

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
แบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า

**Study of Impact of Distributed Generators Integration to Power Quality
in Distribution System**



โดย
นายเชาวลิต ใจตั้ง
นายศุภชัย ดิรักษา
นายศุภชัย ทศนะ

รฟ.
๗๔๗๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
๘๒๙๔๗
เลขทะเบียน.....
๒๙ ก.ค. ๒๕๕๑
วัน,เดือน,ปี.....

b. 119 5๖80X
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
แบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า

Study of Impact of Distributed Generators Integration to Power Quality
in Distribution System



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

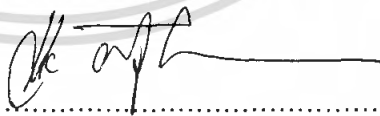
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ
กระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

- 
1. นายเชาวลิต ใจตั้ง
 2. นายศุภชัย ตีรักษา
 3. นายศุภชัย ทศนะ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
แบบกระจายเข้ากับระบบไฟฟ้า

นายชาวลิต ใจตั้ง
นายศุภชัย ตีรักษา
นายศุภชัย ทักษะ
ดร.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อคุณภาพไฟฟ้าในระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบทางด้านระดับแรงดันใช้งานที่เกิดขึ้นจากการตอบสนองความผิดปกติและการเปลี่ยนแปลงในระบบไฟฟ้า รวมถึงแนวโน้มในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อการทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดเพื่อจ่ายโหลดที่ยังอยู่ในความสามารถของเครื่องกำเนิดว่าสามารถตอบสนองผลกระทบทางด้านพลวัตของระบบเป็นอย่างไรบ้าง เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการปรับปรุงระบบป้องกันให้ระบบไฟฟ้าสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดเสียหายต่อระบบ

**Study of Impact of Distributed Generators Integration to Power Quality
in Distribution System**

Mr. Chaowalit Jaitang
Mr. Supachai Tasana
Mr. Supachai Deeraksa
Dr. Chai Chompoo-Inwai Supervisor
2007

ABSTRACT

This project is the study of the Distributed Generators (DG) integration to the distribution network in the propose of analyzing and setting protection for power quality in the power system. Especially study for voltage problem in the power quality. Commercial software is used to analyze the voltage level (DIgSILENT).The study include effect of islanding operation of DG. The benefit of Islanding operation of DG is to improve reliability of distribution network but there are many term of power quality concern to this operation mode. The results in this project can be used for planning and setting protection equipment to reduce the effect of voltage problem.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดี จากหลาย ๆ ฝ่าย

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ดร.ชาย ชมภูอินไหว ที่คอยดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดเสมอมา ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การศึกษา รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ขอบพระคุณห้องวิจัยพลังงานไฟฟ้าและวิศวกรรมส่องสว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ใช้เป็นสถานที่รวมสมาชิกในกลุ่มเพื่อทำงานต่าง ๆ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ พี่จุง พี่จ้อย พี่ปิ๊ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษาในเรื่องการทำการทดลองเป็นอย่างดี และช่วยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง อีกทั้งขอบคุณเพื่อนร่วมงานและสมาชิกในห้องวิจัยพลังงานไฟฟ้าและวิศวกรรมส่องสว่างทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และคอยให้กำลังใจในการทำงานเสมอจนกระทั่งโครงการสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนทางด้านการเรียนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อีกทั้งช่วยเหลือทางด้านการเงินและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ชื่อโครงการ.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.3 โครงการที่นำเสนอ	2
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขอบเขตของโครงการ	2
1.7 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.8 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีคุณภาพไฟฟ้าและการคำนวณแพาเวอร์โพล์.....	4
2.1 คุณภาพไฟฟ้า.....	4
2.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ	4
2.1.2 แรงดันเกินชั่วขณะ	9
2.2 การศึกษาแพาเวอร์โพล์	10
2.2.1 ปัญหาของการศึกษาแพาเวอร์โพล์	11
2.2.2 การแบ่งชนิดของบัลในระบบไฟฟ้ากำลัง	11
2.2.3 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า	12
2.2.4 การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน – ราฟสัน.....	14
2.3 การคำนวณกระแสลัดวงจร	18
2.3.1 ลักษณะการเกิด Fault แต่ละประเภท	19
2.4 รูปแบบการจ่ายไฟในระบบสายส่ง.....	24
2.4.1 แบบเรเดียล	24
2.4.2 แบบโครงข่าย	25
2.4.3 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อระบบสายส่ง	26
2.5 การทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.1 ข้อดีของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเมื่อระบบแยกออกจากกริด.....	27
2.5.2 ข้อเสียของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด(Islanding).....	27
2.5.3 หลักการและข้อกำหนดการเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้าที่ในสภาวะแยกออกจากกริด.....	28
บทที่ 3 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.1 การศึกษาระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.1.1 ผลกระทบหลังจากการติดตั้ง DG เข้าไปในระบบ	31
3.2 การสร้างระบบไฟฟ้าจำลองเพื่อใช้ในการศึกษา	32
3.2.1 คุณลักษณะและความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ DG	33
3.2.2 การกำหนดระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	34
3.3 การจำลองเหตุการณ์ต่างๆที่ใช้ศึกษาในโครงการ.....	34
3.3.1 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เมื่อเกิดการลัดวงจรในสายจำหน่ายที่สภาวะชั่วขณะ	34
3.3.2 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เมื่อเกิดการลัดวงจรในสายโดยที่สภาพการจ่ายไฟของระบบเป็นสภาวะลูปและเรเดียลที่สภาวะชั่วขณะ	36
3.3.3 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อDGที่สภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่างๆของระบบที่สภาวะอยู่ตัว.....	37
3.3.4 การศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อ DG เมื่อโหลดของระบบลดลงที่สภาวะอยู่ตัว	38
3.3.5 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาวะการจ่ายไฟเมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) ที่สภาวะอยู่ตัว....	40
3.3.6 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ที่สภาวะระบบแยกออกจากกริด (landing Operation) โดยศึกษาที่สภาวะชั่วขณะ.....	41
3.4 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการศึกษา	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	48
4.1 ผลการศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อ DG เมื่อโหลดของระบบลดลงที่สภาวะอยู่ตัว	48

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาวะการจ่ายไฟเมื่อระบบแยกออกจากกริดที่สภาวะอยู่ตัว.....	49
4.3 ผลการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ที่สภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่างๆของระบบที่สภาวะอยู่ตัว.....	50
4.4 ผลการศึกษาการเกิดลัดวงจรลงดินชนิด 1 เฟสลงกราวด์ ในสายจำหน่ายฟีดเดอร์ต่างๆ.....	50
4.5 ผลการศึกษาการณืที่เกิดการลัดวงจรชนิดต่างในขณะที่ระบบทำงานในภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด	76
4.5.1 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 3 เฟส.....	78
4.5.2 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 2 เฟสลงดิน.....	79
4.5.3 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 2 เฟส.....	81
4.5.4 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 1 เฟสลงดิน.....	82
4.6 ผลการศึกษาการเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบไฟฟ้า	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.1 สรุป.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้จัดทำ.....	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงช่วงเวลาแรงดันไฟตกชั่วขณะที่เกิดขึ้น.....	6
2.2 คลื่นแรงดันตกชั่วขณะ.....	7
2.3 แสดงความแตกต่างระหว่าง Voltage dip และ Voltage sag.....	7
2.4 แสดงการเกิดลัดวงจรในระบบโครงข่ายแบบเรเดียล.....	8
2.5 แสดงการเกิดลัดวงจรในระบบโครงข่ายแบบรูป.....	8
2.6 คลื่นแรงดันเกินชั่วขณะ.....	10
2.7 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสามเฟส.....	19
2.8 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสามเฟสลงดิน.....	20
2.9 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน.....	21
2.10 Line to line fault (L-L).....	22
2.11 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสองเฟสลงดิน.....	23
2.12 แสดงระบบโครงข่ายแบบรูปปิด.....	25
2.13 แสดงระบบโครงข่ายแบบรูปเปิด.....	26
2.14 แสดงการเกิดลัดวงจรในสายจนทำให้การทำงานของระบบอยู่ในสภาวะ แยกออกจากกริด.....	28
2.15 แสดงการซ่อมบำรุงสายจนทำให้การทำงานของระบบอยู่ในสภาวะแยกออก จากกริด.....	28
2.16 แสดงขั้นตอนการทำงานในสภาวะ Islanding ของ DG.....	29
3.1 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาในโครงงาน.....	30
3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	32
3.3 การเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา.....	33
3.4 กราฟแสดงคุณลักษณะและความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	35
3.5 การสร้างเหตุการณ์ลัดวงจรลงดินให้แก่ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา.....	35
3.6 แสดงการสร้างเหตุการณ์การลัดวงจรลงดินโดยระบบมีสภาพการจ่ายไฟ แบบเรเดียล.....	36
3.7 แสดงการสร้างเหตุการณ์การลัดวงจรลงดินโดยระบบมีสภาพการจ่ายไฟ แบบรูป.....	36
3.8 สภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียล.....	37
3.9 สภาพการจ่ายไฟแบบรูป.....	38
3.10 ระบบมีโหลดรวมเต็มพิกัด 100%.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ระบบมีโหลดรวม 80% ของโหลดเต็มพิกัด	39
3.12 ระบบมีโหลดรวม 60% ของโหลดเต็มพิกัด	40
3.13 แสดงสภาวะการจ่ายไฟของ DG ในสภาวะที่ระบบแยกออกจากกริด	40
4.1 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG.....	50
4.2 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG	51
4.3 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG.....	51
4.4 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG	52
4.5 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเคอร์ 5 และ 4 ที่ บัสต้นทางเมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการ ติดตั้ง DG	53
4.6 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเคอร์ 5 และ 4 ที่ บัสต้นทางเมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการ ติดตั้ง DG	53
4.7 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเคอร์ 5 และ 4 ที่ บัสต้นทางเมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการ ติดตั้ง DG	54
4.8 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเคอร์ 5 และ 4 ที่ บัสต้นทางเมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการ ติดตั้ง DG.....	54
4.9 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG.....	55
4.10 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG	55
4.11 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG.....	56
4.12 แรงดันที่บัสขั้วของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเคอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 แรงดันที่บัสขวาวของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปก่อนการติดตั้ง DG.....	57
4.14 แรงดันที่บัสขวาวของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปหลังการติดตั้ง DG.....	58
4.15 แรงดันที่บัสขวายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปก่อนการติดตั้ง DG.....	58
4.16 แรงดันที่บัสขวายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปหลังการติดตั้ง DG.....	59
4.17 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	60
4.18 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และ ฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	60
4.19 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5.....	61
4.20 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5.....	61
4.21 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10.....	62
4.22 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10.....	63
4.23 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	63
4.24 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	64
4.25 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	64
4.26 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	65
4.27 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	65
4.28 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	66
4.30 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล	67
4.31 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป	67
4.32 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	68
4.33 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5.....	68
4.34 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5	69
4.35 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	69
4.36 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	70
4.37 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10.....	70
4.38 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10	71
4.39 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	71
4.40 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	72
4.41 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟีดเดอร์ 10 และ ฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	72
4.42 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และ ฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	73
4.43 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	73
4.44 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป.....	74
4.45 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	74
4.46 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาทั้งการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล.....	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 แรงดันคงเหลือที่บัสข้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นรูป.....	75
4.48 แรงดันคงเหลือที่บัสข้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นรูป.....	76
4.49 แสดงระดับแรงดันคงเหลือเมื่อเกิดการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดินในฟีดเดอร์ต่าง.....	77
4.50 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	78
4.51 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	78
4.52 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	79
4.53 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ ต่าง.....	79
4.54 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ ต่าง.....	80
4.55 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ ต่าง.....	80
4.56 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	81
4.57 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	81
4.58 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	82
4.59 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	82
4.60 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่าง.....	83
4.61 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ ต่าง.....	83
4.62 แสดงระดับแรงดันของระบบเมื่อมีการสคาร์มอเดอร์ขนาดใหญ่ในสภาวะ แยกออกจากกริดของ DG	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Std.1159-1995.....	6
2.2 แรงดันเกินชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Std.1159-1995.....	9
3.1 แสดงสภาพการจ่ายไฟของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนและหลังก่อนติดตั้ง DG	31
3.2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของสายเคเบิล.....	42
3.3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของโหลด.....	45
4.1 ตารางแสดงผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ในขณะที่โหลดลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์ ต่าง ๆ.....	46
4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาพการจ่ายไฟ เมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) ของ DG โดยศึกษาที่ สภาวะอยู่ตัว.....	47
4.3 ตารางการเปรียบเทียบแรงดันที่สภาพการการจ่ายไฟแบบต่างๆ เมื่อเชื่อมต่อ DG เข้าที่สถานีไฟฟ้าภายใต้สภาวะอยู่ตัว.....	48
ก-1 แสดงค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของสายส่งและจำหน่ายพิกัด 22 และ 33 กิโลโวลต์	89
ข-1 ตารางซีเควินซิมพีแคนซ์ของสายเคเบิลอากาศสำหรับสายจำหน่าย 22,33กิโลโวลต์..	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อโครงการ

การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Study of Impact of Distributed Generators Integration to Power Quality in Distribution System

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของทุกประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและชุมชน ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่มากขึ้น เพื่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง จึงต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันของประเทศไทยนั้นใช้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทถ่านหินและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมเป็นหลัก ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีปริมาณจำกัดและใช้เวลานานกว่าที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ และประเทศไทยมีทรัพยากรเหล่านั้นเป็นของตนเองในปริมาณที่ไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นการนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามีโอกาสเพิ่มมากขึ้นตามแนวโน้มของปริมาณทรัพยากรธรรมชาติประเภทฟอสซิลที่ลดลง ปัญหาเหล่านี้เองจึงได้มีการศึกษาหาแนวทางการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานจากน้ำ เป็นต้น พลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานธรรมชาติที่มีค่ามหาศาลรวมถึงไม่ต้องซื้อหามาจากแหล่งใดทั้งสิ้น การที่มีการศึกษานำพลังงานหมุนเวียนมาใช้จึงเป็นเรื่องที่ดี โดยเราสามารถที่จะแปลงพลังงานกล พลังงานความร้อน พลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีเหล่านี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ผ่านอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตามความเหมาะสม โดยอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นวัตถุดิบในการผลิต (Distributed Generators, DG) จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของระบบเดิมที่มีอยู่ได้เลย สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งนอกจากการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งเรื่องเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าคือผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิมโดยอาจจะเกิดจากการแปรปรวนทางธรรมชาติหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำ เพราะว่าถ้าการติดตั้ง DG เข้าไปในระบบไฟฟ้าเดิมมีผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าเกินค่าตามมาตรฐานกำหนดแล้ว จะทำให้ระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมทั้งการไฟฟ้าเองทำงานผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ รวมถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบและการกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศอีกด้วย

1.3 โครงการที่นำเสนอ

เป็นการศึกษาการจำลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและดูผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าโดยเฉพาะด้านแรงดันที่เปลี่ยนไปว่ามีผลต่อกำลังไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตออกมาอย่างไร รวมถึงพิจารณาแนวโน้มและผลกระทบของการทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด(Islanding)ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายต่อพื้นที่การจ่ายไฟ โดยใช้การจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DigSILENT 13.0)

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กต่อคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาแนวโน้มและความสามารถรวมถึงผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าในการทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กต่อระบบไฟฟ้า

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทยจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กเข้าไปในระบบไฟฟ้า
2. เป็นข้อมูลเปรียบเทียบผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กแต่ละโหมดการทำงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและวิจัยการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

1.6 ขอบเขตของโครงการ

จากการศึกษาระเบียบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กเข้ากับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย ดังนั้นสิ่งที่จะทำต่อไปในโครงการนี้คือการศึกษาว่าเมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กเข้าไปในระบบแล้วจะมีผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าอย่างไรบ้าง ทั้งในสภาวะการทำงานที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายเดิมและการทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดโดยใช้การจำลองพื้นที่ที่ทำการศึกษาริจริงในประเทศไทย ซึ่งใช้การจำลองโดยใช้การจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DigSILENT 13.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ทำการศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพไฟฟ้า
2. รวบรวมโมเดลของระบบที่ใช้ในการศึกษา
3. ทำการทดสอบในโปรแกรม
4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ
5. สรุปผล

1.8 ฝั่งเวลาดำเนินงาน

เนื้อหาที่ทำ	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
ศึกษาทฤษฎีเรื่องผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ใช้ในการศึกษา										
ศึกษาโปรแกรมและโมเดลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์										
รวบรวมรายละเอียดของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง										
ทำการรันโปรแกรมและเก็บรวบรวมข้อมูล										
วิเคราะห์ผลการทดลอง										
จัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีคุณภาพไฟฟ้าและการคำนวณเพาเวอร์ฟลัวร์

2.1 คุณภาพไฟฟ้า

คุณภาพไฟฟ้า หมายถึงปัญหาใดๆในระบบไฟฟ้ากำลังที่ตามที่เกิดขึ้นแล้วมีผลทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและค่าความถี่ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติจนมีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟและการไฟฟ้าได้รับความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดโดยปกติแล้วคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะถูกจำแนกออกตามขนาด ระยะเวลาและค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิด การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้าไปในระบบจะสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าได้จากการที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีการกระเพื่อม นอกจากนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นก็ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีผลต่อการลัดวงจรและคุณภาพไฟฟ้า

2.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag , Voltage Dip) [8]

แรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่ มักมีผลสืบเนื่องมาจากกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่ายส่งผลให้ผู้ใช้ไฟในพื้นที่ข้างเคียงประสบกับปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นนั้นจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของกระแสลัดวงจร ชนิดของการลัดวงจร และระยะเวลาในการกำจัดการลัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกัน ดังนั้นจะเห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟด้วย

สาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะ การเกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ามีสาเหตุเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ต่างๆดังนี้คือ

1. การเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะการเกิดลัดวงจรส่วนใหญ่จะเป็นการลัดวงจรชนิดลัดวงจรลงดินแบบหนึ่งเฟส (SLGF) ในระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย ซึ่งเกิดขึ้นในระบบส่วนของการไฟฟ้าหรือ SPP และ IPP หรือในส่วนของผู้ใช้ไฟเอง โดยสายส่งและสายระบบจำหน่ายจะเดินอยู่บนดินและมีระยะทางที่ยาว ย่อมเป็นผลทำให้เกิดลัดวงจรได้ง่ายด้วยจากปัจจัยต่างๆดังนี้ คือ

- 1.1 จากเหตุการณ์ธรรมชาติเช่น พายุซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเกินจากเสิร์จขึ้นในระบบในกรณีที่เกินขีดความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่มีอยู่ในระบบไม่สามารถที่จะทำการป้องกันได้ เป็นผลทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเกิดการเฟลชโอเวอร์ลัดวงจรลงดิน และการลัดวงจรดังกล่าวที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นการลัดวงจรแบบการลัดวงจรลงดินแบบหนึ่งเฟส

- 1.2 จากสภาพของลักษณะภูมิประเทศ เช่นในพื้นที่ที่มีต้นไม้ใกล้ระบบสายส่งหรือระบบจำหน่าย อาจทำให้เกิดเหตุการณ์กิ่งไม้ไปแตะสายไฟ หรือในพื้นที่ที่มีงูอาจทำให้เกิดเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

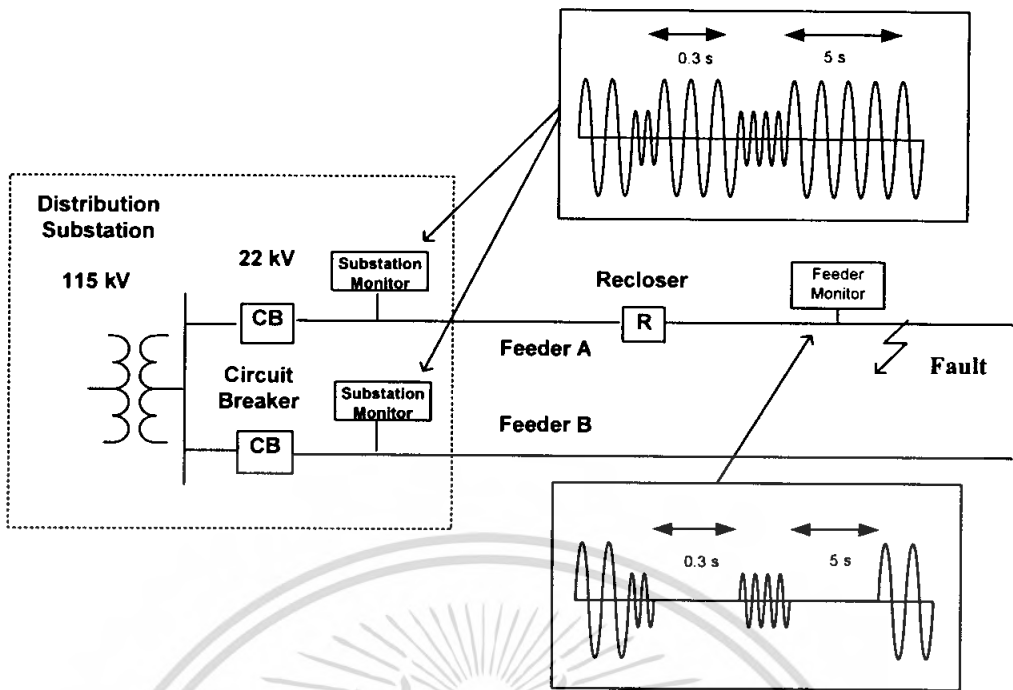
งูขึ้นเสาไฟฟ้าไปแตะสายไฟ หรือในพื้นที่อยู่ใกล้ทะเล หรือที่มีฝุ่นมาก จะทำให้เกิดการเร่งของค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าลดลง จากผลดังกล่าวทำให้เกิดลัดวงจรขึ้นในระบบ และการลัดวงจรที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดลัดวงจร และในกรณีที่การลัดวงรดังกล่าวยังอยู่ในระบบ อุปกรณ์ป้องกันในระบบ เช่นรีโคสเซอร์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็จะทำหน้าที่ปิด-เปิดวงจรที่มีการลัดวงจรออกจากระบบไปตามเวลาของขั้นตอนการทำงานที่ตั้งไว้

2. จากการสตัดร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมอเตอร์อินดักชันขณะสตัดร์ทจะมีกระแสสูงถึง 6-10 เท่าของกระแสโหลดปกติ ซึ่งแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจะมีขนาดลดลงน้อยกว่าแรงดันตกชั่วขณะจากเหตุการณ์การเกิดลัดวงจรในระบบ

2.1.1.1 คุณลักษณะของแรงดันไฟตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะแม้ว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเท่ากับไฟกระพริบ (Circuit Breaker Trip/Reclose) หรือไฟดับ (Circuit Breaker Trip/Lockout) แต่จำนวนครั้งการเกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะนั้นมีมากกว่าไฟกระพริบและไฟดับ ดังนั้นเมื่อสรุปค่าความเสียหายต่อเดือนหรือต่อปีผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะจะมีมากกว่าไฟกระพริบและไฟดับ ด้วยระบบการจ่ายไฟโดยส่วนใหญ่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวงที่จ่ายไฟให้กับอุตสาหกรรมระบบจำหน่ายเป็นแบบเรเดียลดังนั้นปัญหาไฟกระพริบและไฟดับจะมีผลกระทบเฉพาะในวงจรที่รับไฟอยู่ และวงจรอื่น ๆ จะได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟตกชั่วขณะ การเกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาดังแต่เริ่มเกิดลัดวงจรจนอุปกรณ์ป้องกันทำงานตัดส่วนที่เกิดลัดวงจรออกไปจากระบบ (Operating time และ Mechanical time) และในเวลาเดียวกันแรงดันที่ตำแหน่งหน้ารีโคสเซอร์และหลังรีโคสเซอร์จะตกลงค่าหนึ่ง และเมื่อรีโคสเซอร์เปิดวงจรแรงดันที่ตำแหน่งหน้ารีโคสเซอร์แรงดันจะกลับมาเป็นปกติ และแรงดันที่ตำแหน่งหลังรีโคสเซอร์จะเป็นศูนย์ 0.3 sec (T/R1) และเมื่อปิดวงจรเข้าไปใหม่ซึ่งการลัดวงรียังคงอยู่จะเกิดแรงดันไฟตกชั่วขณะอีกครั้งและรีโคสเซอร์เปิดวงจรออกอีกครั้ง 5 sec (T/R2) และปิดวงจรเข้าไปอีกครั้งถ้าการลัดวงรียังคงอยู่จะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะอีกครั้งและรีโคสเซอร์เปิดวงจรออกโดยไม่ปิดวงจรเข้ามาอีก (T/L) และกรณีนี้สามารถอธิบายถึงแรงดันไฟตกชั่วขณะได้ในกรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานได้ด้วยเช่นกัน สรุปได้คือ

1. แรงดันไฟตกชั่วขณะเกิดจากการลัดวงจรที่ไม่ได้อยู่ในวงจรที่รับไฟแต่เกิดจากวงอื่น ๆ ที่อยู่ในบัสหรือเครือข่ายเดียวกัน หรือเกิดจากการสตัดร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่
2. แรงดันไฟตกชั่วขณะจะมีขนาด 0.1 – 0.9 pu และความรุนแรงของแรงดันไฟตกชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับ ขนาดความลึก ระยะเวลาที่เกิด
 - ขนาดความลึก ขึ้นอยู่กับค่ากระแสลัดวงจรในขณะที่เกิดหรือตำแหน่งที่เกิด



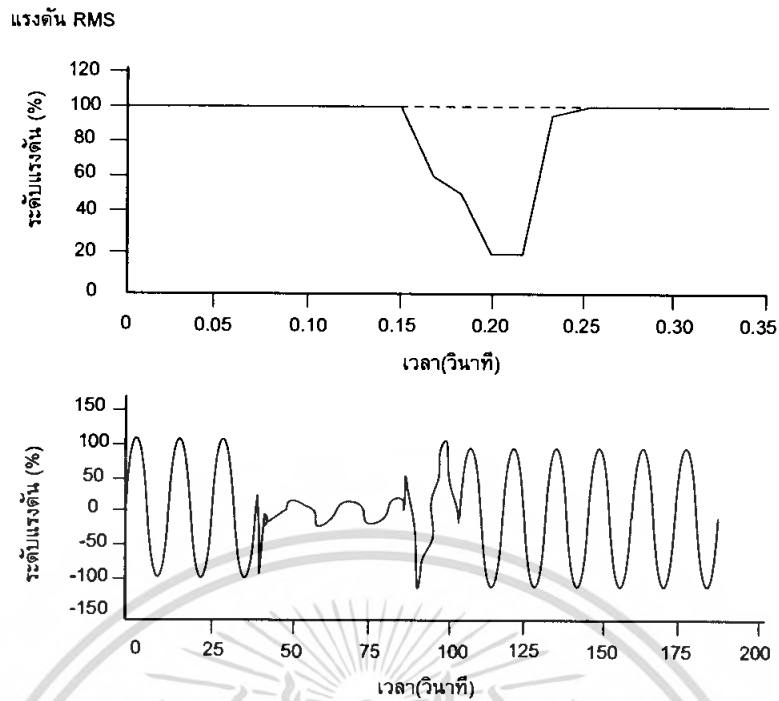
รูปที่ 2.1 รูปแสดงช่วงเวลาแรงดันไฟตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นเมื่อรีโคลสเซอร์ทำงาน

- ระยะเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน
- 3. แรงดันไฟตกชั่วขณะจะทำให้กระบวนการผลิตหยุดการทำงาน จากการปลดวงจรของอุปกรณ์ดังเช่น อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ หรือชุดคอนโทรล หรือที่ตู้ ACB

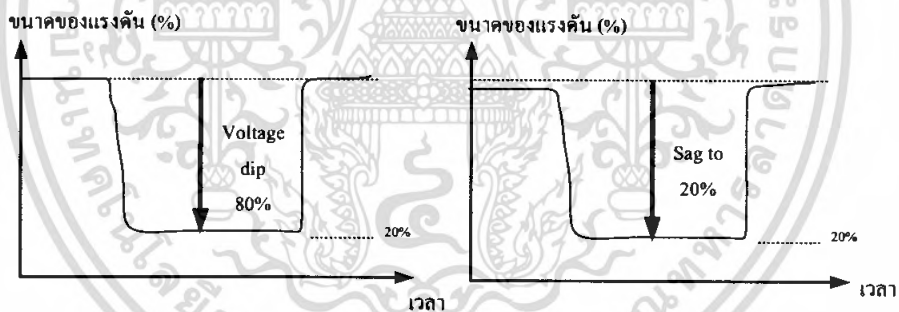
ตารางที่ 2.1 แรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Std.1159-1995 [4]

Categories	Typical Duration	Typical Magnitude
Voltage Sag		
- Instantaneous	0.5 - 30 Cycles	0.1 – 0.9 P.U.
- Momentary	30 Cycles – 3 Sec	0.1 – 0.9 P.U.
- Temporary	3 Sec – 1 Min	0.1 – 0.9 P.U.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ



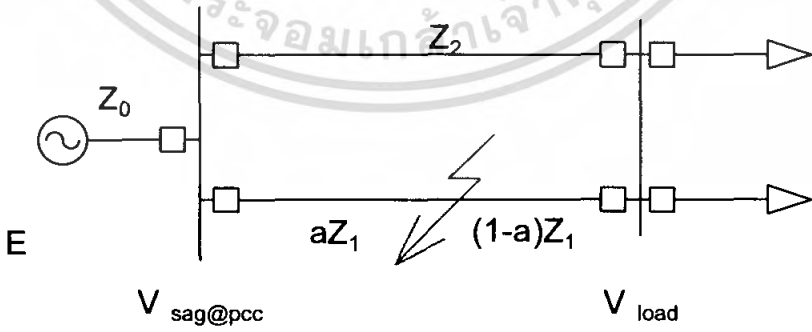
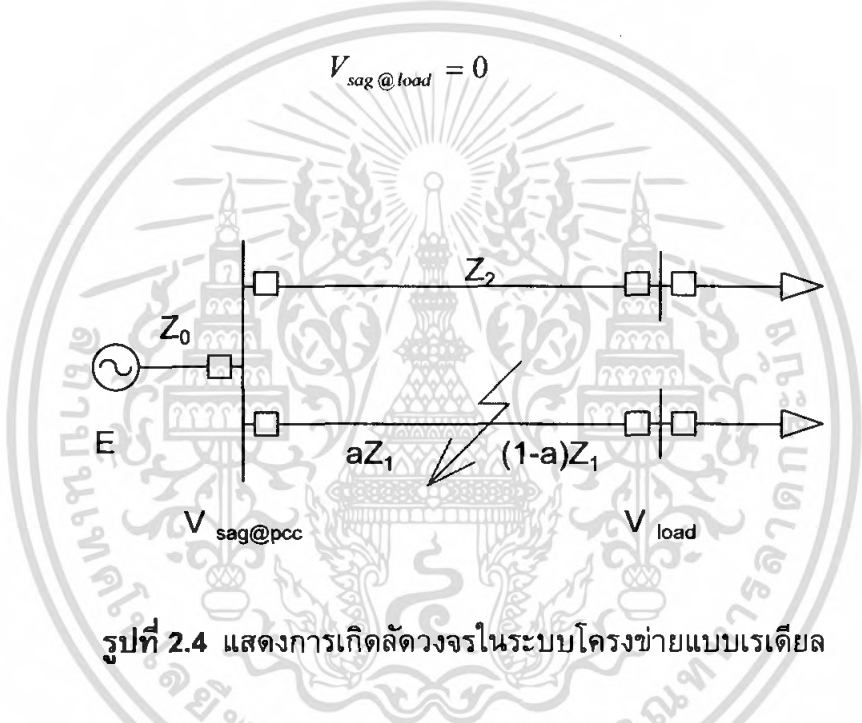
รูปที่ 2.3 รูปแสดงความแตกต่างระหว่าง Voltage dip และ Voltage sag

ตามมาตรฐาน IEEE Std.1159 [3] ได้ให้นิยามของแรงดันตกชั่วขณะตามขนาดและระยะเวลาที่เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะซึ่งขนาดของแรงดันตกจะมีค่าแรงดัน rms อยู่ระหว่าง 0.1-0.9 pu ตั้งแต่ 0.5 cycle ถึง 1 นาทีดังตารางที่ 2.1 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วระบบไฟฟ้ากำลังมีโอกาสที่จะเกิดลัดวงจรได้หลายชนิดดังนั้นรูปคลื่นแรงดันที่ปรากฏจึงมีลักษณะที่แตกต่างไปตามไปด้วย ปัจจุบันปัญหาแรงดันตกชั่วขณะถือเป็นปัญหาที่สำคัญและเกิดขึ้นบ่อยที่สุดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อขบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟโดยทั่วไป เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานโดยส่วนใหญ่มักมีส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันในช่วงระยะเวลาสั้นๆได้เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้า, Programmable Logic Controllers, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเป็นต้นคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงจรจำพวกไดโอดในวงจรเรียงกระแสและวงจรรักษาระดับแรงดันหรือที่เรียกว่า DC/DC Converter ซึ่งถึงแม้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทนี้จะไม่นำกระแสตลอดเวลาและมีแรงดันตกคร่อมตัวมันน้อยมาก แต่ในทางกลับกันอุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวจะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันได้ถึงแม้จะเป็นแค่เพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆก็ตามและนั่นคือเหตุผลที่ทำให้อุปกรณ์มีการทำงานที่ผิดพลาด [5]

$$V_{sag @ pcc} = \frac{aZ_1}{Z_0 + aZ_1} \tag{2.1}$$

$$V_{sag @ load} = 0 \tag{2.2}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{sag @ pcc} = \frac{aZ_1Z_2 + a(1-a)Z_1^2}{Z_0 + Z_1Z_2 + aZ_1Z_2 + a(1-a)Z_1^2} \quad (2.3)$$

$$V_{sag @ load} = \frac{a(1-a)Z_1^2}{Z_0 + Z_1Z_2 + aZ_1Z_2 + a(1-a)Z_1^2} \quad (2.4)$$

สมการที่ 2.1 ถึง 2.4 เป็นสมการที่แสดงถึงระดับแรงดันที่โหลดสามารถสังเกตได้เมื่อเกิดการลัดวงจร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าเปลี่ยนไปตามอิมพีแดนซ์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปโดยสมการที่ 2.4 แสดงถึงแรงดันตกชั่วขณะของระบบเรเดียลและสมการที่ 2.3 ถึง 2.4 แสดงถึงระดับแรงดันตกของระบบลูป

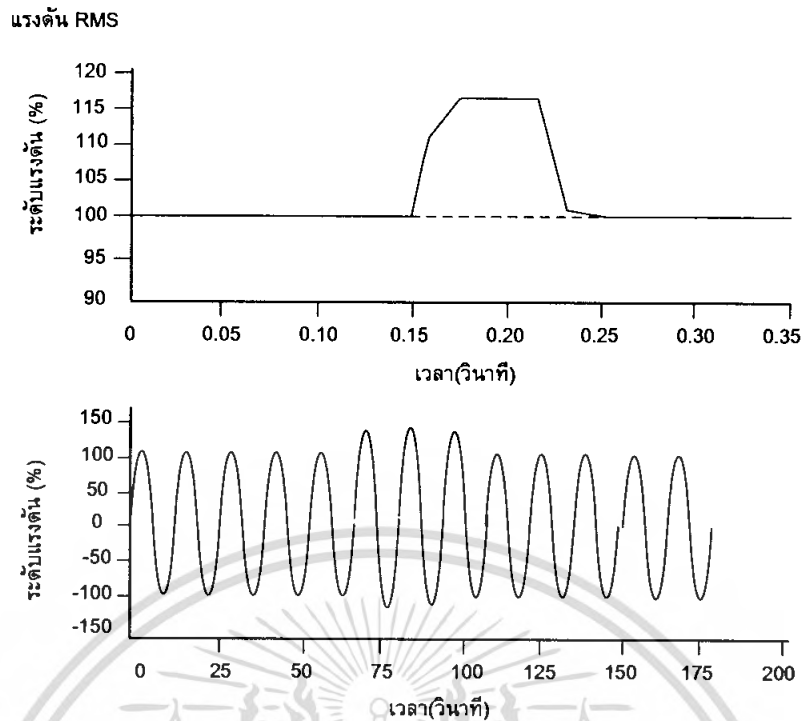
2.1.2 แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) [8]

ปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะมีสาเหตุหลักมาจากการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดินที่เกิดขึ้นในระบบ โดยในขณะที่เกิดลัดวงจรขึ้นนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดลัดวงจรจะมีขนาดที่เพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence Impedance) ในกรณีที่ระบบเป็นแบบ Ungrounded System ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดลัดวงจรอาจจะมีค่าสูงถึง 1.73 pu แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าประมาณ 1.4 pu นอกจากลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดินจะเป็นสาเหตุที่สำคัญของปัญหานี้แล้วการปลดโหลดขนาดใหญ่และการสวิตซ์ซึ่งคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าระบบก็มีส่วนในการทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะเช่นกันแต่ระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่า

ตามมาตรฐาน IEEE Std.1159 ได้ให้นิยามความหมายของแรงดันเกินชั่วขณะว่ามีขนาดแรงดันเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1.1-1.8 pu ของค่าแรงดัน rms ของแรงดันปกติโดยช่วงเวลาที่เกิดคือ 0.5 cycle ถึง 1 นาทีดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แรงดันเกินชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Std.1159-1995 [4]

Categories	Typical Duration	Typical Magnitude
Voltage Swell		
- Instantaneous	0.5 - 30 Cycles	1.1 – 1.8 P.U.
- Momentary	30 Cycles – 3 Sec	1.1 – 1.4 P.U.
- Temporary	3 Sec – 1 Min	1.1 – 1.2 P.U.



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดันเกินชั่วขณะ

2.2 การศึกษาเพาเวอร์โพลว์ [2]

ในระบบไฟฟ้ากำลัง ที่พิจารณา กำลังไฟฟ้าจะไหลจากศูนย์กลางการผลิตกำลังงานไฟฟ้าไปยังศูนย์กลางการไฟฟ้า ในกระบวนการนี้ต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ในหลายสิ่งหลายอย่างเช่นส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่บัสการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในสายส่งไฟฟ้าผลของการปรับเปลี่ยนวงจรและการติดตั้งอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเข้าไปเป็นต้นในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังจะมีขนาดใหญ่ และซับซ้อนมากทำให้การวิเคราะห์ควรจะทำในลักษณะแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังและขั้นตอนที่เกี่ยวกับการไหลของกำลังไฟฟ้านี้เองเรียกว่าการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าจะช่วยให้ได้คำตอบในภาวะอยู่ตัว (steady state) ของระบบไฟฟ้ากำลังที่สมบูรณ์ ในปัจจุบันนี้ได้นำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนของบัสต่าง ๆ ในระบบและค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าทำระหว่างการวางแผนระบบใหม่หรือการเพิ่มเติมระบบเดิมที่มีอยู่ซึ่งต้องมีการคำนวณผลของสภาวะของภาระไฟฟ้าที่แตกต่างจากระบบเดิมผลของการวิเคราะห์เหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้วิเคราะห์กับเรื่องอื่น ๆ ได้อีกเช่นการศึกษาการลัดวงจรในระบบเสถียรภาพของระบบและการจ่ายภาระไฟฟ้าอย่างประหยัด เป็นต้น ประเด็นหลักสำคัญในการศึกษาเพาเวอร์โพลว์ คือผู้ศึกษาจะต้องทราบถึงแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละบัสทั่วทั้งระบบ (System Voltage Profile) โดยอยู่ภายใต้สภาวะ

หนึ่งของโหลดและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแต่ละโรงจักรไฟฟ้า ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการใช้ศึกษาโหลดโพลาร์แบ่งออกเป็น

ก. ข้อมูลของโครงข่ายไฟฟ้า (Network Information) รวมถึงข้อมูลด้านเทคนิคต่างๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น ค่าความต้านทานของสายส่ง รวมถึงค่าคงที่ต่างๆ, ค่าพิกัดของสายส่งรวมถึงหม้อแปลงไฟฟ้า การปรับตั้งค่าแท็บของหม้อแปลงไฟฟ้า ค่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแต่ละโรงจักรไฟฟ้า รวมถึงค่าพิกัดของ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเสมือน ลักษณะการเชื่อมต่อกันของระบบไฟฟ้าซึ่งอาจบอกในลักษณะของวันไลน์ไดอะแกรม

ข. ข้อมูลอื่นๆที่ไม่กระทบต่อการคำนวณโหลดโพลาร์ แต่ควรที่ต้องทราบเพื่อช่วยในการวิเคราะห์การไหล เช่น ชื่อของพื้นที่ควบคุมหรือโซนควบคุม (Area or Zone) หรือแม้กระทั่ง เจ้าของเครือข่าย (Generation or Transmission Owner)

2.2.1 ปัญหาของการศึกษาเพาเวอร์โพลาร์

ภายใต้สมมติฐานของระบบสามเฟสแบบสมมาตรเราต้องการหาค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละบัสในระบบภายใต้การทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าและโหลดค่าหนึ่งของระบบ ในการศึกษาเพาเวอร์โพลาร์ โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้แต่ละบัสในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบ 4 พารามิเตอร์ที่สำคัญนั้นคือ

- ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (Voltage magnitude, $|V|$)
- มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (Voltage phase angle, δ)
- กำลังไฟฟ้าจริง (Real power, P)
- กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power, Q)

โดยทั่วไปแล้วก่อนการศึกษา หรือคำนวณวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะพบว่าในแต่ละบัสเราจะทราบค่าของ 2 พารามิเตอร์ที่กล่าวด้านบนตั้งนั้นการคำนวณวิเคราะห์เพาเวอร์โพลาร์ ก็คือการพยายามหาพารามิเตอร์อีกสองค่าที่ยังไม่ทราบนั่นเอง

2.2.2 การแบ่งชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นวงจรกระแสสลับที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเห็นได้ชัดว่าทุก ๆ โหนดหรือบัสของระบบจะมีคุณลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้าจริงกำลังไฟฟ้าเสมือนและแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อน โดยแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนสามารถแยกได้เป็น 2 ตัวแปรคือขนาดแรงดันไฟฟ้า $|V|$ และมุมเฟส δ ดังนั้นในทุก ๆ บัสของระบบไฟฟ้าจึงประกอบไปด้วย 4 ตัวแปรคือ $P, Q, |V|$, และ δ ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น

2.2.2.1 สวิงบัส (System Swing bus or Slack bus) สำหรับบัสที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอยู่เรียกว่าบัสแหล่งกำเนิด (generator bus) โดยขนาดของ $|V|$ จะมีค่าคงที่โดยการใช้อุปกรณ์คงค่าแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ปริมาณของการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงสามารถทราบได้เนื่องจากทราบขีดจำกัดของการไหลของไอน้ำและน้ำที่ใช้ในการขับเคลื่อนดังนั้นสำหรับบัสแหล่งกำเนิดจึงทราบค่าของ $|V|$ และ P โดยเหลือ 2 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและต้องการที่จะหาคือค่า Q และ δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 เรกกูเรทบัส (Regulated bus or generator bus or P-V bus) บัสชนิดนี้เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกาะอยู่ โดยค่ากำลังงานจริงและขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะถูกกำหนดไว้แต่แรกก่อนที่จะทำการคำนวณโหลดโพล์ โดยที่เราต้องการทราบขนาดของกำลังไฟฟ้าเสมือนและขนาดของมุมของแรงดันไฟฟ้าหลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณ

2.2.2.3 โหลดบัส (Load bus or P-Q bus) ส่วนบัสที่ไม่ใช่บัสแหล่งกำเนิดเรียกว่า บัสภาระไฟฟ้าจะมีเฉพาะความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่านั้นจากรู้ค่าของ Q และ P แนนอนโดย |V| และ มุมเฟส(δ) จะเปลี่ยนแปลงตามความต้องการกำลังไฟฟ้า ดังนั้นค่าของ |V| และ δ จึงเป็นค่าที่ต้องการในบัสชนิดนี้

ในระบบไฟฟ้ากำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดต้องสอดคล้องกับปริมาณความต้องการทั้งหมดของกำลังไฟฟารวมกับค่าความสูญเสียที่เกิดในสายส่งไฟฟ้าเนื่องจากความสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถที่ทราบล่วงหน้าได้ ดังนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องจ่ายจึงไม่สามารถที่จะเจาะจงลงไปได้ภายใต้สภาวะนี้วิธีที่สามารถนำมาใช้คือให้บัสหนึ่งในบัสแหล่งกำเนิดทั้งหมดเป็นบัสอ้างอิง ซึ่งสามารถที่จะระบุขนาดของแรงดันไฟฟ้า |V| ลงไปได้ แต่ไม่มีการเจาะจงในปริมาณของการผลิตกำลังไฟฟ้าสำหรับมุมเฟส ของบัสแต่ละบัสควรวัดโดยเทียบกับบัสอ้างอิง ซึ่งเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าของบัสอ้างอิงจะถูกใช้เป็นบัสอ้างอิง และมีมุมเฟสเป็นศูนย์

2.2.3 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าต้องการแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนของบัสต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังที่สภาวะต่างๆซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการหาคำตอบ สมการของกำลังไฟฟ้าจริงกำลังไฟฟ้าเสมือนของบัสต่างๆจะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนสำหรับระบบที่มี n โหนดซึ่งไม่รวมกราวด์จะได้จำนวนของสมการเท่ากับจำนวนโหนดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + \dots + Y_{1n}V_n$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + \dots + Y_{2n}V_n$$

จากสมการข้างต้น สามารถเขียนในรูปทั่ว ๆ ไปได้เป็น

$$I_i = \sum_{m=1}^n Y_{im}V_m \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.5)$$

เมื่อ I_i = กระแสเชิงซ้อนที่ไหลเข้าบัส i

V_m = แรงดันไฟฟ้าเชิงซ้อนเทียบกราวด์ของบัส m

Y_{im} = แอดมิตแดนซ์เชิงซ้อนระหว่างบัส i และ m

สามารถแสดงสมการในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$I = YV \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I เป็นเมตริกซ์แนวตั้ง (column matrix) ที่ประกอบไปด้วยสมาชิก $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ เช่นเดียวกับกับ V ที่เป็นเมตริกซ์แนวตั้งที่มีสมาชิกเป็น V_1, V_2, \dots, V_n ส่วนแอดมิตแดนซ์ที่จุดไครฟวิง (Driving Point) จะบรรจุอยู่ในแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์

ในระบบไฟฟ้ากำลังค่าของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนมีความสำคัญมากกว่ากระแส ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่เข้าสู่บัสสามารถแสดงได้เป็น

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.7)$$

เครื่องหมาย * ในสมการข้างบนแสดงว่าเป็นการสังยุค เมื่อแทนค่าสมการที่กล่าวมาข้างต้นและเมื่อนำมาแทนค่าจะได้

$$P_i + jQ_i = V_i \sum_{m=1}^n Y_{im}^* V_m^* \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

โดยทราบว่า

$$\begin{aligned} V_i &= e_i + jf_i = |V_i| \angle \delta_i \\ V_m^* &= e_m - jf_m = |V_m| \angle -\delta_m \\ Y_m^* &= G_{im} - jB_{im} = |Y_{im}| \angle -\theta_{im} \end{aligned}$$

จากสมการด้านบนสามารถแสดงในรูปของโพลาร์ (polar) และเรคแทนกูลาร์ (rectangular) ได้ดังสมการด้านต่อไปนีตามลำดับ

$$P_i + jQ_i = |V_i| \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| e^{j(\delta_i - \delta_m - \theta_{im})} \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{m=1}^n (G_{im} - jB_{im})(e_m - jf_m) \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

สำหรับแต่ละบัสจะมี 2 ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า และสำหรับระบบที่มี n บัสก็จะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า $2n$ ตัวอันเป็นผลมาจากสมการเชิงซ้อน แต่ในกรณีที่พิจารณาถึงตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของบัสอ้างอิงไม่จำเป็นต้องมีสมการเพิ่มเติม เพราะจะหาค่าต่าง ๆ ได้เมื่อทราบค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในบัสอื่น ๆ แล้ว ดังนั้นจึงสามารถตัดสมการในส่วนของบัสอ้างอิงออกไปได้เหลือเพียง $n-1$ สมการ

2.2.4 การวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

วิธีนิวตัน-ราฟสันเป็นการคำนวณแบบใช้การคำนวณซ้ำจนได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ใช้สำหรับแก้ปัญหาที่สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

$$f_k(x_m) = 0 \quad \text{สำหรับ } k = 1 \rightarrow N \quad (2.11)$$

ในแต่ละรอบการคำนวณซ้ำของวิธีนิวตัน-ราฟสันจะแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นโดยประมาณเทียบเคียงกับสมการเมตริกซ์ที่เป็นเชิงเส้นการประมาณเชิงเส้นจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด ในกรณีของปัญหาตัวแปรเดียว กำหนดให้ x^p คือคำตอบโดยประมาณ ซึ่งมีค่าความผิดพลาด Δx^p ที่รอบการคำนวณซ้ำ p แล้ว

$$f(x^p + \Delta x^p) = 0 \quad (2.12)$$

สมการนี้สามารถกระจายได้โดยใช้ทฤษฎีเทย์เลอร์

$$f(x^p + \Delta x^p) = 0 = f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) + (\Delta x^p)^2 \frac{f''}{2!}(x^p) + \dots \quad (2.13)$$

ถ้าการประมาณค่าเริ่มต้นของตัวแปร x^p ใกล้เคียงกับค่าของคำตอบแล้ว Δx^p จะมีค่าน้อย ๆ และทุกเทอมของเทอมที่มีกำลังสูงกว่าสามารถที่จะละทิ้งได้ นั่นคือ

$$f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) = 0 \quad (2.14)$$

หรือ
$$\Delta x^p = \frac{-f(x^p)}{f'(x^p)} \quad (2.15)$$

ซึ่งจะได้ค่าใหม่ของตัวแปรจาก

$$x^{p+1} = x^p + \Delta x^p \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$f(x^p) = -j\Delta x^p \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีอย่างง่ายคือการกระจาย n สมการใน n ตัวไมทราบค่า โดยที่ J เป็นเมตริกซ์จัตุรัสจาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) ของการดิฟเฟอเรนเชียลบางส่วนอันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน $f_k(x_m)$ สมาชิกของ $[J]$ กำหนดโดย

$$J_{km} = \frac{\partial f}{\partial x} \quad (2.18)$$

และแสดงด้วยความชันของเส้นสัมผัสกับฟังก์ชันประมาณการ $f_k(x_m)$ ที่แต่ละจุดของรอบการคำนวณซ้ำ ขั้นตอนการคำนวณของวิธีนิวตัน-ราฟสันจะลู่เข้าหาแบบกำลังสองถ้าฟังก์ชันมีความต่อเนื่องที่อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งในตำแหน่งใกล้เคียงกับคำตอบจาโคเบียนเมตริกซ์ไม่ได้มีเพียงหนึ่งค่าและการประมาณค่าเริ่มต้นของ x เข้าใกล้กับคำตอบที่แท้จริงแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อพฤติกรรมของฟังก์ชัน $f_k(x_m)$ และสูตรที่ใช้ถ้าความเป็นเชิงเส้นมากขึ้นจะทำให้การลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีนิวตัน-ราฟสัน มีความรวดเร็วและน่าเชื่อถือได้มากขึ้น ฟังก์ชันที่มีความเป็นเชิงเส้นน้อยในช่วงที่สนใจช่วงหนึ่ง ๆ จะเป็นสาเหตุให้การลู่เข้าสู่คำตอบถูกหน่วงเวลาออกไปซึ่งความผิดพลาดรวมหรือการลู่ผิดทิศทางจะทำให้คำตอบที่ได้ไม่ถูกต้อง

$$Q_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km}) \quad \text{สำหรับ } k \text{ ทุก ๆ ค่า} \quad (2.19)$$

เมื่อ I_k เป็นกระแสที่ไหลเข้าไปยังบัส k จะได้กำลังไฟฟ้าที่บัสเป็น

$$S_k = P_k + jQ_k = E_k I_k^* = E_k \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m^* \quad (2.20)$$

ในทางคณิตศาสตร์สมการการไหลของภาระไฟฟ้าซึ่งเป็นเชิงซ้อนจะไม่สามารถวิเคราะห์และไม่สามารถทำการหาอนุพันธ์ในรูปของเชิงซ้อนได้วิธีนิวตัน-ราฟสันจึงถูกนำมาใช้ซึ่งปัญหาจะถูกแยกเป็นสมการค่าจริง และตัวแปรแบบโพลาร์หรือเรคแทนกูลาร์ เพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าที่บัส จะได้ 2 สมการคือ

$$P_k = P(V, \theta) \quad \text{หรือ} \quad P(e, f)$$

$$Q_k = Q(V, \theta) \quad \text{หรือ} \quad Q(e, f)$$

ในแกนโพลาร์ส่วนจริงและส่วนจินตภาพ เป็น

$$P_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2.22)$$

เมื่อ $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$

ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้รับสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้อย ๆ ของตัวแปร θ และ V ได้จากการจัดรูปของการดิฟเฟอเรนเชียลทั้งหมด จะได้ผลของสมการเป็นดังนี้ สำหรับบัสควบคุมภาระไฟฟ้า

$$\Delta P_k = \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial P}{\partial \theta} \right) \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right) \Delta V_m \quad (2.23)$$

$$\Delta Q_k = \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial Q}{\partial \theta} \right) \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \left(\frac{\partial Q}{\partial V} \right) \Delta V_m \quad (2.24)$$

สำหรับบัสอ้างอิงไม่มีสมการ เพราะเป็นบัสที่ใช้ในการอ้างอิง

ขนาดของแรงดันไฟฟ้า สำหรับบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้าและบัสอ้างอิงไม่ใช่ตัวแปร แต่เป็นค่าที่ได้ระบุมาเช่นเดียวกับ θ ที่กำหนดในบัสอ้างอิง

สมการสมบูรณที่ได้จะประกอบด้วย 2 ส่วนของแต่ละบัสควบคุมภาระไฟฟ้าและแต่ละบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยตัวแปรปัญหาคือ V และ θ สำหรับแต่ละบัสควบคุมภาระไฟฟ้าและ θ สำหรับแต่ละบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้างั้นจำนวนของตัวแปรจึงเท่ากับจำนวนของสมการ จะได้ขั้นตอนการคำนวณ เป็น

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{p-1} \\ \Delta Q^{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H^{p-1} & N^{p-1} \\ J^{p-1} & L^{p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta^p \\ \frac{\Delta V^p}{V^{p-1}} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์

โดย
$$\begin{aligned} \Delta P_k &= P_{k,apex} - P_{k,calc} \\ \Delta Q_k &= Q_{k,apex} - Q_{k,calc} \end{aligned}$$

$P_{k,apex}$ และ $Q_{k,apex}$ ได้จากการคำนวณในแต่ละรอบของการคำนวณการหาค่าของ ΔV_i^p แต่ละตัวด้วย ΔV_i^{p-1} จะไม่มีผลต่อผลลัพธ์ของการคำนวณโดยรวมแต่จะช่วยให้บางเทอมของ จาโคเบียนเมตริกซ์ง่ายขึ้น สำหรับบัส k และ m (ไม่ใช่แถว k และหลัก m ในเมตริกซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_{km} = \frac{\partial P}{\partial \theta} = V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2.26)$$

$$N_{km} = V_m \frac{\partial P}{\partial \theta} = V_k (G_{km} \cos \theta_{km} - B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2.27)$$

$$J_{km} = \frac{\partial Q}{\partial \theta} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} - B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2.28)$$

$$L_{km} = V_{km} \frac{\partial Q}{\partial \theta} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2.29)$$

และสำหรับ $m = k$

$$H_{kk} = \frac{\partial P}{\partial \theta} = -Q_k - B_{kk} V_k^2 \quad (2.30)$$

$$N_{kk} = V_m \frac{\partial P}{\partial V} = P_k + G_{kk} V_k^2 \quad (2.31)$$

$$J_{kk} = V_m \frac{\partial Q}{\partial \theta} = P_k - G_{kk} V_k^2 \quad (2.32)$$

$$L_{kk} = V_m \frac{\partial Q}{\partial V} = Q_k - B_{kk} V_k^2 \quad (2.34)$$

แก้สมการหาค่าตอบของ $\Delta \theta$ และ ΔV โดยการอินเวอร์ต (Invert) จาโคเบียน เมตริกซ์แล้วนำไปบวกกับค่า θ และ V ที่ได้จากการคำนวณในรอบของการคำนวณก่อนหน้านี้ จะได้

$$\theta^{(p)} = \theta^{(p-1)} + \Delta \theta \quad \text{และ} \quad V^{(p)} = V^{(p-1)} + \Delta V \quad \text{สำหรับบัสควบคุมภาระไฟฟ้า}$$

$$\theta^{(p)} = \theta^{(p-1)} + \Delta \theta \quad \text{สำหรับบัสควบคุมแรงดันไฟฟ้า}$$

จากนั้นนำค่า θ และ V ที่คำนวณได้ใหม่นี้ไปคำนวณค่า $P_{k,calc}$ และ $Q_{k,calc}$ เพื่อเริ่มคำนวณในรอบการคำนวณต่อไป ขั้นตอนเหล่านี้จะกระทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดอยู่ภายในเงื่อนไข ของการสุ่มเข้าหาค่าตอบของระบบที่ทำการวิเคราะห์ ในที่นี้จะใช้วิธีโพลาร์ในการวิเคราะห์การไหลของภาระไฟฟ้าตามสมการซึ่งแสดงไว้ข้างต้น

สรุปวิธีของนิวตัน-ราฟสัน เป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. คำนวณค่าของ $P_{k,calc}$ และ $Q_{k,calc}$ ซึ่งไหลภายในระบบที่ทุก ๆ บัสสำหรับใช้คำนวณค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้า V_k พร้อมทั้งมุมเฟส θ_k ในรอบของการคำนวณแต่ละรอบ
2. คำนวณ ΔP และ ΔQ ของทุก ๆ บัส
3. คำนวณค่าของจาโคเบียนเมตริกซ์โดยใช้ค่าประมาณหรือค่าที่กำหนดของขนาดแรงดันไฟฟ้า V_k และมุมเฟส θ_k ในสมการสำหรับการหาค่าเดริเวทีฟบางส่วนโดยการดิฟเฟอเรนเชียลทำการอินเวอร์ทจาโคเบียนเมตริกซ์และคำนวณค่า ΔV_k และ $\Delta \theta_k$ ที่ทุก ๆ บัส
4. คำนวณค่าใหม่ของ θ_k และ V_k โดยการบวก $\Delta \theta_k$ และ ΔV_k เข้ากับค่าเดิม
5. กลับไปยังขั้นที่ 1 และทำขั้นตอนเดิมซ้ำเพื่อหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสจนกระทั่งค่า ΔP และ ΔV หรือ $\Delta \theta$ และ ΔV ของทุก ๆ บัสน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ได้กำหนดไว้

2.3 การคำนวณกระแสลัดวงจร [2]

ในระบบการผลิตและการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดสภาวะผิดปกติทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ชำรุด วัสดุปลิวโดนสายส่ง ยานพาหนะรถยนต์ คนสัตว์ ต้นไม้ และอื่นๆ ซึ่งระบบป้องกันจะต้องสามารถตัดระบบที่บกพร่องทางไฟฟ้าได้โดยเร็วที่สุด จึงต้องมีการวิเคราะห์การลัดวงจรในระบบไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความมั่นคงทางไฟฟ้า จึงต้องเลือกขนาดพิกัด (Interrupting capacity) ของ circuit breaker ให้เหมาะสม หรือเพื่อทราบค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดจำกัดของอุปกรณ์หรือไม่ เพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบของ fault

สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. Shunt fault คือการเกิดการลัดวงจรที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. Series Fault คือการเปิดการปิดวงจรที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลัง

ใน Shunt fault จะสามารถแบ่งออกได้คือ

1. Balance Fault หรือ Symmetrical Short Circuit
2. Unbalance Fault หรือ Asymmetrical Short Circuit

Balance Fault → กระแส fault ในช่วง steady state ทั้ง 3φ เฟส มีค่าและมุม phase shift = 120° เท่ากันทุกเฟส เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Three-phase fault หรือ Three-phase to ground fault

Unbalance Fault → กระแสบางเฟสจะมากกว่าเฟสอื่น หรือมุม phase shift ≠ 120° สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Single line to ground fault (SLG)
2. Line to line fault (L-L)
3. Double line to ground fault (DLG)

การเกิดFault อาจเกิดพร้อมกันที่หลาย ๆ ประเภท ก็ได้ หรือเรียกว่า Simultaneous fault

Zero sequence network : $V_0 = -Z_0 I_0$

Positive sequence network : $V_1 = E_a - I_1 Z_1$

Negative sequence network : $V_2 = -I_2 Z_2$

2.3.1 ลักษณะการเกิด Fault แต่ละประเภท

1. การลัดวงจรแบบสามเฟส (Three-phase fault)

$$V_a = V_b = V_c = V \quad (2.26)$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2.27)$$

$$V_{abc} = A V_{012} \quad (2.28)$$

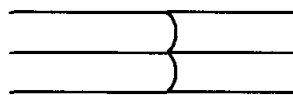
$$V_a = V_0 + V_1 + V_2 \quad (2.29)$$

$$V_a = -Z_0 I_0 + E_a = Z_1 I_1 - Z_2 I_2 \quad (2.30)$$

$$I_{012} = A^{-1} I_{abc} \quad (2.31)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (2.32)$$

$$V_a + V_b + V_c = 3V \quad (2.33)$$



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3V = (1 + a^2 + a)E_a - (1 + a^2 + a)Z_1I_1 - (1 + a^2 + a)Z_2I_2 \quad (2.34)$$

$$(1 + a^2 + a) = 0 \quad (2.35)$$

$$V_a = V_b = V_c = V = 0 \quad (2.36)$$

$$V_a - aV_a = (a^2 - 1)Z_2I_2 \quad (2.37)$$

$$I_2 = 0$$

$$V_a = E_a - Z_1I_1 - Z_2I_2 = 0 \quad (2.38)$$

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_1} \quad (2.39)$$

ดังนั้น ในกรณีของ three-phase fault จึงเหลือแต่ positive sequence network

2. การลัดวงจรแบบสามเฟสลงดิน (Three-phase to ground fault)

$$V_a = V_b = V_c = 0 \quad (2.40)$$

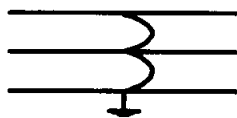
$$V_a = 0 = -Z_0I_0 + E_a - Z_1I_1 - Z_2I_2 \quad (2.41)$$

$$V_b = 0 = -Z_0I_0 + a^2E_a - a^2Z_1I_1 - aZ_2I_2 \quad (2.42)$$

$$V_c = 0 = -Z_0I_0 + aE_a - aZ_1I_1 - a^2Z_2I_2 \quad (2.43)$$

$$V_a + V_b + V_c = 0 = -3Z_0I_0 + (1 + a^2 + a)E_a - (1 + a^2 + a)I_1Z_1 - (1 + a^2 + a)I_2Z_2 \quad (2.44)$$

$$(1 + a^2 + a) = 0 \quad (2.45)$$



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสามเฟสลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-3I_0Z_0 = 0 \quad (2.46)$$

$$I_0 = 0 \quad (2.47)$$

$$V_a - aV_b = (a^2 - 1)Z_2I_2 \quad (2.48)$$

$$0 = (a^2 - 1)Z_2I_2 \quad (2.49)$$

$$I_2 = 0 \quad (2.50)$$

$$V_a = E_a - I_1Z_1 - I_2Z_2 = 0 \quad (2.51)$$

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_1} \quad (2.52)$$

ดังนั้นในกรณีของ three-phase fault ลงดิน จะเหลือแต่ Positive sequence network ซึ่งเหมือนกับกรณีของ three-phase fault

3. การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน (Single line to ground fault)

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

$$V_a = -Z_0I_0 + E_a - Z_1I_1 - Z_2I_2 \quad \text{เมื่อ} \quad I_0 = I_1 = I_2 = \frac{I_a}{3} \quad (2.54)$$

จะได้
$$0 = -\frac{I_a}{3}(Z_0 + Z_1 + Z_2) + E_a \quad (2.55)$$

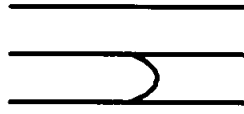
$$I_a = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = I_{fault} \quad (2.56)$$



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การลัดวงจรแบบสองเฟส (Line to line fault)



รูปที่ 2.10 Line to line fault (L-L)

$$I_{012} = A^{-1}I_{abc} \quad (2.57)$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$$I_0 = 0$$

$$I_1 = \frac{1}{3}(a - a^2)I_b \quad (2.59)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(a^2 - a)I_c \quad (2.60)$$

$$V_b = V_0 + a^2V_1 + aV_2 \quad (2.61)$$

$$V_c = V_0 + aV_1 + a^2V_2 \quad (2.62)$$

$$V_b = V_c = V \quad (2.63)$$

$$V_b - V_c = 0 = (a^2 - a)(V_1 - V_2) \quad (2.64)$$

$$V_1 = V_2 \quad (2.65)$$

$$V_1 = E_a - Z_1I_1 \quad (2.66)$$

$$V_2 = -Z_2I_2 \quad (2.67)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 - V_2 = E_a - Z_1 I_1 - Z_2 I_2 \quad (2.68)$$

$$0 = (E_a - (Z_1 + Z_2)I_1) \quad (2.69)$$

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2.70)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.71)$$

$$I_b = (a^2 - a)I_1 \quad (2.72)$$

5. การลัดวงจรแบบสองเฟสลงดิน (Double line to ground fault)

$$V_b = 0 = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 \quad (2.73)$$

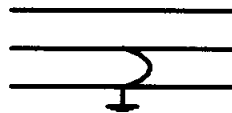
$$V_c = 0 = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \quad (2.74)$$

$$V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \quad (2.75)$$

$$(a^2 - a)V_1 = (a^2 - a)V_2 \quad (2.76)$$

$$V_1 = V_2 \quad (2.77)$$

$$V_b - a V_c = (1 - a)V_0 + (a - 1)V_2 \quad (2.78)$$



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรสมมูลของการลัดวงจรแบบสองเฟสลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(1-a)(-Z_0 I_0) + (a-1)(-Z_2 I_2) = 0 \quad (2.79)$$

$$V_2 = -Z_2 I_2 \quad (2.80)$$

$$I_2 = \frac{-Z_0 I_1}{Z_0 + Z_2} \quad (2.81)$$

$$I_0 = \frac{-Z_2 I_1}{Z_0 + Z_2} \quad (2.82)$$

$$V_b + V_c = 0 = 2V_0 + (a^2 - a)V_1 + (a^2 - a)V_2 \quad (2.83)$$

$$0 = 2V_0 - V_1 - V_2 \quad (2.84)$$

$$0 = 2(-Z_0 I_0) - (E_a - Z I_1) - (Z_2 I_2) \quad (2.85)$$

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + \left(\frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2} \right)} = \frac{(Z_0 + Z_2) E_a}{(Z_1 Z_2) + (Z_2 Z_0) + (Z_0 Z_1)} \quad (2.86)$$

$$I_2 = \frac{-(E_a - Z_1 I_1)}{Z_2} = \frac{-Z_0 E_a}{(Z_1 Z_2) + (Z_2 Z_0) + (Z_0 Z_1)} \quad (2.87)$$

$$I_0 = \frac{-(E_a - Z_1 I_1)}{Z_0} = \frac{-Z_2 E_a}{(Z_1 Z_2) + (Z_2 Z_0) + (Z_0 Z_1)} \quad (2.88)$$

$$I_{fault} = I_b + I_c = 3I_0 \quad (2.89)$$

2.4 รูปแบบการจ่ายไฟในระบบสายส่ง [1]

2.4.1 แบบเรเดียล (Radial System)

เป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยไปในทิศทางเดียว เมื่อเกิดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องที่สถานีไฟฟ้าย่อยหรือระบบต้นทางไฟก็จะดับหมดทั้งฟีดเดอร์ไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

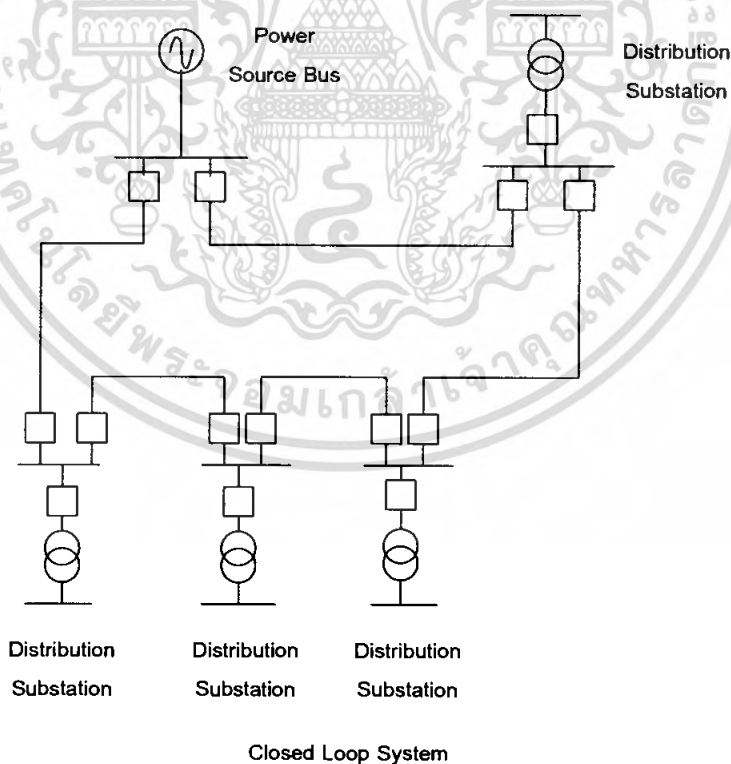
จ่ายโหลดทดแทนจากฟีดเดอร์อื่นหรือสถานีไฟฟ้าย่อยอื่นระบบการจ่ายไฟแบบนี้จะมีความเชื่อถือได้ต่ำ

2.4.2 แบบโครงข่าย (Network System)

เป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมโยงจ่ายโหลดทดแทนกันได้จากฟีดเดอร์อื่นหรือจากสถานีไฟฟ้าย่อยอื่น ระบบการจ่ายไฟแบบนี้มีความเชื่อถือได้สูงโอกาสที่ไฟดับนานจะมึน้อย การจ่ายไฟระบบนี้ยังแยกเป็น 2 แบบคือ

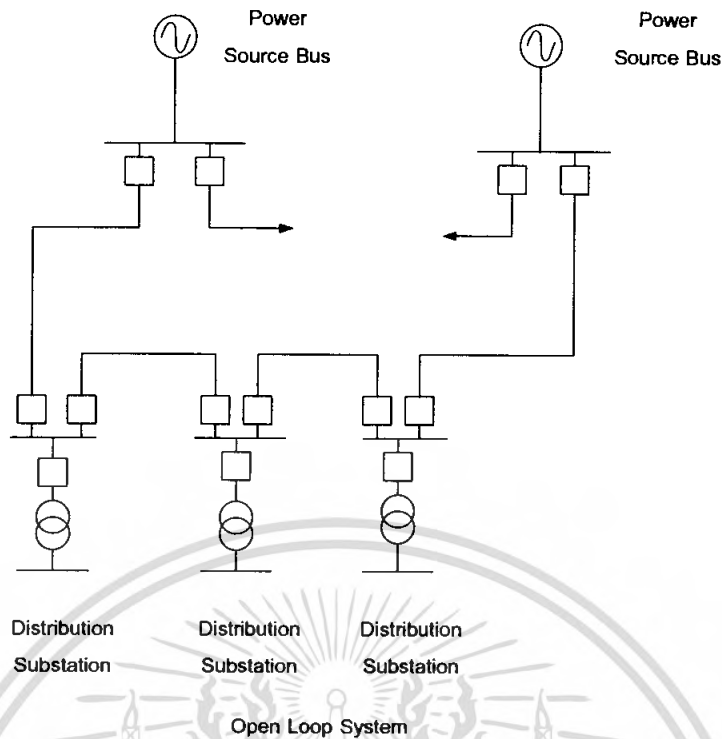
2.4.2.1 แบบวงรอบปิด (Closed loop) เป็นการจ่ายไฟขนานตลอดเวลาระหว่างสองฟีดเดอร์ขึ้นไป ซึ่งอาจมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยเดียวกันหรือต่างสถานีไฟฟ้าย่อยกัน จะมีผลในการลดหน่วยสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าในระบบจะดีกว่าและมีความมั่นคงมากกว่าการจ่ายไฟแบบ Open loop แต่อาจจะมีปัญหาในการจัดระบบป้องกัน เช่น ต้องใช้ Directional Over current relay แทน Over current relay แบบธรรมดา กระแสลัดวงจร ในระบบมีค่าสูงขึ้น และถ้าเกิดฟอลท์ขึ้น จะทำให้ไฟดับหมดทั้งสองฟีดเดอร์ ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับสายส่ง 69 KV. ขึ้นไป ซึ่งจะทำให้ระบบสายส่งมีความมั่นคง ลดปัญหา Voltage swing เป็นต้น

2.4.2.2 แบบวงรอบเปิด (Open loop) เป็นการจ่ายไฟแบบเรเดียล แต่สามารถเลือกรับไฟได้อย่างน้อยสองแหล่ง หากวงจรหลักประสบปัญหาจนไม่สามารถจ่ายไฟได้ ก็สามารถที่จะย้ายไปรับไฟจากแหล่งจ่ายอื่น โดยจะมีไฟดับในช่วงสั้นๆ และสามารถพัฒนาระบบให้เป็นแบบ Close Loop ได้ในอนาคต



รูปที่ 2.12 แสดงระบบโครงข่ายแบบลูปปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงระบบโครงข่ายแบบลูปเปิด

2.4.3 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อระบบสายส่ง

ในระบบสายส่งไฟฟ้านั้นมีตัวแปรหลายตัว ซึ่งในการพิจารณาปัญหาผลกระทบในระบบสายส่งจะต้อง มีการพิจารณาให้ระดับของความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ เพื่อที่จะสรุปเป็นทางเลือกที่จะแก้ปัญหาต่อไป ดังนี้

พิกัดกระแสของสายส่ง

- โหลดจะต้องไม่เกิน 80% ของพิกัดสายที่สภาวะปกติ
 - โหลดจะต้องไม่เกิน 100% ในกรณีจ่ายไฟสภาวะฉุกเฉิน
- แรงดันที่โหลด
- ระดับแรงดันต้องไม่สูงหรือต่ำกว่า 5% ของแรงดันปกติ
 - ในกรณีจ่ายไฟฉุกเฉิน (ชั่วคราว) แรงดันตกหรือแรงดันเกินต้องไม่เกิน 10%

Loss ในระบบส่ง

- พิจารณา %Loss เมื่อเทียบกับ Load ต้องไม่เกินค่าเป้าหมาย
- ความมีเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้า
- ค่าความถี่ในการเกิดไฟฟ้าดับ
 - ช่วงเวลาไฟดับ

คุณภาพของระบบไฟฟ้า

- Voltage Dip ในระบบสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาพิจารณาที่ระยะ 5 ปี ข้างหน้าควรทำการตรวจสอบและปรับสถานะ Load ปัจจุบันทุก ๆ ปี หรือกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายไฟ

2.5 การทำงานในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Islanding System of DG) [5]

การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริดหมายถึงการที่ระบบไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าถูกตัดต่อนอกจากการจ่ายไฟซึ่งจะทำให้โหลดที่อยู่หลังจกตำแหน่งที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดต่อนอกไปจากระบบไม่สามารถรับไฟฟ้าได้สาเหตุที่มีการตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีสองสาเหตุคือ

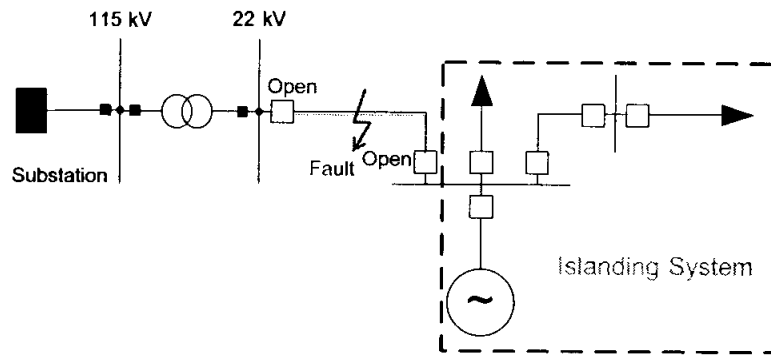
1. เกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าและระบบไม่สามารถแก้ไขหรือเคลียร์การลัดวงจรนั้น ออกจากระบบได้จึงต้องมีการตัดตอนของตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้ระบบโดยรวมเสียหายเนื่องจากการรับกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูง
2. เกิดจากการซ่อมบำรุงของสายส่งบริเวณนั้น ๆ ทำให้ต้องมีการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน

2.5.1 ข้อดีของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเมื่อระบบแยกออกจากกริด(Islanding)

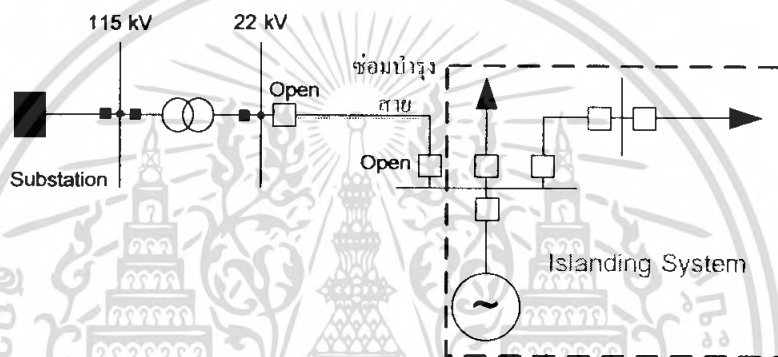
1. เพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า กรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักเกิดปัญหาใดๆก็ตามที่ส่งผลให้ไม่สามารถทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ ทำให้บริเวณที่เกิดไฟฟ้าดับลดน้อยลง
2. การไฟฟ้าสามารถที่จะมีรายได้จะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการบริหารจัดการการขายไฟฟ้านั้นๆจาก DG ไม่ว่าจะระบบไฟฟ้าหลักจะขาดการจ่ายไฟด้วยเหตุใดก็ตาม

2.5.2 ข้อเสียของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด(Islanding)

1. ในกรณีที่ DG จ่ายไฟฟ้าในโหมด Islanding อาจจะทำให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าได้เนื่องจากการทำงานของ DG เอง หรือเกิดการลัดวงจรภายในระบบ Islanding นั้นๆ รวมทั้งกรณีที่โหลดมีปริมาณมากขึ้นจนเกินความสามารถการจ่ายโหลดของ DG ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้
2. ในกรณีที่การทำงานอยู่ในสภาวะ Islanding อุปกรณ์ป้องกันภายในระบบอาจจะทำงานบ่อยจนเกิดความซับซ้อนขึ้นระบบเนื่องจากปัญหาคุณภาพไฟฟ้า



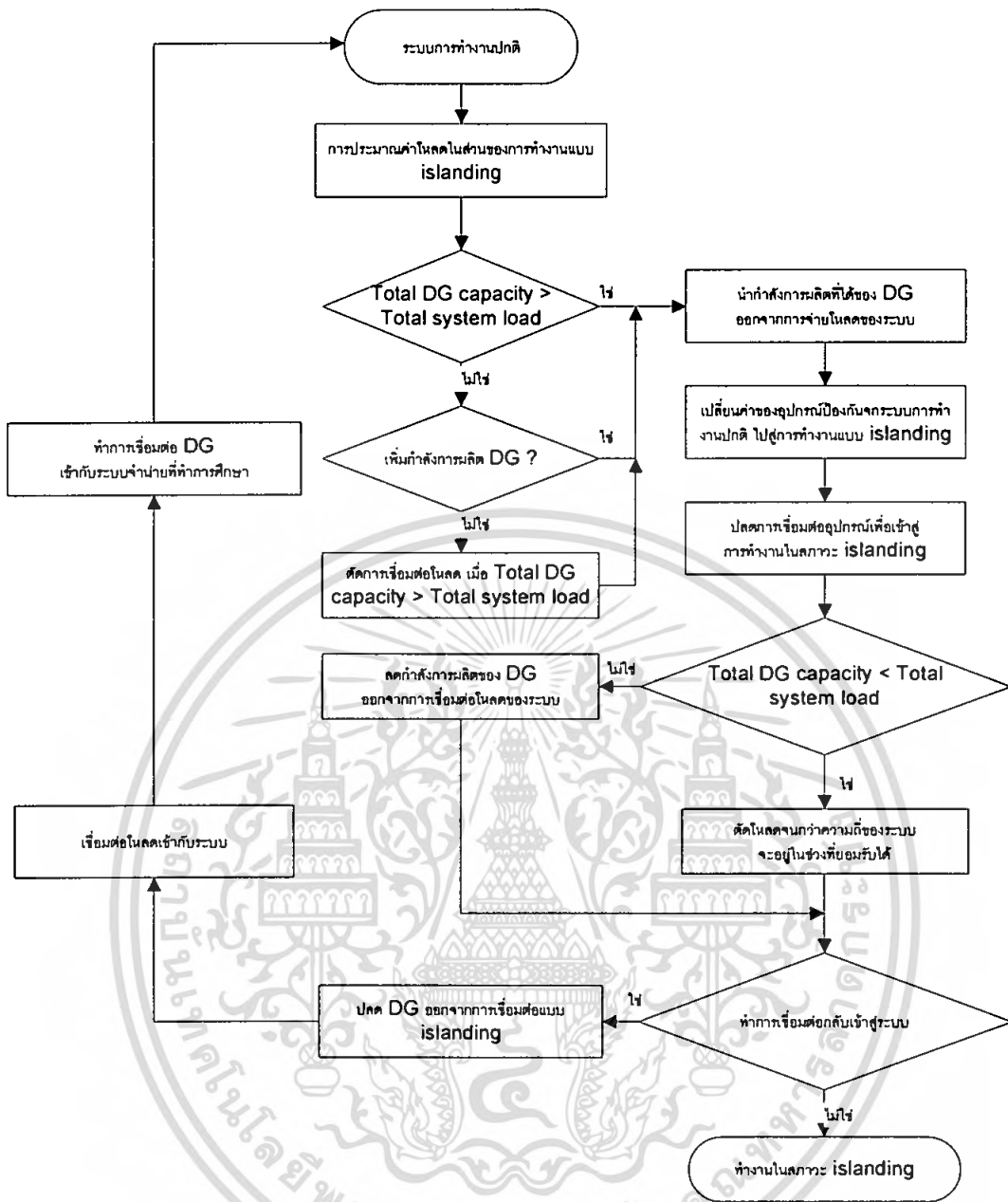
รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดลัดวงจรในสายจนทำให้การทำงานของระบบอยู่ในสภาวะแยกออกจากกริด



รูปที่ 2.15 แสดงการซ่อมบำรุงสายจนทำให้การทำงานของระบบอยู่ในสภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด

หลักการและข้อกำหนดการเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้าที่ในสภาวะแยกออกจากกริด

ในการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าทั้งสองระบบเข้าด้วยกันเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบทั้งหมดแล้ว จำเป็นจะต้องมีการปรับเปลี่ยนวงจรของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆของระบบ เพราะค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าของระบบมีค่าเปลี่ยนไป รวมถึงการคำนึงถึงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยพิจารณาถึงผลกระทบต่อแรงดันของระบบด้วย



รูปที่ 2.16 แสดงขั้นตอนการทำงานในสภาวะ Islanding ของ DG

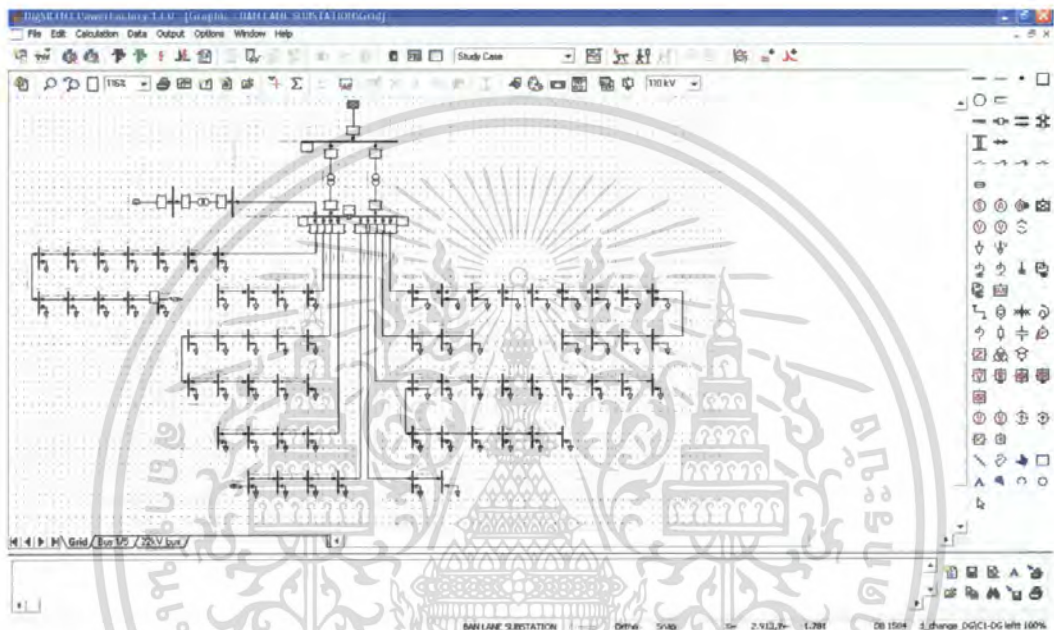
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

3.1 การศึกษาระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาในโครงการนี้เป็นการนำเสนอการติดตั้ง DG เข้ากับระบบจำหน่ายโดยนำระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมาจากระบบไฟฟ้าจริงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยระบบจะมีสภาพการจ่ายไฟแบบแยกบัสออกเป็นสองฝั่งจ่ายภาระไฟฟ้าแยกออกจากกัน



รูปที่ 3.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาในโครงการ

เมื่อพิจารณาสภาพการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองจะพบว่ากรณีที่มีโหลดสูงสุดจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าของบัสทางด้านซ้ายต้องจ่ายโหลดมากเกินกว่า 80 % ของความสามารถในการจ่ายโหลดของมัน ซึ่งสภาวะการจ่ายโหลดแบบนี้เมื่อเกิดขึ้นบ่อยอาจจะทำให้หม้อแปลงเสื่อมสภาพการใช้งานเร็วขึ้น ไม่ว่าจะเกิดการเสื่อมของฉนวนต่าง การพิจารณาทดลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบนี้ ได้ใช้การพิจารณาจากเหตุผลที่ว่า DG ที่ติดตั้งเข้าไปควรจะมีส่วนร่วมในการจ่ายโหลดให้แก่หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีสภาพการจ่ายโหลดในปริมาณมากน้อยๆ เพื่อลดโอกาสในการจ่ายโหลดเกินขนาดของหม้อแปลงนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาพการจ่ายไฟของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนและหลังก่อนติดตั้ง DG

ค่าที่พิจารณา	หม้อแปลงไฟฟ้าบัสซ้าย		หม้อแปลงไฟฟ้าบัสขวา	
	ก่อนการติดตั้ง	หลังการติดตั้ง	ก่อนการติดตั้ง	หลังการติดตั้ง
Rate capacity	40 MVA	40 MVA	40 MVA	40 MVA
Load	39 MVA	39 MVA	28.82 MVA	28.82 MVA
Loading	98.72%	76.10%	72.05%	72.05%
Voltage	0.96 pu	1.01 pu	0.98 pu	0.98 pu

จากรูปจะเห็นว่าค่า Loading ของหม้อแปลงทางด้านซ้ายมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในกรณีโหลดสูงสุดของสถานี (Peak Load)

3.1.1 ผลกระทบหลังจากการติดตั้ง DG เข้าไปในระบบ

หลังจากการพิจารณาแล้วพบว่าควรติดตั้ง DG ที่บัสซ้ายซึ่งเมื่อทำการติดตั้งไปแล้วสิ่งที่ต้องคำนึงถึงต่อมา ก็คือระบบไฟฟ้าเดิมจะได้รับผลกระทบเนื่องจากการติดตั้ง DG เข้าไปมากน้อยเท่าใด เช่น

3.1.1.1 ผลกระทบทางด้านแรงดันในสภาวะอยู่ตัวเมื่อเชื่อมต่อ DG เข้าไปในระบบ

เป็นการศึกษาถึงผลกระทบเมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบโดยดูว่าหลังจากการติดตั้ง DG เข้าไปแล้วแรงดันของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร มีค่ามากน้อยเท่าใดและยังอยู่ในข้อกำหนดของระดับแรงดันที่ยอมรับได้ในการจ่ายไฟหรือไม่ โดยถ้าหลังจากการติดตั้ง DG เข้าไปในระบบและระดับแรงดันมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะต้องมีการแก้ไขปัญหานั้นเสียก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเกิดความเสียหายจากแรงดันเกินหรือแรงดันตก

3.1.1.2 ผลกระทบเนื่องจากกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นในระบบ

เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของกระแสลัดวงจรในระบบที่เพิ่มขึ้นหลังจากการติดตั้ง DG เนื่องจาก DG เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจรในระบบหลังจากวงจรการจ่ายไฟแล้วจะทำให้มีกระแสลัดวงจรสนับสนุนมาจาก DG เพิ่มขึ้น โดยจะทำการพิจารณาถึงระดับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจจะเป็นไปได้เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าพิกัดการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ยังสามารถตัดตอนกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นมาได้หรือไม่ ถ้าไม่อาจจะต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงพิกัดการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อให้ระบบยังคงสามารถตัดวงจรที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบได้ในกรณีที่ไม่สามารถกำจัดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นได้ในระยะเวลาที่กำหนด

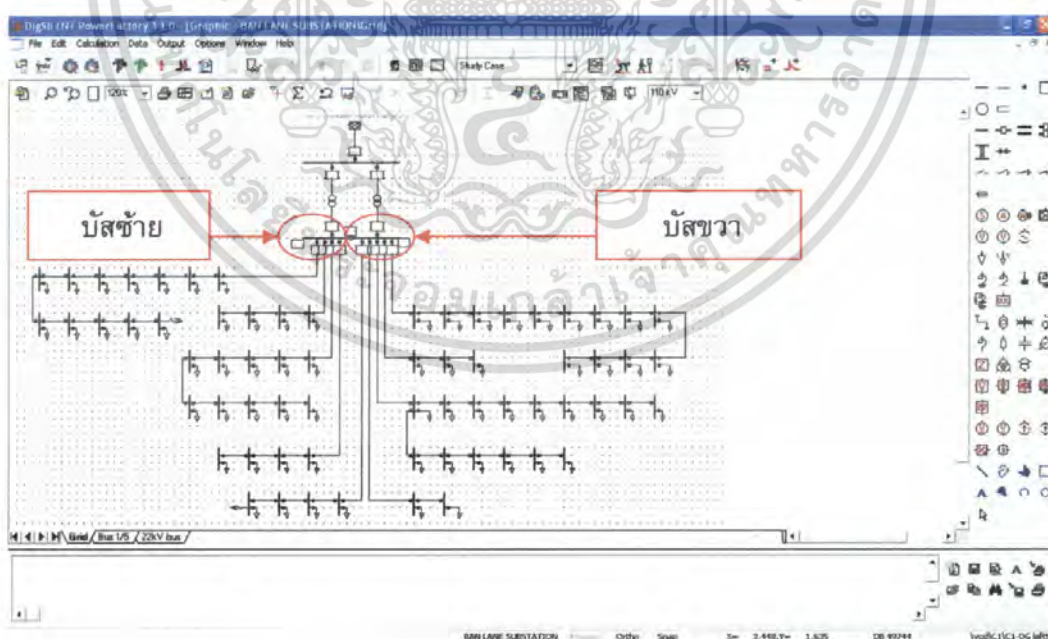
ค่ากระแสลัดวงจร ณ บัสจ่ายไฟ คือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบสามารถจ่ายได้โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันการใช้งาน โดยจะแสดงออกมาในรูปของค่ากำลังไฟฟาลัดวงจร (Short Circuit Power, MVA) โดยขนาดของค่ากำลังไฟฟาลัดวงจรสูงสุดนี้จะขึ้นอยู่กับว่าบริเวณนั้นมีการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหน มีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่อยู่ใกล้หรือไม่ ยิ่งถ้ามีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่อยู่ใกล้บริเวณที่ทำการศึกษาก็จะพบว่าค่ากำลังไฟฟาลัดวงจรจะมีค่ามาก ในการป้อนค่ากำลังไฟฟาลัดวงจรนี้จะอาศัยข้อมูลจาก Driving Point ที่จัดทำขึ้นในแต่ละปี

3.1.1.3 ผลกระทบทางด้านแรงดันเมื่อโหลดในระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงและ DG สามารถควบคุมระดับแรงดันให้มีค่าคงที่ได้หรือไม่

เป็นการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ โดยเมื่อโหลดมีค่าลดลงอาจจะทำให้ระดับแรงดันของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะทำให้ระดับอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาดได้

3.2 การสร้างระบบไฟฟ้าจำลองเพื่อใช้ในการศึกษา

ในการสร้างระบบไฟฟ้าที่เราจะนำมาใช้ในการศึกษาในโครงการนี้ เราจะสร้างระบบจำลองโดยอาศัยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง มาช่วยในการสร้างระบบจำลอง โดยเราจะนำข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พารามิเตอร์ของสายจำหน่าย พารามิเตอร์ของโหลด รวมถึงพารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้า ของพื้นที่ที่เราจะทำการศึกษา ซึ่งในโครงการนี้เราจะทำการศึกษาในบริเวณนิคมอุตสาหกรรม



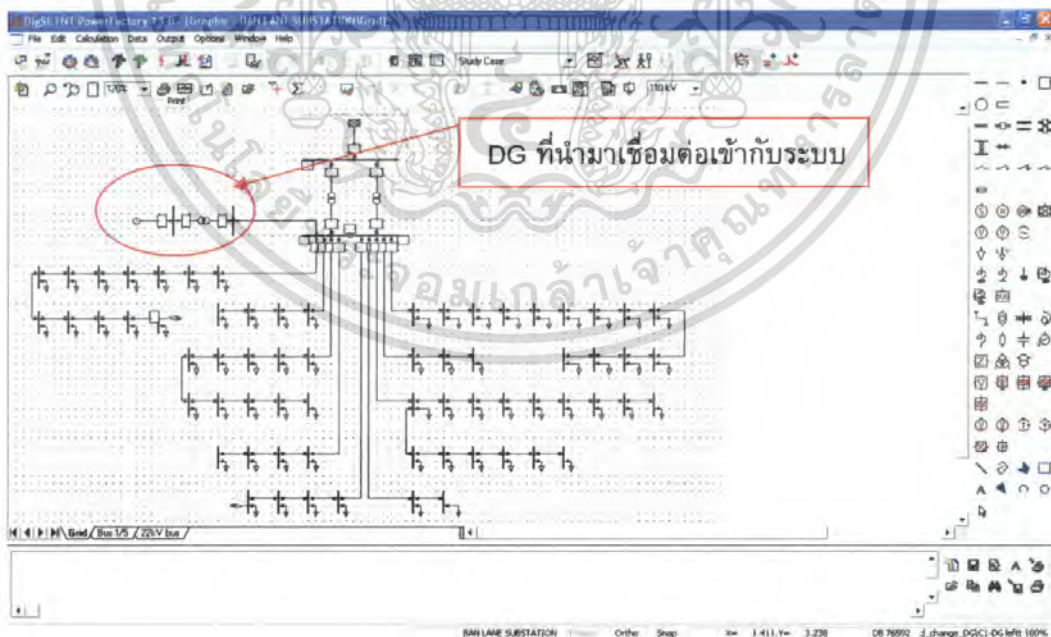
รูปที่ 3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮเทค โดยมีสถานีไฟฟ้าบ้านเลนเป็นสถานีไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับนิคมอุตสาหกรรมนี้ซึ่งระบบที่เราศึกษานี้เป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส 22 kV โดยข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ เรานำมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต1 ภาคกลางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในการศึกษาผลกระทบของ DG นี้เราจะนำ DG มาเชื่อมต่อเข้ากับระบบโดยเชื่อมต่อเข้าที่ บัสของสถานีไฟฟ้าบ้านเลน

3.2.1 คุณลักษณะและความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ DG

โดยปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาในแต่ละตัว ซึ่งจะเป็นคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การพิจารณาถึงความสามารถในการจ่ายโหลดของ DG จึงถูกพิจารณาจากกราฟคุณสมบัติการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกราฟคุณลักษณะนี้จะเรียกว่า Synchronous Operating Chart โดยในกราฟนี้จะบอกถึงความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลังต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับว่าโหลดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้นทำการจ่ายอยู่มีลักษณะของตัวประกอบกำลังในระบบเป็นเท่าใด ซึ่งกราฟนี้ก็ยังคงแสดงถึงความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเริ่มต้นจนถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายโหลดที่มีค่าอยู่นอกเหนือจากข้อจำกัดของมันแล้วก็จะอาจจะทำให้เกิดความเสียหายให้แก่เครื่องกำเนิดได้ ไม่ว่าจะเป็นการเร่งความเร็วของเครื่องกำเนิดเมื่อความถี่ของระบบมีค่าลดลงเนื่องจากโหลดในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น การที่บัสบาร์ตัวนำภายในขดลวดอยู่กับที่ ต้องรับกับการไหลของกระแสในปริมาณมากกว่าที่ออกแบบไว้ก็อาจจะทำให้เกิดการเสียหายของฉนวนจนลุกลามไปถึงการไหม้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การกำหนดระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าบัสของระบบไฟฟ้ามี 3 ชนิด คือ สวิงบัส เจเนอเรเตอร์บัส และโหลดบัส ซึ่งลักษณะการควบคุมแรงดันของบัสแต่ละชนิดก็จะมีค่าแตกต่างกันการกำหนดลักษณะการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโปรแกรมจึงจำเป็นต้องระบุด้วยว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้นทำการเชื่อมต่ออยู่กับบัสชนิดใด ถ้าเป็นสวิงบัสก็เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้นอาจจะต้องมีขนาดใหญ่มากพอที่จะรองรับกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของโหลดในระบบให้ได้ โดยการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับสวิงบัสจะต้องทำการรักษาระดับแรงดันของบัสอ้างอิงหรือบัสที่มันเกาะอยู่ให้ได้ การพิจารณาเลือกขนาดของเครื่องกำเนิดจึงมีความสำคัญเพื่อลดความเสียหายจากการจ่ายโหลดเกิน สำหรับเครื่องกำเนิดที่ต่ออยู่กับเจเนอเรเตอร์บัสจะมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายออกจากบัสรวมถึงจะต้องมีการรักษาระดับแรงดันของบัสนั้นๆให้ได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัสนี้จึงต้องสามารถที่จะจ่ายและรักษาค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนให้ได้เพื่อทำการควบคุมระดับแรงดันของบัสที่กำหนดไว้ สำหรับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลดบัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัสนี้จะทำการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของบัสโดยควบคุมการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่

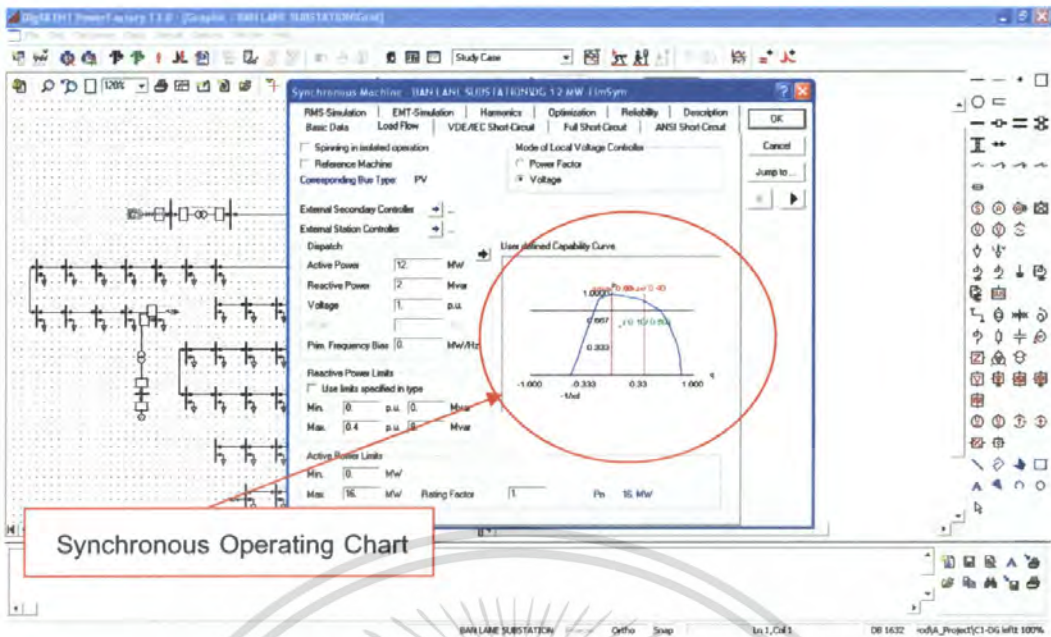
DG ที่เราใช้ในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่เราใช้ในการศึกษาในโครงการนี้เป็น DG ชนิด ซิงโครนัสเจเนอเรเตอร์ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 12 MW โดยเราจะนำ DG เข้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นโดยเราจะทำการเชื่อมต่อที่บริเวณบัสของสถานีไฟฟ้าบ้านเลน โดยเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG แล้วเราจะทำการศึกษามลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบ โดยเราจะเน้นที่จะศึกษามลกระทบ ที่เกิดขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าของระบบโดยจะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า โดยเหตุการณ์ต่างๆก็จะให้ผลที่แตกต่างกันโดยเราจะกล่าวถึงเหตุการณ์ต่างๆในหัวข้อต่อไป

3.3 การจำลองเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาในโครงการ

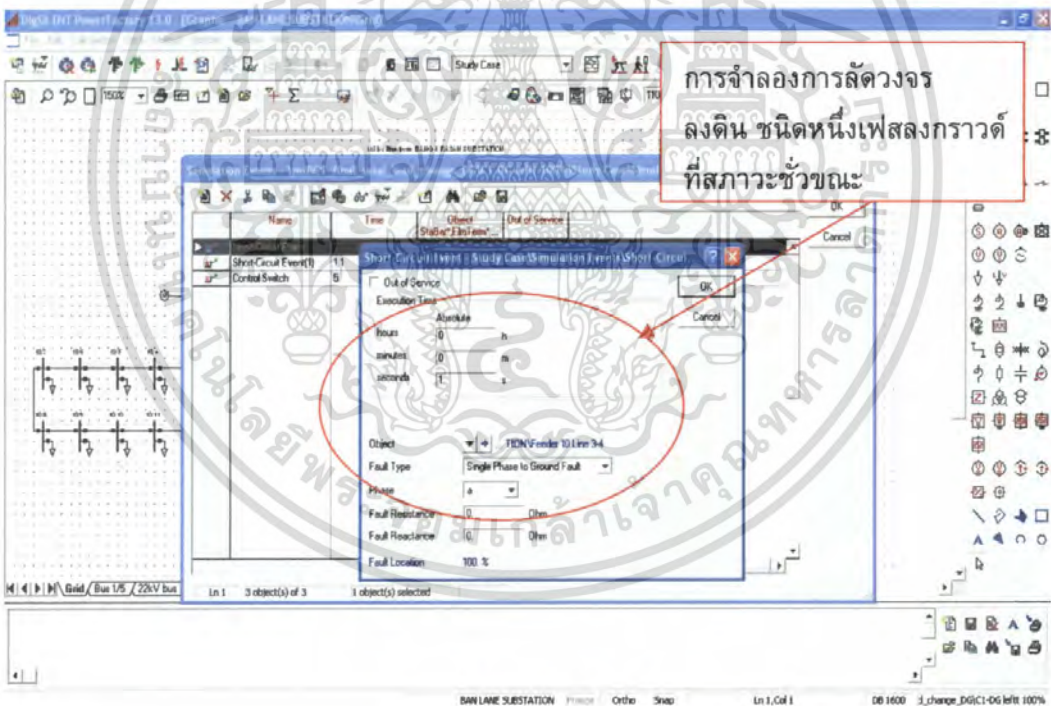
การจำลองเหตุการณ์ที่ใช้ในการศึกษาจะใช้การจำลองจากโปรแกรมโดยเหตุการณ์ที่แสดงถึงสภาวะไม่ปกติของระบบ โดยเหตุการณ์จำลองขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษานั้นเราสามารถแบ่งเป็นข้อๆได้ดังนี้

3.3.1 การศึกษามลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เมื่อเกิดการลัดวงจรในสายจำหน่ายที่สภาวะชั่วขณะ

เนื่องจากระบบจำหน่ายที่ใช้ในโครงการนี้เป็นระบบจำหน่ายเหนือดิน ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการลัดวงจรลงดินได้ ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้จำลองเหตุการณ์ให้เกิดการลัดวงจรลงดินชนิด 1 เฟสลงกราวด์ โดยจะจำลองเหตุการณ์โดยให้เกิดการลัดวงจรลงดินในสายจำหน่ายทุกๆ ระยะทาง 500 m ห่างจากสถานีไฟฟ้า โดยให้เกิดที่ ฟีดเดอร์ 2,4,5 และ ฟีดเดอร์ 10 เนื่องจากทั้งสี่ฟีดเดอร์นี้สามารถปรับสภาพการจ่ายไฟฟ้าได้ กล่าวคือ สามารถทำให้อยู่ในสภาวะ ลูปและ เรเดียลได้ เนื่องจากมีอุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่ โดยเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินในสายจำหน่ายแล้วเราจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ โดยจะเปรียบเทียบดูระหว่างก่อน



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงคุณลักษณะและความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

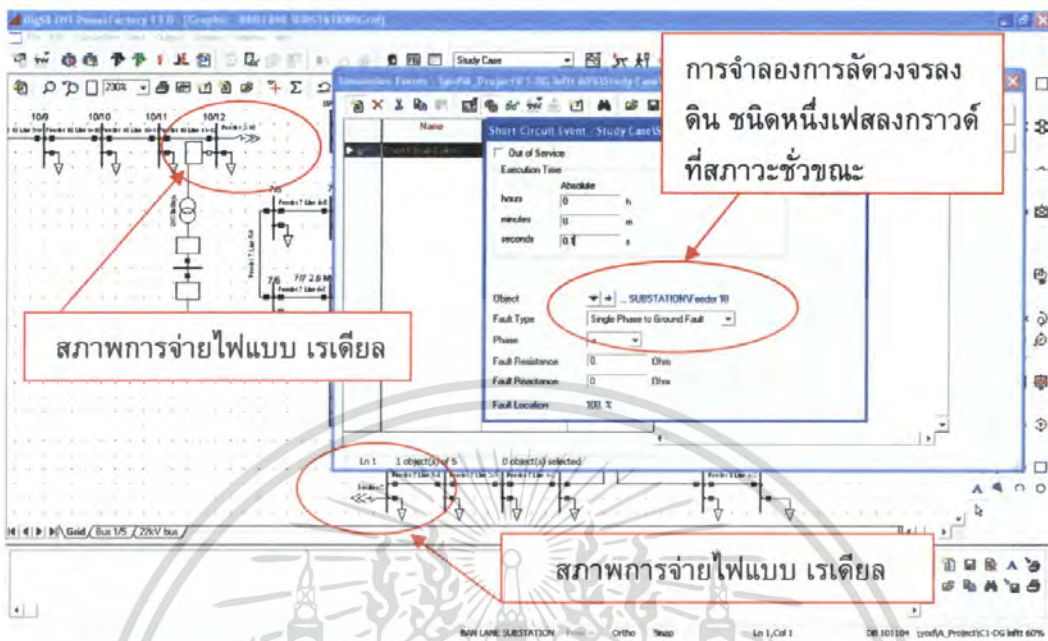


รูปที่ 3.5 การสร้างเหตุการณ์ลัดวงจรลงดินให้แก่ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา

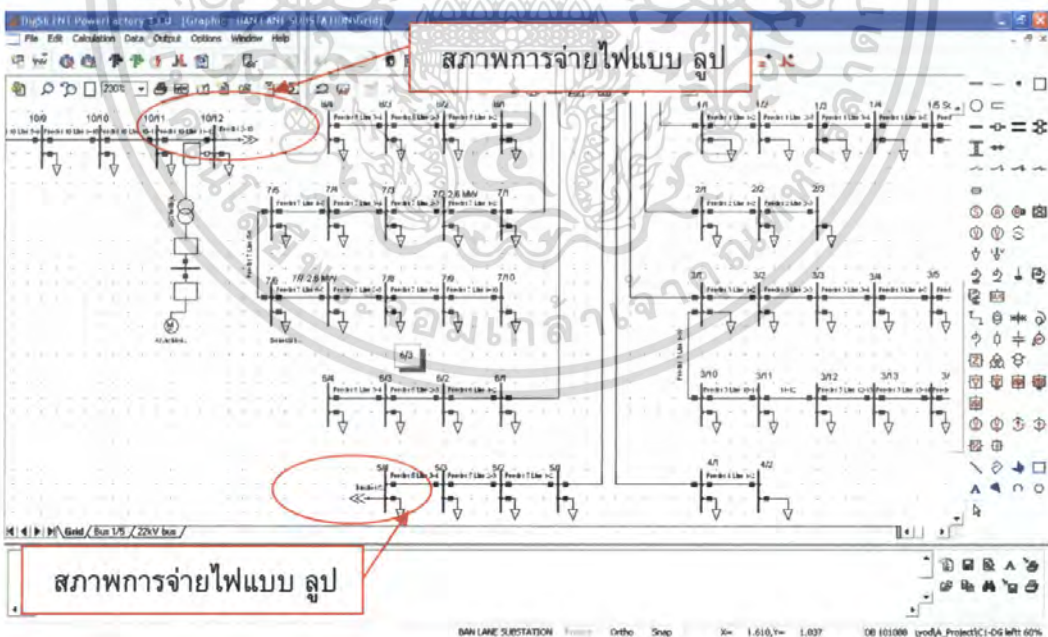
เชื่อมต่อ DG กับหลังการเชื่อมต่อ DG ว่าผลกระทบที่เกิดกับคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่เราศึกษาอยู่นั้นเป็นเช่นไร โดยเราจะเชื่อมต่อ DG ที่บริเวณบัสด้านซ้ายของสถานีไฟฟ้าบ้านเลน โดยทำการศึกษาที่สภาวะชั่วขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เมื่อเกิดการลัดวงจรในสายโดยที่สภาพการจ่ายไฟของระบบเป็นสภาวะรูปและเรเดียลที่สภาวะชั่วขณะ



รูปที่ 3.6 แสดงการสร้างเหตุการณ์ การลัดวงจรลงดิน โดยระบบมีสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียล

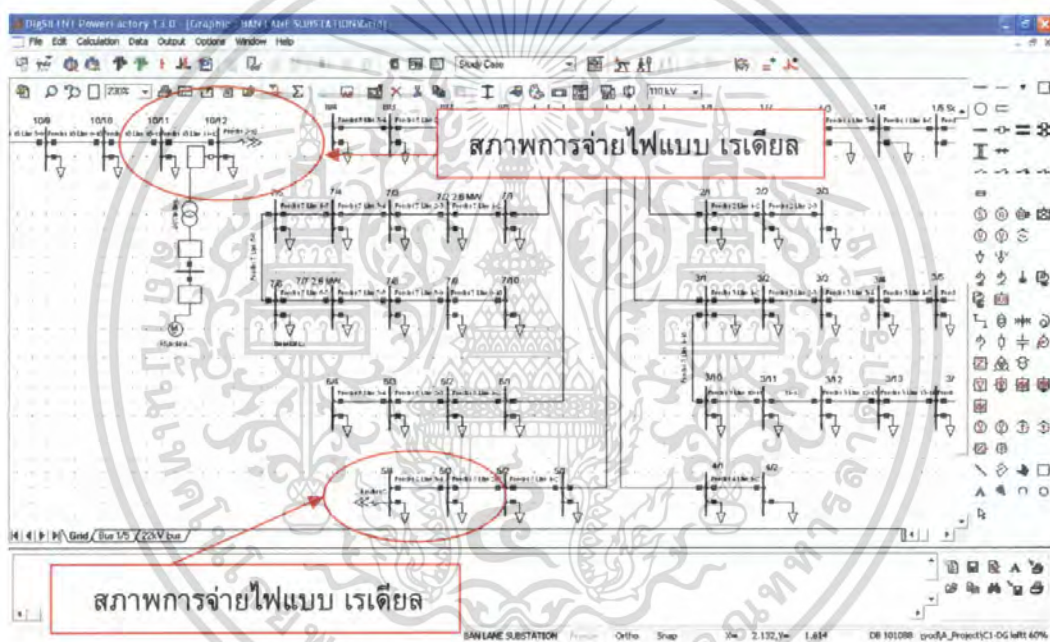


รูปที่ 3.7 แสดงการสร้างเหตุการณ์ การลัดวงจรลงดิน โดยระบบมีสภาพการจ่ายไฟแบบรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

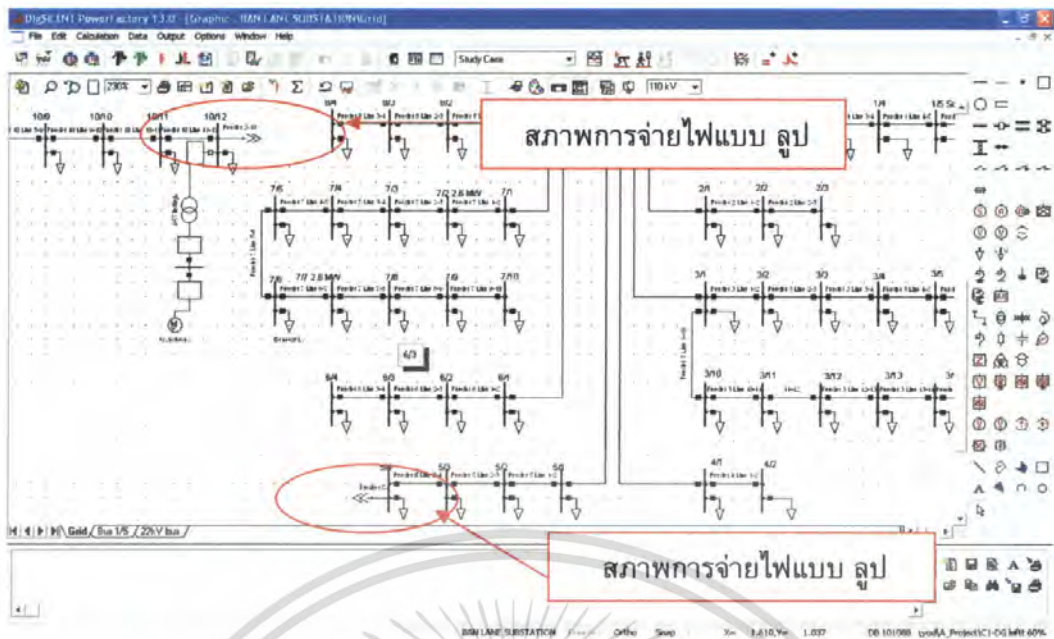
จากที่กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วว่า เราจะจำลองเหตุการณ์ให้เกิดการลัดวงจรลงดิน ชนิด 1 เฟสลงกราวด์ โดยให้เกิดในสายจำหน่ายที่ ฟีดเดอร์ 2,4,5 และ ฟีดเดอร์ 10 เนื่องจากทั้งสี่ฟีดเดอร์นี้สามารถปรับสภาพการจ่ายไฟได้ ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาผลกระทบเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินโดยทำการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างก่อนเชื่อมต่อ DG และหลังการเชื่อมต่อ DG โดยทำการเปลี่ยนสภาพการจ่ายไฟของทั้งสี่ฟีดเดอร์ กล่าวคือ ในฟีดเดอร์ที่ 2 กับ ฟีดเดอร์ 10 และ ในฟีดเดอร์ 4 กับฟีดเดอร์ 5 สามารถทำการเชื่อมต่อกันให้มีสภาพการจ่ายไฟแบบรูปได้ โดยทำการศึกษาที่สภาวะชั่วขณะ

3.3.3 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ที่สภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 3.8 สภาพการจ่ายไฟแบบ เรเดียมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



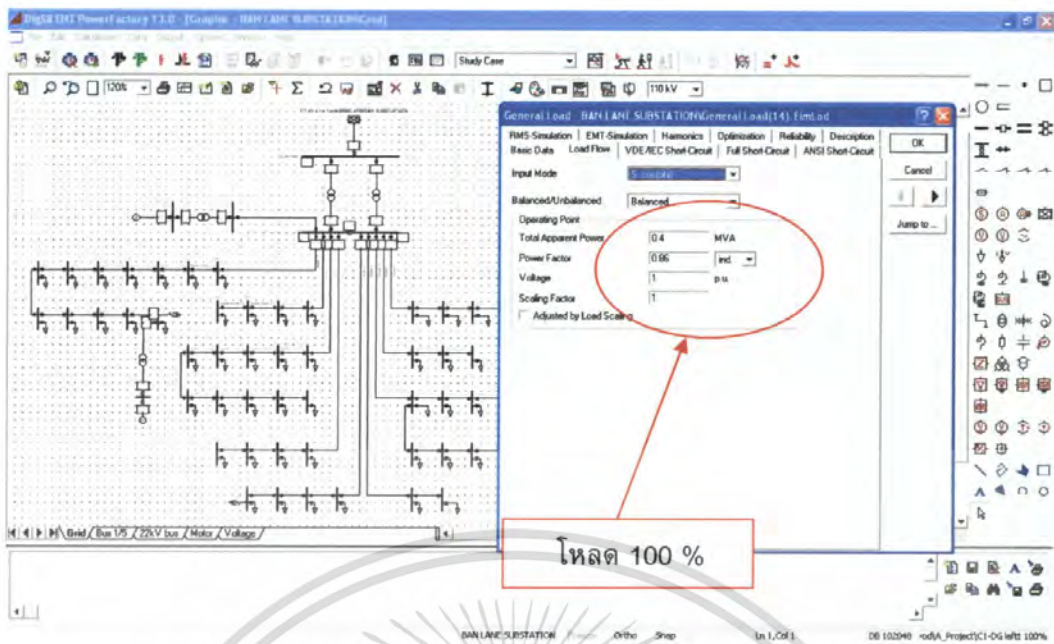
รูปที่ 3.9 สภาพการจ่ายไฟแบบ ลูป

จากที่กล่าวผ่านมาในทั้งสองหัวข้อแล้ว ว่าในฟีดเดอร์ 2,4,5 และ ฟีดเดอร์ 10 สามารถปรับสภาพการจ่ายไฟได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้เราจะทำการศึกษาผลกระทบของ DG ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยทำการเชื่อมต่อ DG เข้าที่สถานีไฟฟ้าทั้งบัสสายและบัสขวา เมื่อ มีสภาพการจ่ายไฟเป็นลูป และเรเดี่ยล โดยทำการเปรียบเทียบผลกระทบ ระหว่างก่อนเชื่อมต่อ DG และหลังการเชื่อมต่อ DG โดยเราจะทำการทดลองภายใต้สภาวะอยู่ตัว

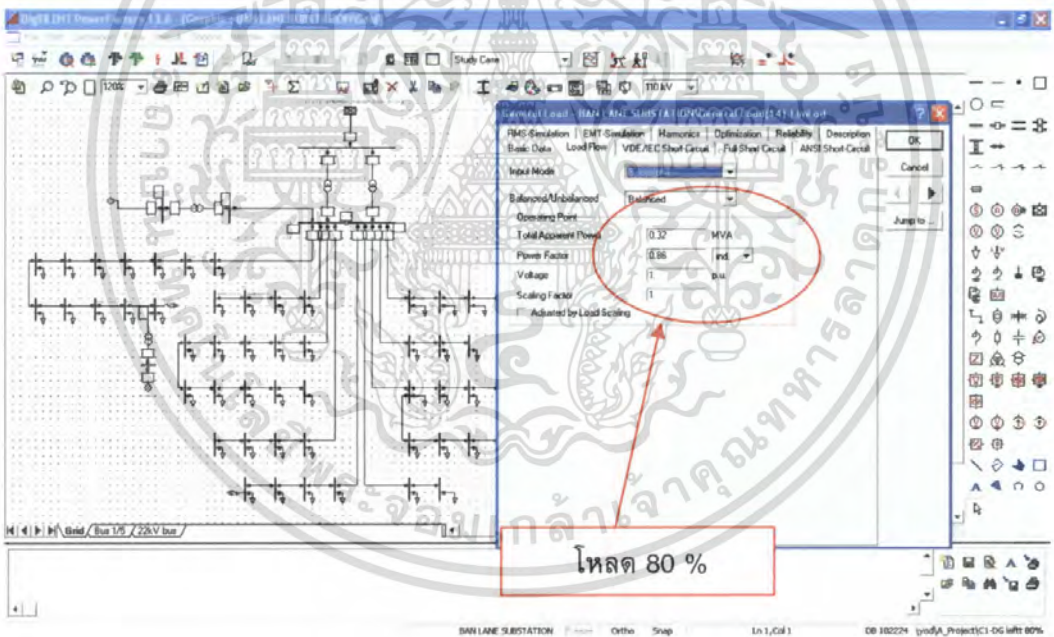
3.3.4 การศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อ DG เมื่อโหลดของระบบลดลงที่สภาวะอยู่ตัว

ในหัวข้อนี้เราจะทำการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้เงื่อนไขเมื่อมีการลดโหลดรวมของระบบไฟฟ้า โดยเราจะทำการลดขนาดของโหลด โดยลดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับโหลดรวมทั้งหมดที่มีอยู่จริง โดยเราจะทำการศึกษาผลกระทบเมื่อโหลด เป็น 100% , 80% และ 60% โดยเราจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะอยู่ตัว ว่ามีความแตกต่างกันเช่นไรโดยจะกล่าวไว้ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

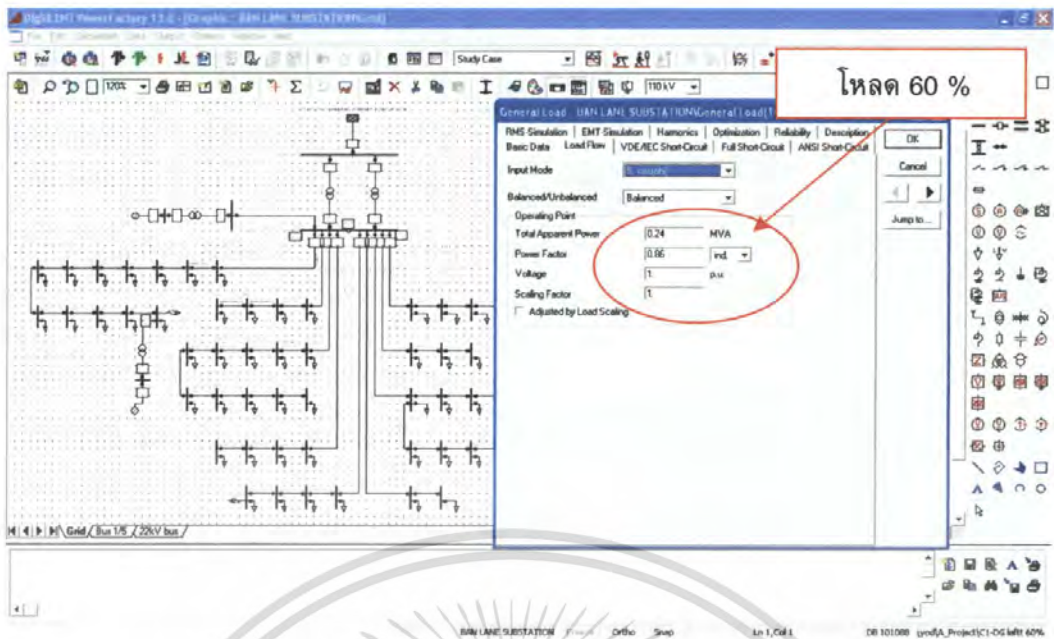


รูปที่ 3.10 ระบบมีโหลดรวมเต็มพิกัด 100%



รูปที่ 3.11 ระบบมีโหลดรวม 80% ของโหลดเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ระบบมีโหลดรวม 60% ของโหลดเต็มพิกัด

3.3.5 การศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาวะการจ่ายไฟเมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) ที่สภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 3.13 แสดงสภาวะการจ่ายไฟของ DG ในสภาวะที่ระบบแยกออกจากกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้เราจะทำการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบ เมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด (landing Operation) กล่าวคือเราจะให้ DG จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดขณะที่ระบบไฟฟ้าหลักถูกตัดออกจากระบบย่อยที่เราศึกษาโดย DG จะทำหน้าที่จ่ายไฟแต่เพียงส่วนเดียว โดยจะจ่ายให้กับโหลดที่ละฟีดเดอร์ โดยเราจะวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลกระทบของการจ่ายกำลังไฟฟ้าในแต่ละฟีดเดอร์ ภายใต้สภาวะอยู่ตัว

3.3.6 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ที่สภาวะระบบแยกออกจากกริด (landing Operation) โดยศึกษาที่สภาวะชั่วขณะ

ในหัวข้อนี้เราจะทำการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าโดยเราจะศึกษาภายใต้เงื่อนไขที่ DG ทำหน้าที่จ่ายไฟที่สภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) กล่าวคือระบบไฟฟ้าหลักจะถูกตัดออกจากระบบที่เราทำการศึกษามีแค่ DG เพียงตัวเดียวที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ซึ่งจะถูกพิจารณาการจ่ายไฟแบบแยกแต่ละฟีดเดอร์เพราะว่าการทำการปลดโหลดออกจากระบบจะถูกพิจารณาเป็นการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัสต้นทางของแต่ละฟีดเดอร์ และเนื่องจากระบบนี้เป็นระบบเรเดียลทำให้การตัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ของฟีดเดอร์ต้นทางแล้วฟีดเดอร์นั้นจะถูกปลดออกไปจากระบบทันที โดยเราจะวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยทำการศึกษาภายใต้สภาวะชั่วขณะซึ่งก็คือการจำลองการเกิดลัดวงจรชนิดต่างๆในสายส่งและดูผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมถึงการเริ่มต้นเครื่องของมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบว่าส่งผลกระทบต่อการทำงานของแรงดันในระบบอย่างไร

3.4 ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการศึกษา

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบที่ใช้ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็นโหลดของระบบ ค่าความต้านทานของสายจำหน่ายที่ใช้ในระบบ เพราะว่าค่าต่างๆเหล่านี้มีผลต่อกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น เช่นอิมพีแดนซ์ของสายส่งจะส่งผลกระทบต่อกระแสลัดวงจรเป็นต้น

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของสายเคเบิล

สาย	ชนิดสาย	ความยาว (ก.ม.)	R1 (โอห์ม)	X1 (โอห์ม)	R0 (โอห์ม)	X0 (โอห์ม)
Feeder 1	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 1 Line 1-2	185A	0.80	0.141078	0.327274	0.256870	1.311603
Feeder 1 Line 2-3	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 1 Line 3-4	185A	0.25	0.044087	0.102273	0.080272	0.409876
Feeder 1 Line 4-5	185 PIC	0.45	0.096458	0.152892	0.176337	0.699210
Feeder 1 Line 5-6	185A	0.10	0.017635	0.040909	0.032109	0.163950

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของสายเคเบิล (ต่อ)

สาย	ชนิดสาย	ความยาว (ก.ม.)	R1 (โอห์ม)	X1 (โอห์ม)	R0 (โอห์ม)	X0 (โอห์ม)
Feeder 1 Line 6-7	185A	0.08	0.014108	0.032727	0.025687	0.131160
Feeder 1 Line 7-8	185A	0.11	0.019398	0.045000	0.035320	0.180345
Feeder 1 Line 8-9	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 1 Line 9-10	185A	0.40	0.070539	0.163637	0.128435	0.655802
Feeder 1 Line 10-11	185A	0.60	0.105809	0.245455	0.192653	0.983702
Feeder 1 Line 11-12	185 PIC	0.10	0.021435	0.033976	0.039186	0.155380
Feeder 1 Line 12-13	185 PIC	0.10	0.021435	0.033976	0.039186	0.155380
Feeder 2	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 2 Line 1-2	185A	1.40	0.246887	0.572729	0.449523	2.295305
Feeder 2 Line 2-3	185 PIC	1.40	0.300090	0.475664	0.548604	2.175320
Feeder 3	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 3 Line 1-2	185A	1.40	0.246887	0.572729	0.449523	2.295305
Feeder 3 Line 1-10	185A	0.50	0.088174	0.204546	0.160544	0.819752
Feeder 3 Line 2-3	185A	0.40	0.070539	0.163637	0.128435	0.655802
Feeder 3 Line 3-4	185A	0.25	0.044087	0.102273	0.080272	0.409876
Feeder 3 Line 4-5	185A	0.12	0.021162	0.049091	0.038531	0.196741
Feeder 3 Line 5-6	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 3 Line 6-7	185A	0.08	0.014108	0.032727	0.025687	0.131160
Feeder 3 Line 7-8	185A	6.00	1.058088	2.454552	1.926528	9.837024
Feeder 3 Line 8-9	185A	0.40	0.070539	0.163637	0.128435	0.655802
Feeder 3 Line 10-11	185A	0.40	0.070539	0.163637	0.128435	0.655802
Feeder 3 Line 12-13	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 3 Line 13-14	185A	0.40	0.070539	0.163637	0.128435	0.655802
Feeder 3 Line 14-15	185A	0.10	0.017635	0.040909	0.032109	0.163950
Feeder 4	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 4 Line 1-2	185A	2.00	0.352696	0.818184	0.642176	3.279008
Feeder 5	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 5 Line 1-2	185A	0.80	0.141078	0.327274	0.256870	1.311603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของสายเคเบิล (ต่อ)

สาย	ชนิดสาย	ความยาว (ก.ม.)	R1 (โอห์ม)	X1 (โอห์ม)	R0 (โอห์ม)	X0 (โอห์ม)
Feeder 5 Line 2-3	185A	0.16	0.028216	0.065455	0.051374	0.262321
Feeder 5 Line 3-4	185A	0.80	0.141078	0.327274	0.256870	1.311603
Feeder 6	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 6 Line 1-2	185A	0.80	0.141078	0.327274	0.256870	1.311603
Feeder 6 Line 2-3	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 6 Line 3-4	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 7	185A	2.00	0.352696	0.818184	0.642176	3.279008
Feeder 7 Line 1-2	185A	0.30	0.052904	0.122728	0.096326	0.491851
Feeder 7 Line 2-3	185A	0.30	0.052904	0.122728	0.096326	0.491851
Feeder 7 Line 3-4	185A	0.08	0.014108	0.032727	0.025687	0.131160
Feeder 7 Line 4-5	185A	0.06	0.010581	0.024546	0.019265	0.098370
Feeder 7 Line 5-6	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 7 Line 6-7	185A	0.10	0.017635	0.040909	0.032109	0.163950
Feeder 7 Line 7-8	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 7 Line 8-9	185A	0.06	0.010581	0.024546	0.019265	0.098370
Feeder 7 Line 9-10	185A	0.06	0.010581	0.024546	0.019265	0.098370
Feeder 8	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 8 Line 1-2	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 8 Line 2-3	185SAC	0.16	0.033706	0.047769	0.064471	0.297260
Feeder 8 Line 3-4	185SAC	0.08	0.016853	0.023884	0.032235	0.148630
Feeder 10	185SAC	2.00	0.421320	0.597112	0.805884	3.715750
Feeder 10 Line 1-2	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 10 Line 2-3	185A	0.10	0.017635	0.040909	0.032109	0.163950
Feeder 10 Line 3-4	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 10 Line 4-5	185A	0.04	0.007054	0.016364	0.012844	0.065580
Feeder 10 Line 5-6	185A	0.16	0.028216	0.065455	0.051374	0.262321
Feeder 10 Line 6-7	185A	0.60	0.105809	0.245455	0.192653	0.983702
Feeder 10 Line 7-8	185A	0.70	0.123444	0.286364	0.224762	1.147653

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของสายเคเบิล (ต่อ)

สาย	ชนิดสาย	ความยาว (ก.ม.)	R1 (โอห์ม)	X1 (โอห์ม)	R0 (โอห์ม)	X0 (โอห์ม)
Feeder 10 Line 8-9	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Feeder 10 Line 9-10	185A	0.20	0.035270	0.081818	0.064218	0.327901
Feeder 10 Line 10-11	185A	0.10	0.017635	0.040909	0.032109	0.163950
Feeder 10 Line 11-12	185A	0.01	0.001763	0.004091	0.003211	0.016395
lin 11-12	185A	0.25	0.044087	0.102273	0.080272	0.409876
Line	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Line Motor	185A	0.01	0.001763	0.004091	0.003211	0.016395
Line(1)	185A	1.00	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504
Motor line	185 PIC	1.00	0.214350	0.339760	0.391860	1.553800

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายเคเบิล ความยาว และชนิดของสายเคเบิลซึ่งทั้งหมดนี้เป็นค่าจริงที่นำข้อมูลมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคกลาง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเราจะนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ในการสร้างระบบจำหน่ายจำลอง ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่มีอยู่จริง คือเป็นระบบจำหน่ายที่ออกมาจากสถานีไฟฟ้าบ้านเลน ซึ่งสถานีไฟฟ้านี้จะทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับนิคมอุตสาหกรรม ไฮเทค อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ตารางที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของโหลด

โหลด	เทอมินอล	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้าเสมือน	กำลังไฟฟ้าปรากฏ
General Load	4/1	0.097	0.0243	0.10
General Load(1)	2/3	1.860	0.7351	2.00
General Load(10)	8/1	4.500	2.1795	5.00
General Load(11)	8/2	1.620	0.7846	1.80
General Load(12)	8/3	1.350	0.6538	1.50
General Load(13)	8/4	1.125	0.5449	1.25
General Load(14)	10/1	0.344	0.2041	0.40
General Load(15)	7/1	0.273	0.1244	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของโหลด (ต่อ)

โหลด	เทอมินอล	กำลังไฟฟ้า จริง	กำลังไฟฟ้า เสมือน	กำลังไฟฟ้า ปรากฏ
General Load(16)	7/2	2.002	0.9121	2.20
General Load(17)	7/3	0.728	0.3317	0.80
General Load(18)	7/4	0.728	0.3317	0.80
General Load(19)	7/5	0.364	0.1658	0.40
General Load(2)	4/2	7.040	3.7998	8.00
General Load(20)	7/10	0.182	0.0829	0.20
General Load(21)	7/9	0.692	0.3151	0.76
General Load(22)	7/8	0.910	0.4146	1.00
General Load(23)	7/7	2.366	1.0780	2.60
General Load(24)	7/6	0.910	0.4146	1.00
General Load(25)	10/2	0.688	0.4082	0.80
General Load(26)	10/3	1.376	0.8165	1.60
General Load(27)	10/4	0.516	0.3062	0.60
General Load(28)	5/1	1.507	0.5954	1.62
General Load(29)	10/5	0.688	0.4082	0.80
General Load(3)	5/2	1.395	0.5513	1.50
General Load(30)	3/1	1.116	0.4411	1.20
General Load(31)	3/2	0.047	0.0184	0.05
General Load(32)	3/3	0.028	0.0110	0.03
General Load(33)	3/4	0.260	0.1029	0.28
General Load(34)	3/5	0.093	0.0368	0.10
General Load(35)	3/6	0.140	0.0551	0.15
General Load(36)	3/7	0.065	0.0257	0.07
General Load(37)	3/8	0.093	0.0368	0.10
General Load(38)	3/10	0.605	0.2389	0.65
General Load(39)	3/11	0.326	0.1286	0.35
General Load(4)	5/3	0.930	0.3676	1.00
General Load(40)	3/12	0.744	0.2940	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของโหลด (ต่อ)

โหลด	เทอมินอล	กำลังไฟฟ้า จริง	กำลังไฟฟ้า เสมือน	กำลังไฟฟ้า ปรากฏ
General Load(41)	3/13	1.116	0.4411	1.20
General Load(42)	3/15	0.465	0.1838	0.50
General Load(43)	2/2	0.014	0.0042	0.02
General Load(44)	3/14	0.279	0.1103	0.30
General Load(45)	3/9	0.093	0.0368	0.10
General Load(46)	2/1	0.014	0.0042	0.02
General Load(47)	1/1	0.014	0.0059	0.02
General Load(48)	1/2	0.074	0.0314	0.08
General Load(49)	1/3	0.322	0.1372	0.35
General Load(5)	5/4	1.395	0.5513	1.50
General Load(50)	1/4	0.064	0.0274	0.07
General Load(51)	1/5	2.024	0.8622	2.20
General Load(52)	1/6	0.138	0.0588	0.15
General Load(53)	1/7	0.138	0.0588	0.15
General Load(54)	1/8	0.644	0.2743	0.70
General Load(59)	1/13	1.656	0.7055	1.80
General Load(6)	6/1	1.880	0.6823	2.00
General Load(60)	1/12	0.460	0.1960	0.50
General Load(61)	1/9	0.138	0.0588	0.15
General Load(62)	1/11	0.276	0.1176	0.30
General Load(64)	10/6	0.344	0.2041	0.40
General Load(65)	10/7	1.032	0.6124	1.20
General Load(66)	10/8	0.430	0.2551	0.50
General Load(67)	10/9	1.462	0.8675	1.70
General Load(68)	10/10	0.138	0.0816	0.16
General Load(69)	10/11	1.462	0.8675	1.70
General Load(7)	6/2	1.880	0.6823	2.00
General Load(70)	10/12	0.860	0.5103	1.00
General Load(8)	6/3	1.880	0.6823	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของโหลด (ต่อ)

โหลด	เทอมินอล	กำลังไฟฟ้า จริง	กำลังไฟฟ้า เสมือน	กำลังไฟฟ้า ปรากฏ
General Load(9)	6/4	1.880	0.6823	2.00
General load	1/10	0.690	0.2939	0.75

พารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญของโหลดเป็นค่าพารามิเตอร์จริงของโรงงานต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค เราจะนำข้อมูลนี้มาสร้างระบบไฟฟ้าจำลอง เพื่อใช้ศึกษาผลกระทบของ DG เมื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจำลองที่เราสร้างขึ้น โดยจะเชื่อมต่อเข้ากับบัสของสถานีไฟฟ้าบ้านเลน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อ DG เมื่อโหลดของระบบลดลง ที่สภาวะ อยู่ตัว

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ในขณะที่โหลดลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์
ต่างๆ

แรงดัน บัส	โหลด 60 %		โหลด 80 %		โหลด 100 %	
	ติด DG	ไม่ติด DG	ติด DG	ไม่ติด DG	ติด DG	ไม่ติด DG
ขวา	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99
ซ้าย	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
1/1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
2/1	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99
3/1	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99
4/1	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
5/1	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
6/1	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
7/1	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97
8/1	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97
10/1	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97

จากการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบที่สภาวะอยู่ตัว โดยทำการลดโหลดของระบบลง โดยทำการศึกษาที่โหลดเท่ากับ 100%, 80% และ 60% พบว่า เมื่อทำการลดโหลดลงเท่าใดก็ตาม เมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าไปกับระบบ แรงดันทุกๆบัสของระบบจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ โดย DG จะไม่ส่งผลกระทบใดๆต่อระบบ เนื่องจาก DG มีตัว AVR จึงสามารถควบคุมแรงดันของระบบได้

4.2 ผลการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาวะการจ่ายไฟเมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) ที่สภาวะอยู่ตัว

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ภายใต้สภาพการจ่ายไฟเมื่อระบบแยกออกจากกริด (Islanding Operation) ของ DG โดยศึกษาที่สภาวะอยู่ตัว

ฟีดเดอร์	ฝั่ง	โหลด		%	ติดตั้ง DG ที่	ติดตั้ง DG ที่	ผลต่างของแรงดัน
		(MW)	(Mvar)		บัสซ้าย	บัสขวา	
				Load	แรงดัน	แรงดัน	PU
2	ขวา	1.888	0.744	3.120	0.998	0.999	0.001
5		5.230	2.065	8.640	0.995	0.996	0.001
3		5.468	2.161	9.036	0.995	0.996	0.001
1		5.860	2.820	9.680	0.993	0.995	0.002
4		7.137	3.824	11.795	0.991	0.993	0.002
6	ซ้าย	7.520	2.730	12.420	0.992	0.978	0.014
8		8.595	4.167	14.200	0.989	0.968	0.021
10		9.340	5.542	15.436	0.986	0.956	0.030
7		9.470	4.170	15.650	0.989	0.967	0.022

จากการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบ ภายใต้สภาวะที่ระบบแยกออกจากกริดที่สภาวะอยู่ตัว โดยเราจะให้ DG ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับระบบที่ละฟีดเดอร์ และทำการวัดแรงดันที่บัสต้นทางของฟีดเดอร์นั้นๆ พบว่าไม่ว่าเราจะให้ DG จ่ายไฟให้กับระบบ โดยที่ระบบแยกออกจากกริด ในทุกๆ ฟีดเดอร์นั้น แรงดันที่เราวัดได้ที่บัสต้นทางจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจาก DG มี AVR ซึ่งตัว AVR นี้จะทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงดันของระบบได้ และเมื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละฟีดเดอร์พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าที่บัสขวาของสถานีฟีดเดอร์ที่อยู่ทางด้านขวาจะมีแรงดันสูงกว่ากรณีที่เชื่อมต่อ DG เข้าทางด้านซ้ายของสถานีเช่นเดียวกันกับเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าทางด้านซ้ายของสถานี ฟีดเดอร์ที่อยู่ทางด้านซ้าย ก็จะมีแรงดันที่สูงกว่ากรณีที่ทำการเชื่อมต่อ DG ทางด้านขวานั้นก็หมายความว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าที่ด้านใดของสถานีฟีดเดอร์ด้านนั้นๆ ก็จะมีค่าแรงดันสูงสุดนั่นเอง

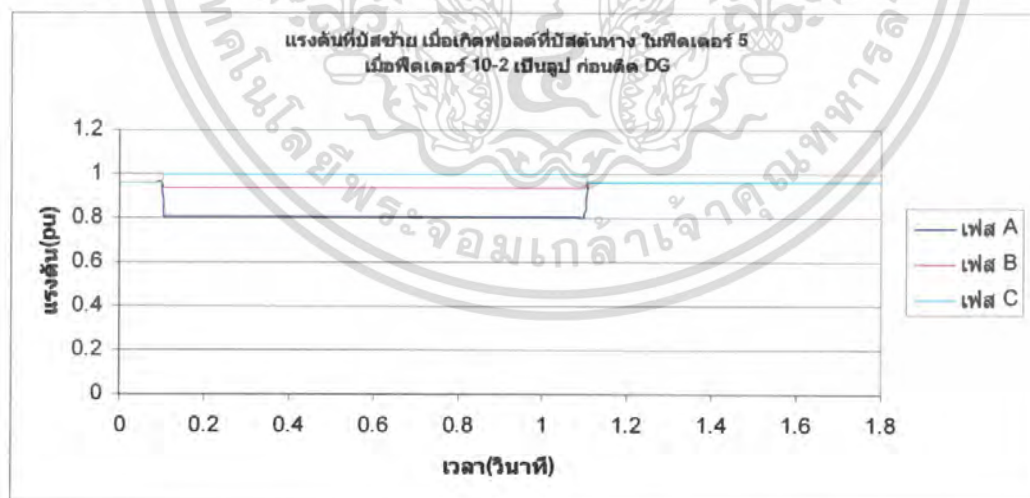
4.3 ผลการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG ที่สภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะอยู่ตัว

ตารางที่ 4.3 ตารางการเปรียบเทียบแรงดันที่สภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่าง ๆ เมื่อเชื่อมต่อ DG เข้าที่สถานีไฟฟ้า ภายใต้สภาวะอยู่ตัว

สภาพการจ่ายไฟ	ติด DG ที่บัสซ้าย		ติด DG ที่บัสขวา	
	บัสซ้าย	บัสขวา	บัสซ้าย	บัสขวา
เรเดียลทั้งหมด	0.990	0.995	0.978	0.997
เรเดียล ฟีดเดอร์ 5 , ลูปรีดเดอร์ 10	0.991	0.994	0.983	0.996
เรเดียล ฟีดเดอร์ 10 , ลูปรีดเดอร์ 5	0.990	0.995	0.978	0.997
ลูปรีดเดอร์ 5 และ 10	0.991	0.994	0.983	0.996

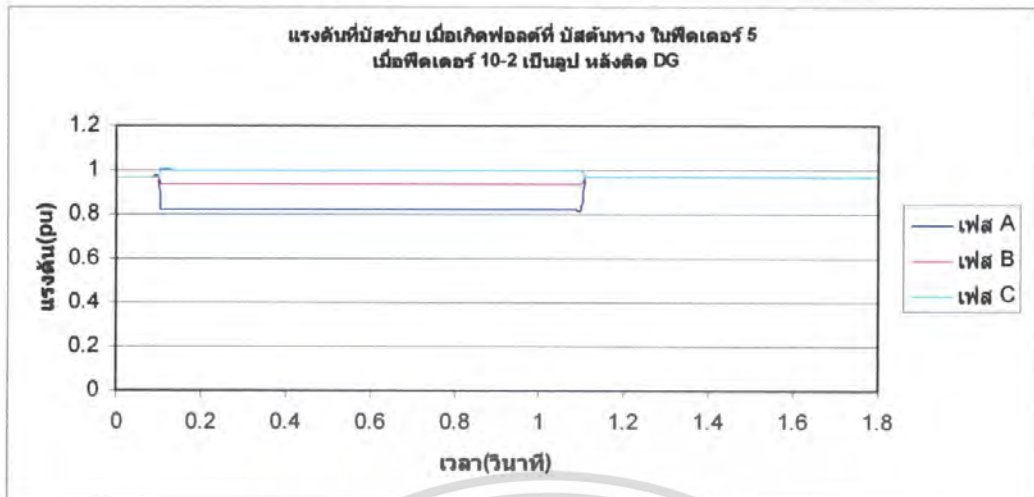
ในการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบ เมื่อทำการปรับสภาพการจ่ายไฟของระบบแบบต่าง ๆ นั้นพบว่า ไม่ว่าเราทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบที่บัสใด ๆ เมื่อมีสภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบต่าง ๆ แรงดันของระบบจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจาก AVR ของ DG สามารถรักษาระดับแรงดันของระบบได้

4.4 ผลการศึกษาการเกิดลัดวงจรลงดินชนิด 1 เฟส ลงกราวด์ ในสายจำหน่ายฟีดเดอร์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.1 แรงดันที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่บัสต้นทางเมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปรีดเดอร์ก่อนการติดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

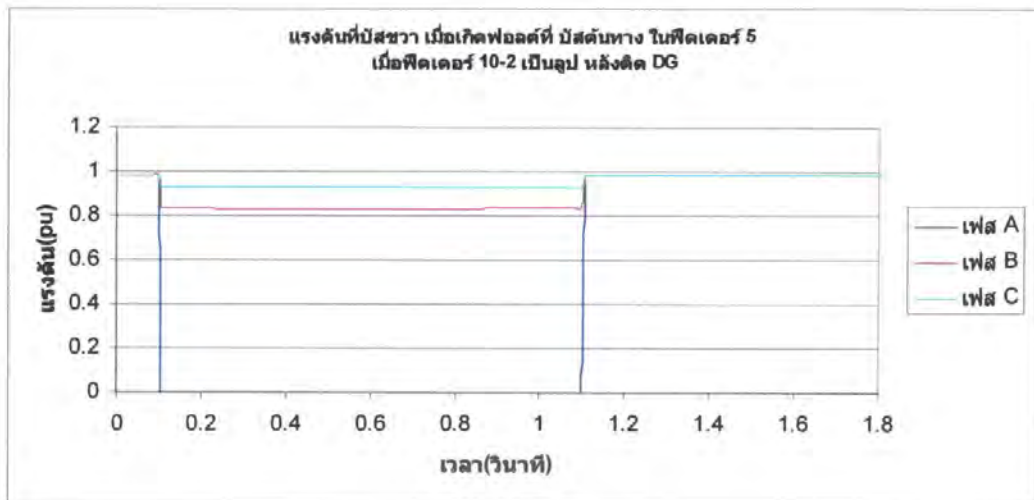


รูปที่ 4.2 แรงดันที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่บัสต้นทางเมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG



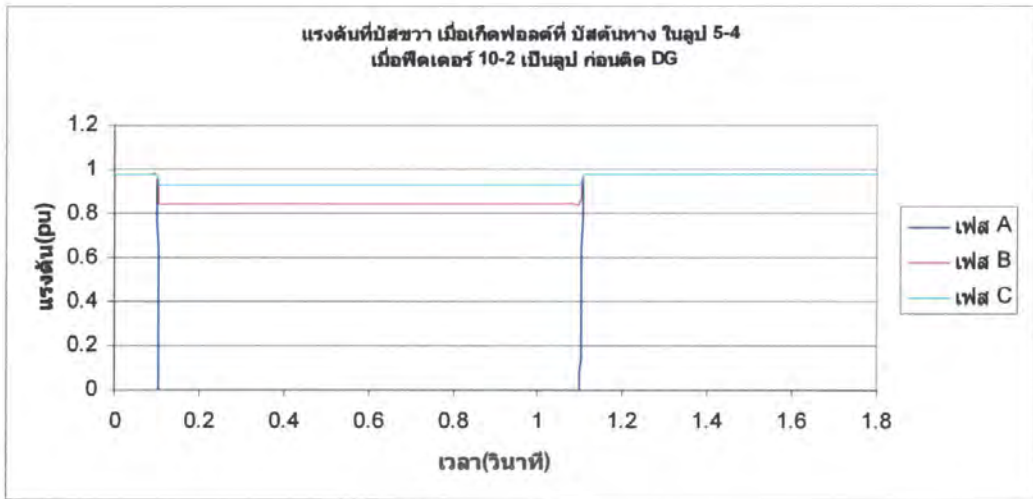
รูปที่ 4.3 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่บัสต้นทางเมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

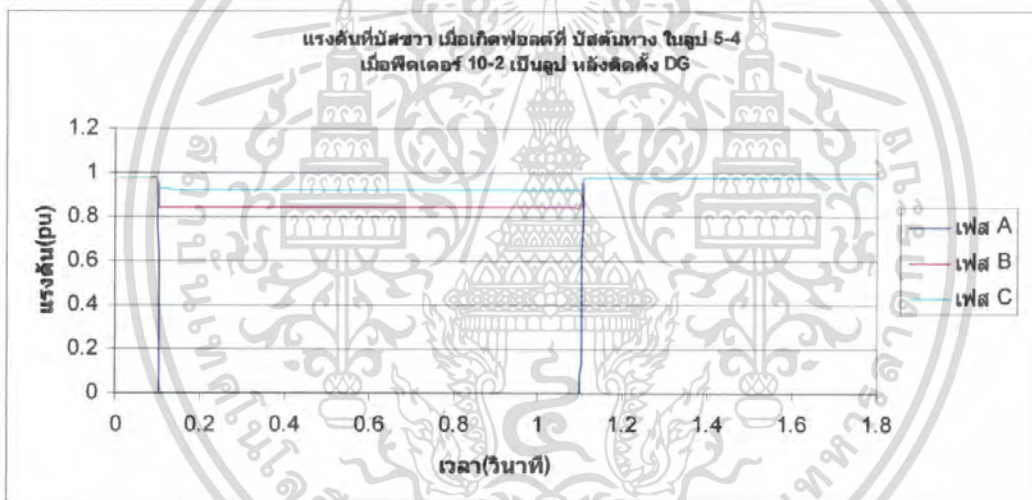


รูปที่ 4.4 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่บัสต้นทางเมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG

เมื่อพิจารณา รูปกราฟแรงดันตั้งแต่รูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการเกิดลัดวงจรลงดินในสายฟีดเดอร์ที่ 5 ณ บริเวณบัสเริ่มต้น โดยเกิดในเฟส A พบว่าที่เวลา 0.1 วินาทีได้เกิดการลัดวงจรลงดิน ชนิด 1 เฟสลงกราวด์ โดยระบบสามารถเคลียร์ฟอลต์ได้ในระยะเวลา 1.1 วินาที เมื่อสังเกตที่เวลา 0.1 วินาที แรงดันที่วัดได้ทั้งทางด้านบัสซ้าย และบัสขวาของทางสถานีนั้นจะมีค่าตกลง จากค่าแรงดันเริ่มต้น โดยที่แรงดันที่เฟส A จะมีขนาดตกลงมากกว่าเฟสอื่นๆ เนื่องจากเฟส A เป็นเฟสที่เกิดกระแสลัดวงจรลงดิน และเมื่อสังเกตในบัสขวาของสถานีไฟฟ้านั้นพบว่าในเฟส A แรงดันที่วัดได้จะตกลงมาที่ระดับ 0.0 pu เลยเนื่องมาจากการลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นนั้น เกิดที่เฟส A ลงกราวด์ และ สายฟีดเดอร์ที่ 5 นั้นเชื่อมต่ออยู่ทางด้านขวาของทางสถานีไฟฟ้า จึงทำให้แรงดันที่วัดได้มีขนาดตกลงมาที่ 0.0 pu โดยที่แรงดันของระบบจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้ที่ระยะเวลา 1.1 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไม่มีกระแสลัดวงจรหลงเหลืออยู่ในระบบแล้ว

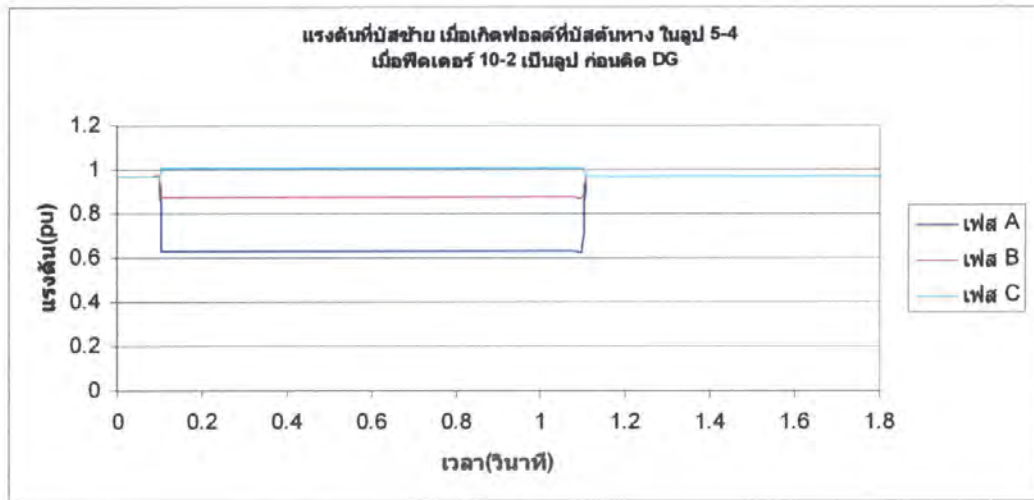


รูปที่ 4.5 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG

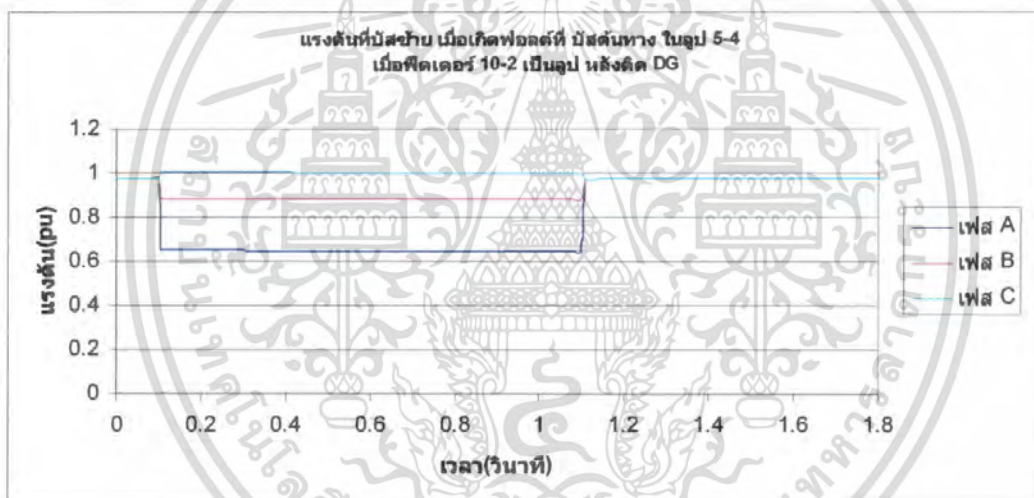


รูปที่ 4.6 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แรงดันที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟิดเตอร์ 5 และ 4 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟิดเตอร์ 10 และฟิดเตอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG

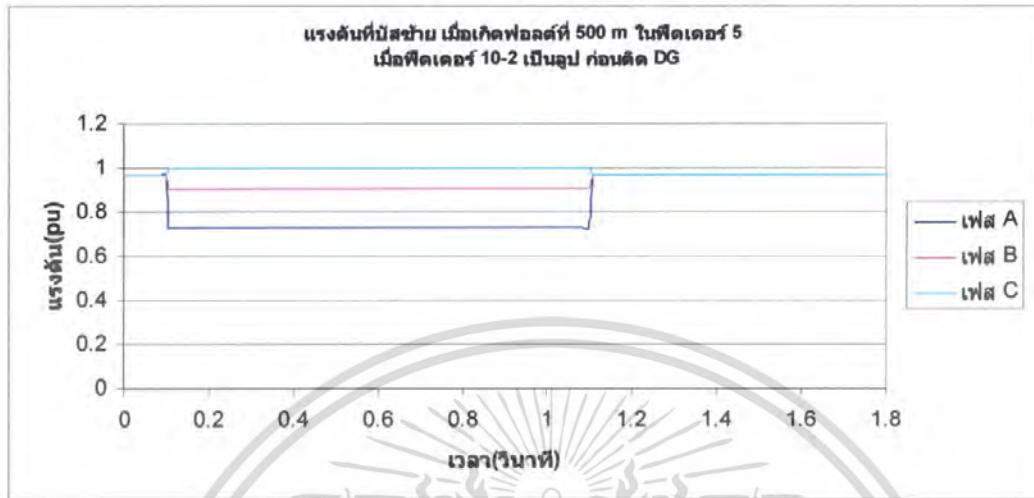


รูปที่ 4.8 แรงดันที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟิดเตอร์ 5 และ 4 ที่บัสต้นทาง เมื่อฟิดเตอร์ 10 และฟิดเตอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG

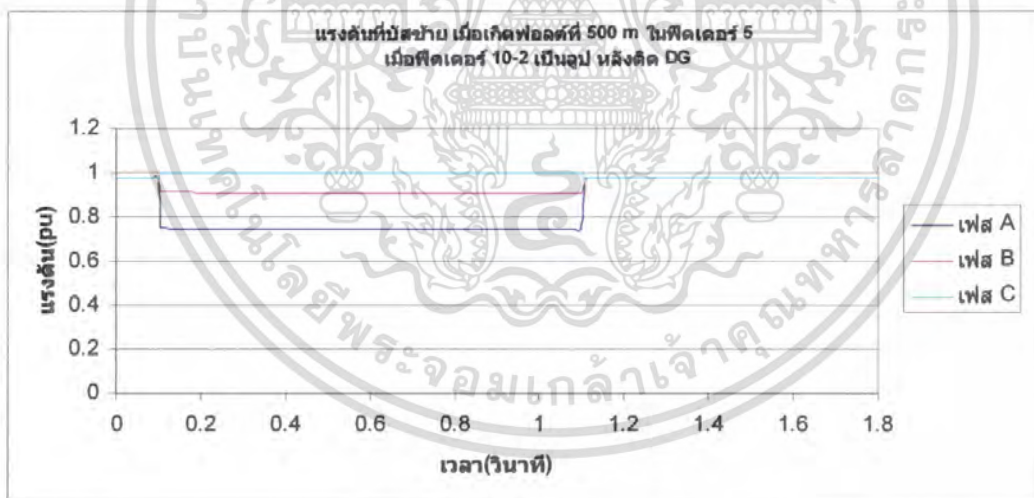
เมื่อพิจารณา รูปกราฟแรงดันที่วัดได้ตั้งแต่รูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการเกิดลัดวงจรลงดินในสายฟิดเตอร์ที่ 5 และฟิดเตอร์ที่ 4 ซึ่งเชื่อมต่อกันอยู่ในลักษณะสภาพการจ่ายไฟเป็นรูป พบว่าที่เวลา 0.1 วินาทีได้เกิดการลัดวงจรลงดิน ชนิด หนึ่งเฟสลงกราวด์ โดยเกิดที่เฟส A และระบบสามารถเคลียร์ฟอลต์ได้ในระยะเวลา 1.1 วินาที เมื่อสังเกตที่เวลา 0.1 วินาที แรงดันที่วัดได้ทั้งทางด้านบัสซ้าย และบัสขวาของทางสถานีนั้นจะมีค่าตกลง จากค่าแรงดันเริ่มต้น โดยในบัสขวาของสถานีไฟฟ้านั้นพบว่าในเฟส A แรงดันที่วัดได้จะตกลงมาที่ระดับ 0.0 pu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากการลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นนั้น เกิดที่เฟส A ลงกราวด์ ณ บริเวณบัสเริ่มต้น โดยที่แรงดันของระบบจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้ที่ระยะเวลา 1.1 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไม่มีกระแสลัดวงจรหลงเหลืออยู่ในระบบแล้ว

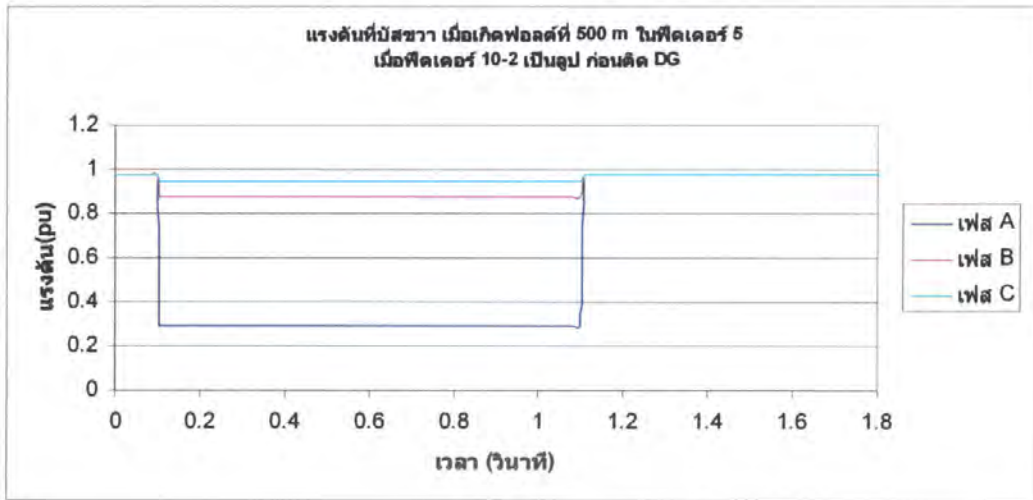


รูปที่ 4.9 แรงดันที่บัสข้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG

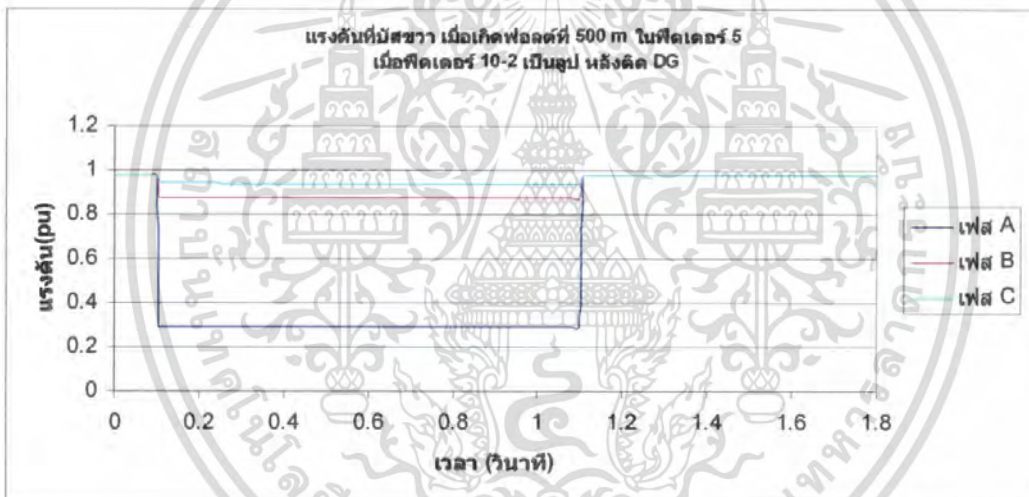


รูปที่ 4.10 แรงดันที่บัสข้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการตัดตั้ง DG

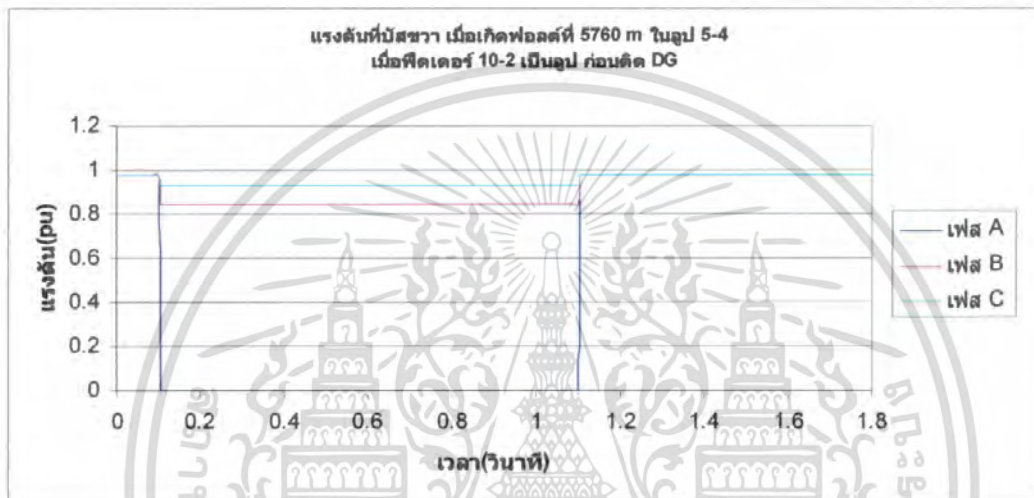


รูปที่ 4.12 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ 5 ที่ระยะ 500 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการตัดตั้ง DG

เมื่อพิจารณารูปคลื่นแรงดันที่วัดได้ ตั้งแต่รูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นการเกิดการลัดวงจรลงดิน ชนิดหนึ่งเฟสลงกราวด์โดยเกิดที่สายฟีดเดอร์ที่ 5 ที่ระยะ 500 m ห่างจากสถานีไฟฟ้า พบว่า จะเกิดการลัดวงจรลงดินที่ระยะเวลา 0.1 วินาที โดยระบบสามารถ เคลียร์ฟอลต์ได้ในระยะเวลา 1.1 วินาที เมื่อสังเกตขนาดของแรงดันที่ระยะเวลา 0.1 วินาที จะเห็นว่าขนาดของแรงดันที่วัดได้จะมีค่าตกลง จากค่าแรงดันเริ่มต้น โดยพบว่าแรงดันที่เฟส A จะมีขนาดตกลง

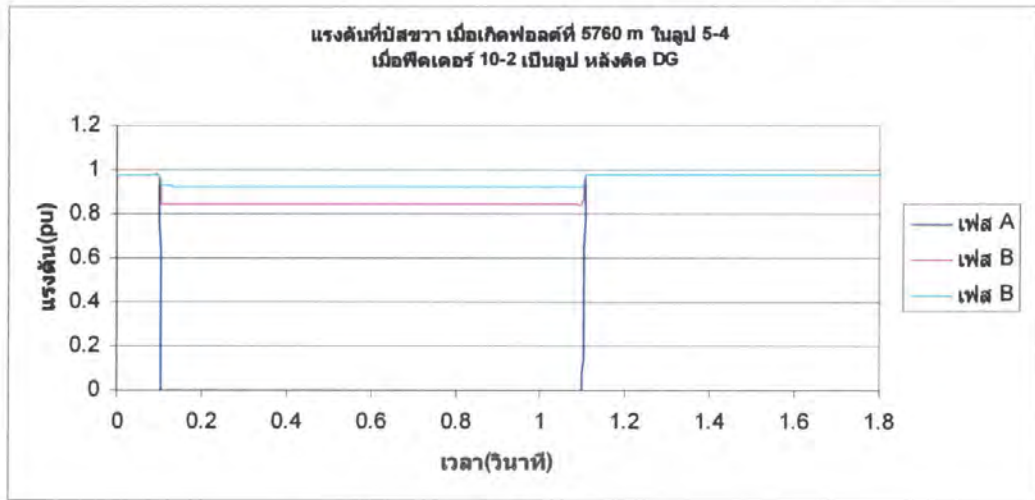
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าแรงดันเฟสอื่น เนื่องจากเกิดลัดวงจรที่เฟส A และเมื่อลองเปรียบเทียบแรงดันที่วัดได้ที่ บัสซ้ายและขวาของสถานีไฟฟ้า พบว่าขนาดแรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้ามีค่าตกลงมากกว่า บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้า เนื่องมาจากสายพิดเตอร์ 5 เชื่อมต่ออยู่ทางด้านขวาของสถานีไฟฟ้า แต่เมื่อลองมาเปรียบเทียบกับ ในกรณีที่เกิดลัดวงจร ในสายจำหน่าย พิดเตอร์ที่ 5 ณ บัสเริ่มต้น พบว่าค่าแรงดันจะไม่ตกมาเป็น 0.0 pu เพราะมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้นนั่นเอง และแรงดันของระบบในทุกๆ เฟสจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติที่ระยะเวลา 1.1 วินาทีซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไม่มีกระแสลัดวงจรอยู่ในระบบแล้ว

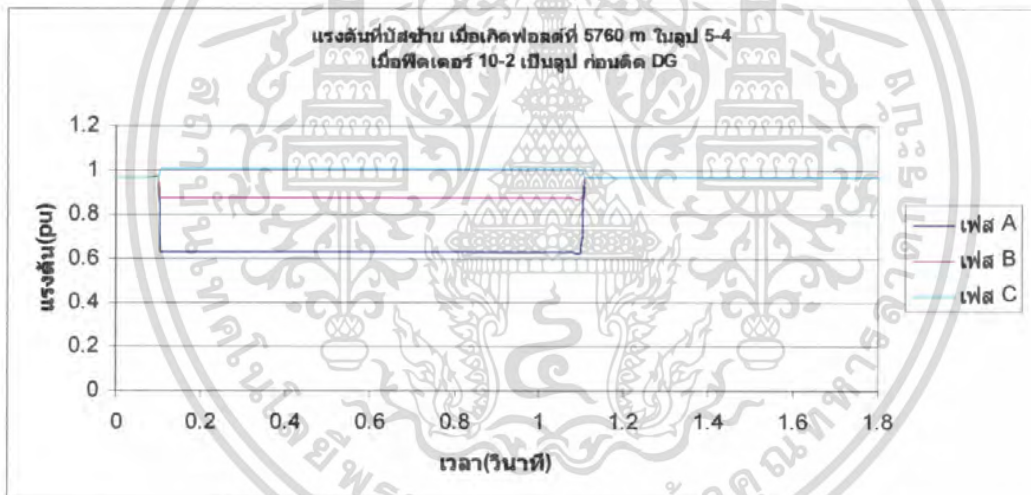


รูปที่ 4.13 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปพิดเตอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อพิดเตอร์ 10 และพิดเตอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปก่อนการติดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

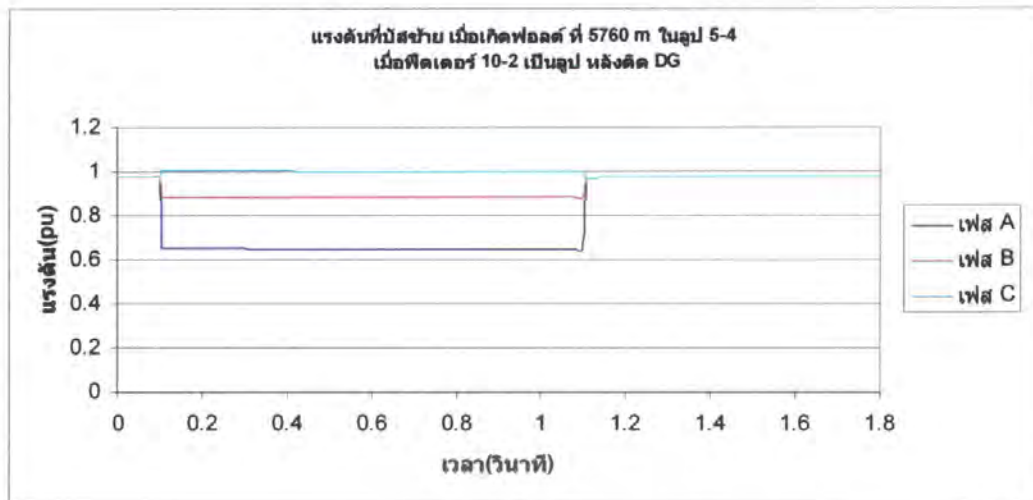


รูปที่ 4.14 แรงดันที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปหลังการตัดตั้ง DG



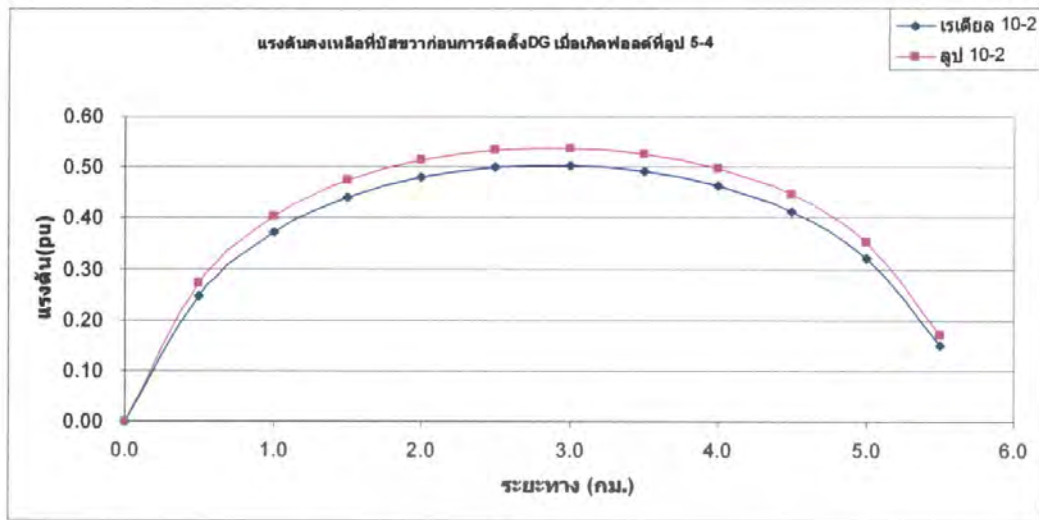
รูปที่ 4.15 แรงดันที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในลูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นลูปก่อนการตัดตั้ง DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

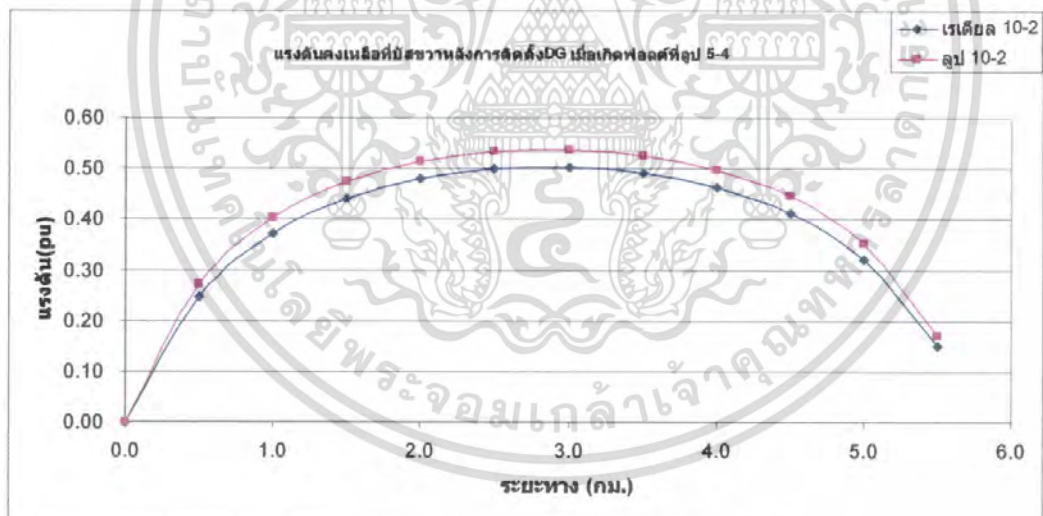


รูปที่ 4.16 แรงดันที่บัสข้ายของสถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ในรูปฟีดเดอร์ 5 และ 4 ที่ระยะ 5760 m เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 มีสภาพเป็นรูปหลังการติดตั้ง DG

เมื่อสังเกตรูปกราฟแรงดันตั้งแต่รูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็นการเกิดการลัดวงจรลงดินชนิดหนึ่งเฟสลงกราวด์ โดยเกิดที่สายฟีดเดอร์ 5 กับฟีดเดอร์ 4 ซึ่งต่อกันอยู่ในสภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบรูป โดยเกิดในตำแหน่ง 5760 m ห่างจากสถานีไฟฟ้า และเป็นตำแหน่งที่อยู่ในสายฟีดเดอร์ที่ 4 บริเวณบัสเริ่มต้นพอดี้ โดยเกิดการลัดวงจรลงดินที่ระยะเวลา 0.1 วินาที และระบบสามารถเคลียร์ฟอลต์ได้ในระยะเวลา 1.1 วินาที พบว่าที่ระยะเวลา 0.1 วินาที แรงดันที่วัดได้ที่บัสข้ายและขวาของสถานีไฟฟ้านั้น จะมีขนาดตกลงจากสภาวะปกติ และแรงดันในเฟส A จะมีขนาดลดลงมากกว่าแรงดันที่เฟสอื่นๆ เนื่องจาก เฟส A เป็นเฟสที่เกิดการลัดวงจรลงดิน และเมื่อเปรียบเทียบแรงดันที่บัสข้ายและบัสขวาของสถานีไฟฟ้าพบว่า ขนาดแรงดันที่บัสด้านขวาของสถานีไฟฟ้าจะมีขนาดลดลงมากกว่าแรงดันที่บัสด้านข้ายของสถานีไฟฟ้า และแรงดันที่เฟส A ของบัสด้านขวาจะตกลงมาที่ระดับ 0.0 pu เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรลงดินนั้น อยู่ในสายฟีดเดอร์ 4 ที่บริเวณบัสเริ่มต้นพอดี้ โดยที่แรงดันทุกๆเฟสจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติที่ระยะเวลา 1.1 วินาที ซึ่งเป็นเป็นระยะเวลาที่ไม่มีกระแสลัดวงจรอยู่ในระบบแล้ว

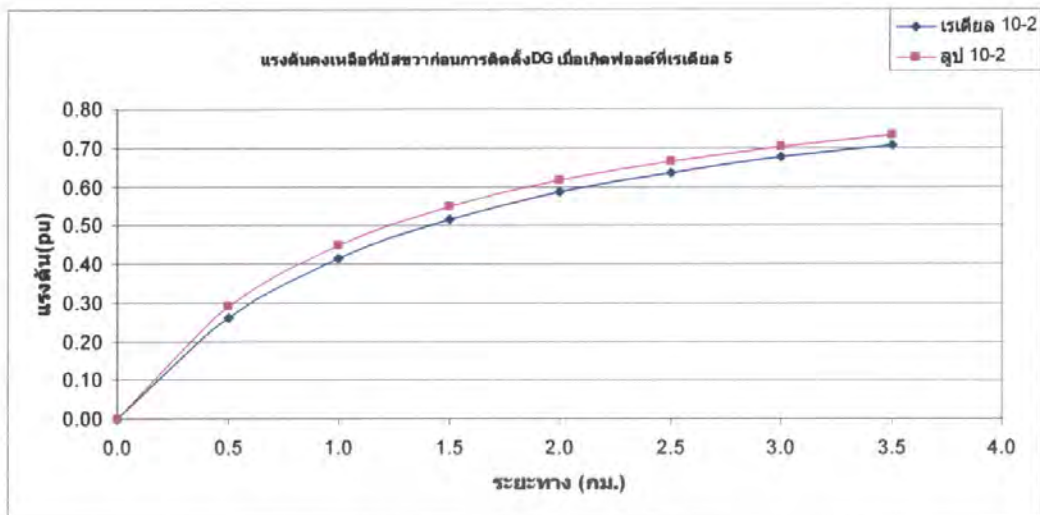


รูปที่ 4.17 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

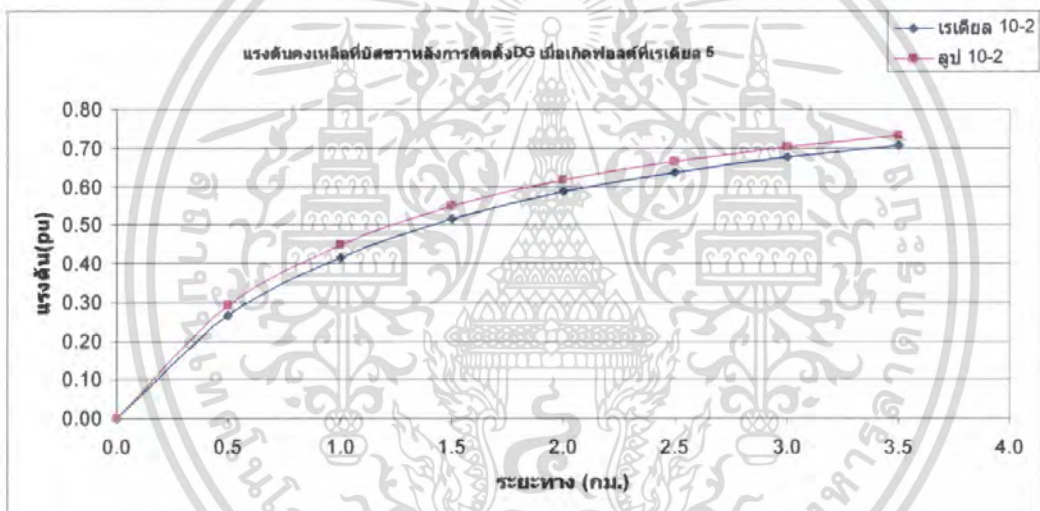


รูปที่ 4.18 แรงดันคงเหลือที่บัสวาลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5



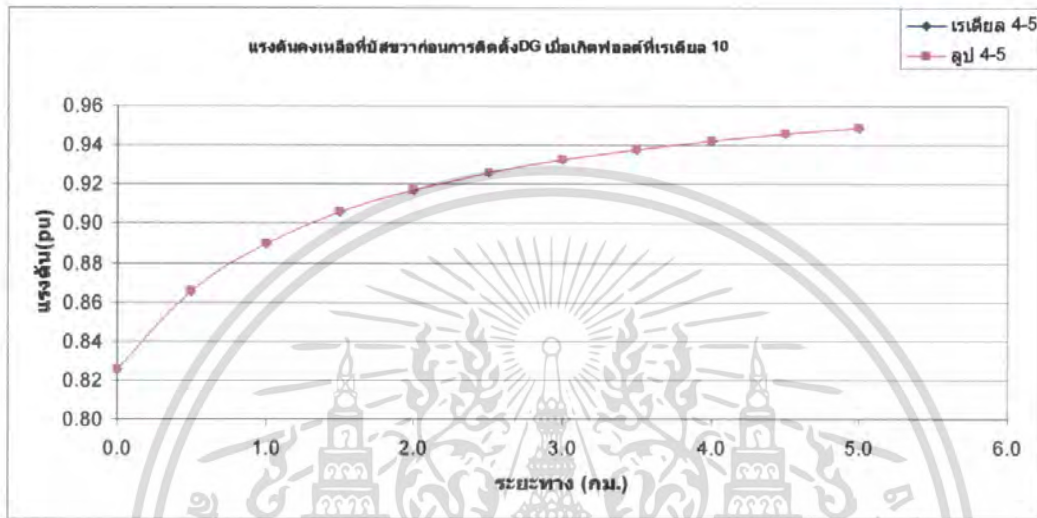
รูปที่ 4.20 แรงดันคงเหลือที่บัสขวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5

เมื่อพิจารณารูปกราฟแรงดันคงเหลือที่บัสชวา ทั้งก่อนและหลังการเชื่อมต่อ DG ตั้งแต่รูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.18 พบว่า

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรที่ฟีดเดอร์ 5 กับฟีดเดอร์ 4 ในขณะที่ทั้งสองฟีดเดอร์ มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป เมื่อฟีดเดอร์ 10 กับฟีดเดอร์ 2 ต่อกันแบบลูป ขนาดของแรงดันคงเหลือ จะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับเมื่อ ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 เป็นเรเดียล และแนวโน้มของขนาดของแรงดันคงเหลือ จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อตำแหน่งของ การเกิดฟอลต์ห่างจากบัสด้านขวาของสถานีไฟฟ้ามากขึ้น แต่เมื่อตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรวนกลับเข้าสู่ ฟีดเดอร์ที่ 4 แล้วแรงดัน

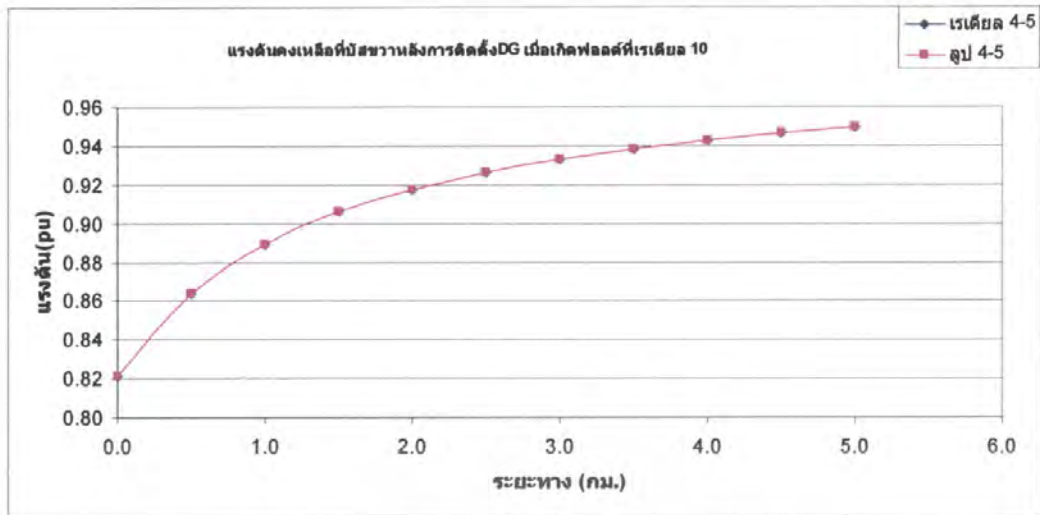
คงเหลือจะกลับมามีค่าลดลงอีกครั้งหนึ่งเนื่องจาก ตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดิน เข้าใกล้ บัสด้านขวาของสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรลงดินที่ ฟีดเดอร์ 5 ขนาดของแรงดันคงเหลือ เมื่อฟีดเดอร์ 10 กับฟีดเดอร์ 2 ต่อกันแบบลูป จะมีขนาดสูงกว่า ในกรณี กรณีที่ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 เป็น เรเดียล แนวโน้มของขนาดของแรงดันคงเหลือ จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อตำแหน่งของ การเกิดฟอลต์ ห่างจากบัสด้านขวาของสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

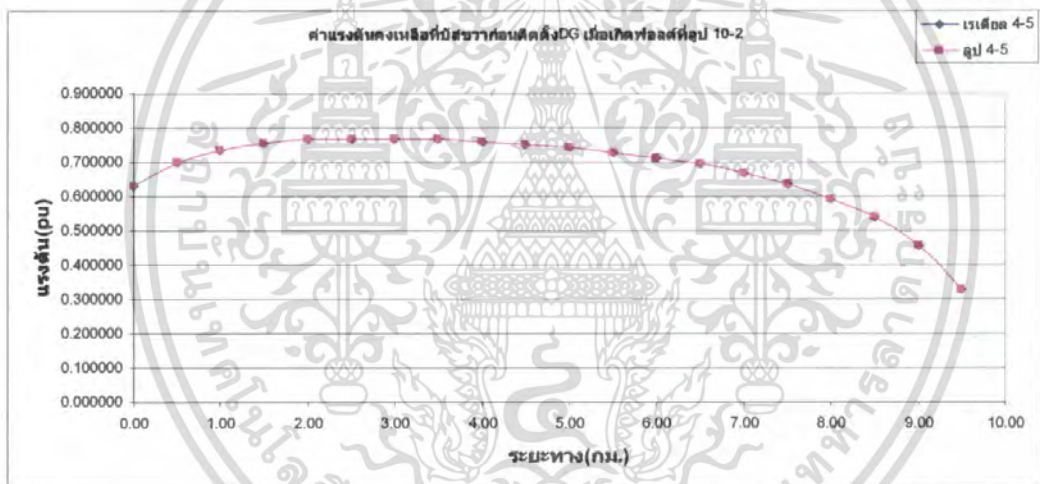


รูปที่ 4.21 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

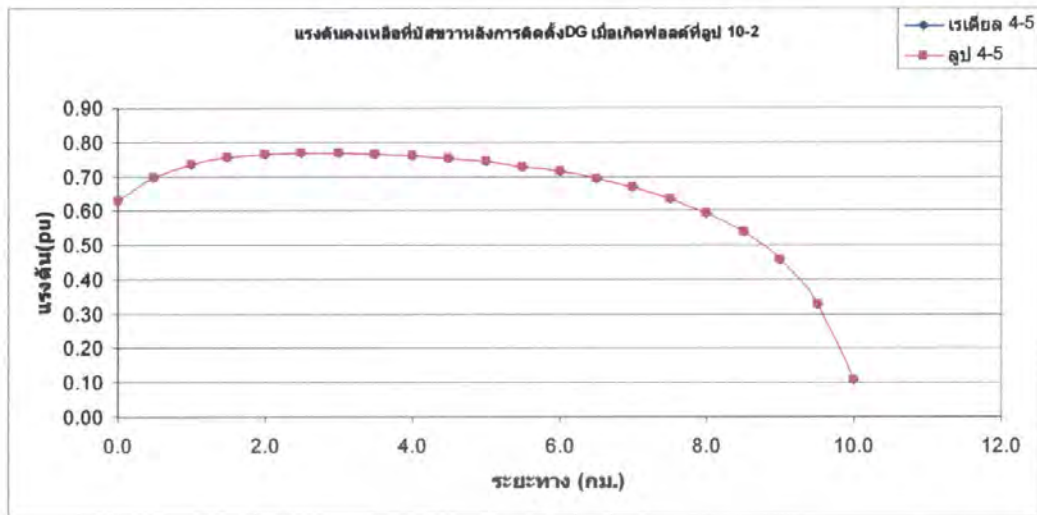


รูปที่ 4.22 แรงดันคงเหลือที่บัสขบวนหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10



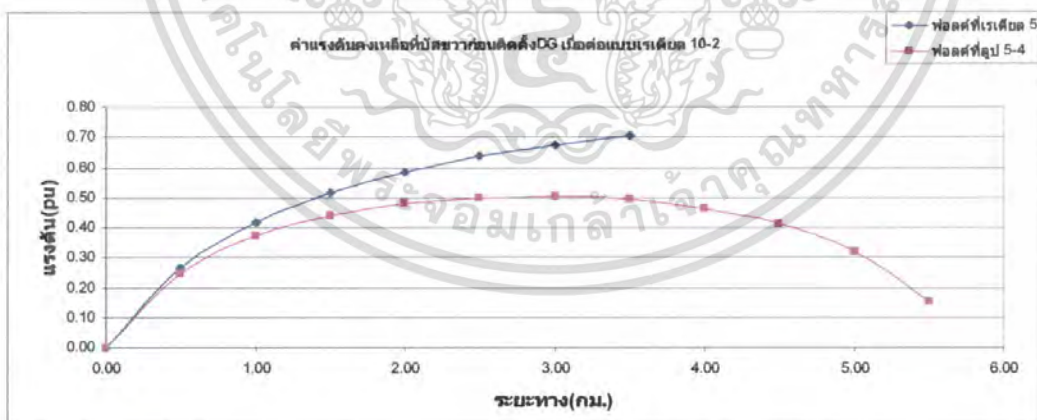
รูปที่ 4.23 แรงดันคงเหลือที่บัสขบวนก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และ ฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



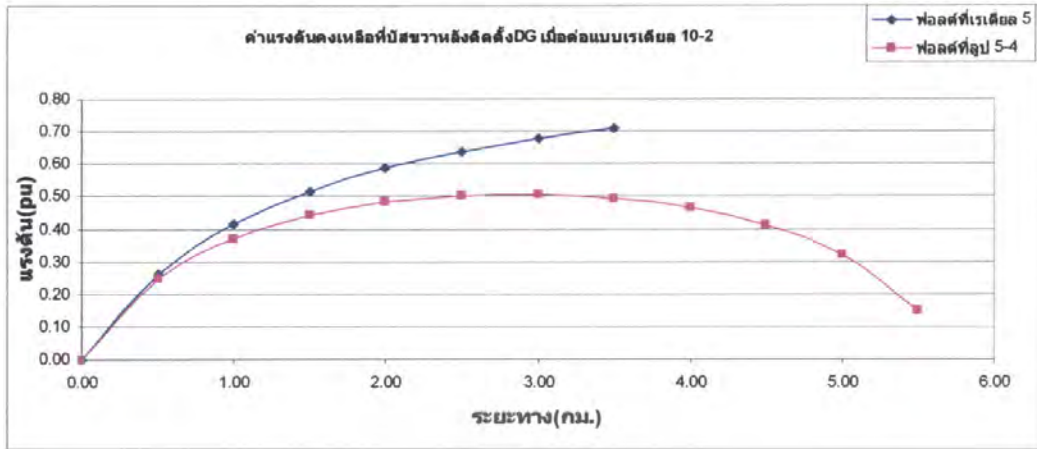
รูปที่ 4.24 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และ ฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เมื่อพิจารณารูปกราฟของขนาดของแรงดันคงเหลือที่บัสด้านขวาของสถานีไฟฟ้า ตั้งแต่รูปที่ 4.21 ถึง 4.24 พบว่า ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรลงดินที่ ฟีดเดอร์ 10 ทั้งในกรณีที่ มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และเรเดียล ขนาดของแรงดันคงเหลือเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ฟีดเดอร์ 4 กับฟีดเดอร์ 5 เป็นสภาพการจ่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล กับกรณีที่สภาพการจ่ายไฟแบบลูป จะมีขนาดของแรงดันคงเหลือเท่ากัน โดยแนวโน้มของแรงดันคงเหลือ จะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดิน ห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

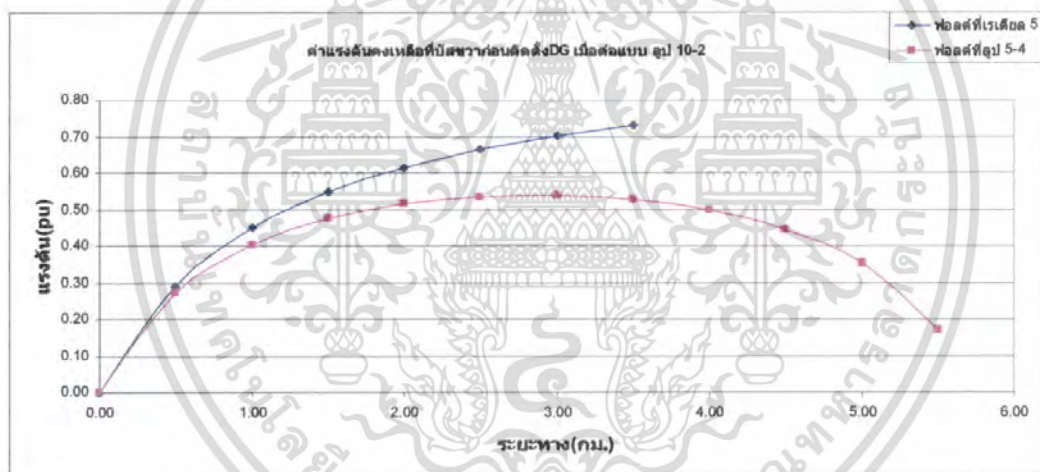


รูปที่ 4.25 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

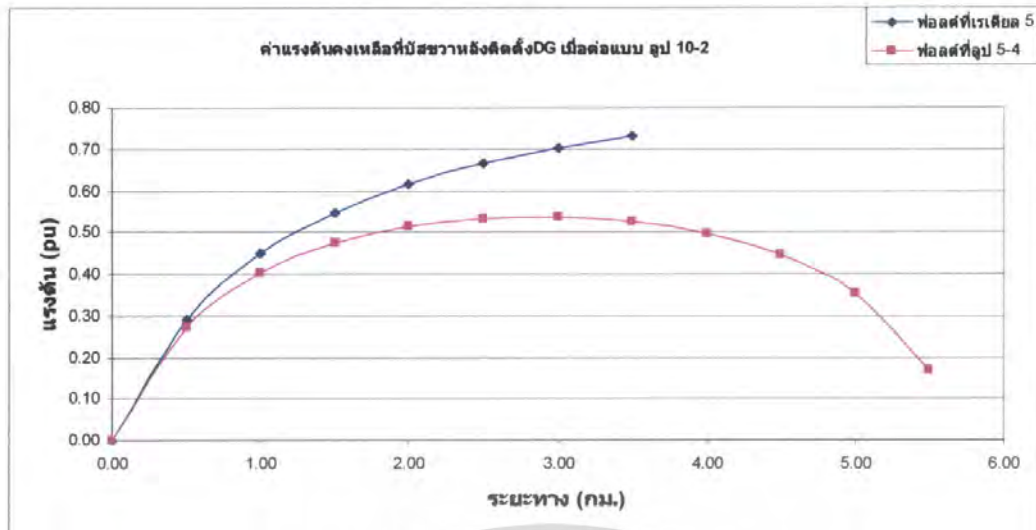


รูปที่ 4.26 แรงดันคงเหลือที่บัสวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 10 และฟีดเตอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล



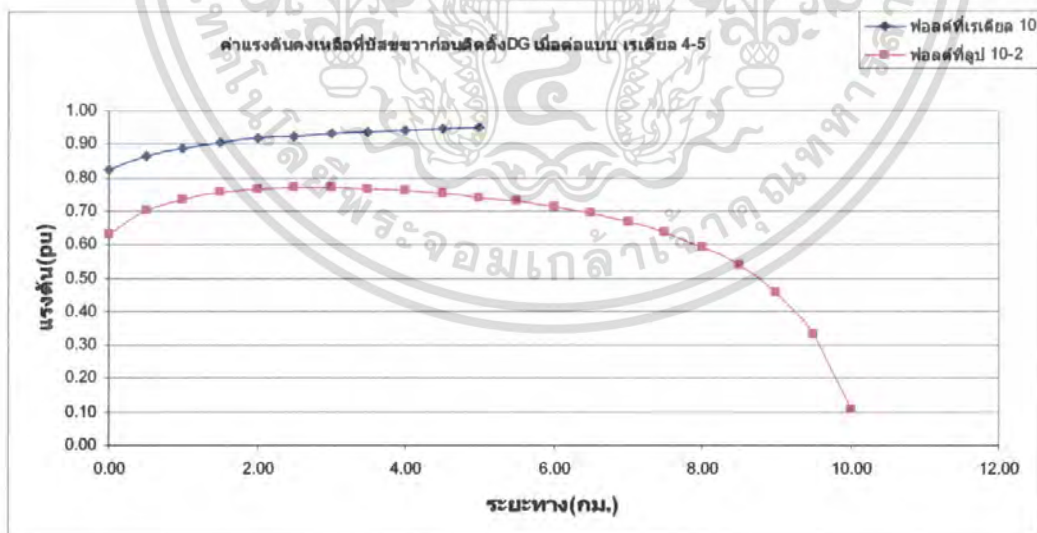
รูปที่ 4.27 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟีดเตอร์ 10 และฟีดเตอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



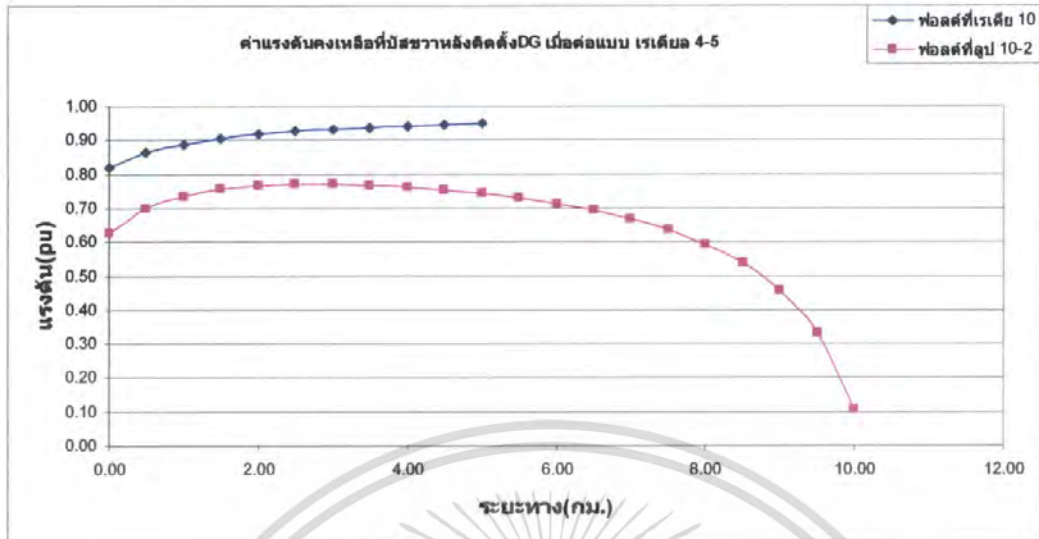
รูปที่ 4.28 แรงดันคงเหลือที่บัสขวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 ต่อกันในลักษณะเป็นลูบ

เมื่อพิจารณารูปกราฟของแรงดันคงเหลือที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้า ดังแต่รูปที่ 4.25 ถึง 4.28 พบว่า เมื่อ ฟีดเดอร์ 10 กับฟีดเดอร์ 2 มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูบ และแบบเรเดียล ในกรณีที่เกิด การลัดวงจรลงดิน ที่ฟีดเดอร์ 5 ในสภาพการจ่ายไฟ แบบเรเดียลจะมีขนาดของแรงดันคงเหลือสูงกว่า ในสภาพการจ่ายไฟแบบลูบ และแนวโน้มของแรงดันคงเหลือจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อ ตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดินห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

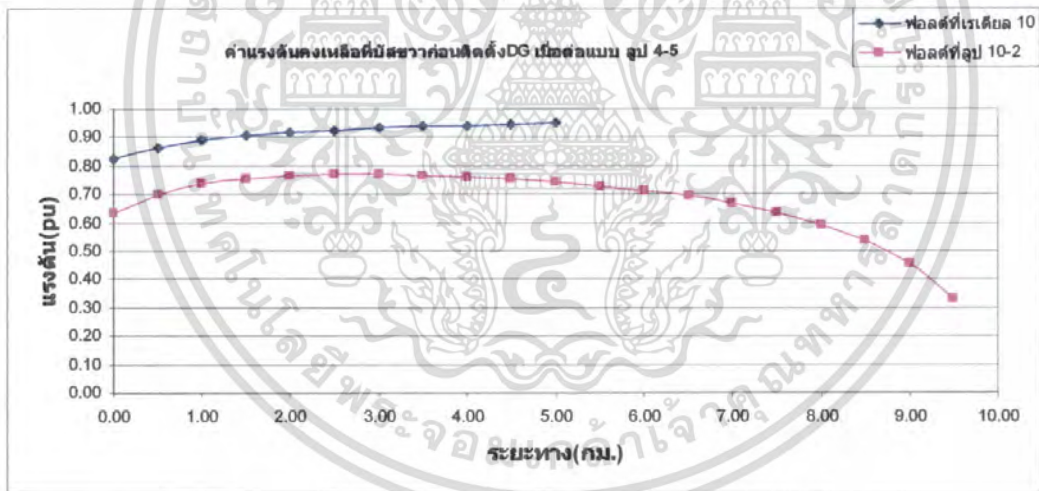


รูปที่ 4.29 แรงดันคงเหลือที่บัสวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

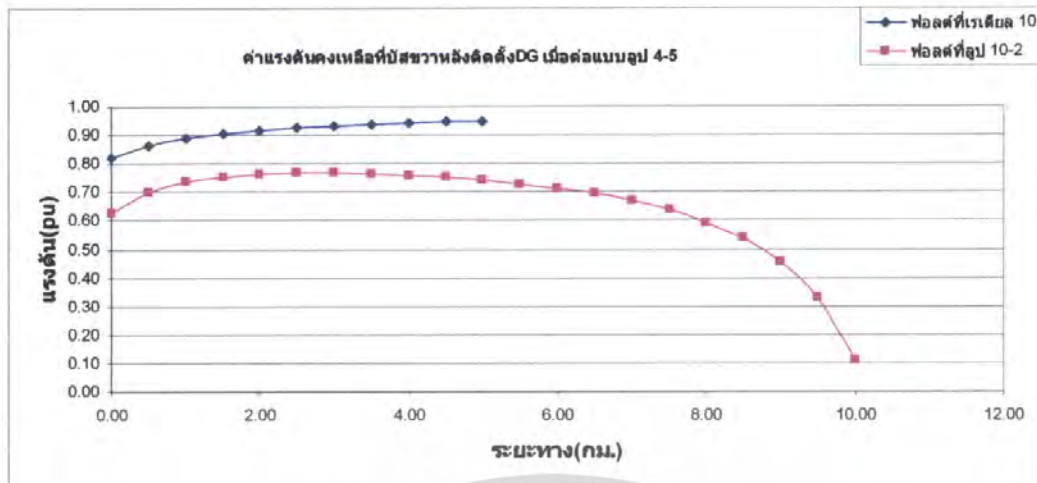


รูปที่ 4.30 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 5 และฟีดเตอร์ 4
ต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียมล



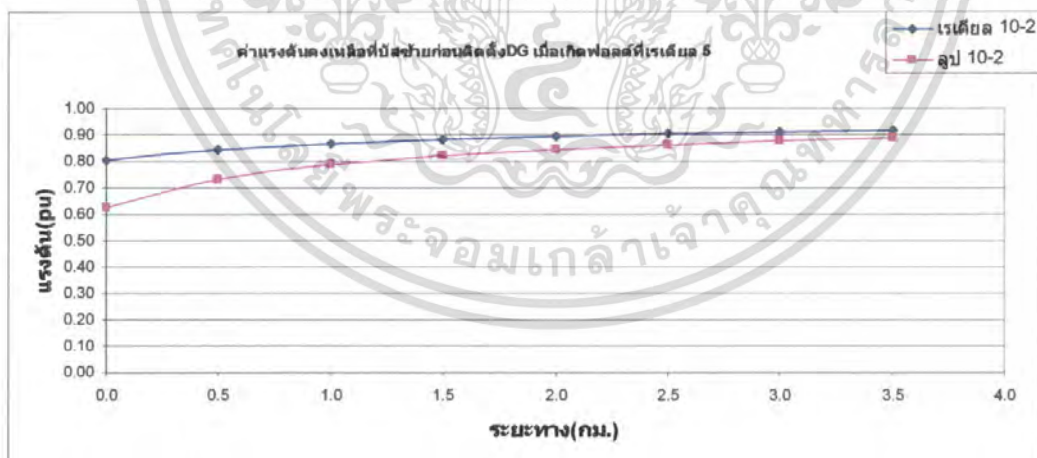
รูปที่ 4.31 แรงดันคงเหลือที่บัสชวาก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 5 และฟีดเตอร์ 4
ต่อกันในลักษณะเป็นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



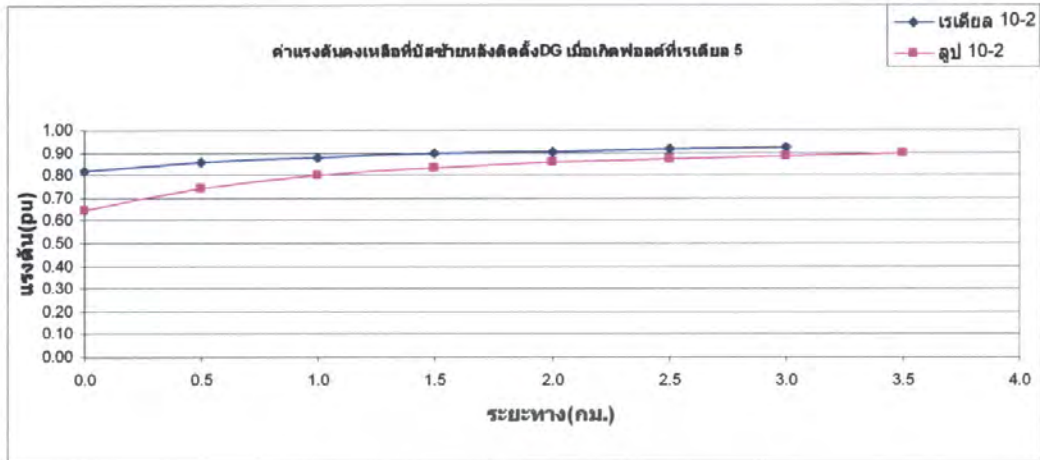
รูปที่ 4.32 แรงดันคงเหลือที่บัสขวาหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 5 และ ฟีดเตอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เมื่อพิจารณารูปกราฟของแรงดันคงเหลือที่บัสขวาของสถานีไฟฟ้า ตั้งแต่รูปที่ 4.29 ถึง 4.32 พบว่า เมื่อ ฟีดเตอร์ 4 กับฟีดเตอร์ 5 มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และแบบเรเดียล ในกรณีที่เกิด การลัดวงจรลงดิน ที่ฟีดเตอร์ 10 ในสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียลจะมีขนาดของแรงดันคงเหลือสูงกว่า ในสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และแนวโน้มของแรงดันคงเหลือจะมีขนาดสูงขึ้น เมื่อ ตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดินห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น



รูปที่ 4.33 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเตอร์ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

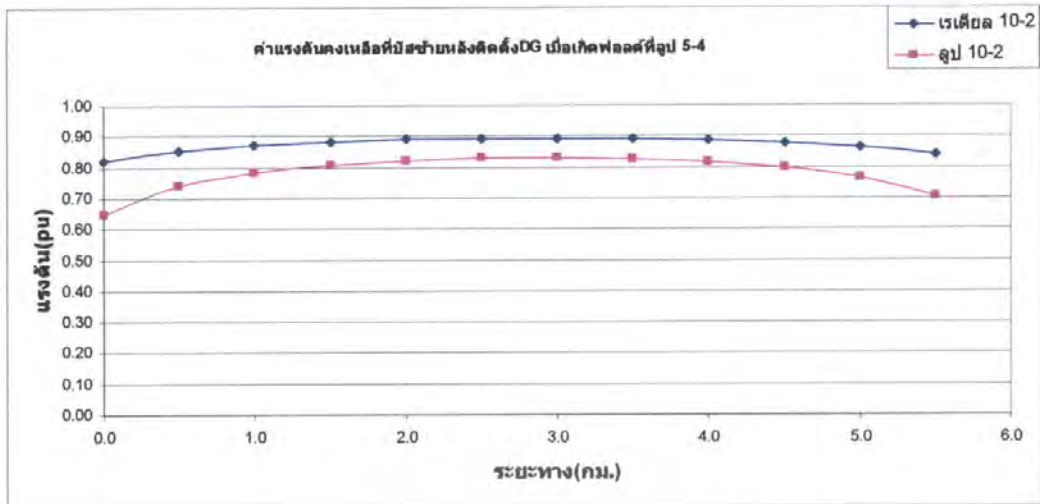


รูปที่ 4.34 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5



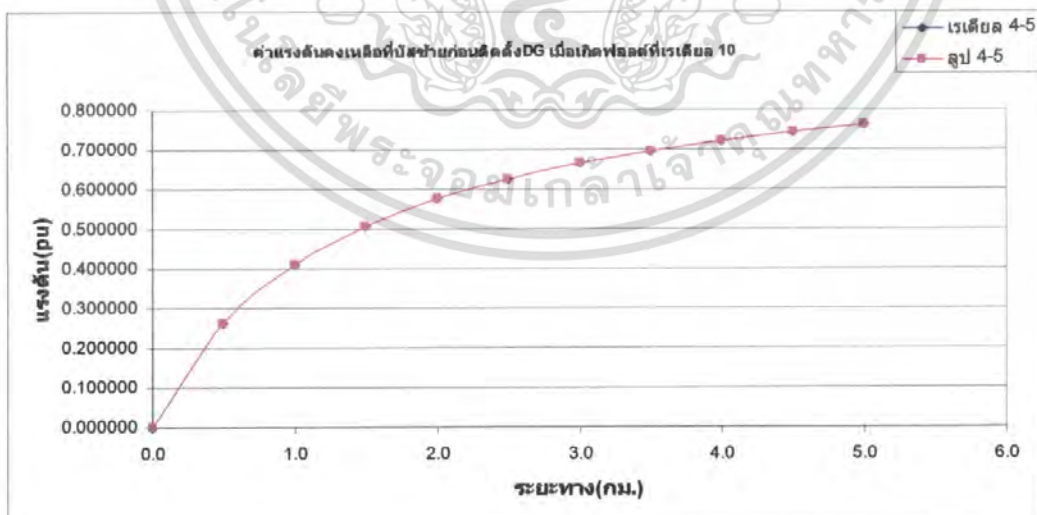
รูปที่ 4.35 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



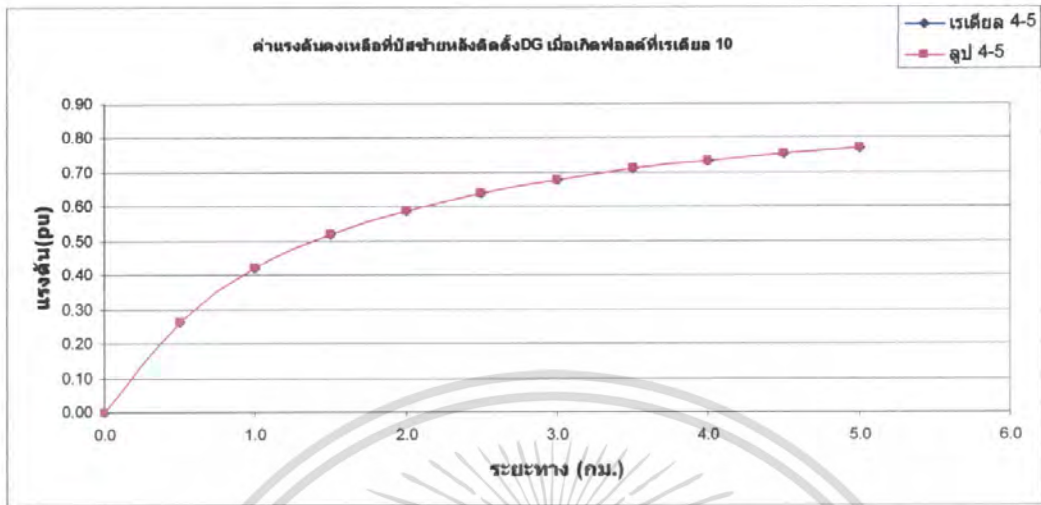
รูปที่ 4.36 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 5 และฟีดเดอร์ 4 ต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เมื่อพิจารณารูปกราฟของขนาดของแรงดันคงเหลือที่บัสด้านซ้ายของสถานีไฟฟ้า ตั้งแต่รูปที่ 4.33 ถึง 4.36 พบว่า ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรลงดินที่ ฟีดเดอร์ 5 กับฟีดเดอร์ 4 ในสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และเรเดียล ขนาดของแรงดันคงเหลือเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ฟีดเดอร์ 10 กับฟีดเดอร์ 2 มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป กับกรณีที่มีสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียล สภาพการจ่ายไฟแบบลูปจะมีขนาดของแรงดันคงเหลือมากกว่าโดยแนวโน้มของแรงดันคงเหลือจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดินห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

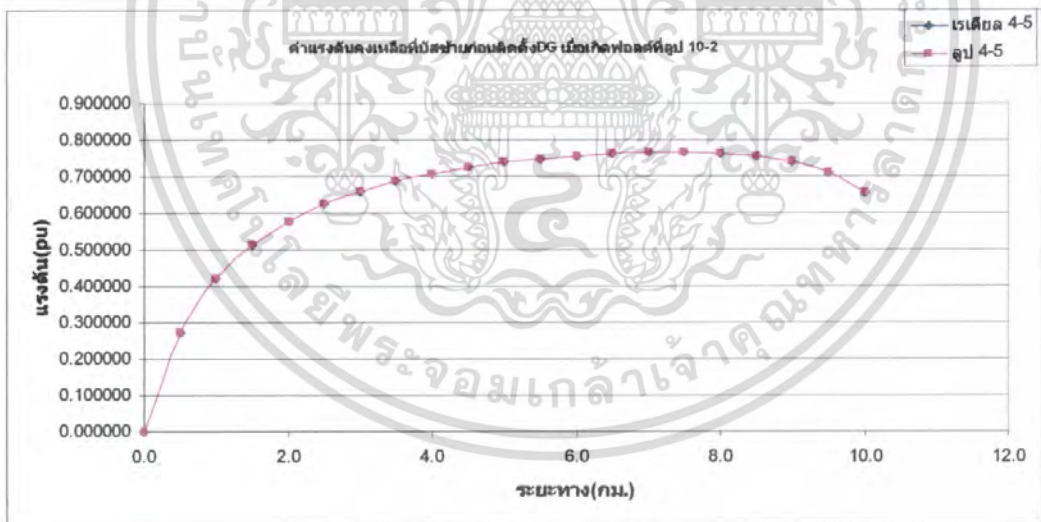


รูปที่ 4.37 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

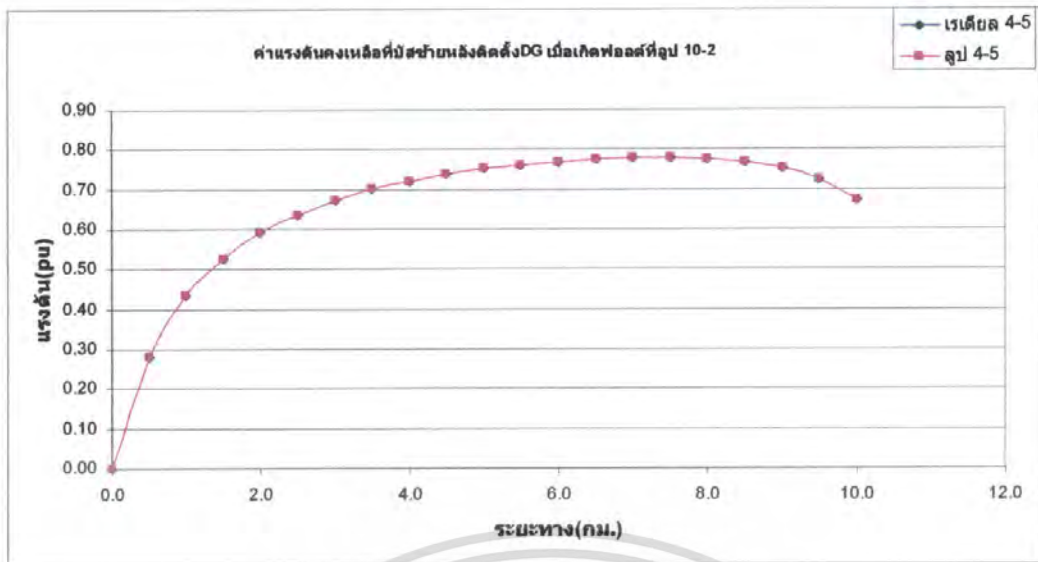


รูปที่ 4.38 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่เฟสเคิล 10



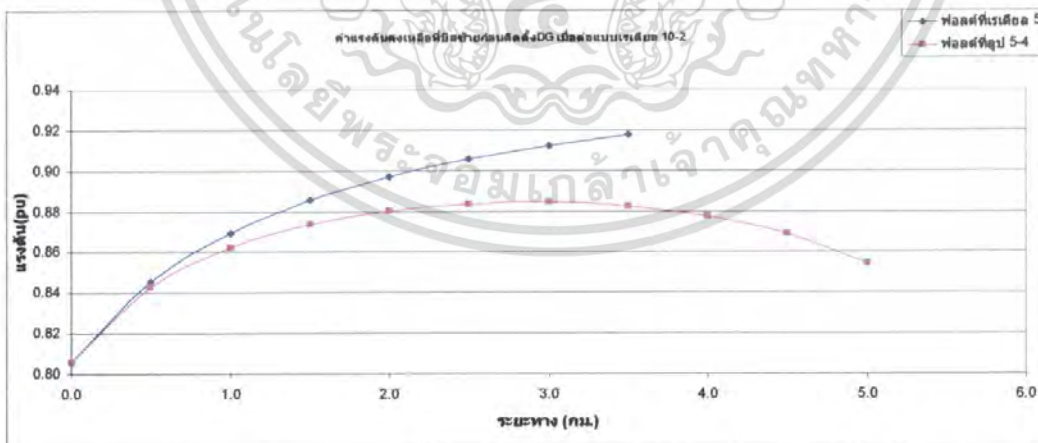
รูปที่ 4.39 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่เฟสเคิล 5 และเฟสเคิล 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



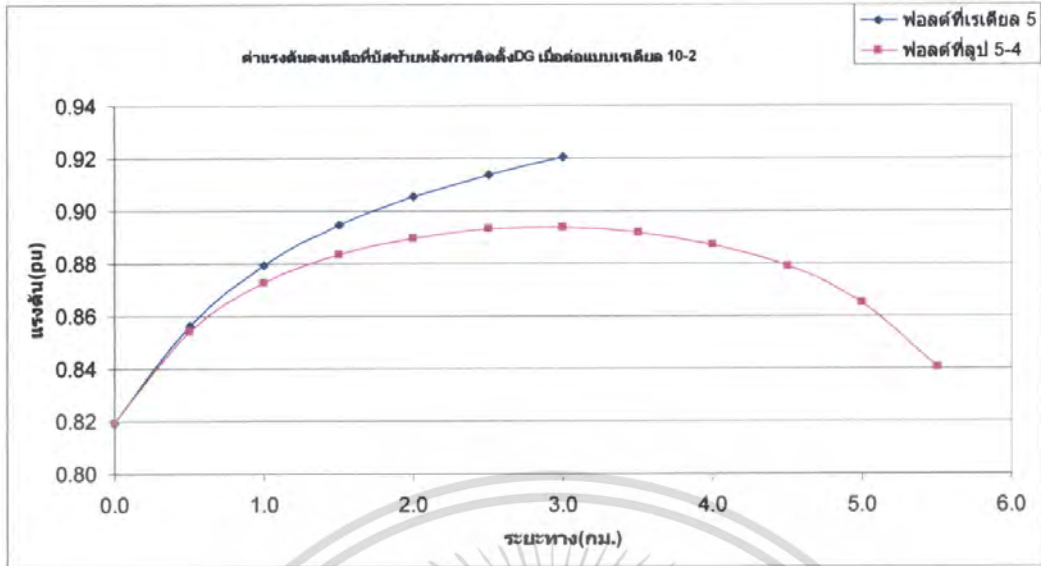
รูปที่ 4.40 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เมื่อพิจารณารูปกราฟของขนาดของแรงดันคงเหลือที่บัสด้านซ้ายของสถานีไฟฟ้า ตั้งแต่รูปที่ 4.37 ถึง 4.40 พบว่า ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรลงดินที่ ฟีดเดอร์ 10 ในสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และเรเดียล ขนาดของแรงดันคงเหลือเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณี ที่ฟีดเดอร์ 4 กับฟีดเดอร์ 5 มีสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียล กับกรณีที่มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป จะมีขนาดของแรงดันคงเหลือเท่ากัน โดยแนวโน้มของแรงดันคงเหลือ จะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดิน ห่างจากสถานีไฟฟ้ามามากขึ้น

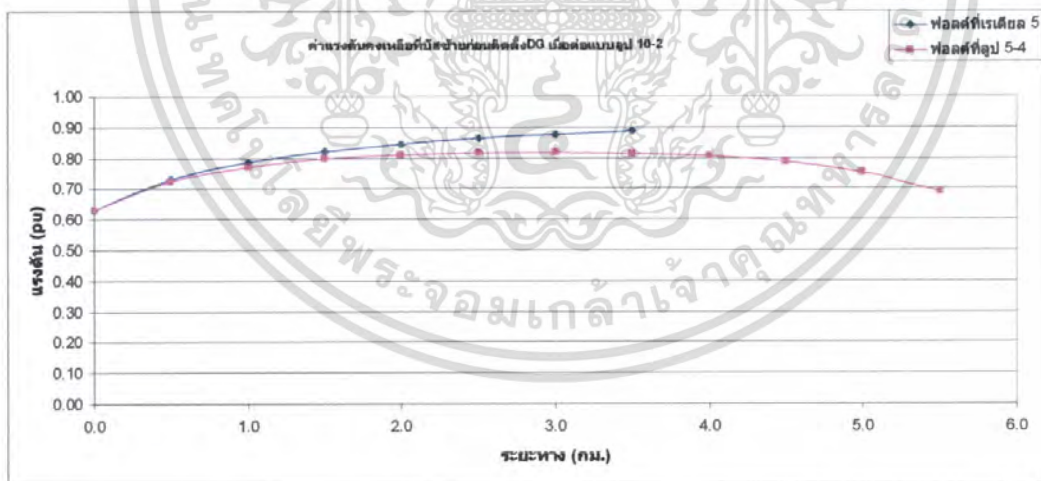


รูปที่ 4.41 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อเกิดฟีดเดอร์ 10 และฟีดเดอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

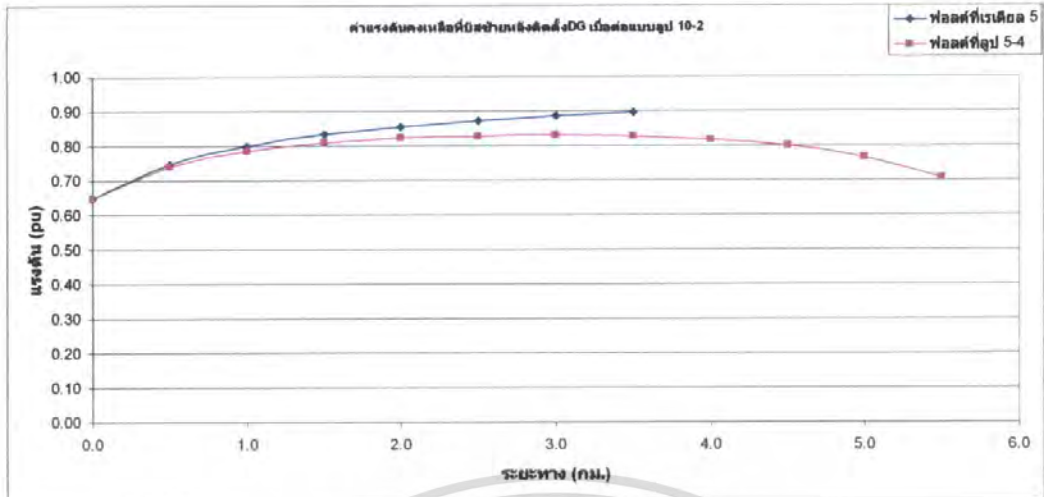


รูปที่ 4.42 แรงดันคงเหลือที่บัสขั้วหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล



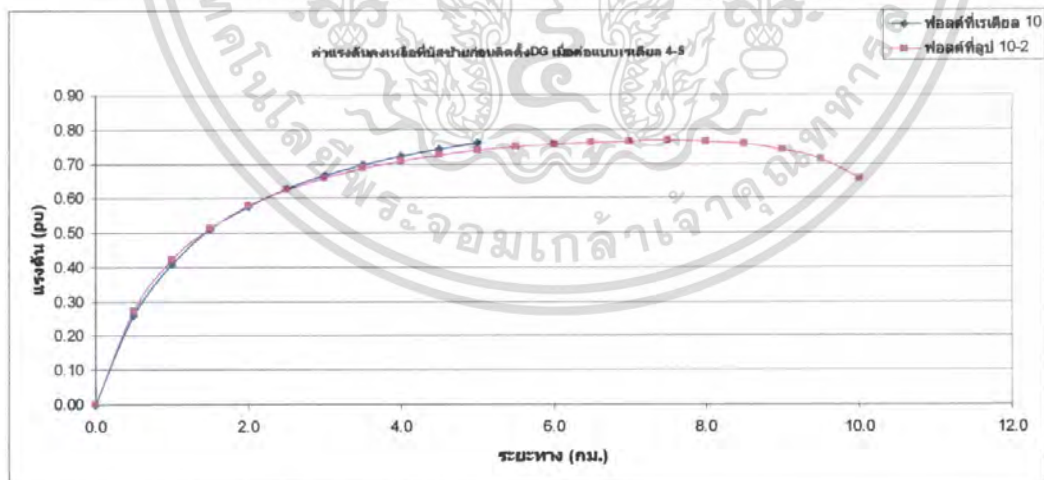
รูปที่ 4.43 แรงดันคงเหลือที่บัสขั้วก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเคอร์ 10 และฟีดเคอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



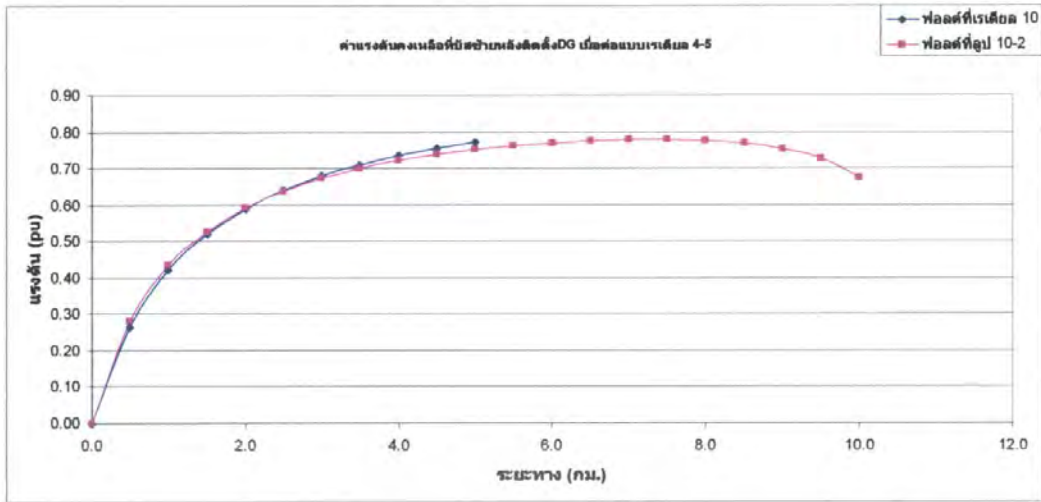
รูปที่ 4.44 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายหลังการติดตั้ง DG เมื่อพีดเตอร์ 10 และพีดเตอร์ 2 โดยต่อกันในลักษณะเป็นรูป

เมื่อพิจารณารูปกราฟของแรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายของสถานีไฟฟ้า ดังแต่รูปที่ 4.41 ถึง 4.44 พบว่า เมื่อ พีดเตอร์ 10 กับพีดเตอร์ 2 มีสภาพการจ่ายไฟแบบรูป และแบบเรเดียล ในกรณีที่เกิด การลัดวงจรลงดิน ที่พีดเตอร์ 5 ในสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียลจะมีขนาดของแรงดันคงเหลือสูงกว่า ในสภาพการจ่ายไฟแบบรูป และแนวโน้มของแรงดันคงเหลือจะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อ ตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดินห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

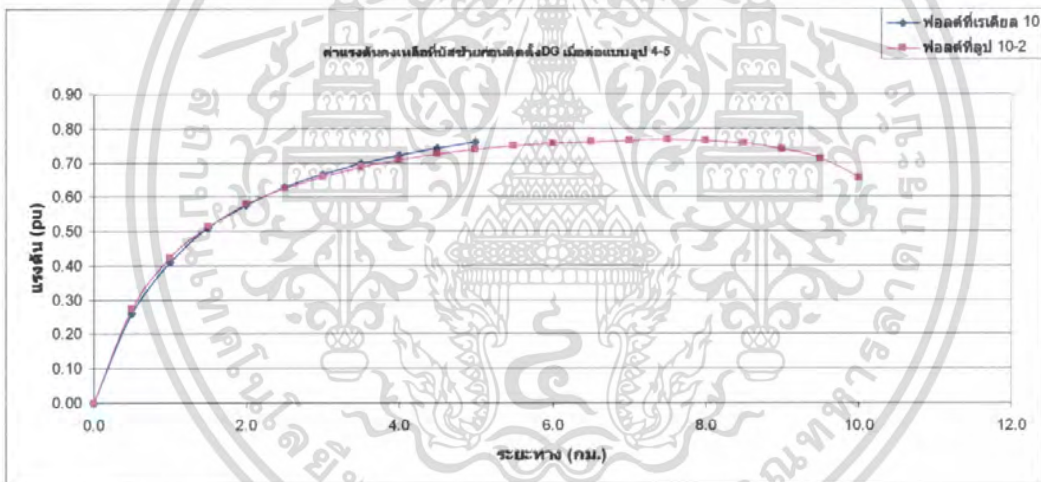


รูปที่ 4.45 แรงดันคงเหลือที่บัสซ้ายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อพีดเตอร์ 5 และพีดเตอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเดียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

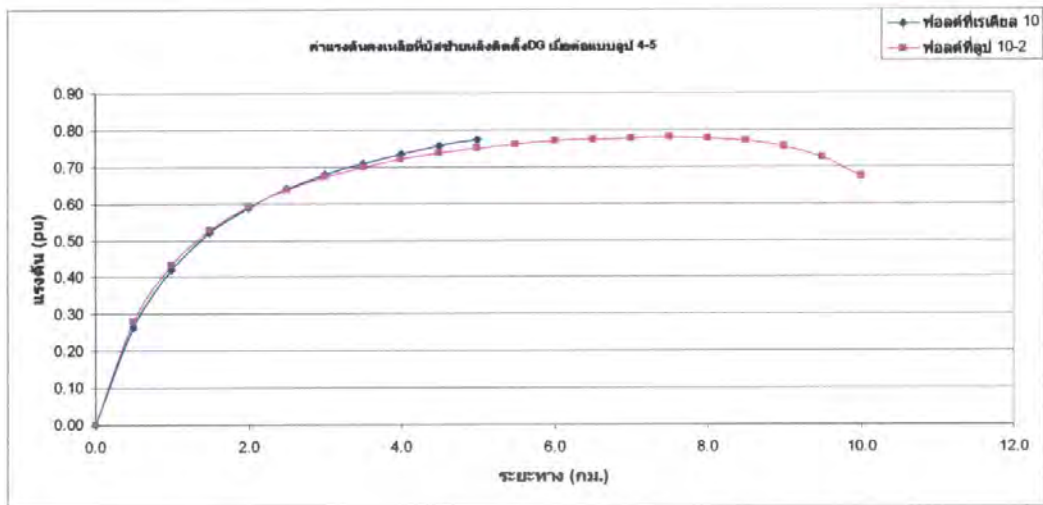


รูปที่ 4.46 แรงดันคงเหลือที่บัสชายหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 5 และฟีดเตอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นเรเคิด



รูปที่ 4.47 แรงดันคงเหลือที่บัสชายก่อนการติดตั้ง DG เมื่อฟีดเตอร์ 5 และฟีดเตอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 แรงดันคงเหลือที่มีสขัยหลังการติดตั้ง DG เมื่อฟิดเตอร์ 5 และฟิดเตอร์ 4 โดยต่อกันในลักษณะเป็นลูป

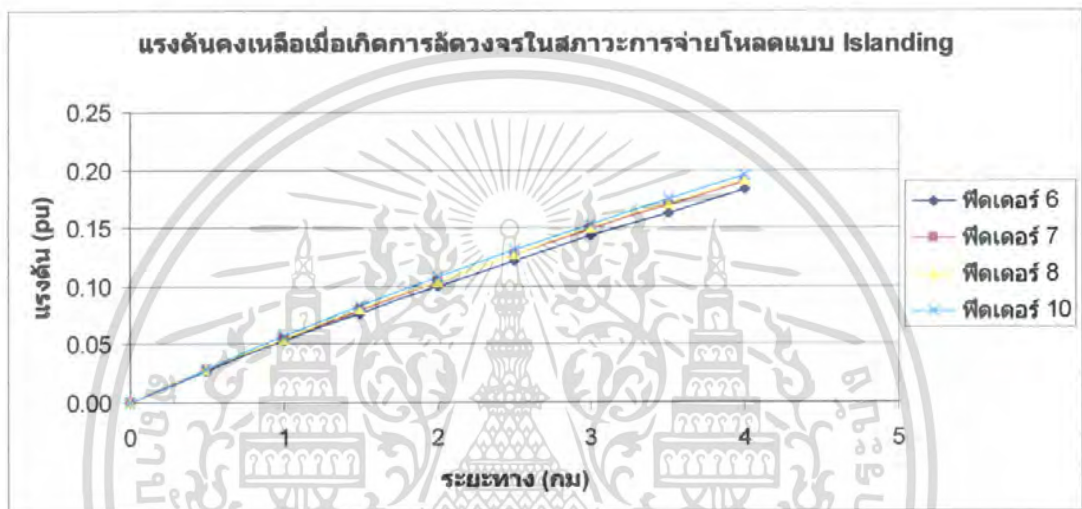
เมื่อพิจารณารูปกราฟของแรงดันคงเหลือที่มีสขัยของสถานีไฟฟ้า ตั้งแต่รูปที่ 4.45 ถึง 4.48 พบว่า เมื่อ ฟิดเตอร์ 4 กับฟิดเตอร์ 5 มีสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และแบบเรเดียล ในกรณีที่เกิด การลัดวงจรลงดิน ที่ฟิดเตอร์ 10 ในสภาพการจ่ายไฟแบบเรเดียลจะมีขนาดของแรงดันคงเหลือสูงกว่า ในสภาพการจ่ายไฟแบบลูป และแนวโน้มของแรงดันคงเหลือจะมีขนาดสูงขึ้น เมื่อ ตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรลงดินห่างจากสถานีไฟฟ้ามากขึ้น

4.5 ผลการศึกษากรณีที่เกิดการลัดวงจรชนิดต่างในขณะทำงานในภาวะเมื่อระบบแยกออกจากกริด

ในการทำงานในโหมด Islanding ของ DG จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะ ต่อระบบไฟฟ้าที่ทำการจ่ายโหลดอยู่เนื่องจากระบบที่ทำงานในสภาวะแยกออกจากกริดจะเป็นระบบที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงหรือการเกิดความไม่ปกติขึ้น เช่นเกิดการลัดวงจรในระบบไม่ว่าจะเป็นในสายส่ง ในโหลด หรือแม้กระทั่งบริเวณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอง ระดับแรงดันในระบบอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงมาจากการเกิดลัดวงจรในระบบซึ่งกรณีที่ระบบเป็นระบบอ่อนอาจจะทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพได้ แต่ถ้าระบบสามารถที่จะอยู่ได้จะต้องพิจารณาถึงระดับแรงดันคงเหลือที่มีอยู่เพราะถึงแม้ระบบจะยังคงอยู่ได้แต่ระดับแรงดันที่เหลืออยู่อาจจะไม่เพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบรวมถึงอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ในกรณีที่เป็นย่านอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองต่อไปคือจำลองการทำงานของ DG ต่อโหลดต่างๆแยกจากกันเนื่องจากระบบที่ใช้เป็นระบบเรเดียล ทำให้การทำงานของระบบปลดโหลดออกจากระบบต้องตัดโหลดในฟีดเดอร์ต่างๆทิ้งไปอย่างสิ้นเชิง เมื่อพิจารณาถึงขนาดของความสามารถในการจ่ายโหลดของ DG แล้วจะพบว่ากำลังการผลิตของ DG มีค่าเพียงพอต่อโหลดในแต่ละฟีดเดอร์เท่านั้น ทำให้การจำลองใช้การพิจารณาแยกเป็นแต่ละฟีดเดอร์โดยตรง หลังจากจำลองการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายโอนเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่างๆมายังระบบแยกออกจากกริดแล้วก็จำลองการเกิดลัดวงจรประเภทต่างๆในระบบเพื่อดูผลกระทบต่อแรงดันในระบบว่ามีค่าคงเหลือเท่าใด โดยผลการทดลองเป็นไปดังนี้

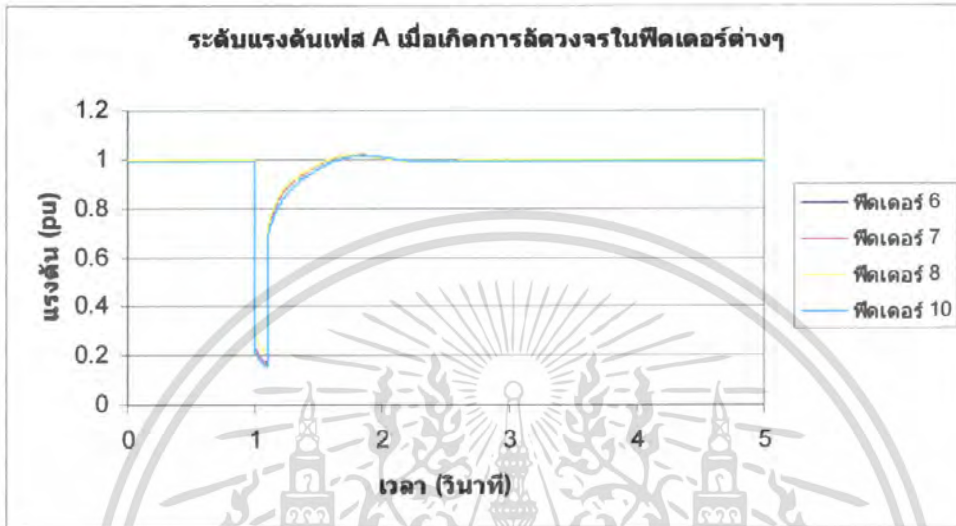


รูปที่ 4.49 แสดงระดับแรงดันคงเหลือเมื่อเกิดการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดินในฟีดเดอร์ต่าง

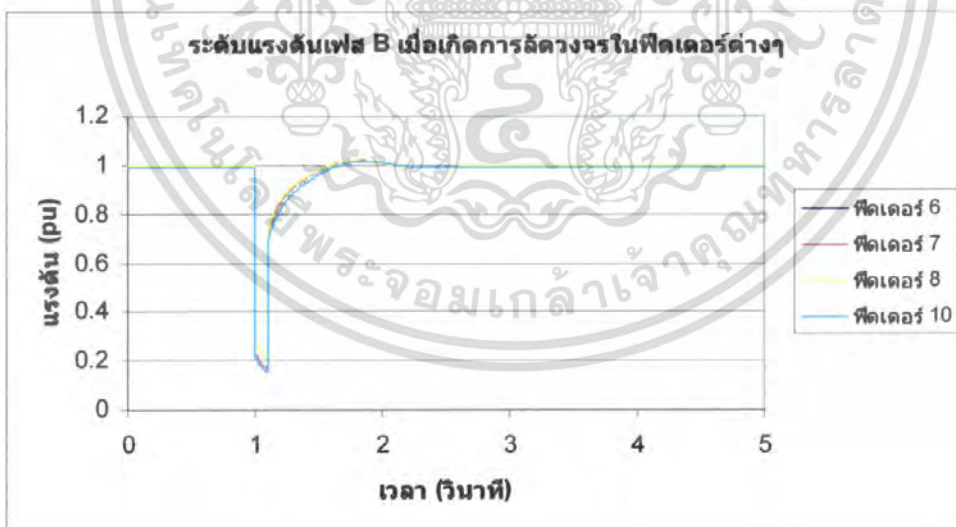
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากการลัดวงจรชนิดต่างๆในระบบต่อระดับแรงดันจะทำให้เราทราบว่าระดับแรงดันต่ำสุดของระบบ จะมีค่าและแนวโน้มเป็นอย่างไร โดยผลการจำลองจะเป็นไปดังนี้

4.5.1 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 3 เฟส

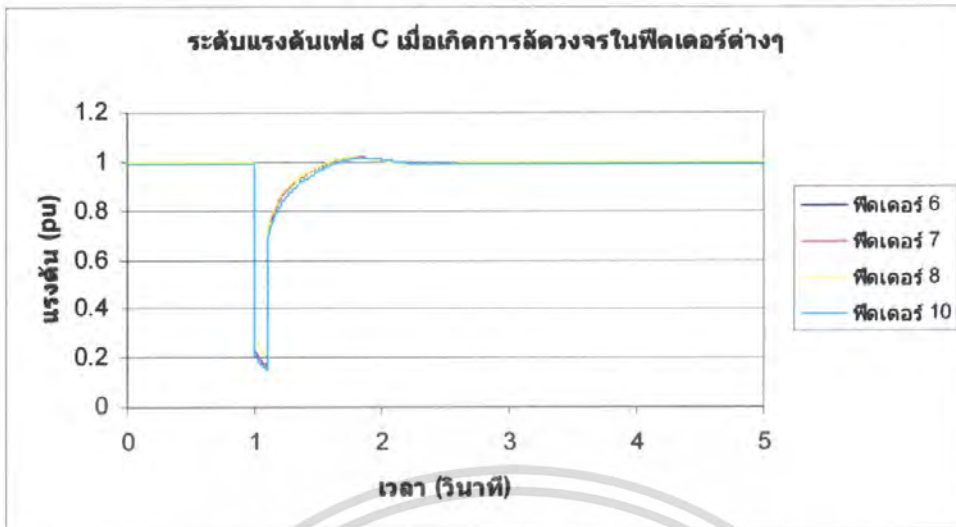


รูปที่ 4.50 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ



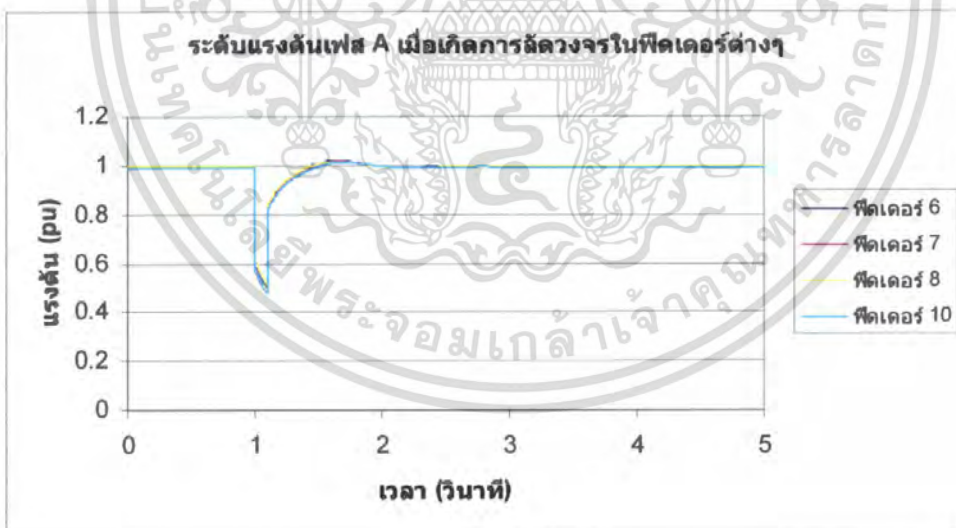
รูปที่ 4.51 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



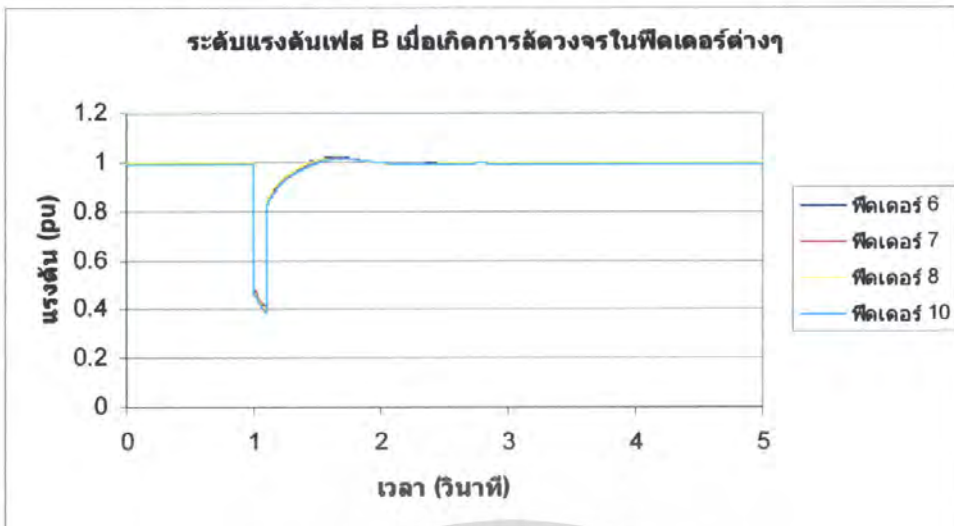
รูปที่ 4.52 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

4.5.2 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 2 เฟสลงดิน

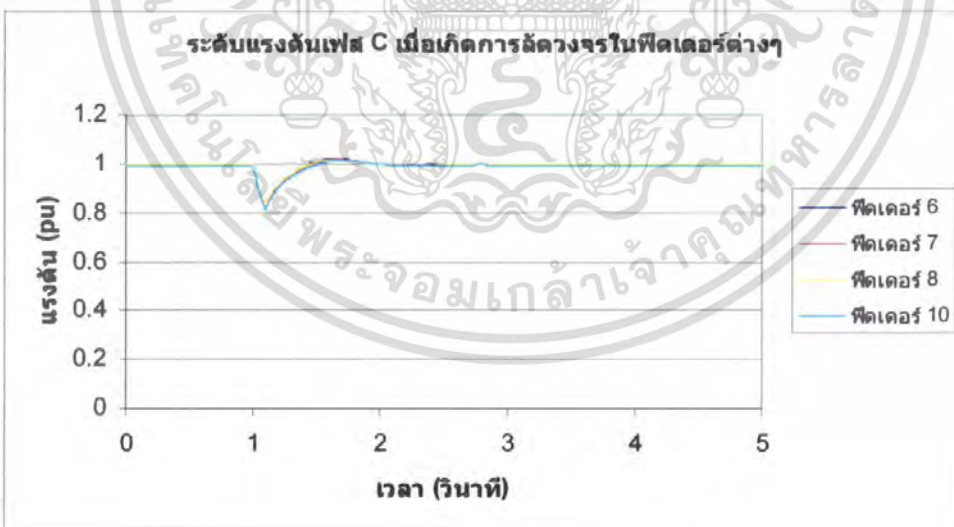


รูปที่ 4.53 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



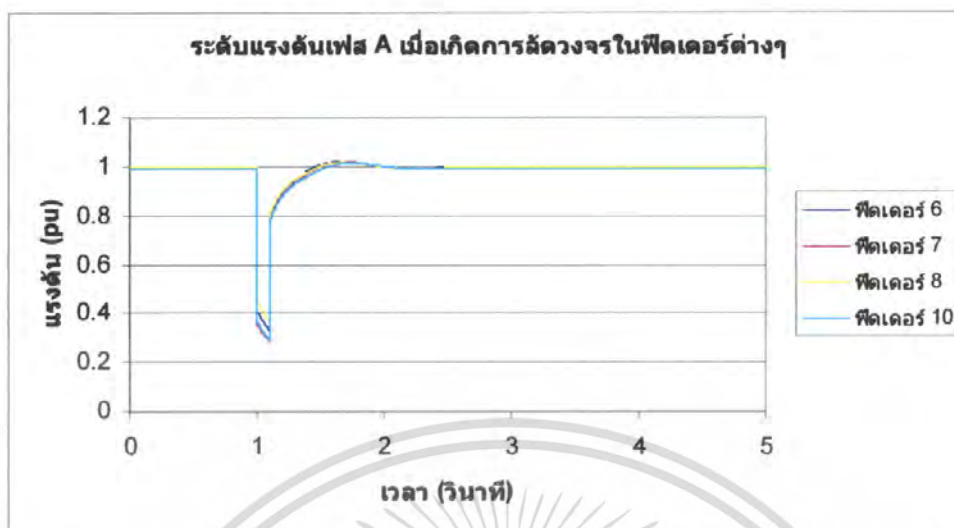
รูปที่ 4.54 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ



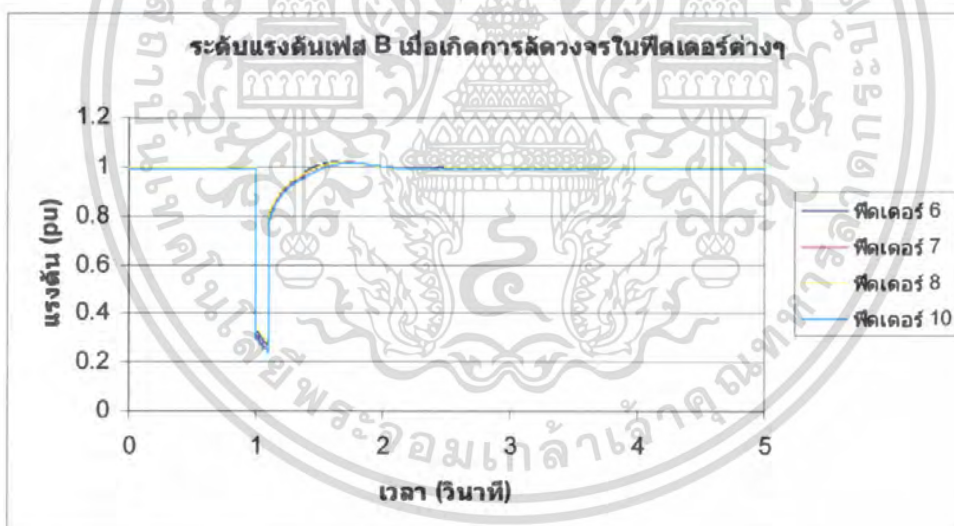
รูปที่ 4.55 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 2 เฟส

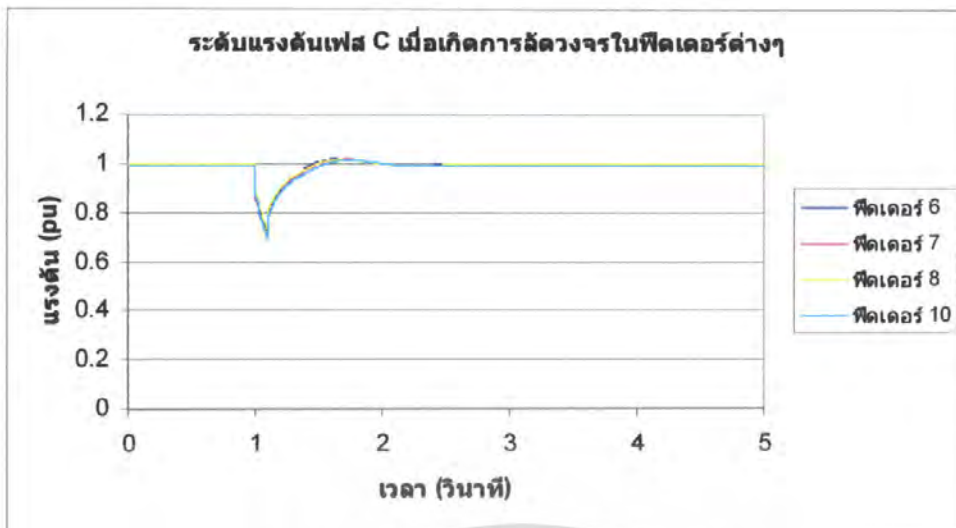


รูปที่ 4.56 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ



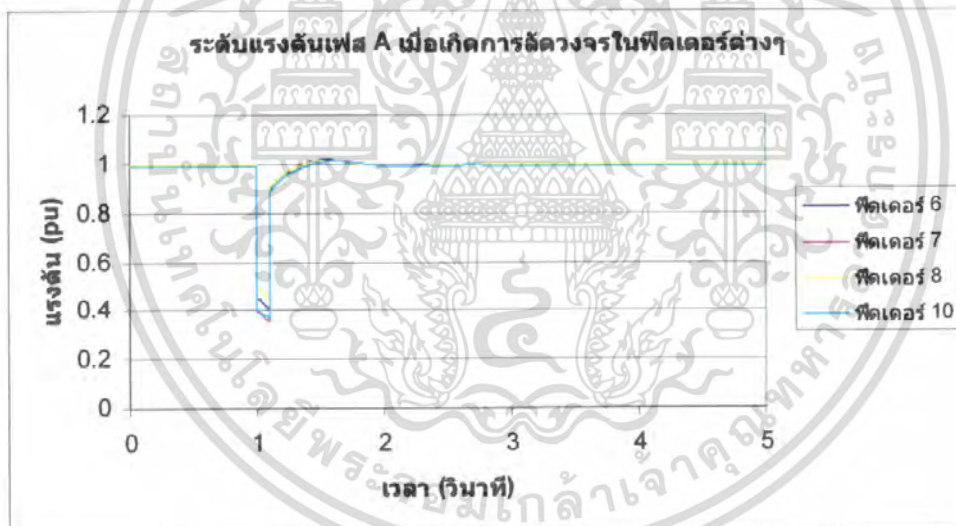
รูปที่ 4.57 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



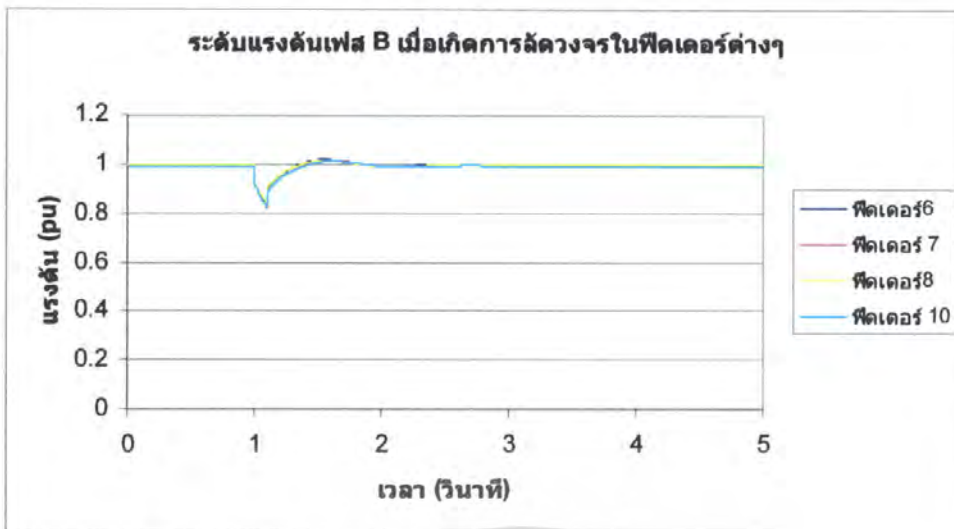
รูปที่ 4.58 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Double line Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

4.5.4 พิจารณาการเกิดลัดวงจรชนิด 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 4.59 แรงดันเฟส A เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเดอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 แรงดันเฟส B เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเคอร์ต่างๆ



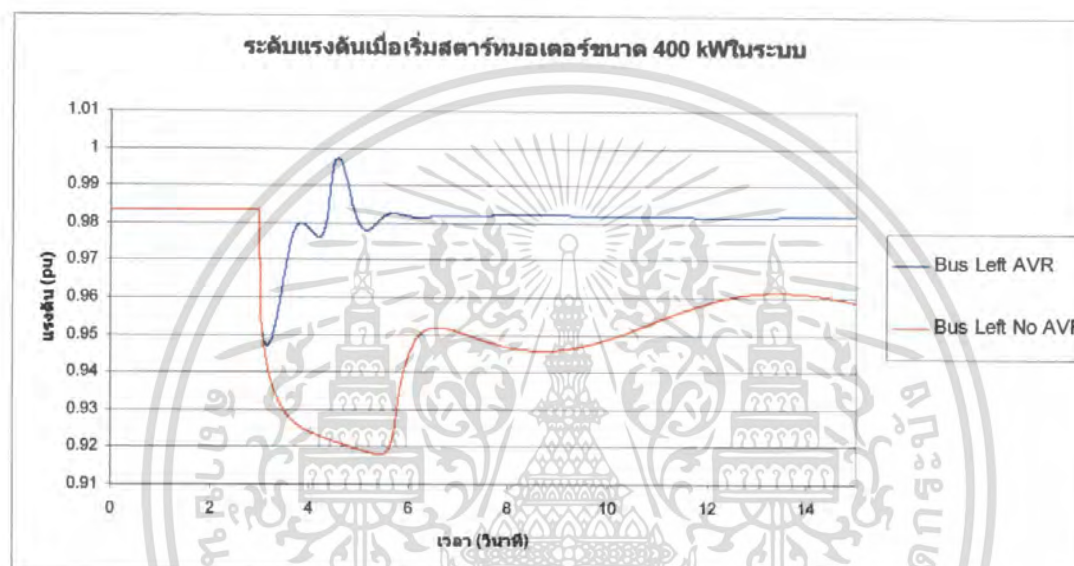
รูปที่ 4.61 แรงดันเฟส C เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground Fault ในฟีดเคอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาการเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบไฟฟ้า

สำหรับการเริ่มเดินเครื่องหรือเริ่มทำงานของมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบ จะทำให้ระดับแรงดันของระบบไฟฟ้ามีค่าตกลงไปมาก การทำงานของ DG จึงควรจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการปรับแรงดันตามการเปลี่ยนแปลงหรือรักษาระดับแรงดันให้มีค่าใกล้เคียงแรงดันใช้งานมากที่สุด เพื่อลดผลกระทบจากแรงดันตก ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ VSD เสียหายได้

การที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีระบบช่วยรักษาแรงดันอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator, AVR) จะช่วยให้แรงดันของระบบมีค่าคงที่มากที่สุด กรณีที่ไม่มี AVR อาจจะทำให้แรงดันของระบบตกลงมากทำให้เกิดแรงดันตกมากขึ้นส่งผลกระทบต่อระบบ



รูปที่ 4.62 แสดงระดับแรงดันของระบบเมื่อมีการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ในสภาวะแยกออก จากกริดของ DG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

จากการศึกษาเมื่อเกิดการลัดวงจรในสายส่งในแต่ละสถานะของการเชื่อมต่อแบบ เรเดียลและแบบลูป พบว่าผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นแบบลูปจะมีความรุนแรงมากกว่าการเชื่อมต่อแบบเรเดียล เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้แต่ต้น โดยผลของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดเล็กเข้าไปในระบบและเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น มีระบบควบคุมแรงดันและความถี่ที่สามารถรองรับกับการเปลี่ยนแปลงข้างต้นได้เล็กน้อย แต่ DG ที่ติดตั้งเข้าไปก็ไม่ได้ทำให้แรงดันตกชั่วขณะของระบบรุนแรงขึ้นเนื่องจากกระแสฟลด์ สนับสนุน

จากการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบที่สภาวะอยู่ตัว โดยทำการลดโหลดของระบบลงโดยทำการศึกษาที่โหลดเท่ากับ 100%, 80% และ 60% พบว่า เมื่อทำการลดโหลดลงเท่าใดก็ตาม เมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าไปกับระบบ แรงดันทุก ๆ บัสของระบบจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ โดย DG จะไม่ส่งผลกระทบใดๆต่อระบบ เนื่องจาก DG มีตัว AVR จึงสามารถควบคุมแรงดันของระบบได้

จากการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบภายใต้สภาวะที่ระบบแยกออกจากกริด ที่สภาวะอยู่ตัวโดยเราจะให้ DG ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับระบบที่ละฟีดเดอร์ และทำการวัดแรงดันที่บัสต้นทางของฟีดเดอร์นั้นๆ พบว่าไม่ว่าเราจะให้ DG จ่ายไฟให้กับระบบ โดยที่ระบบแยกออกจากกริด ในทุกๆฟีดเดอร์นั้น แรงดันที่เราวัดได้ที่บัสต้นทางจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจาก DG มี AVR ซึ่งตัว AVR นี้จะทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงดันของระบบได้ และเมื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละฟีดเดอร์พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าที่บัสขวาของสถานีฟีดเดอร์ที่อยู่ทางด้านขวาจะมีแรงดันสูงกว่ากรณีที่เชื่อมต่อ DG เข้าทางด้านซ้ายของสถานีเช่นเดียวกันกับเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าทางด้านซ้ายของสถานี ฟีดเดอร์ที่อยู่ทางด้านซ้ายก็จะมีแรงดันที่สูงกว่ากรณีที่ทำการเชื่อมต่อ DG ทางด้านขวานั้นก็หมายความว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้าที่ด้านใดของสถานีฟีดเดอร์ด้านนั้นๆก็จะมีค่าแรงดันสูงสุดนั่นเอง

จากการศึกษาผลกระทบเมื่อทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบเมื่อทำการปรับสภาพการจ่ายไฟของระบบแบบต่างๆ นั้นพบว่าไม่ว่าเราทำการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบที่บัสใดๆ เมื่อมีสภาพการจ่ายไฟแบบต่างๆ แรงดันของระบบจะยังคงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจาก AVR ของ DG สามารถรักษาระดับแรงดันของระบบได้

การทำงานของ DG ในสภาวะแยกออกจากกริดจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของระบบเพื่อป้องกันผลหรือลดกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโวลต์ในระบบการทำงานของ DG ในสภาวะแยกออกจากกริดอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของรีเลย์ต่างๆเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจากผลการตอบสนองจากการควบคุมการทำงานของ DG เช่น Over voltage relay, Under voltage relay, Frequency relay โดยการตอบสนองของ DG ต่อโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงอาจจะทำให้การตั้งค่าระยะเวลาการทำงานของรีเลย์ทำงานเปลี่ยนไป แต่ทั้งนี้จะต้องอยู่ในระยะเวลาที่ไม่ทำให้ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาเรื่องระดับแรงดันตกชั่วขณะควรจะมีการพิจารณาถึงการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าให้ละเอียด เพื่อที่จะได้ผลของการทดลองใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด
2. การพิจารณาผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อการตอบสนองต่อแรงดันในสภาวะการทำงานแบบเมื่อระบบแยกออกจากกริดควรจะมีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับโมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้อยู่จริงมาทำการทดลอง จึงจะให้ข้อมูลใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] T.A. Short, **Electrical Power Distribution Handbook** , :CRC Press, 2003.
- [2] Hadi Sadat ,**Power System Analysis**, :McGrawHill,2006.
- [3] J. Arrillaga, N.R. Watson, and S Chen , **Power System Quality Assessment** , John Wiley & Sons, 2001.
- [4] IEEE Std 1159-1995, “ IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,” June 14 1995.
- [5] Pradit Fuangfoo, Wei-Jen Lee,“Intentional Islanding Operation to Improve the Service Reliability of Thailand Electric Power System,” University of Texas at Arlington,October 14 2007.
- [6] Chai Chompoo – inwai, Wei – Jen Lee, Pradit Fuangfoo, Mitch Williams, James Liao , “System Impact Study for the Interconnection of Wind Generation and Utility System,” University of Texas at Arlington,2004.
- [7] Math H.J. BOLLEN, Mats HÄGER, “ Impact of increasing penetration of distributed generation on the number of voltage dips experienced by end customer ,” **C I R E D 18th International Conference on Electricity Distribution**, Turin, 6-9 June 2005.
- [8] ศักดิ์ชัย นรสิงห์, “คุณภาพไฟฟ้า (POWER QUALITY) ตาม IEEE std 1159-1995,” ศูนย์รวมข้อมูลเทคนิคและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นการใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม, 2550.
- [9] ณรงค์ ศรียาภัย ,ตฤณ แสงสุวรรณ ,“การศึกษาระบบวิเคราะห์แรงดันตกชั่วขณะในระบบสายส่งย่อยแบบเรเดียลและแบบลูบจากผลการตรวจวัดและการจำลอง”วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

คุณลักษณะทั่วไปของโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

DigSILENT PowerFactory เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ที่สามารถสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพหรือป้อนข้อมูลด้วย Text file สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในระบบผลิต ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย และภาคอุตสาหกรรม ซึ่งความสามารถของโปรแกรมมีดังนี้

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

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรแกรมนี้ มีความสามารถในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าได้ทั้งในสภาวะคงตัว (Steady state) และสภาวะทรานเซียน (Transient state)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของสายส่งและจำหน่ายพิกัด 22 และ 33 กิโลโวลต์

Name	Vr(kV)	Ir(kA)	No.Subcond	Spacing(m)	Rdc(Ohm/km)	Dia(mm)	R(mm)	GMR (mm)	L'(mH/km)	μ r	Skin effect
16A	22	0.110	1	0	1.801833	5.100	2.550	1.85019662	1.258492673	1	1
25A	22	0.145	1	0	1.137064	6.420	3.210	2.329071039	1.212457157	1	1
35A	22	0.180	1	0	0.819995	7.560	3.780	2.742644402	1.179766543	1	1
50A1	22	0.225	1	0	0.570950	9.060	4.530	3.286819878	1.143566957	1	1
50A2	22	0.225	1	0	0.575656	9.150	4.575	3.466272954	1.132935068	1	1
70A	22	0.270	1	0	0.417050	10.750	5.375	4.072397187	1.100704693	1	1
95A	22	0.340	1	0	0.303574	12.600	6.300	4.77322833	1.068946481	1	1
120A	22	0.390	1	0	0.237343	14.250	7.125	5.398293945	1.044334462	1	1
150A	22	0.455	1	0	0.195982	15.750	7.875	6.04626109	1.02166304	1	1
185A	22	0.520	1	0	0.156235	17.640	8.820	6.77181242	0.998997303	1	1
240A	22	0.625	1	0	0.119139	20.250	10.125	7.817371656	0.970281377	1	1
300A	22	0.710	1	0	0.094977	22.680	11.340	8.755456255	0.94761564	1	1
400A	22	0.855	1	0	0.074255	25.650	12.825	9.902004098	0.923003622	1	1
500A	22	0.990	1	0	0.057102	29.250	14.625	11.29175906	0.896736421	1	1
625A	22	1.140	1	0	0.046249	32.560	16.280	12.60548686	0.874724619	1	1
800A	22	1.340	1	0	0.036107	36.850	18.425	14.26634492	0.849970404	1	1
1000A	22	1.540	1	0	0.028969	41.140	20.570	15.92720299	0.82794535	1	1
16AA	22	0.105	1	0	2.093553	5.100	2.550	1.85019662	1.258492673	1	1
25AA	22	0.135	1	0	1.371966	6.300	3.150	2.329071039	1.212457157	1	1
35AA	22	0.170	1	0	0.968059	7.500	3.750	2.742644402	1.179766543	1	1
50AA1	22	0.210	1	0	0.672263	9.000	4.500	3.286819878	1.143566957	1	1
50AA2	22	0.210	1	0	0.691337	9.000	4.500	3.466272954	1.132935068	1	1
70AA	22	0.255	1	0	0.507921	10.500	5.250	4.072397187	1.100704693	1	1
95AA	22	0.320	1	0	0.358389	12.500	6.250	4.77322833	1.068946481	1	1
120AA	22	0.365	1	0	0.285706	14.000	7.000	5.398293945	1.044334462	1	1
150AA	22	0.425	1	0	0.227712	15.800	7.900	6.04626109	1.02166304	1	1
185AA	22	0.490	1	0	0.184446	17.500	8.750	6.77181242	0.998997303	1	1
240AA	22	0.585	1	0	0.138427	20.300	10.150	7.817371656	0.970281377	1	1

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของสายส่งและจำหน่ายพิกัด 22 และ 33 กิโลโวลต์ (ต่อ)

Name	Vr(kV)	Ir(kA)	No.Subcond	Spacing(m)	Rdc(Ohm/km)	Dia(mm)	R(mm)	GMR (mm)	L'(mH/km)	μ r	Skin effect
300AA	22	0.670	1	0	0.112126	22.500	11.250	8.755456255	0.94761564	1	1
400AA	22	0.810	1	0	0.083906	26.000	13.000	9.902004098	0.923003622	1	1
500AA	22	0.930	1	0	0.067171	29.100	14.550	11.29175906	0.896736421	1	1
625AA	22	1.075	1	0	0.053736	32.600	16.300	12.60548686	0.874724619	1	1
800AA	22	1.255	1	0	0.041953	36.900	18.450	14.26634492	0.849970404	1	1
1000AA	22	1.450	1	0	0.033660	41.100	20.550	15.92720299	0.82794535	1	1
16/2.5ACSR	22	0.090	1	0	1.879313	5.400	2.700	1.424188955	1.310830556	1	1
25/4ACSR	22	0.125	1	0	1.202760	6.800	3.400	1.780236194	1.266201846	1	1
35/6ACSR	22	0.145	1	0	0.835250	6.800	3.400	2.136283432	1.229737535	1	1
50/8ACSR	22	0.170	1	0	0.594626	8.100	4.050	2.531891476	1.195757727	1	1
50/30ACSR	22	0.170	1	0	0.564372	11.700	5.850	3.171748554	1.15069445	1	1
70/12ACSR	22	0.290	1	0	0.413021	11.700	5.850	3.111343712	1.154540117	1	1
95/15ACSR	22	0.350	1	0	0.305801	11.700	5.850	3.92552928	1.10805082	1	1
95/55ACSR	22	0.350	1	0	0.299211	13.600	6.800	4.71998296	1.07119002	1	1
120/20ACSR	22	0.410	1	0	0.237430	16.000	8.000	4.65316833	1.07404139	1	1
120/70ACSR	22	0.410	1	0	0.236414	15.500	7.750	4.90055571	1.06368133	1	1
125/30ACSR	22	0.425	1	0	0.225908	16.100	8.050	4.15598559	1.09664113	1	1
150/25ACSR	22	0.470	1	0	0.193904	17.100	8.550	4.93115095	1.06243657	1	1
170/40ACSR	22	0.520	1	0	0.168235	18.900	9.450	4.81594896	1.06716443	1	1
185/30ACSR	22	0.535	1	0	0.157063	19.000	9.500	5.47736464	1.04142624	1	1
210/35ACSR	22	0.590	1	0	0.138043	20.300	10.150	5.84489084	1.02843747	1	1
210/50ACSR	22	0.610	1	0	0.136270	21.000	10.500	5.35105441	1.04609233	1	1
230/30ACSR	22	0.630	1	0	0.124940	21.000	10.500	6.27198665	1.01433242	1	1
240/40ACSR	22	0.645	1	0	0.118762	21.900	10.950	6.57584458	1.00487045	1	1
265/35ACSR	22	0.680	1	0	0.109420	22.400	11.200	6.70219745	1.00106397	1	1
300/50ACSR	22	0.740	1	0	0.094873	24.500	12.250	7.35812051	0.98239015	1	1
305/40ACSR	22	0.740	1	0	0.094897	24.100	12.050	6.83763993	0.99706253	1	1
380/50ACSR	22	0.840	1	0	0.075732	27.000	13.500	7.65407455	0.97450343	1	1

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของสายส่งและจำหน่ายพิกัด 22 และ 33 กิโลโวลต์ (ต่อ)

Name	Vr(kV)	Ir(kA)	No.Subcond	Spacing(m)	Rdc(Ohm/km)	Dia(mm)	R(mm)	GMR (mm)	L'(mH/km)	μ r	Skin effect
435/55ACSR	22	0.900	1	0	0.066562	28.700	14.350	8.16434619	0.96159573	1	1
490/65ACSR	22	0.960	1	0	0.058961	30.600	15.300	8.67461782	0.94947080	1	1
550/70ACSR	22	1.020	1	0	0.052592	32.400	16.200	9.18488946	0.93803912	1	1
680/85ACSR	22	1.150	1	0	0.042599	36.000	18.000	4.54352041	1.07881063	1	1
35PIC25	22	0.149	1	0	0.868000	9.464	4.732	2.70633272	1.18243216	1	1
50PIC25	22	0.186	1	0	0.641000	11.171	5.585	3.24370526	1.14620780	1	1
70PIC25	22	0.237	1	0	0.443000	12.427	6.213	3.78886581	1.11513771	1	1
95PIC25	22	0.279	1	0	0.320000	14.786	7.393	4.45863448	1.08258255	1	1
120PIC25	22	0.321	1	0	0.253000	16.556	8.278	5.04273507	1.05796133	1	1
185PIC25	22	0.429	1	0	0.164000	19.390	9.695	6.22261826	1.01591290	1	1
35PIC35	22	0.148	1	0	0.868000	10.736	5.368	2.70633272	1.18243216	1	1
50PIC35	22	0.184	1	0	0.641000	12.047	6.023	3.24370526	1.14620780	1	1
70PIC35	22	0.234	1	0	0.443000	13.776	6.888	3.78886581	1.11513771	1	1
95PIC35	22	0.276	1	0	0.320000	15.693	7.847	4.45863448	1.08258255	1	1
120PIC35	22	0.318	1	0	0.253000	17.473	8.736	5.04273507	1.05796133	1	1
185PIC35	22	0.425	1	0	0.164000	20.579	10.290	6.22261826	1.01591290	1	1
25SAC15	22	0.120	1	0	1.200000	9.998	4.999	2.29746231	1.21519002	1	1
35SAC15	22	0.151	1	0	0.868000	11.134	5.567	2.70633272	1.18243216	1	1
50SAC15	22	0.187	1	0	0.641000	12.673	6.336	3.24370526	1.14620780	1	1
70SAC15	22	0.231	1	0	0.443000	14.203	7.102	3.78886581	1.11513771	1	1
95SAC15	22	0.281	1	0	0.320000	16.132	8.066	4.45863448	1.08258255	1	1
120SAC15	22	0.324	1	0	0.253000	17.696	8.848	5.04273507	1.05796133	1	1
150SAC15	22	0.375	1	0	0.206000	19.144	9.572	5.55674359	1.03854861	1	1
185SAC15	22	0.433	1	0	0.164000	20.811	10.406	6.22261826	1.01591290	1	1
240SAC15	22	0.525	1	0	0.125000	23.367	11.683	7.19222523	0.98695093	1	1
25SAC25	22	0.119	1	0	1.200000	11.763	5.881	2.29746231	1.21519002	1	1
35SAC25	22	0.149	1	0	0.868000	12.984	6.492	2.70633272	1.18243216	1	1
50SAC25	22	0.186	1	0	0.641000	14.423	7.211	3.24370526	1.14620780	1	1

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของสายส่งและจำหน่ายพิกัด 22 และ 33 กิโลโวลต์ (ต่อ)

Name	Vr(kV)	Ir(kA)	No.Subcond	Spacing(m)	Rdc(Ohm/km)	Dia(mm)	R(mm)	GMR (mm)	L'(mH/km)	μ r	Skin effect
70SAC25	22	0.229	1	0	0.443000	16.398	8.199	3.78886581	1.11513771	1	1
95SAC25	22	0.279	1	0	0.320000	18.202	9.101	4.45863448	1.08258255	1	1
120SAC25	22	0.321	1	0	0.253000	19.617	9.808	5.04273507	1.05796133	1	1
250SAC25	22	0.371	1	0	0.206000	21.513	10.756	5.55674359	1.03854861	1	1
185SAC25	22	0.429	1	0	0.164000	23.240	11.620	6.22261826	1.01591290	1	1
240SAC25	22	0.520	1	0	0.125000	25.859	12.930	7.19222523	0.98695093	1	1
25SAC35	22	0.118	1	0	1.200000	12.573	6.286	2.29746231	1.21519002	1	1
35SAC35	22	0.148	1	0	0.868000	14.166	7.083	2.70633272	1.18243216	1	1
50SAC35	22	0.184	1	0	0.641000	15.678	7.839	3.24370526	1.14620780	1	1
70SAC35	22	0.227	1	0	0.443000	17.505	8.752	3.78886581	1.11513771	1	1
95SAC35	22	0.276	1	0	0.320000	19.361	9.680	4.45863448	1.08258255	1	1
120SAC35	22	0.318	1	0	0.253000	21.210	10.605	5.04273507	1.05796133	1	1
150SAC35	22	0.367	1	0	0.206000	22.723	11.362	5.55674359	1.03854861	1	1
185SAC35	22	0.425	1	0	0.164000	24.282	12.141	6.22261826	1.01591290	1	1
240SAC35	22	0.515	1	0	0.125000	27.144	13.572	7.19222523	0.98695093	1	1
15GS	22	9.999	1	0	9.574133	4.950	2.475	0.00000002	4.98450059	1	1
22GS	22	9.999	1	0	6.325215	6.090	3.045	0.00000042	4.31992511	1	1
25GS	22	9.999	1	0	5.910562	6.300	3.150	0.00000070	4.21571306	1	1
30GS	22	9.999	1	0	4.679973	7.080	3.540	0.00000407	3.86378043	1	1
35GS	22	9.999	1	0	4.170492	7.500	3.750	0.00000912	3.70246131	1	1
40GS	22	9.999	1	0	3.739896	7.920	3.960	0.00001885	3.55737153	1	1
50GS	22	9.999	1	0	2.896175	9.000	4.500	0.00009000	3.24468272	1	1
55GS	22	9.999	1	0	2.801997	9.150	4.575	0.00010891	3.20655028	1	1
75GS1	22	9.999	1	0	1.924738	11.040	5.520	0.00001131	3.65959699	1	1
95GS1	22	9.999	1	0	1.484702	12.570	6.285	0.00258980	2.57278635	1	1
75GS2	22	9.999	1	0	2.188108	10.500	5.250	0.00047741	2.91097900	1	1
95GS2	22	9.999	1	0	1.543929	12.500	6.250	0.00246678	2.58251944	1	1

ตารางที่ ข-1 ตารางซีเค้นซ์อิมพีแดนซ์ของสายเคเบิลอากาศ สำหรับสายจำหน่าย 22 ,33 กิโลโวลต์

Cond. (mm ²) No.cct	Line Type	Sequence	Surge Impedance		Attenuation db/km	Velocity km/sec	Wavelength km	Resistance ohm/km/cct	Reactance ohm/km/cct	Susceptance S/km/cct
			Magnitude	Angle						
			ohm	degree						
1 CIRCUIT										
50	1,3	Zero	1109.90	-14.66	0.0040828	1.7489E+05	3497.70	1.009500	1.796800	1.6729E-06
		Positive	427.23	-35.44	0.0095318	2.0372E+05	4074.50	0.763980	0.264950	4.4301E-06
	2	Zero	1046.20	-15.31	0.0043124	1.7317E+05	3463.50	1.002000	1.693600	1.7977E-06
		Positive	468.19	-33.71	0.0085192	2.1366E+05	4273.10	0.764030	0.317890	3.7752E-06
120	1,3	Zero	1030.60	-8.88	0.0024185	1.7638E+05	3527.50	0.567060	1.769400	1.7492E-06
		Positive	282.85	-26.80	0.0055308	2.4923E+05	4984.60	0.321520	0.237030	4.9928E-06
	2	Zero	1030.70	-8.89	0.0024181	1.7642E+05	3528.50	0.567020	1.769100	1.7486E-06
		Positive	283.01	-26.79	0.0055271	2.4928E+05	4985.50	0.321520	0.237230	4.9885E-06
185	1,3	Zero	1007.00	-7.34	0.0020000	1.7574E+05	3514.90	0.459960	1.755800	1.7898E-06
		Positive	241.72	-21.87	0.0041511	2.6389E+05	5277.70	0.214410	0.224020	5.3073E-06
	2	Zero	1007.40	-7.34	0.0019992	1.7580E+05	3516.00	0.459940	1.755800	1.7886E-06
		Positive	241.71	-21.87	0.0041513	2.6388E+05	5277.70	0.214410	0.224010	5.3076E-06

ประวัติผู้จัดทำ



นาย เชาวลิต ใจตั้ง ชื่อเล่น ต้ม รหัส 47010191 4B
 วันที่เกิด 23 สิงหาคม พ.ศ. 2528
 ที่อยู่ปัจจุบัน 31/15 ต.มามตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง 21150
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอัสสัมชัญระยอง
 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญระยอง
 ปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 โทรศัพท์ 086-1486408
 อีเมลล์ chaowalitt@hotmail.com



นาย สุขชัย ดิรักษา ชื่อเล่น ก๊ก รหัส 47010777 4B
 วันที่เกิด 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2527
 ที่อยู่ปัจจุบัน 113 ม.7 ต.โนนสูง อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์ 46120
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรค์
 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
 ปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 อีเมลล์ pea3445@hotmail.com
 โทรศัพท์ 089-0025770



นาย สุขชัย ทิศนะ ชื่อเล่น ยอด รหัส 47010779 4B
 วันที่เกิด 6 มิถุนายน พ.ศ. 2528
 ที่อยู่ปัจจุบัน 36/1 ม.2 ต.อุทัย อ.อุทัย จ.พระนครศรีอยุธยา 13210
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย
 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
 ปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 อีเมลล์ yod.k43@hotmail.com
 โทรศัพท์ 087-6748355

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้