บทที่ 7

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย โดยใช้โปรแกรม SGDP และผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะแสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยในแต่ละวิธีดังนี้

- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน
- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน
- ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

โดยใช้โปรแกรม SGDP (Substation Grounding Design Program) ซึ่งขั้นตอนการออกแบบ และการแสดงผลจะเป็นไปตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1). ป้อนข้อมูลส่วนกลางของสถานีไฟฟ้าย่อย

2). คำนวณหาขนาดตัวนำที่เล็กที่สุด

3). คำนวณหาศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุด และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้

4). เลือกวิธีการออกแบบ

4.1). ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

- กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำ
- คำนวณหาค่าความต้านทานโครงตาข่าย กระแสโครงตาข่าย และ GPR
- คำนวณหาศักดาไฟฟ้าเมช และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

4.2). ระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

- กำหนดจำนวนลวดตัวนำที่ตั้งฉากในแต่ละด้านของสถานีไฟฟ้าย่อย

- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน

4.3). ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

- กำหนดระยะห่างระหว่างตัวนำของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายในแต่ละด้านของสถานีไฟฟ้าย่อย

- กำหนดค่าคงที่ของการลดลง

- แสดงผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

7.1 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

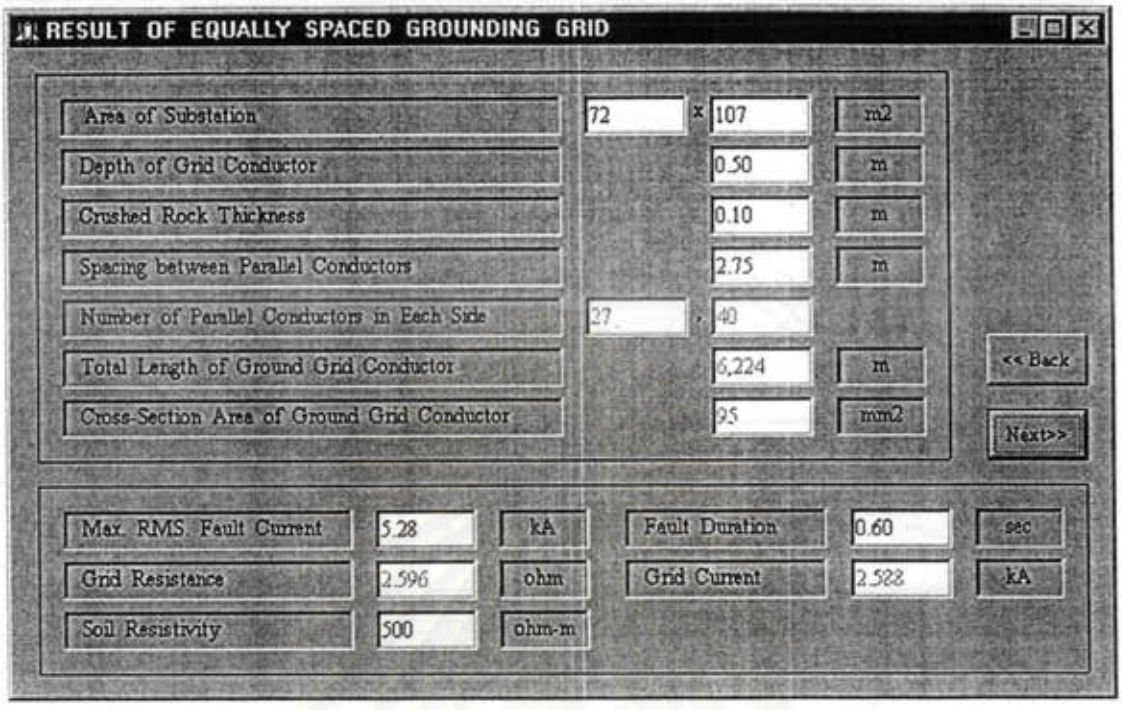
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) 72 x 107 m^2 ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 500 ohm-m. กระแสผิดพร่องสูงสุดลงดิน (Ground Fault Current) 5.28 kA ช่วงเวลาการผิดพร่อง 0.6 sec.

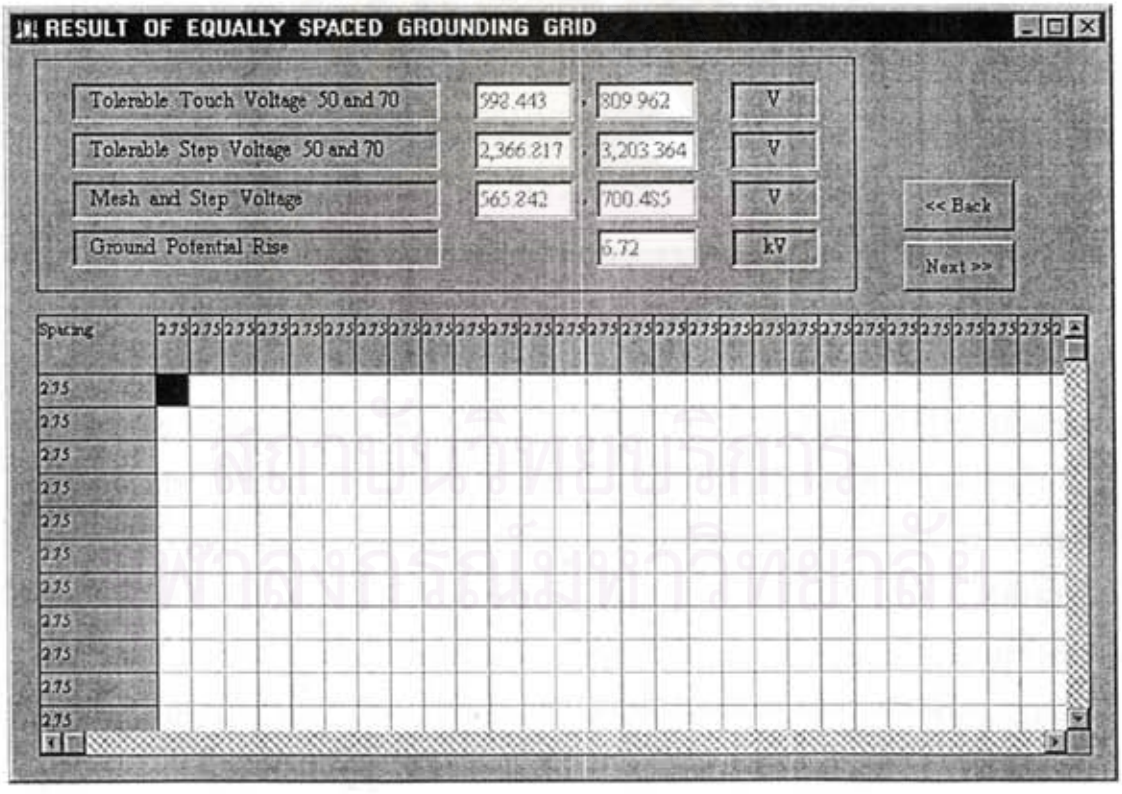
การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m. โรยหินกรวดหนา 0.1 m. ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน 3,000 ohm.-m. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ 1,000 ohm. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

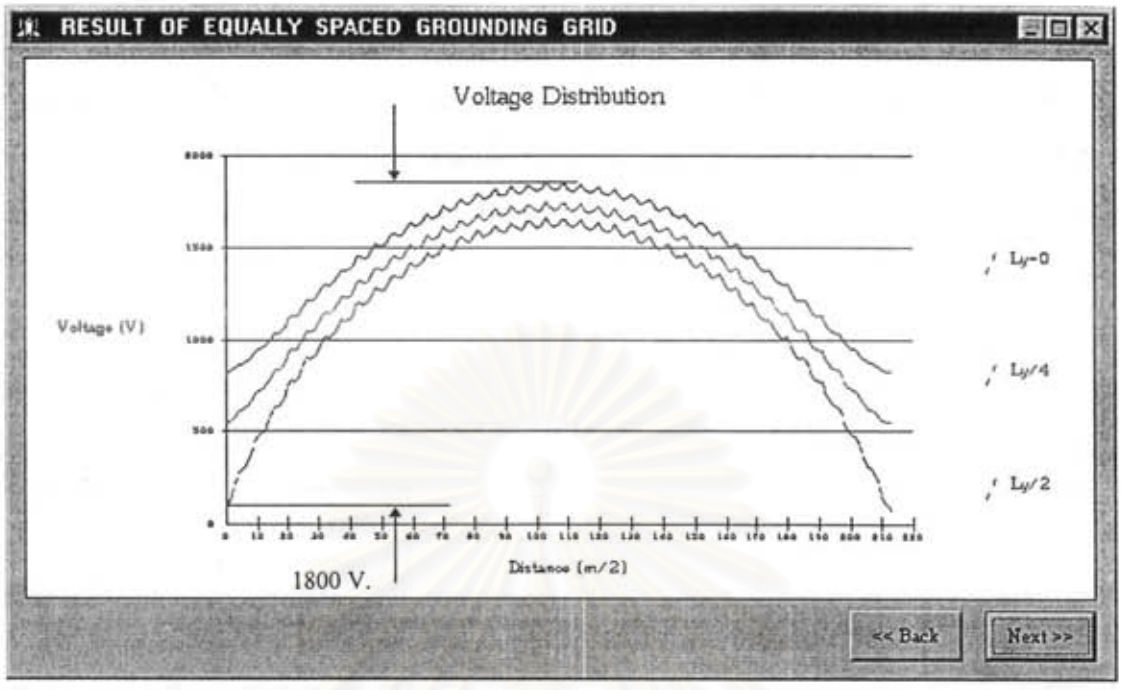
7.1.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


RESULT OF EQUALLY SPACED GROUNDING GRID
Area of Substation
72
x
107
m2
Depth of Grid Conductor
0.50
m
Crushed Rock Thickness
0.10
m
Spacing between Parallel Conductors
2.75
m
Number of Parallel Conductors in Each Side
27
,
40
Total Length of Ground Grid Conductor
6,224
m
Cross-Section Area of Ground Grid Conductor
95
mm2
<< Back
Next>>
Max. RMS. Fault Current
5.28
kA
Fault Duration
0.60
sec
Grid Resistance
2.596
ohm
Grid Current
2.522
kA
Soil Resistivity
500
ohm-m


RESULT OF EQUALLY SPACED GROUNDING GRID
Tolerable Touch Voltage 50 and 70
592.443
,
809.962
V
Tolerable Step Voltage 50 and 70
2,366.817
,
3,203.364
V
Mesh and Step Voltage
565.242
,
700.455
V
Ground Potential Rise
6.72
kV
<< Back
Next >>
Spacing
2.75

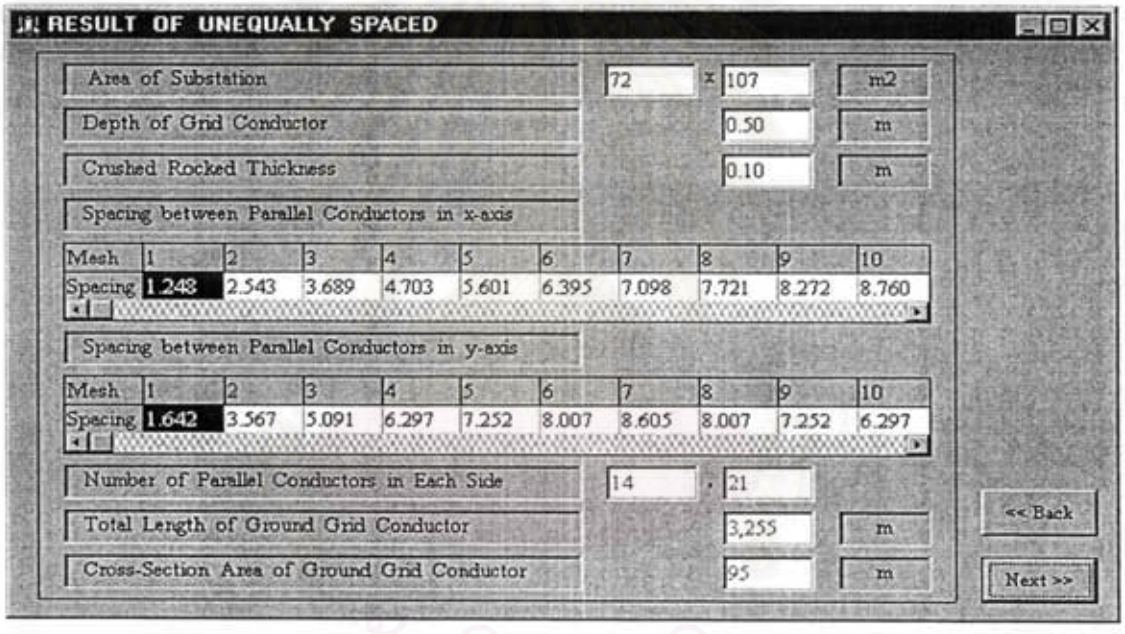


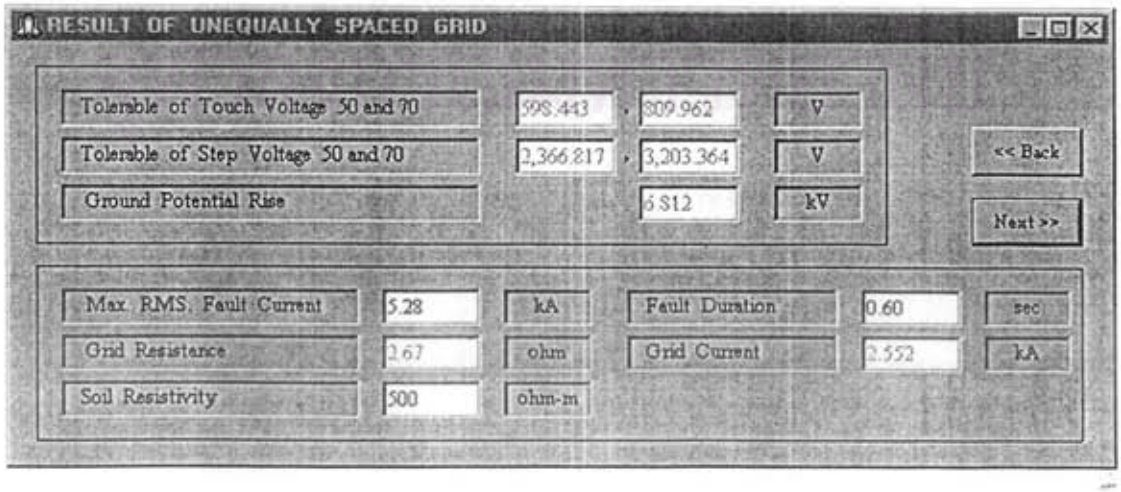
รูปที่ 7.1 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

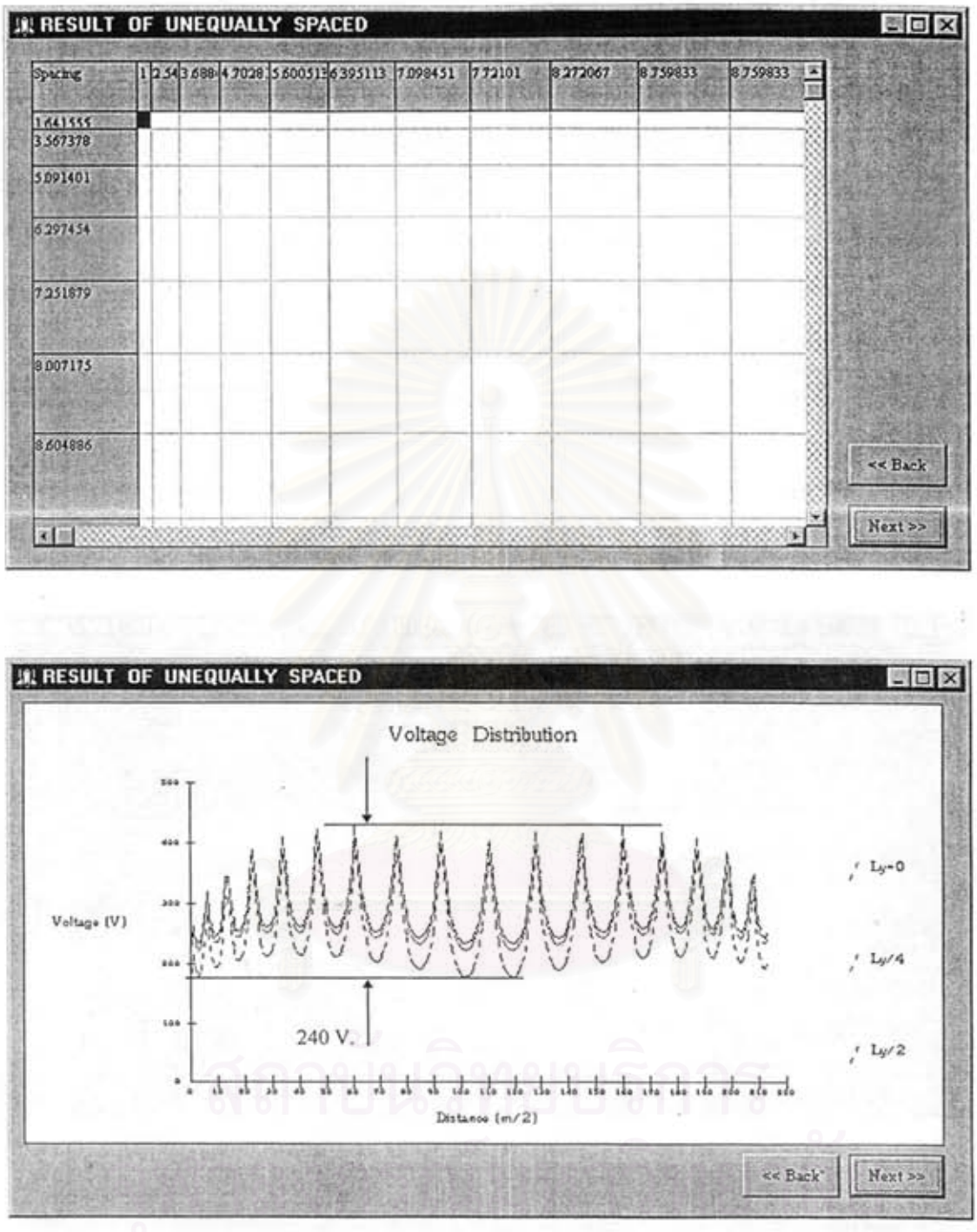
จากรูปที่ 7.1 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.75 m. ศักดาไฟฟ้าเมช และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยการคำนวณมีค่า 557.27 และ 689.87 V. ตามลำดับ แต่ถ้าอ่านค่าจากกราฟการกระจายแรงดันบนผิวดินจะได้ว่าศักดาไฟฟ้าเมชสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่า 180 V. ซึ่งต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณมาก เนื่องจากค่าที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นการใช้สมการที่สร้างจากการประมาณหลายขั้นตอน และในการประมาณจึงเพิ่มระดับความปลอดภัย (Safety Factor) เพื่อให้ปลอดภัยมากขึ้นด้วย อีกทั้งสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักดาไฟฟ้าเมช และศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินใช้ได้เฉพาะระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันเท่านั้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบจะใช้ศักดาไฟฟ้าเมชที่อ่านได้จากกราฟเป็นตัวเปรียบเทียบ และโดยทั่วไปศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้จะมีค่ามากกว่าศักดาไฟฟ้าช่วงก้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินมาก ดังนั้นในการเปรียบเทียบจึงจะเปรียบเทียบเฉพาะศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ และศักดาไฟฟ้าเมชที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินเท่านั้น ซึ่งศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 598.44 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 809.97 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่าง

ระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 2.60 ohm. กระแสโครงตาข่าย 2.59 kA. และ GPR 6.72 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 6,224 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm^2 การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 1,800 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.2





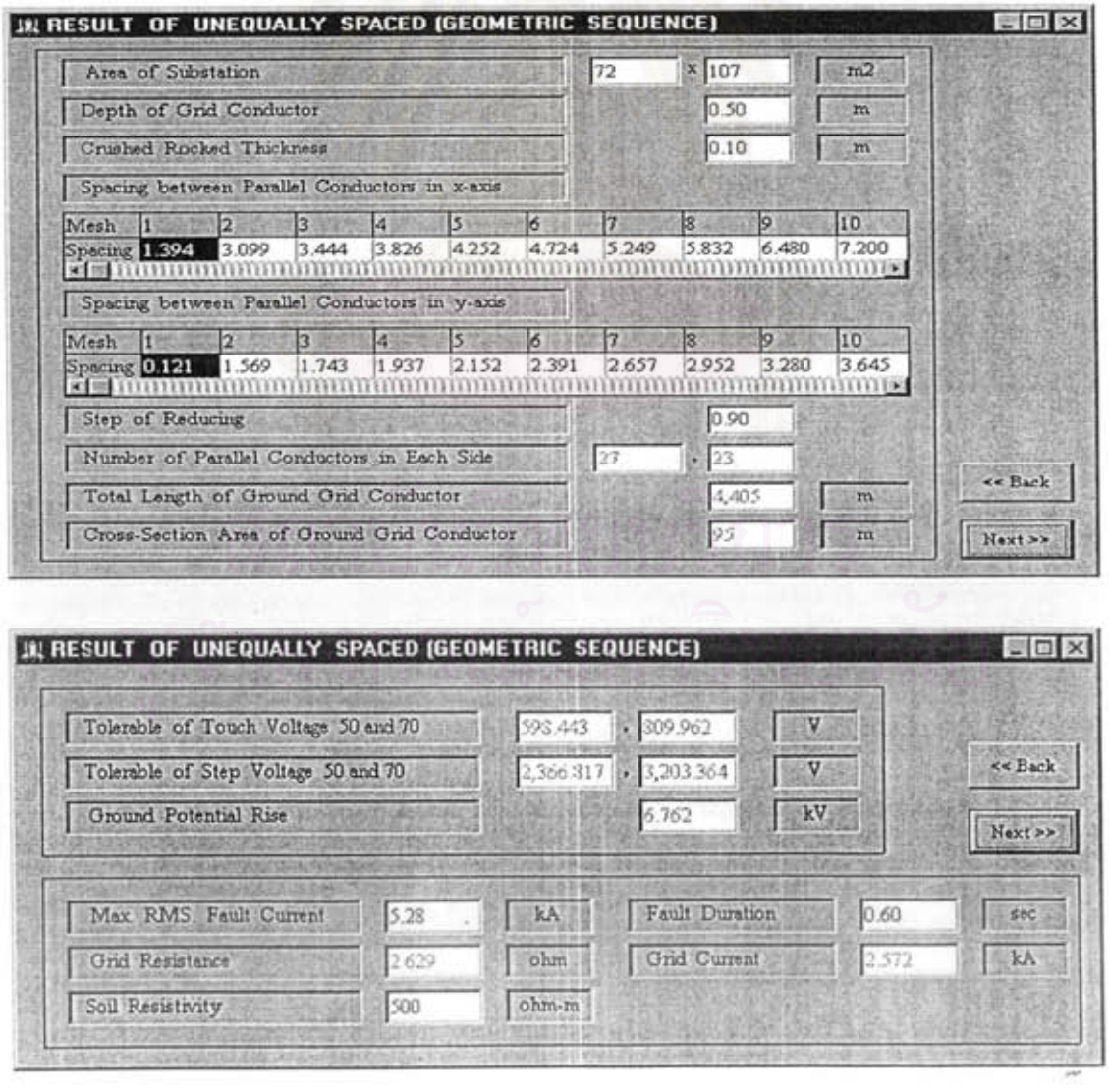


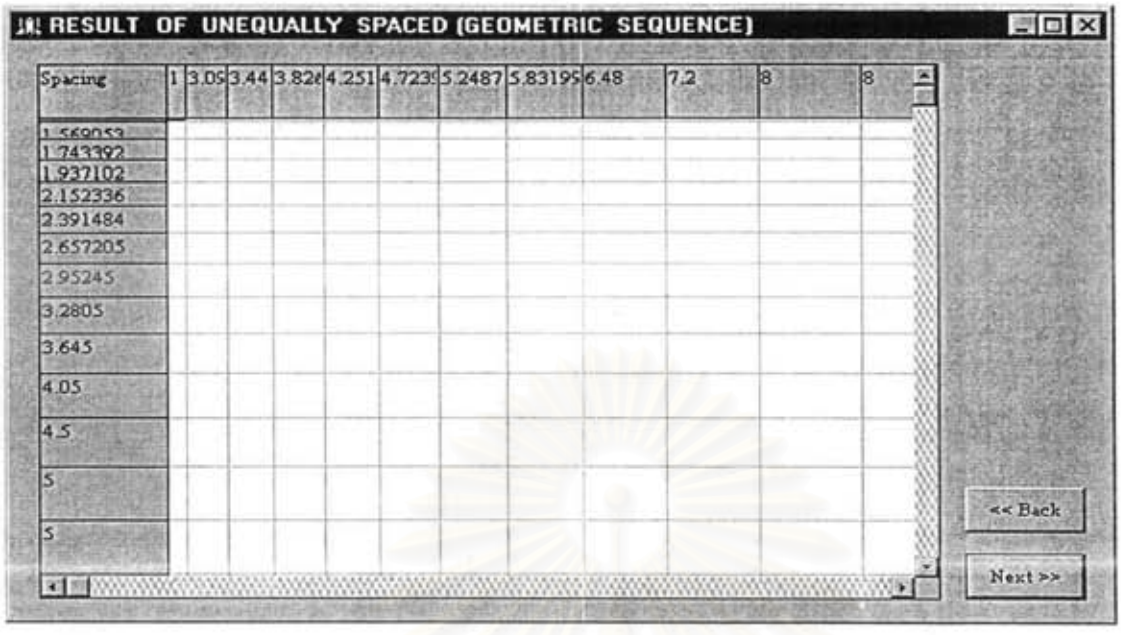
รูปที่ 7.2 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

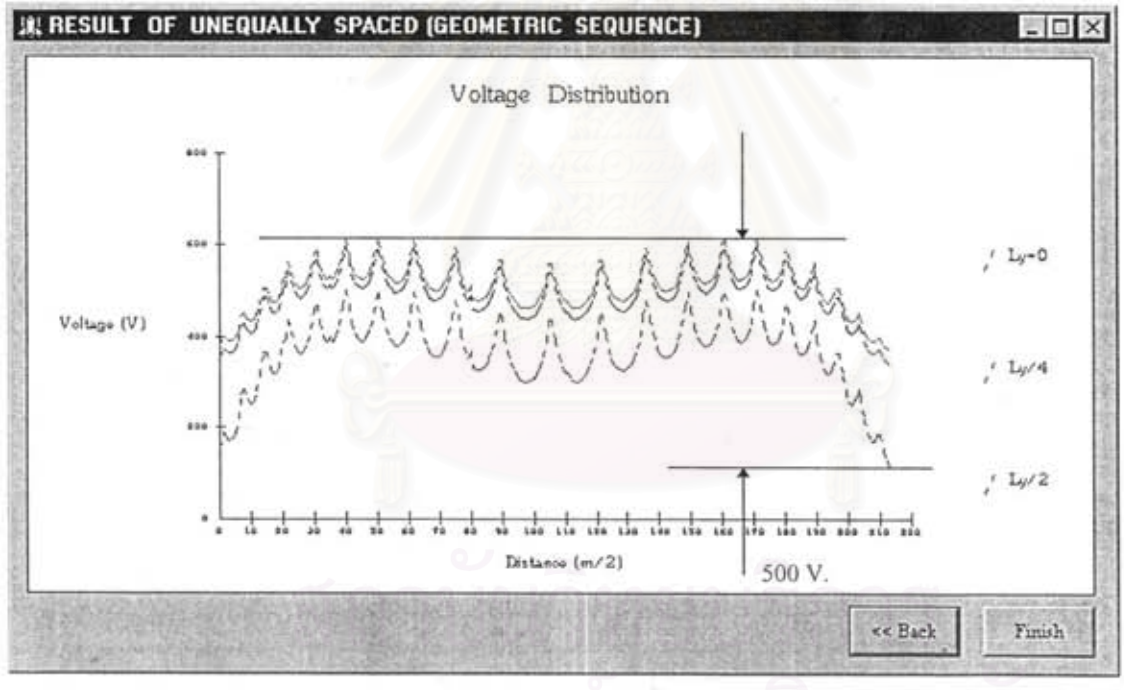
จากรูปที่ 7.2 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 1.64 - 8.61 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.25 - 8.76 m. สำหรับแนวยาว ศักดาไฟฟ้าแผ่สูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ

230 V. ในขณะที่แรงดันสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 598.44 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 809.96 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 2.67 ohm. กระแสโครงตาข่าย 2.56 kA. และ GPR 6.81 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 3,255 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นเตี้ยๆ เกือบเป็นเส้นตรง โดยบริเวณตรงกลาง และปลายทั้ง 2 ด้านมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 240 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.3







รูปที่ 7.3 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 1

จากรูปที่ 7.3 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.12 - 5.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.29 - 7.00 m. สำหรับแนวยาว ศักดาไฟฟ้าเมชสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 150 V. ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 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 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นสูง 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 สามารถแสดงการเปรียบได้ดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 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
แรงดันเมชจากกราฟ (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 x 107 m^2 นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะใช้ลวดตัวนำมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้น้อยกว่า 29% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันใช้น้อยที่สุด คือน้อยกว่าถึง 48% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมชที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะมีค่าน้อยที่สุด โดยน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันที่เป็นอันดับ 2 ถึง 17% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าศักดาไฟฟ้าเมชมากที่สุด 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 เมื่อเกิดการผิดพร่องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดพร่องนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่ามาก หรือใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำมากกว่า แต่มีความสะดวกในการสร้างจริงมากกว่า เพราะเพียงแต่วิศวกรผู้คุมงานทราบระยะห่างของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาขายทั้ง 2 ด้าน ค่าคงที่ของการลดลง และความกว้างยาวของสถานีไฟฟ้าย่อยก็สามารถสร้างได้ โดยหาจุดกึ่งกลางของแต่ละด้าน จัดวางลวดตัวนำให้ห่างจากจุดกึ่งกลางนั้นเท่ากับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้าน และคำนวณหาระยะของช่องย่อยถัดไปด้วยการคูณค่าคงที่ของการลดลงกับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่ง

กลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้านด้วยเครื่องคิดเลขธรรมดาได้ ซึ่งต่างจากวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันที่จำเป็นต้องดูแบบในขณะสร้างจริงตลอดเวลา

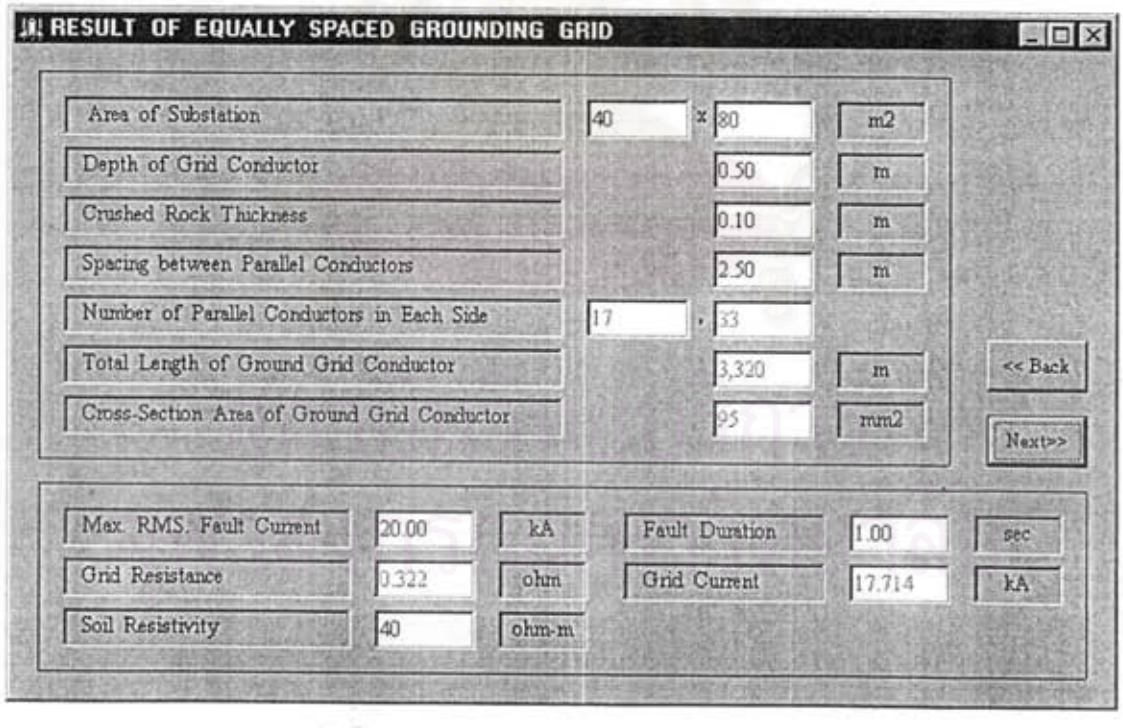
7.2 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

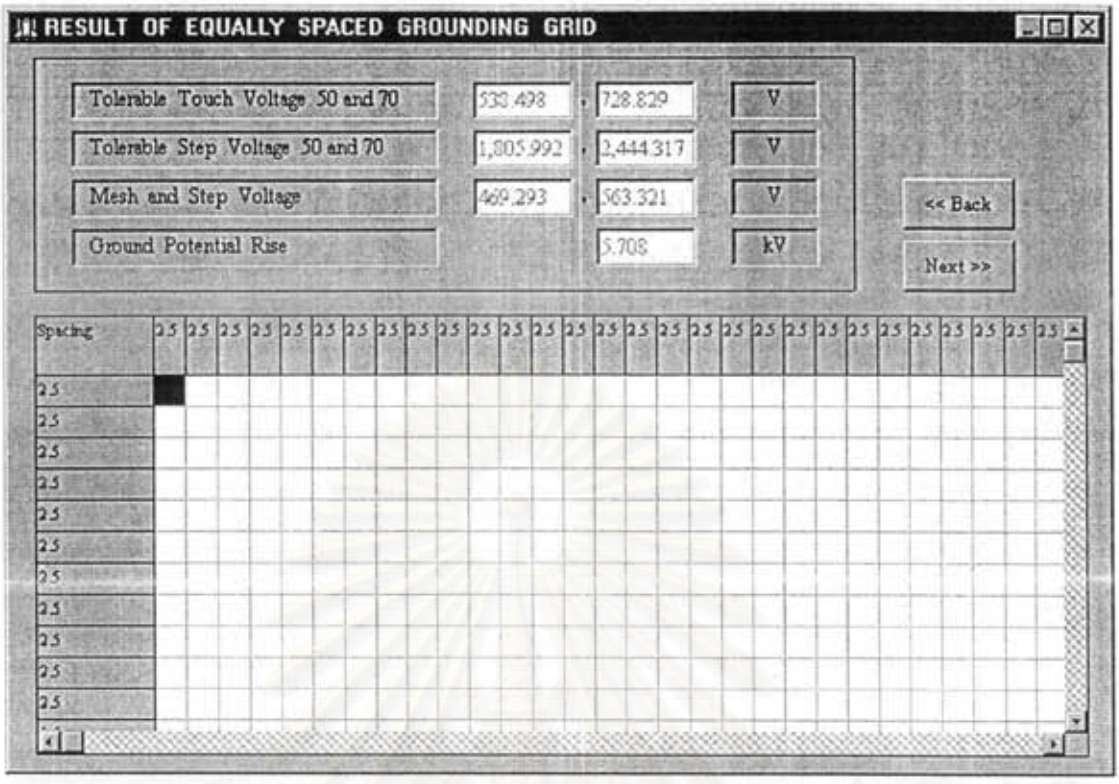
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) 40 x 80 m^2 ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 40 ohm-m. กระแสผิดพร่องสูงสุด 20 kA ช่วงเวลาการผิดพร่อง 1.0 sec.

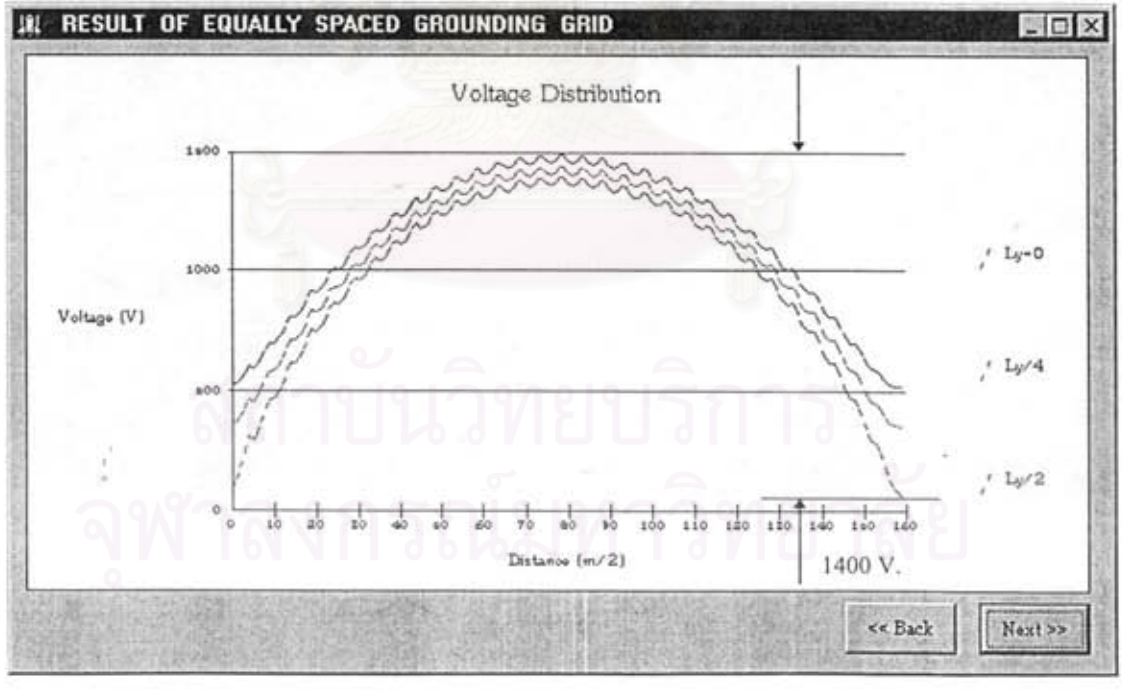
การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m. โรยหินกรวดหนา 0.1 m. ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน 3,000 ohm.-m. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ 1,000 ohm. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.2.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.4



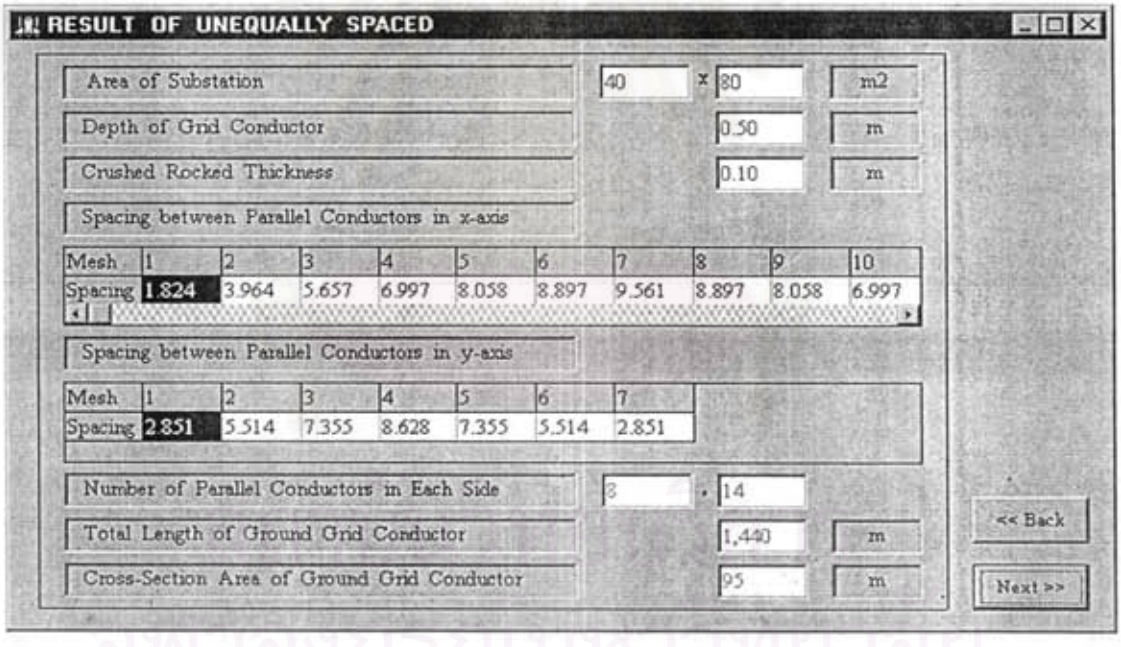


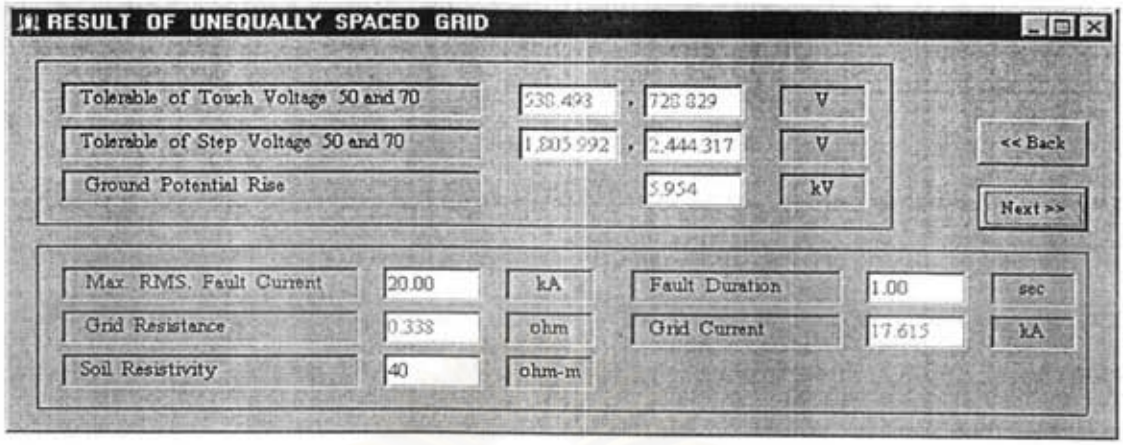


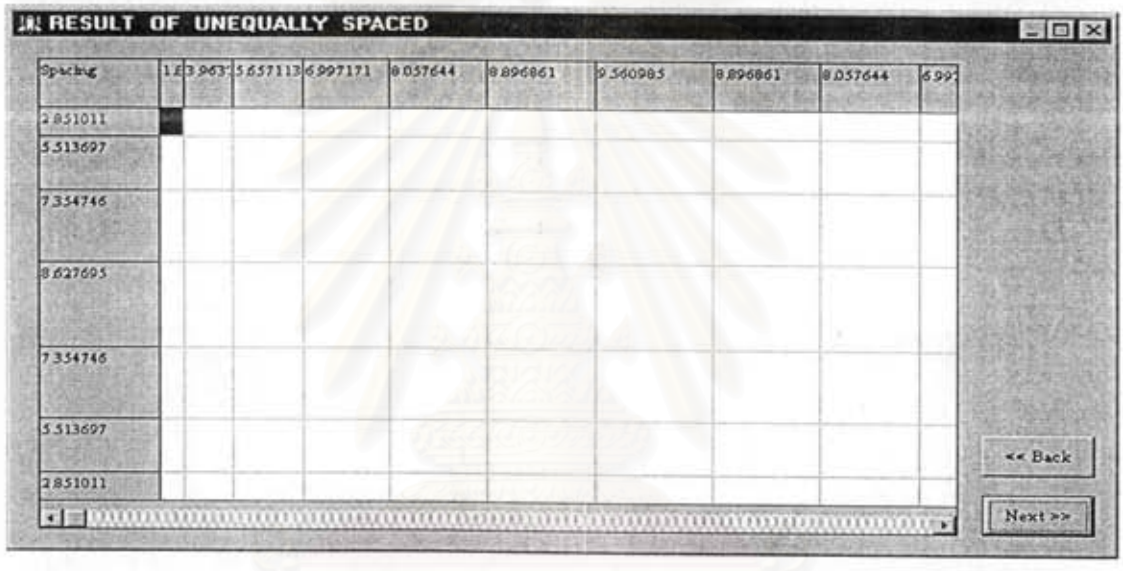
รูปที่ 7.4 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

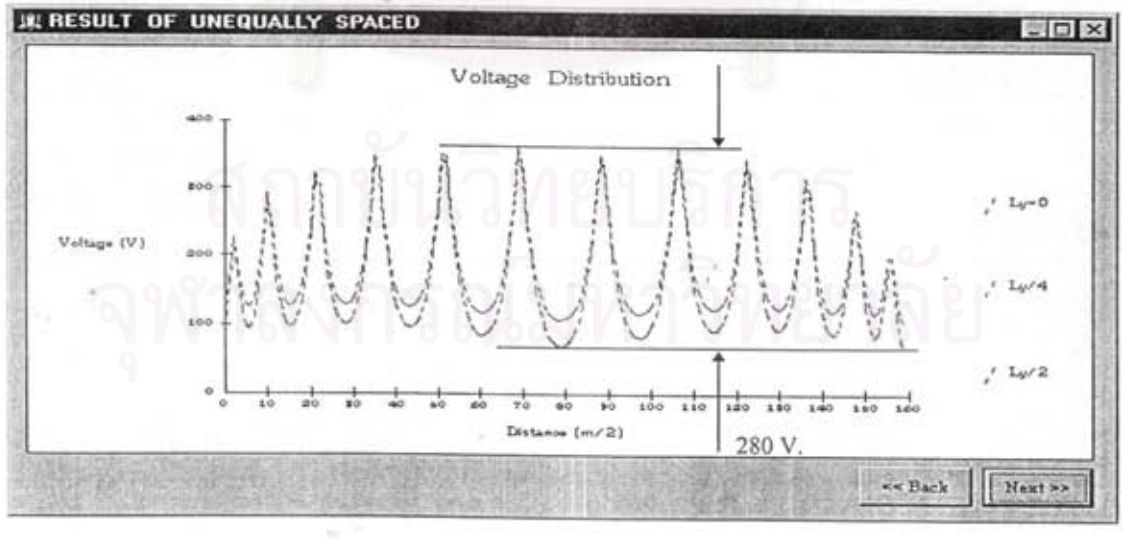
จากรูปที่ 7.4 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.50 m. ศักดาไฟฟ้าเมชสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 220 V. ซึ่งศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 538.50 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 728.83 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.32 ohm. กระแสโครงตาข่าย 17.71 kA. และ GPR 5.71 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 3,320 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm^2 การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 1,400 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.5





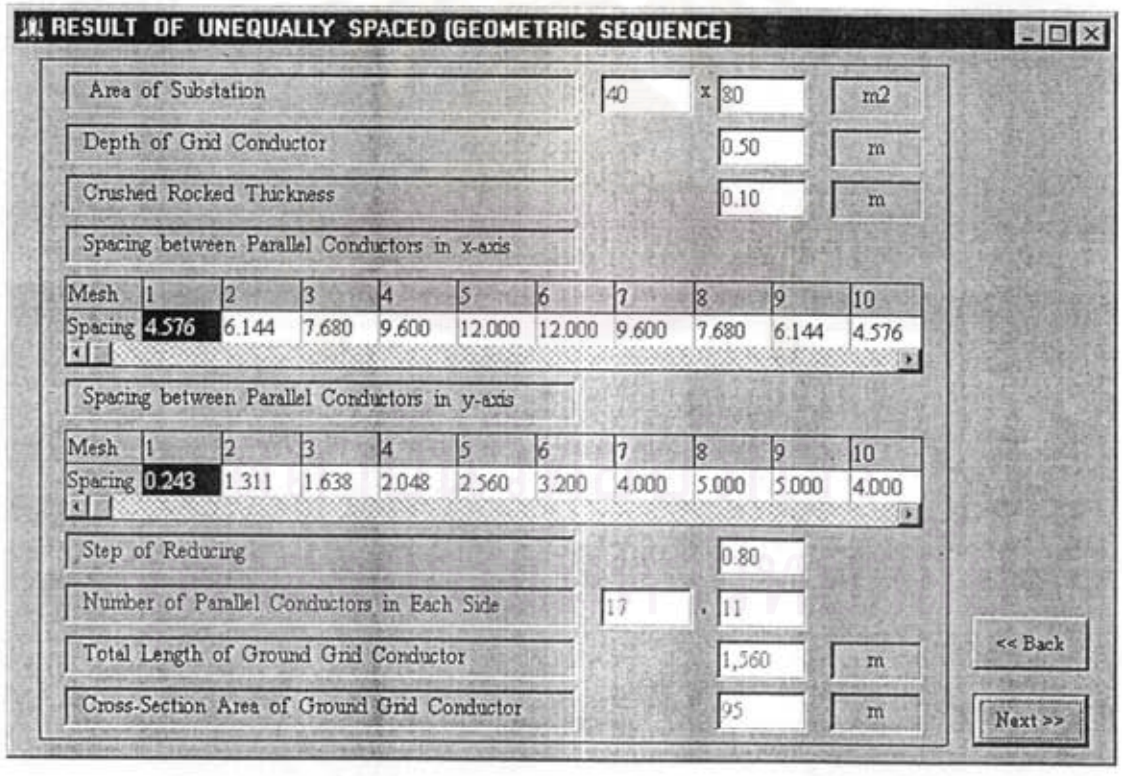


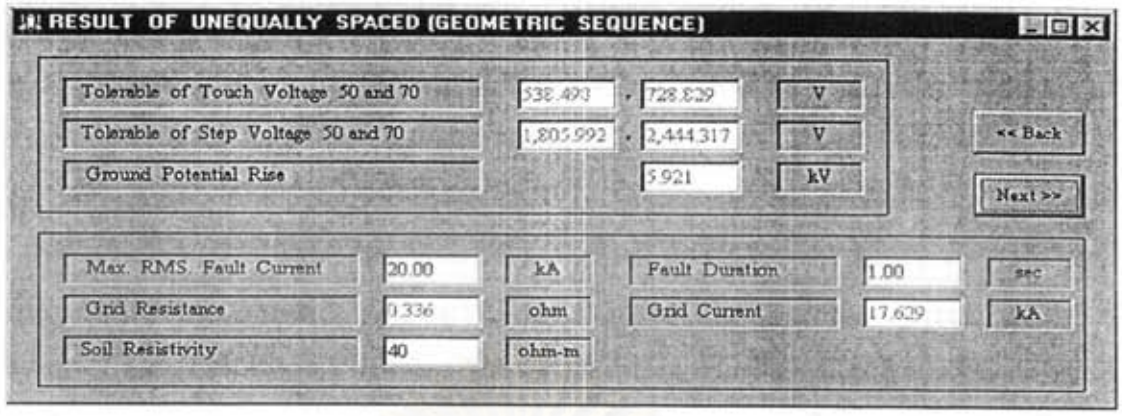


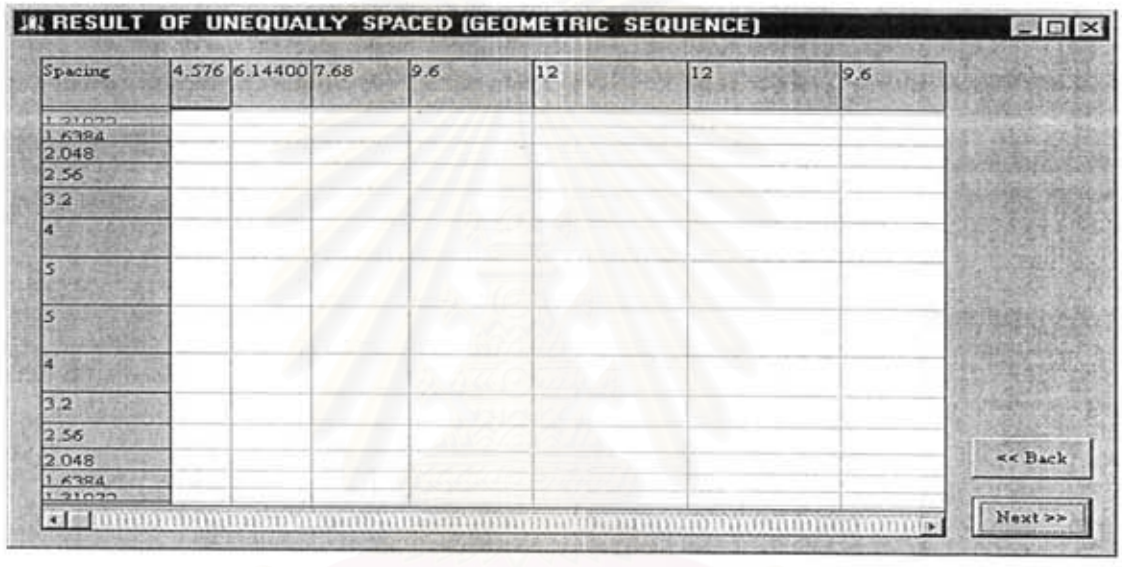
รูปที่ 7.5 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

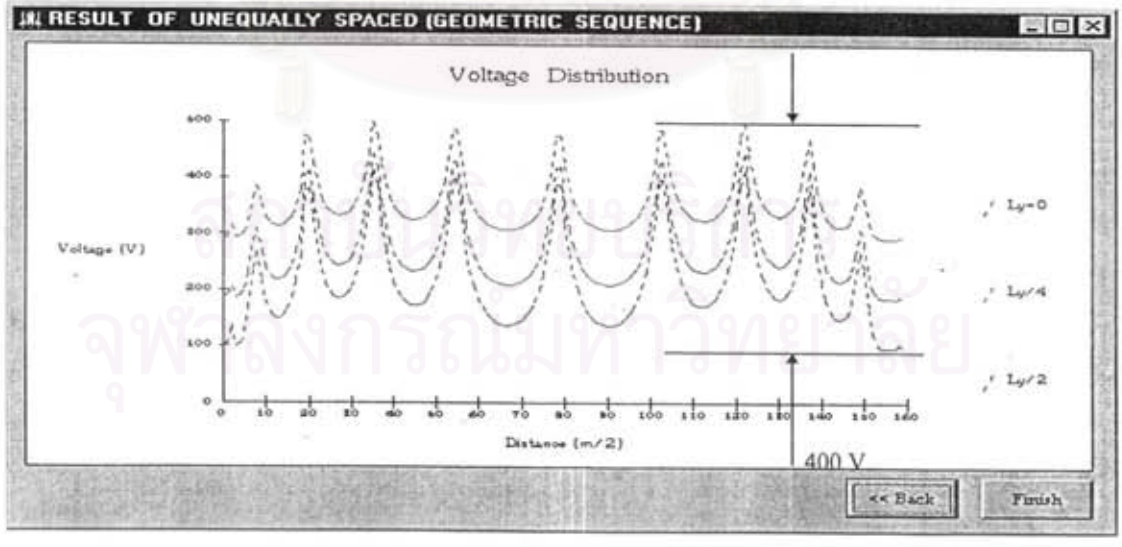
จากรูปที่ 7.5 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 2.85 - 8.63 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.82 - 9.56 m. สำหรับแนวยาว ศักดาไฟฟ้าเมชสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 295 V. ในขณะที่แรงดันสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 538.50 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 728.83 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.34 ohm. กระแสโครงตาข่าย 17.62 kA. และ GPR 5.95 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 1,440 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 95 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นเตี้ยๆ เกือบเป็นเส้นตรง โดยบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 295 V.

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.6









รูปที่ 7.6 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 2

จากรูปที่ 7.6 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.24 - 5.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 4.58 - 12.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมชที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 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 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นสูงปานกลาง โดยปลายทั้ง 2 ด้านมีค่าต่ำสุด และบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ แต่สูงกว่าปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 400 V.

7.2.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 2 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.2.1 สามารถแสดงการเปรียบได้ดังตารางที่ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 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
แรงดันเมชจากกราฟ (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 x 80 m^2 นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะใช้ลวดตัวนำมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้น้อยกว่าถึง 53% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันใช้น้อยที่สุด คือน้อยกว่าถึง 56% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมชที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันจะมีค่าน้อยที่สุด โดยน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตที่เป็นอันดับ 2 ถึง 20% และวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันมีค่าศักดาไฟฟ้าเมชมากที่สุด 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 เมื่อเกิดการผิดพร่องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดพร่องนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำมากกว่าระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันเพียงเล็กน้อย แต่มีความสะดวกในการสร้างจริงมากกว่า เพราะเพียงแค่วิศวกรผู้คุมงานทราบระยะห่างของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางโครงตาข่ายทั้ง 2 ด้าน ค่าคงที่ของการลดลง และความกว้าง ยาวของสถานีไฟฟ้าย่อยก็สามารถสร้างได้ โดยหาจุดกึ่งกลางของแต่ละด้าน จัดวางลวดตัวนำให้ห่างจากจุดกึ่งกลางนั้นเท่ากับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้าน และคำนวณหาระยะของช่องย่อยถัดไปด้วยการคูณค่าคงที่ของการลดลงกับระยะของช่องย่อยบริเวณกึ่งกลางของโครงตาข่ายในแต่ละด้านด้วยเครื่องคิด

เลขธรรมดาเท่านั้น ซึ่งต่างจากวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันที่จำเป็นต้องดูแบบในขณะสร้างจริงตลอดเวลา

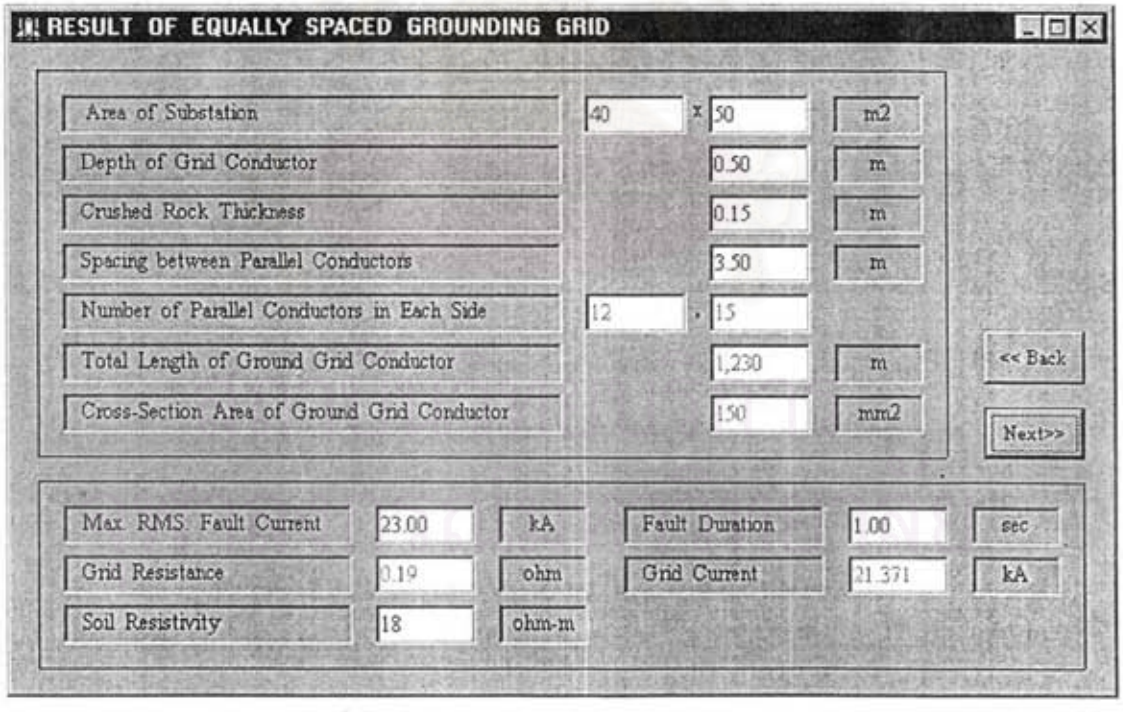
7.3 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

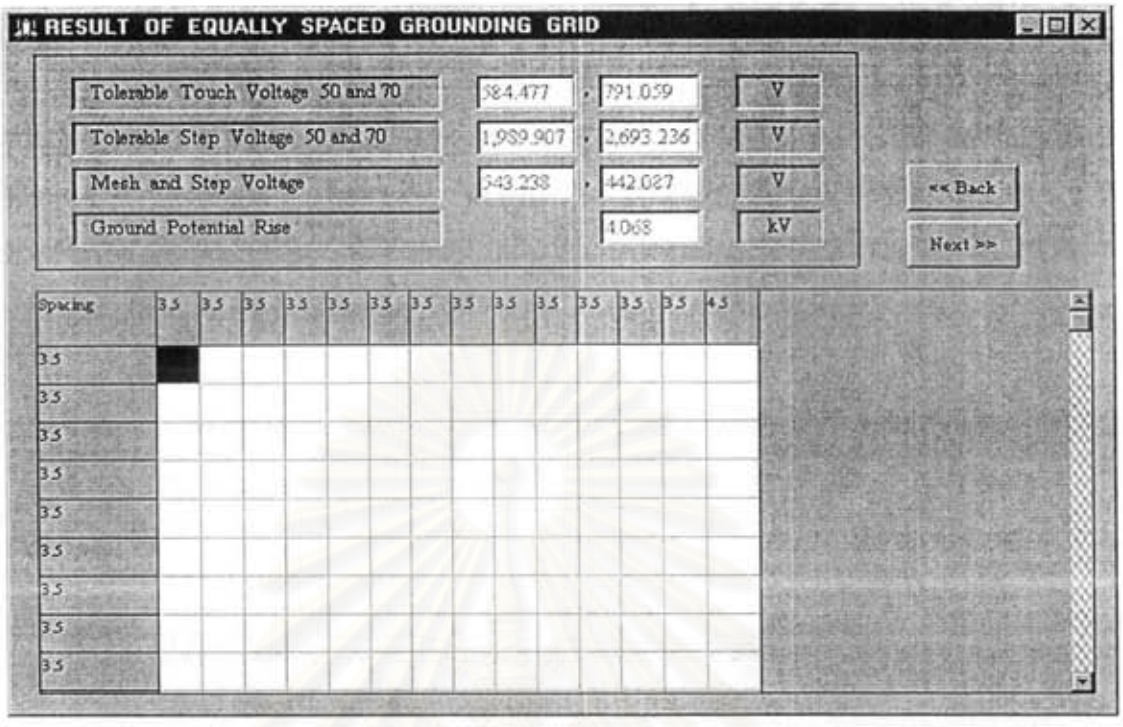
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) 40 x 50 m^2 ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 18 ohm-m. กระแสผิดพร่องสูงสุด 23 kA ช่วงเวลาการผิดพร่อง 1.0 sec.

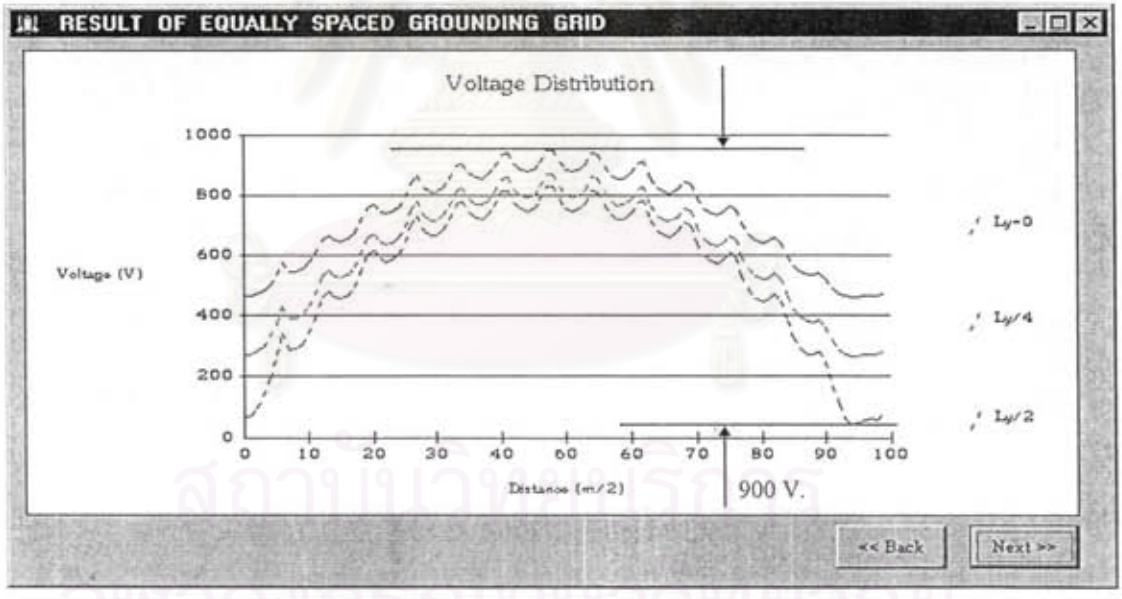
การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m. โรยหินกรวดหนา 0.15 m. ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน 3,000 ohm.-m. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ 1,000 ohm. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.3.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.7





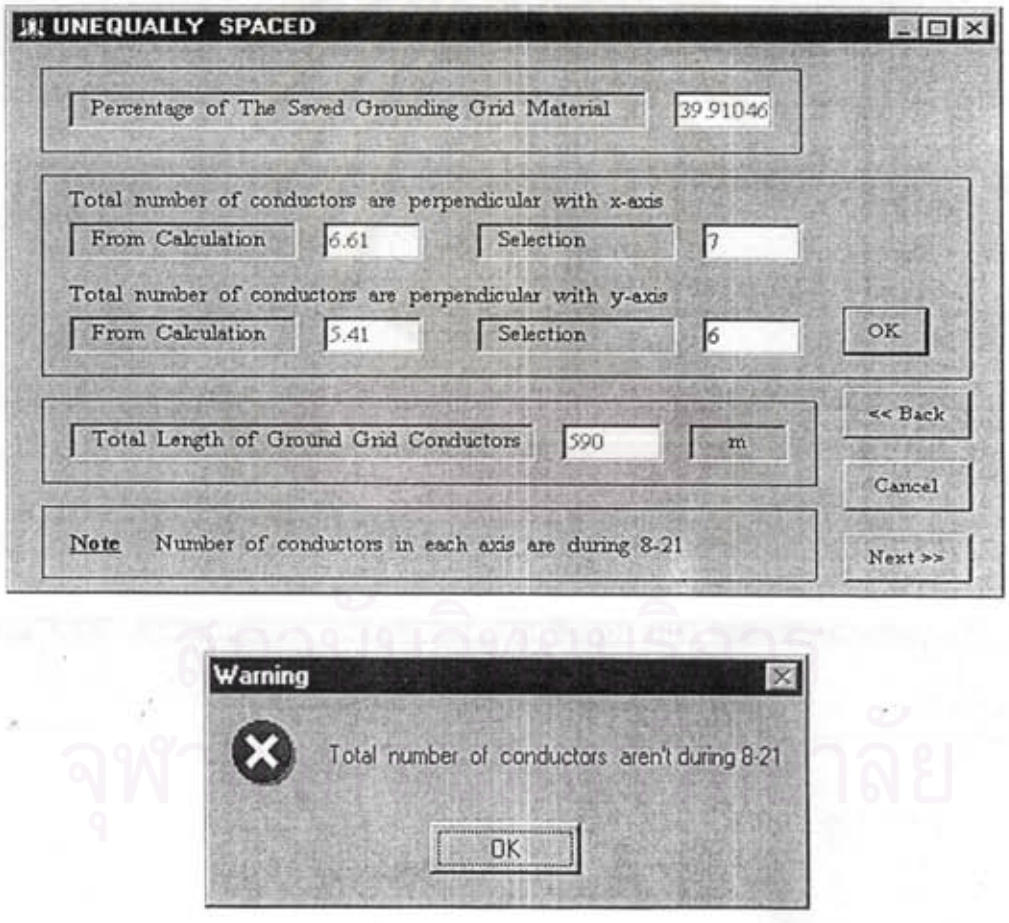


รูปที่ 7.7 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

จากรูปที่ 7.7 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 3.50 m. ศักดาไฟฟ้าเมชสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 272 V. ซึ่งศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.48 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม และ 791.06 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

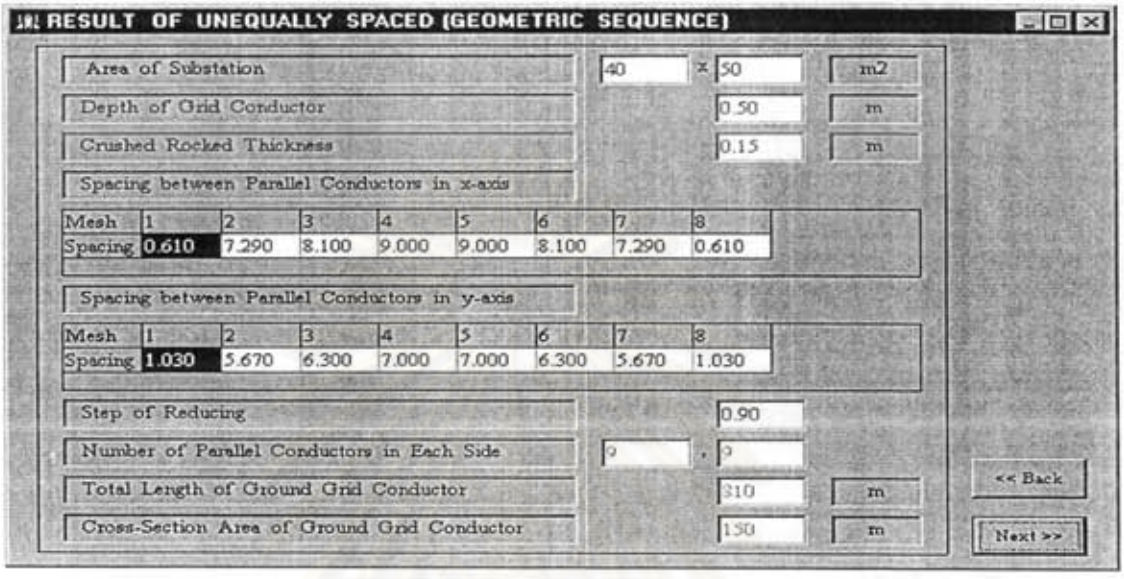
แสดงว่าระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.19 ohm. กระแสโครงตาข่าย 21.37 kA. และ GPR 4.07 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 1,230 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 150 mm^2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

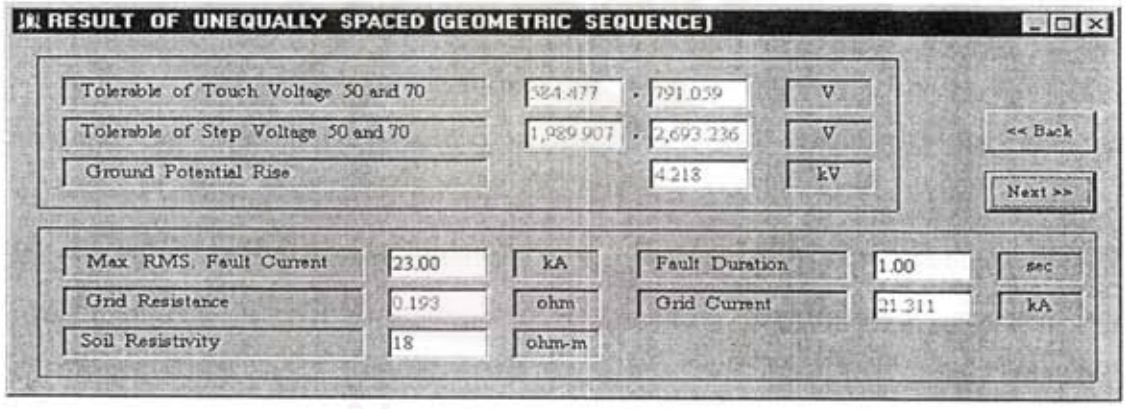
ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน" พบว่าไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากจำนวนลวดตัวนำไม่อยู่ในช่วง 8-21 เส้น ดังรูปที่ 7.8

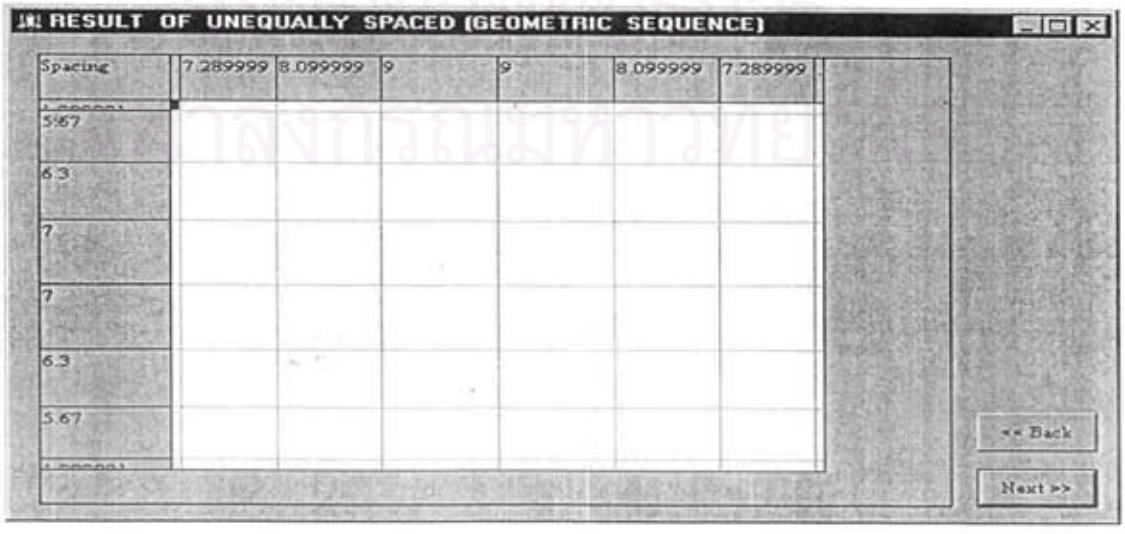


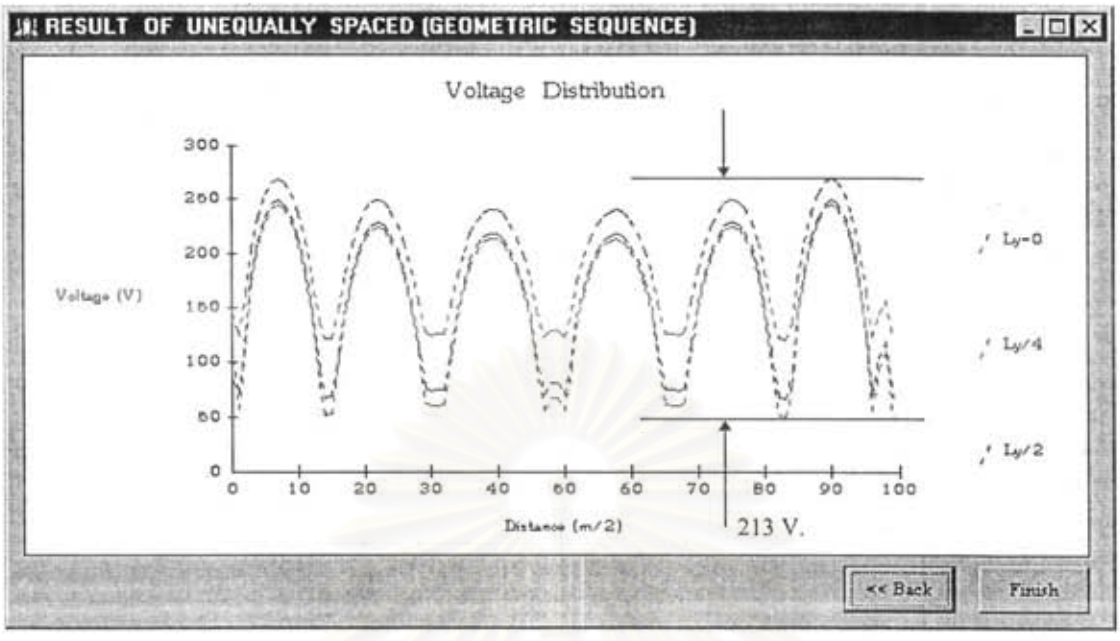
รูปที่ 7.8 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.9









รูปที่ 7.9 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

จากรูปที่ 7.9 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.24 - 5.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.47 - 7.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมชที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 188 V. ในขณะที่ศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.48 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg. และ 791.06 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg. ดังนั้นระบบโครงตาข่ายที่ออกแบบด้วยออกแบบด้วยวิธีนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.20 ohm. กระแสโครงตาข่าย 21.31 kA. และ GPR 4.22 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำเป็นจำนวน 810 m. ด้วยลวดตัวนำขนาด 150 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 213 V.

7.3.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 3 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.3.1 สามารถแสดงการเปรียบได้ดังตารางที่ 7.3 ดังนี้

ตารางที่ 7.3 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 3

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	3.50	-	0.24-5.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	3.50	-	1.47-7.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	1,230	-	810 (66)	Geo>Eq
แรงดันเมชจากกราฟ (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
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด	900	-	213 (24)	Eq>Geo

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่ขนาด 40 x 50 m^2 นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะใช้ลวดตัวนำน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 34% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมชที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะมีค่าน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 31% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 2 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครงตาข่ายของทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตและสูงกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้เกือบ 1 เท่าตัว ในขณะที่วิธีระยะห่าง

ระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตมีค่าน้อยกว่า โดยน้อยกว่าถึง 76% และยังน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้อีกด้วย นั่นคือหากสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิดพร่องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดพร่องนี้ได้ เพราะฉะนั้นระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ควรใช้ระบบการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนลวดตัวนำน้อยกว่าระบบโครงตาข่ายที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากั และสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และภายนอกสถานีไฟฟ้าย่อยได้ดีกว่าอีกด้วย

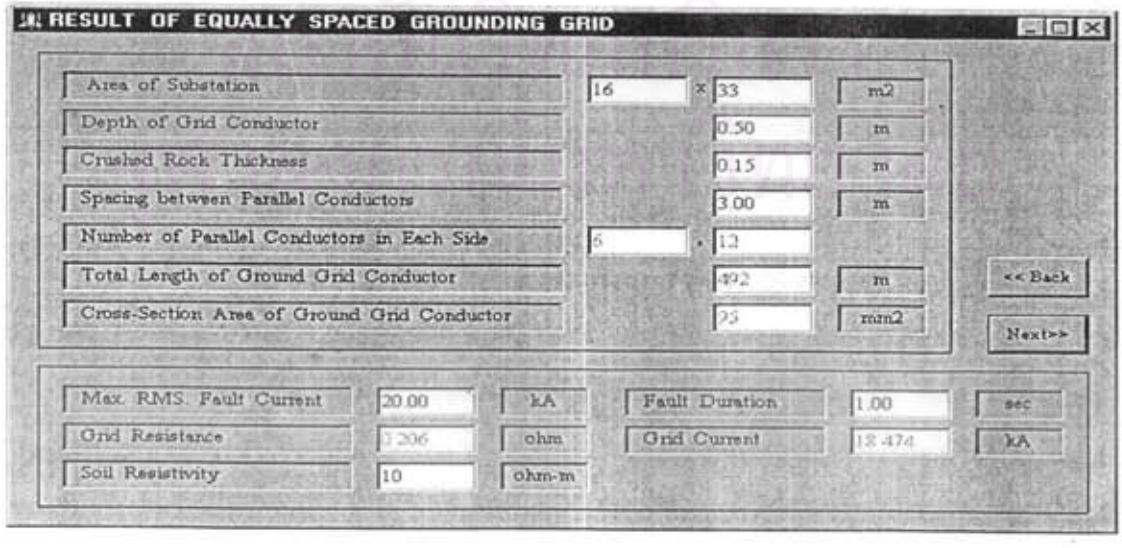
7.4 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

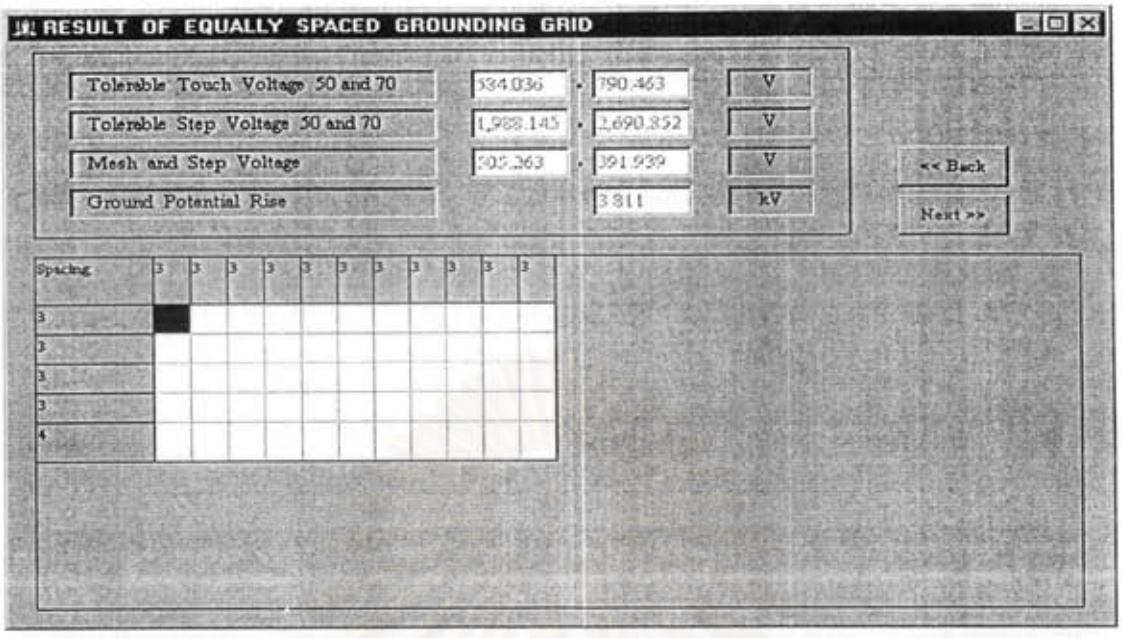
สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งมีพื้นที่ (กว้าง x ยาว) 16 x 33 m^2 ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน 10 ohm-m. กระแสผิดพร่องสูงสุด 20 kA ช่วงเวลาการผิดพร่อง 1.0 sec.

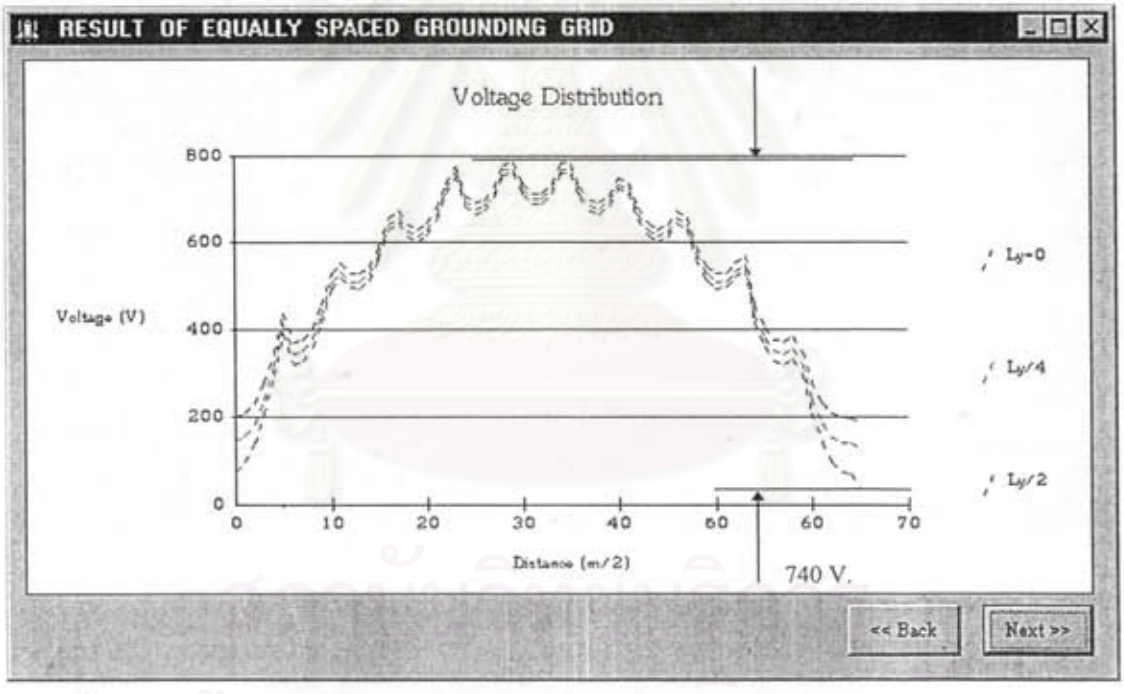
การออกแบบกำหนดให้ โครงตาข่ายการต่อลงดินลึก 0.5 m. โรยหินกรวดหนา 0.15 m. ค่าความต้านทานจำเพาะของหิน 3,000 ohm.-m. ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ 1,000 ohm. ใช้ลวดตัวนำทองแดงเป็นวัสดุในการสร้างระบบโครงตาข่าย

7.4.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.10





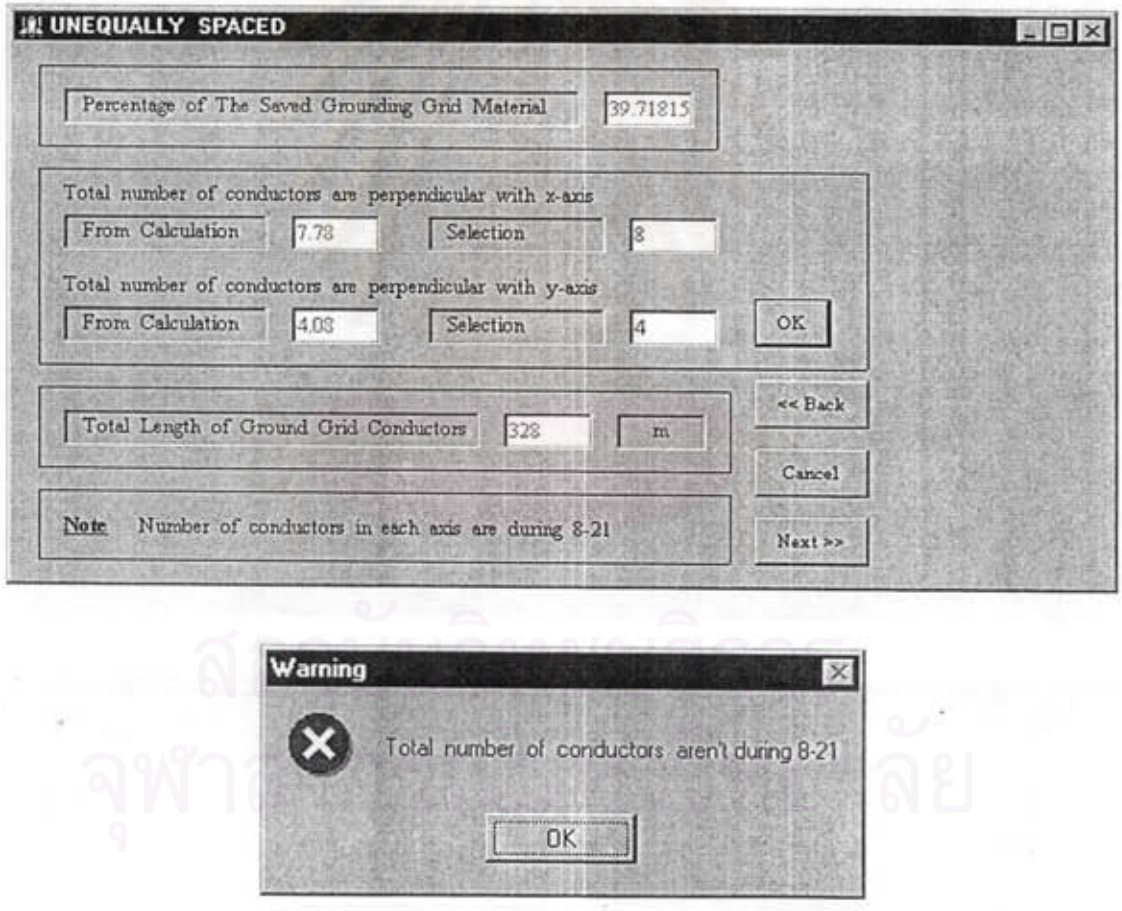


รูปที่ 7.10 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

จากรูปที่ 7.10 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 3.00 m. ศักดาไฟฟ้าแมชสูงสุดที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 369 V. ซึ่งศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้มีค่า 584.04 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 50 kg และ 790.46 V. สำหรับมนุษย์ที่มีน้ำหนัก 70 kg แสดงว่าระบบ

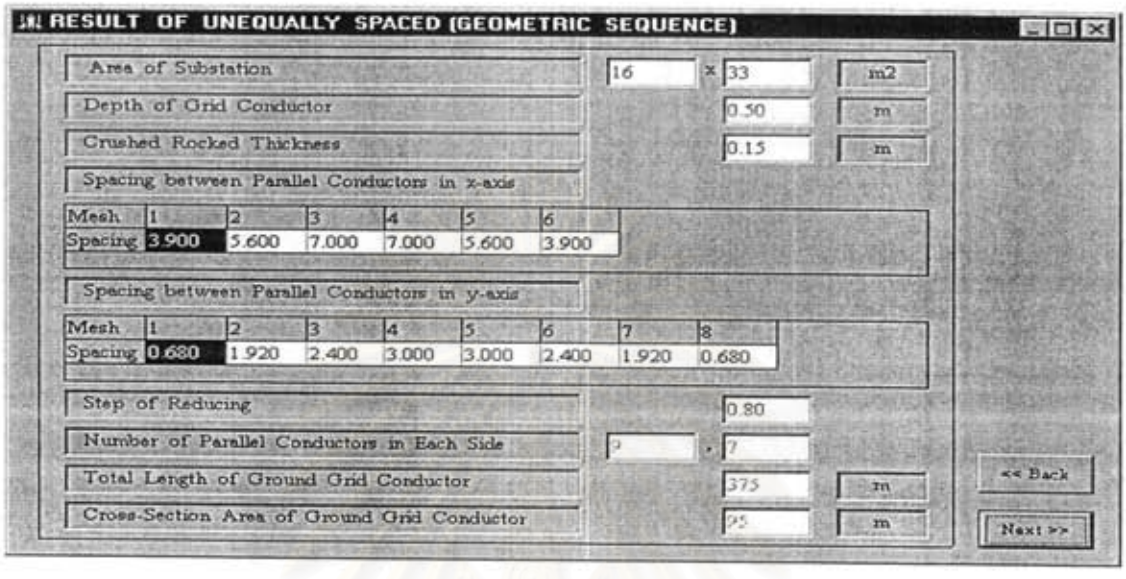
โครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันนี้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับมนุษย์ สัตว์ และอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายใน และบริเวณใกล้เคียงได้ โดยมีค่าความต้านทานโครงตาข่าย 0.21 ohm. กระแสโครงตาข่าย 18.47 kA. และ GPR 3.81 kV. แต่ต้องใช้ลวดตัวนำ 492 m. ด้วยลวดตัวนำทองแดงขนาด 95 mm^2 การกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยบริเวณกึ่งกลางมีค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 740 V.

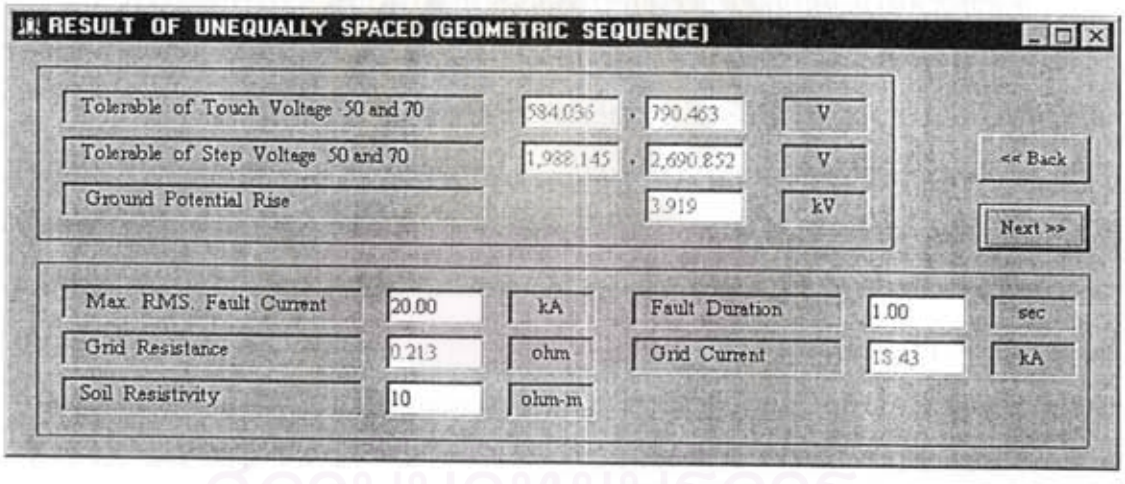
ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากัน" พบว่าไม่สามารถออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ เนื่องจากจำนวนลวดตัวนำไม่อยู่ในช่วง 8-21 เส้น ดังรูปที่ 7.11

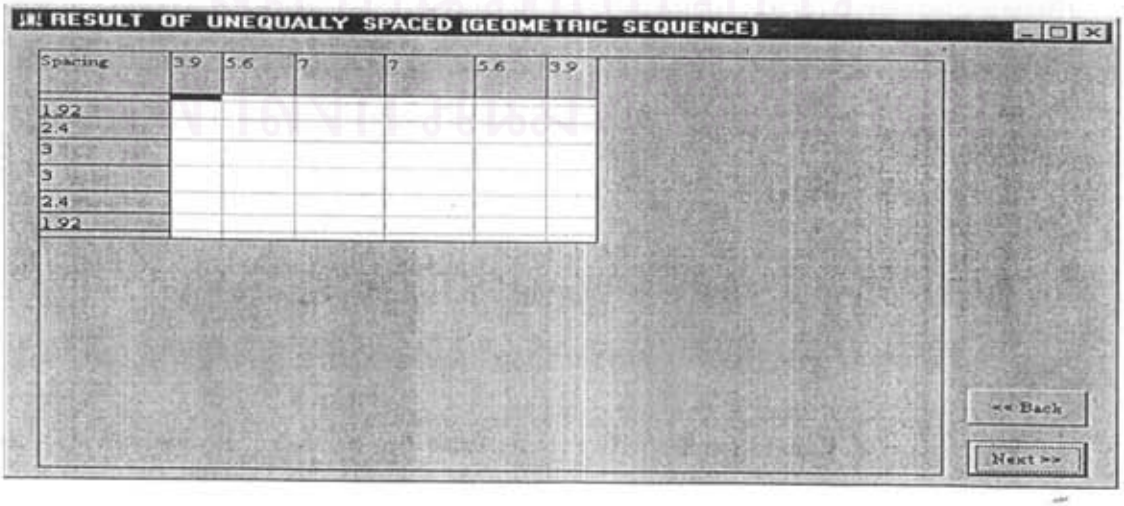


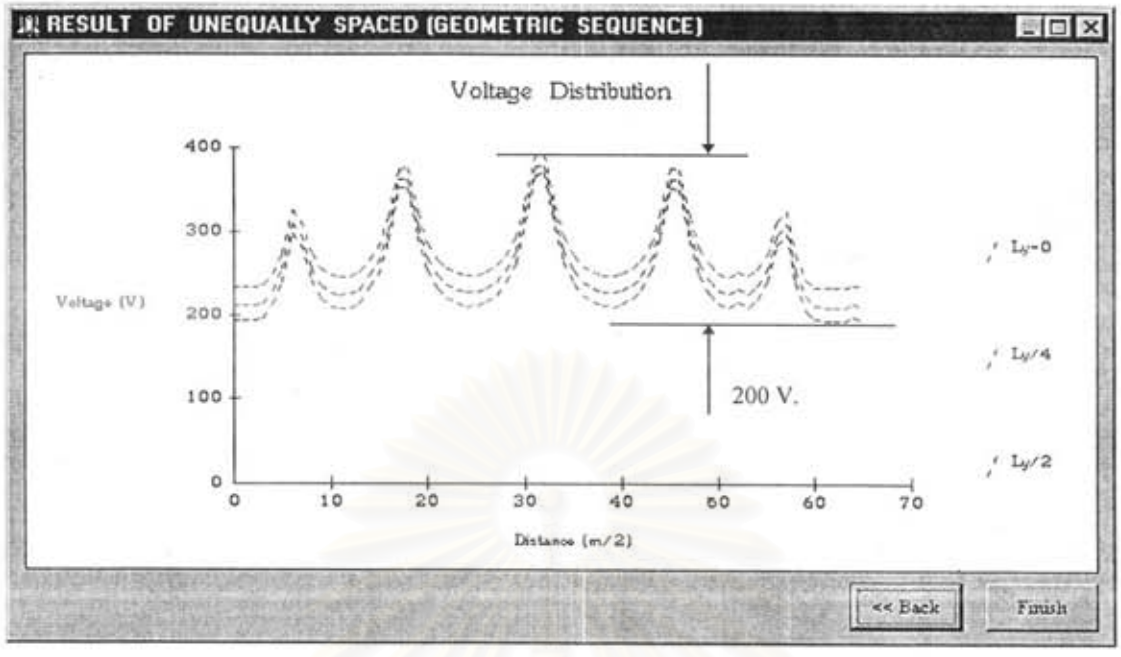
รูปที่ 7.11 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธี "ระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต" สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.12









รูปที่ 7.12 ผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน
ที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

จากรูปที่ 7.12 พบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างตัวนำ 0.68 - 3.00 m. สำหรับแนวกว้าง และ 1.86 - 6.00 m. สำหรับแนวยาว แรงดันเมชที่อ่านได้จากกราฟมีค่าประมาณ 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 mm^2 และการกระจายแรงดันบนผิวดินมีลักษณะเป็นหนาม หากพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคลื่นเตี้ยๆ จนเกือบเป็นเส้นตรง โดยปลายทั้ง 2 ด้าน และบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และศักดาไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าประมาณ 200 V.

7.4.2 การวิเคราะห์ผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยระบบที่ 4 ด้วยวิธีทั้ง 3 ที่แสดงในหัวข้อ 7.4.1 สามารถแสดงการเปรียบได้ดังตารางที่ 7.4 ดังนี้

ตารางที่ 7.4 เปรียบเทียบผลการออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดิน ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 4

รายการ	ระยะห่างระหว่างตัวนำ			เปรียบเทียบ
	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต	
ระยะห่างตามแนวกว้าง (m.)	3.00	-	0.68-3.00	
ระยะห่างตามแนวยาว (m.)	3.00	-	1.86-6.00	
จำนวนลวดตัวนำ (m.)	492	-	375 (76)	Eq>Geo
แรงดันเมชจากกราฟ (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
ผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด	740	-	200 (27)	Eq>Geo

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บ คือ ค่าเปรียบเทียบกับวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Eq หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน

Geo หมายถึง วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิต

จากตารางเปรียบเทียบผลการออกแบบ พบว่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีพื้นที่ขนาด 16 x 33 m^2 นั้น การออกแบบระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินด้วยวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะใช้ลวดตัวนำน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 24% ส่วนศักดาไฟฟ้าเมชที่อ่านได้จากกราฟนั้น วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตจะมีค่าน้อยกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันถึง 60% แต่มีค่าน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ทั้ง 2 วิธี ในขณะที่ ค่า GPR ค่าความต้านทานโครงตาข่าย และกระแสโครงตาข่ายของทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับผลต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุด วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากันมีค่าสูงกว่าวิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตและสูงกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้ ในขณะที่วิธีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่

เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตมีค่าน้อยกว่า โดยน้อยกว่าถึง 73% และยังน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสสูงสุดที่มนุษย์สามารถทนได้อีกด้วย นั่นคือหากสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ใช้ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากัน เมื่อเกิดการผิดพร่องขึ้น และมีผู้สัมผัสกับอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดิน ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ยืนอยู่ ณ. จุดที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด หรือในทางกลับกัน เป็นผลให้บุคคลผู้นั้นได้รับอันตรายจากการผิดพร่องนี้ได้ 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 เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักดาไฟฟ้าเมช และศักดา

ไฟฟ้าช่วงก้าวไม่เหมาะกับระบบโครงตาข่ายที่มีจำนวนลวดตัวนำในแต่ละด้านเกิน 25 เส้น ในขณะที่แบบระยะห่างไม่เท่ากันไม่สามารถใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดกลางหรือเล็กได้ เนื่องจากวิธีนี้ใช้ได้เฉพาะระบบโครงตาข่ายที่มีจำนวนลวดตัวนำในแต่ละด้านอยู่ในช่วง 8-21 เส้นเท่านั้น

7.5.6 ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันแบบลำดับเรขาคณิตเหมาะกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดกลาง หรือขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะขนาดเล็ก เพราะศักดาไฟฟ้าเมชที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ และการกระจายแรงดันมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่ระบบโครงตาข่ายการต่อลงดินที่มีระยะห่างระหว่างตัวนำไม่เท่ากันเหมาะกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีขนาดใหญ่ หรือขนาดกลาง โดยเฉพาะขนาดใหญ่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย