การวิเคราะห์ความต้านทานต่อลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

นายสิทธิชัย โอภาสวชิระกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-732-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19224700X

ANALYSIS OF NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE IN DISTRIBUTION POWER SYSTEMS

Mr. Sittichai Opatvachirakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-732-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความต้านทานต่อลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง
โดย	นายสิทธิชัย โอภาสวชิระกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย)

สิทธิชัย โอภาสวชิระกุล : การวิเคราะห์ความต้านทานต่อลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง (ANALYSIS OF NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE IN DISTRIBUTION POWER SYSTEMS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 115 หน้า.
ISBN 974-333-732-6

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงผลที่เกิดขึ้นขณะเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการต่อลงดินผ่านความต้านทาน เปรียบเทียบกับการต่อลงดินโดยตรงซึ่งเป็นระบบต่อลงดินที่ใช้อยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทยปัจจุบัน เนื่องจากเมื่อเกิดความผิดพร่องลงดินระบบต่อลงดินโดยตรงจะมีค่ากระแสผิดพร่องปริมาณมากจึงอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกอย่างมาก มีผลกระทบต่อโหลดที่มีความไวต่อแรงดันตกในส่วนที่ไม่ได้เกิดความผิดพร่อง ระบบการต่อลงดินผ่านความต้านทานได้ถูกนำมาปรับใช้โดยมีข้อดีที่สำคัญคือสามารถจำกัดค่าปริมาณกระแสผิดพร่องและลดปัญหาแรงดันตกผิดปกติให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยแรงดันเกินและค่าแรงดันเกินชั่วครู่ที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในส่วนท้ายงานวิจัยนี้ยังได้แสดงถึงข้อกำหนดในการเลือกค่าความต้านทานและออกแบบระบบป้องกันความผิดพร่องลงดินที่เหมาะสมสำหรับระบบต่อลงดินผ่านความต้านทานด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4170581021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : SYSTEM GROUNDING/NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE/NGR / LOW RESISTANCE GROUNDING/ SOLIDLY GROUNDED/VOLTAGE DIP.
SITTICHAI OPATVACHIRAKUL : ANALYSIS OF NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE IN DISTRIBUTION POWER SYSTEMS, THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT 115 pp.
ISBN 974-333-732-6

Comparison between the effects of the neutral ground resistance (NGR) and the solidly ground method in distribution power systems is presented in this thesis. solidly ground method, which is widely used in Thailand, has several disadvantages compared to the NGR method. Since, if a ground fault occurs, it results in a very high fault current, which may damage the equipment installed in the power system. Furthermore, it has relatively large voltage dip that disturbs the voltage sensitive load in other areas. The mentioned problems can be solved when the NGR method is applied. Although over-voltage and transient over-voltage problems could be observed as side effects of the NGR method, the trade-off is controllable by an over-voltage protection design scheme. The specification of selecting the NGR value and a suitable ground fault protection are also mentioned.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และ อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย ซึ่งได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคุณณรงค์ ตันติฉายากร หัวหน้าแผนกวิจัย กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำตลอดจนข้อมูลต่างๆในการทำวิจัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อน พี่ น้อง ทุกๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สิทธิชัย โอภาสวชิระกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำทั่วไป 1

1.1 หลักการและเหตุผล..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 3

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 4

2 ทฤษฎีการป้องกันความผิดพร่องลงดิน..... 5

2.1 ข้อพิจารณาในการทำงานของระบบป้องกัน..... 5

2.2 การต่อลงดินในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 8

2.2.1 ระบบที่ไม่มีการต่อลงดิน 8

2.2.2 ระบบต่อการลงดินผ่านความต้านทาน 9

2.2.3 ระบบต่อการลงดินแบบรีแอคแทนซ์..... 10

2.2.4 ระบบต่อการลงดินแบบเรโซแนนซ์..... 11

2.2.5 ระบบต่อการลงดินโดยตรง..... 12

2.3 จุดประสงค์ของการต่อลงดิน..... 14

2.4 การป้องกันความผิดพร่องลงดิน

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังแรงดันปานกลาง..... 15

2.4.1 การป้องกันแบบตรวจวัดแรงดัน..... 15

2.4.2 การป้องกันแบบตรวจวัดกระแสตกค้าง..... 16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.4.3 การป้องกันแบบตรวจวัดวงจรลำดับศูนย์	17
	2.4.4 การป้องกันแบบตรวจวัดค่ากระแสลงดิน	18
	2.4.5 การป้องกันแบบตรวจวัดกระแสนิวทรอล	19
	2.4.6 การป้องกันความผิดพร่องลงดินแบบผลต่าง	20
3	การวิเคราะห์ความผิดพร่องลงดินระบบต่อลงดินผ่านความต้านทานต่ำ เทียบกับการต่อลงดินโดยตรง	21
	3.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง	21
	3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในระบบต่อลงดิน	23
	3.2.1 กระแสผิดพร่องลงดิน	23
	3.2.2 แรงดันผิดพร่องและแรงดันเฟสไม่ผิดพร่อง	27
	3.2.3 แรงดันตกค้าง	29
	3.2.4 กระแสตกค้าง	30
	3.2.5 แรงดันเกินชั่วครู่	34
	3.2.6 แรงดันตกผิดปกติ	39
	3.3 การวิเคราะห์ค่า K_0	40
	3.4 การเปรียบเทียบระบบต่อลงดินโดยตรง กับระบบต่อลงดินผ่านความต้านทาน	42
4	ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเนื่องจากระบบต่อลงดินผ่านความต้านทาน	49
	4.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเนื่องมาจากผลของแรงดันไฟฟ้า	49
	4.1.1 ฉนวนไฟฟ้า	49
	4.1.2 กับดักเสิร์จ	50
	4.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของกระแส	53
	4.2.1 ความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ	53
	4.2.2 ฟิวส์	53
	4.2.3 ระบบป้องกัน	53

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.3 การเลือกความต้านทานต่อลงดิน	54
	4.3.1 พิกัดแรงดัน	54
	4.3.2 พิกัดกระแสและพิกัดกระแสต่อเนื่อง	54
	4.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	55
	4.3.4 การเชื่อมต่อตัวนำต่างๆ	55
	4.3.5 การทดสอบความต้านทาน	55
	4.3.6 ระดับการฉนวน	55
	4.3.7 ค่าระดับแรงดันทดสอบไดอิเล็คตริก	57
5	การเลือกค่าความต้านทานต่อลงดินและออกแบบระบบป้องกัน	58
	5.1 หลักการเลือกค่าความต้านทานต่อลงดิน	58
	5.2 รีเลย์ป้องกันความผิดพร่องลงดิน	60
	5.2.1 รีเลย์ Power System Type	61
	5.2.2 รีเลย์ Ground Fault Sensor Type	61
	5.3 การปรับตั้งรีเลย์ป้องกันความผิดพร่องลงดิน	63
	5.4 การออกแบบระบบป้องกัน	63
6	การวิเคราะห์ระบบต่อลงดินผ่านความต้านทานโดยใช้คอมพิวเตอร์	67
	6.1 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความต้านทานต่อลงดิน	67
	6.2 ลักษณะและรูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	67
	5.2.1 การใช้งานโปรแกรม	69
	5.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	71
7	สรุปและข้อเสนอแนะ	73
	7.1 สรุป	73
	7.2 ข้อเสนอแนะ	74
รายการอ้างอิง		75
ภาคผนวก		77
	ภาคผนวก ก	78
ประวัติผู้วิจัย		115

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ระบบต่อลงดินที่ใช้ในระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง..... 6

2.2 การแบ่งชนิดการต่อลงดิน..... 13

3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อเกิดความผิดพร่องลงดิน 32

3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อเกิดความผิดพร่องลงดินเมื่อให้ค่า $K_2 = 1\angle 0°$..... 33

3.3 ค่าความต้านทานต่อลงดินที่ใช้ในระดับแรงดันต่างๆ..... 34

3.4 ค่าแรงดันเมื่อเกิดความผิดพร่อง..... 40

3.5 ค่าอิมพีแดนซ์ของสถานีควบคุมที่ใช้ทดสอบ..... 43

3.6 สรุปเปรียบเทียบผลระหว่างการต่อลงดินโดยตรง
และการต่อลงดินผ่านความต้านทาน..... 48

4.1 ระดับการฉนวนตามมาตราฐาน IEC-71..... 50

4.2 ระดับการฉนวนของอุปกรณ์ต่อลงดิน..... 56

4.3 ค่าระดับแรงดันทดสอบไดอิเลคตริค..... 57

5.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบที่ 1 64

5.2 ค่าปรับตั้งรีเลย์ในระบบที่ 2 66

6.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในโปรแกรม..... 70

ก.1 ค่าความต้านทานที่ใช้ในระดับแรงดันต่างๆ 78

ก.2 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 22 kV 79

ก.3 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 33 kV 81

ก.4 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 12 kV 83

ก.5 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 24 kV 85

ก.6 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 3 kV 87

ก.7 ค่ากระแสผิดพร่องในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 6 kV 89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.8 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 22 kV 91
ก.9 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 33 kV 93
ก.10 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 12 kV 95
ก.11 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 24 kV 97
ก.12 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 3 kV 99
ก.13 แรงดันผิดพร่องเฟส B ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 6 kV 101
ก.14 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 22 kV 103
ก.15 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 33 kV 105
ก.16 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 12 kV 107
ก.17 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 24 kV 109
ก.18 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 3 kV 111
ก.19 แรงดันผิดพร่องเฟส C ในการต่อลงดินผ่านความต้านทานค่าต่างๆ
ณ จุดเกิดความผิดพร่องต่างกันสำหรับแรงดัน 6 kV 113

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบที่ไม่มีการต่อลงดิน	8
2.2	ระบบต่อลงดินผ่านความต้านทาน	9
2.3	ระบบต่อลงดินผ่านรีแอคแทนซ์	11
2.4	ระบบต่อลงดินแบบเรโซแนนซ์	11
2.5	ระบบต่อลงดินโดยตรง	12
2.6	บริเวณที่ถูกควบคุมโดยการต่อลงดินที่ต่างกัน	14
2.7	การป้องกันแบบตรวจวัดแรงดัน	15
2.8	การป้องกันแบบวัดกระแสตกค้าง	16
2.9	การป้องกันแบบตรวจวัดวงจรลำดับศูนย์	18
2.10	การป้องกันแบบตรวจวัดค่ากระแสลงดิน	19
2.11	การป้องกันแบบตรวจวัดกระแสนิวทรอล	19
2.12	การป้องกันแบบผลต่าง	20
3.1	วงจรที่ทำการวิเคราะห์	23
3.2	วงจรสมมูลสำหรับความผิดพร่องแบบเฟสเดียวลงดิน	24
3.3	วงจรสมมูลสำหรับความผิดพร่องแบบ 2 เฟสลงดิน	25
3.4	วงจรแรงดันระหว่างนิวทรอลและกราวน์	30
3.5	การเกิดแรงดันเกินชั่วครู่ในระบบที่ไม่มีการต่อลงดิน	37
3.6	การเกิดแรงดันเกินชั่วครู่ของระบบต่อลงดินผ่านความต้านทาน	38
3.7	ผลกระทบเมื่อต่อค่าความต้านทานที่จุดนิวทรอลในการจำกัดค่าแรงดันเกินชั่วครู่	38
3.8	เฟสเซอร์แรงดันเปรียบเทียบระบบต่อลงดินโดยตรงและต่อผ่านความต้านทาน	39
3.9	ค่ากระแสผิดพร่องที่ค่า K_0 ต่างๆ	41
3.10	ค่าแรงดันเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดพร่องที่ค่า K_0 ต่างๆ	41
3.11	ระบบทดสอบการต่อลงดิน	42
3.12	ค่ากระแสเมื่อเลือกใช้ความต้านทานต่อลงดินต่างๆ	43
3.13	เปรียบกระแสผิดพร่องเมื่อเกิดความผิดพร่องที่ระยะต่างๆห่างจากหม้อแปลง	44
3.14	เปรียบเทียบค่าแรงดันเฟส B เมื่อเกิดความผิดพร่องที่ระยะต่างๆห่างจากหม้อแปลง	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	เปรียบเทียบค่าแรงดันเฟส C เมื่อเกิดความผิดพร่อง ที่ระยะต่างๆห่างจากหม้อแปลง	45
3.16	เปรียบเทียบค่าแรงดันเฟส B pu. เมื่อเกิดความผิดพร่อง ที่ระยะต่างๆห่างจากหม้อแปลง	46
3.17	เปรียบเทียบค่าแรงดันเฟส C pu. เมื่อเกิดความผิดพร่อง ที่ระยะต่างๆห่างจากหม้อแปลง	46
4.1	Temporary Over-voltage withstand Strength T	52
5.1	การป้องกันแบบจำกัดบริเวณในหม้อแปลงเดลต้า	59
5.2	การป้องกันแบบจำกัดบริเวณในหม้อแปลงวาย	60
5.3	ลักษณะสมบัติของรีเลย์ Power System Type	61
5.4	ลักษณะสมบัติของรีเลย์ Ground Fault Sensor Type	62
5.5	วงจรเส้นเดียวระบบที่ 1	64
5.6	วงจรเส้นเดียวระบบที่ 2	65
5.7	การประสานสัมพันธ์ของรีเลย์ในระบบที่2	65
6.1	แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ความต้านทานลงดิน	68
6.2	หน้าต่างหลักของโปรแกรม	69
6.3	ส่วนสร้างแผนผังเส้นเดี่ยว	70
6.4	ผลการคำนวณความผิดพร่อง	71
6.5	ส่วนแสดงผลตารางค่ากระแสและแรงดันของความต้านทานต่อลงดินต่างๆกัน	72