

การหาตำแหน่งความผิดพร่องในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วย
การค้นหาแบบตาชู

นายบรรณวุฒิ บริบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-533-458-8

**FAULT LOCATION IN UTILITY'S DISTRIBUTION
POWER NETWORKS OF PEA BY TABU SEARCH**

Bunyut Borriboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Suranaree University of Technology


Academic Year 2005

ISBN 974-533-458-8

การหาตำแหน่งความผิดพร้อมในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ด้วยการค้นหาแบบตามู

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



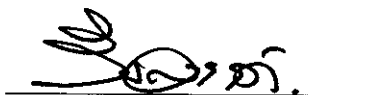
(ผศ. ดร.กิติติ อัครดิग्คมกค)ล

ประธานกรรมการ



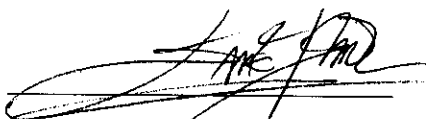
(ผศ. ดร.อนันท์ อุนศิริไลย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.รังสรรค์ ทองทา)

กรรมการ



(อ. ดร.รณัฒชัย กุลสุวรรณิขพงษ)

กรรมการ



(รศ. ดร.เสาวณีย์ รัตนพานิ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ชำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

บรรณณัติ บริบูรณ์ : การหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายของกรไฟฟ้าส่วน
ภูมิภาคด้วยการค้นหาแบบตาบ (FAULT LOCATION IN UTILITY'S
DISTRIBUTION POWER NETWORKS OF PEA BY TABU SEARCH)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ อุ่ณศิริวิไลย์, 206 หน้า

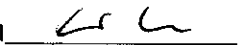
ISBN 974-533-458-8

งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีการหาตำแหน่งความผิดปกติโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบตาบและการจำแนกวิถีอย่างง่าย กระแสและแรงดันที่ได้จากการวัดที่สถานีไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง การจำแนกชนิดความผิดปกติจะประยุกต์ใช้การค้นหาแบบตาบเพื่อคำนวณหาค่าคงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจำแนกสถานะของกระแสผิดปกติสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์ เพื่อลดความยุ่งยากของการคำนวณระยะทางผิดปกติ ระบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนจะถูกแบ่งออกเป็นวิธีย่อยและถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของวงจรรอบเดียว ระยะทางผิดปกติและความต้านทานผิดปกติของวิถีใดให้ผลการจำลองสภาวะชั่วคราวใกล้เคียงกับสภาวะผิดปกติจริงมากที่สุดจะเป็นวิถีที่เกิดความผิดปกติ และสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งผิดปกติคือระยะทางผิดปกติของวิถีที่เกิดความผิดปกติ จากการทดสอบระเบียบวิธีของงานวิจัยนี้เพื่อระบุตำแหน่งผิดปกติ 11 ชนิดกับระบบไฟฟ้า 20 บัส และสายป้อนวงจรที่ 9 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยการระบุตำแหน่งผิดปกติด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้มีความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 360 เมตร ซึ่งในระบบสายป้อนชนิดสายพาดในอากาศถือว่าเป็นระยะที่อยู่ในวิสัยของผู้ปฏิบัติงานมองเห็นได้โดยง่ายและสามารถค้นหาตำแหน่งเพิ่มเติมได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนักศึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

BUNYUT BORRIBOON : FAULT LOCATION IN UTILITY'S
DISTRIBUTION POWER NETWORKS OF PEA BY TABU SEARCH.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ANANT OONSIVILAI, Ph.D. 206 PP.
ISBN 974-533-458-8

FAULT LOCATION/FAULT CLASSIFICATION/DISTRIBUTION SYSTEM
/TRANSIENT MODELING/SIMPLIFIED PATH CLASSIFICATION

This research presents a method of fault location in electric power distribution system with the use of Tabu search and simplified path classification technique. The voltage and current of substation were transformed into phasors by discrete Fourier transform. Tabu search was applied in the calculation for the best constants for fault type classification. To ease the calculation for the fault distance, complex system was divided into paths and transform into single loop circuit. The simplified path classification technique described that the fault resistance and fault distance were comparatively close to the real simulation. Fault location could be defined as fault distance calculated from the fault path. The experiment, which was conducted to locate 11 faults of 20-bus system and 9-th feeder of Nakhon Ratchasima substation, gave a satisfactory result. With the developed this technique, the maximum error of fault distance was 360 m, which is in the range of observation in an overhead line feeder and hence, identification of fault location can be easily done.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2005

Student's Signature 

Advisor's Signature Anant O.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ อุ่นศิริไทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา และแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยจนสามารถดำรงชีวิตในมหาวิทยาลัยในช่วงเวลาหนึ่งได้อย่างปกติสุข

อาจารย์ ดร.ชนัดชัช กุลวรวานิชพงษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำปรึกษาแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

รองศาสตราจารย์ ดร.สรารุณี สุจิตจร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยดำรงชีวิตในมหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล รักษาการหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยดำรงชีวิตในมหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณคุณประพล จาระตะคุ วิศวกรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำปรึกษาที่ดีต่อผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณคุณเผด็จ เผ่าละออ และคุณประพันธ์ คัทวี เพื่อนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ บัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และบัณฑิตศึกษาที่ เคยพักอาศัยที่หอพักสุรนิวาส 14B ร่วมกับผู้วิจัยทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งในอดีตและปัจจุบัน คุณศิริรัตน์ อุปสิทธิ์ ที่คอยให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างผู้วิจัยเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ตา ยาย น้า รวมถึงครอบครัวบริบูรณ์ และครอบครัววิจิตชะจิทุกท่าน ที่ให้ความรัก การอบรมเลี้ยงดู คอยส่งเสริมการศึกษารวมไปถึงสิ่งดีๆ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

บรรณัญติ บริบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของเรื่อง.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รูปเล่มวิทยานิพนธ์	3
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 การค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่าย	5
2.2.1 เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	5
2.2.2 เทคนิคฟuzzyเซต.....	7
2.2.3 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณจากอุปกรณ์บันทึกการรบกวน	8
2.2.4 เทคนิคเคลื่อนเคลื่อนที่.....	10
2.2.5 เทคนิคการวิเคราะห์วงจรโดยตรง	11
2.2.6 เทคนิคการใช้ระบบค้นหาตำแหน่งผิดพลาดอัตโนมัติ	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	สรุป.....	16
3	แบบจำลองสถานะชั่วคราวสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบจำหน่าย	17
3.1	กล่าวนำ.....	17
3.2	แบบจำลองสถานีไฟฟ้า.....	18
3.3	แบบจำลองโหลด	20
3.4	แบบจำลองความผิดปกติ.....	22
3.4.1	ความผิดปกติลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน.....	23
3.4.2	ความผิดปกติลัดวงจรสองเฟส.....	24
3.4.3	ความผิดปกติลัดวงจรสองเฟสลงดิน	26
3.4.4	ความผิดปกติลัดวงจรสามเฟส.....	27
3.4.5	ความผิดปกติลัดวงจรสามเฟสลงดิน	28
3.5	แบบจำลองสายป้อนจำหน่าย	30
3.6	แบบจำลองระบบจำหน่าย.....	35
3.7	การทดสอบโปรแกรม.....	37
3.7.1	ขั้นตอนการจำลองผล.....	37
3.7.2	การเปรียบเทียบผลการจำลองกับ โปรแกรม PSIM และ MATLAB	38
3.8	ผลการจำลองกับระบบจำหน่าย 22 kV.....	43
3.9	สรุป.....	45
4	การจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งความผิดปกติ.....	47
4.1	กล่าวนำ.....	47
4.2	รูปแบบของปัญหา	47
4.3	การจำแนกชนิดความผิดปกติ	48
4.4	การแบ่งระบบจำหน่ายออกเป็นวิถีย่อย	50
4.5	การคำนวณระยะทางผิดปกติ.....	54
4.5.1	ความผิดปกติลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน.....	54
4.5.2	ความผิดปกติลัดวงจรสองเฟส.....	57
4.5.3	ความผิดปกติลัดวงจรสองเฟสลงดิน	58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.4 ความผิดปกติของลัดวงจรสามเฟส.....	58
4.5.5 ความผิดปกติของลัดวงจรสามเฟสลงดิน	60
4.6 การระบุตำแหน่งความผิดปกติด้วยเทคนิคการจำแนกวิธีอย่างง่าย.....	61
4.7 สรุป.....	63
5 ผลการทดสอบ	65
5.1 ระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัส.....	65
5.1.1 ผลการการจำแนกชนิดความผิดปกติ	65
5.1.2 ผลการการค้นหาตำแหน่งผิดปกติ	67
5.2 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 วงจรที่ 9.....	68
5.2.1 ผลการการจำแนกชนิดความผิดปกติ	69
5.2.2 ผลการการค้นหาตำแหน่งผิดปกติ	70
5.3 สรุป.....	71
5.3.1 ระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัส.....	71
5.3.2 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 วงจรที่ 9.....	72
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
6.1. สรุปผลการวิจัย	73
6.2 ข้อเสนอแนะ	74
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การค้นหาแบบตาบ (Tabu search).....	79
ภาคผนวก ข การคำนวณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง	83
ภาคผนวก ค ข้อมูลระบบทดสอบ	86
ค.1 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัส.....	87
ค.2 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 20 บัส.....	87
ค.3 ระบบจำหน่าย 20 บัส	89
ค.4 สายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2.....	91

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ง	ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส.....	97
ภาคผนวก จ	ตำแหน่งผัดพร้อมสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส	108
ภาคผนวก ฉ	ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2	120
ภาคผนวก ช	ตำแหน่งผัดพร้อมสำหรับป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2	130
ภาคผนวก ซ	โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในงานวิจัย	142
ภาคผนวก ฌ	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	200
ประวัติผู้เขียน.....		206

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	เมตริกซ์ตัวนำผิพรองสำหรับความผิพรองชนิดต่างๆ.....29
3.2	เฟสเซอร์กระแสผิพรองสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัสและ 20 บัส46
4.1	สถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับความผิพรองชนิดต่างๆ50
5.1	ค่าคงที่เฉลี่ยสำหรับกระแสสถานีไฟฟ้าย่อยสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์.....66
5.2	ผลการจำแนกชนิดความผิพรอง.....66
5.3	ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิพรอง.....67
5.4	ค่าคงที่เฉลี่ยสำหรับกระแสสถานีไฟฟ้าย่อยสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์.....69
5.5	ผลการจำแนกชนิดความผิพรอง.....70
5.6	ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิพรอง.....70
ก.1	ข้อมูลสถานีไฟฟ้า.....87
ก.2	ข้อมูลสายป้อน87
ก.3	ข้อมูลบัส87
ก.4	ข้อมูลสถานีไฟฟ้า.....87
ก.5	ข้อมูลสายป้อน88
ก.6	ข้อมูลบัส88
ก.7	ข้อมูลสถานีไฟฟ้า.....89
ก.8	ข้อมูลสายป้อน90
ก.9	ข้อมูลบัส90
ก.10	ข้อมูลสถานีไฟฟ้า.....90
ก.11	ข้อมูลสายป้อน91
ก.12	ข้อมูลบัส94
ง.1	ผลการจำแนกชนิดความผิพรองลัดวงจรเฟส a ลงดิน98
ง.2	ผลการจำแนกชนิดความผิพรองลัดวงจรเฟส b ลงดิน98
ง.3	ผลการจำแนกชนิดความผิพรองลัดวงจรเฟส c ลงดิน.....98
ง.4	ผลการจำแนกชนิดความผิพรองลัดวงจรเฟส ab100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ac	101
ง.6 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส bc	102
ง.7 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ab ลงดิน	103
ง.8 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ac ลงดิน	103
ง.9 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส bc ลงดิน	104
ง.10 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส abc	105
ง.11 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส abc ลงดิน	106
จ.1 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส a ลงดิน.....	109
จ.2 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส b ลงดิน.....	110
จ.3 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส c ลงดิน	110
จ.4 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส ab	111
จ.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส ac	112
จ.6 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส bc	113
จ.7 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส ab ลงดิน	114
จ.8 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส ac ลงดิน.....	115
จ.9 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส bc ลงดิน.....	116
จ.10 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส abc	117
จ.11 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพร้อมแบบลัทธิวงจรเฟส abc ลงดิน	118

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญและ GIS สำหรับการค้นหาตำแหน่งผิดปกติ.....5
2.2	ผังงานแสดงการค้นหาตำแหน่งผิดปกติด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญและ GIS7
2.3	การติดตั้งหน่วยระบุตำแหน่งในระบบไฟฟ้า.....10
2.4	ระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติแรงดันจรเฟสเดียวลงดิน.....12
3.1	ตัวเหนี่ยวนำ.....17
3.2	แบบจำลองสถานีไฟฟ้า.....17
3.3	แบบจำลองโหลด.....20
3.4	แบบจำลองความผิดปกติแรงดันจรเฟส a ลงดิน23
3.5	แบบจำลองความผิดปกติแรงดันจรเฟส a และ b24
3.6	แบบจำลองความผิดปกติแรงดันจรเฟส a และ b ลงดิน.....26
3.7	แบบจำลองความผิดปกติแรงดันจรเฟส a b และ c27
3.8	แบบจำลองความผิดปกติแรงดันจรสามเฟสลงดิน29
3.9	แบบจำลองสายป้อนสามเฟสที่เชื่อมต่อระหว่างบัส k และ m31
3.10	แบบจำลองระบบสายป้อนจำหน่ายเมื่อพิจารณาที่บัส k35
3.11	ผังงานของการจำลองผลระบบจำหน่ายในสภาวะชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดปกติ.....39
3.12	ระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว 4 บัส.....39
3.13	ระบบทดสอบ 4 บัสที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม PSIM40
3.14	ระบบทดสอบ 4 บัสที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB.....40
3.15	กระแสผิดปกติระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM.....40
3.16	กระแสผิดปกติระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB40
3.17	กระแสผิดปกติระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัย.....41
3.18	เปรียบเทียบกระแสผิดปกติระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัย และ PSIM41
3.19	เปรียบเทียบกระแสผิดปกติระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัย และ MATLAB41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว 20 บัส.....	42
3.21 ระบบทดสอบ 20 บัสที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB.....	42
3.22 กระแสผิดพลาดระบบ 20 บัสที่จำลองผลจากโปรแกรม MATLAB.....	42
3.23 กระแสผิดพลาดระบบ 20 บัสที่จำลองผลจากโปรแกรมของงานวิจัย	43
3.24 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดระบบ 20 บัส ที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัย และ MATLAB	43
3.25 ระบบจำหน่าย IEEE 34 บัส 24.9 kV 60 Hz.....	44
3.26 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส a ลงดินระหว่างบัส 7-8 ห่างจากสถานี ไฟฟ้า 4.96 km และความต้านทานผิดพลาดเท่ากับ $1.5 \times 10^{-8} \Omega$	44
3.27 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส ab ระหว่างบัส 8-9 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 6.60 km และความต้านทานผิดพลาด $1.8 \times 10^{-5} \Omega$	44
3.28 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส ab ลงดินระหว่างบัส 10-11 ห่างจากสถานี ไฟฟ้า 5.26 km และความต้านทานผิดพลาด $1.5 \times 10^{-5} \Omega$	45
3.29 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส abc ระหว่างบัส 13-14 ห่างจากสถานี ไฟฟ้า 10.19 km และความต้านทานผิดพลาด $4 \times 10^{-6} \Omega$	45
3.30 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส abc ลงดินระหว่างบัส 6-7 ห่างจากสถานี ไฟฟ้า 3.17 km และความต้านทานผิดพลาด $1 \times 10^{-6} \Omega$	45
4.1 ผังงานการคำนวณ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ด้วยการค้นหาแบบตาบู่.....	49
4.2 ระบบจำหน่ายแบบรัศมีและการแปลงวงจรเพื่อคำนวณระยะทางผิดพลาด	51
ก) ระบบจำหน่ายแบบรัศมีดั้งเดิม	51
ข) ระบบที่ถูกลดรูปให้เหลือเพียงวงจรของวิธีที่พิจารณา	51
ค) วงจรอย่างง่ายของวิธีที่พิจารณาเพื่อใช้คำนวณระยะทางผิดพลาด.....	51
4.3 การย้ายกระแสโหนดไปสู่ปลายส่งและปลายรับ	52
4.4 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 1	53
4.5 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 2	53
4.6 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 3	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 4	53
4.8 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 5	53
4.9 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 6	54
4.10 วงจรสมมูลเฟส p สำหรับความผิดปกติของลัดวงจรเฟส p ลงดิน	54
4.11 วงจรสมมูลเฟส p และเฟส q สำหรับความผิดปกติของลัดวงจรเฟส pq	57
4.12 วงจรสมมูลเฟส p และเฟส q สำหรับความผิดปกติของลัดวงจรเฟส pq ลงดิน	59
4.13 วงจรสมมูลสามเฟสสำหรับความผิดปกติของลัดวงจรเฟส abc	59
4.14 วงจรสมมูลสามเฟสสำหรับความผิดปกติของลัดวงจรเฟส abc ลงดิน	61
4.15 ฝั่งงานการระบุวิถีและตำแหน่งผิดปกติด้วยเทคนิคการจำแนกวิถีอย่างง่าย	64
5.1 สายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2	68
ข.1 รูปสัญญาณและเฟสเซอร์ที่คำนวณด้วยผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง	85

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

\bar{i}_f	คือ	กระแสผิวดำรงเฟส a
\bar{v}_{an}	คือ	แรงดันขั้วเฟส a ที่สถานีไฟฟ้า
\bar{i}_{bb}	คือ	กระแสสายป้อนเฟส b
\bar{i}_{cc}	คือ	กระแสสายป้อนเฟส c
\bar{z}_{aa}	คือ	อิมพีแดนซ์ตัวเอง (self impedance) ของสายป้อนเฟส a
\bar{z}_{ab}	คือ	อิมพีแดนซ์ร่วม (mutual impedance) ของสายป้อนเฟส a และเฟส b
\bar{z}_{ac}	คือ	อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส a และเฟส c
r_f	คือ	ความต้านทานผิวดำรง
d	คือ	ระยะทางผิวดำรง
$\bar{v}_{abc,n}$	คือ	เวกเตอร์แรงดันขั้วที่สถานีไฟฟ้า
$\bar{v}_{abc,f}$	คือ	เวกเตอร์แรงดันที่จุดผิวดำรง
\bar{z}_{abc}	คือ	อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อน
t_1	คือ	ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 1 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
t_2	คือ	ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 2 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
t_3	คือ	ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 3 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
t_4	คือ	ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 4 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
u	คือ	ความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ในสายป้อน
d_{12}	คือ	ความยาวของสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2
\bar{I}_{Sa}	คือ	กระแสสถานีไฟฟ้าเฟส a
\bar{I}_{S0}	คือ	กระแสสถานีไฟฟ้าลำดับศูนย์
k	คือ	$(\bar{z}_{10} - \bar{z}_{11})/\bar{z}_{11}$
\bar{A}_1	คือ	\bar{z}_{12}
\bar{z}_{10}	คือ	อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ (zero-sequence impedance) ของสายป้อน
\bar{z}_{11}	คือ	อิมพีแดนซ์ลำดับบวก (positive-sequence impedance) ของสายป้อน
\bar{z}_{12}	คือ	อิมพีแดนซ์ลำดับลบ (negative-sequence impedance) ของสายป้อน
\bar{V}_{Sa}	คือ	แรงดันสถานีไฟฟ้าเฟส a
\bar{D}_1	คือ	\bar{z}_{r2}

\bar{z}_{r2}	คือ	อิมพีแดนซ์ลำดับลบของโหลด
\bar{I}_{S2}	คือ	กระแสสถานีไฟฟ้าลำดับลบ
\bar{B}_1	คือ	$\bar{z}_{S2} + \bar{z}_{l2}$
\bar{z}_{S2}	คือ	อิมพีแดนซ์ลำดับลบของแหล่งจ่ายที่สถานีไฟฟ้า
\bar{S}_{pre}^k	คือ	เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าในสภาวะก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส k
\bar{S}_{nom}^k	คือ	เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ของหม้อแปลงที่บัส k
\bar{S}_{pre}^{sub}	คือ	เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าซึ่งวัดได้ที่สถานีไฟฟ้าในสภาวะก่อนเกิดความผิดปกติ
N	คือ	จำนวนบัสทั้งหมดของระบบ
\bar{I}^{sub}	คือ	เวกเตอร์กระแสที่สถานีไฟฟ้าซึ่งวัดได้ ในสภาวะเกิดความผิดปกติ
\bar{I}^{fault}	คือ	เวกเตอร์กระแสผิดปกติ
\bar{I}^k	คือ	เวกเตอร์กระแสโหลดที่บัส k ในสภาวะเกิดความผิดปกติ
n	คือ	0 สำหรับโหลดกำลังคงที่ 1 สำหรับโหลดกระแสคงที่ 2 สำหรับโหลดอิมพีแดนซ์คงที่
\bar{V}_{abc}^p	คือ	เวกเตอร์ของแรงดันที่บัส p ขณะเกิดความผิดปกติ
d	คือ	ระยะทางผิดปกติซึ่งอ้างอิงกับบัส q
\bar{Z}_{abc}^{pq}	คือ	อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัส p และบัส q โดยมีหน่วยเป็น โอห์มต่อหน่วยความยาว
\bar{I}_{abc}^{pq}	คือ	เวกเตอร์ของกระแสสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัส p และบัส q ขณะเกิดความผิดปกติ
R_f	คือ	เมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
\bar{I}_{abc}^f	คือ	เวกเตอร์ของกระแสผิดปกติ
$f(t)$	คือ	ฟังก์ชันในโดเมนเวลาที่ต้องการหาค่าอินทิกรัล
Δt	คือ	ช่วงเวลาของการอินทิเกรต
p	คือ	เฟส a b หรือ c
$v_{pg}^{(k)}(t)$	คือ	แรงดันกำเนิดของสถานีไฟฟ้าเฟส p
$v_{pn}^{(k)}(t)$	คือ	แรงดันขั้วของบัส k เฟส p
$i_{pg}^{(k)}(t)$	คือ	กระแสที่สถานีไฟฟ้าจ่ายให้บัส k ที่เฟส p
$l_{pg}^{(k)}$	คือ	ตัวเหนี่ยวนำอนุกรมเฟส p
$i_{pd}^{(k)}(t)$	คือ	กระแสโหลดเฟส p

$r_{pd}^{(k)}$	คือ	โหลดตัวต้านทานเฟส p
$\ell_{pd}^{(k)}$	คือ	โหลดตัวเหนี่ยวนำเฟส p
$i_{p\ell}^{(k)}(t)$	คือ	กระแสโหลดตัวเหนี่ยวนำเฟส p
$i_{p\ell}^{(k)}(t)$	คือ	กระแสโหลดตัวเหนี่ยวนำเฟส p
$i_{pf}^{(k)}(t)$	คือ	กระแสผิตพร้อมเฟส p
$r_f^{(k)}$	คือ	ความต้านทานผิตพร้อม
$\mathbf{G}_{abc,f}^{(k)}$	คือ	เมตริกซ์ตัวนำผิตพร้อม
p, q	คือ	เฟส a b หรือ c
$v_{pn}^{(m)}(t)$	คือ	แรงดันชั่วเฟส p ที่บัส m
$i_p^{(k,m)}(t)$	คือ	กระแสสายป้อนเฟส p ที่โหลระหว่างบัส k ไปสู่อบัส m
$r_{pp}^{(k)}$	คือ	ความต้านทานตัวเองของสายป้อน
$r_{pq}^{(k)}$	คือ	ความต้านทานคู่ควบของสายป้อน โดยที่ $p \neq q$
$\ell_{pp}^{(k)}$	คือ	ความเหนี่ยวนำตัวเองของสายป้อน
$\ell_{pq}^{(k)}$	คือ	ความเหนี่ยวนำคู่ควบของสายป้อน โดยที่ $p \neq q$
$v_{lpp}^{(k,m)}(t)$	คือ	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวเองของสายป้อนเฟส p
$v_{lpq}^{(k,m)}(t)$	คือ	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำคู่ควบสายป้อนเฟส $p-q$ และ $p \neq q$
$v_{lp}^{(k,m)}(t)$	คือ	ผลรวมแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวเองและตัวเหนี่ยวนำคู่ควบสำหรับสายป้อนเฟส p
$i_{Tx}^{(k)}(t)$	คือ	ผลรวมของกระแสสายป้อนทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับบัส k
\mathbf{V}	คือ	เวกเตอร์ของแรงดันชั่วที่บัสและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3$
\mathbf{I}	คือ	เวกเตอร์กระแสที่บัสและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3$
\mathbf{G}	คือ	เมตริกซ์ค่าคงที่ของระบบและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3N$
$\bar{i}_d^{(k)}$	คือ	กระแสโหลดบัส k และ $k = 1, 2, 3, \dots, N$
\bar{i}_{Sd}	คือ	กระแสสมมูลของปลายส่ง
\bar{i}_{Rd}	คือ	กระแสสมมูลของปลายรับ
r_f	คือ	ความต้านทานผิตพร้อม
$\bar{i}_{abc,S}^{(k)}$	คือ	เวกเตอร์กระแสโหลดสมมูลปลายส่งบัส k
$\bar{i}_{abc,R}^{(n)}$	คือ	เวกเตอร์กระแสโหลดสมมูลปลายรับบัส n
$\bar{i}_{abc,d}^{(m)}$	คือ	กระแสโหลดบัส m ซึ่งอยู่ระหว่างบัสปลายส่งและบัสปลายรับ
$\bar{z}_{abc}^{(k,m)}$	คือ	อิมพีแดนซ์เมตริกซ์สามเฟสของสายส่งระหว่างบัส k และบัส m

$\bar{z}_{abc}^{(m,n)}$	คือ	อิมพีแดนซ์เมตริกซ์สามเฟสของสายส่งระหว่างบัส m และบัส n
\bar{v}_{pn}	คือ	แรงดันขั้วของสถานีย่อยเฟส p
\bar{i}_p	คือ	กระแสสถานีย่อยเฟส p
\bar{z}_{ps}	คือ	อิมพีแดนซ์สมมูลปลายส่งเฟส p
\bar{i}_{pp}	คือ	กระแสสายป้อนหน้าจุดผัดพ่วงเฟส p
\bar{i}_f	คือ	กระแสผัดพ่วง
\bar{i}_{pr}	คือ	กระแสปลายรับเฟส p
q	คือ	เฟส a b หรือ c
u	คือ	เฟส a b หรือ c
\bar{i}_{qq}	คือ	กระแสสายป้อนเฟส q
\bar{i}_{uu}	คือ	กระแสสายป้อนเฟส u
r_f	คือ	ความต้านทานผัดพ่วง
\bar{z}_{pp}	คือ	อิมพีแดนซ์ตัวเองของสายป้อนเฟส p
\bar{z}_{pq}	คือ	อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส p และ q โดยที่ $p \neq q$
\bar{z}_{pu}	คือ	อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส p และ u โดยที่ $p \neq u$
$rsse_v$	คือ	ค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างแรงดันยกกำลังสอง
v_{act}	คือ	แรงดันขั้วที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผัดพ่วง ซึ่งบันทึกขณะระบบเกิดความผัดพ่วงจริง
v_{sim}	คือ	แรงดันขั้วที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผัดพ่วง ซึ่งบันทึกขณะจำลองผลด้วยตัวต้านทานผัดพ่วงและระยะทางผัดพ่วงของวิธีที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดความผัดพ่วง
k	คือ	ดัชนีตัวอย่างของกระแสและแรงดัน
n	คือ	จำนวนตัวอย่างทั้งหมดของกระแสและแรงดัน
$rsse_i$	คือ	ค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างกระแสยกกำลังสอง
i_{act}	คือ	กระแสที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผัดพ่วง ซึ่งบันทึกขณะเกิดความผัดพ่วงจริง
i_{sim}	คือ	กระแสที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผัดพ่วง ซึ่งบันทึกขณะจำลองผลด้วยตัวต้านทานผัดพ่วงและระยะทางผัดพ่วงของวิธีที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดความผัดพ่วง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายนั้น สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและมีความปลอดภัยมากที่สุด ถ้าระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ อุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าจะทำงานตัดส่วนที่ผิดปกติออกจากระบบ ทำให้ไฟฟ้าดับและเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าก็จะถูกตัดขาด ปัญหาสำคัญในปัจจุบันนี้คือ เมื่อไฟฟ้าดับเพราะระบบไฟฟ้าบางจุดเกิดความผิดปกติ จะมีวิธีการใดในการวิเคราะห์หาว่าความผิดปกติเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดของระบบ เพื่อจะได้ทำการแก้ไขให้ระบบไฟฟ้ากลับคืนสู่สภาพการทำงานได้ตามปกติภายในระยะเวลาสั้นที่สุด ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการหาดำแหน่งผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ระบบส่งจ่ายและระบบจำหน่ายมีความแตกต่างกันในหลายๆ ด้าน เช่น ลักษณะทางกายภาพ ขนาดแรงดันใช้งาน การจัดการความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ความน่าจะเป็นและสาเหตุของการเกิดความผิดปกติ เป็นต้น ระเบียบวิธีในการค้นหาตำแหน่งผิดปกติสำหรับทั้งสองระบบจึงไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกันได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่าย และเนื่องจากการทดลองให้เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าจริงไม่สามารถกระทำได้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการจำลองสถานการณ์ผิดปกติในระบบไฟฟ้าและแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นมีความใกล้เคียงกับระบบจำหน่ายจริงมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลที่คัดแปลงมาจากข้อมูลของระบบจำหน่าย IEEE 34 บัส และข้อมูลจริงของสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

ในสภาวะปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญต่อประเทศไทยในทุกๆ ด้าน และถ้ากล่าวถึงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า น่าจะมีความหมายครอบคลุมไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด เมื่อไฟฟ้าดับเพราะระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ สถานประกอบการทุกประเภทที่ต้องใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่สามารถดำเนินกิจการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าช่วงเวลาที่ไฟฟ้าดับคือช่วงเวลาแห่งการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ในบางกลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองผลิตกำลังงานไฟฟ้าใช้เองเมื่อไฟฟ้าดับ ทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอีกโดยไม่จำเป็น ดังนั้น ระเบียบวิธีการ

ค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าจึงควรมีการพัฒนา และวิจัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อความรวดเร็วในการแก้ไขระบบไฟฟ้าที่เกิดความผิดพลาดให้กลับคืนสู่สภาพปกติโดยเร็วที่สุด อันจะนำไปสู่การลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการนำการค้นหาแบบตาบอด (Tabu search) มาประยุกต์ใช้ในการจำแนกชนิดความผิดพลาดในระบบจำหน่าย
- 2) เพื่อพัฒนาเทคนิคการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่าย
- 3) เพื่อศึกษาการสร้างฐานข้อมูลสำหรับการค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายแบบนอกสาย (off-line)
- 4) เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ในการค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายที่มีประสิทธิภาพได้

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ศึกษาการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายด้วยการค้นหาแบบตาบอดและเทคนิคการจำแนกวิธีอย่างง่าย (simplified path classification) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับกระแสและแรงดันที่สถานีไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพลาดเท่านั้น การวิจัยจะมีการศึกษาภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

- 1) ระบบไฟฟ้ามีโครงร่างเป็นแบบรัศมี และสายป้อนเป็นตัวนำชนิดเดียวกันทั้งหมด
- 2) อิมพีแดนซ์ของจุดที่เกิดความผิดพลาดมีค่าเป็นความต้านทานเท่านั้น
- 3) ในช่วงเวลาที่วิเคราะห์หาตำแหน่งความผิดพลาด โหลดมีค่าคงที่
- 4) ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองผลเป็นแบบสามเฟสสมดุล
- 5) ไม่พิจารณามุมเลื่อนเฟสของหม้อแปลง
- 6) ไม่พิจารณาผลของฮาร์โมนิกส์และความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ความอิ่มตัวแกนเหล็กของหม้อแปลง เป็นต้น
- 7) ไม่พิจารณาผลกระทบจากการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน
- 8) ไม่พิจารณาตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ
- 9) ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิและปรากฏการณ์ทางผิว (skin effect) ที่มีต่อความต้านทานและความเหนี่ยวนำของสายป้อน
- 10) แบบจำลองของสายป้อนอ้างอิงจากแบบจำลองสำหรับสายส่งระยะสั้น

- 11) ศึกษาเฉพาะกรณีในระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติเพียงจุดเดียวเท่านั้น
- 12) โปรแกรมระบุตำแหน่งผิดปกติเขียนด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พัฒนาโปรแกรมค้นหาตำแหน่งผิดปกติสำหรับระบบจำหน่ายเพื่อการประยุกต์ใช้งานแบบนอกสาย
- 2) ปรับปรุงความถูกต้องของโปรแกรมด้วยการทดสอบกับระบบไฟฟ้าที่สร้างแบบจำลองขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถใช้ข้อมูลซึ่งบันทึกได้ที่สถานีไฟฟ้าจำแนกชนิดและค้นหาตำแหน่งผิดปกติในระบบจำหน่ายได้
- 2) สามารถประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบตามูเพื่อแก้ปัญหาการจำแนกชนิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้
- 3) ได้ต้นแบบโปรแกรมค้นหาตำแหน่งผิดปกติเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในอนาคตได้

1.6 รูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 6 บท และมีภาคผนวกทั้งสิ้น 9 ส่วน โดยมีรายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 เป็นการทบทวนงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งผิดปกติในระบบจำหน่ายด้วยระเบียบวิธีต่าง ๆ และข้อจำกัดของงานวิจัยเหล่านั้นสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบจำหน่าย

บทที่ 3 นำเสนอการสร้างแบบจำลองในสถานะชั่วคราวสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบจำหน่าย แบบจำลองที่กล่าวถึงประกอบไปด้วย สถานีไฟฟ้า โหลด ความผิดปกติ สายป้อนจำหน่าย และระบบไฟฟ้าโดยรวม เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องแบบจำลองของงานวิจัย ได้มีการกล่าวถึงผลการทดสอบ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจากแบบจำลองของงานวิจัยเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และ PSIM Demo Version 6.1 แบบจำลองสถานะชั่วคราวที่

พัฒนาขึ้นนี้จะนำมาใช้เป็นตัวจำลองความผิดปกติ (fault simulator) เนื่องจากการทดสอบการจำแนกชนิดและการระบุตำแหน่งผิดปกติไม่สามารถทดสอบกับระบบจริงได้ ดังนั้นการทดสอบด้วยตัวจำลองผิดปกติจึงเป็นสิ่งจำเป็น

บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการจำแนกชนิดความผิดปกติโดยการประยุกต์ใช้การค้นหาแบบตาม การลดรูประบบไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของวิถีย่อยและวงจรรอบเดียวเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณระยะทางผิดปกติ การคำนวณระยะทางผิดปกติของวิถีย่อยสำหรับความผิดปกติ 11 ชนิด และการระบุวิถีที่เกิดความผิดปกติด้วยเทคนิคการจำแนกวิถีย่างง่าย

บทที่ 5 เป็นการแสดงผลการทดสอบการจำแนกชนิดความผิดปกติและการระบุตำแหน่งผิดปกติด้วยระเบียบวิธีของงานวิจัย การวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ

บทที่ 6 เป็นการสรุปผลการทดสอบทั้งหมดของงานวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ภาคผนวกประกอบด้วยเนื้อหา 4 ส่วน ได้แก่ ภาคผนวก ก. กล่าวถึงรายละเอียดโดยย่อของการค้นหาแบบตาม ภาคผนวก ข. กล่าวถึงระเบียบวิธีการคำนวณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Fourier transform) ภาคผนวก ค. เป็นการแสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่นำมาใช้ทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ ภาคผนวก ง. เป็นการแสดงตารางผลการคำนวณค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส ภาคผนวก จ. เป็นการแสดงตารางผลการค้นหาตำแหน่งผิดปกติสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส ภาคผนวก ฉ. เป็นการแสดงตารางผลการคำนวณค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมา แห่งที่ 2 ภาคผนวก ช. เป็นการแสดงตารางผลการค้นหาตำแหน่งผิดปกติสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมา แห่งที่ 2 ภาคผนวก ซ. แสดงโปรแกรม MATLAB ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย และภาคผนวก ฅ. เป็นการแสดงบทความของงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

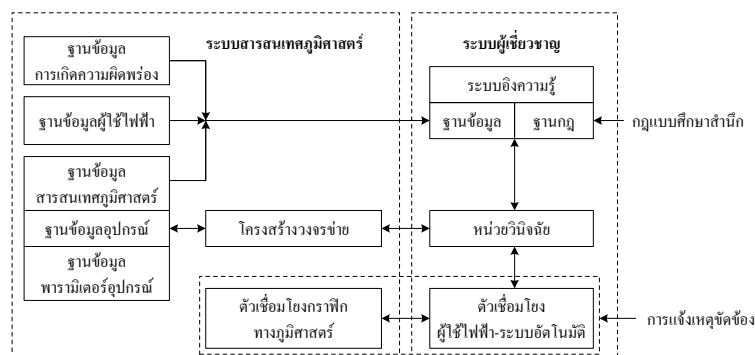
บทนี้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาตำแหน่งผิพร่องในระบบจำหน่ายรายละเอียดของระเบียบวิธีต่างๆ ที่เคยถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการค้นหาตำแหน่งผิพร่องในระบบจำหน่าย และข้อควรพิจารณาสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบไฟฟ้าจริง

2.2 การค้นหาตำแหน่งผิพร่องในระบบจำหน่าย

เทคนิคการค้นหาตำแหน่งผิพร่องในระบบจำหน่ายที่มีการวิจัยและพัฒนาจากอดีตถึงปัจจุบัน สามารถทบทวนและสรุปรายละเอียดสำหรับแต่ละระเบียบวิธีได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system)

Hsu, Lu, Chien, Lui, Lin, Yu and Kuo (1990) นำเสนอระเบียบวิธีการค้นหาตำแหน่งผิพร่องในระบบจำหน่ายที่เกิดระหว่างสายป้อนปฐมภูมิและผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ ในขณะที่ Xuejian and Tianlei (1998) นำเสนอระเบียบวิธีการค้นหาตำแหน่งผิพร่องที่เกิดระหว่างสายป้อนปฐมภูมิและสายป้อนทุติยภูมิโดยการ ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geo-informatic system, GIS) ร่วมกับระบบผู้เชี่ยวชาญ องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการค้นหาตำแหน่งผิพร่องแสดงดังรูปที่ 2.1

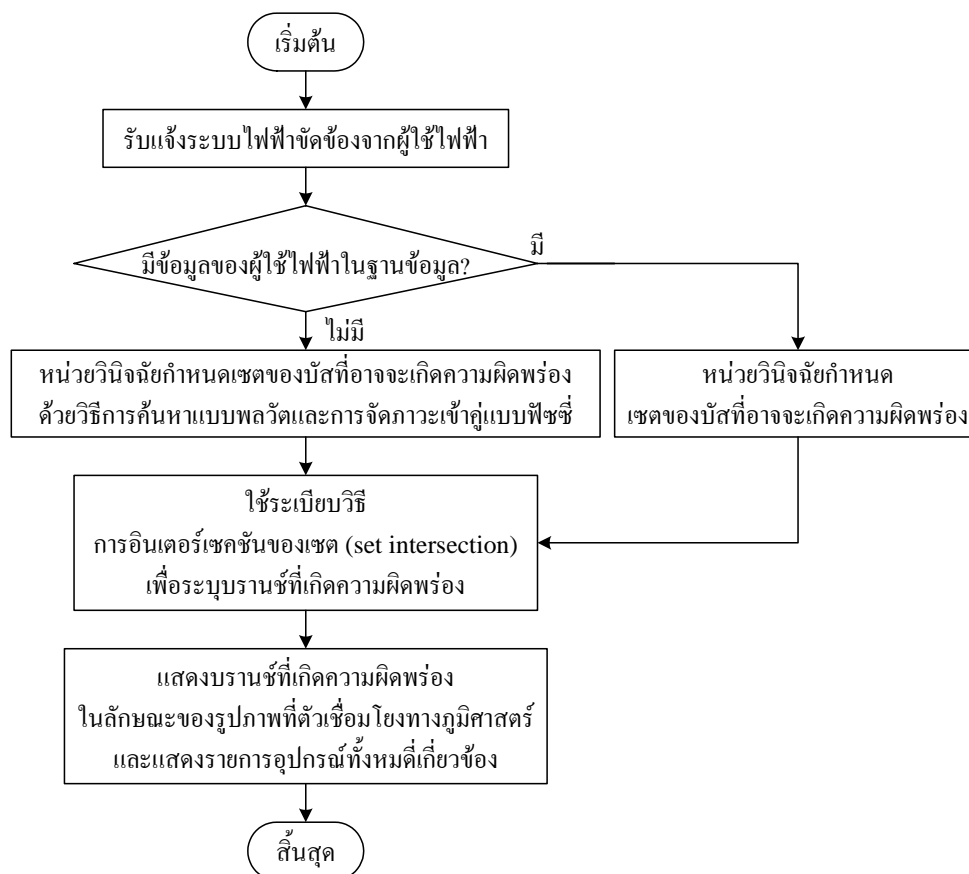


รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญและ GIS สำหรับการค้นหาตำแหน่งผิพร่อง

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีอยู่ 2 ส่วนคือ ตัวเชื่อมโยงกราฟิกทางภูมิศาสตร์ (GIS graphic interface) และฐานข้อมูล (database) องค์ประกอบทั้งหมดของระบบจะถูกแสดงที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในลักษณะของแผนที่ภูมิศาสตร์ (geographic map) ที่มีหลายชั้นวางซ้อนทับกัน แต่ละชั้นจะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบ เช่น ตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ โครงสร้างของวงจรข่าย (network topology) เส้นทางถนน สถานที่ที่สำคัญ เป็นต้น ฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบไปด้วยข้อมูลการเกิดความผิดปกติ ข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้า และข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งในระบบ สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญมีองค์ประกอบดังนี้คือ ระบบอิงความรู้ (knowledge base system) หน่วยวินิจฉัย (inference engine) และตัวเชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับระบบอัตโนมัติ (man-machine interface) รายละเอียดการทำงานของระบบค้นหาตำแหน่งผิดปกติที่ประกอบไปด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแสดงได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ตัวเชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับระบบอัตโนมัติรับแจ้งเหตุระบบไฟฟ้าขัดข้องจากผู้ใช้ไฟฟ้าและบันทึกข้อมูล
- 2) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ค้นหารหัสและที่อยู่ของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อระบุส่วนของสายป้อนที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดความผิดปกติโดยใช้ระเบียบวิธีการค้นหาแบบย้อนรอย (back tracking) ร่วมกับการใช้ฐานข้อมูลของระบบ พร้อมทั้งแสดงส่วนของสายป้อนที่คาดว่าจะเกิดความผิดปกติที่ตัวเชื่อมโยงทางภูมิศาสตร์ในลักษณะของภาพและสีที่เห็นได้อย่างชัดเจน
- 3) หน่วยวินิจฉัยของระบบผู้เชี่ยวชาญคำนวณหาเซตของบัสทั้งหมดที่อาจเกิดความผิดปกติโดยประยุกต์ใช้กฎแบบศึกษาสำนึก (heuristic rule) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีของการค้นหาแบบพลวัตและการจัดภาวะเข้าคู่แบบฟัซซี่ (fuzzy matching) กฎแบบศึกษาสำนึกจะถูกสร้างและเก็บบันทึกไว้ในระบบอิงความรู้ในรูปแบบของฐานกฎ (rule base) และฐานข้อมูล
- 4) หน่วยวินิจฉัยประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีของการดำเนินการอินเตอร์เซกชันของเซต (set intersection) เพื่อค้นหาส่วนของสายป้อนที่เกิดความผิดปกติ หากการค้นหาไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ผู้ปฏิบัติงานจะต้องอาศัยข้อมูลการเกิดความผิดปกติที่ผ่านมาในอดีต ข้อมูลที่ได้รับแจ้งจากผู้ใช้ไฟฟ้า ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในระบบและโครงสร้างของวงจรข่ายล่าสุดที่แสดงบนตัวเชื่อมโยงทางภูมิศาสตร์ เพื่อระบุส่วนของสายป้อนที่เกิดความผิดปกติให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- 5) แสดงส่วนของสายป้อนที่เกิดความผิดปกติในลักษณะของรูปภาพและสีที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนที่ตัวเชื่อมโยงทางภูมิศาสตร์ และแสดงรายการอุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งในส่วน of สายป้อนที่เกิดความผิดปกติ

ขั้นตอนการค้นหาคำแหน่งผิดพลาดโดยระบบผู้เชี่ยวชาญและ GIS สามารถแสดงเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผังงานแสดงการค้นหาคำแหน่งผิดพลาดด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญและ GIS

2.2.2 เทคนิคฟัซซี่เซต (fuzzy set)

Zhong and Liu (1996) นำเสนอระเบียบวิธีการค้นหาคำแหน่งผิดพลาดด้วยหลักการของฟัซซี่เซต โดยใช้ข้อมูลของระบบ SCADA (supervisory control and data acquisition) ซึ่งประกอบไปด้วยสถานะของสวิตช์ก่อนและขณะเกิดความผิดพลาด สัญญาณผิดพลาดจากตัวตรวจรู้ผิดพลาด (fault sensor) เป็นต้น การค้นหาคำแหน่งผิดพลาดตามระเบียบวิธีของ Zhong et al. มีขั้นตอนดังนี้คือ

- 1) ค้นหาบริเวณที่ระบบเกิดความผิดพลาด
 - ก) จากข้อมูลของระบบในสภาวะก่อนและขณะเกิดความผิดพลาด ทำการจำแนกชนิดความผิดพลาด

ข) ค้นหาบริเวณที่เกิดความผิดปกติ โดยบริเวณดังกล่าวจะอยู่ระหว่างตำแหน่งของตัวตรวจรู้ตัวแรกที่ไม่ส่งสัญญาณผิดปกติ และตัวตรวจรู้ตัวสุดท้ายที่ส่งสัญญาณผิดปกติ

ค) ระบุบริเวณที่เกิดความผิดปกติให้แคบลงกว่าเดิม โดยการพิจารณาจากชนิดของความผิดปกติเปรียบเทียบกับลักษณะของสายป้อน เช่น ความผิดปกติแบบลัดวงจรสามเฟสย่อมจะไม่เกิดกับสายป้อนสองเฟสและเฟสเดียว เป็นต้น และพิจารณาข้อมูลในสภาวะก่อนและขณะเกิดความผิดปกติที่ได้มาจากระบบ SCADA เช่น สถานะของสวิตช์ในสายป้อนบริเวณที่เกิดความผิดปกติจะเปลี่ยนจากปิดเป็นเปิด เป็นต้น

2) ค้นหาส่วนของสายป้อนที่เกิดความผิดปกติ

ก) สร้างฟังก์ชันสมาชิก (membership function) สำหรับกระแสผิดปกติที่วัดได้โดยตัวตรวจรู้ และฟังก์ชันสมาชิกสำหรับกระแสผิดปกติที่คำนวณได้ด้วยโปรแกรม

ข) สร้างฟังก์ชันสมาชิกสำหรับสภาวะนอกสาย

ค) สร้างฟังก์ชันสมาชิกสำหรับสายป้อนในบริเวณที่เกิดความผิดปกติ

ง) จัดลำดับความผิดปกติของสายป้อนแต่ละส่วนโดยการพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกที่หาได้จากฟังก์ชันสมาชิกในข้อ ค)

2.2.3 เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณจากอุปกรณ์บันทึกการรบกวน

Zhu, Lubkeman and Girgis (1997) นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งผิดปกติบนสายป้อนของระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์บันทึกการรบกวน (disturbance recording device) ในรูปของสัญญาณกระแสและแรงดันที่สถานีไฟฟ้า และการวิเคราะห์เส้นกราฟกระแสและเวลา (time-current curve) ของอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งในระบบวิธีการดังกล่าวนี้สามารถระบุตำแหน่งผิดปกติครอบคลุมไปถึงการเกิดความผิดปกติแบบชั่วคราวที่ทำให้ฟิวส์ไม่หลอมละลาย และมีการประยุกต์ใช้หลักทฤษฎีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับความไม่แน่นอนของแบบจำลองและการคำนวณเฟสเซอร์ ซึ่งทำให้สามารถระบุตำแหน่งผิดปกติที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สมมติว่าระบบเกิดความผิดปกติแบบลัดวงจรเฟส a ลงดิน การค้นหาตำแหน่งผิดปกติสำหรับงานวิจัยนี้สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1) แบ่งระบบไฟฟ้าออกเป็นวิธีย่อย และลดรูปวงจรสำหรับแต่ละวิธีย่อยให้อยู่ในรูปของวงจรอย่างง่ายเพื่อใช้ในการคำนวณระยะทางผิดปกติ (fault distance)

2) สำหรับแต่ละวิธีย่อย สมมติค่ากระแสผิดปกติจากสมการที่ (2-1)

$$\bar{i}_f = \bar{i}_{aa} - \bar{i}_{aa,pre} \quad (2-1)$$

เมื่อ \bar{i}_f คือ กระแสผิดปกติเฟส a

\bar{i}_{aa} คือ กระแสสายป้อนเฟส a

$\bar{i}_{aa,pre}$ คือ กระแสสายป้อนเฟส a ที่ตำแหน่งหลังจุดผิดปกติและในสภาวะก่อนเกิดความผิดปกติ

3) แจกแจงสมการที่ (2-2) ออกเป็นพจน์ของส่วนจริงและส่วนจินตภาพ แก้สมการหาค่า d และ r_f

$$\bar{v}_{an} = d(\bar{z}_{aa}\bar{i}_{aa} + \bar{z}_{ab}\bar{i}_{bb} + \bar{z}_{ac}\bar{i}_{cc}) + r_f\bar{i}_f \quad (2-2)$$

เมื่อ \bar{v}_{an} คือ แรงดันขั้วเฟส a ที่สถานีไฟฟ้า

\bar{i}_{bb} คือ กระแสสายป้อนเฟส b

\bar{i}_{cc} คือ กระแสสายป้อนเฟส c

\bar{z}_{aa} คือ อิมพีแดนซ์ตัวเอง (self impedance) ของสายป้อนเฟส a

\bar{z}_{ab} คือ อิมพีแดนซ์ร่วม (mutual impedance) ของสายป้อนเฟส a และเฟส b

\bar{z}_{ac} คือ อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส a และเฟส c

r_f คือ ความต้านทานผิดปกติ

d คือ ระยะทางผิดปกติ

4) คำนวณหาแรงดันของจุดผิดปกติด้วยสมการที่ (2-3)

$$\bar{v}_{abc,f} = \bar{v}_{abc,n} - d\bar{z}_{abc}\bar{i}_{abc} \quad (2-3)$$

เมื่อ $\bar{v}_{abc,n}$ คือ เวกเตอร์แรงดันขั้วที่สถานีไฟฟ้า

$\bar{v}_{abc,f}$ คือ เวกเตอร์แรงดันที่จุดผิดปกติ

\bar{z}_{abc} คือ อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อน

5) คำนวณกระแสสายป้อนหลังจุดผิดปกติด้วยระเบียบวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบแบบรัศมี

6) คำนวณกระแสผิดปกติใหม่ด้วยสมการที่ (2-1) และคำนวณหาค่า d และ r_f ตามวิธีการในข้อ 3)

7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) จนได้ค่าผิดพลาดของ d อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

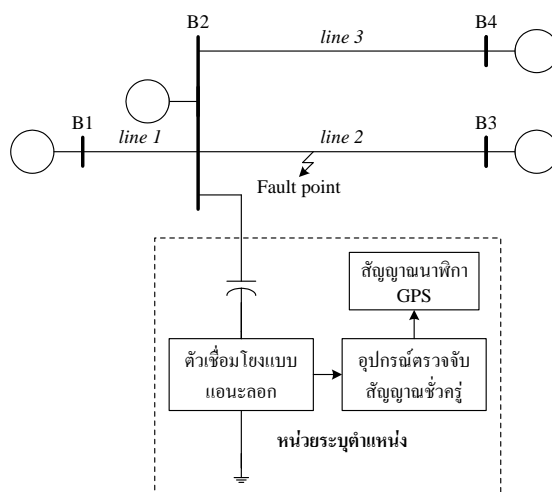
8) คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางผิดปกติ

9) คำนวณขอบเขตค่าผิดพลาดของระยะทางผิดปกติ

10) จากระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้ในแต่ละวิธีย่อย ทำการ ค้นหาตำแหน่งจริงของความผิดพลาดโดยการนำเอาระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาด ของแต่ละวิธีไปจำลองผลการเกิดความผิดพลาด พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ส่งผล กระทบต่อรูปสัญญาณของกระแสและแรงดัน และความใกล้เคียงของรูปสัญญาณที่ได้จากการ จำลองผลเมื่อเปรียบเทียบกับรูปสัญญาณจริงที่บันทึกได้ขณะเกิดความผิดพลาด จะทำให้สามารถ ระบุตำแหน่งของระบบที่เกิดความผิดพลาดได้ในที่สุด

2.2.4 เทคนิคคลื่นเคลื่อนที่ (travelling wave)

Bo, Weller, Jiang and Yang (1998) นำเสนอวิธีการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเคลื่อนที่ ในขณะที่ Thomas, Carvalho and Pereira (2003) นำเสนอวิธีการที่คล้ายคลึงกัน แตกต่างกันเพียงวิธีการของ Thomas et al. มีการประยุกต์ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (global positioning system, GPS) ระบบค้นหาตำแหน่งผิดพลาดจะประกอบไปด้วยหน่วยระบุตำแหน่งซึ่งติดตั้งอยู่ตามบัสต่างๆ องค์ประกอบของ หน่วยระบุตำแหน่งมีดังนี้คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณชั่วคราว ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ ตัวเชื่อมโยงแบบ แอนะลอกและสัญญาณนาฬิกาของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ตัวอย่างของระบบไฟฟ้าที่มีการ ติดตั้งหน่วยระบุตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การติดตั้งหน่วยระบุตำแหน่งในระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าในรูปที่ 2.3 จะมีการติดตั้งหน่วยระบุตำแหน่งที่บัส B1 B2 B3 และ B4 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณชั่วคราวทำหน้าที่ตรวจจับและบันทึกสัญญาณแรงดันชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดพลาด

สำหรับสัญญาณนาฬิกาของ GPS มีหน้าที่ซึ่งโครโมโนสัณฐานเวลาของหน่วยระบุตำแหน่งแต่ละตัว ระเบียบวิธีการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดโดยการให้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกสามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ สมมติว่าระบบไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดแบบลัดวงจรเฟส A ลงดิน หน่วยระบุตำแหน่งที่บัสต่างๆ ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่ซึ่งเคลื่อนที่มาจากตำแหน่งผิดพลาดด้วยระยะเวลาเวลาที่แตกต่างกัน พิจารณาการเปรียบเทียบเชิงตรรกะในสมการที่ (2-4)

$$\text{ถ้า } t_3 > t_4 > t_2 > t_1 = \text{จริง} \quad (2-4)$$

เมื่อ t_1 คือ ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 1 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
 t_2 คือ ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 2 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
 t_3 คือ ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 3 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่
 t_4 คือ ระยะเวลาเวลาที่หน่วยระบุตำแหน่งตัวที่ 4 ได้รับสัญญาณคลื่นเคลื่อนที่

จากการพิจารณาสมการที่ (2-4) สามารถสรุปได้ว่า ความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ส่วนของสายป้อนระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2 และความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากบัสที่ 2 ด้วยระยะทางที่คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

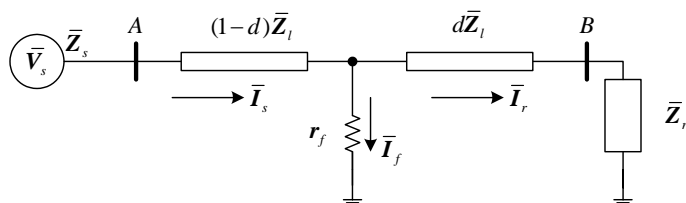
$$d = \frac{1}{2} \{ (t_2 - t_1)u + d_{12} \} \quad (2-5)$$

เมื่อ d คือ ระยะทางผิดพลาดเมื่ออ้างอิงกับบัสที่ 2
 u คือ ความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ในสายป้อน
 d_{12} คือ ความยาวของสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2

2.2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ห้วงจรโดยตรง

Choi, Lee, Lee and Jin (2004) นำเสนอวิธีการคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ห้วงจรโดยตรง ผลจากการวิเคราะห์ระบบจะได้ระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดเป็นตัวแปรของสมการ และสามารถหาผลเฉลยได้ด้วยระเบียบวิธีการหาผลเฉลยสำหรับสมการเชิงเส้น วิธีการดังกล่าวนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุลและไม่สมดุล และระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยวิถีเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปกำหนดให้สายป้อนมีความยาวทั้งหมด 1 pu สมมติว่าระบบเกิดความผิดพลาดลัดวงจรเฟส A ลงดินที่ตำแหน่งซึ่งเป็นระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้าเท่ากับ $1-d$ pu การคำนวณระยะทางผิดพลาด

สำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟสสมมูลที่อ้างอิงตามระเบียบวิธีขององค์ประกอบสมมาตรสามารถคำนวณหาได้โดยการหาผลเฉลยของสมการที่ (2-6)



รูปที่ 2.4 ระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน

$$d^2 \left(a_r - \frac{d_r}{d_i} a_i \right) + d \left(b_r - \frac{d_r}{d_i} b_i \right) + c_r - \frac{d_r}{d_i} c_i = 0 \quad (2-6)$$

เมื่อ d คือ ระยะทางที่อ้างอิงจากตำแหน่งผิดปกติไปยังโหนดปลายสายป้อน a_r และ a_i คำนวณจากสมการที่ (2-7)

$$a_r + ja_i = (\bar{I}_{Sa} + k\bar{I}_{S0}) \bar{z}_{l1} \bar{A}_1 \quad (2-7)$$

เมื่อ \bar{I}_{Sa} คือ กระแสสถานีไฟฟ้าเฟส a
 \bar{I}_{S0} คือ กระแสสถานีไฟฟ้าลำดับศูนย์
 k คือ $(\bar{z}_{l0} - \bar{z}_{l1}) / \bar{z}_{l1}$
 \bar{A}_1 คือ \bar{z}_{l2}
 \bar{z}_{l0} คือ อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ (zero-sequence impedance) ของสายป้อน
 \bar{z}_{l1} คือ อิมพีแดนซ์ลำดับบวก (positive-sequence impedance) ของสายป้อน
 \bar{z}_{l2} คือ อิมพีแดนซ์ลำดับลบ (negative-sequence impedance) ของสายป้อน
 b_r และ b_i คำนวณจากสมการที่ (2-8)

$$b_r + jb_i = (\bar{I}_{Sa} + k\bar{I}_{S0}) \bar{z}_{l1} \bar{D}_1 + \{ \bar{V}_{Sa} - (\bar{I}_{Sa} + k\bar{I}_{S0}) \bar{z}_{l1} \} \bar{A}_1 \quad (2-8)$$

เมื่อ \bar{V}_{Sa} คือ แรงดันสถานีไฟฟ้าเฟส a
 \bar{D}_1 คือ \bar{z}_{r2}

\bar{z}_{r2} คือ อิมพีแดนซ์ลำดับลบของโหลด
 c_r และ c_i คำนวณจากสมการที่ (2-9)

$$c_r + jc_i = \{\bar{V}_{Sa} - (\bar{I}_{Sa} + k\bar{I}_{S0})\bar{z}_{l1}\}\bar{D}_1 \quad (2-9)$$

d_r และ d_i คำนวณจากสมการที่ (2-10)

$$d_r + jd_i = 3(\bar{B}_1 + \bar{D}_1)\bar{I}_{S2} \quad (2-10)$$

เมื่อ \bar{I}_{S2} คือ กระแสสถานีไฟฟ้าลำดับลบ

\bar{B}_1 คือ $\bar{z}_{S2} + \bar{z}_{l2}$

\bar{z}_{S2} คือ อิมพีแดนซ์ลำดับลบของแหล่งจ่ายที่สถานีไฟฟ้า

ระยะทางผิดปรong สำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุลและไม่สมดุลที่วิเคราะห์จากหลักการขององค์ประกอบเฟส (phase components) สามารถคำนวณจากการหาผลเฉลยของสมการที่ (2-6) โดยที่ a_r และ a_i คำนวณจากสมการที่ (2-11)

$$a_r + ja_i = \bar{C}_1\bar{z}_{laa} \quad (2-11)$$

เมื่อ \bar{C}_1 คือ $\bar{z}_{laa}\bar{I}_{Sa} + \bar{z}_{lab}\bar{I}_{Sb} + \bar{z}_{lac}\bar{I}_{Sc}$

b_r และ b_i คำนวณจากสมการที่ (2-12)

$$b_r + jb_i = \bar{V}_{Sa}\bar{z}_{laa} - \bar{C}_1\bar{z}_{laa}\bar{C}_1\bar{z}_{raa} \quad (2-12)$$

c_r และ c_i คำนวณจากสมการที่ (2-13)

$$c_r + jc_i = \bar{z}_{raa}(\bar{V}_{Sa} - \bar{C}_1) \quad (2-13)$$

d_r และ d_i คำนวณจากสมการที่ (2-14)

$$d_r + jd_i = \bar{V}_{Sa} - \bar{C}_1 - \bar{C}_2 \quad (2-14)$$

เมื่อ \bar{C}_2 คือ $\bar{z}_{raa}\bar{I}_{Sa} + \bar{z}_{rab}\bar{I}_{Sb} + \bar{z}_{rac}\bar{I}_{Sc}$
กำหนดให้อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อนคือ

$$\bar{Z}_l = \begin{bmatrix} \bar{z}_{laa} & \bar{z}_{lab} & \bar{z}_{lac} \\ \bar{z}_{lba} & \bar{z}_{lbb} & \bar{z}_{lbc} \\ \bar{z}_{lca} & \bar{z}_{lcb} & \bar{z}_{lcc} \end{bmatrix} \quad (2-15)$$

อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของโหลดคือ

$$\bar{Z}_r = \begin{bmatrix} \bar{z}_{raa} & \bar{z}_{rab} & \bar{z}_{rac} \\ \bar{z}_{rba} & \bar{z}_{rbb} & \bar{z}_{rbc} \\ \bar{z}_{rca} & \bar{z}_{rcb} & \bar{z}_{rcc} \end{bmatrix} \quad (2-16)$$

2.2.6 เทคนิคการใช้ระบบค้นหาตำแหน่งผิดพลาดอัตโนมัติ

Senger, Manassero, Goldemberg and Pellini (2005) นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดบนสายป้อนปฐมภูมิของระบบจำหน่ายด้วยการติดตั้งระบบค้นหาตำแหน่งผิดพลาดอัตโนมัติ ระบบดังกล่าวนี้วิเคราะห์หาตำแหน่งผิดพลาดโดยการใช้ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฉลาด (intelligent electronic devices, IEDs) ที่ติดตั้งในสถานีไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้อาจจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์บันทึกสัญญาณรบกวน รีเลย์ อุปกรณ์เฟ้าเตือน หรืออุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพของกำลังไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อระบบเกิดความผิดพลาดที่สายป้อนซึ่งเชื่อมต่อระหว่างบัส p และ q ใดๆ และศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฉลาด กระบวนการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดจะดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดกำลังไฟฟ้าในสภาวะก่อนเกิดความผิดพลาดด้วยสมการที่ (2-17)

$$\bar{S}_{pre}^k = \frac{\bar{S}_{nom}^k}{\sum_{k=1}^N \bar{S}_{nom}^k} \bar{S}_{pre}^{sub} \quad (2-17)$$

เมื่อ \bar{S}_{pre}^k คือ เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าในสภาวะก่อนเกิดความผิดพลาดที่บัส k
 \bar{S}_{nom}^k คือ เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ของหม้อแปลงที่บัส k
 \bar{S}_{pre}^{sub} คือ เวกเตอร์กำลังไฟฟ้าซึ่งวัดได้ที่สถานีไฟฟ้าในสภาวะก่อนเกิดความผิดพลาด
 N คือ จำนวนบัสทั้งหมดของระบบ

2) จำนวนแรงดันและกระแสในสภาวะก่อนเกิดความผิดปกติด้วยระเบียบวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

3) จำนวนกระแสผิดปกติด้วยสมการที่ (2-18)

$$\bar{I}^{fault} = \bar{I}^{sub} - \sum_{k=1}^N \bar{I}^k \quad (2-18)$$

เมื่อ \bar{I}^{sub} คือ เวกเตอร์กระแสที่สถานีไฟฟ้าซึ่งวัดได้ ในสภาวะเกิดความผิดปกติ

\bar{I}^{fault} คือ เวกเตอร์กระแสผิดปกติ

\bar{I}^k คือ เวกเตอร์กระแสไหลที่บัส k ในสภาวะเกิดความผิดปกติ

4) จำนวนแรงดันและกระแสในสภาวะผิดปกติด้วยระเบียบวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้เวกเตอร์กระแสไหลสำหรับแต่ละบัสที่คำนวณจากสมการที่ (2-19)

$$\bar{I}^k = \left(\bar{S}_{pre}^k \right)^* \frac{|\bar{V}^k|^{n-2}}{|\bar{V}_{pre}^k|^n} \bar{V}^k \quad (2-19)$$

เมื่อ n คือ 0 สำหรับโหลดกำลังคงที่

1 สำหรับโหลดกระแสคงที่

2 สำหรับโหลดอิมพีแดนซ์คงที่

\bar{V}^k คือ เวกเตอร์แรงดันที่บัส k ขณะเกิดความผิดปกติ

5) จำนวนระยะทางผิดปกติที่อ้างอิงกับบัส p และความต้านทานผิดปกติ ด้วยการแจกแจงสมการที่ (2-20) ออกเป็นพจน์จริงและพจน์จินตภาพแล้วหาผลเฉลยของสมการ

$$\bar{V}_{abc}^p = d\bar{Z}_{abc}^{pq} \bar{I}_{abc}^{pq} + \mathbf{R}_f \bar{I}_{abc}^f \quad (2-20)$$

เมื่อ \bar{V}_{abc}^p คือ เวกเตอร์ของแรงดันที่บัส p ขณะเกิดความผิดปกติ

d คือ ระยะทางผิดปกติที่อ้างอิงกับบัส q

\bar{Z}_{abc}^{pq} คือ อิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัส p และบัส q โดยมีหน่วยเป็นโอห์มต่อหน่วยความยาว

\bar{I}_{abc}^{pq} คือ เวกเตอร์ของกระแสสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัส p และบัส q ขณะเกิดความผิดปกติ

R_f คือ เมทริกซ์ความต้านทานผิวดำ

\bar{I}_{abc}^f คือ เวกเตอร์ของกระแสผิวดำ

6) ระบุสายป้อนที่เกิดความผิวดำโดยวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของความผิวดำประเภทโพลีโพลี รูปลักษณะของสายป้อนที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ได้รับสัญญาณแสดงสถานะจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฉลาด และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของระบบ

2.3 สรุป

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาตำแหน่งผิวดำในระบบจำหน่ายดังกล่าวมาข้างต้นจะพบว่า แต่ละระเบียบวิธีมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป ระเบียบวิธีที่นำเสนอโดย Hsu et al. และ Xuejian et al. สามารถค้นหาและระบุตำแหน่งผิวดำได้อย่างละเอียดถึงส่วนของสายป้อนที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด แต่ระเบียบวิธีดังกล่าวนี้จะต้องมีการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะฐานข้อมูลของระบบที่จะต้องปรับให้ทันกาล (update) อยู่ตลอดเวลา และจะต้องมีการสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เชื่อมต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการค้นหาตำแหน่งผิวดำที่แม่นยำที่สุด ระเบียบวิธีที่นำเสนอโดย Zhong et al. มีข้อด้อยเกี่ยวกับการติดตั้งระบบ SCADA และการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสถานะของสวิตช์และตัวตรวจรู้ผิวดำเพิ่มเติมเข้าไปในระบบ ระเบียบวิธีที่นำเสนอโดย Zhu et al. เป็นระเบียบวิธีที่มีความเหมาะสมกับระบบที่ไม่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ซึ่งช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและลดเวลาในการดูแลรักษาระบบ แต่หลักการค้นหาตำแหน่งผิวดำมีความยุ่งยากเพราะจะต้องคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและการสร้างฐานข้อมูลของกราฟกระแสและเวลาของอุปกรณ์ป้องกันในระบบ ระเบียบวิธีที่นำเสนอโดย Bo et al. มีข้อด้อยเกี่ยวกับการติดตั้ง GPS และอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณชั่วคราวเพิ่มเติมเข้าไปในทุกบัสของระบบ สำหรับระบบที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ระเบียบวิธีที่นำเสนอโดย Choi et al. สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบที่ไม่มีความซับซ้อนเท่านั้น และสำหรับระเบียบสุดท้ายที่นำเสนอโดย Senger et al. จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฉลาดเพิ่มเติมเข้าไปในระบบและสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบจำหน่ายปฐมภูมิเท่านั้น

บทที่ 3

แบบจำลองสถานะชั่วครู่สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดในระบบจำหน่าย

3.1 กล่าวนำ

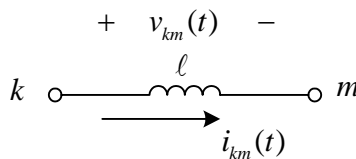
องค์ประกอบอย่างง่ายของระบบจำหน่ายสามารถจำแนกได้ 3 ส่วนคือ สถานีไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายแรงดัน สายป้อน และ โหลด ในกรณีที่ระบบเกิดความผิดพลาด องค์ประกอบของระบบที่ต้องนำมาพิจารณาเพิ่มเติมคือ ความผิดพลาด การสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายเมื่อเกิดสถานะชั่วครู่อันเนื่องมาจากการเกิดความผิดพลาดนี้ สมการที่เป็นพจน์อนุพันธ์ของแบบจำลองทั้งหมดจะถูกแทนที่ด้วยพจน์ใหม่ที่สืบต่อมาจากสูตรการหาค่าอินทิกรัลแบบสี่เหลี่ยมคางหมู และมีสมการดังนี้ (Chapra and Canale, 1998)

$$\int_{t-\Delta t}^t f(t) dt = \frac{\Delta t}{2} \{f(t) + f(t-\Delta t)\} \quad (3-1)$$

เมื่อ $f(t)$ คือ ฟังก์ชันในโดเมนเวลาที่ต้องการหาค่าอินทิกรัล

Δt คือ ขั้นเวลา (time step) ของการอินทิเกรต

พิจารณาตัวเนี่ยวนำจากรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวเนี่ยวนำ

กระแส $i_{km}(t)$ ไหลออกจากโหนด k ผ่านตัวเนี่ยวนำ ℓ ไปสูโหนด m ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเนี่ยวนำดังสมการ

$$v_{km}(t) = \ell \frac{d}{dt} i_{km}(t) \quad (3-2)$$

ประยุกต์ใช้สมการที่ (3-1) กับสมการที่ (3-2) จะได้ผลเฉลยเป็นสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (Arrillaga and Watson, 2001) เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการคำนวณแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

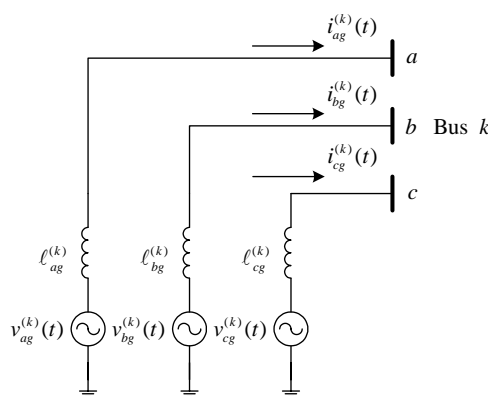
$$v_{km}(t) = \frac{2\ell}{\Delta t} \{i_{km}(t) - i_{km}(t - \Delta t)\} - v_{km}(t - \Delta t) \quad (3-3)$$

สมการที่ (3-3) จะถูกนำไปแทนที่พจน์ของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของแบบจำลองทั้งหมด และจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปของการคำนวณค่ากระแส ซึ่งจะทำได้โดยประยุกต์ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's current laws, KCL) เพื่อวิเคราะห์ระบบโดยรวมได้

ก่อนที่จะนำเสนอการสร้างแบบจำลองสำหรับระบบโดยรวม แบบจำลองของระบบอุปกรณ์ย่อยในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่ สถานีไฟฟ้า สายป้อนจำหน่าย ความผิดปกติ และโหลด ต้องถูกกล่าวถึงโดยละเอียด ดังต่อไปนี้

3.2 แบบจำลองสถานีไฟฟ้า

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองของสถานีไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสามเฟส ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 3.2 (The MathWorks, Inc., 2002) ตัวเหนี่ยวนำในแบบจำลองที่นำเสนอสะท้อนถึงความเหนี่ยวนำคู่ควบ (mutual inductance) ขนาดของแรงดันทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากัน การกำหนดมุมเฟสของแรงดันในแต่ละเฟสตามลำดับเฟสแบบบวก (positive phase sequence) เป็นดังนี้คือ เฟส a มีค่าเท่ากับ 0° เฟส b ซึ่งเทียบกับเฟส a เท่ากับ -120° และเฟส c เทียบกับเฟส a เท่ากับ 120°



รูปที่ 3.2 แบบจำลองสถานีไฟฟ้า (The MathWorks, Inc., 2002)

จากรูปที่ 3.2 กำหนดให้ระบบไฟฟ้าเชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าที่บัส k เมื่อประยุกต์ใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's voltage laws, KVL) จะได้สมการแรงดันทั้งสามเฟสดังต่อไปนี้

เฟส a

$$-v_{ag}^{(k)}(t) + \ell_{ag}^{(k)} \frac{d}{dt} i_{ag}^{(k)}(t) + v_{an}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-4)$$

เฟส b

$$-v_{bg}^{(k)}(t) + \ell_{bg}^{(k)} \frac{d}{dt} i_{bg}^{(k)}(t) + v_{bn}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-5)$$

เฟส c

$$-v_{cg}^{(k)}(t) + \ell_{cg}^{(k)} \frac{d}{dt} i_{cg}^{(k)}(t) + v_{cn}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-6)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c

$v_{pg}^{(k)}(t)$ คือ แรงดันกำเนิดของสถานีไฟฟ้าเฟส p

$v_{pn}^{(k)}(t)$ คือ แรงดันขั้วของบัส k เฟส p

$i_{pg}^{(k)}(t)$ คือ กระแสที่สถานีไฟฟ้าจ่ายให้บัส k ที่เฟส p

$\ell_{pg}^{(k)}$ คือ ตัวเหนี่ยวนำอนุกรมเฟส p

กำจัดพจน์อนุพันธ์ในสมการที่ (3-4)-(3-6) ด้วยการประยุกต์ใช้สมการที่ (3-3) และจัดรูปแบบสมการให้เป็นเมทริกซ์จะได้ว่า

$$\mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t) = \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} \left\{ \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \right\} - \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} \left\{ \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \right\} + \mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \quad (3-7)$$

กำหนดให้

$$\mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t) = \left[v_{ag}^{(k)}(t) \quad v_{bg}^{(k)}(t) \quad v_{cg}^{(k)}(t) \right]^T \quad (3-8)$$

$$\mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) = \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) & v_{bn}^{(k)}(t) & v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-9)$$

$$\mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t) = \begin{bmatrix} i_{ag}^{(k)}(t) & i_{bg}^{(k)}(t) & i_{cg}^{(k)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-10)$$

$$\mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2\ell_{ag}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{bg}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{cg}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (3-11)$$

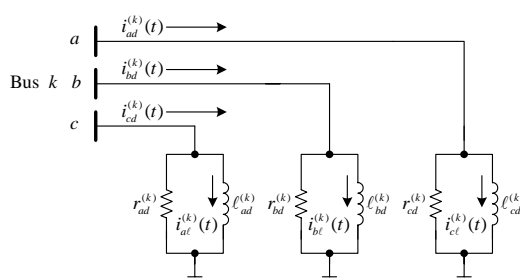
3.3 แบบจำลองโหลด

แบบจำลองโหลดในโปรแกรม MATLAB มีอยู่ 2 รูปแบบคือ โหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน (The MathWorks, Inc., 2002) แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของโหลดในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปมีค่าเป็นบวก (Saadat, 1999) งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้โหลดเป็นตัวต้านทานขนานกับตัวเหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 3.3

จากแบบจำลองในรูปที่ 3.3 ความต้านทานคู่ควบและความเหนี่ยวนำคู่ควบถูกละทิ้งไม่นำมาพิจารณา กระแสโหลดในแต่ละเฟสมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณาโหลดที่เชื่อมต่อกับบัส k ประยุกต์ใช้ KCL ทำให้ได้สมการกระแสทั้งสามเฟสดังนี้

เฟส a

$$i_{ad}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_{ad}^{(k)}} v_{an}^{(k)}(t) + \frac{1}{\ell_{ad}^{(k)}} \int_{t-\Delta t}^t v_{an}^{(k)}(t) dt \quad (3-12)$$



รูปที่ 3.3 แบบจำลองโหลด

เฟส b

$$i_{bd}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_{bd}^{(k)}} v_{bn}^{(k)}(t) + \frac{1}{\ell_{bd}^{(k)}} \int_{t-\Delta t}^t v_{bn}^{(k)}(t) dt \quad (3-13)$$

เฟส c

$$i_{cd}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_{cd}^{(k)}} v_{cn}^{(k)}(t) + \frac{1}{\ell_{cd}^{(k)}} \int_{t-\Delta t}^t v_{cn}^{(k)}(t) dt \quad (3-14)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c

$i_{pd}^{(k)}(t)$ คือ กระแสโหลดเฟส p

$r_{pd}^{(k)}$ คือ โหลดตัวต้านทานเฟส p

$\ell_{pd}^{(k)}$ คือ โหลดตัวเหนี่ยวนำเฟส p

ถ้าจัดพจน์อนุพันธ์ทั้งหมดในสมการที่ (3-12)-(3-14) ด้วยการประยุกต์ใช้สมการที่ (3-3) และจัดรูปแบบสมการให้เป็นเมทริกซ์จะได้ว่า

$$\mathbf{i}_{abc,d}^{(k)}(t) = \mathbf{G}_{eq,d}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \mathbf{G}_{eff,d}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) + \mathbf{i}_{abc,\ell}^{(k)}(t - \Delta t) \quad (3-15)$$

กำหนดให้

$$\mathbf{i}_{abc,d}^{(k)}(t) = \begin{bmatrix} i_{ad}^{(k)}(t) & i_{bd}^{(k)}(t) & i_{cd}^{(k)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-16)$$

$$\mathbf{i}_{abc,\ell}^{(k)}(t) = \begin{bmatrix} i_{a\ell}^{(k)}(t) & i_{b\ell}^{(k)}(t) & i_{c\ell}^{(k)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-17)$$

$$\mathbf{G}_{eq,d}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_{ad}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{ad}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_{bd}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{bd}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{r_{cd}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{cd}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (3-18)$$

$$\mathbf{G}_{eff,d}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2\ell_{ad}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{bd}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{cd}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (3-19)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c

$i_{p\ell}^{(k)}(t)$ คือ กระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำเฟส p

เมื่อพิจารณาสมการที่ (3-15) จะเห็นว่า การคำนวณกระแสไหลที่เวลา t จะต้องทราบค่ากระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำที่เวลา $t - \Delta t$ เสียก่อน สมการเมทริกซ์ของกระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำคือ

$$\mathbf{i}_{abc,d}^{(k)}(t) = \mathbf{G}_{eff,d}^{(k)} \{ \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \} + \mathbf{i}_{abc,\ell}^{(k)}(t - \Delta t) \quad (3-20)$$

3.4 แบบจำลองความผิดพลาด

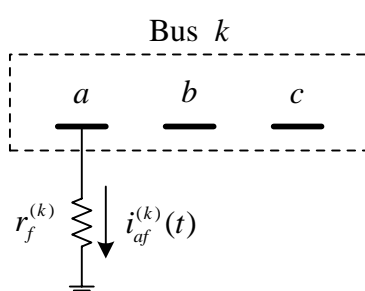
การวิเคราะห์ความผิดพลาดเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับงานด้านการปรับตั้งรีเลย์และการจัดความสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันภายในระบบ ดังนั้นแบบจำลองที่นำมาใช้แทนความผิดพลาดจะต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่ก็ต้องไม่ซับซ้อนจนทำให้การคำนวณมีความยุ่งยาก ความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจำแนกออกได้ 11 ชนิด ดังนี้

- 1) ลัดวงจรเฟส a ลงดิน
- 2) ลัดวงจรเฟส b ลงดิน
- 3) ลัดวงจรเฟส c ลงดิน
- 4) ลัดวงจรเฟส ab
- 5) ลัดวงจรเฟส ac
- 6) ลัดวงจรเฟส bc
- 7) ลัดวงจรเฟส ab ลงดิน
- 8) ลัดวงจรเฟส ac ลงดิน
- 9) ลัดวงจรเฟส bc ลงดิน
- 10) ลัดวงจรเฟส abc
- 11) ลัดวงจรเฟส abc ลงดิน

เมื่อพิจารณาตามลักษณะการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ทำให้สามารถแบ่งชนิดของความผิดปกติออกได้ 5 กลุ่ม คือ ลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน ลัดวงจรสองเฟส ลัดวงจรสองเฟสลงดิน ลัดวงจรสามเฟส และลัดวงจรสามเฟสลงดิน แบบจำลองของความผิดปกติจึงสามารถนำเสนอได้ด้วยแบบจำลองที่คล้ายกัน 5 กลุ่ม เนื่องจากวัสดุโดยส่วนมากที่ทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติไม่มีองค์ประกอบที่เป็นขดลวดทำให้มีค่าความเหนี่ยวนำน้อยมาก อิมพีแดนซ์ผิดปกติจึงได้ รับการพิจารณาเป็นตัวต้านทานเท่านั้นแบบจำลองสำหรับความผิดปกติมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 ความผิดปกติลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน

เมื่อเกิดความผิดปกติแบบลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน และกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของดิน (ground impedance) มีค่าเท่ากับศูนย์ แบบจำลองความผิดปกติลัดวงจรเฟส a ลงดิน (Stagg and Ei-Abiad, 1986) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองความผิดปกติลัดวงจรเฟส a ลงดิน

จากรูปที่ 3.4 ตัวต้านทานผิดปกติ $r_f^{(k)}$ ลัดวงจรเฟส a ลงดินที่ตำแหน่งบัส k กระแสผิดปกติจะมีเฉพาะที่เฟส a เท่านั้น ส่วนเฟส b และ c มีค่าเป็นศูนย์ สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดปกติคือ

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-21)$$

จากรูปแบบของแบบจำลองและหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันกับความผิดปกติลัดวงจรเฟส a ลงดิน สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดปกติสำหรับความผิดปกติลัดวงจรเฟส b ลงดินคือ

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

จากรูปแบบของแบบจำลองและหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันกับความผิดพลาด
ลัดวงจรเฟส a ลงดิน สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส c ลง
ดินคือ

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-23)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c

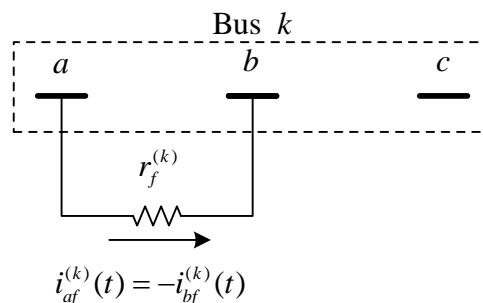
$i_{pl}^{(k)}(t)$ คือ กระแสไหลในตัวเหนี่ยวนำเฟส p

$i_{pf}^{(k)}(t)$ คือ กระแสผิดพลาดเฟส p

$r_f^{(k)}$ คือ ความต้านทานผิดพลาด

3.4.2 ความผิดพลาดลัดวงจรสองเฟส

ลักษณะการเกิดความผิดพลาดลัดวงจรสองเฟสคือ สายป้อนสองเส้นถูกลัดวงจรเข้าหา
กันด้วยตัวต้านทาน $r_f^{(k)}$ (Stagg and Ei-Abiad, 1986) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 แบบจำลองดังกล่าวนี้
เป็นความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ที่ตำแหน่งบัส k การวิเคราะห์หากกระแสผิดพลาด
สำหรับเฟส a จะเริ่มต้นจากการประยุกต์ใช้ KVL และจะได้สมการแรงดันดังนี้



รูปที่ 3.5 แบบจำลองความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b

$$-v_{an}^{(k)}(t) + i_{af}^{(k)}(t)r_f^{(k)} + v_{bn}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-24)$$

จัดรูปสมการที่ (3-24) จะได้กระแสผิดพร้อมเฟส a มีค่าเท่ากับ

$$i_{af}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_f^{(k)}} v_{an}^{(k)}(t) - \frac{1}{r_f^{(k)}} v_{bn}^{(k)}(t) \quad (3-25)$$

เมื่อพิจารณาแบบจำลองในรูปที่ (3.5) สรุปได้ว่า กระแสผิดพร้อมเฟส b มีค่าเท่ากับเฟส a แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังนั้น

$$i_{bf}^{(k)}(t) = -\frac{1}{r_f^{(k)}} v_{an}^{(k)}(t) + \frac{1}{r_f^{(k)}} v_{bn}^{(k)}(t) \quad (3-26)$$

เขียนให้อยู่ในรูปสมการเมทริกซ์สำหรับกระแสผิดพร้อมสามเฟสจะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-27)$$

จากหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกับความผิดพร้อมลัดวงจรเฟส a และ b สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพร้อมสำหรับความผิดพร้อมลัดวงจรเฟส a และ c คือ

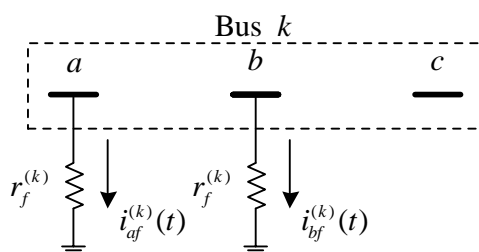
$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-28)$$

จากหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกับความผิดพร้อมลัดวงจรเฟส a และ b สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพร้อมสำหรับความผิดพร้อมลัดวงจรเฟส b และ c คือ

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-29)$$

3.4.3 ความผิดพลาดแบบลัดวงจรสองเฟสลงดิน

กำหนดให้อิมพีแดนซ์ของดินมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อเกิดความผิดพลาดลัดวงจรสองเฟสลงดิน สายป้อนสองเส้นจะถูกลัดวงจรลงดินด้วยตัวต้านทานผิดพลาด $r_f^{(k)}$ (Stagg and Ei-Abiad, 1986) ตัวอย่างของแบบจำลองความผิดพลาดลัดวงจรสองเฟสลงดินแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นแบบจำลองความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน



รูปที่ 3.6 แบบจำลองความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน

จากการประยุกต์ใช้ KVL จะได้สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ลงดินดังนี้

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-30)$$

จากหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ c ลงดินคือ

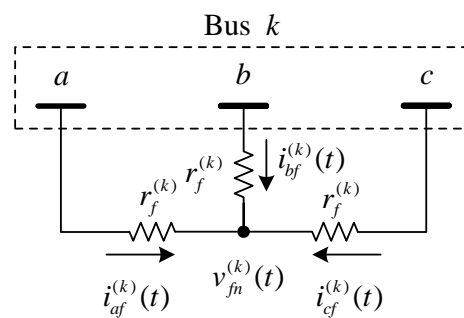
$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-31)$$

จากหลักการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส b และ c ลงดินคือ

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-32)$$

3.4.4 ความผิดพลาดของลัดวงจรสามเฟส

เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดของลัดวงจรสามเฟส สายป้อนทั้งสามเฟสจะถูกลัดวงจรเข้าหากันด้วยตัวต้านทาน r_f (Stagg and Ei-Abiad, 1968) ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แบบจำลองความผิดพลาดของลัดวงจรเฟส a b และ c

จากการประยุกต์ใช้ KVL ที่เฟส a จะได้สมการแรงดันดังนี้

$$-v_{an}^{(k)}(t) + r_f^{(k)} i_{af}^{(k)}(t) + v_{fn}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-33)$$

เมื่อ $v_{fn}^{(k)}(t)$ คือ แรงดันที่จุดเชื่อมต่อกันของตัวต้านทานผิดพลาดทั้งสามเฟส จัดรูปสมการที่ (3-33) จะได้สมการกระแสผิดพลาดที่เฟส a ดังนี้

$$i_{af}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{an}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} \quad (3-34)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับเฟส b และ c

$$i_{bf}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{bn}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} \quad (3-35)$$

$$i_{cf}^{(k)}(t) = \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{cn}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} \quad (3-36)$$

จากการอ้างอิง KCL ผลรวมของกระแสในสมการที่ (3-34)-(3-36) จะต้องมีค่าเท่ากับ ศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{an}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} + \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{bn}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} \\ & + \frac{1}{r_f^{(k)}} \{v_{cn}^{(k)}(t) - v_{fn}^{(k)}(t)\} = 0 \end{aligned} \quad (3-37)$$

$$v_{fn}^{(k)}(t) = \frac{1}{3} \{v_{an}^{(k)}(t) + v_{bn}^{(k)}(t) + v_{cn}^{(k)}(t)\} \quad (3-38)$$

แทนค่าสมการที่ (3-38) ลงในสมการที่ (3-34)-(3-35) แล้วเขียนให้อยู่ในรูปแบบของ สมการเมทริกซ์จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} i_{af}^{(k)}(t) \\ i_{bf}^{(k)}(t) \\ i_{cf}^{(k)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} \\ -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & \frac{2}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} \\ -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & \frac{2}{3r_f^{(k)}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an}^{(k)}(t) \\ v_{bn}^{(k)}(t) \\ v_{cn}^{(k)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-39)$$

3.4.5 ความผิดพลาดลัดวงจรสามเฟสลงดิน

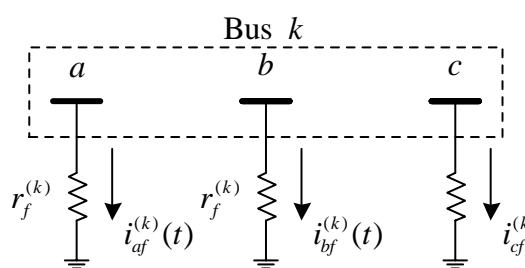
กำหนดให้อิมพีแดนซ์ของดินมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสามเฟสลัดวงจรลงดิน สายป้อนทั้งสามเส้นจะถูกลัดวงจรผ่านตัวต้านทานลงดิน และมีลักษณะของแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (Stagg and Ei-Abiad, 1968) หลักการวิเคราะห์หาคะแสผิดพลาดจะ เหมือนกับความผิดพลาดลัดวงจรสองเฟสลงดินทุกประการ สมการเมทริกซ์ของกระแสผิดพลาดคือ

$$i_{abc,f}^{(k)}(t) = \mathbf{G}_{abc,f}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \quad (3-40)$$

เมื่อ $\mathbf{G}_{abc,f}^{(k)}$ คือ เมทริกซ์ตัวนำผิดพลาด (fault conductance matrix)

กำหนดให้

$$\mathbf{G}_{abc,f}^{(k)} = \begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3-41)$$



รูปที่ 3.8 แบบจำลองความผิดปกติพร้อมลัดวงจรสามเฟสลงดิน

เมทริกซ์ตัวนำผิดปกติพร่องสำหรับความผิดปกติ 11 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เมทริกซ์ตัวนำผิดปกติพร่องสำหรับความผิดปกติชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดความผิดปกติ	$\mathbf{G}_{abc,f}^{(k)}$
1	ลัดวงจรเฟส a ลงดิน	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
2	ลัดวงจรเฟส b ลงดิน	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
3	ลัดวงจรเฟส c ลงดิน	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix}$
4	ลัดวงจรเฟส a และ b	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
5	ลัดวงจรเฟส a และ c	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \end{bmatrix}$

ตารางที่ 3.1 เมทริกซ์ตัวนำผิพรองสำหรับความผิพรองชนิดต่างๆ (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดความผิพรอง	$G_{abc,f}^{(k)}$
6	ลี้ดวงจรเฟส b และ c	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/r_f^{(k)} & -1/r_f^{(k)} & 0 \\ -1/r_f^{(k)} & 1/r_f^{(k)} & 0 \end{bmatrix}$
7	ลี้ดวงจรเฟส a และ b ลงดิน	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
8	ลี้ดวงจรเฟส a และ c ลงดิน	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix}$
9	ลี้ดวงจรเฟส b และ c ลงดิน	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix}$
10	ลี้ดวงจรเฟส a b และ c	$\begin{bmatrix} \frac{2}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} \\ -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & \frac{2}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} \\ -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & -\frac{1}{3r_f^{(k)}} & \frac{2}{3r_f^{(k)}} \end{bmatrix}$
11	ลี้ดวงจรเฟส a b และ c ลงดิน	$\begin{bmatrix} 1/r_f^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 1/r_f^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 1/r_f^{(k)} \end{bmatrix}$

3.5 แบบจำลองสายป้อนจำหน่าย

แบบจำลองของสายป้อนระบบจำหน่ายจะใช้แบบจำลองเหมือนสายส่งระยะสั้น ซึ่งละทิ้งค่าความจุขนาน (shunt capacitance) (Saadat, 1999) แบบจำลองของสายป้อนจึงพิจารณาเฉพาะความต้านทานตัวเอง ความต้านทานคู่ควบ ความเหนี่ยวนำตัวเอง และความเหนี่ยวนำคู่ควบเท่านั้น (Kersting, 2002) พิจารณาแบบจำลองสายป้อนที่เชื่อมต่อระหว่างบัส k และ m ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เมื่อประยุกต์ใช้ KVL สมการแรงดันสำหรับสายป้อนเฟส a และเฟส b ตามลำดับคือ

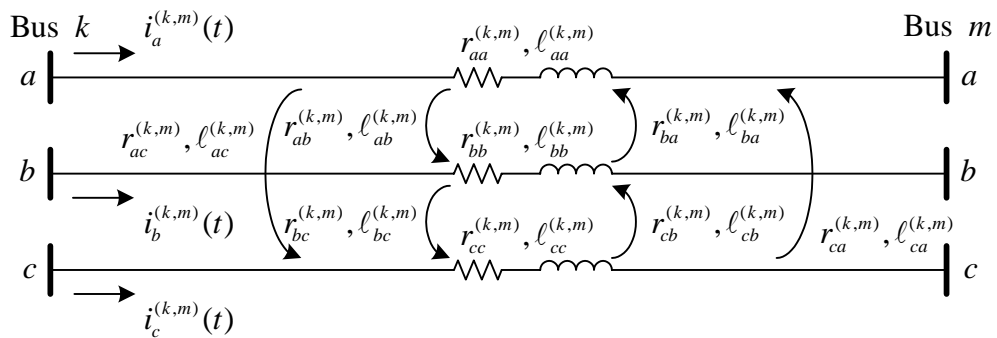
$$\begin{aligned}
 & -v_{an}^{(k)}(t) + r_{aa}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + \ell_{aa}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_a^{(k,m)}(t) + r_{ab}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) \\
 & + \ell_{ab}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_b^{(k,m)}(t) + r_{ac}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) + \ell_{ac}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_c^{(k,m)}(t) + v_{an}^{(m)}(t) = 0 \quad (3-42)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -v_{bn}^{(k)}(t) + r_{ba}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + \ell_{ba}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_a^{(k,m)}(t) + r_{bb}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) \\
& + \ell_{bb}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_b^{(k,m)}(t) + r_{bc}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) + \ell_{bc}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_c^{(k,m)}(t) + v_{bn}^{(m)}(t) = 0
\end{aligned} \quad (3-43)$$

สมการแรงดันสำหรับเฟส c คือ

$$\begin{aligned}
& -v_{cn}^{(k)}(t) + r_{ca}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + \ell_{ca}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_a^{(k,m)}(t) + r_{cb}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) \\
& + \ell_{cb}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_b^{(k,m)}(t) + r_{cc}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) + \ell_{cc}^{(k,m)} \frac{d}{dt} i_c^{(k,m)}(t) + v_{cn}^{(m)}(t) = 0
\end{aligned} \quad (3-44)$$

- เมื่อ p, q คือ เฟส a, b หรือ c
 $v_{pn}^{(m)}(t)$ คือ แรงดันขั้วเฟส p ที่บัส m
 $i_p^{(k,m)}(t)$ คือ กระแสสายป้อนเฟส p ที่ไหลระหว่างบัส k ไปสู่อบัส m
 $r_{pp}^{(k)}$ คือ ความต้านทานตัวเอง (self resistance) ของสายป้อน
 $r_{pq}^{(k)}$ คือ ความต้านทานคู่ควบ (mutual resistance) ของสายป้อน โดยที่ $p \neq q$
 $\ell_{pp}^{(k)}$ คือ ความเหนี่ยวนำตัวเอง (self inductance) ของสายป้อน
 $\ell_{pq}^{(k)}$ คือ ความเหนี่ยวนำคู่ควบ (mutual inductance) ของสายป้อน โดยที่ $p \neq q$



รูปที่ 3.9 แบบจำลองสายป้อนสามเฟสที่เชื่อมต่อระหว่างบัส k และ m

จากสมการที่ (3-42)-(3-44) แทนค่าพจน์อนุพันธ์ทั้งหมดด้วยสมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังแสดงในสมการที่ (3-3) จะได้สมการแรงดันสำหรับเฟส a ดังนี้คือ

$$\begin{aligned}
& -v_{an}^{(k)}(t) + v_{an}^{(m)}(t) + r_{aa}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + r_{ab}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) + r_{ac}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{aa}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{ab}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{ac}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} = 0 \tag{3-45}
\end{aligned}$$

เฟส b

$$\begin{aligned}
& -v_{bn}^{(k)}(t) + v_{bn}^{(m)}(t) + r_{ba}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + r_{bb}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) + r_{bc}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{ba}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{bb}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{bc}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} = 0 \tag{3-46}
\end{aligned}$$

และสำหรับเฟส c

$$\begin{aligned}
& -v_{cn}^{(k)}(t) + v_{cn}^{(m)}(t) + r_{ca}^{(k,m)} i_a^{(k,m)}(t) + r_{cb}^{(k,m)} i_b^{(k,m)}(t) + r_{cc}^{(k,m)} i_c^{(k,m)}(t) \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{ca}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{cb}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} \\
& + \left\{ \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{\ell_{cc}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right\} = 0 \tag{3-47}
\end{aligned}$$

จัดรูปสมการที่ (3-45)-(3-47) ใหม่จะได้สมการเมทริกซ์คำนวณกระแสที่ไหลในสายป้อนระหว่างบัส k ไปสู่อับัส m ในรูปแบบอย่างง่ายได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t) &= \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) - \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\
&+ \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{R}_{eff,t}^{(k,m)} \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) + \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{\ell_{abc}}^{(k,m)}(t - \Delta t) \tag{3-48}
\end{aligned}$$

กำหนดให้

$$\mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) = \begin{bmatrix} v_{an}^{(m)}(t) & v_{bn}^{(m)}(t) & v_{cn}^{(m)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-49)$$

$$\mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t) = \begin{bmatrix} i_a^{(k,m)}(t) & i_b^{(k,m)}(t) & i_c^{(k,m)}(t) \end{bmatrix}^T \quad (3-50)$$

$$\mathbf{v}_{labc}^{(k,m)}(t) = \begin{bmatrix} v_{la}^{(k,m)}(t) \\ v_{lb}^{(k,m)}(t) \\ v_{lc}^{(k,m)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{laa}^{(k,m)}(t) + v_{lab}^{(k,m)}(t) + v_{lac}^{(k,m)}(t) \\ v_{lba}^{(k,m)}(t) + v_{lbb}^{(k,m)}(t) + v_{lbc}^{(k,m)}(t) \\ v_{lca}^{(k,m)}(t) + v_{lcb}^{(k,m)}(t) + v_{lcc}^{(k,m)}(t) \end{bmatrix} \quad (3-51)$$

$$\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} = \begin{bmatrix} r_{aa}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{ab}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{ac}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ r_{ba}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{bb}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{bc}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ r_{ca}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{cb}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{cc}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} \end{bmatrix} \quad (3-52)$$

$$\mathbf{R}_{eff,t}^{(k,m)} = \begin{bmatrix} \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} \end{bmatrix} \quad (3-53)$$

- เมื่อ p, q คือ เฟส a b หรือ c
- $v_{lpp}^{(k,m)}(t)$ คือ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวเองของสายป้อนเฟส p
- $v_{lpq}^{(k,m)}(t)$ คือ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำคู่ควบสายป้อนเฟส p และ q โดยที่ $p \neq q$
- $v_{lp}^{(k,m)}(t)$ คือ ผลรวมแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวเองและตัวเหนี่ยวนำคู่ควบสำหรับสายป้อนเฟส p

จากการประยุกต์ใช้สมการที่ (3-3) สมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวเอง และตัวเหนี่ยวนำคู่ควบสำหรับสายป้อนเฟส a คือ

$$\begin{aligned}
v_{la}^{(k,m)}(t) &= \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{laa}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lab}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lac}^{(k,m)}(t - \Delta t)
\end{aligned} \tag{3-54}$$

เฟส b คือ

$$\begin{aligned}
v_{lb}^{(k,m)}(t) &= \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lba}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lbb}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lbc}^{(k,m)}(t - \Delta t)
\end{aligned} \tag{3-55}$$

และสำหรับเฟส c คือ

$$\begin{aligned}
v_{lc}^{(k,m)}(t) &= \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} i_a^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lca}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} i_b^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lcb}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\
&+ \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t) - \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} i_c^{(k,m)}(t - \Delta t) - v_{lcc}^{(k,m)}(t - \Delta t)
\end{aligned} \tag{3-56}$$

เขียนสมการที่ (3-54)-(3-56) ให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์อย่างง่ายจะได้ว่า

$$\mathbf{v}_{abc,\ell}^{(k,m)}(t) = \mathbf{R}_{\text{eff},t}^{(k,m)} \{ \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t) - \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \} - \mathbf{v}_{abc,\ell}^{(k,m)}(t - \Delta t) \tag{3-57}$$

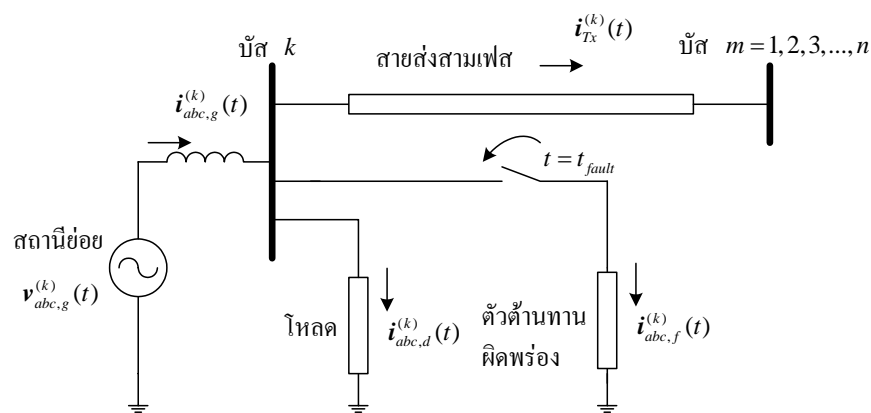
สำหรับระบบไฟฟ้าจริง บัส k ใดๆ อาจจะมีการเชื่อมต่อกับบัสอื่นมากกว่าหนึ่งบัส ดังนั้น กระแสในสายป้อนที่ไหลออกจากบัส k จึงมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสสายป้อนทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับบัส k กำหนดให้บัสที่เชื่อมต่อกับบัส k มีจำนวนทั้งหมด n บัส สมการผลรวมของกระแสที่บัส k คือ

$$\begin{aligned}
\mathbf{i}_{Tx}^{(k)}(t) &= \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t) \\
&= \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\
&\quad + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \mathbf{R}_{eff,t}^{(k,m)} \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \mathbf{v}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \quad (3-58)
\end{aligned}$$

เมื่อ $\mathbf{i}_{Tx}^{(k)}(t)$ คือ ผลรวมของกระแสสายป้อนทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับบัส k

3.6 แบบจำลองระบบจำหน่าย

แบบจำลองของระบบจำหน่ายเมื่อพิจารณาที่บัส k ใดๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 (Saadat, 1999) จากรูปกำหนดให้ $t = t_{fault}$ คือ เวลาที่ระบบเกิดความผิดปกติ ส่งผลให้ตัวต้านทานผิดปกติถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย และระบบเกิดการตอบสนองแบบสภาวะชั่วคราว



รูปที่ 3.10 แบบจำลองระบบสายป้อนจำหน่ายเมื่อพิจารณาที่บัส k (Saadat, 1999)

องค์ประกอบอย่างง่ายของระบบจำหน่ายขณะเกิดความผิดปกติ คือ แหล่งจ่ายแรงดันหรือสถานีไฟฟ้า โหลด สายป้อน และความผิดปกติ งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองของสถานีไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่ายแรงดันอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำซึ่งละทิ้งค่าความเหนี่ยวนำคู่ควระหว่างเฟส แบบจำลองของโหลคนำเสนอด้วย ตัวต้านทานขนานกับตัวเหนี่ยวนำและละทิ้งค่าคู่ควระหว่างเฟสแบบจำลองของสายป้อนพิจารณาความต้านทานและความเหนี่ยวนำทุกกรณีแต่ละทิ้งค่าความจุขนาน และสำหรับแบบจำลองของความผิดปกติทั้งหมด 11 ชนิด กำหนดให้อิมพีแดนซ์ผิดปกติเป็นตัว

ด้านทานเท่านั้น ในกรณีที่ระบบเกิดความผิดปกติมากกว่าเฟสเดียว กำหนดให้ตัวด้านทานผิดปกติทุกเฟสมีค่าเท่ากัน เมื่อ巴士 k เกิดความผิดปกติ การจำลองผลความผิดปกติสำหรับงานวิจัยนี้กระทำโดยเชื่อมต่อตัวด้านทานผิดปกติที่ตำแหน่ง巴士 k ณ เวลาเท่ากับ t_{fault} จาก KCL ผลรวมของกระแสทั้งหมดที่巴士 k จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้อัน

$$-\mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t) + \mathbf{i}_{abc,d}^{(k)}(t) + \mathbf{i}_{abc,f}^{(k)}(t) + \mathbf{i}_{Tx}^{(k)}(t) = 0 \quad (3-59)$$

เมื่อแทนค่าเมทริกซ์ในสมการที่ (3-59) ทั้งหมดจะได้อัน

$$\begin{aligned} & -\mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) - \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} \left\{ \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \right\} \\ & + \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} \left\{ \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \right\} + \mathbf{i}_{abc,l}^{(k)}(t - \Delta t) \\ & + \mathbf{G}_{eq,d}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \mathbf{G}_{eff,d}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) + \mathbf{G}_{abc,f}^{(k)} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{R}_{eff,t}^{(k,m)} \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,l}^{(k,m)}(t - \Delta t) = 0 \end{aligned} \quad (3-60)$$

$$\begin{aligned} & - \sum_{m=1}^{k-1} \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & + \left\{ \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} + \mathbf{G}_{eq,d}^{(k)} + \mathbf{G}_{abc,f}^{(k)} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \right\} \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \\ & - \sum_{m=k+1}^N \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & = \\ & \mathbf{i}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) - \mathbf{i}_{abc,dL}^{(k)}(t - \Delta t) - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{R}_{eff,t}^{(k,m)} \mathbf{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\ & + \mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} \left\{ \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t) + \mathbf{v}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \right\} - \left(\mathbf{G}_{eff,g}^{(k)} + \mathbf{G}_{eff,d}^{(k)} \right) \mathbf{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \\ & - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \left(\mathbf{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \mathbf{v}_{abc,l}^{(k,m)}(t - \Delta t) \end{aligned} \quad (3-61)$$

พิจารณาสมการที่ (3-61) ที่เวลาเท่ากับ t พารามิเตอร์ด้านขวาของสมการเป็นค่าที่เวลาเท่ากับ $t - \Delta t$ ดังนั้นจึงทราบค่าทั้งหมด ส่วนพารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณหาคือแรงดันขั้วที่บัส k ซึ่งอยู่ด้านซ้ายของสมการ เมื่อกำหนดให้ระบบไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ N บัส สมการที่ (3-61) ก็จะสามารถเขียนได้ทั้งหมด N สมการเช่นเดียวกัน หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าแรงดันขั้วที่บัสจำนวน $3N$ ค่า คือตัวแปรของสมการเมทริกซ์ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังนี้

$$GV = I \quad (3-62)$$

เมื่อ V คือ เวกเตอร์ของแรงดันขั้วที่บัสและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3$

I คือ เวกเตอร์กระแสที่บัสและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3$

G คือ เมทริกซ์ค่าคงที่ของระบบและมีมิติเท่ากับ $3N \times 3$

สมาชิกของเมทริกซ์ G ซึ่งมีมิติเท่ากับ 3×3 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$g_{abc}^{(k,m)} = -\left(R_{eq,t}^{(k,m)}\right)^{-1}, \quad k \neq m \quad (3-63)$$

$$g_{abc}^{(k,k)} = G_{eff,g}^{(k)} + G_{eq,d}^{(k)} + G_{abc,f}^{(k)} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \left(R_{eq,t}^{(k,m)}\right)^{-1}, \quad k = m \quad (3-64)$$

จากการพิจารณาสมการที่ (3-62) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเกิดสภาวะชั่วคราวอันเนื่องมาจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า แรงดันขั้วที่บัสต่างๆ สามารถคำนวณหาได้จากการหาผลเฉลยของสมการที่ (3-62) และพารามิเตอร์ที่เหลือของระบบ เช่น กระแสโหลด กระแสผิดปกติหรือกระแสในสายป้อน เป็นต้น ก็สามารถคำนวณหาได้เช่นเดียวกัน โดยประยุกต์ใช้สมการคำนวณที่มีความสัมพันธ์กับแรงดันขั้วที่บัสซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในช่วงแรกของเนื้อหาในบทนี้

3.7 การทดสอบโปรแกรม

3.7.1 ขั้นตอนการจำลองผล

กำหนดให้ระบบจำหน่ายที่ใช้ในการจำลองผลมีขนาดเท่ากับ N บัส วิธีการจำลองผลในสภาวะชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดปกติสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการคำนวณที่เวลาเท่ากับ t ได้ดังนี้

1) กำหนดระยะเวลาของการจำลองผล ขึ้นเวลา ช่วงเวลาที่ต้องการให้เกิดความผิดปกติ ชนิดของความผิดปกติ ตำแหน่งผิดปกติ และตัวด้านผิดปกติ

2) เพิ่มบัส 1 บัสเข้าไปในระบบที่ตำแหน่งผัดพ่วง กำหนดให้หมายเลขของบัสใหม่นี้เท่ากับ $N + 1$ กำหนดให้โหนดและความต้านทานผัดพ่วงของบัสนี้เท่ากับค่าอนันต์ แสดงว่าระบบเดิมขนาด N บัสถูกเปลี่ยนเป็นระบบขนาด $N + 1$ บัส และจะเป็นระบบที่ใช้จำลองผลความผัดพ่วง

3) กำหนดเมทริกซ์ G สำหรับระบบในข้อ 2) ซึ่งเป็นระบบในสถานะปกติ

4) กำหนดค่าความต้านทานผัดพ่วงของบัสที่ $N + 1$ กำหนดเมทริกซ์ G สำหรับระบบในสถานะผัดพ่วงด้วยสมการที่ (3-64) โดยใช้เมทริกซ์ $G_{abc,f}^{(N+1)}$ ที่มีสมาชิกของเมทริกซ์สอดคล้องกับชนิดของความผัดพ่วง

5) ในทุกรอบของการคำนวณที่เวลาใดๆ กำหนดเมทริกซ์ I ด้วยสมการที่ (3-62) โดยจะต้องเลือกใช้เมทริกซ์ G ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ก) สำหรับกรณีเป็นเวลาของการคำนวณ t ไม่ได้อยู่ในช่วงเวลาที่เกิดความผัดพ่วง กำหนดโดยใช้เมทริกซ์ G ของระบบในสถานะปกติ

ข) สำหรับกรณีเป็นเวลาของการคำนวณ t อยู่ในช่วงเวลาที่เกิดความผัดพ่วง กำหนดโดยใช้เมทริกซ์ G ของระบบในสถานะผัดพ่วง

6) กำหนดแรงดันขั้วที่บัสจากสมการที่ (3-62)

7) กำหนดพารามิเตอร์อื่นๆ ของระบบที่ต้องการทราบค่า เช่น กระแสที่สถานีไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบคำนวณโดยสมการที่ (3-7) กระแสโหนดที่บัสต่างๆ กำหนดโดยสมการที่ (3-15) กระแสผัดพ่วงคำนวณโดยสมการที่ (3-36) และกระแสสายป้อนสามารถคำนวณหาได้ด้วยสมการที่ (3-48)

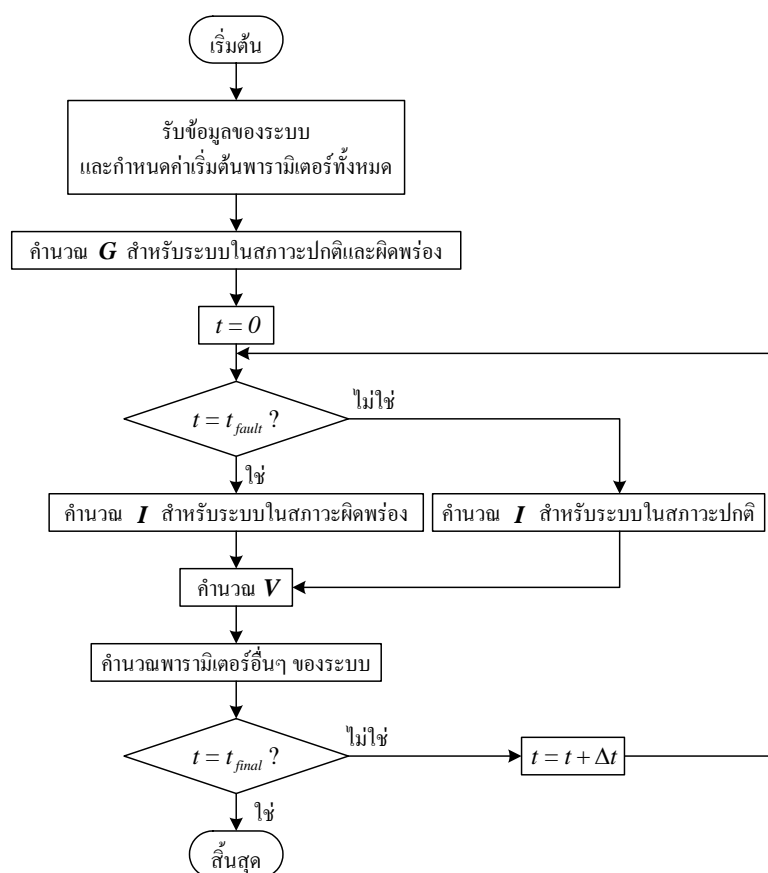
จากขั้นตอนทั้งหมดของการจำลองผลระบบจำหน่ายในสถานะชั่วคราว อันเนื่องมาจากความผัดพ่วง สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของผังงานได้ดังรูปที่ 3.11

3.7.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับโปรแกรม PSIM และ MATLAB

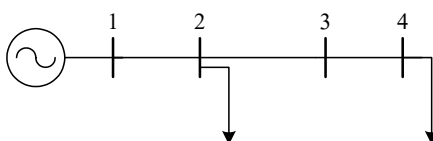
ในการจำลองผลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระเบียบวิธีของงานวิจัย ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว 4 บัสและ 20 บัสมาจำลองผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนามาจากงานวิจัย โปรแกรม PSIM และ โปรแกรม MATLAB เพื่อนำผลการจำลองจากทั้ง 3 โปรแกรมมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากการวิเคราะห์ความผัดพ่วงโดยทั่วไปไม่พิจารณาความต้านทานของสายส่ง (Stagg and Ei-Abiad, 1968) ค่าความต้านทานของสายส่งสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัส และ 20 บัสที่ใช้สำหรับการจำลองผลเปรียบเทียบจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์

กรณีทดสอบที่ 1 ลักษณะโครงข่ายของระบบไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 4 บัส ระดับแรงดัน 22 kV 50 Hz ที่นำมาทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.12 พารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้า ข้อมูลสายป้อน และข้อมูลบัสสำหรับระบบนี้ได้แสดงไว้แล้วอย่างละเอียดในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.1-ค.3

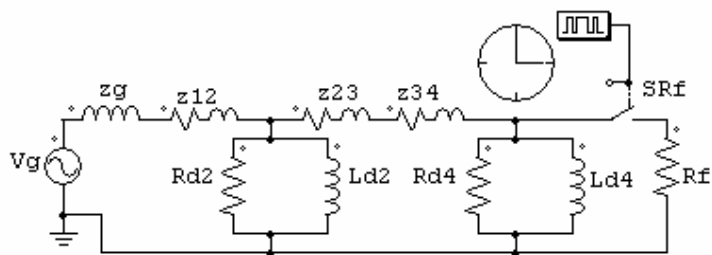
รูปที่ 13 และรูปที่ 3.14 แสดงวงจรที่จำลองผลในโปรแกรม PSIM และ MATLAB ตามลำดับ ระยะเวลาของการจำลองผลคือ 0-500 ms ขึ้นเวลาเท่ากับ 0.4 ms ความผิดพลาดถูกกำหนดให้เกิดที่ บัส 4 ในช่วงเวลา 250-500 ms ความต้านทานผิดพลาด 0.02 mΩ กระแสผิดพลาดที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM แสดงในรูปที่ 3.15 กระแสผิดพลาดที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงในรูปที่ 3.16 และกระแสผิดพลาดที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม ของระเบียบวิธีของงานวิจัยแสดงในรูปที่ 3.17



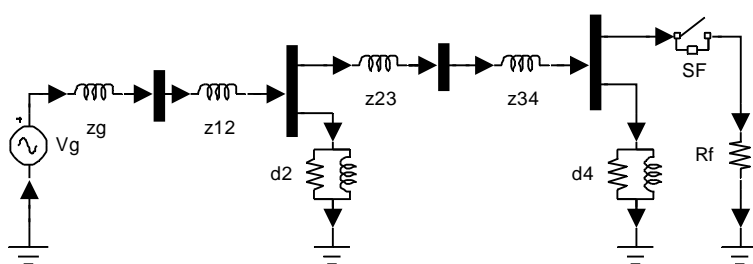
รูปที่ 3.11 ผังงานของการจำลองผลระบบจำหน่ายในสภาวะชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดพลาด



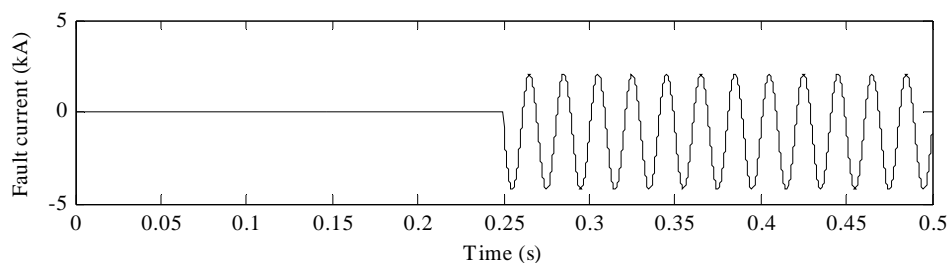
รูปที่ 3.12 ระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว 4 บัส



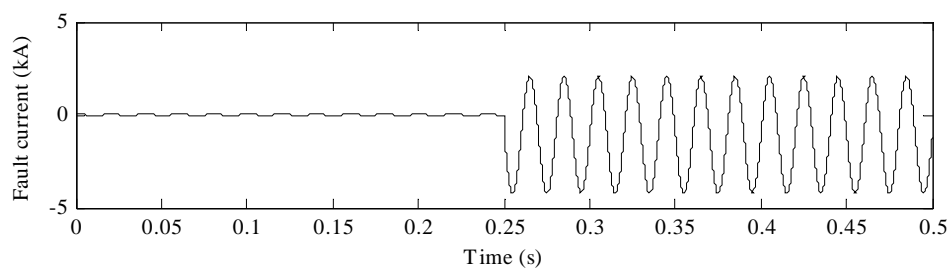
รูปที่ 3.13 ระบบทดสอบ 4 บัสที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม PSIM



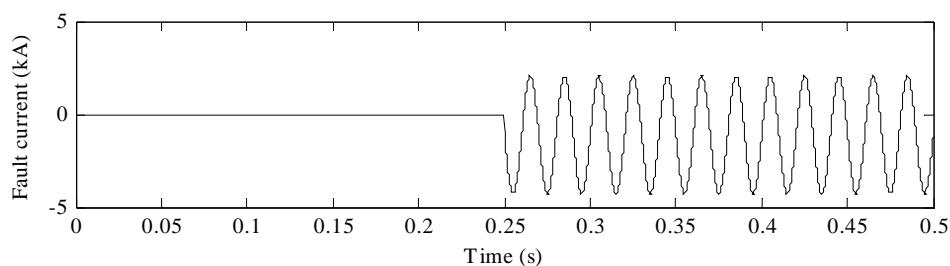
รูปที่ 3.14 ระบบทดสอบ 4 บัสที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB



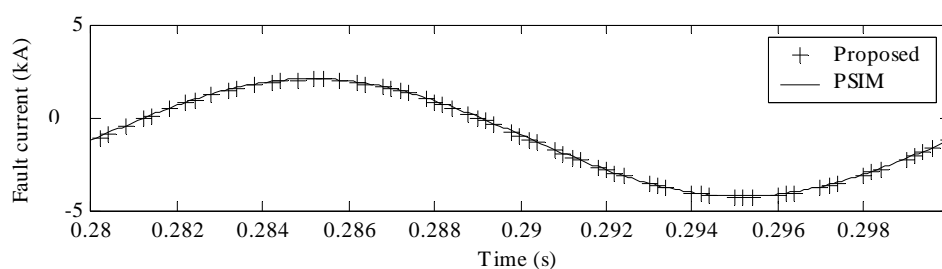
รูปที่ 3.15 กระแสผิดพ่วงระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM



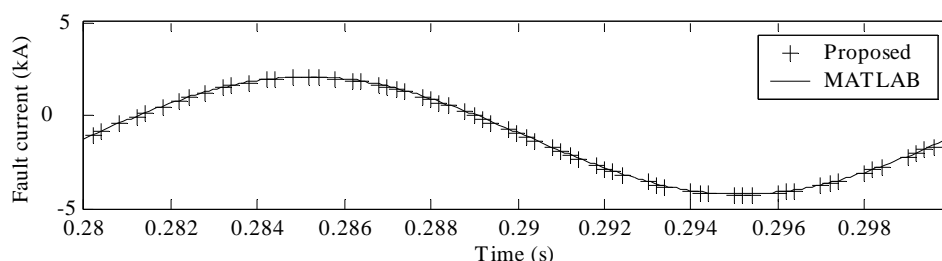
รูปที่ 3.16 กระแสผิดพ่วงระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.17 กระแสผิดพลาดของระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัย



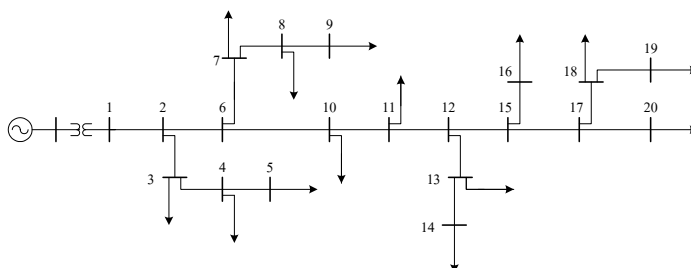
รูปที่ 3.18 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดของระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัยและ PSIM



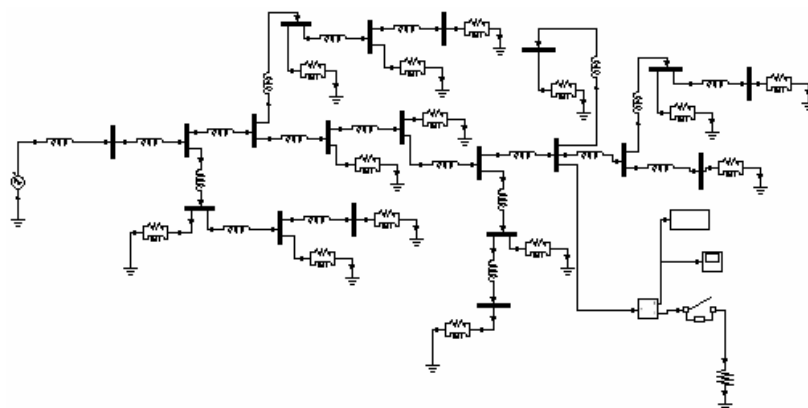
รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดของระบบ 4 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัยและ MATLAB

กรณีทดสอบที่ 2 ลักษณะโครงข่ายของระบบไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 20 บัส ระดับแรงดัน 22 kV 50 Hz ที่นำมาทดสอบแสดงในรูปที่ 3.20 พารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้า ข้อมูลสายป้อน และข้อมูลบัสสำหรับระบบนี้ได้แสดงไว้แล้วอย่างละเอียดในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.4-ค.6 รูปที่ 3.21 แสดงวงจรที่ใช้จำลองผลในโปรแกรม MATLAB ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองผลมีค่าเท่ากับ 0-500 ms ขึ้นเวลาเท่ากับ 0.4 ms ความผิดพลาดถูกกำหนดให้เกิดขึ้นที่บัส 15 ในช่วงเวลาเท่ากับ 250-500 ms และค่าความต้านทานผิดพลาดเท่ากับ 0.02 mΩ กระแสผิดพลาดที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB และโปรแกรมของงานวิจัยแสดงในรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23

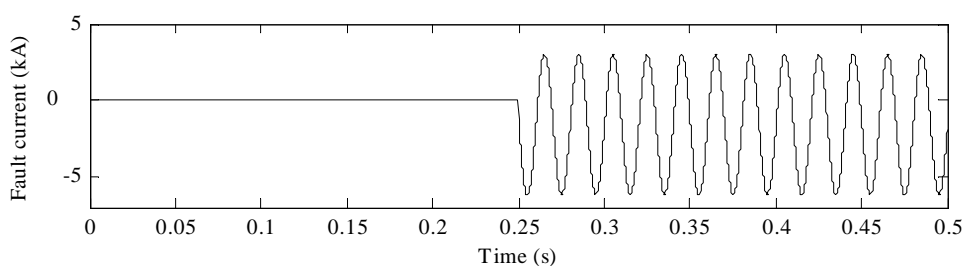
ตามลำดับ สำหรับโปรแกรม PSIM ไม่สามารถนำมาใช้จำลองผลกับระบบนี้ได้ เพราะเป็นเวอร์ชันทดลองใช้งานจำกัดจำนวนองค์ประกอบไม่เกิน 7 ตัว การเปรียบเทียบกระแสผิดพร่องที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB และโปรแกรมของงานวิจัยแสดงอย่างละเอียดดังรูปสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 3.24



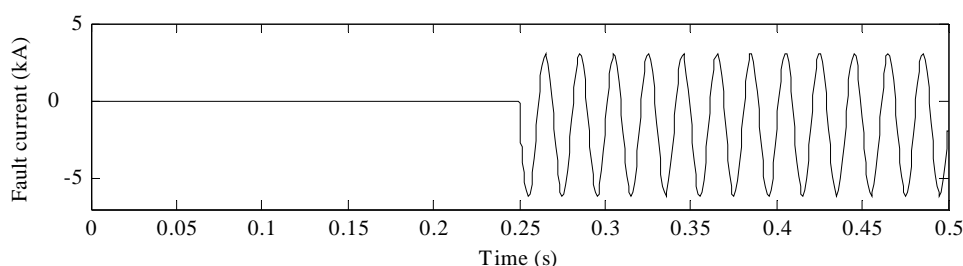
รูปที่ 3.20 ระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว 20 กิโลโวลต์



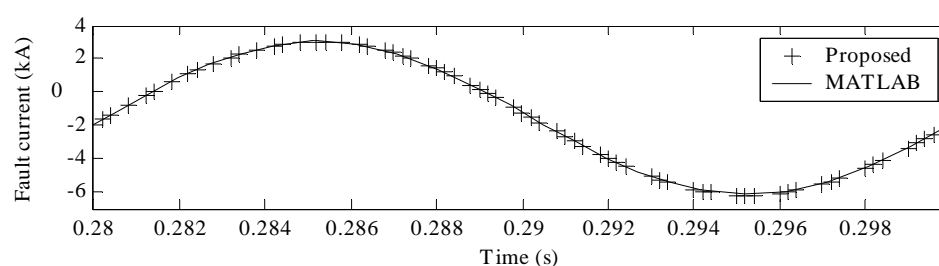
รูปที่ 3.21 ระบบทดสอบ 20 กิโลโวลต์ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.22 กระแสผิดพร่องระบบ 20 กิโลโวลต์ที่จำลองผลจากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.23 กระแสผิดพลาดของระบบ 20 บัสที่จำลองผลจากโปรแกรมของงานวิจัย

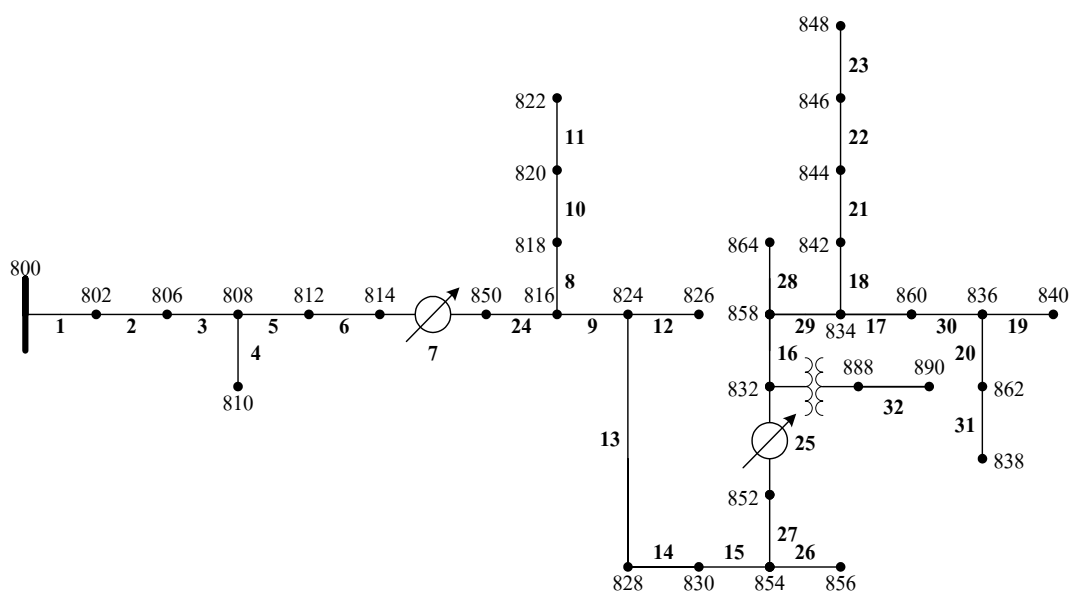


รูปที่ 3.24 เปรียบเทียบกระแสผิดพลาดของระบบ 20 บัสที่จำลองผลด้วยโปรแกรมของงานวิจัยและ MATLAB

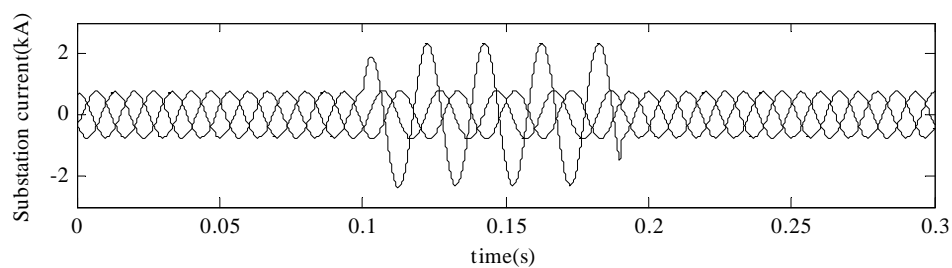
3.8 ผลการจำลองกับระบบจำหน่าย 22 kV

จากระเบียบวิธีของงานวิจัยที่นำเสนอเกี่ยวกับ การสร้างแบบจำลองสภาวะชั่วคราวของระบบจำหน่ายเพื่อนำไปใช้จำลองความผิดพลาด งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบจำหน่าย 20 บัส 22 kV 50 Hz ลักษณะวงจรข่ายของระบบนี้เหมือนกับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 20 บัสในรูปแบบที่ 3.20 พารามิเตอร์ของระบบจำหน่าย 20 บัสเป็นพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนมาจากระบบจำหน่าย IEEE 34 บัส 24.9 kV 60 Hz (IEEE organizations, 2004) ซึ่งมีโครงข่ายของวงจรดังแสดงในรูปแบบที่ 3.25 พารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้า ข้อมูลสายป้อน และข้อมูลบัสสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัสแสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.7-ค.9

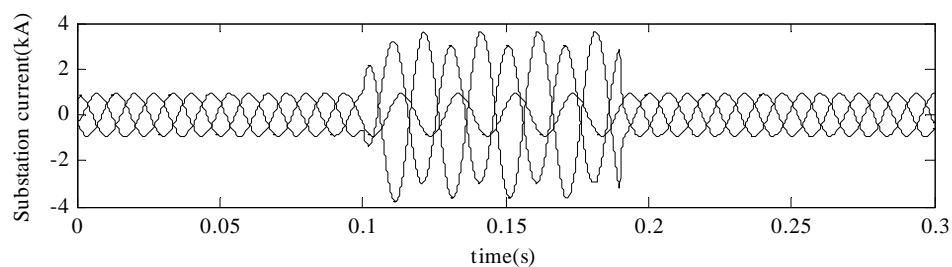
การจำลองผลความผิดพลาดสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้เกิดความผิดพลาดในระบบทดสอบทั้งหมด 11 กรณี โดยแต่ละกรณีจำลองผล 20 ครั้งด้วยตำแหน่งและความต้านทานผิดพลาดที่แตกต่างกันทั้งหมด ตำแหน่งผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดเป็นค่าที่ได้มาจากการสุ่มแบบกระจายสม่ำเสมอของโปรแกรม MATLAB ช่วงเวลาการจำลองผลคือ 0-300 ms ขึ้นเวลาที่ใช้จำลองสำหรับงานวิจัยนี้ คือ 0.4 ms ความผิดพลาดกำหนด ให้เกิดในระหว่างช่วงเวลา 100-190 ms รูปสัญญาณของกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟสที่ได้จากการจำลองผลสภาวะผิดพลาดบางส่วนแสดงดังรูปที่ 3.26-3.30



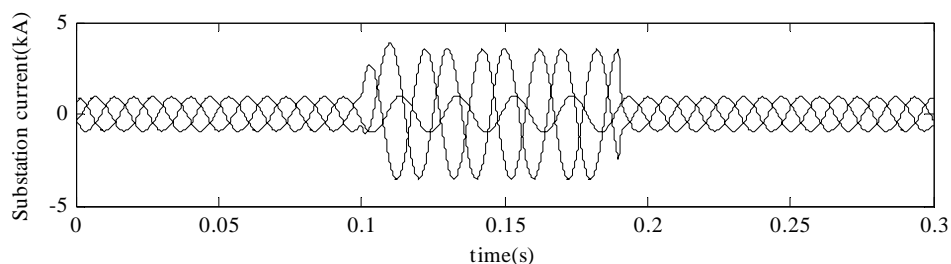
รูปที่ 3.25 ระบบจำหน่าย IEEE 34 บัส 24.9 kV 60 Hz (IEEE organizations, 2004)



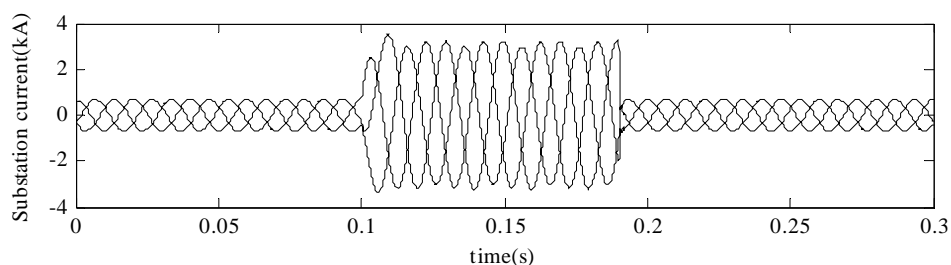
รูปที่ 3.26 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส *a* ลงดินระหว่างบัส 7-8 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 4.96 km และความต้านทานผิพรองเท่ากับ $1.5 \times 10^{-8} \Omega$



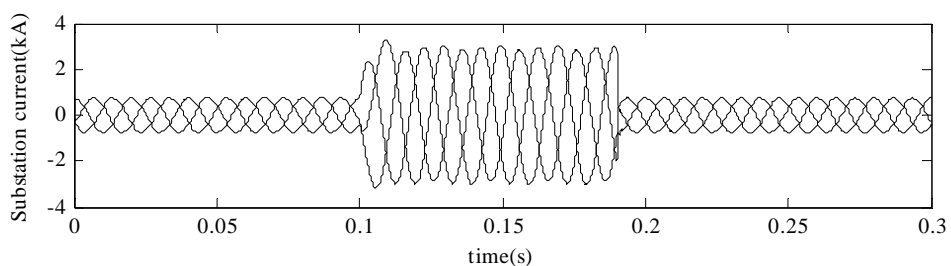
รูปที่ 3.27 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส *ab* ระหว่างบัส 8-9 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 6.60 km และความต้านทานผิพรอง $1.8 \times 10^{-5} \Omega$



รูปที่ 3.28 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินระหว่างบัส 10-11 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 5.26 km และความต้านทานผิวดร่อง $1.5 \times 10^{-5} \Omega$



รูปที่ 3.29 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส *abc* ระหว่างบัส 13-14 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 10.19 km และความต้านทานผิวดร่อง $4 \times 10^{-6} \Omega$



รูปที่ 3.30 รูปสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้ากรณีลัดวงจรเฟส *abc* ลงดินระหว่างบัส 6-7 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 3.17 km และความต้านทานผิวดร่อง $1 \times 10^{-6} \Omega$

3.9 สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองในสภาวะชั่วคราวสำหรับระบบจำหน่ายเพื่อใช้เป็นตัวจำลองความผิวดร่อง ระเบียบวิธีการหาค่าอินทิกรัลอย่างง่ายของกฎสี่เหลี่ยมคางหมูได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลององค์ประกอบของระบบ การจำลองสถานการณ์ความผิวดร่องใน

ระบบจำหน่ายกระทำโดยการต่อตัวด้านทานเข้าไปที่บัสที่ต้องการให้เกิดความผิดพลาด ด้วยระเบียบวิธีของงานวิจัยนี้ทำให้สามารถคำนวณหาลักษณะสมบัติชั่วคราวของกระแสและแรงดันของระบบได้ ประสิทธิภาพของระเบียบของงานวิจัยได้มีการประเมิน โดยนำผลการจำลองไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรม PSIM และ MATLAB เมื่อนำผลการจำลองบางส่วนจากทั้งสามโปรแกรมไปคำนวณหาเฟสเซอร์ของกระแสผิดพลาดได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เฟสเซอร์กระแสผิดพลาดสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัสและ 20 บัส

โปรแกรมจำลองผล	ระบบทดสอบ 4 บัส		ระบบทดสอบ 20 บัส	
	ขนาด (kA)	มุมเฟส (องศา)	ขนาด (kA)	มุมเฟส (องศา)
MATLAB	3.1555	85.40	4.5901	-13.98
PSIM	3.1544	88.03	-	-
งานวิจัย	3.1547	86.23	4.5835	-15.56

จากตารางที่ 3.2 เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเฟสเซอร์สำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัส กระแสผิดพลาดที่จำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB และระเบียบวิธีของงานวิจัยมีขนาดของกระแสต่างกัน 0.8 A และความแตกต่างของมุมเฟสเท่ากับ -0.83° กระแสผิดพลาดที่จำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM และระเบียบวิธีของงานวิจัยมีความแตกต่างของขนาดกระแสเท่ากับ 0.3 A และความแตกต่างของมุมเฟสเท่ากับ 1.80° และเมื่อพิจารณาผลการคำนวณเฟสเซอร์สำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 20 บัส กระแสผิดพลาดที่จำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB และระเบียบวิธีของงานวิจัยมีความแตกต่างของขนาดเท่ากับ 6.6 A และความแตกต่างของมุมเฟสเท่ากับ 1.58°

จากการจำลองความผิดพลาดกับระบบจำหน่าย 20 บัสพบว่า ขนาดของกระแสสถานีไฟฟ้าระหว่างสภาวะก่อนและขณะเกิดความผิดพลาดจะมีค่ามากขึ้น เมื่อความผิดพลาดเกิดที่ตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้า จากตัวอย่างของสัญญาณกระแสสถานีไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.26-3.30 จะสังเกตได้ว่า ขนาดของกระแสในสภาวะผิดพลาดมีค่าสูงกว่าขนาดกระแสในสภาวะปกติหลายเท่า ซึ่งกระแสสถานีไฟฟ้าในสภาวะปกติคือกระแสโหลด หรือกระแสขององค์ประกอบขนานทั้งหมดในระบบนั่นเอง ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในสภาวะผิดพลาดจึงสามารถละทิ้งการพิจารณาผลของกระแสโหลดหรือกระแสขององค์ประกอบขนานในระบบได้ (Stagg and Ei-Abiad, 1968) และข้อกำหนดดังกล่าวนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการระบุตำแหน่งผิดพลาด เพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณระยะทางผิดพลาด ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในเนื้อหาของบทที่ 4 เป็นลำดับต่อไป

บทที่ 4

การจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งความผิดปกติ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงระเบียบวิธีทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งความผิดปกติ ในหัวข้อที่ 4.2 จะกล่าวถึงรูปแบบของปัญหาการระบุตำแหน่งผิดปกติในระบบจำหน่ายแบบรัศมี หัวข้อที่ 4.3 จะกล่าวถึงการจำแนกชนิดของความผิดปกติซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการค้นหาแบบตาม หัวข้อที่ 4.5 จะเป็นการแสดงขั้นตอนการคำนวณระยะทางสำหรับความผิดปกติทุกกรณี และหัวข้อสุดท้ายหัวข้อที่ 4.6 จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์หาตำแหน่งความผิดปกติ

4.2 รูปแบบของปัญหา

การระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้าประกอบไปด้วยปัญหา 2 ส่วน คือการจำแนกชนิดความผิดปกติและการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ เนื่องจากระบบจำหน่ายมีรูปลักษณะของโครงข่ายเป็นแบบรัศมี ระเบียบวิธีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งผิดปกติในระบบส่งจ่ายจึงไม่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายได้ (Zhu et al., 1997) ความสามารถในการตรวจวัดสัญญาณกระแสหรือแรงดันในระบบจำหน่ายถูกจำกัด เพราะอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณจะติดตั้งไว้เฉพาะที่สถานีไฟฟ้าเท่านั้น ในส่วนอื่นๆ ของระบบจะมีองค์ประกอบที่ไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณ หรือส่งสัญญาณกลับไปที่สถานีไฟฟ้าได้ ทำให้ปัญหาการระบุตำแหน่งผิดปกติในระบบจำหน่ายเป็นการพิจารณาสัญญาณกระแสหรือแรงดันเพียงด้านเดียวที่สถานีไฟฟ้าเท่านั้น ความยุ่งยากของปัญหาการระบุตำแหน่งผิดปกติสำหรับระบบจำหน่ายแบบรัศมี จึงเป็นผลมาจากการมีข้อมูลเกี่ยวกับกระแสและแรงดันขณะเกิดความผิดปกติเพียงจุดเดียวที่สถานีไฟฟ้า การระบุตำแหน่งผิดปกติสำหรับงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การจำลองความผิดปกติในระบบจำหน่ายด้วยแบบจำลองสถานะชั่วคราว
- 2) คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันที่สถานีไฟฟ้า ด้วยระเบียบวิธีการของผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง
- 3) ประยุกต์ใช้การค้นหาแบบตามเพื่อคำนวณค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ที่มีค่าเหมาะสมสำหรับการจำแนกชนิดความผิดปกติทั้ง 11 ชนิด
- 4) แบ่งระบบไฟฟ้าออกเป็นวิถี (path) ย่อยและลดรูปแต่ละวิถีให้เป็นวงจรอย่างง่าย

- 5) กำหนดระยะทางผิดพลาด (fault distance) สำหรับแต่ละวิถี
- 6) ระบุวิถีและตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด

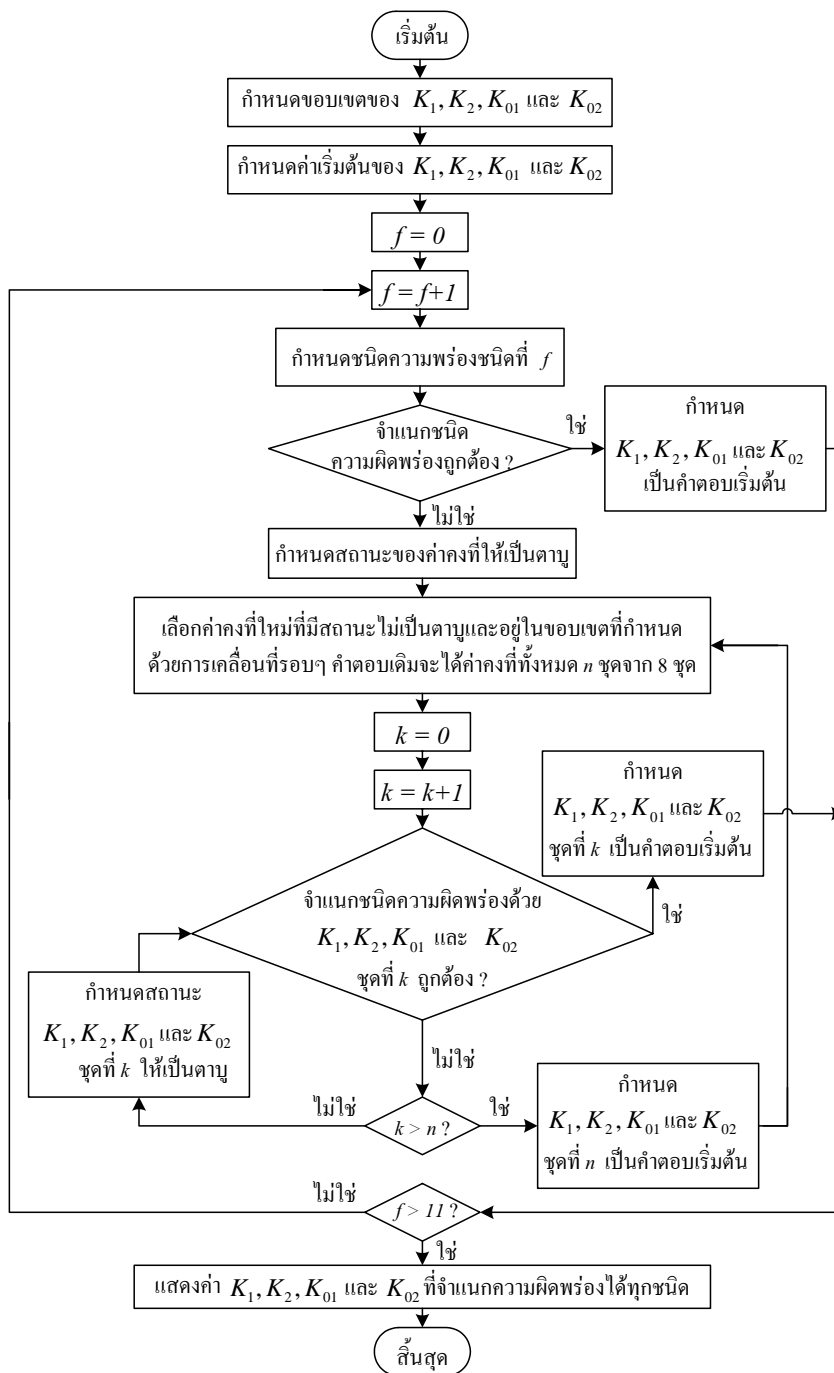
4.3 การจำแนกชนิดความผิดพลาด

เมื่อระบบจำหน่ายเกิดความผิดพลาด ตำแหน่งที่สามารถบันทึกสัญญาณกระแสในสภาวะก่อนและขณะเกิดความผิดพลาดได้มีเพียงสถานีไฟฟ้าเท่านั้น กระแสที่บันทึกได้นี้จะถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณเฟสเซอร์ด้วยระเบียบวิธีการของผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง การจำแนกชนิดของความผิดพลาดจะวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเฟสเซอร์ของกระแสในสภาวะก่อน และขณะเกิดความผิดพลาด ระเบียบวิธีการวิเคราะห์เพื่อจำแนกชนิดความผิดพลาดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) บันทึกสัญญาณกระแสที่สถานีไฟฟ้าในช่วงเวลาก่อนและขณะเกิดความผิดพลาด
- 2) กำหนดเฟสเซอร์ของกระแสที่บันทึกได้ด้วยระเบียบวิธีการของผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง
- 3) ระหว่างช่วงเวลาก่อนและขณะเกิดความผิดพลาด ทำการตรวจสอบว่าเฟสเซอร์ของกระแสเฟสใดมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดมากที่สุด กำหนดให้ขนาดความเปลี่ยนแปลงนั้นมีค่าเท่ากับ I_{MAX}
- 4) นำเอาขนาดเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละเฟสหารด้วย I_{MAX} จะได้ค่าคงที่ K_a สำหรับเฟส a K_b สำหรับเฟส b และ K_c สำหรับเฟส c เมื่อนำค่าคงที่นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าคงที่ K_1 และ K_2 จะสามารถกำหนดสถานะของกระแสในแต่ละเฟสได้ดังนี้
 - 4.1) ถ้ามากกว่า K_1 สถานะของกระแสในเฟสนั้นมีค่าเท่ากับ 1
 - 4.2) ถ้าน้อยกว่า K_2 สถานะของกระแสในเฟสนั้นมีค่าเท่ากับ 0
- 5) พิจารณาที่กระแสลำดับศูนย์ เมื่อกระแสในแต่ละเฟสถูกหารด้วย I_{MAX} จะได้ค่าคงที่ K_0 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าคงที่ K_{01} และ K_{02} จะสามารถกำหนดสถานะของกระแสลำดับศูนย์ได้ดังนี้
 - 5.1) ถ้ามากกว่า K_{01} สถานะกระแสลำดับศูนย์มีค่าเท่ากับ 1
 - 5.2) ถ้าน้อยกว่า K_{02} สถานะกระแสลำดับศูนย์มีค่าเท่ากับ 0
- 6) เมื่อทราบสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์ จะสามารถจำแนกชนิดของความผิดพลาดได้โดยพิจารณาสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้า ที่มีความสอดคล้องกับความผิดพลาดชนิดต่างๆ ตามตารางที่ 4.1

ปัญหาที่สำคัญของการจำแนกชนิดความผิดพลาดคือการเลือกค่า K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ที่มีความเหมาะสมสำหรับการจำแนกชนิดความผิดพลาด งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การค้นหาแบบตามูเพื่อ

คำนวณค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคือสถานะ 0 และ 1 ของกระแสสถานีไฟฟ้าในแต่ละเฟสและกระแสลำดับศูนย์ที่มีความสอดคล้องกับความผิดพลาดทุกชนิด ฟังก์ชันของการค้นหาแบบตามูสำหรับงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันการคำนวณ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ด้วยการค้นหาแบบตามู

ตารางที่ 4.1 สถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับความผิดปกติชนิดต่างๆ

ชนิดของความผิดปกติ	สถานะ			
	a	b	c	0
ลัดวงจรเฟส a ลงดิน	1	0	0	1
ลัดวงจรเฟส b ลงดิน	0	1	0	1
ลัดวงจรเฟส c ลงดิน	0	0	1	1
ลัดวงจรเฟส ab	1	1	0	0
ลัดวงจรเฟส ac	1	0	1	0
ลัดวงจรเฟส bc	0	1	1	0
ลัดวงจรเฟส ab ลงดิน	1	1	0	1
ลัดวงจรเฟส ac ลงดิน	1	0	1	1
ลัดวงจรเฟส bc ลงดิน	0	1	1	1
ลัดวงจรเฟส abc	1	1	1	0
ลัดวงจรเฟส abc ลงดิน	1	1	1	1

4.4 การแบ่งระบบจำหน่ายออกเป็นวิธีย่อย

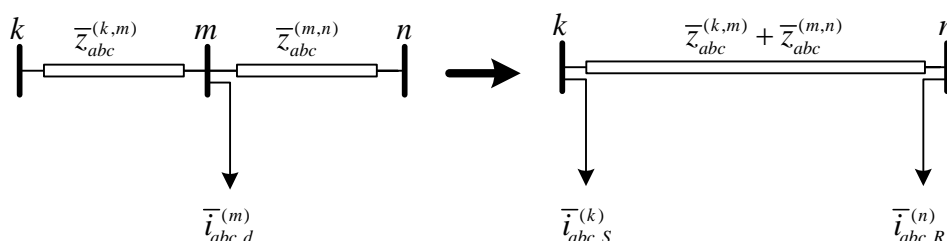
เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย สัญญาณกระแสและแรงดันที่วัดได้ที่สถานีไฟฟ้า อาจจะไม่สอดคล้องกับตำแหน่งผิดปกติใดๆ ก็ได้ในระบบ ทุกวิถีของระบบมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความผิดปกติ ทุกวิถีจึงถูกพิจารณาเพื่อคำนวณหาระยะทางผิดปกติ ขั้นตอนสุดท้ายของปัญหาการระบุตำแหน่งผิดปกติคือการระบุวิถีของระบบที่เกิดความผิดปกติ และระยะทางผิดปกติที่อ้างอิงจากสถานีย่อย ก่อนที่จะคำนวณหาระยะทางผิดปกติสำหรับแต่ละวิถีที่พิจารณาระบบที่มีความซับซ้อนจะต้องถูกลดรูปให้กลายเป็นระบบอย่างง่ายเสียก่อน ดังแสดงวงจรในรูปที่ 4.2 สัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ในรูปที่ 4.2 มีดังนี้ $\bar{i}_d^{(k)}$ คือกระแสไหลลัดที่เชื่อมต่อกับบัส k ใดๆ โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, N$ \bar{i}_{sd} คือกระแสสมมูลของปลายส่ง (sending end) \bar{i}_{rd} คือกระแสสมมูลของปลายรับ (receiving end) และ r_f คือความต้านทานผิดปกติ (fault resistance) รูปที่ 4.2 ก) เป็นระบบจำหน่ายแบบรัศมีดั้งเดิมที่เกิดความผิดปกติ รูปที่ 4.2 ข) เป็นระบบที่ถูกลดรูปให้เป็นวงจรอย่างง่ายของวิถีที่พิจารณา และรูปที่ 4.2 ค) เป็นวงจรอย่างง่ายสำหรับวิถีที่พิจารณาเพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางผิดปกติ การลดรูปวงจรในรูปที่ 4.2 ข) ให้เป็นวงจรอย่างง่ายที่มีลักษณะเหมือนรูปที่ 4.2 ค) สามารถกระทำได้โดยการย้ายกระแสไหลลัดที่บัสใดๆ ไปสู่บัสปลายส่งด้วยค่ากระแสไหลลัดใหม่ที่คำนวณจากสมการที่ (4-1)

$$\bar{i}_{abc,S}^{(k)} = \left(\bar{z}_{abc}^{(k,m)} + \bar{z}_{abc}^{(m,n)} \right)^{-1} \bar{z}_{abc}^{(m,n)} \bar{i}_{abc,d}^{(m)} \quad (4-1)$$

ย้ายกระแสไหลที่บัสเดียวกันนี้ไปที่บัสปลายทางของสายป้อนด้วยกระแสไหลค่าใหม่ที่คำนวณจากสมการที่ (4-2)

$$\bar{i}_{abc,R}^{(n)} = - \left(\bar{z}_{abc}^{(k,m)} + \bar{z}_{abc}^{(m,n)} \right)^{-1} \bar{z}_{abc}^{(k,m)} \bar{i}_{abc,d}^{(m)} \quad (4-2)$$

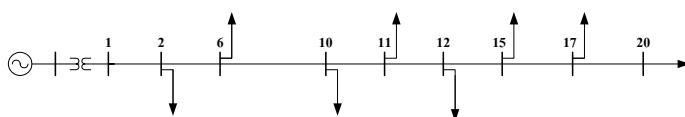
เมื่อ $\bar{i}_{abc,S}^{(k)}$ คือ เวกเตอร์กระแสไหลผสมมูลปลายส่งบัส k
 $\bar{i}_{abc,R}^{(n)}$ คือ เวกเตอร์กระแสไหลผสมมูลปลายรับบัส n
 $\bar{i}_{abc,d}^{(m)}$ คือ เวกเตอร์กระแสไหลบัส m ซึ่งอยู่ระหว่างบัสปลายทางและบัสปลายรับ
 $\bar{z}_{abc}^{(k,m)}$ คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์สามเฟสของสายส่งระหว่างบัส k และบัส m
 $\bar{z}_{abc}^{(m,n)}$ คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์สามเฟสของสายส่งระหว่างบัส m และบัส n
 การย้ายกระแสไหลที่อยู่ตรงกลางสายป้อน ให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งปลายทางและปลายรับสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 4.3



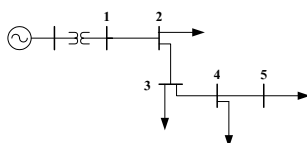
รูปที่ 4.3 การย้ายกระแสไหลไปสู่ปลายทางและปลายรับ

จากรูปที่ 4.2 ข) กระบวนการการย้ายไหลจะเริ่มต้นที่บัส $N-2$ บัส $N-1$ และบัส N โดยไหลที่บัส $N-1$ จะถูกย้ายไปที่บัส $N-2$ ด้วยค่าใหม่ที่คำนวณจากสมการที่ (4-1) และถูกย้ายไปที่บัส N ด้วยค่าใหม่ที่คำนวณจากสมการที่ (4-2) และดำเนินการไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงสถานะของระบบเหมือนรูปที่ 4.2 ค)

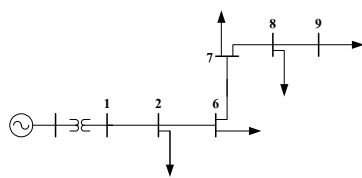
ระบบจำหน่าย 20 บัสที่ใช้ทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นวิธีได้ทั้งหมด 6 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.9 แต่ละวิธีถูกลดรูปให้เหมือนกับระบบในรูป 4.2 ค) และนำไปใช้สำหรับคำนวณหาระยะทางผิดพลาดและตัวต้านทานผิดพลาดด้วยระเบียบวิธีในหัวข้อที่ 4.5



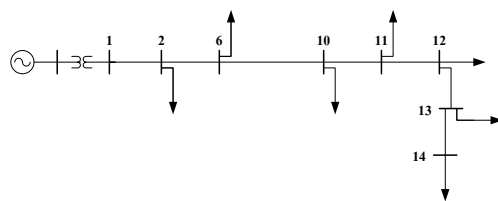
รูปที่ 4.4 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 1



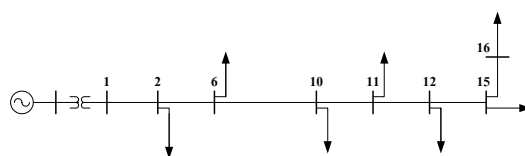
รูปที่ 4.5 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 2



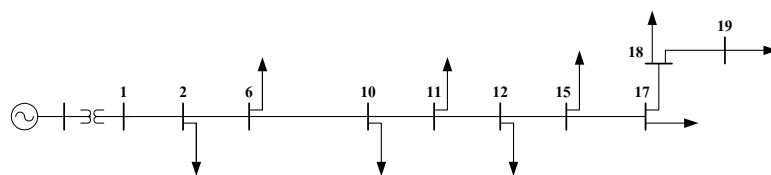
รูปที่ 4.6 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 3



รูปที่ 4.7 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 4



รูปที่ 4.8 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 5



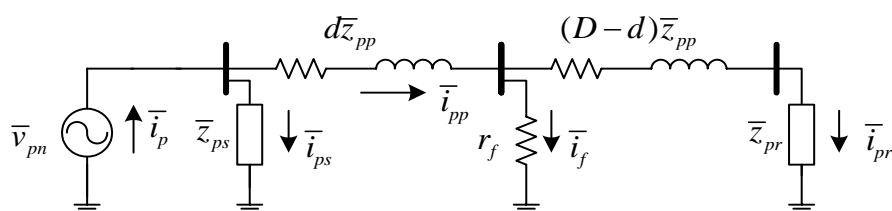
รูปที่ 4.9 ระบบจำหน่าย 20 บัส วิธีที่ 6

4.5 การคำนวณระยะทางผิดพลาด

จากหัวข้อที่ 3.4 แบบจำลองความผิดพลาดทั้ง 11 ชนิดสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มและมีสมการกระแสของแบบจำลองที่แตกต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์หาระยะทางผิดพลาด สมการและวิธีการคำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มเช่นเดียวกัน โดยมีรายละเอียดของสมการและขั้นตอนการคำนวณระยะทางผิดพลาดดังต่อไปนี้

4.5.1 ความผิดพลาดลัดวงจรเฟสเดียวลงดิน

กำหนดให้ความผิดพลาดเฟสเดียวลัดวงจรลงดินเกิดที่ตำแหน่งที่มีระยะห่างจากสถานีย่อย d กิโลเมตร อิมพีแดนซ์ผิดพลาดเป็นตัวต้านทานมีค่าเท่ากับ r_f และ D คือระยะทางทั้งหมด สำหรับวิธีที่พิจารณา เมื่อตัวห้อย p แทนเฟส a b หรือ c วงจรสมมูลอย่างง่ายของวิธีที่พิจารณาเมื่อเกิดความผิดพลาดลัดวงจรเฟส p ลงดินแสดงดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 วงจรสมมูลเฟส p สำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส p ลงดิน

กระแสที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์สมมูลปลายส่งเฟส p มีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_{ps} = \frac{1}{\bar{z}_{ps}} \bar{v}_{pn} \quad (4-3)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c

\bar{v}_{pn} คือ แรงดันขั้วของสถานีย่อยเฟส p
 \bar{i}_p คือ กระแสสถานีย่อยเฟส p
 \bar{z}_{ps} คือ อิมพีแดนซ์สมมูลปลายส่งเฟส p

กระแสสายป้อนหน้าจุดผิตพ่วงเฟส p มีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_{pp} = \bar{i}_p - \bar{i}_{ps} \quad (4-4)$$

เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c
 \bar{i}_{pp} คือ กระแสสายป้อนหน้าจุดผิตพ่วงเฟส p

พิจารณาที่โนดจุดผิตพ่วง กระแสผิตพ่วงมีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_f = \bar{i}_{pp} - \bar{i}_{pr} \quad (4-5)$$

เมื่อ \bar{i}_f คือ กระแสผิตพ่วง
 \bar{i}_{pr} คือ กระแสปลายรับเฟส p

พิจารณาจุดผิตพ่วงในรูปที่ 4.10 เนื่องจากตัวต้านทานผิตพ่วงมีค่าต่ำมากๆ แรงดันที่จุดผิตพ่วงจึงมีค่าต่ำมากๆ ด้วย กระแสปลายรับเฟส p จึงสามารถละทิ้งและกำหนดให้มีค่าประมาณศูนย์ได้ ดังนั้น กระแสผิตพ่วงจึงมีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_f = \bar{i}_{pp} \quad (4-6)$$

จากการประยุกต์ใช้ KVL กับสายป้อนเฟส p ที่ตำแหน่งหน้าจุดผิตพ่วงและตัวต้านทานผิตพ่วง จะได้สมการแรงดันดังนี้

$$-\bar{v}_{pn} + d\bar{v}_t + r_f \bar{i}_f = 0 \quad (4-7)$$

กำหนดให้

$$\bar{v}_t = \bar{z}_{pp} \bar{i}_{pp} + \bar{z}_{pq} \bar{i}_{qq} + \bar{z}_{pu} \bar{i}_{uu} \quad (4-8)$$

- เมื่อ p คือ เฟส a b หรือ c
 q คือ เฟส a b หรือ c
 u คือ เฟส a b หรือ c
 \bar{i}_{qq} คือ กระแสสายป้อนเฟส q
 \bar{i}_{uu} คือ กระแสสายป้อนเฟส u
 r_f คือ ความต้านทานผิพรอง
 \bar{z}_{pp} คือ อิมพีแดนซ์ตัวเองของสายป้อนเฟส p
 \bar{z}_{pq} คือ อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส p และ q โดยที่ $p \neq q$
 \bar{z}_{pu} คือ อิมพีแดนซ์ร่วมของสายป้อนเฟส p และ u โดยที่ $p \neq u$

เมื่อแจกแจงสมการที่ (4-7) ให้อยู่ในพจน์ของส่วนจริงและส่วนจินตภาพทั้งหมดจะได้ว่า

$$-\bar{v}_{pn,r} - j\bar{v}_{pn,i} + d\bar{v}_{t,r} + jd\bar{v}_{t,i} + r_f\bar{i}_{f,r} + jr_f\bar{i}_{f,i} = 0 \quad (4-9)$$

กำหนดให้ตัวห้อย r และ i แทนส่วนจริงและจินตภาพตามลำดับ

จากการพิจารณาสมการที่ (4-9) สามารถสรุปได้ว่า ผลรวมของพจน์ที่เป็นส่วนจริงหรือผลรวมของส่วนที่เป็นจินตภาพต่างก็มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น เมื่อแยกพจน์ที่เป็นส่วนจริงออกมาแสดงเป็นสมการใหม่จะได้ว่า

$$-\bar{v}_{pn,r} + d\bar{v}_{t,r} + r_f\bar{i}_{f,r} = 0 \quad (4-10)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้ระยะทางผิพรองดังนี้

$$d = \frac{\bar{v}_{pn,r} - r_f\bar{i}_{f,r}}{\bar{v}_{t,r}} \quad (4-11)$$

จากสมการที่ (4-9) เมื่อแยกพจน์ที่เป็นส่วนจินตภาพออกมาแสดงเป็นสมการใหม่จะได้ว่า

$$-\bar{v}_{pn,i} + d\bar{v}_{t,i} + r_f\bar{i}_{f,i} = 0 \quad (4-12)$$

แทนค่า d จากสมการที่ (4-11) ลงในสมการที่ (4-12) จะได้ว่า

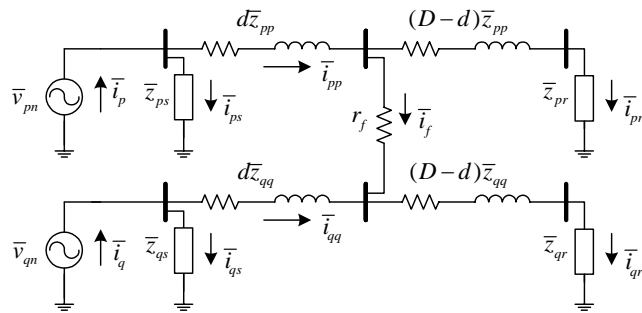
$$-\bar{v}_{p,i} + \left(\frac{\bar{v}_{p,r} - r_f \bar{i}_{f,r}}{\bar{v}_{t,r}} \right) \bar{v}_{t,i} + r_f \bar{i}_{f,i} = 0 \quad (4-13)$$

จัดรูปสมการใหม่เพื่อหาค่าความต้านทานผิดปร้องจะได้ว่า

$$r_f = \frac{\bar{v}_{pm,i} \bar{v}_{t,r} - \bar{v}_{pm,r} \bar{v}_{t,i}}{\bar{v}_{t,r} \bar{i}_{f,i} - \bar{v}_{t,i} \bar{i}_{f,r}} \quad (4-14)$$

4.5.2 ความผิดปร้องลัดวงจรสองเฟส

กำหนดให้ตัวห้อย p และ q แทนเฟส a b หรือ c และ $p \neq q$ เมื่อระบบเกิดความผิดปร้องลัดวงจรเฟส p และเฟส q วงจรสมมูลสำหรับเฟส p และเฟส q ในวิธีที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรสมมูลเฟส p และเฟส q สำหรับความผิดปร้องลัดวงจรเฟส pq

เนื่องจากแรงดันหลังจุดผิดปร้องในรูปที่ 4.11 มีค่าต่ำมากๆ กระแสปลายรับของสายป้อนทั้งสองเฟสจึงสามารถละทิ้งและกำหนดให้มีค่าโดยประมาณเท่ากับศูนย์ได้ ดังนั้น กระแสผิดปร้องจึงมีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_f = \bar{i}_{pp} = -\bar{i}_{qq} \quad (4-15)$$

เมื่อพิจารณาสายป้อนหน้าจุดผิดปร้องเฟส p ตัวต้านทานผิดปร้อง และสายป้อนหน้าจุดผิดปร้องเฟส q จะได้สมการแรงดันตาม KVL ดังนี้

$$-\bar{v}_{pq} + d\bar{v}_i + r_f \bar{i}_f = 0 \quad (4-16)$$

กำหนดให้

$$\bar{v}_{pq} = \bar{v}_{pn} - \bar{v}_{qn} \quad (4-17)$$

$$\bar{v}_i = (\bar{z}_{pp} - \bar{z}_{qp}) \bar{i}_{pp} + (\bar{z}_{pq} - \bar{z}_{qq}) \bar{i}_{qq} + (\bar{z}_{pu} - \bar{z}_{qu}) \bar{i}_{uu} \quad (4-18)$$

พิจารณาสมการที่ (4-16) จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกับสมการที่ (4-7) ดังนั้น ความต้านทานผิดพลาดสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$r_f = \frac{\bar{v}_{pq,i} \bar{v}_{i,r} - \bar{v}_{pq,r} \bar{v}_{i,i}}{\bar{v}_{i,r} \bar{i}_{f,i} - \bar{v}_{i,i} \bar{i}_{f,r}} \quad (4-19)$$

และระยะทางผิดพลาดสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

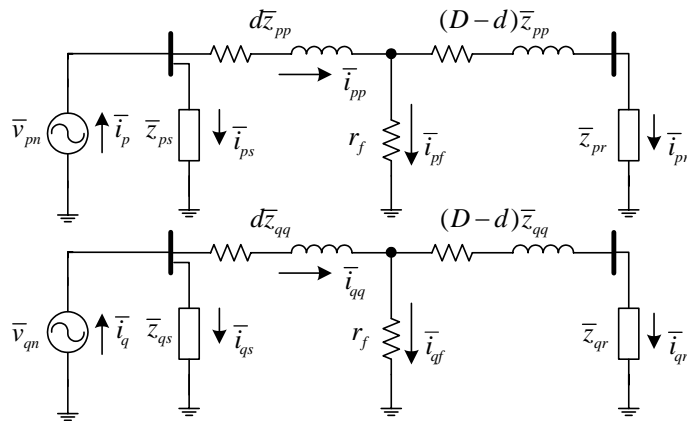
$$d = \frac{\bar{v}_{pq,r} - r_f \bar{i}_{f,r}}{\bar{v}_{i,r}} \quad (4-20)$$

4.5.3 ความผิดพลาดวงจรสองเฟสลงดิน

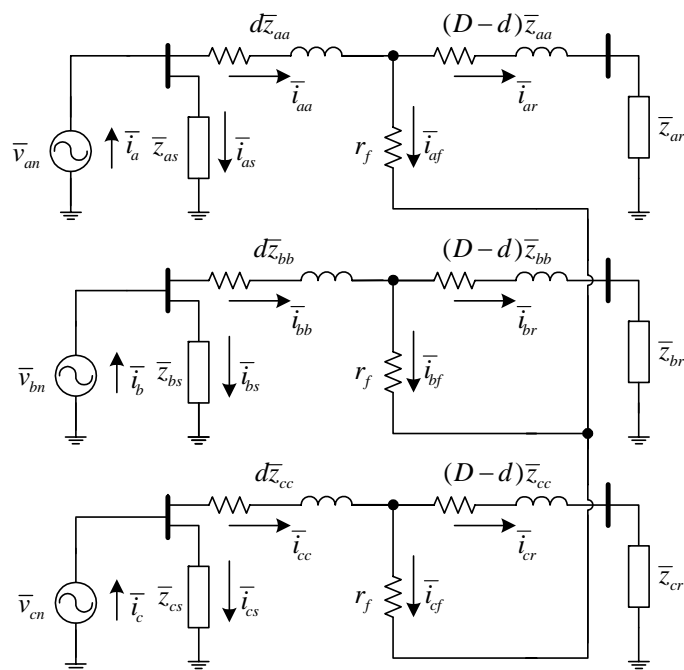
วงจรอย่างง่ายของระบบที่เกิดความผิดพลาดแบบลัดวงจรสองเฟสลงดินในวิธีที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 กำหนดให้ตัวห้อย p และ q คือเฟส a b หรือ c และ $p \neq q$ การวิเคราะห์หาสมการคำนวณความต้านทานผิดพลาดและระยะทางผิดพลาด สามารถวิเคราะห์จากสายป้อนเฟสใดเฟสหนึ่งที่เกิดความผิดพลาดโดยไม่ต้องพิจารณาอีกสองเฟสที่เหลือได้ ทำให้สมการแรงดันตาม KVL เมื่อพิจารณาที่สายป้อนหน้าจุดผิดพลาดและตัวต้านทานผิดพลาดมีความคล้ายคลึงกับสมการแรงดันในสมการที่ (4-7) ทุกประการ รวมทั้งกระแสปลายส่งและกระแสสายป้อนสำหรับเฟสที่พิจารณาก็สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-3) และ (4-6) ตามลำดับ ความต้านทานผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดแบบลัดวงจรสองเฟสลงดินจึงสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4-14) และระยะทางผิดพลาดคำนวณหาได้จากสมการที่ (4-11)

4.5.4 ความผิดพลาดวงจรสามเฟส

เมื่อระบบเกิดความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a เฟส b และเฟส c วงจรสมมูลของระบบสำหรับเฟส a เฟส b และเฟส c ในวิธีที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 วงจรสมมูลเฟส p และเฟส q สำหรับความผิดปกติวงจรเฟส pq ลงดิน



รูปที่ 4.13 วงจรสมมูลสามเฟสสำหรับความผิดปกติวงจรเฟส abc

เนื่องจากแรงดันหลังจุดผิดปกติในรูปที่ 4.13 มีค่าต่ำมากๆ กระแสปลายรับของสายป้อนทั้งสามเฟสจึงสามารถละทิ้งและกำหนดให้มีค่าโดยประมาณเท่ากับศูนย์ได้ ดังนั้น กระแสผิดปกติเฟส a จึงมีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_{af} = \bar{i}_{aa} \quad (4-21)$$

กระแสฟีดพ่วงเฟส b มีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_{bf} = \bar{i}_{bb} \quad (4-22)$$

กระแสฟีดพ่วงเฟส c มีค่าเท่ากับ

$$\bar{i}_{cf} = \bar{i}_{cc} \quad (4-23)$$

ในการวิเคราะห์หาสมการคำนวณความต้านทานฟีดพ่วงและระยะทางฟีดพ่วง สามารถวิเคราะห์จากสายป้อนสองเฟสที่เกิดความฟีดพ่วงโดยไม่ต้องพิจารณาอีกหนึ่งเฟสที่เหลือได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่สายป้อนหน้าจุดฟีดพ่วงเฟส a ตัวต้านทานฟีดพ่วงเฟส a ตัวต้านทานฟีดพ่วงเฟส b และสายป้อนหน้าจุดฟีดพ่วงเฟส b จะได้สมการแรงดันตาม KVL ดังนี้

$$-\bar{v}_{ab} + d\bar{v}_t + r_f \bar{i}_f = 0 \quad (4-24)$$

กำหนดให้

$$\bar{i}_f = \bar{i}_{aa} - \bar{i}_{bb} \quad (4-25)$$

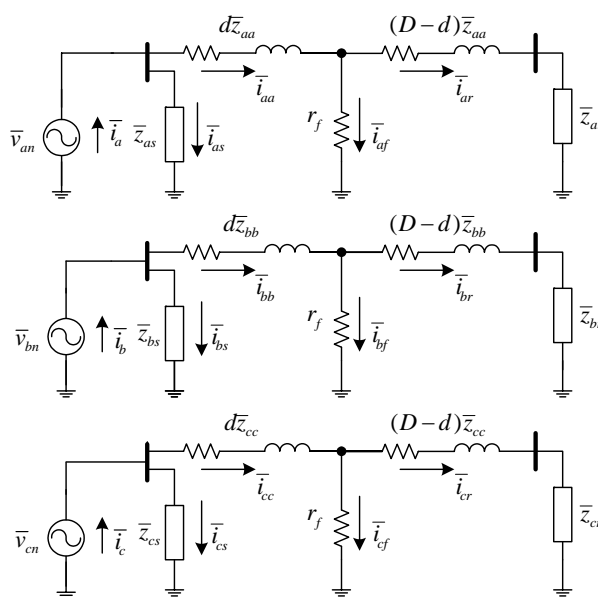
$$\bar{v}_{ab} = \bar{v}_{an} - \bar{v}_{bn} \quad (4-26)$$

$$\bar{v}_t = (\bar{z}_{aa} - \bar{z}_{ba})\bar{i}_{aa} + (\bar{z}_{ab} - \bar{z}_{bb})\bar{i}_{bb} + (\bar{z}_{ac} - \bar{z}_{bc})\bar{i}_{cc} \quad (4-27)$$

สมการที่ (4-24) มีความคล้ายคลึงกับสมการที่ (4-16) ดังนั้น ความต้านทานฟีดพ่วงสามารถคำนวณจากสมการที่ (4-19) และระยะทางฟีดพ่วงคำนวณจากสมการที่ (4-20)

4.5.5 ความฟีดพ่วงลัดวงจรสามเฟสลงดิน

วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบเมื่อเกิดความฟีดพ่วงลัดวงจรสามเฟสลงดินในวิธีที่พิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 สำหรับการคำนวณความต้านทานฟีดพ่วงและระยะทางฟีดพ่วง มีหลักการคิดและสมการคำนวณเหมือนกับความฟีดพ่วงแบบลัดวงจรสองเฟสลงดินทุกประการ



รูปที่ 4.14 วงจรสมมูลสามเฟสสำหรับความผิดพลาดถ่วงจรเฟส abc ลงดิน

4.6 การระบุตำแหน่งผิดพลาดด้วยเทคนิคการจำแนกวิธีอย่างง่าย

เนื่องจากระบบจำหน่ายประกอบไปด้วยสายป้อนที่สามารถแบ่งออกเป็นวิธีย่อยตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.5 เมื่อระบบเกิดความผิดพลาด สัญญาณกระแสและแรงดันซึ่งถูกบันทึกที่สถานีไฟฟ้าอาจจะเป็นผลตอบสนองอันเนื่องมาจากความผิดพลาดบนวิถีใดก็ได้ภายในระบบ เนื้อหาในหัวข้อที่ 4.5 เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณระยะผิดพลาดสำหรับวิถีที่พิจารณาว่าอาจเกิดความผิดพลาดและทุกวิถีจะต้องมีการคำนวณระยะทางผิดพลาด จากการวิเคราะห์ระยะทางผิดพลาดที่คำนวณได้จะทำให้ทราบว่าวิถีใดที่ไม่เกิดความผิดพลาด และวิถีใดที่อาจเกิดความผิดพลาดด้วยระยะทางเท่าใดเมื่ออ้างอิงจากสถานีไฟฟ้า แต่ก็ยังไม่สามารถระบุได้ว่าวิถีใดของระบบที่เกิดความผิดพลาดและทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งจริงของความผิดพลาดได้ ขั้นตอนต่อไปของการแก้ปัญหาการระบุตำแหน่งผิดพลาดคือ การพัฒนาระเบียบวิธีระบุวิถีของระบบที่เกิดความผิดพลาดจริงเพียงวิถีเดียว ระเบียบวิธีการระบุวิถีที่เกิดความผิดพลาดและตำแหน่งผิดพลาดสำหรับงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทำการตรวจสอบความเป็นไปได้ในเบื้องต้นของความน่าจะเป็นที่วิถีใดๆ จะเกิดความผิดพลาด โดยพิจารณาจากระยะทางผิดพลาดที่คำนวณได้สำหรับแต่ละวิถี และตรวจสอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1.1) ถ้าระยะทางผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิถีใดมีค่ามากกว่าความยาวสูงสุดของสายป้อนในวิถีนั้น สรุปได้ว่าวิถีดังกล่าวไม่เกิดความผิดพลาด

1.2) ถ้าระยะทางผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีใดมีค่าน้อยกว่าความยาวสูงสุดของสายป้อนในวิธีนั้น สรุปได้ว่าวิธีดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความผิดพลาด

2) นำเอาค่าระยะทางผิดพลาดและตัวต้านทานผิดพลาดสำหรับแต่ละวิธีที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดความผิดพลาด แทนค่าลงไปในการจำลองผลสถานะชั่วคราวอันเนื่องมาจากความผิดพลาด บันทึกค่ากระแสและแรงดันที่สถานีไฟฟ้าเฉพาะเฟสที่เกิดความผิดพลาด ในกรณีที่ระบบเกิดความผิดพลาดมากกว่าหนึ่งเฟส เลือกบันทึกเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสระหว่างสภาวะปกติและสภาวะผิดพลาดสูงสุด

2.1) คำนวณค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างยกกำลังสองระหว่างแรงดันที่สถานีไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพลาดจริงกับแรงดันที่สถานีไฟฟ้าที่บันทึกขณะจำลองผลความผิดพลาดด้วยตำแหน่งและตัวต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้ด้วยสมการที่ (4-28)

$$rsse_v = \sqrt{\sum_{k=1}^n \{v_{act}(k) - v_{sim}(k)\}^2} \quad (4-28)$$

เมื่อ $rsse_v$ คือ ค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างแรงดันยกกำลังสอง (root of sum square error of voltage)

v_{act} คือ แรงดันชั่วที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งบันทึกขณะระบบเกิดความผิดพลาดจริง

v_{sim} คือ แรงดันชั่วที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งบันทึกขณะจำลองผลด้วยตัวต้านทานผิดพลาดและระยะทางผิดพลาดของวิธีที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดความผิดพลาด

k คือ ดัชนีตัวอย่าง (sampling index) ของกระแสและแรงดัน

n คือ จำนวนตัวอย่าง (sampling points) ทั้งหมดของกระแสและแรงดัน

2.2) คำนวณค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างยกกำลังสองระหว่างกระแสที่สถานีไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพลาดจริงกับกระแสที่สถานีไฟฟ้าที่บันทึกขณะจำลองผลความผิดพลาดด้วยตำแหน่งและตัวต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้ด้วยสมการที่ (4-29)

$$rsse_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n \{i_{act}(k) - i_{sim}(k)\}^2} \quad (4-29)$$

- เมื่อ rss_e คือ ค่ารากที่สองของผลบวกของผลต่างกระแสยกกำลังสอง (root of sum square error of current)
- i_{act} คือ กระแสที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งบันทึกขณะเกิดความผิดพลาดจริง
- i_{sim} คือ กระแสที่สถานีไฟฟ้าสำหรับเฟสที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งบันทึกขณะจำลองผล ด้วยตัวต้านทานผิดพลาดและระยะทางผิดพลาดของวิธีที่มีความเป็นไปได้ว่า อาจเกิดความผิดพลาด

3) จากการพิจารณาค่า rss_{e_v} และ rss_{e_i} ถ้าวิธีใดมีค่าน้อยที่สุดสามารถระบุได้ว่าวิธีนั้นเกิดความผิดพลาด หรืออาจจะสรุปได้อีกนัยหนึ่งว่า ระยะทางผิดพลาดมีค่าเท่ากับระยะทางผิดพลาดของวิธีที่มีค่า rss_{e_v} และ rss_{e_i} น้อยที่สุดนั่นเอง

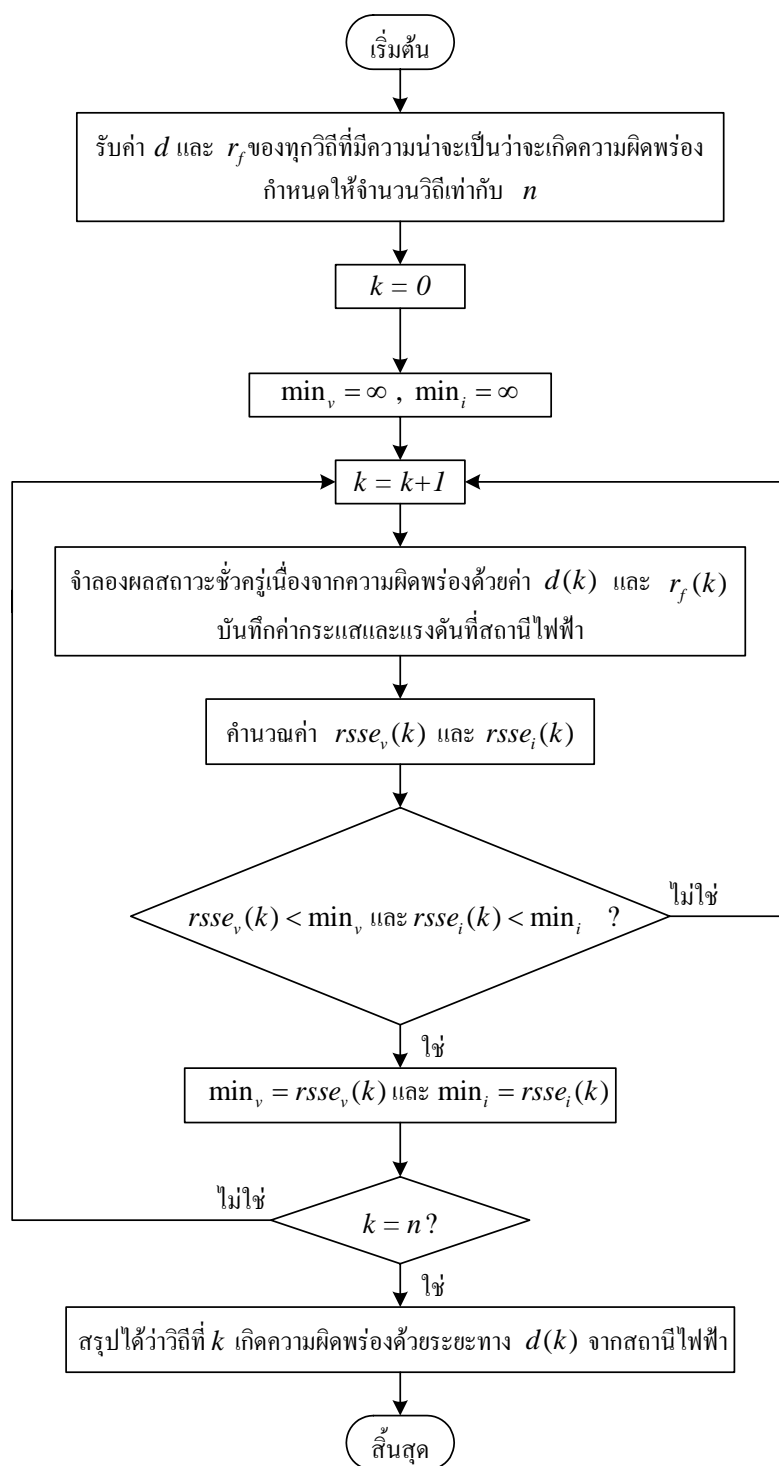
จากขั้นตอนทั้งหมดของการระบุวิธีและตำแหน่งผิดพลาด สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผังงานได้ดังรูปที่ 4.15

4.7 สรุป

การจำแนกชนิดความผิดพลาดจะอ้างอิงจากสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์ สถานะดังกล่าวนี้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 และสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบค่าคงที่ของกระแสเฟส $a (K_a)$ กระแสเฟส $b (K_b)$ กระแสเฟส $c (K_c)$ และกระแสลำดับศูนย์ (K_0) กับค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ถ้าค่าคงที่ของกระแสในเฟสใดมีค่ามากกว่า K_1 จะมีสถานะเป็น 1 แต่ถ้าน้อยกว่า K_2 จะมีสถานะเป็น 0 สำหรับค่าคงที่ของกระแสสถานีไฟฟาลำดับศูนย์ ถ้ามากกว่า K_{01} จะมีสถานะเป็น 1 แต่ถ้าน้อยกว่า K_{02} จะมีสถานะเป็น 0 จากสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์นี้ สามารถนำไปจำแนกชนิดของความผิดพลาดได้โดยใช้ตารางที่ 4.1

ระเบียบวิธีการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดจะเริ่มต้นจากการแบ่งระบบออกเป็นวิธีย่อยและลดรูปวงจรสำหรับแต่ละวิธีให้อยู่ในรูปวงจรอย่างง่าย ประยุกต์ใช้ KVL เพื่อหาสมการแรงดันที่มีระยะทางผิดพลาดและความต้านทานเป็นตัวแปรของสมการ สมการแรงดันดังกล่าวนี้จะถูกแยกออกเป็นสองส่วนจริงและส่วนจินตภาพ ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการสองสมการที่มีสองตัวแปร และผลเฉลยของสองสมการนี้คือระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาด การระบุวิธีที่เกิดความผิดพลาดจะใช้วิธีการจำลองผลสถานะชั่วคราวอันเนื่องมาจากระบบเกิดความผิดพลาด หากระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดในวิธีใดให้ผลการจำลองกระแสและแรงดันที่สถานีไฟฟ้าใกล้เคียงกับ

สถานะความผิดพลาดจริงมากที่สุด สามารถสรุปได้ว่าระยะทางผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีนั้นคือ ระยะทางผิดพลาดจริง และทำให้สามารถระบุตำแหน่งผิดพลาดจริงได้ในที่สุด



รูปที่ 4.15 ผังงานการระบุวิธีและตำแหน่งผิดพลาดด้วยเทคนิคการจำแนกวิธีอย่างง่าย

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

การทดสอบความถูกต้องของระเบียบวิธีการจำแนกชนิดความผิดปกติและการค้นหาตำแหน่งผิดปกติในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการทดสอบการจำแนกชนิดและค้นหาตำแหน่งของความผิดปกติกับระบบจำหน่าย 2 ระบบคือ ระบบจำหน่ายแบบรัศมีขนาด 20 บัส และสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 สถานการณ์ที่ระบบเกิดความผิดปกติกระทำโดยการจำลองผลสถานะชั่วคราวเมื่อมีความต้านทานที่มีค่าต่ำมากๆ เชื่อมต่อเข้ากับระบบ การทดสอบกำหนดให้เกิดความผิดปกติทั้งหมด 11 ชนิดแต่ละชนิดทดสอบ 20 ครั้ง ตำแหน่งผิดปกติและความต้านทานผิดปกติเป็นค่าที่กำหนดโดยการสุ่มแบบการแจกแจงปกติ ขณะทำการจำลองผลสถานะชั่วคราวจะมีการบันทึกกระแสและแรงดันที่ตำแหน่งสถานีไฟฟ้าตลอดช่วงเวลาก่อนและขณะเกิดความผิดปกติ กระแสและแรงดันที่บันทึกได้นี้จะถูกเปลี่ยนเป็นปริมาณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่องและจะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ในลำดับต่อไป

5.1 ระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัส

5.1.1 ผลการการจำแนกชนิดความผิดปกติ

ระเบียบวิธีที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.3 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้คำนวณหาค่าคงที่ K_1 , K_2 , K_{01} และ K_{02} เพื่อจำแนกชนิดความผิดปกติ เมื่อพิจารณาเฟสเซอร์กระแสสถานีไฟฟ้าในสถานะก่อนและขณะเกิดความผิดปกติจะทำให้ทราบเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสระหว่างสองสถานะมากที่สุด และกำหนดให้ความเปลี่ยนแปลงสูงสุดนั้นมีค่าเท่ากับ I_{MAX} เมื่อนำเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้าในสถานะผิดปกติทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์หารด้วย I_{MAX} จะได้ค่าคงที่กระแสที่จะนำไปใช้ในการจำแนกชนิดความผิดปกติ ผลการคำนวณค่าคงที่กระแสของระบบจำหน่าย 20 บัสแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1-ง.11 การคำนวณหาค่าคงที่ K_1 , K_2 , K_{01} และ K_{02} ด้วยการค้นหาแบบตามูใช้ค่าคงที่กระแสเฉลี่ยสำหรับความผิดปกติแต่ละชนิดที่ทดสอบ 20 ครั้งดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยคอลัมน์ที่ 1 คือชนิดของความผิดปกติซึ่งมีทั้งหมด 11 ชนิด คอลัมน์ที่ 1-4 คือค่าคงที่ของกระแสเฟส a เฟส b เฟส c และกระแสลำดับศูนย์ตามลำดับ จากผลการค้นหาแบบตามูได้ค่าคงที่ที่เหมาะสมดังนี้คือ $K_1 = 0.985$, $K_2 = 0.743$, $K_{01} = 59.163 \times 10^{-3}$ และ $K_{02} = 24.276 \times 10^{-3}$ เมื่อนำค่าคงที่เหล่านี้ไปใช้ในการระบุสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้ง

สามเฟสและกระแสลำดับศูนย์ และจำแนกชนิดความผิดปกติโดยอ้างอิงตามเงื่อนไขที่เคยแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ได้ผลการจำแนกชนิดของความผิดปกติบางส่วนดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยคอลัมน์แรกของตารางคือชนิดความผิดปกติ คอลัมน์ที่ 2-3 เป็นค่าคงที่ของกระแสเฟส a และสถานะตามลำดับ คอลัมน์ที่ 4-5 เป็นค่าคงที่ของกระแสเฟส b และสถานะตามลำดับ คอลัมน์ที่ 5-6 เป็นค่าคงที่ของกระแสเฟส c และสถานะตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 7-8 เป็นค่าคงที่ของกระแสลำดับศูนย์และสถานะตามลำดับ สำหรับผลการจำแนกชนิดความผิดปกติทั้งหมด 220 กรณีสามารถดูได้ในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1-ง.11

ตารางที่ 5.1 ค่าคงที่เฉลี่ยสำหรับกระแสสถานีไฟฟ้าย่อยสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์

ชนิด	K_a	K_b	K_c	K_0
$a - g$	1.347	0.388	0.402	0.360
$b - g$	0.373	1.307	0.355	0.362
$c - g$	0.428	0.425	1.372	0.363
ab	1.330	1.132	0.326	0.003
ac	1.132	0.395	1.331	0.004
bc	0.338	1.344	1.147	0.004
$ab - g$	1.287	1.284	0.324	0.262
$ac - g$	1.316	0.384	1.348	0.257
$bc - g$	0.374	1.348	1.315	0.272
abc	1.270	1.281	1.245	0.004
$abc - g$	1.285	1.303	1.249	0.084

ตารางที่ 5.2 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติ

ชนิด	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
$a - g$	1.298	1	0.317	0	0.321	0	0.365	1
$b - g$	0.728	0	1.165	1	0.718	0	0.338	1
$c - g$	0.659	0	0.676	0	1.433	1	0.381	1
ab	1.362	1	1.127	1	0.363	0	0.001	0
ac	1.069	1	0.293	0	1.288	1	0.003	0

ตารางที่ 5.2 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติ (ต่อ)

ชนิด	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
bc	0.311	0	1.317	1	1.092	1	0.002	0
$ab - g$	1.353	1	1.380	1	0.402	0	0.232	1
$ac - g$	1.269	1	0.328	0	1.291	1	0.258	1
$bc - g$	0.290	0	1.278	1	1.256	1	0.270	1
abc	1.235	1	1.241	1	1.181	1	0.003	0
$abc - g$	1.302	1	1.323	1	1.261	1	0.083	1

5.1.2 ผลการการค้นหาค่าตำแหน่งผิดปกติ

ผลการทดสอบการค้นหาค่าตำแหน่งผิดปกติสำหรับระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัส บางส่วนแสดงดังตารางที่ 5.3 คอลัมน์ที่ 1 ของตารางคือชนิดของความผิดปกติ คอลัมน์ที่ 2 คือหมายเลขบัสที่เชื่อมต่อกันด้วยสายป้อนที่เกิดความผิดปกติ คอลัมน์ที่ 3-4 คือระยะทางผิดปกติจริง และที่ได้จากการคำนวณตามลำดับ คอลัมน์ที่ 5-6 คือค่าความผิดพลาดของระยะทางผิดปกติมีหน่วยเป็นเมตรและเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ คอลัมน์ที่ 7 คือค่ารากที่สองผลบวกผลต่างกำลังสองของแรงดัน และคอลัมน์ที่ 8 คือค่ารากที่สองผลบวกผลต่างกำลังสองของกระแส สำหรับผลการค้นหาค่าตำแหน่งทั้งหมด 220 กรณีสามารถดูได้ในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1-จ.11 ตำแหน่งผิดปกติที่แสดงในตารางที่ 5.3 เป็นระยะทางที่อ้างอิงจากสถานีไฟฟ้าและอยู่บนสายป้อนที่เชื่อมต่อกันระหว่างบัสดังแสดงในคอลัมน์ที่ 2 ของตาราง ค่าผิดพลาดของระยะทางผิดปกติที่เป็นบวกหมายถึงระยะทางผิดปกติจากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าระยะทางผิดปกติจริง และกรณีที่เป็นลบหมายถึงระยะทางผิดปกติจากการคำนวณมีค่ามากกว่าระยะทางผิดปกติจริง

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการค้นหาค่าตำแหน่งผิดปกติ

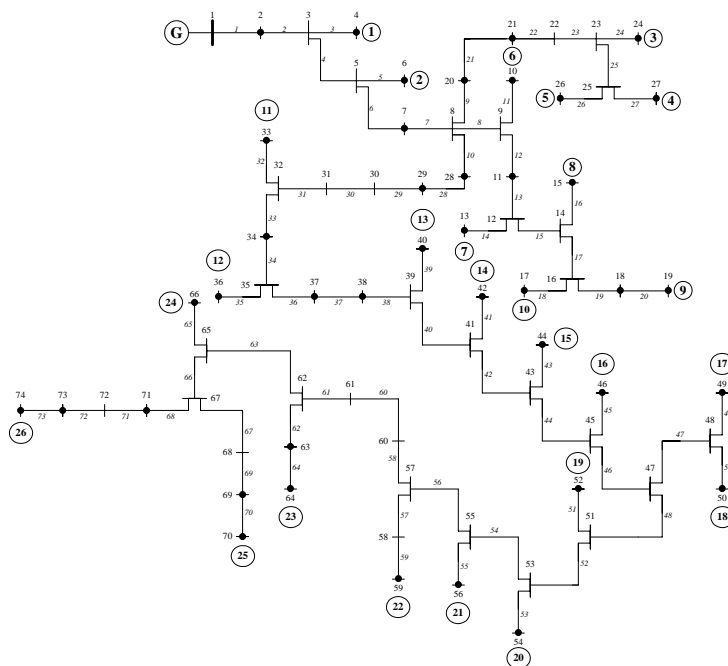
ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดปกติ (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
$a - g$	7-8	4.96	4.93	30	0.61	0.424	0.413
$b - g$	6-10	3.73	3.61	120	3.22	0.759	0.384
$c - g$	13-14	10.67	10.80	-130	-1.22	0.010	0.095
ab	15-16	11.05	11.09	-40	-0.36	0.016	0.125

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วง (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
<i>ac</i>	10-11	5.99	6.17	-180	-3.01	0.024	0.243
<i>bc</i>	12-13	9.74	9.74	0	0.00	0.027	0.168
<i>ab-g</i>	6-7	3.53	3.47	60	1.70	0.050	0.343
<i>ac-g</i>	3-4	3.73	3.58	150	4.02	0.278	0.156
<i>bc-g</i>	4-5	5.64	5.67	-30	-0.53	0.015	0.122
<i>abc</i>	8-9	6.33	6.21	120	1.90	0.035	0.283
<i>abc-g</i>	11-12	7.63	7.71	-80	-1.05	0.412	0.501

5.2 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 วงจรที่ 9

สายป้อนวงจรที่ 9 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 ที่นำมาใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีลักษณะของโครงข่ายดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

จากรูปที่ 5.1 ระบบมีขนาดเท่ากับ 74 บัส ระดับแรงดันทำงาน 22 kV ความถี่ 50 Hz เมื่อนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งผิดพ่วงระบบถูกแบ่งออกเป็นวิธีย่อยทั้งหมด 26 วิธี ดังแสดงด้วยตัวเลขในวงกลมในรูปที่ 5.1 ข้อมูลของสายป้อนและข้อมูลบัสสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.10-ค.12

5.2.1 ผลการการจำแนกชนิดความผิดพ่วง

การจำลองผลสภาวะชั่วคราวอันเนื่องมาจากเกิดความผิดพ่วงในสายป้อนวงจรที่ 9 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 กำหนดให้เกิดความผิดพ่วงทั้งหมด 11 ชนิดแต่ละชนิดทดสอบ 20 ครั้ง ตำแหน่งผิดพ่วงและความต้านทานผิดพ่วงเป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยการสุ่มแบบการแจกแจงปกติ ระยะเวลาของการจำลองผลทั้งหมดเท่ากับ 0-1 s ขึ้นเวลาของการจำลองผลเท่ากับ 1 ms และความผิดพ่วงเกิดในช่วงเวลา 0.8-0.9 s ค่าคงที่เฉลี่ยของกระแสสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์แสดงดังตารางที่ 5.4 สำหรับค่าคงที่ของกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับความผิดพ่วงทั้งหมด 220 กรณีแสดงไว้ในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1-จ.11

ตารางที่ 5.4 ค่าคงที่เฉลี่ยสำหรับกระแสสถานีไฟฟ้าย่อยสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์

ชนิด	K_a	K_b	K_c	K_0
$a-g$	1.094	0.124	0.106	0.322
$b-g$	0.109	1.078	0.105	0.332
$c-g$	0.133	0.125	1.101	0.334
ab	1.053	1.030	0.049	6.929×10^{-12}
ac	1.035	0.163	1.060	7.480×10^{-12}
bc	0.105	1.054	1.015	1.020×10^{-12}
$ab-g$	1.045	1.032	0.070	0.212
$ac-g$	1.056	0.074	1.090	0.178
$bc-g$	0.071	1.049	1.013	0.201
abc	1.034	1.041	1.081	1.546×10^{-13}
$abc-g$	1.031	1.043	1.070	2.671×10^{-13}

การคำนวณค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ด้วยการค้นหาแบบตามูโดยใช้ค่าคงที่กระแสเฉลี่ยในตารางที่ 5.4 ได้ผลการคำนวณเท่ากับ $K_1=0.694$ $K_2=0.381$ $K_{01}=0.078$ และ $K_{02}=0.026$ เมื่อ

นำไปใช้จำแนกชนิดของความผิดปกติได้ผลการจำแนกบางส่วนดังแสดงในตารางที่ 5.5 สำหรับผลการจำแนกความผิดปกติอีก 220 กรณีแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1

ตารางที่ 5.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติ

ชนิด	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
$a-g$	1.084	1	0.114	0	0.097	0	0.322	0
$b-g$	0.090	0	1.070	1	0.088	0	0.327	0
$c-g$	0.121	0	0.113	0	1.090	1	0.332	0
ab	1.058	1	1.032	1	0.054	0	2.02×10^{-12}	0
ac	1.044	1	0.081	0	1.076	1	1.19×10^{-11}	0
bc	0.049	0	1.048	1	1.013	1	2.67×10^{-13}	0
$ab-g$	0.946	1	1.055	1	0.064	0	0.095	1
$ac-g$	1.051	1	0.066	0	0.878	1	0.154	1
$bc-g$	0.083	0	1.066	1	1.019	1	0.120	1
abc	0.924	1	1.037	1	0.765	1	1.52×10^{-14}	0
$abc-g$	0.935	1	1.051	1	0.776	1	5.15×10^{-14}	1

5.2.2 ผลการการระบุตำแหน่งผิดปกติ

ผลการทดสอบการค้นหตำแหน่งผิดปกติสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 บางส่วนแสดงดังตารางที่ 5.6 สำหรับผลการค้นหตำแหน่งผิดปกติอีก 220 กรณีแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1-ข.11

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบการค้นหตำแหน่งผิดปกติ

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดปกติ (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	(%)		
$a-g$	28-29	9.42	9.58	-161	-1.71	0.829	0.956
$b-g$	9-11	8.57	8.36	209	2.442	0.455	0.081
$c-g$	12-14	9.33	9.49	-156	-1.676	0.122	0.763
ab	65-67	19.63	19.91	-284	-1.449	0.371	0.065

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วง (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	(%)		
<i>ac</i>	68-69	20.070	19.874	196	0.976	0.978	0.366
<i>bc</i>	31-32	10.517	10.332	185	1.760	0.738	0.112
<i>ab-g</i>	73-74	21.560	21.697	-137	-0.635	0.868	0.329
<i>ac-g</i>	12-14	9.332	9.265	67	0.717	0.633	0.754
<i>bc-g</i>	43-45	12.933	12.915	18	0.137	0.820	0.057
<i>abc</i>	22-23	13.224	13.417	-193	-1.458	0.274	0.926
<i>abc-g</i>	55-56	19.287	19.228	60	0.309	0.559	0.783

5.3 สรุป

5.3.1 ระบบจำหน่ายแบบรัศมีขนาด 20 บัส

พิจารณาผลการจำแนกชนิดความผิดพ่วงในตารางที่ 5.2 พบว่า ค่าคงที่ของกระแสในลวดเฟสที่มีสถานะเป็น 1 จะมีค่ามากกว่าเฟสที่เหลือจนเห็นได้ชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น กรณีของความผิดพ่วงลวดจรเฟส *a* ลงดิน $K_a = 1.298$ $K_b = 0.317$ $K_c = 0.321$ และ $K_0 = 0.365$ เป็นต้น จากการนำเอาค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ที่ได้จากการค้นหาแบบตามู ไปใช้สำหรับการจำแนกสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์กับระบบจำหน่าย 20 บัส และความผิดพ่วง 220 กรณีพบว่าจำแนกชนิดความผิดพ่วงได้ถูกต้องทั้งหมด สถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับความผิดพ่วงทั้งหมดมีความสอดคล้องกับชนิดของความผิดพ่วงที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อสังเกตตารางที่ 5.2 พบว่ากระแสสถานีไฟฟ้าของเฟสที่เกิดความผิดพ่วงจะมีสถานะเท่ากับ 1 เช่นเดียวกันกับสถานะกระแสลำดับศูนย์กรณีที่เกิดความผิดพ่วงแบบลวดจรลงดิน ส่วนกรณีที่กระแสสถานีไฟฟ้าไม่ใช่กระแสในเฟสที่เกิดความผิดพ่วงจะมีสถานะเท่ากับ 0 และเท่ากับสถานะของกระแสลำดับศูนย์กรณีที่เกิดความผิดพ่วงที่สายป้อนไม่ถูกลัดวงจรลงดิน

พิจารณาตารางที่ 5.3 ซึ่งเป็นผลการค้นหาตำแหน่งและระยะทางความผิดพ่วงบางส่วน ของระบบจำหน่าย 20 บัสจากความผิดพ่วง 220 กรณี จากตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของระยะทางผิดพ่วงคือ 0 เมตร โดยเป็นกรณีของความผิดพ่วงลวดจรเฟส *ab* และคิดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ของระยะผิดพ่วงจริง สำหรับค่าความผิดพลาดของระยะทางผิดพ่วงที่มากที่สุด

คือกรณีของความผิดพลาดลัดวงจรเฟส bc โดยมีค่าเท่ากับ 180 เมตรและน้อยกว่าค่าระยะทางผิดพลาดจริง หรือคิดเป็น -3.01 เปอร์เซ็นต์ของระยะทางผิดพลาดจริง

5.3.2 สายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

พิจารณาผลการจำแนกชนิดความผิดพลาดในตารางที่ 5.2 พบว่า ค่าคงที่ของกระแสในลวดเฟสที่มีสถานะเป็น 1 จะมีค่ามากกว่าเฟสที่เหลือจนเห็นได้ชัดเจนเช่นเดียวกันกับกรณีของระบบจำหน่ายแบบรัศมีขนาด 20 บัส เมื่อนำเอาค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ที่ได้จากการค้นหาแบบตามไปใช้สำหรับการจำแนกสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าทั้งสามเฟสและกระแสลำดับศูนย์กับสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 ทำให้สามารถจำแนกชนิดความผิดพลาดได้ถูกต้องทั้งหมดจำนวน 220 กรณี

พิจารณาตารางที่ 5.5 ซึ่งเป็นผลการค้นหาตำแหน่งและระบุระยะทางความผิดพลาดบางส่วนของสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดของระยะทางผิดพลาดคือ 18 เมตร โดยเป็นกรณีของความผิดพลาดลัดวงจรเฟส bc ลงดินและคิดเป็น 0.137 เปอร์เซ็นต์ของระยะผิดพลาดจริง สำหรับค่าความผิดพลาดของระยะทางผิดพลาดที่มากที่สุดคือกรณีของความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดิน โดยมีค่าเท่ากับ 196 เมตรหรือ 0.976 เปอร์เซ็นต์ของระยะทางผิดพลาดจริง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งผิดพร่องในระบบจำหน่ายแบบบรัสมิของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยรายละเอียดของงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้คือ

1) การสร้างแบบจำลองสถานะชั่วคราวสำหรับการวิเคราะห์ความผิดพร่อง การสร้างแบบจำลองของระบบไฟฟ้าในสถานะชั่วคราวได้มีการประยุกต์ใช้สูตรการหาค่าอินทิกรัลแบบสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับพจน์ที่เป็นอนุพันธ์ แบบจำลองของสถานีไฟฟ้าแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสามเฟสต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ แบบจำลองของโหลดแทนด้วยตัวต้านทานขนานกับตัวเหนี่ยวนำ แบบจำลองความผิดพร่องกำหนดให้เป็นตัวต้านทานเชื่อมต่อกับจุดที่ต้องการให้เกิดความผิดพร่อง และแบบจำลองของสายป้อนทั้งสามเฟสแทนด้วยตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ โดยพิจารณาค่าคู่ควบระหว่างสาย จากแบบจำลองขององค์ประกอบทั้งหมด เมื่อประยุกต์ใช้ KCL จะได้สมการสุดท้ายเพื่อคำนวณพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบ

2) การจำแนกชนิดความผิดพร่อง เมื่อระบบเกิดความผิดพร่อง การจำแนกชนิดความผิดพร่องสามารถกระทำได้โดยการจำแนกสถานะของกระแสสถานีไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพร่องว่ามีค่าเท่ากับ 1 หรือ 0 เมื่อเปรียบเทียบสถานะกระแสกับชนิดความผิดพร่องที่แสดงในตารางที่ 4.1 ก็จะสามารถระบุชนิดของความผิดพร่องได้ กระแสสถานีไฟฟ้าที่จะต้องจำแนกสถานะคือกระแสเฟส a กระแสเฟส b กระแสเฟส c และกระแสลำดับศูนย์ ปัญหาที่สำคัญของการจำแนกสถานะของกระแสคือการหาค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02} ที่เหมาะสมที่สุด และการค้นหาแบบตาบู่คือเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้

3) การคำนวณระยะทางผิดพร่อง ระบบจำหน่ายที่มีความซับซ้อนจะถูกแบ่งออกเป็นวิธีย่อยแต่ละวิธีจะถูกลดรูปวงจรให้เหลือเพียงสายป้อนต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน และมีโหลดเชื่อมต่อที่ปลายส่งและปลายรับของสายป้อน การคำนวณหาระยะทางผิดพร่องและความต้านทานผิดพร่องจะเป็นการหาผลเฉลยของสมการแรงดันของสายป้อนที่เกิดความผิดพร่อง โดยสมการดังกล่าวนี้จะถูกแจกแจงออกเป็นพจน์ของส่วนจริงและส่วนจินตภาพ ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการสอง

สมการที่มีสองตัวแปรคือระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาด จากการหาผลเฉลยของสมการด้วยระเบียบวิธีการแก้สมการเชิงเส้นสองตัวแปร จะทำให้ทราบค่าระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดของวิธีย่อยที่พิจารณา ระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดของแต่ละวิธีจะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งผิดพลาดในลำดับต่อไป

4) การระบุตำแหน่งผิดพลาด เมื่อทราบระยะทางผิดพลาดของในแต่ละวิธี จะต้องระบุให้ได้ว่าระยะทางผิดพลาดของวิธีใดคือระยะทางที่เกิดความผิดพลาดจริง วิธีการแก้ปัญหาจะใช้การจำลองผลสถานะชั่วคราวเมื่อเกิดความผิดพลาดโดยการแทนค่ากลับของระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้ในแต่ละวิธี ระยะทางผิดพลาดและความต้านทานผิดพลาดของวิธีใดให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับสถานะผิดพลาดจริงมากที่สุด แสดงว่าความผิดพลาดเกิดที่วิธีนั้นที่ตำแหน่งซึ่งมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าด้วยระยะทางผิดพลาดของวิธีดังกล่าวนั่นเอง

ระบบจำหน่ายขนาด 20 บัส 22 kV 50 Hz และสายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมา แห่งที่ 2 ถูกนำมาทดสอบการจำแนกชนิดและการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดด้วยระเบียบวิธีที่น่าเสนอ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การจำลองสถานการณ์ความผิดพลาดเป็นการสุ่มตำแหน่งและความต้านทานผิดพลาดแบบการแจกแจงปกติ 11 ชนิด แต่ละชนิดทำการทดสอบ 20 กรณี รวมจำนวนการทดสอบทั้งหมด 220 กรณี รวมการทดสอบทั้งสองระบบเป็น 440 กรณี จากผลการทดสอบค้นหาตำแหน่งผิดพลาดทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระเบียบวิธีของงานวิจัยนี้สามารถระบุตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายแบบรัศมีได้ใกล้เคียงกับความจริง โดยมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเท่ากับ 0 m และค่าความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 360 m

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การสร้างแบบจำลองโหลด ควรจะพิจารณากรณีที่โหลดมีอิมพีแดนซ์ไม่คงที่ กรณีที่โหลดเป็นตัวเก็บประจุ และควรพิจารณากรณีที่โหลดต่อแบบเดลต้า
- 2) การสร้างแบบจำลองของความผิดพลาด ควรจะพิจารณากรณีที่ไม่ใช่ตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว
- 3) ควรพิจารณาผลจากการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน
- 4) ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ตัวนำของสายป้อนของระบบ ไม่ใช่ชนิดเดียวกันทั้งหมด
- 5) การลดรูประบบไฟฟ้าให้อยู่ในรูปอย่างง่าย ควรพิจารณาเกี่ยวกับค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดัน โดยอาจจะคำนวณเฟสเซอร์ด้วยระเบียบวิธีอื่นที่ให้ความถูกต้องมากกว่า

6) เพื่อความถูกต้องของระยะทางผิพรงที่คำนวณได้ในแต่ละวิธี การสร้างสมการแรงดัน
ควรพิจารณาโหนดสมมูลที่ปลายส่งด้วย

7) เพื่อความรวดเร็วในการระบุวิธีและตำแหน่งที่เกิดความผิพรง นอกจากการพิจารณา
ความยาวของสายป้อนเปรียบเทียบกับระยะทางที่คำนวณได้ ควรจะมีเงื่อนไขอื่นมาช่วยในการ
คัดเลือกวิธีที่มีความน่าจะเป็นว่าอาจจะเกิดความผิพรงให้เหลือน้อยที่สุด ก่อนที่จะนำไปทำการ
จำลองผลสถานะผิพรงเพื่อเปรียบเทียบกระแสและแรงดันที่ได้จากการจำลองผลกับกระแสและ
แรงดันที่เป็นผลมาจากความผิพรงจริง

รายการอ้างอิง

- Arrillaga, J. and Watson, N. R. (2001). **Computer modeling of electric power systems**. India: John Wiley&Sons, Inc.
- Bo, Z. Q., Weller, G., Jiang, F., and Yang, Q. X. (1998). Application of GPS based fault location scheme for distribution system. **International Conference on Power System Technology, POWERCON '98**. 1(1):53 - 57.
- Chapra, S. C. and Canale, R. P. (1998). **Numerical methods for engineers**. Singapore:The McGraw-Hill companies.
- Choi,M. S.,Lee, S. J., Lee, D. S.,and Jin, B. G. (2004). A new fault location algorithm using direct circuit analysis for distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 19(1):35 – 41.
- Hatziaargyriou, N. D., Heliopoulos, J. and Papadias, B. C. (1991). Probabilistic assessment of short-circuit currents in large power systems. **Third International Conference on Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems**. 147-152.
- Hsu, Y. Y., Lu, F. C., Chien, Y., Liu, J. P., Lin, J. T., Yu, H. S. and Kuo, R. T. (1990). An expert system for locating distribution system faults. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 11(1):366 - 372.
- Hui, S. Y. R. and Cristopoulos, C. (1990). Numerical simulation of power circuit using transmission-line modeling. **IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. A**. 137(6):155-160.

- IEEE Organizations (1991). **Radial Test Feeders - IEEE Distribution System Analysis Subcommittee** [On-line]. Available: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsa-com/testfeeders.html>.
- Kennedy, J. M. and Alexander, G. E. (1993). Variable digital filter response time in a digital distance relay. **Twentieth Annual Western Protective Relaying Conference, October**. 3-4.
- Kersting, W. H. (2002). **Distribution system modeling and analysis**. Boca Raton: CRC Press.
- Mantawy, A. H., Abdel-Magid, Y. L., and Selim, S. Z. (1998). Unit commitment by tabu search. **IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.** 145(1):56-64.
- Part-Enander, E. and Sjoberg, A. (1999). **The MATLAB 5 handbook**. England:Addison-Wesley.
- Saadat, H. (1999). **Power system analysis**. Boston:WCB/McGraw-Hill.
- Senger, E. C., Manassero, G., Jr., Goldemberg, C., and Pellini, E. L. (2005). Automated fault location system for primary distribution networks. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 20(2):1332 - 1340.
- Stagg, G. W. and El-Abiad, A. H. (1968). **Computer methods in power system analysis**. Singapore:McGraw-Hill.
- The MathWorks, Inc. (2002). **MATLAB** (version 6.5) [Computer software] Massachusetts.
- Thomas, D. W. P., Carvalho, R. J. O., and Pereira, E. T. (2003). Fault location in distribution systems based on traveling waves. **IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings**. 2:1-5.

- Thukaram, D. Khincha, H. P., and Vijaynarasimha, H. P. (2005). Artificial neural network and support vector machine approach for locating faults in radial distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 20(2):710 – 721.
- Van der Sluis, L. (2001). **Transients in power systems**. India:John Wiley&Sons, Inc.
- Xuejian, S. and Tianlei. (1998). An expert system for locating distribution system fault based on GIS. **Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC'98**. 155-160.
- Zhong, W. and Liu, W. -H. E. (1996). Application of a fuzzy set method in distribution system fault location. **IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. 1(1):617 - 620.
- Zhu, J., Lubkeman, D. L., and Girgis, A. A. (1997). Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 12(2): 801 – 809.

ภาคผนวก ก

การค้นหาแบบตาม

การค้นหาแบบตาบ

ในสภาวะปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่า การค้นหาแบบตาบ (Mantawy, Abdel-Magid, and Selim, 1998) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการของการค้นหาสามารถหลีกเลี่ยงคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ได้ ในบางครั้งการค้นหาแบบตาบอาจจะจำกัดขอบเขตของการค้นหาเพื่อความรวดเร็วในการพบคำตอบได้อีกด้วย ข้อดีที่น่าสนใจของการค้นหาแบบตาบคือความง่ายของขั้นตอนวิธีซึ่งจะทำให้สะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรม เงื่อนไขที่การค้นหาแบบตาบใช้ในการตัดสินใจเพื่อเลือกคำตอบและทิศทางของการค้นหาคือผลการประเมินคำตอบที่คำนวณโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ถ้ากำหนดให้ $C(x)$ คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ขั้นตอนวิธีของการค้นหาแบบตาบอาจจะตัดสินใจเลือกคำตอบของการค้นหาที่ให้ผลการประเมินมากที่สุดหรือน้อยที่สุดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการแก้ปัญหา รูปแบบเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งมีอยู่ 2 แบบคือ

1) การทำให้มีค่าต่ำสุด ($Minimize\{C(x)\}$) เป็นการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการหาสมาชิกของเวกเตอร์คำตอบ x ที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าต่ำสุด

2) การทำให้มีค่าสูงสุด ($Maximize\{C(x)\}$) เป็นการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการหาสมาชิกของเวกเตอร์คำตอบ x ที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุด

ส่วนประกอบที่สำคัญของการค้นหาแบบตาบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดคือการเดิน (move) เงื่อนไขสถานะต้องห้าม (tabu condition) และเกณฑ์ความทะเยอทะยาน (aspiration criterion) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเดิน ในแต่ละรอบของการค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีตาบ ทุกคำตอบที่ถูกค้นพบจะถูกตรวจสอบว่ามีสถานะต้องห้ามหรือไม่ ถ้าใช่คำตอบนี้จะถูกเดินผ่านไปโดยที่ไม่มี การประเมิน แต่ถ้าคำตอบที่ถูกค้นพบไม่ได้มีสถานะต้องห้าม จะต้องถูกประเมินและเปรียบเทียบผลการประเมินกับคำตอบปัจจุบัน คำตอบที่ถูกเลือกเพื่อเริ่มต้นค้นหารอบต่อไปคือคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

2) เงื่อนไขสถานะต้องห้าม ในการเคลื่อนที่ของขั้นตอนวิธีตาบเพื่อค้นหาคำตอบนั้น ทิศทางสำหรับการเคลื่อนที่ไปสู่บางคำตอบจะถูกกำหนดให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สิ่งที่กำหนดความสามารถในการเคลื่อนที่คือสถานะต้องห้าม ซึ่งถูกบันทึกไว้ในรายการต้องห้าม (tabu list) การ

กำหนดให้คำตอบหรือทิศทางของการเคลื่อนที่มีสถานะต้องห้าม จะต้องมีเงื่อนไขประกอบการพิจารณาดังต่อไปนี้ เช่น เงื่อนไขของความคงอยู่ล่าสุด (recency condition) เงื่อนไขของความซ้ำซาก (frequency condition) เป็นต้น

3) *เกณฑ์ความทะเยอทะยาน* เมื่อการค้นหาคำตอบผ่านพ้นไปด้วยจำนวนรอบที่กำหนดเป็นขอบเขตไว้แล้วแต่ยังไม่พบคำตอบที่ดีที่สุด สถานะต้องห้ามสำหรับทิศทางเคลื่อนที่ทั้งหมดในรายการต้องห้ามอาจจะต้องถูกยกเลิกเพื่ออนุญาตให้มีการเคลื่อนที่ได้ และเริ่มต้นการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าใหม่ในรอบต่อไป

เมื่อกำหนดให้

- X คือ เซตของคำตอบที่เป็นไปได้
- x คือ คำตอบปัจจุบัน โดยที่ $x \in X$
- x' คือ คำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบในกลุ่มคำตอบบริเวณใกล้เคียง
- x'' คือ คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบคำนวณ
- $E(x)$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของคำตอบ x
- $N(x)$ คือ เซตของคำตอบบริเวณใกล้เคียง $x \in X$
- $S(x)$ คือ คำตอบบริเวณใกล้เคียง x ที่ถูกเลือก $S(x) \in N(x)$
- $SS(x)$ คือ กลุ่มคำตอบที่ถูกเรียงลำดับตามเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- TL คือ รายการต้องห้าม
- AL คือ เกณฑ์ความทะเยอทะยาน (aspiration level)

จากหลักการเกี่ยวกับการค้นหาแบบตามที่ได้กล่าวในข้างต้น สามารถแสดงขั้นตอนวิธีอย่างง่ายของการค้นหาแบบตามได้ดังนี้

- 1) กำหนดให้ TL เป็นเซตว่างและ AL เท่ากับศูนย์
- 2) กำหนดให้จำนวนรอบการวนซ้ำ $K = 0$ เลือกคำตอบเริ่มต้น $x \in X$ และกำหนดให้

$$x'' = x$$

3) เคลื่อนที่ในบริเวณรอบๆ คำตอบปัจจุบัน x เพื่อค้นหาเซตของคำตอบ $S(x) \in N(x)$ เรียงลำดับตามระดับความถูกต้องของคำตอบจะได้กลุ่มของคำตอบ $SS(x)$ และ x' คือคำตอบที่ดีที่สุดจากทั้งหมดใน $SS(x)$

4) ถ้า $E(x') > E(x'')$ ข้ามไปขั้นตอนที่ 5) แต่ถ้า $E(x') \leq E(x'')$ กำหนดให้ $x'' = x'$ แล้วข้ามไปขั้นตอนที่ 5)

5) ตรวจสอบสถานะต้องห้ามของคำตอบ ถ้า x' ไม่ได้อยู่ใน TL ยอมรับให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันและให้ $x = x'$ ปรับปรุง TL และ AL แล้วข้ามไปขั้นตอนที่ 8) แต่ถ้า x' อยู่ใน TL ข้ามไปขั้นตอนที่ 6)

6) ตรวจสอบคำตอบกับ AL ถ้าเป็นจริงลบค่าสถานะต้องห้าม กำหนดให้ $x = x'$ และปรับปรุง AL แล้วข้ามไปขั้นตอนที่ 8) ถ้าเป็นเท็จข้ามไปขั้นตอนที่ 7)

7) ถ้าขนาดของ $SS(x)$ มีมากเกินไปจนขอบเขตให้ข้ามไปที่ขั้นตอนที่ 8) แต่ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับกำหนดให้ x' เป็นคำตอบรอบต่อไปของ $SS(x)$ และกลับไปขั้นตอนที่ 5)

8) ตรวจสอบเงื่อนไขสิ้นสุดการค้นหา ถ้าเป็นจริงให้หยุด แต่ถ้าเป็นเท็จกำหนดให้ $K = K + 1$ แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 3)

ภาคผนวก ข

การคำนวณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง

การคำนวณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง

สัญญาณกระแสหรือแรงดันของระบบจำหน่ายมีความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ หรือมีคาบเวลาของสัญญาณเท่ากับ 0.02 วินาที เมื่อกำหนดให้ช่วงเวลาของการจำลองผลมีค่าเท่ากับ Δt จำนวนของตัวอย่างที่คำนวณได้ในหนึ่งคาบเวลามีค่าเท่ากับ

$$N = \frac{0.02}{\Delta t} + 1 \quad (\text{ข-1})$$

เมื่อ N คือ จำนวนตัวอย่างในหนึ่งคาบเวลา

เมื่อกำหนดให้ $x(t)$ คือพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการคำนวณหาเฟสเซอร์ ในการจำลองผลระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ค่าของพารามิเตอร์ x จะถูกคำนวณในทุกช่วงที่เวลาเท่ากับ $0.02n$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ ดังนั้น พารามิเตอร์ x สามารถแสดงในรูปสมการของปริมาณไม่ต่อเนื่องได้ดังนี้

$$x(n) = x(t)|_{t=0.02n} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (\text{ข-2})$$

เมื่อ $x(n)$ คือ ค่าพารามิเตอร์ x สำหรับการคำนวณในรอบที่ n

จากการประยุกต์ใช้ผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่องกับสัญญาณ $x(t)$ จะมีส่วนจริงและส่วนจินตภาพของเฟสเซอร์สำหรับสัญญาณ $x(t)$ ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

$$\text{Re}(\bar{x}) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (\text{ข-3})$$

$$\text{Imag}(\bar{x}) = -\frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (\text{ข-4})$$

เมื่อ \bar{x} คือ เฟสเซอร์ของสัญญาณ $x(t)$

$\text{Re}(\bar{x})$ คือ ส่วนจริงของ \bar{x}

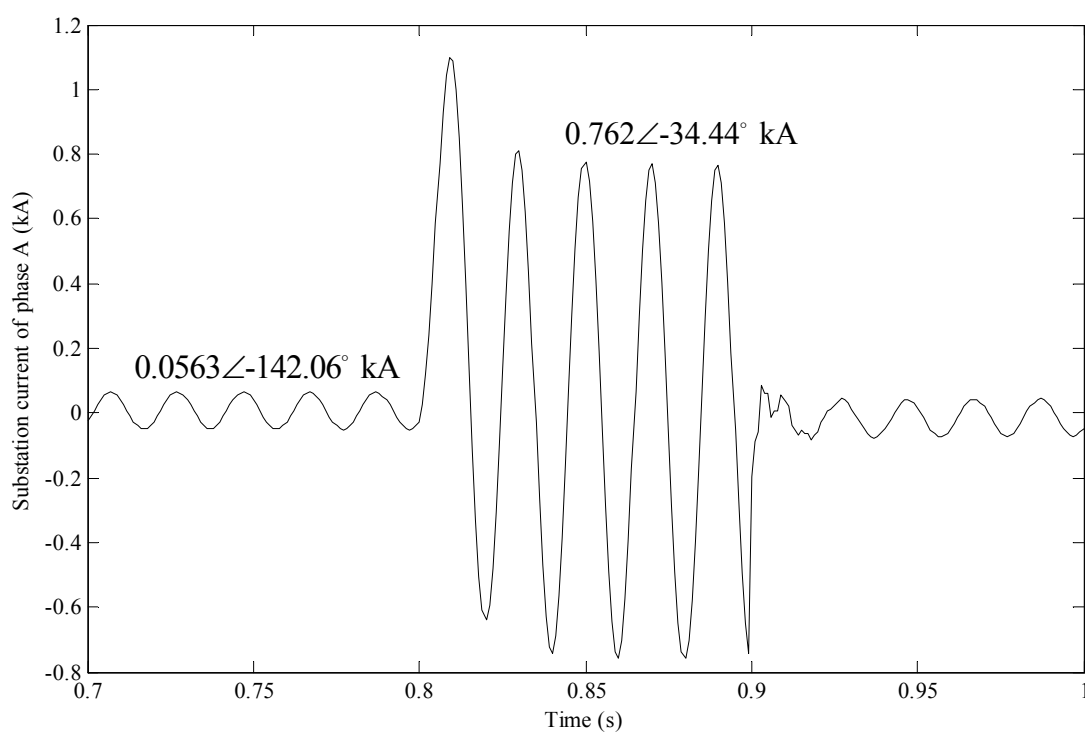
$\text{Imag}(\bar{x})$ คือ ส่วนจินตภาพของ \bar{x}

มุมเฟสของสัญญาณ $x(t)$ คำนวณจากสมการ

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Imag}(\bar{x})}{\text{Re}(\bar{x})} \right) \quad (\text{ข-5})$$

เมื่อ θ_x คือ มุมเฟสของสัญญาณ $x(t)$

ตัวอย่างผลการคำนวณเฟสเซอร์ด้วยผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 รูปสัญญาณและเฟสเซอร์ที่คำนวณด้วยผลการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง

ภาคผนวก ค

ข้อมูลระบบทดสอบ

ข้อมูลระบบทดสอบ

ค.1 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4 บัส

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลสถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดัน (kV)	ความเหนี่ยวนำอนุกรม (mH)
22	10

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลสายป้อน

บัส-บัส	ความยาว (km)	ความต้านทาน (Ω /km)	ความเหนี่ยวนำ (mH/km)
1-2	30	1.14	2.3
2-3	40	1.14	2.3
3-4	20	1.14	2.3

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลบัส

บัส	kW	kvar
2	436	689
4	436	689

ค.2 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 20 บัส

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลสถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดัน (kV)	ความเหนี่ยวนำอนุกรม (mH)
22	10

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลสายป้อน

บัส-บัส	ความยาว (km)	ความต้านทาน (Ω /km)	ความเหนี่ยวนำ (mH/km)
1-2	1.20	1.14	2.3
2-3	0.36	1.14	2.3
2-6	0.56	1.14	2.3
3-4	0.89	1.14	2.3
4-5	0.60	1.14	2.3
6-7	0.18	1.14	2.3
6-10	0.45	1.14	2.3
7-8	2.10	1.14	2.3
8-9	1.40	1.14	2.3
10-11	0.30	1.14	2.3
11-12	0.70	1.14	2.3
12-13	1.40	1.14	2.3
12-15	1.40	1.14	2.3
13-14	1.20	1.14	2.3
15-16	2.00	1.14	2.3
15-17	0.12	1.14	2.3
17-18	1.00	1.14	2.3
17-20	0.02	1.14	2.3
18-19	0.30	1.14	2.3

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลบัส

บัส	MW	Mvar
3	5	3
4	2	2
5	3	1
7	4	1

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลบัส (ต่อ)

บัส	MW	Mvar
8	3	1
9	5	1
10	2	1
11	1	1
13	3	1
14	1	1
16	4	1
18	1	1
19	4	1
20	2	1

ค.3 ระบบจำหน่าย 20 บัส

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลสถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดัน (kV)	ความเหนี่ยวนำอนุกรม (mH)
22	10

เมตริกซ์ความต้านทานและเมตริกซ์ความเหนี่ยวนำของสายป้อนทุกส่วนมีค่าเท่ากับ

$$\mathbf{R}_{abc} = \begin{bmatrix} 0.8306 & 0.1306 & 0.1324 \\ 0.1306 & 0.8226 & 0.1284 \\ 0.1324 & 0.1284 & 0.8261 \end{bmatrix} \Omega/\text{km}$$

$$\mathbf{L}_{abc} = \begin{bmatrix} 2.6391 & 1.1431 & 0.9919 \\ 1.1431 & 2.6837 & 0.9082 \\ 0.9919 & 0.9082 & 2.6643 \end{bmatrix} \text{mH}/\text{km}$$

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลสายป้อน

บัส-บัส	ความยาว (km)
1-2	1.30
2-3	1.80
2-6	1.75
3-4	1.98
4-5	1.65
6-7	1.12
6-10	1.84
7-8	1.26
8-9	1.65
10-11	1.89
11-12	1.89
12-13	1.15
12-15	1.26
13-14	1.35
15-16	1.33
15-17	1.87
17-18	1.28
17-20	1.12
18-19	0.97

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัส

บัส	MW	Mvar
3	1.416	1.099
4	1.060	0.906
5	1.248	1.498
7	0.900	1.837
8	0.876	1.109

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลบัส (ต่อ)

บัส	MW	Mvar
9	1.256	0.975
10	1.148	0.801
11	1.096	0.996
13	1.124	0.726
14	1.056	0.931
16	1.192	0.956
18	1.328	0.961
19	1.260	1.473
20	1.040	0.917

ค.4 สายป้อนวงจรที่ 9 สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลสถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดัน (kV)	ความเหนี่ยวนำอนุกรม (mH)
22	10

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลสายป้อน

บัส-บัส	ความยาว (km)	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	r_1 (Ω /km)	x_1 (Ω /km)
1-2	1.6652	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
2-3	0.5097	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
3-4	0.4091	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
3-5	0.7309	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
5-6	3.3096	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
5-7	4.6904	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
7-8	0.9064	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลสายป้อน (ต่อ)

บัส-บัส	ความยาว (km)	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	r_1 (Ω /km)	x_1 (Ω /km)
8-9	0.0339	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
8-20	0.4402	0.18050	0.22640	0.32850	1.79320
8-28	0.7551	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
9-10	0.4745	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
9-11	0.3210	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
11-12	0.1726	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
12-13	0.0390	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
12-14	0.4066	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
14-15	0.1730	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
14-16	0.5172	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
16-17	1.7646	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
16-18	0.0993	0.26643	0.36147	0.44987	1.53780
18-19	0.2035	0.26643	0.36147	0.44987	1.53780
20-21	1.8932	0.18050	0.22640	0.32850	1.79320
21-22	1.9139	0.18050	0.22640	0.32850	1.56125
22-23	1.1015	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
23-24	0.9271	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
23-25	0.0556	0.64015	0.37985	0.78815	1.60667
25-26	3.4439	0.64015	0.37985	0.78815	1.60667
25-27	0.3927	0.64015	0.37985	0.78815	1.60667
28-29	0.3379	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
29-30	0.5453	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
30-31	0.1265	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
31-32	0.3655	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
32-33	0.3008	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
32-34	0.2994	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลสายป้อน (ต่อ)

บัส-บัส	ความยาว (km)	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	r_1 (Ω /km)	x_1 (Ω /km)
35-36	0.4360	0.26643	0.36147	0.44987	1.53780
35-37	0.2615	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
37-38	0.5081	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
38-39	0.3631	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
39-40	2.1034	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
39-41	0.2324	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
41-42	0.5721	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
41-43	0.0335	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
43-44	0.2223	0.34308	0.34750	0.49108	1.57431
43-45	0.2715	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
45-46	2.1767	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
45-47	0.4904	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
47-48	0.0570	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
47-51	0.4747	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
48-49	0.0354	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
48-50	0.3087	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
51-52	1.8217	0.34308	0.34750	0.49108	1.57431
51-53	2.4632	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
53-54	0.0146	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
53-55	0.3948	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
55-56	3.3825	0.34308	0.34750	0.49108	1.57431
55-57	1.1405	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
57-58	0.0374	0.34308	0.34750	0.49108	1.57431
57-60	0.1850	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
58-59	1.5341	0.34308	0.34750	0.49108	1.57431
60-61	0.0963	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลสายป้อน (ต่อ)

บัส-บัส	ความยาว (km)	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	r_1 (Ω /km)	x_1 (Ω /km)
61-62	0.8887	0.17571	0.33444	0.32371	1.56125
62-63	1.5000	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
62-65	0.1061	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
63-64	1.8062	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
65-66	0.1163	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
65-67	0.3974	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
67-68	0.1601	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
67-71	0.3586	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
68-69	0.1648	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
69-70	0.2185	0.66668	0.39134	0.96268	2.73072
71-72	0.4649	0.26643	0.34869	0.41443	1.57551
72-73	0.4678	0.26643	0.36147	0.44987	1.53780
73-74	0.7084	0.26643	0.34869	0.41443	1.57550

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลบัส

บัส	MW	Mvar
2	46.667	25.820
4	195.417	108.121
6	192.917	172.723
7	72.917	40.344
10	14.583	8.069
11	14.583	8.069
13	72.917	40.344
15	14.583	8.069
17	152.083	150.131
18	46.667	25.820

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลบัส (ต่อ)

บัส	MW	Mvar
19	72.917	40.344
20	14.583	8.069
21	46.667	25.820
24	166.670	145.497
26	75.833	41.957
27	14.583	8.069
28	14.583	8.069
29	14.583	8.069
33	29.167	16.137
34	29.167	16.137
36	29.167	16.137
37	29.167	16.137
38	46.667	25.820
40	72.917	40.344
42	29.167	16.137
44	29.167	16.137
46	183.330	122.749
49	29.167	16.137
50	72.917	40.344
52	183.330	122.749
54	29.167	16.137
56	183.330	122.749
59	102.080	143.780
63	14.580	38.069
64	29.167	16.137
66	29.167	16.137

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลบัส (ต่อ)

บัส	MW	Mvar
69	46.667	25.820
70	46.667	25.820
71	91.875	50.833
73	29.167	16.137
74	14.583	8.069

ภาคผนวก ง

ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส

ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่าย 20 บัส

ตารางที่ ง.1 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติพร้อมลัดวงจรเฟส a ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.298	1	0.317	0	0.321	0	0.365	1
2	1.500	1	0.651	0	0.642	0	0.378	1
3	1.595	1	0.644	0	0.636	0	0.379	1
4	1.475	1	0.406	0	0.541	0	0.321	1
5	1.043	1	0.046	0	0.046	0	0.342	1
6	1.129	1	0.371	0	0.527	0	0.249	1
7	1.294	1	0.313	0	0.317	0	0.365	1
8	1.326	1	0.488	0	0.575	0	0.392	1
9	1.345	1	0.366	0	0.368	0	0.368	1
10	1.409	1	0.444	0	0.443	0	0.367	1
11	1.354	1	0.381	0	0.372	0	0.370	1
12	1.349	1	0.376	0	0.368	0	0.369	1
13	1.461	1	0.463	0	0.497	0	0.348	1
14	1.474	1	0.509	0	0.498	0	0.378	1
15	1.094	1	0.101	0	0.100	0	0.349	1
16	1.309	1	0.334	0	0.337	0	0.363	1
17	1.255	1	0.266	0	0.271	0	0.365	1
18	1.452	1	0.431	0	0.437	0	0.372	1
19	1.367	1	0.389	0	0.391	0	0.370	1
20	1.411	1	0.473	0	0.360	0	0.391	1

ตารางที่ ง.2 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติพร้อมลัดวงจรเฟส b ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.728	0	1.165	1	0.718	0	0.338	1

ตารางที่ ง.2 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส b ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
2	0.042	0	1.040	1	0.041	0	0.342	1
3	0.565	0	1.347	1	0.399	0	0.338	1
4	0.452	0	1.424	1	0.441	0	0.371	1
5	0.443	0	1.416	1	0.431	0	0.370	1
6	0.361	0	1.337	1	0.349	0	0.367	1
7	0.673	0	1.375	1	0.636	0	0.357	1
8	0.103	0	1.098	1	0.101	0	0.350	1
9	0.304	0	1.286	1	0.292	0	0.366	1
10	0.299	0	1.281	1	0.287	0	0.366	1
11	0.248	0	1.236	1	0.238	0	0.366	1
12	0.357	0	1.346	1	0.350	0	0.373	1
13	0.357	0	1.346	1	0.350	0	0.373	1
14	0.357	0	1.346	1	0.350	0	0.373	1
15	0.305	0	1.287	1	0.293	0	0.366	1
16	0.117	0	1.111	1	0.116	0	0.350	1
17	0.378	0	1.353	1	0.366	0	0.368	1
18	0.348	0	1.352	1	0.365	0	0.367	1
19	0.633	0	1.633	1	0.594	0	0.358	1
20	0.385	0	1.368	1	0.375	0	0.373	1

ตารางที่ ง.3 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส c ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.659	0	0.676	0	1.433	1	0.381	1
2	0.639	0	0.655	0	1.411	1	0.379	1
3	0.651	0	0.634	0	1.524	1	0.283	1
4	0.390	0	0.402	0	1.384	1	0.374	1
5	0.237	0	0.250	0	1.234	1	0.364	1

ตารางที่ ง.3 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส c ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
6	0.109	0	0.110	0	1.103	1	0.349	1
7	0.336	0	0.658	0	1.401	1	0.455	1
8	0.510	0	0.583	0	1.538	1	0.350	1
9	0.667	0	0.684	0	1.541	1	0.382	1
10	0.698	0	0.406	0	1.529	1	0.329	1
11	0.682	0	0.267	0	1.387	1	0.291	1
12	0.388	0	0.389	0	1.370	1	0.371	1
13	0.515	0	0.530	0	1.491	1	0.372	1
14	0.361	0	0.375	0	1.351	1	0.369	1
15	0.041	0	0.042	0	1.039	1	0.342	1
16	0.378	0	0.497	0	1.445	1	0.393	1
17	0.112	0	0.121	0	1.116	1	0.360	1
18	0.382	0	0.396	0	1.365	1	0.366	1
19	0.301	0	0.315	0	1.293	1	0.364	1
20	0.507	0	0.511	0	1.486	1	0.378	1

ตารางที่ ง.4 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส ab

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.362	1	1.127	1	0.363	0	0.001	0
2	1.568	1	1.344	1	0.585	0	0.005	0
3	1.457	1	1.175	1	0.459	0	0.002	0
4	1.121	1	1.002	1	0.122	0	0.000	0
5	1.362	1	1.127	1	0.362	0	0.001	0
6	1.431	1	1.243	1	0.581	0	0.017	0
7	1.297	1	1.085	1	0.298	0	0.001	0
8	1.088	1	1.011	1	0.088	0	0.000	0
9	1.419	1	1.189	1	0.433	0	0.003	0
10	1.038	1	1.001	1	0.037	0	0.000	0

ตารางที่ ง.4 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลักษณะจรเฟส ab (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
11	1.256	1	1.063	1	0.257	0	0.001	0
12	1.499	1	1.386	1	0.231	0	0.012	0
13	1.258	1	1.066	1	0.259	0	0.001	0
14	1.341	1	1.107	1	0.342	0	0.002	0
15	1.229	1	1.050	1	0.230	0	0.001	0
16	1.222	1	1.047	1	0.223	0	0.001	0
17	1.568	1	1.244	1	0.570	0	0.003	0
18	1.325	1	1.099	1	0.326	0	0.002	0
19	1.292	1	1.092	1	0.292	0	0.001	0
20	1.464	1	1.179	1	0.465	0	0.002	0

ตารางที่ ง.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลักษณะจรเฟส ac

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.069	1	0.293	0	1.288	1	0.003	0
2	1.381	1	0.659	0	1.345	1	0.007	0
3	1.102	1	0.362	0	1.355	1	0.004	0
4	1.049	1	0.245	0	1.242	1	0.002	0
5	1.010	1	0.092	0	1.091	1	0.001	0
6	1.157	1	0.467	0	1.458	1	0.005	0
7	1.076	1	0.302	0	1.297	1	0.003	0
8	1.084	1	0.318	0	1.313	1	0.003	0
9	1.170	1	0.492	0	1.482	1	0.005	0
10	1.500	1	1.337	0	1.462	1	0.016	0
11	1.236	1	0.606	0	1.595	1	0.005	0
12	1.191	1	0.448	0	1.442	1	0.004	0
13	1.078	1	0.300	0	1.296	1	0.002	0
14	1.161	1	0.474	0	1.464	1	0.005	0
15	1.113	1	0.365	0	1.359	1	0.003	0

ตารางที่ ง.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ac (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
16	1.069	1	0.292	0	1.287	1	0.003	0
17	1.049	1	0.242	0	1.239	1	0.002	0
18	1.001	1	0.037	0	1.037	1	0.000	0
19	1.083	1	0.298	0	1.293	1	0.002	0
20	1.061	1	0.273	0	1.269	1	0.003	0

ตารางที่ ง.6 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส bc

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.311	0	1.317	1	1.092	1	0.002	0
2	0.295	0	1.300	1	1.078	1	0.001	0
3	0.038	0	1.039	1	1.001	1	0.000	0
4	0.186	0	1.352	1	1.276	1	0.017	0
5	0.285	0	1.291	1	1.071	1	0.002	0
6	0.281	0	1.286	1	1.069	1	0.002	0
7	0.468	0	1.479	1	1.165	1	0.003	0
8	0.597	0	1.611	1	1.240	1	0.004	0
9	0.538	0	1.567	1	1.282	1	0.003	0
10	0.386	0	1.393	1	1.127	1	0.002	0
11	0.207	0	1.211	1	1.036	1	0.001	0
12	0.301	0	1.341	1	1.087	1	0.011	0
13	0.102	0	1.104	1	1.014	1	0.001	0
14	0.267	0	1.273	1	1.062	1	0.002	0
15	0.356	0	1.205	1	1.280	1	0.006	0
16	0.374	0	1.382	1	1.114	1	0.003	0
17	0.520	0	1.532	1	1.194	1	0.004	0
18	0.489	0	1.434	1	1.512	1	0.017	0
19	0.470	0	1.481	1	1.166	1	0.003	0
20	0.285	0	1.290	1	1.079	1	0.002	0

ตารางที่ ง.7 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส ab ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.353	1	1.380	1	0.402	0	0.232	1
2	1.558	1	1.523	1	0.597	0	0.241	1
3	1.490	1	1.498	1	0.530	0	0.239	1
4	1.107	1	1.069	1	0.108	0	0.354	1
5	1.107	1	1.069	1	0.108	0	0.354	1
6	1.235	1	1.199	1	0.201	0	0.285	1
7	1.302	1	1.310	1	0.327	0	0.243	1
8	1.084	1	1.085	1	0.092	0	0.253	1
9	1.402	1	1.345	1	0.418	0	0.281	1
10	1.034	1	1.007	1	0.037	0	0.281	1
11	1.259	1	1.253	1	0.285	0	0.248	1
12	1.314	1	1.523	1	0.322	0	0.292	1
13	1.262	1	1.263	1	0.277	0	0.247	1
14	1.355	1	1.358	1	0.389	0	0.242	1
15	1.230	1	1.222	1	0.250	0	0.252	1
16	1.222	1	1.215	1	0.236	0	0.253	1
17	1.320	1	1.217	1	0.667	0	0.238	1
18	1.337	1	1.339	1	0.370	0	0.242	1
19	1.269	1	1.299	1	0.318	0	0.230	1
20	1.497	1	1.501	1	0.540	0	0.239	1

ตารางที่ ง.8 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส ac ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.269	1	0.328	0	1.291	1	0.258	1
2	1.596	1	0.682	0	1.537	1	0.252	1
3	1.342	1	0.411	0	1.365	1	0.254	1

ตารางที่ ง.8 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส ac ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
4	1.221	1	0.266	0	1.241	1	0.263	1
5	1.081	1	0.096	0	1.086	1	0.263	1
6	1.458	1	0.537	0	1.482	1	0.252	1
7	1.473	1	0.552	0	1.497	1	0.252	1
8	1.310	1	0.350	0	1.321	1	0.256	1
9	1.481	1	0.568	0	1.510	1	0.251	1
10	1.296	1	0.433	0	1.464	1	0.211	1
11	1.405	1	0.707	0	1.642	1	0.251	1
12	1.372	1	0.438	0	1.426	1	0.288	1
13	1.291	1	0.321	0	1.302	1	0.257	1
14	1.379	1	0.418	0	1.379	1	0.249	1
15	1.372	1	0.410	0	1.372	1	0.250	1
16	1.268	1	0.326	0	1.290	1	0.258	1
17	1.222	1	0.256	0	1.238	1	0.264	1
18	1.007	1	0.037	0	1.034	1	0.286	1
19	1.298	1	0.328	0	1.290	1	0.248	1
20	1.179	1	0.218	0	1.202	1	0.271	1

ตารางที่ ง.9 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส bc ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.290	0	1.278	1	1.256	1	0.270	1
2	0.217	0	1.207	1	1.177	1	0.280	1
3	0.219	0	1.209	1	1.179	1	0.280	1
4	0.319	0	1.301	1	1.276	1	0.269	1
5	0.710	0	1.469	1	1.509	1	0.266	1
6	0.333	0	1.314	1	1.218	1	0.251	1
7	0.037	0	1.034	1	1.019	1	0.295	1

ตารางที่ ง.9 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมถั้ววงจรเฟส bc ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
8	0.322	0	1.302	1	1.296	1	0.261	1
9	0.330	0	1.319	1	1.298	1	0.268	1
10	0.457	0	1.422	1	1.379	1	0.264	1
11	0.300	0	1.275	1	1.239	1	0.270	1
12	0.289	0	1.278	1	1.256	1	0.271	1
13	0.664	0	1.664	1	1.591	1	0.276	1
14	0.428	0	1.442	1	1.386	1	0.312	1
15	0.100	0	1.092	1	1.084	1	0.269	1
16	0.586	0	1.550	1	1.505	1	0.265	1
17	0.281	0	1.263	1	1.234	1	0.272	1
18	0.431	0	1.407	1	1.391	1	0.261	1
19	0.635	0	1.633	1	1.562	1	0.279	1
20	0.532	0	1.495	1	1.447	1	0.264	1

ตารางที่ ง.10 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมถั้ววงจรเฟส abc

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.235	1	1.241	1	1.181	1	0.003	0
2	1.428	1	1.451	1	1.364	1	0.005	0
3	1.452	1	1.353	1	1.491	1	0.006	0
4	1.277	1	1.289	1	1.220	1	0.003	0
5	1.091	1	1.071	1	1.105	1	0.000	0
6	1.451	1	1.479	1	1.483	1	0.006	0
7	1.298	1	1.312	1	1.240	1	0.004	0
8	1.256	1	1.264	1	1.200	1	0.002	0
9	1.080	1	1.078	1	1.037	1	0.001	0
10	1.348	1	1.499	1	1.556	1	0.019	0
11	1.314	1	1.330	1	1.255	1	0.004	0

ตารางที่ ง.10 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส abc (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
12	1.227	1	1.232	1	1.175	1	0.002	0
13	1.051	1	1.084	1	1.073	1	0.013	0
14	1.041	1	1.036	1	1.002	1	0.001	0
15	1.264	1	1.270	1	1.207	1	0.002	0
16	1.215	1	1.216	1	1.163	1	0.002	0
17	1.257	1	1.273	1	1.198	1	0.003	0
18	1.317	1	1.336	1	1.256	1	0.003	0
19	1.383	1	1.370	1	1.355	1	0.002	0
20	1.405	1	1.427	1	1.342	1	0.005	0

ตารางที่ ง.11 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส abc ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.302	1	1.323	1	1.261	1	0.083	1
2	1.428	1	1.457	1	1.383	1	0.095	1
3	1.033	1	1.024	1	1.023	1	0.076	1
4	1.395	1	1.385	1	1.375	1	0.089	1
5	1.241	1	1.265	1	1.202	1	0.084	1
6	1.181	1	1.184	1	1.151	1	0.072	1
7	1.261	1	1.278	1	1.223	1	0.082	1
8	1.233	1	1.244	1	1.196	1	0.071	1
9	1.077	1	1.082	1	1.048	1	0.079	1
10	1.244	1	1.259	1	1.206	1	0.086	1
11	1.091	1	1.066	1	1.108	1	0.092	1
12	1.304	1	1.331	1	1.263	1	0.093	1
13	1.292	1	1.313	1	1.252	1	0.073	1
14	1.295	1	1.316	1	1.255	1	0.087	1
15	1.451	1	1.407	1	1.267	1	0.099	1

ตารางที่ ง.11 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลวดวงจรเฟส *abc* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
16	1.532	1	1.565	1	1.484	1	0.085	1
17	1.284	1	1.440	1	1.273	1	0.081	1
18	1.072	1	1.112	1	1.107	1	0.094	1
19	1.571	1	1.578	1	1.530	1	0.072	1
20	1.409	1	1.437	1	1.364	1	0.093	1

ภาคผนวก จ

ตำแหน่งผิตพรองสำหรับระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัศ

ตำแหน่งติดตั้งสำหรับระบบจำหน่ายแบบรัศมี 20 บัส

ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบการค้นหตำแหน่งติดตั้งแบบลัดวงจรเฟส a ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางติดตั้ง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	7-8	4.96	4.93	30	0.61	0.424	0.413
2	15-17	10.18	10.54	-360	-3.54	0.347	0.338
3	13-14	10.10	10.46	-360	-3.56	0.230	0.223
4	6-10	4.17	4.00	170	4.08	0.747	0.719
5	2-3	2.43	2.38	50	2.06	0.778	0.754
6	17-20	12.62	12.71	-90	-0.71	0.105	0.102
7	7-8	4.88	4.92	-40	-0.82	0.429	0.418
8	17-18	10.51	10.23	280	2.74	0.651	0.633
9	8-9	5.96	5.91	50	0.84	0.383	0.372
10	11-12	6.83	7.10	-270	-3.95	0.354	0.346
11	12-13	9.04	9.27	-230	-2.54	0.264	0.255
12	12-13	8.69	8.64	50	0.58	0.292	0.282
13	2-6	1.97	1.94	30	1.52	0.166	0.104
14	15-16	10.83	11.08	-250	-2.31	0.233	0.224
15	6-7	3.15	3.18	-30	-0.95	0.620	0.600
16	10-11	4.96	4.72	240	4.84	0.409	0.397
17	3-4	4.31	4.18	130	3.02	0.502	0.489
18	8-9	6.44	6.27	170	2.71	0.358	0.347
19	12-15	8.69	9.00	-310	-3.57	0.402	0.392
20	18-19	13.10	13.21	-110	-0.84	0.278	0.269

ตารางที่ จ.2 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *b* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	6-10	3.73	3.61	120	3.22	0.759	0.384
2	2-3	1.98	1.93	50	2.53	0.872	0.635
3	6-10	4.14	3.99	150	3.62	0.460	0.392
4	11-12	7.27	7.34	-70	-0.96	0.047	0.407
5	11-12	6.85	7.10	-250	-3.65	0.049	0.448
6	10-11	5.76	5.68	80	1.41	0.020	0.132
7	2-6	2.82	2.69	130	4.61	0.430	0.120
8	6-7	3.41	3.26	150	4.40	0.027	0.176
9	7-8	3.64	3.72	-80	-0.25	0.081	0.740
10	7-8	4.37	4.43	-60	-1.37	0.012	0.050
11	3-4	3.40	3.42	-20	-0.59	0.097	0.842
12	4-5	6.02	5.89	130	2.16	0.047	0.402
13	1-2	0.74	0.70	40	5.41	0.068	0.531
14	4-5	6.02	5.89	130	2.16	0.047	0.402
15	7-8	4.60	4.57	30	0.65	0.082	0.742
16	6-7	3.43	3.29	140	4.08	0.401	0.194
17	10-11	6.04	6.04	0	0.00	0.023	0.178
18	2-6	2.67	2.63	40	1.50	0.433	3.699
19	4-5	6.43	6.48	-50	-0.78	0.022	0.162
20	8-9	6.32	6.34	-20	-0.32	0.034	0.270

ตารางที่ จ.3 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *c* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	13-14	10.67	10.80	-130	-1.22	0.010	0.095

ตารางที่ จ.3 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *c* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
2	15-17	10.53	10.47	60	0.70	0.008	0.075
3	17-20	12.42	12.63	-210	-1.69	0.005	0.005
4	4-5	6.62	6.41	210	3.17	0.022	0.200
5	3-4	3.76	3.58	180	4.78	0.024	0.181
6	6-7	3.78	3.77	10	0.26	0.051	0.430
7	17-20	12.24	12.24	0	0.00	0.380	0.118
8	2-6	2.40	2.28	120	5.00	0.690	0.410
9	13-14	10.76	10.49	270	2.51	0.009	0.091
10	6-10	3.78	3.69	90	2.38	0.531	0.384
11	12-15	9.19	9.14	50	0.54	0.240	0.232
12	12-13	9.42	9.17	250	2.65	0.030	0.267
13	11-12	8.36	8.18	180	2.15	0.043	0.449
14	8-9	6.04	5.94	100	1.60	0.008	0.076
15	2-3	2.07	1.97	100	4.83	0.087	0.715
16	18-19	13.66	13.51	150	1.10	0.008	0.270
17	1-2	0.74	0.72	20	2.70	0.421	0.056
18	10-11	6.24	6.13	110	1.76	0.022	0.182
19	18-19	4.81	4.68	130	2.70	0.015	0.113
20	15-16	10.96	10.69	270	2.46	0.012	0.120

ตารางที่ จ.4 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab*

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	15-16	11.05	11.09	-40	-0.36	0.016	0.125
2	17-18	12.50	12.41	90	0.08	0.154	0.206

ตารางที่ จ.4 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
3	6-10	3.09	3.11	82	-0.65	0.918	0.364
4	1-2	1.50	1.44	60	4.00	0.431	0.402
5	15-16	11.04	11.08	-40	-0.36	0.015	0.124
6	17-20	12.36	12.38	-363	-0.16	0.002	0.002
7	8-9	6.60	6.40	-162	3.03	0.024	0.215
8	6-7	3.53	3.33	200	5.67	0.062	0.475
9	12-13	9.42	9.17	250	2.65	0.030	0.267
10	2-3	1.64	1.58	60	3.66	0.303	0.230
11	10-11	5.26	5.20	60	1.14	0.024	0.098
12	12-15	9.53	9.53	0	0.00	0.238	0.231
13	4-5	5.58	5.31	270	4.84	0.011	0.089
14	11-12	7.80	7.60	200	2.50	0.051	0.462
15	7-8	4.36	4.31	50	1.15	0.015	0.055
16	3-4	4.48	4.34	140	1.12	0.045	0.363
17	18-19	13.45	13.49	-40	-0.30	0.062	0.291
18	11-12	7.27	7.16	-297	1.51	0.043	0.350
19	12-13	9.65	9.77	-120	-1.25	0.035	0.216
20	15-17	11.04	10.85	190	1.72	0.013	0.088

ตารางที่ จ.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac*

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	10-11	5.99	6.17	-180	-3.01	0.024	0.243
2	6-10	3.83	3.83	0	0.00	0.400	0.381
3	11-12	7.75	8.06	-310	-4.00	0.054	0.521

ตารางที่ จ.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
4	7-8	4.59	4.55	40	0.87	0.020	0.195
5	6-7	3.53	3.69	-160	-4.34	0.039	0.036
6	13-14	10.13	10.38	-250	-2.47	0.024	0.234
7	8-9	6.32	6.41	-90	-1.42	0.034	0.326
8	8-9	6.68	7.01	-330	-4.94	0.034	0.340
9	15-16	10.92	10.69	230	2.11	0.032	0.310
10	12-15	9.48	9.71	-230	-2.43	0.248	0.239
11	18-19	13.28	13.42	-140	-1.05	0.874	0.720
12	2-6	1.96	1.88	80	1.28	0.060	0.250
13	4-5	6.37	6.35	20	0.31	0.014	0.135
14	13-14	10..39	10.51	-120	-1.16	0.011	0.105
15	15-16	10.54	10.54	0	0.00	0.007	0.069
16	8-9	6.37	6.23	140	2.20	0.024	0.238
17	7-8	4.67	4.70	-30	-0.64	0.015	0.141
18	2-3	1.41	1.38	30	2.13	0.053	0.431
19	12-13	9.36	9.60	-240	-2.56	0.026	0.251
20	10-11	5.36	5.36	0	0.00	0.018	0.172

ตารางที่ จ.6 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc*

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	12-13	9.74	9.74	0	0.00	0.027	0.168
2	4-5	6.26	6.18	80	1.28	0.022	0.168
3	2-3	1.71	1.69	20	1.17	0.091	0.612
4	17-20	12.30	12.05	250	2.03	0.003	0.031

ตารางที่ จ.6 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
5	8-9	5.71	5.60	110	1.93	0.006	0.037
6	7-8	5.39	5.41	-20	0.37	0.030	0.227
7	13-14	10.39	10.08	310	2.98	0.058	0.058
8	18-19	13.13	13.17	-40	-0.31	0.005	0.121
9	2-6	2.62	2.51	110	4.20	0.750	0.680
10	13-14	11.12	10.99	130	1.17	0.017	0.147
11	3-4	3.67	3.62	50	1.36	0.035	0.223
12	12-15	8.99	8.89	100	1.11	0.242	0.234
13	6-7	4.10	4.07	30	0.73	0.319	0.266
14	10-11	5.14	5.00	140	2.72	0.030	0.190
15	6-10	4.78	4.55	230	4.81	0.429	0.091
16	12-15	8.11	7.79	320	3.95	0.057	0.519
17	15-17	11.52	11.39	130	1.13	0.017	0.160
18	15-20	12.27	12.10	170	1.39	0.003	0.024
19	13-14	10.43	10.12	310	2.97	0.007	0.067
20	12-13	8.76	8.78	-20	0.46	0.004	0.089

ตารางที่ จ.7 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	15-16	11.05	11.10	-50	-0.45	0.016	0.130
2	6-10	3.09	3.12	-30	-0.97	0.980	0.364
3	13-14	10.74	10.75	-10	-0.10	0.009	0.079
4	2-6	2.58	2.52	60	2.33	0.019	0.342
5	15-16	11.04	11.09	-50	-0.45	0.016	0.129

ตารางที่ จ.7 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
6	17-20	12.36	12.44	-80	-0.65	0.004	0.030
7	8-9	6.60	6.33	270	4.09	0.039	0.366
8	6-7	3.53	3.47	60	1.70	0.050	0.343
9	2-6	1.83	1.78	50	2.73	0.110	0.260
10	12-13	9.04	9.10	-60	-0.66	0.077	0.535
11	10-11	5.26	5.46	-200	-3.80	0.029	0.153
12	12-15	9.53	9.87	-340	-3.57	0.237	0.230
13	4-5	5.58	5.56	20	0.36	0.114	0.062
14	11-12	7.80	7.88	-80	-1.03	0.047	0.427
15	7-8	4.36	4.53	-170	-3.90	0.019	0.096
16	3-4	4.48	4.34	140	3.13	0.028	0.205
17	18-19	13.45	13.80	-350	-2.60	0.009	0.146
18	11-12	7.27	7.43	-160	-2.20	0.047	0.386
19	12-13	9.65	9.72	-70	-0.73	0.033	0.200
20	15-17	11.04	10.98	60	0.54	0.014	0.128

ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* ลงดิน

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	10-11	5.99	5.80	190	3.17	0.017	0.123
2	6-10	3.83	3.67	160	4.18	0.593	0.960
3	11-12	7.75	7.64	110	1.42	0.046	0.004
4	7-8	4.59	4.67	-80	-1.74	0.011	0.081
5	6-7	3.53	3.67	-140	-3.97	0.047	0.361
6	13-14	10.13	10.21	-80	-0.79	0.004	0.040

ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
7	12-15	8.82	9.01	-190	-2.15	0.242	0.340
8	13-14	10.52	10.51	10	0.10	0.007	0.003
9	8-9	6.69	6.55	140	2.09	0.022	0.200
10	12-15	9.48	9.66	-180	-1.99	0.246	0.383
11	18-19	13.28	13.60	-320	-2.41	0.036	0.189
12	2-6	1.96	1.92	40	2.04	0.355	0.440
13	4-5	6.37	6.06	310	4.87	0.025	0.229
14	15-16	10.74	10.69	50	0.47	0.011	0.100
15	15-16	10.54	10.48	60	0.57	0.008	0.074
16	8-9	6.37	6.18	190	2.98	0.016	0.112
17	3-4	4.67	4.68	-10	-0.21	0.016	0.121
18	2-3	1.41	1.43	-20	-1.42	0.062	0.424
19	12-13	9.36	9.39	-30	-0.34	0.024	0.202
20	3-4	3.73	3.60	130	3.49	0.030	0.238

ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* ลงดิน

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	10-11	5.99	5.80	190	3.17	0.017	0.123
2	6-10	3.83	3.67	160	4.18	0.593	0.960
3	11-12	7.75	7.64	110	1.42	0.046	0.004
4	7-8	4.59	4.67	-80	-1.74	0.011	0.081
5	6-7	3.53	3.67	-140	-3.97	0.047	0.361
6	12-15	8.82	9.01	-190	-2.15	0.242	0.340
7	3-4	4.06	3.87	190	4.68	0.076	0.436

ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
8	12-13	9.20	9.12	80	0.87	0.036	0.269
9	4-5	6.52	6.36	160	2.45	0.029	0.243
10	11-12	8.55	8.61	-60	-0.70	0.053	0.485
11	4-5	5.39	5.10	290	5.38	0.357	0.232
12	4-5	5.81	6.00	-190	-3.27	0.072	0.657
13	6-10	3.64	3.61	30	0.82	0.807	0.386
14	2-6	1.72	1.69	30	1.74	0.470	0.240
15	6-7	3.77	3.84	-70	-1.86	0.060	0.290
16	13-14	11.12	10.87	250	2.25	0.027	0.270
17	7-8	5.00	4.88	120	2.40	0.300	0.840
18	15-16	11.09	11.21	-120	-1.08	0.019	0.158
19	6-10	3.07	3.12	-50	-1.63	0.180	0.690
20	15-17	10.19	10.28	-90	-0.88	0.006	0.479

ตารางที่ จ.10 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *abc*

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	10-11	5.03	5.13	-100	-1.99	0.032	0.136
2	15-17	10.97	10.88	90	0.82	0.016	0.144
3	6-10	3.59	3.51	80	2.23	0.872	0.388
4	10-11	6.51	6.52	-10	-0.15	0.039	0.288
5	1-2	0.79	0.82	-30	-3.80	0.976	0.588
6	6-7	3.61	3.58	30	0.83	0.080	0.597
7	11-12	7.22	7.17	50	0.69	0.048	0.152
8	8-9	6.02	5.78	240	3.99	0.017	0.153

ตารางที่ จ.10 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *abc* (ต่อ)

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
9	6-7	3.61	3.52	90	2.49	0.079	0.597
10	17-20	12.29	12.38	-90	-0.73	0.004	0.038
11	11-12	7.62	7.65	-30	-0.39	0.129	0.340
12	7-8	4.95	4.77	180	3.64	0.030	0.249
13	12-15	8.81	8.95	-140	-1.59	0.240	0.340
14	2-3	2.92	2.83	90	3.08	0.101	0.482
15	8-9	6.33	6.21	120	1.90	0.035	0.283
16	7-8	5.17	5.20	-30	-0.58	0.024	0.143
17	12-13	9.61	9.69	-80	-0.83	0.038	0.230
18	15-16	10.82	10.76	60	0.56	0.014	0.189
19	2-6	1.65	1.60	50	3.03	0.670	0.240
20	13-14	10.19	10.19	0	0.00	0.003	0.030

ตารางที่ จ.11 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *abc* ลงดิน

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	11-12	7.63	7.71	-80	-1.05	0.412	0.501
2	15-17	11.07	11.29	-220	-1.99	0.025	0.215
3	2-3	1.43	1.38	50	2.87	0.074	0.448
4	2-6	1.85	1.79	60	3.24	0.090	0.420
5	12-13	9.37	9.63	-260	-2.78	0.049	0.332
6	3-4	3.45	3.34	110	3.19	0.030	0.122
7	13-14	10.13	10.23	-100	-0.99	0.060	0.020
8	4-5	5.49	5.41	80	1.46	0.010	0.068
9	6-7	3.71	3.65	60	1.62	0.058	0.343

ตารางที่ จ.11 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *abc* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	ปีส-ปีส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
10	8-9	6.27	6.19	80	1.28	0.024	0.131
11	1-2	0.59	0.58	10	1.69	0.048	0.197
12	15-16	10.65	10.84	-190	1.78	0.020	0.177
13	11-12	7.38	7.41	-30	0.41	0.310	0.328
14	11-12	7.54	7.51	30	0.40	0.028	0.096
15	15-16	12.25	12.47	-220	-1.80	0.016	0.141
16	18-19	14.10	13.97	130	0.21	0.008	0.019
17	17-18	12.33	12.48	-150	-1.22	0.330	0.330
18	12-15	9.03	9.28	-250	-2.77	0.247	0.239
19	6-10	3.78	3.66	120	3.18	0.700	0.400
20	13-14	10.50	10.73	-230	-2.19	0.019	0.169

ภาคผนวก ฉ

**ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9
สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2**

ค่าคงที่และสถานะกระแสสถานีไฟฟ้าสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9
สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

ตารางที่ ฌ.1 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัควงจรเฟส a ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.084	1	0.114	0	0.097	0	0.322	1
2	1.109	1	0.140	0	0.121	0	0.323	1
3	1.082	1	0.112	0	0.096	0	0.322	1
4	1.118	1	0.152	0	0.131	0	0.322	1
5	1.084	1	0.114	0	0.097	0	0.322	1
6	1.063	1	0.082	0	0.069	0	0.333	1
7	1.111	1	0.144	0	0.124	0	0.321	1
8	1.085	1	0.116	0	0.099	0	0.321	1
9	1.087	1	0.118	0	0.101	0	0.321	1
10	1.088	1	0.119	0	0.101	0	0.321	1
11	1.084	1	0.114	0	0.097	0	0.322	1
12	1.111	1	0.145	0	0.125	0	0.321	1
13	1.082	1	0.112	0	0.095	0	0.322	1
14	1.095	1	0.127	0	0.109	0	0.321	1
15	1.072	1	0.096	0	0.082	0	0.325	1
16	1.087	1	0.118	0	0.101	0	0.321	1
17	1.118	1	0.151	0	0.130	0	0.322	1
18	1.084	1	0.114	0	0.097	0	0.322	1
19	1.107	1	0.138	0	0.119	0	0.322	1
20	1.120	1	0.152	0	0.130	0	0.322	1

ตารางที่ ๓.2 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลึควงจรเฟส b ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.090	0	1.070	1	0.088	0	0.327	1
2	0.091	0	1.070	1	0.088	0	0.327	1
3	0.080	0	1.063	1	0.078	0	0.329	1
4	0.091	0	1.070	1	0.088	0	0.327	1
5	0.104	0	1.083	1	0.100	0	0.327	1
6	0.112	0	1.091	1	0.108	0	0.328	1
7	0.112	0	1.091	1	0.107	0	0.329	1
8	0.114	0	1.093	1	0.110	0	0.328	1
9	0.034	0	1.000	1	0.034	0	0.342	1
10	0.094	0	1.073	1	0.091	0	0.326	1
11	0.097	0	1.075	1	0.094	0	0.326	1
12	0.208	0	1.000	1	0.208	0	0.401	1
13	0.102	0	1.080	1	0.099	0	0.327	1
14	0.088	0	1.073	1	0.085	0	0.333	1
15	0.117	0	1.093	1	0.112	0	0.327	1
16	0.117	0	1.097	1	0.112	0	0.329	1
17	0.126	0	1.101	1	0.118	0	0.325	1
18	0.148	0	1.125	1	0.143	0	0.328	1
19	0.129	0	1.103	1	0.118	0	0.324	1
20	0.125	0	1.102	1	0.120	0	0.327	1

ตารางที่ ๓.3 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลึควงจรเฟส c ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.121	0	0.113	0	1.090	1	0.332	1
2	0.123	0	0.114	0	1.093	1	0.333	1
3	0.165	0	0.156	0	1.130	1	0.335	1
4	0.092	0	0.081	0	1.069	1	0.339	1
5	0.127	0	0.118	0	1.096	1	0.333	1

ตารางที่ ๓.3 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลี้ดวงจรเฟส c ลงคืน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
6	0.123	0	0.114	0	1.092	1	0.332	1
7	0.155	0	0.146	0	1.122	1	0.335	1
8	0.123	0	0.114	0	1.093	1	0.333	1
9	0.120	0	0.112	0	1.090	1	0.332	1
10	0.127	0	0.118	0	1.095	1	0.332	1
11	0.165	0	0.156	0	1.129	1	0.335	1
12	0.162	0	0.153	0	1.127	1	0.335	1
13	0.121	0	0.112	0	1.090	1	0.332	1
14	0.125	0	0.116	0	1.093	1	0.332	1
15	0.148	0	0.140	0	1.116	1	0.335	1
16	0.033	0	0.033	0	1.000	1	0.336	1
17	0.197	0	0.185	0	1.159	1	0.337	1
18	0.165	0	0.156	0	1.130	1	0.335	1
19	0.148	0	0.139	0	1.116	1	0.335	1
20	0.122	0	0.114	0	1.092	1	0.332	1

ตารางที่ ๓.4 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลี้ดวงจรเฟส ab

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.058	1	1.032	1	0.054	0	2.0×10^{-12}	0
2	1.045	1	1.025	1	0.042	0	1.4×10^{-11}	0
3	1.045	1	1.025	1	0.042	0	2.7×10^{-12}	0
4	1.058	1	1.033	1	0.054	0	6.2×10^{-13}	0
5	1.059	1	1.033	1	0.055	0	3.1×10^{-12}	0
6	1.059	1	1.033	1	0.055	0	1.7×10^{-11}	0
7	1.060	1	1.033	1	0.056	0	5.9×10^{-12}	0
8	1.055	1	1.031	1	0.051	0	2.7×10^{-12}	0
9	1.043	1	1.021	1	0.040	0	2.3×10^{-15}	0
10	1.058	1	1.032	1	0.054	0	3.8×10^{-12}	0

ตารางที่ ๓.4 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส ab (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
11	1.045	1	1.025	1	0.042	0	1.5×10^{-12}	0
12	1.057	1	1.032	1	0.053	0	8.2×10^{-12}	0
13	1.057	1	1.032	1	0.053	0	5.3×10^{-12}	0
14	1.068	1	1.042	1	0.064	0	2.1×10^{-11}	0
15	1.032	1	1.015	1	0.029	0	$3. \times 10^{-12}$	0
16	1.060	1	1.036	1	0.056	0	$1. \times 10^{-11}$	0
17	1.045	1	1.025	1	0.042	0	1.1×10^{-12}	0
18	1.057	1	1.044	1	0.054	0	7.5×10^{-12}	0
19	1.055	1	1.030	1	0.051	0	1.5×10^{-11}	0
20	1.044	1	1.025	1	0.041	0	2.4×10^{-12}	0

ตารางที่ ๓.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส ac

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.044	1	0.081	0	1.076	1	1.2×10^{-11}	0
2	1.044	1	0.081	0	1.077	1	4.5×10^{-12}	0
3	1.044	1	0.080	0	1.076	1	1.4×10^{-11}	0
4	1.040	1	0.074	0	1.070	1	7.8×10^{-12}	0
5	1.024	1	0.048	0	1.046	1	3.4×10^{-12}	0
6	1.037	1	0.069	0	1.066	1	3.0×10^{-11}	0
7	1.041	1	0.076	0	1.072	1	1.2×10^{-11}	0
8	1.032	1	0.059	0	1.056	1	1.0×10^{-11}	0
9	1.032	1	0.059	0	1.056	1	8.9×10^{-13}	0
10	1.033	1	0.061	0	1.058	1	6.2×10^{-12}	0
11	1.041	1	0.077	0	1.073	1	4.0×10^{-12}	0
12	1.043	1	0.079	0	1.075	1	7.4×10^{-12}	0
13	1.038	1	0.070	0	1.066	1	1.7×10^{-12}	0
14	1.000	1	1.000	0	1.000	1	1.0×10^{-12}	0
15	1.033	1	0.060	0	1.057	1	4.7×10^{-12}	0

ตารางที่ ๓.5 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ac (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
16	1.000	1	0.998	0	0.997	1	2.0×10^{-12}	0
17	1.033	1	0.060	0	1.057	1	1.8×10^{-11}	0
18	1.044	1	0.081	0	1.077	1	8.7×10^{-12}	0
19	1.059	1	0.094	0	1.089	1	8.2×10^{-13}	0
20	1.033	1	0.060	0	1.057	1	2.8×10^{-12}	0

ตารางที่ ๓.6 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส bc

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.049	0	1.048	1	1.013	1	2.7×10^{-13}	0
2	0.058	0	1.056	1	1.014	1	1.4×10^{-12}	0
3	0.067	0	1.066	1	1.018	1	1.7×10^{-12}	0
4	0.059	0	1.058	1	1.017	1	1.5×10^{-12}	0
5	0.048	0	1.047	1	1.013	1	6.3×10^{-13}	0
6	0.069	0	1.068	1	1.021	1	1.6×10^{-12}	0
7	0.049	0	1.048	1	1.013	1	4.6×10^{-13}	0
8	0.076	0	1.074	1	1.024	1	1.2×10^{-12}	0
9	0.051	0	1.050	1	1.014	1	1.0×10^{-13}	0
10	0.059	0	1.058	1	1.017	1	1.1×10^{-12}	0
11	0.067	0	1.065	1	1.018	1	9.4×10^{-13}	0
12	0.050	0	1.049	1	1.013	1	2.2×10^{-13}	0
13	0.037	0	1.035	1	1.007	1	2.8×10^{-13}	0
14	0.051	0	1.050	1	1.014	1	1.3×10^{-14}	0
15	0.067	0	1.066	1	1.018	1	3.8×10^{-12}	0
16	0.058	0	1.057	1	1.017	1	8.8×10^{-13}	0
17	0.067	0	1.066	1	1.018	1	2.2×10^{-13}	0
18	0.999	0	1.000	1	0.997	1	2.0×10^{-13}	0
19	0.051	0	1.050	1	1.014	1	1.3×10^{-12}	0
20	0.067	0	1.066	1	1.018	1	2.5×10^{-12}	0

ตารางที่ ๗.7 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส ab ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.946	1	1.055	1	0.064	0	0.095	1
2	0.945	1	1.055	1	0.064	0	0.095	1
3	0.931	1	1.041	1	0.050	0	0.095	1
4	0.920	1	1.033	1	0.039	0	0.095	1
5	0.931	1	1.041	1	0.050	0	0.095	1
6	1.000	1	1.000	1	0.109	0	0.652	1
7	0.931	1	1.041	1	0.050	0	0.095	1
8	1.000	1	0.988	1	0.293	0	0.695	1
9	1.000	1	0.997	1	0.177	0	0.720	1
10	0.932	1	1.043	1	0.051	0	0.091	1
11	0.930	1	1.040	1	0.049	0	0.095	1
12	0.929	1	1.039	1	0.048	0	0.095	1
13	0.929	1	1.039	1	0.048	0	0.095	1
14	1.000	1	1.000	1	0.018	0	0.669	1
15	0.916	1	1.029	1	0.034	0	0.095	1
16	0.933	1	1.044	1	0.052	0	0.090	1
17	0.929	1	1.040	1	0.048	0	0.095	1
18	0.937	1	1.048	1	0.056	0	0.089	1
19	0.923	1	1.034	1	0.041	0	0.095	1
20	0.930	1	1.040	1	0.049	0	0.095	1

ตารางที่ ๗.8 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส ac ลงดิน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	1.051	1	0.066	0	0.878	1	0.154	1
2	1.052	1	0.067	0	0.879	1	0.154	1
3	1.072	1	0.090	0	0.902	1	0.154	1
4	1.039	1	0.048	0	0.863	1	0.154	1
5	1.054	1	0.069	0	0.882	1	0.154	1

ตารางที่ ๘.8 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส ac ลงคืน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
6	1.051	1	0.067	0	0.879	1	0.155	1
7	1.065	1	0.080	0	0.881	1	0.146	1
8	1.052	1	0.066	0	0.879	1	0.154	1
9	1.050	1	0.066	0	0.878	1	0.155	1
10	1.053	1	0.069	0	0.882	1	0.154	1
11	1.072	1	0.089	0	0.902	1	0.154	1
12	1.071	1	0.088	0	0.900	1	0.154	1
13	1.051	1	0.066	0	0.878	1	0.154	1
14	1.052	1	0.068	0	0.880	1	0.154	1
15	1.061	1	0.076	0	0.883	1	0.144	1
16	1.000	1	0.077	0	1.000	1	0.654	1
17	1.084	1	0.102	0	0.883	1	0.150	1
18	1.072	1	0.090	0	0.902	1	0.154	1
19	1.061	1	0.076	0	0.883	1	0.144	1
20	1.051	1	0.067	0	0.879	1	0.154	1

ตารางที่ ๘.9 ผลการจำแนกชนิดความผิดพร้อมลัทธิวงจรเฟส bc ลงคืน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.083	0	1.066	1	1.019	1	0.120	1
2	0.083	0	1.067	1	1.043	1	0.122	1
3	0.082	0	1.064	1	1.018	1	0.120	1
4	0.062	0	1.047	1	1.005	1	0.122	1
5	0.060	0	1.046	1	1.005	1	0.122	1
6	0.064	0	1.049	1	1.006	1	0.122	1
7	0.080	0	1.063	1	1.017	1	0.120	1
8	0.082	0	1.065	1	1.019	1	0.120	1
9	0.059	0	1.047	1	1.007	1	0.121	1
10	0.061	0	1.046	1	1.005	1	0.122	1

ตารางที่ ๙.9 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัควงจรเฟส bc ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
11	0.077	0	1.061	1	1.016	1	0.120	1
12	0.071	0	1.057	1	1.026	1	0.115	1
13	0.082	0	1.065	1	1.018	1	0.120	1
14	0.090	0	1.000	1	1.000	1	0.654	1
15	0.066	0	1.000	1	1.000	1	0.654	1
16	0.016	0	1.000	1	0.994	1	0.665	1
17	0.054	0	1.041	1	1.002	1	0.122	1
18	0.082	0	1.065	1	1.019	1	0.120	1
19	0.082	0	1.065	1	1.019	1	0.120	1
20	0.077	0	1.060	1	1.014	1	0.120	1

ตารางที่ ๙.10 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัควงจรเฟส abc

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.924	1	1.037	1	0.765	1	1.5×10^{-14}	0
2	0.933	1	1.043	1	0.767	1	2.7×10^{-13}	0
3	0.935	1	1.050	1	0.776	1	2.1×10^{-13}	0
4	0.936	1	1.044	1	0.768	1	3.7×10^{-13}	0
5	0.923	1	1.036	1	0.764	1	5.7×10^{-15}	0
6	0.936	1	1.052	1	0.778	1	2.5×10^{-13}	0
7	0.924	1	1.037	1	0.765	1	1.3×10^{-14}	0
8	0.953	1	1.056	1	0.777	1	4.1×10^{-13}	0
9	0.925	1	1.038	1	0.766	1	3.4×10^{-14}	0
10	0.936	1	1.044	1	0.768	1	1.7×10^{-13}	0
11	0.934	1	1.050	1	0.776	1	2.0×10^{-13}	0
12	0.924	1	1.037	1	0.765	1	2.0×10^{-14}	0
13	0.915	1	1.027	1	0.755	1	2.1×10^{-14}	0
14	0.925	1	1.038	1	0.766	1	3.6×10^{-14}	0
15	0.935	1	1.050	1	0.776	1	2.5×10^{-13}	0

ตารางที่ ฉ.10 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส *abc* (ต่อ)

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
16	0.935	1	1.043	1	0.768	1	9.5×10^{-14}	0
17	0.935	1	1.050	1	0.776	1	1.4×10^{-13}	0
18	0.999	1	1.000	1	0.997	1	2.0×10^{-14}	0
19	0.925	1	1.038	1	0.766	1	4.4×10^{-14}	0
20	0.935	1	1.050	1	0.776	1	1.6×10^{-13}	0

ตารางที่ ฉ.11 ผลการจำแนกชนิดความผิดปกติของลัทธิวงจรเฟส *abc* ลงคืน

ครั้งที่	K_a	สถานะ	K_b	สถานะ	K_c	สถานะ	K_0	สถานะ
1	0.935	1	1.051	1	0.776	1	5.2×10^{-14}	1
2	0.924	1	1.038	1	0.766	1	9.9×10^{-15}	1
3	0.936	1	1.052	1	0.778	1	1.6×10^{-13}	1
4	0.937	1	1.045	1	0.768	1	2.6×10^{-13}	1
5	0.942	1	1.047	1	0.770	1	4.2×10^{-13}	1
6	0.933	1	1.048	1	0.774	1	7.3×10^{-14}	1
7	0.925	1	1.038	1	0.766	1	4.3×10^{-13}	1
8	0.920	1	1.032	1	0.761	1	8.5×10^{-14}	1
9	0.935	1	1.050	1	0.776	1	1.6×10^{-13}	1
10	0.919	1	1.030	1	0.758	1	2.8×10^{-12}	1
11	0.936	1	1.051	1	0.776	1	6.7×10^{-14}	1
12	0.925	1	1.038	1	0.766	1	7.7×10^{-14}	1
13	0.959	1	1.059	1	0.779	1	2.7×10^{-13}	1
14	0.925	1	1.038	1	0.766	1	2.3×10^{-14}	1
15	0.937	1	1.045	1	0.769	1	2.5×10^{-14}	1
16	0.929	1	1.040	1	0.766	1	7.5×10^{-14}	1
17	0.920	1	1.032	1	0.760	1	5.2×10^{-15}	1
18	0.935	1	1.050	1	0.776	1	1.3×10^{-13}	1
19	0.936	1	1.052	1	0.778	1	7.9×10^{-14}	1
20	0.905	1	1.027	1	0.765	1	1.0×10^{-13}	1

ภาคผนวก ข

**ตำแหน่งติดตั้งสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9
สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2**

ตำแหน่งติดตั้งสำหรับสายป้อนวงจรที่ 9
สถานีไฟฟ้านครราชสีมาแห่งที่ 2

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบการค้นหาค่าตำแหน่งติดตั้งแบบลัดวงจรเฟส a ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางติดตั้ง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	28-29	9.42	9.58	-161	-1.71	0.829	0.956
2	23-25	13.89	13.86	29	0.21	0.812	0.610
3	11-12	8.96	9.05	-92	-1.03	0.425	0.376
4	69-70	20.22	20.39	-166	-0.82	0.833	0.839
5	18-19	10.14	10.00	147	1.45	0.870	0.769
6	45-46	13.74	13.49	247	1.80	0.353	0.188
7	55-57	17.38	17.30	71	0.41	0.314	0.608
8	31-32	10.48	10.30	175	1.67	0.621	0.246
9	37-38	11.99	12.28	-286	-2.38	0.394	0.503
10	16-18	12.14	12.03	112	0.92	0.443	0.467
11	55-57	9.99	10.01	-15	-0.15	0.664	0.724
12	9-11	17.53	17.25	282	1.61	0.262	0.708
13	51-53	8.73	8.56	166	1.91	0.394	0.521
14	9-10	15.33	15.42	-88	-0.57	0.443	0.366
15	37-38	8.88	8.89	-14	-0.16	0.596	0.816
16	58-59	12.01	11.79	222	1.85	0.704	0.522
17	37-38	12.14	12.03	112	0.92	0.443	0.467
18	28-29	9.36	9.31	49	0.52	0.755	0.895
19	22-23	13.53	13.25	286	2.11	0.251	0.933
20	25-26	15.60	15.73	-131	-0.84	0.941	0.702

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพร้อมแบบลัดวงจรเฟส *b* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพร้อม (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	9-11	8.57	8.36	209	2.442	0.455	0.081
2	11-12	8.89	8.82	74	0.829	0.200	0.049
3	12-13	9.04	9.16	-122	-1.348	0.522	0.117
4	12-14	9.19	9.15	47	0.507	0.598	0.949
5	21-22	11.79	12.08	-289	-2.449	0.889	0.102
6	22-23	13.41	13.35	65	0.487	0.234	0.933
7	23-24	14.50	14.56	-63	-0.435	0.264	0.325
8	23-25	13.90	13.68	212	1.526	0.498	0.290
9	32-33	10.90	11.04	-131	-1.201	0.095	0.015
10	34-35	11.01	10.73	288	2.617	0.817	0.985
11	41-43	12.85	12.87	-17	-0.135	0.819	0.621
12	43-44	12.96	12.71	244	1.884	0.822	0.263
13	51-53	15.22	15.01	214	1.406	0.602	0.605
14	53-54	16.59	16.77	-183	-1.106	0.637	0.170
15	53-55	16.83	16.85	-13	-0.077	0.310	0.779
16	62-63	20.41	20.33	74	0.364	0.071	0.012
17	62-65	19.37	19.15	227	1.173	0.516	0.458
18	63-64	22.50	22.42	74	0.330	0.193	0.380
19	67-71	19.85	19.58	276	1.392	0.771	0.314
20	73-74	21.28	21.40	-113	-0.531	0.812	0.908

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพร้อมแบบลัดวงจรเฟส *c* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพร้อม (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	12-14	9.33	9.49	-156	-1.676	0.122	0.763

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *c* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
2	16-17	11.20	10.93	272	2.430	0.419	0.213
3	11-12	20.49	20.53	-36	-0.174	0.081	0.851
4	47-48	13.66	13.89	-229	-1.673	0.862	0.657
5	48-49	13.71	13.52	181	1.323	0.502	0.422
6	28-29	9.35	9.16	192	2.052	0.111	0.565
7	25-26	14.68	14.66	24	0.162	0.870	0.027
8	16-17	11.18	10.99	192	1.720	0.716	0.251
9	9-11	8.64	8.78	-137	-1.588	0.522	0.895
10	35-37	11.62	11.47	149	1.285	0.136	0.532
11	68-69	20.05	20.34	-285	-1.423	0.869	0.626
12	58-59	18.81	18.57	241	1.282	0.978	0.641
13	12-14	9.25	9.02	230	2.486	0.681	0.666
14	31-32	10.52	10.65	-135	-1.281	0.022	0.262
15	22-23	13.09	13.21	-117	-0.890	0.069	0.853
16	63-64	13.77	13.59	180	1.310	0.032	0.734
17	71-72	22.17	21.89	276	1.245	0.368	0.013
18	71-72	20.28	20.03	254	1.254	0.569	0.159
19	22-23	13.05	12.90	153	1.169	0.833	0.192
20	16-18	9.98	10.15	-176	-1.764	0.002	0.79

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบการค้นหาค่าแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab*

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	65-67	19.63	19.91	-284	-1.449	0.371	0.065
2	45-47	13.44	13.58	-145	-1.082	0.172	0.068

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
3	14-47	13.34	13.203	134	1.004	0.885	0.515
4	68-69	20.05	20.175	-120	-0.601	0.048	0.380
5	71-72	20.29	20.126	163	0.803	0.749	0.374
6	61-62	18.78	18.906	-129	-0.688	0.484	0.946
7	72-73	20.84	20.801	39	0.185	0.562	0.372
8	73-74	21.55	21.295	253	1.173	0.343	0.968
9	62-63	20.25	20.07	183	0.906	0.368	0.917
10	53-54	16.59	16.497	90	0.544	0.735	0.005
11	58-59	18.89	18.687	204	1.079	0.593	0.952
12	48-50	13.82	14.076	-260	-1.884	0.515	0.636
13	61-62	18.78	18.651	126	0.672	0.043	0.371
14	63-64	21.98	22.281	-297	-1.352	0.178	0.691
15	47-48	13.68	13.947	-264	-1.929	0.458	0.844
16	67-71	20.00	19.864	131	0.657	0.725	0.900
17	45-47	13.46	13.633	-171	-1.268	0.043	0.479
18	57-60	18.25	18.157	94	0.515	0.650	0.952
19	55-57	17.28	17.211	66	0.385	0.494	0.418
20	38-39	12.42	12.132	292	2.352	0.290	0.754

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac*

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	68-69	20.070	19.874	196	0.976	0.978	0.366
2	72-73	20.822	20.961	-139	-0.670	0.015	0.641
3	8-69	20.035	20.062	-27	-0.134	0.102	0.8930

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
5	51-52	14.480	14.528	-48	-0.334	0.460	0.8
6	57-58	18.138	18.427	-289	-1.596	0.695	0.259
7	55-57	17.273	17.121	152	0.882	0.203	0.819
8	31-32	10.469	10.528	-58	-0.558	0.539	0.19
9	32-34	10.767	10.475	292	2.714	0.091	0.507
10	39-41	12.690	12.643	46	0.366	0.952	0.169
11	55-57	17.768	17.654	114	0.642	0.649	0.115
12	58-59	18.840	18.707	133	0.708	0.464	0.071
13	51-53	16.022	15.767	255	1.593	0.238	0.016
14	32-33	10.698	10.503	196	1.829	0.512	0.713
15	35-37	11.654	11.634	20	0.174	0.637	0.944
16	43-44	13.051	13.091	-41	-0.312	0.286	0.677
17	48-49	13.705	13.640	65	0.474	0.879	0.488
18	72-73	20.826	20.655	171	0.822	0.136	0.755
19	63-64	21.988	21.998	-10	-0.044	0.334	0.247
20	35-37	11.629	11.351	278	2.392	0.093	0.241

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc*

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	31-32	10.517	10.332	185	1.760	0.738	0.112
2	55-56	18.478	18.233	246	1.330	0.898	0.604
3	68-69	19.984	19.844	140	0.699	0.161	0.883
4	23-24	14.403	14.634	-231	-1.607	0.450	0.643
5	9-11	8.723	8.478	245	2.811	0.468	0.497

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
6	67-71	19.924	19.999	-75	-0.376	0.767	0.045
7	29-30	9.952	9.787	165	1.659	0.777	0.208
8	63-64	21.342	21.091	252	1.180	0.397	0.481
9	45-47	13.391	13.667	-276	-2.061	0.678	0.509
10	23-24	14.467	14.190	277	1.914	0.579	0.823
11	65-67	19.646	19.700	-54	-0.275	0.115	0.846
12	32-34	10.837	11.009	-172	-1.591	0.037	0.313
13	47-48	13.667	13.432	235	1.717	0.587	0.924
14	45-47	13.338	13.133	206	1.541	0.364	0.976
15	69-70	20.205	20.438	-232	-1.150	0.318	0.789
16	22-23	13.224	13.109	115	0.866	0.319	0.622
17	71-72	20.454	20.474	-20	-0.098	0.111	0.403
18	41-42	13.284	13.381	-97	-0.732	0.293	0.679
19	41-43	12.864	12.732	132	1.023	0.845	0.233
20	68-69	20.052	19.985	67	0.335	0.331	0.575

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* ลงดิน

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	73-74	21.560	21.697	-137	-0.635	0.868	0.329
2	62-65	19.368	19.628	-261	-1.345	0.983	0.966
3	45-47	13.431	13.423	8	0.058	0.166	0.828
4	51-52	14.848	14.822	26	0.178	0.355	0.744
5	41-43	12.866	12.567	299	2.321	0.181	0.415
6	41-42	13.012	12.957	55	0.424	0.404	0.302

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ab* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
7	38-39	12.465	12.617	-152	-1.222	0.309	0.003
8	43-44	12.999	12.837	163	1.251	0.552	0.525
9	43-44	12.979	13.024	-45	-0.345	0.965	0.013
10	21-22	11.514	11.338	177	1.534	0.617	0.518
11	37-38	11.894	11.860	34	0.282	0.857	0.683
12	28-29	9.487	9.575	-88	-0.928	0.925	0.678
13	28-29	9.492	9.375	117	1.229	0.599	0.221
14	32-33	10.699	10.705	-6	-0.055	0.817	0.691
15	47-48	13.672	13.602	70	0.510	0.045	0.740
16	21-22	12.214	11.953	261	2.136	0.704	0.296
17	30-31	10.230	10.147	82	0.804	0.875	0.077
18	23-25	13.893	13.768	125	0.900	0.444	0.592
19	12-13	9.059	9.268	-209	-2.304	0.674	0.242
20	34-35	11.229	11.079	150	1.334	0.878	0.022

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	12-14	9.332	9.265	67	0.717	0.633	0.754
2	16-17	11.201	11.123	78	0.694	0.544	0.209
3	71-72	20.490	20.760	-270	-1.318	0.292	0.822
4	47-48	13.660	13.486	174	1.272	0.786	0.366
5	48-49	13.705	13.853	-148	-1.079	0.148	0.639
6	28-29	9.349	9.255	93	0.999	0.929	0.485
7	25-26	14.682	14.845	-163	-1.112	0.276	0.131

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *ac* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
8	16-17	11.177	11.154	23	0.208	0.231	0.845
9	9-11	8.641	8.838	-197	-2.280	0.529	0.504
10	35-37	11.617	11.408	209	1.796	0.389	0.046
11	68-69	20.054	20.135	-82	-0.408	0.495	0.430
12	58-59	18.808	18.648	160	0.852	0.388	0.967
13	12-14	9.245	9.178	67	0.722	0.317	0.127
14	31-32	10.517	10.633	-116	-1.101	0.164	0.094
15	22-23	13.092	13.101	-9	-0.070	0.645	0.112
16	39-40	13.768	13.552	216	1.567	0.909	0.145
17	63-64	22.169	21.962	207	0.936	0.851	0.713
18	71-72	20.281	20.201	80	0.397	0.819	0.349
19	23-23	13.049	12.887	163	1.246	0.540	0.923
20	16-18	9.975	9.978	-2	-0.021	0.837	0.889

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* ลงดิน

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	73-74	21.419	21.400	20	0.092	0.098	0.374
2	25-26	15.572	15.479	92	0.593	0.295	0.602
3	69-70	20.239	20.422	-183	-0.903	0.733	0.549
4	29-30	9.849	9.692	156	1.586	0.925	0.202
5	9-11	8.765	8.774	-8	-0.096	0.689	0.401
6	43-45	12.933	12.915	18	0.137	0.820	0.057
7	62-65	19.357	19.349	7	0.038	0.816	0.025
8	58-59	18.776	18.866	-90	-0.480	0.697	0.147

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *bc* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
9	39-40	13.166	13.454	-287	-2.183	0.220	0.566
10	62-65	19.352	19.294	58	0.298	0.063	0.723
11	53-54	16.588	16.622	-34	-0.203	0.696	0.221
12	18-19	10.146	9.858	287	2.831	0.893	0.093
13	67-68	19.873	20.165	-292	-1.472	0.822	0.994
14	23-24	14.194	14.126	68	0.478	0.973	0.923
15	72-73	20.704	20.438	266	1.284	0.061	0.333
16	39-40	14.024	14.317	-292	-2.085	0.402	0.034
17	41-42	13.160	12.905	255	1.938	0.592	0.523
18	12-13	9.048	8.918	129	1.427	0.004	0.326
19	62-65	19.318	19.288	31	0.160	0.366	0.094
20	53-55	16.755	16.789	-34	-0.202	0.677	0.328

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดพ่วงแบบลัดวงจรเฟส *abc*

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดพ่วง (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	31-32	10.517	10.367	150	1.427	0.064	0.616
2	55-56	18.478	18.655	-177	-0.956	0.408	0.706
3	68-69	19.984	20.195	-211	-1.056	0.591	0.837
4	23-24	14.403	14.335	68	0.473	0.109	0.937
5	9-11	8.723	8.935	-211	-2.422	0.421	0.830
6	67-71	19.924	20.066	-142	-0.715	0.322	0.818
7	23-30	9.952	9.658	293	2.948	0.080	0.928
8	63-64	21.342	21.509	-167	-0.781	0.387	0.486
9	45-47	13.391	13.371	19	0.145	0.957	0.855

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดปกติของแบบลัดวงจรเฟส *abc* (ต่อ)

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดปกติ (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
10	23-24	14.467	14.216	251	1.733	0.483	0.325
11	65-67	19.646	19.589	57	0.292	0.291	0.676
12	32-34	10.837	10.796	40	0.372	0.822	0.224
13	47-48	13.667	13.407	261	1.906	0.230	0.525
14	45-47	13.338	13.050	288	2.163	0.253	0.240
15	69-70	20.205	19.990	215	1.066	0.665	0.309
16	22-23	13.224	13.417	-193	-1.458	0.274	0.926
17	71-72	20.454	20.219	235	1.148	0.128	0.413
18	41-42	13.284	13.103	182	1.367	0.403	0.689
19	41-43	12.864	13.060	-196	-1.525	0.400	0.154
20	68-69	20.052	19.987	65	0.322	0.120	0.029

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดปกติของแบบลัดวงจรเฟส *abc* ลงดิน

ครั้งที่	ปี-ปี	ระยะทางผิดปกติ (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
1	72-73	20.808	20.611	197	0.948	0.510	0.210
2	37-38	12.002	11.761	241	2.010	0.635	0.367
3	67-71	19.878	19.694	184	0.926	0.559	0.487
4	55-56	18.872	19.000	-128	-0.680	0.842	0.789
5	55-56	19.287	19.228	60	0.309	0.559	0.783
6	67-68	19.834	19.974	-141	-0.710	0.558	0.205
7	41-43	12.865	12.607	257	2.000	0.278	0.288
8	14-15	9.484	9.429	55	0.576	0.191	0.725
9	68-69	20.060	20.266	-206	-1.028	0.773	0.873
10	51-52	14.758	14.757	1	0.009	0.982	0.412

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบการค้นหาตำแหน่งผิดปกติของแบบลัดวงจรเฟส *abc* ลงดิน (ต่อ)

ครั้งที่	บัส-บัส	ระยะทางผิดปกติ (km)		ค่าผิดพลาด		$rsse_v$ (kV)	$rsse_i$ (kA)
		จริง	คำนวณ	m	%		
11	72-73	20.897	21.154	-257	-1.231	0.156	0.558
12	43-45	13.012	13.235	-223	-1.710	0.497	0.007
13	63-64	21.909	21.658	252	1.149	0.092	0.602
14	39-41	12.714	12.420	293	2.308	0.466	0.046
15	25-27	14.146	14.232	-86	-0.606	0.513	0.715
16	21-22	11.262	11.226	35	0.315	0.980	0.497
17	12-123	9.056	9.294	-238	-2.629	0.943	0.089
18	69-70	20.263	20.525	-262	-1.295	0.379	0.337
19	67-71	20.038	20.008	30	0.150	0.954	0.714
20	45-56	14.044	13.869	175	1.243	0.835	0.970

ภาคผนวก ซ

โปรแกรม MATLAB ที่ใช้งานวิจัย

โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในงานวิจัย

โปรแกรมสำหรับการจำลองผลระบบในสภาวะปกติและสภาวะผิดปกติ

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function[tout,vbout,itout,idout,igout,ibout,ifout,...
    faulttype,rfault,faultbranch,distanceratio]...
= timedomainsimulation(filename,...
timespan,timefault,timestep,faulttype,rfault,...
faultbranch,distanceratio)                                ประกาศฟังก์ชัน timedomainsimulation

tsim = timespan(1):timestep:timespan(2);                 กำหนดเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการจำลองผล
tnum = length(tsim);                                     จำนวนจำนวนจุดตัวอย่าง
run(filename);                                           บันทึกข้อมูลของระบบ
load E:\simulation\systemdata                            อ่านข้อมูลของระบบ
if faulttype==0...                                       ในกรณีที่ระบบไม่เกิดความผิดปกติ

    [linedata,busdata,nl,nr,nbus,nbr,rtg,rt,ltg,lt,vmag,lg,...
    rd,ld,rf] = nofaultdata(linedata,busdata);           เรียกใช้ฟังก์ชัน nofaultdata
    [gm,gf,geffg,geffd,geqd,refft,reqt,refftg,reqtg] = calgmatrix...
    (timestep,nl,nr,nbus,nbr,rtg,rt,ltg,lt,lg,rd,ld,rf);   เรียกใช้ฟังก์ชัน calgmatrix]
    [tout,vbout,itout,idout,igout,ibout,ifout] = normalsimulation...
    (tsim,timefault,timestep,gm,gf,geffg,geffd,geqd,refft,reqt,...
    refftg,reqtg,vmag,nbus,nbr,nl,nr);                   เรียกใช้ฟังก์ชัน normalsimulation
    faulttype = 0;                                       กำหนดชนิดความผิดปกติเท่ากับศูนย์
    rfault = inf;                                        กำหนดความต้านทานผิดปกติเท่ากับอนันต์
    faultbranch = inf;                                   กำหนดบรานซ์ผิดปกติเท่ากับอนันต์
    distanceratio = 0;                                  กำหนดระยะทางผิดปกติเท่ากับศูนย์
    ifout = 0;                                          กำหนดกระแสผิดปกติเท่ากับศูนย์
elseif faulttype~=0                                     ในกรณีที่ระบบเกิดความผิดปกติ

    [linedatan,busdatan,nln,nrn,nbusn,nbrn,rtgn,rtn,ltgn,ltn,...
    vmagn,lgm,rdn,ldn,rfn] = nofaultdatanew(linedata,busdata,...
    faultbranch,distanceratio);                          เรียกใช้ฟังก์ชัน nofaultdatanew
    [gm,gf,geffg,geffd,geqd,refft,reqt,refftg,reqtg] = calgmatrix...
    (timestep,nln,nrn,nbusn,nbrn,rtgn,rtn,ltgn,ltn,lgm,rdn,ldn,rfn);   เรียกใช้ฟังก์ชัน calgmatrix
    [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,vmagf,...
    lgf,rdf,ldf,rff] = selectfault(linedata,busdata,faulttype,rfault,...
    faultbranch,distanceratio);                          เรียกใช้ฟังก์ชัน selectfault
```

```

[gmf,gff,geffgf,geffdf,geqdf,reffif,reqtf,refftfg,reqtgf] = ...
calgmatrix(timestep,nlf,nrf,nbus,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,lgf,rdf,...
ldf,rff);
                                                                    เรียกใช้ฟังก์ชัน calgmatrix
[tout,vbout,itout,idout,igout,ibout,ifout] = faultsim(tsim,...
timefault,timestep,gm,gmf,gf,gff,geffg,geffd,geqd,refft,...
reqt,refftfg,reqtg,vmagn,nbusn,nbrn,nln,nrn);
                                                                    เรียกใช้ฟังก์ชัน faultsim
end
save E:\simulation\01ag20\ag08 tout vbout itout idout igout ...
ibout ifout faulttype rfault faultbranch distanceratio
                                                                    บันทึกการจำลองผล
return

```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบในสภาวะปกติ

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [linedata,busdata,nl,nr,nbus,nbr,rtg,rt,ltg,lt,vmag,...
lg,rd,ld,rf] = nofaultdata(linedata,busdata)
                                                                    ประกาศฟังก์ชัน nofaultdata

nbr = length(linedata(:,1));
                                                                    จำนวนจำนวนบรานช์
nbus = max(busdata(:,1));
                                                                    จำนวนจำนวนบัส
nl = linedata(:,1);
                                                                    หมายเลขบัสส่ง
nr = linedata(:,2);
                                                                    หมายเลขบัสรับ
rtg = inf*ones(3*nbus,3*nbus);
                                                                    กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความต้านทานของสาย
                                                                    ป้อนที่อ้างอิง index จากหมายเลขบัส
rt = inf*ones(3*nbr,3);
                                                                    กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความต้านทานของสาย
                                                                    ป้อนที่อ้างอิง index จากหมายเลขบรานช์
ltg = inf*ones(3*nbus,3*nbus);
                                                                    กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความเหนี่ยวนำของสาย
                                                                    ป้อนที่อ้างอิง index จากหมายเลขบัส
lt = inf*ones(3*nbr,3);
                                                                    กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความเหนี่ยวนำของสาย
                                                                    ป้อนที่อ้างอิง index จากหมายเลขบรานช์

for br=1:nbr
                                                                    จำนวนสมาชิกของเมทริกซ์ rtg rt ltg และ lt
    rtg(3*nl(br)-2:3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,3:5)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nl(br)-1:3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,6:8)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nl(br),3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,9:11)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nr(br)-2:3*nr(br),3*nl(br)-2:3*nl(br)) = rtg(3*nl(br)...

```

```

-2:3*nl(br),3*nr(br)-2:3*nr(br));
ltg(3*nl(br)-2,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,12:14)*...
linedata(br,21);
ltg(3*nl(br)-1,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,15:17)*...
linedata(br,21);
ltg(3*nl(br),3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,18:20)*...
linedata(br,21);
ltg(3*nr(br)-2:3*nr(br),3*nl(br)-2:3*nl(br)) = ltg(3*nl(br)-...
2:3*nl(br),3*nr(br)-2:3*nr(br));
rt(3*br-2,1:3) = linedata(br,3:5)*linedata(br,21);
rt(3*br-1,1:3) = linedata(br,6:8)*linedata(br,21);
rt(3*br,1:3) = linedata(br,9:11)*linedata(br,21);
lt(3*br-2,1:3) = linedata(br,12:14)*linedata(br,21);
lt(3*br-1,1:3) = linedata(br,15:17)*linedata(br,21);
lt(3*br,1:3) = linedata(br,18:20)*linedata(br,21);
end
vmag = zeros(3*nbus,1);

lg = inf*ones(3*nbus,3);

rd = inf*ones(3*nbus,3);
ld = inf*ones(3*nbus,3);
rf = inf*ones(3*nbus,3);
for k=1:nbus

vmag(3*k-2:3*k,1) = busdata(k,2)*[1; 1; 1];
lg(3*k-2:3*k,1:3) = busdata(k,3)*[1 inf inf;
inf 1 inf; inf inf 1];
rd(3*k-2:3*k,1:3) = [busdata(k,4) inf inf...
inf busdata(k,5) inf inf inf busdata(k,6)];
ld(3*k-2:3*k,1:3) = [busdata(k,7) inf inf...
inf busdata(k,8) inf inf inf busdata(k,9)];
end
return

```

กำหนดค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ขนาดของแรงดัน

แหล่งจ่าย

กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความเหนี่ยวนำของ

แหล่งจ่าย

กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความต้านทานของโหลด

กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความเหนี่ยวนำของโหลด

กำหนดค่าเริ่มต้นของเมทริกซ์ความต้านทานคิดพ่วง

คำนวณสมาชิกของเวกเตอร์ vmag

คำนวณสมาชิกของเมทริกซ์ lg rd และ ld

โปรแกรมสำหรับคำนวณเมทริกซ์ค่าคงที่ของระบบ

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [g,gf,geffg,geffd,geqd,refft,reqt,refftg,reqtg] = ...
    calgmatrix(timestep,nl,nr,nbus,nbr,rtg,rt,ltg,lt,lg,rd,ld,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน calgmatrix

    geffg = 0.5*timestep*(1./lg);
    จำนวน  $G_{eff,g}$ 

    geffd = 0.5*timestep*(1./ld);
    จำนวน  $G_{eq,d}$ 

    geqd = 1./rd+geffd;
    จำนวน  $G_{eff,d}$ 

    gf = 1./rf;
    จำนวน  $G_{abc,f}$ 

    refft = (2/timestep)*lt;
    จำนวน  $R_{eff,l}$  ที่อ้างอิง index จากหมายเลขบรานซ์

    reqt = rt+refft;
    จำนวน  $R_{eq,l}$  ที่อ้างอิง index จากหมายเลขบรานซ์

    refftg = (2/timestep)*ltg;
    จำนวน  $R_{eff,l}$  ที่อ้างอิง index จากหมายเลขบัส

    reqtg = rtg+refftg;
    จำนวน  $R_{eq,l}$  ที่อ้างอิง index จากหมายเลขบัส

    g = zeros(3*nbus,3*nbus);
    กำหนดค่าเริ่มต้นของ  $G$ 

    for k=1:nbus
        จำนวนสมาชิกของ  $G$ 

        for m=1:nbus

            if (m~=k) & (reqtg(3*k-2:3*k,3*m-2:3*m)~=inf*ones(3))
                g(3*k-2:3*k,3*m-2:3*m)=inv(reqtg(3*k-2:3*k,3*m-...
                    2:3*m));

            elseif (m~=k) & (reqtg(3*k-2:3*k,3*m-2:3*m)==...
                inf*ones(3))
                g(3*k-2:3*k,3*m-2:3*m)= zeros(3);

            elseif (m==k)
                suminvreqtg = zeros(3,3);

                for mm=1:nbus

                    if (mm~=k) & (reqtg(3*k-2:3*k,3*mm-2:3*mm)~= ...
                        inf*ones(3))
                        suminvreqtg = suminvreqtg+inv(reqtg(3*k-2:3*k,...
                            3*mm-2:3*mm));

                    else,end

                end

                g(3*k-2:3*k,3*m-2:3*m) = geffg(3*k-2:3*k,1:3)+...
                    geqd(3*k-2:3*k,1:3)+gf(3*k-2:3*k,1:3)+suminvreqtg;

            end

        end

    end

end

return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณกระแสและแรงดันของระบบในสภาวะปกติ

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [t,vb,it,id,ig,ib,ifr] = normalsimulation(t,tf,timestep,...
    gm,gf,geffg,geffd,geqd,refit,reqt,reffig,reqtg,vmag,...
    nbus,nbr,nl,nr)
    fsim = 50;
    wsim = 2*pi*fsim;
    nt = length(t);
    ibc = zeros(3*nbus,1);
    ib = [];
    vb = [];
    vbc = zeros(3*nbus,1);
    vbp = zeros(3*nbus,1);

    vbn = zeros(3*nbus,1);

    igp = zeros(3*nbus,1);
    ig = [];
    idlp = zeros(3*nbus,1);

    idp = zeros(3*nbus,1);
    id = [];
    it = [];
    itc = zeros(3*nbr,1);

    ifc = zeros(3*nbus,1);

    เวลา
    ifr = [];
    vtlp = zeros(3*nbr,1);

    format short e;
    a1 = [1 cos(-2*pi/3) cos(2*pi/3)];
    a2 = [0 0 0];

    vbp = vbc;
```

จำนวนสมาชิกของ G
กำหนดความถี่ของระบบ
จำนวนจำนวนจุดตัวอย่าง
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสบั๊สที่คำนวณในแต่ละรอบเวลา
เริ่มต้นค่าเวกเตอร์กระแสบั๊ส
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์แรงดันบั๊ส
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์แรงดันบั๊สที่คำนวณในแต่ละรอบเวลา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์แรงดันบั๊สที่คำนวณในรอบเวลาที่ผ่าน
มา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์แรงดันบั๊สที่คำนวณในรอบเวลา
ปัจจุบัน
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสแหล่งจ่ายในรอบเวลาที่ผ่านมา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสแหล่งจ่าย
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสโหลดเหนี่ยวนำ
ในรอบเวลาที่ผ่านมา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสโหลดในรอบเวลาที่ผ่านมา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสโหลด
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสสายส่ง
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสสายส่งที่คำนวณในแต่ละรอบ
เวลา
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสผิวดร็องที่คำนวณในแต่ละ
รอบ
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์กระแสผิวดร็อง
เริ่มต้นค่าเมทริกซ์แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของสาย
ส่งในรอบเวลาที่ผ่านมา
กำหนดค่าเวกเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับแรงดันสามเฟสที่
เวลาเท่ากับศูนย์
กำหนดค่าเวกเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับแรงดันสามเฟส
ก่อนเวลาเท่ากับศูนย์
กำหนดให้เมทริกซ์แรงดันบั๊สที่คำนวณในรอบเวลาที่

```

g = gm;

grf = gf;
for k=1:nbus
    vsn = vmag(3*k-2,1)*a1;
    vsp = vmag(3*k-2,1)*a2;
    sumvs = vsn'+vsp';

    sumitp = zeros(3,1);
    sumrvl = zeros(3,1);
    for br=1:nbr
        if nl(br)==k+1
            break
        end
        if nl(br)==k
            sumitp = sumitp+inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
                refft(3*br-2:3*br,1:3)*itc(3*br-2:3*br,1);
            sumrvl = sumrvl+inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
                vtlp(3*br-2:3*br,1);
        elseif nr(br)==k
            sumitp = sumitp-inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
                refft(3*br-2:3*br,1:3)*itc(3*br-2:3*br,1);
            sumrvl = sumrvl-inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
                vtlp(3*br-2:3*br,1);
        end
    end
    ibc(3*k-2:3*k,1) = igp(3*k-2:3*k,1)-idlp(3*k-2:3*k,1)-...
        sumitp+geffg(3*k-2:3*k,1:3)*sumvs-...
        (geffg(3*k-2:3*k,1:3)+geffd(3*k-2:3*k,1:3))*...
        vbp(3*k-2:3*k,1)-sumrvl;
end
ib = [ib; ibc'];
vbc = inv(g)*ibc;
ifc(3*nbus-2:3*nbus,1) = grf(3*nbus-2:3*nbus,1:3)*...
    (vbc(3*nbus-2:3*nbus,1));
ifr = [ifr; ifc'];
vbn = vbc;
vb = [vb; vbn'];
for k=1:nbus
    vsn = vmag(3*k-2,1)*a1;

```

ผ่านมาเท่ากับค่าในรอบเวลาปัจจุบัน

กำหนดให้ G เป็นค่าในสถานะที่ระบบไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดค่า G ในสถานะที่ระบบเกิดความผิดพลาด

ดำเนินการจนจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนบัสของระบบ

คำนวณแรงดันแหล่งจ่ายที่เวลาเท่ากับศูนย์

คำนวณแรงดันแหล่งจ่ายก่อนเวลาเท่ากับศูนย์

คำนวณผลบวกของแรงดันแหล่งจ่ายก่อนเวลาเท่ากับ

ศูนย์และเวลาเท่ากับศูนย์

คำนวณกระแสบัส

คำนวณแรงดันบัส

คำนวณกระแสผิดพลาด

update สมาชิกของเมทริกซ์กระแสผิดพลาด

ให้แรงดันบัสที่คำนวณได้เท่ากับค่าในรอบเวลาปัจจุบัน

update สมาชิกของเมทริกซ์แรงดันบัส

ดำเนินการจนจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนบัสของระบบ

```

vsp = vmag(3*k-2,1)*a2;
sumvs = vsn'+vsp';
igp(3*k-2:3*k,1) = igp(3*k-2:3*k,1)+...
geffg(3*k-2:3*k,1:3)*sumvs-geffg(3*k-2:3*k,1:3)*...
(vbn(3*k-2:3*k,1)+vbp(3*k-2:3*k,1));          จำนวนกระแสแหล่งจ่าย
idp(3*k-2:3*k,1) = idp(3*k-2:3*k,1)+geqd(3*k-2:3*k,1:3)*...
vbn(3*k-2:3*k,1)+geffd(3*k-2:3*k,1:3)*vbp(3*k-2:3*k,1);   จำนวนกระแสโหลด
idlp(3*k-2:3*k,1) = idp(3*k-2:3*k,1)-(geqd(3*k-2:3*k,1:3)-...
geffd(3*k-2:3*k,1:3))*vbn(3*k-2:3*k,1);          จำนวนกระแสโหลดเหนี่ยวนำ
end
ig = [ig; igp'];
id = [id; idp'];
itp = itp;

for br=1:nbr
    st = nl(br);
    fn = nr(br);
    itc(3*br-2:3*br,1) = inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
reffit(3*br-2:3*br,1:3)*itp(3*br-2:3*br,1)+...
inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*(vbn(3*st-2:3*st,1)-...
vbn(3*fn-2:3*fn,1))+inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
vtlp(3*br-2:3*br,1);          จำนวนกระแสรายป้อน
vtlp(3*br-2:3*br,1) = reffit(3*br-2:3*br,1:3)*...
(itc(3*br-2:3*br,1)-itp(3*br-2:3*br,1))-vtlp(3*br-2:3*br,1);   จำนวนแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในสายป้อน
end
it = [it; itc'];
for z=2:nt
    a1 = [cos(wsim*(z)) cos(wsim*(z)-2*pi/3) ...
cos(wsim*(z)+2*pi/3)];
    a2 = [cos(wsim*(z-1)) cos(wsim*(z-1)-2*pi/3) ...
cos(wsim*(z-1)+2*pi/3)];
    vbp = vbc;
    for k=1:nbus
        vsn = vmag(3*k-2,1)*a1;
        vsp = vmag(3*k-2,1)*a2;
        sumvs = vsn'+vsp';
        sumitp = zeros(3,1);
        sumrvl = zeros(3,1);

```

update สมาชิกของเมทริกซ์กระแสแหล่งจ่าย

update สมาชิกของเมทริกซ์กระแสโหลด

ให้กระแสรายป้อนในรอบเวลาที่ผ่านมามีเท่ากับค่าที่คำนวณได้

ดำเนินการจนจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนบรรทัดของระบบ

กำหนดค่าเวกเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับแรงดันสามเฟส ณ เวลาปัจจุบัน

กำหนดค่าเวกเตอร์ของฟังก์ชันสำหรับแรงดันสามเฟส ณ เวลาในรอบที่ผ่านมามี


```

for br=1:nbr
    if nl(br)==k+1
        break
    end
    if nl(br)==k
        sumitp = sumitp+inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
        refft(3*br-2:3*br,1:3)*itp(3*br-2:3*br,1);
        sumrvl = sumrvl+inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
        vtlp(3*br-2:3*br,1);
    elseif nr(br)==k
        sumitp = sumitp-inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
        refft(3*br-2:3*br,1:3)*itp(3*br-2:3*br,1);
        sumrvl = sumrvl-inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
        vtlp(3*br-2:3*br,1);
    end
end
ibc(3*k-2:3*k,1) = igp(3*k-2:3*k,1)-idlp(3*k-2:3*k,1)...
-sumitp+geffg(3*k-2:3*k,1:3)*sumvs...
-(geffg(3*k-2:3*k,1:3)+geffd(3*k-2:3*k,1:3))*...
vbp(3*k-2:3*k,1)-sumrvl;
end
ib = [ib; ibc'];
vbc = inv(g)*ibc;
ifc(3*nbus-2:3*nbus,1) = grf(3*nbus-2:3*nbus,1:3)*...
(vbc(3*nbus-2:3*nbus,1));
ifr = [ifr; ifc'];
vbn = vbc;
vb = [vb; vbn'];
for k=1:nbus
    vsn = vmag(3*k-2,1)*a1;
    vsp = vmag(3*k-2,1)*a2;
    sumvs = vsn'+vsp';
    igp(3*k-2:3*k,1) = igp(3*k-2:3*k,1)+...
    geffg(3*k-2:3*k,1:3)*sumvs-geffg(3*k-2:3*k,1:3)...
    *(vbn(3*k-2:3*k,1)+vbp(3*k-2:3*k,1));
    idp(3*k-2:3*k,1) = idp(3*k-2:3*k,1)+...
    geqd(3*k-2:3*k,1:3)*vbn(3*k-2:3*k,1)...
    +geffd(3*k-2:3*k,1:3)*vbp(3*k-2:3*k,1);
    idlp(3*k-2:3*k,1) = idp(3*k-2:3*k,1)-...
    (geqd(3*k-2:3*k,1:3)-geffd(3*k-2:3*k,1:3))...
    *vbn(3*k-2:3*k,1);
end

```

```

end
ig = [ig; igp'];
id = [id; idp'];
itp = itp;
for br=1:nbr
    st = nl(br);
    fn = nr(br);
    itc(3*br-2:3*br,1) = inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*...
    refft(3*br-2:3*br,1:3)*itp(3*br-2:3*br,1)...
    +inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*(vbn(3*st-2:3*st,1)-...
    vbn(3*fn-2:3*fn,1))...
    +inv(reqt(3*br-2:3*br,1:3))*vtlp(3*br-2:3*br,1);
    vtlp(3*br-2:3*br,1) = refft(3*br-2:3*br,1:3)*...
    (itc(3*br-2:3*br,1)-itp(3*br-2:3*br,1))...
    -vtlp(3*br-2:3*br,1);
end
it = [it; itc'];
end
return

```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบในสภาวะปกติและระบบถูกเพิ่มบัสอีก 1 บัสที่ตำแหน่งผิดพร่อง
กำหนดค่าความต้านทานผิดพร่องและโหลดของบัสนี้เป็นอนันต์

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedata,busdata,nl,nr,nbus,nbr,rtg,rt,ltg,lt,vmag,...
```

```
lg,rd,ld,rf] = nofaultdatanew(linedata,busdata,...
```

```
brf,ratio)
```

```
nbr = length(linedata(:,1));
```

```
nbus = max(busdata(:,1));
```

```
linedata_n = zeros(nbr+1,23);
```

```
if brf==1
```

```
linedata_n(brf,1) = linedata(brf,1);
```

```
linedata_n(brf,2) = nbus+1;
```

```
linedata_n(brf,3:23) = ratio*linedata(brf,3:23);
```

ประกาศฟังก์ชัน nofaultdatanew

คำนวณจำนวนบรานซ์

คำนวณจำนวนบัส

เริ่มต้นค่าเมทริกซ์ใหม่สำหรับข้อมูลสายป้อน

กรณีบรานซ์ที่ 1 เกิดความผิดพร่อง คำนวณสมาชิกของ

เมทริกซ์ข้อมูลของสายป้อนบรานซ์ที่ 1 และ 2 ใหม่

ส่วนบรานซ์ที่เหลือยับยั้งหมายเลขบรานซ์ขึ้นมาอีกหนึ่ง
ชั้น

```

linedata_n(brf+1,1) = linedata(brf,2);
linedata_n(brf+1,2) = nbus+1;
linedata_n(brf+1,3:23) = (1-ratio)*linedata(1,3:23);
linedata_n(3:(nbr+1),1:23) = linedata((brf+1):nbr,1:23);
elseif brf==nbr

linedata_n(1:(brf-1),1:23) = linedata(1:(brf-1),1:23);
linedata_n(brf,1) = linedata(brf,1);
linedata_n(brf,2) = nbus+1;
linedata_n(brf,3:23) = ratio*linedata(brf,3:23);
linedata_n(brf+1,1) = linedata(brf,2);
linedata_n(brf+1,2) = nbus+1;
linedata_n(brf+1,3:23) = (1-ratio)*linedata(brf,3:23);
else

linedata_n(1:(brf-1),1:23) = linedata(1:(brf-1),1:23);
linedata_n(brf,1) = linedata(brf,1);
linedata_n(brf,2) = nbus+1;
linedata_n(brf,3:23) = ratio*linedata(brf,3:23);
linedata_n(brf+1,1) = linedata(brf,2);
linedata_n(brf+1,2) = nbus+1;
linedata_n(brf+1,3:23) = (1-ratio)*linedata(brf,3:23);
linedata_n((brf+2):(nbr+1),1:23) = linedata((brf+1):nbr,1:23);
end
linedata = linedata_n;

newdata = zeros(1,10);
newdata(1) = nbus+1;
newdata(2) = 0;
newdata(3) = inf;
newdata(4:6) = inf*[1 1 1];
newdata(7:9) = inf*[1 1 1];
newdata(10) = inf;
busdata = [busdata; newdata];
nbr = length(linedata(:,1));
nbus = max(busdata(:,1));
nl = linedata(:,1);
nr = linedata(:,2);
rtg = inf*ones(3*nbus,3*nbus);

```

กรณีบรรทัดสุดท้ายเกิดความผิดพลาด จำนวนสมาชิกของเมทริกซ์ข้อมูลของสายป้อนบรรทัดรองสุดท้ายและสุดท้ายใหม่ ส่วนบรรทัดที่เหลือข้อมูลและหมายเลขบรรทัดคงเดิม

กรณีบรรทัดความผิดพลาดเกิดที่บรรทัดใดๆ จำนวนสมาชิกของเมทริกซ์ข้อมูลของสายป้อนใหม่ทั้งหมด

จากข้อมูลของสายป้อนชุดใหม่ จำนวนเมทริกซ์สำหรับข้อมูลของสายป้อนและ巴士ใหม่ทั้งหมด

```

rt = inf*ones(3*nbr,3);
ltg = inf*ones(3*nbus,3*nbus);
lt = inf*ones(3*nbr,3);
for br=1:nbr
    rtg(3*nل(br)-2,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,3:5)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nل(br)-1,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,6:8)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nل(br),3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,9:11)*...
    linedata(br,21);
    rtg(3*nr(br)-2:3*nr(br),3*nل(br)-2:3*nل(br)) = ...
    rtg(3*nل(br)-2:3*nل(br),3*nr(br)-2:3*nr(br));
    ltg(3*nل(br)-2,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,12:14)*...
    linedata(br,21);
    ltg(3*nل(br)-1,3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,15:17)*...
    linedata(br,21);
    ltg(3*nل(br),3*nr(br)-2:3*nr(br)) = linedata(br,18:20)*...
    linedata(br,21);
    ltg(3*nr(br)-2:3*nr(br),3*nل(br)-2:3*nل(br)) = ...
    ltg(3*nل(br)-2:3*nل(br),3*nr(br)-2:3*nr(br));
    rt(3*br-2,1:3) = linedata(br,3:5)*linedata(br,21);
    rt(3*br-1,1:3) = linedata(br,6:8)*linedata(br,21);
    rt(3*br,1:3) = linedata(br,9:11)*linedata(br,21);
    lt(3*br-2,1:3) = linedata(br,12:14)*linedata(br,21);
    lt(3*br-1,1:3) = linedata(br,15:17)*linedata(br,21);
    lt(3*br,1:3) = linedata(br,18:20)*linedata(br,21);
end
vmag = zeros(3*nbus,1);
lg = inf*ones(3*nbus,3);
rd = inf*ones(3*nbus,3);
ld = inf*ones(3*nbus,3);
rf = inf*ones(3*nbus,3);
for k=1:nbus
    vmag(3*k-2:3*k,1) = busdata(k,2)*[1; 1];
    lg(3*k-2:3*k,1:3) = busdata(k,3)*[1 inf inf; inf 1 inf; ...
    inf inf 1];
    rd(3*k-2:3*k,1:3) = [busdata(k,4) inf inf; ...
    inf busdata(k,5) inf; inf inf busdata(k,6)];
    ld(3*k-2:3*k,1:3) = [busdata(k,7) inf inf; ...
    inf busdata(k,8) inf; inf inf busdata(k,9)];
end

```



```

elseif ftype==8
    [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phACgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf);
elseif ftype==9
    [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phBCgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf);
elseif ftype==10
    [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phABCdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf);
elseif ftype==11
    [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phABCgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf);
else
end
return

```

Phase *ac* -GND
เรียกใช้ฟังก์ชัน phACgdata
Phase *bc* -GND
เรียกใช้ฟังก์ชัน phBCgdata
Phase *abc*
เรียกใช้ฟังก์ชัน phABCdata
Phase *abc* -GND
เรียกใช้ฟังก์ชัน phABCgdata

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติวงจรเฟส *a* ลงดิน

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phAgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
•
•
•
rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
[rf inf inf; inf inf inf; inf inf inf];
return

```

ประกาศฟังก์ชัน phAgdata
สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
แถวที่ nbus หลักที่ nbus

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติของสัดวงจรเฟส b ลงดิน

โดย: บรรณัญดี บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phBgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phBgdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
    [inf inf inf; inf rf inf; inf inf inf];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติของสัดวงจรเฟส c ลงดิน

โดย: บรรณัญดี บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phCgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phCgdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
    [inf inf inf; inf inf inf; inf inf rf];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส *ac* ลงดิน

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phACgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phACgdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
    [rf inf inf; inf inf inf; inf inf rf];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติของลัดวงจรเฟส *bc* ลงดิน

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phBCgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phBCgdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
    [inf inf inf; inf rf inf; inf inf rf];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติวงจรเฟส *abc*

โดย: บรรณวุฒิ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phABCdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phABCdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = ...
    [3*rf/2 -3*rf -3*rf,-3*rf 3*rf/2 -3*rf; -3*rf -3*rf 3*rf/2];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณพารามิเตอร์ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติวงจรเฟส *abc* ลงดิน

โดย: บรรณวุฒิ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [linedataf,busdataf,nlf,nrf,nbusf,nbrf,rtgf,rtf,ltgf,ltf,...
    vmagf,lgf,rdf,ldf,rff] = phABCgdata(linedata,busdata,...
    brf,ratio,rf)
    ประกาศฟังก์ชัน phABCgdata

    เหมือนกับ โปรแกรม nofaultdatanew
    •
    •
    •
    rff(3*nbus-2:3*nbus,1:3) = [rf inf inf; inf rf inf; inf inf rf];
    สมาชิกของเมทริกซ์ความต้านทานผิดปกติ
    แถวที่ nbus หลักที่ nbus

    return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณกระแสและแรงดันในสถานะผิดพ่วง

โดย: บรรณวุฒิ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [t,vb,it,id,ig,ib,ifr] = faultsim(t,tf,timestep,gm,gmf,...
    gf,gff,gfffg,geffd,geqd,refit,reqt,reffig,reqtg,vmag,...
    nbus,nbr,nl,nr)
    ประกาศฟังก์ชัน faultsim
    เหมือนกับ โปรแกรม normalsimulation
    •
    •
    •
    for z=2:nt
        a1 = [cos(wsim*t(z)) cos(wsim*t(z)-2*pi/3) ...
            cos(wsim*t(z)+2*pi/3)];
        a2 = [cos(wsim*t(z-1)) cos(wsim*t(z-1)-2*pi/3) ...
            cos(wsim*t(z-1)+2*pi/3)];
        vbp = vbc;
        if t(z)==tf(1)
            ถ้าเวลาเท่ากับเวลาที่เริ่มเกิดความผิดพ่วง
            ใช้เมทริกซ์  $G$  ที่สอดคล้องกับชนิดของความผิดพ่วง

            g = gmf;
            grf = gff;
        end
        if t(z)==tf(2)
            ถ้าเวลาเท่ากับเวลาที่ความผิดพ่วงเริ่มหายไป
            ใช้เมทริกซ์  $G$  สำหรับระบบในสถานะปกติ

            g = gm;
            grf = gf;
        end
        for k=1:nbus
            vsn = vmag(3*k-2,1)*a1;
            vsp = vmag(3*k-2,1)*a2;
            sumvs = vsn'+vsp';
            sumitp = zeros(3,1);
            sumrvl = zeros(3,1);
            •
            •
            •
        end
    end
    เหมือนกับ โปรแกรม normalsimulation
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 1

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [yds,ydr,D] = impedancetransfer01(filename)
```

ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer01

```
run(filename)
```

บันทึกข้อมูลของระบบ

```
load E:\simulation\systemdata
```

อ่านข้อมูลของระบบ

```
d = linedata(:,21);
```

ระยะทางของแต่ละบรานซ์

```
load E:\simulation\normal20busdata
```

อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ

```
nbus = max(busdata(:,1));
```

```
nbr = length(linedata(:,1));
```

```
linelength = linedata(:,1);
```

```
iload = zeros(3,nbus);
```

```
vbus = zeros(3,nbus);
```

```
for k=1:nbus
```

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส

```
rectan = sdf3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k));
```

```
iload(1:3,k) = rectan;
```

```
rectan = sdf3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k));
```

```
vbus(1:3,k) = rectan;
```

```
end
```

```
ibr = zeros(3,nbr);
```

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสในสายป้อนแต่ละบรานซ์

```
for br=1:nbr
```

```
rectan = sdf3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
```

```
ibr(1:3,br) = rectan;
```

```
end
```

ย้ายกระแสโหลดและกระแสบรานซ์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

```
ids = ibr(:,15)+inv((d(16)+d(18))*z)*(d(18)*z)*ibr(:,17);
```

```
idr = iload(:,20)-inv((d(16)+d(18))*z)*(d(16)*z)*ibr(:,17);
```

```
ids = ibr(:,12)+inv((d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
```

```
((d(16)+d(18))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(13)+d(16)+d(18))*z)*(d(13)*z)*ids;
```

```
ids = iload(:,11)+inv((d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
```

```
((d(13)+d(16)+d(18))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*(d(11)*z)*ids;
```

```
ids = iload(:,10)+inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
```

```
((d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
```

```
(d(10)*z)*ids;
```

```

ids = ibr(:,6)+inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*...
(d(7)*z)*ids;
ids = ibr(:,2)+inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(18))*z)*((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(18))*z)*(d(3)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(18))*z)*((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(18))*z)*(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+...
d(16)+d(18))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(18);
return

```

จำนวนแรงดันของปลายรับ
 จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง
 จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ
 จำนวนระยะทางสำหรับวิธีที่ 1

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 2

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<pre> function [yds,ydr,D] = impedancetransfer02(filename) run(filename) load E:\simulation\systemdata d = linedata(:,21); load E:\simulation\normal20busdata nbus = max(busdata(:,1)); nbr = length(linedata(:,1)); linelength = linedata(:,1); iload = zeros(3,nbus); vbus = zeros(3,nbus); for k=1:nbus rectan = sdf3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k)); iload(1:3,k) = rectan; rectan = sdf3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k)); vbus(1:3,k) = rectan; </pre>	<p>ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer02</p> <p>บันทึกข้อมูลของระบบ</p> <p>อ่านข้อมูลของระบบ</p> <p>ระยะทางของแต่ละบรานช์</p> <p>อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ</p> <p>จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส</p>
---	--

```

end
ibr = zeros(3,nbr);
for br=1:nbr
    rectan = sdf3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
    ibr(1:3,br) = rectan;
end
ids = iload(:,3)+inv((d(4)+d(5))*z)*(d(5)*z)*iloader(:,4);
idr = iload(:,5)-inv((d(4)+d(5))*z)*(d(4)*z)*iloader(:,4);
ids = ibr(:,3)+inv((d(2)+d(4)+d(5))*z)*((d(4)+d(5))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(2)+d(4)+d(5))*z)*(d(2)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(2)+d(4)+d(5))*z)*((d(2)+d(4)+d(5))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(2)+d(4)+d(5))*z)*(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(2)+d(4)+d(5))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(2)+d(4)+d(5);
return

```

จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละบรานช์

ย้ายกระแสไหลและกระแสบรานช์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

จำนวนแรงดันของปลายรับ

จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

จำนวนระยะทางสำหรับวิธีที่ 2

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 3

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [yds,ydr,D] = impedancetransfer03(filename)
run(filename)
load E:\simulation\systemdata
d = linedata(:,21);
load E:\simulation\normal20busdata
nbus = max(busdata(:,1));
nbr = length(linedata(:,1));
linelength = linedata(:,1);
iloader = zeros(3,nbus);
vbus = zeros(3,nbus);
for k=1:nbus
    rectan = sdf3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k));
    iload(1:3,k) = rectan;
    rectan = sdf3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k));
    vbus(1:3,k) = rectan;

```

ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer03

บันทึกข้อมูลของระบบ

อ่านข้อมูลของระบบ

ระยะทางของแต่ละบรานช์

อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ

จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส

```

end
ibr = zeros(3,nbr);
for br=1:nbr
    rectan = sfft3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
    ibr(1:3,br) = rectan;
end
ids = iload(:,7)+inv((d(8)+d(9))*z)*(d(9)*z)*iloader(:,7);

idr = iload(:,9)-inv((d(8)+d(9))*z)*(d(8)*z)*iloader(:,7);
ids = ibr(:,7)+inv((d(6)+d(8)+d(9))*z)*((d(8)+d(9))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(6)+d(8)+d(9))*z)*(d(6)*z)*ids;
ids = ibr(:,2)+inv((d(3)+d(6)+d(8)+d(9))*z)*...
((d(6)+d(8)+d(9))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(3)+d(6)+d(8)+d(9))*z)*(d(3)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(3)+d(6)+d(8)+d(9))*z)*((d(3)+d(6)+...
d(8)+d(9))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(3)+d(6)+d(8)+d(9))*z)*(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(3)+d(6)+d(8)+d(9))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(3)+d(6)+d(8)+d(9);
return

```

จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละบรานช์

ย้ายกระแสโหลดและกระแสบรานช์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

จำนวนแรงดันของปลายรับ

จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

จำนวนระยะทางสำหรับวิธีที่ 3

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 4

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [yds,ydr,D] = impedancetransfer04(filename)
    run(filename)
    load E:\simulation\systemdata
    d = linedata(:,21);
    load E:\simulation\normal20busdata
    nbus = max(busdata(:,1));
    nbr = length(linedata(:,1));
    linelength = linedata(:,1);
    iload = zeros(3,nbus);
    vbus = zeros(3,nbus);
    for k=1:nbus

```

ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer04

บันทึกข้อมูลของระบบ

อ่านข้อมูลของระบบ

ระยะทางของแต่ละบรานช์

อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ

จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส


```

rectan = sfft3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k));
pload(1:3,k) = rectan;
rectan = sfft3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k));
vbus(1:3,k) = rectan;
end
ibr = zeros(3,nbr);
for br=1:nbr
    rectan = sfft3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
    ibr(1:3,br) = rectan;
end
ids = ibr(:,13)+inv((d(12)+d(14))*z)*(d(14)*z)*pload(:,13);
idr = pload(:,14)-inv((d(12)+d(14))*z)*(d(12)*z)*pload(:,13);
ids = pload(:,11)+inv((d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
((d(12)+d(14))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(11)+d(12)+d(14))*z)*(d(11)*z)*ids;
ids = pload(:,10)+inv((d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
((d(11)+d(12)+d(14))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*(d(10)*z)*ids;
ids = ibr(:,6)+inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
((d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*(d(7)*z)*ids;
ids = ibr(:,2)+inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
((d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
(d(3)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*...
((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+...
d(14))*z)*(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+...
d(14))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(12)+d(14);
return

```

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละบรานช์

ย้ายกระแสไหลและกระแสบรานช์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

คำนวณแรงดันของปลายรับ

คำนวณอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

คำนวณอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

คำนวณระยะทางสำหรับวิธีที่ 4

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 5

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [yds,ydr,D] = impedancetransfer05(filename)
```

ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer05

```
run(filename)
```

บันทึกข้อมูลของระบบ

```
load E:\simulation\systemdata
```

อ่านข้อมูลของระบบ

```
d = linedata(:,21);
```

ระยะทางของแต่ละบรานช์

```
load E:\simulation\normal20busdata
```

อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ

```
nbus = max(busdata(:,1));
```

```
nbr = length(linedata(:,1));
```

```
linelength = linedata(:,1);
```

```
iload = zeros(3,nbus);
```

```
vbus = zeros(3,nbus);
```

```
for k=1:nbus
```

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส

```
rectan = sdf3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k));
```

```
iload(1:3,k) = rectan;
```

```
rectan = sdf3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k));
```

```
vbus(1:3,k) = rectan;
```

```
end
```

```
ibr = zeros(3,nbr);
```

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละบรานช์

```
for br=1:nbr
```

```
rectan = sdf3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
```

```
ibr(1:3,br) = rectan;
```

```
end
```

ย้ายกระแสไหลลงและกระแสบรานช์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

```
ids = ibr(:,12)+inv((d(13)+d(15))*z)*(d(15)*z)*ibr(:,16);
```

```
idr = iload(:,16)-inv((d(13)+d(15))*z)*(d(13)*z)*ibr(:,16);
```

```
ids = iload(:,11)+inv((d(11)+d(13)+d(15))*z)*((d(13)...  
+d(15))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(11)+d(13)+d(15))*z)*(d(11)*z)*ids;
```

```
ids = iload(:,10)+inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*...  
((d(11)+d(13)+d(15))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*(d(10)*z)*ids;
```

```
ids = ibr(:,6)+inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*((d(10)...  
+d(11)+d(13)+d(15))*z)*ids;
```

```
idr = idr-inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*(d(7)*z)*ids;
```

```
ids = ibr(:,2)+inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)...
```

```

*((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*...
(d(3)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*...
((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15))*z)*..
(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+...
d(15))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(15);
return

```

จำนวนแรงดันของปลายรับ
 จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง
 จำนวนอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ
 จำนวนระยะทางสำหรับวิธีที่ 5

โปรแกรมสำหรับคำนวณวงจรอย่างง่ายของวิธีที่ 6

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [yds,ydr,D] = impedancetransfer06(filename)
    run(filename)
    load E:\simulation\systemdata
    d = linedata(:,21);
    load E:\simulation\normal20busdata
    nbus = max(busdata(:,1));
    nbr = length(linedata(:,1));
    linelength = linedata(:,1);
    iload = zeros(3,nbus);
    vbus = zeros(3,nbus);
    for k=1:nbus
        rectan = sdf3ph(tout,idout(:,3*k-2:3*k));
        iload(1:3,k) = rectan;
        rectan = sdf3ph(tout,vbout(:,3*k-2:3*k));
        vbus(1:3,k) = rectan;
    end
    ibr = zeros(3,nbr);
    for br=1:nbr
        rectan = sdf3ph(tout,itout(:,3*br-2:3*br));
        ibr(1:3,br) = rectan;
    end

```

ประกาศฟังก์ชัน impedancetransfer06
 บันทึกข้อมูลของระบบ
 อ่านข้อมูลของระบบ
 ระยะทางของแต่ละบรานช์
 อ่านข้อมูลของการจำลองผลระบบในสภาวะปกติ
 จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในแต่ละบัส
 จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสในแต่ละบรานช์

```

end
ids = ibr(:,18)+inv((d(17)+d(19))*z)*(d(19)*z)*i1oad(:,18);
idr = i1oad(:,19)-inv((d(17)+d(19))*z)*(d(17)*z)*i1oad(:,18);
ids = ibr(:,15)+inv((d(16)+d(17)+d(19))*z)*((d(17)+...
d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(16)+d(17)+d(19))*z)*(d(16)*z)*ids;
ids = ibr(:,12)+inv((d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*...
((d(16)+d(17)+d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*(d(13)*z)*ids;
ids = i1oad(:,11)+inv((d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*...
((d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*(d(11)*z)*ids;
ids = i1oad(:,10)+inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+...
d(19))*z)*((d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+d(19))*z)*...
*(d(10)*z)*ids;
ids = ibr(:,6)+inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+...
d(19))*z)*((d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+...
d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+...
d(19))*z)*(d(7)*z)*ids;
ids = ibr(:,2)+inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+...
d(16)+d(17)+d(19))*z)*((d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(17)+d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+...
d(19))*z)*(d(3)*z)*ids;
ids = inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(17)+d(19))*z)*((d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+...
d(16)+d(17)+d(19))*z)*ids;
idr = idr-inv((d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+...
d(17)+d(19))*z)*(d(1)*z)*ids;
vbr = vbus(:,1)-(d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+...
d(16)+d(17)+d(19))*z*idr;
yds = ids./vbus(:,1);
ydr = idr./vbr;
D = d(1)+d(3)+d(7)+d(10)+d(11)+d(13)+d(16)+d(17)+d(19);
return

```

ย้ายกระแสไหลและกระแสสมรานซ์ไปที่บัสส่งและบัสรับ

คำนวณแรงดันของปลายรับ

คำนวณอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

คำนวณอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

คำนวณระยะทางสำหรับวิธีที่ 6

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 1

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ag2001(faulttime)

[yds,ydr,D] = impedancetransfer01('sys20busdata01');

ysa = yds(1); ysb = yds(2); ysc = yds(3);

zsa = 1/ysa; zsb = 1/ysb; zsc = 1/ysc;

yra = ydr(1); yrb = ydr(2); yrc = ydr(3);

zra = 1/yra; zrb = 1/yrb; zrc = 1/yrc;

load E:\simulation\01ag20\ag01

load E:\simulation\systemdata z

tfbg = faulttime(1);

tffn = faulttime(2);

dt = tout(5)-tout(4);

indtbg = find(tout==tfbg);

indtbg = indtbg+100;

indtfn = find(tout==tffn);

indtfn = indtfn-100;

t = tout(indtbg:indtfn);

vb = vbout(indtbg:indtfn,:);

ig = igout(indtbg:indtfn,:);

vss = sdfi3ph(t,vb(:,1:3));

iss = sdfi3ph(t,ig(:,1:3));

van = vss(1);

vbn = vss(2);

vcn = vss(3);

ia = iss(1);

ib = iss(2);

ic = iss(3);

zaa = z(1,1); zab = z(1,2); zac = z(1,3);

zba = z(2,1); zbb = z(2,2); zbc = z(2,3);

zca = z(3,1); zcb = z(3,2); zcc = z(3,3);

iaa = ia-van/zas;

ibb = ib-vbn/zbs;

icc = ic-vcn/zcs;

ifc = iaa;

ประกาศฟังก์ชัน ag2001

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer01 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 1

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายรับ

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

อ่านข้อมูลผลการจำลองผิดพลาด

อ่านอิมพีแดนซ์สมมูลของสายป้อน

เวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด

เวลาสิ้นสุดความผิดพลาด

ขึ้นเวลาการจำลองผล

เวลาที่เริ่มการชกตัวอย่าง

เวลาที่สิ้นสุดการชกตัวอย่าง

เวลาที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของแรงดันสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของกระแสสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

คำนวณเฟสเซอร์ของแรงดันสถานีไฟฟ้า

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้า

แจกแจงแรงดันสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงอิมพีแดนซ์ของสายป้อน

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส a

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส b

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส c

คำนวณกระแสผิดพลาด

```

vt = zaa*iaa+zab*ibb+zac*icc;
rf = (imag(van)*real(vt)-real(van)*imag(vt))/(real(van)*...
imag(ift)-imag(vt)*real(ift));
d = (real(van)-rf*real(ift))/real(vt);
return

```

คำนวณแรงดันตกคร่อมสายป้อน

คำนวณตัวต้านทานผิดพลาด

คำนวณระยะทางผิดพลาด

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 2

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ag2002(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน ag2002

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer02('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer02 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 2

เหมือนโปรแกรม ag2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 3

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ag2003(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน ag2003

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer03('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer03 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 3

เหมือนโปรแกรม ag2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 4

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ag2004(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน ag2004

[yds,ydr,D] = impedancetransfer04('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer04 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 4

เหมือนโปรแกรม ag2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 5

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ag2005(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน ag2005

[yds,ydr,D] = impedancetransfer05('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer05 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 5

เหมือนโปรแกรม ag2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส a ลงดินวิถีที่ 6

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ag2006(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน ag2006

[yds,ydr,D] = impedancetransfer06('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer06 เพื่อรับค่า

เหมือนโปรแกรม ag2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* วิถีที่ 1

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ab2001(faulttime)
```

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer01('sys20busdata01');
```

```
ysa = yds(1); ysb = yds(2); ysc = yds(3);
```

```
zsa = 1/ysa; zsb = 1/ysb; zsc = 1/ysc;
```

```
yra = ydr(1); yrb = ydr(2); yrc = ydr(3);
```

```
zra = 1/yra; zrb = 1/yrb; zrc = 1/yrc;
```

```
load E:\simulation\04ab20\ab20
```

```
load E:\simulation\systemdata z
```

```
tfbg = faulttime(1);
```

```
tffn = faulttime(2);
```

```
dt = tout(5)-tout(4);
```

```
indtbg = find(tout==tfbg);
```

```
indtbg = indtbg+100;
```

```
indtfn = find(tout==tffn);
```

```
indtfn = indtfn-100;
```

```
t = tout(indtbg:indtfn);
```

```
vb = vbout(indtbg:indtfn,:);
```

```
ig = igout(indtbg:indtfn,:);
```

```
vss = sdf3ph(t,vb(:,1:3));
```

```
iss = sdf3ph(t,ig(:,1:3));
```

```
van = vss(1);
```

```
vbn = vss(2);
```

```
vcn = vss(3);
```

```
ia = iss(1);
```

```
ib = iss(2);
```

```
ic = iss(3);
```

ประกาศฟังก์ชัน ab2001

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer01 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 1

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายรับ

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

อ่านข้อมูลผลการจำลองผิดพลาด

อ่านอิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อน

เวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด

เวลาที่สิ้นสุดความผิดพลาด

ขั้นเวลาการจำลองผล

เวลาที่เริ่มการชั้กตัวอย่าง

เวลาที่สิ้นสุดการชั้กตัวอย่าง

เวลาที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของแรงดันสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของกระแสสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

คำนวณเฟสเซอร์ของแรงดันสถานีไฟฟ้า

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้า

แจกแจงแรงดันสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟส


```

zaa = z(1,1); zab = z(1,2); zac = z(1,3);
zba = z(2,1); zbb = z(2,2); zbc = z(2,3);
zca = z(3,1); zcb = z(3,2); zcc = z(3,3);
iaa = ia-van/zas;
ibb = ib-vbn/zbs;
icc = ic-vcn/zcs;
vab = van-vbn;
ifc = iaa;
vt = (zaa-zba)*iaa+(zab-zbb)*ibb+(zac-zbc)*icc;
rf = (imag(vab)*real(vt)-real(vab)*imag(vt))/(real(vab)*...
imag(ifc)-imag(vt)*real(ifc));
d = (real(vab)-rf*real(ifc))/real(vt);
return

```

แจกแจงอิมพีแดนซ์ของสายป้อน

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส a

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส b

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส c

คำนวณผลต่างแรงดันเฟส a และ b

คำนวณกระแสผิดพลาด

คำนวณแรงดันตกคร่อมสายป้อน

คำนวณตัวคูณทานผิดพลาด

คำนวณระยะทางผิดพลาด

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส ab วิธีที่ 2

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ab2002(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน ab2002

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer02('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer02 เพื่อรับค่า

แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 2

เหมือนโปรแกรม ab2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส ab วิธีที่ 3

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ab2003(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน ab2003

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer03('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer03 เพื่อรับค่า

แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 3

เหมือนโปรแกรม ab2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* วิธีที่ 4

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ab2004(faulttime)

[yds,ydr,D] = impedancetransfer04('sys20busdata01');

เหมือนโปรแกรม ab2001

-
-
-

return

ประกาศฟังก์ชัน ab2004

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer04 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 4

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* วิธีที่ 5

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = ab2005(faulttime)

[yds,ydr,D] = impedancetransfer05('sys20busdata01');

เหมือนโปรแกรม ab2001

-
-
-

return

ประกาศฟังก์ชัน ab2005

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer05 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 5

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* วิธีที่ 6

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = ab2006(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน ab2006

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer06('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer06 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 6

```
เหมือนโปรแกรม ab2001
```

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินวิธีที่ 1

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abg2001(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abg2001

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer01('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer01 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิธีที่ 1

```
ysa = yds(1); ysb = yds(2); ysc = yds(3);
```

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

```
zsa = 1/ysa; zsb = 1/ysb; zsc = 1/ysc;
```

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

```
yra = ydr(1); yrb = ydr(2); yrc = ydr(3);
```

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายรับ

```
zra = 1/yra; zrb = 1/yrb; zrc = 1/yrc;
```

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

```
load E:\simulation\07abg20\abg20
```

อ่านข้อมูลผลการจำลองผิดพลาด

```
load E:\simulation\systemdata z
```

อ่านอิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อน

```
tfbg = faulttime(1);
```

เวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด

```
tffn = faulttime(2);
```

เวลาสิ้นสุดความผิดพลาด

```
dt = tout(5)-tout(4);
```

ขั้นเวลาการจำลองผล

```
indtbg = find(tout==tfbg);
```

เวลาที่เริ่มการชกตัวอย่าง

```
indtbg = indtbg+100;
```

```
indtfn = find(tout==tffn);
```

เวลาที่สิ้นสุดการชกตัวอย่าง

```
indtfn = indtfn-100;
```

เวลาที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

```
t = tout(indtbg:indtfn);
```

ตัวอย่างของแรงดันสถานีไฟฟ้าที่ใช้คำนวณเฟสเซอร์

```
vb = vbout(indtbg:indtfn,:);
```

```

ig = igout(indtbg:indtfn,:);
vss = sdf3ph(t,vb(:,1:3));
iss = sdf3ph(t,ig(:,1:3));
vpn = vss(1);
vqn = vss(2);
vun = vss(3);
ip = iss(1);
iq = iss(2);
iu = iss(3);
zpp = z(1,1); zpq = z(1,2); zpu = z(1,3);
zqp = z(2,1); zqq = z(2,2); zqu = z(2,3);
ipp = ip-vpn/zps;
iqq = iq-vqn/zqs;
iuu = iu-vun/zus;
ifc = iqq;
vt = zqp*ipp+zqq*iqq+zqu*iuu;
rf = (imag(vqn)*real(vt)-real(vqn)*imag(vt))/(real(vqn)*...
imag(ifc)-imag(vt)*real(ifc));
d = (real(vqn)-rf*real(ifc))/real(vt);
return

```

ตัวอย่างของกระแสสถานีไฟฟ้าที่ใช้จำนวนเฟสเซอร์
จำนวนเฟสเซอร์ของแรงดันสถานีไฟฟ้า
จำนวนเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้า
แฉกแรงดันสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แฉกแรงกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แฉกแรงอิมพีแดนซ์ของสายป้อน

จำนวนกระแสสายป้อนเฟส *a*
จำนวนกระแสสายป้อนเฟส *b*
จำนวนกระแสสายป้อนเฟส *c*
จำนวนกระแสผัดพร้อม
จำนวนแรงดันตกคร่อมสายป้อน

จำนวนตัวต้านทานผัดพร้อม
จำนวนระยะทางผัดพร้อม

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผัดพร้อมสำหรับความผัดพร้อมลัดวงจรเฟส *ab* ลงคณิวิธีที่ 2

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abg2002(faulttime)
```

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer02('sys20busdata01');
```

เหมือนโปรแกรม abg2001

-
-
-

```
return
```

ประกาศฟังก์ชัน abg2002

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer02 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 2

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินวิธีที่ 3

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = abg2003(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน abg2003

[yds,ydr,D] = impedancetransfer03('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer03 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 3

เหมือนโปรแกรม abg2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินวิธีที่ 4

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = abg2004(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน abg2004

[yds,ydr,D] = impedancetransfer04('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer04 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 4

เหมือนโปรแกรม abg2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินวิธีที่ 5

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = abg2005(faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน abg2005

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer05('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer05 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 5

เหมือนโปรแกรม abg2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *ab* ลงดินวิถีที่ 6

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abg2006(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abg2006

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer06('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer06 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 6

เหมือนโปรแกรม abg2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* วิถีที่ 1

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2001(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2001

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer01('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer01 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 1

```
ysa = yds(1); ysb = yds(2); ysc = yds(3);
```

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

```
zsa = 1/ysa; zsb = 1/ysb; zsc = 1/ysc;
```

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

```
yra = ydr(1); yrb = ydr(2); yrc = ydr(3);
```

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายรับ

```
zra = 1/yra; zrb = 1/yrb; zrc = 1/yrc;
```

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

```
load E:\simulation\10abc20\abc20
```

อ่านข้อมูลผลการจำลองผิดพลาด

```

load E:\simulation\systemdata z
tfbg = faulttime(1);
tffn = faulttime(2);
dt = tout(5)-tout(4);
indtbg = find(tout==tfbg);
indtbg = indtbg+100;
indtfn = find(tout==tffn);
indtfn = indtfn-100;
t = tout(indtbg:indtfn);
vb = vbout(indtbg:indtfn,:);
ig = igout(indtbg:indtfn,:);
vss = sdf3ph(t,vb(:,1:3));
iss = sdf3ph(t,ig(:,1:3));
van = vss(1);
vbn = vss(2);
vcn = vss(3);
ia = iss(1);
ib = iss(2);
ic = iss(3);
zas = zsa;
zar = zra;
zbs = zsb;
zbr = zrb;
zcs = zsc;
zcr = zrc;
zaa = z(1,1); zab = z(1,2); zac = z(1,3);
zba = z(2,1); zbb = z(2,2); zbc = z(2,3);
iaa = ia-van/zas;
ibb = ib-vbn/zbs;
icc = ic-vcn/zcs;
vab = van-vbn;
ifc = iaa-ibb;
vt = (zaa-zab)*iaa+(zab-zbb)*ibb+(zac-zbc)*icc;
rf = (imag(vab)*real(vt)-real(vab)*imag(vt))/(real(vab)*...
imag(ifc)-imag(vt)*real(ifc));
d = (real(vab)-rf*real(ifc))/real(vt);
return

```

อ่านอิมพีแดนซ์เมทริกซ์ของสายป้อน

เวลาที่เริ่มเกิดความผิดปกติ

เวลาที่สิ้นสุดความผิดปกติ

ช่วงเวลาการจำลองผล

เวลาที่เริ่มการชั้ตัวอย่าง

เวลาที่สิ้นสุดการชั้ตัวอย่าง

เวลาที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของแรงดันสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของกระแสสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

คำนวณเฟสเซอร์ของแรงดันสถานีไฟฟ้า

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้า

แจกแจงแรงดันสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงอิมพีแดนซ์ของสายป้อน

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส *a*

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส *b*

คำนวณกระแสสายป้อนเฟส *c*

คำนวณผลต่างของแรงดันเฟส *a* และ *b*

คำนวณกระแสผิดปกติ

คำนวณแรงดันตกคร่อมสายป้อน

คำนวณตัวต้านทานผิดปกติ

คำนวณระยะทางผิดปกติ

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2002(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2002

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer02('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer02 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 2

เหมือนโปรแกรม abc2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส abc วิถีที่ 3

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2003(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2003

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer03('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer03 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 3

เหมือนโปรแกรม abc2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส abc วิถีที่ 4

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2004(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2004


```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer04('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer04 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 4

เหมือนโปรแกรม abc2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* วิถีที่ 5

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2005(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2005

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer05('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer05 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 5

เหมือนโปรแกรม abc2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* วิถีที่ 6

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abc2006(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abc2006

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer06('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer06 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 6

เหมือนโปรแกรม abc2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* ลงคณิวิถึที่ 1

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abcg2001(faulttime)
```

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer01('sys20busdata01');
```

```
ysa = yds(1); ysb = yds(2); ysc = yds(3);
```

```
zsa = 1/ysa; zsb = 1/ysb; zsc = 1/ysc;
```

```
yra = ydr(1); yrb = ydr(2); yrc = ydr(3);
```

```
zra = 1/yra; zrb = 1/yrb; zrc = 1/yrc;
```

```
load E:\simulation\1\abcg20\abcg20
```

```
load E:\simulation\systemdata z
```

```
tfbg = faulttime(1);
```

```
tffn = faulttime(2);
```

```
dt = tout(5)-tout(4);
```

```
indtbg = find(tout==tfbg);
```

```
indtbg = indtbg+100;
```

```
indtfn = find(tout==tffn);
```

```
indtfn = indtfn-100;
```

```
t = tout(indtbg:indtfn);
```

```
vb = vbout(indtbg:indtfn,:);
```

```
ig = igout(indtbg:indtfn,:);
```

```
vss = sdfi3ph(t,vb(:,1:3));
```

```
iss = sdfi3ph(t,ig(:,1:3));
```

```
vpn = vss(1);
```

```
vqn = vss(2);
```

```
vun = vss(3);
```

```
ip = iss(1);
```

```
iq = iss(2);
```

```
iu = iss(3);
```

```
zps = zsa;
```

```
zpr = zra;
```

```
zqs = zsb;
```

```
zqr = zrb;
```

```
zus = zsc;
```

```
zur = zrc;
```

```
zpp = z(1,1); zpq = z(1,2); zpu = z(1,3);
```

ประกาศฟังก์ชัน abcg2001

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer01 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถึที่ 1

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายส่ง

กำหนดค่าแอดมิตแดนซ์สมมูลของปลายรับ

กำหนดค่าอิมพีแดนซ์สมมูลของปลายรับ

อ่านข้อมูลผลการจำลองผิดพลาด

อ่านอิมพีแดนซ์สมมูลของสายป้อน

เวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด

เวลาสิ้นสุดความผิดพลาด

ขึ้นเวลาการจำลองผล

เวลาที่เริ่มการช้คตัวอย่าง

เวลาที่สิ้นสุดการช้คตัวอย่าง

เวลาที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของแรงดันสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

ตัวอย่างของกระแสสถานีไฟฟ้าที่จะใช้คำนวณเฟสเซอร์

คำนวณเฟสเซอร์ของแรงดันสถานีไฟฟ้า

คำนวณเฟสเซอร์ของกระแสสถานีไฟฟ้า

แจกแจงแรงดันสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงกระแสสถานีไฟฟ้าสามเฟส

แจกแจงอิมพีแดนซ์สมมูลของระบบ

แจกแจงอิมพีแดนซ์ของสายป้อน

```

zqp = z(2,1); zqq = z(2,2); zqu = z(2,3);
zup = z(3,1); zuq = z(3,2); zuu = z(3,3);
ipp = ip-vpn/zps;
iqq = iq-vqn/zqs;
iuu = iu-vun/zus;
ifc = ipp;
vt = zpp*ipp+zpq*iqq+zpu*iuu;
rf = (imag(vpn)*real(vt)-real(vpn)*imag(vt))/(real(vpn)*...
imag(ifc)-imag(vt)*real(ifc));
d = (real(vpn)-rf*real(ifc))/real(vt);
return

```

จำนวนกระแสสายป้อนเฟส a
 จำนวนกระแสสายป้อนเฟส b
 จำนวนกระแสสายป้อนเฟส c
 จำนวนกระแสผัดพร้อม
 จำนวนแรงดันตกคร่อมสายป้อน
 จำนวนตัวต้านทานผัดพร้อม
 จำนวนระยะทางผัดพร้อม

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผัดพร้อมสำหรับความผัดพร้อมลัดวงจรเฟส abc ลงดินวิถีที่ 2

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abcg2002(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abcg2002

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer02('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer02 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 2

เหมือนโปรแกรม abcg2001

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผัดพร้อมสำหรับความผัดพร้อมลัดวงจรเฟส abc ลงดินวิถีที่ 3

โดย: บรรณณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abcg2003 (faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abcg2003

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer03('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer03 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 3

เหมือนโปรแกรม abcg2001

-

-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* ลงคินวิถีที่ 4

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = abcg2004 (faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน abcg2004

[yds,ydr,D] = impedancetransfer04('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer04 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 4

เหมือนโปรแกรม abcg2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* ลงคินวิถีที่ 5

โดย: บรรณัญติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function [rf,d] = abcg2005 (faulttime)

ประกาศฟังก์ชัน abcg2005

[yds,ydr,D] = impedancetransfer05('sys20busdata01');

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer05 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 5

เหมือนโปรแกรม abcg2001

-
-
-

return

โปรแกรมสำหรับคำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดลัดวงจรเฟส *abc* ลงดินวิถีที่ 6

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [rf,d] = abcg2006 (faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน abcg2006

```
[yds,ydr,D] = impedancetransfer06('sys20busdata01');
```

เรียกใช้ฟังก์ชัน impedancetransfer06 เพื่อรับค่า
แอดมิตแดนซ์สมมูลและระยะทางทั้งหมดของวิถีที่ 6

```
เหมือนโปรแกรม abcg2001
```

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับระบุบรานซ์และระยะทางบนบรานซ์ที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 1

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch01(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch01

```
fbranch = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของบรานซ์ผิดพลาด

```
dratio = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนบรานซ์ผิดพลาด

```
[rf,d] = bcg2001(faulttime);
```

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 1

```
dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26 1.65...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละบรานซ์

```
1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
```

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 1

```
pnum = [1 3 7 10 11 13 16 18];
```

```
pdist = [dist(1) dist(3) dist(7) dist(10) dist(11) dist(13)...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิถีที่ 1

```
dist(16) dist(18)];
```

กรณีระยะทางผิดพลาดมีค่ามากกว่าความยาวของวิถีที่ 1
แสดงว่าวิถีที่ 1 ไม่เกิดความผิดพลาด

```
if d>sum(pdist)
```

```
fbranch = 999;
```

```
dratio = 999;
```

```
d = 999;
```

```
rf = 999;
```

```
else
```

```
sumdist = 0;
```

```

for k=1:length(pdist)

    sumdist = sumdist+pdist(k);
    if sumdist>d
        fbranch = pnum(k);
        dratio = 1-(sumdist-d)/pdist(k);
        break
    end
end
end
return

```

ระบุบรานซ์ผิดพลาดโดยการคำนวณผลบวกระยะทาง
สำหรับแต่ละบรานซ์ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าระยะทางที่
มากกว่าระยะทางผิดพลาด

โปรแกรมสำหรับระบุบรานซ์และระยะทางบนบรานซ์ที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 2

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch02(faulttime)

    fbranch = [];
    dratio = [];

    [rf,d] = bcg2002(faulttime);
    dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26 1.65...
            1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
    pnum = [1 2 4 5];
    pdist = [dist(1) dist(2) dist(4) dist(5)];
    เหมือนโปรแกรม findbranch01

    •
    •
    •

    return

```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch02

กำหนดค่าเริ่มต้นของบรานซ์ผิดพลาด

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนบรานซ์ผิดพลาด

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 2

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละบรานซ์

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 2

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิถีที่ 2

โปรแกรมสำหรับระบุbranchและระยะทางบนbranchที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 3

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch03(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch03

```
fbranch = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของbranchผิดพลาด

```
dratio = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนbranchผิดพลาด

```
[rf,d] = bcg2003(faulttime);
```

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 3

```
dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26 1.65...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละbranch

```
1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
```

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 3

```
pnum = [1 3 6 8 9];
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิถีที่ 3

```
pdist = [dist(1) dist(3) dist(6) dist(8) dist(9)];
```

```
เหมือนโปรแกรม findbranch01
```

-

-

-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับระบุbranchและระยะทางบนbranchที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 4

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch04(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch04

```
fbranch = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของbranchผิดพลาด

```
dratio = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนbranchผิดพลาด

```
[rf,d] = bcg2004(faulttime);
```

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 4

```
dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26 1.65...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละbranch

```
1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
```

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 4

```
pnum = [1 3 7 10 11 12 14];
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิถีที่ 4

```
pdist = [dist(1) dist(3) dist(7) dist(10) dist(11) dist(12) ...
```

```
dist(14)];
```

```
เหมือนโปรแกรม findbranch01
```

-

-

- return

โปรแกรมสำหรับระบุบรานซ์และระยะทางบนบรานซ์ที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 5

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch05(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch05

```
fbranch = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของบรานซ์ผิดพลาด

```
dratio = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนบรานซ์ผิดพลาด

```
[rf,d] = bcg2005(faulttime);
```

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 5

```
dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26 1.65...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละบรานซ์

```
1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
```

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 5

```
pnum = [1 3 7 10 11 13 15];
```

```
pdist = [dist(1) dist(3) dist(7) dist(10) dist(11)...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิถีที่ 5

```
dist(13) dist(15)];
```

```
เหมือนโปรแกรม findbranch01
```

-
-
-

```
return
```

โปรแกรมสำหรับระบุบรานซ์และระยะทางบนบรานซ์ที่เกิดความผิดพลาดบนวิถีที่ 6

โดย: บรรณณัติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbranch,dratio,d,rf] = findbranch06(faulttime)
```

ประกาศฟังก์ชัน findbranch06

```
fbranch = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของบรานซ์ผิดพลาด

```
dratio = [];
```

กำหนดค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนระยะทางบนบรานซ์ผิดพลาด

```
[rf,d] = bcg2006(faulttime);
```

คำนวณระยะทางผิดพลาดบนวิถีที่ 6

```
dist = [1.30 1.80 1.75 1.98 1.65 1.12 1.84 1.26...
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับแต่ละบรานซ์

```
1.65 1.89 1.89 1.15 1.26 1.35 1.33 1.87 1.28 1.12 0.97];
```

เวกเตอร์ของดัชนีระยะทางสำหรับวิถีที่ 6

```
pnum = [1 3 7 10 11 13 16 17 19];
```



```
pdist = [dist(1) dist(3) dist(7) dist(10) dist(11) ...
```

```
dist(13) dist(16) dist(17) dist(19)];
```

```
เหมือนโปรแกรม findbranch01
```

-
-
-

```
return
```

เวกเตอร์ระยะทางสำหรับวิธีที่ 6

โปรแกรมสำหรับระบุตำแหน่งความผิดพลาด

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [fbrou,errv,erri,d,ibr] = faultvalue(faulttime)
```

```
load E:\simulation\10abc20\abc03
```

```
tspan = [0 0.3];
```

```
[rf1,d1] = ab2001(faulttime);
```

```
[fbranch1,dratio1] = findbr01(d1);
```

```
if fbranch1==999
```

```
errv1 = inf;
```

```
erri1 = inf;
```

```
else
```

```
[t1,vb1,it1,id1,ig1,ib1,if1,type1,rf1,fbranch1,...
```

```
dratio1] = timedomainsimulation01('sys20busdata01',...
```

```
tspan,faulttime,1e-4,fbranch1,rf1,fbranch1,dratio1);
```

```
errv1 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3)-vb1(:,1:3))./...
```

```
vbbase).^2)));
```

```
erri1 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3)-ig1(:,1:3))./...
```

```
ibase).^2)));
```

```
end
```

```
[rf2,d2] = ab2002(faulttime);
```

```
[fbranch2,dratio2] = findbr02(d2);
```

```
if fbranch2==999
```

```
errv2 = inf;
```

```
erri2 = inf;
```

```
else
```

```
[t2,vb2,it2,id2,ig2,ib2,if2,type2,rf2,fbranch2,dratio2] = ...
```

```
timedomainsimulation02('sys20busdata01',tspan,...
```

ประกาศฟังก์ชัน faultvalue

อ่านค่าผลการจำลองความผิดพลาด

กำหนดระยะเวลาการจำลองผล

คำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับวิธีที่ 1

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะทาง

ถ้าวิธีที่ 1 ไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิธีที่ 1 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะทางผิดพลาด

และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีที่ 1

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิธีที่ 1

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิธีที่ 1

คำนวณระยะทางผิดพลาดสำหรับวิธีที่ 2

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะทาง

ถ้าวิธีที่ 2 ไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิธีที่ 2 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

```

faulttime,1e-4,fbranch2,rf2,fbranch2,dratio2);

errv2 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3))-vb2(:,1:3))./...
vbase).^2)));
erri2 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3))-ig2(:,1:3))./...
ibase).^2)));
end
[rf3,d3] = ab2003(faulttime);
[fbranch3,dratio3] = findbr03(d3);
if fbranch3==999

errv3 = inf;
erri3 = inf;
else
[t3,vb3,it3,id3,ig3,ib3,if3,type3,rf3,fbranch3,dratio3] = ...
timedomainssimulation03('sys20busdata01',tspan,...
faulttime,1e-4,fbranch3,rf3,fbranch3,dratio3);

errv3 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3))-vb3(:,1:3))./...
vbase).^2)));
erri3 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3))-ig3(:,1:3))./...
ibase).^2)));
end
[rf4,d4] = ab2004(faulttime);
[fbranch4,dratio4] = findbr04(d4);
if fbranch4==999

errv4 = inf;
erri4 = inf;
else
[t4,vb4,it4,id4,ig4,ib4,if4,type4,rf4,fbranch4,...
dratio4] = timedomainssimulation04('sys20busdata01',...
tspan,faulttime,1e-4,fbranch4,rf4,fbranch4,dratio4);

errv4 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3))-...
vb4(:,1:3))./vbase).^2)));
erri4 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3))-...
ig4(:,1:3))./ibase).^2)));
end
[rf5,d5] = ab2005(faulttime);
[fbranch5,dratio5] = findbr05(d5);
if fbranch5==999

```

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะเวลาทางผิดพลาด
และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีที่ 2

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิธีที่ 2

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิธีที่ 2

คำนวณระยะเวลาทางผิดพลาดสำหรับวิธีที่ 3

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะเวลา
ถ้าวิธีที่ 3 ไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิธีที่ 3 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะเวลาทางผิดพลาด
และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีที่ 3

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิธีที่ 3

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิธีที่ 3

คำนวณระยะเวลาทางผิดพลาดสำหรับวิธีที่ 4

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะเวลา
ถ้าวิธีที่ 4 ไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิธีที่ 4 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะเวลาทางผิดพลาด
และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิธีที่ 4

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิธีที่ 4

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิธีที่ 4

คำนวณระยะเวลาทางผิดพลาดสำหรับวิธีที่ 5

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะเวลา
ถ้าวิธีที่ 5 ไม่เกิดความผิดพลาด

```

errv5 = inf;
erri5 = inf;
else
[t5,vb5,it5,id5,ig5,ib5,if5,type5,rf5,fbranch5,dratio5] = ...
timedomainssimulation05('sys20busdata01',tspan,...
faulttime,1e-4,fbranch5,rf5,fbranch5,dratio5);

errv5 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3)-...
vb5(:,1:3))./vbase).^2)));
erri5 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3)-...
ig5(:,1:3))./ibase).^2)));
end
rf6,d6] = ab2006(faulttime);
[fbranch6,dratio6] = findbr06(d6);
if fbranch6==999

errv6 = inf;
erri6 = inf;
else
[t6,vb6,it6,id6,ig6,ib6,if6,type6,rf6,fbranch6,...
dratio6] = timedomainssimulation06...
('sys20busdata01',tspan,faulttime,1e-4,fbranch6,rf6,...
fbranch6,dratio6);

errv6 = sum(sum(sqrt(((vbout(:,1:3)-...
vb6(:,1:3))./vbase).^2)));
erri6 = sum(sum(sqrt(((igout(:,1:3)-...
ig6(:,1:3))./ibase).^2)));
end
errorv = [errv1; errv2; errv3; errv4; errv5; errv6];
errori = [erri1; erri2; erri3; erri4; erri5; erri6];
dout = [d1; d2; d3; d4; d5; d6];
rfout = [rf1; rf2; rf3; rf4; rf5; rf6];
fbra = [fbranch1; fbranch2; fbranch3; fbranch4; ...
fbranch5; fbranch6];
[minerr minind] = min(errorv);
errv = errorv(minind);
erri = errori(minind);
d = dout(minind);
fbr = fbra(minind);

```

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิถีที่ 5 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะเวลาทางผิดพลาด
และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิถีที่ 5

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิถีที่ 5

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิถีที่ 5

คำนวณระยะเวลาทางผิดพลาดสำหรับวิถีที่ 6

คำนวณบรรณานุกรมผิดพลาดและอัตราส่วนของระยะเวลา
ถ้าวิถีที่ 6 ไม่เกิดความผิดพลาด

กำหนดให้ $rsse_v = \infty$ และ $rsse_i = \infty$

ถ้าวิถีที่ 6 มีความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาด

จำลองผลความผิดพลาดด้วยระยะเวลาทางผิดพลาด
และความต้านทานผิดพลาดที่คำนวณได้จากวิถีที่ 6

คำนวณ $rsse_v$ สำหรับวิถีที่ 6

คำนวณ $rsse_i$ สำหรับวิถีที่ 6

ค้นหาวิถีที่มีค่า $rsse_v$ และ $rsse_i$ น้อยที่สุด

ได้ค่า $rsse_v$ และ $rsse_i$ ที่น้อยที่สุด

ระยะเวลาของวิถีที่มี $rsse_v$ และ $rsse_i$ น้อยที่สุด

บรรณานุกรมของวิถีที่มี $rsse_v$ และ $rsse_i$ น้อยที่สุด

```
return
```

โปรแกรมสำหรับคำนวณเฟสเซอร์ด้วยระเบียบวิธีผลการแปลงฟูรีเยอร์แบบไม่ต่อเนื่อง

โดย: บรรณฉัตร บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function rectan = sdfit3ph(t,x)
```

```

nt = length(t);
dT = t(nt)-t(nt-1);
N = fix(0.02/dT+1);
rectan = zeros(3,1);
for p=1:3
    sumxr = 0;
    sumxi = 0;
    for m=2:N
        sumxr = sumxr+x(m,p)*cos(2*pi*(m-1)/N);
        sumxi = sumxi-x(m,p)*sin(2*pi*(m-1)/N);
    end
    sumxr = (2/N)*sumxr;
    sumxi = (2/N)*sumxi;
    if p==1
        angA = angle(sumxr+i*sumxi);
        magA = abs(sumxr+i*sumxi);
        rectan(p,1) = magA*(cos(angA)+i*sin(angA));
    elseif p==2
        angB = angle(sumxr+i*sumxi);
        magB = abs(sumxr+i*sumxi);
        rectan(p,1) = magB*(cos(angB)+i*sin(angB));
    elseif p==3
        angC = angle(sumxr+i*sumxi);
        magC = abs(sumxr+i*sumxi);
        rectan(p,1) = magC*(cos(angC)+i*sin(angC));
    end
end
return
```

ประกาศฟังก์ชัน sdfit3ph

จำนวนจุดตัวอย่าง

ช่วงเวลาการจำลองผล

จำนวนจุดตัวอย่างในหนึ่งคาบเวลา

ค่าเริ่มต้นของเฟสเซอร์ในรูป rectangular

คำนวณทั้งสามเฟส

ขั้นตอนวิธีของผลการแปลงฟูรีเยอร์ไม่ต่อเนื่อง

จำนวนส่วนจริง

จำนวนส่วนจินตภาพ

จำนวนมุมเฟส a

จำนวนขนาดเฟส a

คำนวณ rectangular form ของเฟส a

จำนวนมุมเฟส b

จำนวนขนาดเฟส b

คำนวณ rectangular form ของเฟส b

จำนวนมุมเฟส c

จำนวนขนาดเฟส c

คำนวณ rectangular form ของเฟส c

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าคงที่กระแสสถานีไฟฟ้า

โดย: บรรณวุฒิ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
function [Ka,Kb,Kc,K0] = calK()
```

```
    Ka = zeros(20,1);
```

```
    Kb = zeros(20,1);
```

```
    Kc = zeros(20,1);
```

```
    K0 = zeros(20,1);
```

```
    for k=1:20
```

```
        if k==1
```

```
            load E:\simulation\11abcg20\abcg01
```

```
            IMAX = max([magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,1))-magnitude(tout(100:400),...
```

```
            igout(100:400,1)); magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,2))-magnitude(tout(100:400),...
```

```
            igout(100:400,2)); magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,3))-magnitude(tout(100:400),...
```

```
            igout(100:400,3)]);
```

```
            Ka(k,1) = magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,1))/IMAX;
```

```
            Kb(k,1) = magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,2))/IMAX;
```

```
            Kc(k,1) = magnitude(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,3))/IMAX;
```

```
            K0(k,1) = (abs((1/3)*(rectangular(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,1))+rectangular(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,2))+rectangular(tout(1401:1701),...
```

```
            igout(1401:1701,3)))))/IMAX;
```

```
            clear dratiout fbrou tftypout idout igout itout rfout ...
```

```
            tout vbout
```

```
        elseif k==2
```

```
            load E:\simulation\11abcg20\abcg02
```

```
            เหมือนกรณีที่ 1
```

```
            •
```

```
            •
```

```
            •
```

```
        elseif k==3
```

ประกาศฟังก์ชัน calK

ค่าเริ่มต้นของค่าคงที่กระแสทั้ง 4 ตัว

คำนวณทั้งหมด 20 ครั้ง

กรณีที่ 1

อ่านผลการจำลองผิพรองครั้งที่ 1

คำนวณค่าเปลี่ยนแปลงของกระแสสถานีไฟฟ้า
ก่อนและขณะเกิดความผิพรองที่มีค่ามากที่สุด

คำนวณค่าคงที่กระแสสถานีไฟฟ้าเฟส a

คำนวณค่าคงที่กระแสสถานีไฟฟ้าเฟส b

คำนวณค่าคงที่กระแสสถานีไฟฟ้าเฟส c

คำนวณค่าคงที่กระแสสถานีไฟฟ้าลำดับศูนย์

กรณีที่ 2

อ่านผลการจำลองผิพรองครั้งที่ 2

กรณีที่ 3

load E:\simulation\11abcg20\abcg03	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 3
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==4	กรณีที่ 4
load E:\simulation\11abcg20\abcg04	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 4
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==5	กรณีที่ 5
load E:\simulation\11abcg20\abcg05	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 5
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==6	กรณีที่ 6
load E:\simulation\11abcg20\abcg06	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 6
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==7	กรณีที่ 7
load E:\simulation\11abcg20\abcg07	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 7
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==8	กรณีที่ 8
load E:\simulation\11abcg20\abcg08	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 8
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==9	กรณีที่ 9
load E:\simulation\11abcg20\abcg09	อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 9
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	

elseif k==10 load E:\simulation\11abcg20\abcg10 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 10 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 10
elseif k==11 load E:\simulation\11abcg20\abcg11 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 11 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 11
elseif k==12 load E:\simulation\11abcg20\abcg12 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 12 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 12
elseif k==13 load E:\simulation\11abcg20\abcg13 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 13 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 13
elseif k==14 load E:\simulation\11abcg20\abcg14 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 14 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 14
elseif k==15 load E:\simulation\11abcg20\abcg15 เหมือนกรณีที่ 1 • • •	กรณีที่ 15 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 15
elseif k==16 load E:\simulation\11abcg20\abcg16 เหมือนกรณีที่ 1 • •	กรณีที่ 16 อ่านผลการจำลองคิดพ่วงครั้งที่ 16

•	
elseif k==17	กรณีที่ 17
load E:\simulation\11abcg20\abcg17	อ่านผลการจำลองผิดพ่วงครั้งที่ 17
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==18	กรณีที่ 18
load E:\simulation\11abcg20\abcg18	อ่านผลการจำลองผิดพ่วงครั้งที่ 18
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==19	กรณีที่ 19
load E:\simulation\11abcg20\abcg19	อ่านผลการจำลองผิดพ่วงครั้งที่ 19
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
elseif k==20	กรณีที่ 20
load E:\simulation\11abcg20\abcg20	อ่านผลการจำลองผิดพ่วงครั้งที่ 20
เหมือนกรณีที่ 1	
•	
•	
•	
end	
end	

โปรแกรมสำหรับจำแนกชนิดความผิดปกติ

โดย: บรรณัฐติ บริบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

function ftype = faultclassify()

 ftype = zeros(1,20);

 K1 = 0.985;

 K2 = 0.743;

 K01 = 59.163e-3;

 K02 = 24.276e-3;

ประกาศฟังก์ชัน faultclassify

ค่าคงที่ K_1 K_2 K_{01} และ K_{02}


```

[Ka,Kb,Kc,K0] = calK;
for k=1:20
    if Ka(k)>K1
        sta = 1
    elseif Ka(k)<K2
        sta = 0
    end
    if Kb(k)>K1
        stb = 1
    elseif Kb(k)<K2
        stb = 0;
    end
    if Kc(k)>K1
        stc = 1
    elseif Kc(k)<K2
        stc = 0;
    end
    if K0(k)>K01
        st0 = 1
    elseif K0(k)<K02
        st0 = 0;
    end
    if ([sta stb stc st0])==([1 0 0 1])
        ftype(k) = 1;
    elseif ([sta stb stc st0])==([0 1 0 1])
        ftype(k) = 2;
    elseif ([sta stb stc st0])==([0 0 1 1])
        ftype(k) = 3;
    elseif ([sta stb stc st0])==([1 1 0 0])
        ftype(k) = 4;
    elseif ([sta stb stc st0])==([1 0 1 0])
        ftype(k) = 5;
    elseif ([sta stb stc st0])==([0 1 1 0])
        ftype(k) = 6;
    elseif ([sta stb stc st0])==([1 1 0 1])
        ftype(k) = 7;
    elseif ([sta stb stc st0])==([1 0 1 1])
        ftype(k) = 8;
    elseif ([sta stb stc st0])==([0 1 1 1])
        ftype(k) = 9;
    elseif ([sta stb stc st0])==([1 1 1 0])

```

จำนวนค่าคงที่ของกระแสสถานีไฟฟ้า

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส a มากกว่า K_1

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส a น้อยกว่า K_2

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส b มากกว่า K_1

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส b น้อยกว่า K_2

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส c มากกว่า K_1

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสเฟส c น้อยกว่า K_2

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสลำดับศูนย์มากกว่า K_{01}

กรณีทีค่าคงที่ของกระแสลำดับศูนย์น้อยกว่า K_{02}

ลัดวงจรเฟส a ลงดิน

ลัดวงจรเฟส b ลงดิน

ลัดวงจรเฟส c ลงดิน

ลัดวงจรเฟส ab

ลัดวงจรเฟส ac

ลัดวงจรเฟส bc

ลัดวงจรเฟส ab ลงดิน

ลัดวงจรเฟส ac ลงดิน

ลัดวงจรเฟส bc ลงดิน

ลัดวงจรเฟส abc

```
    ftype(k) = 10;  
elseif ([sta stb stc st0])==([1 1 1 1])  
    ftype(k) = 11;  
end  
end  
return
```

ลัดวงจรเฟส *abc* ลงดิน

ภาคผนวก ฅ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ใน **The Second ECTI Annual
Conference (ECTI-CON-2005)**

Electrical Transient Modeling for Power System Fault Simulation

B. Borriboon, A. Oonsivilai, & T. Kulworawanichpong

Electrical Power and Energy System Research
School of Electrical Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, THAILAND 30000
bbb_bunyut@hotmail.com

ABSTRACT

This paper describes analysis, modeling and simulation of electrical transients in power systems, where an abnormal condition or so-called fault occurs. The proposed modeling is based on simple numerical integration only, which is able to efficiently handle some sophisticated calculation. In this paper, an abnormal condition is situated by simply adding a fault resistance at the fault location. With the proposed integration, transient behaviours of voltages and currents can be evaluated. To demonstrate the use of the proposed simulation, a 20-bus power system was used for test.

Keywords: Fault analysis, numerical integration, electrical transient, simulation, modeling

1. INTRODUCTION

Development of electro-magnetic transient programs (EMTP) for power system analysis has very long history and can be achieved in many different approaches [1-5]. Some are direct but rather difficult, while some are quite simple but inaccurate. Although up-to-date commercial EMTP software is reliable and accurate to do this job, there also exist limitations in which some programming modification to enhance its ability to satisfy several aspects demanded by users is prohibited. In power system fault analysis, for example, it is very difficult to determine other

quantities that are not provided by the software package, e.g. fault location problem [6]. In addition, such commercial software is very expensive.

In this paper, derivation of electrical transient models leading to generalized algorithms to simulate an abnormal operating condition in electrical power systems is proposed. To avoid complicated computation, simple methods are only employed. Trapezoidal integration [7] is the main numerical technique to simplify a set of differential equations, which represent system transient behaviors. Fault analysis is of interest in this paper, thus modeling and simulation described herein is particularly focused on transient fault current calculation. For any other purposes, additional modification might be required. It depends on degree of accuracy and complication of systems under consideration.

Section 2 of this paper illustrates derivation of electrical transient modeling for each individual power system component that is necessary to formulate power system fault equations. Section 3 provides a generalized transient formula, which is the integration of those described in Section 2. Simulation results were obtained by employing 20-bus systems. The last section gives conclusion of the work.

2. PROBLEM FORMULATION

Sudden change in power systems can cause serious damage to some electric

apparatus. Fault is an undesired event. It results in service interruption of power delivery to some loads. In the worst case, wide-area blackout could be eventually happened. To prevent the occurrence of such serious situation, prediction of transient behaviors during this circumstance is the key. Although up-to-date commercial EMTP software is reliable and accurate to do this job, there also exist limitations in which some programming modification to enhance its ability to satisfy several aspects demanded by users is prohibited. In power system fault analysis, for example, it is very difficult to determine other quantities that are not provided by the software package, e.g. fault location problem [6]. In addition, such commercial software is very expensive.

In this paper, derivation of electrical transient models leading to generalized algorithms to simulate an abnormal operating condition in electrical power systems is proposed. To avoid complicated computation, simple methods are only employed. Trapezoidal integration [7] is the main numerical technique to simplify a set of differential equations, which represent system transient behaviours. Fault analysis is of interest in this paper, thus modeling and simulation described herein is particularly focused on transient fault current calculation. For any other purposes, new modification might be required.

Besides the accuracy, the model must be simple. It is because when all elements are collected, equations of a whole are intrinsically complicated. In this paper, transient modeling and simulation for electrical power systems during faults is explained. Moreover, to complete the simulation, the trapezoidal numerical integration is applied for rewriting all derivative and integral terms into simple algebraic expressions. This procedure can be done by the principle of discretisation. Time is discretised by assigning a small time step. This gives time series and, consequently, other state variables, e.g. node voltages or fault currents, are generated. With this concept, time-step modeling is introduced and used to describe transient characteristic of each component as follows.

2.1 Substation Modeling

Typically, substation is represented by an ideal voltage source in series with impedance. If resistance and couple elements are negligible, the substation terminal can be

shown in Fig. 1. The mathematical description of substation is expressed in three differential equations and can be solved by the trapezoidal integration method.

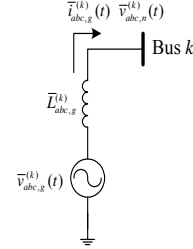


Fig. 1 Substation model

Let Δt be the time step. With the trapezoidal integration rule, $\bar{i}_{abc,g}^{(k)}(t)$ at time t can be obtained by

$$\begin{aligned} \bar{i}_{abc,g}^{(k)}(t) &= \bar{i}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \\ &+ \bar{G}_{eff,g}^{(k)} \left[\bar{v}_{abc,g}^{(k)}(t) + \bar{v}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) \right] \\ &- \bar{G}_{eff,g}^{(k)} \left[\bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t) + \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\bar{G}_{eff,g}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2\ell_{ag}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{bg}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{cg}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

where $\bar{v}_{abc,g}^{(k)}(t)$ is the internal voltage vector, $\bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t)$ is the terminal voltage vector, $\bar{L}_{abc,g}^{(k)}$ is the series inductance matrix, $\bar{i}_{abc,g}^{(k)}(t)$ is the injected current vector, and $\bar{G}_{eff,g}^{(k)}$ is the effective conductance, and $\ell_{ag}^{(k)}$, $\ell_{bg}^{(k)}$, and $\ell_{cg}^{(k)}$ is the series inductance of phase A, B, and C respectively.

2.2 Load Modeling

Loads or demands in electrical power systems can be represented by many different models. Some models lead to very complicated computation. In this paper, a parallel R - L branch is chosen as shown in Fig. 2. It is quite simple in sense of electrical transient analysis due to its linearity. The trapezoidal integration result of load models is

$$\begin{aligned} \bar{i}_{abc,d}^{(k)}(t) &= \bar{i}_{abc,dL}^{(k)}(t - \Delta t) + \bar{G}_{eq,d}^{(k)} \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \\ &+ \bar{G}_{eff,d}^{(k)} \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \end{aligned} \quad (3)$$

where $\bar{i}_{abc,d}^{(k)}(t)$ is the load current vector, $\bar{i}_{abc,dL}^{(k)}(t)$ is the current vector of inductance, $\bar{G}_{eq,d}^{(k)}$ is the equivalent conductance matrix, and $\bar{G}_{eff,d}^{(k)}$ is the effective conductance matrix. The inductance current vector can be calculated by

$$\bar{i}_{abc,dL}^{(k)}(t) = \bar{i}_{abc,dL}^{(k)}(t - \Delta t) + \bar{G}_{eff,d}^{(k)} \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \quad (4)$$

The matrixes of equivalent conductance and effective conductance respectively, are described by

$$\bar{G}_{eq,d}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_{ad}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{ad}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_{bd}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{bd}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{r_{cd}^{(k)}} + \frac{\Delta t}{2\ell_{cd}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\bar{G}_{eff,d}^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2\ell_{ad}^{(k)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{bd}^{(k)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Delta t}{2\ell_{cd}^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.3 Transmission line Modeling

The components of transmission line model are resistance and inductance, both self and mutual. As shown in Fig. 3, bus k and bus m is connected by the transmission line. The three differential equations of voltage can be described the model of transmission line. By using the trapezoidal integration rule, line currents can be written in form

$$\begin{aligned} \bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t) = & \left(\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t) - \left(\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \bar{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & + \left(\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \bar{R}_{eff,t}^{(k,m)} \bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\ & + \left(\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)} \right)^{-1} \bar{v}_{abc,L}^{(k,m)}(t - \Delta t) \end{aligned} \quad (7)$$

where $v_{abc,n}^{(k)}(t)$ is the voltage vector at bus k , $v_{abc,n}^{(m)}(t)$ is the voltage vector at bus m , $i_{abc}^{(k,m)}(t)$ is the line current vector, $\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)}$ is the equivalent resistance matrix, $\bar{R}_{eff,t}^{(k,m)}$ is the

effective resistance matrix, and $\bar{v}_{abc,L}^{(k,m)}(t)$ is the vector of line inductance voltage.

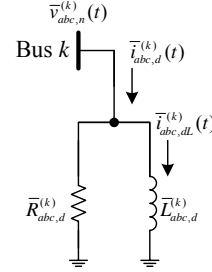


Fig. 2 Load model

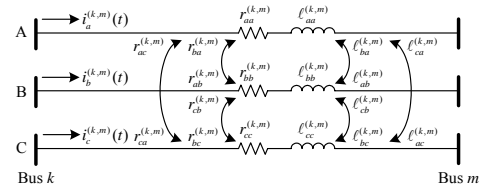


Fig. 3 Transmission line model

The line inductance voltage can be calculated from

$$\begin{aligned} \bar{v}_{abc,L}^{(k,m)}(t) = & \bar{R}_{eff,t}^{(k,m)} \left[\bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t) - \bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \right] \\ & - \bar{v}_{abc,L}^{(k,m)}(t - \Delta t) \end{aligned} \quad (8)$$

The equivalent resistance is summation of the series elements of transmission line and the calculated equation in matrix form is

$$\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)} = \begin{bmatrix} r_{aa}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{ab}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{ac}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ r_{ba}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{bb}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{bc}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ r_{ca}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{cb}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} & r_{cc}^{(k,m)} + \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} \end{bmatrix} \quad (9)$$

The effective resistance matrix can be calculated by

$$\bar{R}_{eff,t}^{(k,m)} = \begin{bmatrix} \frac{2\ell_{aa}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{ab}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{ac}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ \frac{2\ell_{ba}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{bb}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{bc}^{(k,m)}}{\Delta t} \\ \frac{2\ell_{ca}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{cb}^{(k,m)}}{\Delta t} & \frac{2\ell_{cc}^{(k,m)}}{\Delta t} \end{bmatrix} \quad (10)$$

In general, there may be many transmission lines connected from bus k to other buses. Let N be the total number of buses in the system. The total sum of line current flow through every transmission lines, which is connected to bus k , is given by

$$\bar{i}_{abc,T}^{(k)}(t) = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t) \quad (11)$$

2.4 Fault Modeling

Assume that fault is situated at bus k and at time t_f with a fault resistance will be switched to bus k . Therefore, the fault resistance in series with a switch as shown in Fig. 4 is appropriate to represent the fault in this simulation. The fault current can be computed by

$$\bar{i}_{abc,f}^{(k)}(t) = \bar{G}_{abc,f}^{(k)} \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \quad (12)$$

where $\bar{i}_{abc,f}^{(k)}(t)$ is the fault current vector and $\bar{G}_{abc,f}^{(k)}$ is the fault conductance matrix which depend on the type of fault.

3. TRANSIENT ANALYSIS

When consider over all system at bus k , the total sum of all currents must be zero and equal to summation of equations (1), (3), (11) and (12). The final form of system current equation can be rearranged to be simple as equation (13).

$$\begin{aligned} & -\sum_{m=1}^{k-1} (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \bar{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & + \left[\bar{G}_{eff,g}^{(k)} + \bar{G}_{eq,d}^{(k)} + \bar{G}_{abc,f}^{(k)} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \right] \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t) \\ & - \sum_{m=k+1}^N (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \bar{v}_{abc,n}^{(m)}(t) \\ & = \\ & \bar{i}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t) - \bar{i}_{abc,dL}^{(k)}(t - \Delta t) \\ & - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \bar{R}_{eff,t}^{(k,m)} \bar{i}_{abc}^{(k,m)}(t - \Delta t) \\ & + \bar{G}_{eff,g}^{(k)} [\bar{v}_{abc,g}^{(k)}(t) + \bar{v}_{abc,g}^{(k)}(t - \Delta t)] \\ & - [\bar{G}_{eff,g}^{(k)} + \bar{G}_{eff,d}^{(k)}] \bar{v}_{abc,n}^{(k)}(t - \Delta t) \\ & - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1} \bar{v}_{abc,l}^{(k,m)}(t - \Delta t) \end{aligned} \quad (13)$$

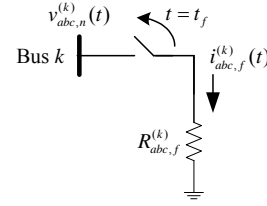


Fig. 4 Fault model

With N buses corresponding to N independent variables, the compact matrix of equation (13) can be formed as

$$\bar{G} \bar{v}_{abc,n}(t) = \bar{i}_{abc,b}(t) \quad (14)$$

where \bar{G} is the conductance matrix, $\bar{v}_{abc,n}(t)$ is the bus voltage, and $\bar{i}_{abc,b}(t)$ is the bus current vector. Elements of the matrix \bar{G} can be computed by using the following expressions.

$$\begin{aligned} g_{abc}^{(k,m)} &= -(\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1}, \quad k \neq m \\ g_{abc}^{(k,k)} &= \bar{G}_{eff,g}^{(k)} + \bar{G}_{eq,d}^{(k)} + \bar{G}_{abc,f}^{(k)} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N (\bar{R}_{eq,t}^{(k,m)})^{-1}, \quad k = m \end{aligned} \quad (15)$$

As can be seen, the bus voltage can be obtained by solving equation (14) and other variables can be calculated by their equations which related to bus voltage.

4. SIMULATION RESULTS

To evaluate the performance of the proposed simulation technique, 20-bus single-phase power systems were used for test as shown in Fig. 5. Besides, the comparison study by performing the simulation with the power system blockset of MATLAB™ was also carried out.

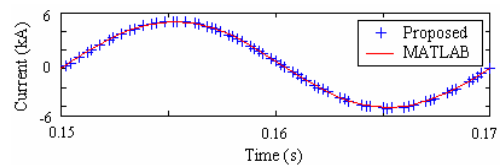


Fig.5 Fault current comparison of 20-bus system between the use of MATLAB and the proposed simulation

To evaluate the performance of the proposed simulation technique with three-phase system, a 22-kV, 50 Hz, 20-bus power system was tested as shown in Fig. 6. The simulation situated the phase-A-to-ground fault at the line, which is connected from bus 6 to bus 7. The fault was located at a distance of 3.55 km away from the substation. The fault resistance of the test was 0.08 Ohms. This abnormal condition was applied in a time interval of 0.10-0.19 s.

Fig. 7a-7c present the simulated phase voltages of the substation terminal during the fault, while Fig. 7d-7f show the fault currents of the substation bus bar. It notes that all the results appeared in this paper were simulated by the MATLAB program.

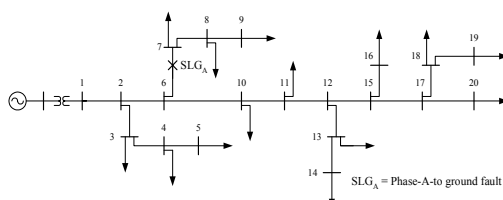


Fig. 6 20-bus test system.

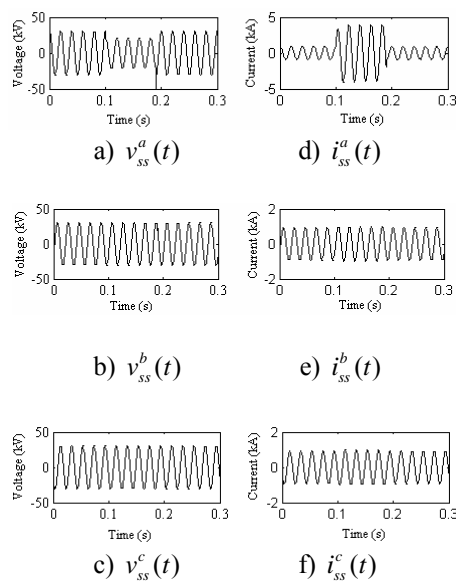


Fig. 7 Simulated voltage and current waveforms.

5. CONCLUSION

This paper proposes electrical transient modeling for power system fault analysis. It is based on simple numerical integration. In this paper, an abnormal condition is situated by simply adding a fault resistance at the fault location. With the proposed integration,

transient behaviors of voltages and currents can be well evaluated. The effectiveness of the proposed simulation is verified via the test power system. As a result, the proposed simulation has the ability to perform electrical transient analysis as well as the commercial EMTP software do.

6. ACKNOWLEDGEMENT

Financial support from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, THAILAND, is greatly acknowledged.

7. REFERENCES

- [1] A. Ibrahim, H. W. Dommel and T. Niimura, "Transmission Line Model for Large Step Size Transient Simulation", *Proc. IEEE Conf. on Electrical and Computer Engineering*, Canada, pp.1191-1194, 1999.
- [2] J. Arrillaga and N. R. Watson, *Computer Modeling of Electric Power Systems*. John Wiley and Sons, Inc., India, 2001, ch. 6.
- [3] J. Parle, E. Acha and C. R. Fuerte-Esquivel, "Real-Time Digital Simulation of Electromagnetic Transient Phenomena in Power Transmission Lines", *Proc. IEEE Conf. on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, pp.563-568, 1997.
- [4] H. V. Nguyen and H. W. Dommel, "Direct Phase-Domain Modeling of Frequency-Dependent Overhead Transmission Lines", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 12, No. 3, pp.1335-1342, 1997.
- [5] Lou van der Sluis, *Transient in Power Systems*, John Wiley and Sons, Inc., India, 2001, ch. 8.
- [6] J. Zhu, D. L. Lubkeman and A. A. Girgis, "Automated Fault Location and Diagnosis on Electric Power Distribution Feeders", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 12, No. 2, pp.801-809, 1997.
- [7] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Numerical Methods for Engineers*, The McGraw-Hill Companies, Singapore, 1998.
- [8] E. Part-Enander and A. Sjoberg, *The MATLAB 5 Handbook*, Addison-Wesley, England, 1999.

ประวัติผู้เขียน

นายบรรณวุฒิ บริบูรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2518 ที่บ้านหนองฮาง ตำบลหนองขาม อำเภออาจสามารถ จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านหนองฮาง ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอาจสามารถวิทยา เริ่มเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2537 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) เมื่อ พ.ศ. 2541 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานกับสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในตำแหน่งอาจารย์พิเศษสอนรายวิชาปฏิบัติการจนถึงปี พ.ศ. 2548 เข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2543 นอกจากนั้นยังเคยทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่โครงการ เทคโนโลยี ธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากปี พ.ศ. 2546-2547