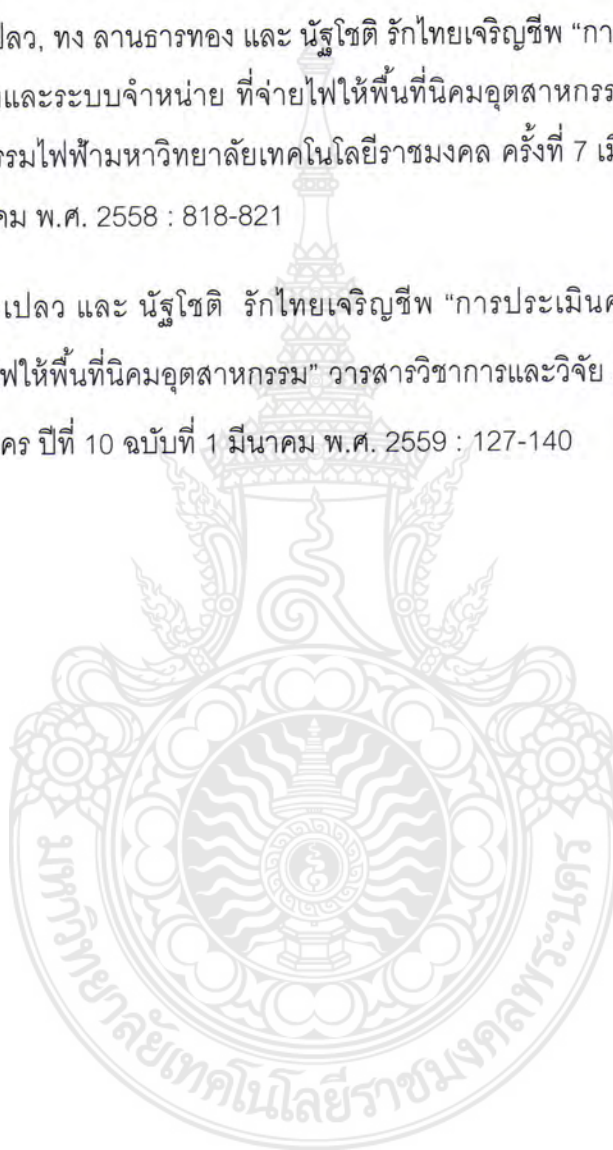
Probability Density Functions (%) for Variable 6, Vca (RMS)

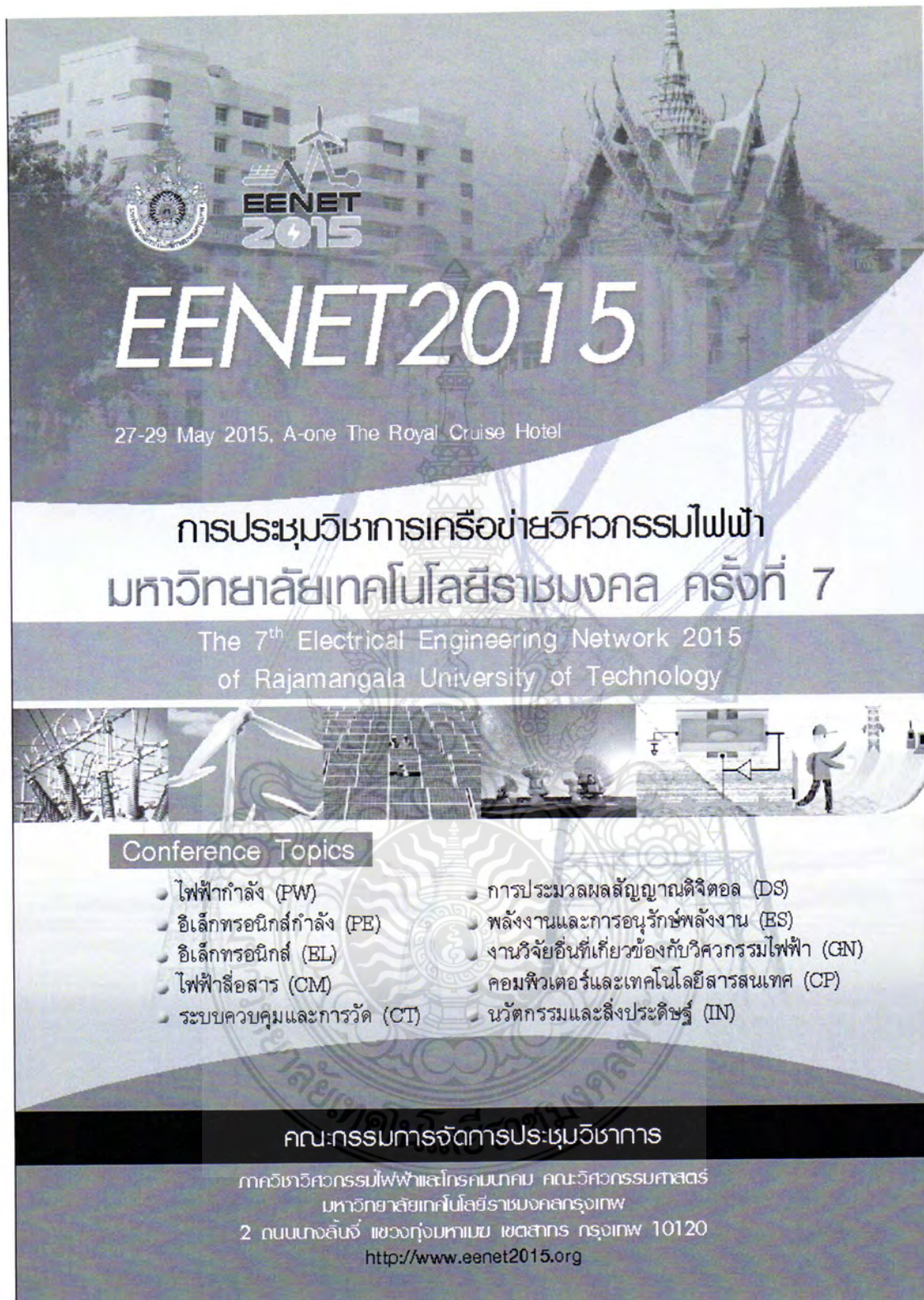
Centre of Range Probability(%) Cumulative Prob.(%) 100-Cumulative Prob.

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. เอกวัฒน์ ทองเปลว, ทง ลานธารทอง และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ "การประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่าย ที่จ่ายไฟให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7 เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี 27-29 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 : 818-821
2. เอกวัฒน์ ทองเปลว และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ "การประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่จ่ายไฟให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม" วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2559 : 127-140





The poster features a background image of a modern building and a traditional Thai temple. At the top left, there are logos for the organizing institutions and the event, including the Rajamangala University of Technology logo and the EENET 2015 logo. The main title 'EENET 2015' is prominently displayed in large white letters. Below it, the dates and location are provided. The Thai title and English subtitle are centered in a white banner. A horizontal strip of images shows various electrical engineering concepts like power lines, wind turbines, and a person working with equipment. The 'Conference Topics' section lists 10 areas of focus in two columns. At the bottom, a black banner contains the organizing committee's name, and a white box below it provides contact information and the website.

EENET 2015

27-29 May 2015, A-one The Royal Cruise Hotel

**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7**

The 7th Electrical Engineering Network 2015
of Rajamangala University of Technology

Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)

คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนบางลำบัวตึก ๒ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
<http://www.eenet2015.org>

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

การประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่าย ที่จ่ายไฟฟ้าให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม

Power Quality Assessment of Transmission and Distribution System in the Industry Area

เอกวัฒน์ ทองเปลว^{1,2} พง ลานธรรทอง¹ และ นัฐ โชติ วัทธิโยเจริญชีพ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 อ.ประชารามบุรี 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ :02-8363000 ต่อ 4150 E-mail: natuchote.r@rmutp.ac.th

²ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคกลาง) จ.พระนครศรีอยุธยา

46 หมู่ 6 อ.สายเขยือ ศ.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 โทรศัพท์ :035-241142 ต่อ 10552 E-mail: akewattho@pea.co.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่าย ที่จ่ายไฟฟ้าให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมต้องการคุณภาพไฟฟ้าในระดับสูง โดยการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในระบบสายส่ง 115 kV และระบบจำหน่าย 22 kV พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมโรงงานที่ได้จากเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่องประกอบด้วยแรงดันRMS(RMS Voltage) ความถี่ (Power Frequency)แรงดัน ไม่สมดุล (Voltage Unbalance) ไฟกระพริบระยะสั้น (Short Term Flicker) ไฟกระพริบระยะยาว (Long Term Flicker) และฮาร์มอนิกส์(Harmonics) ทั้ง 2 ระดับแรงดันผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอ้างอิงทั้งหมด ส่วนปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ ประกอบด้วย ทรานเซียนท์(Transient)แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip)แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) และ ไฟดับ (Interruption) จากผลการประเมินคุณภาพไฟฟ้าสรุปได้ว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด โดยเฉพาะในระบบสายส่ง 115 kV แต่อย่างไรก็ตามแรงดันตกชั่วขณะมีผลต่อผู้ใช้ไฟไม่มากนัก โดยระดับแรงดันที่คงเหลือที่วัดได้ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า 170% และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 วินาที

คำสำคัญ: คุณภาพไฟฟ้า ไฟดับ แรงดันตกชั่วขณะ

Abstract

The customers in industrial areas need high level of power quality by analyzing the power quality of Provincial Electricity Authority (PEA) in the voltage levels 115 kV and 22 kV power to Rojana industrial park concluded that continuous occurrence: RMS voltage, power frequency, voltage unbalance, short term flicker, long term flicker, harmonics threshold the benchmark by the Provincial Electricity

Authority references but the temporary occurrence: transients, voltage dip, voltage swells, interruptions in conclusion, the power quality problems caused by voltage dip most especially in transmission system. However, there is not much effect on consumers the residual voltages are mostly greater than 70% and the duration of voltage dip are mostly in the range of less than 0.5 seconds.

Keywords: Power Quality, Interruption, Voltage Dip

1. บทนำ

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดความต้องการของกระบวนการผลิตสินค้าในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม เนื่องจากมักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงต้องปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าอยู่เสมอ [1] อย่างไรก็ตามปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละภาคอุตสาหกรรมมักมีสาเหตุ และเงื่อนไขทางด้านเทคนิคที่ทำให้ผลกระทบของปัญหาคุณภาพไฟฟ้ามีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน

บทความนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย ในระดับแรงดัน 115 kV และ 22 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่จ่ายไฟฟ้าให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมซึ่งต้องการคุณภาพไฟฟ้าในระดับสูง โดยการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจะใช้มาตรฐานที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ้างอิง ซึ่งจะวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่องประกอบด้วย แรงดันRMS (RMS Voltage) ความถี่ (Power Frequency)แรงดัน ไม่สมดุล (Voltage Unbalance) ไฟกระพริบระยะสั้น (Short Term Flicker) ไฟกระพริบระยะยาว (Long Term Flicker) ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ ประกอบด้วย ทรานเซียนท์ (Transient) แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip)แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) และ ไฟดับ (Interruption)

จากการวิเคราะห์พบว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกระแสไฟฟ้าที่ลัดวงจรหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งจากระบบจำหน่าย แล้วส่งต่อไป

บทความวิจัย

การประจักษ์การเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

ผู้ใช้ไฟในวงจรข้างเคียงประสบปัญหา โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของกระแสลัดวงจร ชนิดของการลัดวงจร และระยะเวลาในการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้ง [2] ดังนั้นจะเห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟด้วย

2. การประเมินผลกระทบวัดคุณภาพไฟฟ้า

การประเมินคุณภาพไฟฟ้าจะการวิเคราะห์ตามข้อแนะนำในการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE 1159/2009 [3] โดยการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าพีแอลซีกับพีดี Dranetz-BMI รุ่น PowerXplorer PXS เป็นเวลาประมาณ 43 วัน ในระบบสายส่ง 115 เค.วี. ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าวังน้อย 1 และระบบจำหน่าย 22 เค.วี. ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าโรจนะ 3 และนำข้อมูลที่ได้มาประเมินตามมาตรฐาน EN50160/2000[4] PRC-PQG-01/1998 [5] และ PRC-PQG-02/1998 [6] เปรียบเทียบกับการจ่ายไฟของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งสามารถแยกการวิเคราะห์ตามกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่ม คือ

2.1 ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ประกอบด้วย แรงดัน RMS ความถี่ แรงดันไม่สมดุล ไฟฟ้ากระแสพริบกระชอน ไฟฟ้ากระแสพริบกระชอนยาว และฮาร์มอนิกส์ ซึ่งจะใช้หลักการเชิงสถิติ กล่าวคือ ใช้ค่า CP95 Percentile ของข้อมูลในการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ตามมาตรฐานเพื่อตรวจสอบระดับคุณภาพไฟฟ้าว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือตกเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีลักษณะการบันทึกคุณภาพไฟฟ้าเฉลี่ยทุกๆ 10 นาทีมีระยะเวลาการตรวจวัดไม่ต่ำกว่า 1 ลิปคาห์โดยนำข้อมูลมาเรียงจากน้อยไปมาก แล้วใช้ค่าที่ 95% มาเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด

2.2 ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ

ประกอบด้วย ทรานเซียนท์ แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ จะดำเนินการวิเคราะห์แยกเป็นกรณี แล้วแต่การตรวจพบในช่วงนั้นๆ

3. ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง 115 KV

3.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 แรงดัน RMS (ค่ามาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Voltage	ABVrms	4187	184	114,934	117404	116,003
	BCVrms	4187	190	114,622	117,891	116,480
	CAVrms	4187	199	114,906	117,211	115,216

ตารางที่ 2 แรงดันไม่สมดุล (ค่ามาตรฐาน EN50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Unbalance	Vuab	4187	0.517	0.769	10.823	0.875 < 2%

ตารางที่ 3 ความถี่ (ค่ามาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Frequency	Freq	4187	49.92	50.02	50.12	50.04 ± 0.1 Hz

ตารางที่ 4 ไฟฟ้ากระแสพริบกระชอนสั้น (ค่ามาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Short Flick	AVPst	4186	0.044	0.118	13.949	0.158
	BVPst	4186	0.042	0.117	14.438	0.168
	CVPst	4186	0.042	0.110	13.780	0.157

ตารางที่ 5 ไฟฟ้ากระแสพริบกระชอนยาว (ค่ามาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Long Flick	AVPst	348	0.035	0.186	7.962	0.506
	BVPst	348	0.032	0.179	8.358	0.579
	CVPst	348	0.032	0.155	7.852	0.564

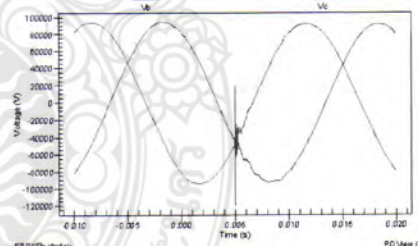
ตารางที่ 6 ฮาร์มอนิกส์ (ค่ามาตรฐาน PRC-PQG-01/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Harmonic	AVThd	4186	0.633	1.004	17.547	1.376
	BVThd	4186	0.940	1.121	19.200	1.264
	CVThd	4186	0.727	0.999	16.670	1.360

3.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ

3.2.1 ทรานเซียนท์

เกิดทรานเซียนท์ขึ้น 1 เหตุการณ์ ตามรูปที่ 1
WAA SYB01 5072012 - 9/7/2555 11 29.21.7101



รูปที่ 1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเหตุการณ์ทรานเซียนท์

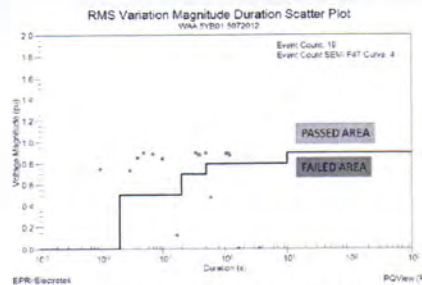
3.2.2 แรงดันตกชั่วขณะแรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ

เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นรวมจำนวน 19 เหตุการณ์ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI-P47 จำนวน 4 เหตุการณ์ ตามรูปที่ 2

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)



รูปที่ 2 ขนาดของแรงดัน (pu) เทียบกับมาตรฐาน SEMI-P47

ตารางที่ 7 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ

No.	Time	Magnitude (pu)	Duration (s)	SEMI-P47
1	5/7/2555 15:20	0.893	1.080	PASSED
2	9/7/2555 14:58	0.899	0.340	PASSED
3	11/7/2555 10:51	0.130	0.170	FAILED
4	14/7/2555 18:38	0.874	0.400	PASSED
5	15/7/2555 10:58	0.883	0.390	PASSED
6	16/7/2555 6:13	0.882	0.380	PASSED
7	15/7/2555 11:48	0.889	0.070	PASSED
8	20/7/2555 19:44	0.850	0.040	PASSED
9	22/7/2555 13:49	0.882	0.400	PASSED
10	24/7/2555 14:46	0.890	1.180	PASSED
11	25/7/2555 10:38	0.895	0.500	PASSED
12	28/7/2555 15:12	0.873	1.220	PASSED
13	31/7/2555 13:02	0.842	0.100	PASSED
14	2/8/2555 10:58	0.897	0.050	PASSED
15	3/8/2555 11:20	0.004	3.680	FAILED
16	3/8/2555 12:12	0.004	1.670	FAILED
17	3/8/2555 12:26	0.736	0.030	PASSED
18	3/8/2555 12:44	0.475	0.000	FAILED
19	3/8/2555 12:50	0.747	0.030	PASSED

4. ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV

4.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 8 แรงดัน RMS (ค่ามาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	95%	Limitation	
Voltage	ABVrms	3467	21.853	22.074	22.268	22.210
	BCVrms	3467	21.841	22.105	22.328	22.259
	CAVrms	3467	21.996	22.234	22.410	22.269

ตารางที่ 9 แรงดันไม่สมดุล (ค่ามาตรฐาน IEC 61000-4-30)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Unbalance	Vunb	3467	0.121	0.604	14.896	0.512 < 2%

ตารางที่ 10 ความถี่ (ค่ามาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Frequency	Freq	3467	49.90	50.02	50.08	50.04 ± 0.1 Hz

ตารางที่ 11 ไฟกระพริบระยะสั้น (ค่ามาตรฐาน IEC 61000-4-14)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Short Flick	AVPst	3464	0.064	0.310	5.666	0.502
	BVPst	3464	0.064	0.334	6.724	0.529 < 1 pu
	CVPst	3464	0.064	0.403	5.717	0.592

ตารางที่ 12 ไฟกระพริบระยะยาว (ค่ามาตรฐาน IEC 61000-4-14)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Long Flick	AVPlt	301	0.081	0.224	12.23	0.423
	BVPlt	301	0.083	0.282	12.23	0.477 < 0.8 pu
	CVPlt	301	0.014	0.222	12.23	0.405

ตารางที่ 13 ฮาร์โมนิกส์ (ค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation
Harmonic	AVTbd	3464	0.878	5.818	2872	1.761
	BVTbd	3464	0.559	4.709	2568	1.387 < 4%
	CVTbd	3464	0.803	5.635	2680	1.693

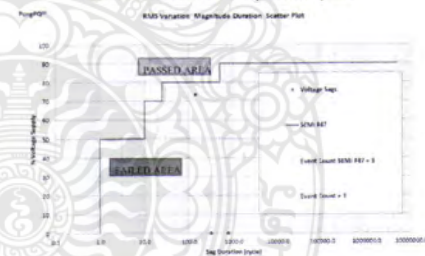
4.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ

4.2.1 ทรานเซียนท์

จากการตรวจสอบไม่พบทรานเซียนท์ในช่วงเวลา ระหว่างที่มีการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

4.2.2 แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และ ไฟดับ

เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้น 3 เหตุการณ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดของแรงดัน (pu) เทียบกับมาตรฐาน SEMI-P47

ตารางที่ 14 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ

No.	Time	Magnitude (pu)	Duration (s)	SEMI-P47
1	24/8/2555 5:39	0.000	15.36	FAILED
2	12/7/2555 18:14	0.733	2.86	FAILED
3	15/7/2555 9:42	0.000	6.29	FAILED

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

5. วิเคราะห์ผลการตรวจวัด

จากการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แรงดัน RMS ความถี่ แรงดันไม่สมดุล ไฟกระพริบระยะสั้น ไฟกระพริบระยะยาว และฮาร์โมนิกส์ทั้งระดับแรงดัน 115 kV และ 22 kV ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่อ้างอิง

5.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ

ประกอบด้วย ทรานเซียนท์ แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ พบว่า แรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาหลัก โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 สรุปจำนวนเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะเทียบกับมาตรฐาน SEMI-F47

แรงดัน (kV)	เหตุการณ์ (ครั้ง)	แรงดันตกชั่วขณะ (ครั้ง)	ค่าความมาตรฐาน SEMI-F47 (ครั้ง)	สาเหตุ (ครั้ง)
115	19	17	4	Peak 22 kV (6) Peak 115 kV (4) ไม่พบเหตุการณ์ในระบบ 115 kV (9)
22	3	1	3	Peak 22 kV (3) ไม่พบเหตุการณ์ในระบบ 22 kV (0)
รวม	22	18	7	

จากข้อมูลในตารางที่ 15 มีเหตุการณ์เกิดขึ้นรวมจำนวน 22 ครั้ง เป็นเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะจำนวน 18 ครั้ง ในจำนวนนี้ต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI-F47 จำนวน 7 ครั้ง จากการตรวจสอบหาสาเหตุทั้งหมดพบว่าเกิดจากความผิดปกติหรือในระบบจำหน่าย 22 kV จำนวน 7 ครั้ง ความผิดปกติในระบบสายส่ง 115 kV จำนวน 4 ครั้ง และไม่พบเหตุการณ์ในระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 11 ครั้ง

ซึ่งข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่ตรวจวัด ได้พบว่าปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบในส่วนใหญ่มีสาเหตุเกิดจากความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม อาจเกิดขึ้นในระบบสายส่ง 115 kV ที่อยู่ห่างไกลออกไปหรืออาจเกิดจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต หรือเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย 22 kV ของสถานีไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียงที่รับ ไฟจากแหล่งจ่ายไฟหรือสถานีไฟฟ้าหับคันทางเดียวกัน โดยมีระดับความรุนแรงของปัญหาไม่มากนักเนื่องจากขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ตกดลงไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภายในขอบเขตของกราฟ SEMI-F47 แต่มีจำนวนครั้งการเกิดค่อนข้างมาก ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีหน้าที่ดำเนินการป้องกันไม่ให้เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายและระบบสายส่ง

ในเบื้องต้นพบว่าหากแรงดันตกชั่วขณะกระชากตัวอยู่นอกขอบเขตของ SEMI-F47 Curve มักมีโอกาสสูงที่จะเกิดผลกระทบต่อผู้ใช้

ไฟฟ้าในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบสามารถลดทอนปัญหานี้ได้โดยการปรับปรุงหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อแรงดันตกชั่วขณะได้สูงขึ้นซึ่งรายละเอียดจะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าพิจารณาความสอดคล้องของขบวนการผลิต และการทำงานของเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องหรือผลกระทบอื่นๆประกอบด้วย

6. สรุป

จากการประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง 115 kV และระบบจำหน่าย 22 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สถานีไฟฟ้าวังน้อย 1 และ สถานีไฟฟ้าโรจนะ 3 ซึ่งจ่ายไฟให้นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ รวมระยะเวลา 43 วัน สรุปได้ว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด โดยเฉพาะในระบบสายส่ง 115 kV เกิดแรงดันตกชั่วขณะจำนวน 17 เหตุการณ์ แต่อย่างไรก็ตามแรงดันตกชั่วขณะมีผลต่อผู้ใช้ไฟฟ้าไม่มากนักโดยระดับแรงดันที่คงเหลือที่วัดได้ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า 70% และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 วินาที ทั้งนี้หาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและผู้ใช้ไฟฟ้า มีแนวทางการป้องกันที่เหมาะสมจะทำให้ลดผลกระทบจากปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้อย่างเป็นรูปธรรม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ศรีอภัย หัวหน้าแผนกวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคกลาง) อ.พระนครศรีอยุธยา และสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์และได้ให้ความช่วยเหลือที่เอื้ออำนวยต่อการวิเคราะห์ของบทความนี้ ซึ่งได้ช่วยให้งานบทความนี้สำเร็จลงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

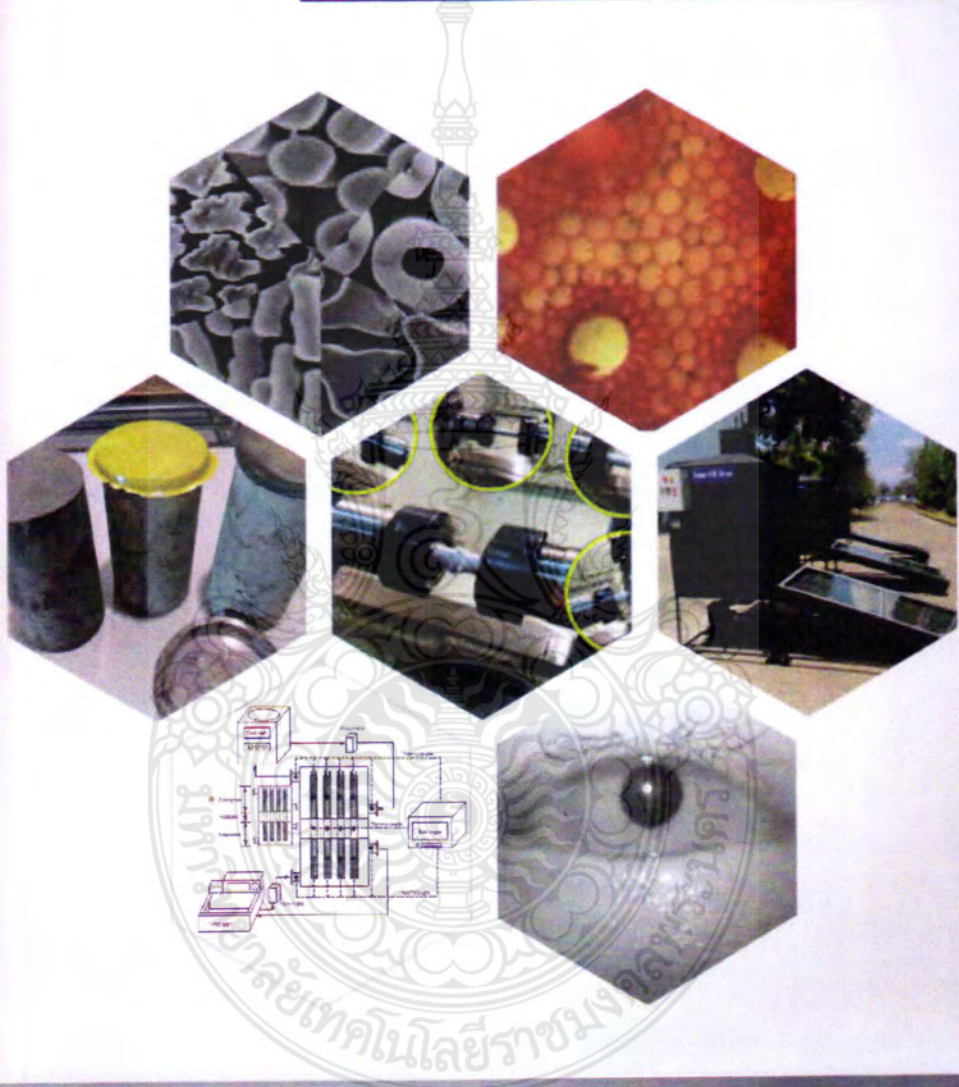
- [1] R. Dugan, M. McGranaghan, H. Beaty, 1996; Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, Knoxville, USA
- [2] Math H.J. Bollen, Understanding Power Quality Problems : Voltage Sags and Interruptions, IEEE Press, 2000
- [3] IEEE Std. 1159-2009 (Revision of IEEE Std. 1159-1995)
- [4] EN 50160-2000, Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems.
- [5] PRC-PQG-01/1998 ข้อกำหนดคุณภาพเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม
- [6] PRC-PQG-02/1998 ข้อกำหนดคุณภาพเกณฑ์แรงดันกระพริบเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม



วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร RMUTP RESEARCH JOURNAL

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : Science & Technology Issue

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2559 Vol. 10 No. 1 March 2016



การประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่จ่ายไฟให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม Power Quality Assessment of Distribution System in the Industry Area

เอกวัฒน์ ทองเปลว¹ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{2*}

¹นักศึกษ ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10300

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายที่จ่ายไฟให้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าซึ่งผู้ใช้ไฟในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมต้องการคุณภาพไฟฟ้าในระดับสูง โดยการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในระบบสายส่ง 115 kV ระบบจำหน่าย 22 kV และ 400/230 โวลต์ พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมโรจนะที่ได้จากเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่องประกอบด้วย แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS Voltage) ความถี่ (Power Frequency) แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) ทรานซ์โทกระพริบระยะสั้น (Short Term Flicker) ทรานซ์โทกระพริบระยะยาว (Long Term Flicker) และฮาร์โมนิก (Harmonic) ทั้ง 3 ระดับ แรงดัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้อ้างอิงทั้งหมด ส่วนปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ ประกอบด้วย สภาวะชั่วคราว (Transient) แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) และไฟดับ (Interruption) จากผลการประเมินคุณภาพไฟฟ้าสรุปได้ว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด ซึ่งแรงดันตกชั่วขณะจะมีผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับโหลดที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดัน จากช่วงเวลาที่ตรวจวัด พบว่า มีเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่ง 115 kV มากที่สุด จำนวน 19 ครั้ง โดยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นรวมทั้ง 3 ระดับแรงดันทั้งสิ้นจำนวน 30 ครั้ง มีเหตุการณ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 12 ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 40

Abstract

This paper presents an assessment of the quality of electricity transmission and distribution system to supply power to the industrial area. The objective is to analyze the power quality that customer in the industrial area need high level. By analyzing the power quality of Provincial Electricity Authority (PEA) in transmission system 115 kV distribution system 22 kV and 400/230 volt in Rojana industrial park from power quality meters. The study concluded that the phenomenon occurs continuously consist of RMS voltage power frequency voltage unbalance short term flicker long term flicker Harmonic meet the standards applied to all. The phenomenon occurs temporary consist of transient voltage dip voltage swell interruption in the conclusion the power quality problems caused by voltage dip most, especially with loads which are sensitive to voltage. From the moment the measurement showed that the voltage dip on transmission system 115 kV maximum of 19 times. The voltage dip that occur including three voltage level of 30 times there are events that do not pass SEMI F47 standard 12 times or 40%.

คำสำคัญ : คุณภาพไฟฟ้า ไฟดับ แรงดันตกชั่วขณะ

Keywords : Power Quality; Interruption; Voltage Dip

* ผู้มีพันธับระสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nattachote.r@rmutp.ac.th โทร. 08 9607 1641



1. บทนำ

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดความต่อเนื่องของกระบวนการผลิตสินค้าในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม เนื่องจากมักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงต้องปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าอยู่เสมอ [R. Dugan, M. McGranaghan and H. Beaty] อย่างไรก็ตาม ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละภาคอุตสาหกรรมมักมีสาเหตุ และเงื่อนไขทางด้านเทคนิคที่ทำให้ผลกระทบของปัญหาคุณภาพไฟฟ้านั้นมีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน บทความนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง และระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 115 kV 22 kV และ 400/230 โวลต์ ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่จ่ายไฟในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมซึ่งต้องการคุณภาพไฟฟ้าในระดับสูง เนื่องจากการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกับโหนดที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดัน [Y. Sillapawicham] เช่น โหนดที่เป็นอินเวอร์เตอร์ หรือคอนเวอร์เตอร์ สำหรับจ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ในงานอุตสาหกรรม คอมพิวเตอร์ในสำนักงาน เป็นต้น โดยสถานที่ที่สำคัญได้แก่ โรงงานผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณ อาคารสำนักงาน และโรงพยาบาล หรือศูนย์การแพทย์ เป็นต้น จากการสำรวจในสหรัฐอเมริกาพบว่า แรงดันตกชั่วขณะคิดเป็นร้อยละ 92 ของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า [Y.H. Chen, C.Y. Lin, J.M. Chen, and P.T. Cheng] โดยการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจะให้มาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการอ้างอิง ซึ่งจะวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลัง

สอง (RMS Voltage) ความถี่ (Power Frequency) แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) ตรวจจับไฟกระพริบระยะสั้น (Short Term Flicker) ตรวจจับไฟกระพริบระยะยาว (Long Term Flicker) ฮาร์มอนิก (Harmonic) และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ ประกอบด้วย สภาวะชั่วคราว (Transient) แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) และ ไฟดับ (Interruption)

จากผลการวิเคราะห์พบว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือความผิดปกติ (Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย แล้วส่งผลให้ผู้ใช้ไฟในวงจรข้างเคียงประสบกับปัญหา โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของ กระแสลัดวงจร ชนิดของการลัดวงจร และระยะเวลาในการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันที่ต้นทาง [Math H.J. Bollen] จะเห็นว่าปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟด้วย

2. วิธีการศึกษา

การประเมินคุณภาพไฟฟ้าจะวิเคราะห์ตามข้อแนะนำในการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE 1159/2009 [IEEE Standard 1159-2009, Revision of IEEE Standard 1159-1995] โดยการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า ให้ของผลิตภัณฑ์ Dranetz-BMI รุ่น Power Xplorer PX5 ตรวจวัดไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์ โดยในระบบสายส่ง 115 kV ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าแรงน้อย 1 ระบบจำหน่าย 22 kV และ 400/230 โวลต์ ติดตั้งที่สถานี

ไฟฟ้าโรจนะ 3 และรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาประเมินตามมาตรฐาน IEEE 1159/2009, EN50160/2000 [Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems], PRC-PQG-01/1998 [ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิก เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม] และ PRC-PQG-02/1998 [ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม] เปรียบเทียบกับการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งสามารถแยกการวิเคราะห์ตามกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่ม ได้แก่

2.1 ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ประกอบด้วย แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ความถี่ แรงดันไม่สมดุล ดรรชนีไฟกระพริบระยะสั้น ดรรชนีไฟกระพริบระยะยาว และฮาร์มอนิก ซึ่งจะใช้หลักการเชิงสถิติ กล่าวคือ ใช้ค่า CP95 Percentile ของข้อมูลในการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐานเพื่อตรวจสอบระดับคุณภาพไฟฟ้าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือตกเกณฑ์มาตรฐาน โดยบันทึกคุณภาพไฟฟ้าเฉลี่ยทุก ๆ 10 นาที สำหรับแรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ความถี่ แรงดันไม่สมดุล ดรรชนีไฟกระพริบระยะสั้น ฮาร์มอนิก และบันทึกทุก ๆ 2 ชั่วโมง สำหรับ ดรรชนีไฟกระพริบระยะยาวโดยใช้ระยะ

เวลาการตรวจวัดไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์แล้วนำข้อมูลมาเรียงจากน้อยไปมาก แล้วใช้ค่าที่ร้อยละ 95 มาเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด และประเมินข้อมูลว่าอยู่ในมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงหรือไม่

2.2 ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ

ประกอบด้วย สภาวะชั่วคราว แรงดันตก ชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ จะดำเนินการวิเคราะห์แยกเป็นกรณี ๆ แล้วแต่การตรวจพบในช่วงนั้น ๆ โดยจะพิจารณาตามมาตรฐาน IEEE 1159/2009 และ SEMI F47 คือ ความสามารถในการทนทานแรงดันตกชั่วขณะของอุปกรณ์ผลิตสารกึ่งตัวนำ โดยแสดงเป็นเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดันและช่วงเวลาที่อยู่ภายใต้ต้องทำงานได้อย่างปกติ [Math H.J. Bollen]

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง 115 kV

ดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ Dranetz-BMI รุ่น Power Explorer PX5 ที่สถานีไฟฟ้าวังน้อย 1 เป็นเวลาประมาณ 29 วัน

3.1.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009 EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Voltage	V _{A-B}	4187	114,034	115,718	117,404	116,003	IEEE 1159
	V _{B-C}	4187	114,622	116,250	117,881	116,480	± 5% EN 50160
	V _{C-A}	4187	114,006	115,656	117,311	115,916	



ตารางที่ 2 แรงดันไม่สมดุล (ผ่านมาตรฐาน EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Unbalance V_u	4187	0.517	0.769	10.823	0.875	< 2%	EN 50160

ตารางที่ 3 ความถี่ (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Frequency f	4187	49.92	50.02	50.12	50.04	± 0.1 Hz	IEEE 1159

ตารางที่ 4 ตรวจจับไฟกระพริบระยะสั้น (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Short Flick	V_A Pst	4186	0.044	0.118	13.949	0.158	< 1 pu PRC-PQG-02
	V_B Pst	4186	0.042	0.117	14.458	0.168	
	V_C Pst	4186	0.042	0.110	13.780	0.157	

ตารางที่ 5 ตรวจจับไฟกระพริบระยะยาว (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Long Flick	V_A Pst	348	0.055	0.186	7.962	0.506	< 0.8 pu PRC-PQG-02
	V_B Pst	348	0.052	0.179	8.358	0.579	
	V_C Pst	348	0.052	0.155	7.852	0.364	

ตารางที่ 6 ฮาร์มอนิก (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-01/1998)

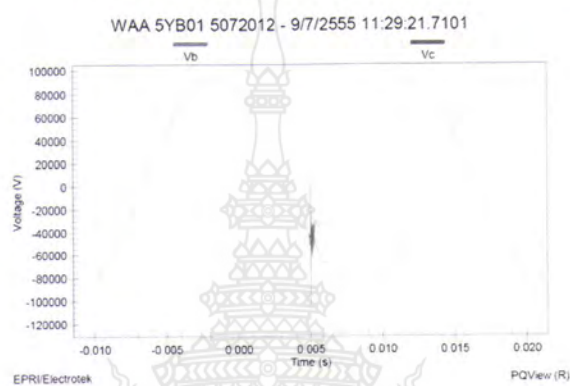
Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Harmonic	V_A THD	4186	0.835	1.004	17.547	1.376	< 1.5% PRC-PQG-01
	V_B THD	4186	0.940	1.121	19.200	1.264	
	V_C THD	4186	0.727	0.999	16.670	1.360	



3.1.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ

3.1.2.1 สภาวะชั่วคราว

ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดเกิดสภาวะชั่วคราวขึ้น 1 เหตุการณ์ ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 คลื่นแรงดันเหตุการณ์สภาวะชั่วคราว

3.1.2.2 แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ

ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดเกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นรวมจำนวน 19 ครั้ง ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 4 ครั้ง ตามตารางที่ 7 และ รูปที่ 2

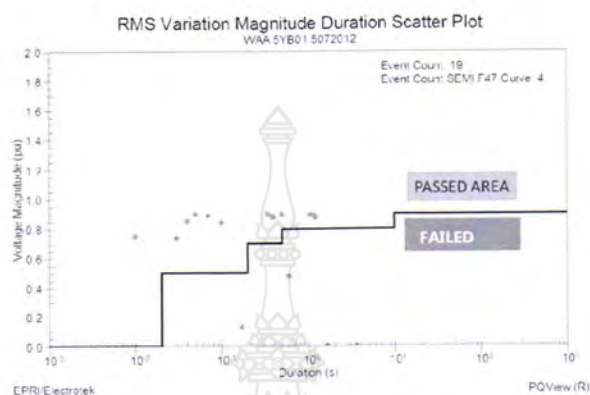




วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2559

ตารางที่ 7 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่ง 115 kV

No.	Time	Magnitude (pu)	Duration (s)	SEMI F47	สาเหตุ
1	5/7/2555 15:20	0.893	1.060	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
2	9/7/2555 14:58	0.899	0.340	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
3	11/7/2555 10:51	0.130	0.170	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
4	14/7/2555 18:38	0.874	0.400	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
5	15/7/2555 10:58	0.883	0.390	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
6	16/7/2555 6:13	0.882	0.380	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
7	16/7/2555 11:48	0.889	0.070	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
8	20/7/2555 19:44	0.850	0.040	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
9	22/7/2555 13:49	0.882	0.400	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
10	24/7/2555 14:46	0.890	1.180	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
11	25/7/2555 10:38	0.895	0.500	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
12	28/7/2555 15:12	0.873	1.220	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
13	31/7/2555 13:02	0.842	0.100	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
14	2/8/2555 10:58	0.897	0.050	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
15	3/8/2555 11:20	0.004	3.660	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
16	3/8/2555 12:12	0.004	1.670	FAILED	ความผิดปกติในระบบ 115 kV
17	3/8/2555 12:26	0.736	0.030	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 115 kV
18	3/8/2555 12:44	0.475	0.600	FAILED	ความผิดปกติในระบบ 115 kV
19	3/8/2555 12:50	0.747	0.010	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 115 kV



รูปที่ 2 ขนาดของแรงดัน (pu) เทียบกับมาตรฐาน SEMI F47

3.2 ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 kV

ดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ Dranetz-BMI รุ่น Power Xplorer PX5 ที่สถานีไฟฟ้า โรงแฉะ 3 เป็นเวลาประมาณ 24 วัน

3.2.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 8 แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009 EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Voltage	V _{A-B}	21,853	22,074	22,268	22,210		IEEE 1159
	V _{B-C}	21,841	22,103	22,328	22,259	± 5%	EN 50160
	V _{C-A}	21,996	22,234	22,410	22,369		

ตารางที่ 9 แรงดันไม่สมดุล (ผ่านมาตรฐาน EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Unbalance	VU	0.121	0.694	148.960	0.512	< 2%	EN 50160

ตารางที่ 10 ความถี่ (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Frequency	f	49.90	50.02	50.08	50.04	± 0.1 Hz	IEEE 1159



ตารางที่ 11 ตรวจจับไฟกระพริบระยะสั้น (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
V _A Pst	3464	0.044	0.310	5.666	0.502		
Short Flick V _B Pst	3464	0.044	0.354	6.724	0.529	< 1 pu	PRC-PQG-02
V _C Pst	3464	0.044	0.405	5.717	0.592		

ตารางที่ 12 ตรวจจับไฟกระพริบระยะยาว (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
V _A Plt	501	0.081	0.224	12.23	0.423		
Long Flick V _B Plt	501	0.083	0.282	12.23	0.477	< 0.8 pu	PRC-PQG-02
V _C Plt	501	0.014	0.222	12.23	0.405		

ตารางที่ 13 ฮาร์โมนิก (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-01/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
V _A THD	3464	0.878	5.818	2872	1.761		
Hamonic V _B THD	3464	0.539	4.709	2568	1.387	< 4%	PRC-PQG-01
V _C THD	3464	0.803	5.835	2680	1.693		

3.2.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ

3.2.2.1 สภาวะชั่วคราว

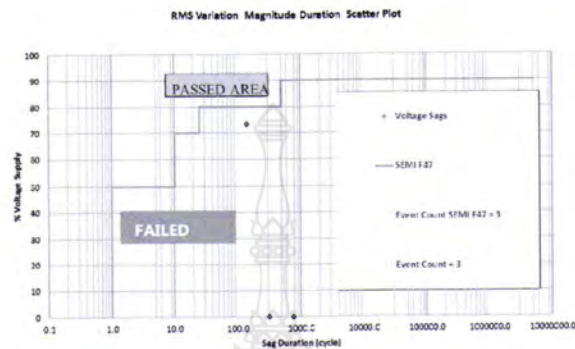
ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดไม่พบสภาวะชั่วคราวระหว่างการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

3.2.2.2 แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ

ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดเกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นรวมจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 3 ครั้ง ตามตารางที่ 14 และ รูปที่ 3

ตารางที่ 14 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่าย 22 kV

No.	Time	Magnitude (pu)	Duration (s)	SEMI F47	สาเหตุ
1	24/6/2555 5:39	0.000	15.360	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
2	12/7/2555 18:14	0.733	2.860	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
3	15/7/2555 9:42	0.000	6.290	FAILED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV



รูปที่ 3 ขนาดของแรงดัน (pu) เทียบกับมาตรฐาน SEMI F47

3.3 ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 400/230 โวลต์

ดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ Dranetz-BMI รุ่น Power Xplorer PX5 ที่สถานีไฟฟ้า โรงแฉะ 3 เป็นเวลาประมาณ 22 วัน

3.3.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 15 แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009 EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
V _{A-B}	3176	213	230	234	233		IEEE 1159
Voltage V _{B-C}	3176	212	230	235	232	± 10%	EN 50160
V _{C-A}	3176	212	231	234	233		

ตารางที่ 16 แรงดันไม่สมดุล (ผ่านมาตรฐาน EN 50160/2000)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Unbalance VU	3176	-	-	-	0.286	< 2%	EN 50160

ตารางที่ 17 ความถี่ (ผ่านมาตรฐาน IEEE 1159/2009)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Frequency f	3176	49.90	50.02	50.09	50.04	± 0.5 Hz	IEEE 1159



ตารางที่ 18 ครรชนีไฟกระพริบระยะสั้น (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Short Flick	V _A Pst	3174	0.046	0.323	5.509	0.487	< 1 pu PRC-PQG-02
	V _B Pst	3174	0.048	0.366	5.677	0.516	
V _C Pst	3174	0.049	0.438	5.531	0.591		

ตารางที่ 19 ครรชนีไฟกระพริบระยะยาว (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-02/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Long Flick	V _A Plt	262	0.086	0.372	2.410	0.609	< 0.8 pu PRC-PQG-02
	V _B Plt	262	0.082	0.410	2.481	0.623	
	V _C Plt	262	0.081	0.474	2.423	0.647	

ตารางที่ 20 ฮาร์โมนิก (ผ่านมาตรฐาน PRC-PQG-01/1998)

Name PQ	Sampling	Min	Aver	Max	95%	Limitation	Standard
Harmonic	V _A THD	3174	0.8788	2.407	3.651	3.077	< 5% PRC-PQG-01
	V _B THD	3174	0.7135	2.512	3.846	3.352	
	V _C THD	3174	0.9870	2.245	3.519	2.910	

3.3.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ

3.3.2.1 สภาวะชั่วคราว

ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดไม่พบสภาวะชั่วคราวระหว่างการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

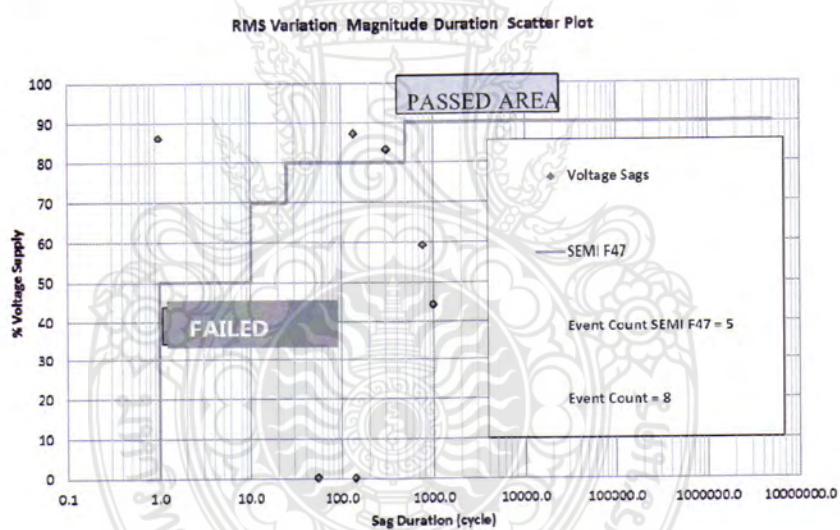
3.3.2.2 แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ

ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดเกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นรวมจำนวน 8 ครั้ง ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 5 ครั้ง ตามตารางที่ 21 และ รูปที่ 4



ตารางที่ 21 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่าย 400/230 โวลต์

No.	Time Stamp	Magnitude (pu)	Duration (s)	SEMI F47	สาเหตุ
1	25/6/2555 6:28	0.870	2.750	PASSED	ไม่พบสาเหตุ
2	28/6/2555 7:08	0.000	2.810	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
3	4/7/2555 21:38	0.830	6.200	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
4	5/7/2555 15:25	0.000	1.100	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
5	5/7/2555 15:27	0.000	1.100	FAILED	ไม่พบสาเหตุ
6	12/7/2555 18:24	0.867	0.020	PASSED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
7	15/7/2555 9:52	0.590	15.490	FAILED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV
8	15/7/2555 11:05	0.440	20.060	FAILED	ความผิดปกติในระบบ 22 kV



รูปที่ 4 ขนาดของแรงดัน (pu) เทียบกับมาตรฐาน SEMI F47



ตารางที่ 22 สรุปจำนวนเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะเทียบกับมาตรฐาน SEMI F47

ระดับแรงดัน (kV)	เหตุการณ์ (ครั้ง)	ต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI F47 (ครั้ง)	สาเหตุ (ครั้ง)
115	19	4	ความผิดปกติในระบบ 22 kV (6 ครั้ง) ความผิดปกติในระบบ 115 kV (4 ครั้ง) ไม่พบสาเหตุ (9 ครั้ง)
22	3	3	ความผิดปกติในระบบ 22 kV (1 ครั้ง) ไม่พบสาเหตุ (2 ครั้ง)
0.4/0.23	8	5	ความผิดปกติในระบบ 22 kV (4 ครั้ง) ไม่พบสาเหตุ (4 ครั้ง)
รวม	30	12	

3.4 อภิปรายผล

จากผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

3.4.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

แรงดันรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองความถี่ แรงดันไม่สมดุล ตรวจจับไฟกระพริบระยะสั้น ตรวจจับไฟกระพริบระยะยาว และฮาร์มอนิกทั้งระดับแรงดัน 115 kV 22 kV และ 400/230 โวลต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่อ้างอิงทั้งหมด โดยระบบสายส่ง 115 kV มีรายละเอียดตามตารางที่ 1 ถึง 6 ระบบจำหน่าย 22 kV มีรายละเอียดตามตารางที่ 8 ถึง 13 และระบบจำหน่าย 400/230 โวลต์ มีรายละเอียดตามตารางที่ 15 ถึง 20

3.4.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้ง ๆ

ประกอบด้วย สภาวะชั่วคราว แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับ พบว่า แรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาหลัก โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 22

จากข้อมูลในตารางที่ 22 มีเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะเกิดขึ้นรวมจำนวน 30 ครั้ง เกิดขึ้นในระบบ สายส่ง 115 kV จำนวน 19 ครั้ง ระบบจำหน่าย 22 kV จำนวน 3 ครั้ง และระบบจำหน่าย 400/230 โวลต์ จำนวน 8 ครั้ง ในจำนวนเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นทั้งหมด พบว่า ต่ำกว่ามาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 12 ครั้ง จากการตรวจสอบหาสาเหตุทั้งหมดพบว่าเกิดจากความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 kV จำนวน 11 ครั้ง ความผิดปกติในระบบสายส่ง 115 kV จำนวน 4 ครั้ง และไม่พบสาเหตุ จำนวน 15 ครั้ง

จากข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้พบว่า ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่ใช้ไฟอาจได้รับผลกระทบนั้นส่วนใหญ่มีสาเหตุเกิดจากความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายนอกพื้นที่นี้คืออุตสาหกรรม อาจเกิดขึ้นในระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่อยู่ห่างไกลออกไป หรืออาจเกิดจากระบบสายส่งของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต หรือเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย 22 kV ของสถานีไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียงที่รับไฟจากแหล่งจ่ายไฟหรือสถานีไฟฟ้าด้านต้นทาง

เดียวกัน โดยมีเหตุการณ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน SEMI F47 จำนวน 12 ครั้ง จากเหตุการณ์ทั้งหมด 30 ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 40

การแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะกระทำได้ โดยการลดจำนวนครั้งการเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ลดความรุนแรงของแรงดันตกชั่วขณะ และลดจำนวนผู้ได้รับผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งทำได้โดยเน้นการบำรุงรักษาและการเพิ่มสมรรถนะระบบ การติดตั้งอุปกรณ์ เช่น Current Limiting Fuse และ Neutral Ground Resistor (NGR) เพื่อลดขนาดกระแสลัดวงจร และการแนะนำให้ผู้ผู้ใช้ไฟเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติทนต่อแรงดันตกชั่วขณะ

4. สรุป

บทความนี้ได้แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินคุณภาพไฟฟ้าในระบบสายส่ง 115 kV ระบบจำหน่าย 22 kV และ 400/230 โวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สถานีไฟฟ้าวังน้อย 1 และ สถานีไฟฟ้าโรจนะ 3 ซึ่งจ่ายไฟให้นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ สรุปได้ว่าปัญหาคุณภาพไฟฟ้าเกิดจากแรงดันตกชั่วขณะมากที่สุด โดยเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะรวมกันทั้ง 3 ระดับแรงดัน เกิดขึ้นจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งเกิดที่ระดับแรงดัน 115 kV มากที่สุดจำนวน 19 ครั้ง

ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่ายไม่สามารถที่จะระบุขั้นตอนหรือวิธีการป้องกันที่ตายตัวได้ เป็นผลมาจากสภาวะการใช้งานและความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่างกัน ในเบื้องต้นพบว่า หากเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะกระจายตัวอยู่นอกขอบเขตของ SEMI F47 มักมีโอกาสสูงที่จะเกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้า

ในภาคอุตสาหกรรม ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบสามารถลดปัญหาได้โดยการปรับปรุงหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อแรงดันตกชั่วขณะได้สูงขึ้นซึ่งรายละเอียดจะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าควรพิจารณาความสอดคล้องของกระบวนการผลิต และการทำงานของเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องหรือผลกระทบอื่น ๆ ประกอบด้วยหากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและผู้ใช้ไฟฟ้ามีแนวทางการป้องกันที่เหมาะสมจะทำให้ลดผลกระทบจากปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้อย่างเป็นรูปธรรม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนผลงานวิจัย และคุณณรงค์ ศรียากษ์ ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองวิศวกรรมและวางแผน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคกลาง) จ.พระนครศรีอยุธยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์และได้ให้ความช่วยเหลือต่อการวิเคราะห์ของบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- R. Dugan, M. McGranaghan and H. Beaty, Electrical Power Systems Quality; McGraw-Hill, Knoxville, USA, 1996.
- Y. Sillapawicharn, A Fast Voltage Sag Detector Based on Peak Detection, ECTT-CON, 2015.
- Y.H. Chen, C.Y. Lin, J.M. Chen, and P.T. Cheng, An Inrush Mitigation Technique of Load Transformers for the Series



- Voltage Sag Compensator, IEEE Trans., 2010.
- Math H.J. Bollen, Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions, IEEE Press, 2000.
- IEEE, IEEE Standard 1159-2009, Revision of IEEE Standard 1159-1995.
- EN 50160-2000, Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems.
- PRC-PQG-01/1998 ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ข่าร์มอณิก เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม.
- PRC-PQG-02/1998 ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อม เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม.



ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล นายเอกวัฒน์ ทองเปลว
 วัน เดือน ปีเกิด 24 มีนาคม 2517
 ภูมิลำเนา อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี
 ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมปลาย	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย	2535
ปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2540

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองระบบสื่อสาร ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
 เขต 1 (ภาคกลาง) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา