

การวิเคราะห์ระบบโครงข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำ  
ไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย

นายวรวิทย์ กังสมุท



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-028-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕๑๖๕๙๙๖๖๐

**UNEQUALLY SPACED GROUNDING GRID ANALYSIS  
FOR ELECTRICAL POWER SUBSTATIONS**



**Mr. Warawit Kangsamut**

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

**Department of Electrical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1997**

**ISBN 974-637-028-6**



พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



รววิทย์ กังสมุทร : การวิเคราะห์ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของ  
สถานีไฟฟ้าย่อย (UNEQUALLY SPACED GROUNDING GRID ANALYSIS FOR ELECTRICAL  
POWER SUBSTATIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 148 หน้า. ISBN 974-637-028-6

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของความรู้ทางทฤษฎี และส่วนของซอฟต์แวร์ โดยในส่วนของทฤษฎีนั้นจะครอบคลุมตั้งแต่ความรู้พื้นฐานไปจนถึง การวิเคราะห์ และออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย และในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นได้พัฒนา เป็นโปรแกรมซึ่งมีชื่อว่า " Substation Grounding Design Program (SGDP) " ด้วยภาษา Visual Basic เวอร์ชัน 4.0 เพื่อช่วย อำนวยความสะดวกแก่วิศวกรไฟฟ้าในการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่พิจารณานั้น เป็นระบบโครงตาข่ายที่มีลักษณะเป็นที่เหลี่ยมเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงผลของแท่งดิน ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาใน 3 ลักษณะ คือ ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ตัวนำเท่ากัน ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน และระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากผลการวิจัย โดยทดลองออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อย 4 แห่ง ที่มีขนาด 72x107 ตารางเมตร 40x80 ตาราง เมตร 40x50 ตารางเมตร และ 16x33 ตารางเมตร พบว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่า กัน และระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตสามารถป้องกันอันตรายที่ อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงสถานีไฟฟ้าย่อยได้ดีกว่า และใช้จำนวนลวดตัว นำน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน แต่ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะ ห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน ไม่สามารถออกแบบระบบโครงตาข่ายสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดเล็กได้ ดังนั้นจึง สามารถกล่าวได้ว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันจะเหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ขนาดใหญ่ ในขณะที่ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะเหมาะ สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดกลาง และเล็ก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง.....  
ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิติคน.....[Signature].....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....[Signature].....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....[Signature].....

##C815889:MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: UNEQUALLY SPACED / GROUNDING GRID / GEOMETRIC SEQUENCE /  
STEP OF REDUCING FACTOR / MESH VOLTAGE / TOUCH VOLTAGE /  
VOLTAGE DISTRIBUTION

WARAWIT KANGSAMUT : UNEQUALLY SPACED GROUNDING GRID  
ANALYSIS FOR ELECTRICAL POWER SUBSTATIONS. THESIS

ADVISOR : ASST. PROF. PRASIT PITTAYAPAT. 148 pp.  
ISBN 974-637-028-6.

This thesis describes a substation grounding grid, which comprises of two sections, i.e. the theoretical background study and software development. In the first section, the substance included the basic theory and the methods of design and analysis. For the other section, the software, Substation Grounding Design Program (SGDP) was written by Visual Basic version 4.0, to assist an electrical engineer in designing substation grounding grid.

The grounding grid considered are of rectangular shape, disregarding the effect of ground rod in this design. There are three methods that is studies, the equally spaced grounding grid, the unequally spaced grounding grid, and the unequally spaced grounding grid (geometric sequence).

The design examples in this thesis were carried out on four different size of substations, namely, 72mx107m, 40mx80m, 40mx50m, and 16mx33m. The results of the designs have shown that, the unequally spaced grounding grid and the unequally spaced grounding grid (geometric sequence), both gave less touch and step voltages and used less grounding conductors than the equally spaced grounding grid. But the small substations cannot be designed by the unequally spaced grounding grid method. It can be concluded that the unequally spaced grounding grid is suitable for large substation while the unequally spaced grounding grid (geometric sequence) is appropriate for medium and small substations.

สถาบันวิทยบริการ  
ศาลากลางมหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ลายมือชื่อนิติ.....Warawit Kangsamut.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....Prasit Pittayapat.....

ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำ วิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ และแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้นต้องขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. จรววย บุญยกุล (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้อ อารณ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำในการทำ วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลงด้วยดี

อนึ่ง เนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญาโททั้งหมดนี้ได้รับการสนับสนุนจาก การทำงานในระหว่างการศึกษา ณ บริษัท บางกอกโพลีเอสเตอร์ จำกัด จึงใคร่ขอขอบคุณบริษัท บางกอกโพลีเอสเตอร์ จำกัด มา ณ. ที่นี้ด้วยที่เล็งเห็นความสำคัญต่อการศึกษาในระดับสูงของนัก ศึกษา และให้โอกาสในการทำงาน ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานที่สำคัญอันจะนำไปสู่การพัฒนา ประเทศต่อไป

นอกจากนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ คุณสรารุช โรจน์ประสิทธิ์ จากบริษัท เช็กโก้ เอช.วี. จำกัด คุณธีรศักดิ์ สุปิติ และคุณโกมล มุตติสานต์ จาก ABB Contracting Limited ผู้ให้ข้อมูล ต่างๆ ในการศึกษา และวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา และ ทุกๆ คนผู้อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

รววิทย์ กังสมุท

กรกฎาคม 2540



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฐ
สารบัญภาพ .....	ฅ
บทที่	
1. บทนำทั่วไป .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 สภาพปัญหาและแนวทางแก้ไข .....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ .....	4
1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	6
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ .....	6
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ .....	6
2. ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย .....	8
2.1 มาตรฐานการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ของสถานีไฟฟ้าย่อย .....	8
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย .....	9
2.2.1 ดิน .....	9
2.2.1.1 การวัดแบบ 3 จุด .....	11
2.2.1.2 การวัดแบบ 4 จุด .....	12
2.2.2 หินกรวด .....	13
2.2.3 ความต้านทานของร่างกายมนุษย์ .....	14
2.2.3.1 วงจรสมมูลย์ของการเกิดอันตรายเนื่องจาก.....	15
การสัมผัส	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3.2 วงจรสมมุติของการเกิดอันตรายเนื่องจาก ..... การก้าวเดิน	17
2.2.4 กระแส และช่วงเวลาที่เกิดการผิดพลาด .....	18
2.2.5 ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุด และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุด ..... ที่มนุษย์สามารถทนได้	21
2.2.6 ลวดตัวนำ .....	22
2.2.7 GPR กระแส และความต้านทานของระบบโครงตาข่าย ..... การต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย	26
2.28 ศักดาไฟฟ้าเมฆ และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าว .....	29
2.3 การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ดี .....	32
3. ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน ..... ของสถานีไฟฟ้าย่อย	33
3.1 การคำนวณหาการกระจายแรงดันบนผิวดิน .....	33
3.2 การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย	38
4. ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน ..... ของสถานีไฟฟ้าย่อย	43
4.1 การคำนวณหาการกระจายแรงดันบนผิวดิน .....	44
4.2 การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย	51
5. ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน ..... แบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย	57
5.1 การคำนวณหาการกระจายแรงดันบนผิวดิน .....	57
5.2 การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย	61



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6. โปรแกรมการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย .....	65
6.1 คำนำ .....	65
6.2 ภาพรวมของ Visual Basic .....	67
6.3 หลักการ โปรแกรมเชิงภาพของ Visual Basic .....	68
6.4 ลักษณะของโปรแกรม .....	69
6.4.1 โปรแกรมส่วนกลาง .....	70
6.4.1.1 ส่วนของแถบเมนู .....	70
6.4.1.2 ส่วนรับข้อมูล และคำนวณพื้นฐาน .....	77
6.4.1.3 ส่วนเลือกวิธีการออกแบบ .....	79
6.4.2 โปรแกรมส่วนออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน .....	80
6.4.2.1 ส่วนออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน .....	80
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	
6.4.2.2 ส่วนออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน .....	85
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	
6.4.2.3 ส่วนออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน .....	89
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	
แบบลำดับเรขาคณิต	
7. ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย .....	101
โดยใช้โปรแกรม SGDP และผลการวิเคราะห์	
7.1 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1 .....	102
7.1.1 ผลการออกแบบ .....	102
7.1.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ .....	109
7.2 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2 .....	111
7.2.1 ผลการออกแบบ .....	111
7.2.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ .....	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3 ระบบโครงข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3 .....	119
7.3.1 ผลการออกแบบ .....	119
7.3.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ .....	123
7.4 ระบบโครงข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4 .....	125
7.4.1 ผลการออกแบบ .....	125
7.4.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ .....	129
7.5 สรุปผลการวิเคราะห์ .....	131
8. สรุป และข้อเสนอแนะ .....	133
รายการอ้างอิง .....	136
ภาคผนวก ก. ทวคตัวนำการต่อลงดิน .....	139
ภาคผนวก ข. คู่มือการใช้โปรแกรม .....	141
ประวัติผู้เขียน .....	148

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน .....	9
2.2	ค่าความต้านทานจำเพาะของหินประเภทต่างๆ .....	14
2.3	ค่าความต้านทานของอวัยวะต่างๆ ของมนุษย์ .....	15
2.4	ปริมาณกระแสที่เพศชาย และเพศหญิงสามารถทนได้ .....	19
2.5	ปริมาณกระแสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ กับร่างกายมนุษย์ .....	19
2.6	ค่าคงที่ของวัสดุประเภทต่างๆ ที่ใช้เป็นลวดตัวนำ .....	22
2.7	ขนาดลวดตัวนำที่เล็กที่สุดต่อหนึ่งหน่วยกระแส (cmils/A) .....	25
2.8	ค่าตัวประกอบการลด ( $D_p$ ) .....	27
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ $b$ และจำนวนช่องของ ตัวนำ ( $k$ ) .....	50
7.1	เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของ สถานีย่อยที่ 1 .....	109
7.2	เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน สถานีย่อยที่ 2 .....	117
7.3	เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของ สถานีย่อยที่ 3 .....	124
7.4	เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของ สถานีย่อยที่ 4 .....	130

## สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	เกรเดียนต์ที่เกิดขึ้นภายใน และบริเวณใกล้เคียงสถานีไฟฟ้าย่อย .....	2
1.2	ลักษณะของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นทั้ง 4 แบบ .....	3
2.1	ผลของความชื้น อุณหภูมิ และสารเคมีภายในดินที่มีต่อค่า .....	10
	ความต้านทานจำเพาะของดิน	
2.2	วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินด้วยวิธีวัดแบบ 3 จุด .....	11
2.3	วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินด้วยวิธีวัดแบบ 4 จุด .....	12
2.4	การ โรยหินกรวด .....	14
2.5	วงจรสมมูลย์ของการเกิดอันตรายเนื่องจากการสัมผัส .....	16
2.6	วงจรสมมูลย์ของการเกิดอันตรายเนื่องจากการก้าวเดิน .....	18
2.7	ขนาดที่เล็กที่สุดของลวดตัวนำกับช่วงเวลาที่เกิดลัดพร้อม .....	25
2.8	ค่า G ของสาย Overhead Ground Wire .....	28
2.9	ค่า B ของสาย Overhead Ground Wire .....	29
3.1	ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของเมฆบริเวณมุมของ โครงดาข่าย .....	34
	การต่อลงดินกับลวดตัวนำที่วางขนานกัน และลวดตัวนำเสมือน	
3.2	ภาพโครงดาข่ายจากด้านบน .....	35
3.3	รูปเรขาคณิตสำหรับการพิจารณาความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในแนวนอนของ .....	36
	ระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	
3.4	รูปเรขาคณิตสำหรับการพิจารณาความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งของ .....	36
	ระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	
3.5	แผนผังการออกแบบระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง .....	41
	ระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย	
4.1	รูปเรขาคณิตสำหรับการพิจารณาความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในแนวนอนของ .....	44
	ระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	
4.2	รูปเรขาคณิตสำหรับการพิจารณาความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งของ .....	45
	ระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 การกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบโครงตาข่าย ..... การต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	48
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ระยะห่างของช่องย่อยกับลำดับที่ ..... ของช่องย่อย และจำนวนช่องตัวนำ	49
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ $b$ และจำนวนช่องของตัวนำ ( $k$ ) .....	50
4.6 แผนผังการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อย	55
5.1 การกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ..... ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	58
5.2 ระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	61
5.3 แผนผังการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อย	63
6.1 การเขียน โปรแกรมแบบธรรมดา กับแบบ Even-Driven .....	69
6.2 Introductory Windows .....	71
6.3 แถบเมนู .....	71
6.4 ข้อความเพื่อให้ผู้ใช้เลือกว่าต้องการจัดเก็บ โครงการงานเดิมหรือไม่ .....	72
6.5 Open Control Box เมื่อผู้ใช้เลือก Open Option .....	73
6.6 Save Control Box เมื่อผู้ใช้เลือก Save Option .....	74
6.7 หน้าต่าง Print Setup .....	74
6.8 หน้าต่างให้ผู้ใช้เลือกผลการออกแบบที่ต้องการพิมพ์ออกมาทาง ..... เครื่องพิมพ์	75
6.9 ข้อความเมื่อเลือก Exit Option .....	75
6.10 เครื่องคิดเลขเมื่อผู้ใช้เลือก Calculation Option .....	76
6.11 หน้าต่างรับข้อมูลพื้นฐานของ โปรแกรมส่วนกลาง .....	78

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.12	หน้าต่างการคำนวณหาขนาดตัวนำที่เล็กที่สุด .....	78
6.13	หน้าต่างการคำนวณหาศักดาไฟฟ้าสัมพัทธ์สูงสุด และศักดาไฟฟ้า ช่วงก้ำวสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 และ 70 กิโลกรัม และค่า Admittance of Lader Network	79
6.14	หน้าต่างให้ผู้ใช้เลือกวิธีการออกแบบ .....	80
6.15	ข้อความเตือน หากผู้ใช้ไม่ได้เลือกวิธีการออกแบบ .....	80
6.16	หน้าต่างการกำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำที่เท่ากัน และการคำนวณ หาค่าความต้านทานโครงตาข่าย	81
6.17	หน้าต่างการคำนวณหากระแสโครงตาข่าย และค่า GPR .....	81
6.18	ข้อความเตือนผู้ใช้ให้แก้ไขการออกแบบ .....	82
6.19	ข้อความยอมรับการออกแบบ .....	82
6.20	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	83
6.21	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	84
6.22	ระยะตามแนวยาวของการกระจายแรงดันบนผิวดิน .....	84
6.23	การกระจายแรงดันบนผิวดิน ณ จุดต่างๆ เหนือสถานีไฟฟ้าย่อยตาม แนวยาวของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน	85
6.24	หน้าต่างการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	86
6.25	ข้อความแจ้งให้ผู้ใช้ทราบหากไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีระยะห่าง ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันได้	86
6.26	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน	87

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.27	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ..... 88 ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
6.28	การจัดวางระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำ ..... 88 ไม่เท่ากัน
6.29	การกระจายแรงดันบนผิวดิน ณ. จุดต่างๆ เหนือสถานีไฟฟ้าย่อยตาม ..... 89 แนวยาวของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำ ไม่เท่ากัน
6.30	หน้าต่างการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง ..... 90 ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
6.31	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ..... 91 ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
6.32	หน้าต่างแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มี ..... 92 ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
6.33	การจัดวางระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำ ..... 92 ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
6.34	การกระจายแรงดันบนผิวดิน ณ. จุดต่างๆ เหนือสถานีไฟฟ้าย่อยตาม ..... 93 แนวยาวของระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำ ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
6.35	แผนผังโปรแกรมการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของ ..... 94 สถานีไฟฟ้าย่อย
7.1	ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 103 ตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1
7.2	ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 105 ตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

## สารบัญญภาพ (ต่อ )

รูปที่	หน้า
7.3	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 107 ตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1
7.4	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 111 ตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2
7.5	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 113 ตัวนำ ไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2
7.6	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 115 ตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2
7.7	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 119 ตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3
7.8	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 121 ตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3
7.9	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 122 ตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3
7.10	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 125 ตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4
7.11	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 127 ตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4
7.12	ผลการออกแบบระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ..... 128 ตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4