การศึกษาการป้องกันระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory

The Study of Electric Power System Protection

By using Digsilent Power Factory Program.

นายชัชนะพล ชิมาแดง รหัส 46380165

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน ท 0007185
เลขเรียกหนังสือ ปร
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ว354ก
2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาการป้องกันระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชัชนะพล ธิมาแดง รหัส 46380165
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ

(ดร. ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ

(อ.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์)

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาการป้องกันระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชัชนะพล ธิมาแดง รหัส 46380165
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานของโปรแกรม Digsilent Power Factory เพื่อให้ผู้ศึกษามีความรู้ในระบบการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเบื้องต้น เพื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทดสอบและจำลองเหตุการณ์เพื่อวิเคราะห์ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า โดยศึกษาการใช้งานของโปรแกรม Digsilent Power Factory ศึกษาการทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการลัดวงจรของระบบป้องกันไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า พบว่าอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับจุดที่เกิดความผิดพลาด จะทำงานเป็นลำดับแรกเพื่อป้องกันการเกิดความผิดพลาดของระบบที่จะเกิดขึ้น

Project Title	The Study of Electric Power System Protection by using Digsilent Power Factory Program.	
Name	Mr. Chatchanapon Timadang	ID. 46380165
Project Advisor	Dr. Somporn Ruangsinchaiwanich	
Major	Electrical Engineering.	
Department	Electrical and Computer Engineering.	
Academic Year	2007	

.....

ABSTRACT

The objective of this project were to study the use of Digsilent Power Factory program, to give researcher a knowledge in electrical power system protection and to use this program to test and simulate some situations to analyze the working sequence of electrical equipments. The methods consist of studying the use of Digsilent Power Factory program, the working of electrical power system protection and the result of simulating an electrical fault by using this program.

From this study found that the equipment which install near the fault is wok prior to the others to protect any damages to electrical power system.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือ สนับสนุน และให้คำแนะนำจากหลายๆท่านด้วยกัน ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ได้ให้ความรู้ แนวความคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ เอื้อเฟื้อเอกสารที่เกี่ยวข้อง แหล่งข้อมูล อีกทั้งการค้นหาข้อมูล ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ของผู้จัดทำอย่างมาก ขอขอบคุณ อาจารย์ ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์ ในการให้ความรู้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และคำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและผู้สนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอด และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่เอื้อต่อการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วย

ชัชนะพล ธิมาแดง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบข่ายโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 2

1.6 งบประมาณ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า 3

2.1.1 ฟิวส์ (Fuse) 3

2.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) 5

2.1.3 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) 9

2.2 องค์ประกอบสำคัญในการเลือกอุปกรณ์การป้องกัน 11

2.2.1 แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sags) 12

2.2.2 ระบบไม่สมดุลแบบ 3 เฟส (Three Phase Unbalanced) 12

2.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) 13

2.2.4 สายไฟฟ้า 15

2.2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) 18

2.2.6 บัสบาร์ (Busbar) 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 โปรแกรม Digsilent Power Factory 19
ข้อมูลที่เกี่ยวกับ Digsilent Power Factory 20

บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน และวิธีการดำเนินงาน
3.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Digsilent Power Factory 22
3.2 การออกแบบสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า 24
3.2.1 การสร้างและกำหนดค่าบัสบาร์ 25
3.2.2 การสร้างและการกำหนดค่าในหม้อแปลงไฟฟ้า 26
3.2.3 การสร้างและการกำหนดค่าในสายไฟฟ้า 27
3.2.4 การสร้างและกำหนดค่ารีเลย์ 29
3.2.5 การสร้างและกำหนดหม้อแปลงกระแส 30
3.2.6 การสร้างและกำหนดค่าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32
3.2.7 การสร้างและกำหนดค่าในโหลดไฟฟ้า 33
3.3 ทดสอบการไหลของโหลด 34
3.4 ทดสอบการลัดวงจรไฟฟ้า 35
3.4.1 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L1 35
3.4.2 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L2 36
3.4.3 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L3 37
3.4.4 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L4 38
3.4.5 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L5 39
3.4.6 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L6 40
3.4.7 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L7 41
3.4.8 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L8 42
3.4.9 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L9 43
3.4.10 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L10 44
3.4.11 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L11 45
3.4.12 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L12 46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์การสร้างไดอะแกรม 47

4.2 ผลการวิเคราะห์การไหลของโหลด 48

4.3 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจร 50

4.3.1 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L1 50

4.3.2 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L2 52

4.3.3 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L3 54

4.3.4 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L4 56

4.3.5 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L5 58

4.3.6 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L6 60

4.3.7 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L7 62

4.3.8 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L8 64

4.3.9 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L9 66

4.3.10 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L10 68

4.3.11 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L11 70

4.3.12 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L12 72

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน 83

5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน 83

5.3 ข้อเสนอแนะ 83

เอกสารอ้างอิง 84

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน พีวีซี (PVC) และ เอ็กซ์แอลพีอี (XLPE)	18
3.1	ข้อมูลของแต่ละบัสบาร์	26
3.2	ข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงไฟฟ้า	27
3.3	ข้อมูลของแต่ละสายไฟฟ้า	28
3.4	ข้อมูลของแต่ละรีเลย์	30
3.5	ข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงกระแส	31
3.6	ข้อมูลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
3.7	ข้อมูลของแต่โหลดไฟฟ้า	33
4.1	สรุปการลัดวงจรไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า	74
4.2	สรุปการตั้งค่ารีเลย์	81
4.3	สรุปกระแสฟอลต์สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละบัส	82

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ฟิวส์เส้นและฟิวส์ก้ามปู	3
2.2	ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง	4
2.3	เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)	5
2.4	โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทริปด้วยความร้อน (Thermal unit)	6
2.5	โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทริปด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic Unit)	7
2.6	หม้อแปลงกระแส (Current transformer)	8
2.7	หม้อแปลงแรงดัน(Potential Transformer: PT)	8
2.8	หม้อแปลง (Transformer)	13
2.9	ฟิวส์แรงสูงและฟิวส์แรงต่ำ	14
2.10	ล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester) และล่อฟ้าแรงต่ำ (LV. Arrester)	14
2.11	ซิลิก้าเจล (Silica Gel)	15
2.12	สายเปลือย	17
2.13	สายหุ้มฉนวน	17
2.14	สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	17
2.15	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	18
2.16	บัสบาร์	19
3.1	แสดงการเข้าโปรแกรม	21
3.2	หน้าจอของโปรแกรม	22
3.3	การสร้างรายงานใหม่	22
3.4	หน้าจอสำหรับสร้างแบบการทดสอบและทดสอบระบบไฟฟ้า	23
3.5	เครื่องมือสำหรับสร้างแบบการทดสอบ	23
3.6	แสดงแบบจำลองระบบไฟฟ้า	24
3.7	แสดงบัสบาร์	25
3.8	แสดงการตั้งค่าบัสบาร์	25
3.9	แสดงเครื่องมือหม้อแปลงไฟฟ้า	26
3.10	แสดงการตั้งค่าหม้อแปลงไฟฟ้า	27
3.11	แสดงเครื่องมือสายไฟฟ้า	27
3.12	แสดงการตั้งค่าสายไฟฟ้า	28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	แสดงเครื่องมือรีเลย์	29
3.14	แสดงการกำหนดค่ารีเลย์	29
3.15	แสดงเครื่องมือหม้อแปลงกระแส	30
3.16	แสดงการกำหนดค่าหม้อแปลงกระแส	31
3.17	แสดงเครื่องมือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
3.18	แสดงการกำหนดค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
3.19	แสดงเครื่องมืออุปกรณ์สร้างโหลดไฟฟ้า	33
3.20	แสดงเครื่องมือการกำหนดค่าโหลดไฟฟ้า	33
3.21	ส่วนของทดสอบการไหลของโหลด	34
3.22	ส่วนของการทดสอบการกำหนดค่าการไหลของโหลด	34
3.23	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L1	35
3.24	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L1	35
3.25	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L2	36
3.26	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L2	36
3.27	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L3	37
3.28	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L3	37
3.29	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L4	38
3.30	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L4	38
3.31	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L5	39
3.32	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L5	39
3.33	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L6	40
3.34	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L6	40
3.35	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L7	41
3.36	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L7	41
3.37	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L8	42
3.38	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L8	42
3.39	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L9	43
3.40	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L9	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.41	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L10	44
3.42	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L10	44
3.43	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L11	45
3.44	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L11	45
3.45	ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L12	46
3.46	แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L12	46
4.1	แสดงไดอะแกรมระบบไฟฟ้า	47
4.2ก	แสดงผลการวิเคราะห์การไหลของโหลด	48
4.2ข	แสดงผลการวิเคราะห์การไหลของโหลด	49
4.3	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L1	50
4.4	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L1	51
4.5	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L2	52
4.6	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L2	53
4.7	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L3	54
4.8	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L3	55
4.9	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L4	56
4.10	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L4	57
4.11	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L5	58
4.12	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L5	59
4.13	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L6	60
4.14	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L6	61
4.15	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L7	62
4.16	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L7	63
4.17	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L8	64
4.18	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L8	65
4.19	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L9	66
4.20	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L9	67
4.21	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L10	68

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L10	69
4.23	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L11	70
4.24	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L11	71
4.25	แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L12	72
4.26	แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L12	73
4.27	แบบจำลองระบบที่ใช้ทดสอบ	75
4.28	กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 1	76
4.29	กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 1	76
4.30	กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 2	77
4.31	กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 2	77
4.32	กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 3	78
4.33	กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 3	78
4.34	กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 4	79
4.35	กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 4	79
4.36	กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 5	80
4.37	กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 5	80
4.38	แสดงการทำงานของรีเลย์	81

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันระบบอุตสาหกรรมมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าขยายตัวมากยิ่งขึ้น จึงก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาในระบบไฟฟ้า เช่น การลัดวงจรของระบบไฟฟ้า การศึกษาเกี่ยวกับระบบป้องกันไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกัน จึงมีความจำเป็นสำหรับระบบอุตสาหกรรม ดังนั้น โครงงานนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อจำลองระบบป้องกันไฟฟ้า และทดสอบการลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

ในโครงงานฉบับนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาโปรแกรม Digsilent Power Factory โดยนำเอาระบบการป้องกันไฟฟ้ามาทำการวิเคราะห์ลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการทดสอบการลัดวงจรของระบบไฟฟ้าแต่ละสายส่งเพื่อวิเคราะห์การจัดลำดับการทำงานและการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการใช้งานของโปรแกรม Digsilent Power Factory
2. เพื่อให้ผู้ศึกษามีความรู้ในระบบการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเบื้องต้น
3. เพื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบและจำลองเหตุการณ์เพื่อวิเคราะห์ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบข่ายโครงงาน

1. ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม Digsilent Power Factory
2. ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้า
3. ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการลัดวงจรของระบบป้องกันไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน

การดำเนินการของโครงงาน	ปี2550			ปี2551	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม Digsilent Power Factory	←	—	→		
2. ศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันต่างๆ			←	— →	
3. ทำการออกแบบระบบไฟฟ้า และทดลอง โดยใช้ โปรแกรม Digsilent Power Factory			←	—	— →
4. สรุปผลการทดลองและทำรูปเล่มรายงาน				←	— →

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1. สามารถใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory และ นำไปใช้ได้
2. มีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าและการเกิดกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

1.6 งบประมาณ

1. ค่าเอกสารประกอบการทำโครงงาน	500	บาท
2. ค่าจัดทำรูปเล่มโครงงาน	900	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	1,400	บาท

(หนึ่งพันสี่ร้อยบาทถ้วน)

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าเบื้องต้นที่ดีย่อมไม่ส่งผลกระทบกระเทือนต่อระบบการส่งจ่ายไฟฟ้า หน้าที่ของระบบการป้องกันไฟฟ้าที่ดี คือต้องสามารถตัดระบบไฟฟ้าออกจากวงจรให้รวดเร็วที่สุดกรณีเกิดภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้า ในการป้องกันระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันที่ดี เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินได้แก่ ฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์ป้องกัน

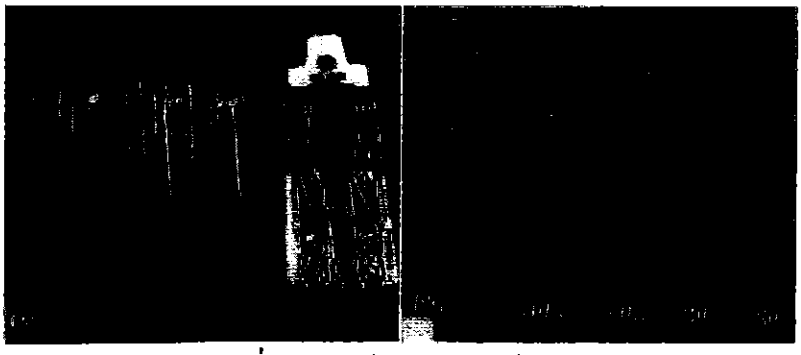
2.1.1 ฟิวส์ (Fuse) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ฟิวส์แรงต่ำ และฟิวส์แรงสูง

ฟิวส์แรงต่ำ (Low Voltage Fuse)

ฟิวส์แรงต่ำที่นิยมใช้กันจะระบุแรงดัน 250 - 600 โวลต์ ฟิวส์แรงต่ำแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. ฟิวส์เปลี่ยนไส้ได้ (Renewable Fuse) เป็นฟิวส์ไม่จำกัดกระแส ฟิวส์ทำงานไว พิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุดไม่เกิน 10 kA มีผลิตจำหน่ายที่พิกัดแรงดันใช้งาน 250 โวลต์และ 600 โวลต์ ถ้าฟิวส์ขาดสามารถเปลี่ยนไส้ฟิวส์ได้

2. ฟิวส์สองไส้หน่วงเวลา (Dual Element Time Delay Fuse) ภายในตัวกระบอกฟิวส์จะประกอบด้วยไส้ฟิวส์อยู่ 2 ส่วน ไส้ฟิวส์ส่วนแรกจะทำหน้าที่ป้องกันสภาวะลัดวงจร อาจถูกออกแบบไว้ทนกระแสเกินพิกัดของฟิวส์ไว้ถึง 500% จึงจะขาด ไส้ฟิวส์อีกส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันสภาวะโหลดเกิน โดยจะถูกออกแบบให้ไส้ฟิวส์ส่วนนี้ขาดเมื่อมีอุณหภูมิภายในตัวไส้ฟิวส์ประมาณ 140 องศาเซลเซียส [1] นิยมใช้กันทั่วไปในวงจรที่มีกระแสกระโชกสูง



รูปที่ 2.1 ฟิวส์เส้นและฟิวส์ก้ามปู

(http://www.geocities.com/nutchapols/fuse.html)

รูปแบบฟิวส์แรงต่ำ

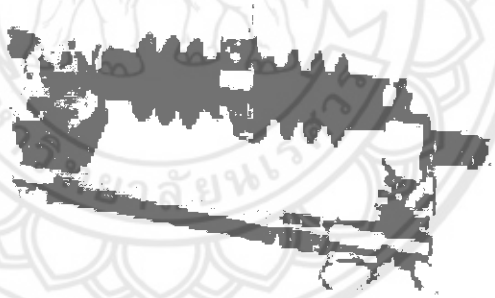
1. ฟิวส์แบบเปลือย ฟิวส์ชนิดนี้มีรูปร่างเป็นเส้นลวดหรือแท่งแบนๆ ซึ่งออกแบบไว้ใช้ร่วมกับดัทเอ้าต์ ปกติทั่วไปตัวฟิวส์จะทำด้วยตะกั่วหรือส่วนผสมของตะกั่วกับดีบุก มีค่าพิกัดกระแสขณะอินเตอร์รัพต์ 1 kA ถึง 3 kA เท่านั้น จึงเหมาะสำหรับระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. คาร์ทริดจ์ฟิวส์ (Cartridge Fuse) จะมีรูปทรงที่ผลิตใช้งานกัน 2 รูปทรงคือฟิวส์รูปทรงกระบอกหรือฟิวส์หลอดขนาดสูงสุดไม่เกิน 60A และฟิวส์ใบมีดขนาด 60A ขึ้นไป

ฟิวส์แรงสูง (High Voltage Fuse)

ฟิวส์แรงสูงที่ใช้ในระบบไฟฟ้าอยู่ในระดับแรงดันตั้งแต่ 600 โวลต์ ขึ้นไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง (Dropout Fuse Cutout) ต้องมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นฟ้าผ่า ซึ่งหมายถึงค่าสูงสุดของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าระดับฉนวนอิมพัลส์มูลฐาน (BIL = Basic Impulse Insulation Level) ที่ฉนวนสามารถทนได้ต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง เหมาะสมที่จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าหรือคอนสายได้ แรงดันใช้งาน (Operating Voltage) จะต้องเหมาะสมกับระบบแรงดันไฟฟ้าที่ใช้อยู่ เช่น 22kV, 24kV



รูปที่ 2.2 ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง

(http://www.kingsolder.com/electronics/equipment/pictr/13.jpg)

ชนิดฟิวส์ตัดตอนแรงสูงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1.1) ชนิดตัวฟิวส์อยู่ในกระบอก (Open Type) คือเป็นอุปกรณ์ที่มีการพุ่งระบายของไฟและก๊าซ ในขณะที่ตัวฟิวส์หลอมขาดออกจากกัน อันเนื่องจากการลัดจร

1.2) ชนิดที่ตัวฟิวส์ไม่ได้อยู่ในกระบอก (Open-Link Type) เป็นฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชั่นเหมือนประเภทแรก เพียงแต่ตัวฟิวส์ (Fuse Link) เป็นชนิดที่ไม่บรรจุในกระบอกฟิวส์

1.3) ชนิดที่อยู่ภายในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosed Type) เป็นฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชั่นแตกต่างจากแบบแรก เพียงแต่กระบอกฟิวส์ขั้วต่อสายใส่บรรจุอยู่ในกล่องล้อมปิด

ลักษณะการทำงานของฟิวส์ตัดตอนแรงสูง

เมื่อเกิดการลัดวงจรตัวฟิวส์จะหลอมละลายและเกิดการอาร์ค ความร้อนในรูปประกายไฟหรือเปลวไฟ ความดันและก๊าซที่เกิดขึ้นภายในกระบอกฟิวส์หรือสิ่งห่อหุ้มตัวฟิวส์ ก็จะขับดันออกสู่ภายนอกพร้อมกับขับส่วนของตัวฟิวส์ที่ขาดออกจากกันที่อยู่ส่วนล่าง ให้ห่างออกจากกันมากพอที่จะไม่เกิดอาร์คต่อไปได้ ส่วนของก๊าซและความร้อนที่ถูกขับออกมานั้น เป็นส่วนที่อาจทำให้อุปกรณ์และสายไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างและบนเกิดความเสียหายได้

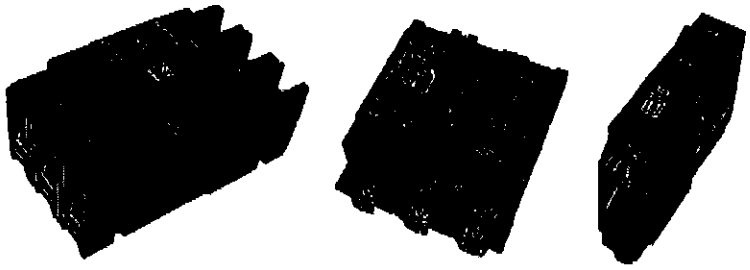
2. เพาเวอร์ฟิวส์ (Power Fuse) ตามมาตรฐานของ ANSI เพาเวอร์ฟิวส์ต้องมีค่าความทนต่อแรงดันไฟฟ้าระดับฉนวนอิมพัลส์มูลฐาน (BIL) ได้ เหมาะสำหรับติดตั้งในสถานีจ่ายไฟฟ้าและสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยมีโครงสร้างที่ง่ายๆ สามารถมาติดตั้งในสถานีจ่ายไฟฟ้าและสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเพาเวอร์ฟิวส์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ เพาเวอร์ฟิวส์เอ็กซ์แพนชั่น และเพาเวอร์ฟิวส์จำกัดกระแส

2.1) เพาเวอร์ฟิวส์เอ็กซ์แพนชั่น (Expansion) ฟิวส์ชนิดนี้มีลักษณะการทำงานเหมือนกับฟิวส์ตัดตอนแรงสูง และเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

2.2) เพาเวอร์ฟิวส์จำกัดกระแส (Current Limiting Power Fuse) ฟิวส์ชนิดนี้มีพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูง ๆ ได้ หรือเรียกว่า ฟิวส์แรงสูง จุดเด่นของฟิวส์แรงสูงชนิดจำกัดกระแสคือขณะกระแสลัดวงจรจะไม่มีการอาร์ค เนื่องจากก๊าซทั้งหมดจะถูกทรายดูดซึมสามารถควบคุมให้กระแสไหลผ่านฟิวส์ต่ำขณะลัดวงจร

2.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันกระแสโหลดเกินหรือกระแสลัดวงจรเท่าเทียมฟิวส์ได้ทุกกรณี ขณะเดียวกันจะทริปเมื่อเกิดกระแสเกินได้โดยอัตโนมัติ ภายใต้อัตราพิกัดที่กำหนด แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ และเพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง



รูปที่ 2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์(Circuit Breaker)

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/circuits/0002.html)

เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ (Low Voltage Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่กำหนดแรงดันระบุไม่เกิน 600 โวลต์ และตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์คจะใช้อากาศเท่านั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ โมลด์เคสเซอร์กิตเบรก-เกอร์ และ แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์

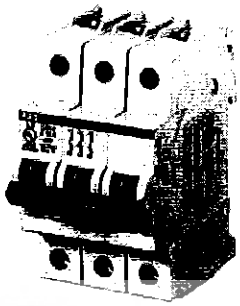
1. โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Molded Case Circuit Breaker) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยตัวมันจะถูกห่อหุ้มมิดชิดด้วยพลาสติก มีหน้าที่หลักในการทำงานอยู่ 2 ลักษณะคือ การตัดวงจรออกเมื่อเกิดสภาวะการใช้งานโหลดเกิน และ การตัดวงจรออกเมื่อเกิดสภาวะลัดวงจร การตัดวงจรอัตโนมัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์นี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า การทริป (Tripping) การทริปแต่ละครั้งจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์ค กลไกการทริปนิยมใช้จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือการทริปด้วยความร้อนและการทริปด้วยสนามแม่เหล็ก

1.1) การทริปด้วยความร้อน (Thermal Trip) ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะไบเมทัล (Bimetal) 2 แผ่นซึ่งทำมาจากโลหะต่างชนิดกัน เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดความร้อนที่แผ่นโลหะนี้ซึ่งจะทำให้แผ่นโลหะทั้งสองเกิดการขยายตัวโดยที่อัตราการขยายตัวของแผ่นโลหะทั้งสองนี้ไม่เท่ากันทำให้เกิดการโก่งตัวงอของแผ่นไบเมทัล จนกระทั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดกระแสไฟฟ้าออกจากวงจร การทริปลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้การป้องกันสภาวะโหลดเกิน มักจะเกิดขึ้นจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปชั่วขณะ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่ตัดวงจรทันทีที่กระแสถึงพิกัด แต่จะหน่วงเวลาเล็กน้อยจนกระทั่งถ้าหากว่ากระแสโหลดเกินนี้มีค่ามากเกินไป เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงจะตัดวงจรออก ความไวในการทริปจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสและระยะเวลาที่กระแสไหลผ่าน ลักษณะการทริปจะเป็นแบบผกผัน (Inverse Time Delay)

รูปที่ 2.4 โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทริปด้วยความร้อน (Thermal unit)
(http://www.calcentron.comPageslg_industrial_systemslg_industrial_systems.htm)

1.2) การทริปด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic Trip) การทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้อาศัยอำนาจจากสนามแม่เหล็กโดยจะมีขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าต่ออนุกรมอยู่กับกระแสโหลด เมื่อเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่มากเพียงพอขดลวดสนามแม่เหล็กนี้ก็จะทำงานโดยการดูด

แผ่นชุดทริปทำให้กลไกการตัดวงจรทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะตัดวงจรออกจากระบบทันที กลไกลักษณะการทริปแบบนี้เหมาะสำหรับการป้องกันกระแสลัดวงจร ซึ่งจะมีปริมาณกระแสจำนวนมากเกิดขึ้นทันทีทันใด ลักษณะการทริปจะเป็นการทริปทันทีที่กระแสสูงสุดถึงจุดที่ตั้งไว้



รูปที่ 2.5 โมลด์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทริปด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic Unit)
(www.efunda.com/eds/images_product_l/product_11920_l.jpg)

2. แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker) โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชุดกลไกการทำงานทางกล หน้าสัมผัส ตัวอินเตอร์รัพเตอร์ ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์ค และชุดกลไกการทริปรวมอยู่ในตัวเบรกเกอร์ชุดกลไกการทริป กระแสเกินจะต่ออันดับกันทางด้านโหลดของเบรกเกอร์ ซึ่งชุดทริปจะถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการทริปสูง ซึ่งสามารถปรับตั้งได้ทั้งหน่วงเวลานาน หน่วงเวลาสั้นทริปทันทีและทริป กระแสไฟรั่วลงดินเพื่อให้สอดคล้องและถูกต้องตามคุณสมบัติของโหลดในระบบสำหรับกลไกการ ทริปนั้นมีให้เลือกใช้ได้ทั้งทริปทางไฟฟ้า ทางกลทริปด้วยโซลิดสเตตเนื่องจากชุดกลไกการทริปต่ออันดับ โดยตรงทางด้านโหลดหรือต่อผ่านหม้อแปลงกระแสในกรณีที่เบรกเกอร์ทริปด้วยโซลิดสเตตซึ่งสามารถปรับพิกัดกระแสทริปได้ตามที่ต้องการ ในกรณีที่เกิดกระแสลัดวงจรทางด้านโหลดผลของกระแสลัดวงจรที่ไหลจำนวนมากเป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงผลักของแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วต่อยึดหยุ่น เนื่องจากกระแสไหลทางเดียวกันเกิดแรงผลักดันทำให้หน้าสัมผัสถูกแยกโดยรวดเร็ว กระแสลัดวงจรจึงถูกจำกัดกระแสอินเตอร์รัพต์และดับอาร์คลงในช่วงเวลาสั้นๆ

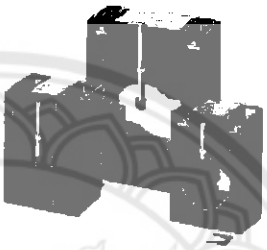
ดังนั้นแอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามลักษณะการสร้างแล้วเหมาะสำหรับป้องกันสายเมนหรือสายป้อนใหญ่ๆ เนื่องสามารถรับกระแสโหลดและกระแสขณะอินเตอร์รัพต์สูงๆ

เพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง (High Voltage Power Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงมีชิ้นส่วนประกอบขึ้นมาเพื่อทำการดับอาร์คไปในเวลาสั้นที่สุด ประโยชน์ก็คือการทริปเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากระแสฟอลต์จะมีค่าสูงเป็นหลายเท่าตัวของกระแสใช้งานปกติ อาร์คก็ยิ่งรุนแรงมากขึ้นในขณะเดียวกันการที่ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง

จะทริปได้ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบให้เบรกเกอร์ทำงานอย่างอัตโนมัติ อีกทั้งเมื่อฟอลต์ผ่านพ้นไปแล้ว เบรกเกอร์จะถูกสั่งให้สับซ้ำ (Reclose) เข้าไปใหม่ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าต่อไปตามเดิม กำหนดแรงดันที่ระบุตั้งแต่ 1000 โวลต์ขึ้นไป เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงต้องอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบและร่วมประสานงานกัน 4 อย่างคือ อุปกรณ์ตรวจจับ รีเลย์ป้องกัน กลไกการทำงาน และ อินเตอร์รัพเตอร์

1. อุปกรณ์ตรวจจับ เมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าก็จะส่งสัญญาณบอกเหตุไปยังรีเลย์ ส่วนส่งสัญญาณนี้ได้แก่ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT) และหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer: PT)



รูปที่ 2.6 หม้อแปลงกระแส (Current transformer)

(http://siva-associates.com/images/Tyco/3MCT.jpg)

รูปที่ 2.7 หม้อแปลงแรงดัน(Potential Transformer: PT)

(http://ee.eng.dpu.ac.th/EE_site_data/4%20seminar/%CA%B6%D2%B9%D5%BA%E9%D2%B9%E3%CB%C1%E8/115%20kV%20PT.jpg)

1.1) หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT) อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสสูงๆ ในวงจรไฟฟ้าแรงสูงหรือแรงต่ำ ให้มีกระแสต่ำลงเป็นอัตราส่วน เพื่อใช้กับเครื่องวัดรีเลย์ เมื่อกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้กระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็น 1/ อัตราส่วนการพันขดลวดคูณด้วยกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ และกระแสนี้จะถูกส่งไปใช้กับเครื่องวัดหรือรีเลย์ที่ต่ออยู่

1.2) หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer: PT) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟแรงสูงหรือวงจรไฟแรงต่ำ ให้มีแรงดันเป็นอัตราส่วนกับแรงดันของวงจรนั้น เพื่อใช้สำหรับเครื่องวัดหรือทำให้รีเลย์ทำงาน ขดลวดด้านปฐมภูมิจะต่อเข้ากับไลน์แรงสูง ส่วนขดลวดทุติยภูมิจะต่อเข้ากับเครื่องวัดหรือรีเลย์

2. รีเลย์ป้องกัน หน้าที่สำคัญของรีเลย์ป้องกันได้แก่ ตรวจจับสภาวะฟอลต์ของระบบไฟฟ้าแล้วส่งสัญญาณไปทริปเบรกเกอร์ ให้แยกส่วนของระบบไฟฟ้าที่กำลังผิดปกติออกหรือส่งสัญญาณเตือนบอกตำแหน่งและชนิดของสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้การซ่อมแซมรวดเร็วขึ้นแล้ว เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการป้องกันฟอลต์และคุณลักษณะของตัวรีเลย์

3. ชุดกลไกการทำงาน (Operating Mechanism) เป็นกลไกกำกับการทำงานของอินเตอร์-รัพเตอร์ (Interrupter) หรือกลไกการทำงานของการปิดเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ การทำงานด้วยมือ การทำงานด้วยโซลีนอยด์ การทำงานด้วยมอเตอร์ การทำงานด้วยสปริง การทำงานด้วยนิวเมติก การทำงานด้วยไฮดรอลิก

4. อินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupting) ตัวตัดการไหลของกระแสซึ่งมีหน้าที่คือเมื่อหน้าสัมผัสแยกทั้งสองข้างออกจากกันก็จะขัดขวางการไหลของกระแส ซึ่งหมายถึงทำให้เปลวอาร์คดับลง

<u>การแบ่งชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงตามพิกัดแรงดันไฟฟ้า</u>

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breaker) ใช้กับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 1.5 kV – 34.5 kV

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง (High Voltage Circuit Breaker) ใช้กับวงจรไฟฟ้าสลับตั้งแต่ 34.5 kV ขึ้นไป

<u>ประเภทของเพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง</u>

จะเรียกชื่อตามประเภทตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์ค ได้แก่

1. แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Break Circuit Breaker)
2. แอร์บลาสต์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Blast Circuit Breaker)
3. ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Oil Circuit Breaker)
4. แวคคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Vacuum Circuit Breaker)
5. ก๊าซ SF_6 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Gas SF_6 Circuit Breaker)

2.1.3 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay)

หลักการเบื้องต้นของรีเลย์ที่ใช้ป้องกันระบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. รีเลย์หลัก (Primary Relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้ป้องกันในเขตป้องกัน โดยปกติการป้องกันจะแบ่งเขตป้องกันไว้เฉพาะ เมื่อฟอลต์ขึ้นภายในเขตป้องกัน รีเลย์หลักจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวในเขตป้องกันนั้นทริป

2. รีเลย์ทำงานสำรอง (Back-Up Relay) จะใช้ป้องกันแทนรีเลย์หลักกรณีที่รีเลย์หลักไม่ทำงาน มักจะให้รีเลย์ทำงานสำรองนี้อยู่คนละตำแหน่งกับรีเลย์หลัก

ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของรีเลย์ป้องกัน

- ความไว
- ความเชื่อถือ
- ความง่าย
- ความสามารถแยกแยะ
- ความเร็ว
- ความประหยัด

ชนิดของรีเลย์

ชนิดของรีเลย์แบ่งตามลักษณะของคอยล์ หรือ แบ่งตามลักษณะการใช้งาน (Application) ได้แก่รีเลย์ดังต่อไปนี้

1. รีเลย์กระแส (Current Relay) รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้กระแสมีทั้งชนิดกระแสขาด (Under-Voltage) และกระแสเกิน (Over Current)

2. รีเลย์แรงดัน (Voltage Relay) รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้แรงดันมีทั้งชนิดแรงดันขาด (Under-Voltage) และแรงดันเกิน (Over Voltage)

3. รีเลย์ช่วย (Auxiliary Relay) รีเลย์ที่เวลาใช้งานจะต้องประกอบเข้ากับรีเลย์ชนิดอื่นจึงจะทำงานได้

4. รีเลย์กำลัง (Power Relay) รีเลย์ที่รวมเอาคุณสมบัติของรีเลย์กระแส และรีเลย์แรงดันเข้าด้วยกัน

5.รีเลย์เวลา (Time Relay) รีเลย์ที่ทำงานโดยมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

5.1) รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse Time Over Current Relay) รีเลย์ที่มีเวลาทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแส

5.2) รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (Instantaneous Over Current Relay) รีเลย์ที่ทำงานทันทีทันใดเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดที่ตั้งไว้

5.3) รีเลย์แบบดิฟฟินิตไทม์แล็ก (Definite Time Lag Relay) รีเลย์ที่มีเวลาการทำงานไม่ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของกระแสหรือค่าไฟฟ้าอื่นๆ ที่ทำให้เกิดงานขึ้น

5.4) รีเลย์แบบอินเวอส์ดิฟฟินิตมินิมั่มไทม์แล็ก (Inverse Definite Time Lag Relay) รีเลย์ที่ทำงานโดยรวมเอาคุณสมบัติของเวลาผกผันกับกระแส (Inverse Time) และแบบดิฟฟินิตไทม์แล็ก (Definite Time Lag Relay) เข้าด้วยกัน

6. รีเลย์กระแสต่าง (Differential Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานโดยอาศัยผลต่างของกระแส

7. รีเลย์มีทิศ (Directional Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสไหลผิดทิศทาง มีแบบรีเลย์กำลังมีทิศ (Directional Power Relay) และรีเลย์กระแสมีทิศ (Directional Current Relay)

8. รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) คือรีเลย์ระยะทางมีแบบต่างๆ ดังนี้

8.1) รีแอกแตนซ์รีเลย์ (Reactance Relay)

8.2) อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relay)

8.3) โมห์รีเลย์ (Mho Relay)

9. รีเลย์อุณหภูมิ (Temperature Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้

10. รีเลย์ความถี่ (Frequency Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งไว้

11. บูคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz's Relay) คือรีเลย์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ใช้กับหม้อแปลงที่แช่อยู่ในน้ำมันเมื่อเกิด ฟอลต์ ขึ้นภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันแตกตัวและเกิดก๊าซขึ้นภายในไปดันหน้าสัมผัส ให้รีเลย์ทำงาน

2.2 องค์ประกอบสำคัญในการเลือกอุปกรณ์การป้องกัน

แรงดันที่กำหนด (Rated Voltage) เป็นแรงดันที่กำหนดของอุปกรณ์การป้องกันนั้น อย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแรงดันระหว่างเฟส เช่น 115kV, 69kV, 24kV หรือ 240V เพื่อป้องกันฉนวนของอุปกรณ์การป้องกันให้มีความแข็งแรงต่อแรงดันไฟฟ้านั้น

แรงดันที่ระบุ (Nominal Voltage) หมายถึง แรงดันระบบ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของการไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง 12kV, 24kV, และ 69kV หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 11kV, 22kV, และ 33kV

แรงดันแรงดันที่ใช้งานสูงสุด (Maximum Operating Voltage) หมายถึงแรงดันสูงสุดตามความเป็นจริงของระบบซึ่งจะนำอุปกรณ์การป้องกันไปใช้

แรงดันออกแบบสูงสุด (Maximum Design Voltage) หมายถึงค่าแรงดันสูงสุดที่ใช้เป็นมูลฐานในการออกแบบอุปกรณ์การป้องกัน สำหรับอุปกรณ์การป้องกันแรงดันต่ำนั้น มักจะบอกแต่เพียงแรงดันที่กำหนดเท่านั้น เพราะถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับแรงดันออกแบบสูงสุด

แรงดันที่ใช้งานต่ำสุด (Minimum Operating Voltage) หมายถึงค่าแรงดันต่ำสุดของอุปกรณ์การป้องกันที่ยังมีความสามารถที่จะตัดกระแสตามพิกัด MVA นั้นได้ เพราะว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องสามารถตัดกระแสที่ค่าแรงดันต่ำกว่าแรงดันที่ระบุได้ แต่ถ้าแรงดันยิ่งต่ำ ค่าความสามารถขณะอินเตอร์รัพต์ (Interrupting Capacity) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็จะยิ่งต่ำลงไปด้วย จึงต้องกำหนดค่าแรงดันที่ใช้งานต่ำสุดกำหนดไว้ว่าเป็นแรงดันต่ำที่สุดเซอร์กิตเบรกเกอร์ยังคงทำงานได้ปกติ

2.2.1 แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sags)

สาเหตุส่วนใหญ่มักมีผลสืบเนื่องมาจากการเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่าย แล้วส่งผลกระทบจนทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะไปยังผู้ใช้ไฟในพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งความรุนแรงที่เกิดขึ้นนั้นจะผันแปรโดยตรงกับขนาดของกระแสฟอลต์ ประเภทของฟอลต์ และระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ของอุปกรณ์ป้องกัน มีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ ในการบ่งชี้ระดับความรุนแรงซึ่งจะสะท้อนถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจึงทำให้หลายฝ่ายให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาโดยการป้องกันไม่ให้เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ แต่ในความเป็นจริงแล้วเป็นเรื่องที่กระทำได้ยากมาก เนื่องจากระบบจำหน่ายโดยส่วนใหญ่เป็นระบบสายเปลือยเหนือดิน (Overhead Line) จึงมีโอกาสที่จะเกิดฟอลต์ได้ง่าย

ดังนั้นปัญหาแรงดันตกชั่วขณะจึงยังคงเกิดขึ้นอยู่ การเกิดฟอลต์โดยส่วนใหญ่มักเป็นการเกิดฟอลต์แบบลงดินเส้นเดียวและเกิดขึ้นชั่วคราวในระยะเวลาสั้นๆแต่ถึงอย่างไรก็ตามความรุนแรงที่เกิดขึ้นก็อาจมีค่าเพียงพอที่จะสร้างผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบและเพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่มีสาเหตุมาจากการเกิดฟอลต์แบบลงดินเส้นเดียว

2.2.2 ระบบไม่สมดุลแบบ 3 เฟส (Three Phase Unbalanced)

ในการศึกษาค่ากระแสฟอลต์ในระบบไฟฟ้านั้นมีการ แบ่งแยกออกเป็น 2 ประเภท

1. สามเฟสฟอลต์แบบสมมาตร (Three Phase Symmetrical Fault)

2. สามเฟสฟอลต์แบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Fault) ซึ่งฟอลต์แบบไม่สมมาตรยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.1) ฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single Line To Ground Fault)

2.2) ฟอลต์ระหว่างสาย (Line To Line Fault)

2.3) ฟอลต์สองสายลงดิน (Double Line To Ground Fault)

ซึ่งในการคำนวณหาค่ากระแสฟอลต์ที่ส่งผลกระทบในการทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะจำเป็นต้องอาศัยหลักการของส่วนประกอบสมมาตร(Symmetrical Component) เพื่อสร้างเฟสเซอร์ไม่สมมาตรซึ่งประกอบไปด้วย

- ส่วนประกอบลำดับบวก (Positive Sequence)
- ส่วนประกอบลำดับลบ (Negative Sequence)
- ส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence)

2.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนระดับแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงตามต้องการ ภายในประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) แต่สำหรับหม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) ขนาดใหญ่บางตัวอาจมีขดลวดที่สามเพิ่มขึ้นคือขด-เทอร์เทียรี ไวนดิงก์ (Tertiary Winding) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิและแรงดันที่แปลงออกมาจะมีค่าต่ำกว่าขดลวดทุติยภูมิ

รูปที่ 2.8 หม้อแปลง

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/transformer/0001.html)

<u>ชนิดของหม้อแปลง</u>

- หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer)
- หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer)
- หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)
- หม้อแปลงสำหรับความถี่สูง (High frequency Transformer)

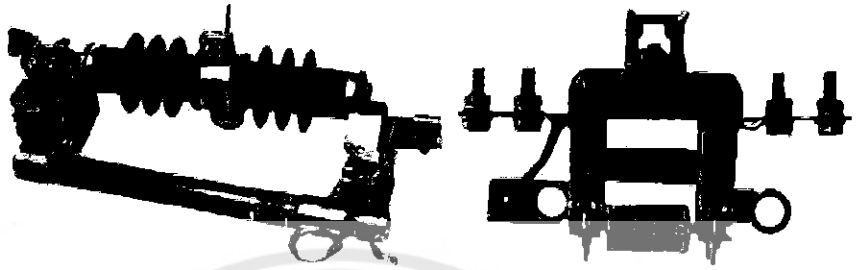
สำหรับหม้อแปลงจำหน่ายที่ใช้ทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบ 1 เฟส 3 สาย มีใช้งาน 4 ขนาดคือ 10 kVA , 20 kVA , 30 kVA , 50 kVA
- ระบบ 3 เฟส 4 สาย มีหลายขนาด ได้แก่ 30, 50, 100, 160, 250, 315, 400, 500, 1000, 1250, 1500, 2500 kVA

หม้อแปลงที่ติดตั้งเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดให้ใช้ได้ตั้งแต่ขนาด 10 kVA 1 เฟส จนถึง 250 kVA 3 เฟส (ยกเว้น 30 kVA 3 เฟส) นอกเหนือจากนี้เป็นหม้อแปลงที่ติดตั้งให้ผู้ใช้ไฟเฉพาะราย

<u>อุปกรณ์ประกอบหม้อแปลง</u>

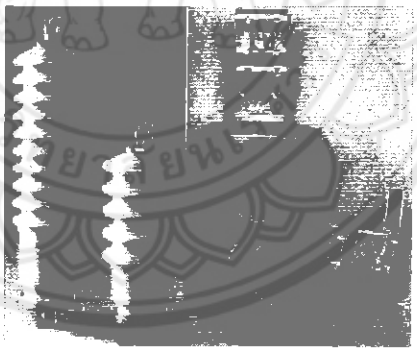
1. ฟิวส์ (Fuse) ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือระบบ จากภาวะกระแสเกินพิกัด (Over Current) หรือลัดวงจร (Short Circuit) มีทั้งฟิวส์แรงสูงติดตั้งทางด้านปฐมภูมิและฟิวส์แรงต่ำติดตั้งทางด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 2.9 ฟิวส์แรงสูงและฟิวส์แรงต่ำ

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/transformer/0001.html)

2. ล่อฟ้า (Lightning Arrester) ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์หรือระบบและสายส่งมิให้ได้รับความเสียหายจากภาวะแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือการปลดสับสวิตซ์



รูปที่ 2.10 ล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester) และล่อฟ้าแรงต่ำ (LV. Arrester)

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/transformer/0001.html)

3. อาร์คซิ่งฮอร์น (Arcing Horn) เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงมิให้ชำรุดเสียหายจากภาวะแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า สำหรับระยะ แอร์แกป (Air Gap) ของ อาร์คซิ่งฮอร์น (Arcing Horn) ที่บุชชิ่งแรงสูงของหม้อแปลงตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดดังนี้

- ระบบ 11 KV. ระยะห่าง 8.6 เซนติเมตร
- ระบบ 22 KV. ระยะห่าง 15.5 เซนติเมตร
- ระบบ 33 KV. ระยะห่าง 22.0 เซนติเมตร

4.น้ำมันหม้อแปลง มีหน้าที่ 2 ประการคือ

เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยป้องกันกระแสไฟฟ้ากระโดดจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ถ้าเทียบกับอากาศแล้ว น้ำมันหม้อแปลงจะทนแรงดันได้สูงกว่าหลายเท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันหม้อแปลงนั้น ดังนั้นถ้าเราจุ่มตัวนำลงในน้ำมัน ก็จะสามารถวางไว้ใกล้กันได้โดยไม่ลัดวงจร

ระบายความร้อน โดยที่น้ำมันเป็นของเหลวจึงสามารถเคลื่อนตัวมาถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศรอบๆ หม้อแปลงได้ดี ทำให้ขดลวดและแกนเหล็กของหม้อแปลงระบายความร้อนได้ ทำให้ฉนวนที่พันหุ้มขดลวดทนต่อความร้อนสูงได้ และทำให้ฉนวนไม่ร้อนจัดเกินไปช่วยยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงให้นานขึ้น

5. ซิลิก้าเจล (Silica Gel) มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ สีฟ้าหรือน้ำเงินบรรจุอยู่ในกระเปาะข้างถังอะไหล่น้ำมันหม้อแปลง ทำหน้าที่ช่วยดูดความชื้นในหม้อแปลง ถ้าเสื่อมคุณภาพจะกลายเป็นสีชมพู

รูปที่ 2.11 ซิลิก้าเจล (Silica Gel)

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/transformer/0001.html)

2.2.4 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวนำและฉนวน

ตัวนำ

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจเป็นตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ที่นิยมได้แก่ ทองแดง และอลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ทองแดง มีความนำไฟฟ้าสูงมาก แข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ข้อเสียคือน้ำหนักมาก ราคาแพง จึงไม่เหมาะกับงานแรงดันสูง แต่เหมาะกับงานทั่วไปโดยเฉพาะงานในอาคาร

อลูมิเนียม มีความนำไฟฟ้ารองจากทองแดง แต่เมื่อเทียบกรณีกระแสเท่ากันแล้ว อลูมิเนียมจะเบาและราคาถูกกว่า จึงเหมาะกับงานนอกอาคารและแรงดันสูง อลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศ จะเกิดออกไซด์เป็นฉนวนฟิล์มบางๆ ป้องกันการสึกกร่อน แต่ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

ฉนวน

ทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรง ระหว่างตัวนำ หรือตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้า จะเกิดพลังงานสูญเสีย ในรูปความร้อน ซึ่งจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อน ของฉนวน จะเป็นตัวกำหนด ความสามารถในการทน ความร้อนของสายไฟฟ้านั่นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวน จะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน แรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน พีวีซี (PVC) และ เอ็กซ์แอลพีอี (XLPE)

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณภูมิสูงสุดขณะที่ใช้(°C)	70	90
พิกัดอุณภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร(°C)	120	250
ค่าคงไดอิเล็กตริก	6	2.4
ความหนาแน่น(g/cm³)	1.4	0.92
ความนำความร้อน(cal/cm.sec°C)	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง(kg/mm²)	2.5	3

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0001.html)

ประเภทของสายไฟฟ้าแรงดันสูง

เป็นตัวนำตีเกลียวมีขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สายเปลือย **และสายหุ้มฉนวน**

1. สายเปลือย สายชนิดนี้ใช้กับแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงนิยมใช้กับแรงดันสูงและ มักทำจากสายอลูมิเนียมเพราะน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่สายอลูมิเนียมล้วนสามารถรับแรงดึงได้ต่ำ จึงได้พัฒนาให้สามารถรับแรงดึงให้สูงขึ้น โดยเสริมแกนเหล็กหรือวัสดุอื่น สายเปลือยที่นิยมใช้ปัจจุบันได้แก่

- **สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)**
- **สายอลูมิเนียมผสม (AAAC)**
- **สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)**

รูปที่ 2.12 สายเปลือย

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0002.html)

2. สายหุ้มฉนวน ในการเดินสายแรงสูงผ่านที่อยู่อาศัย เพื่อความปลอดภัยต้องใช้สายที่มีฉนวนหุ้มซึ่งทำให้มีความเชื่อถือสูงขึ้น ที่นิยมใช้มีดังนี้

- สาย พีไอซี (PIC: Partial Insulated Cable)
- สาย เอสเอซี (SAC: Space Aerial Cable)
- สาย พีเอซี (PAC: Preassembly Aerial Cable)
- สาย คลอสลิงค์ โพลีเอทีลีน (XLPE: Cross-linked Polyethylene)

รูปที่ 2.13 สายหุ้มฉนวน

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0003.Html)

3. สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ เป็นสายหุ้มฉนวน ทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม โดยทั่วไปเป็นสายทองแดงสายขนาดเล็กจะเป็นตัวนำเดี่ยว

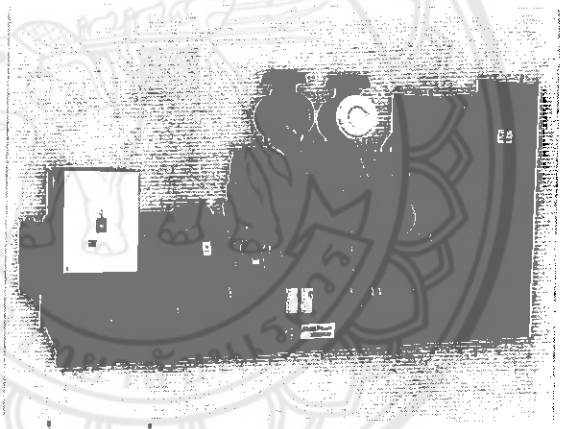
รูปที่ 2.14 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/wire/0004.Html)

2.2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก คือ การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่แม่เหล็กผ่านขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ฟิลด์ และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ฟิลด์จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ อาเมเจอร์จะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ฟิลด์และอาเมเจอร์ สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่หมุนโดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก จะสามารถสร้างได้ทั้งแบบฟิลด์และอาเมเจอร์หมุน แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ จะสร้างได้แต่แบบอาเมเจอร์อยู่กับที่เท่านั้น เพราะจะมีปัญหาน้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองตัวคือ ความเร็วรอบและเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

(http://www.thaiengineering.com/webboard/image/1188306234C82.jpg)

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้โดย การปรับความเข้มของสนามแม่เหล็ก และเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับการเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะจะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สามารถทำได้เพียงการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่านั้น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 2 ชนิด

1. ชนิดกระแสตรงเรียกว่า ไดนาโม (Dynamo)

2. ชนิดกระแสสลับเรียกว่า อัลเตอร์เนเตอร์ (Alternator)

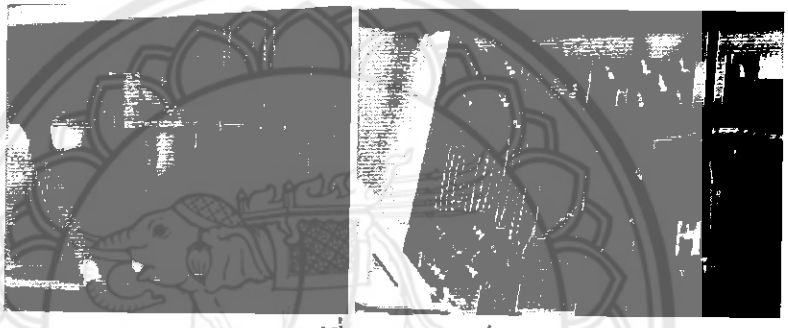
สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมนั้น โดยมากจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ซึ่งมีทั้งแบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส โดยเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด

ใหญ่ที่ใช้ตามโรงไฟฟ้าจะเป็นเครื่องกำเนิดแบบ 3 เฟสทั้งหมด เนื่องจากสามารถผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เป็นสามเท่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 1 เฟส

2.2.6 บัสบาร์ (Busbar)

มีทั้งชนิดที่ตัวนำทำด้วยทองแดงและอลูมิเนียม รูปร่างของบัสบาร์ที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นแบบแฟลต (Flat) คือมีพื้นที่หน้าตัด เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากติดตั้งง่าย ระบายความร้อนดี แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- บัสบาร์แบบเปลือย
- บัสบาร์แบบทาสี



รูปที่ 2.16 บัสบาร์

(http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/switchboard/mdb.html)

ข้อแนะนำในการใช้บัสบาร์

บัสบาร์ควรวางในแนวดิ่งจึงจะระบายความร้อนได้ดี บัสบาร์แบบแฟลต (Flat) ควรขนานกันไม่เกิน 4 แท่งถ้ามากกว่านี้จะมีปัญหาเรื่องสกินเอฟเฟค (Skin Effect) บัสบาร์แบบทาสีสีที่ใช้ทาเคลือบบัสบาร์ควรมีสัมประสิทธิ์การระบายความร้อนสูงประมาณ 0.9 บัสบาร์ แบบทาสี นำกระแสได้สูงกว่าบัสบาร์แบบเปลือยกำหนดให้ใช้สีแดง เหลือง น้ำเงิน สำหรับเฟส R, Y, B ตามลำดับการเรียงเฟสในสวิตซ์บอร์ด (R, Y, B) ให้เรียงจากด้านหน้าไปยังด้านหลังตู้, จากบนลงล่าง หรือจากซ้ายไปขวาการเรียงเฟสลักษณะอื่น อนุญาตเฉพาะการเชื่อมต่อกับระบบที่มีอยู่แล้วแต่ต้องทำเครื่องหมายให้เห็นชัดเจน

2.3 โปรแกรม Digsilent Power Factory

โปรแกรม Digsilent Power Factory นั้นเป็นโปรแกรมที่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย เพราะถือว่าเป็นโปรแกรมค่อนข้างใหม่ โปรแกรมนี้ถือว่าเป็นโปรแกรมที่มีความสมบูรณ์ทางระบบไฟฟ้าโปรแกรมหนึ่ง

ข้อมูลที่เกี่ยวกับ Digsilent Power Factory

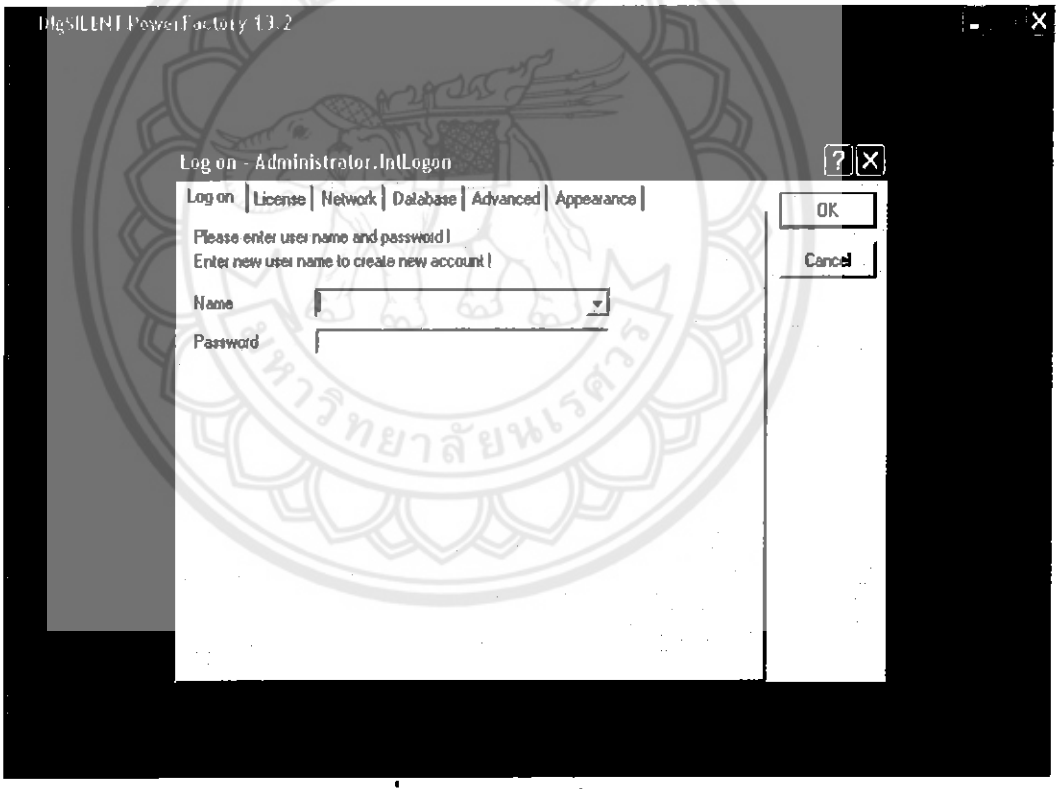
โปรแกรม Digsilent Power Factory เป็นโปรแกรมที่มาจากประเทศเยอรมัน ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สมบูรณ์อีกทั้งยังมีความสามารถทางระบบไฟฟ้าอยู่ในขั้นสูง ในกรณีศึกษาผู้จัดทำได้จำลองสร้างระบบไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าได้แก่สภาวะเริ่มต้นของระบบไฟฟ้า การลัดวงจรโดยใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory มาใช้วิเคราะห์ โปรแกรม Digsilent Power Factory สามารถวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า สร้างแบบจำลอง สร้างระบบควบคุม ของมอเตอร์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำหนดชนิดของอุปกรณ์อื่น ๆ ของระบบไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ก่อนนำมาใช้งานจริง

บทที่ 3
การออกแบบโครงงาน และวิธีการดำเนินงาน

การใช้งานโปรแกรม Digsilent Power Factory และการสร้างสถานะทดลองเบื้องต้นสำหรับจำลองระบบไฟฟ้าเพื่อการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้คือ

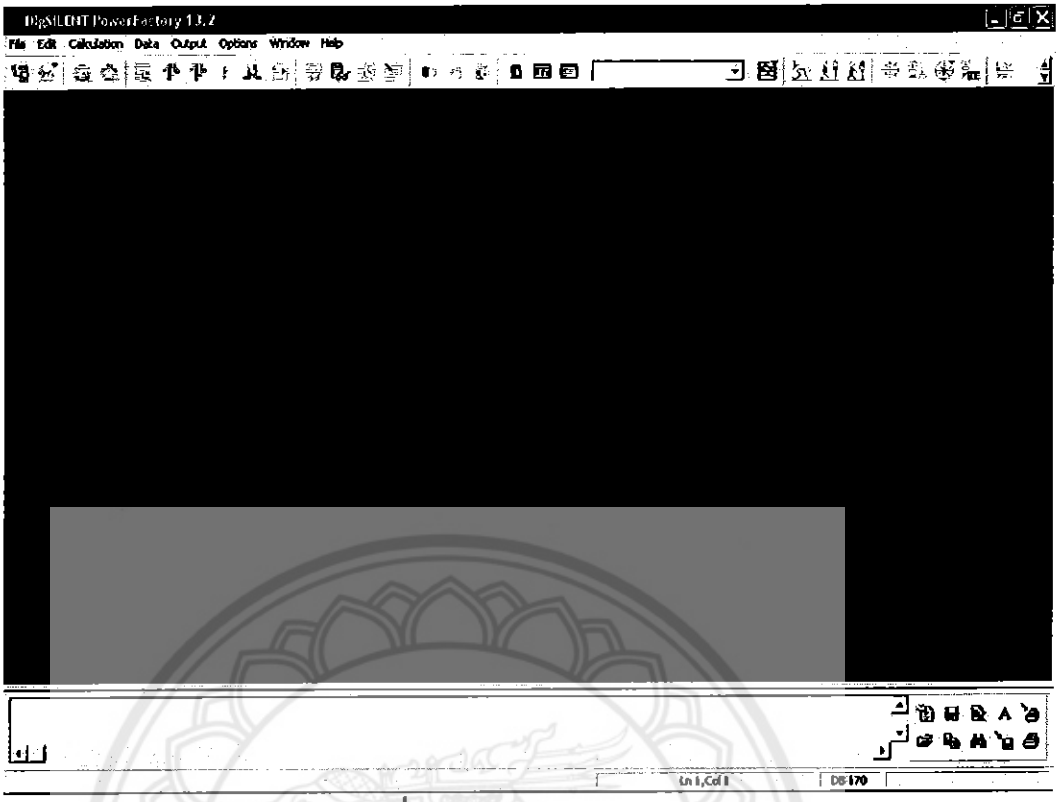
3.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Digsilent Power Factory

การใช้งานโปรแกรม Digsilent Power Factory ต้องใช้ภายในระบบเครือข่ายของภาควิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์เนื่องจากโปรแกรมมีการตรวจสอบลิขสิทธิ์ผ่านทางเครือข่าย ซึ่งเมื่อเปิดโปรแกรมต้องใส่ชื่อผู้ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

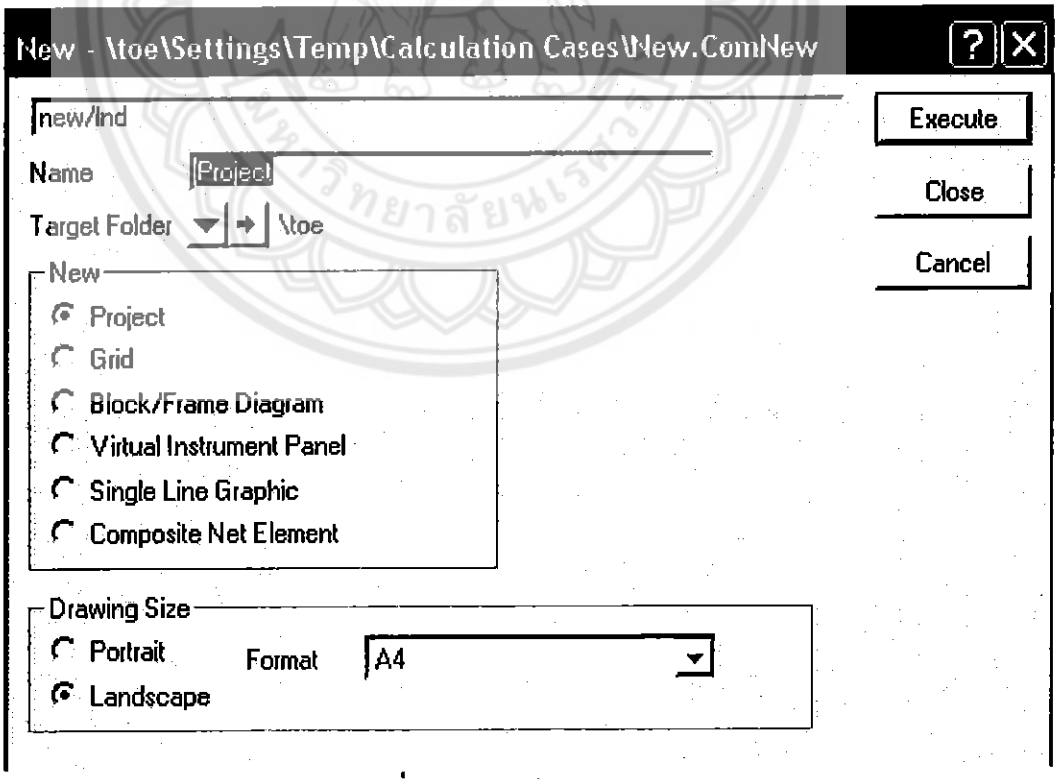


รูปที่ 3.1 แสดงการเข้าโปรแกรม

ซึ่งเมื่อเข้าโปรแกรมได้แล้วจะพบหน้าจอของโปรแกรมซึ่งยังเป็นหน้าจอว่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และจะต้องทำการสร้าง Project ขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สร้างสถานะทดลองเบื้องต้น ทดสอบระบบที่เราต้องการ โดยไปที่ File > New แล้วจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาให้เราตั้งชื่อและคุณสมบัติที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 3.3

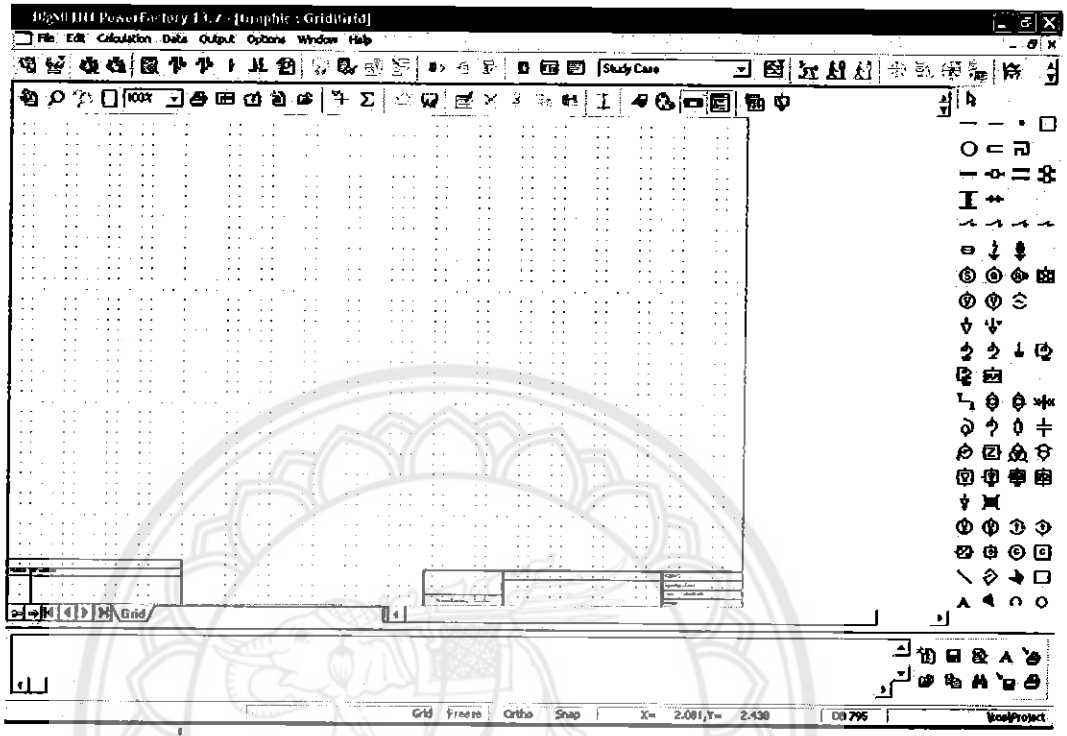


รูปที่ 3.2 หน้าจอของโปรแกรม



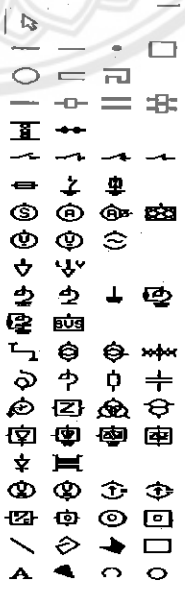
รูปที่ 3.3 การสร้างรายงานใหม่

หลังจากนั้นจะได้หน้าจอสำหรับสร้างแบบการทดสอบ และส่วนของการทดสอบระบบที่เราสร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าจอสำหรับสร้างแบบการทดสอบและทดสอบระบบไฟฟ้า

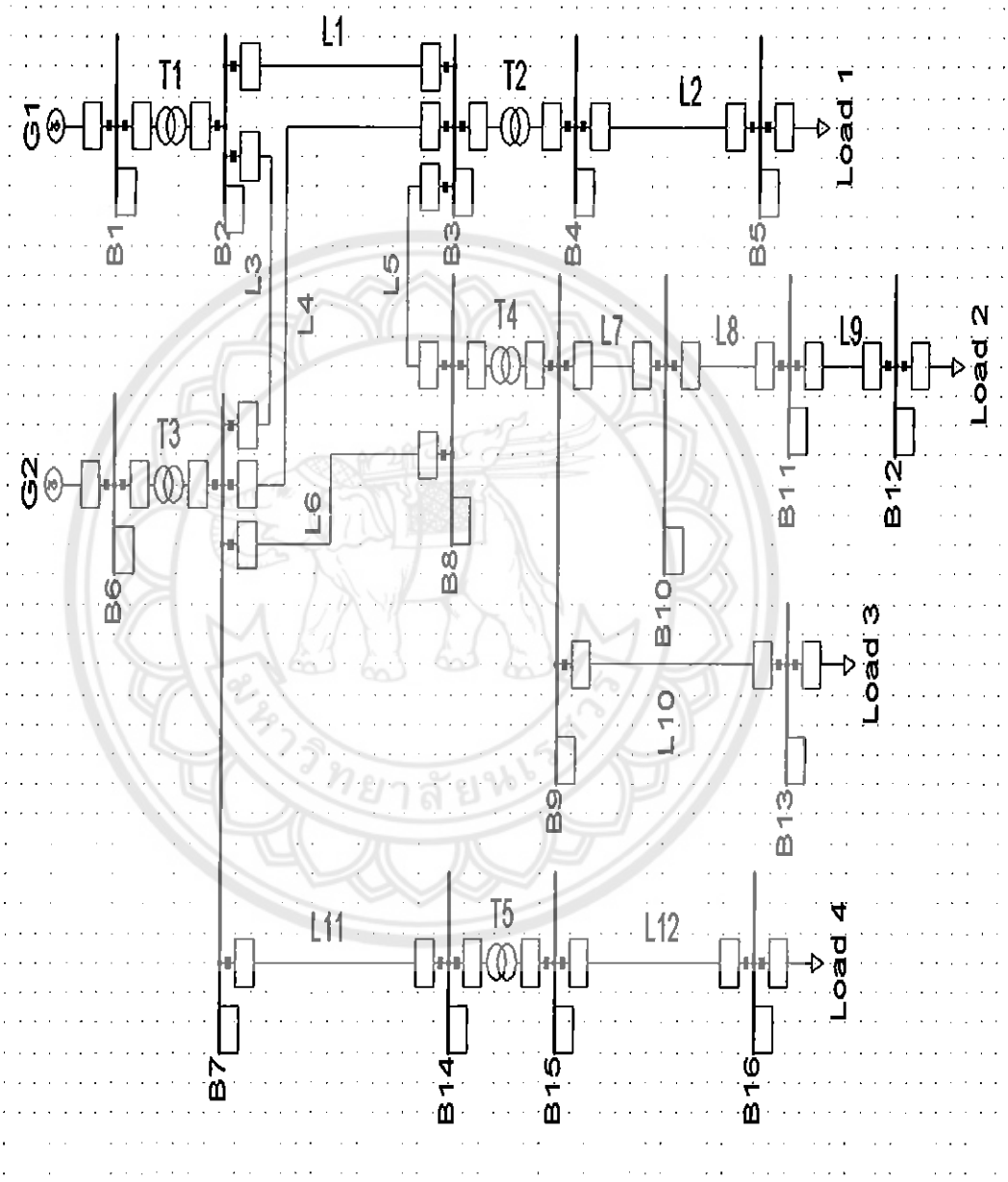
หลังจากนั้นจึงใช้เครื่องมือทางด้านขวามือสร้างแบบการทดสอบที่เราต้องการ โดยเครื่องมือที่ใช้สร้าง แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องมือสำหรับสร้างแบบการทดสอบ

3.2 การออกแบบสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า

การสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีอุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในรูป มีวิธีสร้างและกำหนดค่าในอุปกรณ์ก่อนที่จะได้มาเป็นแบบจำลองระบบไฟฟ้ามีการกำหนดค่าต่อไปนี้



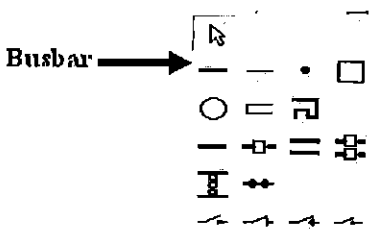
รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองระบบไฟฟ้า

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปล.
จ354ก
2550
เลขหมู่ 7185.

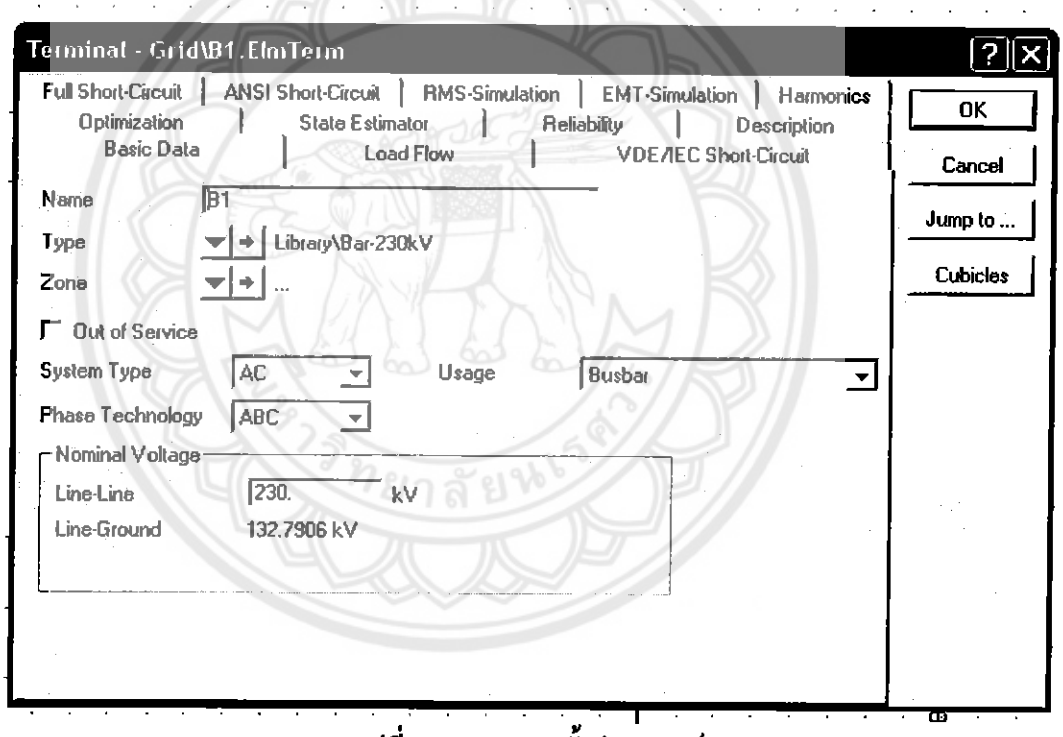
3.2.1 การสร้างและกำหนดค่าบัสบาร์

ในการสร้างเลือกอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.7 แสดงบัสบาร์

จากนั้นนำมาสร้างดังรูป



รูปที่ 3.8 แสดงการตั้งค่าบัสบาร์

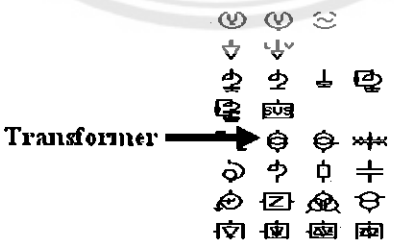
<u>การกำหนดข้อมูลของแต่ละบัสบาร์มีทั้งหมด 16 บัสบาร์กำหนดดังนี้</u>

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของแต่ละบัสบาร์

บัสบาร์	ชนิดของเฟส	แรงดันระหว่างสาย (kV)
B1	ABC	230
B2	ABC	69
B3	ABC	69
B4	ABC	16
B5	ABC	16
B6	ABC	230
B7	ABC	69
B8	ABC	69
B9	ABC	16
B10	ABC	16
B11	ABC	16
B12	ABC	16
B13	ABC	16
B14	ABC	69
B15	ABC	16
B16	ABC	16

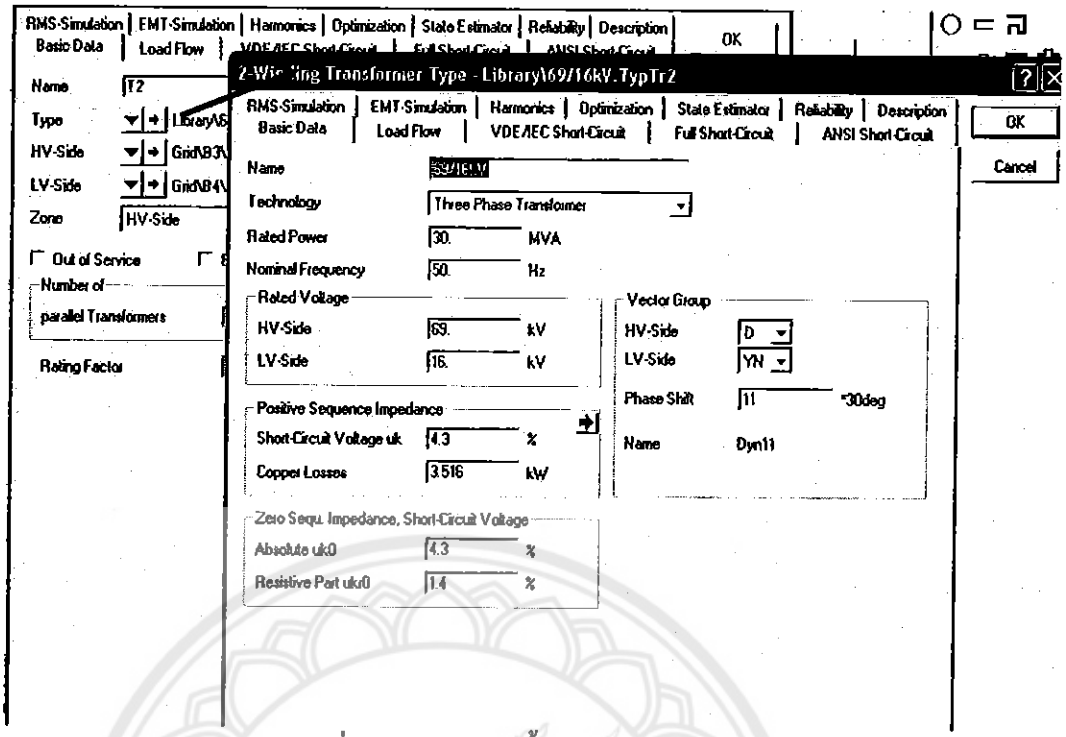
3.2.2 การสร้างและการกำหนดค่าในหม้อแปลงไฟฟ้า

เลือกอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดงเครื่องมือหม้อแปลงไฟฟ้า

นำมาสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 3.10 แสดงการตั้งค่าหม้อแปลงไฟฟ้า

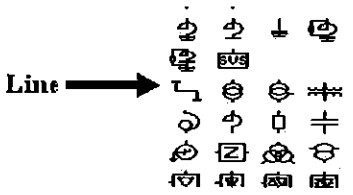
การกำหนดข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงไฟฟ้ามีทั้งหมด 5 ตัวกำหนดดังนี้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงไฟฟ้า

ชื่อหม้อแปลงไฟฟ้า	ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (MVA)	แรงดันหม้อแปลงไฟฟ้า (kV)	ชนิดหม้อแปลงไฟฟ้า
T1	100	230/69	สามเฟส
T2	30	69/16	สามเฟส
T3	100	230/69	สามเฟส
T4	30	69/16	สามเฟส
T5	30	69/16	สามเฟส

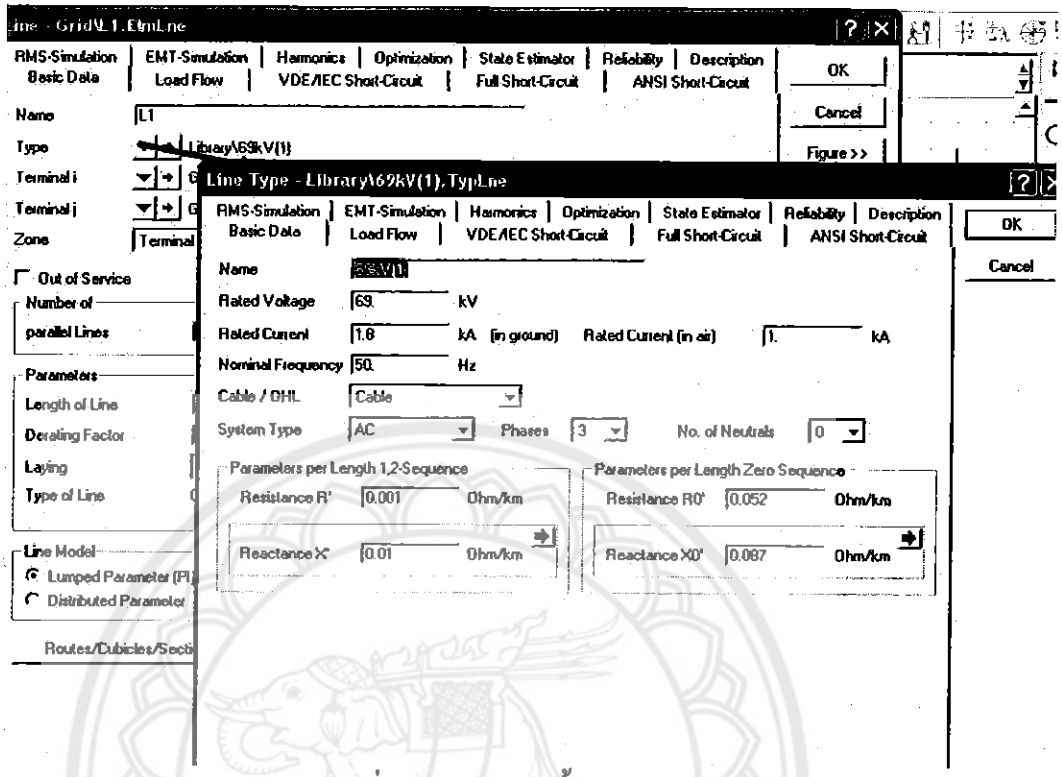
3.2.3 การสร้างและการกำหนดค่าในสายไฟฟ้า

เลือกอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องมือสายไฟฟ้า

นำมาสร้างสายไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 3.12 แสดงการตั้งค่าสายไฟฟ้า

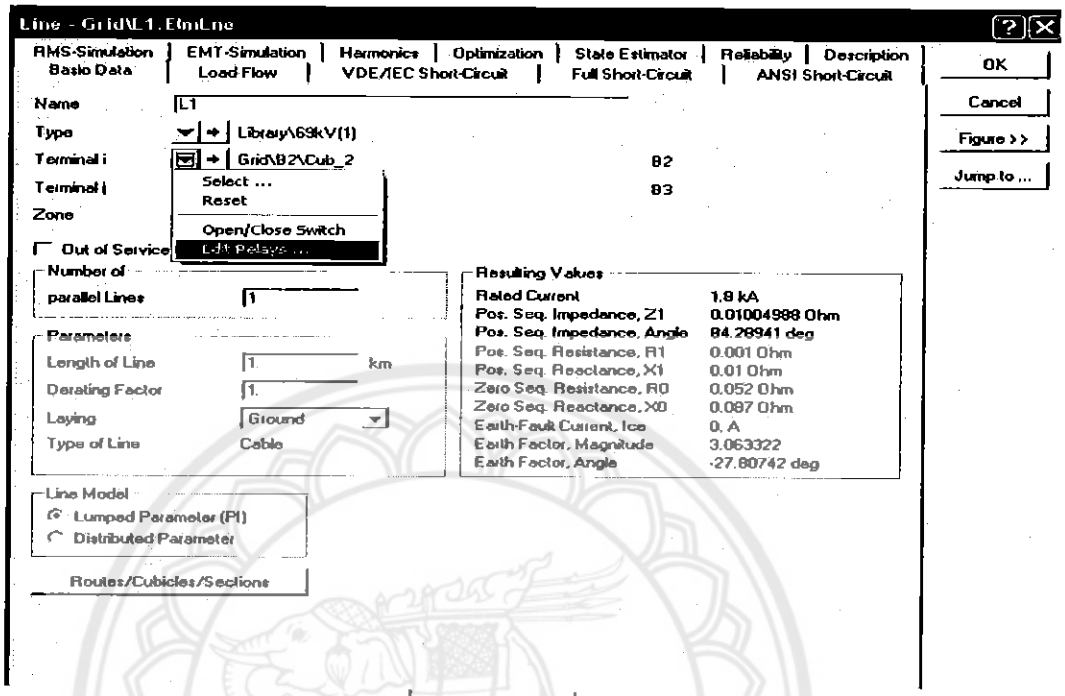
การกำหนดข้อมูลของแต่ละสายไฟฟ้ากำหนดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลของแต่ละสายไฟฟ้า

ชื่อสายไฟ	แรงดันสายไฟ (kV)	ค่าพารามิเตอร์ (R', X')
L1	69	0.001, 0.010
L2	16	0.000 , 0.010
L3	69	0.005 , 0.009
L4	69	0.010 , 0.070
L5	69	0.010 , 0.070
L6	69	0.000 , 0.005
L7	16	0.000 , 0.050
L8	16	0.000, 0.050
L9	16	0.000 , 0.010
L10	16	0.000 , 0.005
L11	69	0.001 , 0.005
L12	16	0.000 , 0.010

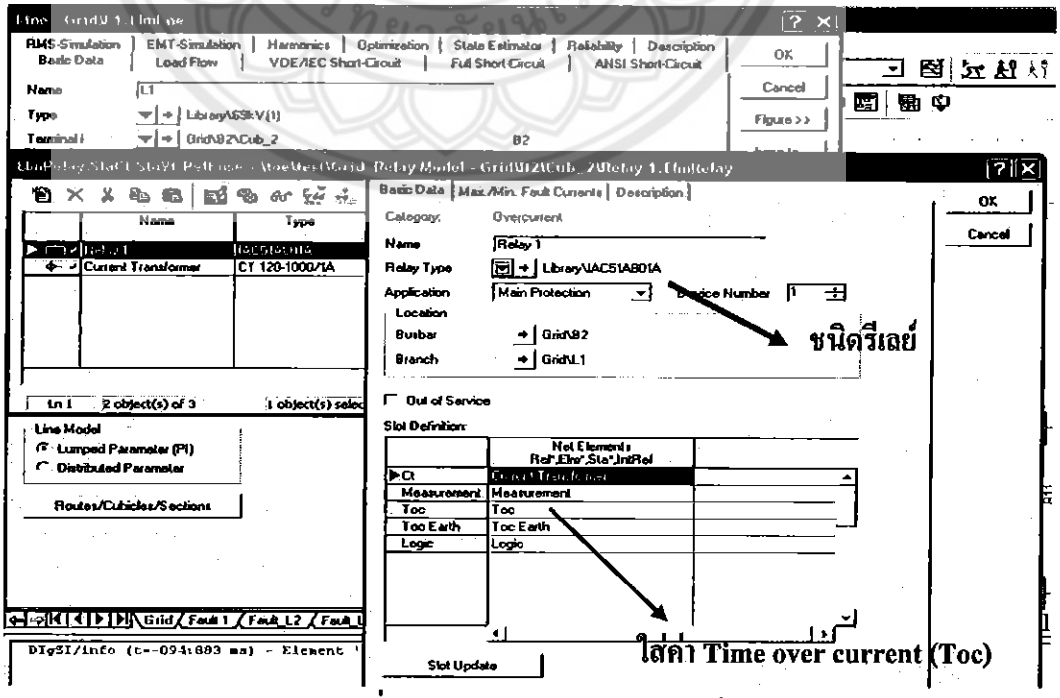
3.2.4 การสร้างและกำหนดค่ารีเลย์

เลือกอุปกรณ์รีเลย์



รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องมือรีเลย์

นำมาสร้างรีเลย์ดังรูป



รูปที่ 3.14 แสดงการกำหนดค่ารีเลย์

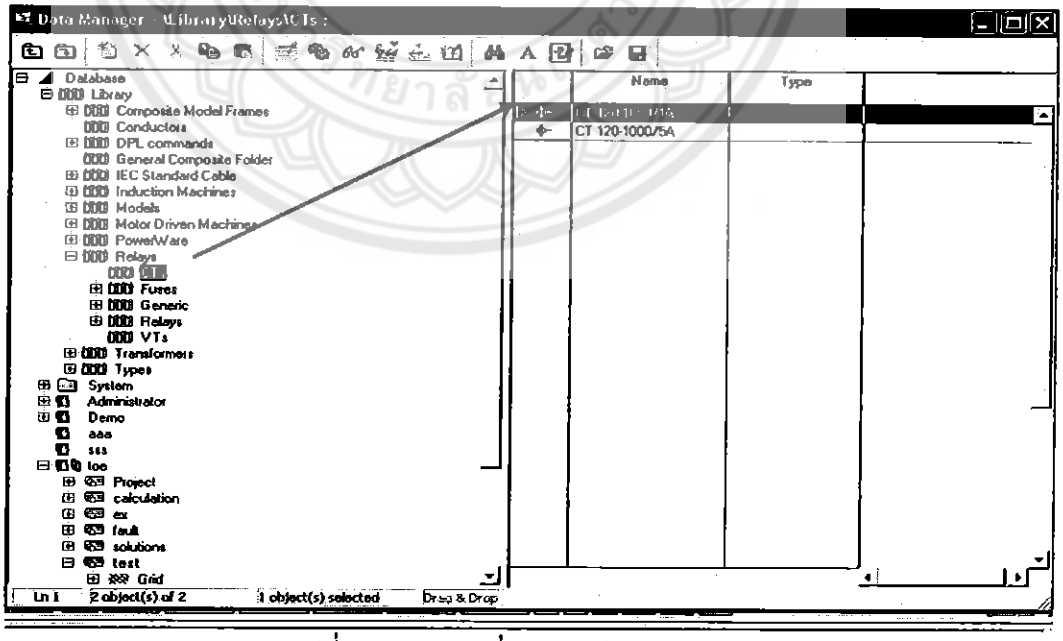
การกำหนดข้อมูลของแต่ละรีเลย์

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของแต่ละรีเลย์

ชื่อรีเลย์	ชนิด	Time Over current (sec.A)
Relay 1	IAC51A801A,General Electric	2.5
Relay 2	IAC51A801A,General Electric	1.5
Relay 3	IAC51A801A,General Electric	3
Relay 4	IAC51A801A,General Electric	2
Relay 6	IAC51A801A,General Electric	2
Relay 7	IAC51A801A,General Electric	1.5
Relay 8	IAC51A801A,General Electric	1.2
Relay 9	IAC51A801A,General Electric	0.5
Relay 10	IAC51A801A,General Electric	1.5
Relay 11	IAC51A801A,General Electric	2
Relay 12	IAC51A801A,General Electric	1.5

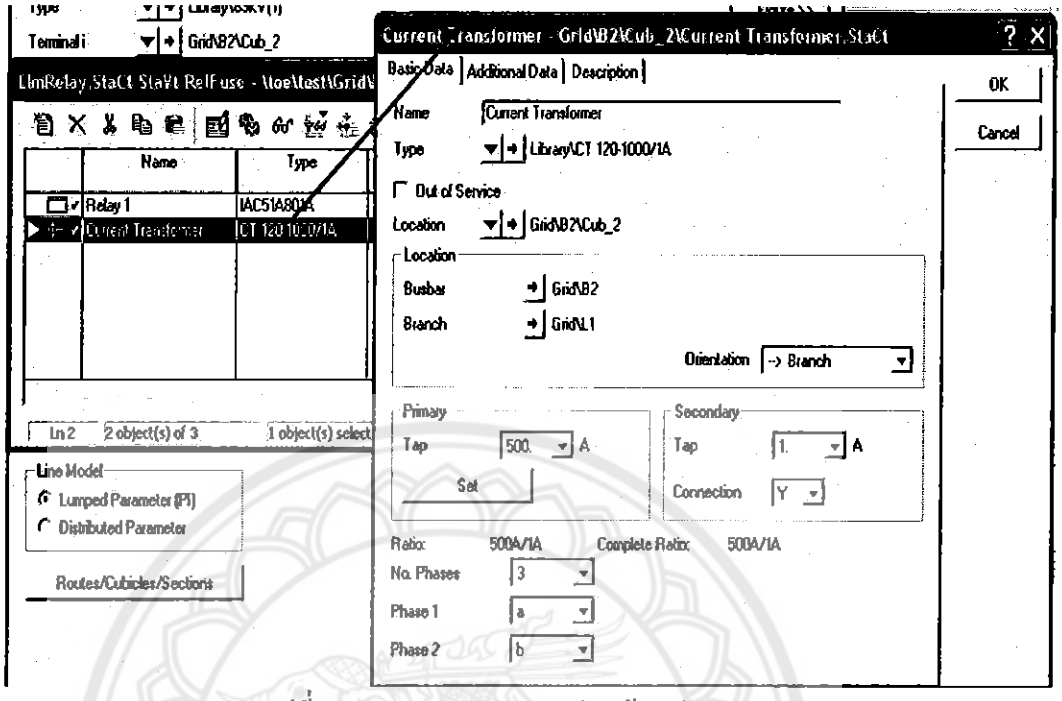
3.2.5 การสร้างและกำหนดหม้อแปลงกระแส

เลือกอุปกรณ์หม้อแปลงกระแส



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือหม้อแปลงกระแส

นำมาสร้างหม้อแปลงกระแสดังรูป



รูปที่ 3.16 แสดงการกำหนดค่าหม้อแปลงกระแส

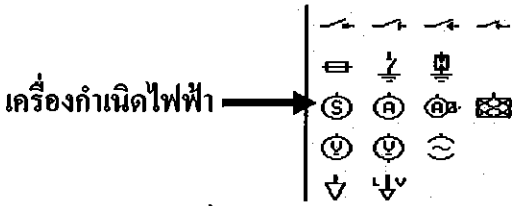
<u>การกำหนดข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงกระแสดังต่อไปนี้</u>

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลของแต่ละหม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแส	พิกัดหม้อแปลงกระแส (A)
CT-1	500A:1A
CT-2	300A:1A
CT-3	500A:1A
CT-4	500A:1A
CT-6	500A:1A
CT-7	300A:1A
CT-8	200A:1A
CT-9	120A:1A
CT-10	300A:1A
CT-11	500A:1A
CT-12	300A:1A

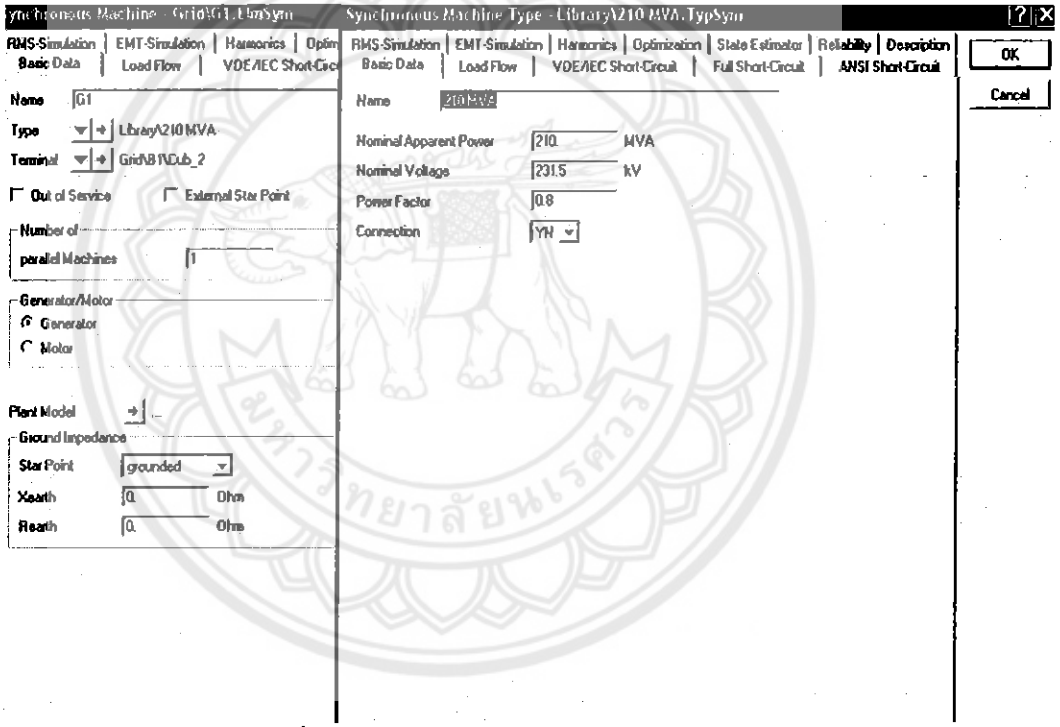
3.2.6 การสร้างและกำหนดค่าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เลือกอุปกรณ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องมือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

นำมาสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 3.18 แสดงการกำหนดค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

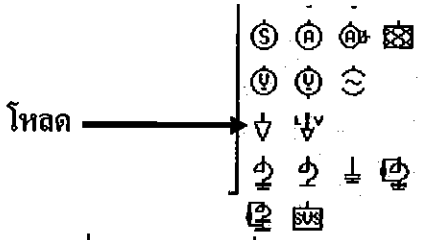
<u>การกำหนดข้อมูลของแต่ละเครื่องกำเนิดดังต่อไปนี้</u>

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MVA)	แรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (KV)	p.f.
G1	150	231.5	0.8
G2	150	230.9	0.8

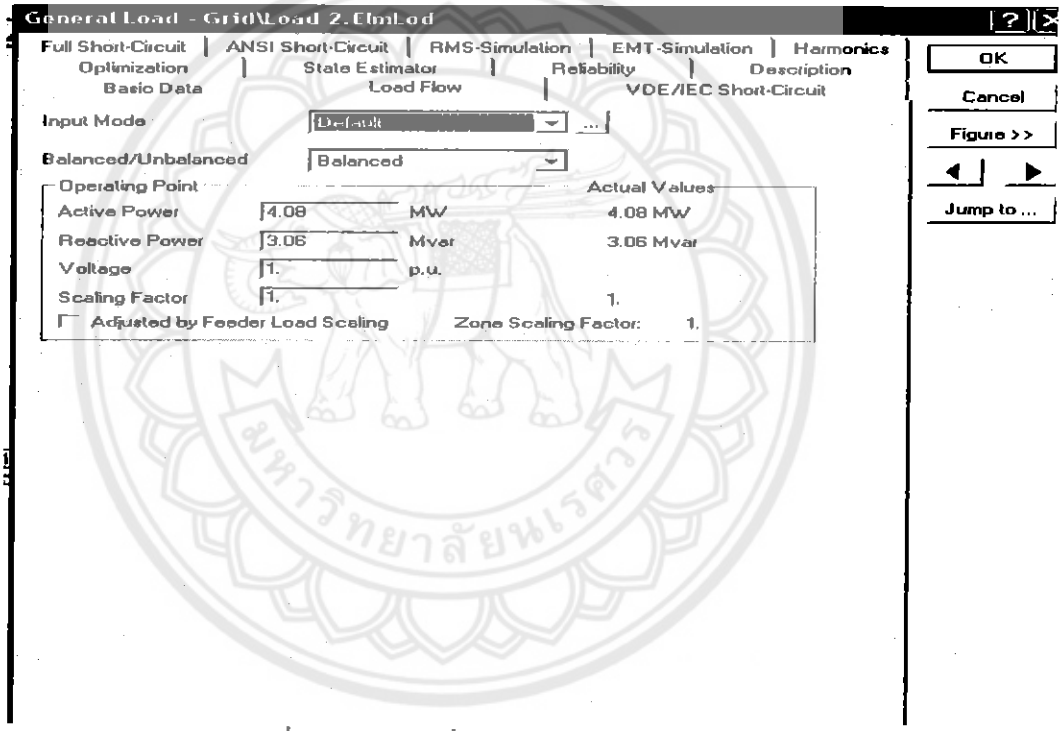
3.2.7 การสร้างและกำหนดค่าในโหลดไฟฟ้า

เลือกอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.19 แสดงเครื่องมืออุปกรณ์สร้างโหลดไฟฟ้า

นำมาสร้างโหลดไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 3.20 แสดงเครื่องมือการกำหนดค่าโหลดไฟฟ้า

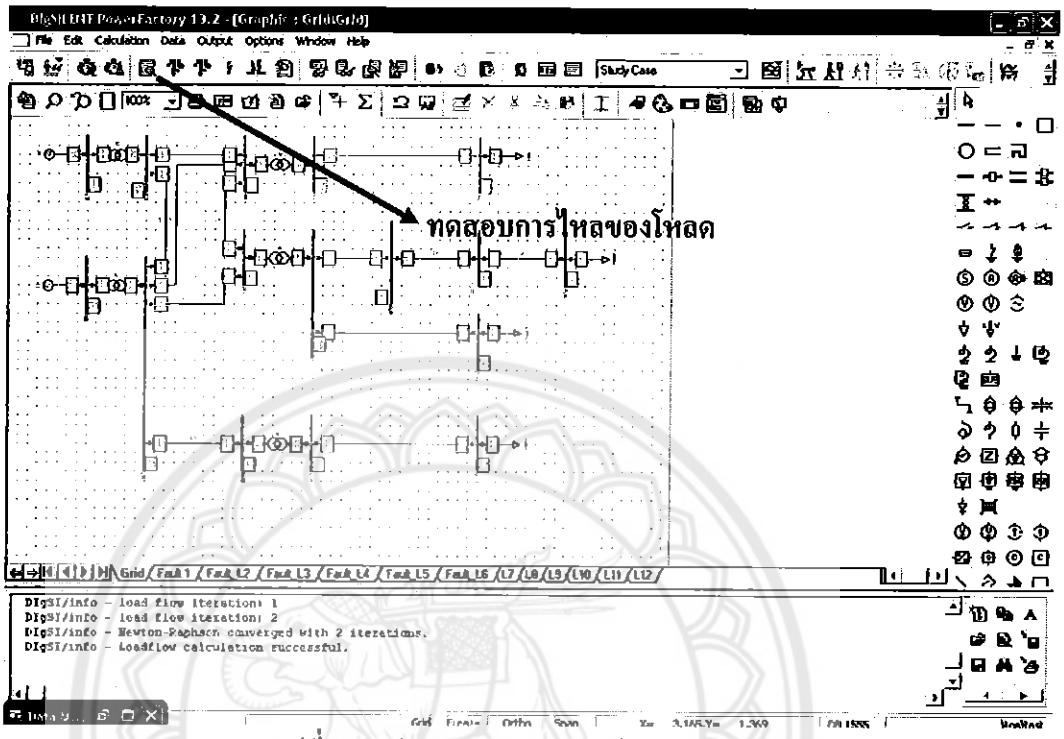
<u>การกำหนดข้อมูลของแต่ละโหลดไฟฟ้าดังต่อไปนี้</u>

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลของแต่โหลดไฟฟ้า

ชื่อ	Active Power (MW)	Reactive Power (Mvar)
Load 1	8	6
Load 2	4.08	3.06
Load 3	4.08	5.32
Load 4	8	6

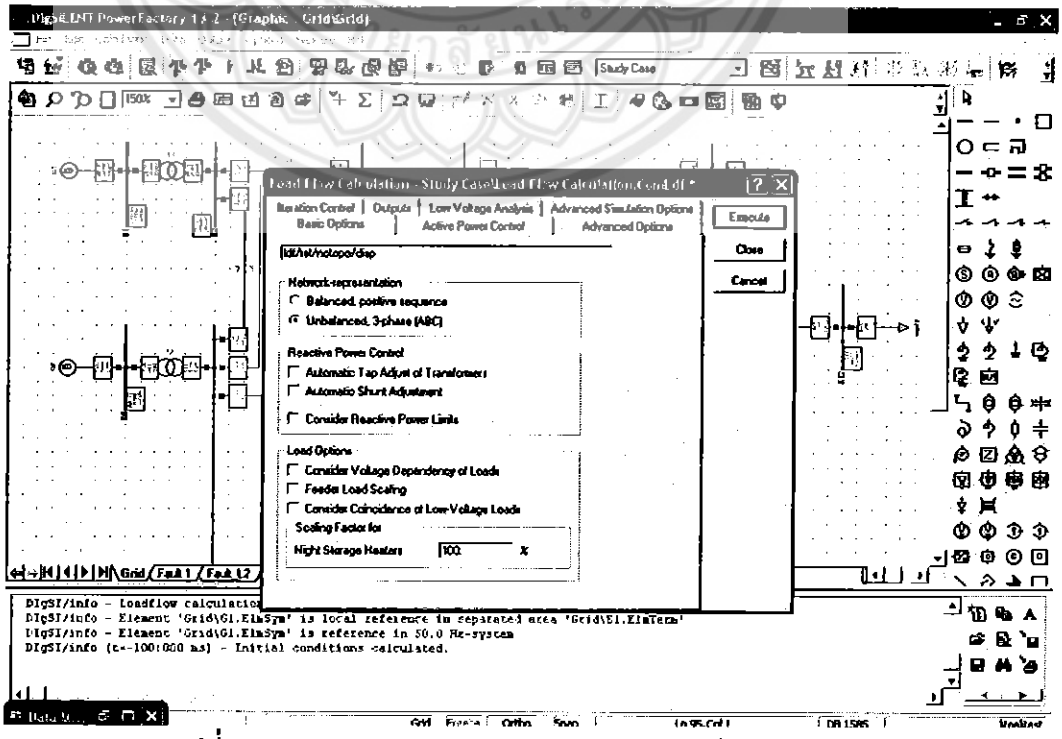
3.3 ทดสอบการไหลของโหลด

เมื่อทำการเขียนไดอะแกรมจำลองระบบที่ต้องการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 3.21 ส่วนของทดสอบการไหลของโหลด

จากนั้นกำหนดดังรูป

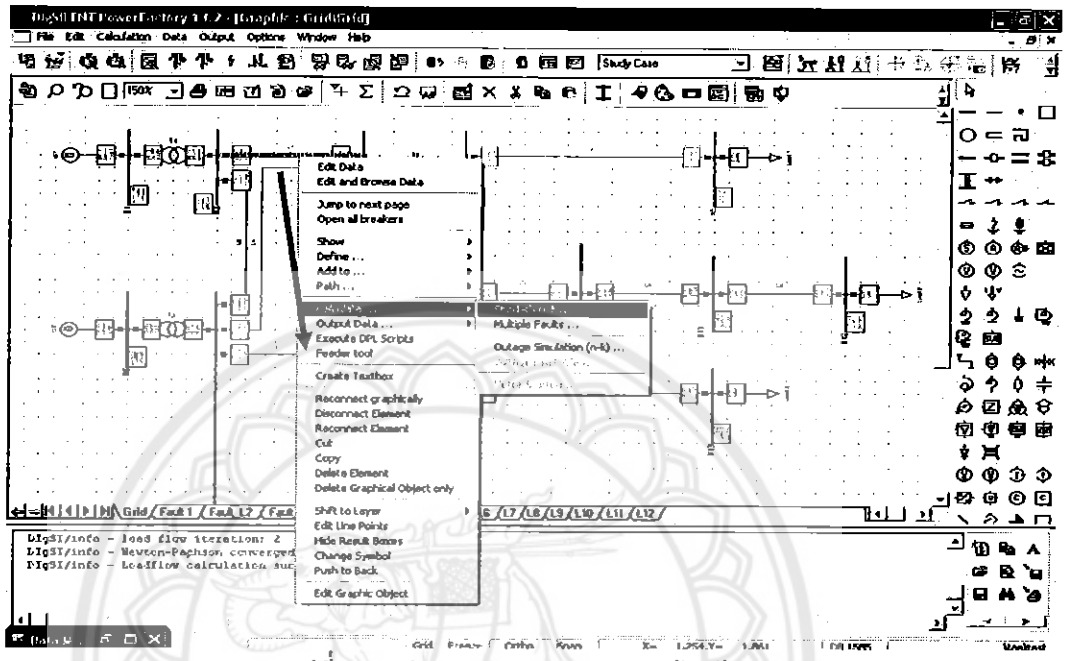


รูปที่ 3.22 ส่วนของการทดสอบการกำหนดค่าการไหลของโหลด

3.4 ทดสอบการลัดวงจรไฟฟ้า

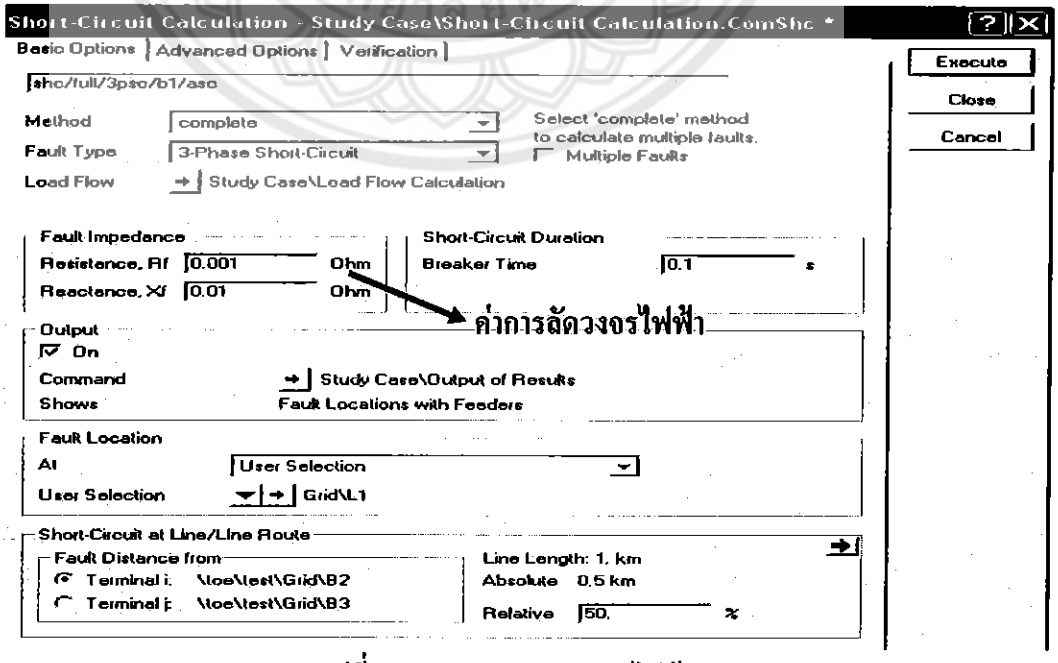
3.4.1 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L1

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.23 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L1

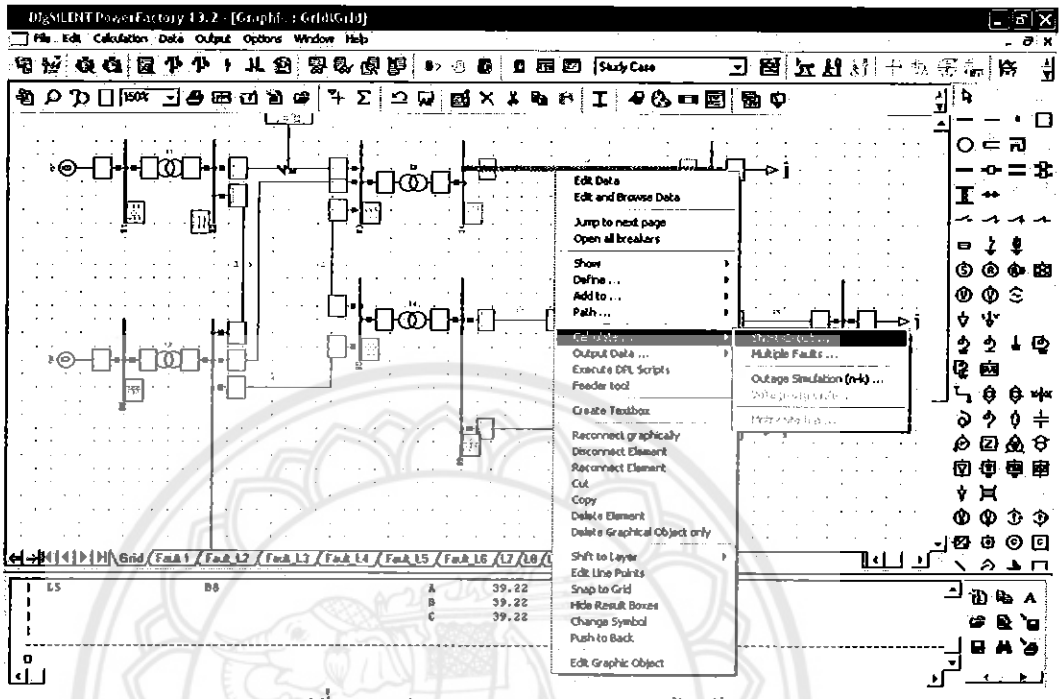
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L1



รูปที่ 3.24 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L1

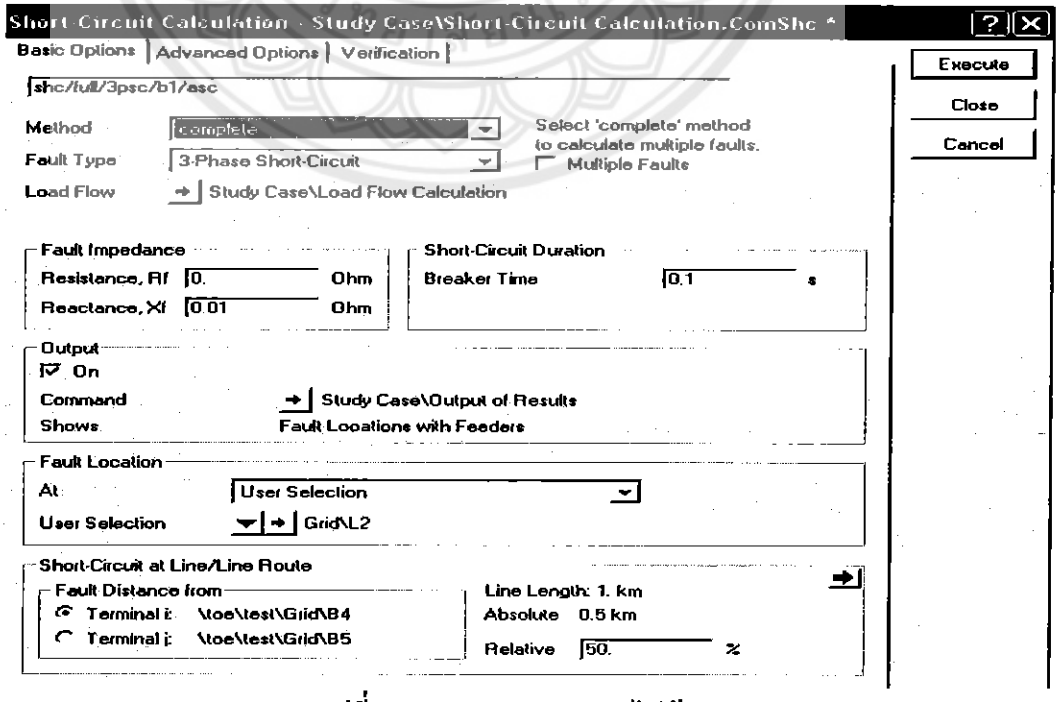
3.4.2 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L2

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.25 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L2

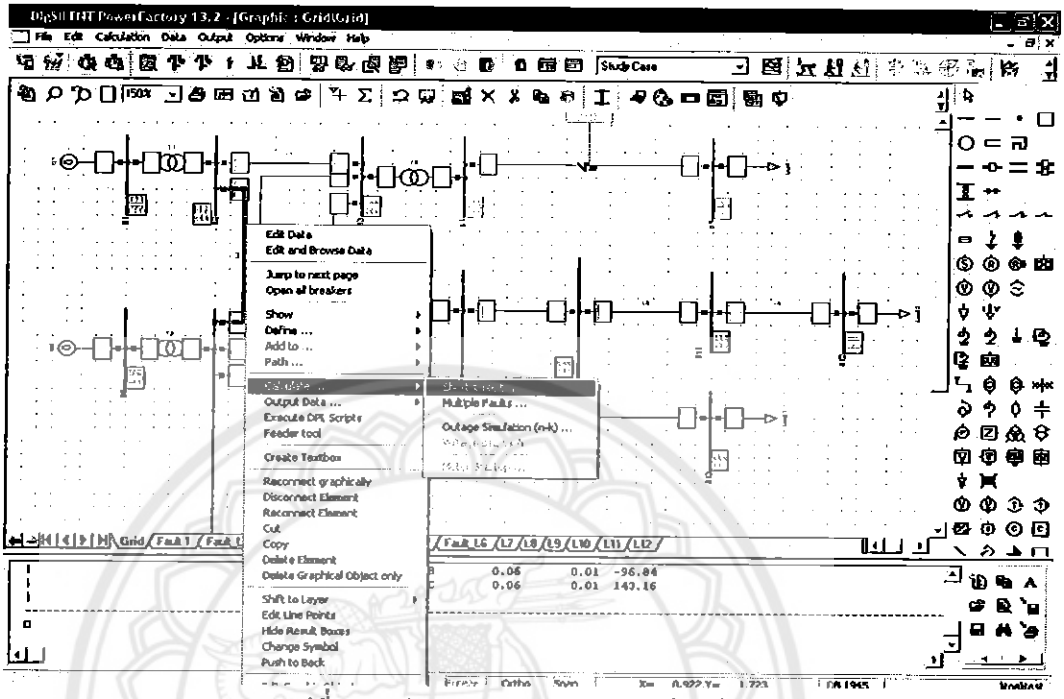
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L2



รูปที่ 3.26 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L2

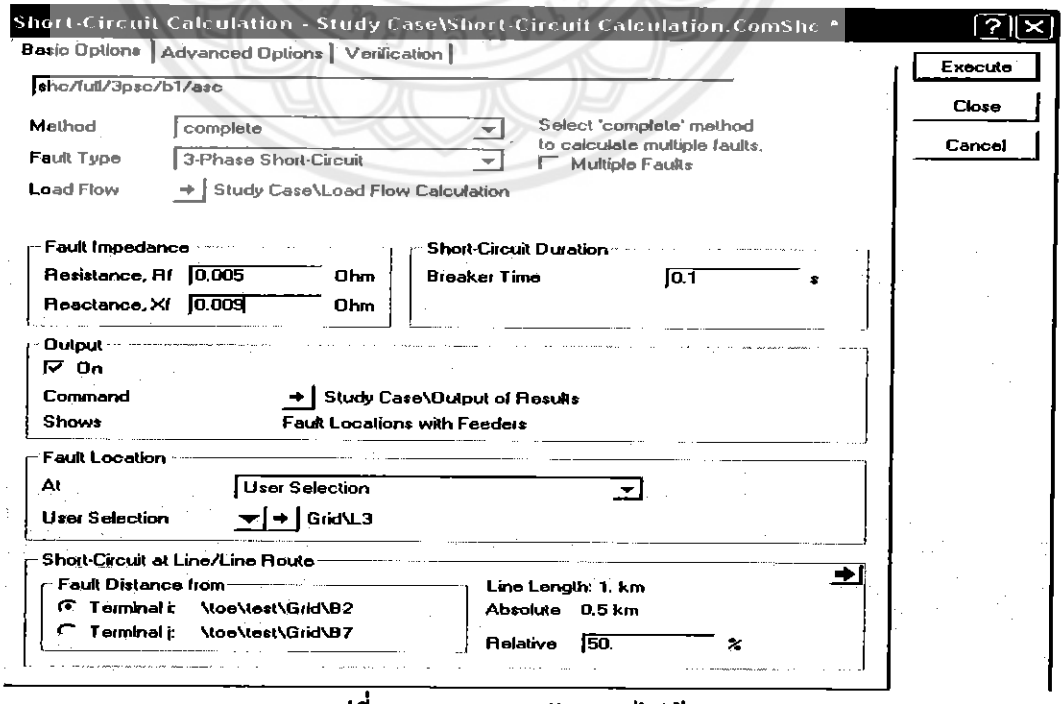
3.4.3 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L3

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.27 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L3

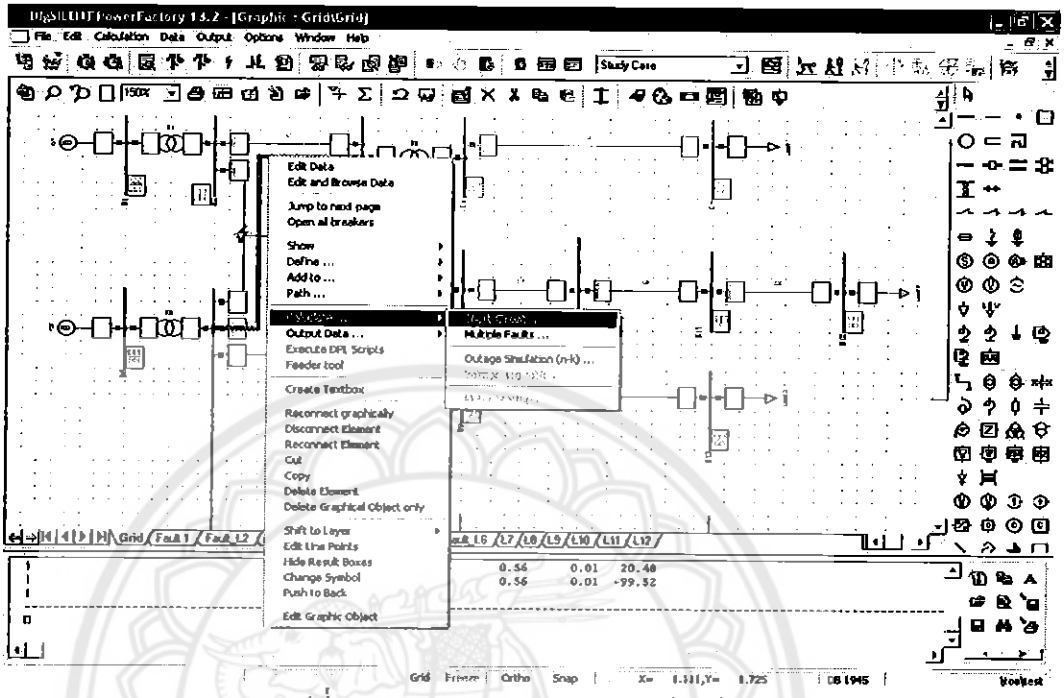
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L3



รูปที่ 3.28 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L3

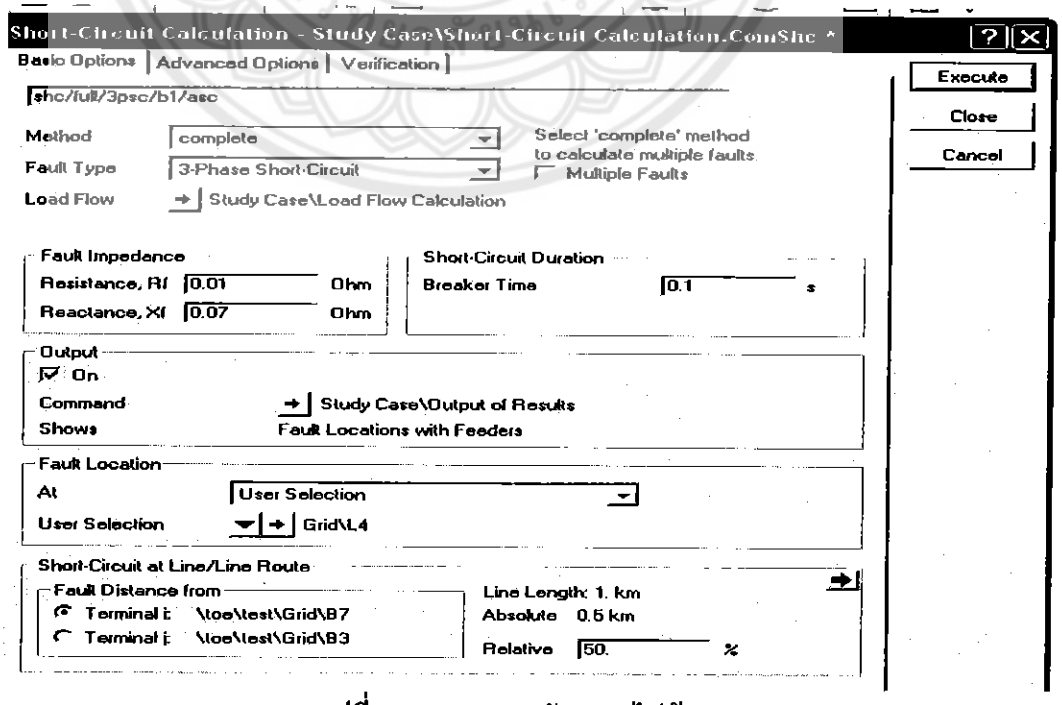
3.4.4 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L4

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.29 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L4

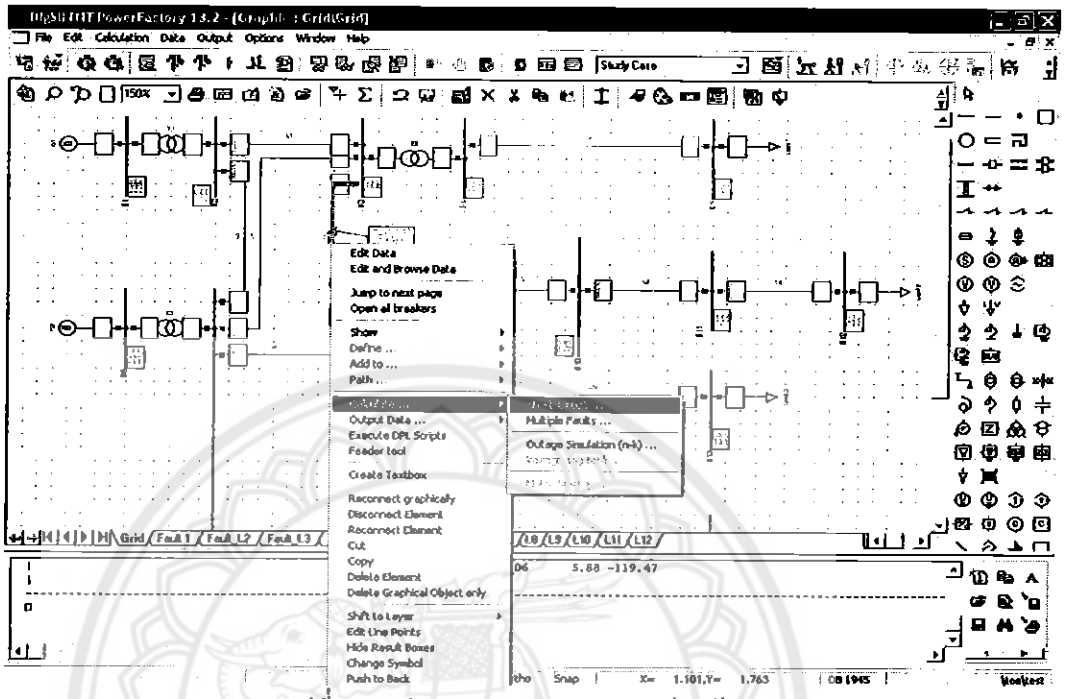
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L4



รูปที่ 3.30 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L4

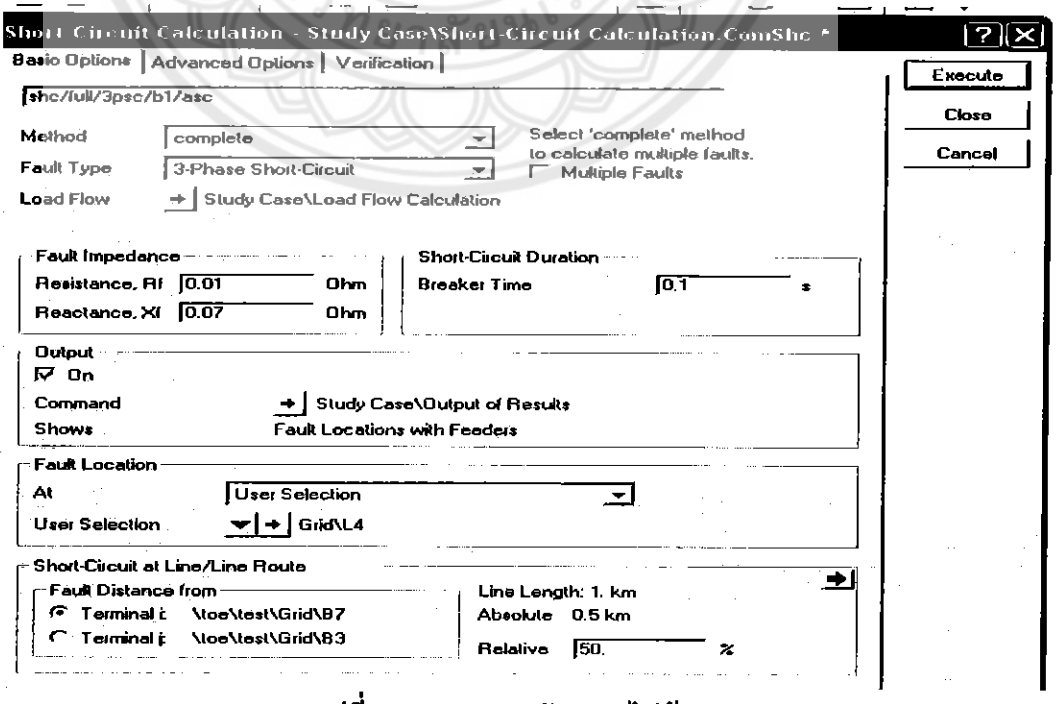
3.4.5 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L5

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.31 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L5

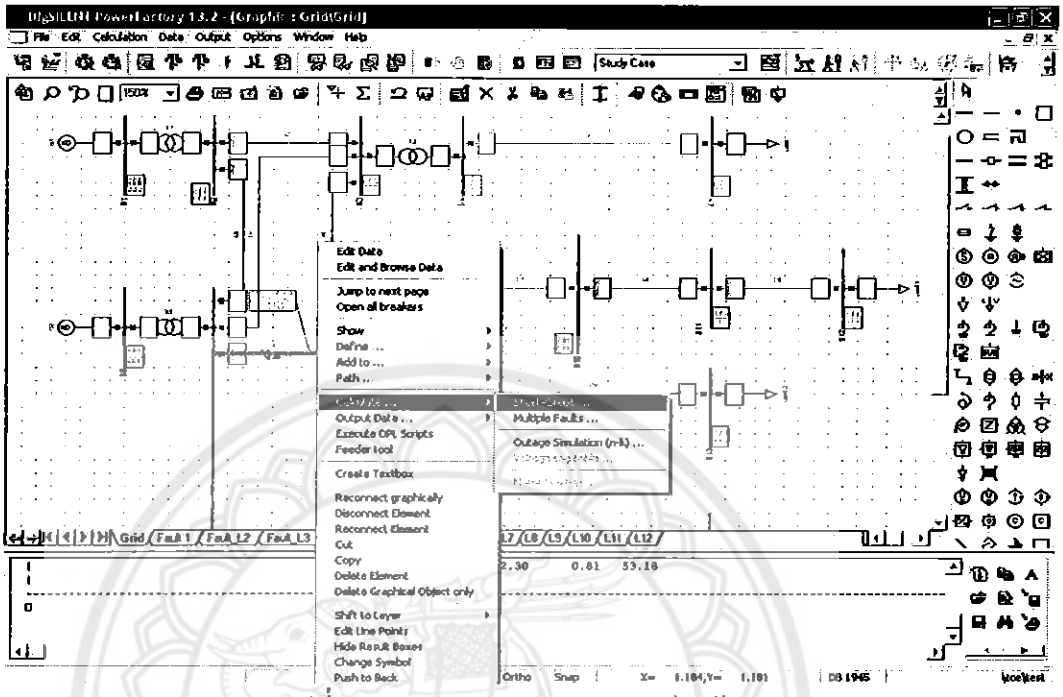
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L5



รูปที่ 3.32 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L5

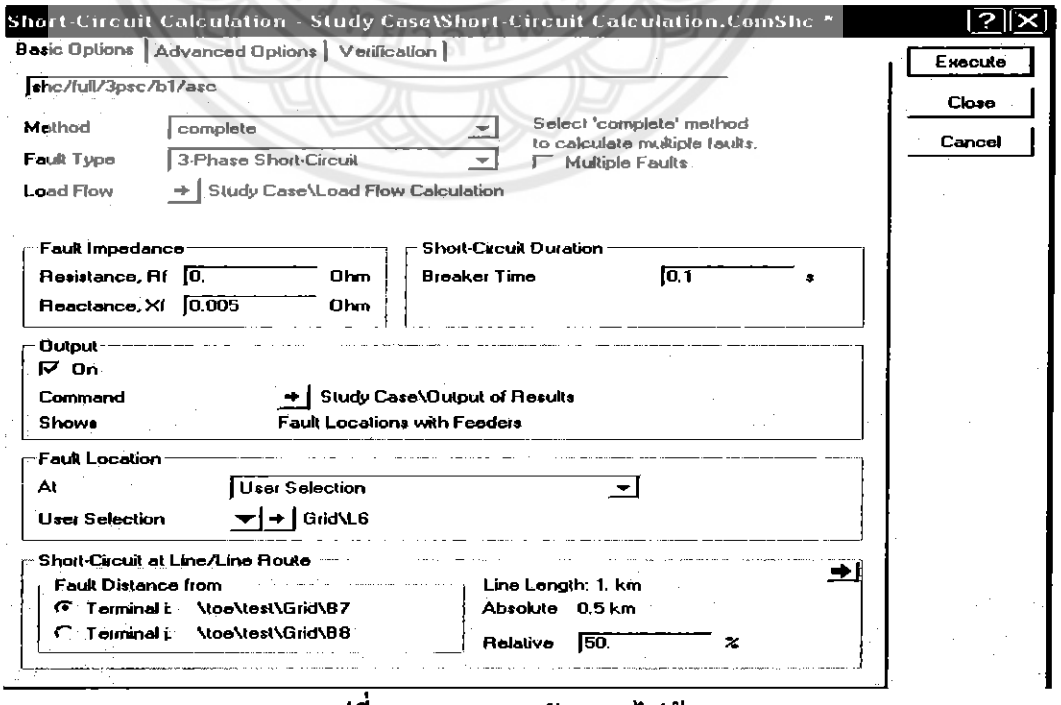
3.4.6 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L6

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.33 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L6

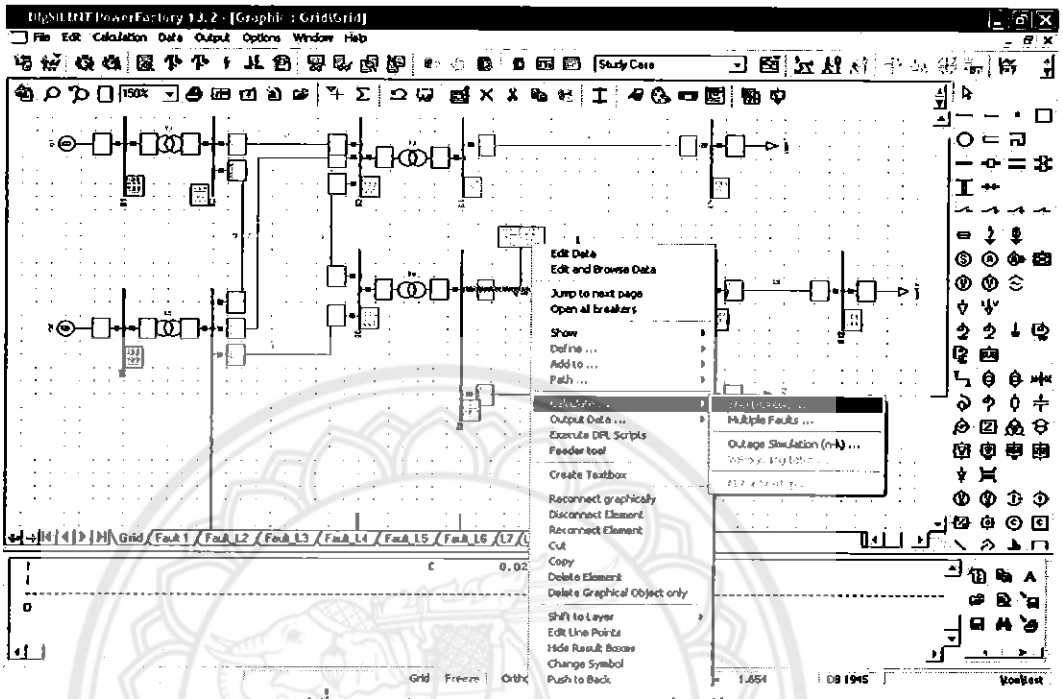
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L6



รูปที่ 3.34 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L6

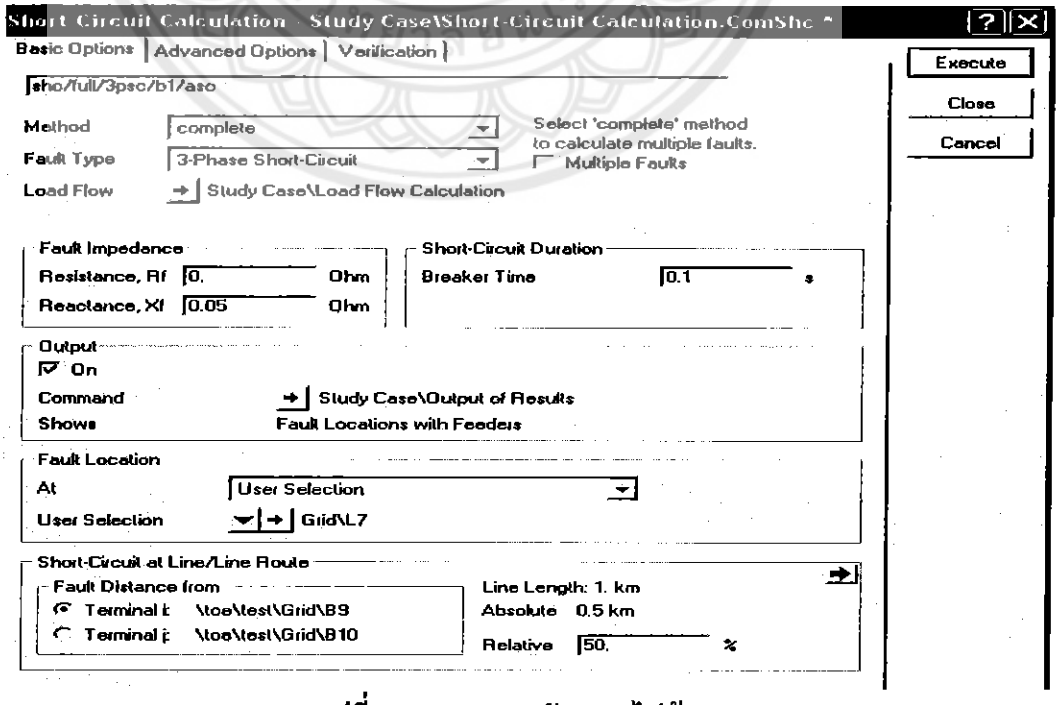
3.4.7 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L7

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.35 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L7

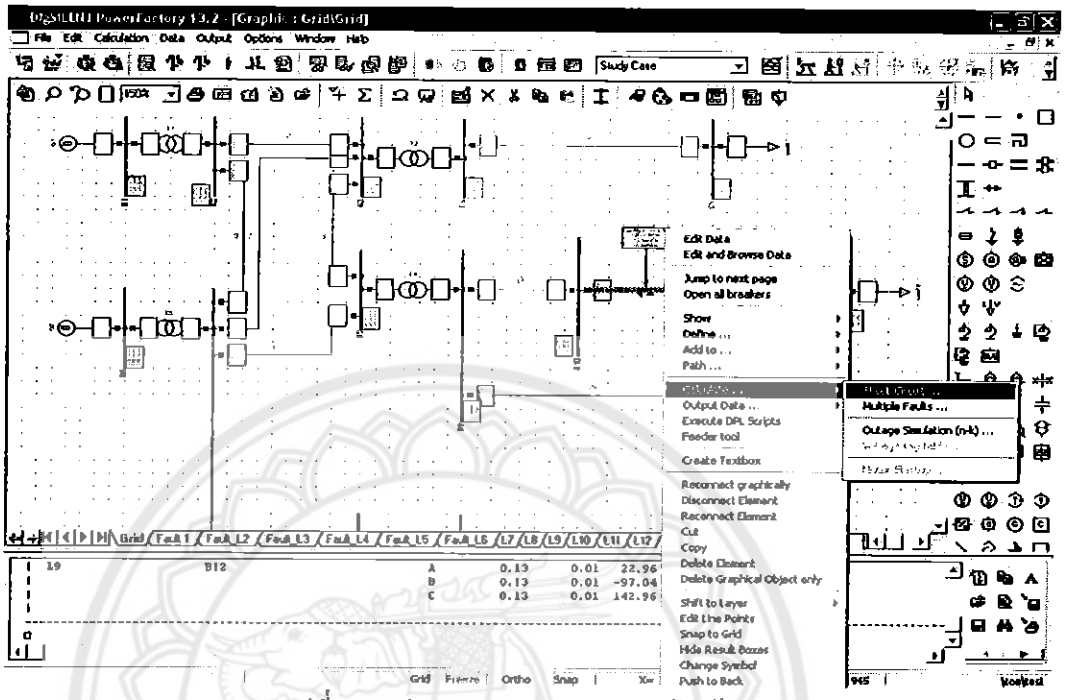
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L7



รูปที่ 3.36 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L7

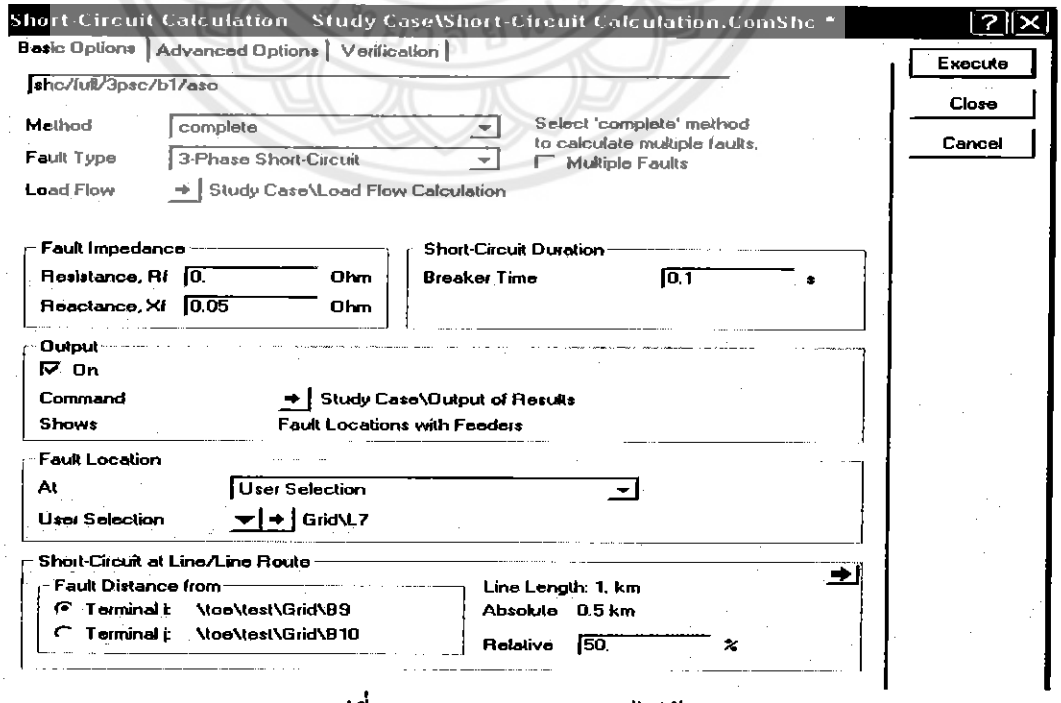
3.4.8 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L8

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.37 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L8

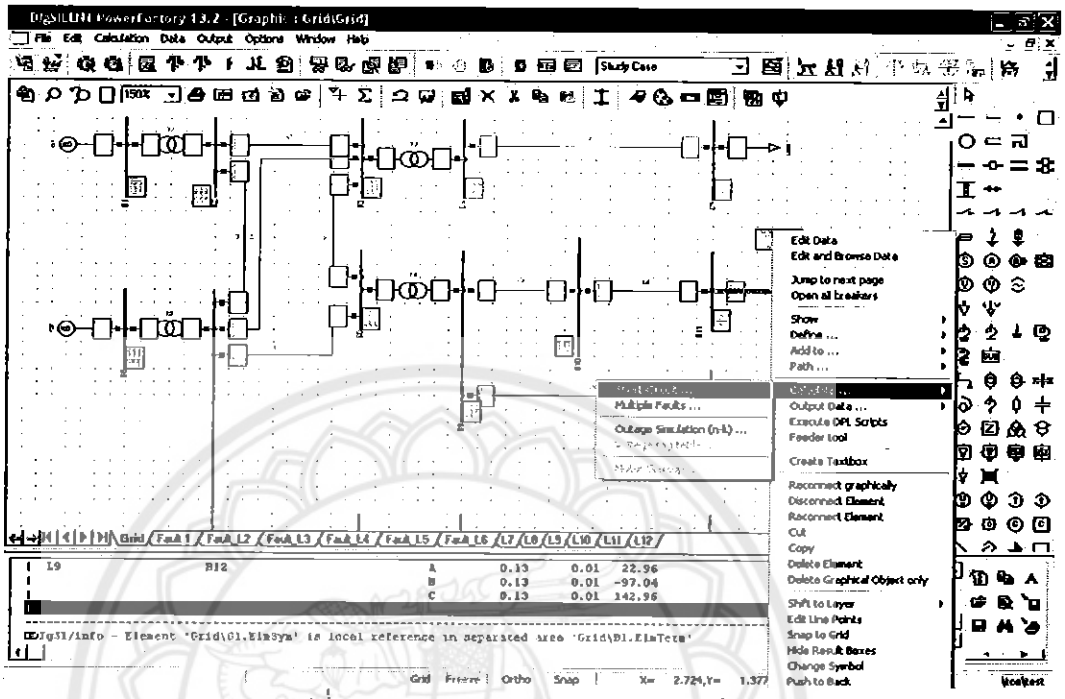
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L8



รูปที่ 3.38 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L8

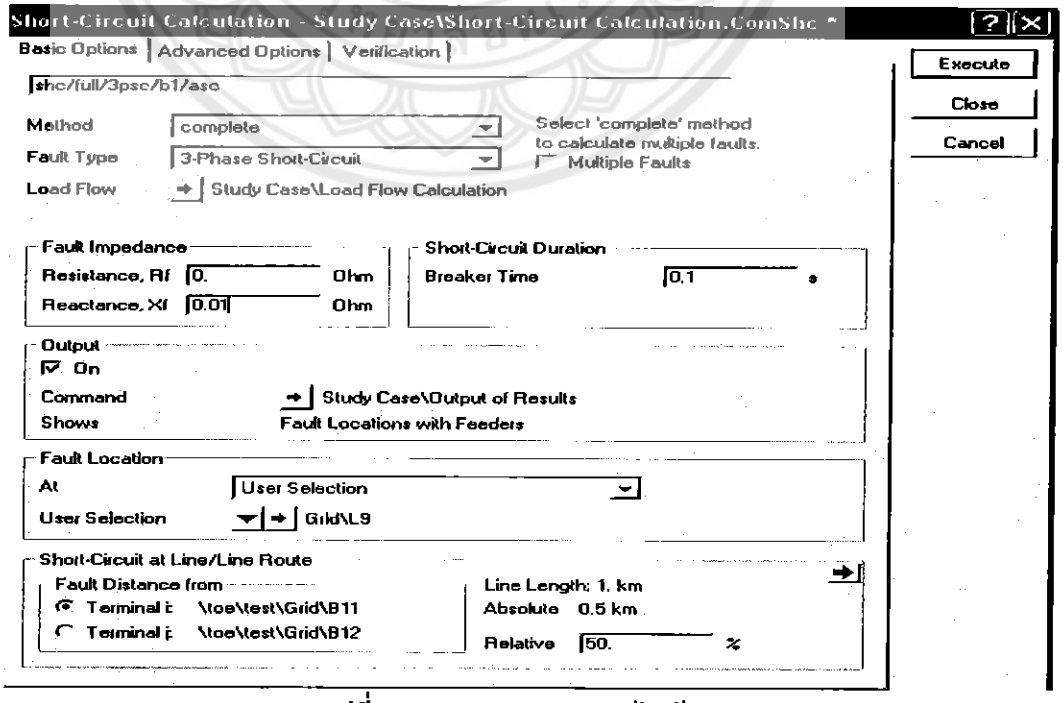
3.4.9 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L9

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.39 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L9

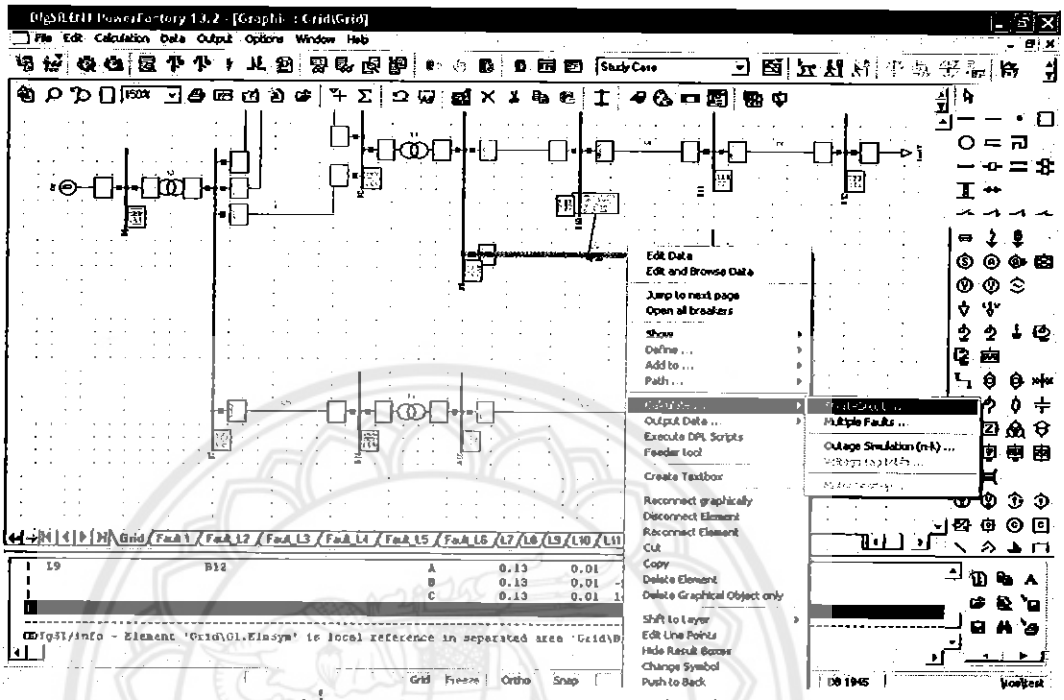
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L9



รูปที่ 3.40 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L9

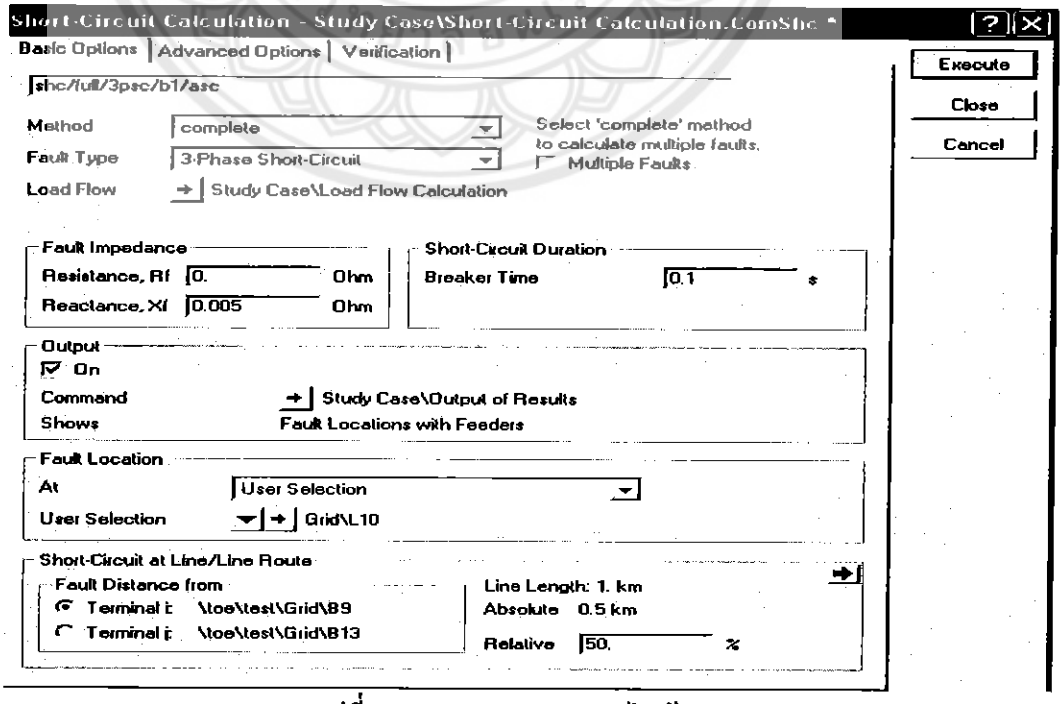
3.4.10 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L10

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.41 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L10

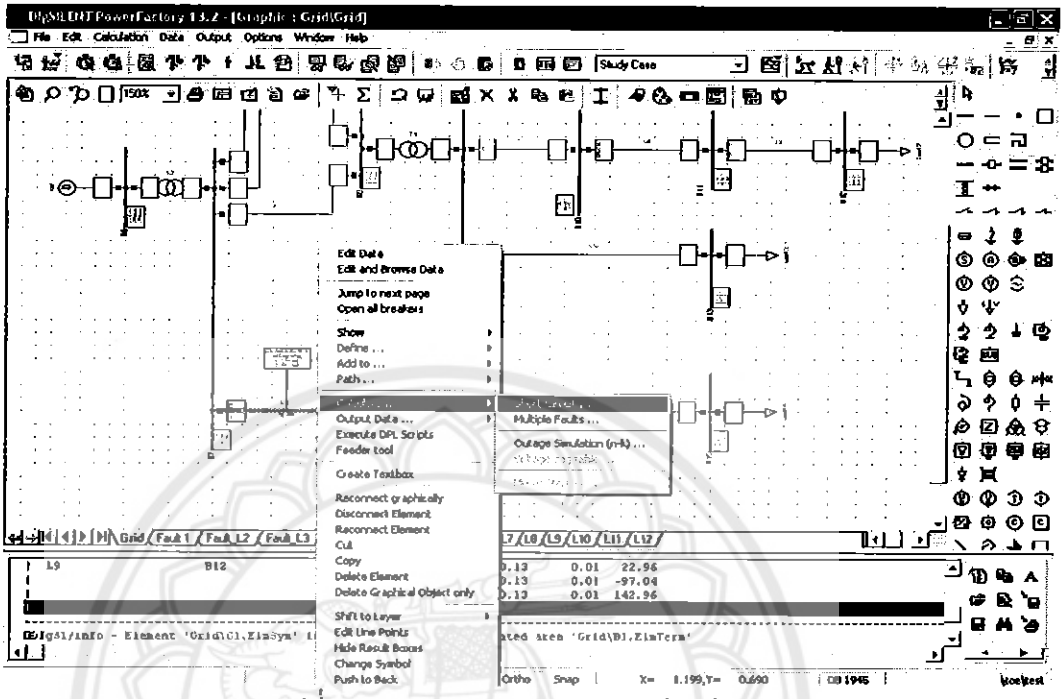
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L10



รูปที่ 3.42 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L10

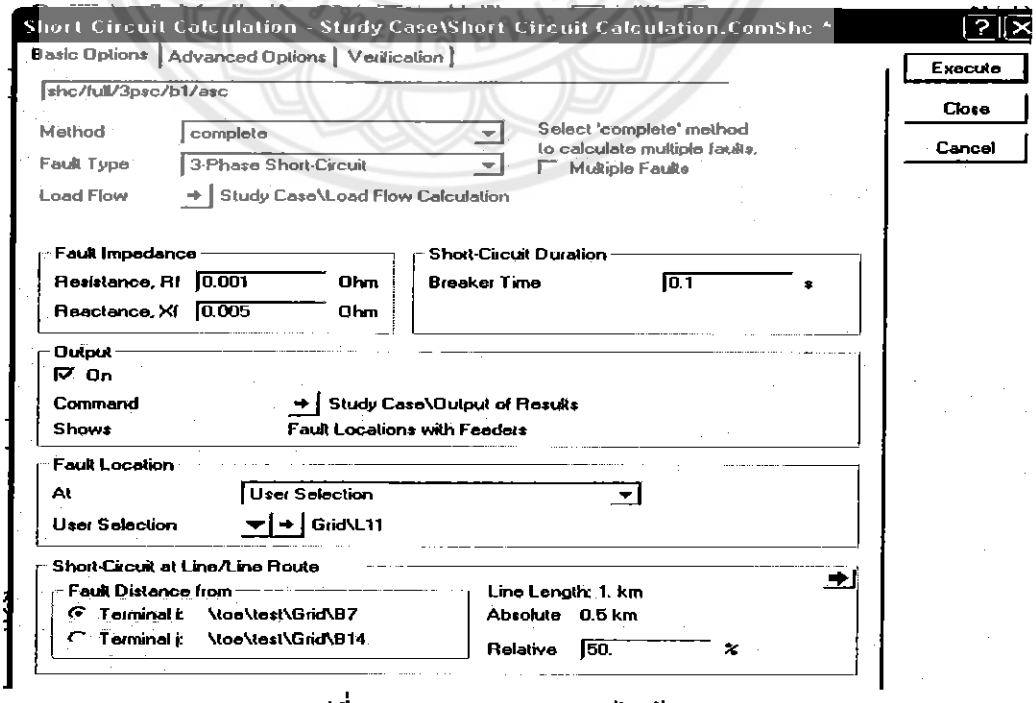
3.4.11 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L11

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.43 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L11

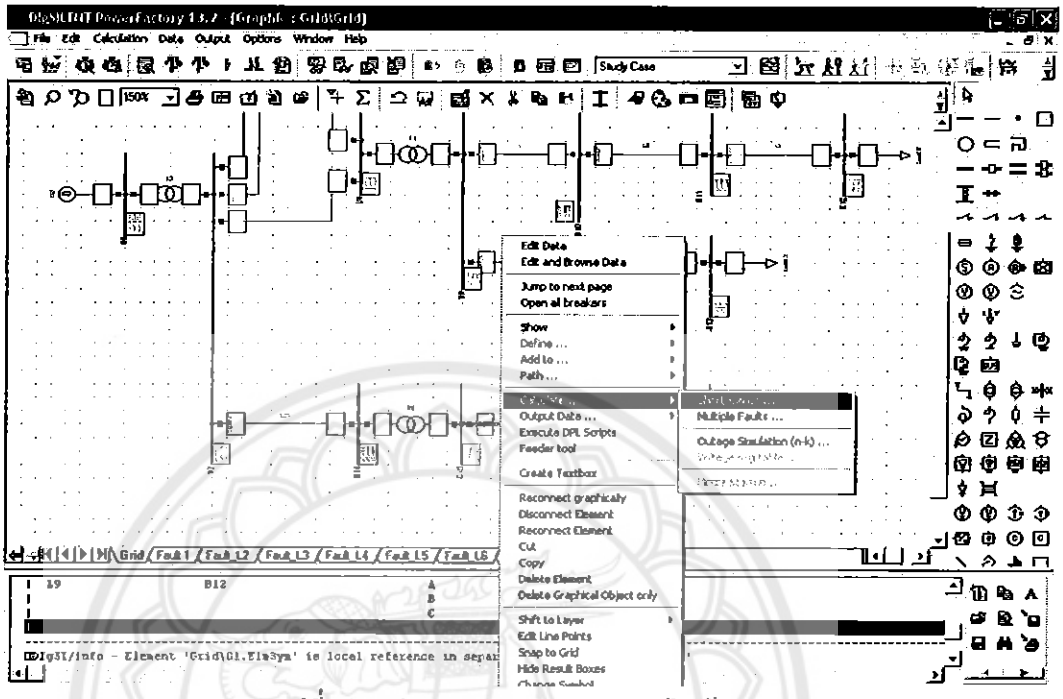
ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L11



รูปที่ 3.44 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L11

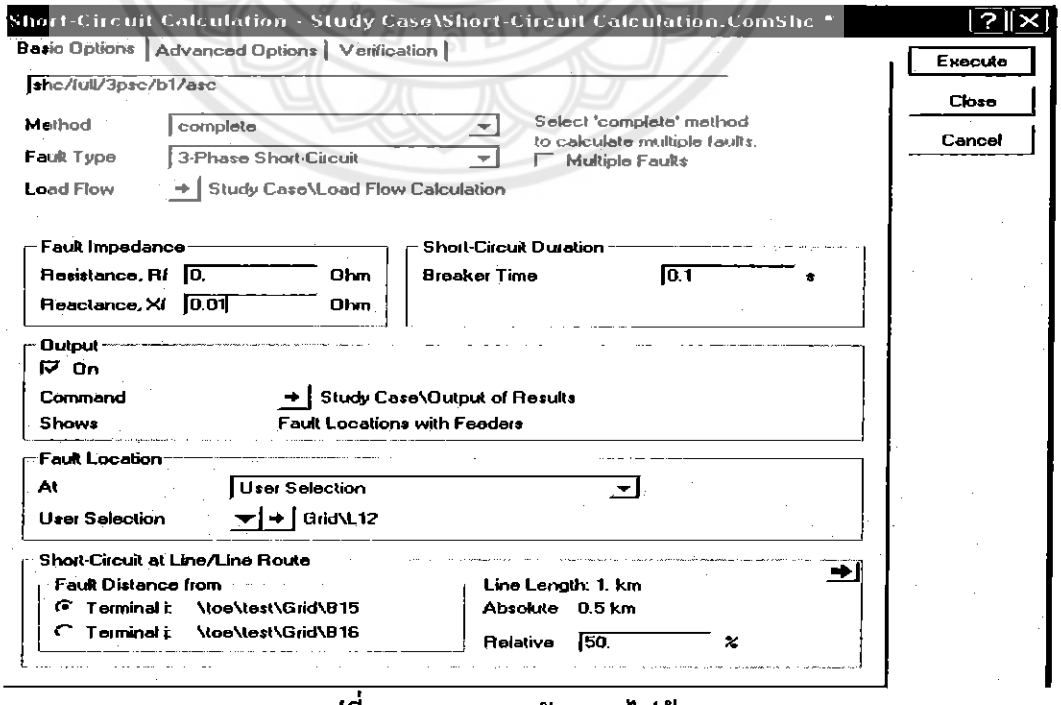
3.4.12 ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้าส่วนของ L12

โดยขั้นตอนวิธีการดังรูป



รูปที่ 3.45 ส่วนการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L12

ทำการทดสอบลัดวงจรไฟฟ้า L12



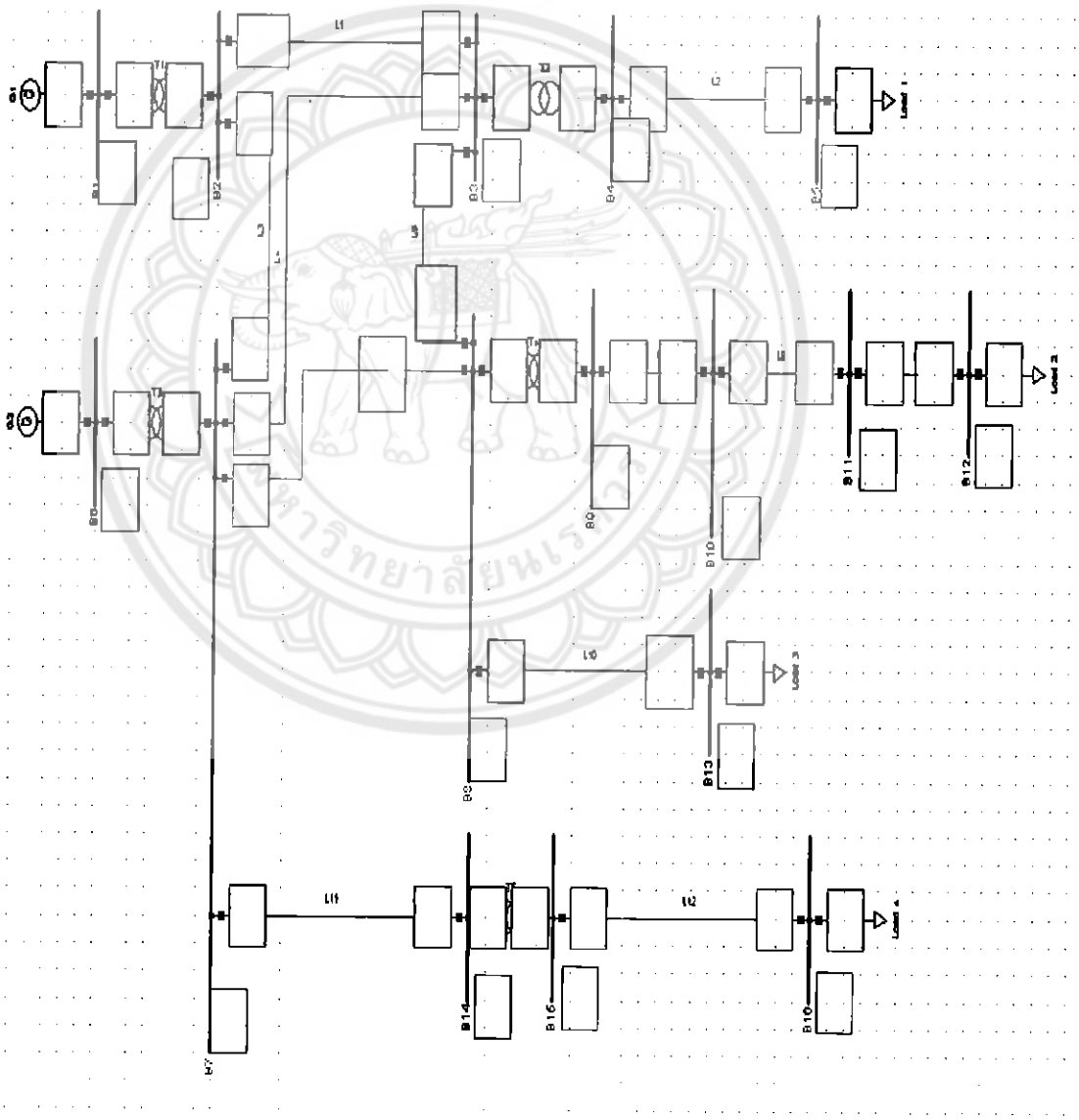
รูปที่ 3.46 แสดงการลัดวงจรไฟฟ้า L12

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะทำการจำลองระบบไฟฟ้า เพื่อให้แสดงผลการทำงานของระบบไฟฟ้า ตามที่ออกแบบไว้

4.1 ผลการวิเคราะห์การสร้างไดอะแกรม

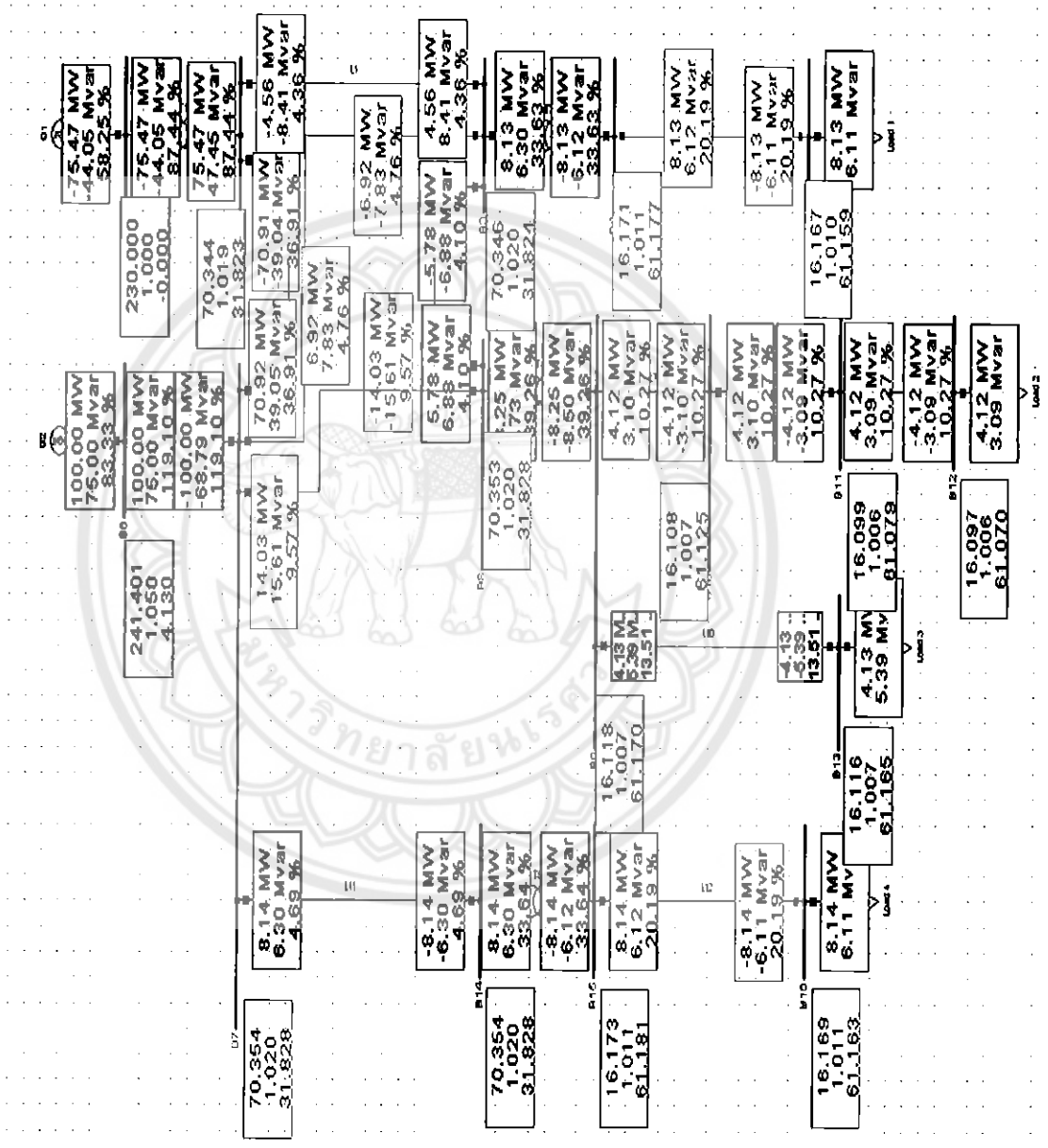
จากการวิเคราะห์ การสร้างไดอะแกรมในการกำหนดค่าในอุปกรณ์ได้ผลดังรูป



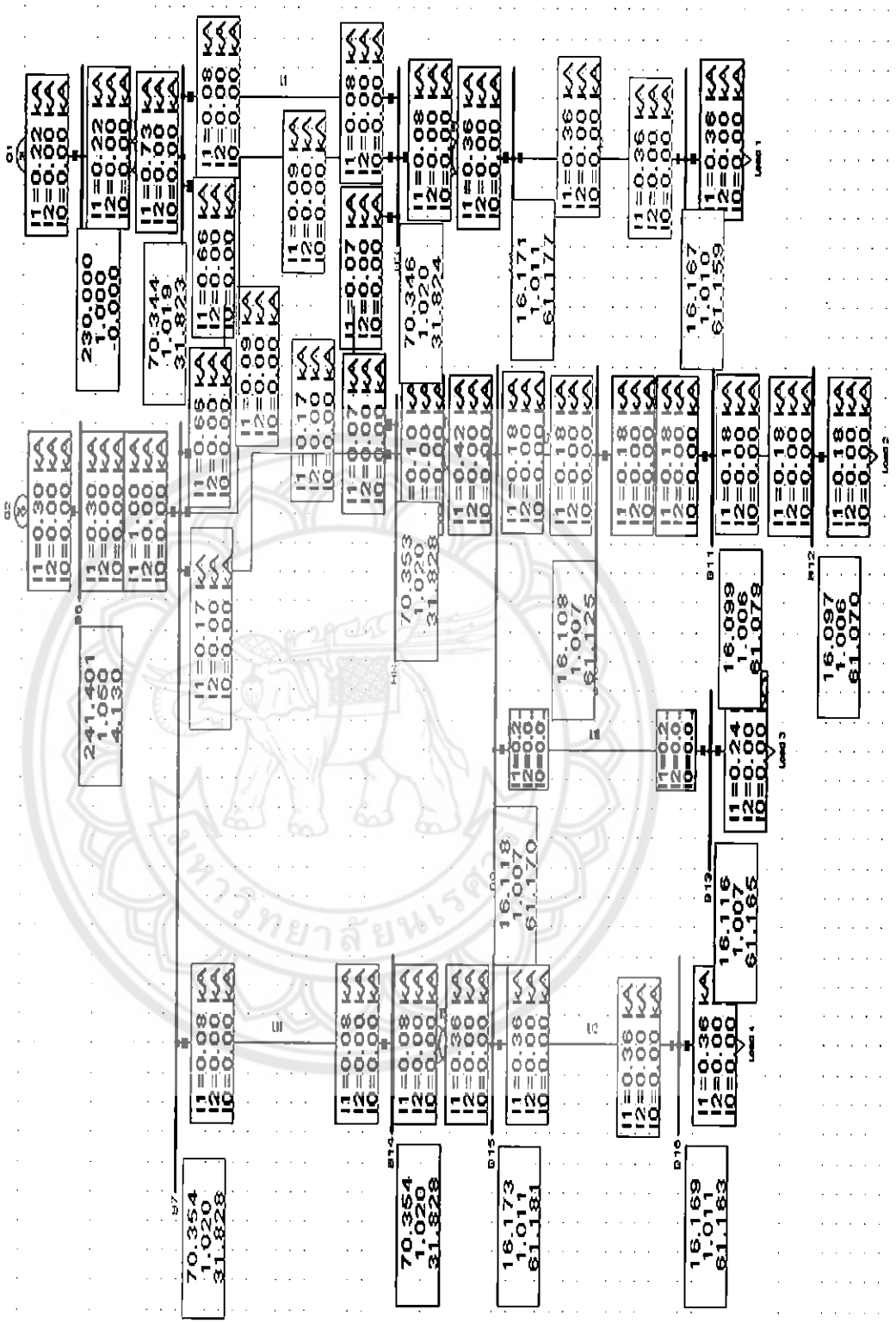
รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมระบบไฟฟ้า

4.2 ผลการวิเคราะห์การไหลของโหลด

จากการสร้างจำลองระบบไฟฟ้า และได้ทำการวิเคราะห์การไหลของดหลดออกมาได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.2ก แสดงผลการวิเคราะห์การไหลของโหลด



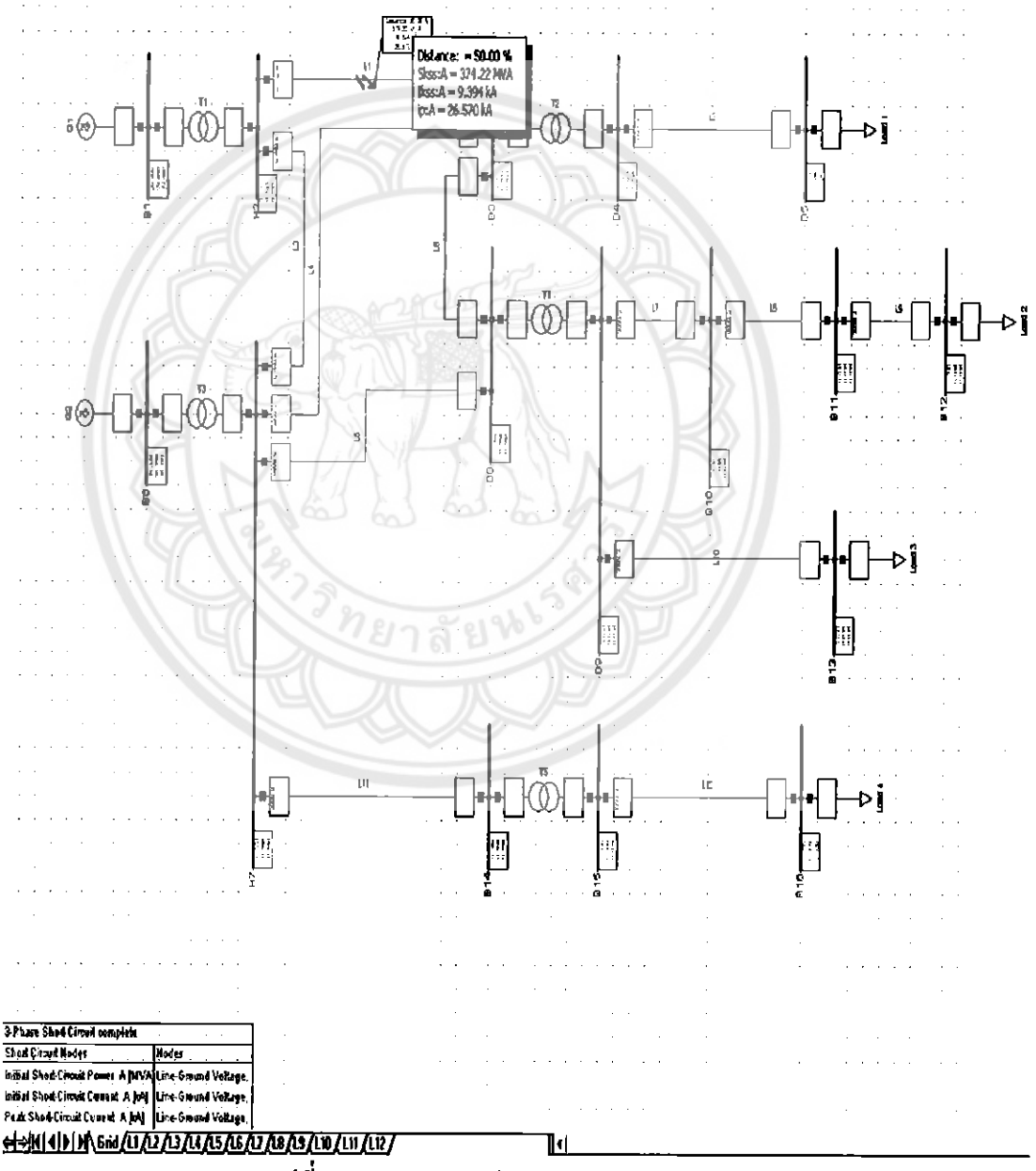
รูปที่ 4.2ข แสดงผลการวิเคราะห์การไหลของกระแส

4.3 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจร

จากการทดสอบกำหนดให้เกิดการลัดวงจรแบบสามเฟสที่แต่ละสายส่งที่ตำแหน่ง L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11 และ L12

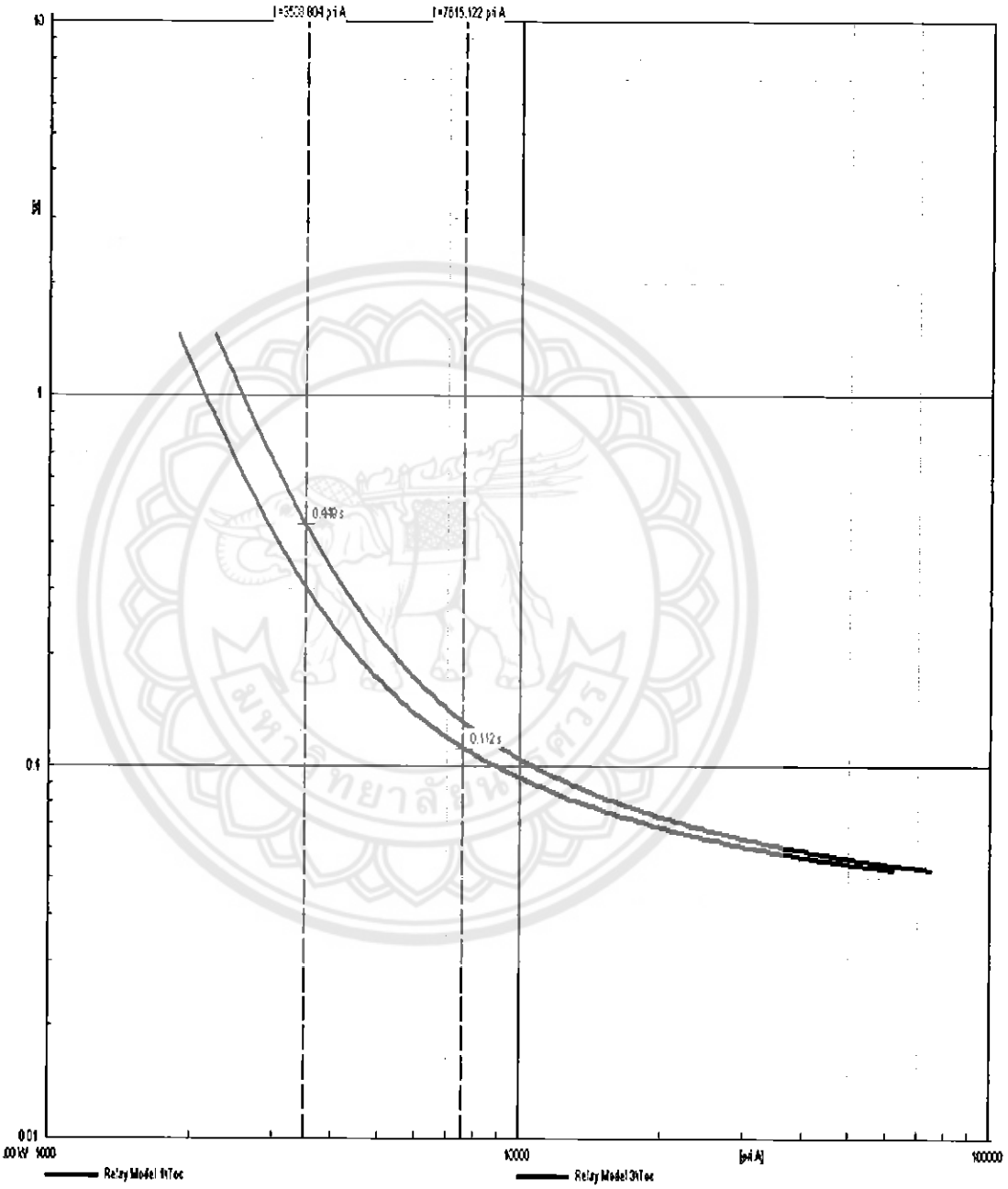
4.3.1 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L1

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L1



รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L1

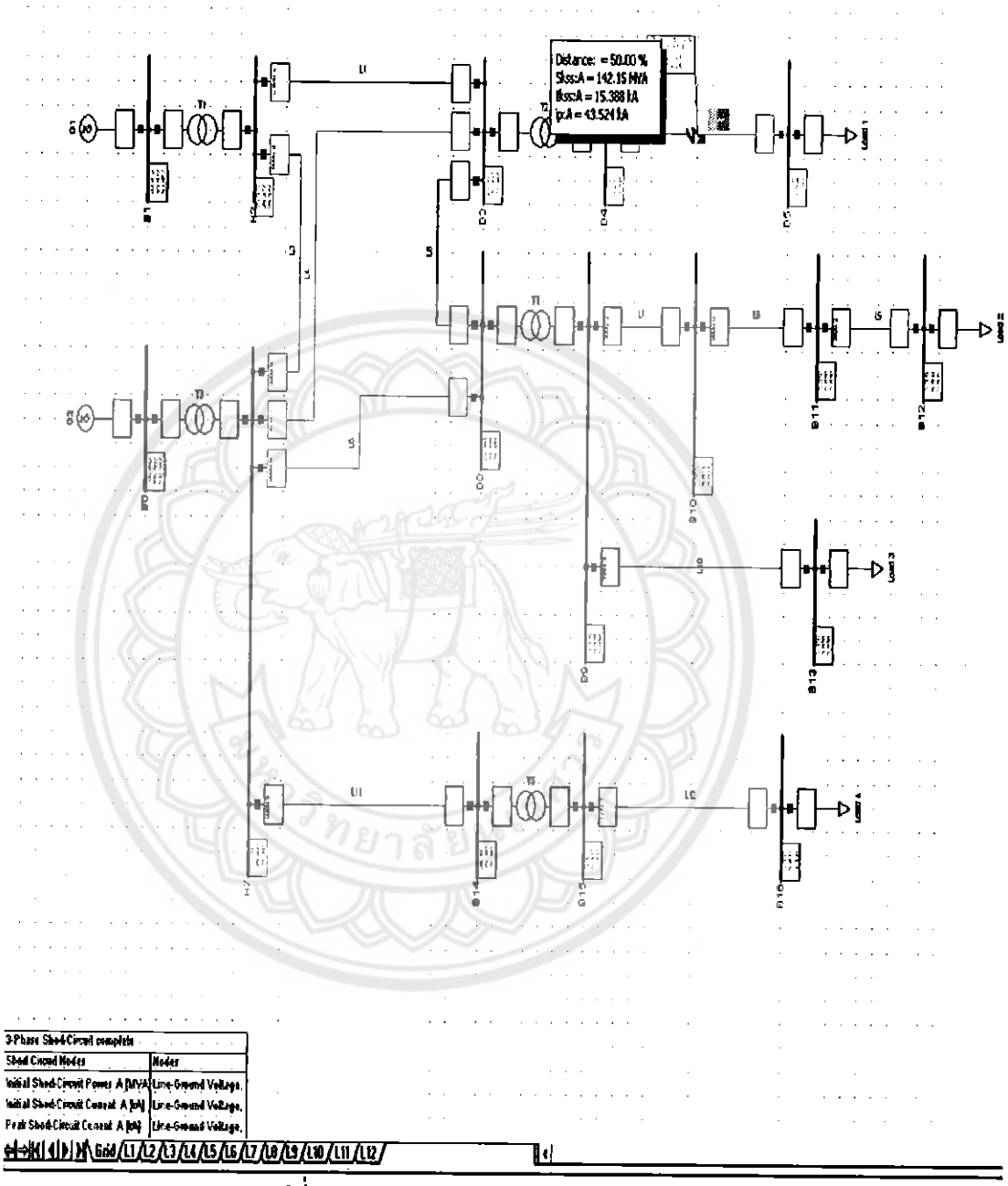
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L1 ทำให้รีเลย์ 1 (Relay 1) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.112 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 3 (Relay 3) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.449 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L1

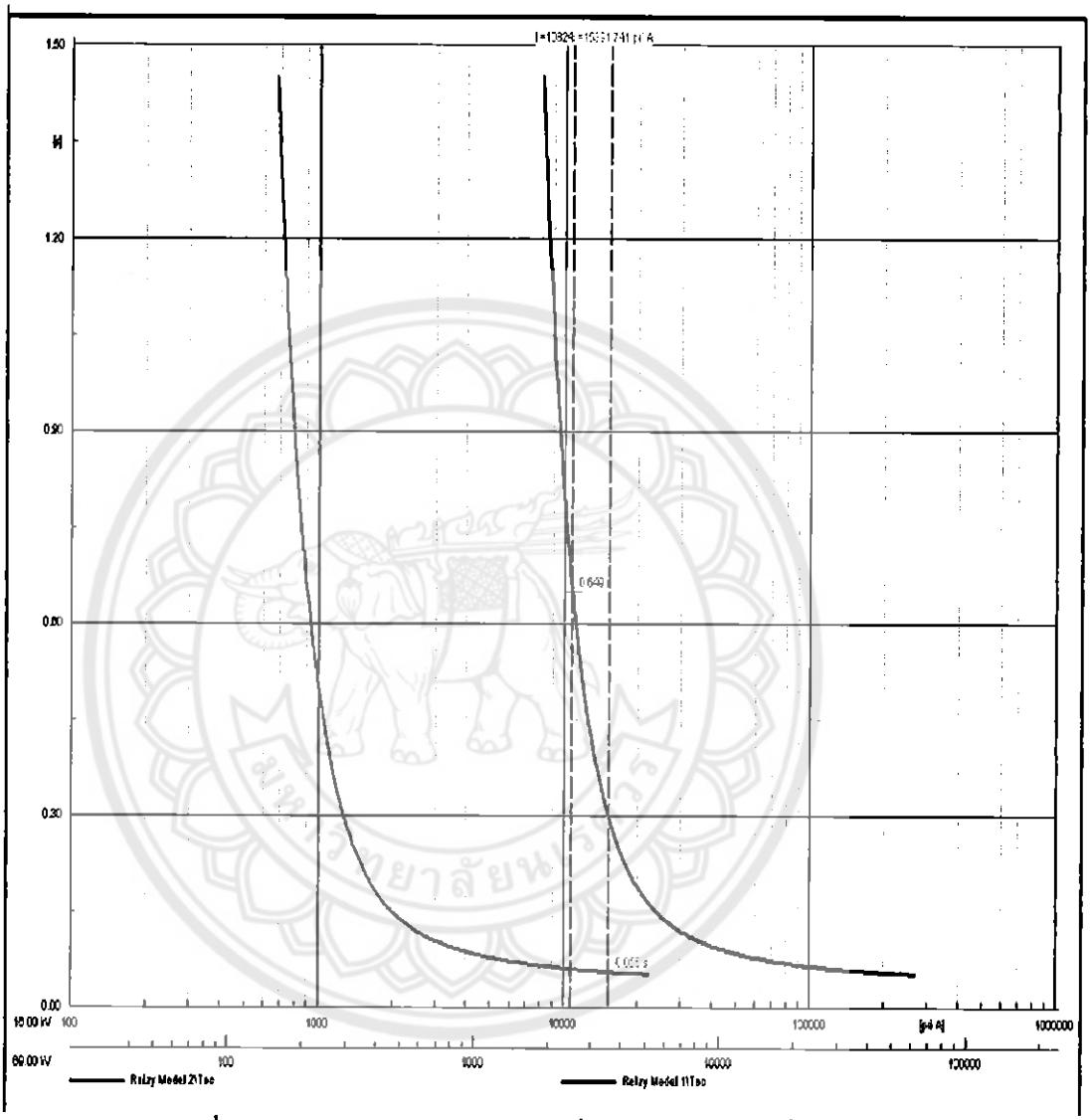
4.3.2 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L2

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L2



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L2

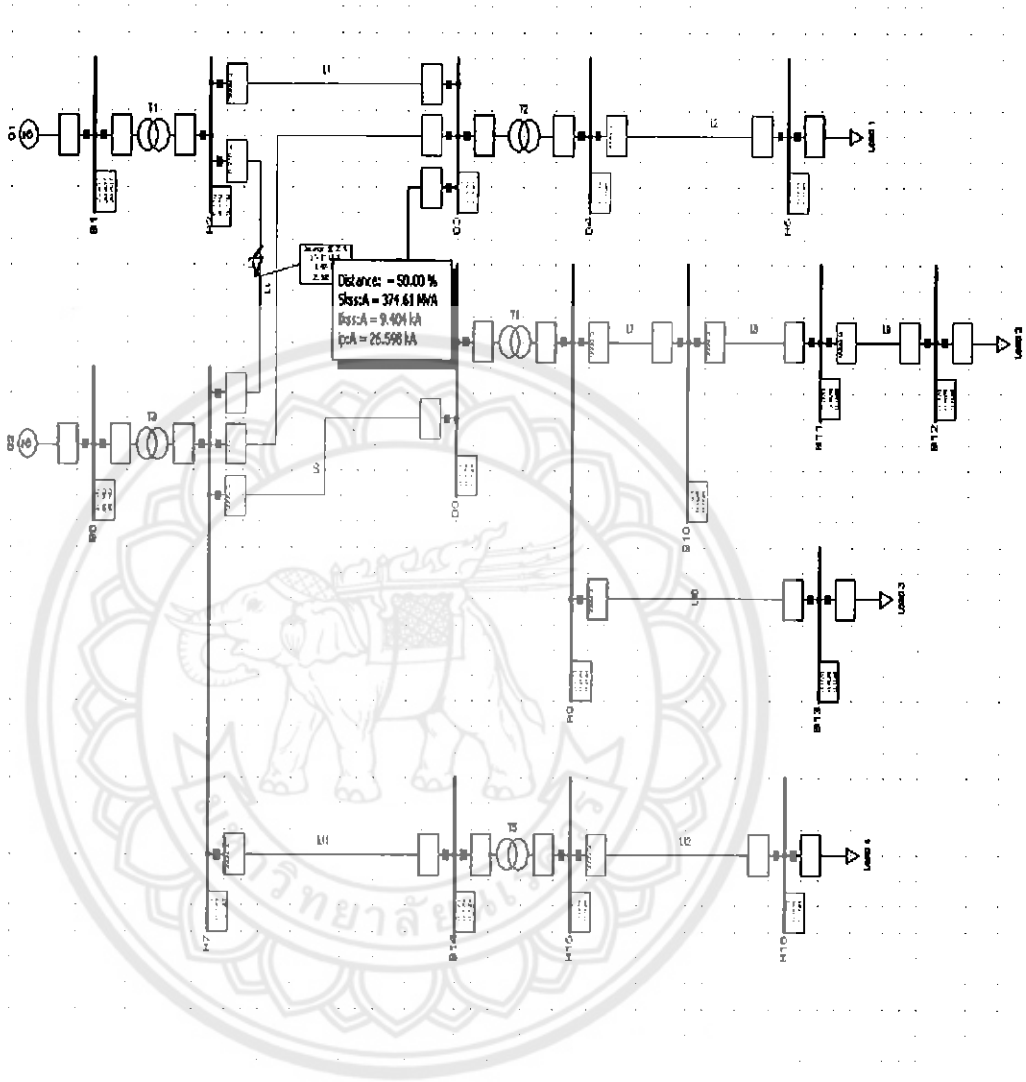
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L2 ทำให้รีเลย์ 2 (Relay 2) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.056 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 1 (Relay 1) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.649 วินาที (S) ได้ผลดังนี้

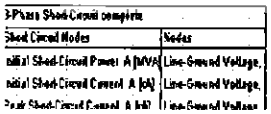


รูปที่ 4.6 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L2

4.3.3 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L3

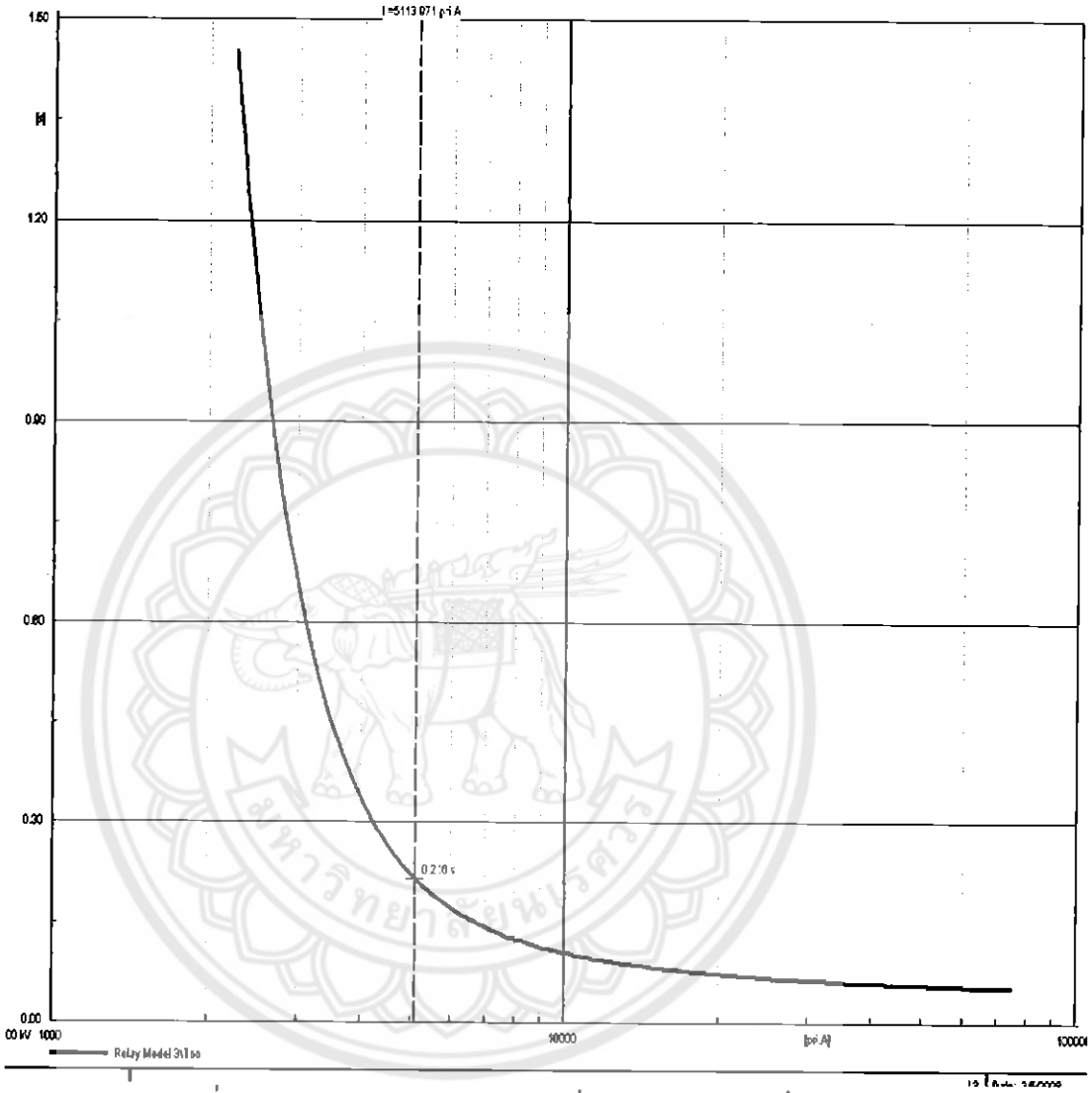
เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L3





รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L3

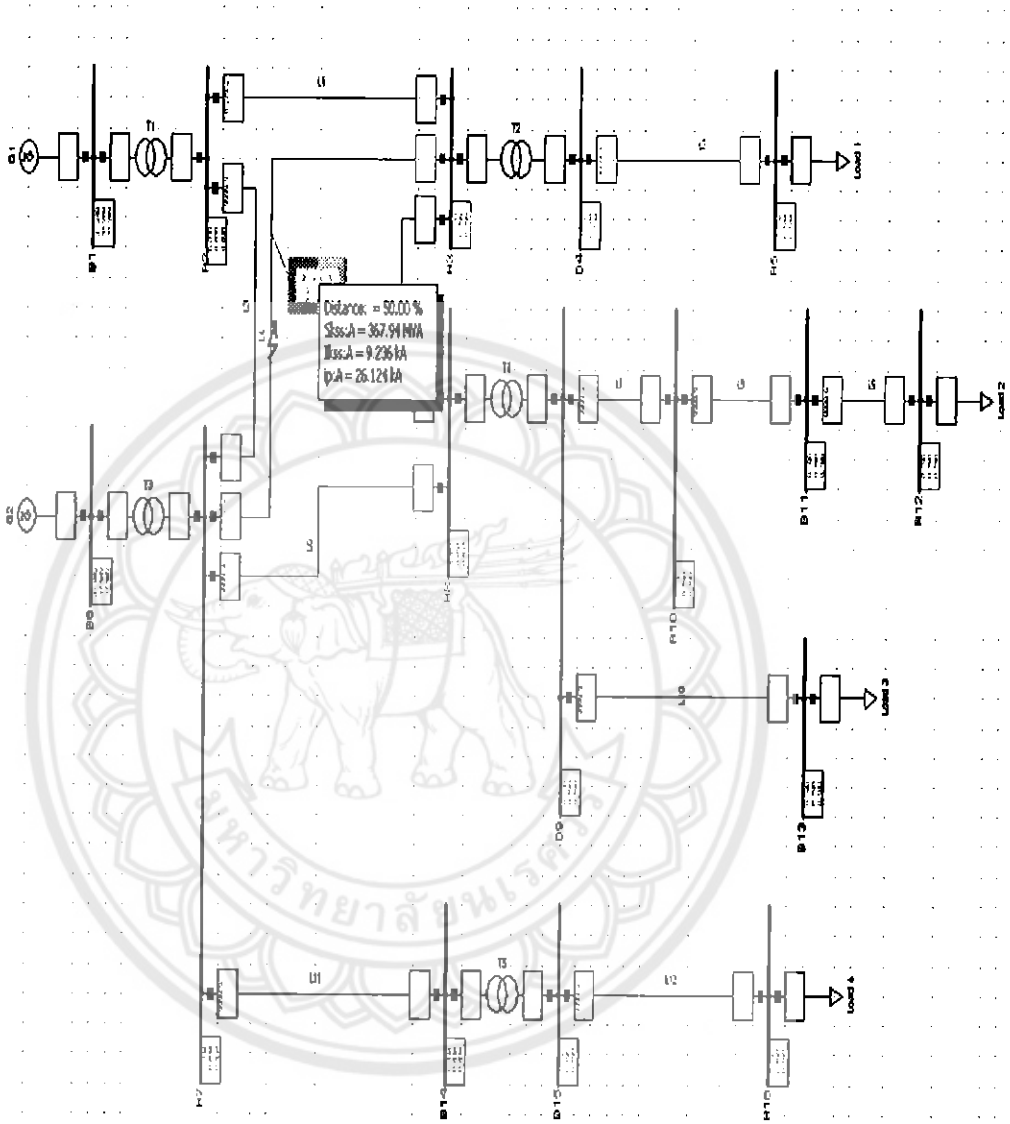
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L3 ทำให้รีเลย์ 3 (Relay 3) ทำงานเกิดการทริป เป็นลำดับแรกที่เวลา 0.216 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L3

4.3.4 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L4

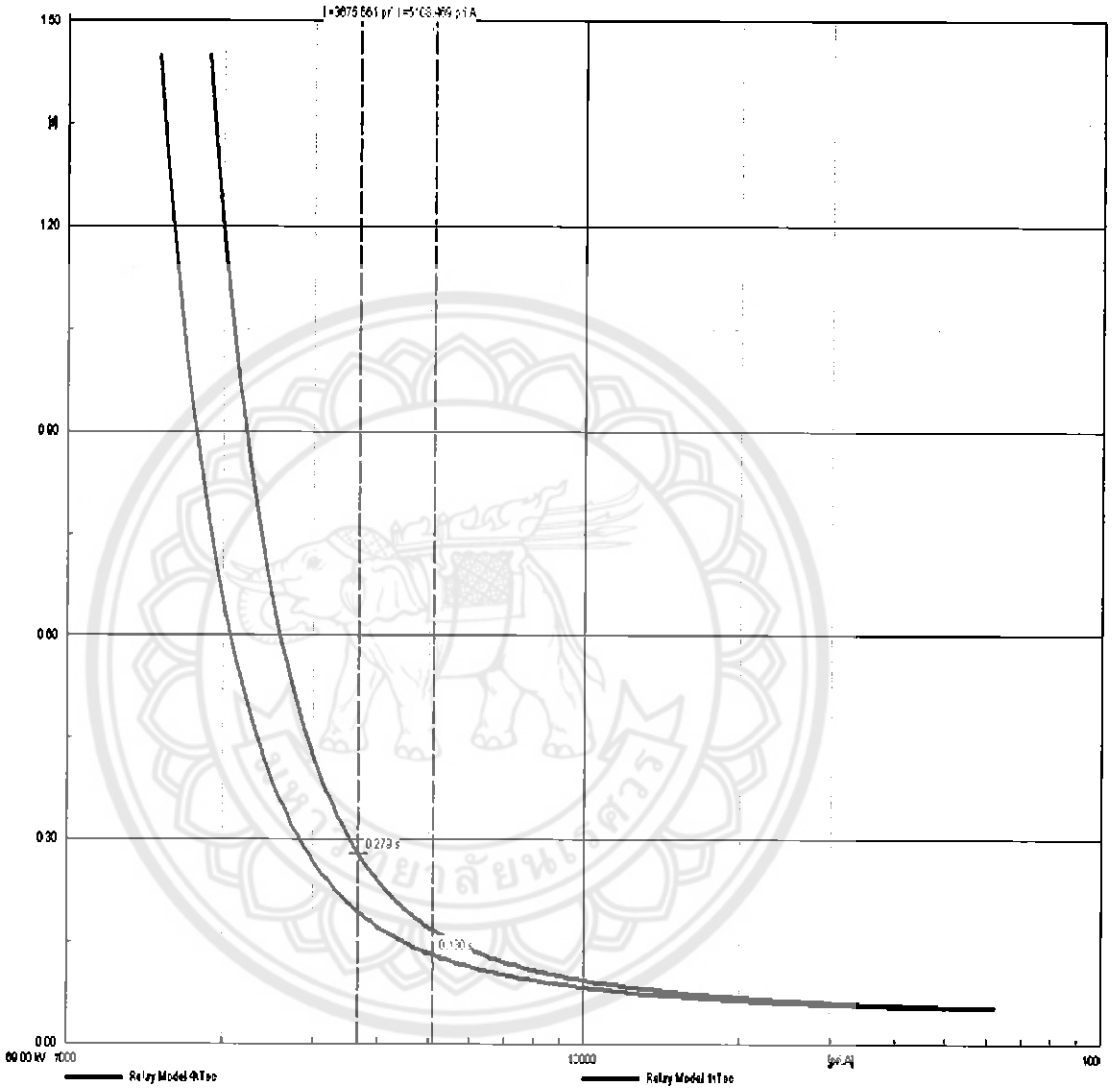
เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L4



3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power Sk'' [MVA]	Line-Ground Voltage,
Initial Short-Circuit Current Ik'' [kA]	Line-Ground Voltage,
Peak Short-Circuit Current ip [kA]	Line-Ground Voltage,

รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L4

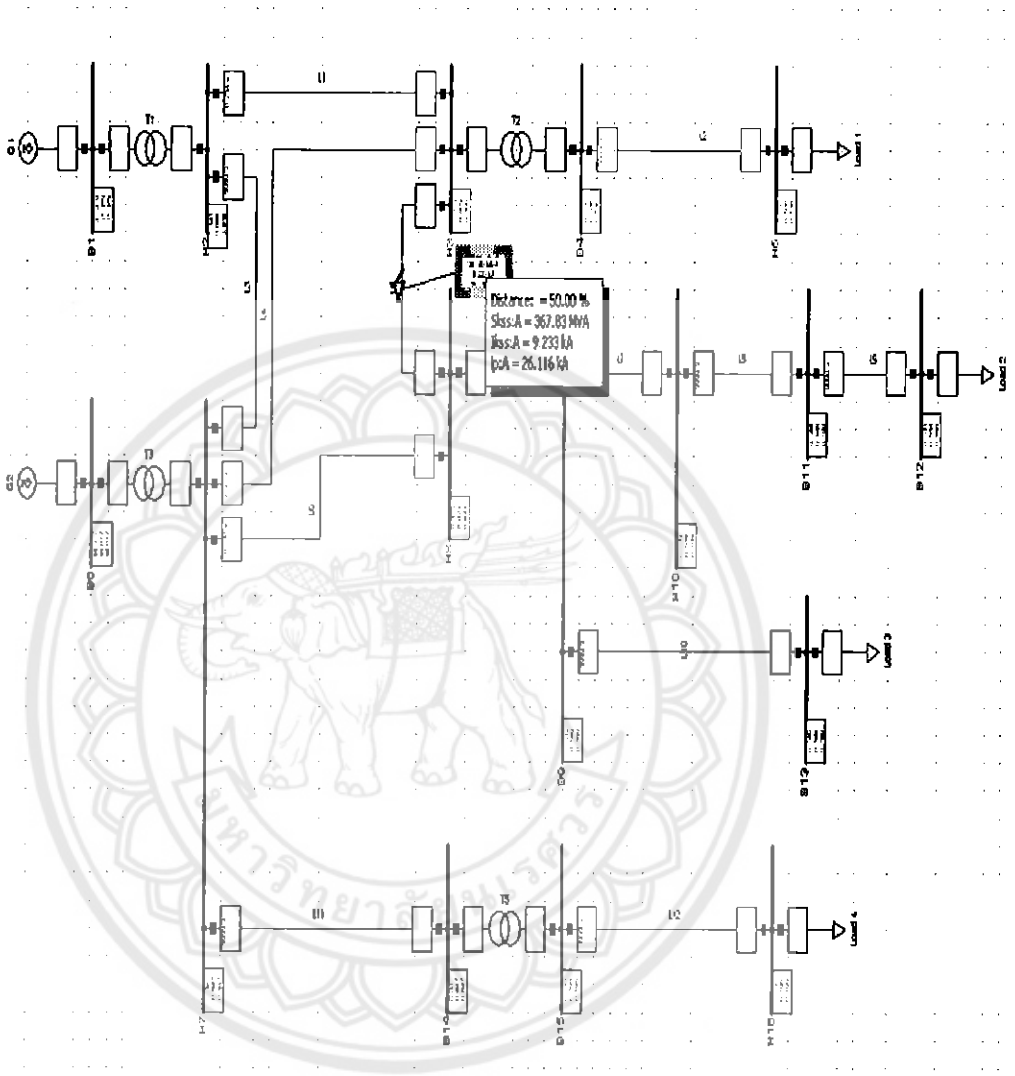
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L4 ทำให้รีเลย์ 4 (Relay 4) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.130 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 1 (Relay 1) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.279 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L4

4.3.5 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L5

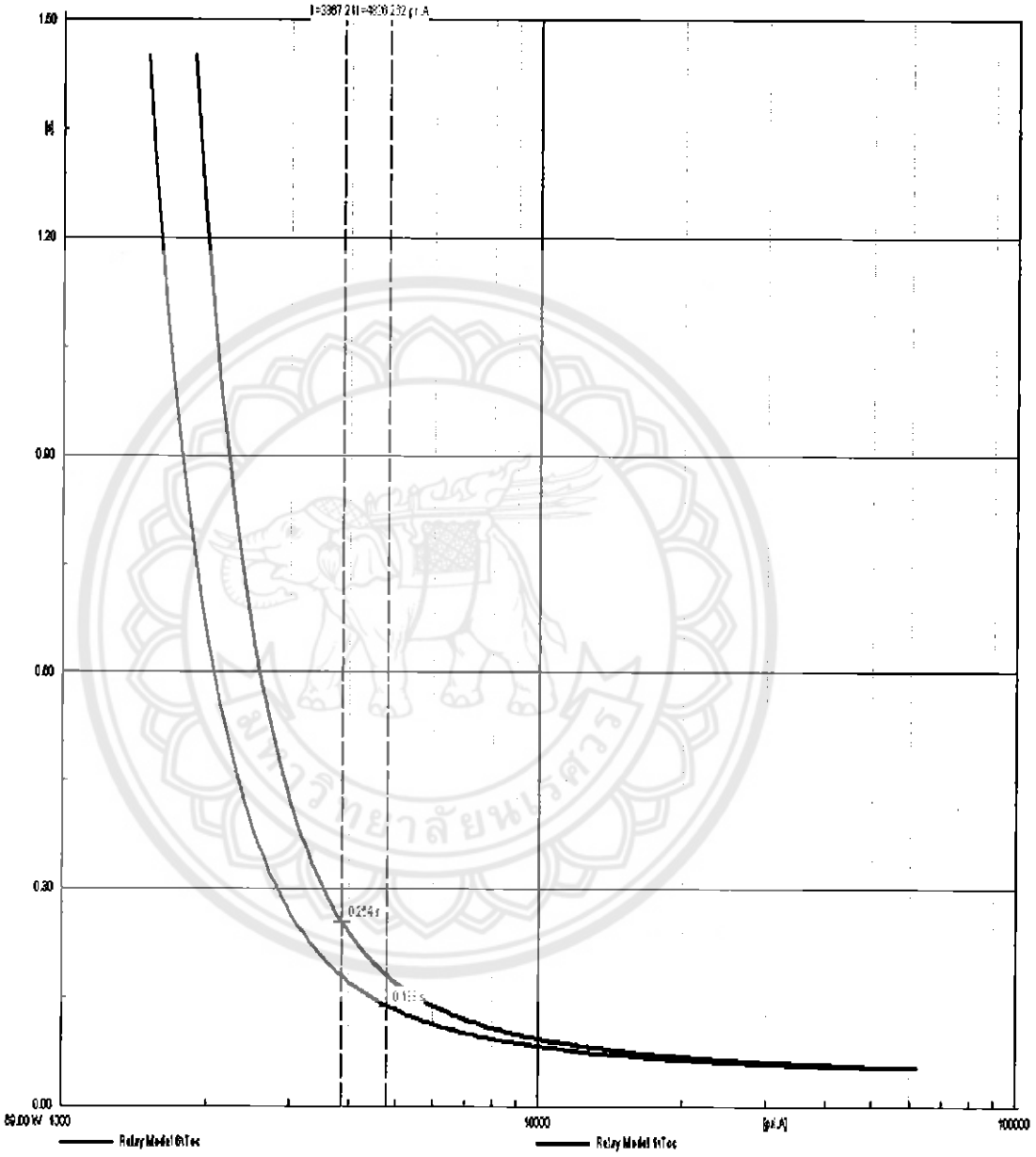
เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L5



3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Line-Ground Voltage,
Initial Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,
Peak Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,

รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L5

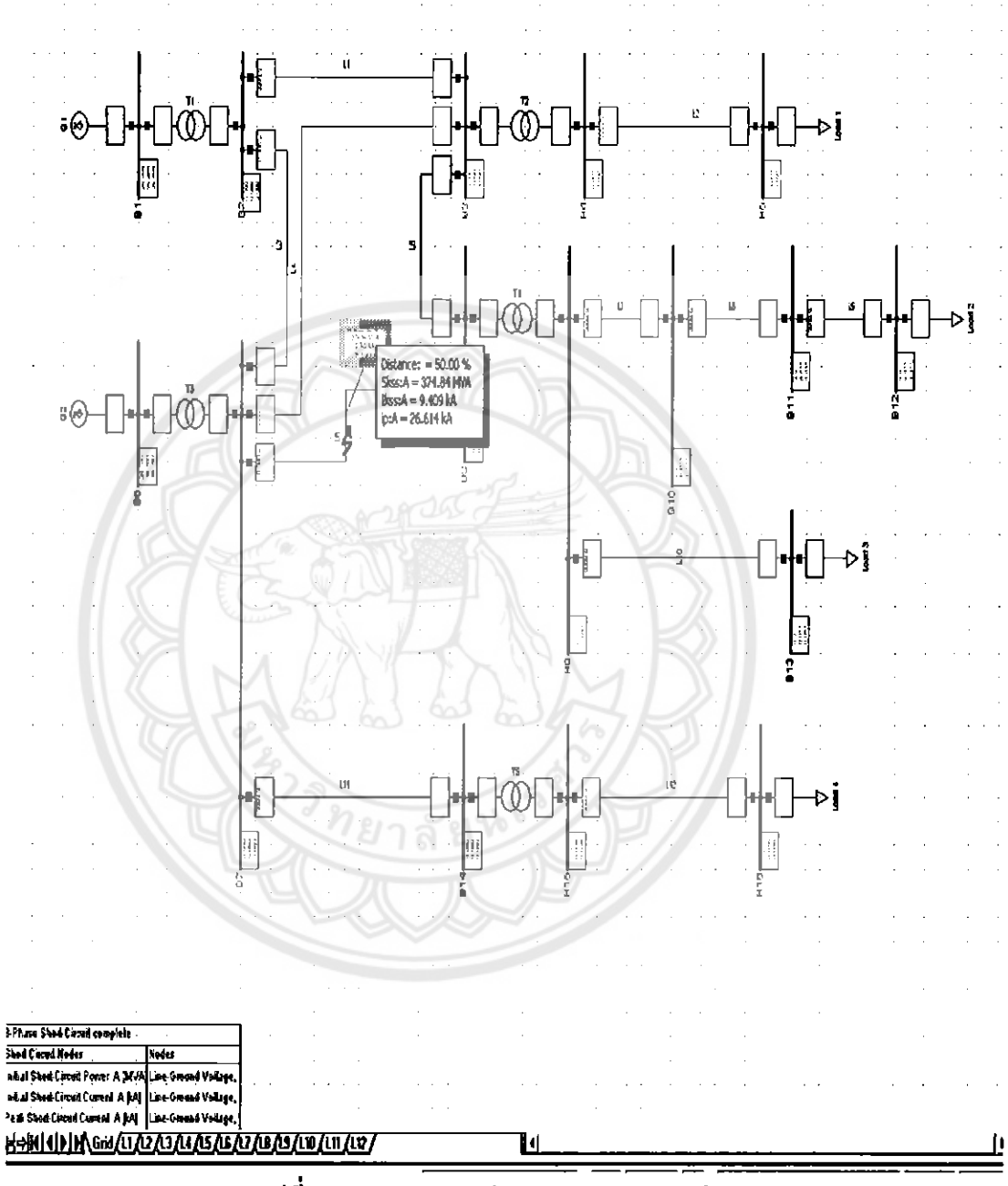
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L5 ทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.138 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 1 (Relay 1) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.254 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L5

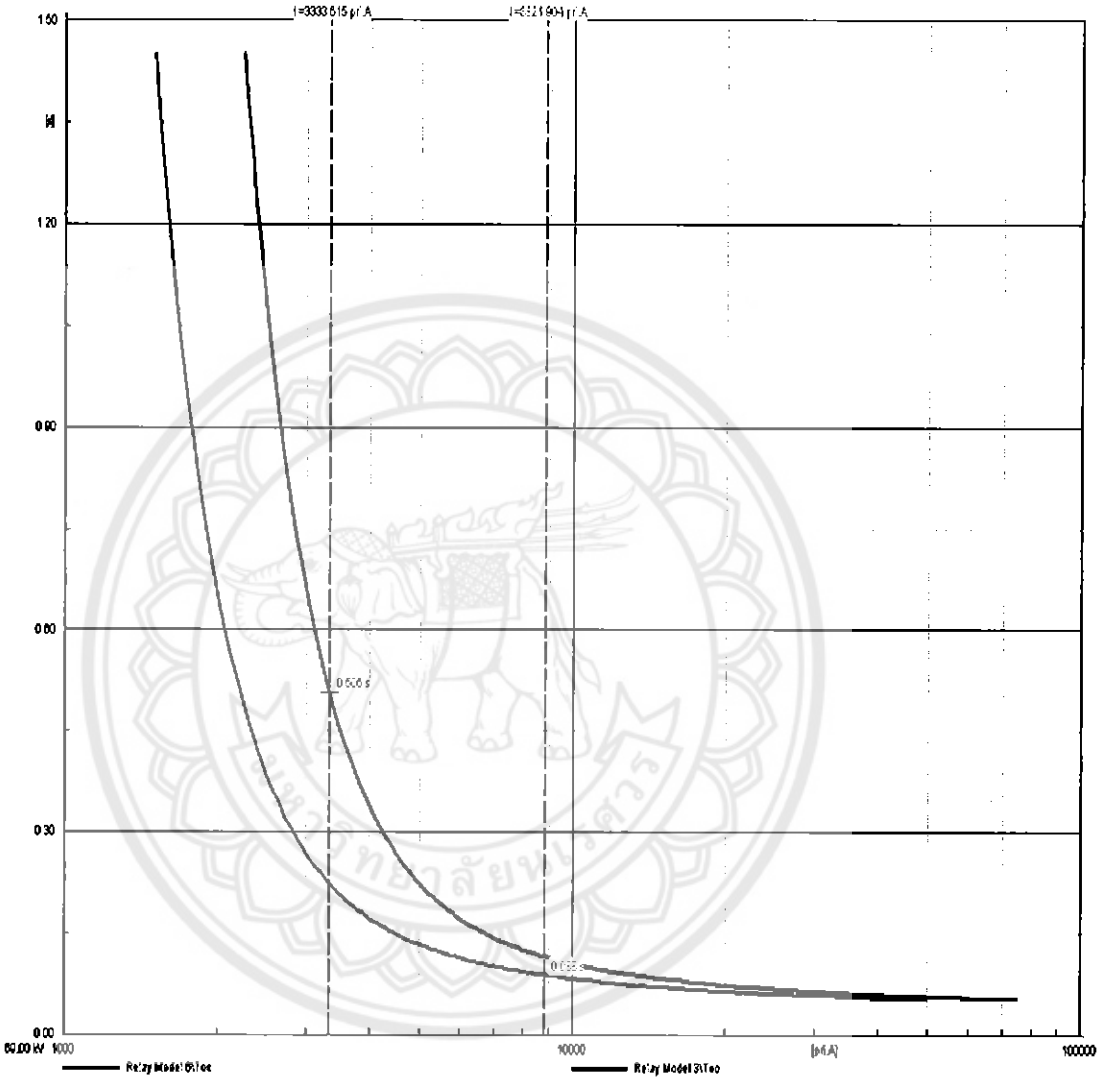
4.3.6 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L6

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L6



รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L6

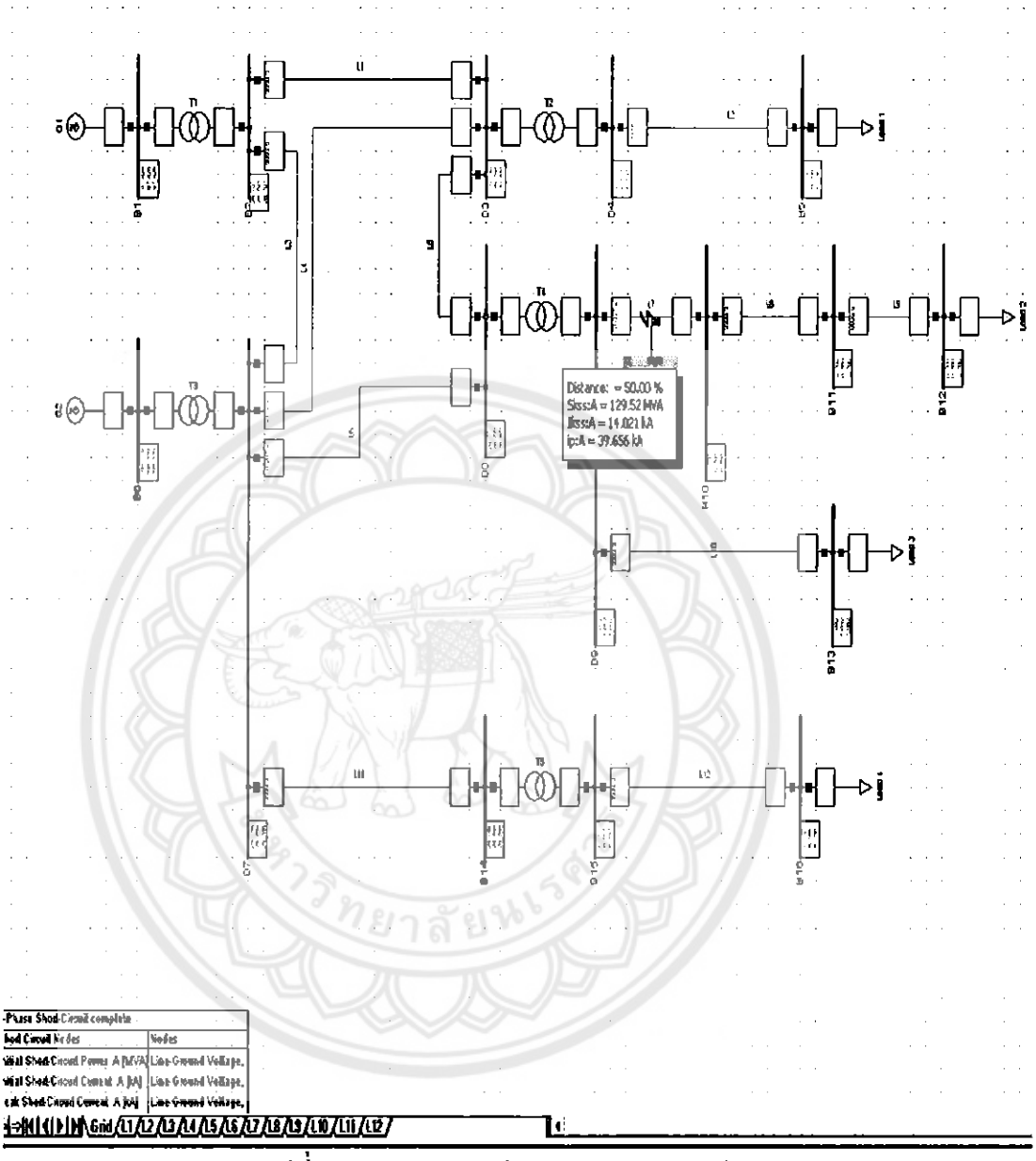
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L6 ทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.088 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 3 (Relay 3) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.506 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L6

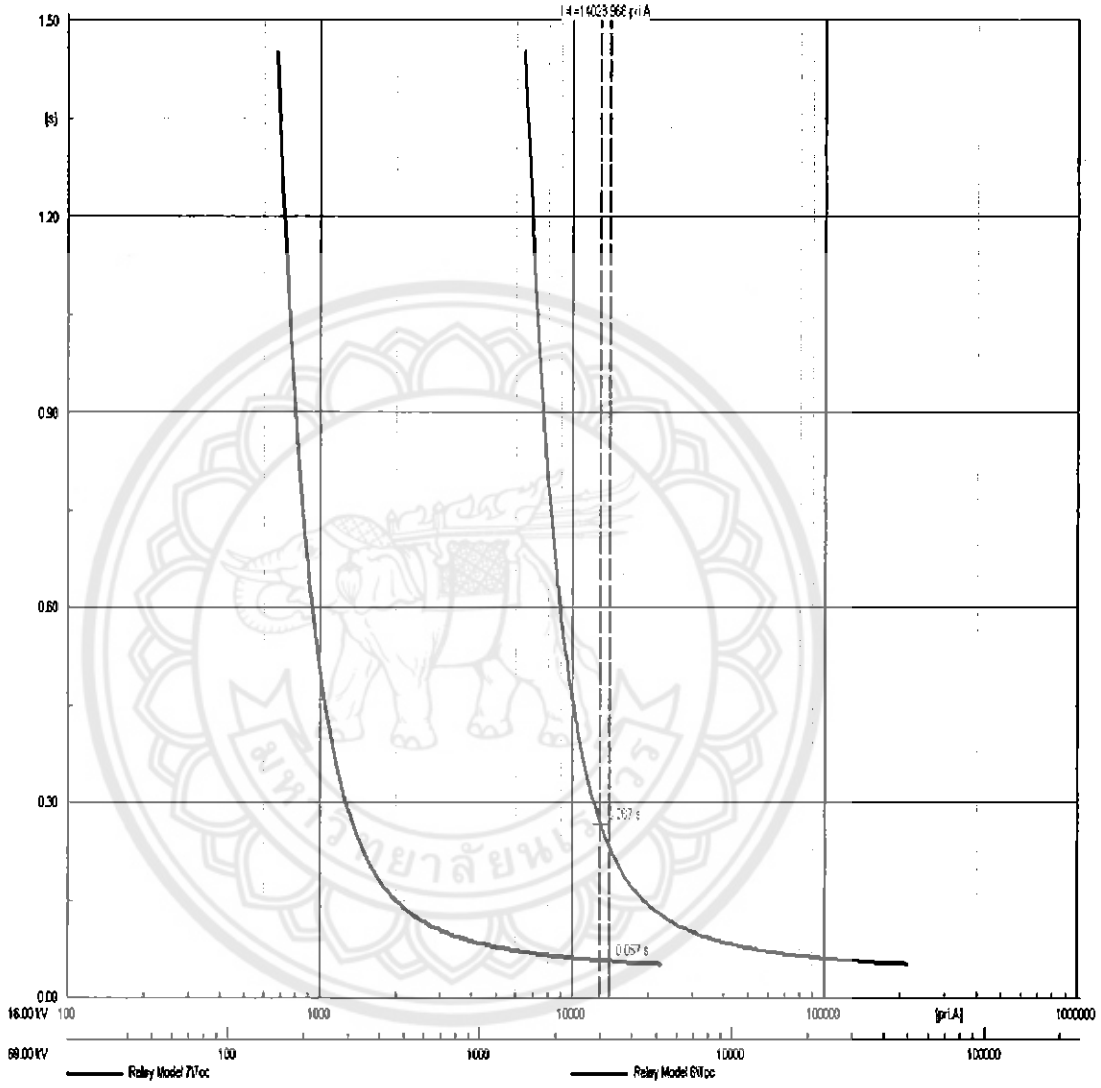
4.3.7 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L7

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L7



รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L7

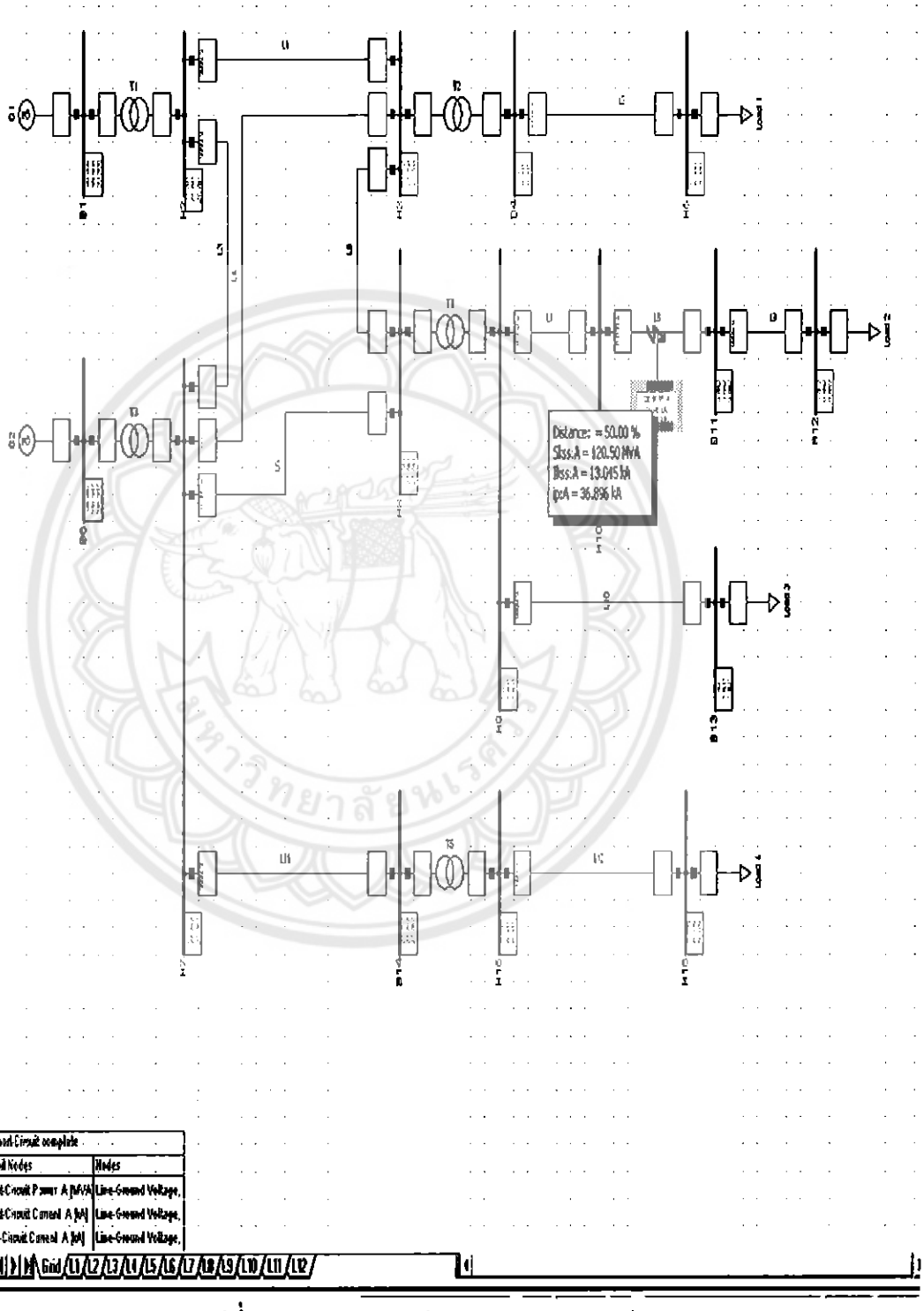
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L7 ทำให้รีเลย์ 7 (Relay 7) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.057 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.267 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.16 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L7

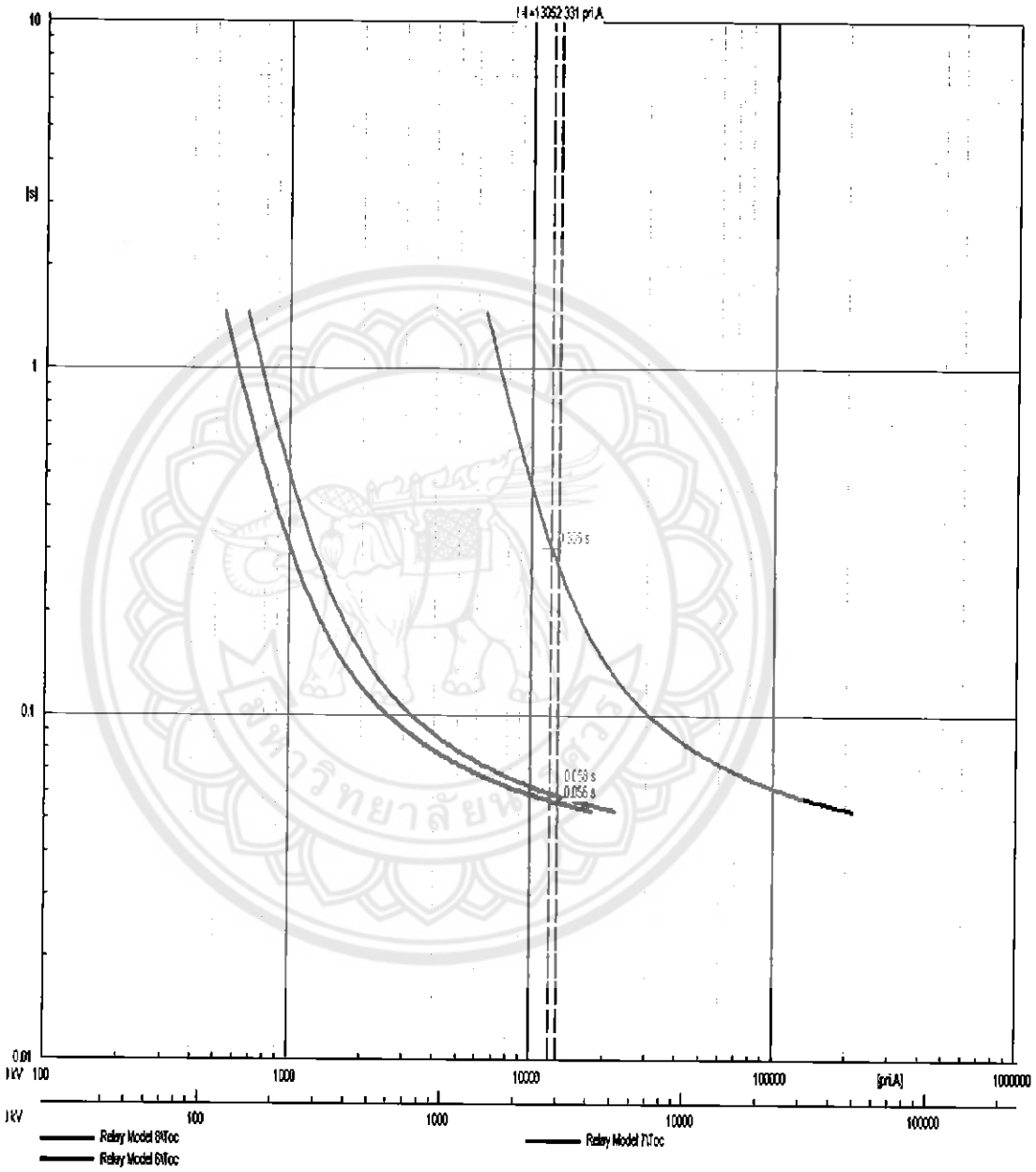
4.3.8 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L8

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L8



รูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L8

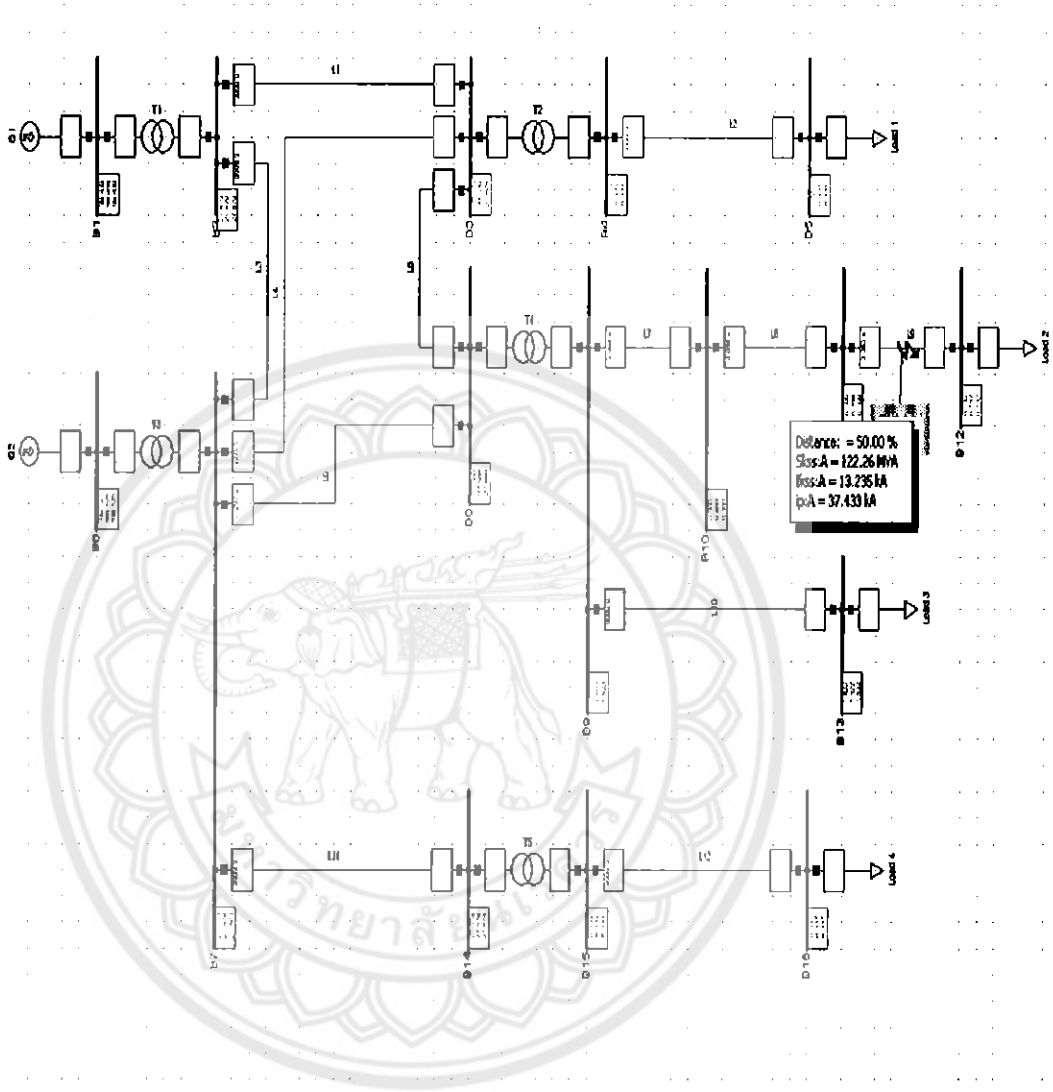
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L8 ทำให้รีเลย์ 8 (Relay 8) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.056 วินาที (S) รีเลย์ 7 (Relay) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.057 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำการทริปที่เวลา 0.305 (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.18 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L8

4.3.9 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L9

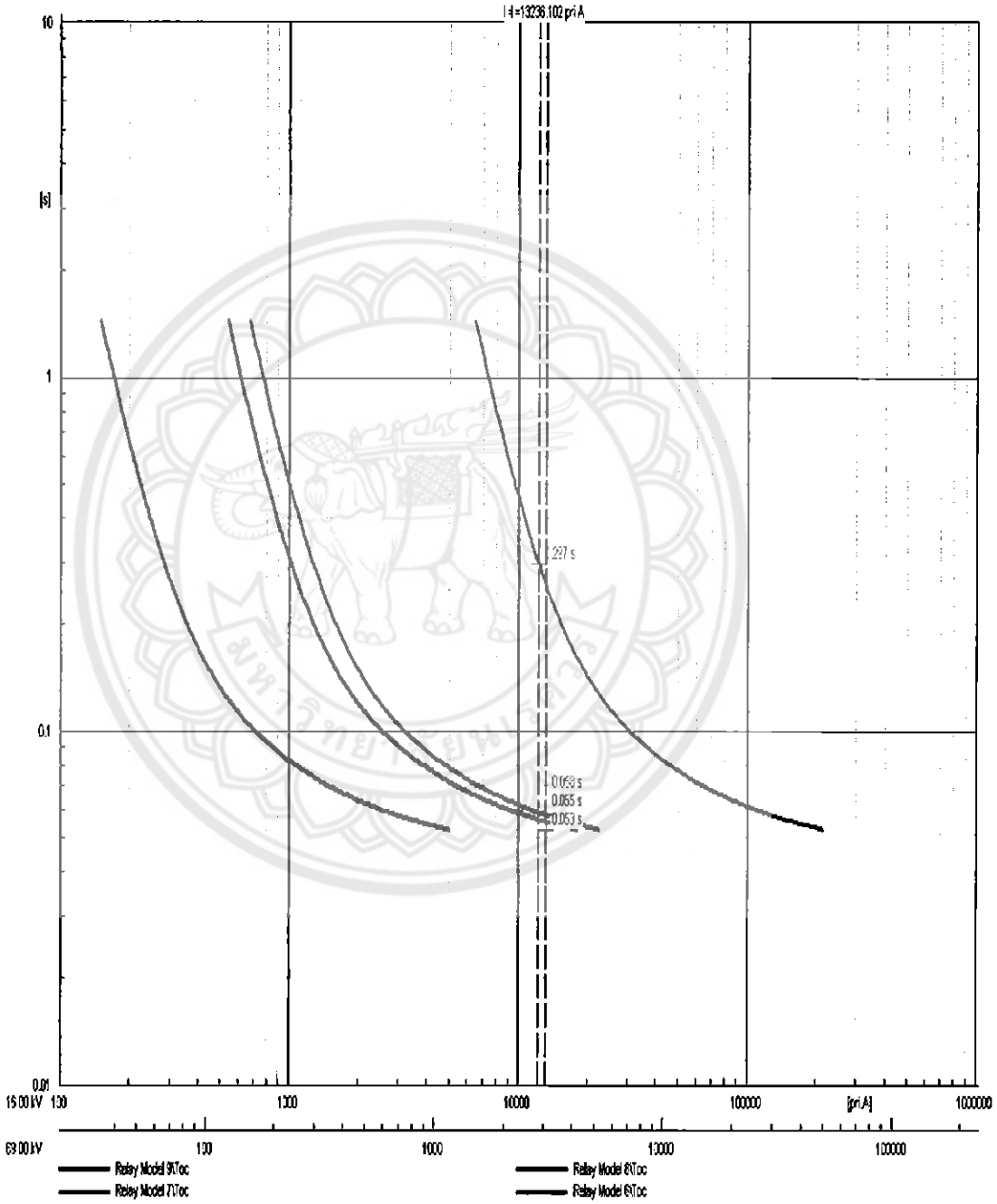
เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L9



Short-Circuit complete	
Circuit Nodes	Nodes
Short-Circuit Power A [MVA]	Line-Ground Voltage,
Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,
Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,

รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L9

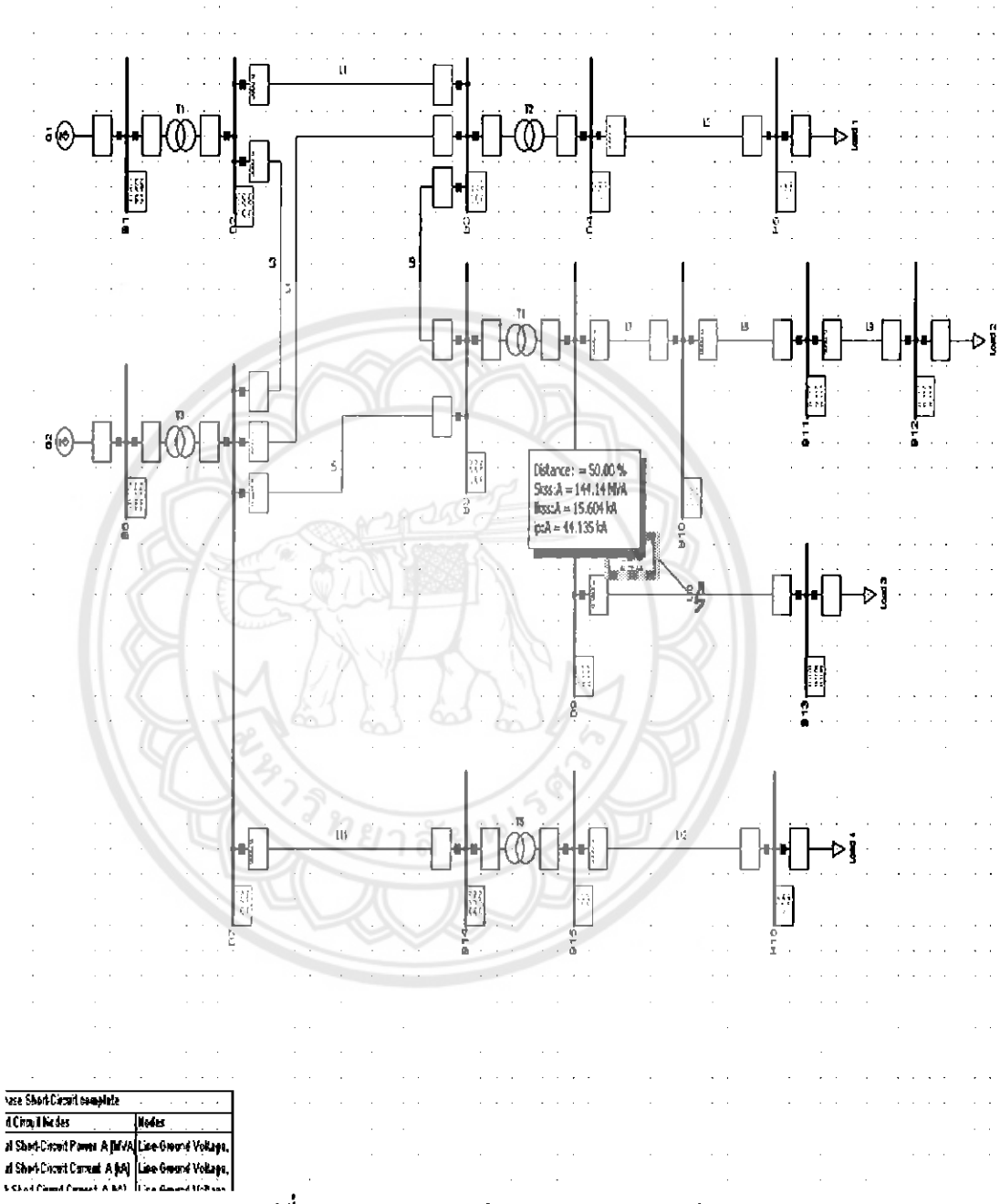
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L9 ทำให้รีเลย์ 9 (Relay 9) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.053 วินาที (S) รีเลย์ 8 (Relay 8) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.055 วินาที (S) รีเลย์ 7 (Relay 7) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.058 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำการทริปที่เวลา 0.299 (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.20 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L9

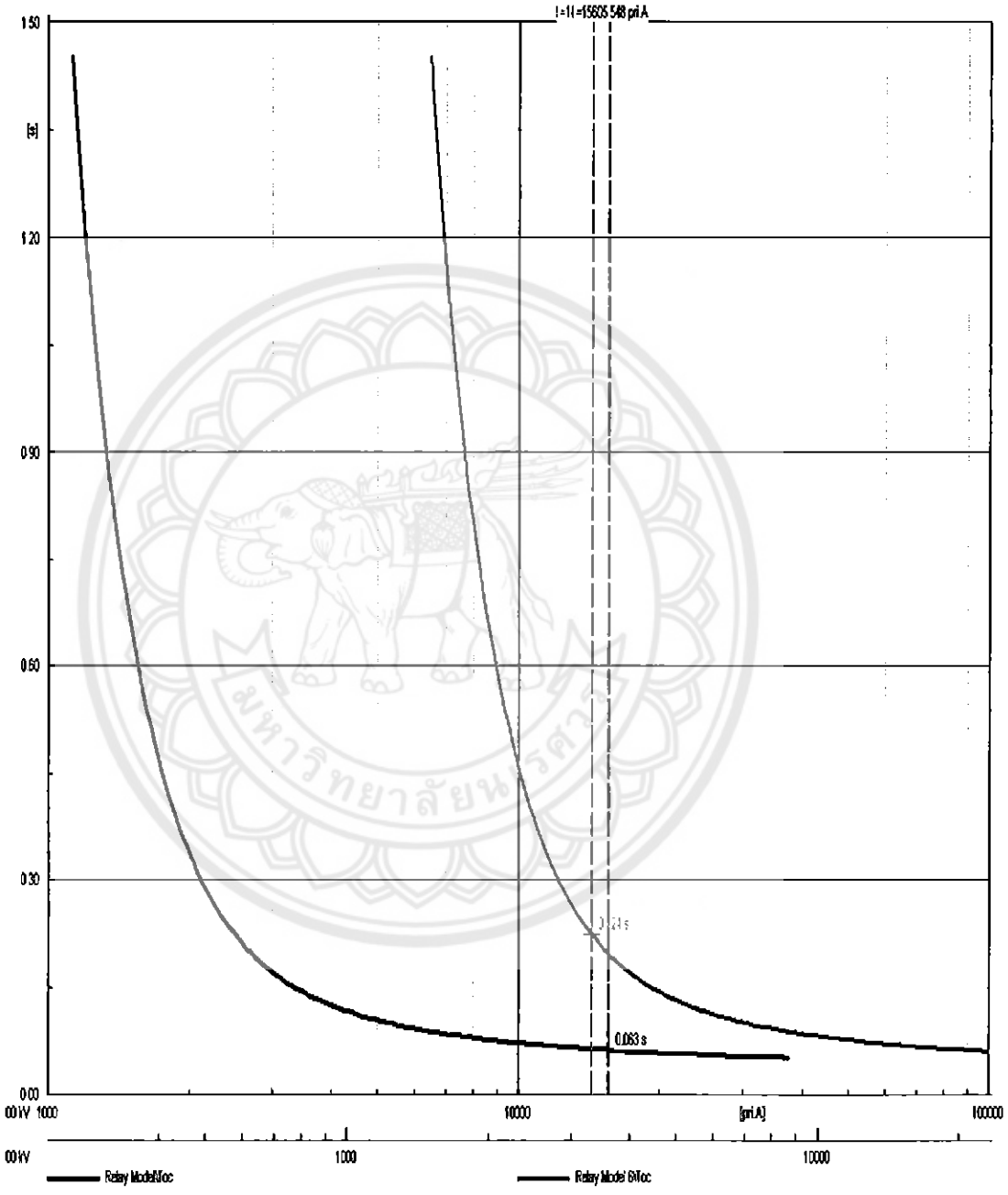
4.3.10 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L10

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L10



รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L10

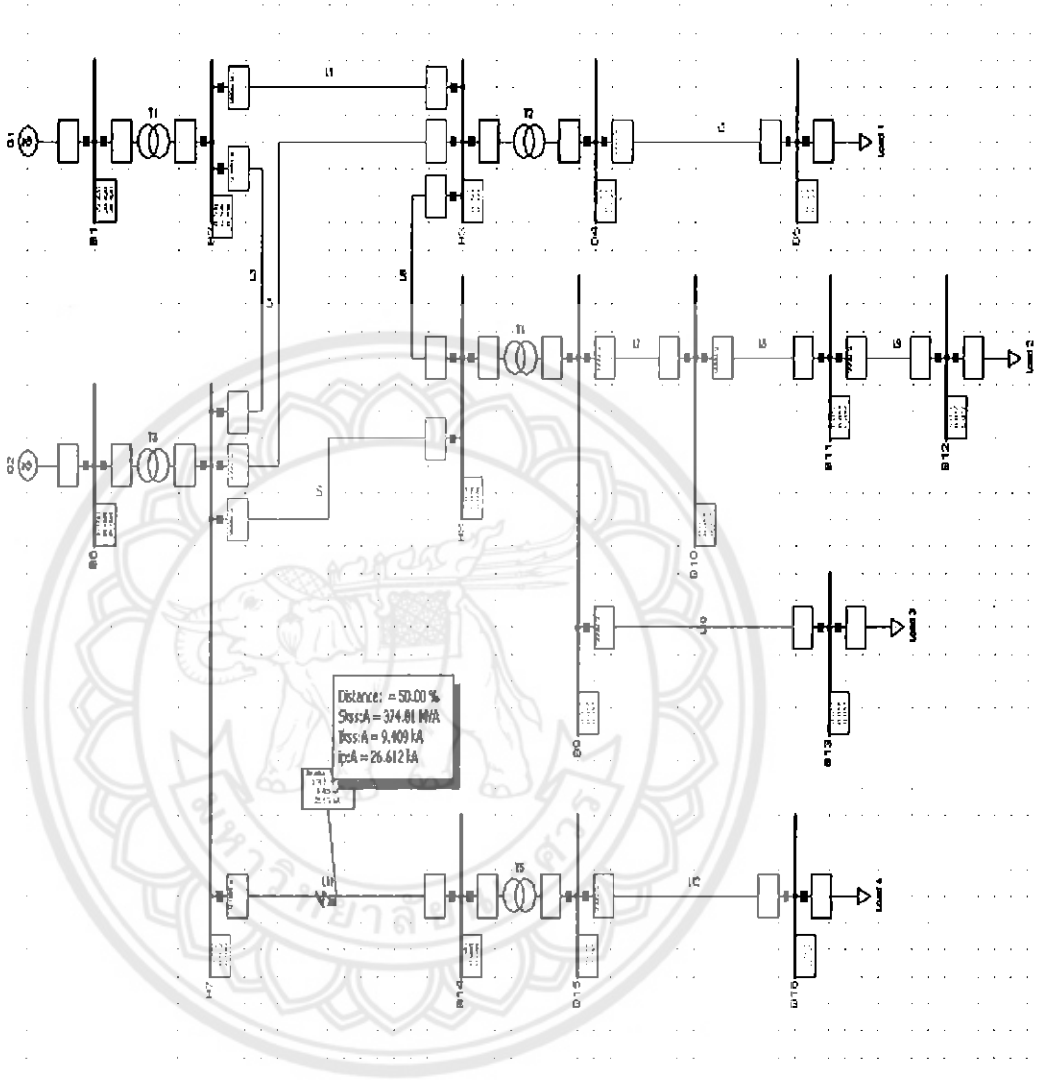
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L10 ทำให้รีเลย์ 10 (Relay 10) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.063 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 6 (Relay 6) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.224 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.22 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L10

4.3.11 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L11

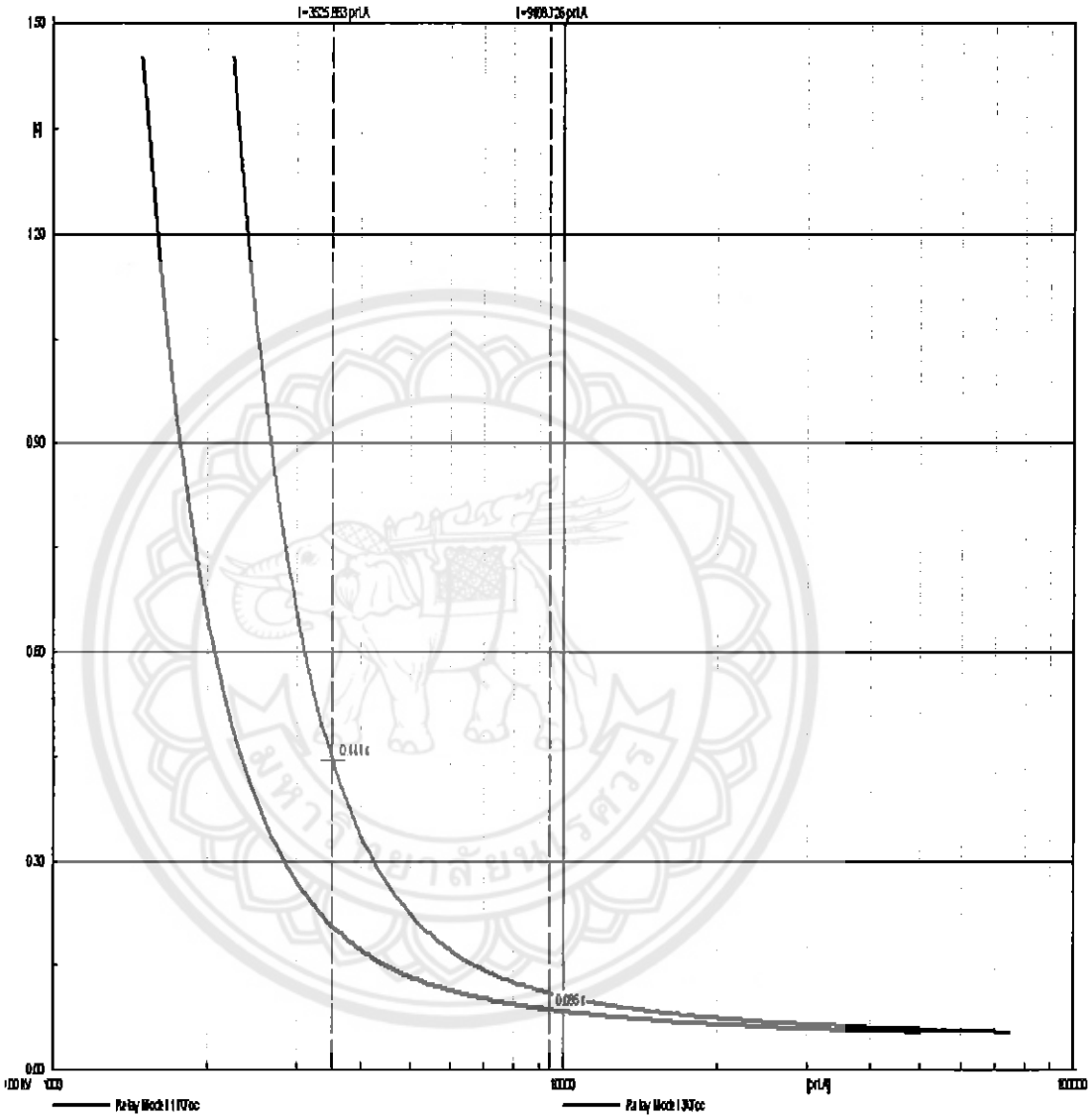
เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L11



3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Nodes
nitial Short-Circuit Power A [MVA]	Line-Ground Voltage,
nitial Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,
Peak Short-Circuit Current A [kA]	Line-Ground Voltage,

รูปที่ 4.23 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L11

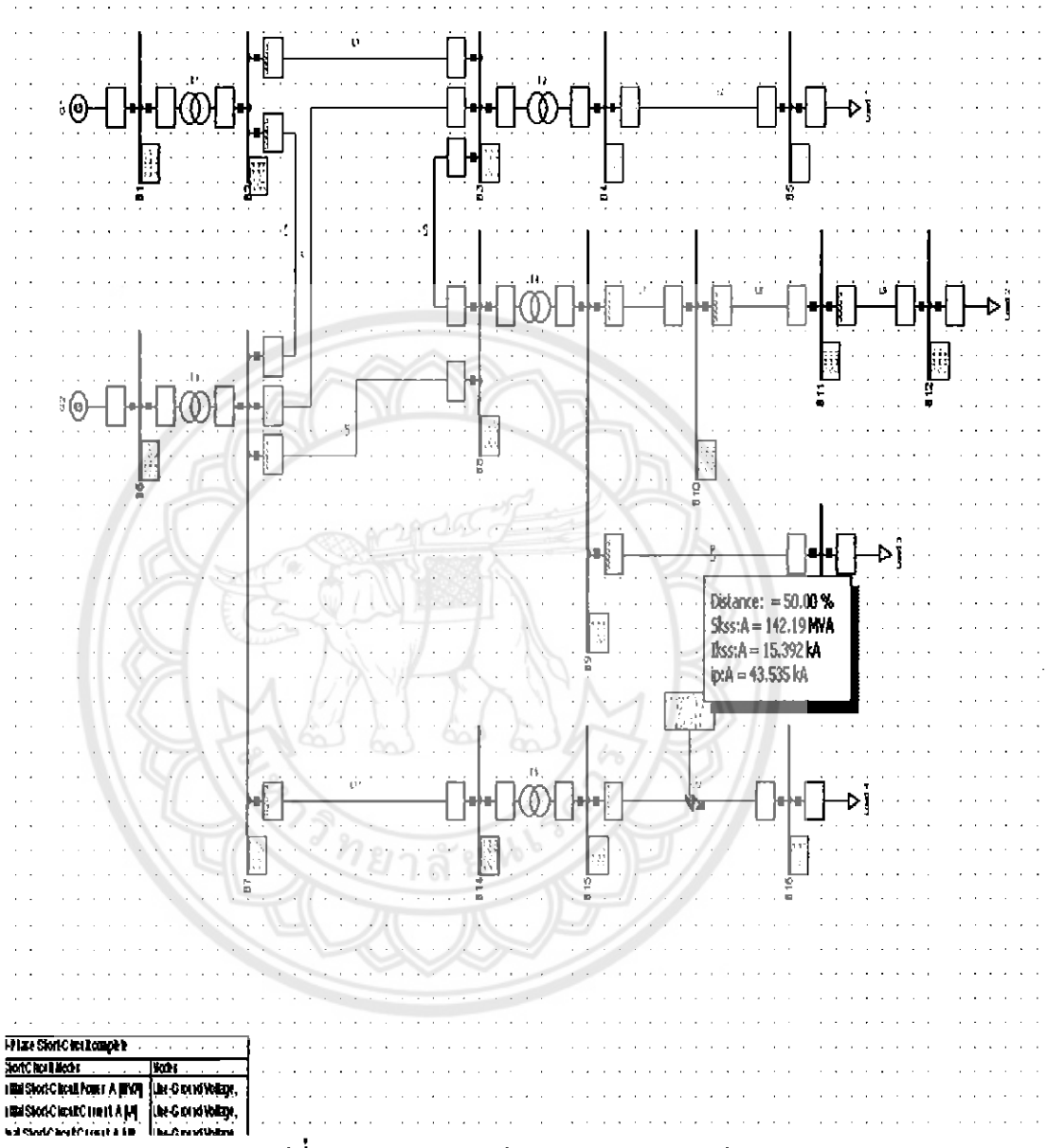
การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L11 ทำให้รีเลย์ 11 (Relay 11) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.085 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 3 (Relay 3) ทำงานเป็นลำดับต่อมา ทำการทริปที่เวลา 0.444 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.24 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L11

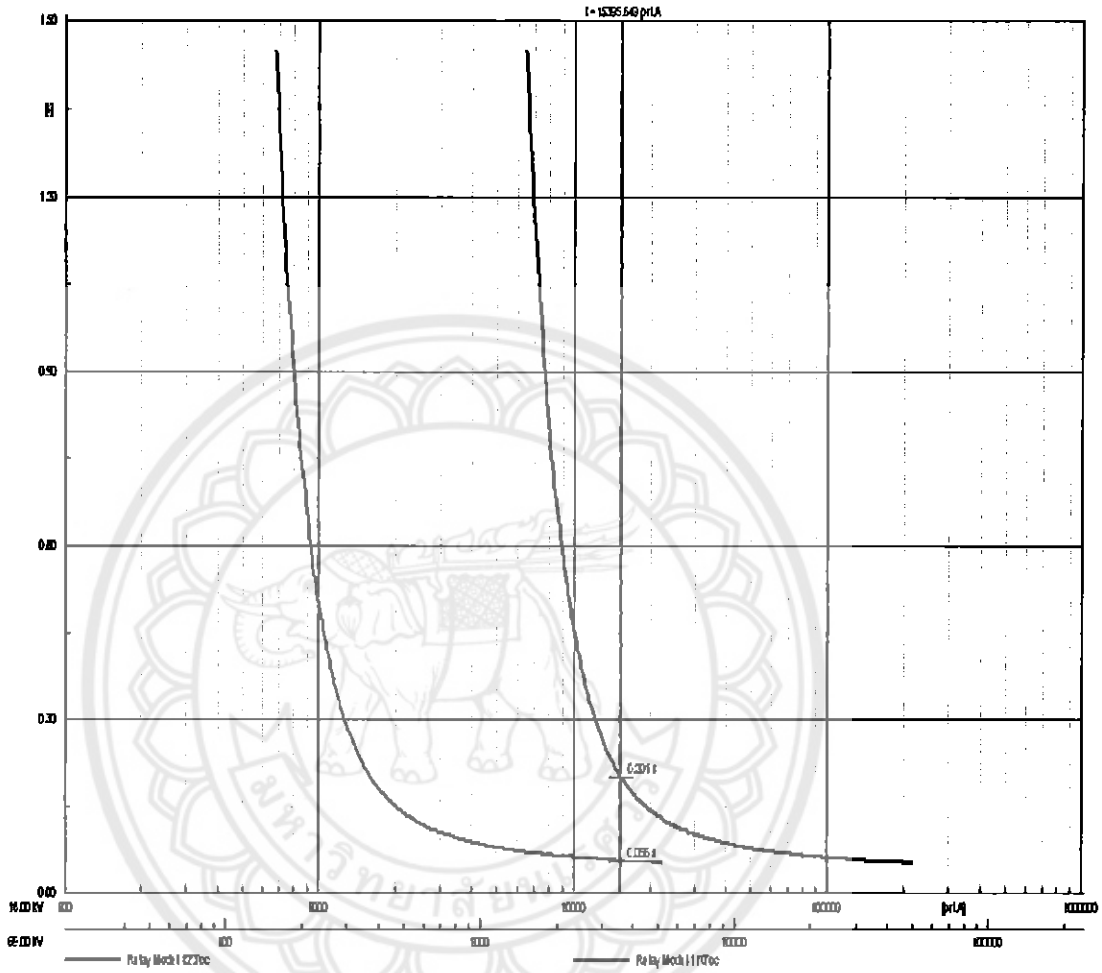
4.3.12 ผลการวิเคราะห์การลัดวงจรที่สายส่ง L12

เกิดการลัดวงจรสามเฟสของสายส่งที่ตำแหน่ง L12



รูปที่ 4.25 แสดงตำแหน่งการลัดวงจรตำแหน่ง L12

การวิเคราะห์การลัดวงจรสามเฟสที่ตำแหน่ง L12 ทำให้รีเลย์ 12 (Relay 12) ทำงานเกิดการทริปเป็นลำดับแรกที่เวลา 0.056 วินาที (S) และทำให้รีเลย์ 11 (Relay 11) ทำงานเป็นลำดับต่อมาทำการทริปที่เวลา 0.201 วินาที (S) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.26 แสดงผลการทริปของรีเลย์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง L12

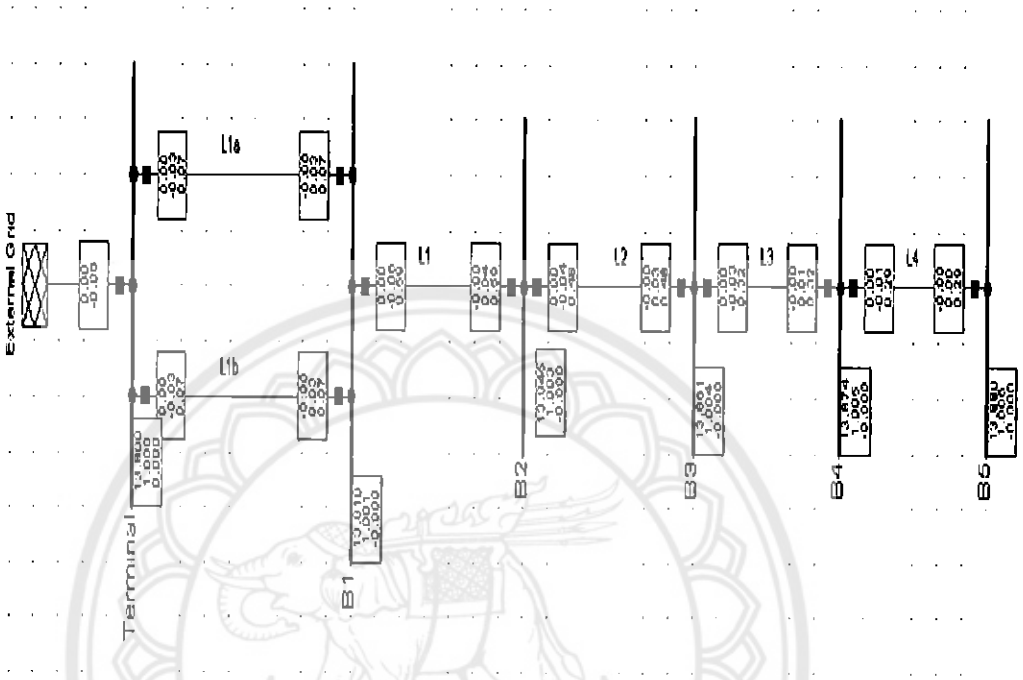
ตารางที่ 4.1 สรุปการลัดวงจรไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

สายส่งที่ทำงานทดสอบ	รีเลย์ที่ทำงาน	เวลาที่รีเลย์ทำงาน (s)
L1	Relay 1, Relay 3	0.112, 0.449
L2	Relay 2, Relay 1	0.056, 0.649
L3	Relay 3	0.216, 0.216
L4	Relay 4, Relay 1	0.13, 0.279
L5	Relay 6, Relay 1	0.138, 0.254
L6	Relay 6, Relay 3	0.088, 0.506
L7	Relay 7, Relay 6	0.057, 0.267
L8	Relay 8, Relay 7, Relay 6	0.056, 0.058, 0.305
L9	Relay 9, Relay 8, Relay 7, Relay 6	0.053, 0.055, 0.058, 0.297
L10	Relay 10, Relay 6	0.063, 0.224
L11	Relay 11, Relay 3	0.085, 0.444
L12	Relay 12, Relay 11	0.056, 0.201

จากตารางที่ได้นำเสนอมาข้างต้นสรุปได้ว่า เมื่อทำการลัดวงจรไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแต่ละสายส่ง ทำให้รีเลย์ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่มีการลัดวงจรไฟฟ้าของระบบ เวลาของรีเลย์ที่ทำการทริป แต่ละตำแหน่งที่ติดตั้งจะใช้เวลาต่างกัน ตำแหน่งที่ใกล้กับบริเวณที่เกิดการลัดวงจรจะทำงานไวสุด เพื่อป้องกันความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในระบบ

ทำการทดสอบเปรียบเทียบกระแสฟอล์ตที่ได้จากการคำนวณและการใช้โปรแกรม

จากระบบส่งแรงดันขนาด 13.8 kV แบบเรเดียล แบบ 3 เฟส ทดสอบหาค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดของระบบ



รูปที่ 4.27 แบบจำลองระบบที่ใช้ทดสอบ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณกระแสฟอลต์สูงสุด

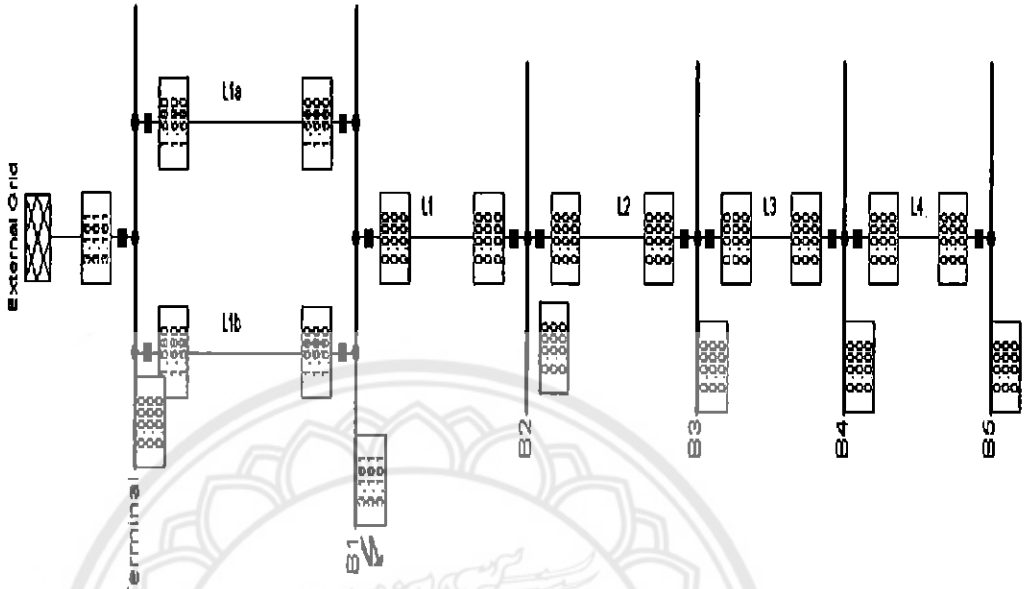
$$I_f = \frac{V/\sqrt{3}}{Z} \tag{4.1}$$

สูตรที่ใช้ในการคำนวณกระแสฟอลต์ต่ำสุด

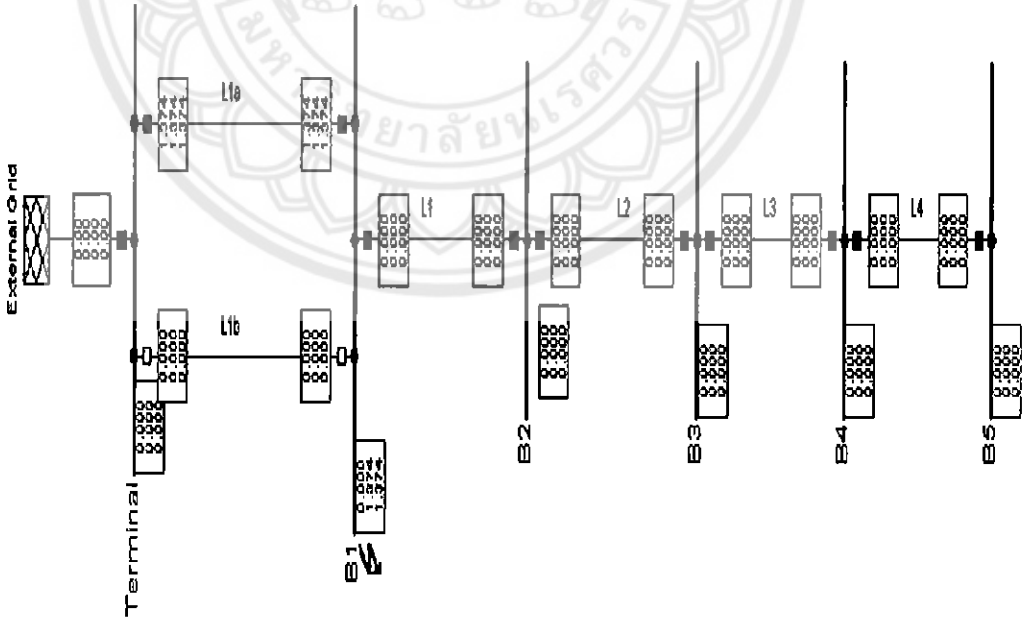
$$I_f = -j\sqrt{3} \bullet I_{a1} \tag{4.2}$$

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{4.3}$$

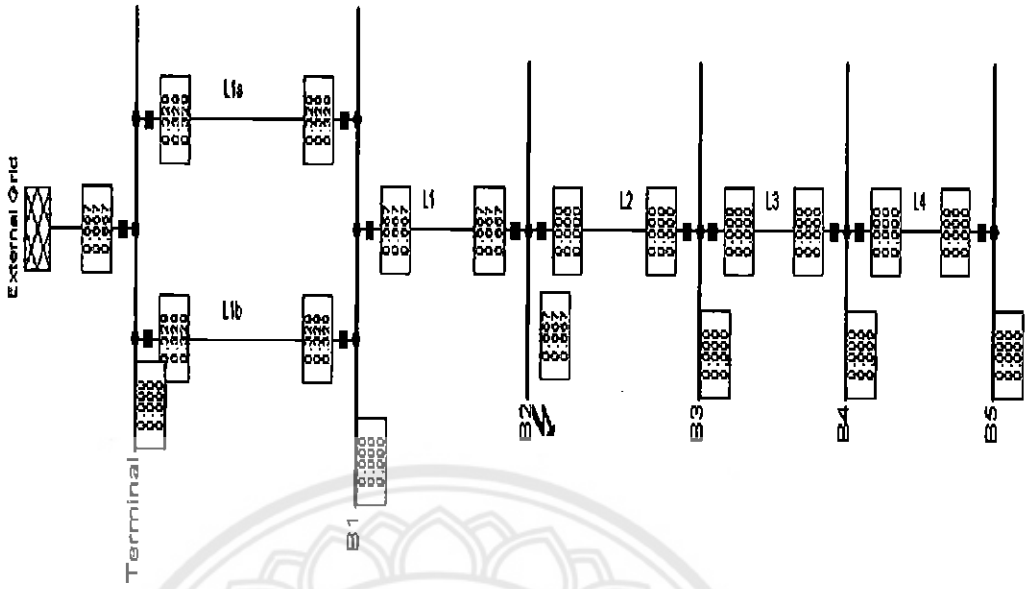
ผลการทดสอบกระแสฟอลต์สูงสุดและต่ำสุด B1, B2, B3, B4 และ B5



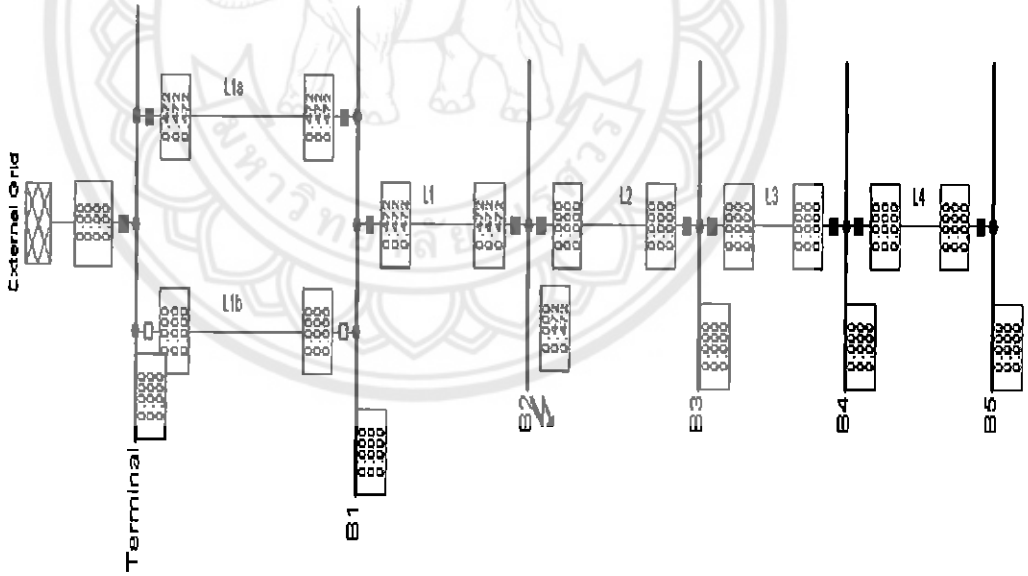
รูปที่ 4.28 กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 1



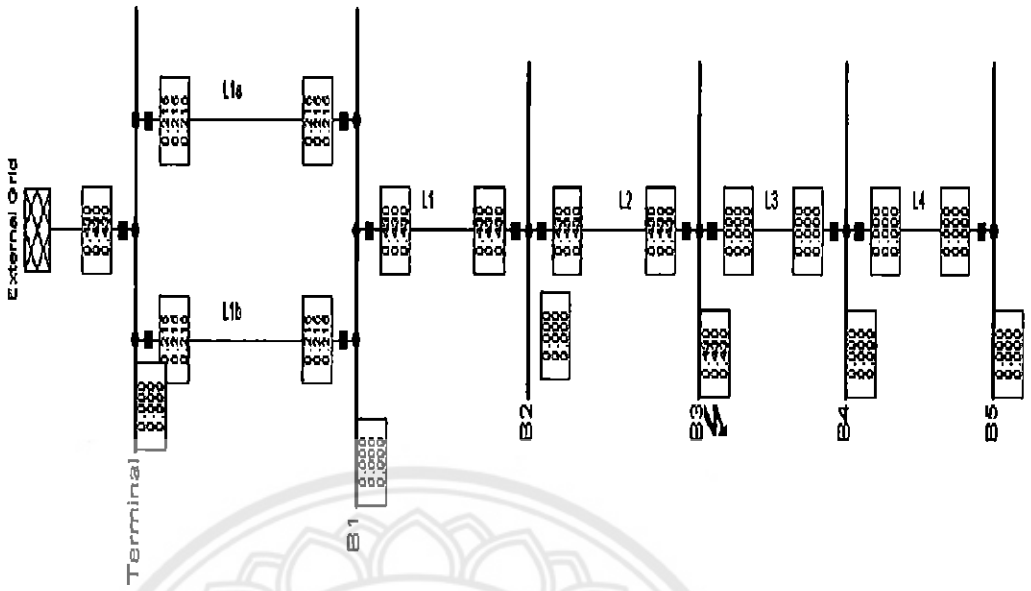
รูปที่ 4.29 กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 1



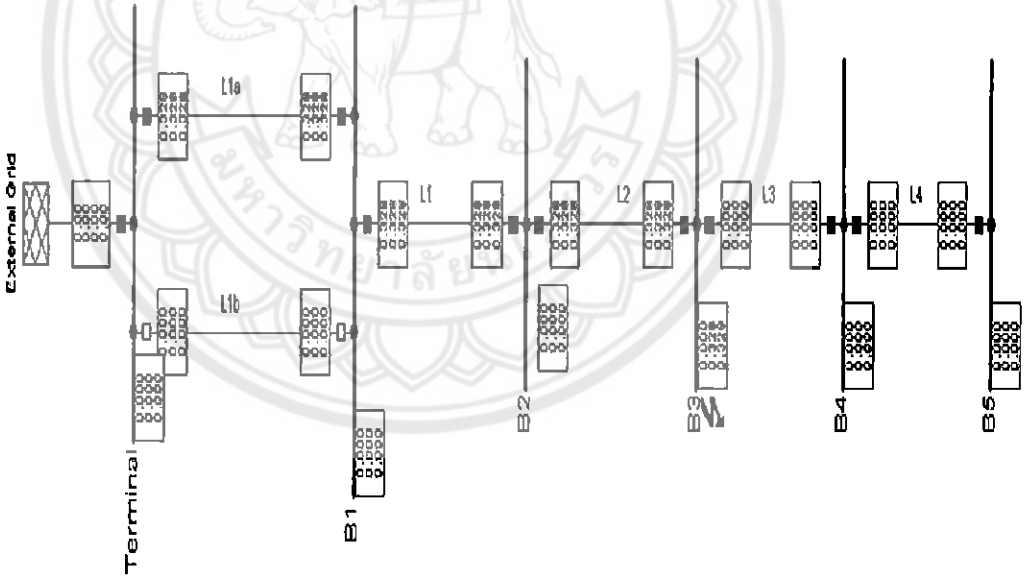
รูปที่ 4.30 กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 2



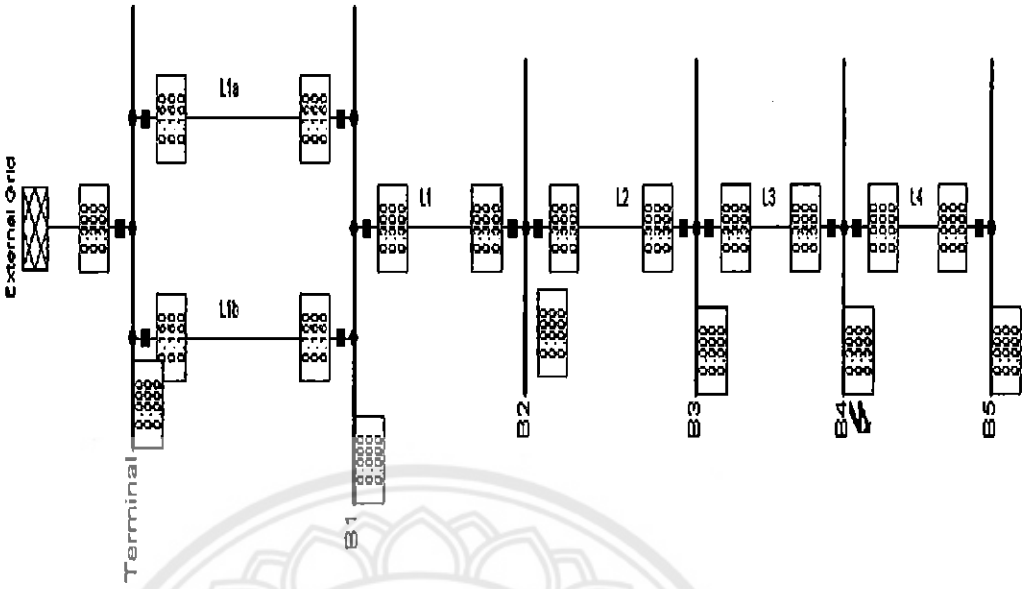
รูปที่ 4.31 กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 2



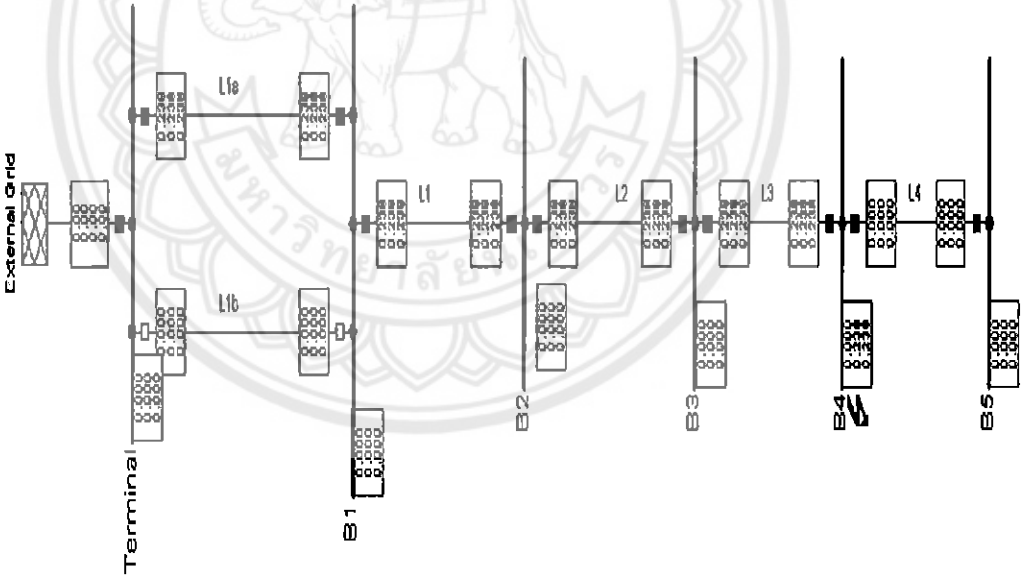
รูปที่ 4.32 กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 3



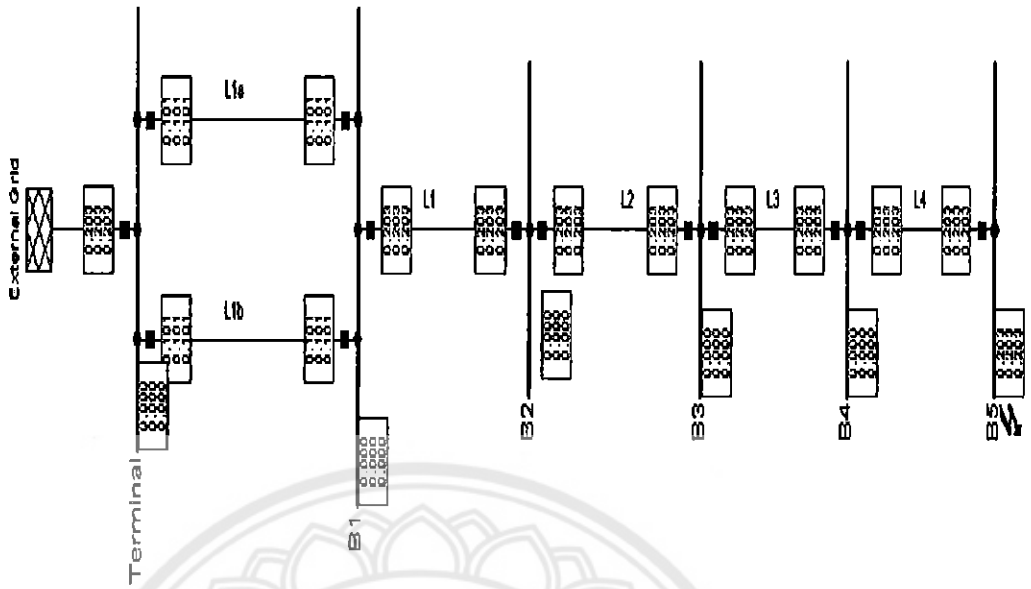
รูปที่ 4.33 กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 3



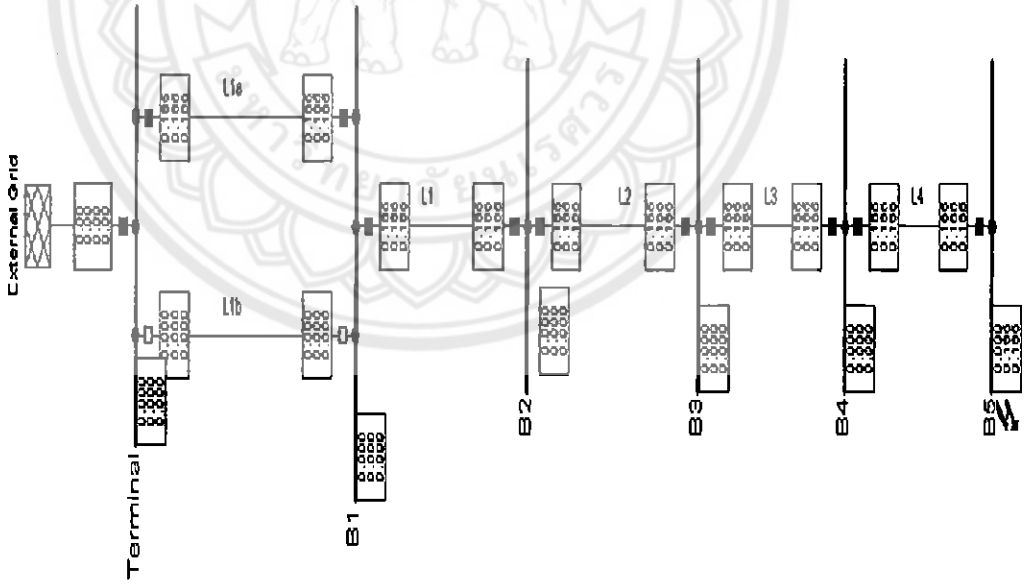
รูปที่ 4.34 กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 4



รูปที่ 4.35 กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 4



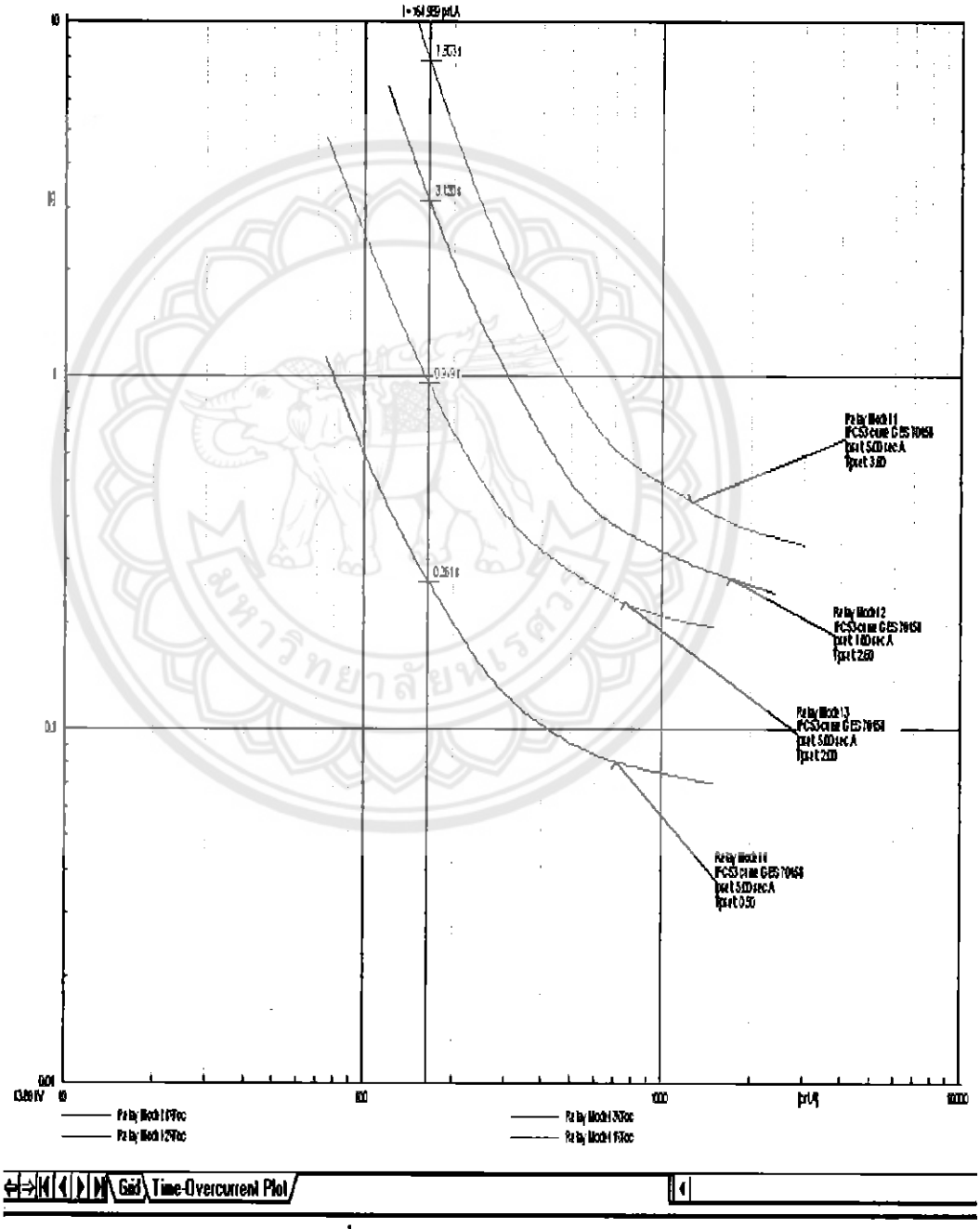
รูปที่ 4.36 กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัส 5



รูปที่ 4.37 กระแสฟอลต์ต่ำสุดที่บัส 5

ตารางที่ 4.2 สรุปการตั้งค่ารีเลย์

	R1	R2	R3	R4
อัตราส่วนกระแส	100:5	100:5	50:5	50:5
กระแสตั้ง,A	5	4	5	5
เวลาทำงาน	3.6	2.6	2.0	0.5



รูปที่ 4.38 แสดงการทำงานของรีเลย์

ตารางที่ 4.3 สรุปกระแสฟอลต์สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละบัส

บัสที่เกิดฟอลต์	กระแสฟอลต์สูงสุด (A)		กระแสฟอล์ตต่ำสุด (A)	
	จากการคำนวณ	จากการทดลอง	จากการคำนวณ	จากการทดลอง
1	3187.2	3161	1380	1374
2	658.5	657	472.6	472
3	430.7	430	328.6	328
4	300.7	300	237.9	238
5	202.7	203	165.1	165

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการจำลองออกแบบระบบไฟฟ้า ทำการทดสอบการป้องกันของระบบไฟฟ้า จำลองการลัดวงจรไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยจะใช้งานโปรแกรม Digsilent Power Factory ทำการวิเคราะห์การป้องกันระบบไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้า และเพื่อพัฒนาความรู้การป้องกันระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ และศึกษาต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน

โปรแกรม Digsilent Power Factory เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างใหม่จึงต้องใช้เวลาในการศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม การเลือกใช้อุปกรณ์การกำหนดค่าอุปกรณ์ ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับระบบ ถ้ากำหนดค่าให้อุปกรณ์ไม่เหมาะสม หรือไม่ถูกต้อง ก็จะทำให้โปรแกรมไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรขอคำแนะนำในการดำเนินโครงงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับโปรแกรม Digsilent Power Factory
2. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น ควรใช้ข้อมูลที่นำมาจากการใช้งานของระบบไฟฟ้าที่มีอยู่จริง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์กับระบบไฟฟ้าได้
3. โปรแกรม Digsilent Power Factory ต้องใช้ในระบบเครือข่ายไม่สามารถใช้ได้ตามทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ชลชัย ธรรมวิวัฒนกูร. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : เอ็มแอนด์อี, 2546.

[2] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. **การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2538.

[3] โชจิ โอฮามา. **อุปกรณ์รับและจ่ายไฟสำหรับโรงงานและอาคารขนาดใหญ่**. พิมพ์ครั้งที่13. กรุงเทพมหานคร : ส.ส.ท. 2546

[4] PowerFactory Manual. Gomaringen, Germany. 2007

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นายชัชนะพล ธิมาแดง

ภูมิลำเนา 107/1 หมู่ 1 ต.ห้วยลาน อ.ดอกคำใต้ จ.พะเยา 56120

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนดอกคำใต้วิทยาคม
- ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : chatchanapon@yahoo.com