

การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบฟักัดเฟส



นายชินนทร์ กฤตยากรนุพงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-380-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FAULT ANALYSIS USING PHASE COORDINATES



Mr. Chanin Kritayakornupong

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-380-9

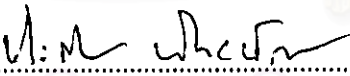
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
โดย นายชนินทร์ กฤตยากรนุพงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

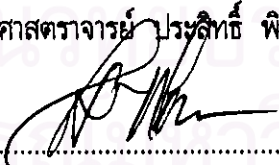
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ คุ่ววัฒน์ ชุติววงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แซ่ม้อย)

ฉบับนี้จำหน่ายแก่คณาจารย์และนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชื่อนิพนธ์ กฤตยากรนุพงศ์ : การวิเคราะห์ความผิดปกติของโดยใช้ระบบพิกัดเฟส (FAULT ANALYSIS USING PHASE COORDINATES) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ , 149 หน้า.
ISBN 974-638-380-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบกำลังไฟฟ้าโดยใช้ระบบพิกัดเฟส โดยจะแทนวงจรหลายเฟสในระบบพิกัดเฟส เช่น แรงดันเฟส กระแสเฟส และอิมพีแดนซ์ต่อเฟส ทำให้ได้แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบกำลังไฟฟ้าเป็นแบบจำลองเฟส และเมื่อเรารวมแบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะได้โหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส ซึ่งรวมความไม่สมดุลตามธรรมชาติของระบบกำลังไฟฟ้าไว้ด้วย ต่อจากนั้นสามารถวิเคราะห์ความผิดปกติชนิดต่างๆ เช่น ความผิดปกติชนิดสามสายลงดิน, ความผิดปกติชนิดหนึ่งสายลงดิน, ความผิดปกติชนิดสองสาย, ความผิดปกติชนิดสองสายลงดิน และความผิดปกติที่เกิดขึ้นพร้อมกันหลายแห่ง ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตเชิงเส้นของระบบโดยมีเงื่อนไขบังคับ และการใช้ทฤษฎีการทับซ้อน จากนั้นจะนำผลการคำนวณที่ได้จากระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3,6 และ 14 บัส ไปเปรียบเทียบกับวิธีองค์ประกอบสมมาตร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต อธิษฐ์ กฤตยากรนุพงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

3970369821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: FAULT ANALYSIS / PHASE COORDINATES

CHANIN KRITAYAKORNUPONG : FAULT ANALYSIS USING PHASE COORDINATES.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT. 149 pp. ISBN 974-638-380-9.

This thesis describes fault analysis in electrical power system using the method of phase coordinates. By representing a polyphase network in phase coordinates , i.e. phase voltages, phase currents and per phase impedance,the model of equipments in electrical power system such as generator,transformer and transmission line in form of phase model will be obtained. When the model of every equipment in the system are combined,the base case polyphase nodal admittance matrix can be calculated in which inherently unbalanced electrical power system is taken in to account. With this method, the various type of faults,i.e. three phase to ground fault,single line to ground fault,line to line fault,double line to ground fault and simultaneous fault can be analyzed by solving sets of linear algebraic system equation subject to constraints and the the use of superposition theorem. The results from IEEE standard system with 3,6 and 14 buses will be compared with symmetrical components method.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา..... ๒๕ ๕๐

ลายมือชื่อนิสิต..... ชรินทร์ กุศลเกษมทรัพย์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ปรสิต พิทยะพัต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และ อาจารย์ ไชยะ แซ่มะฮ้อย (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่ง เนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทบัณฑิตทั้งหมดนี้ ได้รับการสนับสนุนจาก "โครงการศิษย์กัณฐิ" ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วยที่ได้เล็งเห็นความสำคัญต่อการศึกษาในระดับสูงของนิสิต ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานที่สำคัญอันนำไปสู่การพัฒนาประเทศไทยอย่างแท้จริง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา และทุกๆ คนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ชรินทร์ กฤตยากรนพวงศ์

พฤษภาคม 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ต
บทที่	
1. บทนำทั่วไป	1
1.1 ความสำคัญของการศึกษาการวิเคราะห์ความผิดพร่อง	1
1.2 การวิเคราะห์ความผิดพร่องโดยใช้ระบบพิกัดเฟส	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากวิทยานิพนธ์	4
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	4
2. การวิเคราะห์ความผิดพร่อง	6
2.1 ประเภทของความผิดพร่อง	6
2.1.1 ความผิดพร่องแบบขนาน	7
2.1.1.1 ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดิน	7
2.1.1.2 ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์	7
2.1.1.3 ความผิดพร่องชนิดสองสาย	8
2.1.1.4 ความผิดพร่องชนิดสองสายโดยผ่านอิมพีแดนซ์	8
2.1.1.5 ความผิดพร่องชนิดสองสายลงดิน	9
2.1.1.6 ความผิดพร่องชนิดสามสายลงดิน	9
2.1.2 ความผิดพร่องแบบอนุกรม	10
2.2 องค์ประกอบสมมาตร	11
2.3 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง	14
2.4 การแทนระบบกำลังไฟฟ้าโดยใช้ระบบพิกัดเฟส	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 แบบจำลองขององค์ประกอบในระบบกำลังไฟฟ้า	15
2.5.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	15
2.5.2 สายส่งไฟฟ้า	17
2.5.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	21
2.5.3.1 หม้อแปลงแบบ สตาร์-สตาร์	26
2.5.3.2 หม้อแปลงแบบ เดลตา-สตาร์	27
2.5.4 โหลด	29
2.5.5 ชั้นที่อิลลิเมนต์	30
2.5.6 ซีรีส์อิลลิเมนต์	31
2.6 การสร้างโหนดแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์พื้นฐานแบบหลายเฟส	32
2.7 สมการพื้นฐานในการวิเคราะห์ความผิดพลาด	33
2.8 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของระบบ	33
2.9 วิธีแหล่งจ่ายกระจายตัว	33
2.9.1 สภาวะก่อนเกิดความผิดพลาด	33
2.9.2 สภาวะหลังเกิดความผิดพลาด	34
2.9.2.1 ความผิดพลาดแบบขนาน	35
2.9.2.1.1 ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน	35
2.9.2.1.2 ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์	36
2.9.2.1.3 ความผิดพลาดชนิดสองสาย	36
2.9.2.1.4 ความผิดพลาดชนิดสองสายโดยผ่านอิมพีแดนซ์	37
2.9.2.1.5 ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดิน	38
2.9.2.1.6 ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดิน	39
2.9.2.2 ความผิดพลาดแบบอนุกรม	39
2.9.2.3 ความผิดพลาดที่เกิดพร้อมๆ กันหลายแห่ง	40
3. โปรแกรมวิเคราะห์ความผิดพลาดโดยใช้ระบบพิกัดเฟส	42
3.1 การรับข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า	43
3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	43
3.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่ง	43
3.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงแบบสตาร์-สตาร์	44
3.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโหลด	44
3.2 การแสดงข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า	46
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความผิดพลาด	47
4. ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์	54
4.1 การจัดเตรียมข้อมูล	54
4.2 ตัวอย่างการคำนวณ	54
4.2.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	54
4.2.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	60
4.2.3 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส	68
4.3 วิเคราะห์ผลการคำนวณความผิดพลาดโดยใช้ระบบพิกัดเฟส กับวิธีองค์ประกอบสมมาตร	84
4.3.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	84
4.3.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	85
4.4 วิเคราะห์ผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย ชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสที่เฟสอ้างอิงอื่นๆ	89
4.4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	89
4.4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	90
4.5 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ โดยใช้ระบบพิกัดเฟส	92
4.5.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	92
4.5.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	93
4.6 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบ	95
4.6.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	95
4.6.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	96
4.7 ผลการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง	100
5. สรุปและเสนอแนะ	102
รายการอ้างอิง	104
ภาคผนวก	
ก. การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อิลมิเนชัน	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข. คู่มือการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์	114
ค. ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาด	125
ประวัติผู้เขียน	149



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการต่อกันของวงจรสมมูลย์หม้อแปลงแบบสตาร์-สตาร์	26
2.2 แสดงการต่อกันของวงจรสมมูลย์หม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์	29
4.1 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	55
4.2 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)	56
4.3 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)	56
4.4 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)	57
4.5 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A	58
4.6 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A	58
4.7 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A	59
4.8 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	61
4.9 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)	62
4.10 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)	62
4.11 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)	63
4.12 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (10,11,12)	63
4.13 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (13,14,15)	64
4.14 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (16,17,18)	64
4.15 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A	65
4.16 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A	65
4.17 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A	66
4.18 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (10,11,12) บนเฟสอ้างอิง A	66
4.19 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (13,14,15) บนเฟสอ้างอิง A	67
4.20 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (16,17,18) บนเฟสอ้างอิง A	67
4.21 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส	69
4.22 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)	70
4.23 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)	70
4.24 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.51 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	84
4.52 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	85
4.53 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	85
4.54 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	86
4.55 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	86
4.56 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	87
4.57 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	87
4.58 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิงของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	89
4.59 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายบนทุกๆ เฟสอ้างอิงของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	90
4.60 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิงของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.61 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	91
4.62 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายบนทุกๆ เฟสอ้างอิง ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	91
4.63 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	92
4.64 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า ตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	93
4.65 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่าง มาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)	94
4.66 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่าง มาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18)	94
4.67 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	95
4.68 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	96
4.69 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)	97
4.70 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18)	97
4.71 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)	98
4.72 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส ในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.73 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจร ของสายส่งของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	101
4.74 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจร ของสายส่งของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	101
ค.1 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A	126
ค.2 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A	126
ค.3 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A	127
ค.4 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A	127
ค.5 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A	128
ค.6 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A	128
ค.7 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (1,2,3) ด้านที่ต่อกับโหนด (4,5,6)	129
ค.8 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (1,2,3) ด้านที่ต่อกับโหนด (7,8,9)	129
ค.9 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (4,5,6) ด้านที่ต่อกับโหนด (1,2,3)	130
ค.10 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (4,5,6) ด้านที่ต่อกับโหนด (7,8,9)	130
ค.11 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (7,8,9) ด้านที่ต่อกับโหนด (1,2,3)	131
ค.12 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการ การเปิดวงจรของสายส่งที่โหนด (7,8,9) ด้านที่ต่อกับโหนด (4,5,6)	132
ค.13 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A	134
ค.14 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A	134
ค.15 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A	135
ค.16 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (10,11,12) บนเฟสอ้างอิง A	135
ค.17 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (13,14,15) บนเฟสอ้างอิง A	136
ค.18 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายที่โหนด (16,17,18) บนเฟสอ้างอิง A	136

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.36 ผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจร ของสายส่งที่โหนด (16,17,18) ด้านที่ต่อกับโหนด (1,2,3)	146
ค.37 ผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจร ของสายส่งที่โหนด (16,17,18) ด้านที่ต่อกับโหนด (10,11,12)	147
ค.38 ผลการวิเคราะห์ความผิดพร่องชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจร ของสายส่งที่โหนด (16,17,18) ด้านที่ต่อกับโหนด (13,14,15)	148



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ความผิดพ้องชนิดหนึ่งสายลงดิน	7
2.2 ความผิดพ้องชนิดหนึ่งสายลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์	8
2.3 ความผิดพ้องชนิดสองสาย	8
2.4 ความผิดพ้องชนิดสองสายโดยผ่านอิมพีแดนซ์	9
2.5 ความผิดพ้องชนิดสองสายลงดิน	9
2.6 ความผิดพ้องชนิดสามสาย	10
2.7 การขาดของสายส่ง	10
2.8 องค์ประกอบสมมาตร	11
2.9 อุปกรณ์ 3 เฟสทั่วไป	14
2.10 แสดงแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	15
2.11 สายส่ง 3 เฟส 4 สาย	17
2.12 สายส่ง 3 เฟส 3 สาย	18
2.13 แบบจำลองสายส่ง	18
2.14 แผนภาพแสดงหม้อแปลง 1 เฟส	21
2.15 วงจรสมมูลย์แบบสมมาตรของหม้อแปลงแบบ 1 เฟส พร้อมกับอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวด	23
2.16 วงจรสมมูลย์แบบ π เมื่อโหนด k และ q ต่อลงดิน	24
2.17 แสดงวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง 1 เฟสพร้อมด้วยเท็บสมมูลย์ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ	25
2.18 วงจรสมมูลย์แบบ 3 เฟสของหม้อแปลงที่ต่อแบบสตาร์-สตาร์	26
2.19 วงจรสมมูลย์แบบ 3 เฟสของหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลตา-สตาร์	28
2.20 แสดงแบบจำลองโหลดแบบกำลังคงที่	30
2.21 วงจรสมมูลย์ของชั้นที่อิลิเมนต์	31
2.22 ซีรีส์อิลิเมนต์	31
2.23 แสดงการเปิดวงจรของสายส่ง	40
3.1 แผนภาพแสดงการวิเคราะห์ความผิดพ้อง	42
3.2 แผนภาพแสดงการรับข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้า	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 แผนภาพการแสดงผลของระบบกำลังไฟฟ้า	46
3.4 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลตา-สตาร์	48
3.5 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสตาร์-สตาร์	50
3.6 การวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ	53
4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	54
4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	60
4.3 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส	68
4.4 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความผิดพลาด ระหว่างวิธีระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตร	88
4.5 แสดงตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับ การเปิดวงจรของสายส่ง	100
ค.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส	125
ค.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส	133