


การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะเพื่อการประมาณตำแหน่ง
และแรงดันผิดพร่องบนสายส่ง



นางสาว สุกรีนา หะยิดือราแม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE APPLICATION OF VOLTAGE DIP CLASSIFICATION TECHNIQUE FOR EVALUATING
FAULT LOCATION AND VOLTAGES IN TRANSMISSION LINES



Miss Sukreena Hayeedueramae

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะเพื่อการ
ประมาณตำแหน่งและแรงดันผิดปกติพร้อมบนสายส่ง

โดย

นางสาว สุกรีนนา หะยีคือราม

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา


อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสทธิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)


..... กรรมการ
(นาย นริศ ชัชรานนท์)

สุกรีนา หะยีดีอราแม : การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะเพื่อ
การประมาณตำแหน่งและแรงดันผิดปกติพ่วงบนสายส่ง. (THE APPLICATION OF
VOLTAGE DIP CLASSIFICATION TECHNIQUE FOR EVALUATING FAULT
LOCATION AND VOLTAGES IN TRANSMISSION LINES) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์
ไชยะ แซ่มซ้อย, จำนวนหน้า 134 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตก
ชั่วขณะในการประมาณตำแหน่งความผิดปกติพ่วงในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งอาศัยข้อมูลการ
ตรวจวัดแรงดันตกชั่วขณะที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าต้นทางของ
การไฟฟ้านครหลวง โดยใช้หลักการคือ เมื่อเกิดความผิดปกติพ่วงขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของ
การไฟฟ้านครหลวง จะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ข้อมูลของแรงดันตกชั่วขณะที่ได้นี้ จะนำมาประมาณ
ตำแหน่งความผิดปกติพ่วงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โปรแกรมจะแสดงตำแหน่งที่เกิด
ความผิดปกติพ่วงภายในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้การแก้ปัญหาไฟฟ้าขัดข้องมีความรวดเร็วมาก
ขึ้น เจ้าหน้าที่แก้ไขไฟฟ้าขัดข้องสามารถตรวจหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติพ่วง เพื่อนำไปเป็นข้อมูล
ในการวางแผนการบำรุงรักษาและหาวิธีป้องกันในการลดปัญหาการเกิดความผิดปกติพ่วงในสายส่งลง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต..... *Sim DV*
สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *AP*
ปีการศึกษา..... 2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....

4770675921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: VOLTAGE SAGS / VOLTAGE DIPS / POWER QUALITY

SUKREENA HAYEEDUERAMAE : THE APPLICATION OF VOLTAGE DIP CLASSIFICATION
TECHNIQUE FOR EVALUATING FAULT LOCATION AND VOLTAGES IN TRANSMISSION
LINES. THESIS ADVISOR : MR.CHAIYA CHAMCHOY, 134 pp.

This thesis presents a developed technique for determining fault location and identifying types of voltage sag in the power system. The technique utilizes the data of voltage sags recorded by power quality measuring devices installed at MEA terminal stations. The principle is based on the fact that disturbances occurring in the MEA system cause voltage sag which are recorded and analyzed to determine the fault location with the developed computer program. The program will show the fault location in the power system so that any concerned operation can be executed more rapidly. In addition, the data of fault location is useful for maintenance planning and finding any solutions to reduce interruptions in the power system.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Electrical Engineering Student's signature Sukreena Hayeedueramae
Field of study Electrical Engineering Advisor's signature Dr. Chamchoy
Academic year 2007 Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการ ทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร. โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนและพนักงานการไฟฟ้านครหลวงทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยเฉพาะ

คุณนริศ ชัชชรานนท์ วิศวกรไฟฟ้าระดับ 7 ส่วนธุรกิจบริการและคุณภาพไฟฟ้า ที่ได้ ช่วยเหลือในการจัดหาข้อมูลของระบบจริงที่นำมาทดสอบ อีกทั้งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ด้วย

คุณฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์ วิศวกรไฟฟ้าระดับ 6 ฝ่ายวิจัยและพัฒนา ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับ การพัฒนาโปรแกรมและตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

คุณจตุพร ธรรมเจริญ วิศวกรไฟฟ้าระดับ 6 ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า ที่ได้อำนวยความสะดวกทุกๆด้านในการหาข้อมูล

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้ กำลังใจที่ดีตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ต

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2 นิยามและทฤษฎีแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	4
2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2 แรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	4
2.2.1 ความผิดพลาดแบบสมดุล.....	5
2.2.2 ความผิดพลาดแบบไม่สมดุล.....	6
2.2.2.1 ความผิดพลาดแบบหนึ่งเฟสลงดิน.....	6
2.2.2.2 ความผิดพลาดระหว่างเฟส.....	8
2.2.2.3 ความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	10
2.3 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะ.....	
เนื่องจากรูปแบบการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงและการต่อโหลด.....	12
2.3.1 ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบ Y โดยตรง.....	
หรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1.....	13
2.3.2 ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบ D โดยตรง.....	
หรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1.....	13
2.3.3 ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบY โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 2.....	13

2.3.4	ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบD โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 2	14
2.3.5	ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบY โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3	14
2.3.6	ความผิดพลาด1เฟสลงดินต่อโหลดแบบD โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3	14
2.3.7	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบY โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1	14
2.3.8	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบD โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1	14
2.3.9	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบY โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 2	15
2.3.10	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบD โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 2	15
2.3.11	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบY โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 3	15
2.3.12	ความผิดพลาด2เฟสต่อโหลดแบบD โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 3	15
2.3.13	รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาด2เฟสลงดิน	20
3	การจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะและการประมาณตำแหน่งผิดพลาดในสายส่ง	25
3.1	กระบวนการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ	25
3.1.1	การแบ่งรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะกลุ่ม 1	26
3.1.2	การแบ่งรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะกลุ่ม 2	27
3.2	เทคนิคการประมาณค่าแรงดันตกชั่วขณะ	28
3.2.1	แรงดันตกชั่วขณะ Type A	28
3.2.2	แรงดันตกชั่วขณะ Type B	28
3.2.3	แรงดันตกชั่วขณะ Type C	29
3.2.4	แรงดันตกชั่วขณะ Type D	29
3.2.5	แรงดันตกชั่วขณะ Type E	30
3.2.6	แรงดันตกชั่วขณะ Type F	30
3.2.7	แรงดันตกชั่วขณะ Type G	30
3.3	สรุปขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ	31
3.4	วิธีการประมาณตำแหน่งผิดพลาดในสายส่ง	34
3.4.1	เทคนิคที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดบนสายส่ง	34
3.4.2	การวิเคราะห์ความผิดพลาดแต่ละแบบโดยใช้ Z_{bus}	36
3.4.2.1	ความผิดพลาดแบบสมดุล	36
3.4.2.2	ความผิดพลาดแบบไม่สมดุล	36
3.4.2.2.1	Single phase to ground Fault	36

บทที่	หน้า
3.4.2.2.2 Line to Line Fault.....	37
3.4.2.2.3 Double Line to ground Fault.....	38
3.5 ตัวอย่างการประมาณตำแหน่งการเกิดความผิดปกติบนสายส่ง.....	39
4 โปรแกรมประมาณตำแหน่งของความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	45
4.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม.....	45
4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	46
4.2.1 การใช้งานโปรแกรมในการคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดปกติ.....	48
4.2.1.1 ปุ่ม Terminal Station Data.....	48
4.2.1.2 ปุ่ม Fault location calculation.....	48
4.2.1.3 ปุ่ม Fit to screen.....	50
4.2.1.4 ปุ่ม Exit.....	50
4.2.2 การอ่านข้อมูลของสถานีต้นทางเข้าสู่โปรแกรม.....	50
4.2.3 การอ่านข้อมูลขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ ที่บันทึกจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า.....	55
5 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติในทางปฏิบัติ.....	58
5.1 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า PQMS.....	58
5.1.1 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอก.....	58
5.1.2 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์.....	60
5.2 รายงานสถิติไฟฟ้าดับของการไฟฟ้านครหลวง.....	60
5.3 ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ของสถานีต้นทางและสายส่ง.....	62
5.3.1 รายละเอียดของสถานีต้นทางพระนครใต้.....	62
5.3.2 รายละเอียดของสถานีต้นทางเทพารักษ์.....	65
5.3.3 รายละเอียดของสถานีต้นทางหนองจอก.....	68
5.4 การประมาณขนาดและจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ.....	71
5.4.1 เหตุการณ์ที่ 1 แรงดันตกชั่วขณะที่บันทึกได้ ณ สถานีต้นทางพระนครใต้ เวลาที่เกิด 15:18 น.....	72
5.4.2 เหตุการณ์ที่ 2 แรงดันตกชั่วขณะที่บันทึกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 14 พ.ย. 50 เวลา 14:03 น.....	78

บทที่	หน้า
5.4.3 เหตุการณ์ที่ 3 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 16 พ.ย. 49 เวลา 09:56 น.....	85
5.4.4 เหตุการณ์ที่ 4 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 4 มี.ค. 50 เวลา 00:02 น.....	91
5.4.5 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะอื่นๆที่บ้านทีกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า_96	96
5.4.5.1 เหตุการณ์ที่ 5 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง หนองจอก วันที่ 17 ธันวาคม 2549 เวลา 09:45 น.....	96
5.4.5.2 เหตุการณ์ที่ 6 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง หนองจอก วันที่ 1 มีนาคม 2550 เวลา 10:07 น.....	96
5.4.5.3 เหตุการณ์ที่ 7 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง หนองจอก วันที่ 25 เมษายน 2550 เวลา 17:59 น.....	97
5.4.5.4 เหตุการณ์ที่ 8 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง หนองจอก วันที่ 13 พฤษภาคม 2550 เวลา 08:14 น.....	97
5.4.5.5 เหตุการณ์ที่ 9 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง เทพารักษ์ วันที่ 29 กันยายน 2549 เวลา 18:41 น.....	98
5.4.5.6 เหตุการณ์ที่ 10 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทาง เทพารักษ์ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2550 เวลา 10:55 น.....	98
6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	102
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	102
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	103
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก สถานที่ติดตั้งเครื่องวัดและจุดตรวจวัดข้อมูล.....	107
ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เชื่อมต่อกับ โปรแกรม MATLAB.....	109
ภาคผนวก ค การคำนวณหาตำแหน่งผิดพร่องจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถยืนยัน ตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่องได้.....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สรุปชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทีโหลด เมื่อพิจารณารูปแบบการต่อโหลด และการต่อชุดขดลวดหม้อแปลง.....16
2.2	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจาก SLG และ L-L16
2.3	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ A - D19
2.4	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะตามชนิดของการลัดวงจรและการต่อโหลด.....19
2.5	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง.....20
2.6	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง เมื่อเกิดการลัดวงจร 2 เฟสลงดิน.....20
2.7	ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ F-G21
2.8	ชนิดแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ Type F.....21
2.9	ชนิดแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ Type G.....21
2.10	ชนิดแรงดันตกชั่วขณะ E - G22
2.11	สรุปชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้ง 7 ชนิด23
3.1	แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆบนสายส่ง.....43
3.2	ประมาณค่า r44
3.3	หาระยะทางที่เกิดความผิดปกติ44
4.1	ความหมายของรูปภาพอุปกรณ์ต่าง ๆ51
5.1	ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอก.....58
5.2	ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์60
5.3	รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางพระนครใต้ ช่วงวันที่ 01/01/49 – 14/07/49.....61
5.4	รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางหนองจอก ช่วงวันที่ 01/09/49 – 17/05/50.....61
5.5	รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางเทพารักษ์ ช่วงวันที่ 01/09/49 – 17/05/50.....61
5.6	ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ (SKT).....62

ตารางที่	หน้า
5.7	Source impedance ของสถานีต้นทางพระนครใต้.....63
5.8	ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ที่ใช้ในการคำนวณ.....63
5.9	ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT).....65
5.10	Source impedance ของสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT).....66
5.11	ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ที่ใช้ในการคำนวณ.....66
5.12	ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอก (NJT).....68
5.13	Source impedance ของสถานีต้นทางหนองจอก (NJT).....69
5.14	ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอกที่ใช้ในการคำนวณ.....69
5.15	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ของสถานีต้นทางพระนครใต้1.....73
5.16	แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง.....74
5.17	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 1.....76
5.18	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ของสถานีต้นทางหนองจอก.....79
5.19	แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง.....80
5.20	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 2.....83
5.21	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ของสถานีต้นทางหนองจอก.....86
5.22	แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง.....87
5.23	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 3.....90
5.24	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ของสถานีต้นทางเทพารักษ์.....92
5.25	แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง.....93
5.26	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 4.....95
5.27	สรุปผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation ประเมิน เหตุการณ์ที่สามารถยืนยันตำแหน่งได้.....96
5.28	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 5.....96
5.29	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติพร้อมจากเหตุการณ์ที่ 6.....96

ตารางที่	หน้า
5.30	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 7.....97
5.31	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 8.....97
5.32	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 9.....97
5.33	ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 10.....98
5.34	ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ ที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางหนองจอก.....98
5.35	ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ ที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางเทพารักษ์.....99
ค.1	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 5.....115
ค.2	แรงดันที่บัสฯขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 5.....115
ค.3	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 5.....118
ค.4	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 6.....118
ค.5	แรงดันที่บัสฯขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 6.....119
ค.6	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 6.....121
ค.7	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 7.....122
ค.8	แรงดันที่บัสฯขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 7.....122
ค.9	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 7.....125
ค.10	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 8.....125
ค.11	แรงดันที่บัสฯขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 8.....125
ค.12	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 8.....128
ค.13	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 9.....129
ค.14	แรงดันที่บัสฯขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 9.....129
ค.15	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 9.....130

ตารางที่	หน้า
ค.16	แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 10.....131
ค.17	แรงดันที่ปั๊มขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆ ในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 10131
ค.18	ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 10.....133



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2	ความผิดพลาดแบบ 3 เฟส.....	5
2.3	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาด 3 เฟส.....	6
2.4	ความผิดพลาดแบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A).....	7
2.5	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน.....	8
2.6	ความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟส (ระหว่างเฟส B กับเฟส C).....	9
2.7	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟส.....	10
2.8	ความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	10
2.9	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	12
3.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_x และ V_{yz} ของกลุ่มที่ 1.....	26
3.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{xy} และ V_z ของกลุ่มที่ 2.....	27
3.3	Flowchart ขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ.....	31
3.4	ระบบไฟฟ้าตัวอย่าง.....	34
3.5	วิธีการหา Z_{bus}	34
3.6	ระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่เพิ่มบัส k เข้าไปในระบบ.....	35
3.7	ระบบไฟฟ้าตัวอย่างขณะเกิดความผิดพลาด.....	36
3.8	ระบบไฟฟ้าตัวอย่างขณะเกิดความผิดพลาด.....	39
3.9	ระบบไฟฟ้าจำลองโดยโปรแกรม PSS/ADEPT 5.0.....	40
3.10	ตัวอย่างการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ.....	41
3.11	สมการและเฟสเซอร์ของแรงดันตกชั่วขณะ Type B.....	41
4.1	แผนผังขั้นตอนการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	47
4.2	หน้าจอหลักของโปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	48
4.3	หน้าจอของโปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	49
4.4	หน้าจอแสดงผลการคำนวณตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า.....	50
4.5	แผนผังวงจรเส้นเคเบิลของสถานีต้นทางเทพารักษ์.....	51
4.6	หน้าจอของโปรแกรม Terminal station data.....	52
4.7	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลที่เป็นสายส่ง.....	53
4.8	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า.....	53

รูปที่	หน้า	
4.9	แผนผังขั้นตอนการป้อนข้อมูลของสถานีต้นทาง.....	54
4.10	หน้าจอของโปรแกรม PQ data.....	55
4.11	แผนผังขั้นตอนการอ่านค่าแรงดันจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า.....	56
4.12	หน้าจอแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม PQ data.....	57
5.1	การติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่สถานีต้นทาง.....	58
5.2	Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางพระนครใต้ (SKT).....	62
5.3	Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT).....	65
5.4	Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางหนองจอก (NJT).....	68
5.5	เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง SKT.....	72
5.6	แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา.....	72
5.7	การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ และประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส.....	73
5.8	การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation.....	76
5.9	ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F	77
5.10	เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง NJT วันที่ 14 พ.ย. 50 เวลา 14:03 น.....	78
5.11	แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา.....	78
5.12	การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ และประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส.....	79
5.13	การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation.....	83
5.14	ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F	84
5.15	เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง NJT วันที่ 16 พ.ย. 49 เวลา 09:56 น.....	85
5.16	แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา.....	85
5.17	การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ และประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส.....	86
5.18	การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation.....	90
5.19	ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F	91

รูปที่	หน้า	
5.20	การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ และประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส.....	92
5.21	การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation.....	94
5.22	ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F	95
5.23	กราฟที่ใช้ตรวจสอบความสามารถในการทนต่อแรงดันตกชั่วขณะ ของเหตุการณ์.....	100
6.1	ตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานอยู่ไกลกว่าตำแหน่งที่คำนวณ.....	102
6.2	ตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้สถานีต้นทาง.....	103
6.3	ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลทางสถิติของรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ.....	103
6.4	กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงระหว่างระยะที่เกิดความผิดพลาดกับ Z_F	104
ก.1	แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีต้นทางของการไฟฟ้านครหลวง.....	107
ก.2	จุดตรวจวัดข้อมูลของสถานีต้นทางเทพารักษ์.....	108
ข.1	การทำงานระหว่างสองโปรแกรมโดยใช้ Excel link.....	109
ข.2	ปุ่ม MATLAB command window เมื่อติดตั้ง Excel link.....	110
ข.3	ตัวอย่างการใช้ Excel link แบบ Worksheet Version.....	111
ข.4	กราฟตัวอย่างที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันของ Excel link.....	112
ข.5	โปรแกรม Terminal Station data.....	113
ข.6	ชุดคำสั่ง macro ที่ใช้ในการประมวลผล.....	114

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษาวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ รวมทั้งลำดับเนื้อหาในบทถัดไป เพื่อให้เห็นภาพรวมของการศึกษาภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าที่สำคัญ ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ คือ การเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ส่งผลทำให้อุปกรณ์ประเภทที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแส (Sensitive Load) เช่น ASD (Adjustable Speed Drive), PLC(Programmable Logic Controller) และรีเลย์ต่างๆ ที่มีการใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเกิดการหยุดทำงาน ทำให้มีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและเวลาที่ต้องเสียไป ซึ่งในบางครั้งอาจต้องมีการเริ่มต้นของกระบวนการผลิตใหม่ โดยในปัจจุบันการไฟฟ้านครหลวงยังคงประสบปัญหาแรงดันตกชั่วขณะค่อนข้างมาก และส่งผลกระทบต่อลูกค้าไฟแรงสูงที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ในกระบวนการผลิต ดังนั้นการดูแลและป้องกันความผิดปกติในระบบส่งจึงเป็นงานที่สำคัญของการไฟฟ้านครหลวงเช่นเดียวกับระบบจำหน่าย เพราะการเกิดความผิดปกติในระบบสายส่งนั้น จะทำให้เกิดปัญหาเป็นบริเวณกว้างมาก รวมทั้งในปัจจุบันมีลูกค้าที่มีความต้องการรับไฟฟ้าจากระบบส่งของการไฟฟ้านครหลวงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการรู้ตำแหน่งของความผิดปกติในระบบไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์และวางแผนในการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ ตัวอย่างเช่น หากทราบว่าตำแหน่งใดๆ บนสายส่งมีความถี่ของการเกิดความผิดปกติมาก ก็สามารถทำการบำรุงรักษาและหาวิธีป้องกันเพื่อลดปัญหาการเกิดความผิดปกติในสายส่งลง

วิทยานิพนธ์นี้จึงพัฒนาโปรแกรมที่สามารถประมาณหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบสายส่ง นำเสนอเทคนิคที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งความผิดปกติ โดยใช้คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ ประกอบด้วยขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะและชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้งสามเฟส แรงดันตกชั่วขณะจะได้จากการบันทึกเหตุการณ์โดยใช้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าต้นทางเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อศึกษาชนิดและเทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ
- 2) เพื่อใช้สมมติฐานที่ได้จากการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะในการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติบนสายส่งและค่าแรงดันผิดปกติที่บัสต่างๆ
- 3) เพื่อนำผลจากการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติและค่าแรงดันที่บัสต่างๆบนสายส่ง มาวางแผนในการบำรุงรักษาสายส่ง เพื่อลดการเกิดความผิดปกติ
- 4) เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติบนสายส่ง

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ศึกษาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งประกอบด้วยขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะและชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้งสามเฟส โดยการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจะใช้กราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน เมื่อสามารถจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะได้แล้ว จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประมาณตำแหน่งของความผิดปกติและแรงดันผิดปกติบนสายส่ง โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ในระบบส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมาณตำแหน่งความผิดปกติจากค่าแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อความสะดวกรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ

การศึกษามีดังนี้

- 1) ศึกษาในระบบสายส่ง 69 kV และ 115 kV ในเขตการให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ
- 2) ศึกษารูปแบบต่างๆ ของแรงดันตกชั่วขณะ
- 3) ศึกษาการคำนวณความผิดปกติแบบต่างๆ ร่วมกับสัมประสิทธิ์ r
- 4) ศึกษาการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลของแรงดันตกชั่วขณะภายในสถานีไฟฟ้า
- 5) ศึกษาและจัดเรียงข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะที่ได้จากการบันทึก
- 6) ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างโปรแกรมสำหรับใช้ประมาณตำแหน่งความผิดปกติในระบบสายส่ง

- 7) วิเคราะห์ข้อมูลจริงที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า เพื่อประมาณตำแหน่งของความผิดปกติ
- 8) สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

สิ่งที่ได้รับจากการศึกษาตามกระบวนการที่นำเสนอข้างต้นสรุปได้ดังนี้

- 1) สามารถตั้งสมมติฐานโดยใช้เทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะและชนิดของความผิดปกติ
- 2) สามารถประมาณตำแหน่งความผิดปกติในระบบสายส่งจากการตั้งสมมติฐาน
- 3) สามารถหาแรงดันผิดปกติที่บัสต่างๆ ในขณะที่เกิดความผิดปกติจากการตั้งสมมติฐาน
- 4) สร้างโปรแกรมสำหรับใช้จำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะและชนิดของความผิดปกติ รวมทั้งประมาณหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบสายส่ง
- 5) สามารถนำผลที่ได้ไปเป็นข้อมูลในการบำรุงรักษา และหาวิธีป้องกันเพื่อลดความผิดปกติในระบบสายส่ง

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะนำเสนอในแต่ละบทเรียงลำดับดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี และคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ

บทที่ 3 กล่าวถึงกระบวนการที่ใช้ในการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะและวิธีการประมาณตำแหน่งผิดปกติในระบบสายส่ง

บทที่ 4 กล่าวถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งความผิดปกติและแรงดันผิดปกติในระบบไฟฟ้า

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการประมาณตำแหน่งความผิดปกติ เมื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นทำการวิเคราะห์จากระบบจริงของการไฟฟ้านครหลวง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

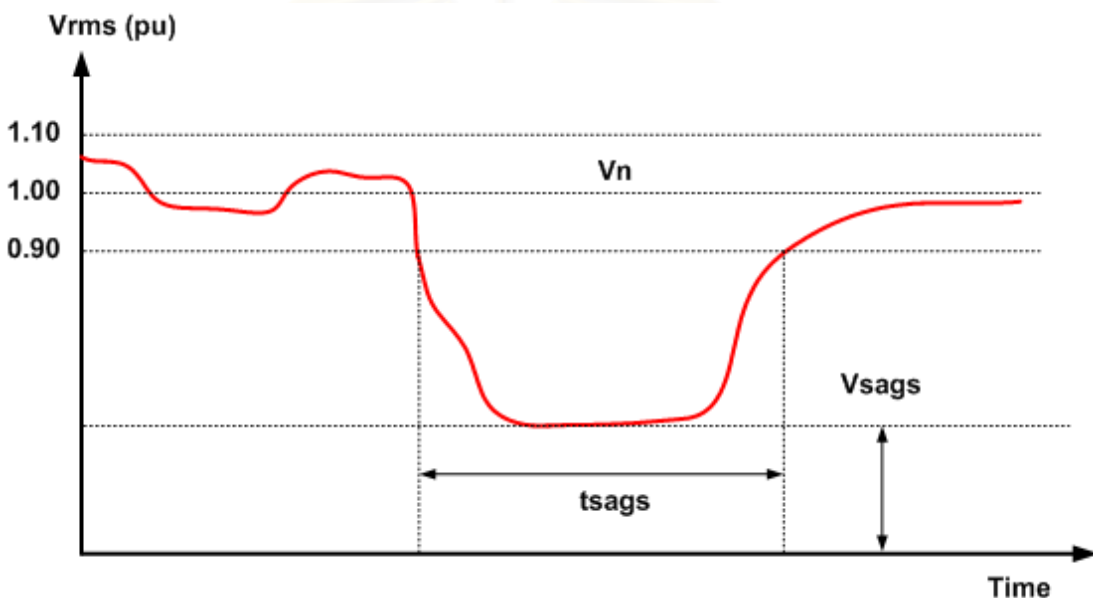
บทที่ 2

นิยามและทฤษฎีแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

การประมาณตำแหน่งความผิดปกติบนสายส่ง โดยอาศัยเทคนิคการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า มีทฤษฎีดังต่อไปนี้

2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ (Definition of voltage sags)

ตามมาตรฐาน IEEE 1159-1995 แรงดันตกชั่วขณะ คือการลดขนาดของแรงดันลงไปอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 เปอรเซ็นต์จากระดับแรงดันอาร์เอ็มเอสปกติ ภายในระยะเวลา 0.5 ไซเคิล ถึง 1 นาที [1] หากเกิดขึ้นนานกว่านี้ถือว่าเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าประเภทอื่น



รูปที่ 2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ

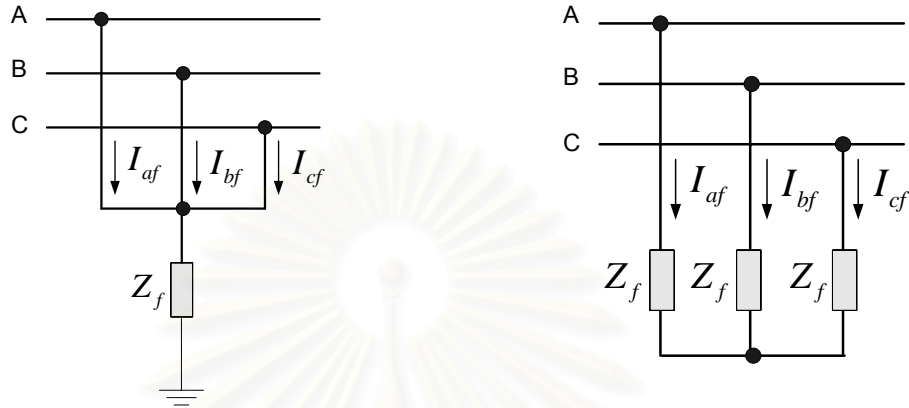
V_{sags} คือ ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงดันที่เหลืออยู่ (Remaining voltage) เมื่อทำการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ V_n โดยที่ V_n คือ แรงดันปกติ (nominal voltage) และ t_{sags} คือ ระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

2.2 แรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า [2]

การวิเคราะห์คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะเป็นสิ่งสำคัญของการศึกษาปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดจากความผิดปกติเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นชนิดของความผิดปกติก็มีผลทำให้รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะแตกต่างกันไป การแบ่งชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจะพิจารณาจากรูปแบบของการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

2.2.1 ความผิดปกติแบบสมมูล (Three Phase Fault)

ความผิดปกติประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อสายทั้งสามเฟสถูกลัดวงจรพร้อมกัน ซึ่งจะมีขนาดกระแสและแรงดันเท่ากันทุกเฟสและมีมุมต่างเฟสกัน 120 องศา [2] โดยมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.2



ก. ความผิดปกติ 3 เฟสลงดิน

ข. ความผิดปกติ 3 เฟสไม่ลงดิน

รูปที่ 2.2 ความผิดปกติแบบ 3 เฟส

โดยกระแสลัดวงจรในขณะเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส มีค่าเท่ากับ

$$I_{3\phi}^{(1)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.1)$$

สำหรับความผิดปกติชนิดนี้กระแส $I_{3\phi}^{(0)} = I_{3\phi}^{(2)} = 0$ เมื่อตัวแปรต่างๆ คือ

$Z_{kk}^{(1)}$ คือ Z_{bus} ที่บัสที่เกิดความผิดปกติ k

Z_f คือ อิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งเกิดความผิดปกติ

การคำนวณหาค่าแรงดันที่บัสอื่นๆ โดยสมมติว่ากำลังสนใจบัส m จะได้ตามสมการ (2.2)-(2.4)

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_{3\phi}^{(0)} = 0 \quad (2.2)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_{3\phi}^{(1)} \quad (2.3)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_{3\phi}^{(2)} = 0 \quad (2.4)$$

ซึ่งก็คือ

$$V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.5)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

$$V_m^a = V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.6)$$

$$V_m^b = a^2 V_m^{(1)} = a^2 \left(1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right) \quad (2.7)$$

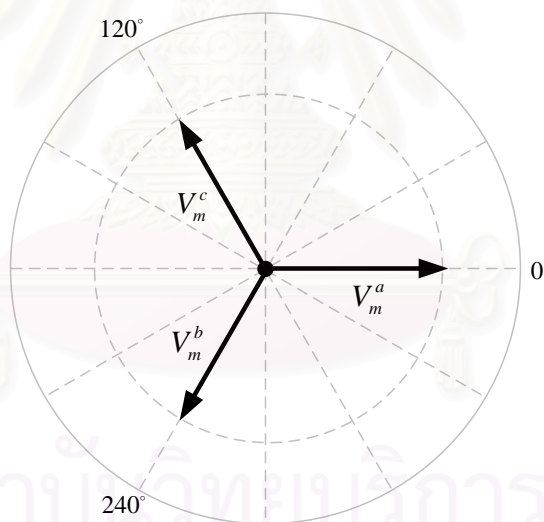
$$V_m^c = a V_m^{(1)} = a \left(1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right) \quad (2.8)$$

สมการแสดงค่า V_m^a , V_m^b และ V_m^c นี้ จะมองภาพการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันจากสถานะก่อนการเกิดการลัดวงจรและระหว่างการเกิดการลัดวงจรลำบากว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร ดังนั้นจากสมการที่ (2.6) - (2.8) จะเขียนสมการใหม่เพื่อบอกพฤติกรรมของแรงดันตกชั่วขณะได้ดังนี้

$$V_m^a = V \quad (2.9)$$

$$V_m^b = \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) V \quad (2.10)$$

$$V_m^c = \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) V \quad (2.11)$$

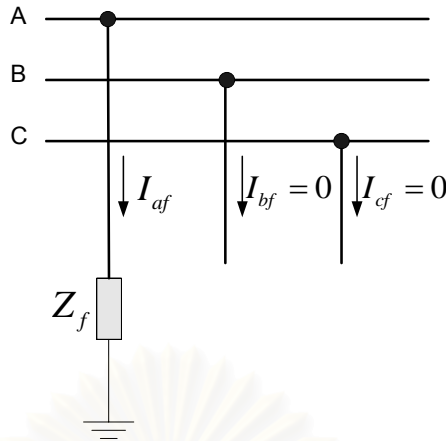


รูปที่ 2.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาด 3 เฟส

2.2.2 ความผิดพลาดแบบไม่สมดุล (Unsymmetrical Fault)

2.2.2.1 ความผิดพลาดแบบ 1 เฟสลงดิน (Single Line to Ground Fault)

ความผิดพลาดประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อมีสายเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าถูกลัดวงจรลงดิน ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ง่าย และมีอัตราการเกิดมากที่สุดในระบบไฟฟ้า โดยมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความผิดปกติแบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A)

สามารถคำนวณหากระแสขณะลัดวงจรในกรณีเกิดความผิดปกติชนิดนี้ที่บัส k ได้ดังนี้คือ

$$I_f^{(0)} = I_f^{(1)} = I_f^{(2)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.12)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ใดๆ ขณะเกิดความผิดปกติที่บัส k ในแบบ Symmetrical Component ดังนี้

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_f^{(0)} = \frac{-Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.13)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.14)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_f^{(2)} = \frac{-Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.15)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

$$V_m^a = V_m^{(0)} + V_m^{(1)} + V_m^{(2)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + Z_{mk}^{(1)} + Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.16)$$

$$V_m^b = V_m^{(0)} + a^2 V_m^{(1)} + a V_m^{(2)} = a^2 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + a^2 Z_{mk}^{(1)} + a Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.17)$$

$$V_m^c = V_m^{(0)} + a V_m^{(1)} + a^2 V_m^{(2)} = a - \frac{Z_{mk}^{(0)} + a Z_{mk}^{(1)} + a^2 Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.18)$$

สมการแสดงค่า V_m^a, V_m^b และ V_m^c นี้ จะมองภาพการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันจากสภาวะก่อนการเกิดการลัดวงจรและระหว่างการเกิดการลัดวงจรลำบากว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จึงกำหนดค่าเป็นตัวแปรใหม่ ดังนี้

$$\Delta V^{(0)} = \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.19)$$

$$\Delta V^{(1)} = \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.20)$$

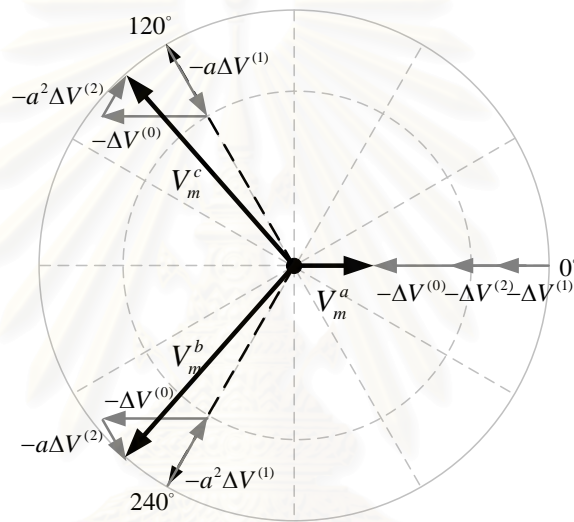
$$\Delta V^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.19), (2.20) และ (2.21) จะได้สมการของแรงดันในแต่ละเฟส คือ

$$V_m^a = 1 - (\Delta V^{(0)} + \Delta V^{(1)} + \Delta V^{(2)}) \quad (2.22)$$

$$V_m^b = a^2 - (\Delta V^{(0)} + a^2 \Delta V^{(1)} + a \Delta V^{(2)}) \quad (2.23)$$

$$V_m^c = a - (\Delta V^{(0)} + a \Delta V^{(1)} + a^2 \Delta V^{(2)}) \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน

ข้อสังเกตถ้าค่า $\Delta V^{(0)}$, $\Delta V^{(1)}$ และ $\Delta V^{(2)}$ มีค่าเท่ากันจะทำให้ไม่เกิดปรากฏการณ์มุมเฟสเลื่อน ทำให้ได้สมการเพื่อบอกพฤติกรรมของแรงดันตกชั่วขณะได้คือ

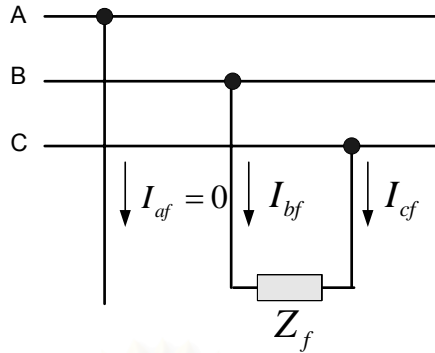
$$V_m^a = V \quad (2.25)$$

$$V_m^b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.26)$$

$$V_m^c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.27)$$

2.2.2.2 ความผิดพลาดระหว่างเฟส (Line to Line Fault)

เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส โดยสาเหตุใหญ่ๆมักจะเกิดจากสัตว์ เช่น นกหรือลิง เป็นต้น ซึ่งมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความผิดปกติแบบเฟสกับเฟส (ระหว่างเฟส B กับเฟส C)

สามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของความผิดปกติชนิดนี้โดย $I_f^{(0)} = 0$

$$I_f^{(1)} = -I_f^{(2)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.28)$$

คำนวณหาค่าแรงดันที่บัส m ใดๆ จากสมการต่อไปนี้

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_f^{(0)} = 0 \quad (2.29)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.30)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_f^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.31)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

$$V_m^a = V_m^{(1)} + V_m^{(2)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)} - Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.32)$$

$$V_m^b = a^2 V_m^{(1)} + a V_m^{(2)} = a^2 - \frac{a^2 Z_{mk}^{(1)} - a Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.33)$$

$$V_m^c = a V_m^{(1)} + a^2 V_m^{(2)} = a - \frac{a Z_{mk}^{(1)} - a^2 Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.34)$$

ในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป $Z_{mk}^{(1)} = Z_{mk}^{(2)}$ ทำให้สมการ(2.32) – (2.34) กลายเป็นสมการ (2.35) – (2.37)

$$V_m^a = 1 \quad (2.35)$$

$$V_m^b = a^2 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\frac{2Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right] \quad (2.36)$$

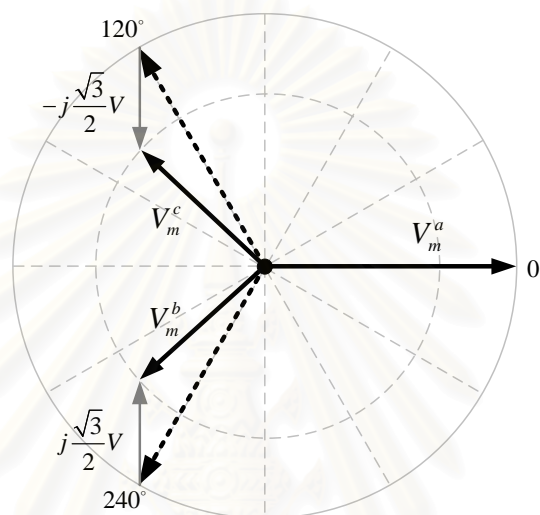
$$V_m^c = a - j \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\frac{2Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right] \quad (2.37)$$

กำหนดให้ $V = \frac{2Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f}$ ทำให้ได้สมการเพื่อบอกพฤติกรรมของแรงดันตกชั่วขณะได้ดังนี้

$$V_m^a = 1 \tag{2.38}$$

$$V_m^b = a^2 + j\frac{\sqrt{3}}{2}V \tag{2.39}$$

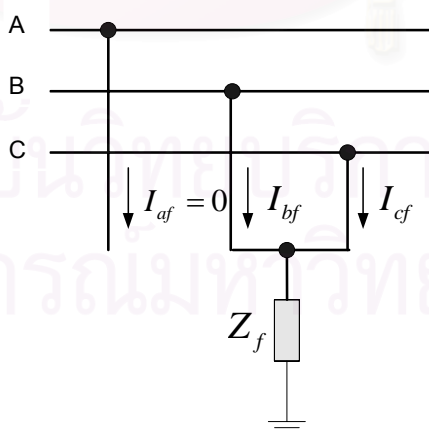
$$V_m^c = a - j\frac{\sqrt{3}}{2}V \tag{2.40}$$



รูปที่ 2.7 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟส

2.2.2.3 ความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟสลงดิน (Double Line to Ground Fault)

เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟสกับดิน ซึ่งมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความผิดพลาดแบบเฟสกับเฟสลงดิน

คำนวณหาค่ากระแสแฉัดวงจรของความผิดพลาดชนิดนี้ ได้ดังนี้

$$I_f^{(0)} = -\frac{1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} \quad (2.41)$$

$$I_f^{(1)} = \frac{Z_{kk}^{\prime(0)} + Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{\prime(0)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(2)} Z_{kk}^{\prime(0)}} \quad (2.42)$$

$$I_f^{(2)} = -\frac{1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(2)}} \quad (2.43)$$

โดยกำหนดให้ $Z_{kk}^{\prime(0)} = Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f$ คำนวณหาแรงดันที่บัส m ดังนี้

$$V_m^{(0)} = \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} (1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \quad (2.44)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} \quad (2.45)$$

$$V_m^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} (1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \quad (2.46)$$

โดยทั่วไปแล้ว $\frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)}} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} = \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}}$ จะได้ $I_f^{(1)}$ และแรงดันแต่ละเฟสที่บัส m ดังนี้

$$I_f^{(1)} = \frac{Z_{kk}^{\prime(0)} + Z_{kk}}{(Z_{kk})^2 + 2Z_{kk} Z_{kk}^{\prime(0)}} \quad (2.47)$$

$$V_m^a = 1 + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} + \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} + 2 \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.48)$$

$$V_m^b = a^2 + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} + a \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.49)$$

$$V_m^c = a + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} + a^2 \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{\prime(0)}} - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.50)$$

เพื่อง่ายสำหรับการในการพิจารณาจะสมมติว่า $Z_{mk}^{(0)} = Z_{mk}$ และ $Z_{kk}^{\prime(0)} = Z_{kk}$ นำแทนในสมการที่ (2.48) - (2.50) จะได้

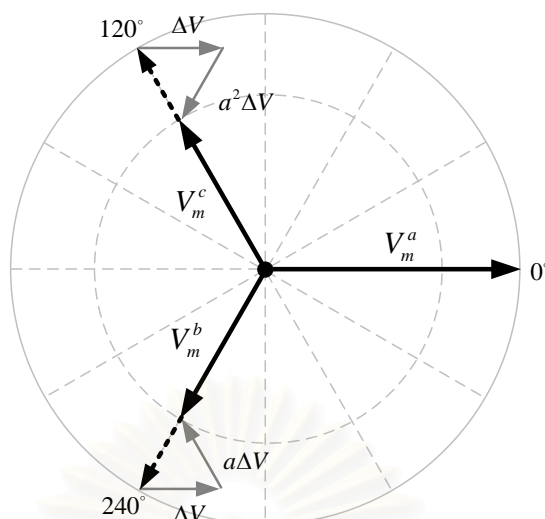
$$V_m^a = 1 \quad (2.51)$$

$$V_m^b = a^2 + \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} + a \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \quad (2.52)$$

$$V_m^c = a + \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} + a^2 \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \quad (2.53)$$

จากนั้นทำการเขียนเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันแต่ละเฟส โดยกำหนดให้

$$\Delta V = \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \quad (2.54)$$



รูปที่ 2.9 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของความผิดพร่องแบบเฟสกับเฟสลงดิน

2.3 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากรูปแบบการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงและการต่อโหลด [3]

สำหรับการศึกษาแรงดันตกชั่วขณะนั้นรูปแบบการต่อโหลดและการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องใช้ในการพิจารณานาของแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะมีผลทำให้รูปแบบและขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเปลี่ยนแปลงได้ โดยสามารถแบ่งรูปแบบการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงได้ 3 กลุ่มใหญ่คือ

- กลุ่มที่ 1 การต่อชุดขดลวดหม้อแปลงแบบ YNyn หมายถึงการต่อชุดขดลวดแบบ Y ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิพร้อมทั้งมีการต่อจุดศูนย์ลงดินทั้ง 2 ด้าน สำหรับกรณีนี้ขนาดและมุมเฟสของแรงดันจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการในรูปเมตริกซ์เพื่อหาแรงดันทางด้านทุติยภูมิได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_P \quad (2.55)$$

- กลุ่มที่ 2 การต่อชุดขดลวดหม้อแปลงแบบ Yy, Dd และ Dz หรือการต่อชุดขดลวดแบบที่กรองแรงดันลำดับศูนย์ทั้ง จะได้แรงดันทางด้านทุติยภูมิดังสมการที่ (2.56)

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_S = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_P \quad (2.56)$$

- กลุ่มที่ 3 การต่อชุดขดลวดหม้อแปลงแบบ Yd,Dy และ Yz ซึ่งเป็นการต่อชุดขดลวดแบบที่มีผลต่อขนาดและมุมเฟสของแรงดัน ซึ่งจะทำให้แรงดันทางด้านทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_S = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix}_P \quad (2.57)$$

ต่อไปนี้จะทำการวิเคราะห์แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาด 1 เฟสลงดินและ 2 เฟสจากทั้ง 3 กลุ่มของการต่อชุดขดลวดหม้อแปลงรวมทั้งพิจารณาการต่อโหลดด้วยจะได้เหตุการณ์ที่ต่างกันดังต่อไปนี้คือ

2.3.1 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ Y โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1

ในกรณีนี้จะพบว่าการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงกลุ่มที่ 1 จะทำให้แรงดันที่เกิดจากความผิดพลาดประเภทนี้มีรูปแบบแรงดันทางด้านโหลดดั้งเดิม นั่นคือสมการที่ (2.25)-(2.27) และกำหนดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X1 จะเห็นแรงดันตกไป 1 เฟส

2.3.2 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ D โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1

ผลลัพธ์ในกรณีนี้จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับแรงดันระหว่างสาย โดยสามารถพิจารณาแรงดันได้ดังนี้คือ

$$V_a = 1 \quad (2.58)$$

$$V_b = -\frac{1}{2} - j\left(\frac{1}{6} + \frac{V}{3}\right)\sqrt{3} \quad (2.59)$$

$$V_c = -\frac{1}{2} + j\left(\frac{1}{6} + \frac{V}{3}\right)\sqrt{3} \quad (2.60)$$

จัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X2 โหลดจะเห็นแรงดันตกไป 2 เฟส

2.3.3 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ Y โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 2

สำหรับกรณีนี้จะใช้สมการ (2.56) เพื่อหาค่าแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกลุ่มที่ 2 จะได้คือ

$$V_a = \frac{1}{3} + \frac{2}{3}V \quad (2.61)$$

$$V_b = -\frac{1}{6} - \frac{1}{3}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \quad (2.62)$$

$$V_c = -\frac{1}{6} - \frac{1}{3}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3} \quad (2.63)$$

จัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X3 โหลดจะเห็นแรงดันเปลี่ยนแปลงไปทั้ง 3 เฟส

2.3.4 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ D โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 2

จะพิจารณาจากสมการที่ (2.61) – (2.63) เพื่อคำนวณหาแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกลุ่ม 2 จากนั้นหาแรงดันที่ตกคร่อมโหลด ซึ่งจะได้เหมือนสมการ (2.58) – (2.60) ก็คือ แรงดันตกชั่วขณะชนิด X2 เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 2.3.2

2.3.5 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ Y โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3

การพิจารณาจะใช้สมการที่ (2.57) เพื่อหาแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกลุ่ม 3 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เหมือนหัวข้อที่ 2.3.2 จึงจัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X2

2.3.6 ความผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ต่อโหลดแบบ D โดยผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3

ในกรณีนี้สามารถพิจารณาจากสมการที่ (2.57) เพื่อหาแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกลุ่ม 3 จากนั้นคำนวณหาแรงดันที่ตกคร่อมโหลด ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เหมือนหัวข้อที่ 2.3.3 จึงจัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X3 ดังสมการที่ (2.61) – (2.63)

2.3.7 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหลดแบบ Y โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1

จะตรงกับสมการ (2.38) – (2.40) และสามารถจัดรูปแบบให้ง่ายสำหรับการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในสมการ (2.64) – (2.66)

$$V_a = 1 \quad (2.64)$$

$$V_b = a^2 + j\frac{\sqrt{3}}{2}V = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}(1-V) = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V^* \quad (2.65)$$

$$V_c = a - j\frac{\sqrt{3}}{2}V = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}(1-V) = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V^* \quad (2.66)$$

จึงจัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X4 โหลดจะเห็นแรงดันตกไป 2 เฟส

2.3.8 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหลดแบบ D โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 1

จากสมการ (2.64) – (2.66) ทำการพิจารณาแรงดันที่โหลดจะได้ดังนี้

$$V_a = j\frac{V_b - V_c}{\sqrt{3}} = \frac{j}{\sqrt{3}}\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V\right) = V \quad (2.67)$$

$$V_b = j\frac{V_c - V_a}{\sqrt{3}} = \frac{j}{\sqrt{3}}\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V - 1\right) = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.68)$$

$$V_c = j\frac{V_a - V_b}{\sqrt{3}} = \frac{j}{\sqrt{3}}\left(1 + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V\right) = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.69)$$

จึงจัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X5

2.3.9 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหนดแบบ Y โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 2

สำหรับกรณีนี้สามารถพิจารณาได้จากสมการ (2.56) เพื่อหาแรงดันด้านทุติยภูมิของความผิดพลาดแบบ 2 เฟส จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}_s = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V \\ -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V \\ -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V \end{bmatrix} \quad (2.70)$$

จึงให้ผลลัพธ์เหมือนกรณีที่ 2.3.7 จึงจัดเป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X4

2.3.10 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหนดแบบ D โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 2

การพิจารณาแรงดันในกรณีนี้สามารถพิจารณาได้จากแรงดันรูปแบบ X4 จากนั้นหาแรงดันที่ตกคร่อมโหนด ซึ่งจะพบว่าตรงกับรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะชนิด X5

2.3.11 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหนดแบบ Y โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 3

สำหรับกรณีนี้การพิจารณารูปแบบของแรงดันสามารถหาได้จากสมการ (2.57) ซึ่งพบว่าตรงกับหัวข้อที่ 2.3.8 จึงจัดให้เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิด X5

2.3.12 ความผิดพลาด 2 เฟส ต่อโหนดแบบ D โดยตรงหรือใช้หม้อแปลงกลุ่มที่ 3

ในกรณีสุดท้ายนี้การพิจารณาสามารถพิจารณาได้จากรูปแบบ X5 จากนั้นหาแรงดันที่ตกคร่อมโหนด ซึ่งจะได้ตรงกับแรงดันตกชั่วขณะชนิด X4

จากการพิจารณาทั้ง 12 กรณีตามที่ได้เสนอมานี้ สามารถสรุปและจัดให้อยู่ในรูปแบบตารางเพื่อความสะดวกในการพิจารณาดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

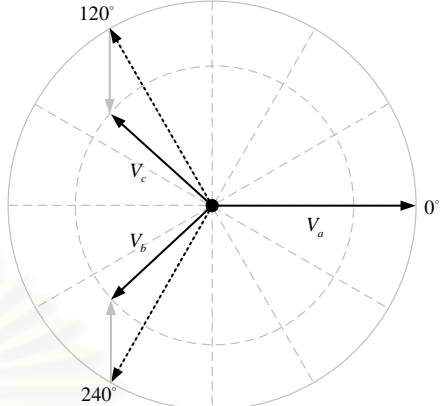
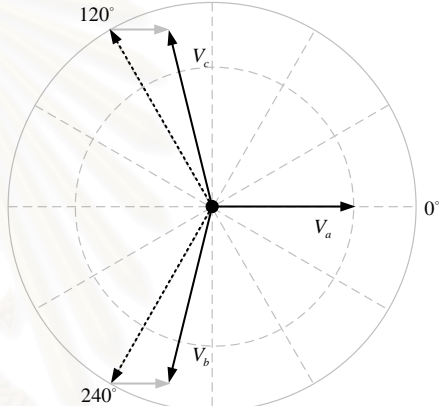
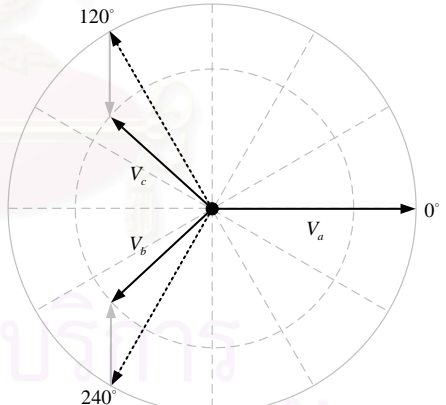
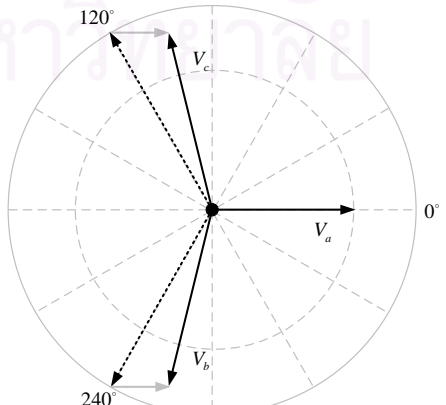
ตารางที่ 2.1 สรุปชนิดของแรงดันตกชั่วขณะที่โหลด เมื่อพิจารณารูปแบบการต่อโหลดและการต่อชุดควบคุมหม้อแปลง

Case	Fault type	Load Type	Tr. Group	Sag type
1	SLG	Y	1	X1
2	SLG	D	1	X2
3	SLG	Y	2	X3
4	SLG	D	2	X2
5	SLG	Y	3	X2
6	SLG	D	3	X3
7	L-L	Y	1	X4
8	L-L	D	1	X5
9	L-L	Y	2	X4
10	L-L	D	2	X5
11	L-L	Y	3	X5
12	L-L	D	3	X4

ตารางที่ 2.2 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจาก SLG และ L-L

Sag type	Voltage equation	Phasor diagram
X1	$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจาก SLG และ L-L

Sag type	Voltage equation	Phasor diagram
X2	$V_a = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - j\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right)\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2} + j\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right)\frac{\sqrt{3}}{2}$	
X3	$V_a = \frac{1}{3} + \frac{2V}{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	
X4	$V_a = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$ $V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	
X5	$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่า การลัดวงจรลงดินแบบหนึ่งเฟสลงดิน จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ 3 ชนิด คือ X1, X2 และ X3 สำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟส จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ 2 ชนิด คือ X4 และ X5 จากตารางที่ 2.2 พบว่าแรงดันตกชั่วขณะชนิด X2 และ X4 มีลักษณะคล้ายคลึงกันเช่นเดียวกันกับแรงดันตกชั่วขณะชนิด X3 และ X5 ก็จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยชนิด X2 มีขนาดแรงดันดังนี้

$$V_a = 1 \quad (2.71)$$

$$V_b = -\frac{1}{2} - j\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right)\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.72)$$

$$V_c = -\frac{1}{2} + j\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right)\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.73)$$

กำหนดให้แทน $V^* = \frac{1}{3} + \frac{2V}{3}$ จะได้ดังสมการที่ (2.73) – (2.75) ซึ่งจะเหมือนกับรูปแบบ X4

$$V_a = 1 \quad (2.74)$$

$$V_b = -\frac{1}{2} - jV^*\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.75)$$

$$V_c = -\frac{1}{2} + jV^*\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.76)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณา X3 ที่มีสมการแรงดันดังนี้

$$V_a = \frac{1}{3} + \frac{2V}{3} \quad (2.77)$$

$$V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.78)$$

$$V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{2V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.79)$$

กำหนดให้แทน $V^* = \frac{1}{3} + \frac{2V}{3}$ จะได้ดังสมการที่ (2.76) – (2.78) ซึ่งจะเหมือนกับรูปแบบ X5 คือ

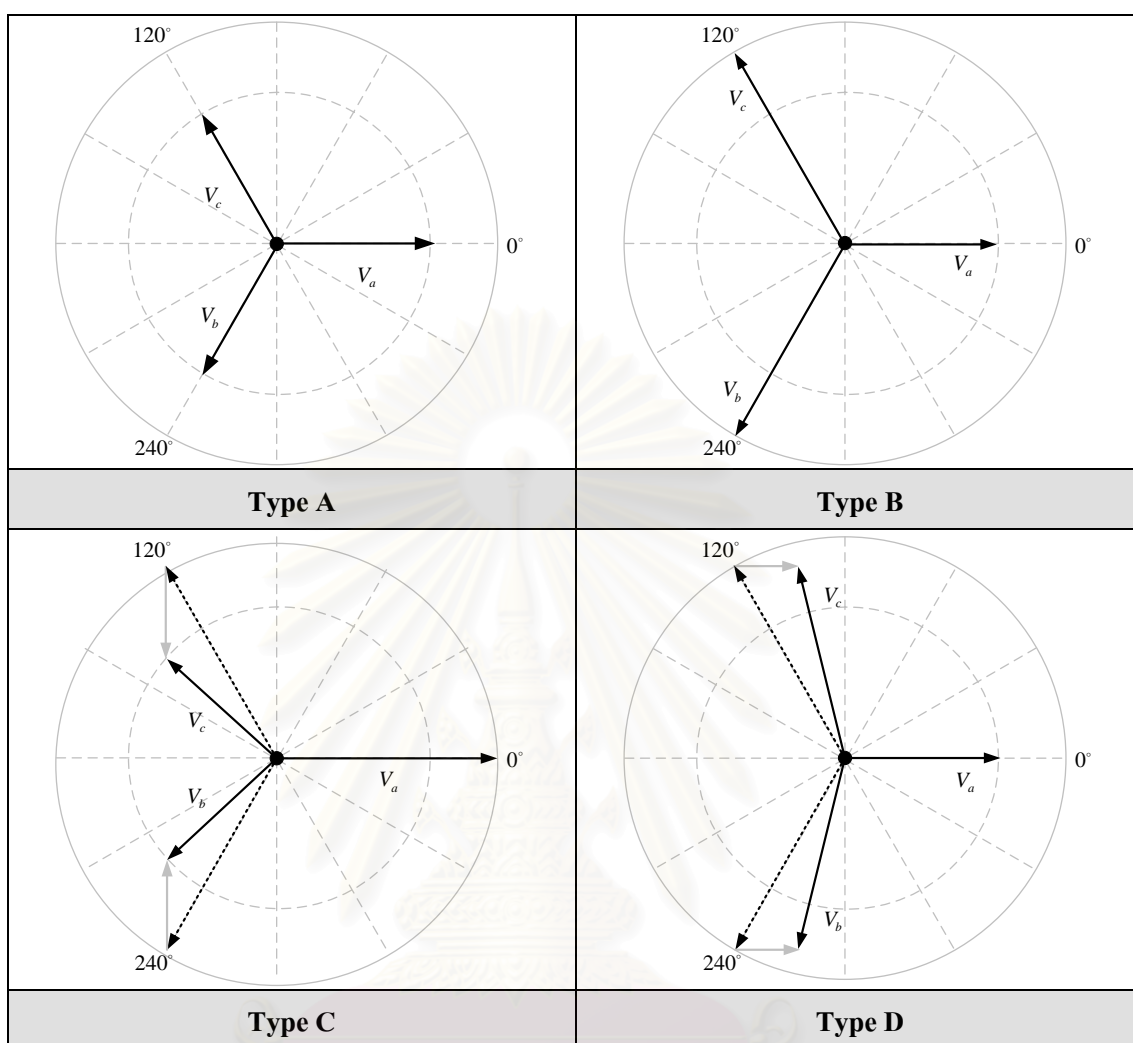
$$V_a = V^* \quad (2.80)$$

$$V_b = -\frac{1}{2}V^* - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.81)$$

$$V_c = -\frac{1}{2}V^* + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.82)$$

ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่ารูปแบบแรงดันตกชั่วขณะจะลดเหลือเพียง 3 รูปแบบ คือ X1, (X2 หรือ X4) และ (X3 หรือ X5) แรงดันตกชั่วขณะชนิดที่ 4 คือ แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรสามเฟส เพื่อสะดวกในการจัดเรียงจะกำหนดชื่อโดยเรียงตามลำดับตัวอักษร A – D ได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ A - D



โดยสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะตามชนิดของการลัดวงจรและการต่อโหลด

Fault type	Star – connection load	Delta – connection load
Three phase fault	Type A	Type A
Phase to phase fault	Type C	Type D
Single phase fault	Type B	Type C*

ตารางที่ 2.5 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

TR. connection	Type A	Type B	Type C	Type D
กลุ่มที่ 1	Type A	Type B	Type C	Type D
กลุ่มที่ 2	Type A	Type D*	Type C	Type D
กลุ่มที่ 3	Type A	Type C*	Type D	Type C

เมื่อ Type C* และ Type D* หมายถึงรูปแบบ Type C และ Type D เมื่อแทน $V^* = \frac{1}{3} + \frac{2V}{3}$

2.3.13 รูปแบบแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน

ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากกรณีนี้สามารถเกิดขึ้นได้เพียง 3 รูปแบบเท่านั้น โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

จากสมการแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน

$$V_a = 1 \quad (2.83)$$

$$V_b = a^2 + \Delta V + a\Delta V \quad (2.84)$$

$$V_c = a + \Delta V + a^2\Delta V \quad (2.85)$$

โดยสามารถจัดรูปแบบให้ง่ายขึ้นได้คือ

$$V_a = 1$$

$$V_b = -\frac{1}{2}(1-\Delta V) - j\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\Delta V) = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

$$V_c = -\frac{1}{2}(1-\Delta V) + j\frac{\sqrt{3}}{2}(1-\Delta V) = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

โดยให้ $V = 1 - \Delta V$ และกำหนดกรณีนี้ให้เป็นชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ Type E จากนั้นทำการพิจารณาชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจากการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ จะได้ว่าเมื่อผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 2 และ 3 จะทำให้รูปแบบแรงดันเปลี่ยนแปลงไปดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจร 2 เฟสลงดิน

กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
$V_a = 1$	$V_a = \frac{(2+V)}{3}$	$V_a = V$
$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$
$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$

จะกำหนดให้ชนิดที่เกิดขึ้นใหม่นี้เป็น Type F และ G ตามตารางที่ 2.7 จากนั้นทำการพิจารณาชนิดของแรงดันตกชั่วขณะจากการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ ตามตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.7 ชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ F-G

Type F	Type G
$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$ $V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$	$V_a = \frac{(2+V)}{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$ $V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$

ตารางที่ 2.8 ชนิดแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ Type F

กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$ $V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$	$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$ $V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$	$V_a = \frac{(2+V)}{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$ $V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$

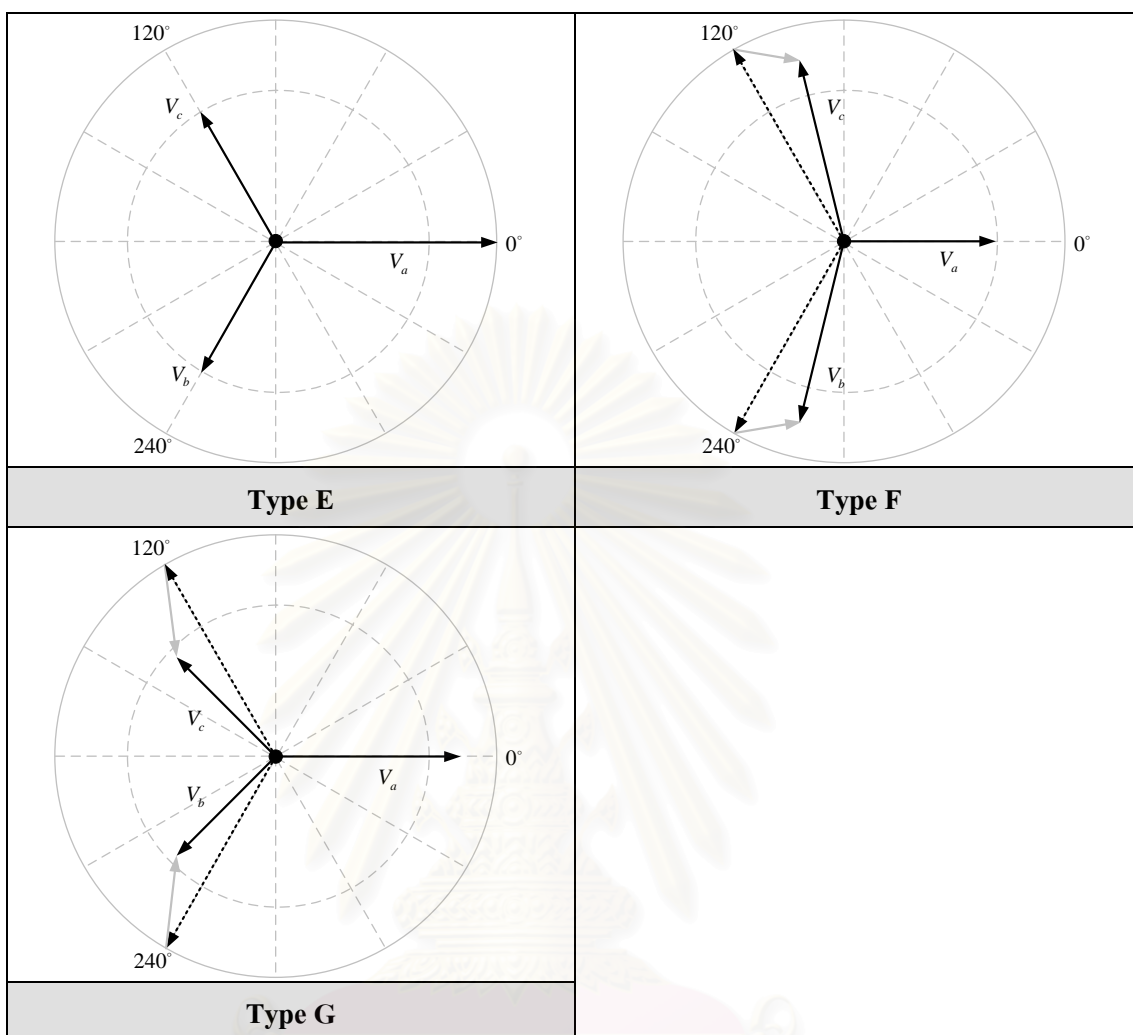
จะเห็นว่าเมื่อผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3 รูปแบบของแรงดัน Type F จะกลายเป็น Type G

ตารางที่ 2.9 ชนิดแรงดันตกชั่วขณะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ Type G

กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
$V_a = \frac{(2+V)}{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$ $V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_a = \frac{(2+V)}{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$ $V_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$	$V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$ $V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{2+V}{3}\right)$

จะเห็นว่าเมื่อผ่านหม้อแปลงกลุ่มที่ 3 รูปแบบของแรงดัน Type G จะกลายเป็น Type F ซึ่งจะได้ข้อสังเกตว่ากรณีความผิดพร้อม 2 เฟสลงดินนั้น รูปแบบของแรงดันชั่วขณะจะมีเพียง 3 แบบคือ E, F และ G ซึ่งมีแผนภูมิเฟสเซอร์ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ชนิดแรงดันตกชั่วขณะ E - G



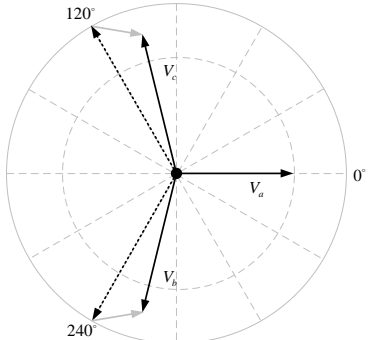
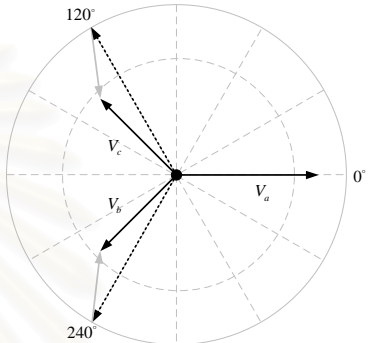
โดยจะสรุปสมการของแรงดันตกชั่วขณะพร้อมทั้งแผนภูมิเฟสเซอร์ทั้ง 7 รูปแบบตามตารางที่ 2.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.11 สรุปรูปชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้ง 7 ชนิด

Type A	
$\bar{V}_a = \bar{V}$ $\bar{V}_b = \bar{V} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ $\bar{V}_c = \bar{V} \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$	
Type B	
$\bar{V}_a = \bar{V}$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
Type C	
$\bar{V}_a = 1$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
Type D	
$\bar{V}_a = \bar{V}$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}\bar{V} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}\bar{V} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
Type E	
$\bar{V}_a = 1$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}\bar{V} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}\bar{V} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	

ตารางที่ 2.11 (ต่อ) สรุปชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้ง 7 ชนิด

<p style="text-align: center;">Type F</p> $\bar{V}_a = \bar{V}$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}\bar{V} - \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}\bar{V}\right)\frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}\bar{V} + \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}\bar{V}\right)\frac{1}{2}j\sqrt{3}$	
<p style="text-align: center;">Type G</p> $\bar{V}_a = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}\bar{V}$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}\left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}\bar{V}\right) - \frac{1}{2}j\bar{V}\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}\left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}\bar{V}\right) + \frac{1}{2}j\bar{V}\sqrt{3}$	

บทที่ 3

การจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะและการประมาณตำแหน่งผิดพลาดในสายส่ง

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด คือ แรงดันอาร์เอ็มเอส (V_{rms}) ทั้งเฟส A เฟส B เฟส C ข้อมูลแรงดันอาร์เอ็มเอสนำมาใช้ในกระบวนการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อช่วยในการหาชนิดของความผิดพลาด หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า ดังนี้

3.1 กระบวนการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ [4]

การจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อช่วยในการหาชนิดของความผิดพลาด ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการประมาณตำแหน่งความผิดพลาด ซึ่งจะพิจารณาชนิดของแรงดันตกชั่วขณะทั้งเจ็ดแบบในตารางที่ 2.11 โดยสามารถนำมาจัดเป็นกลุ่ม จะสังเกตจากลักษณะของแรงดันในแต่ละเฟสที่เปลี่ยนแปลง สรุปได้ดังนี้

- Type A : จะมีพฤติกรรมคือ แรงดันทั้งสามเฟสลดลง เรียกว่า three-phase drops
- Type C, E และ G : จะมีพฤติกรรมคือ แรงดันจะลดลงต่ำสองเฟส ส่วนแรงดันเฟสที่เหลืออาจจะลดลงหรือไม่ก็ได้แต่จะต้องมากกว่าแรงดันสองเฟสแรกเสมอ เรียกว่า two phase drops
- Type B, D และ F : จะมีพฤติกรรมคือ แรงดันจะลดลงต่ำเพียงเฟสเดียว ส่วนแรงดันสองเฟสที่เหลืออาจจะลดลงหรือไม่ก็ได้แต่จะต้องมากกว่าแรงดันเฟสแรกเสมอ เรียกว่า single phase drops

จากนั้นทำการจัดกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แรงดันอาร์เอ็มเอสทั้งสามเฟสมาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก โดยกำหนดให้ $V_x \leq V_y \leq V_z$ และตั้งเงื่อนไขดังนี้

- กลุ่ม 1 กลุ่มนี้ประกอบด้วย Single phase drops และ three-phase drops โดยมีเงื่อนไขคือ $V_z - V_y < V_y - V_x$
- กลุ่ม 2 กลุ่มนี้ประกอบด้วย Two phase drops และ three-phase drops โดยมีเงื่อนไขคือ $V_z - V_y > V_y - V_x$

กำหนดให้

V_x คือ แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดต่ำสุด

V_y คือ แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ V_x แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_z

V_z คือ แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดสูงสุด

3.1.1 การแบ่งรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะกลุ่ม 1

กลุ่มนี้จะประกอบด้วยชนิด A, B, D และ F การจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกชั่วขณะต่ำสุด (V_x) และแรงดันตกชั่วขณะเฉลี่ยของสองเฟสที่เหลือ (V_{yz}) โดยจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V_x และ V_{yz} ของแต่ละรูปแบบดังสมการที่ (3.1) – (3.4)

Type A

$$V_{yz} = V_x \quad (3.1)$$

Type B

$$V_{yz} = 1 \quad (3.2)$$

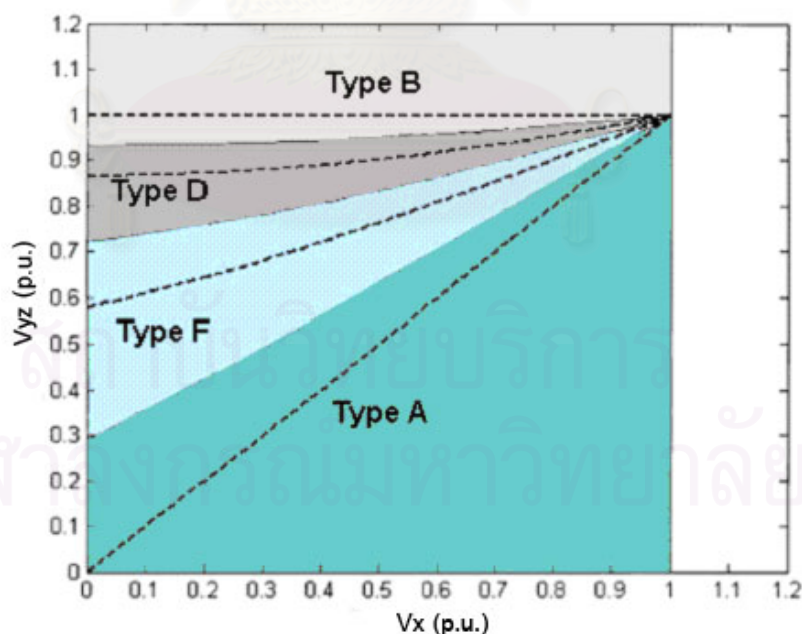
Type D

$$V_{yz} = \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{4}V_x^2} \quad (3.3)$$

Type F

$$V_{yz} = \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}V_x + \frac{1}{3}V_x^2} \quad (3.4)$$

จากความสัมพันธ์ที่ได้ นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_x กับ V_{yz} ได้ตามกราฟในรูปที่ 3.1 เส้นบางเป็นการแบ่งเขตของแต่ละชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 3.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_x และ V_{yz} ของกลุ่มที่ 1

ในกรณีที่เกิด Phase angle jump จะทำให้ V_y และ V_z มีขนาดไม่เท่ากัน จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ย

$$V_{yz} = \frac{1}{2}(V_y + V_z)$$

3.1.2 การแบ่งรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะกลุ่ม 2

กลุ่มนี้จะประกอบด้วย Type A, C, E และ G ค่า V_{xy} จะเป็นแรงดันตกชั่วขณะเฉลี่ยจากสองเฟสที่ต่ำสุด และ V_z เป็นแรงดันตกชั่วขณะที่สูงที่สุด

Type A

$$V_z = V_{xy} \quad (3.5)$$

Type C

$$V_z = 1, V_{xy} \geq 0.5 \quad (3.6)$$

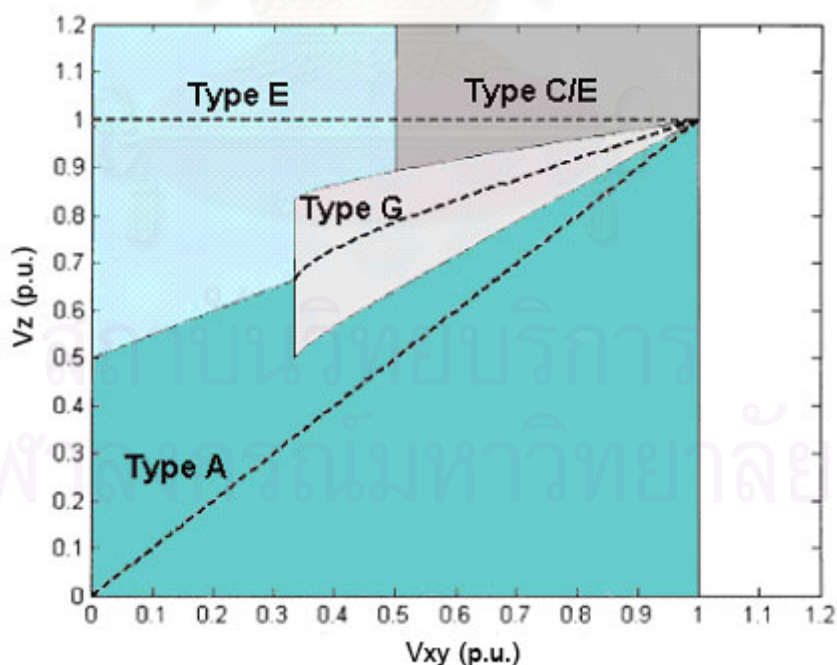
Type E

$$V_z = 1 \quad (3.7)$$

Type G

$$V_{xy} = \sqrt{3 - 9V_z + 7V_z^2}, V_{xy} \geq \frac{1}{3} \quad (3.8)$$

นำสมการข้างบนไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{xy} และ V_z จากกราฟจะพบว่าเป็นการยากที่จะจำแนกว่าเป็น Type C หรือ Type E เมื่อ V_{xy} มากกว่า 0.5 แต่จากสถิติพบว่า two-phase-to-ground (Type E) มักจะมีอัตราการเกิดน้อยกว่า single-line-to-ground และ phase-to-phase fault มาก ดังนั้นเราจึงจะจำแนกได้ว่าเป็น Type C สำหรับการประมาณค่าแรงดันแต่ละเฟสจะนำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการประมาณค่า



รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{xy} และ V_z ของกลุ่มที่ 2

ในกรณีที่เกิด Phase angle jump จะทำให้ V_x และ V_y มีขนาดไม่เท่ากัน จึงใช้ค่าเฉลี่ย

$$V_{xy} = \frac{1}{2}(V_x + V_y)$$

3.2 เทคนิคการประมาณค่าแรงดันตกชั่วขณะ [4]

เมื่อทราบชนิดของแรงดันตกชั่วขณะแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประมาณค่าแรงดันทั้งสามเฟสจากค่าแรงดัน RMS ทั้งสามเฟส ซึ่งมีวิธีการดังนี้

3.2.1 แรงดันตกชั่วขณะ Type A

เกิดจากความผิดปกติของแบบ Three Phase Fault ทำให้มีแรงดันลดลงทั้งสามเฟส จะประมาณขนาดได้จากค่าเฉลี่ยของแรงดันทั้งสามเฟส จากสมการที่ 3.9 จากนั้นนำค่า V ไปหาค่าแรงดันทั้งสามเฟสตามตารางที่ 2.11

$$V = \frac{V_x + V_y + V_z}{3} \quad (3.9)$$

3.2.2 แรงดันตกชั่วขณะ Type B

เกิดจากความผิดปกติของแบบ Single Line to Ground Fault จะทำให้มีแรงดันลดลงต่ำเพียงเฟสเดียว และอีกสองเฟสที่เหลือจะมีค่าใกล้เคียงกับ 1 pu. เนื่องจากในความเป็นจริงนั้นค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์กับลำดับหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถพิจารณาอย่างละเอียดได้จากบทที่ 2 ข้อที่ 2.2.2.1 สมการที่ (2.16) – (2.18) จะพบว่าในเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติจะมีค่าผลต่างค่าหนึ่ง ซึ่งจะยกตัวอย่างในเฟส B โดยทั่วไปอิมพีแดนซ์ลำดับหนึ่งจะเท่ากับอิมพีแดนซ์ลำดับสองจะได้ว่า

$$V_m^b = a^2 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + a^2 Z_{mk}^{(1)} + a Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)}} = a^2 - \frac{Z_{mk}^{(0)} - Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)}}$$

และจากเงื่อนไขของค่าอิมพีแดนซ์ในระบบไฟฟ้ารีแอกแตนซ์จะมากกว่าค่าความต้านทานมากๆ ดังนั้นการคำนวณไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่าความต้านทานก็ได้ ซึ่งจะได้คือ

$$V_m^b = a^2 - \frac{jx_{mk}^{(0)} - jx_{mk}^{(1)}}{jx_{kk}^{(0)} + 2jx_{kk}^{(1)}} = a^2 - \frac{x_{mk}^{(0)} - x_{mk}^{(1)}}{x_{kk}^{(0)} + 2x_{kk}^{(1)}}$$

พบว่าเกิดความแตกต่างในเฟส B กำหนดให้เป็น $\Delta V = -\frac{x_{mk}^{(0)} - x_{mk}^{(1)}}{x_{kk}^{(0)} + 2x_{kk}^{(1)}}$ ซึ่งจะเป็นค่าจริง ดังนั้นจะ

สามารถประมาณขนาดและมุมของแรงดันแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$V_x = V_a = V \quad (3.10)$$

$$V_y = V_b = (\Delta V - \frac{1}{2}) - j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (3.11)$$

$$V_z = V_c = (\Delta V - \frac{1}{2}) + j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (3.12)$$

จากสมการ (3.10) – (3.12) จะได้

$$V = V_x \quad (3.13)$$

$$\Delta V = \frac{1 - \sqrt{4V_y^2 - 3}}{2} \quad (3.14)$$

จากนั้นนำค่า V และ ΔV ไปเพื่อประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามสมการที่ (3.10) – (3.12)

3.2.3 แรงดันตกชั่วขณะ Type C

เกิดจากความผิดปกติของแบบ Line to Line Fault พบว่ามีแรงดันลดลงสองเฟส ส่วนเฟสที่เหลือจะมีค่าเท่ากับ 1p.u. การประมาณขนาดของแรงดันในกรณีนี้สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน ดังนี้

$$V_x^2 = \frac{1}{4} + \frac{3}{4}V^2 - \frac{1}{2}V\sqrt{3}\sin\phi \quad (3.15)$$

$$V_y^2 = \frac{1}{4} + \frac{3}{4}V^2 + \frac{1}{2}V\sqrt{3}\sin\phi \quad (3.16)$$

เมื่อ $\bar{V} = V \cos\phi + jV \sin\phi \quad (3.17)$

จากสมการ (3.15) – (3.16) สามารถคำนวณค่า V และ $\sin\phi$ ได้ดังนี้

$$V = \sqrt{\frac{2}{3}(V_y^2 + V_x^2) - \frac{1}{3}} \quad (3.18)$$

$$\sin\phi = \frac{V_y^2 - V_x^2}{V\sqrt{3}} \quad (3.19)$$

จากนั้นนำค่า V ไปประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามตารางที่ 2.11

3.2.4 แรงดันตกชั่วขณะ Type D

สำหรับกรณีนี้พบว่าจะมีแรงดันที่มีค่าใกล้เคียงกันอยู่สองเฟส ส่วนเฟสที่เหลือจะมีค่าแรงดันต่ำที่สุด ทำให้ประมาณขนาดแรงดันได้ดังนี้

$$V = V_x \quad (3.20)$$

จากนั้นคำนวณค่า $\sin\phi$ โดยใช้สมการของแรงดันในเฟสที่มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนี้

$$V_y^2 = \frac{3}{4} + \frac{1}{4}V^2 - \frac{1}{2}V\sqrt{3}\sin\phi \quad (3.21)$$

$$V_z^2 = \frac{3}{4} + \frac{1}{4}V^2 + \frac{1}{2}V\sqrt{3}\sin\phi \quad (3.22)$$

จากสมการ(3.21) – (3.22) สามารถคำนวณค่า $\sin\phi$ ได้ดังนี้

$$\sin \phi = \frac{V_z^2 - V_y^2}{V\sqrt{3}} \quad (3.23)$$

จากนั้นนำค่า V ไปประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามตารางที่ 2.11

3.2.5 แรงดันตกชั่วขณะ Type E

เกิดจากความผิดปกติแบบ Double Line to Ground Fault ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ยาก การประมาณขนาดของแรงดันจะเฉลี่ยระหว่างแรงดันที่ลดลงต่ำทั้งสองเฟส จะได้

$$V = V_{xy} \quad (3.24)$$

จากนั้นนำค่า V ที่ได้ไปประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามตารางที่ 2.11

3.2.6 แรงดันตกชั่วขณะ Type F

เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิดนี้จะสัมพันธ์กับ Type D แต่แรงดันที่มีค่าใกล้เคียงกันสองเฟส จะมีแรงดันที่ลดลงต่ำกว่า Type D ทำให้คำนวณหาขนาดแรงดันได้ดังนี้

$$V = V_x \quad (3.25)$$

คำนวณค่า $\sin \phi$ โดยใช้สมการของแรงดันในเฟสที่มีค่าใกล้เคียงกัน

$$\sin \phi = \frac{\sqrt{3} V_z^2 - V_y^2}{2 V} \quad (3.26)$$

จากนั้นนำค่า V ที่ได้ไปประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามตารางที่ 2.11

3.2.7 แรงดันตกชั่วขณะ Type G

เป็นแรงดันตกชั่วขณะชนิดนี้จะสัมพันธ์กับ Type F หาขนาดแรงดันได้ดังนี้

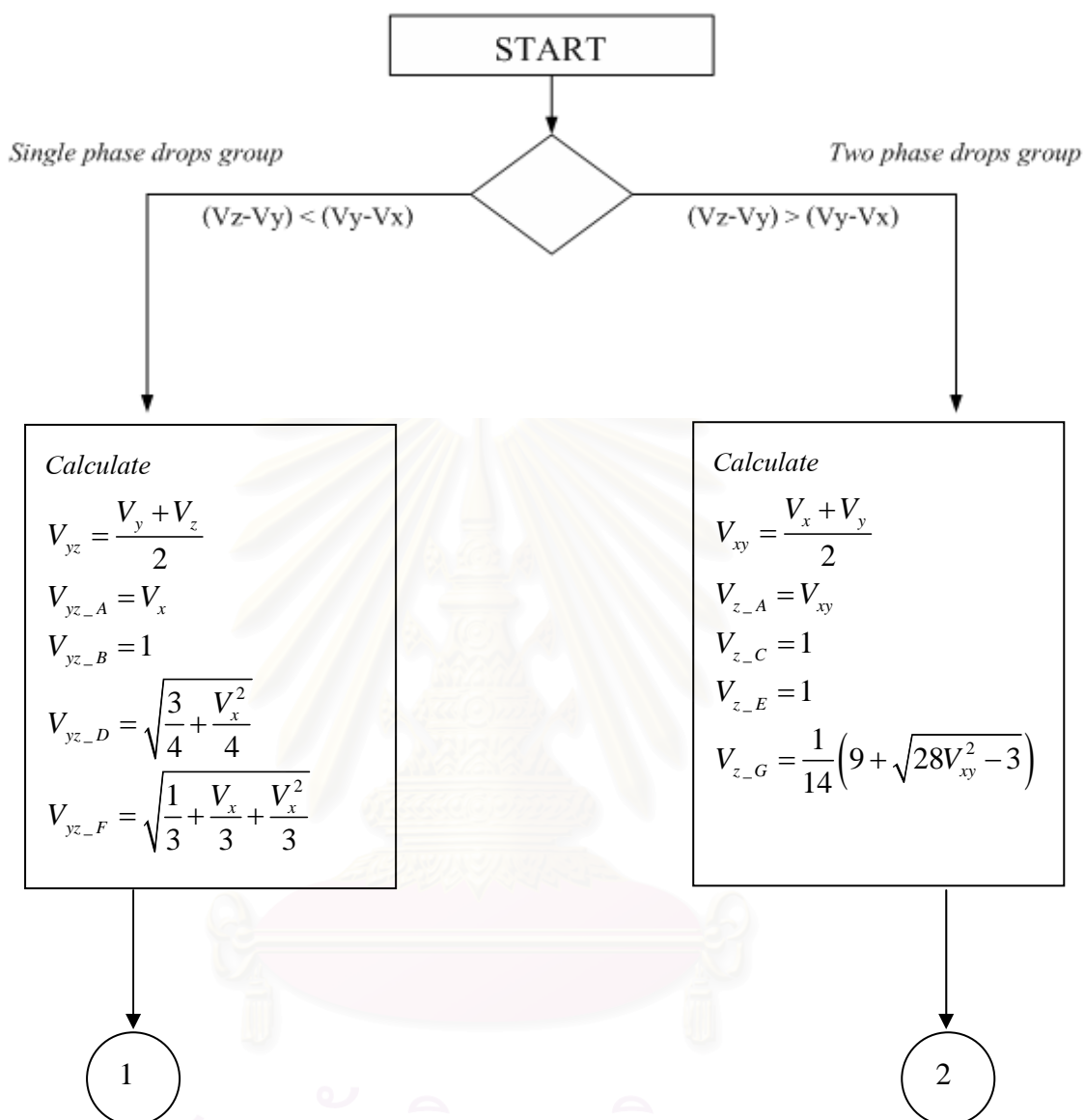
$$V = \sqrt{\frac{2}{3} V_x^2 + \frac{2}{3} V_y^2 - \frac{1}{3} V_z^2} \quad (3.27)$$

คำนวณค่า $\sin \phi$ โดยใช้สมการของแรงดันในเฟสที่มีค่าใกล้เคียงกัน

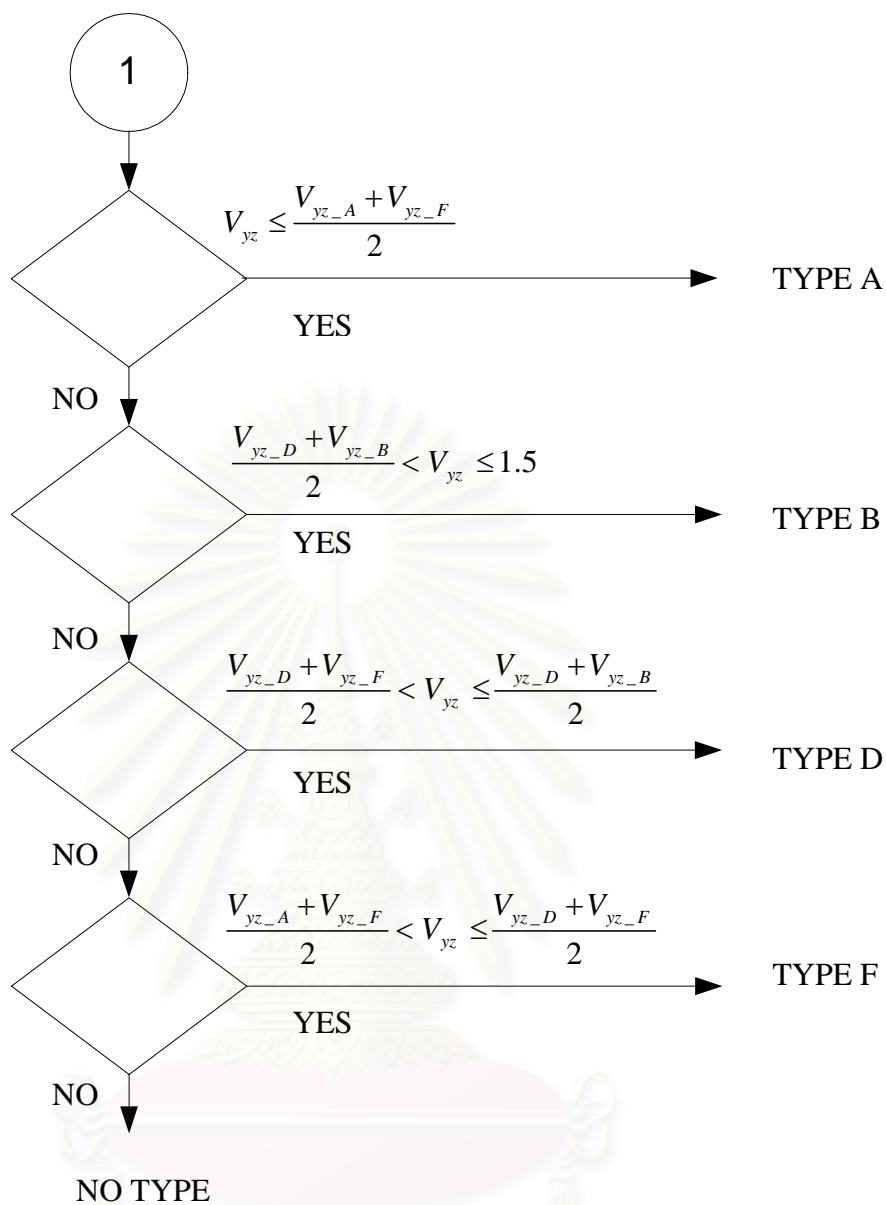
$$\sin \phi = \frac{\sqrt{3} V_y^2 - V_x^2}{2 V} \quad (3.28)$$

จากนั้นนำค่า V ที่ได้ไปประมาณแรงดันในแต่ละเฟสตามตารางที่ 2.11

3.3 สรุปขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ

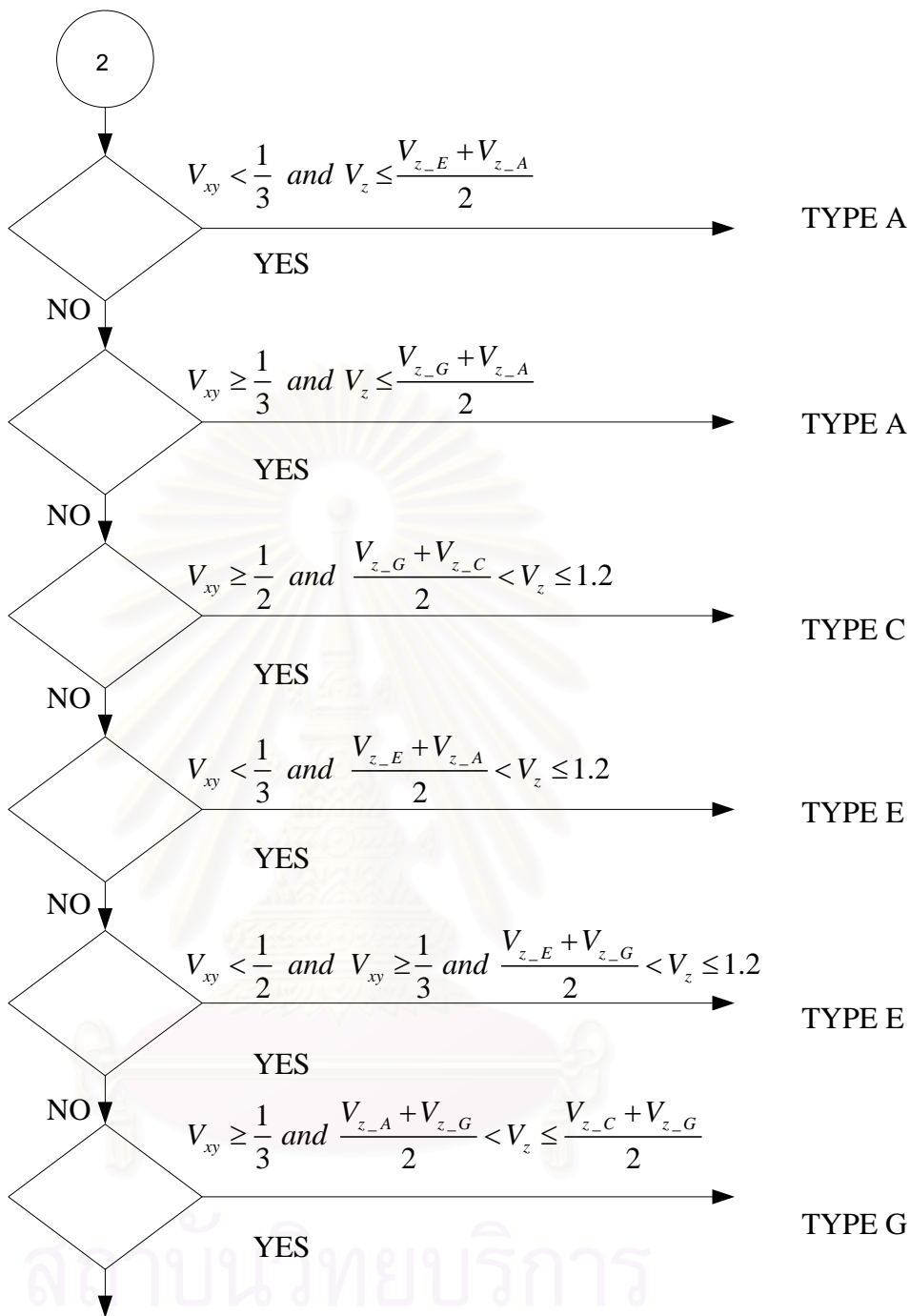


รูปที่ 3.3 Flowchart ขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 3.3 (ต่อ) Flowchart ขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

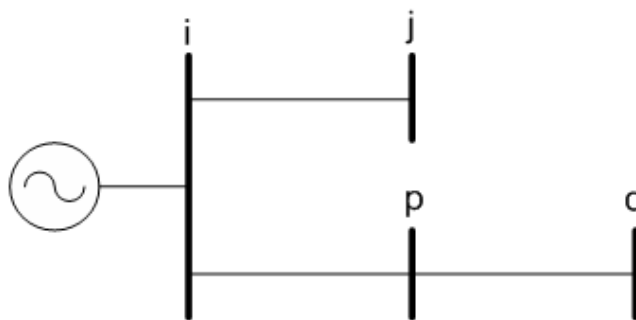
รูปที่ 3.3 (ต่อ) Flowchart ขั้นตอนการจำแนกแรงดันตกชั่วขณะ

3.4 วิธีการประมาณตำแหน่งผิดพลาดในสายส่ง

เมื่อได้รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะจากเทคนิคข้างต้นแล้ว นำค่าแรงดันที่ต่ำสุดที่ได้จากการประมาณมาประมาณความผิดพลาด โดยประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณความผิดพลาดโดยใช้สัมพีแดนซ์เมทริกซ์ (Z_{bus}) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 เทคนิคที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดบนสายส่ง [5]

สำหรับเทคนิควิธีการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดในสายส่งของวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มจากการวิเคราะห์ความผิดพลาด โดยอาศัย Z_{bus} ซึ่งรายละเอียด มีวิธีการดังต่อไปนี้

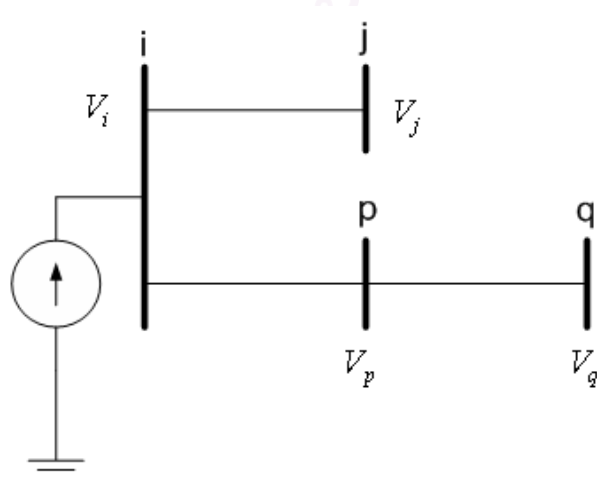


รูปที่ 3.4 ระบบไฟฟ้าตัวอย่าง

จากสมการ $[V] = \bar{Z}[I]$ จะได้

$$\begin{bmatrix} V_i \\ V_j \\ V_p \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{ii} & \bar{Z}_{ij} & \bar{Z}_{ip} & \bar{Z}_{iq} \\ \dots & \bar{Z}_{jj} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \bar{Z}_{pp} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \bar{Z}_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_i \\ I_j \\ I_p \\ I_q \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

วิธีการหา \bar{Z} สามารถหาได้จากการใส่แหล่งจ่ายกระแสแก่บัสที่กำลังสนใจ

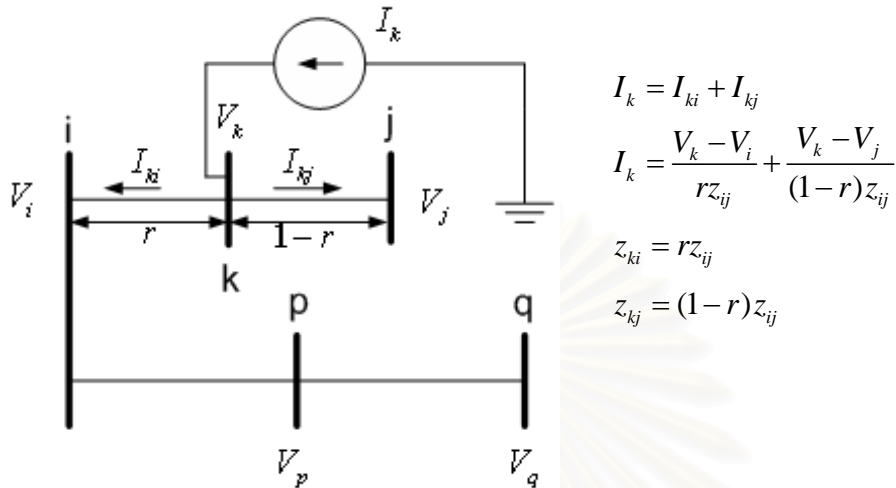


$$\begin{aligned} \bar{Z}_{ii} &= \frac{V_i}{I_i} \\ \bar{Z}_{ji} &= \frac{V_j}{I_i} \\ \bar{Z}_{pi} &= \frac{V_p}{I_i} \\ \bar{Z}_{qi} &= \frac{V_q}{I_i} \end{aligned}$$

รูปที่ 3.5 วิธีการหา Z_{bus}

โดย $I_j = 0, I_q = 0$ และ $I_p = 0$

ในกรณีต้องการเพิ่มบัสจากระบบไฟฟ้าเดิม ซึ่งอยู่ระหว่างบัส i - j เดิม ให้ใส่แหล่งจ่ายกระแสที่บัส k จะได้ว่า



$$I_k = I_{ki} + I_{kj}$$

$$I_k = \frac{V_k - V_i}{rz_{ij}} + \frac{V_k - V_j}{(1-r)z_{ij}}$$

$$z_{ki} = rz_{ij}$$

$$z_{kj} = (1-r)z_{ij}$$

รูปที่ 3.6 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่เพิ่มบัส k เข้าไปในระบบ

จะได้

$$V_k = (1-r)V_i + rV_j + r(1-r)z_{ij}I_k \quad (3.30)$$

หารทั้งหมดด้วย I_k

$$\frac{V_k}{I_k} = (1-r)\frac{V_i}{I_k} + r\frac{V_j}{I_k} + r(1-r)z_{ij} \quad (3.31)$$

$$\bar{Z}_{kk} = (1-r)\bar{Z}_{ik} + r\bar{Z}_{jk} + r(1-r)z_{ij} \quad (3.32)$$

ทำการหา $\bar{Z}_{kp}, \bar{Z}_{kq}, \bar{Z}_{ki}$ และ \bar{Z}_{kj} โดยแทนแต่ละ Element ด้วย \bar{Z}_{km} จากนั้นกำหนดกระแสแต่ละบัสเท่ากับศูนย์ ยกเว้นบัส m จะได้ว่า

$$\frac{V_k}{I_m} = \bar{Z}_{km} = (1-r)\frac{V_i}{I_m} + r\frac{V_j}{I_m} \quad (3.33)$$

$$= (1-r)\bar{Z}_{im} + r\bar{Z}_{jm} \quad (3.34)$$

จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\bar{Z}_{kp} = (1-r)\bar{Z}_{ip} + r\bar{Z}_{jp} \quad (3.35)$$

$$\bar{Z}_{kq} = (1-r)\bar{Z}_{iq} + r\bar{Z}_{jq} \quad (3.36)$$

$$\bar{Z}_{ki} = (1-r)\bar{Z}_{ii} + r\bar{Z}_{ji} \quad (3.37)$$

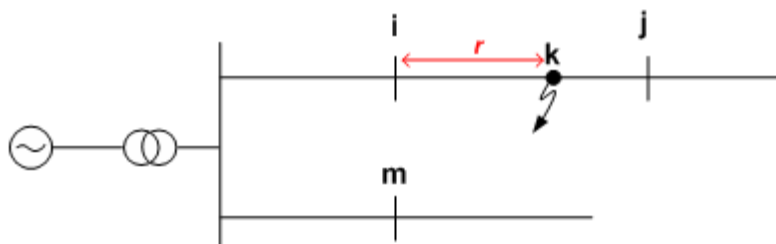
$$\bar{Z}_{kj} = (1-r)\bar{Z}_{ij} + r\bar{Z}_{jj} \quad (3.38)$$

สามารถนำ มาแทนในสมการ \bar{Z}_{kk} จะได้ว่า

$$\bar{Z}_{kk} = (1-r)\left\{(1-r)\bar{Z}_{ii} + r\bar{Z}_{ji}\right\} + r\left\{(1-r)\bar{Z}_{ij} + r\bar{Z}_{jj}\right\} + r(1-r)z_{ij} \quad (3.39)$$

$$= (1-r)^2 \bar{Z}_{ii} + r^2 \bar{Z}_{jj} + 2r(1-r) \bar{Z}_{ij} + r(1-r)z_{ij} \quad (3.40)$$

3.4.2 การวิเคราะห์ความผิดพลาดแต่ละแบบโดยใช้ Z_{bus} [6]



รูปที่ 3.7 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างขณะเกิดความผิดพลาด

3.4.2.1 ความผิดพลาดแบบสมมูล (Three phase fault)

$$I_{3\phi} = \frac{V_p}{\bar{Z}_{kk} + Z_f} = \frac{1}{\bar{Z}_{kk} + Z_f} \quad (3.41)$$

$$V_m = 1 - \frac{\bar{Z}_{mk}^{(1)}}{\bar{Z}_{kk} + Z_f} \quad (3.42)$$

$$= 1 - \frac{(1-r)\bar{Z}_{im}^{(1)} + r\bar{Z}_{jm}^{(1)}}{(1-r)^2 \bar{Z}_{ii}^{(1)} + r^2 \bar{Z}_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)\bar{Z}_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)} + Z_f} \quad (3.43)$$

จากสมการจะได้ ฟังก์ชัน $V_m = f(r)$ โดยที่ r เป็นตัวแปรอิสระ

3.4.2.2 ความผิดพลาดแบบไม่สมมูล

3.4.2.2.1 Single phase to ground Fault

$$I_k^{(0)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)} + 3Z_f} = I_k^{(1)} = I_k^{(2)} \quad (3.44)$$

$$\begin{bmatrix} V_m^{(0)} \\ V_m^{(1)} \\ V_m^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{mk}^{(0)} \\ Z_{mk}^{(1)} \\ Z_{mk}^{(2)} \end{bmatrix} \frac{1}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)} + 3Z_f} \quad (3.45)$$

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)} + 3Z_f} \begin{bmatrix} Z_{mk}^{(0)} + 2Z_{mk}^{(1)} \\ Z_{mk}^{(0)} - Z_{mk}^{(1)} \\ Z_{mk}^{(0)} - Z_{mk}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

เลือกเฟสที่ต่ำสุด คือ เฟส A

$$V_m = 1 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + 2Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)} + 3Z_f} \quad (3.47)$$

โดยที่

$$Z_{mk}^{(0)} = (1-r)Z_{im}^{(0)} + rZ_{jm}^{(0)} \quad (3.48)$$

$$Z_{mk}^{(1)} = (1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)} \quad (3.49)$$

$$Z_{kk}^{(0)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(0)} + r^2 Z_{jj}^{(0)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(0)} + r(1-r)z_{ij}^{(0)} \quad (3.50)$$

$$Z_{kk}^{(1)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)} \quad (3.51)$$

ถ้าหากในกรณี $Z_{kk}^{(0)} \cong Z_{kk}^{(1)}$ และ Z_f มีค่าน้อยมากๆ จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{1}{3Z_{kk}^{(1)}} \begin{bmatrix} 3Z_{mk}^{(1)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

$$V_m^a = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)}} = V \quad (3.53)$$

$$V_m^b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3.54)$$

$$V_m^c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3.55)$$

ซึ่งจะตรงกับ Type B ที่แสดงในตารางที่ 2.11

3.4.2.2.2 Line to Line Fault

$$I_k^{(1)} = -I_k^{(2)} = \frac{1}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} ; I_k^{(0)} = 0 \quad (3.56)$$

$$V_m^{(0)} = 0 \quad (3.57)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (3.58)$$

$$V_m^{(2)} = 0 + \frac{Z_{mk}^{(2)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (3.59)$$

ทำการแปลงให้อยู่ในระบบ 3 เฟส จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m^{(0)} \\ V_m^{(1)} \\ V_m^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ j\sqrt{3} \\ -j\sqrt{3} \end{bmatrix} \frac{Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (3.60)$$

เลือกเฟสที่ต่ำสุด คือ เฟส B หรือ C

$$V_m = a^2 + j\sqrt{3} \frac{Z_{mk}^{(1)}}{2Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (3.61)$$

โดยที่

$$Z_{mk}^{(1)} = (1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)} \quad (3.62)$$

$$Z_{kk}^{(1)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)} \quad (3.63)$$

ในกรณีความผิดพลาดแบบนี้จะตรงกับ Type C ในตารางที่ 2.11

3.4.2.2.3 Double Line to ground Fault

ถ้ากำหนดให้ $Z_f \cong 0$ จะได้

$$I_k^{(0)} = -\frac{1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)}} \quad (3.64)$$

$$I_k^{(1)} = \frac{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(2)} Z_{kk}^{(0)}} \quad (3.65)$$

$$I_k^{(2)} = -\frac{1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(2)}} \quad (3.66)$$

และจะได้แรงดันที่บัส m คือ

$$V_m^{(0)} = \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)}} (1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \quad (3.67)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)} (Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)})}{Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(2)} Z_{kk}^{(0)}} \quad (3.68)$$

$$V_m^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} (1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \quad (3.69)$$

ทำการแปลงให้อยู่ในระบบ 3 เฟส จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} V_m^a \\ V_m^b \\ V_m^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m^{(0)} \\ V_m^{(1)} \\ V_m^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3.70)$$

$$V_m^a = 1 + \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)}} + \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} \right) (1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) - \frac{Z_{mk}^{(1)} (Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)})}{Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(2)}} \quad (3.71)$$

$$V_m^b = \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)}} + a \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} \right) (1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) + a^2 \left\{ 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)} (Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)})}{Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(2)}} \right\} \quad (3.72)$$

$$V_m^c = \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)}} + a^2 \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} \right) (1 - I_k^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) + a \left\{ 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)} (Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)})}{Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(2)}} \right\} \quad (3.73)$$

โดยที่

$$Z_{mk}^{(0)} = (1-r)Z_{im}^{(0)} + rZ_{jm}^{(0)} \quad (3.74)$$

$$Z_{mk}^{(1)} = Z_{mk}^{(2)} = (1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)} \quad (3.75)$$

$$Z_{kk}^{(0)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(0)} + r^2 Z_{jj}^{(0)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(0)} + r(1-r)Z_{ij}^{(0)} \quad (3.76)$$

$$Z_{kk}^{(1)} = Z_{kk}^{(2)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)Z_{ij}^{(1)} \quad (3.77)$$

และถ้าหาก $Z_{mk}^{(0)} = Z_{mk}^{(1)} = Z_{mk}^{(2)} = Z_m$ และ $Z_{kk}^{(0)} = Z_{kk}^{(1)} = Z_{kk}^{(2)} = Z_k$ จะได้ V_m^a, V_m^b และ V_m^c ดังนี้คือ

$$V_m^a = 1 + \frac{2Z_m}{Z_k} \left(1 - \frac{2}{3} \right) - \frac{Z_m}{Z_k} \frac{2}{3} = 1 \quad (3.78)$$

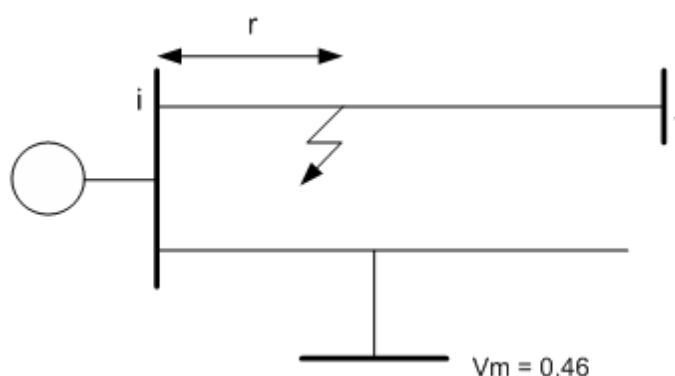
$$V_m^b = \frac{Z_m}{Z_k} (1+a) \left(1 - \frac{2}{3}\right) + a^2 \left\{1 - \frac{Z_m}{Z_k} \frac{2}{3}\right\} = -\frac{1}{2} \left(\frac{Z_m}{Z_k} + 1\right) - j \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{Z_m}{Z_k} + 1\right) \quad (3.79)$$

$$V_m^c = \frac{Z_m}{Z_k} (1+a^2) \left(1 - \frac{2}{3}\right) + a \left\{1 - \frac{Z_m}{Z_k} \frac{2}{3}\right\} = -\frac{1}{2} \left(\frac{Z_m}{Z_k} + 1\right) + j \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{Z_m}{Z_k} + 1\right) \quad (3.80)$$

จะตรงกับ Type E ในตารางที่ 2.11

3.5 ตัวอย่างการประมาณตำแหน่งการเกิดความผิดปกติพร้อมบนสายส่ง

จากสมการ V_m แต่ละรูปแบบความผิดปกติพร้อม จะพบว่าสมการดังกล่าวเป็นฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระเป็น r โดยความผิดปกติพร้อมจะเกิดขึ้นระหว่าง บัส i และ j ดังรูปที่ 3.8 จากนั้นสมมุติว่าที่ บัส m เกิดแรงดันเฟสที่มีขนาดต่ำสุดเท่ากับ 0.46 pu.



รูปที่ 3.8 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างขณะเกิดความผิดปกติพร้อม

ถ้าหากความผิดปกติพร้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบ Single phase to ground Fault โดยกำหนด $Z_f = 0$ จะได้ว่า

$$0.46 = 1 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + 2Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)}} \quad (3.81)$$

โดยที่

$$Z_{mk}^{(0)} = (1-r)Z_{im}^{(0)} + rZ_{jm}^{(0)} \quad (3.82)$$

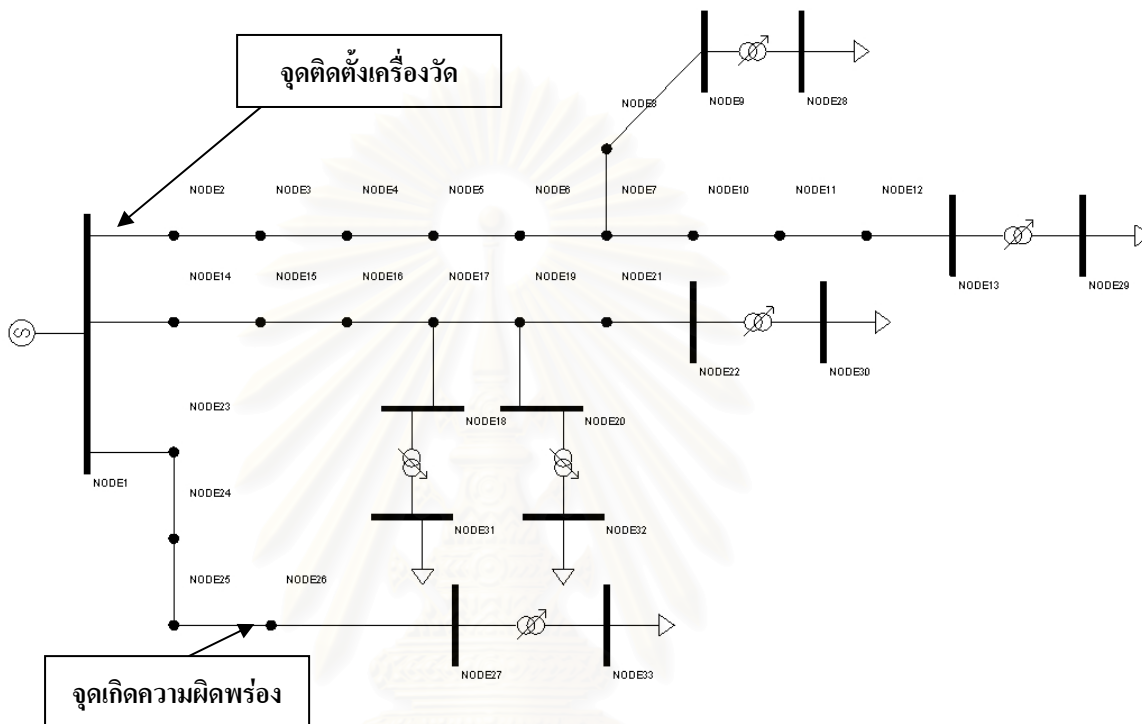
$$Z_{mk}^{(1)} = (1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)} \quad (3.83)$$

$$Z_{kk}^{(0)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(0)} + r^2 Z_{jj}^{(0)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(0)} + r(1-r)z_{ij}^{(0)} \quad (3.84)$$

$$Z_{kk}^{(1)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)} \quad (3.85)$$

จากนั้นปรับค่า r โดยเริ่มจาก 0 จนถึง 1 ในทุกๆสาขา (Branch) ที่อยู่ระหว่างบัส i และบัส j เพื่อให้ได้ V_m ตรงกับ 0.46 ซึ่งก็จะเป็นตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติพร้อม ดังนั้นการตัดสินใจเลือกจุดที่เกิดความผิดปกติพร้อมจะต้องพิจารณาพร้อมกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งที่สถานีต้นทาง (Distance Relay) ว่า ณ วินาทีที่เครื่องวัดบันทึกเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะได้นั้น อุปกรณ์ป้องกันสายส่งเส้นไหนที่ทำงาน ก็จะหาระยะทางที่เกิดความผิดปกติพร้อมจากสายส่งเส้นนั้นเพียงเส้นเดียว โดยไม่สนใจสายส่งเส้นอื่นๆ แม้ว่าจะคำนวณค่า V_m ตรงกับ 0.46 ก็ตาม

ต่อไปนี้จะทดลองทำการจำลองความผิดปกติในระบบไฟฟ้าจริง โดยเลือกใช้ข้อมูลสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ของกรฟฟ้านครหลวง โดยประกอบด้วย 33 บัส ซึ่งจุดแสดงเป็นบัสที่แบ่งระหว่างชนิดของสายส่งซึ่งมีค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์ต่อหน่วยความยาวต่างกัน ตัวอย่างเช่นสายส่งที่อยู่ระหว่างบัสที่ 19 กับ 21 เป็นสาย TS -115 แบบตัวนำเดี่ยว แต่ที่ระหว่างบัสที่ 17 กับ 19 เป็นสาย TS -115 แบบตัวนำควบ



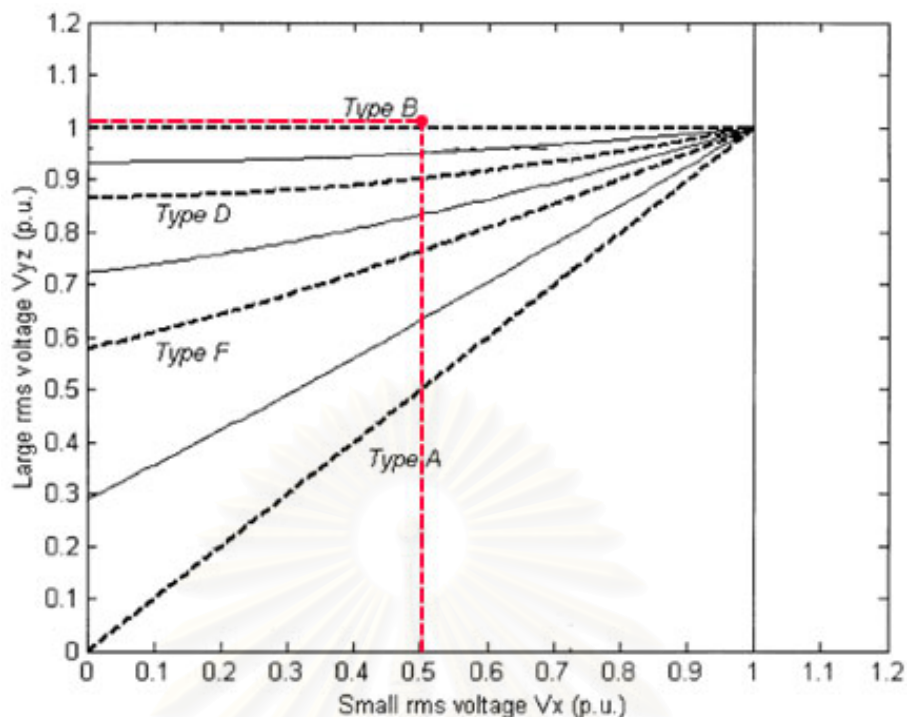
รูปที่ 3.9 ระบบไฟฟ้าจำลองโดยโปรแกรม PSS/ADEPT 5.0

จากนั้นจำลองความผิดปกติแบบ Single phase to ground Fault ที่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างบัสที่ 25 และ 26 (บัส i และ j) และติดตั้งเครื่องวัดที่บัส 115 kV ที่ ส/ต (บัส 1) ได้ค่าแรงดันในแต่ละเฟสในขณะที่เกิดความผิดปกติเรียงตามลำดับน้อยไปมากตาม $V_x \leq V_y \leq V_z$ ได้คือ 0.5023, 1.0278 และ 1.0873 pu. จากนั้นทำการหากลุ่มของแรงดันตกจาก

กลุ่ม 1 นำ $V_z - V_y < V_y - V_x$ กลุ่มนี้ประกอบด้วย single phase drops และ three-phase drops

กลุ่ม 2 นำ $V_z - V_y > V_y - V_x$ นี้ประกอบด้วย two phase drops และ three-phase drops

ในกรณีนี้สรุปได้ว่าอยู่ในกลุ่มที่ 1 ตามเงื่อนไข คือ $1.0873 - 1.0278 = 0.0595 < 1.0278 - 0.5023 = 0.5255$ จากนั้นทำการหา $V_{yz} = \frac{1}{2}(V_z + V_y)$ เพื่อจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ จะได้ $V_{yz} = 1.0576$ pu.



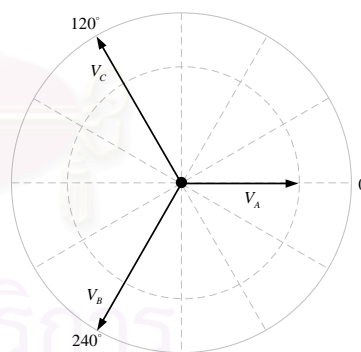
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการจำแนกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะ

จะพบว่าในกรณีนี้จะเป็น Type B (ตามรูปที่ 3.10) ก็หมายความว่าเกิดเหตุการณ์ Single phase to ground Fault ที่จุดหนึ่งจุดใดในระบบส่ง จากนั้นทำการประมาณขนาดและมุมของแรงดันแต่ละเฟส จากสมการต่อไปนี้

$$V_x = V_a = V$$

$$V_y = V_b = \left(\Delta V - \frac{1}{2}\right) - j\frac{1}{2}\sqrt{3}$$

$$V_z = V_c = \left(\Delta V - \frac{1}{2}\right) + j\frac{1}{2}\sqrt{3}$$



รูปที่ 3.11 สมการและเฟสเซอร์ของแรงดันตกชั่วขณะ Type B

โดยสามารถคำนวณหา ΔV ได้จาก

$$\Delta V = \frac{1 - \sqrt{4V_{yz}^2 - 3}}{2} = -0.107$$

และจะได้การประมาณ V_a, V_b และ V_c ดังนี้คือ

$$V_a = 0.5023 \angle 0^\circ$$

$$V_b = (-0.107 - 0.5) - j0.866 = 1.0576 \angle -125.02^\circ$$

$$V_c = (-0.107 - 0.5) + j0.866 = 1.0576 \angle 125.02^\circ$$

เลือกสมการแรงดันที่บัส m เมื่อเกิด Single phase to ground Fault ที่บัส k ในกรณีที่ Z_f มีค่าน้อยมาก

$$V_m = 1 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + 2Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + 2Z_{kk}^{(1)}}$$

โดยที่

$$Z_{mk}^{(0)} = (1-r)Z_{im}^{(0)} + rZ_{jm}^{(0)}$$

$$Z_{mk}^{(1)} = (1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)}$$

$$Z_{kk}^{(0)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(0)} + r^2 Z_{jj}^{(0)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(0)} + r(1-r)z_{ij}^{(0)}$$

$$Z_{kk}^{(1)} = (1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)}$$

จะได้ว่า

$$0.5023 = 1 - \frac{((1-r)Z_{im}^{(0)} + rZ_{jm}^{(0)}) + 2((1-r)Z_{im}^{(1)} + rZ_{jm}^{(1)})}{((1-r)^2 Z_{ii}^{(0)} + r^2 Z_{jj}^{(0)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(0)} + r(1-r)z_{ij}^{(0)}) + 2((1-r)^2 Z_{ii}^{(1)} + r^2 Z_{jj}^{(1)} + 2r(1-r)Z_{ij}^{(1)} + r(1-r)z_{ij}^{(1)})}$$

เมื่อ $Z_{im}^{(0)}, Z_{jm}^{(0)}, Z_{ii}^{(0)}, Z_{ij}^{(0)}, Z_{im}^{(1)}, Z_{jm}^{(1)}, Z_{ii}^{(1)}, Z_{ij}^{(1)}$ เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จาก Z บัสของระบบไฟฟ้า ส่วน $z_{ij}^{(0)}, z_{ij}^{(1)}$ เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่อยู่ระหว่าง บัส ij จากนั้นทำการปรับค่า r เริ่มจาก 0 จนถึง 1 ทุกๆ สาขา (branch) ที่อยู่ระหว่างบัส i และ j จะได้แรงดันที่บัส 1 ที่เกิดความผิดปกติ ณ จุดต่างๆ บนสายส่งตามตารางที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆบนสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.0000	0.0107	0.0211	0.0313	0.0413	0.0512	0.0608	0.0702	0.0795	0.0885	0.0974
2	3	0.0974	0.1155	0.1329	0.1496	0.1658	0.1813	0.1963	0.2108	0.2247	0.2382	0.2512
3	4	0.2512	0.2520	0.2527	0.2535	0.2543	0.2550	0.2558	0.2565	0.2573	0.2580	0.2588
4	5	0.2588	0.2764	0.2932	0.3092	0.3245	0.3392	0.3532	0.3667	0.3796	0.3920	0.4039
5	6	0.4039	0.4041	0.4042	0.4044	0.4045	0.4046	0.4048	0.4049	0.4051	0.4052	0.4054
6	7	0.4054	0.4122	0.4189	0.4254	0.4318	0.4381	0.4442	0.4501	0.4560	0.4617	0.4673
7	8	0.4673	0.4674	0.4674	0.4674	0.4674	0.4674	0.4675	0.4675	0.4675	0.4675	0.4676
8	9	0.4676	0.4678	0.4680	0.4683	0.4685	0.4687	0.4689	0.4692	0.4694	0.4696	0.4698
7	10	0.4673	0.4798	0.4917	0.5030	0.5139	0.5243	0.5343	0.5438	0.5530	0.5618	0.5703
10	11	0.5703	0.5704	0.5705	0.5706	0.5707	0.5708	0.5709	0.5709	0.5710	0.5711	0.5712
11	12	0.5712	0.5750	0.5786	0.5823	0.5858	0.5893	0.5928	0.5961	0.5995	0.6027	0.6059
12	13	0.6059	0.6060	0.6061	0.6061	0.6062	0.6062	0.6063	0.6063	0.6064	0.6065	0.6065
1	14	0.0000	0.0009	0.0018	0.0027	0.0035	0.0044	0.0053	0.0062	0.0070	0.0079	0.0088
14	15	0.0088	0.0415	0.0722	0.1010	0.1280	0.1535	0.1776	0.2003	0.2218	0.2422	0.2615
15	16	0.2615	0.2619	0.2622	0.2626	0.2629	0.2633	0.2637	0.2640	0.2644	0.2647	0.2651
16	17	0.2651	0.3255	0.3768	0.4208	0.4591	0.4926	0.5222	0.5486	0.5722	0.5935	0.6128
17	18	0.6128	0.6129	0.6130	0.6131	0.6132	0.6134	0.6135	0.6136	0.6137	0.6139	0.6140
17	19	0.6128	0.6131	0.6135	0.6138	0.6142	0.6145	0.6149	0.6152	0.6156	0.6159	0.6162
19	20	0.6162	0.6164	0.6166	0.6168	0.6170	0.6172	0.6174	0.6176	0.6178	0.6179	0.6181
19	21	0.6162	0.6197	0.6230	0.6263	0.6296	0.6328	0.6359	0.6390	0.6420	0.6450	0.6479
21	22	0.6479	0.6480	0.6481	0.6482	0.6483	0.6483	0.6484	0.6485	0.6486	0.6487	0.6487
1	23	0.0000	0.0009	0.0017	0.0026	0.0035	0.0044	0.0052	0.0061	0.0069	0.0078	0.0087
23	24	0.0087	0.0591	0.1048	0.1462	0.1839	0.2185	0.2503	0.2796	0.3067	0.3318	0.3552
24	25	0.3552	0.3555	0.3558	0.3561	0.3564	0.3567	0.3570	0.3573	0.3576	0.3579	0.3582
25	26	0.3582	0.3924	0.4231	0.4509	0.4762	0.4993	0.5204	0.5398	0.5578	0.5744	0.5898
26	27	0.5898	0.5898	0.5899	0.5900	0.5900	0.5901	0.5902	0.5902	0.5903	0.5904	0.5904

จะสังเกตได้ว่าขณะแรงดันบัส 1 เท่ากับ 0.5023 pu. สามารถเกิดจากผิดปกติระหว่างบัส 7 -10 , 16- 17 และ 25 - 26 จากนั้นทำการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจะได้ค่า r ดังตารางที่

3.2

ตารางที่ 3.2 ประมาณค่า r

ระหว่างบัส		ระหว่างค่า r		ประมาณค่า r
i	j	r1	r2	
7	10	0.2	0.3	0.2938 (29.38%)
16	17	0.5	0.6	0.5327(53.27%)
25	26	0.5	0.6	0.5142(51.42%)

เนื่องจากผลการประมาณมีมากกว่า 1 จุด ดังนั้นการตัดสินใจเลือกจุดที่เกิดความผิดพลาดจะพิจารณาพร้อมกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งที่สถานีต้นทาง (Distance Relay) สมมติว่าอุปกรณ์ป้องกันสายส่งหมายเลข 3 (TPT 795) ทำงานแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในสายส่งหมายเลข 3 โดยไม่ต้องสนใจอีก 2 จุดที่เหลือ จากนั้นทำการหาระยะทางที่เกิดความผิดพลาดโดยวัดจากบัส 1 ถึง จุดที่เกิดความผิดพลาด

ตารางที่ 3.3 หาระยะทางที่เกิดความผิดพลาด

สายส่งหมายเลข 3		r	ระยะทางแต่ละสาขา (m)	ระยะที่เกิดความผิดพลาด (m)
บัส i	บัส j			
1	23	1.0000	147.60	147.60
23	24	1.0000	5187.10	5187.10
24	25	1.0000	124.00	124.00
25	26	0.5142	5187.10	2667.21
26	27	0.0000	69.00	0.00
รวมระยะทาง				8125.91

จากตารางที่ 3.3 จะได้ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดอยู่ที่สายส่งหมายเลข 3 (TPT 795) ที่ระยะทางประมาณ 8.13 กม. จากสถานีต้นทาง

บทที่ 4

โปรแกรมประมาณตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

เนื่องจากการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าต้องการความถูกต้องและแม่นยำสูง จำเป็นต้องจำลองความผิดพลาดขึ้นหลายๆตำแหน่งบนระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องการพิจารณา ดังนั้นถ้าหากระบบไฟฟ้าที่พิจารณามีขนาดใหญ่หลายๆ จะทำให้การคำนวณใช้เวลาค่อนข้างมาก จึงไม่สะดวกถ้าจะใช้การคำนวณด้วยมือโดยตรง ดังนั้นเพื่อความสะดวก รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในการศึกษานี้จะทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้ข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะที่ได้จากการบันทึกเหตุการณ์จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ติดตั้งในสถานีต้นทางของการไฟฟ้านครหลวง โดยคุณลักษณะที่จะนำมาใช้ในประมาณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบด้วย ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะทั้งสามเฟส โดยจะใช้เพื่อจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งจะช่วยในการหาชนิดของความผิดพลาด เมื่อทราบชนิดของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จะสามารถเลือกสมการที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของความผิดพลาดได้อย่างเหมาะสม จากนั้นกำหนดตำแหน่งของความผิดพลาด โดยการปรับค่า r โดยเริ่มจาก 0 จนถึง 1 ทุกๆสาขา (branch) ที่อยู่ระหว่างบัส i และบัส j จนครบทุกตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อหาขนาดแรงดันที่บัส m ให้ได้เท่ากับขนาดของแรงดันที่ได้หลังจากการประมาณ ซึ่งก็คือตำแหน่งที่คาดว่าเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนี้

4.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า โดยมีขอบเขตและเงื่อนไขในการพัฒนาโปรแกรมดังต่อไปนี้

- เป็นการศึกษาหาตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบสายส่ง 69 kV และ 115 kV ในเขตการให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง
- พิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) คือให้มีขนาดเพียงค่าเดียวในแต่ละครั้งของการเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง
- พิจารณาการเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากการลัดวงจรเท่านั้น
- ในการคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดจากขนาดของแรงดันตกชั่วขณะโดยไม่คิดมุมที่เปลี่ยนแปลงไป (Phase-Angle Jump)
- ไม่พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจร Z_F กรณีที่เกิดความผิดพลาดแบบลงดิน

4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมประมาณตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เลือกข้อมูลของสถานีต้นทางที่ต้องการประมาณตำแหน่งของความผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 2 : เลือกข้อมูลขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่บ้านที่กได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 : เลือกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการพิจารณา

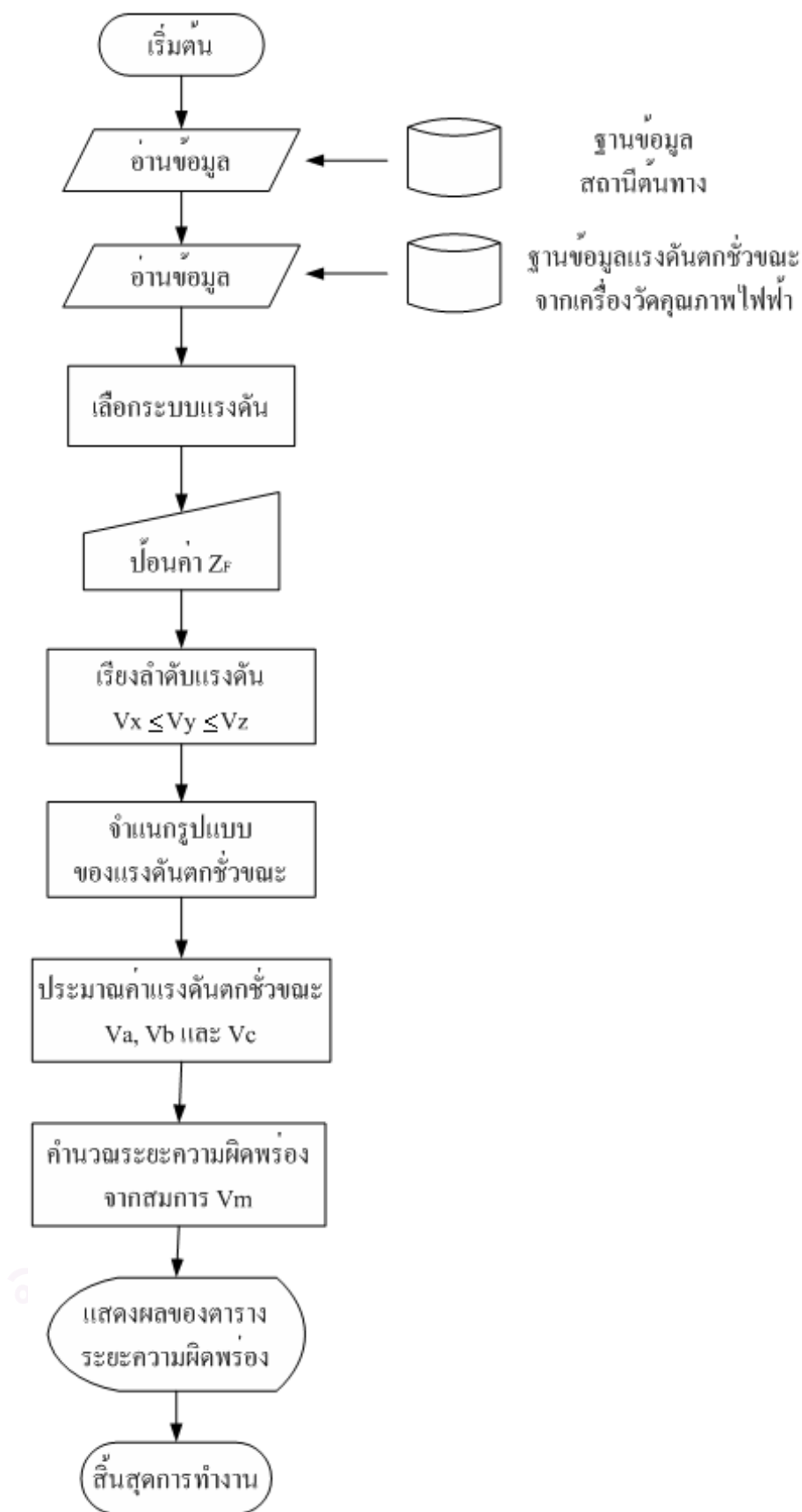
ขั้นตอนที่ 4 : ป้อนค่า Fault Impedance (Z_F) ที่ต้องการประมาณตำแหน่งของความผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 5 : เริ่มต้นทำการประมาณตำแหน่งของความผิดพลาด ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณ ดังนี้

- นำเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าทั้งสามเฟส มาหาค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส
- นำค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก
- นำขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่เรียงลำดับแล้ว ไปจัดกลุ่มเพื่อจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ
- ประมาณค่าแรงดันตกชั่วขณะในรูปเฟสเซอร์ จากค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสทั้งสามเฟส
- เมื่อจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะแล้ว เลือกสมการแรงดันที่บัส m ตามความผิดพลาดที่เกิดขึ้น
- จากสมการดังกล่าว จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ r โดยเริ่มจาก 0 จนถึง 1 ที่อยู่ระหว่างบัส i และ บัส j จนครบทุกสายส่ง เพื่อหาค่าแรงดันที่บัส m
- คำนวณหาระยะความผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 6 : แสดงผลการคำนวณหาระยะความผิดพลาดในรูปแบบของตาราง

จากขั้นตอนดังกล่าว สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการประมาณตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.1

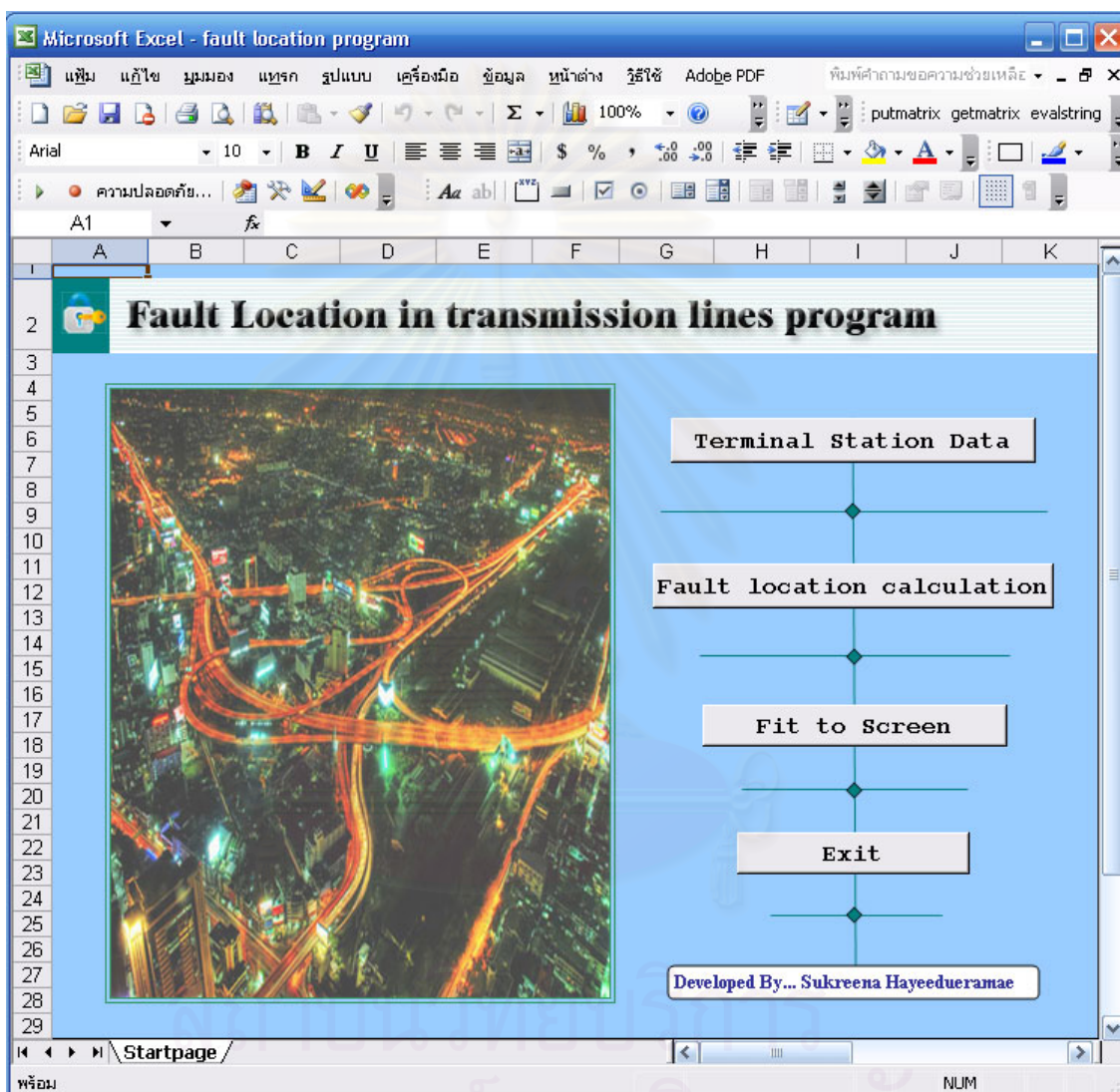


รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการประมาณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า

4.2.1 การใช้งานโปรแกรมในการคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดปกติ

โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สามารถทำการคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า หลังจากทำป้อนข้อมูลต่างๆในโปรแกรม โดยมีรายละเอียดการใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าต่างๆตามที่ต้องการ

หน้าจอหลักเมื่อเปิด โปรแกรม Fault location program ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าจอหลักของโปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

4.2.1.1 ปุ่ม Terminal Station Data

เป็นปุ่มที่ใช้แสดงแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวของสถานีต้นทาง ที่มีการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

4.2.1.2 ปุ่ม Fault location calculation

เป็นปุ่มที่ใช้แสดงหน้าจอที่ใช้ในการคำนวณหาระยะความผิดปกติ ดังรูปที่ 4.3

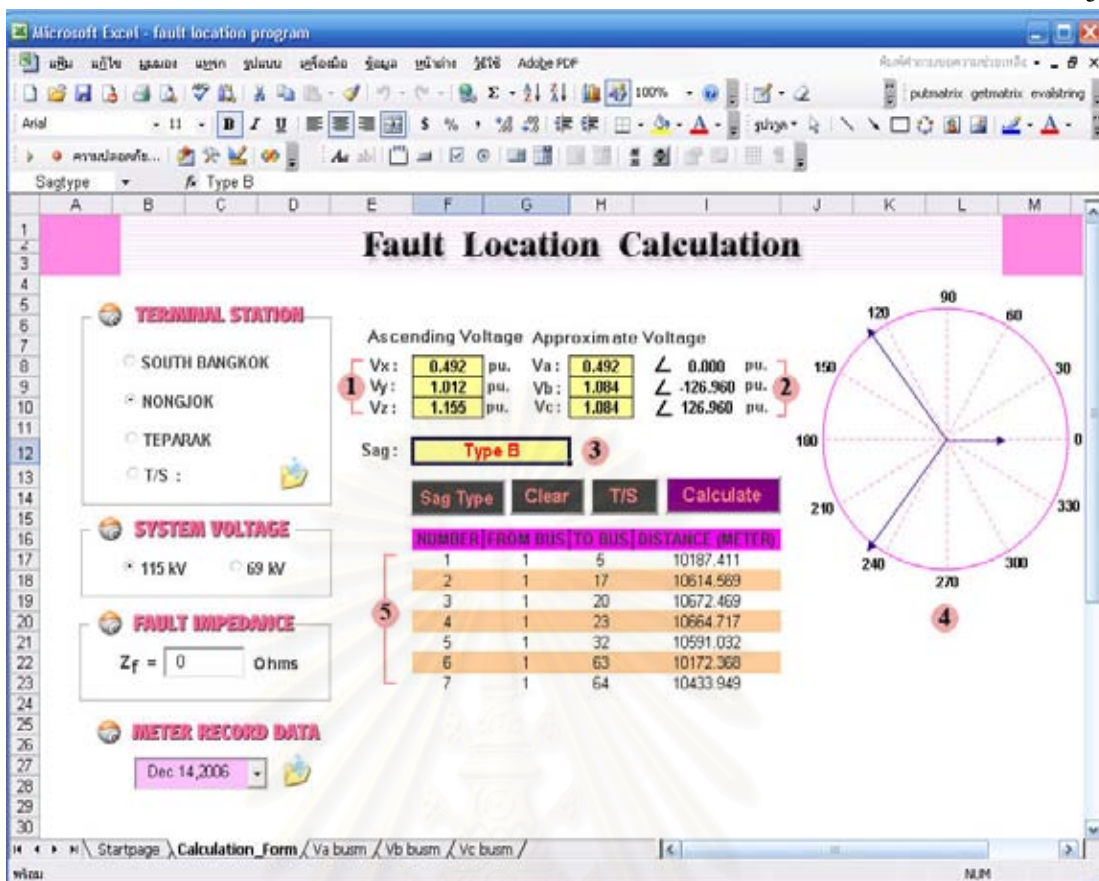
รูปที่ 4.3 หน้าจอของ โปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

การคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดปกติจะต้องทำการป้อนข้อมูลในโปรแกรมดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลของสถานีต้นทาง
2. ระบบแรงดัน
3. Fault Impedance
4. ข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะทั้งสามเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัด

เมื่อป้อนข้อมูลครบ กดปุ่ม Calculate เพื่อแสดงผลการคำนวณต่างๆ ประกอบด้วย

1. แรงดันอาร์เอ็มเอสที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (V_x, V_y และ V_z)
2. แรงดันและมุมเฟสจากการประมาณค่าของแรงดัน (V_a, V_b และ V_c)
3. รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ
4. เฟสเซอร์ของแรงดันตกชั่วขณะ
5. ตารางแสดงระยะที่เกิดความผิดปกติบนสายส่งในระบบไฟฟ้าที่กำลังพิจารณาสามารถแสดงผลการคำนวณได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลการคำนวณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ปุ่ม Sag Type : ใช้จำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ โดยการป้อนแรงดันทั้งสามเฟส ในช่อง V_x, V_y และ V_z

ปุ่ม Clear : ใช้สำหรับเคลียร์ข้อมูลที่คำนวณได้ทั้งหมด

ปุ่ม T/S : ใช้แสดงแผนผังวงจรเส้นเดียวของสถานีต้นทางที่กำลังพิจารณา

4.2.1.3 ปุ่ม Fit to screen

แสดงโปรแกรมเต็มหน้าจอ

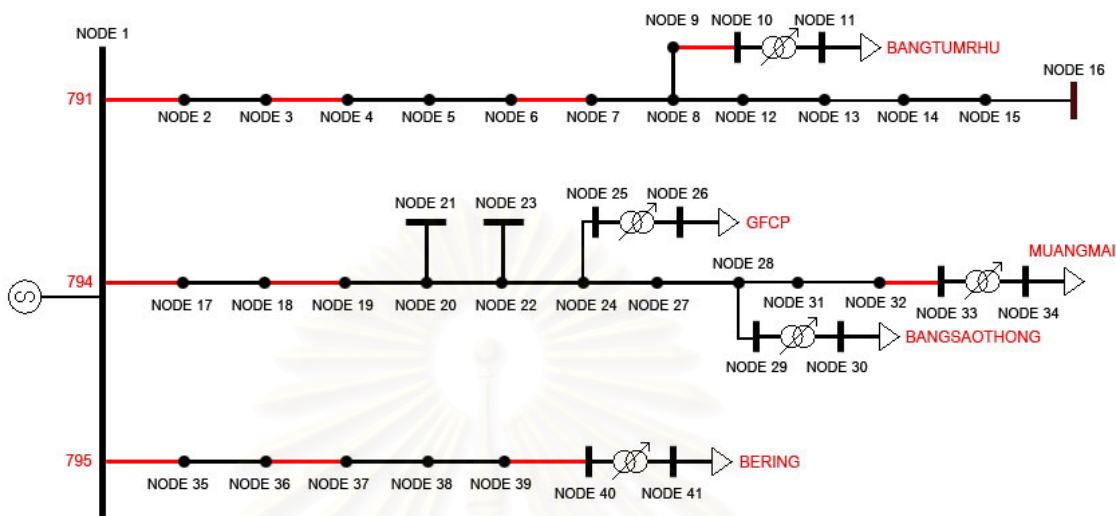
4.2.1.4 ปุ่ม Exit

ออกจากโปรแกรม

4.2.2 การอ่านข้อมูลของสถานีต้นทางเข้าสู่โปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะเริ่มจากอ่านข้อมูลของสถานีต้นทางที่ได้จากการป้อนข้อมูลของสถานีต้นทางจากโปรแกรมย่อย Terminal station data ซึ่งก่อนการป้อนข้อมูลของสถานีต้นทางในโปรแกรม เพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาระยะที่

เกิดความผิดพลาดต่อไปนั้น จะเริ่มต้นจากการสร้างแผนผังวงจรเดี่ยวของสถานีต้นทางและกำหนดการวางบัสโดยระบุนุหมายเลขบัสให้ครบทุกบัสและครบทุกสายส่งภายในสถานีต้นทางดังรูปที่ 4.5 และแต่ละรูปมีความหมายดังตารางที่ 4.1



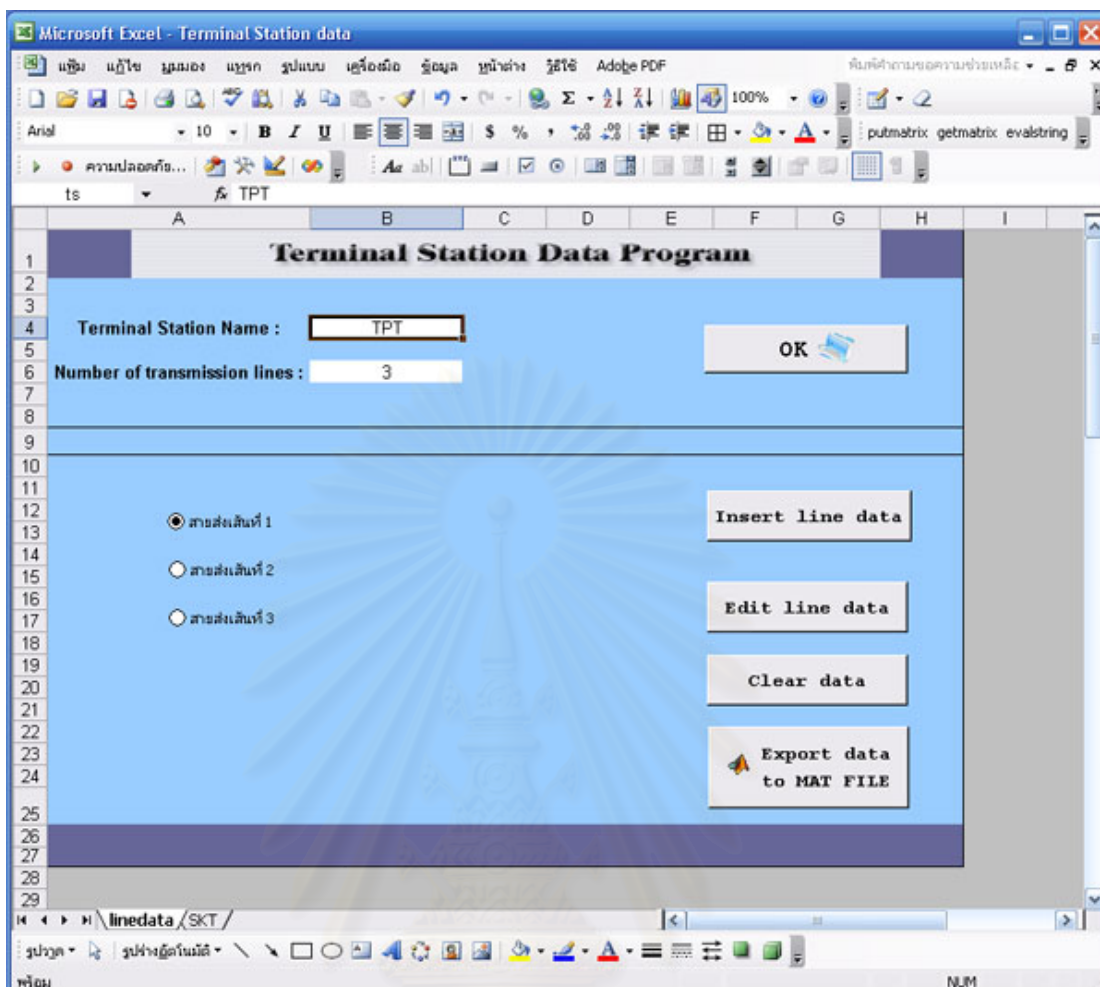
รูปที่ 4.5 แผนผังวงจรเส้นเดี่ยวของสถานีต้นทางเทพารักษ์

ตารางที่ 4.1 ความหมายของรูปภาพอุปกรณ์ต่าง ๆ

รูปภาพ	ความหมาย
	แหล่งกำเนิดไฟฟ้า
	หม้อแปลงไฟฟ้า
	Node/บัส
	Node/บัส
	Node/บัส
	โหลด
	สายส่งใต้ดินแบบ Bundle (สีแดง)
	สายส่งใต้ดินแบบ Single (สีแดง)
	สายส่งอากาศแบบ Bundle (สีดำ)
	สายส่งอากาศแบบ Single (สีดำ)

เมื่อกำหนดการวางบัสและระบุนุหมายเลขบัสครบทุกสายส่งของสถานีต้นทาง ก็จะเริ่มป้อนข้อมูลทั้งหมดภายในโปรแกรม โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนชื่อของสถานีต้นทางและจำนวนสายส่งทั้งหมดภายในสถานีต้นทาง และตามด้วยปุ่ม OK ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าจอของโปรแกรม Terminal station data

ขั้นตอนที่ 2 การป้อนข้อมูลของสายส่งแต่ละเส้น จะใช้ปุ่ม Insert line data ซึ่งจะปรากฏตารางที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของสายส่งแต่ละเส้น โดยการป้อนข้อมูลของสายส่งแต่ละเส้น จะประกอบด้วยชื่อของสายส่ง, หมายเลขบัสระหว่างบัส, ระยะทางระหว่างบัส, ระบบแรงดัน, ชนิดของสายส่ง, ชื่อของสถานีย่อยหรือลูกค้าและImpedanceของหม้อแปลง ดังรูปที่ 4.7 กรณีที่ป้อนข้อมูลสายส่งผิด สามารถแก้ไขได้โดยใช้ปุ่ม Edit line data

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.7 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลที่เป็นสายส่ง

ปุ่ม Next : ใช้สำหรับป้อนข้อมูลบัสที่อยู่ถัดไป

ปุ่ม End of line : ใช้เมื่อป้อนข้อมูลสายส่งเส้นใดๆครบ

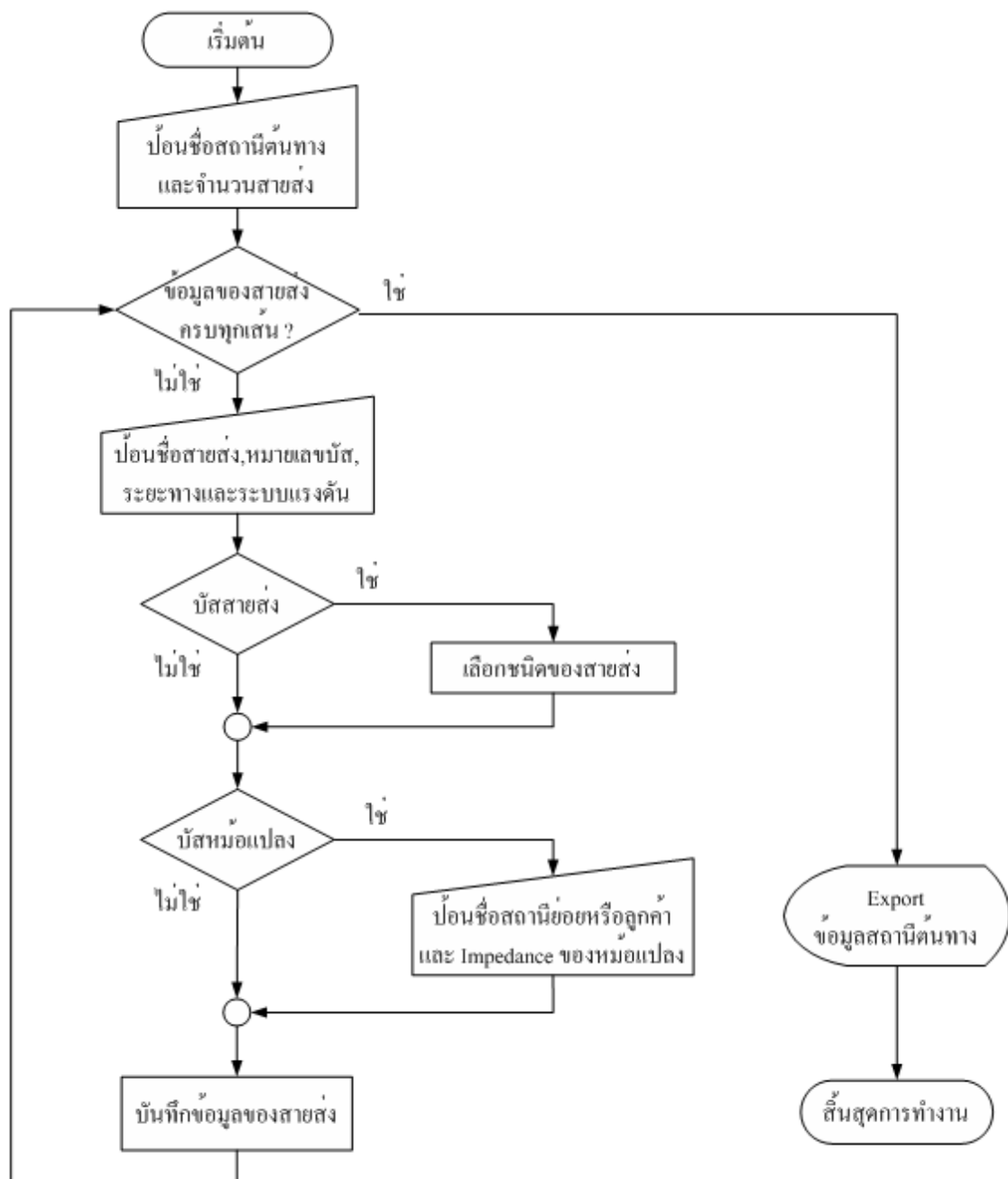
ปุ่ม Exit : ใช้เมื่อป้อนข้อมูลครบทุกสายส่ง

เมื่อต้องการป้อนข้อมูลที่เป็นหม้อแปลงจะต้องทำการเลือกปุ่ม Transformer ในส่วนของ Data Type ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 หน้าจอ โปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 การส่งออกข้อมูลของสถานีต้นทาง โดยเลือกปุ่ม Export data to MATFILE

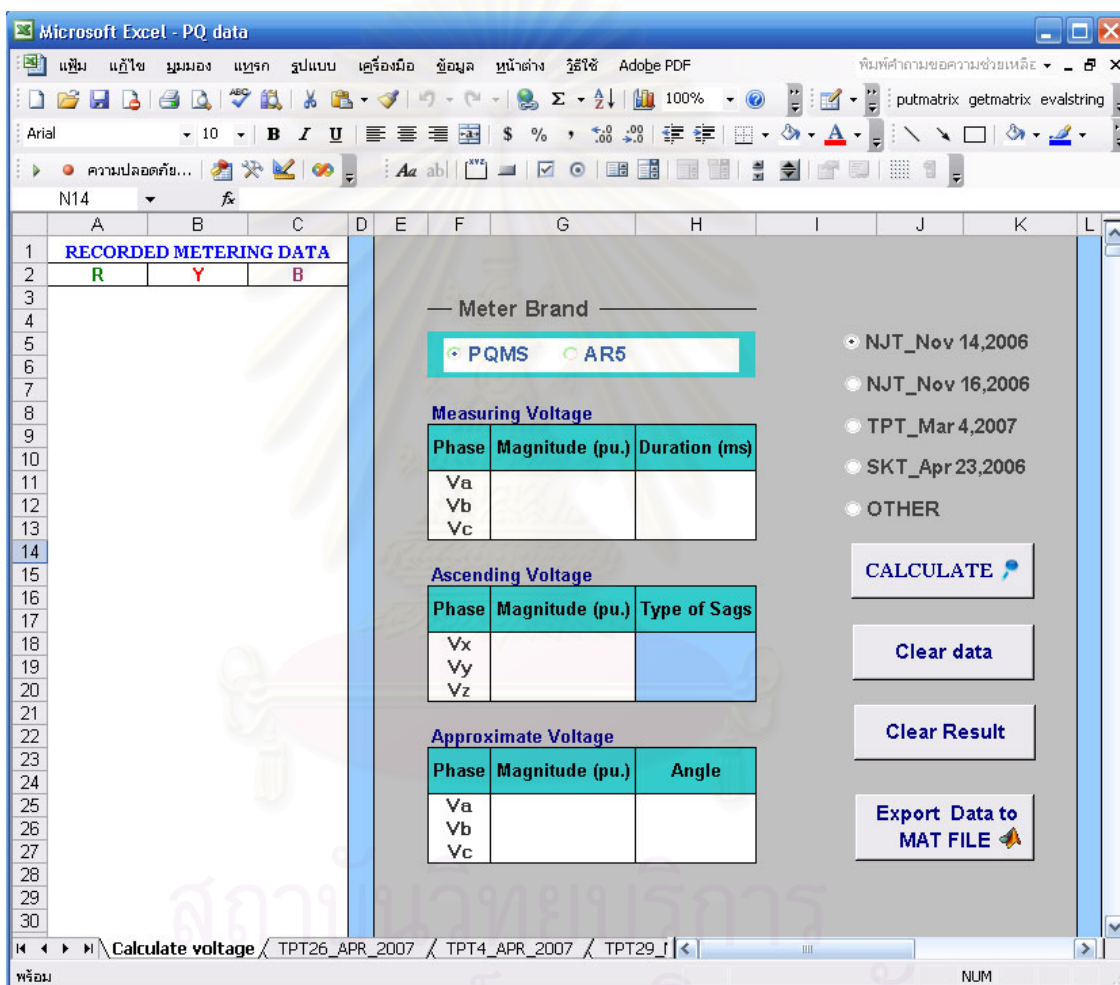
ข้อมูลของสถานีต้นทางที่ป้อนครบทุกสายส่ง จะถูกส่งออกข้อมูลไปเป็นMATFILE เพื่อให้โปรแกรมหลักใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาระยะความผิดพลาดต่อไป จากขั้นตอนทั้งหมดสามารถนำมาเขียนแผนผังการป้อนข้อมูลของสถานีต้นทางได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 แผนผังขั้นตอนการป้อนข้อมูลของสถานีต้นทาง

4.2.3 การอ่านข้อมูลขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่บ้านที่จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

ขั้นตอนต่อมาในการใช้งาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาระยะความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า จะต้องทำการอ่านค่าแรงดันตกชั่วขณะจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ได้ทำการติดตั้งที่สถานีต้นทาง เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าบางรุ่นที่ใช้ในการติดตั้งไม่สามารถที่จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นอาร์เอ็มเอสและบอกรวมเฟสได้ ดังนั้นจึงสร้าง โปรแกรมย่อย PQ data เพื่อทำการแปลงข้อมูลแรงดันจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของแรงดันอาร์เอ็มเอส สามารถบอกชนิดของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นและประมาณค่าแรงดันและมุมเฟสได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 หน้าจอของโปรแกรม PQ data

โปรแกรม PQ data มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลแรงดันทั้งสามเฟสที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า บ้านที่กลงใน

โปรแกรม ข้อมูลจากหนึ่งเหตุการณ์ที่ได้จากเครื่องวัดจะต้องบันทึกไว้ในแผ่นงานของโปรแกรมตั้งชื่อของแผ่นงาน โดยระบุวัน เดือน ปี และสถานีต้นทางที่บ้านที่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 เลือกยี่ห้อของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในสถานีต้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 เลือกข้อมูลแรงดันทั้งสามเฟสที่ต้องการคำนวณค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสทั้งสามเฟส

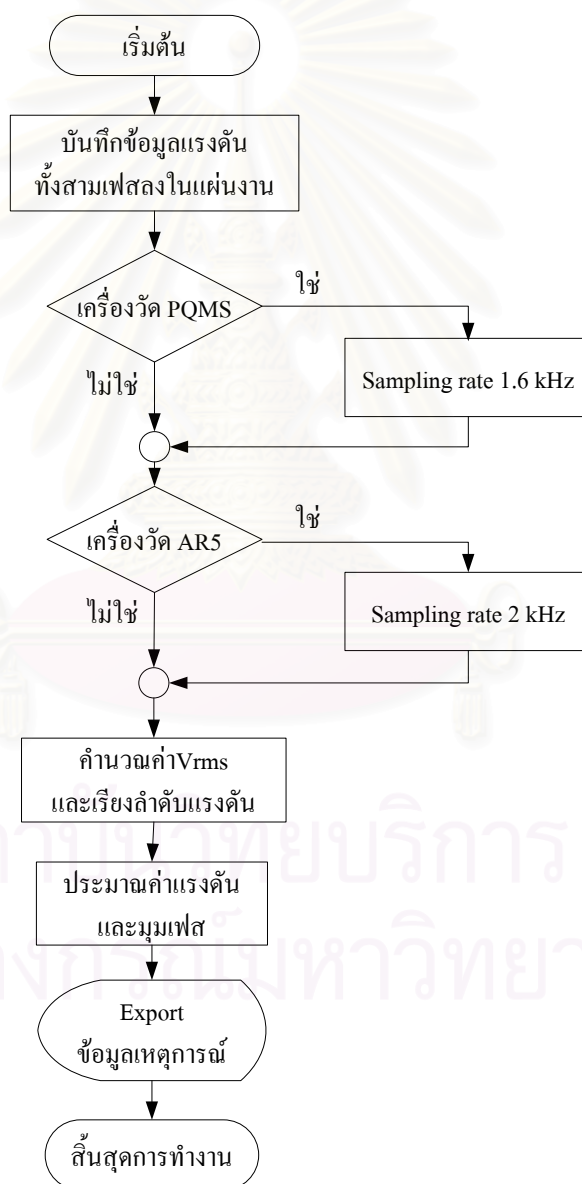
ขั้นตอนที่ 5 เรียงลำดับแรงดันทั้งสามเฟสเพื่อจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 ประมาณค่าแรงดันและมุมเฟสจากแรงดันที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 ส่งออกข้อมูล ด้วยปุ่ม Export data to MATFILE เพื่อให้โปรแกรมหลักใช้เป็นข้อมูลใน

การคำนวณหาระยะความผิดพลาด

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แผนผังขั้นตอนการอ่านค่าแรงดันจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

แสดงผลการคำนวณต่างๆ เมื่อกดปุ่ม Calculate ซึ่งประกอบด้วย

1. แรงดันอาร์เอ็มเอสและช่วงเวลาที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (V_a, V_b และ V_c)
2. แรงดันที่มีการเรียงลำดับ (V_x, V_y และ V_z)
3. รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ
4. แรงดันและมุมเฟสจากการประมาณค่าของแรงดัน (V_a, V_b และ V_c)

สามารถแสดงผลการคำนวณได้ดังรูปที่ 4.12

The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - PQ data". The spreadsheet contains a table of recorded metering data. The interface also displays a PQ analysis tool with the following sections:

Meter Brand
 PQMS AR5

1 Measuring Voltage

Phase	Magnitude (pu.)	Duration (ms)
Va	1.155	0
Vb	1.012	0
Vc	0.492	62.5

2 Ascending Voltage

Phase	Magnitude (pu.)	Type of Sags
Vx	0.492	Type B
Vy	1.012	
Vz	1.155	

3

4 Approximate Voltage

Phase	Magnitude (pu.)	Angle
Va	0.492	0.000
Vb	1.084	-126.960
Vc	1.084	126.960

Buttons: CALCULATE, Clear data, Clear Result, Export Data to MAT FILE

Navigation: Calculate voltage / TPT26_APR_2007 / TPT4_APR_2007 / TPT29_1

รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม PQ data

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติในทางปฏิบัติ

เพื่อต้องการยืนยันความถูกต้องแม่นยำของเทคนิคการประมาณตำแหน่งของความผิดปกติ ดังนั้นจึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในระบบไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้านครหลวง โดยจะใช้ข้อมูลจากการวัดจริงจากข้อมูลเดิมที่เคยวัดได้ที่สถานีต้นทางพระนครใต้ พร้อมทั้งได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากสถานีต้นทางหนองจอกและเทพารักษ์ โดยใช้เวลาการบันทึกข้อมูลทั้งสิ้น 8 เดือน (1 ก.ย.49 - 15 พ.ค. 50) ตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าที่สถานีต้นทาง

5.1 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัด 2 ชนิดคือ CIRCUTOR รุ่น AR5 ซึ่งเป็นแบบติดตั้งชั่วคราว โดยใช้เก็บข้อมูลที่สถานีต้นทางพระนครใต้ ส่วนสถานีต้นทางหนองจอกและเทพารักษ์นั้นได้มีการติดตั้งเครื่องวัด PQMS ซึ่งเป็นแบบติดตั้งถาวรไว้แล้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอก

การเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอกทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ครั้ง ภายใน 8 เดือน พบว่ามี 27 เหตุการณ์

ตารางที่ 5.1 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอก

ระยะเวลาบันทึกข้อมูล	Time	Phase	Duration (s)	Magnitude (%)
ครั้งที่ 1	2006-Sep-15 (18:06:43)	V1	0.029	86
(1 ก.ย.49 - 31 ต.ค.49)	2006-Sep-25 (9:15:13)	V2	0.050	82

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางหนองจอก

ระยะเวลาบันทึกข้อมูล	Time	Phase	Duration (s)	Magnitude (%)
ครั้งที่ 2 (1 พ.ย.49 - 31 ธ.ค.49)	2006-Nov-14 (14:02:41)	V3	0.059	49
	2006-Nov-16 (09:56:05)	V2	0.089	40
	2006-Nov-20 (16:15:00)	V2	0.090	86
	2006-Nov-27 (08:01:52)	V2	0.089	86
	2006-Dec-17 (09:45:42)	V2	0.052	42
ครั้งที่ 3 (1 ม.ค.50 - 28 ก.พ.50)	2007-Jan-11 (13:06:46)	V1	0.049	82
ครั้งที่ 4 (1 มี.ค.50 - 15 พ.ค. 50)	2007-Mar-01 (10:07:08)	V2	0.040	56
	2007-Mar-06 (06:23:26)	V3	0.029	87
	2007-Mar-09 (02:30:15)	V3	0.049	78
	2007-Mar-09 (04:07:49)	V3	0.050	78
	2007-Mar-17 (03:18:08)	V2	0.050	82
	2007-Mar-18 (05:25:13)	V3	0.059	86
	2007-Mar-24 (14:19:36)	V3	0.071	82
	2007-Apr-04 (18:12:36)	V1	0.069	79
	2007-Apr-11 (13:06:46)	V1	0.030	86
	2007-Apr-11 (13:09:06)	V2	0.040	85
	2007-Apr-12 (01:30:18)	V2	0.050	83
	2007-Apr-12 (03:37:11)	V1	0.049	82
	2007-Apr-12 (03:55:35)	V2	0.049	82
	2007-Apr-17 (09:10:51)	V2	0.050	87
	2007-Apr-25 (17:59:07)	V2	0.080	59
	2007-Apr-26 (17:49:06)	V1	0.039	86
	2007-Apr-30 (06:28:34)	V3	0.089	65
	2007-Apr-30 (14:45:37)	V3	0.050	80
	2007-May-13 (08:14:47)	V3	0.079	47

5.1.2 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์

การเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ครั้ง ภายใน 8 เดือน พบว่ามี 14 เหตุการณ์ที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ตารางที่ 5.2 ผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์

ระยะเวลาบันทึกข้อมูล	Time	Phase	Duration (s)	Magnitude (%)
ครั้งที่ 1 (1 ก.ย.49 - 31 ต.ค.49)	2006-Sep-29 (18:41:56)	V2	0.042	40
ครั้งที่ 2 (1 พ.ย.49 - 31 ธ.ค.49)	-	-	-	-
ครั้งที่ 3 (1 ม.ค.50 - 28 ก.พ.50)	2007-Feb-23 (10:55:46)	V2	0.049	42
ครั้งที่ 4 (1 มี.ค.50 - 15 พ.ค. 50)	2007-Mar-04 (00:20:55)	V2	0.080	45
	2007-Mar-09 (02:30:10)	V3	0.04	85
	2007-Mar-09 (04:07:45)	V3	0.029	86
	2007-Mar-17 (03:18:03)	V2	0.059	81
	2007-Mar-18 (05:25:08)	V3	0.040	88
	2007-Mar-22 (06:18:45)	V1	0.030	87
	2007-Mar-24 (14:19:30)	V3	0.099	81
	2007-Apr-04 (14:36:48)	V1	0.039	84
	2007-Apr-12 (01:30:21)	V1	0.040	83
	2007-Apr-12 (03:37:03)	V1	0.050	83
	2007-Apr-12 (03:55:28)	V1	0.029	84
	2007-Apr-26 (17:48:57)	V1	0.080	74

5.2 รายงานสถิติไฟฟ้าดับของการไฟฟ้านครหลวง

เมื่อมีผลการเก็บข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะจากสถานีต้นทางแล้ว ดังนั้นเพื่อการทราบรายละเอียดของการเกิดความผิดปกติ จะต้องเปรียบเทียบกับรายงานสถิติไฟฟ้าดับ ซึ่งการไฟฟ้านครหลวงมีหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจดบันทึกสถิติไฟฟ้าดับ โดยจะทำให้งานวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ามีความสะดวกมากขึ้น

ตารางที่ 5.3 รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางพระนครใต้ ช่วงวันที่ 01/01/49 – 14/07/49

วัน/เดือน/ปี	สายส่ง	เวลา	สาเหตุ	รีเลย์	บริเวณ
14/01/49	SKT 692	00:34	เครน	DT- Y (ZONE 1)	-
15/02/49	SKT 695	17:19	ไม่ทราบสาเหตุ	OC-R,EFI-T	-
01/03/49	SKT 695	16:12	ส/ย	DT-B,OC-B	-
23/04/49	SKT 692	15:18	สายชำรุด	DT-Y(ZONE 1)	เสา 36 ถนนสุขุมวิท
29/04/49	SKT 696	23:37	ไม่ทราบสาเหตุ	DT – B,OC-B	-
30/04/49	SKT 692	16:58	บุคคลภายนอก	DT-B(ZONE 1), OC-B	-

ตารางที่ 5.4 รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางหนองจอก ช่วงวันที่ 01/09/49 – 17/05/50

วัน/เดือน/ปี	สายส่ง	เวลา	สาเหตุ	รีเลย์	บริเวณ
14/11/49	NJT 794B	14:03	เครน	DT-B(ZONE 1) ,OC - B	เสา 32 ถนนสุขุมวิท
16/11/49	NJT 791A	09:56	งู	DT-Y(ZONE 1) ,OC – Y	เสา 118 ถนนสุขุมวิท
17/12/49	NJT 791B	09:46	ไม่ทราบสาเหตุ	DT-R (ZONE 3)	-
01/03/50	NJT 794A	10:07	กระรอก	DT-B (ZONE 1)	-
13/05/50	NJT 792B	08:13	ไม่ทราบสาเหตุ	DT-YB (ZONE 1)	-

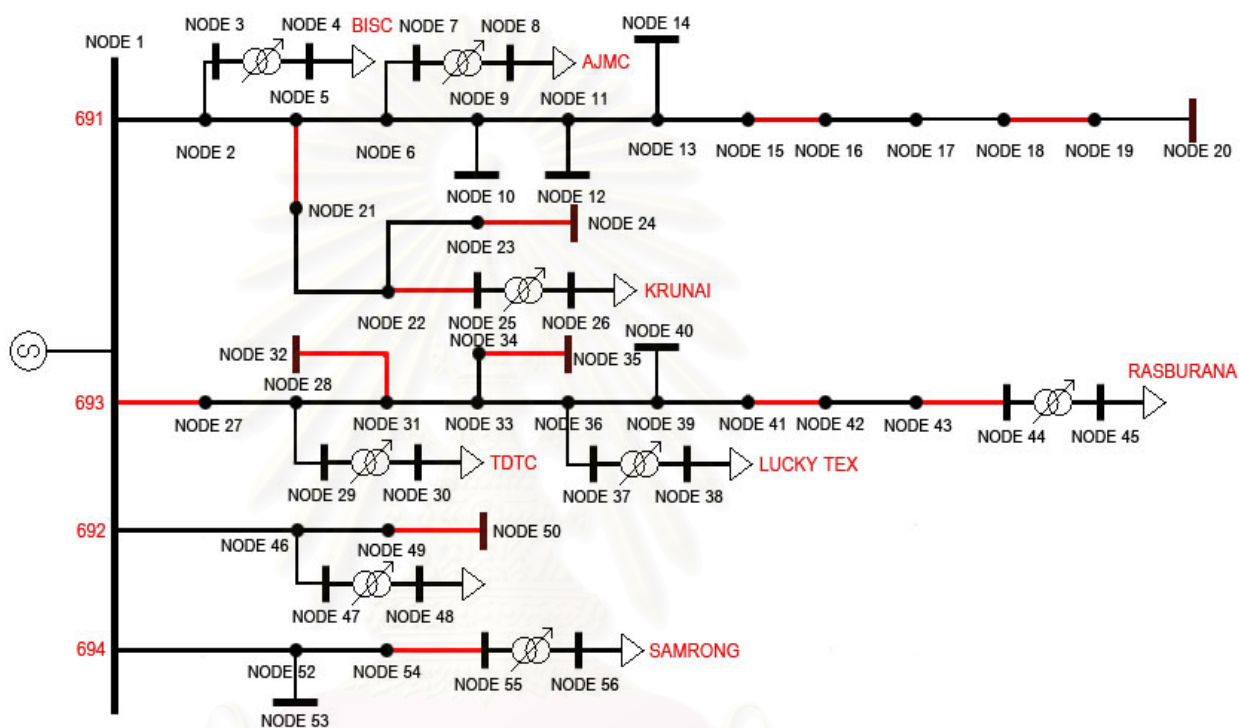
ตารางที่ 5.5 รายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางเทพารักษ์ ช่วงวันที่ 01/09/49 – 17/05/50

วัน/เดือน/ปี	สายส่ง	เวลา	สาเหตุ	รีเลย์	บริเวณ
29/09/49	TPT 791	18:42	ไม่ทราบสาเหตุ	DT- RY (ZONE 1)	-
23/02/50	TPT 794	10:55	ลูกถ้วย	DT-Y(ZONE 1) ,OC I- Y,EFI	-
4/03/50	TPT 794	00:02	ลูกถ้วย	DT-Y(ZONE 1) ,OC I- Y,EFI	เสา 33 ใกล้สวิตช์ 7055TP

5.3 ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ของสถานีต้นทางและสายส่ง

ในส่วนนี้จะป็นข้อมูลที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งของความผิดพลาด ซึ่งควรจะต้องใช้ข้อมูลที่ผิดพลาดน้อยที่สุดเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยเริ่มจากค่าพารามิเตอร์สถานีต้นทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 รายละเอียดของสถานีต้นทางพระนครใต้ (SKT)



รูปที่ 5.2 Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางพระนครใต้ (SKT)

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ (SKT)

ข้อมูลสาย	Positive sequence (pu./km)		Zero sequence (pu./km)	
	R	X	R	X
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Single	0.00065	0.0037	0.0118	0.03328
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Bundle	0.00033	0.00185	0.0059	0.01664
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Single	0.00161	0.00719	0.00555	0.02874
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Bundle	0.00081	0.00521	0.00473	0.02676

ตารางที่ 5.7 Source impedance ของสถานีต้นทางพระนครใต้

BUS	Positive sequence (pu.)		Zero sequence (pu.)	
	R	X	R	X
B	0.00562	0.03400	0.0007	0.04369

ตารางที่ 5.8 ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
1	1	2	3592.48
2	2	3	402.3
3	3	4	0
4	2	5	1256.5
5	5	6	400
6	6	7	762.5
7	7	8	0
8	6	9	1722.45
9	9	10	55
10	9	11	879.5
11	11	12	150
12	11	13	48.9
13	13	14	2700.3
14	13	15	881
15	15	16	169
16	16	17	881
17	17	18	535.71
18	18	19	327
19	19	20	1739.29
20	5	21	200
21	21	22	570.5
22	22	23	6280.1
23	23	24	221
24	22	25	133

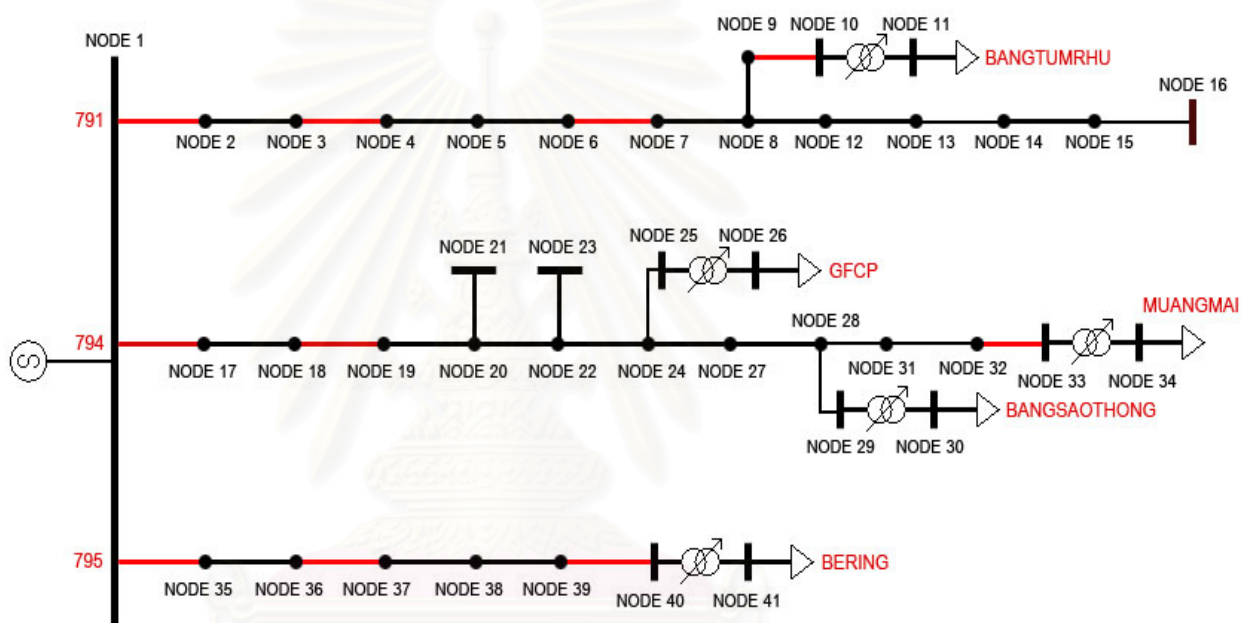
ตารางที่ 5.8 (ต่อ) ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
25	25	26	0
26	1	27	1350
27	27	28	450
28	28	29	502.3
29	29	30	0
30	28	31	1000
31	31	32	36
32	31	33	2130
33	33	34	598.9
34	34	35	103
35	33	36	1938.15
36	36	37	589.4
37	37	38	0
38	36	39	363.85
39	39	40	36
40	39	41	550
41	41	42	400
42	42	43	629.4
43	43	44	197
44	44	45	0
45	1	46	5202.65
46	46	47	18
47	47	48	0
48	46	49	1034.7
49	49	50	121
50	50	51	0
51	1	52	3798.7

ตารางที่ 5.8 (ต่อ) ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางพระนครใต้ที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
52	52	53	44
53	52	54	2669.65
54	54	55	120
55	55	56	0

5.3.2 รายละเอียดของสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT)



รูปที่ 5.3 Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT)

ตารางที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT)

ข้อมูลสาย	Positive sequence (pu./km)		Zero sequence (pu./km)	
	R	X	R	X
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Single	0.00023	0.00133	0.00425	0.01198
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Bundle	0.00012	0.00067	0.00212	0.00599
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Single	0.00058	0.00274	0.00192	0.01009
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Bundle	0.00029	0.00202	0.00163	0.00937

ตารางที่ 5.10 Source impedance ของสถานีต้นทางเทพารักษ์ (TPT)

BUS	Positive sequence (pu.)		Zero sequence (pu.)	
	R	X	R	X
A	0.00549	0.03144	0.00674	0.05719

ตารางที่ 5.11 ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ที่ใช้ในการคำนวณ

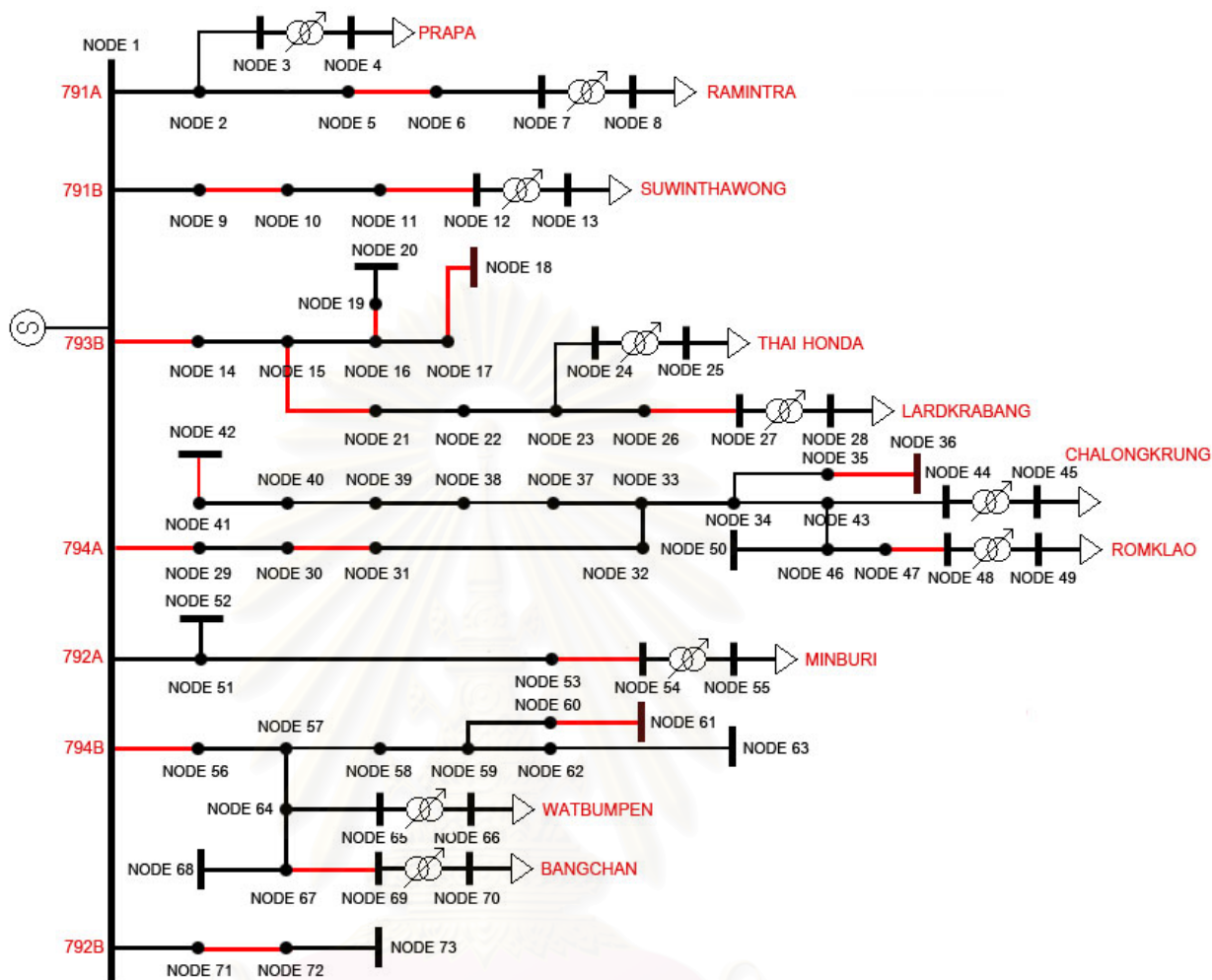
Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
1	1	2	1820
2	2	3	2185
3	3	4	230
4	4	5	2185
5	5	6	957
6	6	7	70
7	7	8	1343.1
8	8	9	8
9	9	10	136
10	10	11	0
11	8	12	2398.5
12	12	13	2424.8
13	13	14	40
14	14	15	1960
15	15	16	30
16	1	17	150
17	17	18	3310.5
18	18	19	111
19	19	20	1643
20	20	21	200
21	20	22	400
22	22	23	40

ตารางที่ 5.11 (ต่อ) ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางเทพารักษ์ที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
23	22	24	9622.7
24	24	25	97
25	25	26	0
26	24	27	171
27	27	28	53
28	28	29	104.1
29	29	30	0
30	28	31	41
31	31	32	1866.2
32	32	33	62
33	33	34	0
34	1	35	147.6
35	35	36	6419.9
36	36	37	124
37	37	38	3954.3
38	38	39	3352.5
39	39	40	69
40	40	41	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.3 รายละเอียดของสถานีต้นทางหนองจอก (NJT)



รูปที่ 5.4 Single line diagram ของสายส่งจากสถานีต้นทางหนองจอก (NJT)

ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอก (NJT)

ข้อมูลสาย	Positive sequence		Zero sequence	
	(pu./km)		(pu./km)	
	R	X	R	X
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Single	0.00023	0.00133	0.00425	0.01198
สายเคเบิลชนิด (XLPE) แบบ Bundle	0.00012	0.00067	0.00212	0.00599
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Single	0.00058	0.00274	0.00192	0.01009
สายอลูมิเนียมเปลือยแบบ Bundle	0.00029	0.00202	0.00163	0.00937

ตารางที่ 5.13 Source impedance ของสถานีต้นทางหนองจอก (NJT)

BUS	Positive sequence (pu.)		Zero sequence (pu.)	
	R	X	R	X
B	0.00432	0.03762	0.00372	0.05784

ตารางที่ 5.14 ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอกที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
1	1	2	8140.8
2	2	3	1000
3	3	4	0
4	2	5	7437.3
5	5	6	300
6	6	7	481.2
7	7	8	0
8	1	9	575.7
9	9	10	200
10	10	11	3704.5
11	11	12	92
12	12	13	0
13	1	14	941
14	14	15	7451
15	15	16	40
16	16	17	4081.6
17	17	18	117
18	15	21	158.9
19	21	22	1754
20	22	23	1470
21	23	24	474
22	24	25	0
23	23	26	196
24	26	27	52

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอกที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
25	27	28	0
26	16	19	135
27	19	20	3116
28	1	29	818
29	29	30	7913.2
30	30	31	135
31	31	32	1972
32	32	33	25
33	33	37	2019
34	37	38	246
35	38	39	762
36	39	40	137
37	40	41	2643
38	41	42	1100
39	33	34	1310.5
40	34	35	2880.8
41	35	36	52
42	34	43	171
43	43	44	100
44	44	45	0
45	43	46	5764
46	46	47	1632
47	47	48	40
48	48	49	0
49	46	50	1500
50	1	51	564.7
51	51	52	12
52	51	53	6916.5

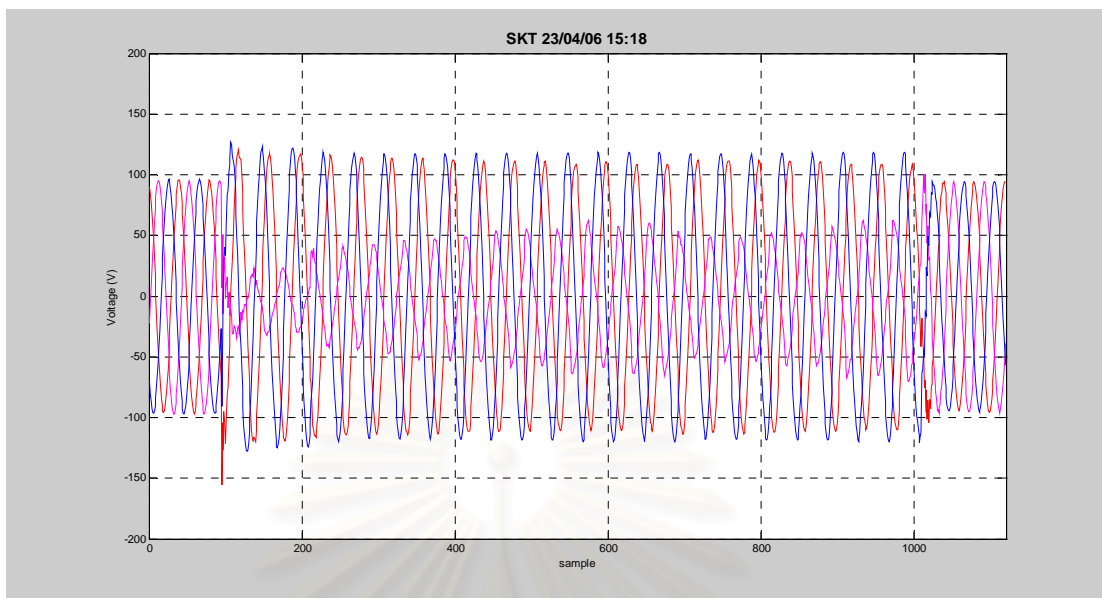
ตารางที่ 5.14 (ต่อ) ความยาวสายส่งของสถานีต้นทางหนองจอกที่ใช้ในการคำนวณ

Number	From Bus	To Bus	ความยาวสายส่ง (เมตร)
53	53	54	115
54	54	55	0
55	1	56	600
56	56	57	7559.6
57	57	58	394.8
58	58	59	234.58
59	59	60	797.59
60	60	61	113
61	59	62	93.834
62	62	63	5215.2
63	57	64	3593.8
64	64	65	22
65	65	66	0
66	64	67	2279.5
67	67	68	117
68	67	69	480
69	69	70	0
70	1	71	509.7
71	71	72	220
72	72	73	3531

5.4 การประมาณขนาดและจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

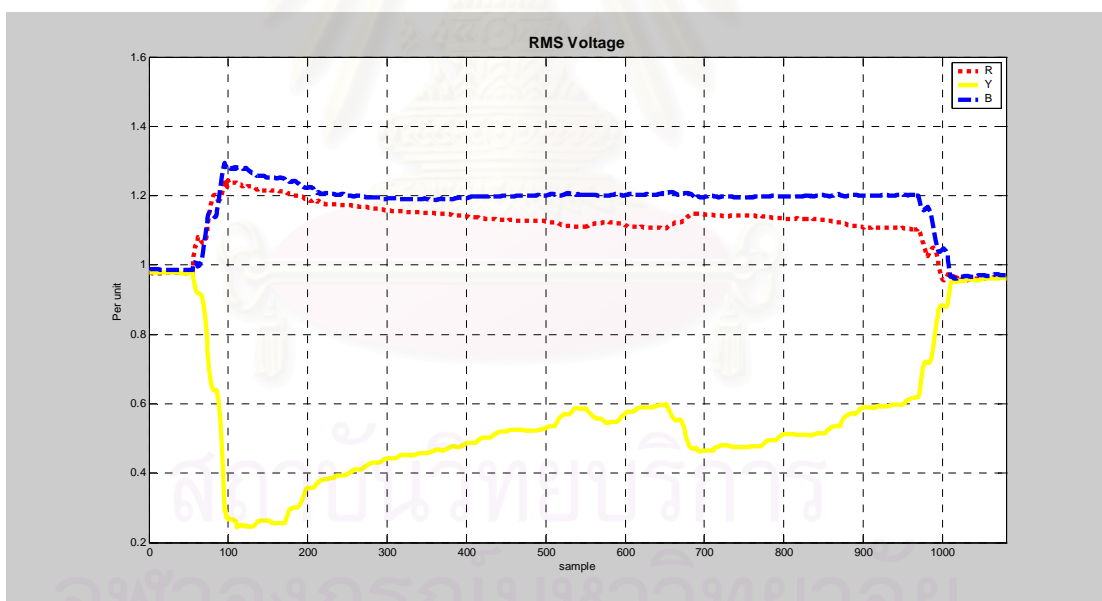
จากข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งจะต้องพิจารณาเหตุการณ์ที่สอดคล้องกับสถิติไฟฟ้าดับ โดยจะพบว่ามี 4 เหตุการณ์ที่สามารถระบุตำแหน่งได้ชัดเจน สิ่งแรกที่สำคัญก่อนที่จะทำการประมาณตำแหน่งความผิดปกติจากข้อมูลแรงดันตกชั่วขณะคือการประมาณขนาดและจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

5.4.1 เหตุการณ์ที่ 1 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านที่กได้ ณ สถานีต้นทางพระนครได้เวลาที่เกิด 15:18 น.



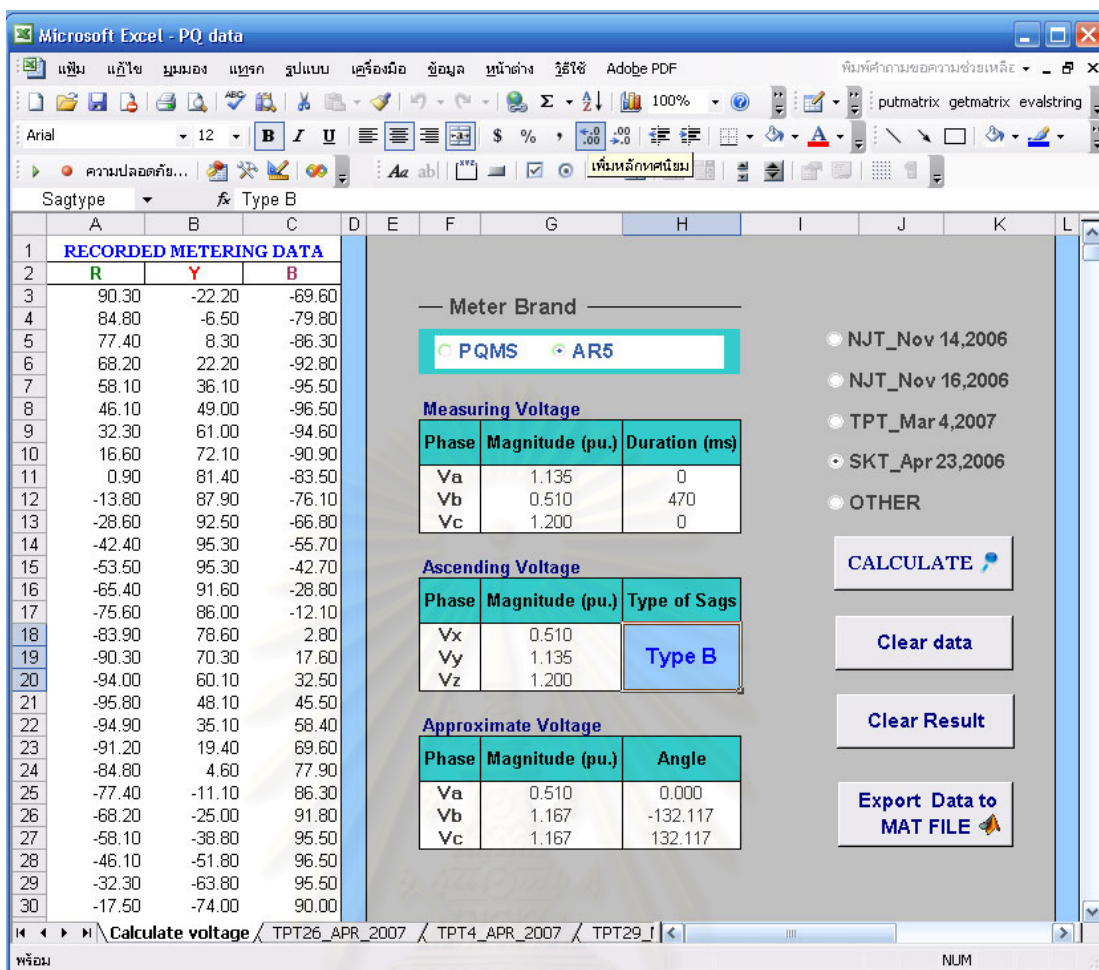
รูปที่ 5.5 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง SKT

จากนั้นทำการคำนวณหาแรงดัน RMS ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทั้ง 3 เฟส จะได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา

จากนั้นใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะและประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟสในรูปแบบเฟสเซอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 5.7 การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะและประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส จะสรุปได้ว่าเหตุการณ์นี้มีระดับแรงดันและรูปแบบดังตารางที่ 5.15 ตารางที่ 5.15 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของสถานีต้นทางพระนครใต้

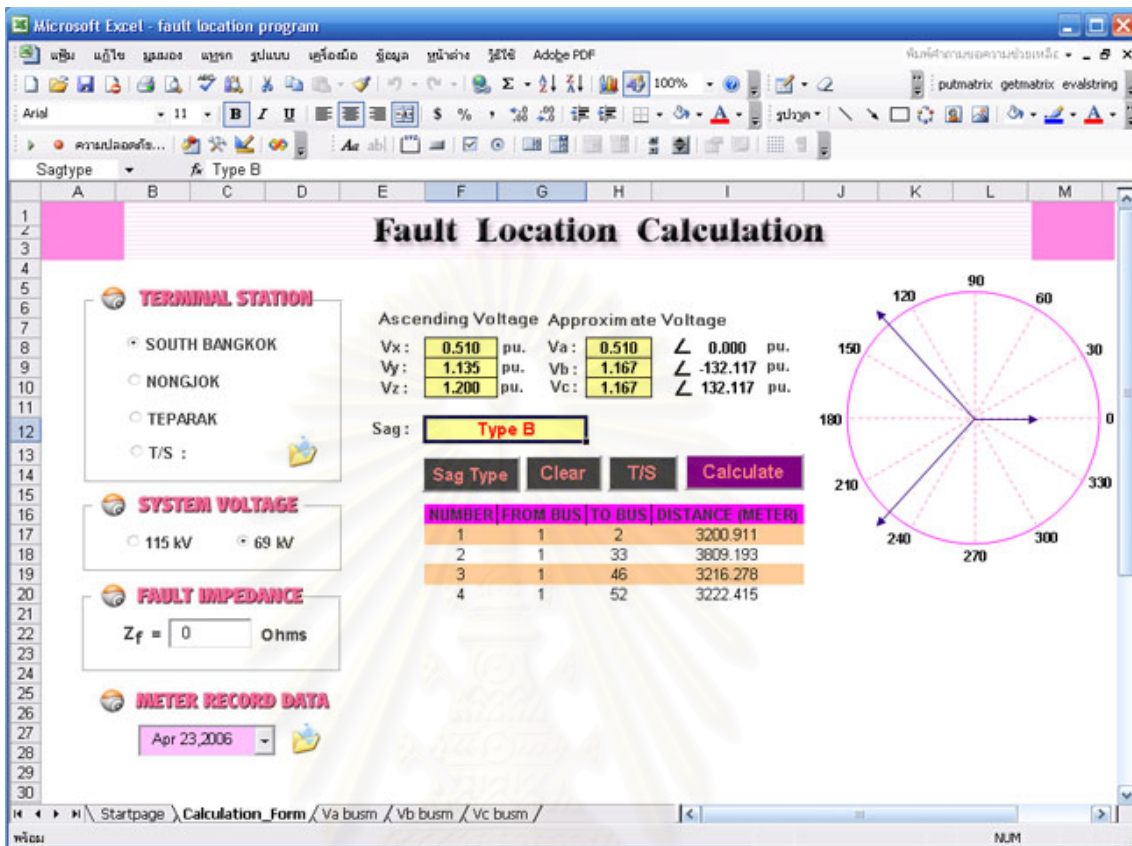
Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.510∠0	Type B
B	1.167∠-132.117	
C	1.167∠132.117	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.51 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.107	0.192	0.263	0.321	0.371	0.414	0.451	0.484	0.513	0.538
2	3	0.538	0.541	0.545	0.548	0.551	0.554	0.556	0.559	0.562	0.565	0.568
3	4	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	5	0.538	0.547	0.555	0.562	0.570	0.577	0.584	0.590	0.597	0.603	0.609
5	6	0.609	0.611	0.613	0.615	0.617	0.618	0.620	0.622	0.624	0.625	0.627
6	7	0.627	0.631	0.634	0.638	0.642	0.645	0.648	0.652	0.655	0.658	0.661
7	8	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
6	9	0.627	0.634	0.641	0.648	0.654	0.660	0.666	0.672	0.677	0.682	0.687
9	10	0.687	0.688	0.688	0.688	0.688	0.688	0.688	0.689	0.689	0.689	0.689
9	11	0.687	0.690	0.692	0.695	0.697	0.699	0.702	0.704	0.706	0.708	0.711
11	12	0.711	0.711	0.711	0.712	0.712	0.712	0.713	0.713	0.714	0.714	0.714
11	13	0.711	0.711	0.711	0.711	0.711	0.711	0.711	0.711	0.712	0.712	0.712
13	14	0.712	0.718	0.724	0.730	0.735	0.741	0.746	0.751	0.755	0.760	0.764
13	15	0.712	0.714	0.716	0.718	0.720	0.722	0.724	0.726	0.728	0.730	0.731
15	16	0.731	0.732	0.732	0.732	0.732	0.732	0.733	0.733	0.733	0.733	0.733
16	17	0.733	0.735	0.737	0.739	0.740	0.742	0.744	0.745	0.747	0.748	0.750
17	18	0.750	0.751	0.752	0.753	0.754	0.755	0.756	0.757	0.758	0.759	0.760
18	19	0.760	0.761	0.761	0.761	0.762	0.762	0.762	0.763	0.763	0.763	0.763
19	20	0.763	0.766	0.769	0.772	0.775	0.778	0.781	0.783	0.786	0.788	0.791
5	21	0.609	0.610	0.610	0.611	0.611	0.612	0.612	0.613	0.613	0.614	0.614
21	22	0.614	0.617	0.619	0.622	0.624	0.627	0.629	0.632	0.634	0.636	0.639
22	23	0.639	0.662	0.682	0.700	0.715	0.729	0.742	0.753	0.763	0.773	0.781
23	24	0.781	0.781	0.781	0.782	0.782	0.782	0.782	0.782	0.782	0.782	0.783
22	25	0.639	0.639	0.639	0.640	0.640	0.640	0.640	0.641	0.641	0.641	0.642
25	26	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	27	0.000	0.025	0.048	0.071	0.092	0.113	0.132	0.151	0.169	0.186	0.202
27	28	0.202	0.211	0.220	0.229	0.238	0.246	0.254	0.262	0.270	0.278	0.285

ผลจากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation จะได้ตำแหน่งที่คาดว่าเกิดความผิดปกติ 4 จุด ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation

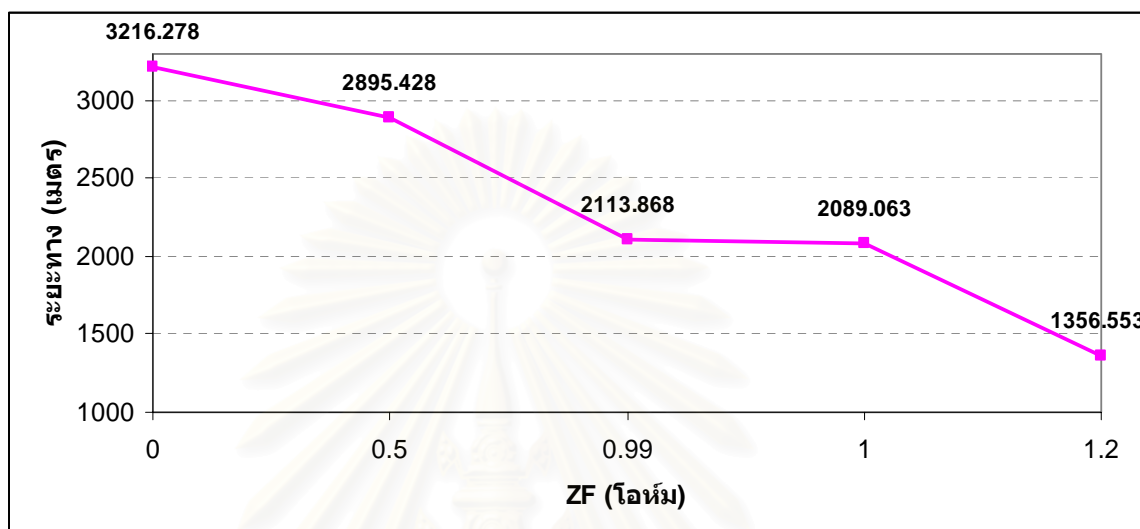
การคำนวณข้างต้นจะพิจารณาจากค่า $Z_f = 0$ โอห์ม จะได้ระยะทางที่อาจจะเกิดความผิดปกติในระบบดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 1

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	2	3200.911
2	1	33	3809.193
3	1	46	3216.278
4	1	52	3222.415

จากรายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางพระนครได้ พบว่าวันที่ 23 เมษายน 2549 เวลา 15:18 น. อุปกรณ์ป้องกันสายส่ง SKT692 ทำงานและตรวจสอบระยะที่เกิดความผิดปกติได้จากผู้ปฏิบัติงาน โดยพบว่าอยู่ที่เสาไฟฟ้าหมายเลข 36 บนถนนสุขุมวิท ซึ่งวัดระยะจากสถานีต้นทางพระนครได้ไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติได้เท่ากับ 2.1 กิโลเมตร และจากข้อมูลสรุปได้ว่าเกิดความผิดปกติขึ้นบน

สายส่ง SKT692 ซึ่งอยู่ระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 46 จากการประมาณระยะทางในเบื้องต้นตามตารางที่ 5.17 ได้ระยะทางเท่ากับ 3.216 กิโลเมตร โดยพบว่าระยะทางที่คำนวณได้กับระยะทางจริงมีความแตกต่างกันพอสมควร ดังนั้นจึงทดลองปรับค่า Z_F ที่ค่าต่างๆเพื่อประมาณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด จะได้ดังรูปที่ 5.9



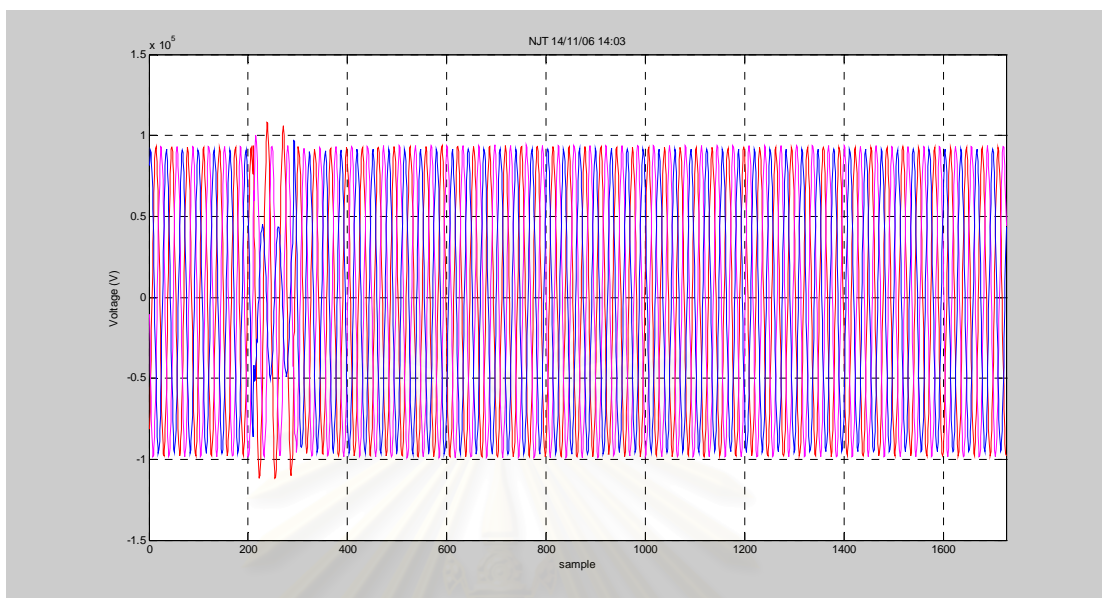
รูปที่ 5.9 ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F

สำหรับเหตุการณ์ที่ 1 สามารถสรุปได้ว่าการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดเบื้องต้นนั้นมีค่าเท่ากับ 3216.278 เมตร ซึ่งในความเป็นจริงนั้นจะต้องใช้ค่าดังกล่าวเป็นแนวทางในการสำรวจ โดยจะทำให้การสำรวจตำแหน่งความผิดพลาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

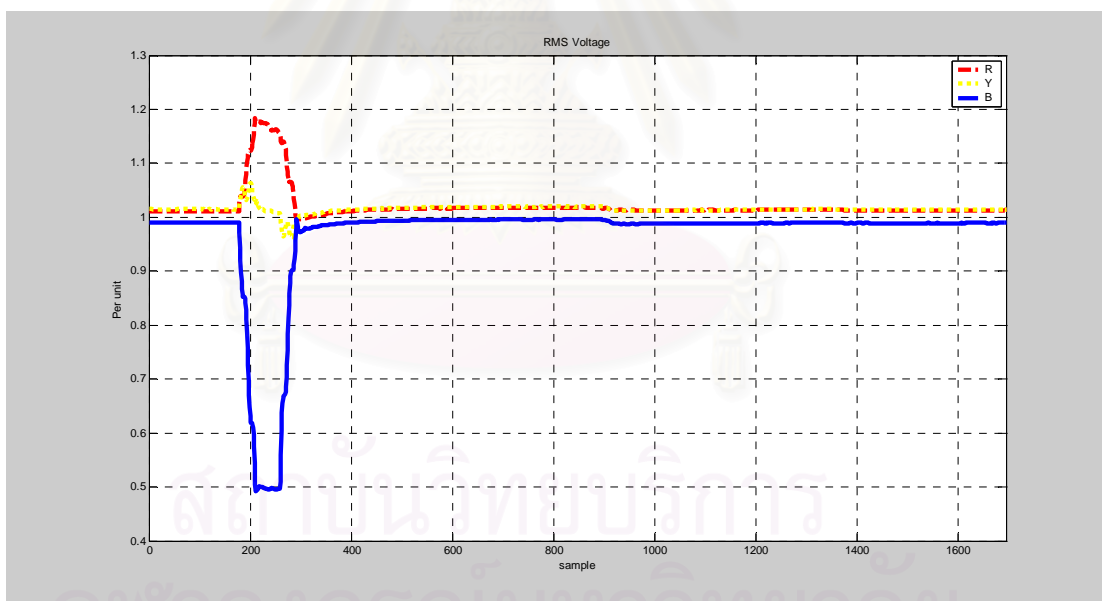
เมื่อทำการปรับค่า $Z_F = 0.99 \Omega$ จะพบว่า ระยะที่เกิดความผิดพลาดที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะจริงที่เกิดขึ้น ในกรณีนี้สามารถนำมาใช้เก็บเป็นข้อมูลทางสถิติได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 เหตุการณ์ที่ 2 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านที่กได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 14 พ.ย. 50 เวลา 14:03 น.

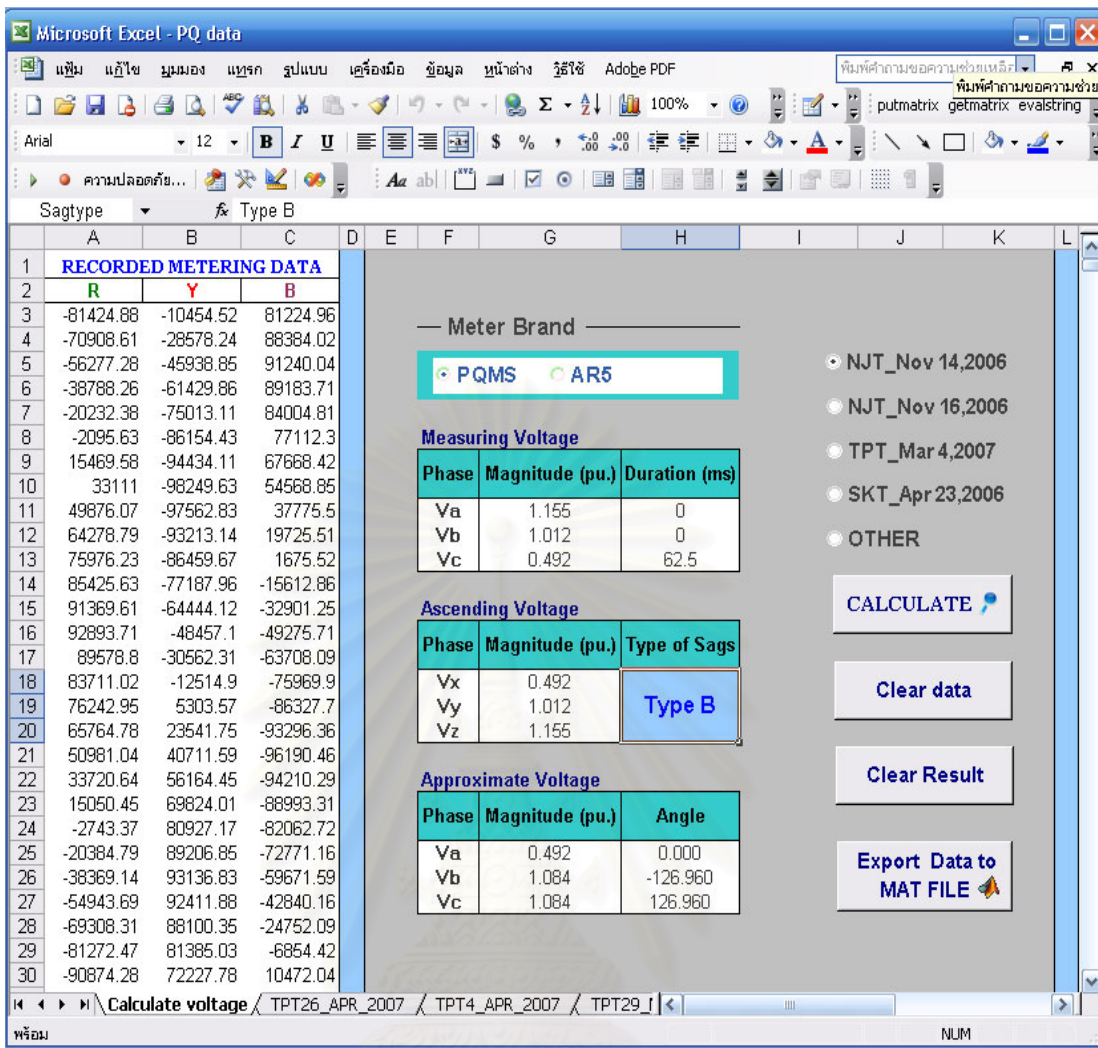


รูปที่ 5.10 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง NJT วันที่ 14 พ.ย. 50 เวลา 14:03 น.



รูปที่ 5.11 แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา

การบันทึกข้อมูลสำหรับเหตุการณ์นี้จะใช้ PQMS ทำให้จำนวนจุดตัวอย่าง (sample point) แตกต่างจากเหตุการณ์แรก ซึ่งใช้เครื่องวัด Circutor รุ่น AR5



รูปที่ 5.12 การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะและประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส จะสรุปได้ว่าเหตุการณ์นี้มีระดับแรงดันและรูปแบบดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของสถานีต้นทางหนองจอก

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.492 ∠ 0	Type B
B	1.084 ∠ -126.960	
C	1.084 ∠ 126.960	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.492 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.075	0.139	0.194	0.242	0.285	0.323	0.356	0.387	0.414	0.439
2	3	0.439	0.442	0.446	0.449	0.452	0.455	0.458	0.462	0.465	0.468	0.471
3	4	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	5	0.439	0.460	0.479	0.496	0.513	0.528	0.542	0.556	0.568	0.580	0.591
5	6	0.591	0.591	0.591	0.592	0.592	0.592	0.592	0.593	0.593	0.593	0.593
6	7	0.593	0.594	0.595	0.595	0.596	0.597	0.597	0.598	0.599	0.599	0.600
7	8	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	9	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054
9	10	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064
10	11	0.064	0.095	0.124	0.151	0.176	0.200	0.222	0.243	0.263	0.282	0.300
11	12	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301	0.301	0.301	0.301	0.302	0.302	0.302
12	13	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	14	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.026	0.031	0.036	0.041	0.046	0.050
14	15	0.050	0.112	0.166	0.214	0.256	0.294	0.327	0.358	0.386	0.411	0.434
15	16	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.435
16	17	0.435	0.447	0.458	0.469	0.479	0.489	0.498	0.507	0.516	0.524	0.532
17	18	0.532	0.532	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.534
16	19	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.436	0.436	0.437	0.437	0.437	0.437
19	20	0.437	0.446	0.455	0.463	0.471	0.479	0.487	0.494	0.501	0.508	0.514
15	21	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.437
21	22	0.437	0.442	0.447	0.452	0.456	0.461	0.466	0.470	0.475	0.479	0.483
22	23	0.483	0.487	0.490	0.494	0.497	0.501	0.504	0.507	0.510	0.514	0.517
23	24	0.517	0.518	0.519	0.520	0.521	0.522	0.524	0.525	0.526	0.527	0.528
24	25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
23	26	0.517	0.517	0.518	0.518	0.518	0.519	0.519	0.520	0.520	0.520	0.521
26	27	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
27	28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	29	0.000	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.031	0.036	0.040	0.044

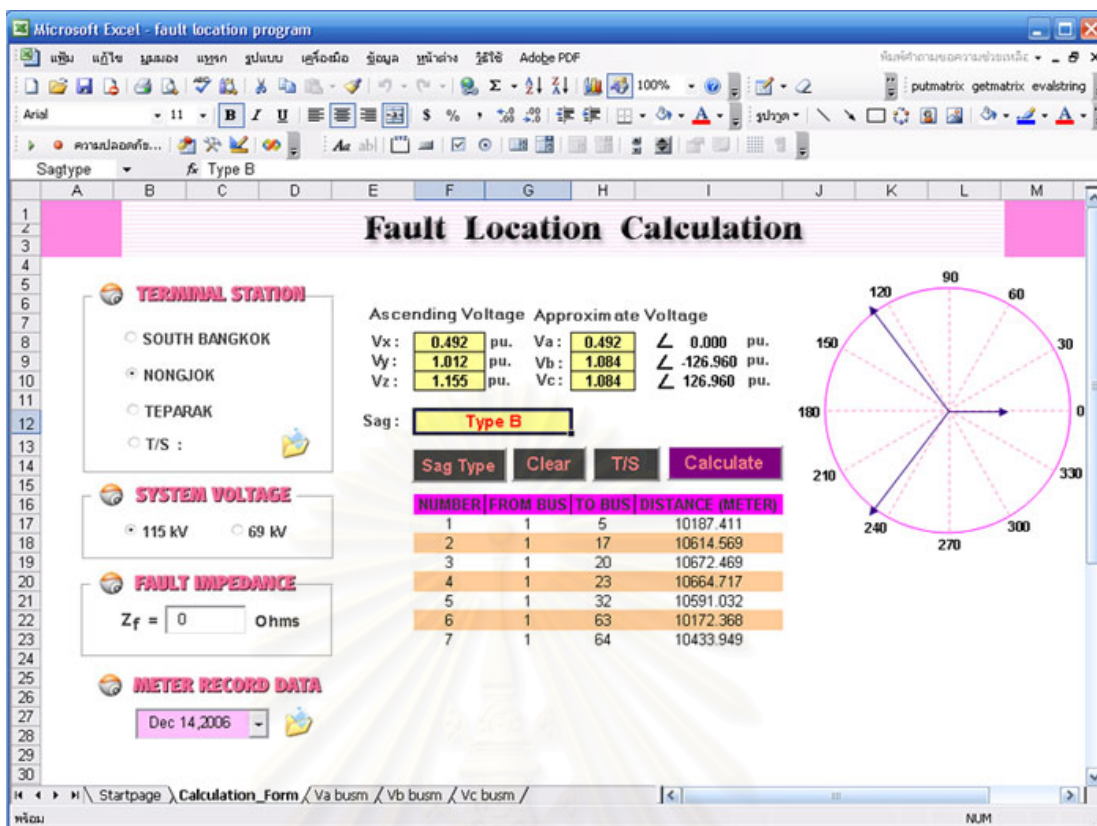
ตารางที่ 5.19 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	56	0.000	0.003	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.023	0.026	0.030	0.033
56	57	0.033	0.098	0.155	0.204	0.248	0.287	0.322	0.354	0.382	0.408	0.432
57	58	0.432	0.433	0.435	0.436	0.437	0.439	0.440	0.441	0.443	0.444	0.445
58	59	0.445	0.446	0.446	0.447	0.448	0.448	0.449	0.450	0.450	0.451	0.452
59	60	0.452	0.454	0.456	0.458	0.460	0.462	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473
60	61	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474
59	62	0.452	0.452	0.452	0.452	0.453	0.453	0.453	0.453	0.454	0.454	0.454
62	63	0.454	0.470	0.485	0.499	0.513	0.525	0.537	0.548	0.559	0.569	0.579
57	64	0.432	0.442	0.452	0.462	0.472	0.481	0.489	0.498	0.506	0.514	0.521
64	65	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.522
65	66	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

ผลจากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation จะได้ตำแหน่งที่คาดว่าเกิดความผิดปกติ 7 จุด

ดังรูปที่ 5.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation

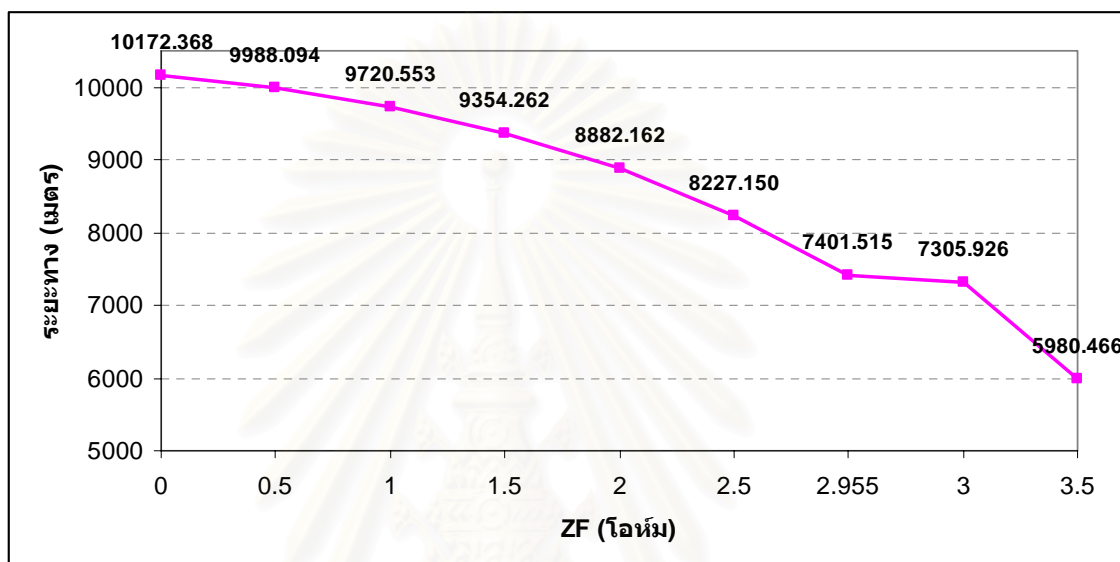
การคำนวณข้างต้นจะพิจารณาจากค่า $Z_F = 0$ โอห์ม จะได้ระยะทางที่อาจจะเกิดความผิดพลาดในระบบดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 2

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	5	10187.411
2	1	17	10614.569
3	1	20	10672.469
4	1	23	10664.717
5	1	32	10591.032
6	1	63	10172.368
7	1	64	10433.949

เมื่อพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันภายในสถานีต้นทางจะพบว่ารีเลย์ระยะทางที่สายส่ง NJT 794B ทำงาน ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่ามี 2 กรณีที่เป็นไปได้คือช่วงระหว่างบัสที่ 1 ถึง 63 และช่วงระหว่างบัสที่ 1 ถึง 64

จากข้อมูลจริงของผู้ปฏิบัติงานแจ้งว่าเกิดปัญหาขึ้นที่เสาต้นที่ 32 บริเวณถนนสุวินทวงศ์ โดยวัดระยะทางจากสถานีต้นทางไปยังจุดเกิดเหตุได้ประมาณ 7.4 km ซึ่งจากข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่าตำแหน่งความผิดปกติจะต้องอยู่ระหว่างบัสที่ 1 ถึง 63 โดยผลการประมาณระยะทางที่ไม่ได้คำนึงถึงผลของ Z_F จะมีค่าเท่ากับ 10.1724 km ดังนั้นจะทดลองปรับเปลี่ยนค่า Z_F ที่ค่าต่างๆเพื่อหาระยะที่เกิดความผิดปกติที่มีค่าใกล้เคียงกับระยะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เพื่อจดบันทึกเป็นข้อมูลทางสถิติ จะได้ดังรูปที่ 5.14

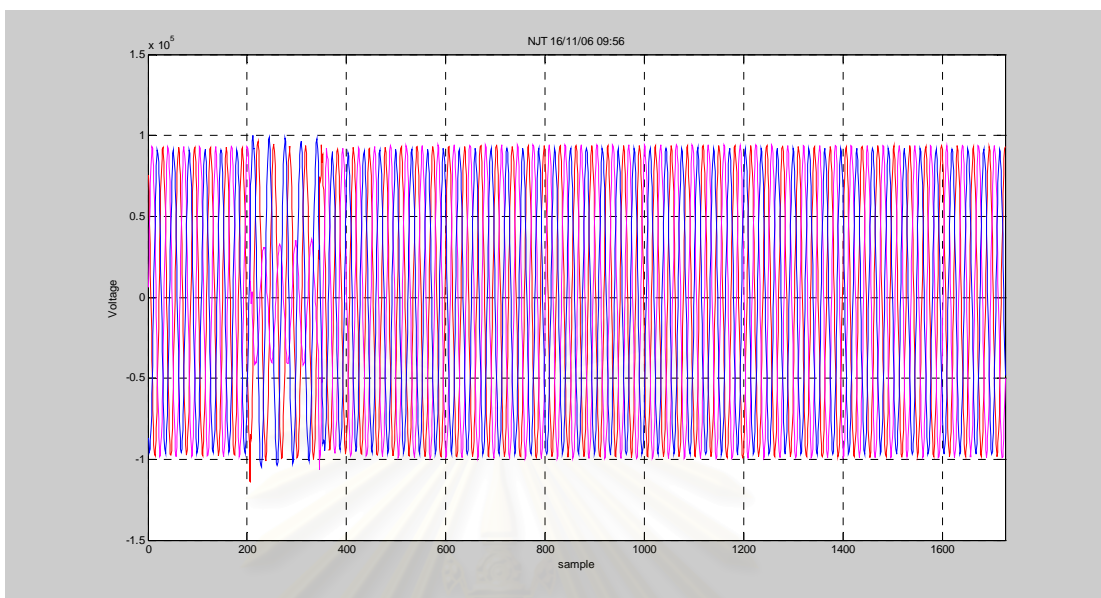


รูปที่ 5.14 ระยะความผิดปกติที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F

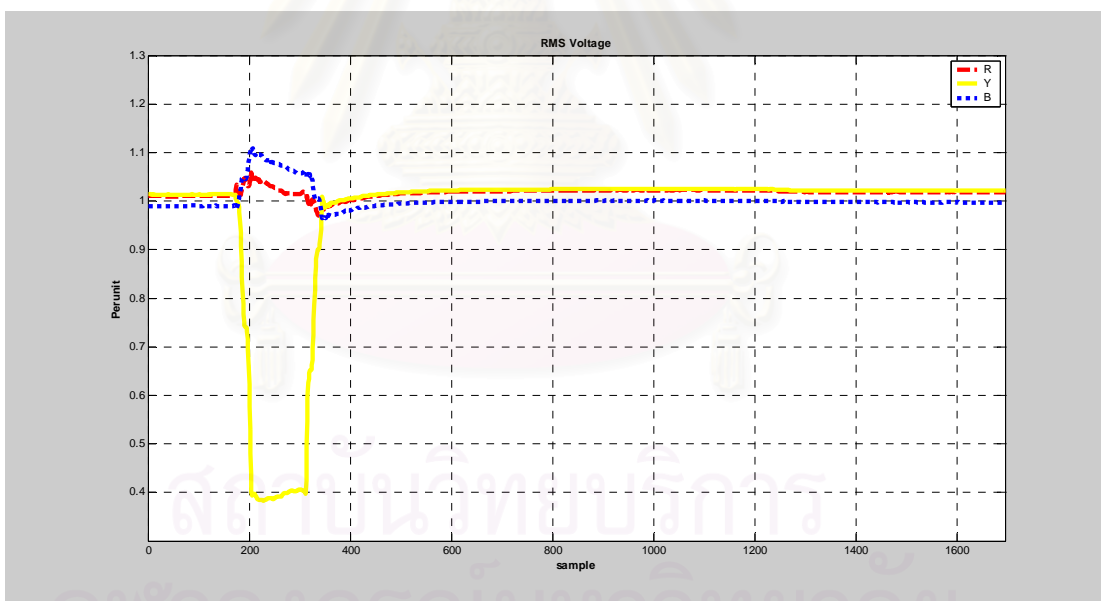
สำหรับเหตุการณ์ที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเบื้องต้นนั้นมีค่าเท่ากับ 10.1724 กิโลเมตร ซึ่งในความเป็นจริงนั้นจะต้องใช้ค่าดังกล่าวเป็นแนวทางในการสำรวจ โดยจะทำให้การสำรวจตำแหน่งความผิดปกติมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อทำการปรับค่า $Z_F = 2.955 \Omega$ จะพบว่า ระยะที่เกิดความผิดปกติที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะจริงที่เกิดขึ้น ในกรณีนี้สามารถนำมาใช้เก็บเป็นข้อมูลทางสถิติได้

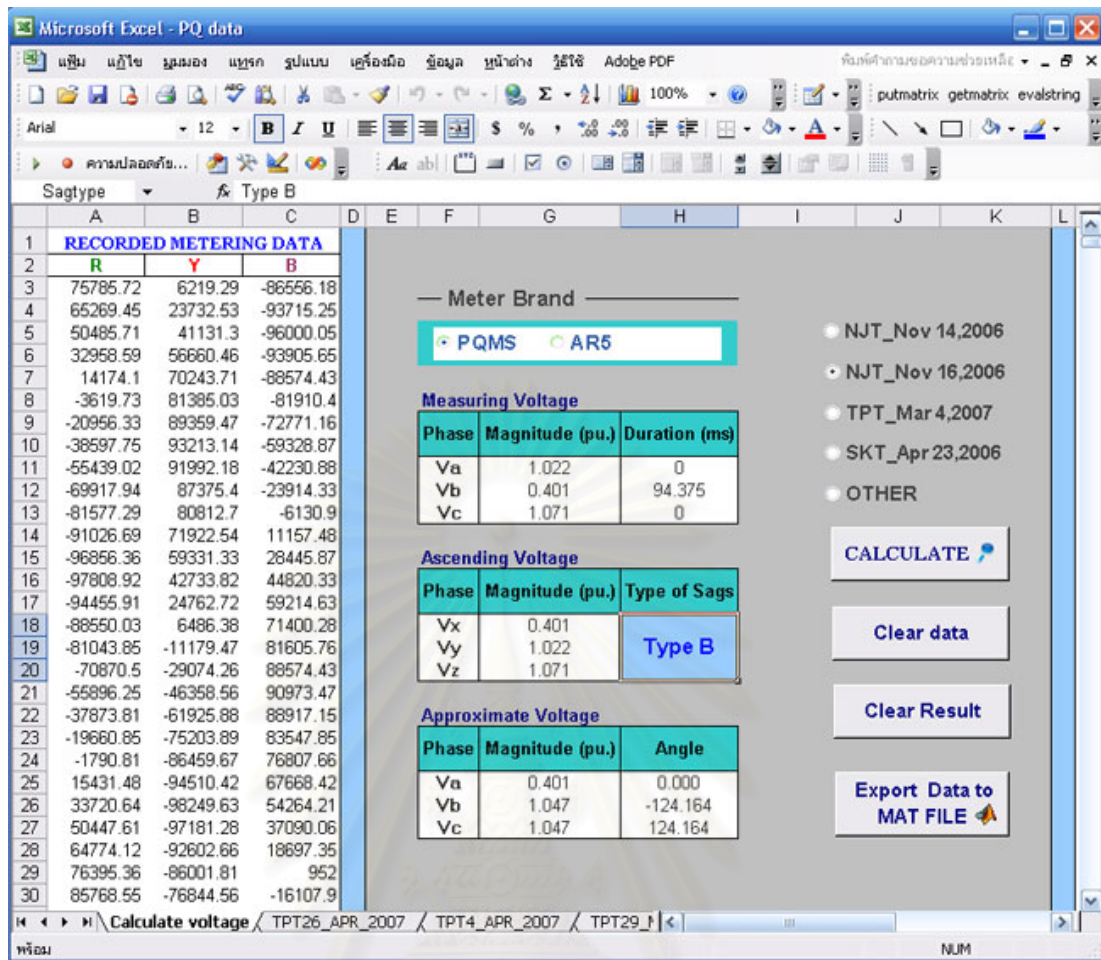
5.4.3 เหตุการณ์ที่ 3 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านที่กักได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 16 พ.ย. 49
เวลา 09:56 น.



รูปที่ 5.15 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่สถานีต้นทาง NJT วันที่ 16 พ.ย. 49 เวลา 09:56 น.



รูปที่ 5.16 แรงดัน RMS เมื่อเปรียบเทียบกับแกนเวลา



รูปที่ 5.17 การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะและประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส จะสรุปได้ว่าเหตุการณ์นี้มีระดับแรงดันและรูปแบบดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของสถานีต้นทางหนองจอก

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.401 \angle 0	Type B
B	1.047 \angle -124.164	
C	1.047 \angle 124.164	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.401 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.075	0.139	0.194	0.242	0.285	0.323	0.356	0.387	0.414	0.439
2	3	0.439	0.442	0.446	0.449	0.452	0.455	0.458	0.462	0.465	0.468	0.471
3	4	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	5	0.439	0.460	0.479	0.496	0.513	0.528	0.542	0.556	0.568	0.580	0.591
5	6	0.591	0.591	0.591	0.592	0.592	0.592	0.592	0.593	0.593	0.593	0.593
6	7	0.593	0.594	0.595	0.595	0.596	0.597	0.597	0.598	0.599	0.599	0.600
7	8	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	9	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054
9	10	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064
10	11	0.064	0.095	0.124	0.151	0.176	0.200	0.222	0.243	0.263	0.282	0.300
11	12	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301	0.301	0.301	0.301	0.302	0.302	0.302
12	13	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	14	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.026	0.031	0.036	0.041	0.046	0.050
14	15	0.050	0.112	0.166	0.214	0.256	0.294	0.327	0.358	0.386	0.411	0.434
15	16	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.435
16	17	0.435	0.447	0.458	0.469	0.479	0.489	0.498	0.507	0.516	0.524	0.532
17	18	0.532	0.532	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.534
16	19	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.436	0.436	0.437	0.437	0.437	0.437
19	20	0.437	0.446	0.455	0.463	0.471	0.479	0.487	0.494	0.501	0.508	0.514
15	21	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.437
21	22	0.437	0.442	0.447	0.452	0.456	0.461	0.466	0.470	0.475	0.479	0.483
22	23	0.483	0.487	0.490	0.494	0.497	0.501	0.504	0.507	0.510	0.514	0.517
23	24	0.517	0.518	0.519	0.520	0.521	0.522	0.524	0.525	0.526	0.527	0.528
24	25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
23	26	0.517	0.517	0.518	0.518	0.518	0.519	0.519	0.520	0.520	0.520	0.521
26	27	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
27	28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	29	0.000	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.031	0.036	0.040	0.044

ตารางที่ 5.22 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่ง

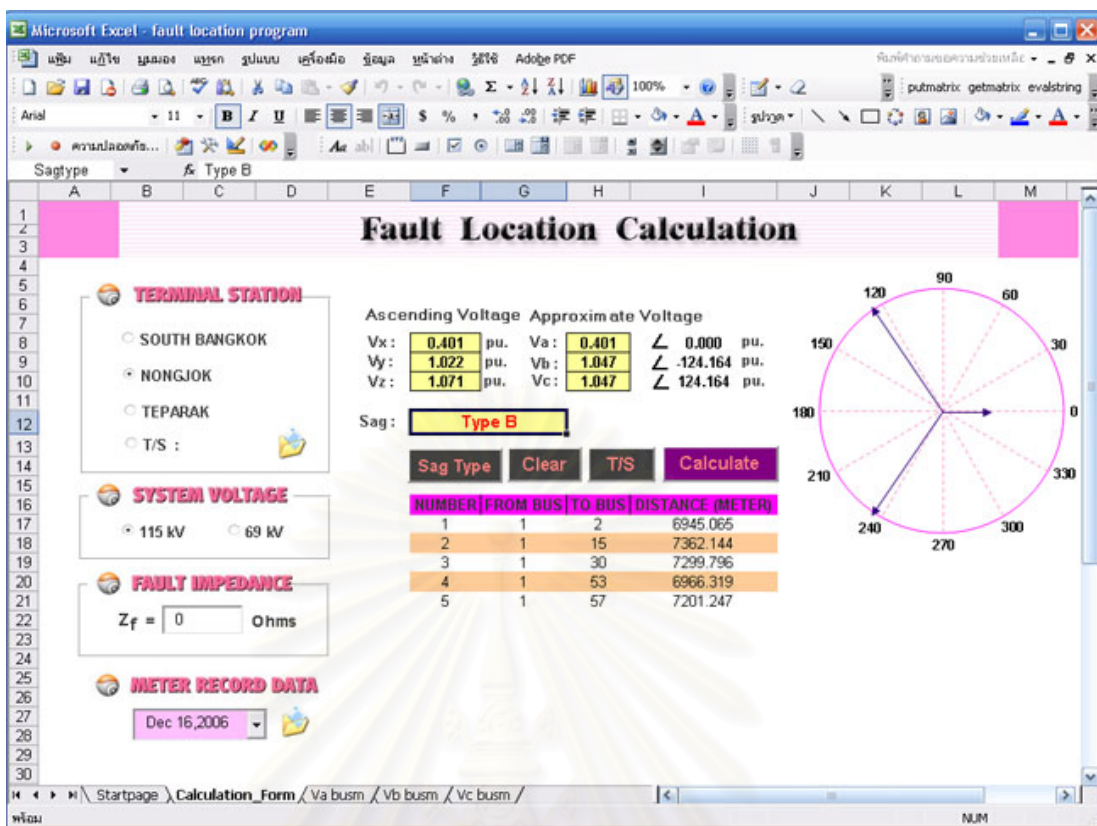
BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
29	30	0.044	0.110	0.168	0.218	0.262	0.301	0.336	0.368	0.396	0.422	0.446
30	31	0.446	0.446	0.446	0.446	0.446	0.447	0.447	0.447	0.447	0.447	0.448
31	32	0.448	0.453	0.459	0.464	0.469	0.474	0.479	0.484	0.489	0.493	0.498
32	33	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498
33	34	0.498	0.501	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.518	0.521	0.524	0.526
34	35	0.526	0.533	0.539	0.546	0.552	0.558	0.563	0.569	0.574	0.579	0.584
35	36	0.584	0.584	0.584	0.584	0.584	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585
34	43	0.526	0.527	0.527	0.528	0.528	0.528	0.529	0.529	0.530	0.530	0.530
43	44	0.530	0.531	0.531	0.531	0.531	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.533
44	45	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
43	46	0.530	0.543	0.555	0.567	0.578	0.588	0.597	0.606	0.615	0.623	0.631
46	47	0.631	0.633	0.635	0.637	0.639	0.640	0.642	0.644	0.645	0.647	0.649
47	48	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
48	49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	50	0.631	0.633	0.635	0.636	0.638	0.640	0.641	0.643	0.644	0.646	0.647
33	37	0.498	0.503	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540
37	38	0.540	0.540	0.541	0.541	0.542	0.542	0.543	0.544	0.544	0.545	0.545
38	39	0.545	0.546	0.548	0.549	0.551	0.552	0.553	0.555	0.556	0.557	0.558
39	40	0.558	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561
40	41	0.561	0.566	0.570	0.574	0.578	0.582	0.586	0.590	0.594	0.597	0.601
41	42	0.601	0.603	0.604	0.606	0.608	0.609	0.611	0.612	0.614	0.615	0.617
1	51	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.027	0.033	0.038	0.043	0.048	0.053
51	52	0.053	0.053	0.053	0.053	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
51	53	0.053	0.111	0.161	0.206	0.246	0.282	0.314	0.344	0.371	0.395	0.418
53	54	0.418	0.418	0.418	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.420	0.420	0.420
54	55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	56	0.000	0.003	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.023	0.026	0.030	0.033

ตารางที่ 5.22 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
56	57	0.033	0.098	0.155	0.204	0.248	0.287	0.322	0.354	0.382	0.408	0.432
57	58	0.432	0.433	0.435	0.436	0.437	0.439	0.440	0.441	0.443	0.444	0.445
58	59	0.445	0.446	0.446	0.447	0.448	0.448	0.449	0.450	0.450	0.451	0.452
59	60	0.452	0.454	0.456	0.458	0.460	0.462	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473
60	61	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474
59	62	0.452	0.452	0.452	0.452	0.453	0.453	0.453	0.453	0.454	0.454	0.454
62	63	0.454	0.470	0.485	0.499	0.513	0.525	0.537	0.548	0.559	0.569	0.579
57	64	0.432	0.442	0.452	0.462	0.472	0.481	0.489	0.498	0.506	0.514	0.521
64	65	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.522
65	66	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

ผลจากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation จะได้ตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดความผิดปกติ 5 จุด ดังรูปที่ 5.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation

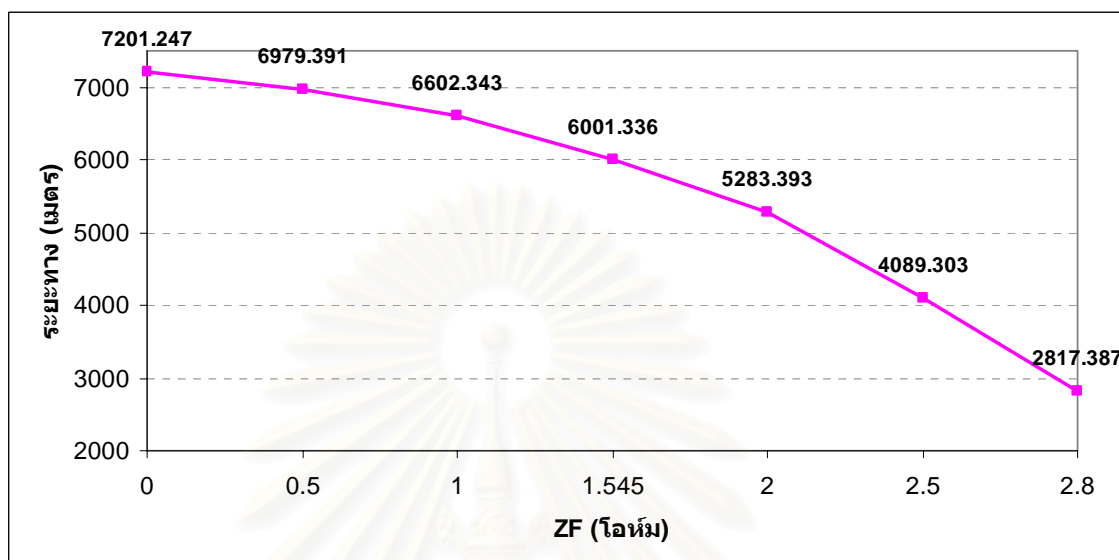
การคำนวณข้างต้นจะพิจารณาจากค่า $Z_F = 0$ โอห์ม จะได้ระยะทางที่อาจจะเกิดความผิดพลาดในระบบดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 3

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	2	6945.065
2	1	15	7362.144
3	1	30	7299.796
4	1	53	6966.319
5	1	57	7201.247

จากรายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางหนองจอก พบว่าวันที่ 16 พฤศจิกายน 2549 เวลา 09:56 น. อุปกรณ์ป้องกันสายส่ง NJT791A ทำงานและตรวจสอบระยะที่เกิดความผิดพลาดได้จากผู้ปฏิบัติงานโดยพบว่าอยู่ที่เสาไฟฟ้าหมายเลข 118 บนถนนสุวินทวงศ์ ซึ่งวัดระยะจากสถานีต้นทางหนองจอกไปยังจุดที่เกิดความผิดพลาดได้เท่ากับ 6 กิโลเมตร และจากข้อมูลสรุปได้ว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นบนสายส่ง NJT791A ซึ่งอยู่ระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 57 จากการประมาณระยะทางใน

เบื้องต้นตามตารางที่ 5.23 ได้ระยะทางเท่ากับ 7.201 กิโลเมตร โดยพบว่าระยะทางที่คำนวณได้กับระยะทางจริงมีความแตกต่างกันพอสมควร ดังนั้นจึงทดลองปรับค่า Z_F ที่ค่าต่างๆเพื่อประมาณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด จะได้ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ระยะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F

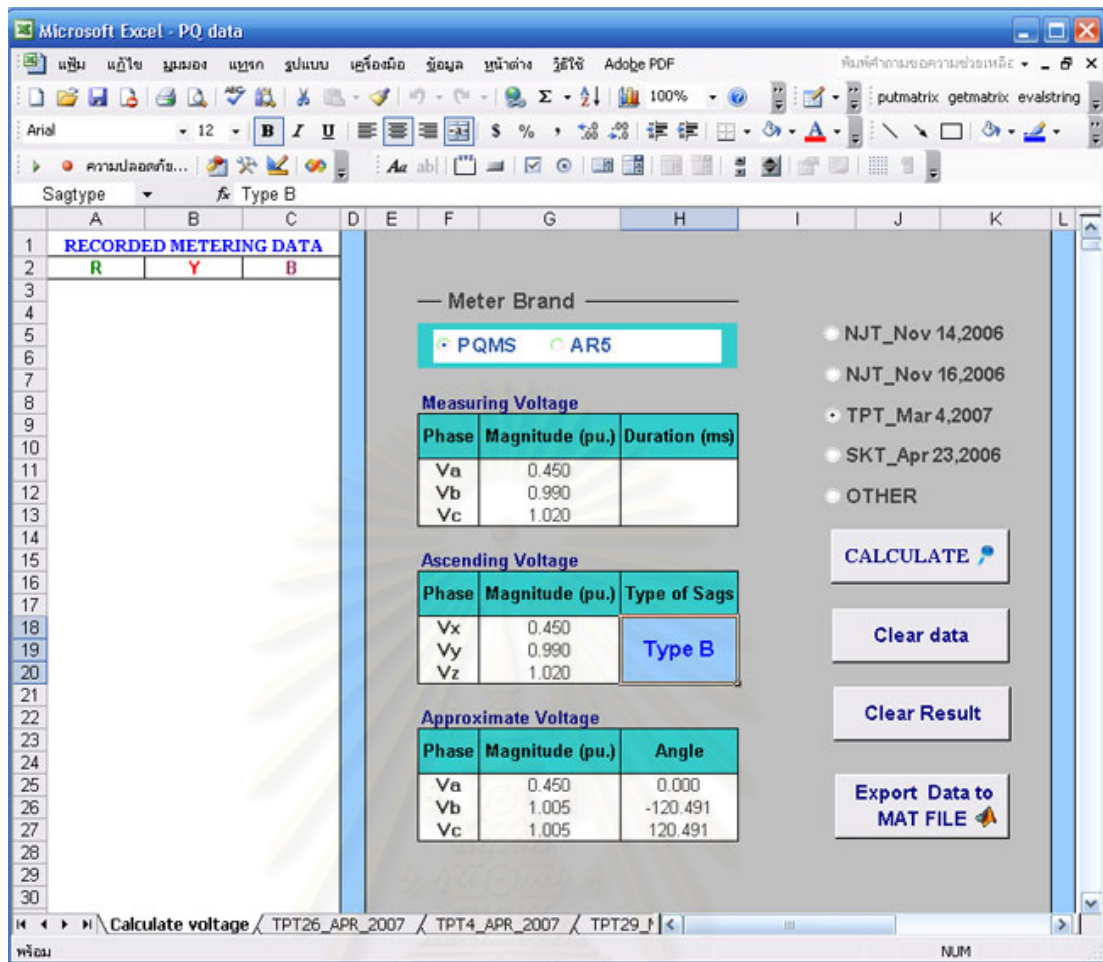
สำหรับเหตุการณ์ที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดเบื้องต้นนั้นมีค่าเท่ากับ 7.201 กิโลเมตร ซึ่งในความเป็นจริงนั้นจะต้องใช้ค่าดังกล่าวเป็นแนวทางในการสำรวจ โดยจะทำให้การสำรวจตำแหน่งความผิดพลาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อทำการปรับค่า $Z_F = 1.545 \Omega$ จะพบว่า ระยะที่เกิดความผิดพลาดที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะจริงที่เกิดขึ้น ในกรณีนี้สามารถนำมาใช้เก็บเป็นข้อมูลทางสถิติได้

5.4.4 เหตุการณ์ที่ 4 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 4 มี.ค. 50 เวลา 00:02 น.

เนื่องจากเครื่องบันทึกคุณภาพไฟฟ้ามีข้อจำกัดในเรื่องหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล ถ้าหากข้อมูลที่เก็บเกินกว่าความจุของหน่วยความจำของเครื่องจะทำให้ข้อมูลที่เก็บก่อนหน้านี้ จะถูกบันทึกซ้ำโดยข้อมูลที่บันทึกใหม่ ซึ่งจะทำให้รายละเอียดบางส่วน of ข้อมูลที่บันทึกก่อนหน้านี้ถูกลบไป ดังเช่นในกรณีเหตุการณ์นี้รายละเอียดในส่วนของการบันทึกรูปคลื่นของแรงดันตกชั่วขณะไม่มี โดยจะเหลือเพียงค่าแรงดัน RMS ของแต่ละเฟสเท่านั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.45, 0.99 และ 1.02 ต่อหน่วย

จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนการจำแนกรูปแบบจากนี้เป็นต้นไป พร้อมประมาณแรงดันของแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ โดยใช้โปรแกรมจะได้ดังนี้คือ



รูปที่ 5.20 การใช้โปรแกรมจำแนกรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะและประมาณขนาดแรงดันทั้ง 3 เฟส จะสรุปได้ว่าเหตุการณ์นี้มีระดับแรงดันและรูปแบบดังตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของสถานีต้นทางเทพารักษ์

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	$0.450 \angle 0$	Type B
B	$1.005 \angle -120.491$	
C	$1.005 \angle 120.491$	

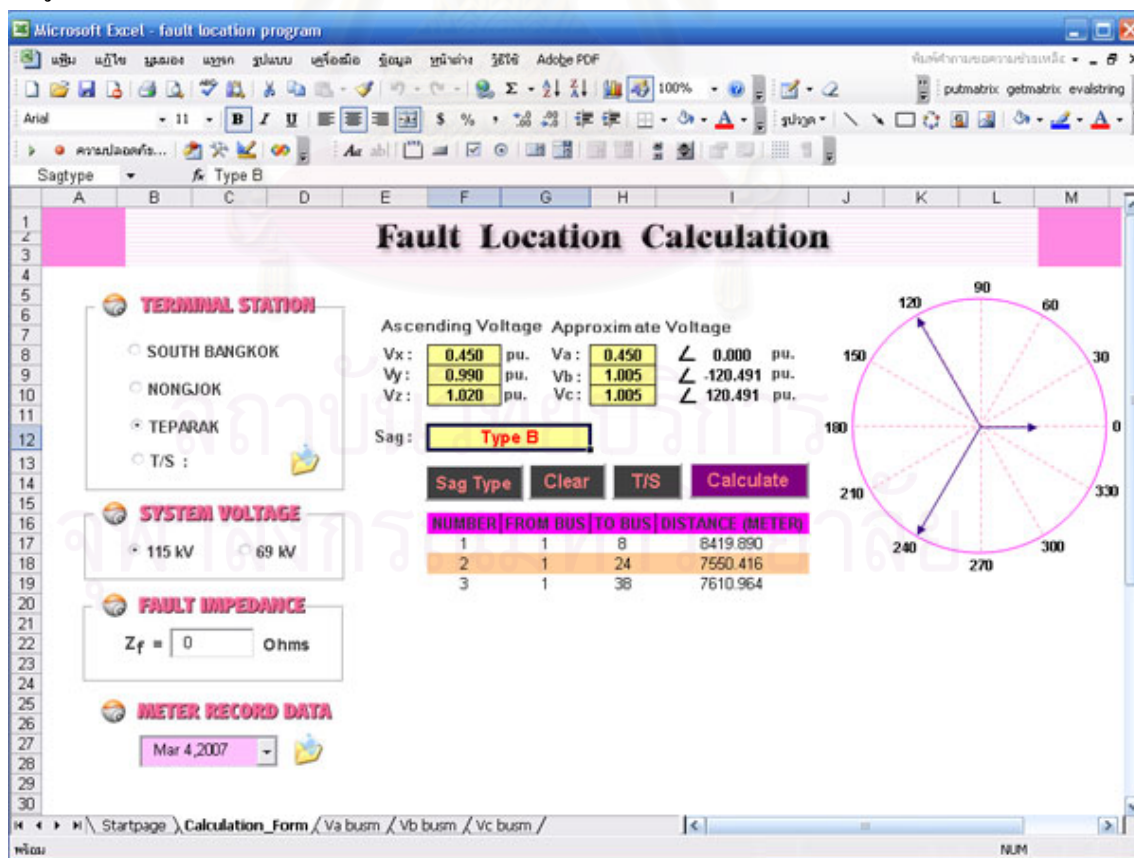
นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.45 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆในสายส่ง

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
28	31	0.625	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626
31	32	0.626	0.629	0.632	0.636	0.639	0.642	0.644	0.647	0.650	0.653	0.656
32	33	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656
33	34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	35	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009
35	36	0.009	0.074	0.131	0.182	0.226	0.266	0.302	0.335	0.364	0.391	0.416
36	37	0.416	0.416	0.416	0.417	0.417	0.417	0.417	0.418	0.418	0.418	0.418
37	38	0.418	0.432	0.446	0.459	0.471	0.482	0.493	0.504	0.514	0.524	0.533
38	39	0.533	0.541	0.548	0.555	0.562	0.569	0.575	0.582	0.588	0.594	0.599
39	40	0.599	0.599	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
40	41	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

ผลจากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation จะได้ตำแหน่งที่คาดว่าเกิดความผิดปกติ 3 จุด

ดังรูปที่ 5.21



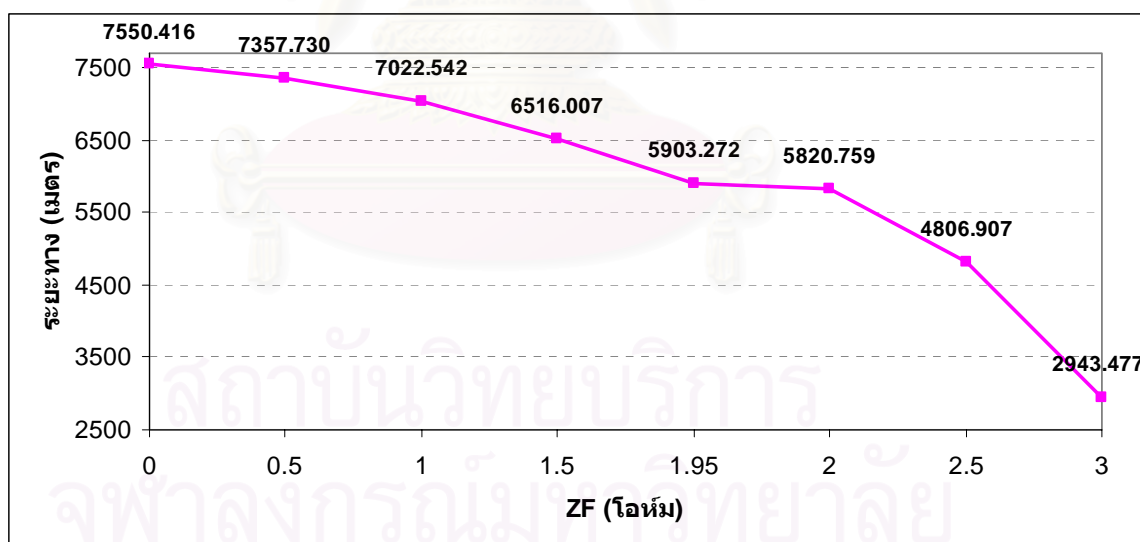
รูปที่ 5.21 การใช้โปรแกรม Fault Location Calculation

การคำนวณข้างต้นจะพิจารณาจากค่า $Z_F = 0$ โห้ม จะได้ระยะทางที่อาจจะเกิดความผิดปกติในระบบดังตารางที่ 5.26

ตารางที่ 5.26 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 4

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	8	8419.890
2	1	24	7550.416
3	1	38	7610.964

จากรายงานสถิติไฟฟ้าดับของสถานีต้นทางเทพารักษ์ พบว่าวันที่ 4 มี.ค. 50 เวลา 00:02 น. อุปกรณ์ป้องกันสายส่ง TPT794 ทำงานและตรวจสอบระยะที่เกิดความผิดปกติได้จากผู้ปฏิบัติงาน โดยพบว่าอยู่ที่เสาไฟฟ้าหมายเลข 33 โกลด์สวีทซ์ 7055TP ซึ่งวัดระยะจากสถานีต้นทางเทพารักษ์ไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติได้เท่ากับ 5.88 กิโลเมตร และจากข้อมูลสรุปได้ว่าเกิดความผิดปกติขึ้นบนสายส่ง TPT794 ซึ่งอยู่ระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 24 จากการประมาณระยะทางในเบื้องต้นตามตารางที่ 5.26 ได้ระยะทางเท่ากับ 7.550 กิโลเมตร โดยพบว่าระยะทางที่คำนวณได้กับระยะทางจริงมีความแตกต่างกันพอสมควร ดังนั้นจึงทดลองปรับค่า Z_F ที่ค่าต่างๆเพื่อประมาณหาระยะที่เกิดความผิดปกติให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด จะได้ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ระยะความผิดปกติที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Z_F

สำหรับเหตุการณ์ที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าการประมาณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเบื้องต้นนั้นมีค่าเท่ากับ 7.550 กิโลเมตร ซึ่งในความเป็นจริงนั้นจะต้องใช้ค่าดังกล่าวเป็นแนวทางในการสำรวจ โดยจะทำให้การสำรวจตำแหน่งความผิดปกติมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อทำการปรับค่า $Z_f = 1.95 \Omega$ จะพบว่า ระยะที่เกิดความผิดพลาดที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะจริงที่เกิดขึ้น ในกรณีนี้สามารถนำมาใช้เก็บเป็นข้อมูลทางสถิติได้

ตารางที่ 5.27 สรุปผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Fault Location Calculation ประเมินเหตุการณ์ที่สามารถยืนยันตำแหน่งได้

เหตุการณ์	Type of Sags	ระยะประมาณ (km)	ระยะจริง (km)	Z_f ที่ทำให้ระยะประมาณเท่ากับระยะจริง (Ω)	ระยะประมาณ (km) เมื่อ $Z_f = 1.5 \Omega$
1	B	3.22	2.1	0.99	-
2	B	10.17	7.4	2.955	9.35
3	B	7.2	6.0	1.545	6.06
4	B	7.55	5.88	1.95	6.52

5.4.5 เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะอื่นๆ ที่บันทึกได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

จากทั้ง 4 เหตุการณ์ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะดังกล่าว เป็นเหตุการณ์ที่สามารถตรวจสอบตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดได้ แต่ยังคงมีเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะอื่นๆ ที่บันทึกได้ แต่ไม่สามารถที่จะยืนยันตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากไม่มีการจดบันทึกเป็นสถิติไว้จากผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นสามารถสรุปตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดได้ดังนี้

5.4.5.1 เหตุการณ์ที่ 5 แรงดันตกชั่วขณะที่บันทึกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 17 ธันวาคม 2549 เวลา 09:45 น. ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 42%

ตารางที่ 5.28 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ 5

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	2	7522.984
2	1	15	7943.444
3	1	30	7877.882
4	1	54	7596.172
5	1	57	7783.326

5.4.5.2 เหตุการณ์ที่ 6 แรงดันตกชั่วขณะที่บันทึกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 1 มีนาคม 2550 เวลา 10:07 น. ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 56%

ตารางที่ 5.29 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 6

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	5	13603.833
2	1	35	13740.649
3	1	46	13732.537
4	1	40	13966.093
5	1	63	13111.322
6	1	67	13839.730

5.4.5.3 เหตุการณ์ที่ 7 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 25 เมษายน 2550 เวลา 17:59 น. วิตขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 59%

ตารางที่ 5.30 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 7

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	5	15516.306
2	1	46	15365.804
3	1	41	15883.779

5.4.5.4 เหตุการณ์ที่ 8 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 13 พฤษภาคม 2550 เวลา 08:14 น. ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 47%

ตารางที่ 5.31 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 8

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	3	9116.603
2	1	5	9288.686
3	1	17	9708.457
4	1	20	9767.093
5	1	22	9767.628
6	1	32	9695.061
7	1	60	9480.236
8	1	63	9394.178
9	1	64	9536.775

5.4.5.5 เหตุการณ์ที่ 9 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 29 กันยายน 2549 เวลา 18:41 น. ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 40%

ตารางที่ 5.32 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 9

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	6	6983.621
2	1	24	6176.225
3	1	36	6155.806

5.4.5.6 เหตุการณ์ที่ 10 แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2550 เวลา 10:55 น. ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 42%

ตารางที่ 5.33 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 10

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	8	7546.554
2	1	24	6693.223
3	1	38	6736.968

สำหรับเหตุการณ์ที่ได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้านอกเหนือจาก 10 เหตุการณ์ดังกล่าวนี้ จะพบว่า เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมากกว่า 65% โดยจะทำการจำแนกรูปแบบและประมาณแรงดันในรูปเฟสเซอร์ตามตารางที่ 5.33 และ 5.34

ตารางที่ 5.34 ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางหนองจอก

วันและเวลาที่เกิด	ขนาดของแรงดัน			รูปแบบ
	R	Y	B	
15/09/06 (16:15:00)	1.0 \angle 0.0	0.861 \angle -125.2	0.864 \angle 125.4	C
25/09/06 (09:15:13)	0.84 \angle 1.64	0.97 \angle -115.43	0.95 \angle 115.92	D
20/11/06 (16:15:00)	1.0 \angle 0.0	0.869 \angle -124.8	0.873 \angle 125.2	C
27/11/06 (08:01:52)	1.0 \angle 0.0	0.862 \angle -125.2	0.866 \angle 125.5	C
11/01/07 (13:06:46)	0.84 \angle 1.59	0.96 \angle -115.5	0.97 \angle 116.0	D
06/03/07 (06:23:26)	1.0 \angle 0.0	0.87 \angle -124.38	0.88 \angle 125.32	C
09/03/07 (02:30:15)	0.78 \angle 0.0	0.98 \angle -118.45	0.98 \angle 118.45	B

ตารางที่ 5.34 (ต่อ) ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางหนองจอก

วันและเวลาที่เกิด	ขนาดของแรงดัน			รูปแบบ
	R	Y	B	
09/03/07 (04:07:49)	0.78 \angle 0.0	0.98 \angle -118.45	0.98 \angle 118.45	B
17/03/07 (03:18:08)	0.82 \angle 0.0	0.96 \angle -115.33	0.96 \angle 115.33	D
18/03/07 (05:25:13)	0.86 \angle 0.0	0.99 \angle -118.98	0.99 \angle 118.98	B
24/03/07 (14:19:36)	0.82 \angle 0.0	0.96 \angle -115.33	0.96 \angle 115.33	D
04/04/07 (18:12:36)	0.79 \angle 0.0	1.0 \angle -120.0	1.0 \angle 120.0	B
11/04/07 (13:06:46)	0.86 \angle 0.0	1.0 \angle -120.0	1.0 \angle 120.0	B
11/04/07 (13:09:06)	0.85 \angle 0.0	1.0 \angle -118.45	1.0 \angle 118.45	B
12/04/07 (01:30:18)	1.0 \angle 0.0	0.84 \angle -125.98	0.85 \angle 126.43	C
12/04/07 (03:37:11)	0.834 \angle 0.0	0.99 \angle -119.57	0.85 \angle 119.97	B
12/04/07 (03:55:35)	0.835 \angle 1.632	0.97 \angle -115.43	0.95 \angle 116.05	D
17/04/07 (09:10:51)	0.875 \angle 0.0	1.0 \angle -120.86	0.85 \angle 120.86	B
26/04/07 (17:49:06)	0.873 \angle 2.86	0.99 \angle -116.14	0.95 \angle 117.30	D
30/04/07 (06:28:34)	0.674 \angle 1.10	0.935 \angle -111.1	0.923 \angle 111.399	D
30/04/07 (14:45:37)	0.812 \angle 0.0	1.02 \angle -121.76	1.02 \angle 121.76	B

ตารางที่ 5.35 ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางเทพารักษ์

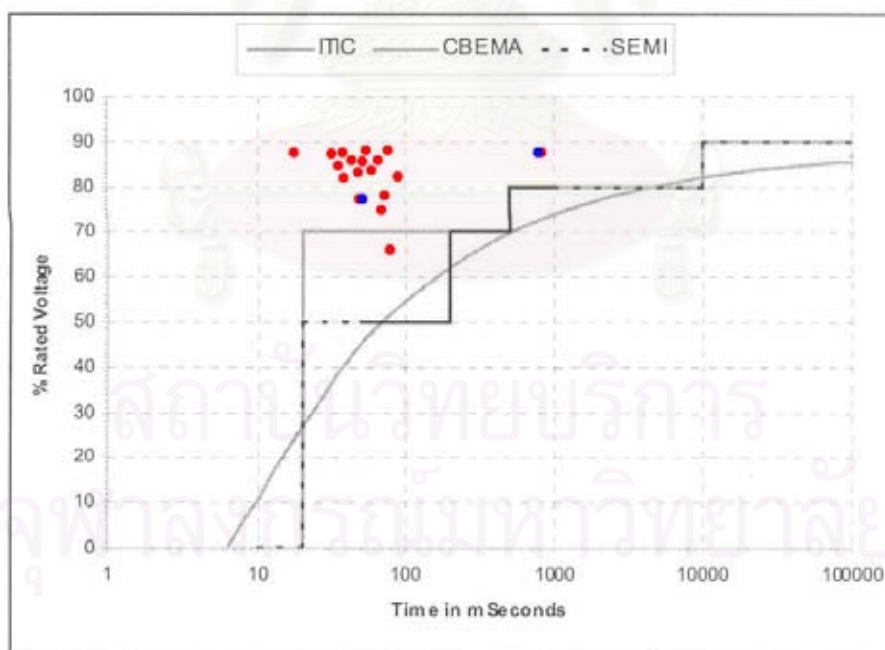
วันและเวลาที่เกิด	ขนาดของแรงดัน			รูปแบบ
	R	Y	B	
09/03/07 (02:30:10)	0.85 \angle 3.312	0.94 \angle -115.84	0.91 \angle 118.79	F
09/03/07 (04:07:45)	0.86 \angle 2.925	0.98 \angle -115.81	0.95 \angle 116.97	D
17/03/07 (03:18:03)	0.81 \angle 5.614	0.93 \angle -114.1	0.88 \angle 118.94	F
18/03/07 (05:25:08)	0.88 \angle 4.289	0.96 \angle -115.92	0.92 \angle 119.85	F
22/03/07 (06:18:45)	0.87 \angle 0.0	1.01 \angle -120.97	1.012 \angle 120.97	B
24/03/07 (15:19:30)	0.81 \angle 4.562	0.93 \angle -114.56	0.885 \angle 118.488	F
04/04/07 (14:36:48)	0.873 \angle 2.596	0.95 \angle -116.57	0.925 \angle 118.934	F

ตารางที่ 5.35 (ต่อ) ผลการจำแนกรูปแบบและประมาณเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 65% ที่สถานีต้นทางเทพารักษ์

วันและเวลาที่เกิด	ขนาดของแรงดัน			รูปแบบ
	R	Y	B	
12/04/07 (01:30:21)	0.857 \angle 2.10	0.94 \angle -116.50	0.92 \angle 118.395	F
12/04/07 (03:37:03)	0.859 \angle 0.0	1.0 \angle -120.175	1.0 \angle 120.15	B
12/04/07 (03:55:28)	0.87 \angle 4.215	0.95 \angle -115.78	0.915 \angle 119.61	F
26/04/07 (17:48:57)	0.776 \angle 3.338	0.97 \angle -113.55	0.928 \angle 114.66	D

จากการจำลองตำแหน่งความผิดพร่องในสถานีต้นทางหนองจอกและสถานีต้นทางเทพารักษ์ พบว่าไม่มีตำแหน่งใดทำให้ค่าแรงดันที่บัสที่มีการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้ามีค่าเท่ากับขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่มากกว่า 65%

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมีความถี่น้อยและมีช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจึงไม่มีนัยสำคัญใดๆ เนื่องจากอุปกรณ์และระบบไม่ตอบสนองต่อแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้น อุปกรณ์สามารถทนต่อแรงดันตกชั่วขณะ พิจารณาได้จากกราฟที่ใช้แสดงความสามารถในการทนต่อแรงดันตกชั่วขณะดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 กราฟที่ใช้ตรวจสอบความสามารถในการทนต่อแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ [15]

จากกราฟจะพบว่ามี 1 เหตุการณ์ที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแล้วส่งผลกระทบต่อระบบและอุปกรณ์ถ้าหากพิจารณาตามกราฟ ITC นั่นคือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่สถานีต้นทางหนองจอก วันที่

30 เมษายน 2550 เวลา 06:28 น. วัตขนาดของแรงดัน RMS สามเฟสได้คือ 0.674, 0.946 และ 0.958 pu. เมื่อนำมาจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะปรากฏว่าเป็น Type D ซึ่ง Type D จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ Type C เมื่อคิดผ่านหม้อแปลง Dy ซึ่งจะเป็นไปไม่ได้เนื่องจากหากเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายที่มีหม้อแปลง Dy ที่สถานีย่อย จะไม่สามารถส่งผลกับแรงดันที่บัสของระบบส่งได้เลย ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นนั้นเป็น Type B ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใกล้เคียงกับ Type D โดยอาจจะผิดพลาดจากกระบวนการจำแนกถ้าหากระดับของแรงดันตกชั่วขณะมีความลึกน้อยพิจารณาได้จากรูปที่ 3.1 ในบทที่ 3 ทำให้ยากในการจำแนก

สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบส่งได้ ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าตำแหน่งความผิดปกติอาจเกิดจากระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) หรือในระบบส่งของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) เอง โดยอาจเกิดความผิดปกติที่สถานีต้นทางอื่นๆ ที่ใกล้เคียง ทั้งนี้จะต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลสถิติไฟฟ้าดับจากทาง กฟผ. และของ กฟน. ประกอบด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

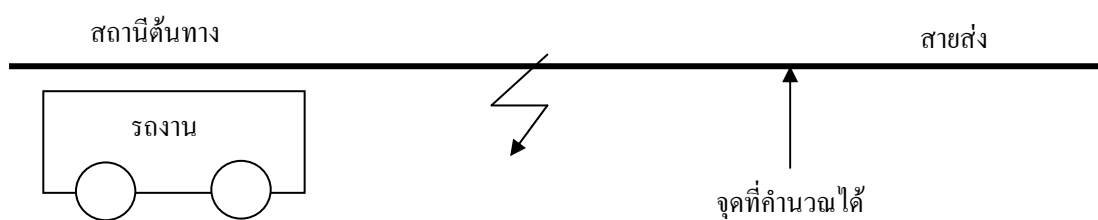
วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะแต่ละแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณตำแหน่งในการเกิดความผิดปกติในระบบส่ง โดยได้เก็บข้อมูลเหตุการณ์จริงจากระบบส่งของการไฟฟ้านครหลวงเป็นระยะเวลา 8 เดือน เพื่อให้ได้เป็นข้อมูลในการยืนยันวิธีการ ซึ่งพบข้อสรุปว่าการใช้เทคนิคประมาณตำแหน่งความผิดปกติที่เสนอในงานวิจัยนี้จะให้สมมติฐานว่าค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจร (Z_F) เท่ากับศูนย์หรือไม่คำนึงถึง Z_F ในขณะทำการคำนวณนั่นเอง จากการทดลองพบว่าตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจริงกับตำแหน่งที่ประมาณนั้นมีความแตกต่างกันพอสมควร โดยจะพบข้อสังเกตว่าตำแหน่งความผิดปกติที่ได้จากเทคนิคการประมาณนั้นจะไกลกว่าตำแหน่งจริงที่ได้จากการสำรวจเสมอ ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 4 มี.ค. 50 เวลา 00:02 น. ตำแหน่งความผิดปกติที่ได้จากเทคนิคการประมาณนั้นจะมีค่าเท่ากับ 7.550 กิโลเมตร เมื่อวัดจากสถานีต้นทาง แต่ตำแหน่งความผิดปกติที่ได้จากการสำรวจจริงจะได้เท่ากับ 5.88 กิโลเมตร ซึ่งเกิดจากผลของค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจร (Z_F) นั่นเอง

ดังนั้นในการนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานจริงนั้น ผู้ใช้งานจะไม่มีโอกาสทราบระยะทางที่เกิดความผิดปกติจริง เพราะฉะนั้นผลการประมาณตำแหน่งที่ได้ จะสามารถนำมากำหนดขอบเขตการสำรวจตำแหน่งความผิดปกติของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีหลักการคือ การให้ข้อมูลผู้ปฏิบัติงานสำรวจสายส่งนั้น จะต้องทราบตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานก่อน ถ้าหากว่าผู้ปฏิบัติงานอยู่ไกลกว่าตำแหน่งที่คำนวณได้ ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานอยู่ไกลกว่าตำแหน่งที่คำนวณ

ในกรณีนี้จะต้องแจ้งผู้ปฏิบัติงานว่าตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจะเริ่มที่จุดที่คำนวณได้ย้อนกลับมาที่สถานีต้นทาง ถ้าหากว่าผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้สถานีต้นทาง ดังรูปที่ 6.2 ให้แจ้งผู้ปฏิบัติงานว่าตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจะอยู่ไม่เกินจุดที่คำนวณ

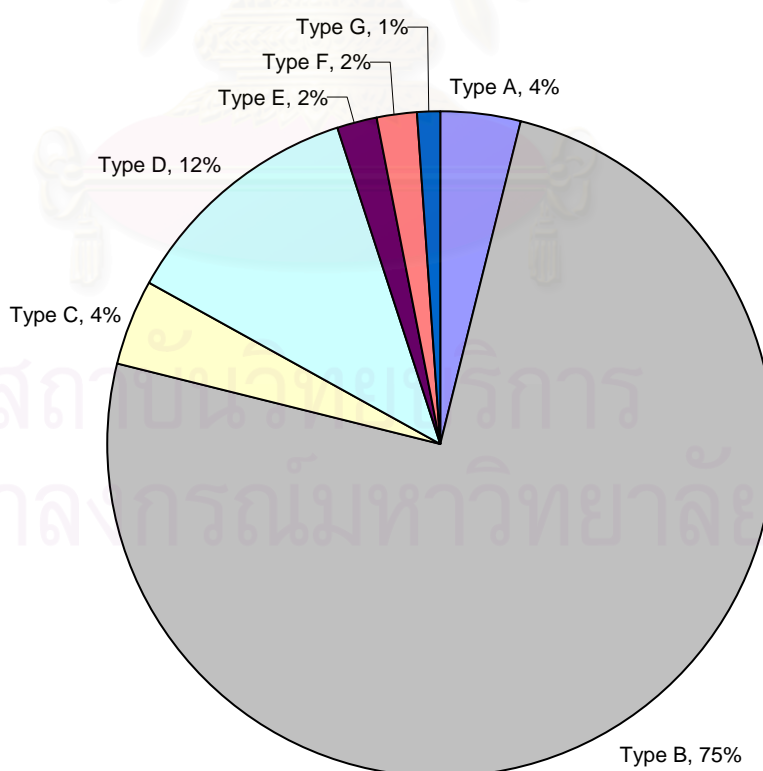


รูปที่ 6.2 ตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้สถานีต้นทาง

ซึ่งจะพบว่าประโยชน์ที่ได้จากเทคนิคการประมาณตำแหน่งนั้น สามารถทำให้ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานสำรวจตำแหน่งความผิดปกติ อีกทั้งสามารถลดสถิติการบันทึกความผิดปกติที่ไม่ทราบสาเหตุได้

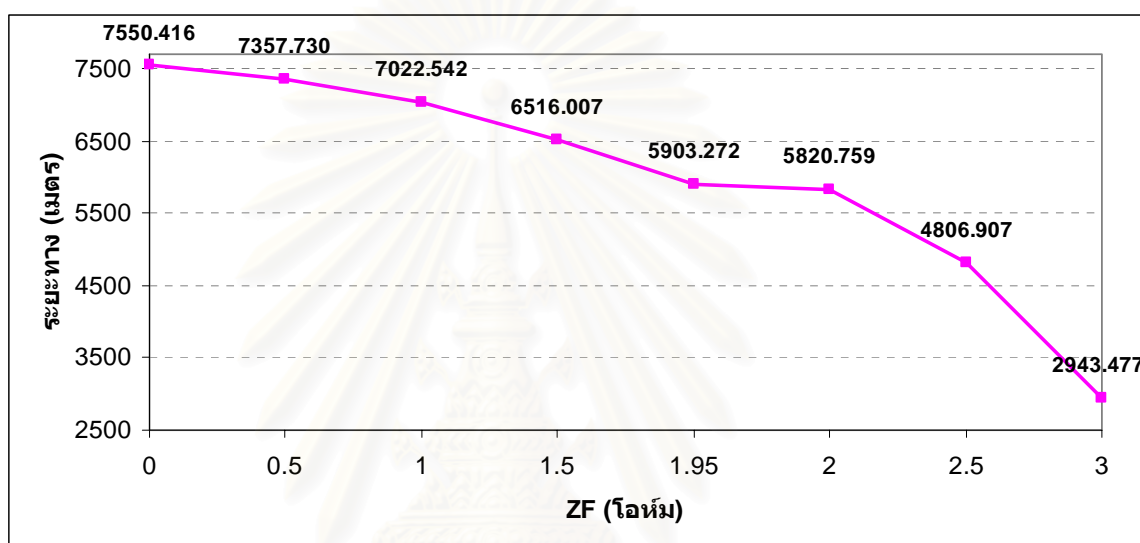
6.2 ข้อเสนอแนะ

นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ในการบอกตำแหน่งความผิดปกติแล้ว ในการวิจัยนี้ยังมี ส่วนหนึ่งของการศึกษาและจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ในการจดบันทึกสถิติรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่เคยมีการเก็บข้อมูลดังกล่าว มาก่อน โดยเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาและแก้ไขระบบไฟฟ้าเพื่อทำให้ระบบไฟฟ้า มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.3 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลทางสถิติของรูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ

นอกจากการประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลของรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ สามารถประยุกต์ใช้งานวิจัยนี้เพื่อการเก็บข้อมูลค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจรในระบบไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนดังนี้คือหลังจากทราบตำแหน่งความผิดพลาดที่ถูกต้องจากผู้ปฏิบัติงานแล้ว ลองปรับเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจรให้ได้ระยะทางเท่ากับระยะทางจริง ดังรูปที่ 6.4 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดต่างๆ ในบทที่ 5 การเก็บข้อมูลทางสถิติของค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจรในระบบไฟฟ้า ทำให้ทราบถึงขอบเขตของค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจรในระบบที่เกิดขึ้น และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณความผิดพลาดที่เกิดในระบบไฟฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้น



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงระหว่างระยะที่เกิดความผิดพลาดกับ Z_F

ซึ่งทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้นสามารถนำไปศึกษาเพื่อพัฒนาและสร้างงานวิจัยได้ต่อไปอีกในอนาคต

รายการอ้างอิง

- [1] IEEE 1159-1995 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electronic Power Quality.
- [2] H. Saadat, Power System Analysis, McGraw-Hill, 1999.
- [3] Math H.J. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, IEEE Press, 2001.
- [4] Math H.J. Bollen, Assessment of voltage dips in HV-networks: Deduction of complex voltage from the measured rms voltage, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, no.2, Apr.2004.
- [5] Z. X. Han. Generalized method of analysis of simultaneous faults in electric power system, IEEE Trans. Power Appar. Syst. PAS-101(10)(1982) : 3933-3942.
- [6] J. J. Grainger, W. D. Stevenson, Power System Analysis, McGraw-Hill, 1994.
- [7] Math. H. J. Bollen, Characterization of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, no.4, Oct.1997.
- [8] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, การป้องกันระบบไฟฟ้า.
- [9] นิตกร เกษพรหม, การประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [10] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 2003.
- [11] M. F. McGranghan, D. R. Mueller, and M. J. Samotyj, Voltage sags in industrial power systems, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 29, no.2, Mar./Apr.1993.
- [12] Mohammed R. Qader, Math H. J. Bollen, and Ron N. Allan, Stochastic Prediction of Voltage Sags in a Large Transmission System, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 35, no.1, Jan./Feb.1999.
- [13] L. D. Zhang and Math H. J. Bollen, Characteristic of voltage dips (sags) in power system, IEEE Trans. Power Delivery, 15,2 (Apr.2000).
- [14] G. Yalcinkaya, Math H. J. Bollen, and P. A. Crossley, Characterization of Voltage Sags in industrial distribution systems, IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 34, Jul.1998.
- [15] ศุภมาส ศิริกุล, การจำแนกพัฒนาการของฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.



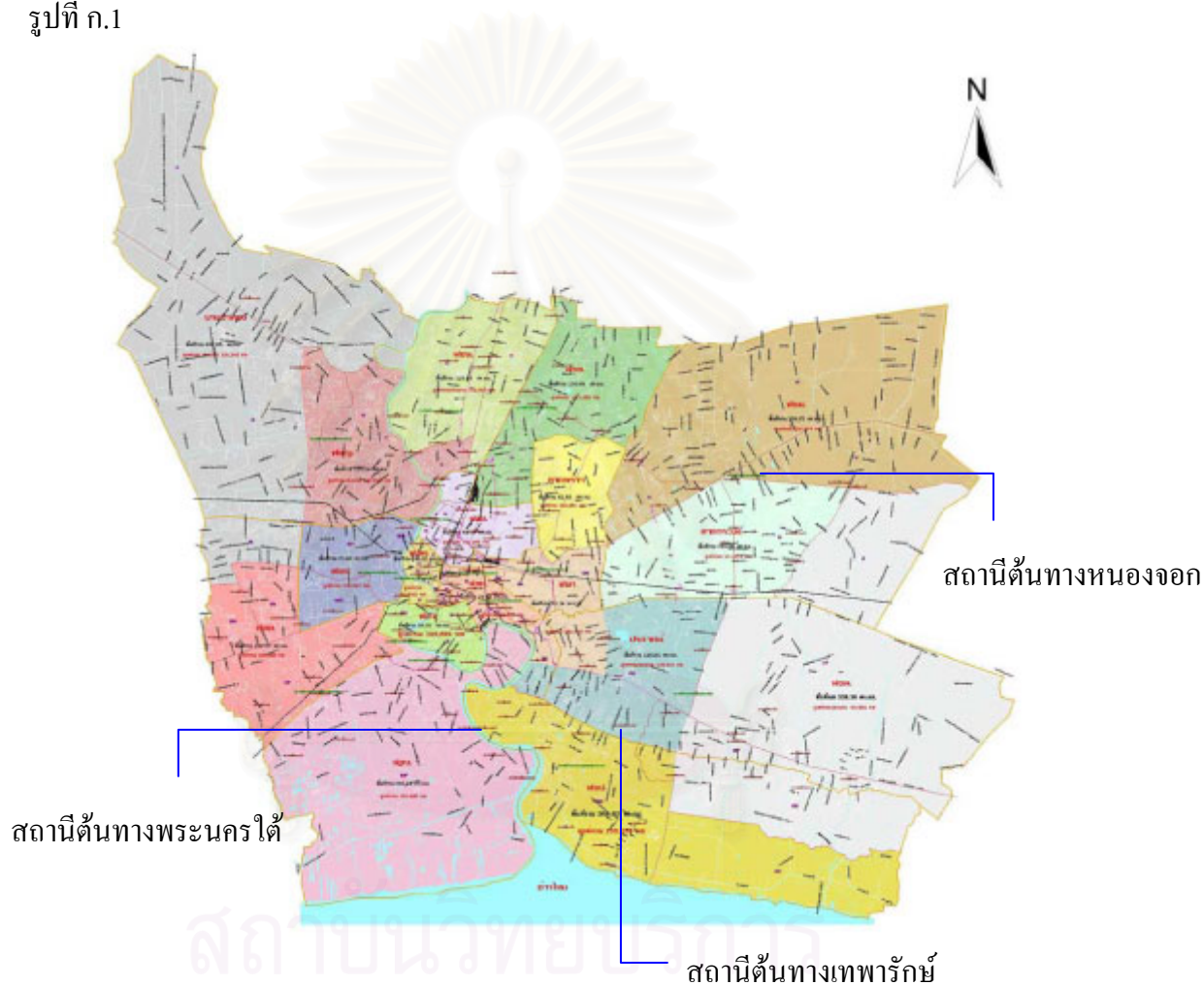
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

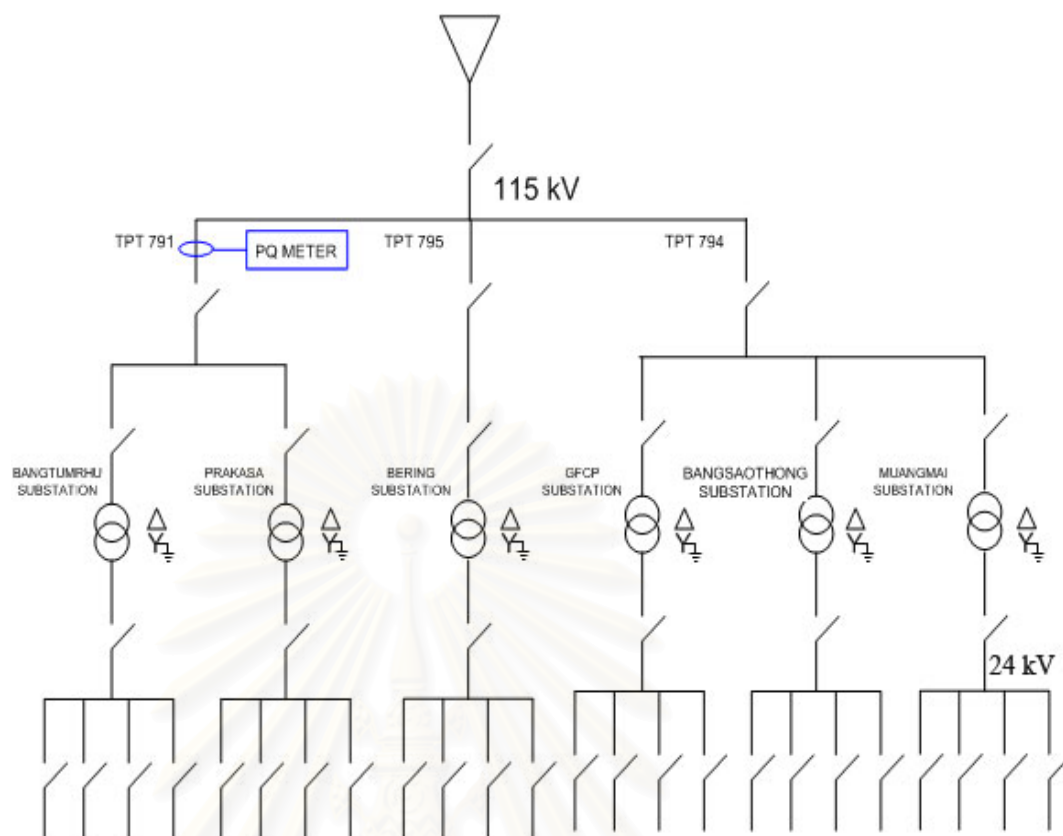
สถานที่ติดตั้งเครื่องวัดและจุดตรวจวัดข้อมูล

สถานที่ติดตั้งเครื่องมือวัด คือ สถานีต้นทางของการไฟฟ้านครหลวง ที่ระดับแรงดัน 115 kV จำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานีต้นทางเทพารักษ์ และ สถานีต้นทางหนองจอก และ สถานีต้นทางของการไฟฟ้านครหลวง ที่ระดับแรงดัน 69 kV อีก 1 สถานี ได้แก่ สถานีต้นทางพระนครใต้ ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีต้นทางของการไฟฟ้านครหลวง

ในแต่ละสถานีต้นทางจะมีจุดตรวจวัดข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า โดยเป็นจุดตรวจวัดข้อมูลของระบบส่งไฟฟ้า ดังรูปที่ ก.2 ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้จุดตรวจวัดข้อมูลของระบบส่งไฟฟ้าจาก 3 สถานี มีจุดตรวจวัดข้อมูลสถานีละ 1 จุด โดยแต่ละจุดตรวจวัดมีช่วงเวลาตรวจวัดอย่างน้อย 8 เดือน



รูปที่ ก.2 จุดตรวจวัดข้อมูลของสถานีต้นทางเทพารักษ์

PQ METER = จุดตรวจวัดข้อมูลหรือตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

จากรูป ก.2 จะพบว่าสถานีต้นทางเทพารักษ์มีจุดตรวจวัดข้อมูลที่ Line 791 ส่วนสถานีต้นทางหนองจอก มีจุดตรวจวัดข้อมูลที่ Line 793B และสถานีต้นทางพระนครใต้ มีจุดตรวจวัดข้อมูลที่ Line 691

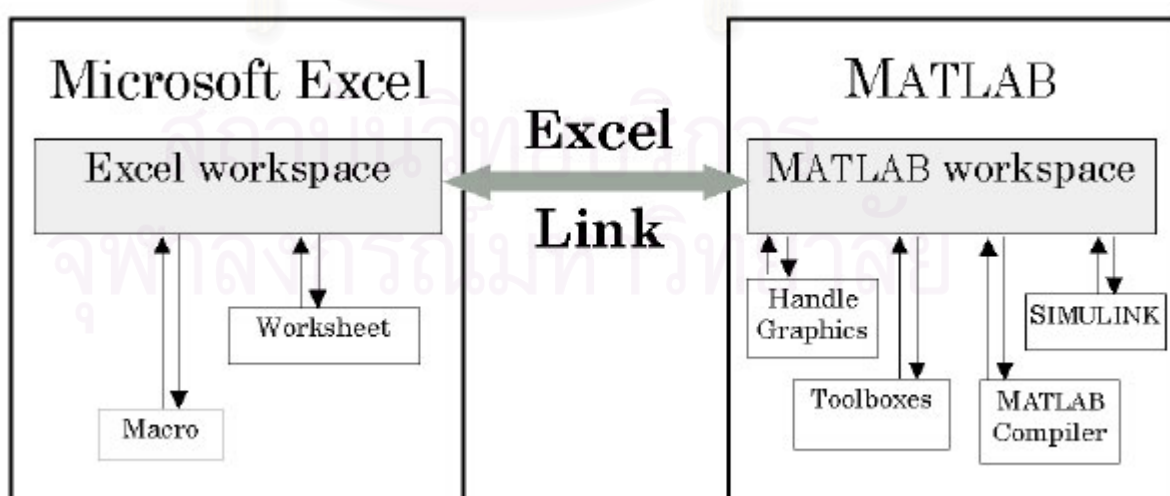
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB

การคำนวณทางวิศวกรรมมักจะมีปัญหาประจำอย่างหนึ่งคือโปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้ไม่เอื้ออำนวยในการคำนวณหรือเขียนกราฟขั้นสูง ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่เราเลือกใช้ก็คือใช้โปรแกรมอีกโปรแกรมหนึ่งมาช่วยในการคำนวณ แสดงผล เขียนกราฟ หรืออื่นๆ จากนั้นก็จะนำผลของโปรแกรมนั้นมาเขียนลงบน worksheet ในโปรแกรม Microsoft Excel และน่าจะเป็นการดีกว่าหากสามารถใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณหาคำตอบและเขียนกราฟให้ได้ตามที่ต้องการก็จะเป็นการสะดวกไม่น้อย ซึ่ง Excel link ก็คือทางแก้ปัญหา

Excel link เป็นโปรแกรมเสริมหรือที่เรียกว่า Add-in ของโปรแกรม Microsoft Excel โดย Excel link เป็นการทำงานระหว่างโปรแกรม 2 โปรแกรมคือโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานด้านการคำนวณที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบันนำมาทำงานร่วมกับ MATLAB ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องจักรในการคำนวณหาคำตอบ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์และการคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์ มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (built-in functions) ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมายตลอดจนเราสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เอง เขียนกราฟ โดยการรับคำสั่งจะรับจากโปรแกรม Microsoft Excel โดยตรง และก็จะแสดงผลกลับไปโปรแกรม Microsoft Excel โดยตรงเช่นกัน ในทางปฏิบัติ MATLAB จะทำงานอยู่บน background และทำหน้าที่เป็นเครื่องจักรในการคำนวณให้กับโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับ MATLAB เลย ซึ่งหากใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพียงโปรแกรมเดียว อาจทำให้มีความยุ่งยากในการคำนวณเนื่องจากข้อจำกัดหลายๆอย่างภายในโปรแกรม

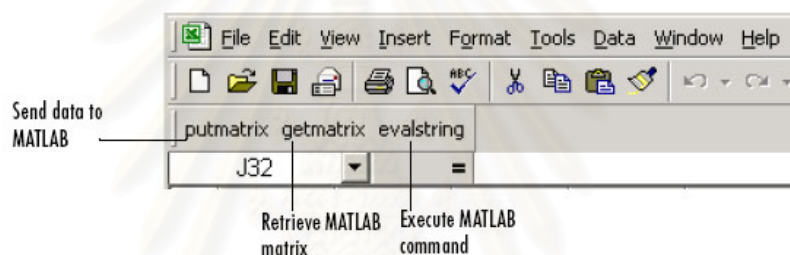


รูปที่ ข.1 การทำงานระหว่างสองโปรแกรมโดยใช้ Excel link

ข.1 การติดตั้ง Excel link

ในการติดตั้ง Excel link จะต้องติดตั้งโปรแกรม Microsoft Excel ก่อนแล้วจึงติดตั้งโปรแกรม MATLAB ต่อมาภายหลัง หลังจากนั้นเริ่มทำการติดตั้ง Excel link โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel
2. เลือกเมนูของ Excel คือ Tools > Add-Ins และคลิก Browse
3. เลือก Add-in ที่ชื่อ exlink.xla ภายใต้ path ของ <MATLAB>/toolbox/exlink ตามด้วยปุ่ม OK
4. เมื่อกลับสู่หน้าต่างของ Add-Ins ต้องตรวจสอบว่ามีการเลือกเครื่องหมายถูกข้อความ Excel link for use with MATLAB และเลือกปุ่ม OK
5. จะปรากฏปุ่ม MATLAB command window บน Windows taskbar ดังรูป ข.2



รูป ข.2 ปุ่ม MATLAB command window เมื่อติดตั้ง Excel Link

โดย ปุ่ม putmatrix	ใช้สำหรับส่งข้อมูลจาก Excel worksheet ไปสร้างชุดข้อมูลตารางหรือ matrix ใน workspace ของโปรแกรม MATLAB
ปุ่ม getmatrix	ใช้สำหรับรับข้อมูล matrix จาก workspace ของโปรแกรม MATLAB ไปยัง Excel worksheet
ปุ่ม evalstring	ใช้สำหรับส่งคำสั่ง MATLAB ที่ต้องการประมวลผลมาจากโปรแกรม Microsoft Excel

ข.2 การทำงานเบื้องต้นของ Excel link

เมื่อเราติดตั้งโปรแกรม Microsoft Excel และ MATLAB พร้อมด้วย Excel link เรียบร้อยแล้ว ขณะที่เรียกโปรแกรม Microsoft Excel ขึ้นมาใช้งานครั้งแรก MATLAB จะเริ่มทำงานอัตโนมัติและจะปรากฏปุ่ม MATLAB command window บน Windows taskbar ของโปรแกรม Microsoft Excel

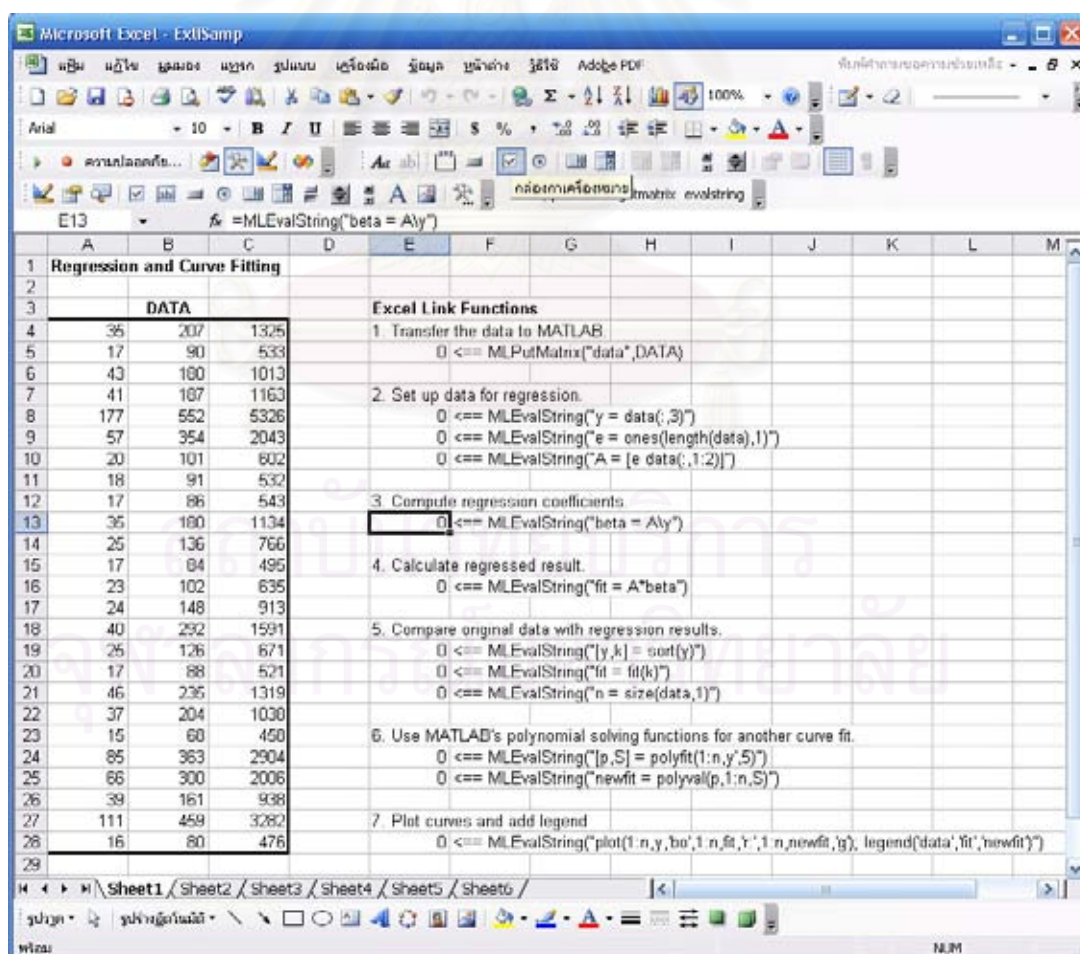
ข.3 การใช้ Excel link

การส่งคำสั่ง MATLAB ผ่านมาจากโปรแกรม Microsoft Excel และการรับผลการคำนวณของ MATLAB ส่งกลับไปโปรแกรม Microsoft Excel สามารถเขียนคำสั่งโดยผ่านฟังก์ชันที่ใช้จัดการข้อมูลดังต่อไปนี้

- MLputmatrix สร้างชุดข้อมูลตารางหรือmatrix ใน workspace ของโปรแกรม MATLAB จาก Excel worksheet
- MLgetmatrix ใช้สำหรับรับข้อมูล matrix จาก workspace ของโปรแกรม MATLAB ไปเขียนยัง Excel worksheet
- MLevalstring ประมวลผลคำสั่ง MATLAB

ข.3.1 การใช้ Excel link แบบ Worksheet Version

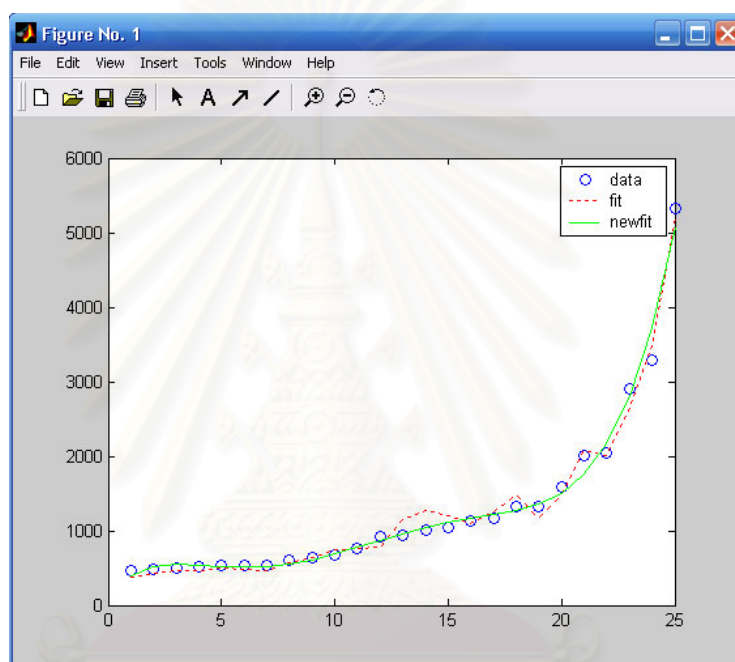
เป็นการรับส่งข้อมูลหรือส่งคำสั่ง MATLAB เพื่อไปประมวลผล โดยการเขียนคำสั่งบนเซลล์ใดๆ ใน worksheet ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างการใช้ Excel link แบบ Worksheet Version

ตัวอย่างการเขียน Excel link functions เพื่อส่งไปทำงานบนโปรแกรม MATLAB

1. พิมพ์ =MLPutMatrix("data",DATA)ในเซลล์ E5 ซึ่งจะเป็นการคัดลอกข้อมูล DATA (range A4:C28) ไปเป็นข้อมูล matrix ที่ชื่อว่า data ใน workspace ของ MATLAB
2. พิมพ์ =MLEvalString("y = data(:,3)")ในเซลล์ E8 เป็นการกำหนดให้ y มีค่าเท่ากับ column ที่สามของ matrix ที่ชื่อว่า data
3. พิมพ์ =MLEvalString("plot(1:n,y,'bo',1:n,fit,'r',1:n,newfit,'g'); legend('data','fit','newfit')")ในเซลล์ E28 จะเป็นการสั่ง plot กราฟข้อมูลของ matrix y,fit และ newfit จะปรากฏกราฟดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 กราฟตัวอย่างที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันของ Excel link

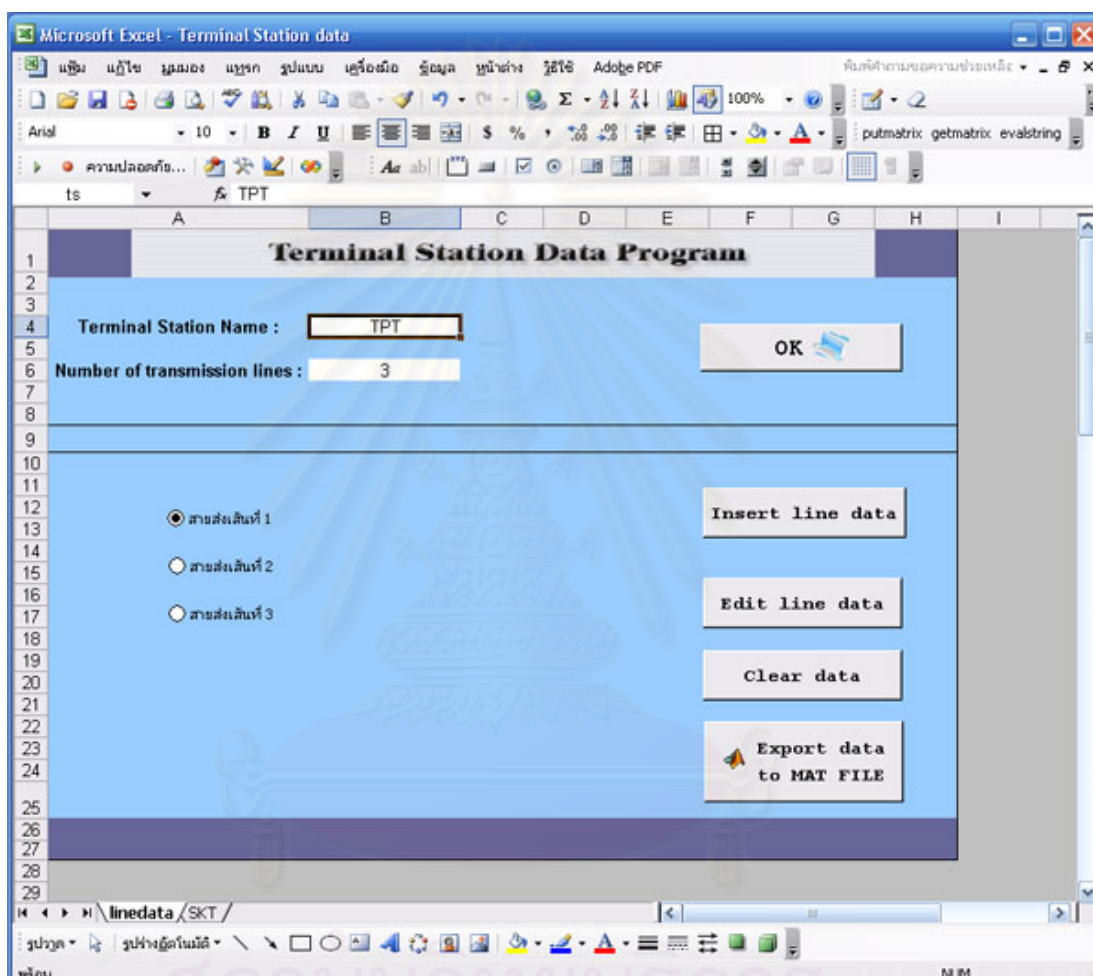
การประมวลผลของ Excel link จะต้องเลือกเซลล์ที่ต้องการประมวลผลตามด้วยปุ่ม F2 และปุ่ม Enter หากการประมวลผลบนโปรแกรม MATLAB ไม่มีข้อผิดพลาดใดๆก็จะส่ง output data (0) มายัง Excel worksheet

ข.3.1 การใช้ Excel link แบบ macro Version

เป็นวิธีที่เลือกใช้ในวิธานิพนธ์ฉบับนี้ โดยการเขียนชุดคำสั่ง macro หรือ VBA (Visual Basic for Application) ที่ประกอบด้วย Excel link functions และชุดคำสั่งอื่นๆ

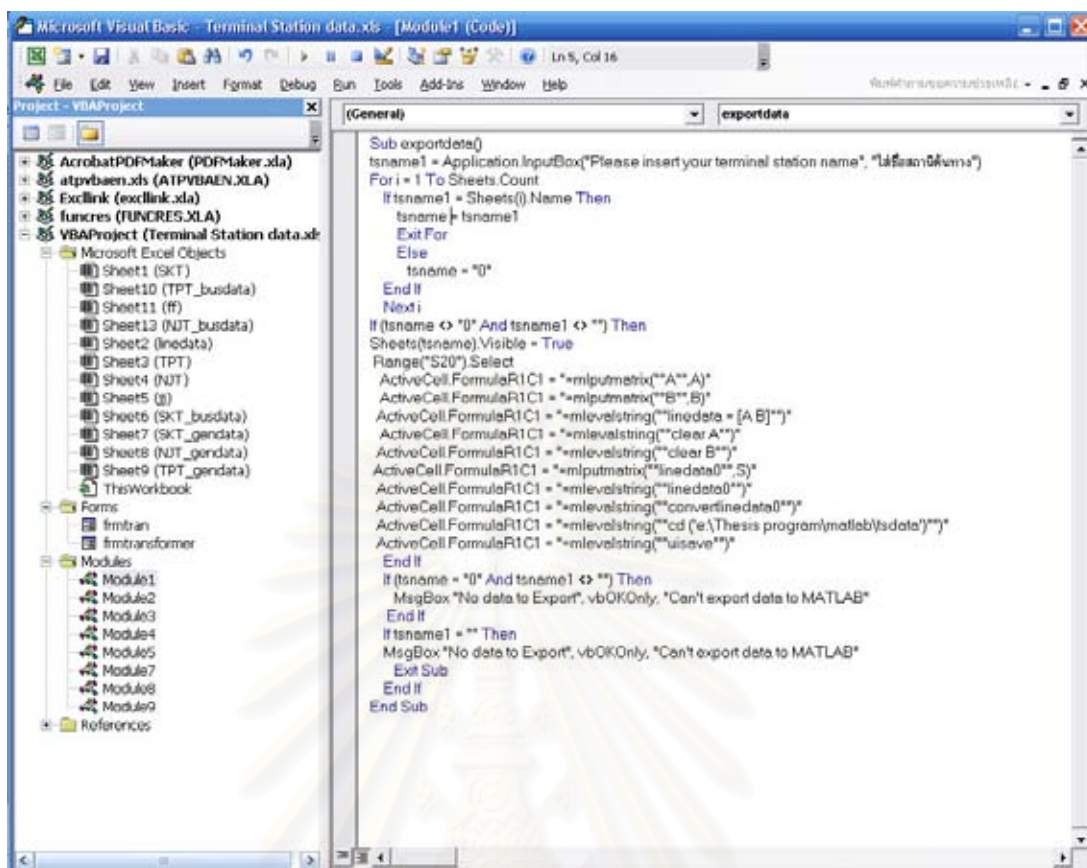
ตัวอย่างการใช้ Excel link แบบ macro Version

จากโปรแกรม Terminal Station data ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เก็บข้อมูลของสถานีต้นทาง เมื่อทำการบันทึกข้อมูลของสถานีต้นทางใดๆครบถ้วนแล้วก็จะทำการส่งออกข้อมูลโดยใช้ปุ่ม Export data to MATFILE เพื่อส่งข้อมูลของสถานีต้นทางไปเป็นไฟล์ข้อมูลเฉพาะที่เรียกว่า MAT-file เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลของสถานีต้นทางในการประมาณหาระยะผิดพลาดต่อไป



รูปที่ ข.5 โปรแกรม Terminal Station data

เขียนชุดคำสั่ง macro ชื่อ exportdata ที่ประกอบด้วยคำสั่งที่เกี่ยวข้องในการส่งข้อมูลของสถานีต้นทางไปบันทึกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 ชุดคำสั่ง macro ที่ใช้ในการประมวลผล

กำหนด macro ชื่อ exportdata ให้กับปุ่ม Export data to MATFILE เพียงเท่านี้ก็สามารถส่งชุดคำสั่งไปประมวลผลที่โปรแกรม MATLAB ได้

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาตำแหน่งผิดพลาดจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถยืนยันตำแหน่ง ที่เกิดความผิดพลาดได้

เหตุการณ์ที่ 5

แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 17 ธันวาคม 2549 เวลา 09:45 น. วัดขนาดของแรงดัน RMS ของทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ 0.42, 0.99 และ 1.09 pu.

จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนการจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ พร้อมประมาณแรงดันของแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ โดยใช้โปรแกรม PQ data จะได้ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 5

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.420 \angle 0	Type B
B	1.04 \angle -123.622	
C	1.04 \angle 123.622	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.42 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 5

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.075	0.139	0.194	0.242	0.285	0.323	0.356	0.387	0.414	0.439
2	3	0.439	0.442	0.446	0.449	0.452	0.455	0.458	0.462	0.465	0.468	0.471
3	4	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	5	0.439	0.460	0.479	0.496	0.513	0.528	0.542	0.556	0.568	0.580	0.591
5	6	0.591	0.591	0.591	0.592	0.592	0.592	0.592	0.593	0.593	0.593	0.593
6	7	0.593	0.594	0.595	0.595	0.596	0.597	0.597	0.598	0.599	0.599	0.600
7	8	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	9	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054
9	10	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) แรงคันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 5

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
43	46	0.530	0.543	0.555	0.567	0.578	0.588	0.597	0.606	0.615	0.623	0.631
46	47	0.631	0.633	0.635	0.637	0.639	0.640	0.642	0.644	0.645	0.647	0.649
47	48	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
48	49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	50	0.631	0.633	0.635	0.636	0.638	0.640	0.641	0.643	0.644	0.646	0.647
33	37	0.498	0.503	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540
37	38	0.540	0.540	0.541	0.541	0.542	0.542	0.543	0.544	0.544	0.545	0.545
38	39	0.545	0.546	0.548	0.549	0.551	0.552	0.553	0.555	0.556	0.557	0.559
39	40	0.559	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561
40	41	0.561	0.566	0.570	0.574	0.578	0.582	0.586	0.590	0.594	0.597	0.601
41	42	0.601	0.603	0.604	0.606	0.608	0.609	0.611	0.612	0.614	0.615	0.617
1	51	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.027	0.033	0.038	0.043	0.048	0.053
51	52	0.053	0.053	0.053	0.053	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
51	53	0.053	0.111	0.161	0.206	0.246	0.282	0.314	0.344	0.371	0.395	0.418
53	54	0.418	0.418	0.418	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.420	0.420	0.420
54	55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	56	0.000	0.003	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.023	0.026	0.030	0.033
56	57	0.033	0.098	0.155	0.204	0.248	0.287	0.322	0.354	0.382	0.408	0.432
57	58	0.432	0.433	0.435	0.436	0.437	0.439	0.440	0.441	0.443	0.444	0.445
58	59	0.445	0.446	0.446	0.447	0.448	0.448	0.449	0.450	0.450	0.451	0.452
59	60	0.452	0.454	0.456	0.458	0.460	0.462	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473
60	61	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474
59	62	0.452	0.452	0.452	0.452	0.453	0.453	0.453	0.453	0.454	0.454	0.454
62	63	0.454	0.470	0.485	0.499	0.513	0.525	0.537	0.548	0.559	0.569	0.579
57	64	0.432	0.442	0.452	0.462	0.472	0.481	0.489	0.498	0.506	0.514	0.521
64	65	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.522
65	66	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.552	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 5

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

จากตารางที่ ค.2 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดปกติที่เป็นไปได้ 5 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ระยะทางบนสายส่งที่เกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 5

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	2	7522.984
2	1	15	7943.444
3	1	30	7877.882
4	1	54	7596.172
5	1	57	7783.326

เหตุการณ์ที่ 6

แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 1 มีนาคม 2550 เวลา 10:07 น. วัดขนาดของแรงดัน RMS ของทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ 0.56, 0.98 และ 1.0 pu.

จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนการจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ พร้อมประมาณแรงดันของแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ โดยใช้โปรแกรม PQ data จะได้ดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 6

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.560 $\angle 0$	Type B
B	0.99 $\angle -118.983$	
C	0.99 $\angle 118.983$	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยสมมติตำแหน่งความผิดปกติเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมี

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) แรงคันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 6

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	29	0.000	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.031	0.036	0.040	0.044
29	30	0.044	0.110	0.168	0.218	0.262	0.301	0.336	0.368	0.396	0.422	0.446
30	31	0.446	0.446	0.446	0.446	0.446	0.447	0.447	0.447	0.447	0.447	0.448
31	32	0.448	0.453	0.459	0.464	0.469	0.474	0.479	0.484	0.489	0.493	0.498
32	33	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498
33	34	0.498	0.501	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.518	0.521	0.524	0.526
34	35	0.526	0.533	0.539	0.546	0.552	0.558	0.563	0.569	0.574	0.579	0.584
35	36	0.584	0.584	0.584	0.584	0.584	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585
34	43	0.526	0.527	0.527	0.528	0.528	0.528	0.529	0.529	0.530	0.530	0.530
43	44	0.530	0.531	0.531	0.531	0.531	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.533
44	45	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
43	46	0.530	0.543	0.555	0.567	0.578	0.588	0.597	0.606	0.615	0.623	0.631
46	47	0.631	0.633	0.635	0.637	0.639	0.640	0.642	0.644	0.645	0.647	0.649
47	48	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
48	49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	50	0.631	0.633	0.635	0.636	0.638	0.640	0.641	0.643	0.644	0.646	0.647
33	37	0.498	0.503	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540
37	38	0.540	0.540	0.541	0.541	0.542	0.542	0.543	0.544	0.544	0.545	0.545
38	39	0.545	0.546	0.548	0.549	0.551	0.552	0.553	0.555	0.556	0.557	0.559
39	40	0.559	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561
40	41	0.561	0.566	0.570	0.574	0.578	0.582	0.586	0.590	0.594	0.597	0.601
41	42	0.601	0.603	0.604	0.606	0.608	0.609	0.611	0.612	0.614	0.615	0.617
1	51	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.027	0.033	0.038	0.043	0.048	0.053
51	52	0.053	0.053	0.053	0.053	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
51	53	0.053	0.111	0.161	0.206	0.246	0.282	0.314	0.344	0.371	0.395	0.418
53	54	0.418	0.418	0.418	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.420	0.420	0.420
54	55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	56	0.000	0.003	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.023	0.026	0.030	0.033
56	57	0.033	0.098	0.155	0.204	0.248	0.287	0.322	0.354	0.382	0.408	0.432

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 6

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
57	58	0.432	0.433	0.435	0.436	0.437	0.439	0.440	0.441	0.443	0.444	0.445
58	59	0.445	0.446	0.446	0.447	0.448	0.448	0.449	0.450	0.450	0.451	0.452
59	60	0.452	0.454	0.456	0.458	0.460	0.462	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473
60	61	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474
59	62	0.452	0.452	0.452	0.452	0.453	0.453	0.453	0.453	0.454	0.454	0.454
62	63	0.454	0.470	0.485	0.499	0.513	0.525	0.537	0.548	0.559	0.569	0.579
57	64	0.432	0.442	0.452	0.462	0.472	0.481	0.489	0.498	0.506	0.514	0.521
64	65	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.522
65	66	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.552	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

จากตารางที่ ค.5 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดปกติที่เป็นไปได้ 6 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 6

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	5	13603.833
2	1	35	13740.649
3	1	46	13732.537
4	1	40	13966.093
5	1	63	13111.322
6	1	67	13839.730

เหตุการณ์ที่ 7

แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางหนองจอก วันที่ 25 เมษายน 2550 เวลา 17:59 น. วัดขนาดของแรงดัน RMS ของทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ 0.59, 0.98 และ 1.0 pu.

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) แรงคันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 7

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
16	19	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.436	0.436	0.437	0.437	0.437	0.437
19	20	0.437	0.446	0.455	0.463	0.471	0.479	0.487	0.494	0.501	0.508	0.514
15	21	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.437
21	22	0.437	0.442	0.447	0.452	0.456	0.461	0.466	0.470	0.475	0.479	0.483
22	23	0.483	0.487	0.490	0.494	0.497	0.501	0.504	0.507	0.510	0.514	0.517
23	24	0.517	0.518	0.519	0.520	0.521	0.522	0.524	0.525	0.526	0.527	0.528
24	25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
23	26	0.517	0.517	0.518	0.518	0.518	0.519	0.519	0.520	0.520	0.520	0.521
26	27	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
27	28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	29	0.000	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.031	0.036	0.040	0.044
29	30	0.044	0.110	0.168	0.218	0.262	0.301	0.336	0.368	0.396	0.422	0.446
30	31	0.446	0.446	0.446	0.446	0.446	0.447	0.447	0.447	0.447	0.447	0.448
31	32	0.448	0.453	0.459	0.464	0.469	0.474	0.479	0.484	0.489	0.493	0.498
32	33	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498
33	34	0.498	0.501	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.518	0.521	0.524	0.526
34	35	0.526	0.533	0.539	0.546	0.552	0.558	0.563	0.569	0.574	0.579	0.584
35	36	0.584	0.584	0.584	0.584	0.584	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585
34	43	0.526	0.527	0.527	0.528	0.528	0.528	0.529	0.529	0.530	0.530	0.530
43	44	0.530	0.531	0.531	0.531	0.531	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.533
44	45	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
43	46	0.530	0.543	0.555	0.567	0.578	0.588	0.597	0.606	0.615	0.623	0.631
46	47	0.631	0.633	0.635	0.637	0.639	0.640	0.642	0.644	0.645	0.647	0.649
47	48	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
48	49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	50	0.631	0.633	0.635	0.636	0.638	0.640	0.641	0.643	0.644	0.646	0.647
33	37	0.498	0.503	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540
37	38	0.540	0.540	0.541	0.541	0.542	0.542	0.543	0.544	0.544	0.545	0.545
38	39	0.545	0.546	0.548	0.549	0.551	0.552	0.553	0.555	0.556	0.557	0.559

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) แรงดั้นที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 7

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
39	40	0.559	0.559	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.561	0.561
40	41	0.561	0.566	0.570	0.574	0.578	0.582	0.586	0.590	0.594	0.597	0.601
41	42	0.601	0.603	0.604	0.606	0.608	0.609	0.611	0.612	0.614	0.615	0.617
1	51	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.027	0.033	0.038	0.043	0.048	0.053
51	52	0.053	0.053	0.053	0.053	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
51	53	0.053	0.111	0.161	0.206	0.246	0.282	0.314	0.344	0.371	0.395	0.418
53	54	0.418	0.418	0.418	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.420	0.420	0.420
54	55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	56	0.000	0.003	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.023	0.026	0.030	0.033
56	57	0.033	0.098	0.155	0.204	0.248	0.287	0.322	0.354	0.382	0.408	0.432
57	58	0.432	0.433	0.435	0.436	0.437	0.439	0.440	0.441	0.443	0.444	0.445
58	59	0.445	0.446	0.446	0.447	0.448	0.448	0.449	0.450	0.450	0.451	0.452
59	60	0.452	0.454	0.456	0.458	0.460	0.462	0.465	0.467	0.469	0.471	0.473
60	61	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474	0.474
59	62	0.452	0.452	0.452	0.452	0.453	0.453	0.453	0.453	0.454	0.454	0.454
62	63	0.454	0.470	0.485	0.499	0.513	0.525	0.537	0.548	0.559	0.569	0.579
57	64	0.432	0.442	0.452	0.462	0.472	0.481	0.489	0.498	0.506	0.514	0.521
64	65	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.522
65	66	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.552	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

จากตารางที่ ค.8 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดพลาดที่เป็นไปได้ 3 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.11 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 8

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	9	0.000	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054
9	10	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064
10	11	0.064	0.095	0.124	0.151	0.176	0.200	0.222	0.243	0.263	0.282	0.300
11	12	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301	0.301	0.301	0.301	0.302	0.302	0.302
12	13	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	14	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.026	0.031	0.036	0.041	0.046	0.050
14	15	0.050	0.112	0.166	0.214	0.256	0.294	0.327	0.358	0.386	0.411	0.434
15	16	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.435
16	17	0.435	0.447	0.458	0.469	0.479	0.489	0.498	0.507	0.516	0.524	0.532
17	18	0.532	0.532	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.534
16	19	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.436	0.436	0.437	0.437	0.437	0.437
19	20	0.437	0.446	0.455	0.463	0.471	0.479	0.487	0.494	0.501	0.508	0.514
15	21	0.434	0.434	0.434	0.435	0.435	0.435	0.435	0.436	0.436	0.436	0.437
21	22	0.437	0.442	0.447	0.452	0.456	0.461	0.466	0.470	0.475	0.479	0.483
22	23	0.483	0.487	0.490	0.494	0.497	0.501	0.504	0.507	0.510	0.514	0.517
23	24	0.517	0.518	0.519	0.520	0.521	0.522	0.524	0.525	0.526	0.527	0.528
24	25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
23	26	0.517	0.517	0.518	0.518	0.518	0.519	0.519	0.520	0.520	0.520	0.521
26	27	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
27	28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	29	0.000	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.031	0.036	0.040	0.044
29	30	0.044	0.110	0.168	0.218	0.262	0.301	0.336	0.368	0.396	0.422	0.446
30	31	0.446	0.446	0.446	0.446	0.446	0.447	0.447	0.447	0.447	0.447	0.448
31	32	0.448	0.453	0.459	0.464	0.469	0.474	0.479	0.484	0.489	0.493	0.498
32	33	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498	0.498
33	34	0.498	0.501	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.518	0.521	0.524	0.526
34	35	0.526	0.533	0.539	0.546	0.552	0.558	0.563	0.569	0.574	0.579	0.584
35	36	0.584	0.584	0.584	0.584	0.584	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585	0.585
34	43	0.526	0.527	0.527	0.528	0.528	0.528	0.529	0.529	0.530	0.530	0.530

ตารางที่ ค.11 (ต่อ) แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 8

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
64	67	0.521	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547	0.552	0.555	0.559	0.563
67	68	0.563	0.563	0.564	0.564	0.564	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.565
67	69	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565	0.565	0.566	0.566	0.567	0.567	0.568
69	70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	71	0.000	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044	0.048
71	72	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059
72	73	0.059	0.089	0.117	0.143	0.167	0.190	0.212	0.233	0.252	0.271	0.288

จากตารางที่ ค.11 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดปกติที่เป็นไปได้ 9 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.12
 ตารางที่ ค.12 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 8

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	3	9116.603
2	1	5	9288.686
3	1	17	9708.457
4	1	20	9767.093
5	1	22	9767.628
6	1	32	9695.061
7	1	60	9480.236
8	1	63	9394.178
9	1	64	9536.775

เหตุการณ์ที่ 9

แรงดันตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 29 กันยายน 2549 เวลา 18:41 น. วัดขนาดของแรงดัน RMS ของทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ 0.40, 1.01 และ 1.07 pu.

จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนการจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ พร้อมประมาณแรงดันของแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ โดยใช้โปรแกรม PQ data จะได้ดังตารางที่ ค.13

ตารางที่ ค.13 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 9

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.40 \angle 0	Type B
B	1.04 \angle -123.622	
C	1.04 \angle 123.622	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.40 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ ค.14

ตารางที่ ค.14 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 9

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.011	0.022	0.033	0.044	0.054	0.064	0.074	0.084	0.093	0.103
2	3	0.103	0.121	0.140	0.157	0.174	0.190	0.205	0.220	0.234	0.248	0.261
3	4	0.261	0.262	0.263	0.264	0.264	0.265	0.266	0.267	0.267	0.268	0.269
4	5	0.269	0.281	0.294	0.305	0.317	0.328	0.338	0.348	0.358	0.368	0.377
5	6	0.377	0.381	0.385	0.389	0.393	0.397	0.400	0.404	0.408	0.411	0.415
6	7	0.415	0.415	0.415	0.415	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416
7	8	0.416	0.421	0.426	0.431	0.435	0.440	0.445	0.449	0.453	0.458	0.462
8	9	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462
9	10	0.462	0.462	0.463	0.463	0.463	0.463	0.463	0.464	0.464	0.464	0.464
10	11	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
8	12	0.462	0.469	0.476	0.483	0.490	0.496	0.503	0.509	0.515	0.521	0.527
12	13	0.527	0.532	0.538	0.543	0.549	0.554	0.559	0.564	0.568	0.573	0.578
13	14	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.579	0.579
14	15	0.579	0.582	0.586	0.589	0.593	0.596	0.599	0.603	0.606	0.609	0.612
15	16	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613
1	17	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009
17	18	0.009	0.044	0.077	0.107	0.135	0.162	0.187	0.210	0.232	0.253	0.273
18	19	0.273	0.273	0.274	0.274	0.275	0.275	0.275	0.276	0.276	0.276	0.277
19	20	0.277	0.286	0.295	0.304	0.313	0.321	0.329	0.337	0.345	0.353	0.360

ตารางที่ ค.14 (ต่อ) แรงแค้นที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดปกติพร้อมบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 9

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
20	21	0.360	0.361	0.362	0.363	0.364	0.365	0.366	0.366	0.367	0.368	0.369
20	22	0.360	0.362	0.364	0.366	0.367	0.369	0.371	0.373	0.374	0.376	0.378
22	23	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379
22	24	0.378	0.416	0.450	0.480	0.506	0.531	0.552	0.572	0.590	0.607	0.622
24	25	0.622	0.622	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624
25	26	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
24	27	0.622	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624	0.624	0.624	0.625
27	28	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
28	29	0.625	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.627	0.627	0.627	0.627	0.627
29	30	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
28	31	0.625	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626
31	32	0.626	0.629	0.632	0.636	0.639	0.642	0.644	0.647	0.650	0.653	0.656
32	33	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656
33	34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	35	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009
35	36	0.009	0.074	0.131	0.182	0.226	0.266	0.302	0.335	0.364	0.391	0.416
36	37	0.416	0.416	0.416	0.417	0.417	0.417	0.417	0.418	0.418	0.418	0.418
37	38	0.418	0.432	0.446	0.459	0.471	0.482	0.493	0.504	0.514	0.524	0.533
38	39	0.533	0.541	0.548	0.555	0.562	0.569	0.575	0.582	0.588	0.594	0.599
39	40	0.599	0.599	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
40	41	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

จากตารางที่ ค.14 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดปกติที่เป็นไปได้ 3 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.15

ตารางที่ ค.15 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 9

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	6	6983.621
2	1	24	6176.225
3	1	36	6155.806

เหตุการณ์ที่ 10

แรงดันตกชั่วขณะที่ยับนทีกได้ ณ สถานีต้นทางเทพารักษ์ วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2550 เวลา 10:55 น.

วัดขนาดของแรงดัน RMS ของทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากับ 0.42, 1.0 และ 1.06 pu.

จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนการจำแนกรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ พร้อมประมาณแรงดันของแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ โดยใช้โปรแกรม PQ data จะได้ดังตารางที่ ค.16

ตารางที่ ค.16 แรงดันประมาณและรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ที่ 10

Phase Voltage	Approximate Voltage and Angle	Type of Sags
A	0.42 $\angle 0$	Type B
B	1.03 $\angle -122.776$	
C	1.03 $\angle 122.776$	

นำแรงดันที่ได้จากการประมาณไปหาดำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยสมมติตำแหน่งความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ระยะ r ต่างๆบนสายส่ง จากนั้นพิจารณาระยะ r ที่ทำให้แรงดันที่บัส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.42 pu. เพื่อคำนวณหาระยะที่เกิดความผิดพลาดที่เป็นไปได้ต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ ค.17

ตารางที่ ค.17 แรงดันที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 10

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2	0.000	0.011	0.022	0.033	0.044	0.054	0.064	0.074	0.084	0.093	0.103
2	3	0.103	0.121	0.140	0.157	0.174	0.190	0.205	0.220	0.234	0.248	0.261
3	4	0.261	0.262	0.263	0.264	0.264	0.265	0.266	0.267	0.267	0.268	0.269
4	5	0.269	0.281	0.294	0.305	0.317	0.328	0.338	0.348	0.358	0.368	0.377
5	6	0.377	0.381	0.385	0.389	0.393	0.397	0.400	0.404	0.408	0.411	0.415
6	7	0.415	0.415	0.415	0.415	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416
7	8	0.416	0.421	0.426	0.431	0.435	0.440	0.445	0.449	0.453	0.458	0.462
8	9	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462
9	10	0.462	0.462	0.463	0.463	0.463	0.463	0.463	0.464	0.464	0.464	0.464
10	11	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
8	12	0.462	0.469	0.476	0.483	0.490	0.496	0.503	0.509	0.515	0.521	0.527
12	13	0.527	0.532	0.538	0.543	0.549	0.554	0.559	0.564	0.568	0.573	0.578
13	14	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.579	0.579

ตารางที่ ค.17 (ต่อ) แรงแค้นที่บัส 1 ขณะเกิดความผิดพลาดบนจุดต่างๆในสายส่งของเหตุการณ์ที่ 10

BUS		r										
i	j	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
14	15	0.579	0.582	0.586	0.589	0.593	0.596	0.599	0.603	0.606	0.609	0.612
15	16	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613
1	17	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009
17	18	0.009	0.044	0.077	0.107	0.135	0.162	0.187	0.210	0.232	0.253	0.273
18	19	0.273	0.273	0.274	0.274	0.275	0.275	0.275	0.276	0.276	0.276	0.277
19	20	0.277	0.286	0.295	0.304	0.313	0.321	0.329	0.337	0.345	0.353	0.360
20	21	0.360	0.361	0.362	0.363	0.364	0.365	0.366	0.366	0.367	0.368	0.369
20	22	0.360	0.362	0.364	0.366	0.367	0.369	0.371	0.373	0.374	0.376	0.378
22	23	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379
22	24	0.378	0.416	0.450	0.480	0.506	0.531	0.552	0.572	0.590	0.607	0.622
24	25	0.622	0.622	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624
25	26	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
24	27	0.622	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624	0.624	0.624	0.625
27	28	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
28	29	0.625	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.627	0.627	0.627	0.627	0.627
29	30	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
28	31	0.625	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626
31	32	0.626	0.629	0.632	0.636	0.639	0.642	0.644	0.647	0.650	0.653	0.656
32	33	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656	0.656
33	34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	35	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009
35	36	0.009	0.074	0.131	0.182	0.226	0.266	0.302	0.335	0.364	0.391	0.416
36	37	0.416	0.416	0.416	0.417	0.417	0.417	0.417	0.418	0.418	0.418	0.418
37	38	0.418	0.432	0.446	0.459	0.471	0.482	0.493	0.504	0.514	0.524	0.533
38	39	0.533	0.541	0.548	0.555	0.562	0.569	0.575	0.582	0.588	0.594	0.599
39	40	0.599	0.599	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
40	41	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

จากตารางที่ ค.17 สามารถสรุปหาตำแหน่งความผิดพลาดที่เป็นไปได้ 3 ตำแหน่งดังตารางที่ ค.18

ตารางที่ ค.18 ระยะทางบนสายส่งที่อาจเกิดความผิดปกติจากเหตุการณ์ที่ 10

NUMBER	FROM BUS	TO BUS	DISTANCE (เมตร)
1	1	8	7546.554
2	1	24	6693.223
3	1	38	6736.968



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุกริษา หะยีดีอรามา เกิดวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ที่ อำเภอเมือง จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าระดับ 5 สังกัดกองวางแผนระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย