

บทที่ 7

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย โดยใช้โปรแกรม SGDP และผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยในแต่
ละวิธีดังนี้

- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน
- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

โดยใช้โปรแกรม SGDP (Substation Grounding Design Program) ซึ่งขั้นตอนการออก
แบบ และการแสดงผลจะเป็นไปตามลำดับ ดังต่อไปนี้

- 1). ป้อนข้อมูลส่วนกลางของสถานีไฟฟ้าย่อย
- 2). กำหนดหาขนาดตัวนำที่เล็กที่สุด
- 3). กำหนดหาคักคาไฟฟ้าสัมพัทธ์สูงสุด และคักคาไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุดที่มนุษย์สามารถทน
ได้
- 4). เลือกวิธีการออกแบบ

4.1). ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

- กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำ
- กำหนดหาค่าความต้านทานโครงตาข่าย กระแสโครงตาข่าย และ GPR
- กำหนดหาคักคาไฟฟ้าเมฆ และคักคาไฟฟ้าช่วงก้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจาก
ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน

- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง
ระหว่างตัวนำเท่ากัน

4.2). ระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

- กำหนดจำนวนลวดตัวนำที่ตั้งฉากในแต่ละด้านของสถานีไฟฟ้าย่อย

- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

4.3). ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

- กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายในแต่ละด้านของสถานีไฟฟ้าย่อย

- กำหนดค่าคงที่ของการลดลง

- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

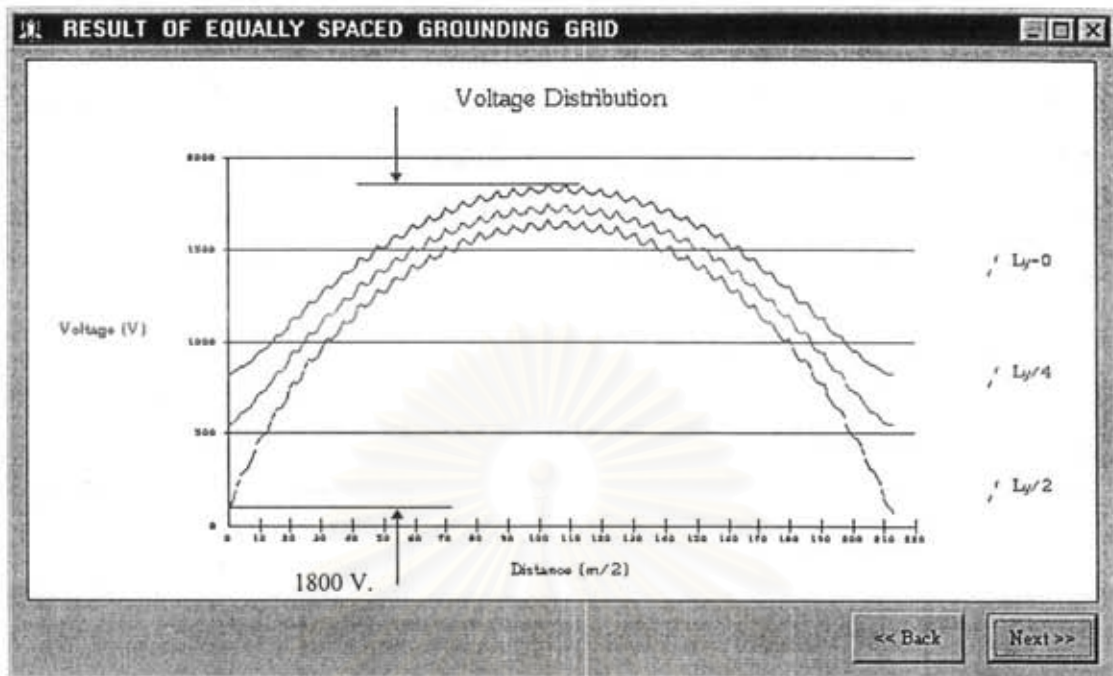
7.1 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) $72 \times 107 \text{ m}^2$ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน $500 \text{ ohm}\cdot\text{m}$. กระแสผิดพลาดสูงสุดลงดิน (Ground Fault Current) 5.28 kA ช่วงเวลาการผิดพลาด 0.6 sec .

การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m . ไรยหินกรวดหนา 0.1 m . ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน $3,000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ $1,000 \text{ ohm}$. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.1.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

จากรูปที่ 7.1 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.75 m. สักคาไฟฟ้าเมฆ และ สักคาไฟฟ้าช่วงก้ำวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยการคำนวณมีค่า 557.27 และ 689.87 V. ตามลำดับ แต่ถ้าอ่านค่าจากกราฟการกระจายแรงดันบนผิวดินจะได้ว่าสักคาไฟฟ้าเมฆสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่า 180 V. ซึ่งต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณมาก เนื่องจากค่าที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นการใช้สมการที่สร้างจากการประมาณหลายขั้นตอน และในการประมาณจึงเพิ่มระดับความปลอดภัย (Safety Factor) เพื่อให้ปลอดภัยมากขึ้นด้วย อีกทั้งสมการที่ใช้ในการคำนวณหา สักคาไฟฟ้าเมฆ และ สักคาไฟฟ้าช่วงก้ำวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินใช้ได้ เฉพาะระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันเท่านั้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบจะใช้สักคาไฟฟ้าเมฆที่อ่านได้จากกราฟเป็นตัวเปรียบเทียบ และโดยทั่วไปสักคาไฟฟ้าช่วงก้ำวสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้จะมีค่ามากกว่าสักคาไฟฟ้าช่วงก้ำวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินมาก ดังนั้นในการเปรียบเทียบจึงจะเปรียบเทียบเฉพาะสักคาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ และสักคาไฟฟ้าเมฆที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินเท่านั้น ซึ่งสักคาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 598.44 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 809.97 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง

ระหว่างตัวนำเหล่านี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 2.60 ohm. กระแสโครงตาข่าย 2.59 kA. และ GPR 6.72 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 6,224 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm² การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 1,800 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.2

RESULT OF UNEQUALLY SPACED

Area of Substation	72	x	107	m ²						
Depth of Grid Conductor	0.50	m								
Crushed Rocked Thickness	0.10	m								
Spacing between Parallel Conductors in x-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	1.248	2.543	3.689	4.703	5.601	6.395	7.098	7.721	8.272	8.760
Spacing between Parallel Conductors in y-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	1.642	3.567	5.091	6.297	7.252	8.007	8.605	8.007	7.252	6.297
Number of Parallel Conductors in Each Side	14	21								
Total Length of Ground Grid Conductor	3,255	m								
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor	95	m								

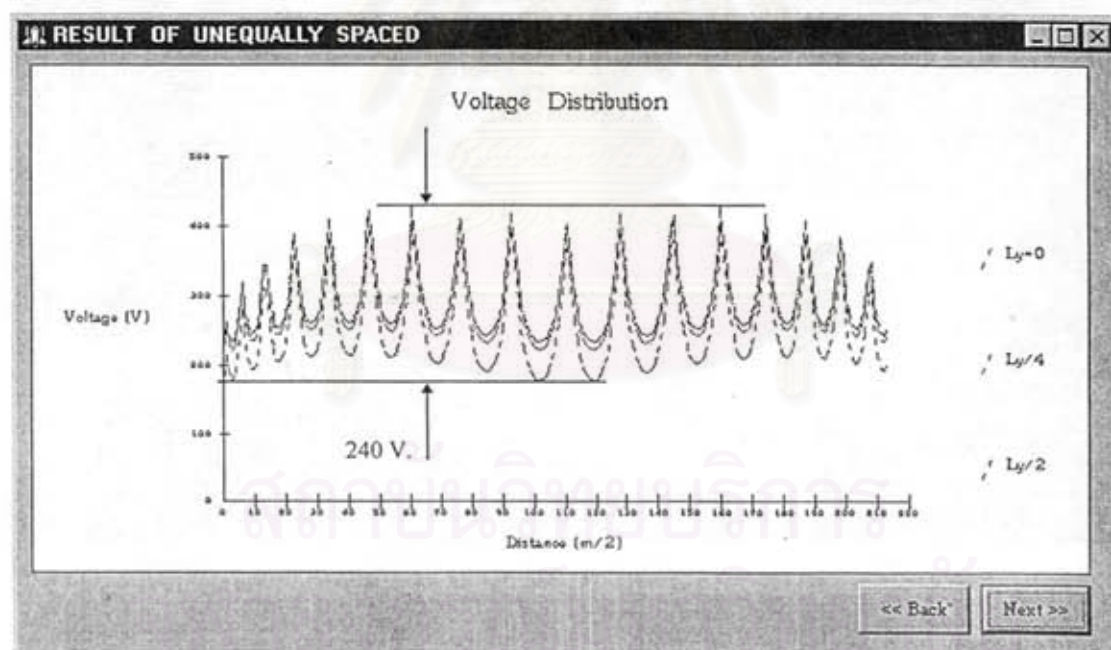
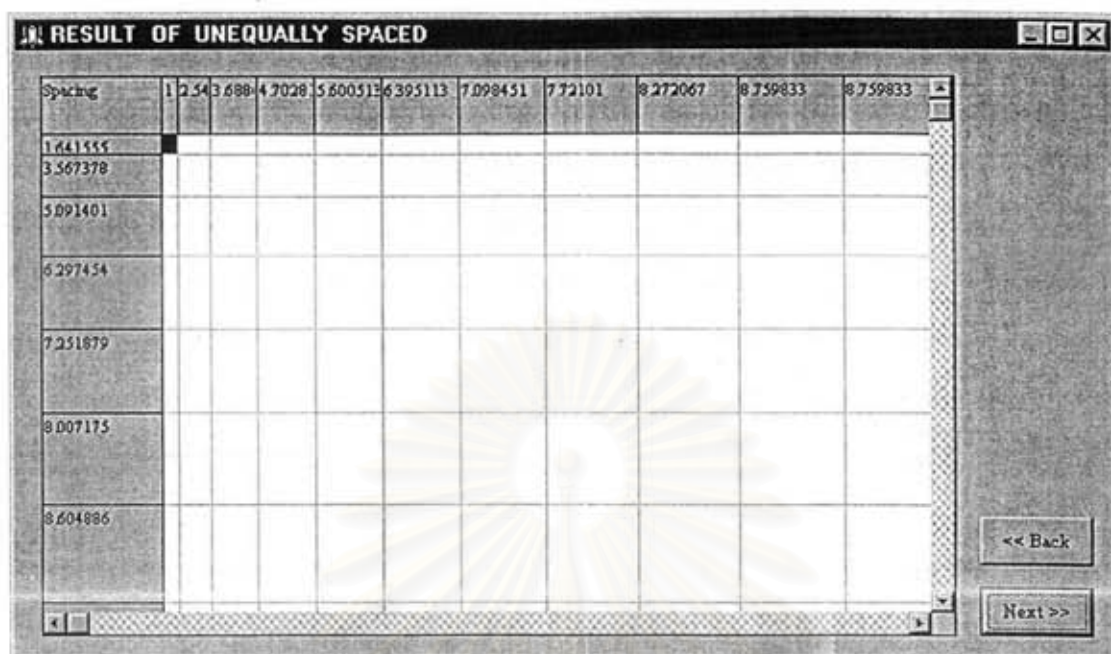
<< Back Next >>

RESULT OF UNEQUALLY SPACED GRID

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70	598.443	309.962	V
Tolerable of Step Voltage 50 and 70	2,366.817	3,203.364	V
Ground Potential Rise	6.812	kV	

<< Back Next >>

Max. RMS. Fault Current	5.28	kA	Fault Duration	0.60	sec
Grid Resistance	2.67	ohm	Grid Current	2.552	kA
Soil Resistivity	500	ohm-m			



รูปที่ 7.2 ผลการออกแบบระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

จากรูปที่ 7.2 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 1.64 - 8.61 m. สำหรับแนว
กว้าง และ 1.25 - 8.76 m. สำหรับแนวยาว สักดาไฟฟ้าเมซสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ

230 V. ในขณะที่แรงดันสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 598.44 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 809.96 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าได้อย่างดี โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 2.67 ohm. กระแสโครงตาข่าย 2.56 kA. และ GPR 6.81 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 3,255 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าลักษณะเป็นลอนคลื่นเดี่ยวๆ เกือบเป็นเส้นตรง โดยบริเวณตรงกลาง และปลายทั้ง 2 ด้านมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 240 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.3

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Area of Substation	72	x	107	m ²						
Depth of Grid Conductor	0.50	m								
Crushed Rocked Thickness	0.10	m								
Spacing between Parallel Conductors in x-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	1.394	3.099	3.444	3.826	4.252	4.724	5.249	5.832	6.480	7.200
Spacing between Parallel Conductors in y-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	0.121	1.569	1.743	1.937	2.152	2.391	2.657	2.952	3.280	3.645
Step of Reducing	0.90									
Number of Parallel Conductors in Each Side	27	23								
Total Length of Ground Grid Conductor	4,405	m								
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor	95	m								

<< Back Next >>

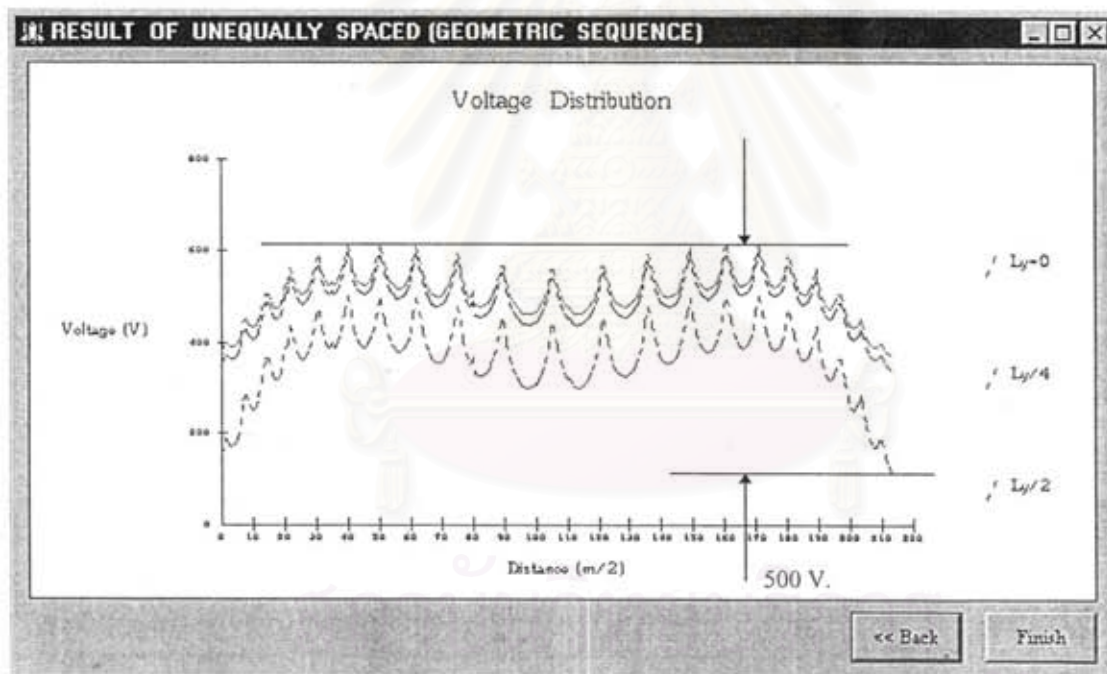
RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70	598.443	809.962	V
Tolerable of Step Voltage 50 and 70	2,306.317	3,203.364	V
Ground Potential Rise	6.762	kV	

<< Back Next >>

Max RMS Fault Current	5.28	kA	Fault Duration	0.60	sec
Grid Resistance	2.629	ohm	Grid Current	2.572	kA
Soil Resistivity	500	ohm-m			

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)												
Spacing	1	3.05	3.44	3.82	4.251	4.723	5.2487	5.83195	6.48	7.2	8	8
1	66043											
1	743392											
1	937102											
2	152336											
2	391484											
2	657205											
2	95245											
3	2805											
3	645											
4	05											
4	5											
5												
5												



รูปที่ 7.3 ผลการออกแบบระบบโครงข่ายการต่อลงดิน

ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

จากรูปที่ 7.3 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.12 - 5.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.29 - 7.00 m. สำหรับแนวยาว สักคาไฟฟ้าเมซสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 150 V. ในขณะที่สักคาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 598.44 V. สำหรับมนุษย์ที่มี

น้ำหนัก 50 kg. และ 809.96 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 2.63 ohm. กระแสโครงตาข่าย 2.57 kA. และ GPR 6.76 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 4,405 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นลอนคลื่นสูง คล้ายนกกางปีกทั้ง 2 ด้าน โดยปลายทั้ง 2 ด้านมีค่าต่ำสุด และบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ แต่สูงกว่าปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 500 V.

7.1.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 1 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.1.1 สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	2.75	1.64-8.61	0.12-5.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	2.75	1.25-8.76	1.29-7.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	6,224	3,255 (52)	4,405 (71)	Eq>Geo>Un
แรงดันเมฆจากกราฟ (V.)	180	230 (128)	150 (83)	Un>Eq>Geo
GPR (kV.)	6.72	6.81 (101)	6.76 (101)	Un>Geo>Eq
ค่าความต้านทานโครงตาข่าย (ohm.)	2.59	2.67 (103)	2.63 (102)	Un>Geo>Eq
กระแสโครงตาข่าย (kA.)	2.59	2.56 (99)	2.57 (99)	Eq>Geo>Un
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด	1,800	240(13)	500 (28)	Eq>Geo>Un

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Un หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่ขนาด $72 \times 107 \text{ m}^2$ นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะใช้ลวดตัวนำมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้น้อยกว่า 29% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันใช้น้อยที่สุด คือน้อยกว่าถึง 48% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมฆที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะมีค่าน้อยที่สุด โดยน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันที่เป็นอันดับ 2 ถึง 17% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าศักดาไฟฟ้าเมฆมากที่สุด โดยมากกว่าอยู่ 28% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 3 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครงตาข่ายของทั้ง 3 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงสุด และมากกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มาก แต่วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าน้อยกว่ารองลงมา โดยน้อยกว่า 72% และ 87% ตามลำดับ และยังน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ แสดงว่าหากสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิพร้องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิพร้องนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่ามาก หรือใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำมากกว่า แต่มีความสะดวกในการสร้างจริงมากกว่า เพราะเพียงแค่วิศวกรผู้คุมงานทราบระยะห่างของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายทั้ง 2 ด้าน ค่าคงที่ของการลดลง และความกว้างยาวของสถานีไฟฟ้าย่อยก็สามารถสร้างได้ โดยหาจุดกึ่งกลางของแต่ละด้าน จัดวางลวดตัวนำให้ห่างจากจุดกึ่งกลางนั้นเท่ากับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้าน และคำนวณหาระยะของช่องย่อยถัดไปด้วยการคูณค่าคงที่ของการลดลงกับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่ง

กลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้านด้วยเครื่องคิดเลขธรรมดาได้ ซึ่งต่างจากวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันที่จำเป็นต้องดูแบบในขณะที่สร้างจริงตลอดเวลา

7.2 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

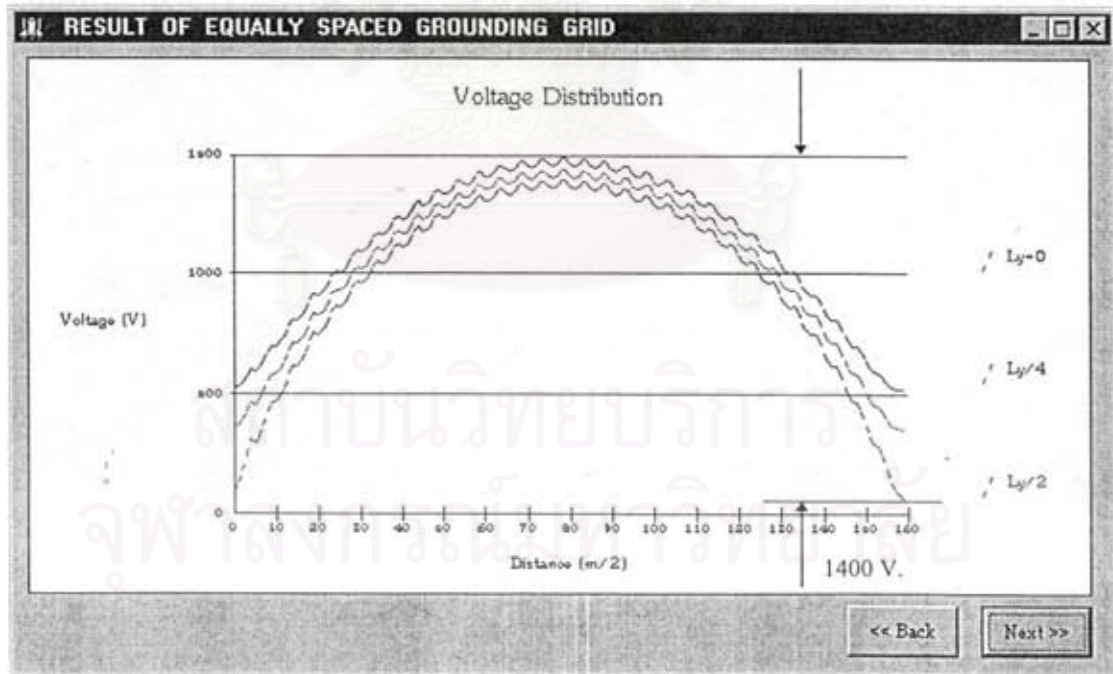
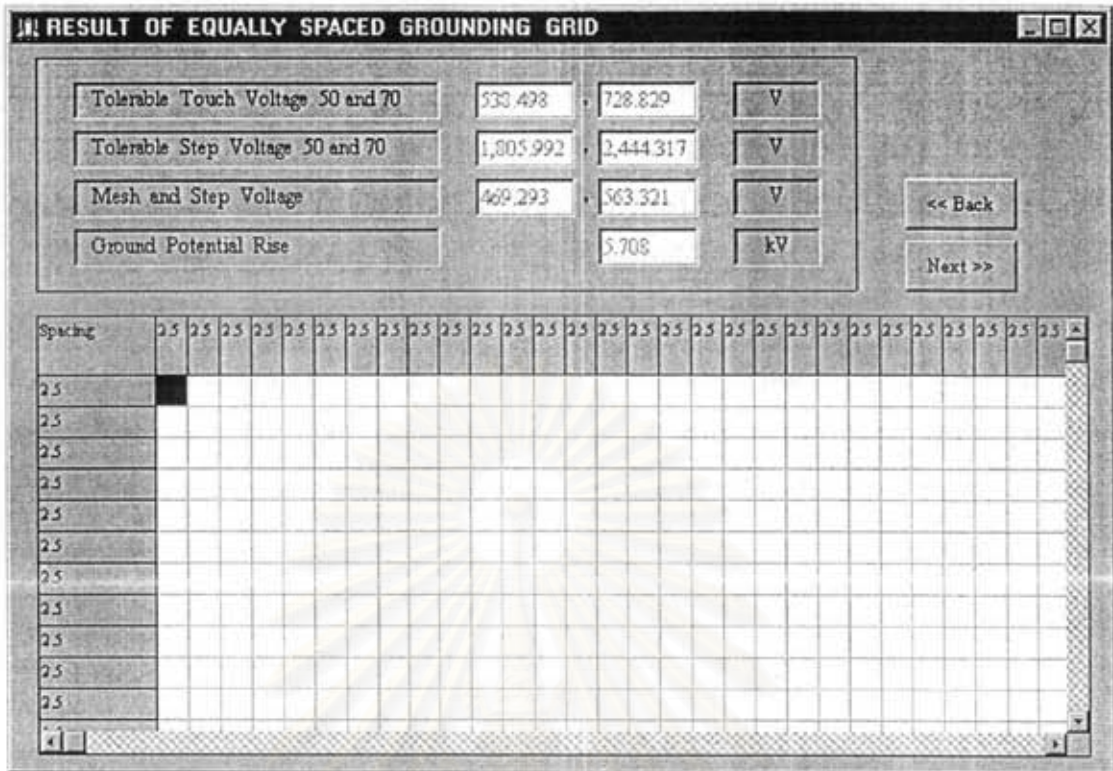
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) $40 \times 80 \text{ m}^2$ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 40 ohm-m . กระแสผิดพลาดสูงสุด 20 kA ช่วงเวลาการผิดพลาด 1.0 sec .

การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m . ทรายหินกรวดหนา 0.1 m . ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน $3,000 \text{ ohm-m}$. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ $1,000 \text{ ohm}$. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.2.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.4

RESULT OF EQUALLY SPACED GROUNDING GRID					
Area of Substation	40	x	80	m ²	
Depth of Grid Conductor			0.50	m	
Crushed Rock Thickness			0.10	m	
Spacing between Parallel Conductors			2.50	m	
Number of Parallel Conductors in Each Side	17	.	33		
Total Length of Ground Grid Conductor			3,320	m	<< Back
Gross-Section Area of Ground Grid Conductor			95	mm ²	Next >>
Max. RMS. Fault Current	20.00	kA	Fault Duration	1.00	sec
Grid Resistance	0.322	ohm	Grid Current	17.714	kA
Soil Resistivity	40	ohm-m			



รูปที่ 7.4 ผลการออกแบบระบบโครงข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าข้อยที่ 2

จากรูปที่ 7.4 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.50 m. สักคาไฟฟ้าเมฆสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 220 V. ซึ่งสักคาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 538.50 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 728.83 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบโครงข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงข่าย 0.32 ohm. กระแสโครงข่าย 17.71 kA. และ GPR 5.71 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 3,320 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm² การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างสักคาไฟฟ้าสูงสุด และสักคาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 1,400 V.

ผลการออกแบบระบบโครงข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.5

RESULT OF UNEQUALLY SPACED

Area of Substation	40	x	80	m ²						
Depth of Grid Conductor	0.50	m								
Crushed Rocked Thickness	0.10	m								
Spacing between Parallel Conductors in x-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	1.824	3.964	5.657	6.997	8.058	8.897	9.561	8.897	8.058	6.997
Spacing between Parallel Conductors in y-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7			
Spacing	2.851	5.514	7.355	8.628	7.355	5.514	2.851			
Number of Parallel Conductors in Each Side	3	.	14							
Total Length of Ground Grid Conductor	1,440	m								
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor	95	m								

<< Back Next >>

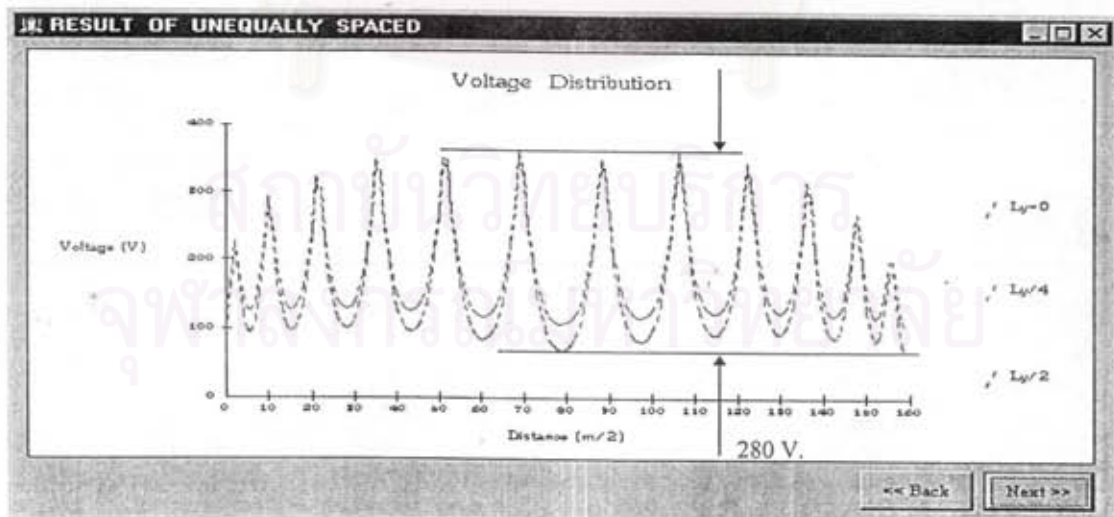
RESULT OF UNEQUALLY SPACED GRID

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70	538.493	728.029	V
Tolerable of Step Voltage 50 and 70	1,805.992	2,444.317	V
Ground Potential Rise	5.954		kV

Max. RMS. Fault Current	20.00	kA	Fault Duration	1.00	sec
Grid Resistance	0.338	ohm	Grid Current	17.615	kA
Soil Resistivity	40	ohm-m			

RESULT OF UNEQUALLY SPACED

Spacing	1.23963	5.657113	6.997171	8.057644	8.896861	9.540985	8.896861	8.057644	6.997171
2.851011									
5.513697									
7.354746									
8.627695									
7.354746									
5.513697									
2.851011									



รูปที่ 7.5 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

จากรูปที่ 7.5 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.85 - 8.63 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.82 - 9.56 m. สำหรับแนวยาว สักคาไฟฟ้าเมฆสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 295 V. ในขณะที่แรงดันสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 538.50 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 728.83 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าข้อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.34 ohm. กระแสโครงตาข่าย 17.62 kA. และ GPR 5.95 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 1,440 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าลักษณะเป็นลอนคลื่นเตี้ยๆ เกือบเป็นเส้นตรง โดยบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างสักคาไฟฟ้าสูงสุด และสักคาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 295 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.6

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Area of Substation	40	x	30	m ²						
Depth of Grd Conductor	0.50	m								
Crushed Rocked Thickness	0.10	m								
Spacing between Parallel Conductors in x-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	4.576	6.144	7.680	9.600	12.000	12.000	9.600	7.680	6.144	4.576
Spacing between Parallel Conductors in y-axis										
Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spacing	0.243	1.311	1.638	2.048	2.560	3.200	4.000	5.000	5.000	4.000
Step of Reducing	0.80									
Number of Parallel Conductors in Each Side	17	.	11							
Total Length of Ground Grid Conductor	1,560	m								
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor	95	m								

<< Back Next >>

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70	538.493	728.829	V
Tolerable of Step Voltage 50 and 70	1,805.992	2,444.317	V
Ground Potential Rise	5.921		kV

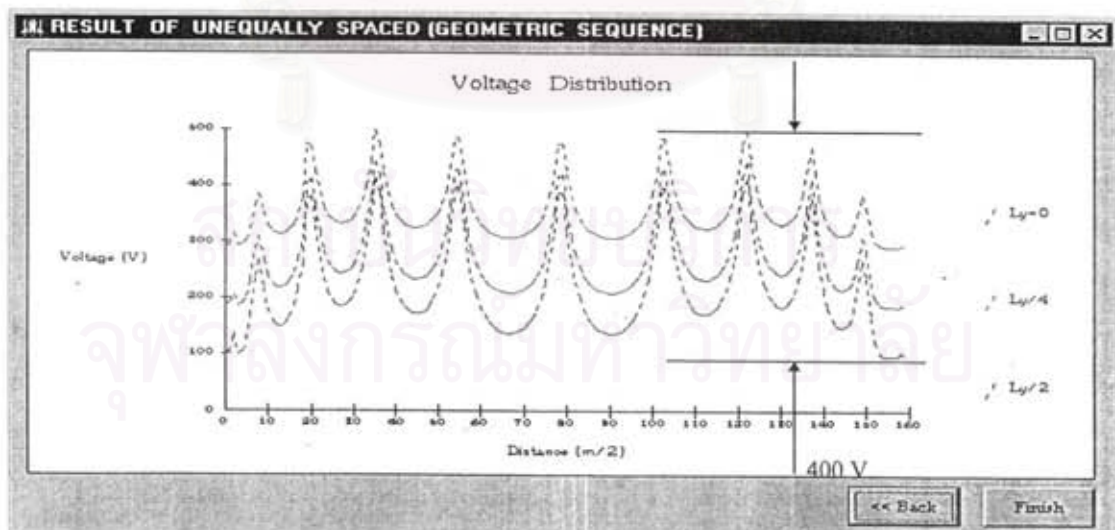
<< Back Next >>

Max. RMS. Fault Current	20.00	kA	Fault Duration	1.00	sec
Grid Resistance	0.336	ohm	Grid Current	17.629	kA
Soil Resistivity	40	ohm-m			

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Spacing	4.576	6.14400	7.68	9.6	12	12	9.6
1.31077							
1.6384							
2.048							
2.56							
3.2							
4							
5							
5							
4							
3.2							
2.56							
2.048							
1.6384							
1.31077							

<< Back Next >>



รูปที่ 7.6 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

จากรูปที่ 7.6 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.24 - 5.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 4.58 - 12.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมฆที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 263 V. ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 538.50 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 728.83 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.34 ohm. กระแสโครงตาข่าย 17.63 kA. และ GPR 5.92 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 1,560 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นสูงปานกลาง โดยปลายทั้ง 2 ด้านมีค่าต่ำสุด และบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ แต่สูงกว่าปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 400 V.

7.2.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 2 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.2.1 สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	2.50	2.85-8.63	0.24-5.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	2.50	1.82-9.56	4.58-12.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	3,320	1,440 (43)	1,560 (47)	Eq>Geo>Un
แรงดันเมฆจากกราฟ (V.)	220	295 (134)	263 (120)	Un>Geo>Eq
GPR (kV.)	5.71	5.95 (104)	5.92 (104)	Un>Geo>Eq
ค่าความต้านทานโครงตาข่าย (ohm.)	0.32	0.34 (106)	0.34 (106)	Un>Geo>Eq
กระแสโครงตาข่าย (kA.)	17.71	17.62 (99)	17.63 (99)	Eq>Geo>Un
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด	1400	295(21)	400 (29)	Eq>Geo>Un

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Un หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่ขนาด $40 \times 80 \text{ m}^2$ นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะใช้ลวดตัวนำมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้น้อยกว่าถึง 53% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันใช้น้อยที่สุด คือน้อยกว่าถึง 56% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมฆที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะมีค่าน้อยที่สุด โดยน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตที่เป็นอันดับ 2 ถึง 20% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าศักดาไฟฟ้าเมฆมากที่สุด โดยมากกว่าอยู่ 34% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 3 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครงตาข่ายของทั้ง 3 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงสุด และมากกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสที่มนุษย์สามารถทนได้เกือบ 1 เท่าตัว แต่วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าน้อยกว่ารองลงมา โดยน้อยกว่า 56% และ 69% ตามลำดับ และยังน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ แสดงว่าหากสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิพร้องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิพร้องนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำมากกว่าระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันเพียงเล็กน้อย แต่มีความสะดวกในการสร้างจริงมากกว่า เพราะเพียงแค่วิศวกรผู้คุมงานทราบระยะห่างของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายทั้ง 2 ด้าน ค่าคงที่ของการลดลง และความกว้าง ขาวของสถานีไฟฟ้าย่อยก็สามารถสร้างได้ โดยหาจุดกึ่งกลางของแต่ละด้าน จัดวางลวดตัวนำให้ห่างจากจุดกึ่งกลางนั้นเท่ากับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้าน และคำนวณหาระยะของช่องย่อยถัดไปด้วยการคูณค่าคงที่ของการลดลงกับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้านด้วยเครื่องคิด

เลขธรรมดาเท่านั้น ซึ่งต่างจากวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันที่จำเป็นต้องดูแบบในขณะที่สร้างจริงตลอดเวลา

7.3 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

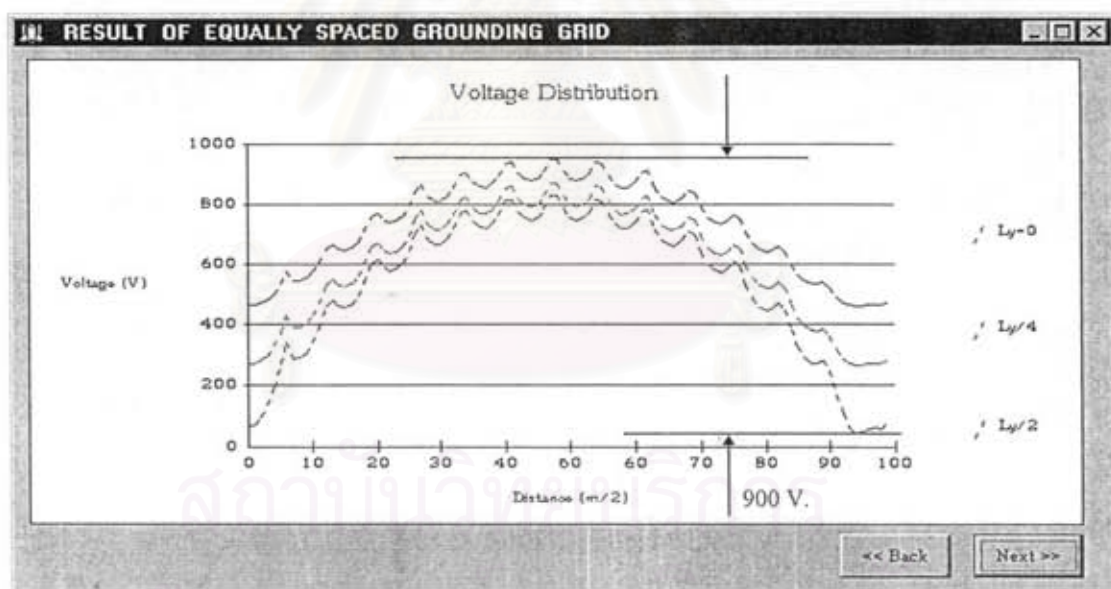
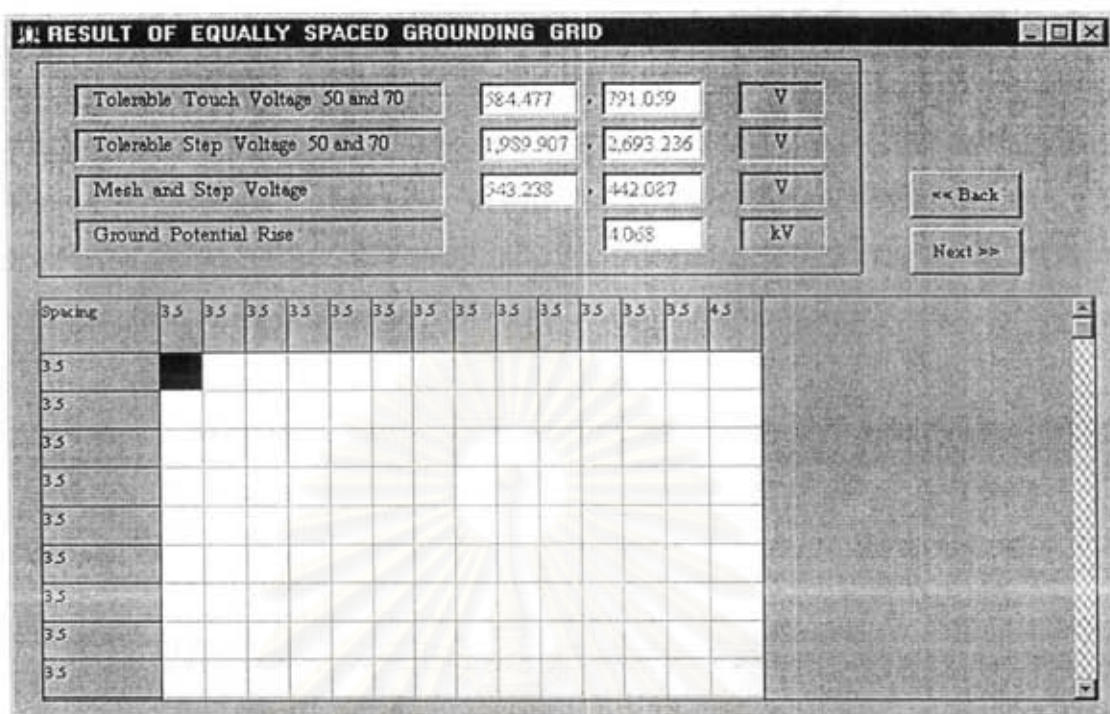
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) $40 \times 50 \text{ m}^2$ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 18 ohm-m . กระแสผิดพลาดสูงสุด 23 kA ช่วงเวลาการผิดพลาด 1.0 sec .

การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m . โรยหินกรวดหนา 0.15 m . ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน $3,000 \text{ ohm-m}$. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ $1,000 \text{ ohm}$. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.3.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.7

RESULT OF EQUALLY SPACED GROUNDING GRID					
Area of Substation	40	x	50		m ²
Depth of Grid Conductor			0.50		m
Crushed Rock Thickness			0.15		m
Spacing between Parallel Conductors			3.50		m
Number of Parallel Conductors in Each Side	12	,	15		
Total Length of Ground Grid Conductor			1,230		m
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor			150		mm ²
<input type="button" value=" << Back"/> <input type="button" value=" Next >>"/>					
Max. RMS Fault Current	23.00	kA	Fault Duration	1.00	sec
Grid Resistance	0.19	ohm	Grid Current	21.371	kA
Soil Resistivity	18	ohm-m			



รูปที่ 7.7 ผลการออกแบบระบบโครงข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

จากรูปที่ 7.7 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 3.50 m. สักคาไฟฟ้าเมฆสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 272 V. ซึ่งสักคาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.48 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม และ 791.06 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

แสดงว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.19 ohm. กระแสโครงตาข่าย 21.37 kA. และ GPR 4.07 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 1,230 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 150 mm² การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนามหากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 900 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน” พบว่าไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากจำนวนลวดตัวนำไม่อยู่ในช่วง 8-21 เส้น ดังรูปที่ 7.8

UNEQUALLY SPACED

Percentage of The Saved Grounding Grid Material: 39.91046

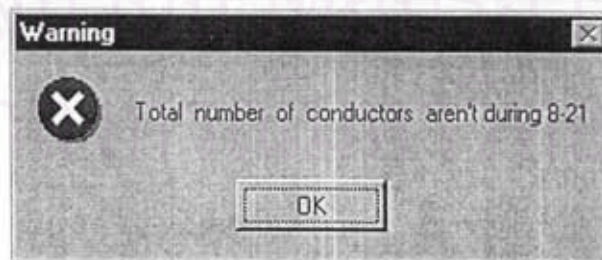
Total number of conductors are perpendicular with x-axis
 From Calculation: 6.61 Selection: 7

Total number of conductors are perpendicular with y-axis
 From Calculation: 5.41 Selection: 6

Total Length of Ground Grid Conductors: 590 m

Note Number of conductors in each axis are during 8-21

Buttons: OK, << Back, Cancel, Next >>



รูปที่ 7.8 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำ
ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.9

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Area of Substation: 40 × 50 m²

Depth of Grid Conductor: 0.50 m

Crushed Rocked Thickness: 0.15 m

Spacing between Parallel Conductors in x-axis

Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8
Spacing	0.610	7.290	8.100	9.000	9.000	8.100	7.290	0.610

Spacing between Parallel Conductors in y-axis

Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8
Spacing	1.030	5.670	6.300	7.000	7.000	6.300	5.670	1.030

Step of Reducing: 0.90

Number of Parallel Conductors in Each Side: 9

Total Length of Ground Grid Conductor: 310 m

Cross-Section Area of Ground Grid Conductor: 130 m

<< Back

Next >>

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70: 324.477 × 791.059 V

Tolerable of Step Voltage 50 and 70: 1,989.907 × 2,693.236 V

Ground Potential Rise: 4213 kV

<< Back

Next >>

Max RMS Fault Current: 23.00 kA

Fault Duration: 1.00 sec

Grid Resistance: 0.193 ohm

Grid Current: 21.311 kA

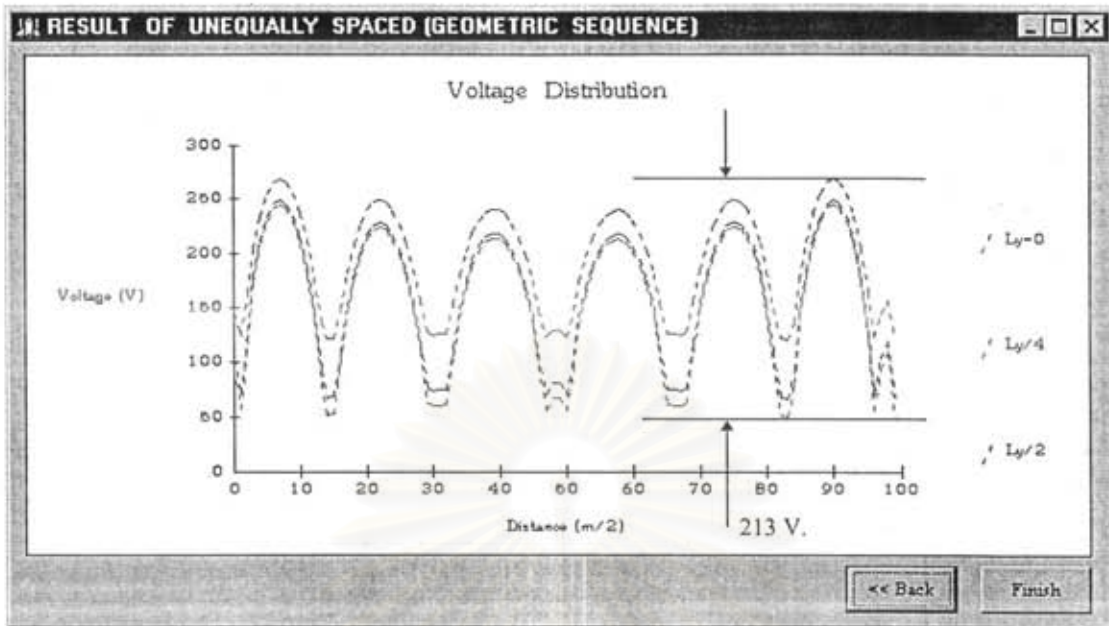
Soil Resistivity: 18 ohm-m

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Spacing	7.289999	8.099999	9	9	8.099999	7.289999
5.67						
6.3						
7						
7						
6.3						
5.67						

<< Back

Next >>



รูปที่ 7.9 ผลการออกแบบระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

จากรูปที่ 7.9 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.24 - 5.00 m. สำหรับแนว
กว้าง และ 1.47 - 7.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมฆที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 188 V. ใน
ขณะที่ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.48 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50
kg. และ 791.06 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงดาข่ายที่ออกแบบด้วยออก
แบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และ
ภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงดาข่าย 0.20 ohm. กระแสโครงดาข่าย
21.31 kA. และ GPR 4.22 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 810 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 150
mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่า
ลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ
213 V.

7.3.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบ โครงดาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 3
ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.3.1 สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7.3 ดังนี้

ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบ ลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	3.50	-	0.24-5.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	3.50	-	1.47-7.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	1,230	-	810 (66)	Geo>Eq
แรงดันเมฆจากกราฟ (V.)	272	-	188 (69)	Eq>Geo
GPR (kV.)	4.07	-	4.22 (104)	Eq>Geo
ค่าความต้านทานโครงตาข่าย (ohm.)	0.19	-	0.20 (105)	Geo>Eq
กระแสโครงตาข่าย (kA.)	21.37	-	21.31 (100)	Eq>Geo
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูง สุด และต่ำสุด	900	-	213 (24)	Eq>Geo

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็น
เปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่
ขนาด $40 \times 50 \text{ m}^2$ นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำ
ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะใช้ลวดตัวนำน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 34%
ส่วนศักดาไฟฟ้าเมฆที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
จะมีค่าน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 31% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่
มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 2 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครง
ตาข่ายของทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธี
ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต
และสูงกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้เกือบ 1 เท่า ในขณะที่วิธีระยะห่าง

ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตมีค่าน้อยกว่า โดยน้อยกว่าถึง 76% และข้งน้อยกว่า สักคาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้อีกด้วย นั่นคือหากสถานีไฟฟ้าข้อยนี้ใช้ระบบโครง ตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้น และมีผู้สัมผัสกับ อุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดปกตินี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบ โครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าข้อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่าง ตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่าง ระหว่างตัวนำเท่ากัน และสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้ง ภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าข้อยได้ดีกว่าอีกด้วย

7.4 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าข้อยที่ 4

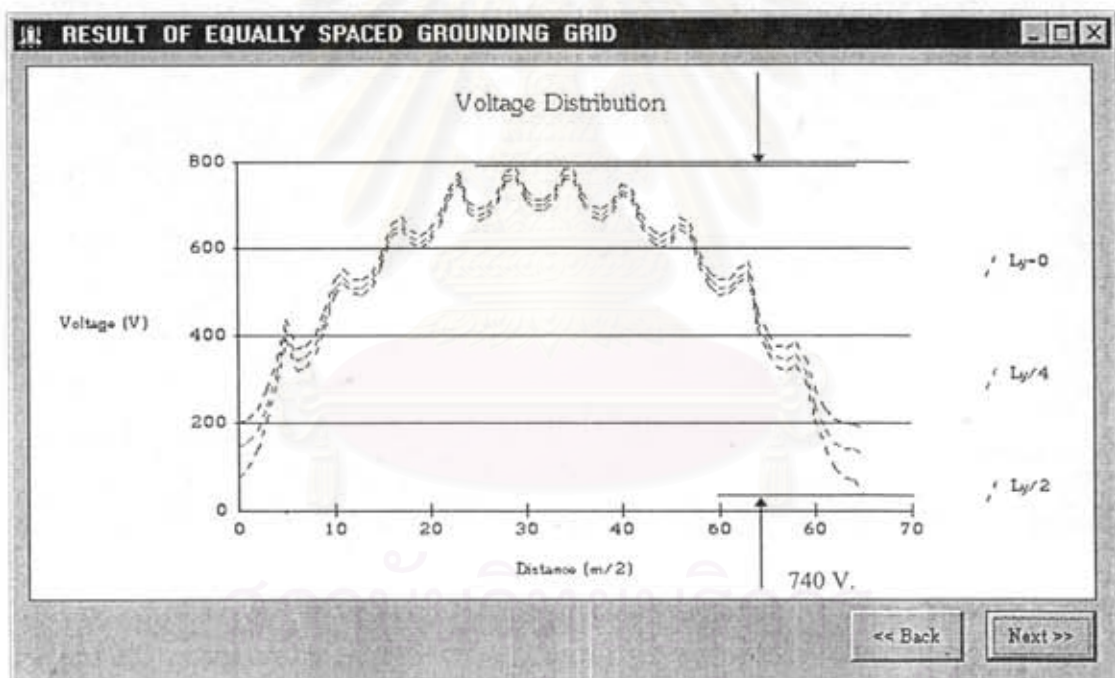
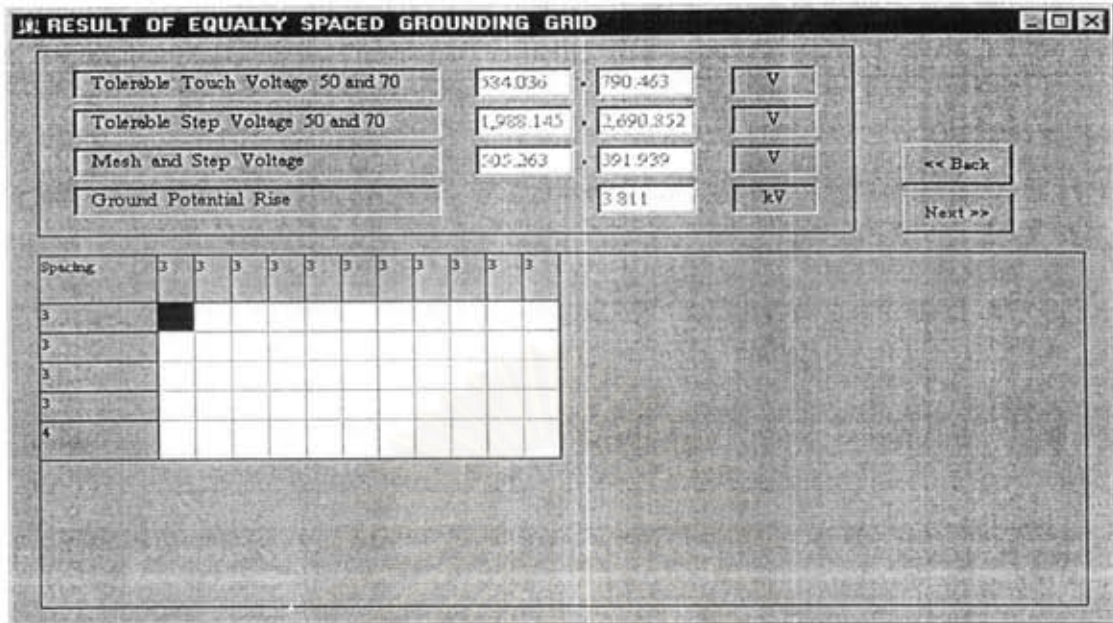
สถานีไฟฟ้าข้อยแห่งนี้มีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) $16 \times 33 \text{ m}^2$ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 10 ohm-m . กระแสผิดปกติสูงสุด 20 kA ช่วงเวลาการผิดปกติ 1.0 sec .

การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m . ทรายหินกรวดหนา 0.15 m . ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน $3,000 \text{ ohm-m}$. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ $1,000 \text{ ohm}$. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.4.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำ เท่ากัน” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.10

RESULT OF EQUALLY SPACED GROUNDING GRID					
Area of Substation	16	×	33		m ²
Depth of Grid Conductor			0.50		m
Crushed Rock Thickness			0.15		m
Spacing between Parallel Conductors			3.00		m
Number of Parallel Conductors in Each Side	6	×	12		
Total Length of Ground Grid Conductor			492		m
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor			75		mm ²
<input style="border: none;" type="button" value=" << Back "/> <input style="border: none;" type="button" value=" Next >> "/>					
Max. RMS. Fault Current	20.00		kA	Fault Duration	1.00 sec
Grid Resistance	1.206		ohm	Grid Current	18.474 kA
Soil Resistivity	10		ohm-m		

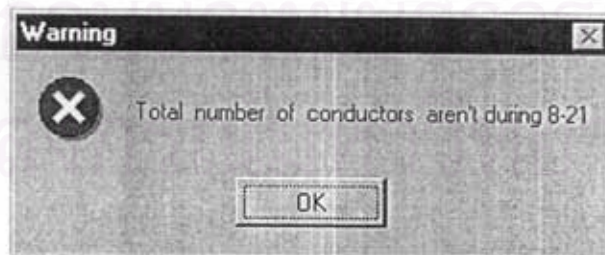
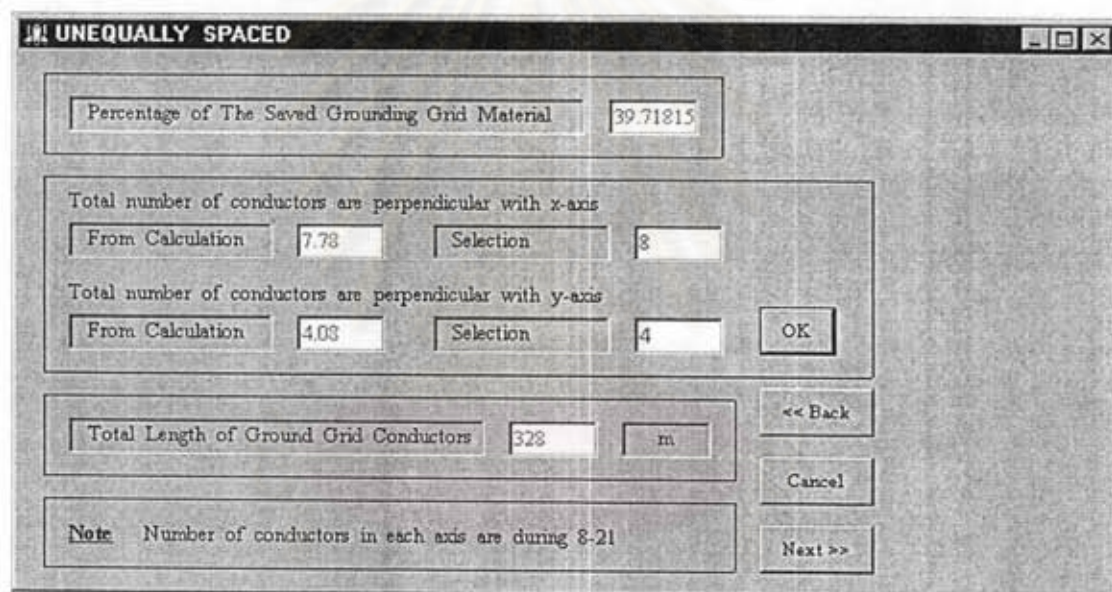


รูปที่ 7.10 ผลการออกแบบระบบโครงข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

จากรูปที่ 7.10 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 3.00 m. สักค่าไฟฟ้าเมซสูง
สุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 369 V. ซึ่งสักค่าไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.04
V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 790.46 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบ

โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.21 ohm, กระแสโครงตาข่าย 18.47 kA, และ GPR 3.81 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 492 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm² การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามิลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 740 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน” พบว่าไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากจำนวนลวดตัวนำไม่อยู่ในช่วง 8-21 เส้น ดังรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าขั้วที่ 4

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี “ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต” สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.12

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Area of Substation: 16 x 33 m²

Depth of Grid Conductor: 0.50 m

Crushed Rocked Thickness: 0.15 m

Spacing between Parallel Conductors in x-axis

Mesh	1	2	3	4	5	6
Spacing	3.900	5.600	7.000	7.000	5.600	3.900

Spacing between Parallel Conductors in y-axis

Mesh	1	2	3	4	5	6	7	8
Spacing	0.680	1.920	2.400	3.000	3.000	2.400	1.920	0.680

Step of Reducing: 0.80

Number of Parallel Conductors in Each Side: 5 x 7

Total Length of Ground Grid Conductor: 375 m

Cross-Section Area of Ground Grid Conductor: 25 m

<< Back Next >>

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Tolerable of Touch Voltage 50 and 70: 584.036 · 790.463 V

Tolerable of Step Voltage 50 and 70: 1,988.145 · 2,690.852 V

Ground Potential Rise: 3.919 kV

<< Back Next >>

Max. RMS. Fault Current: 20.00 kA Fault Duration: 1.00 sec

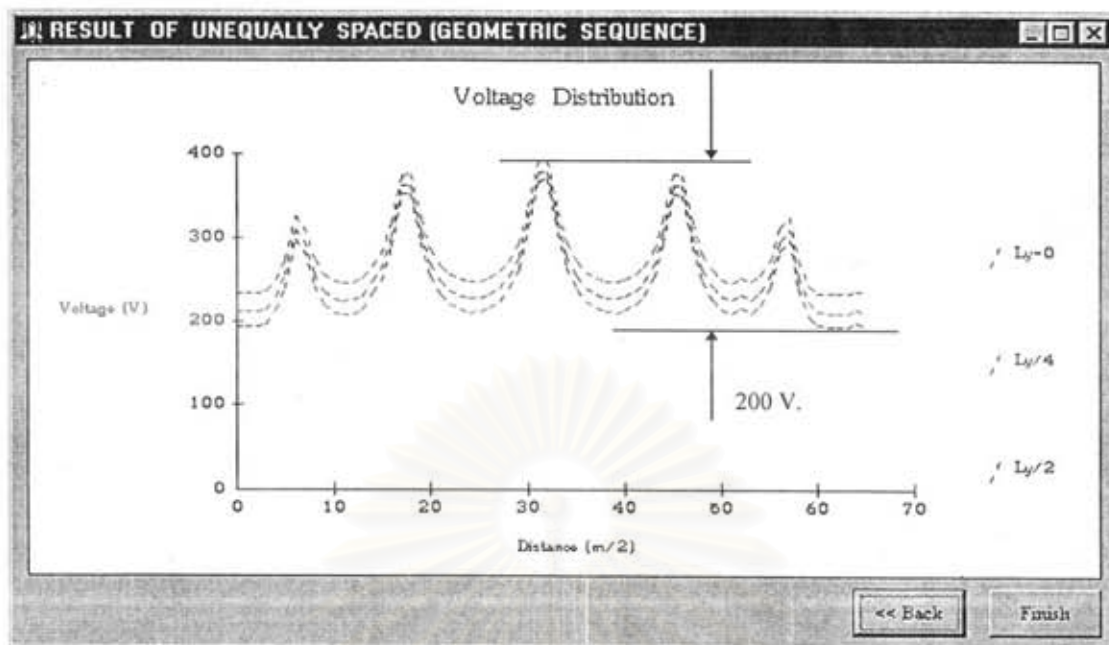
Grid Resistance: 0.213 ohm Grid Current: 18.43 kA

Soil Resistivity: 10 ohm-m

RESULT OF UNEQUALLY SPACED (GEOMETRIC SEQUENCE)

Spacing	3.9	5.6	7	7	5.6	3.9
1.92						
2.4						
3						
3						
2.4						
1.92						

<< Back Next >>



รูปที่ 7.12 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

จากรูปที่ 7.12 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.68 - 3.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.86 - 6.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมฆที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 148 V. ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.04 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 790.46 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.21 ohm. กระแสโครงตาข่าย 18.43 kA. และ GPR 3.92 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 375 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm² และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหอนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นลอนคลื่นเตี้ยๆ จนเกือบเป็นเส้นตรง โดยปลายทั้ง 2 ด้าน และบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 200 V.

7.4.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 4 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.4.1 สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7.4 ดังนี้

ตารางที่ 7.4 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบ ลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	3.00	-	0.68-3.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	3.00	-	1.86-6.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	492	-	375 (76)	Eq>Geo
แรงดันเมฆจากกราฟ (V.)	369	-	148 (40)	Eq>Geo
GPR (kV.)	3.81	-	3.92 (103)	Geo>Eq
ค่าความต้านทานโครงตาข่าย (ohm.)	0.21	-	0.21 (100)	Eq=Geo
กระแสโครงตาข่าย (kA.)	18.47	-	18.43 (100)	Eq>Geo
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูง สุด และต่ำสุด	740	-	200 (27)	Eq>Geo

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่ขนาด $16 \times 33 \text{ m}^2$ นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะใช้ลวดตัวนำน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 24% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมฆที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะมีค่าน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 60% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 2 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครงตาข่ายของทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต และสูงกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ ในขณะที่วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่

เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตมีค่าน้อยกว่า โดยน้อยกว่าถึง 73% และยังน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมพัทธ์สูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้อีกด้วย นั่นคือหากสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิดพลาดขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดพลาดนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน และสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ดีกว่า

7.5 สรุปผลการวิเคราะห์

7.5.1 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน และระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงสถานีไฟฟ้าย่อยได้ดีกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

7.5.2 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน และไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตใช้จำนวนลวดตัวนำในการสร้างระบบโครงตาข่ายน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมาก อีกทั้งยังสร้างได้โดยง่าย ไม่เสียเวลามากนัก ดังนั้นจึงสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินได้อย่างมาก

7.5.3 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งใน และนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ดีกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

7.5.4 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ดังนั้นจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินได้มากกว่า

7.5.5 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตมีความยืดหยุ่นในการออกแบบมากกว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินทั้งที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน และไม่เท่ากัน ซึ่งแบบระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะให้ผลได้ไม่ดีสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักดาไฟฟ้าเมฆ และศักดา

ไฟฟ้าช่วงก้าวไม่เหมาะกับระบบโครงข่ายที่มีจำนวนลวดตัวนำในแต่ละด้านเกิน 25 เส้น ในขณะที่แบบระยะห่างไม่เท่ากัน ไม่สามารถใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดกลางหรือเล็กได้ เนื่องจากวิธีนี้ใช้ได้เฉพาะระบบโครงข่ายที่มีจำนวนลวดตัวนำในแต่ละด้านอยู่ในช่วง 8-21 เส้นเท่านั้น

7.5.6 ระบบโครงข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตเหมาะกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดกลาง หรือขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะขนาดเล็ก เพราะศักดาไฟฟ้าเมฆที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ และการกระจายแรงดันมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่ระบบโครงข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันเหมาะกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดใหญ่ หรือขนาดกลาง โดยเฉพาะขนาดใหญ่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย