



การประเมินค่าความต้านทานกราวด์ ค่าแรงดันไฟฟ้ารองตาข่ายและค่าแรงดันไฟฟ้าอย่าง
ก้าวของตะแกรงรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

EVALUATION OF GROUND RESISTANCE, MESH VOLTAGES AND STEP
VOLTAGES OF A GROUNDING GRID OF SQUARE SHAPE



โดย
นาย เกรียงไกร สิทธิเสรีประทีป
นาย เฉยฉา ปิยะพงษ์
นาย พงศ์พันธุ์ พิพิธวิจิตรกร

วัน เดือน ปี..... ๑/ ๑๑. ๒๕๕๐
เลขทะเบียน..... ๐๓๗ ๐๑๘
เลขเรียกหนังสือ..... T3๘๑๒1 ก๗๗๗ ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา ๒๕๓๘

037028

ปีการศึกษา 2538

การประเมินค่าความต้านทานกราวด์ ค่าแรงดันไฟฟ้ารองต่ายและค่าแรงดันไฟฟ้าย่าง
ก้าวของตะแกรงรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

EVALUATION OF GROUND RESISTANCE, MESH VOLTAGES AND STEP
VOLTAGES OF A GROUNDING GRID OF SQUARE SHAPE



นาย เกรียงไกร ลิทธิเสรีประทีป

นาย เชนฎา ปิยะพงษ์

นาย พงศ์พันธุ์ พิพิธวิจิตรกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศุฉิ บรรจงจิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะหรือลอกเลียนแบบเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ.สมชาติ จิรวิภากร

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2538

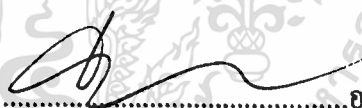
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประเมินค่าความต้านทานกราวด์และค่าแรงดันไฟฟ้าร่อนตาข่ายและค่าแรงดันไฟฟ้าอย่าง
ก้าวของตะแกรงรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย เกรียงไกร สิริเสรีประทีป
 2. นาย เจษฎา ปิยะพงษ์
 3. นาย พงศ์พันธุ์ พิพิธวิจิตรกร


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ร.ศ. สุทธิ บรรจงจิตร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. สมชาติ จิรวินากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินค่าความต้านทานกราวด์และค่าแรงดันไฟฟ้ารองตายและค่าแรงดันไฟฟ้าอย่างก้าวของ
ตะแกรงรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

นายเกรียงไกร สิริทธิเสรีประทีป

นาย เฉษฐา ปิยะพงษ์

นาย พงศ์พันธุ์ พิพิธวิจิตรกร

ร.ศ. สุธิ บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. สมชาติ จิรวิภากร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ตะแกรงส่วนมากในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยมีรูปร่างต่าง ๆ นอกเหนือจากรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมมุมฉาก ในขณะที่สูตรการคำนวณต่าง ๆ สำหรับค่าความต้านทานกราวด์ของตะแกรงและสูตรอย่างง่ายสำหรับค่าแรงดันไฟฟ้ารองตายและแรงดันไฟฟ้าอย่างก้าวสามารถใช้ได้กับตะแกรงที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่านั้น สมการอย่างง่ายแบบใหม่สำหรับการประมาณค่าความต้านทานกราวด์และสมการอย่างง่ายที่ปรับปรุงแล้วสำหรับการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ารองตายและแรงดันไฟฟ้าอย่างก้าวที่สามารถใช้ได้กับตะแกรงที่มีรูปร่างในทางปฏิบัติจะถูกนำมาเสนอในรายงานนี้ ผลลัพธ์ที่ได้รับจากสมการเหล่านี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดสอบแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF GROUND RESISTANCE AND MESH AND STEP VOLTAGES OF A
GROUNDING GRID OF SQUARE SHAPE

Kriengkrai Sitthisaerepratthep

Jesada Piyapong

Pongpan Pipitvijitkorn

Assoc. Prof. Suree Bunjongjit Advisor

Somchart Jirivipakorn Advisor

1995

ABSTRACT

A large number of grounding grids in substations have shapes other than a square or a rectangle, whereas the formulas for the ground resistance of a grounding grid and the simplified formulas for mesh and step voltages are applicable only to nearly square or rectangular grids. A new simple equation for the estimation of ground resistance and the modified simple equations for the calculating of mesh and step voltages applicable to any practical shape of the grid is presented in the paper. The results obtained with this equations have been compared with the results of the analog model tests.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ปัญหาพื้นฐานที่เกิดขึ้นกับระบบต่อลงดิน	3
2.1 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุของระบบต่อลงดิน	4
2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อความปลอดภัย	4
2.3 ขอบเขตของความปลอดภัย	7
บทที่ 3 ทฤษฎีการคำนวณ	9
3.1 วิธีการ	9
3.2 การคำนวณค่าความต้านทานของตะแกรงในดิน	12
3.2.1 ค่าความต้านทานของตะแกรงในดินที่มีลักษณะชั้นเดียว	12
3.2.2 ค่าความต้านทานของตะแกรงในดินที่มีลักษณะสองชั้น	13
3.3 การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน	15
3.3.1 วิธีการของ Wenner	15
3.3.2 วิธีการของ Schlumberger	16
3.3.3 วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 3 แท่ง	17
3.4 แรงดันร่อนตาข่ายและแรงดันยกก้าว	18
3.5 สูตรการคำนวณอย่างง่ายสำหรับแรงดันร่อนตาข่ายและแรงดันยกก้าว	19
บทที่ 4 การออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย	21
4.1 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการต่อลงดิน	21
4.2 หลักการพิจารณาการออกแบบระบบต่อลงดิน	22
4.3 นิยามแรงดันที่พบบ่อยในการออกแบบระบบกราวด์	22
4.4 ขั้นตอนการออกแบบระบบกราวด์	23
บทที่ 5 การทดสอบแบบจำลอง	29

เอกสารนี้เป็น 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น 29

ไม่ว่ากรณีใด 5.2 การวัดค่าความต้านทาน, แรงดันร่อนตาข่าย และแรงดันยกก้าว และวิธีการวัด การนำ 35

5.2.1 ความต้านทานของตะแกรง 35

5.2.2 แรงดันร่องตาข่าย	37
5.2.3 แรงดันอย่างก้าว	39
5.3 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบแบบจำลองเปรียบเทียบกับสูตรการคำนวณโดยโปรแกรม	41
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดสอบ	51
6.1 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรง	51
6.2 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันร่องตาข่าย	55
6.3 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันอย่างก้าว	55
6.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	55

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 เกรเดียนของศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในและรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าย่อย	3
รูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าสัมผัส	7
รูปที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าอย่างก้าว	7
รูปที่ 3.1 รูปร่างและขนาดของตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์	10
รูปที่ 3.2 ตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์วางลงบนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น	14
รูปที่ 3.3 ตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ถูกฝังในดินชั้นบนของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น ความสูงของดินชั้นบนคือ h_1 และตะแกรงถูกฝังที่ความลึก h	15
รูปที่ 3.4 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner	16
รูปที่ 3.5 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Schlumberger	17
รูปที่ 3.6 ก. ลักษณะการปักแท่งขั้วไฟฟ้าของบริดจ์มิเตอร์วัดค่าความต้านแฝงกระจายของดิน R_a	18
รูปที่ 3.6 ข. กราฟแสดงศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งสายดินกับแท่งสายดินช่วย	18
รูปที่ 4.1 แรงดันลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดบริเวณสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยขณะเกิดการลัดวงจรลงดิน	22
รูปที่ 4.2 แผนภูมิรูปภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบระบบกราวด์	24
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบโปรแกรม โดยการป้อนขนาดสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย	27
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบโปรแกรม โดยการใช้ตะแกรงขนาดที่ใช้ในโครงการ	28
รูปที่ 5.1 แสดงถึงและคานาปรับระดับที่ใช้ในการทดลอง	31
รูปที่ 5.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าต่าง ๆ	31
รูปที่ 5.3 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ	32
รูปที่ 5.4 แสดงตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ในแบบจำลอง แบบ 4 ร่องตาข่าย	32
รูปที่ 5.5 แสดงตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ในแบบจำลอง แบบ 9 ร่องตาข่าย	33
รูปที่ 5.6 รูปวงจรการหาค่าความต้านทาน	35
รูปที่ 5.7 แสดงการวัดค่าความต้านทานของตะแกรงแบบ 4 ร่องตาข่าย	36
รูปที่ 5.8 แสดงการวัดค่าความต้านทานของตะแกรงแบบ 9 ร่องตาข่าย	36
รูปที่ 5.9 รูปวงจรการหาค่าแรงดันร่องตาข่ายการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น	37
รูปที่ 5.10 การวัดค่าแรงดันร่องตาข่ายที่กึ่งกลางร่องตาข่าย ตะแกรง 4 ร่องตาข่าย	38
รูปที่ 5.11 การวัดค่าแรงดันร่องตาข่ายที่กึ่งกลางร่องตาข่าย ตะแกรง 9 ร่องตาข่าย	38

รูปที่ 5.12 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่ระยะ $2/3$ เซนติเมตร จากมุมของตะแกรงตะแกรง 4 ร่องตาข่าย	39
รูปที่ 5.13 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่จุดมุมของตะแกรง ตะแกรง 4 ร่องตาข่าย	40
รูปที่ 5.14 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่ระยะ $2/3$ เซนติเมตร จากมุมของตะแกรง ตะแกรง 9 ร่องตาข่าย	40
รูปที่ 5.15 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่จุดมุมของตะแกรง ตะแกรง 9 ร่องตาข่าย	41
รูปที่ 6.1 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับจำนวนร่องตาข่าย	51
รูปที่ 6.2 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ	52
รูปที่ 6.3 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับขนาดของตะแกรง	53
รูปที่ 6.4 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับความลึกของการฝังตะแกรง	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทานของตะแกรงที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก	9
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความต้านทานที่วัดได้จากสูตรการคำนวณต่าง ๆ	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย (Substation) นั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการที่จะต้องมีการวางระบบต่อลงดิน (Grounding System) ที่ดีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานที่และต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในบริเวณใกล้เคียงสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย และเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการลัดวงจรลงดิน (Ground Fault) ภายในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงการออกแบบระบบกราวด์ให้มีความปลอดภัย

ระบบต่อลงดินที่ศึกษาในโครงการนี้จะศึกษาถึงการออกแบบระบบกราวด์ที่เป็นตัวนำมาต่อเข้ากันเป็นในลักษณะตะแกรง (Grid) และมีส่วนย่อย ๆ คือ ร่องตาข่าย (Mesh) หรือเรียกว่าตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ (Grounding Grid) ในการศึกษ้ออกแบบระบบกราวด์นั้นจะต้องคำนึงถึงค่าต่าง ๆ ที่มีผลในการออกแบบดังนี้

1. ค่าความต้านทานของตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ (Ground Grid Resistance) ได้ศึกษาถึงการหาค่าความต้านทานโดยการคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณอย่างง่ายของ Salama เนื่องจากสูตรการคำนวณนี้ให้ค่าความเที่ยงตรงกับตะแกรงในรูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสสูง จึงเป็นการดีที่จะนำมาศึกษา ในการศึกษาจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบแบบจำลองของตะแกรงที่ได้ทำขึ้นให้มีสภาวะใกล้เคียงกับของจริงโดยทำการการย่อส่วนลงมา

2. ค่าแรงดันร่องตาข่าย (Mesh Voltage) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย โดยการนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดันสัมผัสที่ 50 กิโลกรัม

3. ค่าแรงดันย่างก้าว (Step Voltage) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย โดยการนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดันย่างก้าวที่ 50 กิโลกรัม

ค่าทั้งสามนี้จะใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบความปลอดภัยของการออกแบบระบบกราวด์ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณโดยมีโปรแกรมการหาค่า ความต้านทานกราวด์, ค่าแรงดันร่องตาข่าย, ค่าแรงดันย่างก้าว และโปรแกรมคำนวณออกแบบระบบกราวด์ โดยสามค่าแรกได้มีการทดสอบเปรียบเทียบโดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมา โดยการจำลองขนาดพื้นที่ในการวางระบบต่อลงดินขึ้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของสูตรการคำนวณ และในโปรแกรมการออกแบบระบบกราวด์ก็จะเป็นการออกแบบระบบกราวด์อย่างง่ายซึ่งจะให้ค่าที่ปลอดภัยโดยได้คำนึงถึงค่าทั้งสามค่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทที่ 1 คือบทนำจะนำเสนอขอบเขตของการทำงาน

บทที่ 2 จะกล่าวถึงปัญหาพื้นฐานที่เกิดขึ้นกับระบบต่อลงดิน จะกล่าวถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ องค์ประกอบที่มีผลต่อความปลอดภัย และขอบเขตความปลอดภัย

บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีในการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ศึกษาในโครงการนี้

บทที่ 4 จะเป็นการออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย รวมถึงขั้นตอนการออกแบบและ โปรแกรมในการคำนวณ

บทที่ 5 เป็นการทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาค่าต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสูตรการคำนวณ

บทที่ 6 เป็นสรุปผลและวิจารณ์การทดลอง จะกล่าวถึงอิทธิพลรอบข้างที่มีผลต่อค่าต่าง ๆ ที่ศึกษา

ส่วนในภาคผนวกนั้นจะเป็นตัวโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน, ค่าแรงดันร่อนตาข่าย และ แรงดันอย่างก้าวซึ่งใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบ และแสดงผลการทดสอบในบทที่ 6 แล้ว

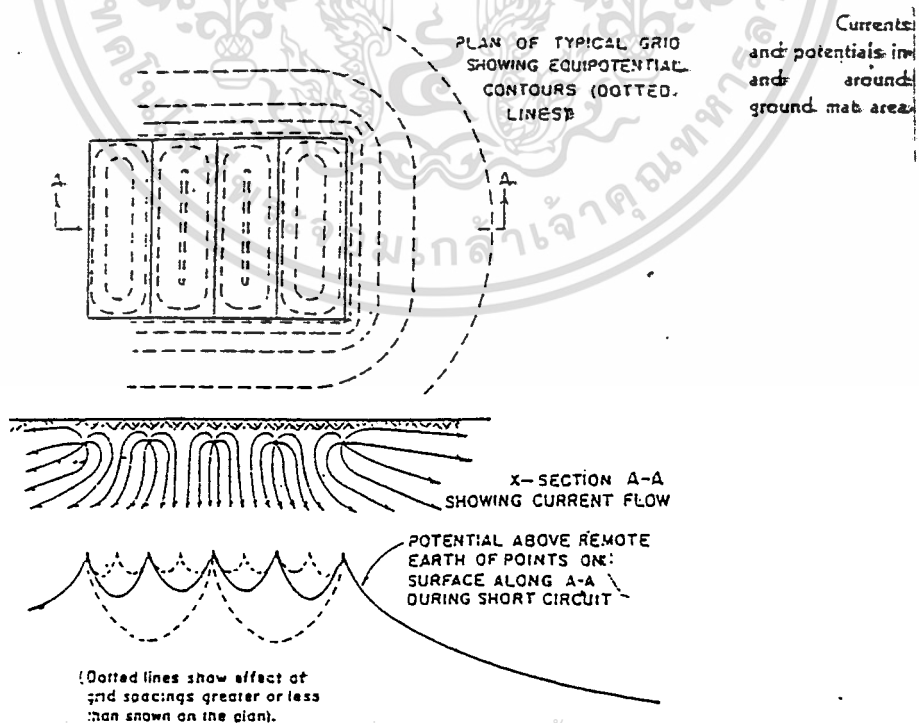


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ปัญหาพื้นฐานที่เกิดขึ้นกับระบบต่อลงดิน

ภายใต้สภาวะที่เกิดความผิดปกติ (Fault) ขึ้นภายในสถานีไฟฟ้าย่อยหนึ่ง ๆ นั้น การไหลของกระแสผิดปกติลงสู่พื้นดิน (Ground Fault Current) โดยผ่านระบบต่อลงดินจะมีผลทำให้เกิดเกรเดียนของศักดาไฟฟ้าขึ้นภายในและรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นระบบต่อลงดินที่มีตะแกรงต่อลงดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกฝังอยู่ในดินที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Homogenous) ดังนั้นถ้าระบบต่อลงดินนั้นไม่ได้รับการออกแบบมาอย่างถูกต้อง เกรเดียนของศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของบริเวณที่ถูกครอบคลุมโดยตะแกรงต่อลงดินนั้น อาจสูงเกินไปจนเกิดอันตรายต่อบุคคลที่อยู่ในบริเวณนั้นได้ ค่าความต่างศักย์ที่เป็นอันตรายอาจจะเกิดขึ้นระหว่างโครงสร้างหรือโครงของอุปกรณ์ซึ่งถูกต่อลงดิน กับพื้นดินในบริเวณใกล้เคียงภายในและรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนั้น หรืออาจจะเกิดขึ้นระหว่างสองจุดใด ๆ บนพื้นผิวดินภายในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งทำทั้งสองของคน ๆ นั้นสัมผัสอยู่ในทางตรงข้ามถ้าระบบต่อลงดินนั้นได้รับการออกแบบมาอย่างถูกต้องและรอบครอบ ก็จะสามารถป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากความต่างศักย์เหล่านั้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูปลอมแปลงและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.1 เกรเดียนของศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในและรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าย่อย

การที่ระบบการต่อลงดินของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (Substation Ground Resistance) มีค่าต่ำ ไม่ได้เป็นสิ่งยืนยันความปลอดภัย ยกเว้นในกรณีผลคูณ IR (โดยที่ I คือกระแสผิดปกติมากที่สุด R คือความต้านทานของระบบการต่อลงดิน) มีค่าต่ำพอที่จะสัมผัสได้อย่างปลอดภัย โดยทั่วไป อันตรายสูงสุด (Maximum Shock Potential) ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่มีความต้านทานต่ำอาจจะไม่ปลอดภัยในบางสภาพแวดล้อมแต่ในบางสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยมีค่าความต้านทานสูงอาจจะมีความปลอดภัย

นอกเหนือไปจากปริมาณเกรเดียนต์ที่เกิดในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อความปลอดภัยเช่น ช่วงเวลาของการเกิดอันตรายต่อชีวิต (Shock) ความต้านทานของร่างกายโอกาสของการสัมผัส ซึ่งเป็นการยากในการประเมิน

2.1 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุของระบบการต่อลงดิน

ในอดีตที่ผ่านมาคนจำนวนมากมักจะคิดว่าวัตถุใด ๆ ก็ตามที่ได้มีการต่อลงดินจะสามารถสัมผัสได้อย่างปลอดภัย ความคิดที่ผิดนี้ทำให้เกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้นหลายครั้งในอดีต แต่ในปัจจุบันปัญหาอันนี้ได้ถูกนำมาค้นหาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งจากการอาศัยข้อมูลและความรู้ใหม่ ๆ จำนวนมากทำให้สามารถหาสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กระแสผิดปกติ (Fault Current) ไหลลงสู่ดินในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับขนาดของระบบการต่อลงดินและค่าความต้านทานเฉพาะของพื้นดิน

2. ค่าความต้านทานเฉพาะของดินมีค่าสูง ทำให้การกระจายของกระแสลงสู่ดินมีค่าต่ำเป็นสาเหตุให้เกิดค่าเกรเดียนต์สูง ในบางจุดหรือหลาย ๆ จุดในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

3. มีส่วนของร่างกายของคนเป็นสะพานไฟฟ้าเชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุด ที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ บริเวณหนึ่ง ๆ ซึ่งมีความต่างศักย์ ที่มีค่าสูงคร่อมอยู่ระหว่างจุดสองจุดนั้น

4. ความต้านทานสัมผัส (Contact Resistance) หรือความต้านทานอนุกรม มีค่าน้อยหรืออาจไม่มี ที่จะจำกัดกระแสที่จะไหลผ่านร่างกายเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยภายในสภาวะที่เกิดความผิดปกติ

5. ช่วงเวลาของการเกิดการผิดปกติ (Fault) และของการไหลของกระแสผ่านร่างกายทางจุดสัมผัสทั้งสองดังกล่าวนั้นเป็นเวลานาน ทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้ที่ระดับ ความเข้มของกระแสตามที่กำหนด

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สำหรับองค์ประกอบที่มีผลต่อความปลอดภัย นั้นจะกล่าวรวม ๆ เป็นหัวข้อใหญ่ดังต่อไปนี้

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ร่างกายของมนุษย์ เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องแผ่นรองตัวดินในแง่ของความปลอดภัยต่อบุคคลนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของส่วนที่สำคัญที่สุดของวงจรก็คือร่างกายของมนุษย์เรานั้นเอง เนื่องจากว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดอาการช็อค ร่างกายของคนเราเป็นความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ตามสภาวะแวดล้อมและมีค่าต่างกันทุก ๆ คน การทดสอบที่ผ่านมาในอดีตเพื่อจะหาค่าความต้านทานต่ำสุดของร่างกายคนเรานั้นปรากฏว่ามีค่าตั้งแต่ 400-600 โอห์ม แต่เมื่อวัดจากมือถึงเท้าจะมีค่าประมาณ 1100 โอห์ม เพื่อเป็นระเบียบแบบแผนเดียวกันหมด IEEE std 80-1976 แนะนำให้ใช้ค่าความต้านทาน 1000 โอห์ม โดยประมาณสำหรับเป็นค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์เรา

2. กระแสที่ผ่านร่างกายมนุษย์ (Body Current) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กระแสที่ไหลผ่านร่างกายเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดอาการช็อคซึ่งเป็นอุบัติเหตุที่อาจจะเป็นอันตรายถึงกับเสียชีวิตได้ ความรุนแรงของอุบัติเหตุอันนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ ขนาดและช่วงเวลาของกระแสที่ไหลผ่านพื้นที่ที่สำคัญของร่างกายซึ่งจะแยกกันพิจารณาดังต่อไปนี้

ความถี่ ที่ความถี่ 50 Hz ความต้านทานของร่างกายจะเป็นความต้านทานชนิด (Resistive) แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นความต้านทานของร่างกาย จะเริ่มทำหน้าที่คล้ายเป็นวงจร R-C ซึ่งมีผลให้ความต้านทานของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้าลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ความต้านทานที่จุดสัมผัสต่ำลงมากอีกด้วย

ขนาดของกระแส จะมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาตอบโต้ของร่างกายมนุษย์และอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับร่างกายของคนเรา ที่ขนาดของกระแสระดับต่าง ๆ กัน

ระยะเวลาของการถูกกระแสไฟฟ้าช็อค ระยะเวลาของการถูกกระแสไฟฟ้าช็อคจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งในการที่จะกำหนดขนาดของกระแสที่ร่างกายสามารถจะทนได้ในช่วงเวลานั้น ๆ โดยที่ไม่เกิดอันตรายใด ๆ ต่อร่างกาย กล่าวคือร่างกายของคนเราสามารถจะทนกระแสสูงมาก ๆ ได้เป็นระยะเวลาสั้น ๆ แต่ในทางตรงข้ามร่างกายของมนุษย์จะทนกระแสได้น้อยลง เมื่อระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างเพิ่มขึ้น Dalziel ได้แสดงให้เห็นว่า 99.5 % ของคนที่มีสุขภาพปกติทั่ว ๆ ไปสามารถจะทนกระแสที่ไหลผ่านหัวใจซึ่งกำหนดได้โดยสมการต่อไปนี้

$$I_b = \frac{0.116}{T} \quad (2.1)$$

ที่ซึ่ง

I_b = กระแสที่ไหลผ่านร่างกายได้มากที่สุด (Maximum Body Current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารหน่วยเป็นแอมแปร์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ นี้ ช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกาย หน่วยเป็น วินาที

สำหรับช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายนี้ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการทำงานของ อุปกรณ์ป้องกันในการกำจัดกระแสลัดวงจร (Clear Fault) ที่เกิดขึ้น โดยปกติมักจะเลือกใช้ค่าเวลาการกำจัดกระแสของรีเลย์ที่มีความเร็วสูง (Regular High Speed Relay) นอกจากนี้ช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงผลของการรีโคลสเซอร์ (Reclosure) หลังการเกิดความผิดปกติด้วยถ้ามีอุปกรณ์รีโคลสเซอร์ อยู่ในระบบนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าการทำงานของหัวใจต้องใช้เวลาประมาณ 5 นาที จึงจะกลับคืนภาวะปกติ ภายหลังจากประสบกับการช็อคอย่างรุนแรงนั้นก็หมายความว่าถ้ามีการทำงานของรีโคลสเซอร์ การช็อคที่มีระยะห่างใกล้ ๆ กัน จะเสมือนกับเกิดการช็อคเพียงครั้งเดียว ซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับผลรวมของระยะเวลาของการช็อคแต่ละครั้ง

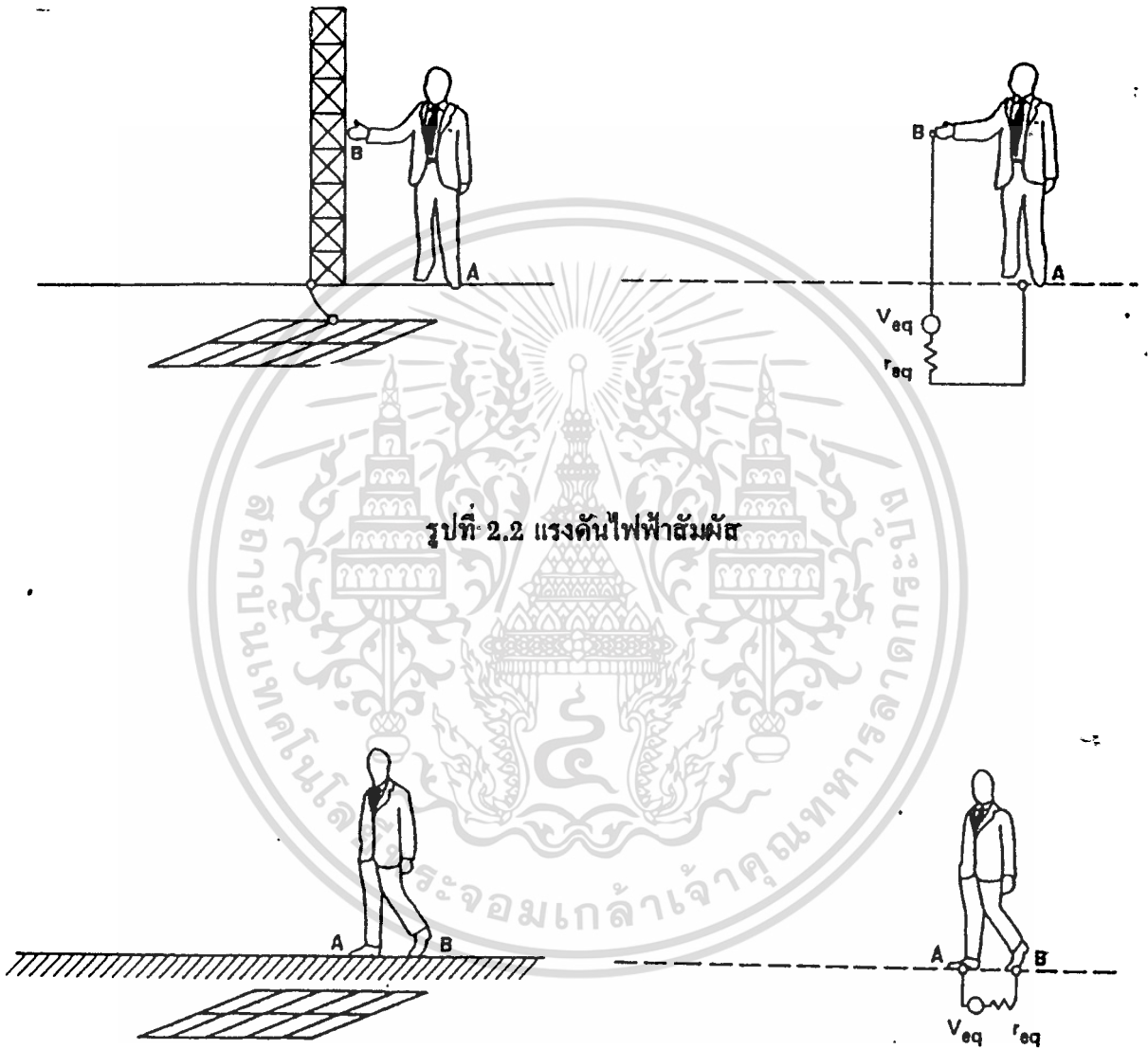
เส้นทางของกระแสที่ผ่านร่างกาย โดยธรรมชาติแล้ว กระแสไฟฟ้าจะเลือกไหลไปตามเส้นทางที่สะดวกที่สุดเช่นเดียวกันสำหรับกระแสที่ไหลผ่านร่างกายของคนเรากระแสก็จะเลือกเอาเส้นทางที่จะลงสู่ดินสะดวกที่สุด ซึ่งการไหลของกระแสไฟฟ้าส่วนมากจะผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกายซึ่งประกอบ ด้วยอวัยวะที่สำคัญต่าง ๆ รวมทั้งหัวใจด้วยเส้นทางไหลของกระแสผ่านร่างกายของคนเรานั้นมีได้หลายทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดสัมผัสของร่างกายกับบริเวณที่ความต่างศักย์เกิดขึ้นซึ่งแต่ละเส้นทางนั้นก็จะมีผลอันตรายจากกระแสที่ไหลผ่านนั้นไม่เท่ากันเนื่องจากการที่มีกระแสไหลผ่านในปริมาณที่ต่างกัน อาทิเช่นเส้นทางของกระแสไหลจากมือสู่มือหรือมือสู่ขาทั้งสองข้างจะมีผลที่เป็นอันตรายมากกว่าเส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้าจากขาสู่ขาทั้งนี้มีการทดสอบในอดีตที่ผ่านมา ๆ มาเป็นที่ยืนยันว่า กระแสผิดปกติที่ต้องการในการทำให้เกิดกระแสขนาดเท่ากันผ่านบริเวณหัวใจสำหรับเส้นทางขาสู่ขาจะมากกว่าสำหรับมือสู่ขา หรือในอีกแง่หนึ่งก็คือกระแสไฟฟ้าจะไหลจากมือสู่ขาในปริมาณที่สูงกว่า การไหลจากขาสู่ขาภายใต้ภาวะผิดปกติอันเดียวกัน

ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะเกิดความผิดปกติ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าศักดาไฟฟ้าที่จุดใด ๆ บนพื้นผิวดินภายในและรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าย่อมขึ้นเนื่องจากการแสผิดปกติที่ไหลลงสู่พื้นดินโดยผ่านทางแผ่นรองต่อลงดิน ดังนั้นถ้ามีส่วนของร่างกายของคนเป็นสะพานไฟต่อเชื่อมจุดสองจุดใด ๆ ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างหรือโครงของอุปกรณ์ที่ถูกต่อลงดินกับพื้นดินบริเวณใกล้เคียงที่คน ๆ นั้นยืนอยู่ หรือจุดสองจุดใด ๆ ซึ่งอยู่บนพื้นดินได้เท่าทั้งสองของคน ๆ นั้น ศักดาไฟฟ้าที่จุดสองจุดดังกล่าวนั้นจะเป็นต้นเหตุให้เกิดความต่างศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าคร่อมตัวคนคนนั้นอยู่ได้ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกายซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนผู้นั้นได้ขนาดของกระแสจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ดังกล่าวว่าเกิดขึ้นมากหรือน้อยและความต่างศักย์นั้นก็ขึ้นโดยตรงกับศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะมุ่งความสนใจเริ่มแรกไปที่ศักดาไฟฟ้าที่เกิดดังกล่าวเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ขอบเขตของความปลอดภัย

จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 จะเป็นลักษณะการสัมผัสซึ่งทำให้เกิดการช็อกที่อาจจะเกิดอันตรายขึ้นได้มากสองลักษณะ



รูปที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าอย่างก้าว

รูปที่ 2.2 เป็นลักษณะการสัมผัสแบบสัมผัสซึ่งในลักษณะเช่นนี้กระแสจะไหลจากส่วนของมือที่สัมผัสอยู่กับ โครงสร้างหรือ โครงของอุปกรณ์ที่ถูกต่อลงดินไปยังขาทั้งสองข้างที่ยืนอยู่บนพื้นผิวดิน เอกสารนี้เผยแพร่โดยวารสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เป็นลักษณะการสัมผัสแบบอย่างก้าว ซึ่งในลักษณะเช่นนี้ กระแสจะไหลจากขาข้างหนึ่งไปยังขาอีกข้างหนึ่ง ซึ่งยื่นอยู่บนพื้นผิวดิน โดยระยะระหว่างจุดที่เท้าทั้งสองสัมผัสอยู่บนพื้นผิวดินมักจะกำหนดให้มีค่าเป็น 1 เมตร

ในแต่ละกรณีดังกล่าวกระแสที่ไหลผ่านร่างกายคน I_b จะถูกขับโดย ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B

ปกติเท้าของคนเราที่สัมผัสอยู่กับพื้นผิวดินนั้นจะเหมือนกับเป็นขั้วต่อลงดินที่เป็น Plate วงกลมซึ่งมีความต้านทานประมาณ 3ρ , ลักษณะของเท้าที่ขนานกันจะมีความต้านทานเท่ากับ 1.5ρ , และอนุกรมกันจะมีความต้านทานเท่ากับ 6ρ , ดังนั้นวงจรความต้านทานส่วนที่มีร่างกายคนเป็นส่วนประกอบ สำหรับการสัมผัสในแต่ละลักษณะจะเป็นไปตามนี้คือ

สำหรับการสัมผัสแบบสัมผัส

$$R = 1000 + 1.5\rho_s \quad (2.2)$$

สำหรับการสัมผัสแบบอย่างก้าว

$$R = 1000 + 6\rho_s \quad (2.3)$$

ซึ่งตัวประกอบ 1000 โอห์มนั้นก็คือ ความต้านทานของร่างกายคนเรานี้นิยมใช้กันเป็นมาตรฐาน

ρ_s คือ ความต้านทานจำเพาะของชั้นดินพื้นผิว การสัมผัสในแต่ละลักษณะกระแสที่ร่างกายคนเราสามารถที่จะทนได้นั้นกำหนดได้จากสมการ 2.1 แต่เนื่องจากว่าความต่างศักย์ต่อการคำนวณและการวัดมากกว่ากระแส และจากการที่เราทราบถึงวงจรความต้านทานของลักษณะการสัมผัสทั้งสองทำให้เราสะดวกที่จะกำหนดขอบเขตความปลอดภัยให้อยู่ในรูปของความต่างศักย์ดังนี้คือ

ความต่างศักย์ หรือแรงดันอย่างก้าวสูงสุดที่ร่างกายจะทนได้ (Maximum Tolerable Step Voltage)

$$E_{step} = \frac{(1000 + 6\rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{T}} \quad (2.4)$$

ความต่างศักย์หรือแรงดันสัมผัสสูงสุดที่ร่างกายสามารถจะทนได้ (Maximum Tolerable Touch Voltage)

$$E_{touch} = \frac{(1000 + 1.5\rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{T}} \quad (2.5)$$

โดยปกติค่า E_{step} จะมีค่าสูงกว่า E_{touch} นั่นก็คือแรงดันอย่างก้าวจะเกิดอันตรายน้อยกว่าแรงดันสัมผัส ในสถานะที่มีกระแสไหลปิดติเดียวกัน นอกจากนี้ถ้าพื้นผิวของสถานีถูกโรยด้วยหินละเอียดหรือสารอื่น ๆ ที่มีความต้านทานจำเพาะสูงปนอยู่ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นพื้นผิวนั้น ควรจะถูกนำมาใช้คำนวณหาขอบเขตความปลอดภัยตามสมการที่ 2.4 และ 2.5 ซึ่งมีผลทำให้ขอบเขตความปลอดภัยมีค่าสูงขึ้นด้วย

บทที่ 3

ทฤษฎีการคำนวณ

3.1 วิธีการ (METHOD)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RESIS เป็นพื้นฐานบนการวิเคราะห์ชิ้นส่วนแบบจำกัดที่ถูกรับปรุงโดยผู้เขียนเพื่อพิจารณาค่าความต้านทานกราวด์ของระบบกราวด์ที่ทำจากตัวนำแบบเชิงเส้นที่วางในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกันทั้งสามแกน ดินจะถูกสมมติเป็นเอกพันธ์ (Uniform) โปรแกรมนี้สำหรับตะแกรงที่วางตามแนวนอนโดยปราศจากแท่งกราวด์ที่วางตามแนวตั้ง ตัวนำตะแกรงจะถูกแบ่งเป็นชิ้นส่วนเส้นตรงเล็ก ๆ ที่มีความยาวประมาณ 5 เมตร และค่าความต้านทานของตัวมันเอง (Self Ground Resistance) กับค่าความต้านทานร่วมกัน (Mutual Ground Resistance) จะใช้ในการหาค่าความต้านทานของตะแกรง สมการนี้ใช้ในการพิจารณาค่าความต้านทานของตัวมันเองกับค่าความต้านทานร่วมกันของชิ้นส่วนที่เป็นพื้นฐานบนพลังงานศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยบนชิ้นส่วน RESIS จะให้ค่าที่ถูกต้องของค่าความต้านทานการเปรียบเทียบของผลลัพธ์ที่ได้รับจาก RESIS สำหรับตะแกรงที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับค่าที่รายงานในตำราที่เขียนไว้แสดงในตารางที่ 3.1 จะสังเกตเห็นว่าค่าความต้านทานที่ได้รับจาก RESIS มีค่าใกล้เคียงมากกับค่าที่รายงานในตำราที่เขียนไว้ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทานของตะแกรงที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน = 100 โอห์ม-เมตร ($\Omega \cdot m$)

ความลึกของการฝัง = 0.5 เมตร

รัศมีของตัวนำ = a มิลลิเมตร

จำนวนของร่องตาข่าย = n

H_c : Heppe D-M : Dawalibi-Mukhedkar

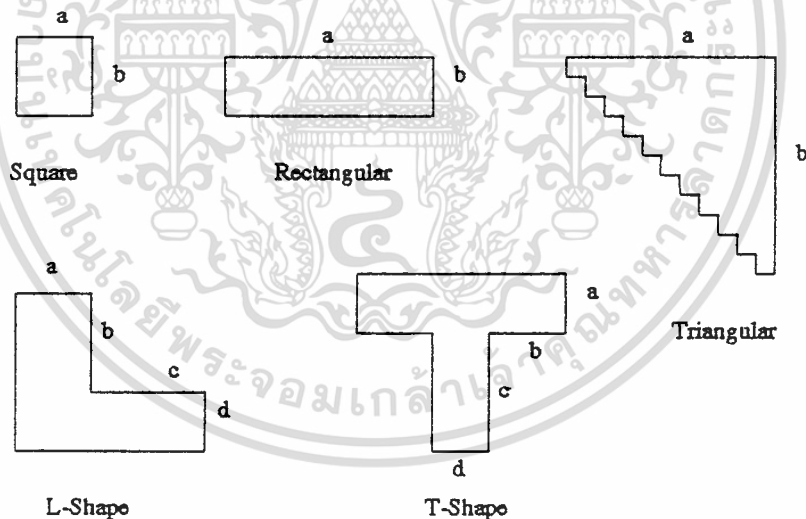
K_o : Kouteynikoff J-M : Joy , et al.

ตัวเลขข้างล่างเป็นค่าความต้านทานที่แสดงให้เห็นถึงข้อมูลอ้างอิงต่าง ๆ โดยที่ค่าต่าง ๆ แสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Grid Size, m	a	n	Ground Resistance, Ohm, Method				
			RESIS	He	Kc	D-M	C-M
8 X 8	7	1	6.415	6.416 [7]	-	-	-
24 X 24	7	9	2.076	2.06 [7]	-	-	-
30 X 30	5	1	2.11	2.081 [10]	2.072 [10]	2.083 [10]	2.2 [9]
100 X 100	5	1	0.73	-	0.611 [8]	0.645 [8]	0.78 [9]
100 X 100	5	4	0.614	-	0.558 [8]	0.558 [8]	0.64 [9]
100 X 100	5	100	0.47	-	-	-	0.49 [9]
150 X 150	5	225	0.31	-	-	-	0.33 [9]

ค่าความต้านทานของตะแกรงที่มีโครงสร้างและขนาดต่าง ๆ มากกว่า 100 แบบจะใช้ในการคำนวณรูปร่างของตะแกรงและความแปรผันของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาแสดงคังรูปที่ 3.1 รูปร่างและขนาดเหล่านี้เป็นตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกรวดคังของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยทั้งหมดที่ใช้ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 3.1 รูปร่างและขนาดของตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกรวดคัง

ค่าความต้านทานของตะแกรงไม่ไว้มากต่อการเปลี่ยนแปลงของรัศมีของตัวนำภายในช่วงการปฏิบัติ รัศมีของตัวนำสำหรับทุกกรณีมีค่าเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความลึกของการฝังตะแกรงอาจจะมีค่าจาก 0.25 ถึง 2.5 เมตร ถ้าพื้นที่ของตะแกรงมากกว่า 400 ตารางเมตร ความแปรผันของความลึกนี้จะต้องไม่ทำให้ความแตกต่างของค่าความต้านทานของตะแกรงมากกว่า 15 % และความแปรผันของความลึก 0.25 เมตร จะต้องไม่ทำให้ความแตกต่างของค่าความต้านทานของตะแกรงมากกว่า 2 % ดังนั้นความลึกของการฝังสำหรับทุกกรณีมีค่าเท่ากับ 0.5 ร่องตาข่ายในตะแกรงทั้งหมดจะนำมาพิจารณาในรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สูตรการคำนวณของ Sverak เป็นแบบทั่วไป และให้ค่าที่ถูกต้องของค่าความต้านทานสำหรับตะแกรงที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก สูตรการคำนวณนี้นำความลึกของการฝังตะแกรงมาคำนวณด้วย การใช้สูตรการคำนวณนี้และข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐานสมการการทดลองแบบใหม่ที่อยู่ข้างล่างนี้สำหรับค่าความต้านทานของตะแกรงได้ถูกปรับปรุงเป็น

$$R = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left\{ 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right\} \right] \times 1.52 \left[2 \ln \left(L_p \sqrt{\frac{2}{A}} \right) - 1 \right] \sqrt{\frac{A}{L_p}} \quad (3.1)$$

โดยที่ L_p = ความยาวเส้นรอบรูปของตะแกรง, เมตร

L_t = ความยาวทั้งหมดของตัวนำที่ใช้ในตะแกรง, เมตร

A = พื้นที่ของตะแกรง, ตารางเมตร

h = ความลึกของการฝังตะแกรง, เมตร

ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน, โอห์ม-เมตร

พจน์แรกของสมการนี้เป็นสูตรการคำนวณของ Sverak และพจน์ที่สองจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงสำหรับรูปร่างของตะแกรง

การพิจารณาพื้นฐานในการปรับปรุงสมการในพจน์ที่สองแสดงดังต่อไปนี้

1. สมการควรจะไม่มีมิติ

2. เป็นข้อเท็จจริงที่ว่าค่าความต้านทานของตัวนำของพื้นที่ผิวที่กำหนดมาจะลดลงขณะที่ความยาวของพื้นที่แผ่ขยายออกไปถูกเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่าความต้านทานของแผ่นวงกลมมากกว่าค่าความต้านทานของแถบตัวนำในพื้นที่ผิวที่เหมือนกัน ซึ่ง \sqrt{A}/L_p เป็นแฟกเตอร์ที่ไม่มีมิติทั่วไปที่ให้การวัดของการแผ่ขยายออกไปของพื้นที่ มันมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.232 สำหรับพื้นที่วงกลมและจะลดลงขณะที่ความยาวของการแผ่กระจายของพื้นที่เพิ่มขึ้นสำหรับตะแกรงที่มีรูปร่างขยับจำนวนมาก พื้นที่ของตะแกรงจะประพฤติตัวเหมือนแผ่นเรียบ ดังนั้นแฟกเตอร์ \sqrt{A}/L_p จึงใช้เมื่อมีความแปรผันของรูปร่างของตะแกรง

3. จากสมการแบบเชิงเส้นจำนวนมาก ฟังก์ชันลือกกาลีทิมและเอ็กซ์โปเนนเชียลของ \sqrt{A}/L_p ทดสอบได้ว่าสมการที่แสดงในสมการที่ 3.1 ให้ความเหมาะสมดีที่สุดในผลลัพธ์ที่ได้รับจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ RESIS สำหรับรูปร่างและขนาดทั้งหมดของตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ที่แสดงในรูปที่ 3.1 และค่าความต้านทานกราวด์ของบางกรณีได้รับจากจากวิธีการที่อยู่ข้างล่างนี้แสดงในตารางที่ 2.2

1. สมการที่ (3.1) แบบใหม่เสนอความเห็นในรายงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สูตรการคำนวณของ Sverak

3. สูตรการคำนวณของ Schwarz

4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RESIS

ค่าความคลาดเคลื่อนในสามวิธีการ 1, 2 และ 3 ที่อยู่ข้างต้นนี้เกี่ยวข้องกับค่าที่ถูกต้องที่ได้รับจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ RESIS ถูกรวมอยู่ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความต้านทานที่วัดได้จากสูตรการคำนวณต่าง ๆ

n	a	b	Ground Resistance, Ohm				% ERROR		
			Th	Sv	Sc	RESIS	Th	Sv	Sc
4	20	20	2.77	2.96	2.56	2.63	5.3	12.5	-2.7
16	20	20	2.46	2.62	2.49	2.37	3.8	10.5	5.1
9	24	24	2.16	2.31	2.12	2.06	4.9	12.1	2.9
4	40	40	1.41	1.51	1.25	1.41	0	7.1	-4.3
16	40	40	1.25	1.34	1.29	1.25	0	7.2	3.2
64	40	40	1.15	1.23	1.22	1.15	0	7.0	6.1
16	60	60	0.84	0.90	0.88	0.86	-2.3	4.7	2.3
100	100	100	0.46	0.49	0.49	0.47	-2.1	4.3	4.3
144	120	120	0.38	0.40	0.41	0.39	-2.6	2.6	5.1
225	150	150	0.30	0.32	0.32	0.31	-3.2	3.2	3.2

จากข้อมูลที่น่าเสนอในตารางที่ 3.2 มีข้อสังเกตที่ได้ทำขึ้นดังนี้

1. สูตรการคำนวณของ Sverak ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยถ้ารูปร่างของตะแกรงใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมจัตุรัส สำหรับรูปร่างอื่น ๆ อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงประมาณ 40% อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนเป็นค่าบวกตลอด
2. สูตรการคำนวณของ Schwarz ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า แต่ถ้ารูปร่างของตะแกรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากค่าความคลาดเคลื่อนอาจจะสูงประมาณ 40%
3. สมการที่ (3.1) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสำหรับรูปร่างทั้งหมดของตะแกรง ค่าความคลาดเคลื่อนจะไม่มากกว่า 10% ในทุกกรณีและสำหรับกรณีส่วนมากมันจะน้อยกว่า 5%

3.2 การคำนวณค่าความต้านทานของตะแกรงในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.2.1 ค่าความต้านทานของตะแกรงในดินที่มีลักษณะชั้นเดียว (Resistance Of Grid In Homogeneous Soil)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณค่าความต้านทานของตะแกรงที่ถูกฝังที่ความลึก h ในดินที่มีลักษณะชั้นเดียวที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ρ ความเบี่ยงเบนของสูตรนี้เป็นพื้นฐานบนการจัดทำทางทฤษฎีของวิธีการเชิงตัวเลขและของ Current Image สูตรนี้นิยามเป็น

$$R_{b\ m\ 1/2} = \rho \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{L} \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{0.165\Delta l}{\theta \cdot d_0} \right) \right] \left(1 - \frac{2h}{\sqrt{A}} * 1.128 \right) \quad (3.2)$$

โดยที่

$$\Delta l = (\Delta l_x \Delta l_y)^{1/2} \text{ โดย } \Delta l_x \text{ และ } \Delta l_y \text{ ถูกนิยามในรูปที่ 3.1}$$

$$L = 2\Delta l (N + \sqrt{N}) = \text{ความยาวของตัวนำทั้งหมด (m)}$$

$$N = \text{จำนวนร่องตาข่าย}$$

$$e = 2.71828$$

$$R_{b\ m\ 1/2} = \text{ค่าความต้านทานของตะแกรงที่ถูกฝัง } (\Omega)$$

$$h = \text{ความลึกที่ตะแกรงถูกฝัง (m)}$$

$$d_0 = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (m)}$$

$$\rho = \text{ค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่มีลักษณะชั้นเดียว } (\Omega \text{ m})$$

$$A = \text{พื้นที่ของตะแกรง (m}^2\text{)}$$

สมการที่ (3.2) สามารถถูกแยกออกเป็น

$$R_{b\ m\ 1/2} = R_{m\ 1/2} \cdot c_b \quad (3.3)$$

โดยที่

$$R_{m\ 1/2} = \rho \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{L} \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{0.165\Delta l}{\theta \cdot d_0} \right) \right] \quad (3.4)$$

และ

$$c_b = \left(1 - \frac{2h}{\sqrt{A}} * 1.128 \right) \quad (3.5)$$

โดยที่ $R_{m\ 1/2}$ คือ ค่าความต้านทานของตะแกรงที่ถูกวางลงบนพื้นผิวของดินที่มีลักษณะชั้นเดียว

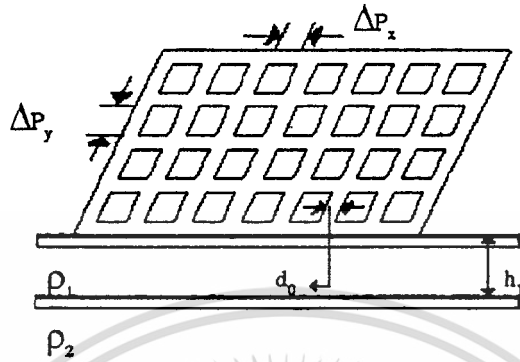
และ c_b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการฝัง

3.2.2 ค่าความต้านทานของตะแกรงในดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น (Resistance Of Grid In Two-Layer Soil)

สูตรอย่างง่ายสำหรับตะแกรงที่ถูกฝังในดินที่มีลักษณะ 2 ชั้นจะประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขั้นที่ 1 : ค่าความต้านทานของตะแกรงที่อยู่บนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าตะแกรงถูกวางลงบนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้นที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ρ_1 และ ρ_2 สำหรับดินชั้นบนและชั้นล่างตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์วางลงบนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น

พื้นที่ของตะแกรง = A, จำนวนร็องตาข่าย = N

ค่าสะท้อนกลับของพื้นที่ผิวระหว่างดินชั้นที่ 1 กับดินชั้นที่ 2 เป็นรูปแบบของอิมเมจกระแส (Current Image) การจัดทำของอิมเมจกระแสเหล่านี้และแรงดันไฟฟ้า ทำให้ได้สมการต่อไปนี้

$$R_{t\ m\ 1/2} = R_{m\ 1/2} - R_p \tag{3.6}$$

โดยที่

$R_{t\ m\ 1/2}$ = ค่าความต้านทานของตะแกรงที่อยู่บนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้นที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ρ_1 และ ρ_2

$R_{m\ 1/2}$ = ค่าความต้านทานของตะแกรงที่อยู่บนชั้นบนสุดของดินที่มีลักษณะชั้นเดียวที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ρ

R_p = เทอมของสัมประสิทธิ์ของดินชั้นที่ 2

$$R_p = \frac{\rho_1 \ln(1-K)}{2\pi(h_1 + h_0)} \tag{3.7}$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \tag{3.8}$$

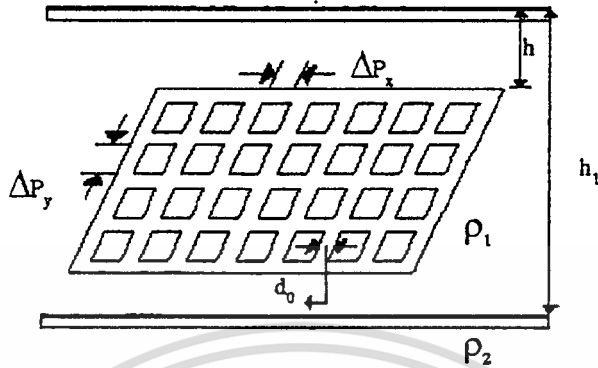
$$h_0 = c_f \sqrt{\frac{A}{2\pi}} [\ln(1-K)] C_p \tag{3.9}$$

โดยที่ K คือ ค่าสัมประสิทธิ์สะท้อนกลับ, $C_p = (K - 1)/2K$, h_1 คือ ความสูงของดินชั้นบนและ c_f คือแฟกเตอร์ของรูปร่างและมีค่าเท่ากับ 0.9 สำหรับรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ขั้นที่ 2 : ความต้านทานของตะแกรงที่ถูกฝังในดินชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในรูปที่ 3.3 ตะแกรงถูกฝังที่ความลึก h จากพื้นผิวของดินชั้นบน ค่าสะท้อนกลับของพื้นที่ผิวระหว่างอากาศกับดินเป็นรูปแบบของอิมเมจกระแส ตัวอย่างเช่น ตะแกรงอันที่ 2 อยู่ที่ความ

สูง $2h$ เหนือตะแกรงอันแรก และอยู่ที่ความสูง h ในอากาศอิมเมจสำหรับดินที่มีลักษณะชั้นเดียว ถูกแสดงโดยสมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.3 ตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ถูกฝังในดินชั้นบนของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น

ความสูงของดินชั้นบนคือ h_1 และตะแกรงถูกฝังที่ความลึก h

การรวมเทอมของคอยเรกซ์ R_p ของสมการที่ (3.7) ของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้น ดังแสดง
ในรูปที่ 3.3 ค่าความต้านทานกลายเป็น

$$R_{b-r.m.1/2} = R_{m.1/2} \cdot C_b - R_p \quad (3.10)$$

โดยที่ $R_{m.1/2}$, C_b และ R_p ถูกแสดงในสมการที่ (3.4), (3.5) และ (3.7) ตามลำดับสมการที่ (3.10) แสดงค่าความต้านทานของตะแกรงที่มีจำนวนร่องตาข่าย N แต่ละร่องตาข่ายมีมิติ Δ_x , Δ_y และเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ d_0 ตะแกรงถูกฝังที่ความลึก h ในดินชั้นบนของดินที่มีลักษณะ 2 ชั้นที่มีค่าความต้านทานจำเพาะ ρ_1 และ ρ_2 พื้นที่ของตะแกรงเท่ากับ A

3.3 การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

ค่าความต้านทานจำเพาะของดินโดยธรรมชาติแล้วไม่สามารถเป็นเอกพันธ์ได้ที่บริเวณเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินต่าง ๆ และความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดกาลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินก่อนการวางแผนติดตั้งระบบต่อลงดินย่อมจะได้ผลที่ดีกับเทคนิคและความประหยัดของแผนโครงการ และเป็นการศึกษาถึงชั้นของดินในการตัดสินใจเลือกชนิดของแท่งสายดินที่เหมาะสม (แท่งสายดินชนิดติดตั้งใกล้ผิวดิน หรือติดตั้งลึกลงไปใต้ดิน) นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาถึงระยะความลึกที่มีประสิทธิผลที่สุดสำหรับการติดตั้งแท่งสายดินแบบแท่ง

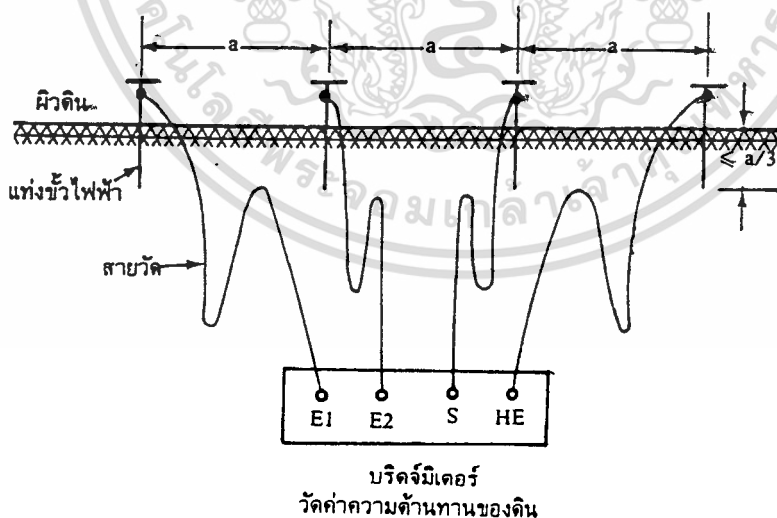
เอกสารนี้เป็น 3.3.1 วิธีการของ Wenner (WENNER METHOD) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดวิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner นั้นเป็นวิธีการวัดที่ใช้แท่งขั้วไฟฟ้าใช้
จำนวน 4 ขั้วไปปักไว้บนพื้นดินที่ต้องการวัดหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินโดยปักให้อยู่ใน

แนวเดียวกัน มีระยะห่าง a ระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 เท่ากัน และปีกลงที่ความลึกไม่เกิน $a/3$ แท่งขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 จะต่อเข้ากับบริดจ์มีเตอร์วัดค่าความต้านทานของดิน ซึ่งมีขั้วต่อสาย 4 ขั้วเช่นกัน และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าในตัวที่มีความถี่ของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 90 ถึง 110 Hz สายวัดที่ใช้เชื่อมต่อถึงกันระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้ากับขั้วต่อของบริดจ์มีเตอร์ปกติจะถูกม้วนเก็บเป็นขดไว้ เพราะฉะนั้นเวลาใช้จะต้องคายออกให้เป็นเส้นทั้งหมดเพื่อไม่ให้เกิดการเหนี่ยวนำใด ๆ ขึ้นที่สายวัดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4

แท่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านนอกสุดทั้งสองจะถูกจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ I จากบริดจ์มีเตอร์ไหลลงสู่ใต้ดินและทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้าด้านในทั้งสอง U ซึ่งภายในตัวบริดจ์มีเตอร์จะแสดงผลจากสัดส่วนของ U/I ซึ่งเท่ากับค่าความต้านทาน R และค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่ปรากฏจากการวัด ρ_s ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของดินที่วัดได้ R จาก

$$\rho_s = 2\pi \cdot aR \quad (3.11)$$

วิธีการของ Wenner นี้จะวัดค่าความต้านทานของดินจากผิวดินลงไปถึงความลึกเท่ากับระยะห่างของแท่งขั้วไฟฟ้า a และค่าความต้านทานจำเพาะที่หาได้ ρ_s ก็ไม่ใช่ผลลัพธ์จากค่าความต้านทานจำเพาะของดินในชั้นต่าง ๆ เฉลี่ย ถ้าลักษณะของดินมีลักษณะเอกพันธ์ (ดินชนิดเดียวกันหมด) ค่าความต้านทานจำเพาะที่ได้จากสมการที่ (3.11) $\rho_s = \rho_e$



รูปที่ 3.4 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner

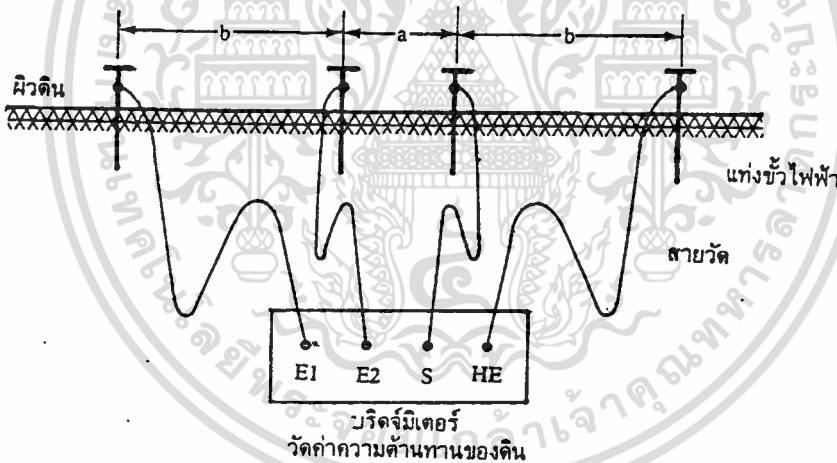
เอกสารนี้เผยแพร่ในนามของกรมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

3.3.2 วิธีการของ Schlumberger (SCHLUMBERGER METHOD) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด วิธีการของ Schlumberger แตกต่างไปจากของ Wenner คือระยะห่างของแท่งขั้วไฟฟ้าที่ปักอยู่ด้านในทั้งสองให้มีระยะห่าง a เช่น $a = 1$ เมตร และแท่งขั้วไฟฟ้าที่ปักอยู่ด้านนอกทั้งสอง...

ให้ห่างจากแท่งขั้วไฟฟ้าที่ปักอยู่ด้านในทั้งสองเท่ากับ b ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งตลอดของการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ให้ระยะห่าง a คงที่ไว้เสมอ และเปลี่ยนแปลงเฉพาะระยะห่าง b เท่านั้น ค่าความต้านทานของดินที่วัดได้นำเข้าสมการข้างล่างเพื่อคำนวณหาความต้านทานจำเพาะของดินจาก

$$\rho_s = \pi \cdot bR \left(1 + \frac{b}{a}\right) \quad (3.12)$$

วิธีการของ Schlumberger เหมาะสมกับการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินในที่พื้นดินมีบริเวณน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่ต้องการปักแท่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านในทั้งสองมีจำกัด (ระยะห่าง a) ผลลัพธ์ของการวัดด้วยวิธีของ Schlumberger จะได้ค่าความต้านทานจำเพาะของดินถึงที่ระดับความลึกเท่ากับระยะ b เมื่อ $b > a$ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างแท่งขั้วไฟฟ้าด้านในทั้งสองจะมีค่าต่ำ ดังนั้นการวัดค่าความต้านทานของดินนี้ถ้าระยะห่าง b มีค่ามากบริดจ์มิเตอร์จะต้องมีย่านวัด R ต่ำ ๆ จึงจะวัดได้

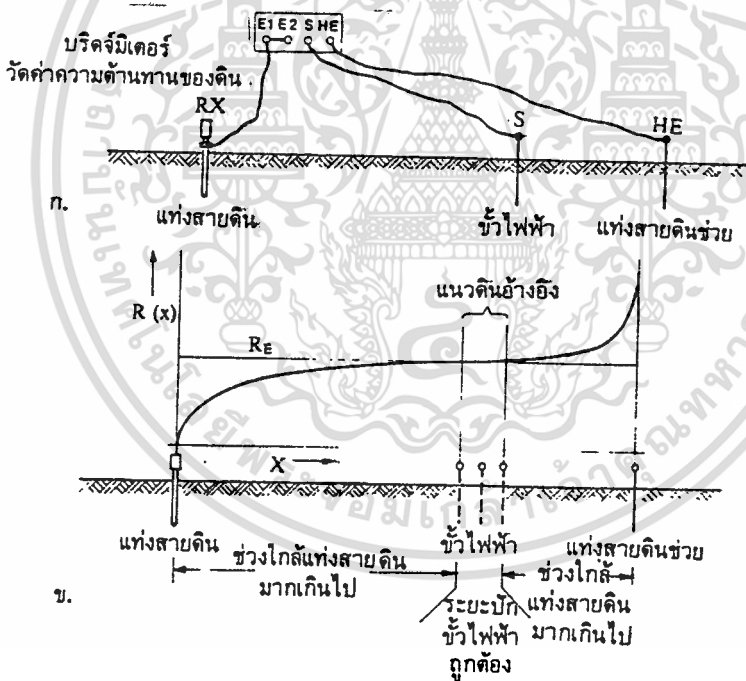


รูปที่ 3.5 ลักษณะของการปักแท่งขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Schlumberger

3.3.3 วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 3 แท่ง (THREE ROD METHOD)

บริดจ์มิเตอร์วัดค่าความต้านทานของดินโดยใช้แท่งขั้วไฟฟ้าเพียง 3 แท่งนั้น เป็นที่นิยมมากในการวัดค่าความต้านทานแผ่กระจายของดิน R_a หรือ Z_e ของการต่อลงดินด้วยสายดินแบบแท่งและสายดินแบบเส้น ทั้งห้ามมิให้มีการต่อลงดินของเสาส่งไฟฟ้าและระบบต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย

วิธีการวัดค่าความต้านทานของดินนั้นให้ต่อขั้วของบริจค์มิเตอร์ E1 และ E2 รวมกันเข้ากับแท่งสายดินของระบบ และปักแท่งขั้วไฟฟ้า HE ให้ทำหน้าที่เป็นแท่งสายดินช่วยเมื่อบริจค์มิเตอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าสลับ (ความถี่ไฟฟ้าแตกต่างจากความถี่ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า และไม่เกิน 150 Hz) ไหลผ่านแท่งสายดินทั้งสองลงสู่ดิน ทำให้ดินเกิดมีสนามกระแสไฟฟ้า เมื่อนำแท่งขั้วไฟฟ้าต่อจากขั้ว S ของบริจค์มิเตอร์ไปปักไว้ระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งขั้วไฟฟ้า HE ซึ่งค่าความทานแผ่กระจายของดินได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งขั้วไฟฟ้า S ต่อกระแสไฟฟ้าไหลระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งสายดินช่วย HE ค่าความต้านทานแผ่กระจายที่ถูกต้องนั้นจะต้องให้แท่งขั้วไฟฟ้า S ไปปักอยู่ระหว่างแท่งสายดินของระบบกับแท่งสายดินช่วยที่ซึ่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าอีก (ตำแหน่งแนวดินอ้างอิง) หรือสามารถดูจากการแสดงผลค่าความต้านทานแผ่กระจายของดินของบริจค์มิเตอร์มีค่าคงที่ซึ่งตำแหน่งของแท่งขั้วไฟฟ้า S จะต้องอยู่ห่างจากแท่งสายดินของระบบอย่างน้อย 20 เมตร จึงจะได้ผลลัพธ์ดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ก. ลักษณะการปักแท่งขั้วไฟฟ้าของบริจค์มิเตอร์วัดค่าความต้านแผ่กระจายของดิน R_a

ข. กราฟแสดงศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งสายดินกับแท่งสายดินช่วย

3.4 แรงดันร่อนตายและแรงดันยกก้าว

1. แรงดันร่อนตาย เป็นแรงดันสัมผัส (Touch Voltage) ที่รุนแรงที่สุดสามารถคำนวณได้จากค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดที่อยู่กึ่งกลางของร่อนตาย กับ จุดที่เป็นโครงสร้างหรือโครงอุปกรณ์ที่ถูกต้องลงดิน



2. แรงดันอย่างก้าว สามารถคำนวณได้จากผลต่างของศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดใด ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวคินภายในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยโดยมากมักจะกำหนดระยะห่างระหว่างจุดสองจุดนั้นเท่ากับ 1 เมตร

9.5 สูตรการคำนวณอย่างง่ายสำหรับแรงดันร่องตาข่ายและแรงดันอย่างก้าว

สูตรการคำนวณอย่างง่ายที่ดีที่สุดสำหรับค่าแรงดันร่องตาข่ายและแรงดันอย่างก้าวจะปรับปรุงโดย Sverak และ IBEE มาตรฐาน 80 ค่าแรงดันร่องตาข่าย, E_m ดังแสดงดังสมการ

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L} \quad (3.13)$$

โดยที่ ρ = ความต้านทานจำเพาะของคิน ($\Omega\text{-m}$)
 I_G = กระแสที่มีค่ามากที่สุดที่ไหลระหว่างตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์และพื้นดินรอบ ๆ (A)

L = ความยาวทั้งหมดของตัวนำที่ใช้ในระบบกราวด์ (m)
 K_i = $0.656 + 0.172n$ (3.14)

n = จำนวนของตัวนำที่ขนานกันใน 1 ทิศทาง

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_n}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \quad (3.15)$$

D = ระยะห่างระหว่างตัวนำที่ขนานกัน (m)

h = ความลึกของตัวนำของตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ (m)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำของตะแกรง (m)

$$K_n = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad (3.16)$$

$$K_h = \sqrt{1+h} \quad (3.17)$$

ค่าแรงดันอย่างก้าว, E_s ถูกแสดงโดย

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{L} \quad (3.18)$$

โดยที่

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (3.19)$$

สำหรับตะแกรงที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉากกับร่องตาข่ายที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส ค่าของ

n สำหรับการคำนวณควรจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $n = \sqrt{n_A n_B}$ (3.20)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ n = ค่าที่มากที่สุดของ n_A และ n_B สำหรับค่า Step Voltage โดยที่ n_A และ n_B เป็นจำนวนของตัวนำที่ขนานกันใน 2 ทิศทาง

สมการเหล่านี้จะใช้ในกรณีที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมมุมฉากกับข้อจำกัดข้างล่างดังต่อไปนี้

$$0.25m \leq h \leq 2.5m$$

$$d < 0.25h$$

$$D > 2.5m$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย

ระบบกราวด์หรือระบบต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยมีไว้เพื่อให้กระแสลัดวงจรลงดิน (Ground Fault) ที่เกิดขึ้นไหลลงดินได้สะดวก ในขณะที่เกิดการลัดวงจรจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือ แรงดันเกิดขึ้นและบริเวณรอบ ๆ สถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย ถ้าผลของความต่างศักย์นี้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายของมนุษย์ (ซึ่งอาจจะเป็นระหว่างเท้าทั้งสองข้างหรือระหว่างมือกับเท้า) ที่อยู่บริเวณนั้น สูงกว่าค่ากระแสที่มนุษย์ยอมรับได้ผลอันนี้ทำให้เกิดอาการช็อกหรือเสียชีวิตได้และผลของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นอาจทำให้อุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ทำงานผิดพลาด

การออกแบบระบบการต่อลงดินที่ดีหมายถึง การออกแบบระบบการต่อลงดินที่ทำให้แน่ใจได้ว่ามีความปลอดภัยสำหรับมนุษย์ และอุปกรณ์ป้องกัน (Protective Device) ยังคงทำงานได้ถูกต้องทั้งในเวลาปกติ และขณะเกิดการลัดวงจรลงดิน การออกแบบระบบการต่อลงดินที่มีความต้านทานต่ำมาก ๆ อาจไม่ได้หมายถึงว่าจะมีความปลอดภัยสูงกว่าระบบการต่อลงดินที่มีความต้านทานสูงกว่าเสมอไป

การออกแบบระบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยได้ถูกพัฒนามาเรื่อย ๆ โดยไม่ถูกกำหนดเป็นกฎเกณฑ์แนวทางในการทำระบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น มาตรฐาน IEEE 80 และต่อมาได้มีการค้นคว้าวิจัยจึงได้มีการปรับปรุงมาตรฐานดังกล่าวออกมาเป็น ANSI/IEEE 80-1986 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป โดยจะเน้นการออกแบบระบบการต่อลงดินที่ปลอดภัยและประหยัด

4.1 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการต่อลงดิน

1. เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าลงดินได้สะดวกในขณะที่ปกติและเมื่อระบบเกิดกระแสลัดวงจร หรือเกิดแรงดันฟ้าผ่าโดยไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่าง ๆ ทำงานผิดพลาด
2. เพื่อให้รัลย์ของอุปกรณ์ป้องกันที่สถานีไฟฟ้าสามารถรับรู้ถึงกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย
3. เพื่อให้แน่ใจว่าคนที่อยู่ใกล้เคียงกับระบบการต่อลงดินไม่ได้รับอันตราย หรือเกิดการช็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4. เพื่อให้มีความมั่นคงและความสม่ำเสมอในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

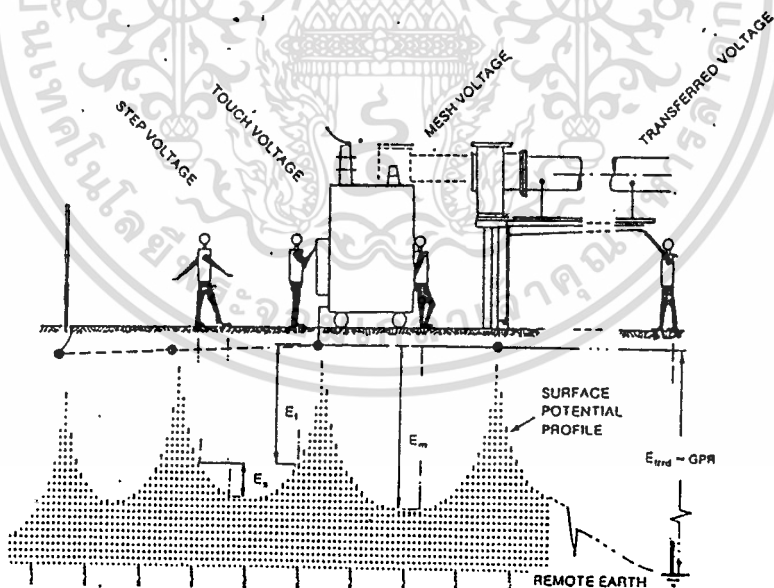
4.2 หลักการพิจารณาการออกแบบระบบต่อลงดิน

พิจารณาการออกแบบระบบต่อลงดินตามเกณฑ์และมาตรฐานของ ANSI/IEEE std 80-1986 ดังนี้

1. พิจารณาข้อมูลคุณสมบัติของดิน
2. พิจารณาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดก่อสร้างสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย
3. พิจารณาแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส
4. พิจารณาความต้านทานของระบบกราวด์
5. พิจารณาขนาดของสายดิน
6. พิจารณาจำนวนแท่งตัวนำ (Ground Rod)
7. การเชื่อมต่อกับระบบกราวด์

4.3 นิยามแรงดันที่พบบ่อยในการออกแบบระบบกราวด์

ขณะเกิดการลัดวงจรจะทำให้เกิดความต่างศักย์เกิดขึ้นที่ผิวดินบริเวณสถานีไฟฟ้าย่อยแสดงดังรูปที่ 4.1 แรงดันที่ปรากฏในรูปที่ 4.1 ANSI/IEEE std 80-1986 ได้นิยามดังนี้



รูปที่ 4.1 แรงดันลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดบริเวณสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย ขณะเกิดการลัดวงจรลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 1. แรงดันที่เพิ่มขึ้นของกราวด์ (GPR) คือ แรงดันหรือความต่างศักย์สูงสุดที่เกิดขึ้นที่การต่อระบบกราวด์เมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าของดินที่อยู่ไกลจากสถานีไฟฟ้าย่อย แรงดันนี้มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสที่ผ่านระบบกราวด์ลงดิน กับความต้านทานของระบบกราวด์

2. แรงดันย้งก้าว คือ แรงดันหรือความต่างศักย์ที่ผิวดินระหว่างจุดสองจุดที่มีระยะห่างกันหนึ่งเมตรหรือประมาณหนึ่งช่วงก้าวของคน โดยไม่มีส่วนอื่นของร่างกายสัมผัสกับอุปกรณ์หรือดิน

3. แรงดันสัมผัส คือ แรงดันหรือความต่างศักย์ระหว่างระบบกราวด์กับจุดที่คนยืนอยู่และมีมือไปสัมผัสกับโครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่ต่อลงดิน

4. แรงดันรองเท้า คือ แรงดันสัมผัสสูงสุดที่เป็นไปได้ภายในรองเท้าของตะแกรง

5. แรงดันทรานเฟอร์ (Transferred Voltage) คือแรงดันหรือความต่างศักย์ที่มาจากที่อื่นเข้า-ออกจากสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นกรณีย่อยกรณีหนึ่งของแรงดันสัมผัส

4.4 ขั้นตอนการออกแบบระบบกราวด์

การออกแบบระบบกราวด์จะมีขั้นตอนการออกแบบดังแสดงได้ด้วยแผนภูมิรูปภาพ (Flow Chart) ดังรูปที่ 4.3 โดยอธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ข้อมูลที่ป้อนเข้า (Input Data)

โดยทั่วไปเราจะทราบพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าย่อย $A(x,y)$ ส่วนค่าของความต้านทานจำเพาะได้จากการทดสอบโดยวิธี Wenner จะทราบค่า ความต้านทานจำเพาะของดิน ได้จากค่ามาตรฐานของวัสดุที่นำมาโรยชั้นบนของผิวดิน เช่น หิน เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จะมีค่า ประมาณ 3000 โอห์ม-เมตร โดยโรยหนาประมาณ 15 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2

ขนาดของตัวนำ (Conductor Size)

ขนาดของตัวนำจะเริ่มใช้ที่ 2/0 A.W.G. ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 9.266 มิลลิเมตร จนไปถึง 5/0 B.W.G. ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตร แต่โดยทั่วไปใช้ 4/0 A.W.G. ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 11.684 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 3

การพิจารณาแรงดันสัมผัสและดันย้งก้าว (Touch And Step Voltage Criterion)

ศักดาไฟฟ้าสัมผัส และศักดาไฟฟ้าย้งก้าว จะเป็นตัวกำหนดมาตรฐานความปลอดภัย ในที่นี้จะกำหนดน้ำหนักของบุคคลที่ปฏิบัติงานในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ 50 กิโลกรัมเป็นอย่างต่ำ จะได้ขอบเขตความปลอดภัยดังนี้

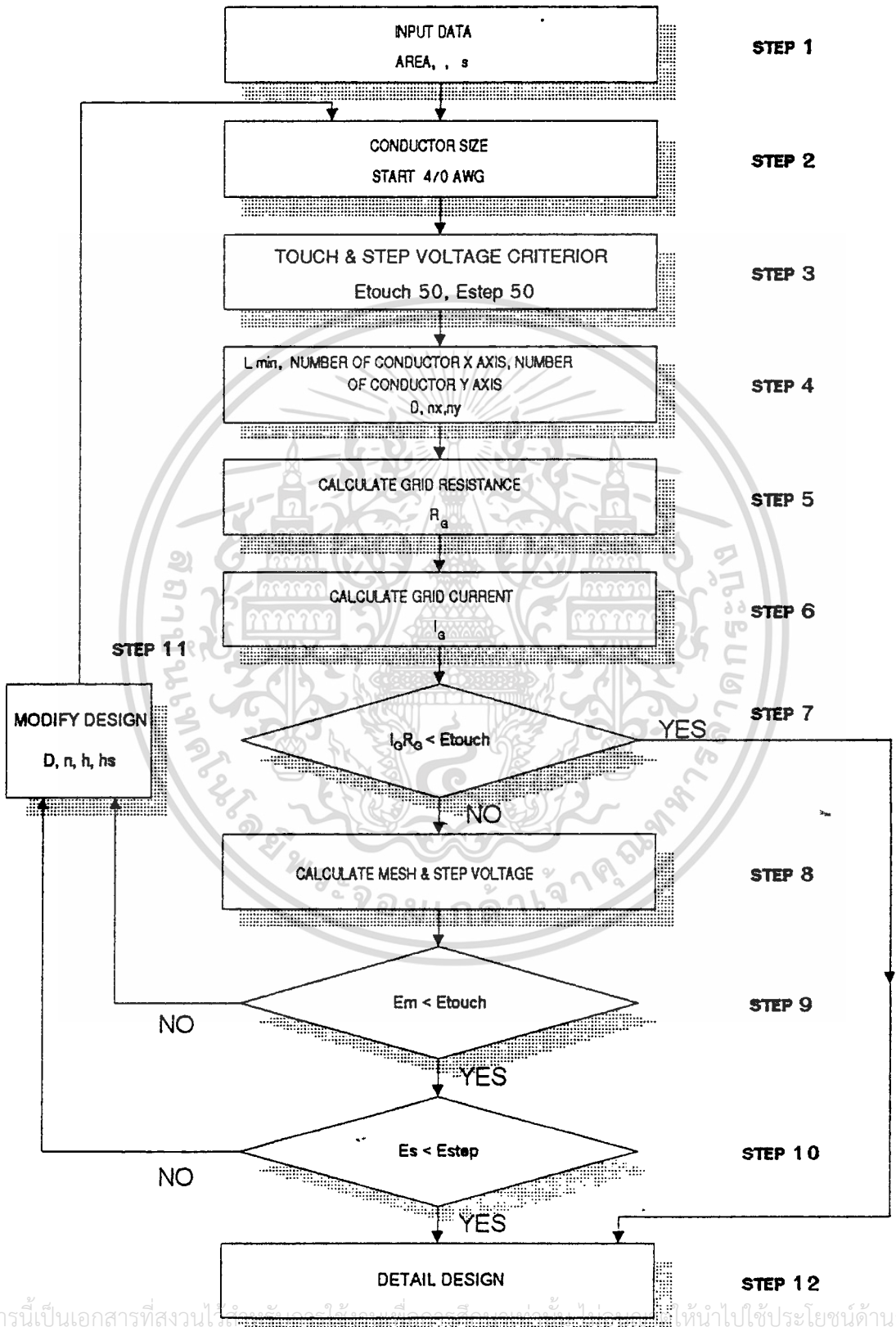
$$E_{touch50} = \frac{(1000 + 1.5 \rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{T}}$$

$$E_{step50} = \frac{(1000 + 6 \rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{T}}$$

ขั้นตอนที่ 4

การออกแบบเบื้องต้น (Initial Design)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่เห็นแต่เพียงเนื้อหาและโดยยังไม่ถึงขั้นพิมพ์เผยแพร่
การออกแบบเบื้องต้นเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงความจริงมากที่สุด เราเริ่มจากการหาค่าความยาวของตัวนำน้อยที่สุด แล้วจึงนำมาจัดรูปร่างของระบบต่อลงดินดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แผนภูมิรูปภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบระบบกราวด์

$$L_{\min} = \frac{K \cdot \rho \cdot I \sqrt{T}}{(165 + 0.25 \rho_s)}$$

- L_{\min} = ความยาวของตัวนำที่น้อยที่สุดที่จะนำไปทำตะแกรง (m)
 I = กระแสลัดวงจร (A)
 T = เวลาของการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt) อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า (SEC)
 ρ = ความต้านทานจำเพาะของคิน (โอห์ม-เมตร)
 ρ_s = ความต้านทานจำเพาะของพื้นผิวคินหรือพื้นที่โรย (โอห์ม-เมตร)
 K = แฟกเตอร์ตัวปรับค่า (Correction Factor) กรณี ที่คินไม่เอกพันธ์(Non Uniform) จะมีค่าประมาณ 1.2-1.3

เมื่อได้ค่า L_{\min} แล้วทำการกำหนดระยะของร่องตาข่ายโดยให้ระยะระหว่างร่องตาข่ายเท่ากัน

ขั้นตอนที่ 5

ความต้านทานของตะแกรง (Grid Resistance)

ความต้านทานของระบบต่อลงคิน หาได้จากสมการของ Salama

ขั้นตอนที่ 6

กระแสที่ไหลผ่านตะแกรง (Grid Current)

จากหลักการกระจายกระแสอันเนื่องมาจากสายกราวด์เหนือหัว (Overhead Ground Wire , OHG) และตัวนำนิวทรัล (Neutral Conductor) ตลอดจนตะแกรงช่วย (Auxiliary Grid) ที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น จะได้ว่า

$$I_G = D_f S_f (I_g)$$

เมื่อ I_G = กระแสที่ไหลผ่านตะแกรง (Grid Current)

D_f = แฟกเตอร์ตัวลด (Decrement Factor)

S_f = แฟกเตอร์ตัวแบ่งกระแส (Current Division Factor)

I_g = กระแสลัดวงจร (Fault Current)

ขั้นตอนที่ 7

แรงดันที่เพิ่มขึ้นของตะแกรง (Grid Potential Rise , GPR)

ตรวจสอบค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นของตะแกรง ถ้าน้อยกว่า Etouch แสดงว่าความยาวของตัวนำและรูปทรงของตะแกรงอยู่ในขอบเขตความปลอดภัย แต่ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับต้องทำการตรวจสอบค่าของแรงดันร่องตาข่ายและแรงดันย่างก้าวต่อไป

ขั้นตอนที่ 8

ค่าแรงดันร่องตาข่ายและแรงดันย่างก้าว (Mesh Voltage and Step Voltage)

คำนวณค่าแรงดันเมชและแรงดันย่างก้าว โดยวิธีอย่างง่าย โดยมีเงื่อนไขดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. $n \leq 25$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. $0.25 \leq h \leq 2.5$ เมตร

3. $d < 0.2h$
4. $D > 2.5$ เมตร

ขั้นตอนที่ 9

เปรียบเทียบค่าแรงดันร่องตาข่าย (Mesh Voltage)

ตรวจสอบค่าของแรงดันเมช ถ้าน้อยกว่า Etouch 50 แสดงว่าการออกแบบอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยแล้ว แต่ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับต้องปรับปรุงค่าขนาดของตัวนำ ความลึกของการฝังตะแกรง , ความสูงของชั้นหินกรวด , ขนาดของตะแกรง และจำนวนร่องตาข่ายใหม่

ขั้นตอนที่ 10

เปรียบเทียบค่าแรงดันย่างก้าว (Step Voltage)

ตรวจสอบค่าของแรงดันย่างก้าว ถ้าน้อยกว่า Etouch 50 แสดงว่าการออกแบบอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัยแล้ว แต่ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ ต้องปรับปรุงค่าขนาดของตัวนำ , ความลึกของการฝังตะแกรง , ความสูงของชั้นหินกรวด , ขนาดของตะแกรงและจำนวนร่องตาข่ายใหม่

ขั้นตอนที่ 11

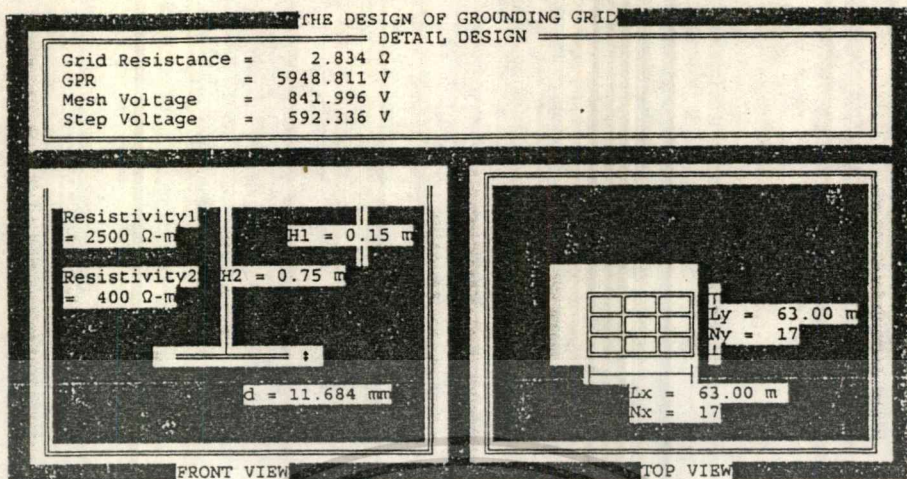
ปรับปรุงค่าขนาดของตัวนำ , ความลึกของการฝังตะแกรง , ความสูงของชั้นหินกรวด , ขนาดของตะแกรงและจำนวนร่องตาข่าย

ทำโดยการเพิ่มขนาดของตัวนำ , เพิ่มความลึกของการฝังตะแกรง , เพิ่มความสูงของชั้นหินกรวดและเพิ่มจำนวนของตัวนำที่ใช้

ขั้นตอนที่ 12

ออกแบบรายละเอียด

เมื่อได้รูปทรงของตะแกรงแล้วนำไปจัดทำแบบรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกส่วนต้องต่อเชื่อมกับระบบต่อลงดินถึงกันหมด สำหรับตำแหน่งของหม้อแปลงกำลัง (Power Tranformer) , เสาต่อฟ้า (Lightning Arresster) และ โครงสร้าง (Take Off Structure) ควรเพิ่มแท่งกราวด์ (Ground Rod) ใกล้เคียง อุปกรณ์ดังกล่าวด้วย



รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมโดยการป้อนขนาดสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย

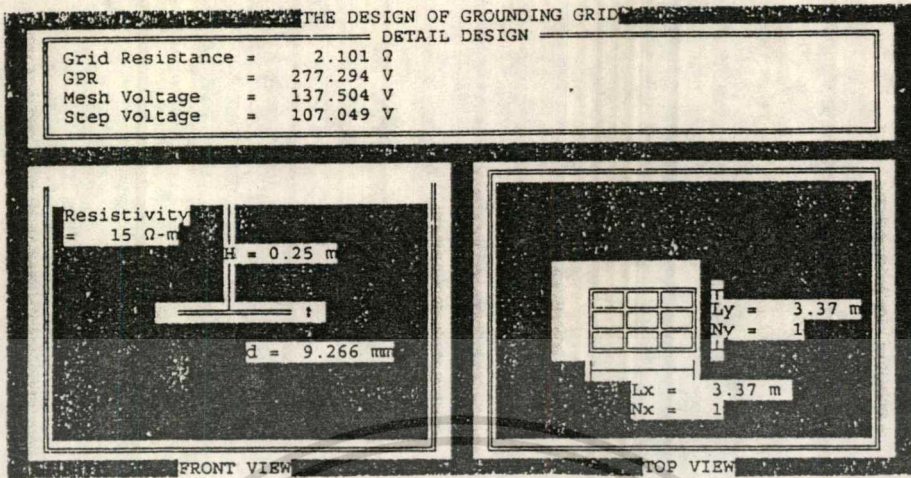
จากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นผลการทดสอบโปรแกรมการออกแบบตะแกรงกราวด์ โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- | | | | |
|--|---|---------|------------|
| 1. พื้นที่ของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย | = | 63 X 84 | ตารางเมตร |
| 2. ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (ρ_1) | = | 2500 | โอห์ม-เมตร |
| 3. ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (ρ_2) | = | 400 | โอห์ม-เมตร |
| 4. เวลาที่เกิดกระแสลัดวงจรหรือเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันทำงาน | = | 0.3 | วินาที |
| 5. ค่าแฟกเตอร์ตัวแบ่งกระแส (S_f) | = | 0.6 | |
| 6. กระแสลัดวงจร (I_f) | = | 3180 | แอมป์ |

โดยผลการทดสอบโปรแกรมจะได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- | | | | |
|--------------------------------------|---|----------|-----------|
| 1. ค่าความต้านทานของตะแกรง (R_G) | = | 2.834 | โอห์ม |
| 2. ค่า GPR | = | 5848.811 | โวลต์ |
| 3. ค่าแรงดันร่อนตาข่าย (E_m) | = | 841.996 | โวลต์ |
| 4. ค่าแรงดันย่างก้าว (E_s) | = | 592.336 | โวลต์ |
| 5. ขนาดของตะแกรง | = | 63 X 63 | ตารางเมตร |
| 6. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ (d) | = | 11.684 | มิลลิเมตร |
| 7. จำนวนร่อนตาข่าย (N) | = | 289 | ร่อน |
| 8. ความสูงของดินชั้นบน (H_1) | = | 0.15 | เมตร |
| 9. ความลึกของการฝังตะแกรง (H_2) | = | 0.75 | เมตร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถเผยแพร่ หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกกรณีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมโดยการใช้ตะแกรงที่ใช้ในโครงการ

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นผลการทดสอบโปรแกรมการออกแบบตะแกรงกรวด โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ของสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย = 3.36 X 3.36 ตารางเมตร
2. ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (ρ) = 15 โอห์ม-เมตร
3. เวลาที่เกิดกระแสลัดวงจรหรือเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันทำงาน = 0.3 วินาที
4. ค่าแฟกเตอร์ตัวแบ่งกระแส (S_p) = 0.6
5. กระแสลัดวงจร (I_p) = 200 แอมป์

โดยผลการทดสอบโปรแกรมจะได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่าความต้านทานของตะแกรง (R_G) = 2.101 โอห์ม
2. ค่า GPR = 277.294 โวลต์
3. ค่าแรงดันร่อนตาข่าย (E_m) = 137.504 โวลต์
4. ค่าแรงดันย่างก้าว (E_s) = 107.049 โวลต์
5. ขนาดของตะแกรง = 3.36 X 3.36 ตารางเมตร
6. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำ (d) = 9.266 มิลลิเมตร
7. จำนวนร่อนตาข่าย (N) = 1 ร่อง
9. ความลึกของการฝังตะแกรง (H) = 0.25 เมตร

ส่วนผลการทดสอบแบบจำลองของตะแกรงจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (โดยกำหนดกระแสให้คงที่เท่ากับ 0.5 แอมป์)

1. ค่า μ_L = 16.85
2. ค่า μ_T = 264
3. ค่า μ_p = 1

นอกจากนี้ค่าความต้านทานของตะแกรง (R_G) ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอามาใช้ในการคำนวณด้านกราด

4. ค่าความต้านทานของตะแกรง (R_G) = 1.658 โอห์ม
5. ค่า GPR ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์การนำไปใช้ = 218.804 โวลต์
6. ค่าแรงดันร่อนตาข่าย (E_m) = 108.017 โวลต์
7. ค่าแรงดันย่างก้าว (E_s) = 95.277 โวลต์

บทที่ 5

การทดสอบแบบจำลอง

ในบทนี้จะแสดงถึงการทำการทดสอบวัดค่า ความต้านทานของตะแกรง, แรงดันร่องตาข่าย, แรงดันยกก้าว จากแบบจำลอง โดยใช้แฟกเตอร์ลดขนาดมาเท่ากับ 150 เท่า

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถัง ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง โดยการจำลองสภาวะจริงลงมา ซึ่งมีขนาดดังนี้

ความยาว	100 เซนติเมตร
ความกว้าง	100 เซนติเมตร
ความลึก	110 เซนติเมตร

2. ของเหลว ในการจำลองจะใช้น้ำแทนดินเพราะว่า

1. น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่หาได้ง่ายที่สุด และมีราคาถูกที่สุด
2. น้ำมีคุณสมบัติเป็นสารแบบเอกพันธ์ (Homogeneous)
3. การเปลี่ยนระดับความลึกของตะแกรงต่อลงดิน ทำได้ง่ายกว่าการใช้ดินจริง ๆ
4. สามารถมองเห็นผลที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้เพราะน้ำเป็นตัวกลางโปร่งใส

3. ตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกรวดดินแบบจำลอง ตะแกรงที่ใช้ในการทดลองนี้ทำจากลวดทองแดงที่ไม่หุ้มฉนวนซึ่งมีขนาดต่าง ๆ ดังนี้

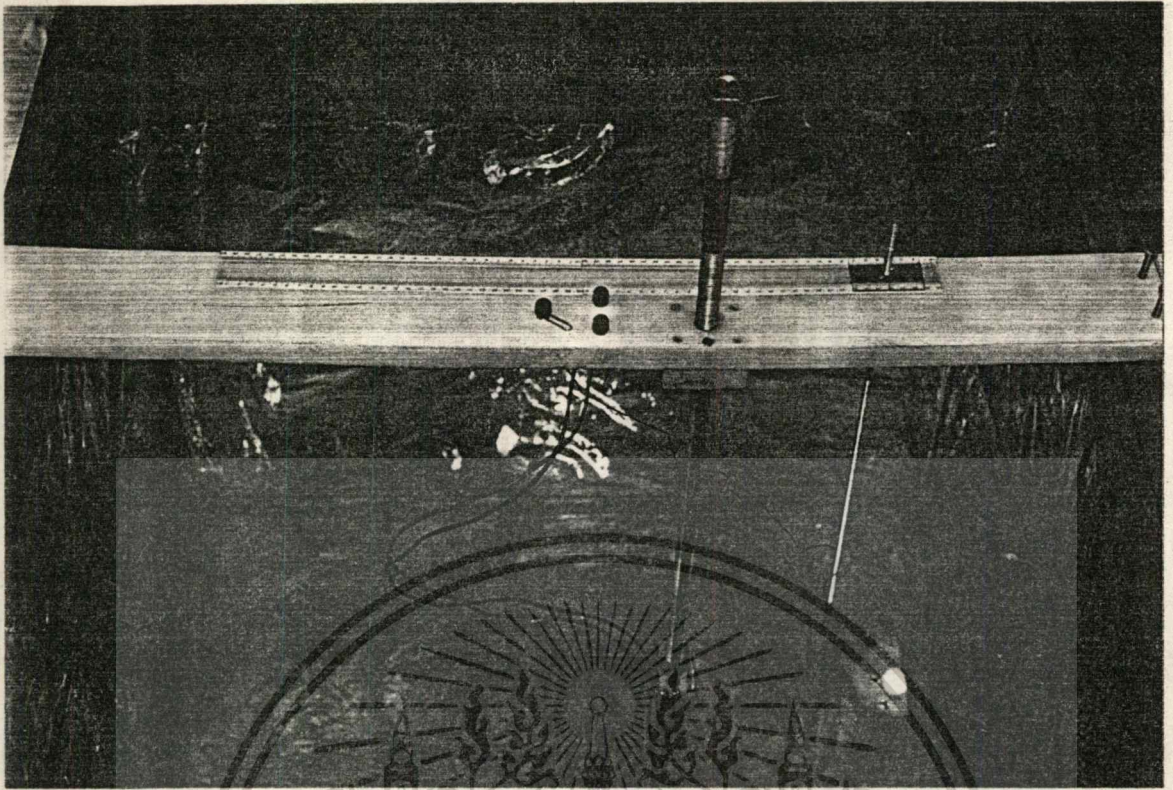
1. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
2. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
3. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
4. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
5. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัว

เอกสน้ำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

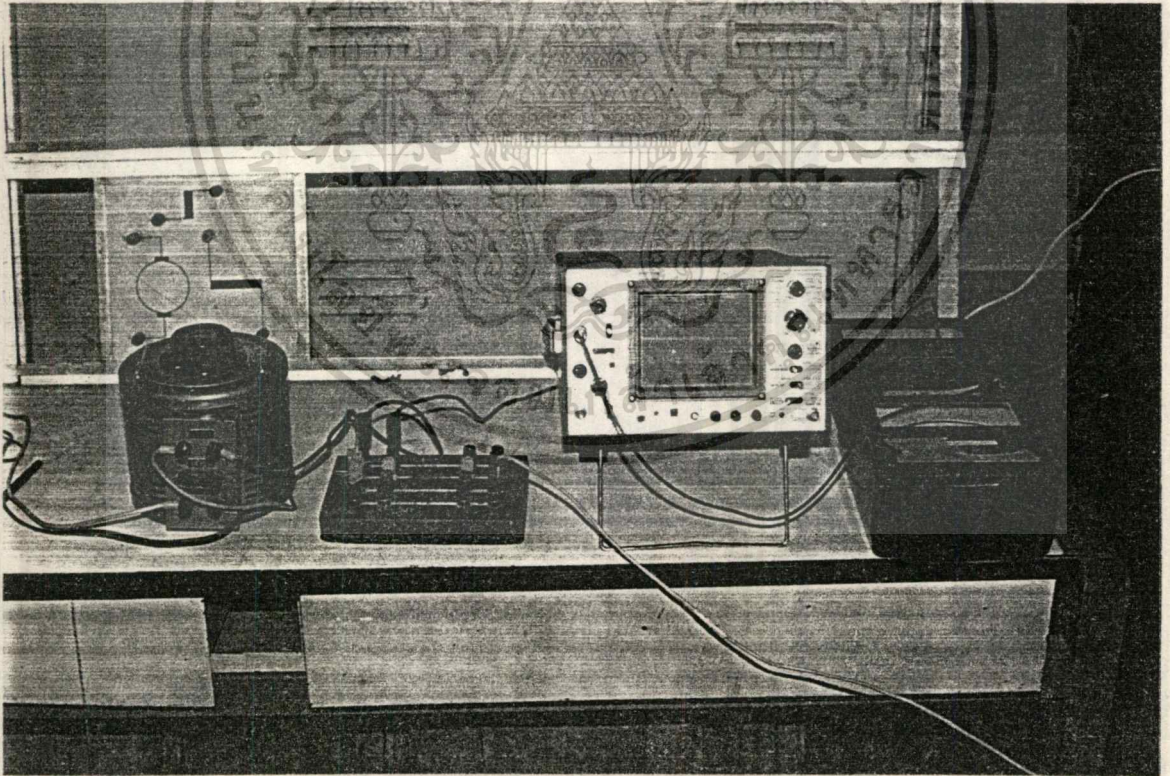
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
7. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
8. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
9. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
10. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
11. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
12. ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
13. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
14. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 0.55 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
15. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
16. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.00 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง
17. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 4 ร่อง
18. ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 1.40 มิลลิเมตร และ จำนวนร่องตาข่าย 9 ร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

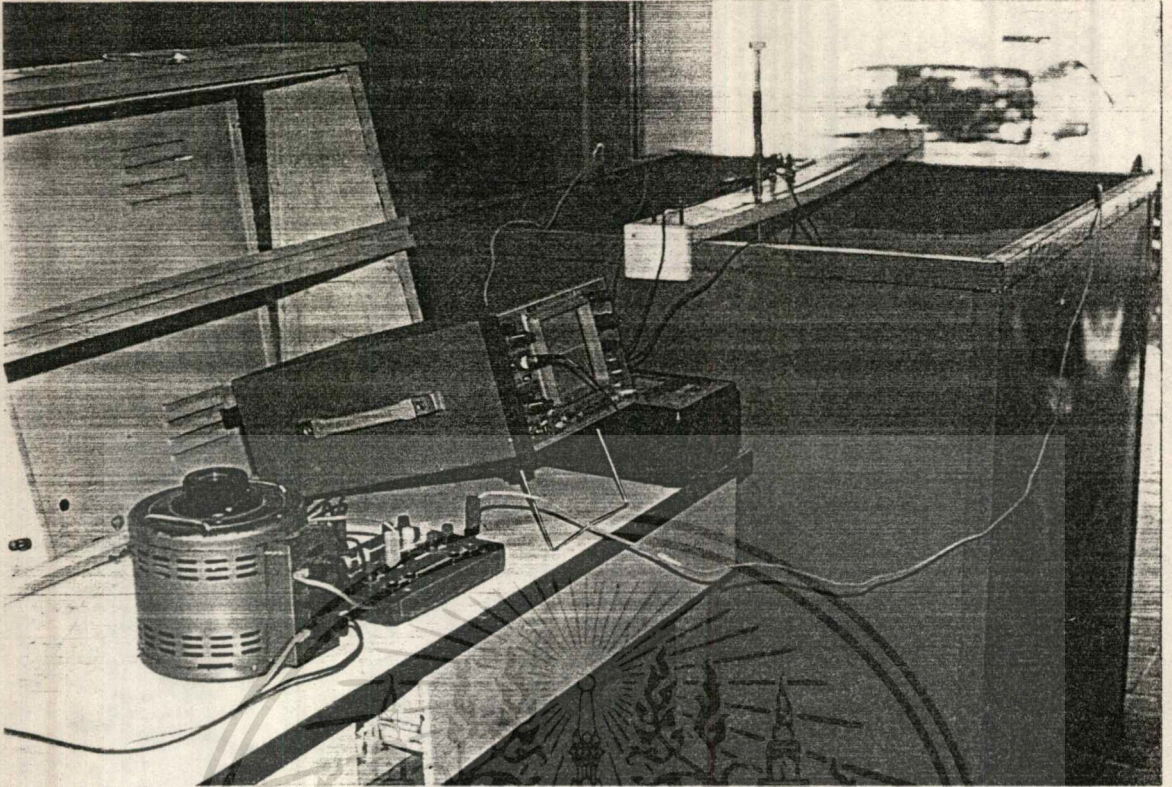


รูปที่ 5.1 แสดงถึงและกานปรับระดับที่ใช้ในการทดลอง

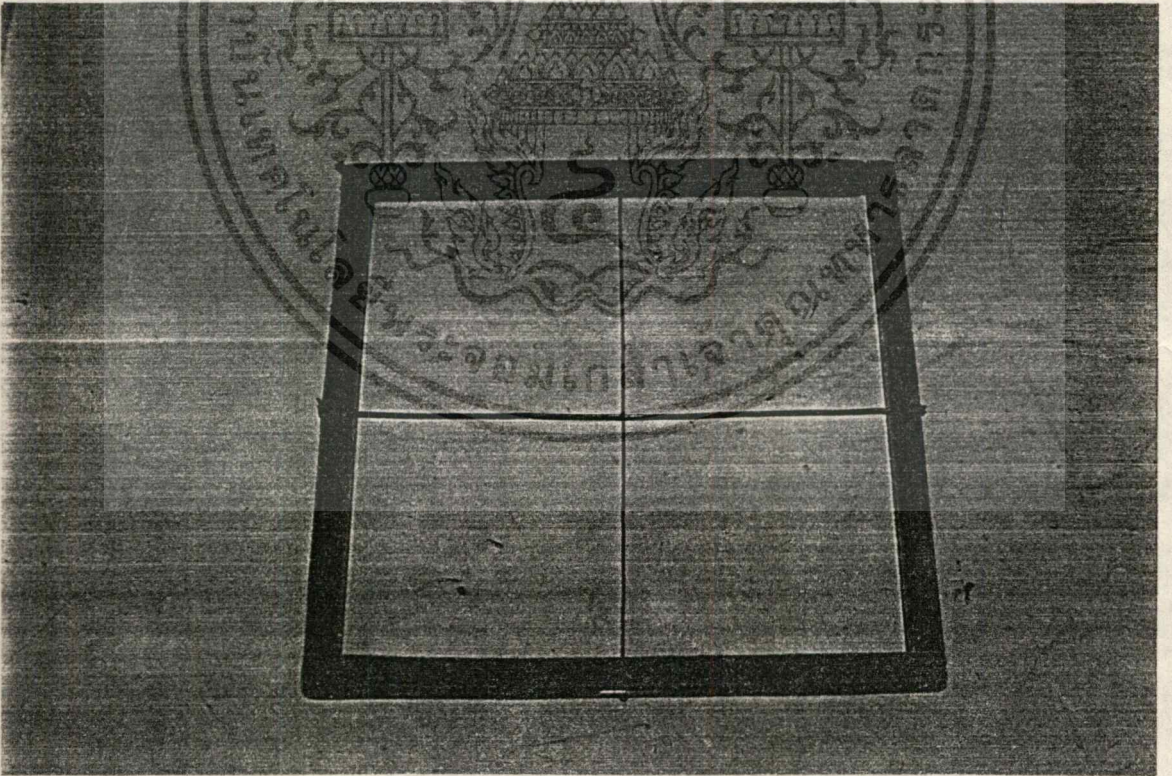


รูปที่ 5.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

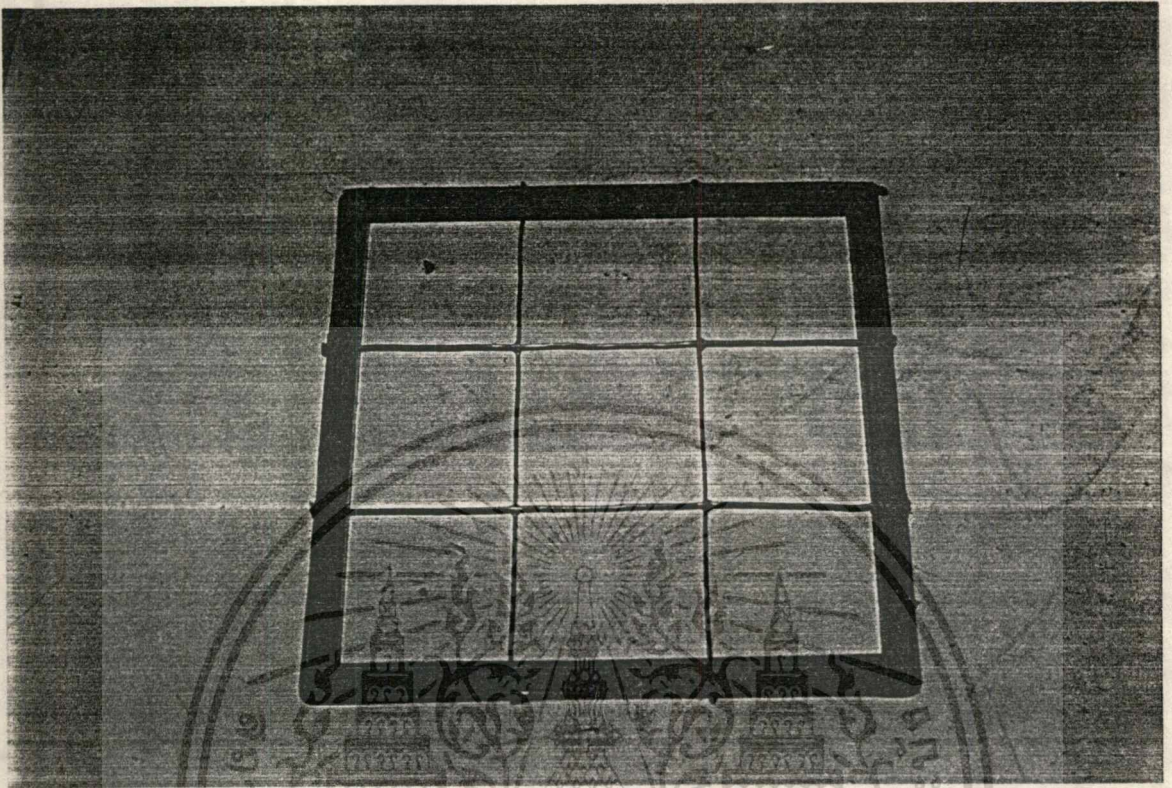


รูปที่ 5.3 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 5.4 แสดงตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกรวดในแบบจำลอง แบบ 4 ร่องตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงตะแกรงที่ใช้ทำเป็นกราวด์ในแบบจำลอง แบบ 9 ร่องตาข่าย

4. เครื่องวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน
5. แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าปรับได้ (Variac) ขนาด 5 แอมป์
6. แอมป์มิเตอร์ ความละเอียด 3 แอมป์
7. โวลท์มิเตอร์ ความละเอียด 75 โวลท์
8. เครื่องวัดสัญญาณ (Oscilloscope)
9. สายไฟ

การแปลงค่าที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง (model) เป็นค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง (real) มีสมการที่สำคัญอยู่ 5 สมการด้วยกันคือ

$$\mu_L = \frac{L_{real}}{L_{model}} \quad (5.1)$$

โดยที่ μ_L = แฟกเตอร์ของความยาวหรือ scale factor

L_{real} = ความยาวของตะแกรงในทางปฏิบัติจริง

L_{model} = ความยาวของตะแกรงที่เป็นแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_p = \frac{\rho_{real}}{\rho_{model}} \quad (5.2)$$

โดยที่ μ_p = แฟกเตอร์ของค่าความต้านทานจำเพาะ
 ρ_{real} = ค่าความต้านทานจำเพาะในทางปฏิบัติจริง
 ρ_{model} = ค่าความต้านทานจำเพาะในแบบจำลอง

$$\mu_I = \frac{I_{real}}{I_{model}} \quad (5.3)$$

โดยที่ μ_I = แฟกเตอร์ของค่ากระแส
 I_{real} = ค่ากระแสในทางปฏิบัติจริง
 I_{model} = ค่ากระแสที่เป็นแบบจำลอง

$$R_{real} = \frac{R_{model} \cdot \mu_p}{\mu_I} \quad (5.4)$$

โดยที่ R_{real} = ค่าความต้านทานของตะแกรงที่ใช้ทางปฏิบัติจริง
 R_{model} = ค่าความต้านทานของตะแกรงที่เป็นแบบจำลอง

$$V_{real} = \frac{V_{model} \cdot \mu_I \cdot \mu_p}{\mu_L} \quad (5.5)$$

โดยที่ V_{real} = ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง
 V_{model} = ค่าความต่างศักย์ที่เป็นแบบจำลอง

ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาควบคู่ไปกับโครงการฉบับนี้คือ

1. ค่า μ_L มีค่าเท่ากับ 150 เท่า

2. ค่า μ_p มีค่าเท่ากับ 1 เท่า เนื่องจากเราสมมติว่าค่าความต้านทานจำเพาะของแบบจำลองมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานจำเพาะของจริง

3. กำหนดให้ค่าของกระแสจริงมีค่าคงที่เท่ากับ 1 kA และกำหนดให้ค่ากระแสแบบจำลองมีค่าคงที่เท่ากับ 500 mA จากสมการที่ 5.3 ทำให้ค่า μ_I มีค่าเท่ากับ 2000 เท่า

ดังนั้นจากความหมายข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. จากข้อกำหนดที่ 1 และ 2 ทำให้ค่า $R_{real} = R_{model} / 150$

2. จากข้อกำหนดที่ 1, 2 และ 3 ทำให้ค่า $V_{real} = V_{model} * 2000/150$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

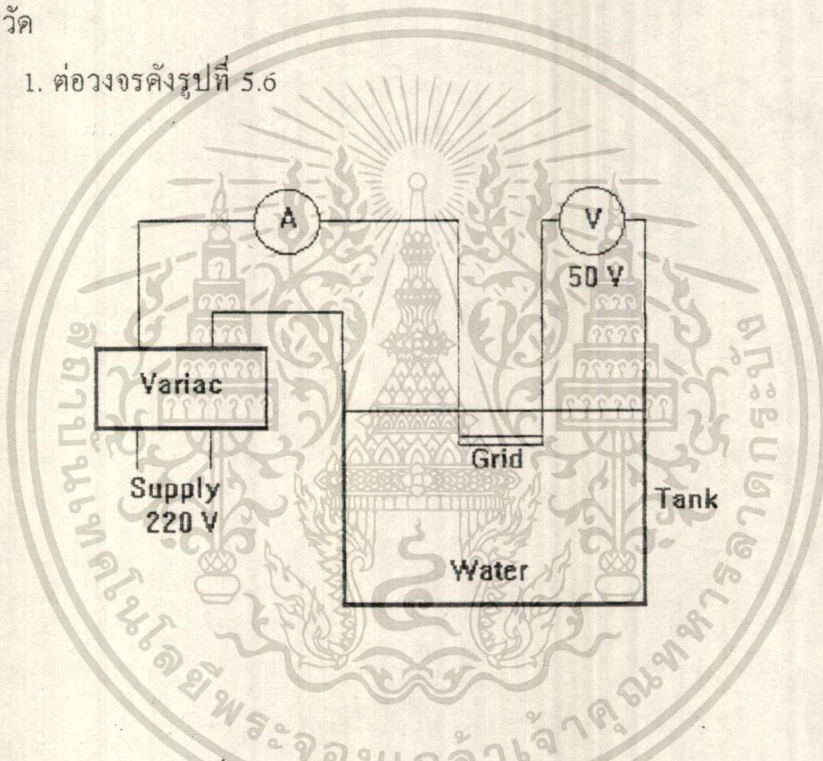
ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบและจากสูตรการคำนวณนั้นเป็นค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติ เพราะฉะนั้นเมื่อเราได้ผลจากการทดสอบ แล้วเราจำเป็นต้องแปลงให้เป็นค่าจริงเสียก่อน โดยการใช้ข้อสรุปที่ได้ 2 ข้อ จากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบกับสูตรการคำนวณ

5.2 การวัดค่าความต้านทาน, แรงดันร่อนตาย และ แรงดันย่ำง้าว และ วิธีการวัด

5.2.1 ความต้านทานของตะแกรง

วิธีการวัด

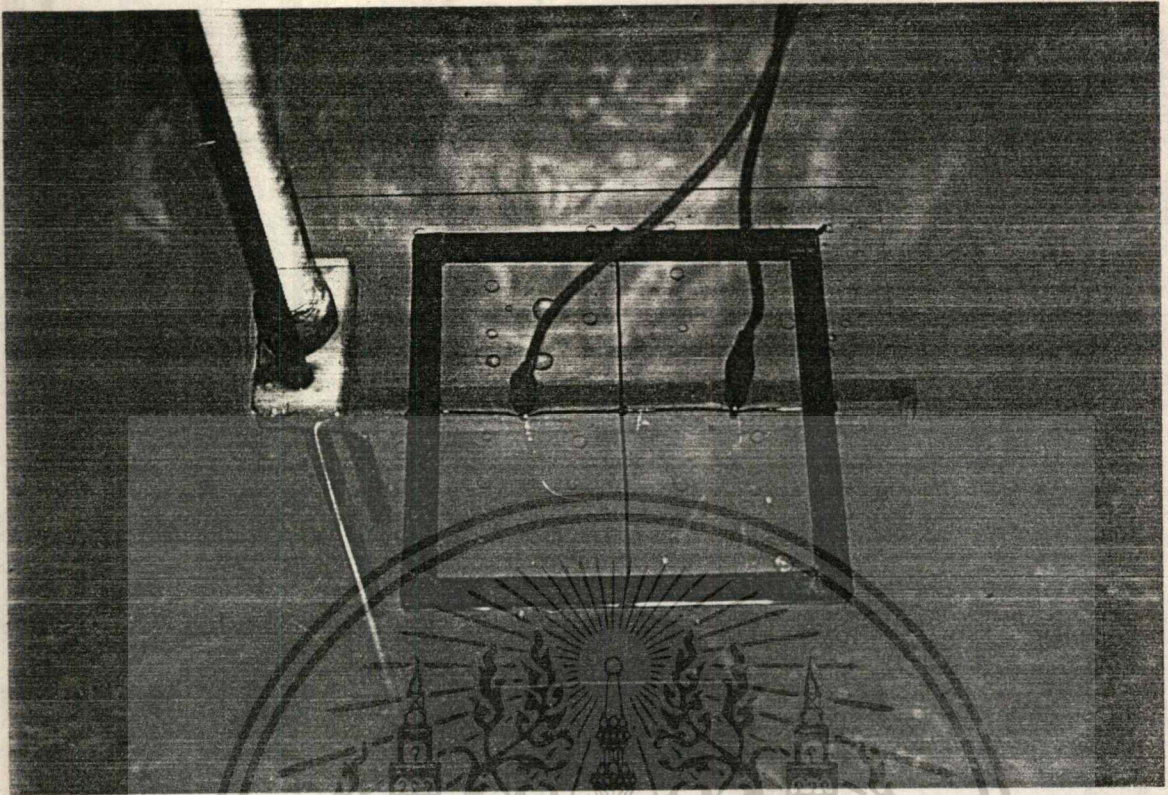
1. ตัวอย่างรูปที่ 5.6



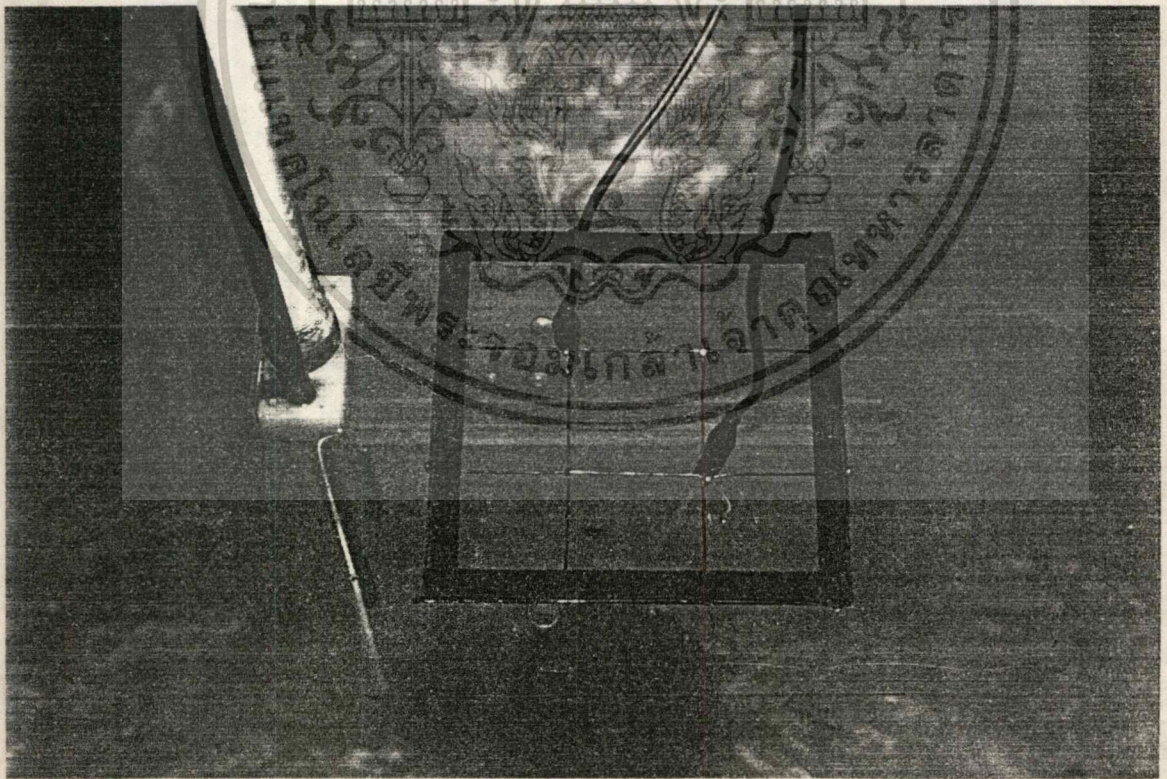
รูปที่ 5.6 รูปวงจรการหาค่าความต้านทาน

2. วางแบบจำลองของตะแกรงลงที่มีความลึก 1/3 เซนติเมตร และทำการคงค่าแรงดันที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์เท่ากับ 50 โวลท์
3. ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า I จากแอมป์มิเตอร์และทำการหาค่าความต้านทานของแบบจำลองของตะแกรงได้จาก $R = V/I$
4. นำค่าความต้านทานของแบบจำลองของตะแกรงที่วัดได้หารด้วยค่าแฟกเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงการวัดค่าความต้านทานของตะแกรงแบบ 4 ร่องตาข่าย



รูปที่ 5.8 แสดงการวัดค่าความต้านทานของตะแกรงแบบ 9 ร่องตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่าความต้านทานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานที่ได้จากสูตรการคำนวณ

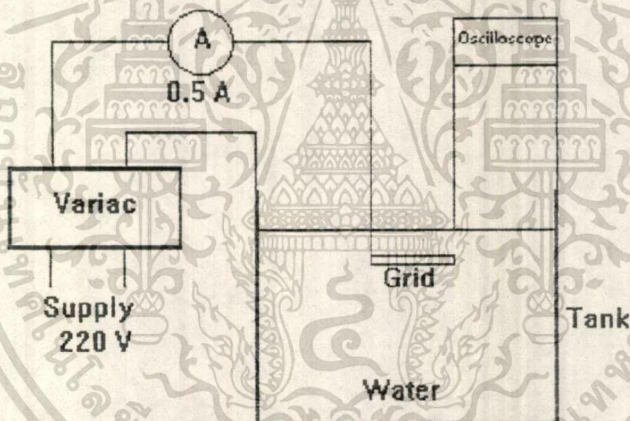
6. ทำการเปลี่ยนระดับความลึกของการฝัง โดยวางแบบจำลองของตะแกรงลงในน้ำลึก 2/3 เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้ววัดค่าแรงดันที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์เท่ากับ 50 โวลต์ อยู่หลังจากนั้นก็กลับไปทำขั้นตอนที่ 3-6 ใหม่

7. ทำการเปลี่ยนขนาดของตะแกรง เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และจำนวนร่องตาข่ายใหม่แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2-7 ใหม่

5.2.2 แรงดันร่องตาข่าย

วิธีการวัด

1. ต่อดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 รูปวงจรถ่ายค่าแรงดันร่องตาข่าย

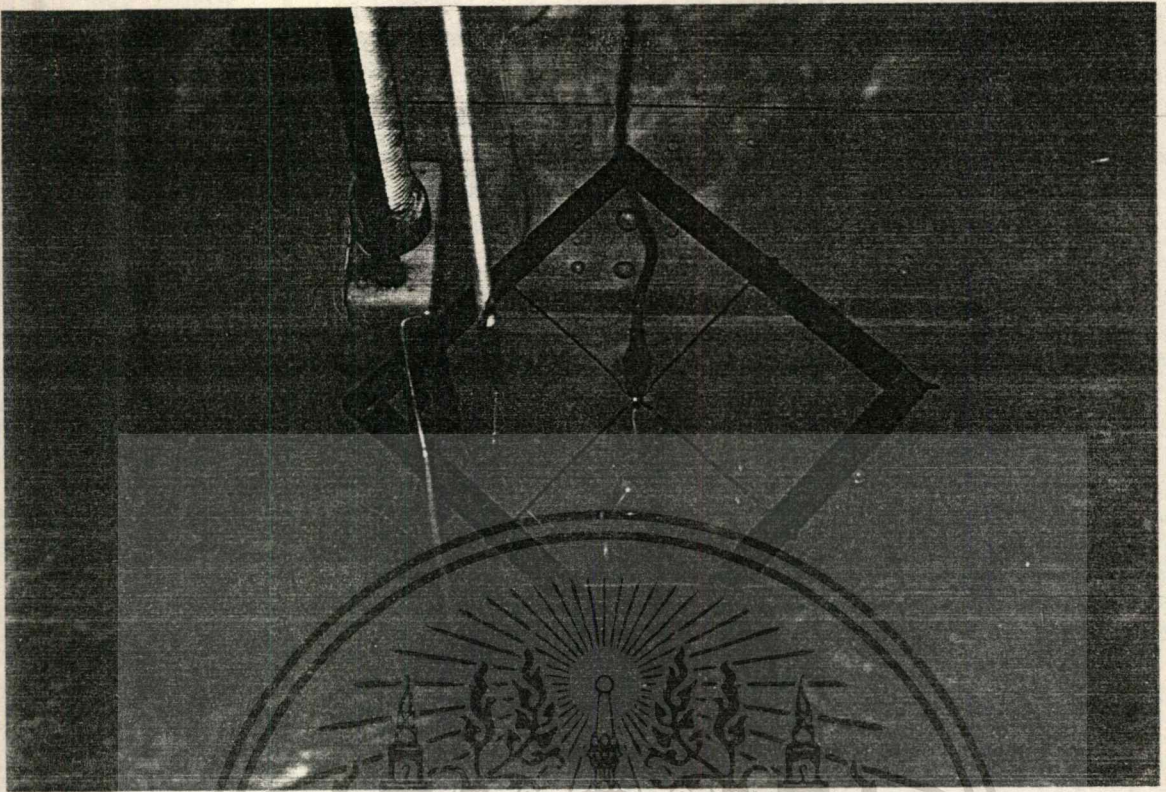
2. วางแบบจำลองของตะแกรงไว้ที่ความลึก 1/3 เซนติเมตร ในที่นี้จะทำการคงค่ากระแสที่ลัดวงจรไว้เท่ากับ 0.5 แอมป์

3. ทำการวัดค่าแรงดันพื้นผิวหน้า ณ ตำแหน่งตรงกลางของร่องตาข่าย ที่อยู่ตรงมุมของตะแกรง (V_{rim})

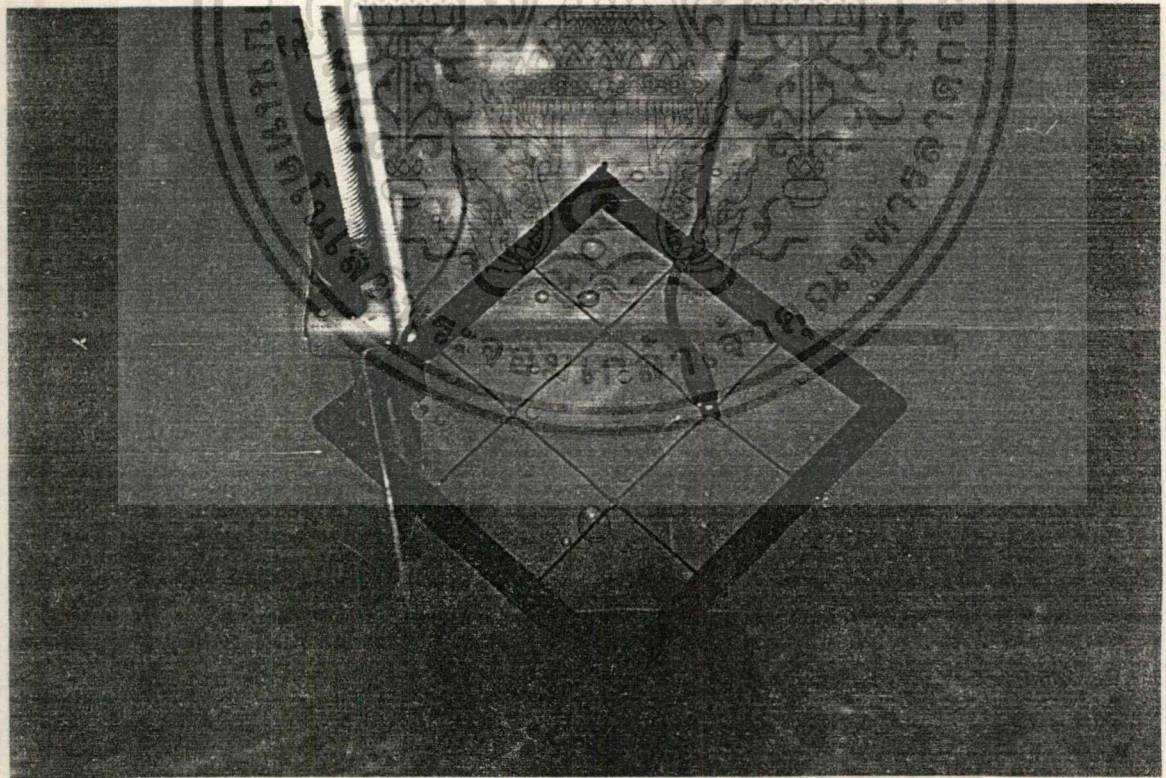
4. ทำการคำนวณค่า GPR จาก $I_G \cdot R_G$

5. ทำการหาค่าแรงดันร่องตาข่ายจาก $GPR - V_{rim}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 การวัดค่าแรงดันร่องต่ายที่กึ่งกลางร่องต่าย ตะแกรง 4 ร่องต่าย



รูปที่ 5.11 การวัดค่าแรงดันร่องต่ายที่กึ่งกลางร่องต่าย ตะแกรง 9 ร่องต่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำค่าแรงดันร่องตาข่ายที่วัดได้ไปคูณด้วยตัวคูณแบบจำลอง ซึ่งในการทดลองนี้มีค่า 2000/150 ซึ่งค่าแรงดันร่องตาข่ายที่ได้มานี้จะเป็นค่าจริง

7. นำค่าแรงดันร่องตาข่ายที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสูตรการคำนวณ

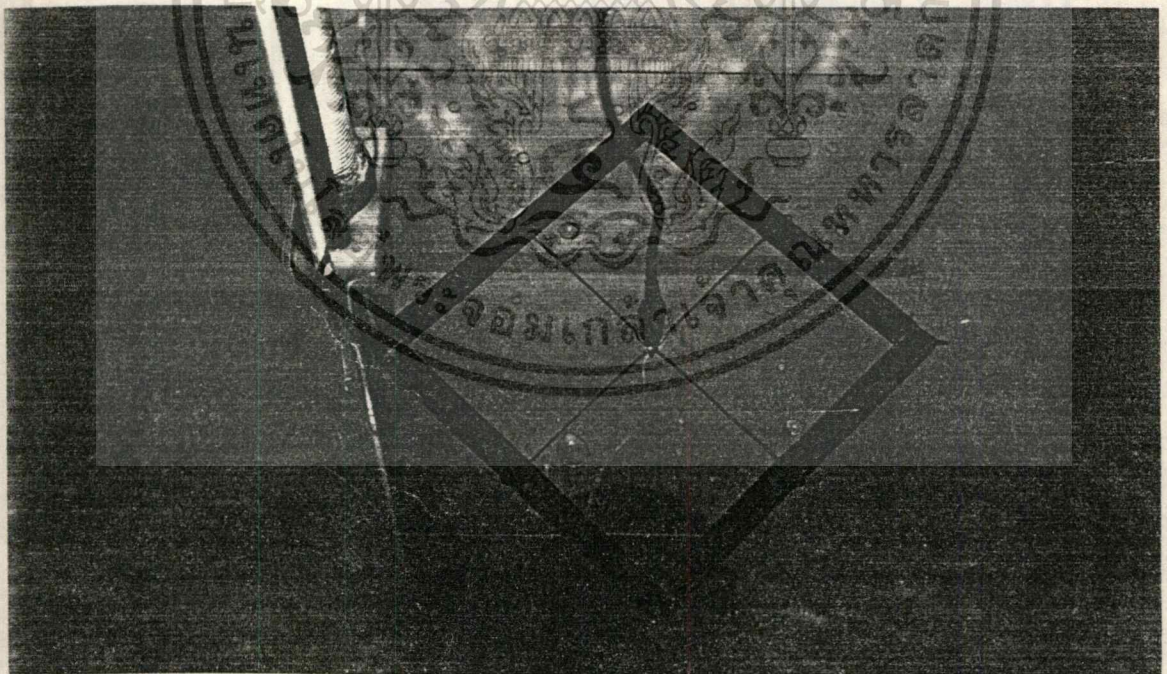
8. ทำการเปลี่ยนระดับความลึกของการฝัง โดยวางแบบจำลองของตะแกรงลงในน้ำลึก $\frac{2}{3}$ เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วทำการคงค่ากระแสที่ลัดวงจรไว้เท่ากับ 0.5 แอมป์ หลังจากนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 3-8 ใหม่

9. ทำการเปลี่ยนขนาดของตะแกรง เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และจำนวนร่องตาข่ายใหม่แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2-9 ใหม่

5.2.3 แรงดันอย่างก้าว

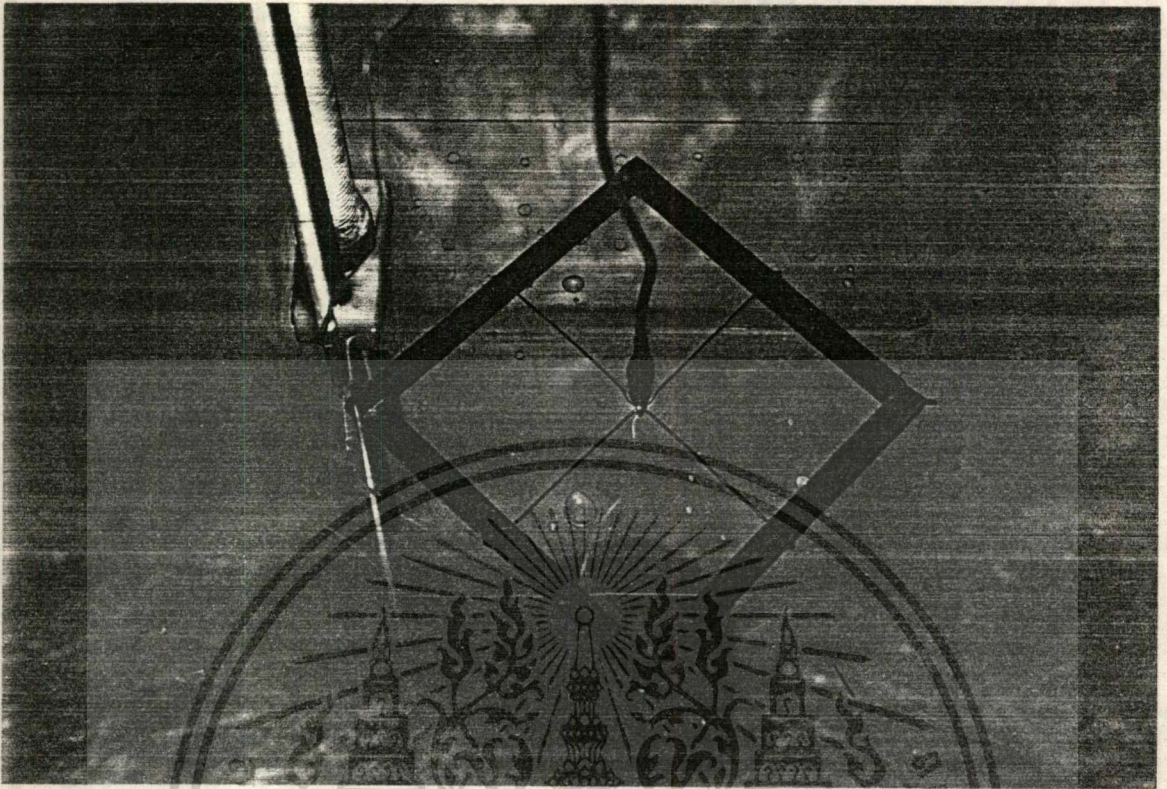
วิธีการวัด

1. ต่อดวงจรเหมือนดังรูป 5.9
2. วางแบบจำลองของตะแกรงไว้ที่ความลึก $\frac{1}{3}$ เซนติเมตร ในที่นี้จะทำการคงค่ากระแสที่ลัดวงจรไว้เท่ากับ 0.5 แอมป์
3. ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่พื้นผิวน้ำ ณ ตำแหน่งตรงมุมของตะแกรง (V_{sfc})

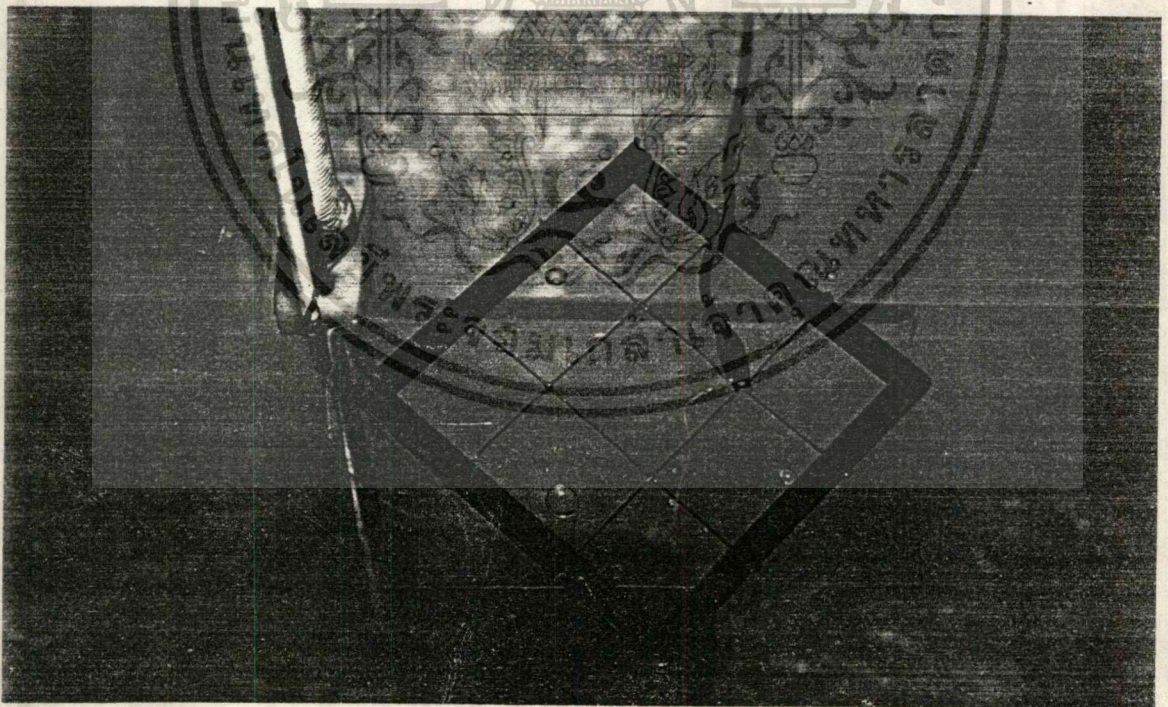


รูปที่ 5.12 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่ระยะ $\frac{2}{3}$ เซนติเมตร จากมุมของตะแกรง ตะแกรง 4 ร่องตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

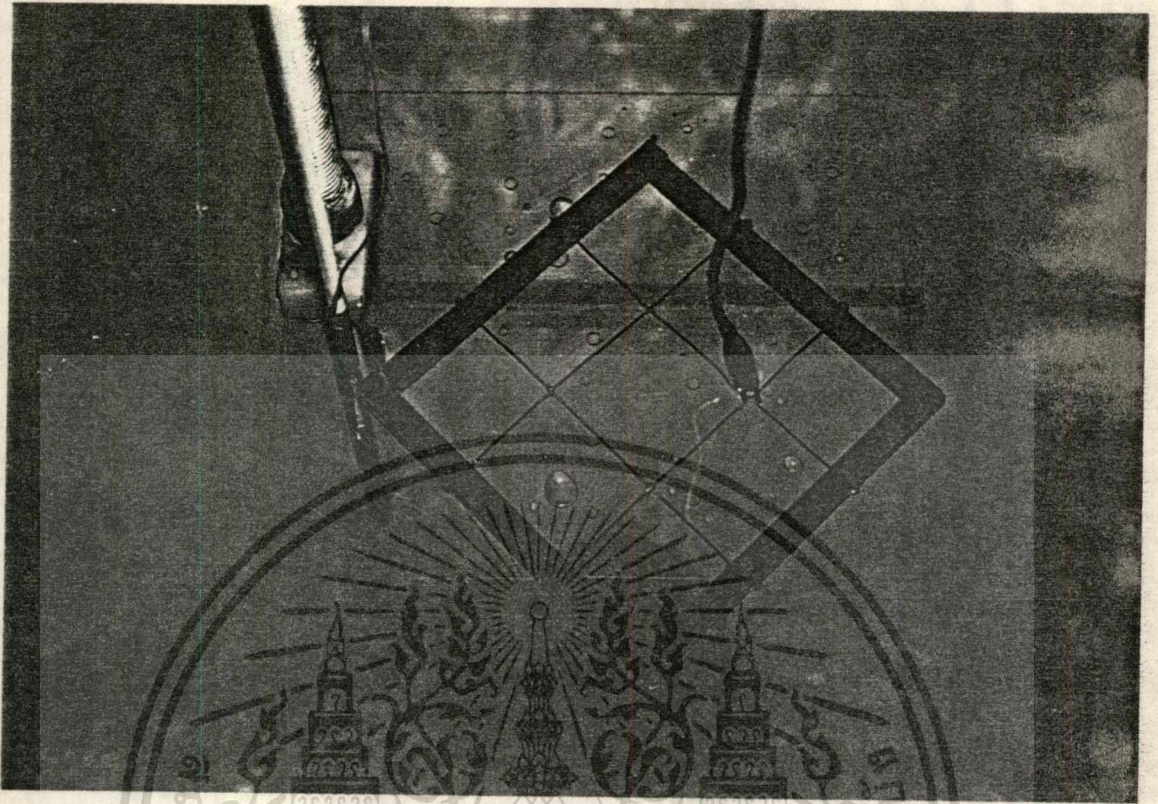


รูปที่ 5.13 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่จุดมุมของตะแกรง ตะแกรง 4 ร่องตาข่าย



รูปที่ 5.14 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่ระยะ $2/3$ เซนติเมตร จากมุมของตะแกรง ตะแกรง 9 ร่องตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงการวัดค่าแรงดันอย่างก้าวที่จุดมุมของตะแกรง ตะแกรง 9 ร่องตาข่าย

4. ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่พื้นผิวน้ำ ณ ตำแหน่งถัดจากตรงมุมของตะแกรงไปอีก $2/3$ เซนติเมตร (V_{sfB})
5. ทำการหาค่าแรงดันอย่างก้าวจาก $V_{sfB} - V_{sfC}$
6. นำค่าแรงดันอย่างก้าวที่วัดได้จากขั้นตอนที่ 5 ไปคูณด้วยตัวคูณแบบจำลองซึ่งในการทดลองนี้มีค่า $2000/150$ ซึ่งค่าแรงดันอย่างก้าวที่ได้มานี้จะเป็นค่าจริง
7. นำค่าแรงดันอย่างก้าวที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสูตรการคำนวณ
8. ทำการเปลี่ยนระดับความลึกของการฝัง โดยวางแบบจำลองของตะแกรงลงในน้ำลึก $2/3$ เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ และยังคงค่ากระแสที่ลัดวงจรไว้เท่ากับ 0.5 แอมป์แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 3-8 ใหม่
9. ทำการเปลี่ยนขนาดของตะแกรง เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และจำนวนร่องตาข่ายใหม่แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2-9 ใหม่

เอกสาร 5.3 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบแบบจำลองเปรียบเทียบกับสูตรการคำนวณโดยโปรแกรม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GROUND RESISTANCE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 0.5 m

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	0.452	0.77	70.36
15.00 * 15.00	82.5	9	0.434	0.77	77.47
15.00 * 15.00	150	4	0.437	0.7	60.15
15.00 * 15.00	150	9	0.423	0.65	53.84
15.00 * 15.00	210	4	0.429	0.68	58.69
15.00 * 15.00	210	9	0.416	0.62	49.09

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	0.316	0.444	40.37
22.50 * 22.50	82.5	9	0.302	0.433	43.26
22.50 * 22.50	150	4	0.306	0.416	35.84
22.50 * 22.50	150	9	0.295	0.37	25.59
22.50 * 22.50	210	4	0.3	0.411	36.78
22.50 * 22.50	210	9	0.29	0.358	23.35

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	0.244	0.23	3.47
30.00*30.00	82.5	9	0.232	0.25	7.56
30.00*30.00	150	4	0.236	0.225	-4.82
30.00*30.00	150	9	0.227	0.199	-12.21
30.00*30.00	210	4	0.232	0.204	-12.1
30.00*30.00	210	9	0.223	0.204	-8.68

GROUND RESISTANCE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 1 m

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	0.415	0.654	57.59
15.00 * 15.00	82.5	9	0.399	0.65	62.91
15.00 * 15.00	150	4	0.402	0.617	53.48
15.00 * 15.00	150	9	0.388	0.555	43.04
15.00 * 15.00	210	4	0.394	0.606	53.81
15.00 * 15.00	210	9	0.382	0.546	42.93

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	0.3	0.392	30.67
22.50 * 22.50	82.5	9	0.286	0.387	35.31
22.50 * 22.50	150	4	0.29	0.378	30.34
22.50 * 22.50	150	9	0.279	0.338	21.15
22.50 * 22.50	210	4	0.285	0.358	25.61
22.50 * 22.50	210	9	0.275	0.333	21.09

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	0.234	0.239	2.14
30.00*30.00	82.5	9	0.223	0.233	4.48
30.00*30.00	150	4	0.227	0.208	-8.37
30.00*30.00	150	9	0.218	0.192	-11.93
30.00*30.00	210	4	0.223	0.192	-13.90
30.00*30.00	210	9	0.215	0.187	-13.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเข้ของเอกสารรวมทั้งสิ้นห้ามใช้

GROUND RESISTANCE OF SQUARE GRID**RESISTIVITY OF SOIL** = 15 ohm-m**DEPTH OF BURIAL** = 1.5 m**DIAMETER OF CONDUCTOR** = a mm**NUMBER OF MESHES** = n

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	0.378	0.606	60.32
15.00 * 15.00	82.5	9	0.363	0.617	69.97
15.00 * 15.00	150	4	0.366	0.565	54.37
15.00 * 15.00	150	9	0.354	0.513	44.92
15.00 * 15.00	210	4	0.359	0.529	47.35
15.00 * 15.00	210	9	0.348	0.498	43.10

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	0.283	0.378	33.57
22.50 * 22.50	82.5	9	0.27	0.358	32.59
22.50 * 22.50	150	4	0.274	0.358	30.66
22.50 * 22.50	150	9	0.264	0.32	21.21
22.50 * 22.50	210	4	0.269	0.33	22.68
22.50 * 22.50	210	9	0.26	0.309	18.85

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	0.225	0.233	3.56
30.00*30.00	82.5	9	0.214	0.216	0.93
30.00*30.00	150	4	0.218	0.2	-8.26
30.00*30.00	150	9	0.209	0.185	-11.48
30.00*30.00	210	4	0.214	0.182	-14.95
30.00*30.00	210	9	0.206	0.18	-12.62

STEP VOLTAGE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 0.5 m

GRID CURRENT = 1 kA

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GPR = GROUND POTENTIAL RISE () = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	75(16.7)	94(12.2)	25.15
15.00 * 15.00	82.5	9	73(16.8)	75(9.8)	3.57
15.00 * 15.00	150	4	-	-	-
15.00 * 15.00	150	9	-	-	-
15.00 * 15.00	210	4	-	-	-
15.00 * 15.00	210	9	-	-	-

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	47(15.0)	66(14.9)	39.41
22.50 * 22.50	82.5	9	44(14.7)	57(13.1)	27.61
22.50 * 22.50	150	4	-	-	-
22.50 * 22.50	150	9	-	-	-
22.50 * 22.50	210	4	-	-	-
22.50 * 22.50	210	9	-	-	-

GRID SIZE(m)	a	n	GROUND RESISTANCE (OHM)		% ERROR
			SALAMA	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	34(14.1)	41(16.4)	20.53
30.00*30.00	82.5	9	32(13.6)	28(11.3)	-10.61
30.00*30.00	150	4	-	-	-
30.00*30.00	150	9	-	-	-
30.00*30.00	210	4	-	-	-
30.00*30.00	210	9	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละขายไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEP VOLTAGE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 1.0 m

GRID CURRENT = 1 kA

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GPR = GROUND POTENTIAL RISE () = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	43(10.4)	66(10.2)	52.56
15.00 * 15.00	82.5	9	45(11.2)	57(8.7)	26.66
15.00 * 15.00	150	4	44(10.9)	57(9.2)	28.95
15.00 * 15.00	150	9	45(11.7)	57(10.2)	24.33
15.00 * 15.00	210	4	44(11.3)	66(10.9)	48.61
15.00 * 15.00	210	9	46(12.1)	75(13.8)	63.03

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	26(8.8)	39(9.6)	43.71
22.50 * 22.50	82.5	9	26(9.1)	47(12.2)	81.55
22.50 * 22.50	150	4	26(9.1)	38(10.0)	42.40
22.50 * 22.50	150	9	26(6.4)	38(11.2)	43.46
22.50 * 22.50	210	4	27(9.4)	38(10.5)	41.24
22.50 * 22.50	210	9	27(9.7)	42(12.7)	59.61

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	19(8.0)	21(8.7)	11.04
30.00*30.00	82.5	9	18(8.1)	20(8.5)	9.98
30.00*30.00	150	4	19(8.3)	19(9.1)	0.24
30.00*30.00	150	9	18(8.3)	19(9.8)	3.75
30.00*30.00	210	4	19(8.5)	19(9.8)	-0.37
30.00*30.00	210	9	18(8.5)	19(10.1)	2.91

STEP VOLTAGE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 1.5 m

GRID CURRENT = 1 kA

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GPR = GROUND POTENTIAL RISE () = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
15.00 * 15.00	82.5	4	32(8.5)	38(6.2)	16.71
15.00 * 15.00	82.5	9	35(9.6)	38(6.1)	8.24
15.00 * 15.00	150	4	33(9.0)	38(6.7)	15.11
15.00 * 15.00	150	9	35(10.0)	38(7.4)	6.25
15.00 * 15.00	210	4	33(9.2)	38(7.1)	13.68
15.00 * 15.00	210	9	36(9.2)	38(7.6)	5.28

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	19(6.8)	28(7.5)	47.90
22.50 * 22.50	82.5	9	20(7.3)	19(5.3)	-4.31
22.50 * 22.50	150	4	19(7.0)	28(7.9)	46.56
22.50 * 22.50	150	9	20(7.6)	19(5.9)	-5.47
22.50 * 22.50	210	4	19(7.2)	28(8.6)	45.36
22.50 * 22.50	210	9	20(7.8)	28(9.2)	40.26

GRID SIZE(m)	a	n	STEP VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	13(6.0)	9(4.0)	-29.61
30.00*30.00	82.5	9	13(6.2)	10(4.8)	-22.56
30.00*30.00	150	4	13(6.2)	11(5.7)	-16.13
30.00*30.00	150	9	14(6.5)	19(10.4)	39.49
30.00*30.00	210	4	14(6.3)	17(9.3)	24.56
30.00*30.00	210	9	14(6.6)	20(11.0)	45.33

MESH VOLTAGE OF SQUARE GRID**RESISTIVITY OF SOIL** = 15 ohm-m**DEPTH OF BURIAL** = 0.5 m**GRID CURRENT** = 1 kA**DIAMETER OF CONDUCTOR** = a mm**NUMBER OF MESHES** = n**GPR = GROUND POTENTIAL RISE**

() = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	109(34.3)	114(25.7)	4.97
22.50 * 22.50	82.5	9	78(25.7)	112(26.0)	44.67
22.50 * 22.50	150	4	-	-	-
22.50 * 22.50	150	9	-	-	-
22.50 * 22.50	210	4	-	-	-
22.50 * 22.50	210	9	-	-	-

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	90(36.8)	64(25.5)	-28.29
30.00*30.00	82.5	9	65(28.1)	61(24.6)	-5.98
30.00*30.00	150	4	-	-	-
30.00*30.00	150	9	-	-	-
30.00*30.00	210	4	-	-	-
30.00*30.00	210	9	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MESH VOLTAGE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 1.0 m

GRID CURRENT = 1 kA

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GPR = GROUND POTENTIAL RISE

() = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	97(32.3)	90(23.0)	-6.60
22.50 * 22.50	82.5	9	69(24.0)	85(22.0)	23.94
22.50 * 22.50	150	4	85(29.3)	76(20.2)	-10.15
22.50 * 22.50	150	9	59(21.0)	36(10.7)	-38.19
22.50 * 22.50	210	4	78(27.6)	85(23.6)	7.83
22.50 * 22.50	210	9	53(19.3)	51(15.2)	-4.98

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	81(34.3)	50(21.1)	-37.35
30.00*30.00	82.5	9	58(26.0)	49(21.1)	-15.28
30.00*30.00	150	4	72(31.5)	43(20.7)	-39.97
30.00*30.00	150	9	50(23.2)	22(11.6)	-55.80
30.00*30.00	210	4	67(29.9)	32(16.5)	-52.49
30.00*30.00	210	9	46(21.5)	22(11.8)	-52.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MESH VOLTAGE OF SQUARE GRID

RESISTIVITY OF SOIL = 15 ohm-m

DEPTH OF BURIAL = 1.5 m

GRID CURRENT = 1 kA

DIAMETER OF CONDUCTOR = a mm

NUMBER OF MESHES = n

GPR = GROUND POTENTIAL RISE

() = PERCENTAGE OF GPR

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
22.50 * 22.50	82.5	4	91(32.1)	86(22.7)	-5.60
22.50 * 22.50	82.5	9	65(24.1)	56(15.7)	-13.68
22.50 * 22.50	150	4	79(28.8)	75(21.0)	-4.81
22.50 * 22.50	150	9	55(20.9)	37(11.6)	-32.46
22.50 * 22.50	210	4	72(27.0)	66(20.0)	-8.94
22.50 * 22.50	210	9	49(19.1)	45(14.6)	-9.02

GRID SIZE(m)	a	n	MESH VOLTAGE (V)		% ERROR
			SVERAK	ANALOG MODEL TEST	
30.00*30.00	82.5	4	76(33.6)	63(27.2)	-16.30
30.00*30.00	82.5	9	55(25.5)	46(21.4)	-15.31
30.00*30.00	150	4	67(30.6)	35(17.5)	-47.54
30.00*30.00	150	9	47(22.5)	25(13.5)	-46.83
30.00*30.00	210	4	62(28.9)	22(12.1)	-64.39
30.00*30.00	210	9	43(20.8)	24(13.6)	-42.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

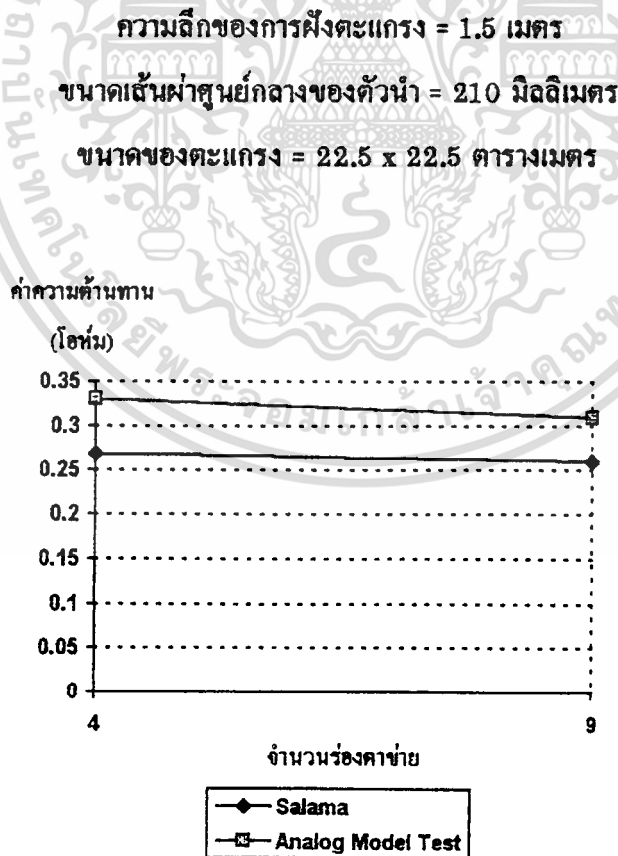
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรง

จากผลการทดลองเพื่อวัดค่าความต้านทานของตะแกรงที่ย่อส่วนลงมา 150 เท่านี้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น จำนวนร่องตาข่าย, ขนาดของตัวนำ, ขนาดของตะแกรงและความลึกของตะแกรง

1 จำนวนร่องตาข่ายมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรงดังนี้

เมื่อเปลี่ยนจำนวนร่องตาข่ายโดยทำการเพิ่มจำนวนร่องตาข่ายจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของตะแกรงมีค่าลดลงดังรูปที่ 6.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้เป็นของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจันทบุรี และจะสงวนลิขสิทธิ์ไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับจำนวนร่องตาข่าย

2. ขนาดของตัวนำมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรงดังนี้

เมื่อเปลี่ยนขนาดของตัวนำโดยทำการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของตะแกรงมีค่าลดลงดังรูปที่ 6.2

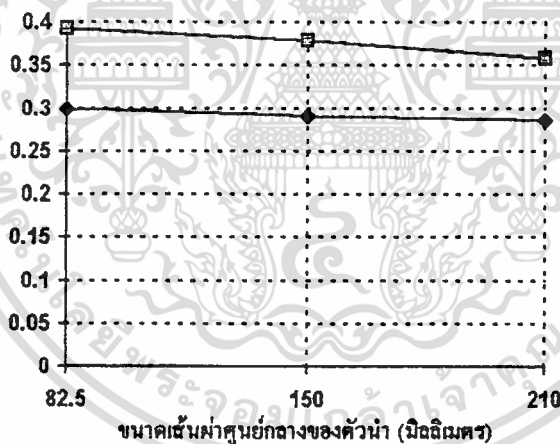
ความลึกของการฝังตะแกรง = 1 เมตร

ขนาดของตะแกรง = 22.5 x 22.5 ตารางเมตร

จำนวนร่องตาข่าย = 4

ค่าความต้านทาน

(โอห์ม)



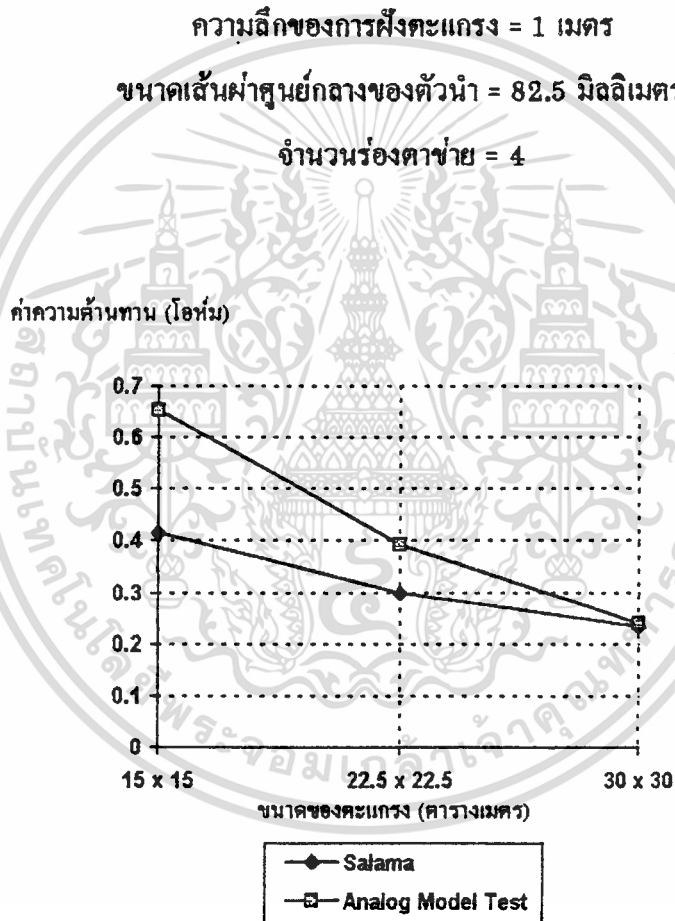
—◆— Salama
—■— Analog Model Test

รูปที่ 6.2 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขนาดของตะแกรงมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรงดังนี้

เมื่อเปลี่ยนขนาดของตะแกรง โดยทำการเพิ่มขนาดของตะแกรงจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของตะแกรงมีค่าลดลง



รูปที่ 8.3 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับขนาดของตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความลึกของการฝังตะแกรงมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานของตะแกรงดังนี้

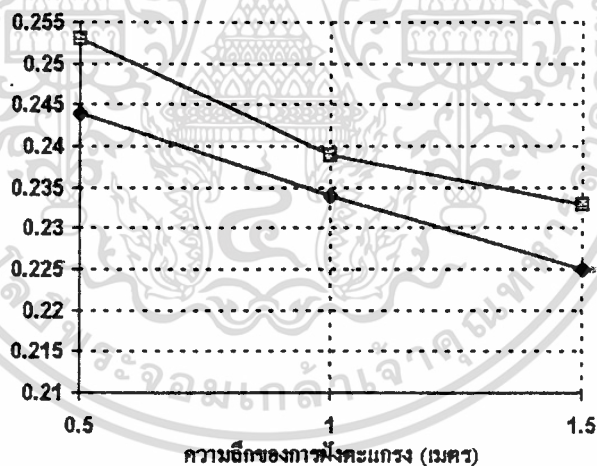
เมื่อทำการเปลี่ยนระดับความลึกของการฝังตะแกรง โดยการเพิ่มความลึกของการฝังจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของตะแกรงมีค่าลดลง

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ = 82.5 มิลลิเมตร

ขนาดของตะแกรง = 30 x 30 ตารางเมตร

จำนวนร็องตาข่าย = 4

ค่าความต้านทาน (โอห์ม)



Legend:
 ● Salama
 ■ Analog Model Test

รูปที่ 6.4 กราฟระหว่างค่าความต้านทานกับความลึกของการฝังตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อแรงดันรองตาข่าย

1. จำนวนร่องตาข่ายมีอิทธิพลต่อแรงดันร่องตาข่ายดังนี้

เมื่อเปลี่ยนจำนวนร่องตาข่ายโดยทำการเพิ่มจำนวนร่องตาข่ายจะมีผลทำให้ค่าแรงดันร่องตาข่ายมีค่าลดลง

2. ขนาดของตัวนำมีอิทธิพลต่อแรงดันร่องตาข่ายดังนี้

เมื่อเปลี่ยนขนาดของตัวนำโดยทำการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำจะมีผลทำให้ค่าแรงดันร่องตาข่ายมีค่าลดลง

3. ขนาดของตะแกรงมีอิทธิพลต่อแรงดันร่องตาข่ายดังนี้

เมื่อเปลี่ยนขนาดของตะแกรง โดยทำการเพิ่มขนาดของตะแกรงจะมีผลทำให้ค่าแรงดันร่องตาข่ายมีค่าลดลง

4. ความลึกของการฝังตะแกรงมีอิทธิพลต่อแรงดันร่องตาข่ายดังนี้

เมื่อทำการเปลี่ยนระดับความลึกของการฝังตะแกรง โดยการเพิ่มความลึกของการฝังจะมีผลทำให้ค่าแรงดันร่องตาข่ายมีค่าลดลง

6.3 การพิจารณาแรงดันอย่างก้าว

ค่าแรงดันอย่างก้าวเป็นองค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งในการพิจารณาถึงความปลอดภัยภายในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยขณะเกิดความคิดปกติ โดยค่าแรงดันอย่างก้าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะแนวโน้มของศักดาไฟฟ้าที่พื้นผิว ถ้าเกรเดียนของศักดาไฟฟ้าที่พื้นผิวที่แต่ละจุดมีความแตกต่างกันไม่มากนักค่าแรงดันอย่างก้าวก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งลักษณะนี้สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนร่องตาข่ายและความลึกของการฝังตัวนำ ถ้าค่าทั้งสองนี้มีค่ามาก ค่าเกรเดียนศักดาไฟฟ้าที่แต่ละจุดจะแตกต่างกันไม่มากนัก และความราบเรียบของลักษณะแนวโน้มของศักดาไฟฟ้าที่แต่ละจุดต่างๆกันภายในบริเวณพื้นที่ถูกรอบคลุมด้วยตะแกรงต่อลงดินก็จะมีค่ามากขึ้น ค่าแรงดันอย่างก้าวจึงมีค่าต่ำ ความปลอดภัยในการก้าวเดินภายในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อยในขณะเกิดความคิดปกติก็จะมีมากขึ้น

6.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองวัดค่าจากแบบจำลองจะมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากสูตรการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องมาจาก

1. น้ำที่ใช้ในการทดลองนั้นยังคงมีข้อเสยก็คือ น้ำที่ใช้ อาจจะมีสารแขวนลอยรวมอยู่และ

น้ำที่ใช้จะเกิดการแตกตัวเมื่อมีกระแสไฟผ่านมีผลทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ขณะที่ทำการวัดค่าอยู่นั้นน้ำอาจเกิดการกระเพื่อมได้ง่ายจึงทำให้ความลึกในไม้วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้กดแป้นโยธาและต้องอย่างองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

การฝังแบบจำลองของตะแกรงต่อลงดินเป็นไปอย่างไม่แน่นอนและทำการวัดค่าได้ยากต้องรอให้น้ำหยุดกระเพื่อมเสียก่อน

2. การวางแบบจำลองของตะแกรงต่อลงดิน อาจจะไม่ได้อยู่ในแนวระดับเดียวกันตามที่ต้องการ อันเนื่องมาจากการปรับให้ได้ระดับนั้นไม่สามารถปรับให้เที่ยงตรงได้ด้วยสายตา ถึงแม้ปรับระดับความสูงจะมีตัวปรับให้ได้ระดับน้ำแล้วก็ตาม ทำให้ค่าที่วัดได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างกันไป

3. แบบจำลองของตะแกรงที่ใช้ อาจจะทำให้เกิดการสึกกร่อนในขณะที่ใช้งานอันเนื่องมาจากการไหลของกระแส โดยการแตกตัวของอิออนทำให้เกิดออกไซด์และสารประกอบอื่นมาเกาะที่ลวดตัวนำ ทำให้การกระจายของกระแสเกิดการคลาดเคลื่อนไป

4. เครื่องมือที่ใช้ในการปรับระดับความสูงในการทดลองยังไม่มี ความเที่ยงตรงคือพอ อันเนื่องมาจากการปรับระดับแต่ละครั้งนั้นจะทำให้ทุกครั้งเท่ากันนั้นเป็นไปได้ยาก แต่ค่าที่ได้ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนักในการปรับระดับแต่ละครั้ง

5. การอ่านค่าต่าง ๆ จากเครื่องมือวัดอาจไม่มีความละเอียดพอ ซึ่งเป็นผลให้ค่าต่าง ๆ ที่วัดซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเมื่อมีการอ่านผิดพลาดเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ผลที่วัดได้แตกต่างจากสูตรการคำนวณไปได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานจากสูตรการคำนวณของ Salama

```

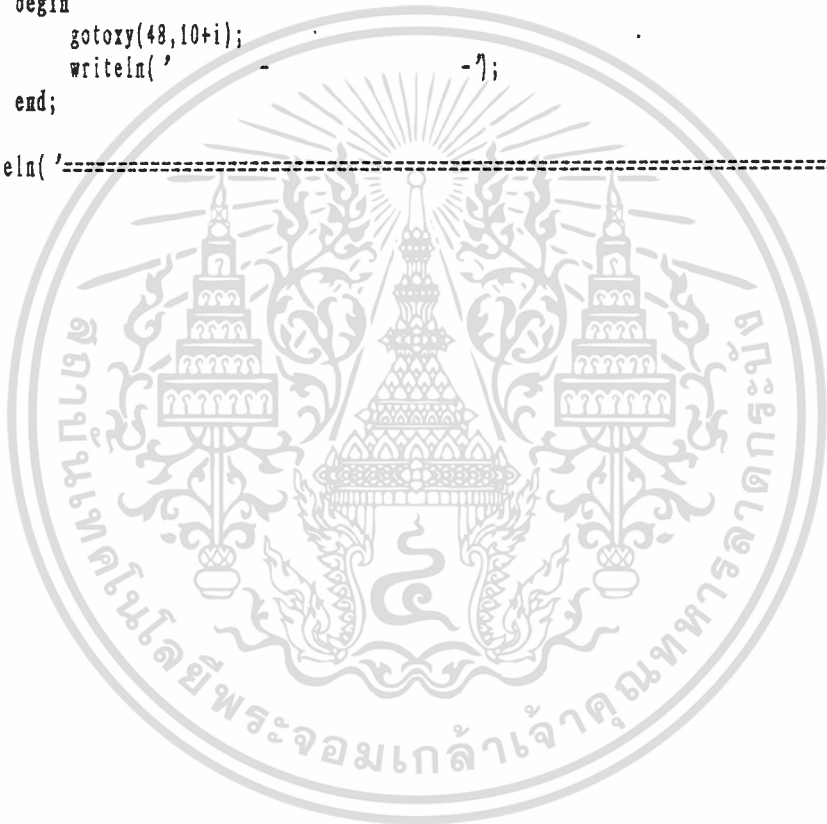
Program GROUND_RESISTANCE_OF_SQUARE_AND_RECTANGULAR_GRIDS;
uses crt;
const pi = 3.141592654;
      e = 2.718281828;
var Rm,Rf,Sl,Sw,L,A,d,x,Error : array [1..9] of real;
    {Rm = Ground resistance obtained from the analog model test
    Rf = Ground resistance obtained from the formula
    Sl = Length of the grid
    Sw = Width of the grid
    L = Total length of the conductor
    A = Area of the grid
    d = Diameter of the conductor
    x = Width of a mesh}
n : array [1..9] of integer;
{n = The number of meshes}
P,h : real;
{P = Resistivity of the soil
h = Depth of burial of the grid}
i : integer;
begin
  clrscr;
  writeln('GROUND RESISTANCE OF SQUARE AND RECTANGULAR GRIDS');
  write('Resistivity of Soil =      ohm-m');
  gotoxy(25,2);
  read(P);
  write('Depth of Burial      =      m');
  gotoxy(25,3);
  read(h);
  writeln('Diameter of Conductor = a      mm');
  writeln('Number of Meskes      = n');
  writeln('=====');
  writeln('      GRID      GROUND RESISTANCE (ohm)');
  writeln('      SIZE      a      n      -----      % ERROR');
  writeln('      (m)      SALAMA ANALOG MODEL TEST');
  writeln('=====');
  for i:=1 to 9 do
  begin
    gotoxy(4,10+i);
    read(Sl[i]);
    gotoxy(1,10+i);
    write(Sl[i]:8:2, 'r');
    gotoxy(10,10+i);
    read(Sw[i]);
    gotoxy(10,10+i);
    write(Sw[i]:5:2);
    gotoxy(20,10+i);
    read(d[i]);
    gotoxy(20,10+i);
    write(d[i]:6:2);
    gotoxy(31,10+i);
    read(n[i]);
    gotoxy(31,10+i);
    write(n[i]:2);
    x[i]:= (Sl[i]-d[i]/1000*(Sl[i]/sqrt(Sl[i]*Sw[i]/n[i])+1))/(Sl[i]/sqrt(Sl[i]*Sw[i]/n[i]));
    L[i]:= 2*x[i]*(n[i]+sqrt(n[i]));
    A[i]:= Sl[i]*Sw[i];
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Rf[i]:={P/4*sqrt(pi/A[i])+P/(2*pi*L[i])*ln(165*x[i]/(e*d[i]))*(1-2.256*h/sqrt(A[i]));
gotoxy(39,10+i);
write(Rf[i]:6:3);
gotoxy(48,10+i);
read(Rm[i]);
if Rm[i] > 0 then
begin
gotoxy(48,10+i);
write(Rm[i]:11:3);
Error[i]:={Rm[i]-Rf[i]}/Rf[i]*100;
gotoxy(70,10+i);
writeln(Error[i]:7:2);
end
else
begin
gotoxy(48,10+i);
writeln(' - ');
end;
end;
writeln('-----');
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันอย่างถ่วงจากสูตรการคำนวณของ Sverak

```

Program STEP_VOLTAGE_OF_SQUARE_AND_RECTANGULAR_GRIDS;
uses crt;
const pi = 3.141592654;
      e = 2.718281828;
var Esm,Esf,Rm,Rf,Sl,Sw,L,A,Ki,Ks,d,x,y,zA,zB,z,GPRm,GPRf,POGPRm,POGPRf>Error : array [1..9] of real;
    {Esm = Mesh voltage obtained from the analog model test
    Esf = Mesh voltage obtained from the formula
    Rm = Ground resistance obtained from the analog model test
    Rf = Ground resistance obtained from the formula
    Sl = Length of the grid
    Sw = Width of the grid
    L = Total length of the conductor
    A = Area of the grid
    Ki = Aysmmetry factor
    Ks = Geometric factor
    d = Diameter of the conductor
    x = Width of a mesh
    y = Spacing between parallel conductors
    zA,zB = The number of parallel conductors in the two dimention
    z = The number of parallel conductors in one dimention
    GPRm = Ground potential rise obtained from the analog model test
    GPRf = Ground potential rise obtained from the formula
    POGPRm = Percentage of GPR obtained from the analog model test
    POGPRf = Percentage of GPR obtained from the formula}
n : array [1..9] of integer;
{n = The number of meshes}
P,l,h : real;
{P = Resistivity of the soil
    l = Maximum grid current
    h = Depth of burial of the grid}
j : integer;
begin
  clrscr;
  writeln('STEP VOLTAGE OF SQAURE AND RECTANGULAR GRIDS');
  write('Resistivity of Soil = ohm-m');
  gotoxy(25,2);
  read(P);
  write('Depth of Burial = m');
  repeat
    gotoxy(25,3);
    write(' ');
    gotoxy(25,3);
    read(h);
  until (h >= 0.25) and (h <= 2.5);
  write('Grid Current = kA');
  gotoxy(25,4);
  read(l);
  writeln('Diameter of Conductor = a mm');
  writeln('Number of Meshes = n');
  writeln('=====');
  writeln(' GRID STEP VOLTAGE (V)');
  writeln(' SIZE a n ----- % ERROR');
  writeln(' (m) หารับการใช้งานเพื่อการศึกษา SVERAK ANALOG MODEL TEST');
  writeln('=====');
  for j:=1 to 9 do
  begin

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

```

gotoxy(4,11+j);
read(Sl[j]);
gotoxy(1,11+j);
write(Sl[j]:8:2, 'x');
gotoxy(10,11+j);
read(Sw[j]);
gotoxy(10,11+j);
write(Sw[j]:5:2);
gotoxy(20,11+j);
read(d[j]);
gotoxy(20,11+j);
write(d[j]:6:2);
gotoxy(31,11+j);
read(n[j]);
gotoxy(31,11+j);
write(n[j]:2);
y[j]:=sqrt(Sl[j]*Sw[j]/n[j]);
if ((d[j]/1000) < (0.25*h) and (y[j] > 2.5) then
begin
  x[j]:=(Sl[j]-d[j]/1000*(Sl[j]/sqrt(Sl[j]*Sw[j]/n[j])+1))/(Sl[j]/sqrt(Sl[j]*Sw[j]/n[j]));
  L[j]:=2*x[j]*(n[j]+sqrt(n[j]));
  A[j]:=Sl[j]*Sw[j];
  zA[j]:=Sl[j]/sqrt(Sl[j]*Sw[j]/n[j])+1;
  zB[j]:=Sw[j]/sqrt(Sl[j]*Sw[j]/n[j])+1;
  if zA[j] >= zB[j] then
    z[j]:=zA[j]
  else
    z[j]:=zB[j];
  Ki[j]:=0.656+0.172*z[j];
  Ks[j]:=1/(2*h*pi)+1/((y[j]+h)*pi)+(1-exp(-0.693*(z[j]-2)))/(y[j]*pi);
  Esf[j]:=1000*P*I*Ks[j]*Ki[j]/L[j];
  Rf[j]:=(P/4*sqrt(pi/A[j])+P/(2*pi*L[j])*ln(165*x[j]/(e+d[j])))*(1-2.256*h/sqrt(A[j]));
  GPRf[j]:=1000*I*Rf[j];
  POGPRf[j]:=Esf[j]/GPRf[j]*100;
  gotoxy(39,11+j);
  write(Esf[j]:5:0);
  gotoxy(44,11+j);
  write('/',POGPRf[j]:4:1, ' ');
  gotoxy(55,11+j);
  read(Esm[j]);
  if Esm[j] > 0 then
  begin
    gotoxy(58,11+j);
    write('/R= ');
    gotoxy(61,11+j);
    read(Rm[j]);
    GPRm[j]:=1000*I*Rm[j];
    POGPRm[j]:=Esm[j]/GPRm[j]*100;
    gotoxy(55,11+j);
    write(Esm[j]:3:0);
    gotoxy(58,11+j);
    write('/',POGPRm[j]:4:1, ' ');
    Error[j]:=(Esm[j]-Esf[j])/Esf[j]*100;
    gotoxy(70,11+j);
    write(ln(Error[j]):7:2);
  end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end

```

end
else
begin
gotoxy(55,11+j);
writeln(' -          -');
end;
end
else
begin
gotoxy(42,11+j);
writeln(' -          -');
end;
end;
end;
writeln('=====');
writeln('GPR = Ground Potential Rise');
writeln('( ) = Percentage of GPR');
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันร่อนตาข่ายจากสูตรการคำนวณของ Sverak

```

Program MESH_VOLTAGE_OF_SQUARE_AND_RECTANGULAR_GRIDS;
uses crt;
const pi = 3.141592654;
      e = 2.718281828;
var Emm,Emf,Rm,Rf,Sl,Sw,L,A,Ki,Kii,Kh,Km1,Km2,Km,d,x,y,zA,zB,z,GPRm,GPRf,POGPRm,POGPRf,Error
: array [1..9] of real;
(Emm = Mesh voltage obtained from the analog model test
Emf = Mesh voltage obtained from the formula
Rm = Ground resistance obtained from the analog model test
Rf = Ground resistance obtained from the formula
Sl = Length of the grid
Sw = Width of the grid
L = Total length of the conductor
A = Area of the grid
Ki = Asymmetry factor
Km = Geometric factor
d = Diameter of the conductor
x = Width of a mesh
y = Spacing between parallel conductors
zA,zB = The number of parallel conductors in the two directions
z = The number of parallel conductors in one direction
GPRm = Ground potential rise obtained from the analog model test
GPRf = Ground potential rise obtained from the formula
POGPRm = Percentage of GPR obtained from the analog model test
POGPRf = Percentage of GPR obtained from the formula)
n : array [1..9] of integer;
(n = The number of meshes)
P,l,h : real;
(P = Resistivity of the soil
l = Maximum grid current
h = Depth of burial of the grid)
j : integer;
begin
  clrscr;
  writeln('MESH VOLTAGE OF SQUARE AND RECTANGULAR GRIDS');
  write('Resistivity of Soil =      ohm-m');
  gotoxy(25,2);
  read(P);
  write('Depth of Burial      =      . m');
  repeat
    gotoxy(25,3);
    write('      ');
    gotoxy(25,3);
    read(h);
  until (h >= 0.25) and (h <= 2.5);
  write('Grid Current      =      kA');
  gotoxy(25,4);
  read(l);
  writeln('Diameter of Conductor = a      mm');
  writeln('Number of Meshes      = n');
  writeln('=====');
  writeln('      GRID      MESH VOLTAGE (V)');
  writeln('SIZE      a      n      % ERROR');
  writeln('      (m)      SVERAK ANALOG MODEL TEST');
  writeln('=====');
  for j:=1 to 9 do

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาระดับปริญญาโทขึ้นไปเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

```

begin
  gotoxy(4,11+j);
  read(S1[j]);
  gotoxy(1,11+j);
  write(S1[j]:8:2, 'x');
  gotoxy(10,11+j);
  read(Sw[j]);
  gotoxy(10,11+j);
  write(Sw[j]:5:2);
  gotoxy(20,11+j);
  read(d[j]);
  gotoxy(20,11+j);
  write(d[j]:6:2);
  gotoxy(31,11+j);
  read(n[j]);
  gotoxy(31,11+j);
  write(n[j]:2);
  y[j]:=sqrt(S1[j]*Sw[j]/n[j]);
  if ((d[j]/1000) < (0.25*h)) and (y[j] > 2.5) then
  begin
    x[j]:=(S1[j]-d[j]/1000*(S1[j]/sqrt(S1[j]*Sw[j]/n[j])+1))/(S1[j]/sqrt(S1[j]*Sw[j]/n[j]));
    L[j]:=2*x[j]*(n[j]+sqrt(n[j]));
    A[j]:=S1[j]*Sw[j];
    zA[j]:=S1[j]/sqrt(S1[j]*Sw[j]/n[j])+1;
    zB[j]:=Sw[j]/sqrt(S1[j]*Sw[j]/n[j])+1;
    z[j]:=sqrt(zA[j]*zB[j]);
    Ki[j]:=0.656+0.172*z[j];
    Kii[j]:=exp(2/z[j]*ln(1/(2*z[j])));
    Kh[j]:=sqrt(1+h);
    Km1[j]:=1/(2*pi)*ln(1000*y[j]*y[j]/(16*h*d[j])+1000*(y[j]+2*h)*(y[j]+2*h)/(8*y[j]*d[j])
      -1000*h/(4*d[j]));
    Km2[j]:=Kii[j]/(2*pi*Kh[j])*ln(8/(2*z[j]*pi-pi));
    Km[j]:=Km1[j]+Km2[j];
    Emf[j]:=1000*P*I*Km[j]*Ki[j]/L[j];
    Rf[j]:=(P/4*sqrt(pi/A[j])+P/(2*pi*L[j])*ln(165*x[j]/(e*d[j]))*(1-2.256*h/sqrt(A[j]));
    GPRf[j]:=1000*I*Rf[j];
    POGPRf[j]:=Emf[j]/GPRf[j]*100;
    gotoxy(39,11+j);
    write(Emf[j]:5:0);
    gotoxy(44,11+j);
    write('/',POGPRf[j]:4:1, '/');
    gotoxy(55,11+j);
    read(Emm[j]);
    if Emm[j] > 0 then
    begin
      gotoxy(58,11+j);
      write('R= ');
      gotoxy(61,11+j);
      read(Rm[j]);
      GPRm[j]:=1000*I*Rm[j];
      POGPRm[j]:=Emm[j]/GPRm[j]*100;
      gotoxy(55,11+j);
      write(Emm[j]:3:0);
      gotoxy(58,11+j);
      write('/',POGPRm[j]:4:1, '/');
      Error[j]:=(Emm[j]-Emf[j])/Emf[j]*100;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกประการหนึ่งขอแจ้งให้ทราบว่าเอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยอัตโนมัติและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        gotoxy(70,11+j);
        writeln(Error[j]:7:2);
    end
    else
    begin
        gotoxy(55,11+j);
        writeln(' -          -');
    end;
end
else
begin
    gotoxy(42,11+j);
    writeln(' -          -');
end;
end;
writeln('=====');
writeln('GPR = Ground Potential Rise');
writeln('( ) = Percentage of GPR');
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการออกแบบตะแกรงกรวดในสถานีไฟฟ้าหน่วยย่อย

```

program THE_DESIGN_OF_GROUNDING_GRID;
uses crt,screen,win;
const pi      = 3.141592654;
      e       = 2.718281828;
      ReturnKey = #13;
      EscKey   = #27;
      UpKey    = #72;
      LtKey    = #75;
      RtKey    = #77;
      DnKey    = #80;
var No,No1,No2_2,No2_3,Pattern,DeltaLmin,DeltaLgrid,Ratio,Smax,Td,h,i,j : integer;
    Counter,Counter2_1,Counter3_1,Counter3_2,Counter3_3,Counter3_4,Counter3_5 : integer;
    No2_1,No3_1,No3_2,No3_3,No3_4,No3_5 : array [0..5000] of integer;
    Key,Key1,Key2_1,Key2_2,Key2_3,Key3_1,Key3_2,Key3_3,Key3_4,Key3_5,ExitKey : char;
    Start,Exit,UpToDn,DnToUp,LtToRt,RtToLt : boolean;
    {DeltaLmin = The increased portion of the length of the conductor
     DeltaLgrid = The increased portion of the length of the grid on x axis or y axis
     Ratio      = The ratio of the length of the grid on x axis and y axis or
                  the ratio of the length of the grid on y axis and x axis
     Smax       = Maximum spacing between parallel conductors
     Td         = Delay time}
    {--- STEP 1 : INPUT DATA ---}
    Lsubx,Lsuby,P1,P2 : real;
    {Lsubx      = Length of substation on x axis
     Lsuby      = Length of substation on y axis
     P1         = Resistivity of the upper soil
     P2         = Resistivity of the lower soil}
    {--- STEP 2 : CONDUCTOR SIZE ---}
    D,H1,H2 : real;
    Gauge : string;
    {D          = Diameter of the conductor
     H1         = Depth of the upper soil
     H2         = Depth of burial of the grid
     Gauge      = Size of the conductor}
    {--- STEP 3 : TOUCH VOLTAGE & STEP VOLTAGE CRITERIOR ---}
    T,C,P,Etouch,Estep : real;
    {T          = Shock and fault duration
     C          = Reduction factor
     P          = Grid proximity
     Etouch     = Touch voltage
     Estep      = Step voltage}
    {--- STEP 4 : INITIAL DESIGN ---}
    Lmin,Lgridx,Lgridy,Leon,Scon : real;
    Nconx,Ncony,N : integer;
    {Lmin       = Minimum length of the conductor
     Lgridx     = Length of the grid on x axis
     Lgridy     = Length of the grid on y axis
     Leon       = Total length of the conductor
     Scon       = Spacing between parallel conductors
     Nconx      = The number of the parallel conductors on x axis
     Ncony      = The number of the parallel conductors on y axis
     N          = The number of meshes}
    {--- STEP 5 : GRID RESISTANCE ---}
    Lmesh,Ltotal,Agid,Rg1,K,Cf,Rg2,Rg : real;
    {Lmesh      = Length of a mesh
     Ltotal     = Total length of the conductor
     Agid       = Area of the grid
     Rg1        = Resistance of the grid in the uniform soil
     K          = Reflection factor
     Cf         = Shape factor
     Rg2        = Correction term due to the second layer soil
     Rg         = Resistance of the grid}
    {--- STEP 6 : GRID CURRENT ---}
    Df,Sf,Ifault,Igrid : real;
    {Df         = Decrement factor
     Sf         = Current division factor
     Ifault     = Fault current
     Igrid      = Grid current}
    {--- STEP 7 : COMPARISON BETWEEN GPR AND Etouch ---}
    GPR : real;
    {GPR        = Grid potential rise}
    {--- STEP 8 : MESH VOLTAGE AND STEP VOLTAGE ---}
    x,Ncon,Ki,Kii,Kh,Km1,Km2,Km,Cm,Em,y,Ks,Cs,Es : real;
    {Ncon       = The number of parallel conductors in one direction
     Ki         = Correction factor which accounts for nonuniform current densities in electrode elements
     Km         = Electrode geometrical factor for mesh voltage
     Cm         = Nonuniformity correction factor for mesh voltage
     Em         = Mesh voltage
     Ks         = Electrode geometrical factor for step voltage
     Cs         = Nonuniformity correction factor for step voltage
     Es         = Step voltage}
procedure Menu;
begin

```

เอกสารนี้ CursorOff; ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 textbackground(0);
 clrscr;
 SetHeadAttr(HighDisplay);

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดลอกหรือแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader("");
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(30,10,50,15);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln('  START  ');
textbackground(0);
writeln('  PATTERN');
writeln('  CHANGE DATA');
write('  EXIT');
Start:=false;
Exit:=false;
No2_1[0]:=2;
No3_1[0]:=5;
No3_2[0]:=3;
No3_3[0]:=2;
No3_4[0]:=3;
No3_5[0]:=3;
No1:=1;
repeat
  textcolor(15);
  repeat
    UpToDn:=false;
    DnToUp:=false;
    Key1:=readkey;
    case Key1 of
      UpKey : begin
        if No1=1 then begin
          UpToDn:=true;
          No1:=4;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,1);
          write('  START  ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,4);
          write('  EXIT  ');
        end;
        if No1=2 then begin
          No1:=1;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,2);
          write('  PATTERN ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,1);
          write('  START  ');
        end;
        if No1=3 then begin
          No1:=2;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,3);
          write('  CHANGE DATA ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,2);
          write('  PATTERN ');
        end;
        if (No1=4) and (UpToDn=false) then begin
          No1:=3;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,4);
          write('  EXIT  ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,3);
          write('  CHANGE DATA ');
        end;
      end;
      DnKey : begin
        if No1=4 then begin
          DnToUp:=true;
          No1:=1;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,4);
          write('  EXIT  ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,1);
          write('  START  ');
        end;
        if No1=3 then begin
          No1:=4;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,3);
          write('  CHANGE DATA ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,4);
          write('  EXIT  ');
        end;
      end;
    end;
  until Key1 in [UpKey, DnKey];
  No1:=No1-1;
  if No1=0 then No1:=5;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
if No1=2 then begin
  No1:=3;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,2);
  write(' PATTERN ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,3);
  write(' CHANGE DATA ');
end;
if (No1=1) and (DnToUp=false) then begin
  No1:=2;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,1);
  write(' START ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,2);
  write(' PATTERN ');
end;
end;
EscKey : begin
  No1:=0;
  Exit:=true;
end
end;
until (Key1=ReturnKey) or (Key1=EscKey);
case No1 of
  1 : Start:=true;
  2 : begin
    SetHeadAttr(HighDisplay);
    SetBoxAttr(HighDisplay);
    SetCharAttr(HighDisplay);
    SetWinAttr(HighDisplay);
    SetWinHeader(' PATTERN ');
    SetBoxStyle(Double);
    WindowOpen(9,7,72,18);
    for h:=0 to 2 do begin
      for i:=2 to 7 do begin
        gotoxy(3+20*h,i);
        write(chr(186));
        gotoxy(20+20*h,i);
        write(chr(186));
      end;
      gotoxy(3+20*h,8);
      write(chr(200));
      for j:=4 to 19 do begin
        gotoxy(j+20*h,8);
        write(chr(205));
      end;
      gotoxy(20+20*h,8);
      write(chr(188));
      for i:=3 to 7 do begin
        if h=0 then
          textcolor(6)
        else begin
          if i<5 then
            textcolor(7)
          else
            textcolor(6);
        end;
        for j:=4 to 19 do begin
          gotoxy(j+20*h,i);
          write(chr(219));
        end;
      end;
      textcolor(14);
      if (h=0) or (h=1) then begin
        textbackground(6);
        gotoxy(9+20*h,5);
      end
      else begin
        textbackground(7);
        gotoxy(49,4);
      end;
      write(chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205));
      textcolor(15);
      textbackground(0);
      gotoxy(7+20*h,9);
      write(' Pattern ',h+1);
    end;
    textcolor(1);
    gotoxy(2,1);
    write(chr(201));
    for i:=3 to 20 do begin
      gotoxy(i,1);
      write(chr(205));
    end;
  end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุให้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(21,1);
write(chr(187));
for i:=2 to 9 do begin
  gotoxy(2,i);
  write(chr(186));
  gotoxy(21,i);
  write(chr(186));
end;
gotoxy(2,10);
write(chr(200));
for i:=3 to 20 do begin
  gotoxy(i,10);
  write(chr(205));
end;
gotoxy(21,10);
write(chr(188));
Counter2_1:=Counter2_1+1;
No2_1[Counter2_1]:=1;
repeat
  LtToRt:=false;
  RtToLt:=false;
  Key2_1:=readkey;
  case Key2_1 of
    LtKey : begin
      if No2_1[Counter2_1]=1 then begin
        LtToRt:=true;
        No2_1[Counter2_1]:=3;
        for h:=0 to 1 do begin
          if h=0 then
            textcolor(0)
          else
            textcolor(1);
            gotoxy(2+40*h,1);
            write(chr(201));
            for i:=3 to 20 do begin
              gotoxy(i+40*h,1);
              write(chr(205));
            end;
            gotoxy(21+40*h,1);
            write(chr(187));
            for i:=2 to 9 do begin
              gotoxy(2+40*h,i);
              write(chr(186));
              gotoxy(21+40*h,i);
              write(chr(186));
            end;
            gotoxy(2+40*h,10);
            write(chr(200));
            for i:=3 to 20 do begin
              gotoxy(i+40*h,10);
              write(chr(205));
            end;
            gotoxy(21+40*h,10);
            write(chr(188));
          end;
        end;
      if No2_1[Counter2_1]=2 then begin
        No2_1[Counter2_1]:=1;
        for h:=0 to 1 do begin
          if h=0 then
            textcolor(0)
          else
            textcolor(1);
            gotoxy(22-20*h,1);
            write(chr(201));
            for i:=23 to 40 do begin
              gotoxy(i-20*h,1);
              write(chr(205));
            end;
            gotoxy(41-20*h,1);
            write(chr(187));
            for i:=2 to 9 do begin
              gotoxy(22-20*h,i);
              write(chr(186));
              gotoxy(41-20*h,i);
              write(chr(186));
            end;
            gotoxy(22-20*h,10);
            write(chr(200));
            for i:=23 to 40 do begin
              gotoxy(i-20*h,10);
              write(chr(205));
            end;
            gotoxy(41-20*h,10);
            write(chr(188));
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า**
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (No2_1[Counter2_1]=3) and (LtToRt=false) then begin
  No2_1[Counter2_1]:=2;
  for h:=0 to 1 do begin
    if h=0 then
      textcolor(0)
    else
      textcolor(1);
    gotoxy(42-20*h,1);
    write(chr(201));
    for i:=43 to 60 do begin
      gotoxy(i-20*h,1);
      write(chr(205));
    end;
    gotoxy(61-20*h,1);
    write(chr(187));
    for i:=2 to 9 do begin
      gotoxy(42-20*h,i);
      write(chr(186));
      gotoxy(61-20*h,i);
      write(chr(186));
    end;
    gotoxy(42-20*h,10);
    write(chr(200));
    for i:=43 to 60 do begin
      gotoxy(i-20*h,10);
      write(chr(205));
    end;
    gotoxy(61-20*h,10);
    write(chr(188));
  end;
end;
RtKey : begin
  if No2_1[Counter2_1]=3 then begin
    RtToLt:=true;
    No2_1[Counter2_1]:=1;
    for h:=0 to 1 do begin
      if h=0 then
        textcolor(0)
      else
        textcolor(1);
      gotoxy(42-40*h,1);
      write(chr(201));
      for i:=43 to 60 do begin
        gotoxy(i-40*h,1);
        write(chr(205));
      end;
      gotoxy(61-40*h,1);
      write(chr(187));
      for i:=2 to 9 do begin
        gotoxy(42-40*h,i);
        write(chr(186));
        gotoxy(61-40*h,i);
        write(chr(186));
      end;
      gotoxy(42-40*h,10);
      write(chr(200));
      for i:=43 to 60 do begin
        gotoxy(i-40*h,10);
        write(chr(205));
      end;
      gotoxy(61-40*h,10);
      write(chr(188));
    end;
  end;
  if No2_1[Counter2_1]=2 then begin
    No2_1[Counter2_1]:=3;
    for h:=0 to 1 do begin
      if h=0 then
        textcolor(0)
      else
        textcolor(1);
      gotoxy(22+20*h,1);
      write(chr(201));
      for i:=23 to 40 do begin
        gotoxy(i+20*h,1);
        write(chr(205));
      end;
      gotoxy(41+20*h,1);
      write(chr(187));
      for i:=2 to 9 do begin
        gotoxy(22+20*h,i);
        write(chr(186));
        gotoxy(41+20*h,i);
        write(chr(186));
      end;
      gotoxy(22+20*h,10);
      write(chr(200));
      for i:=23 to 40 do begin
        gotoxy(i+20*h,10);
        write(chr(205));
      end;
      gotoxy(41+20*h,10);
      write(chr(188));
    end;
  end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

write(chr(200));
for i:=23 to 40 do begin
  gotoxy(i+20*h,10);
  write(chr(205));
end;
gotoxy(41+20*h,10);
write(chr(188));
end;
end;
if (No2_1[Counter2_1]=1) and (RfToLt=false) then begin
  No2_1[Counter2_1]:=2;
  for h:=0 to 1 do begin
    if h=0 then
      textcolor(0)
    else
      textcolor(1);
    gotoxy(2+20*h,1);
    write(chr(201));
    for i:=3 to 20 do begin
      gotoxy(i+20*h,1);
      write(chr(205));
    end;
    gotoxy(21+20*h,1);
    write(chr(187));
    for i:=2 to 9 do begin
      gotoxy(2+20*h,i);
      write(chr(186));
      gotoxy(21+20*h,i);
      write(chr(186));
    end;
    gotoxy(2+20*h,10);
    write(chr(200));
    for i:=3 to 20 do begin
      gotoxy(i+20*h,10);
      write(chr(205));
    end;
    gotoxy(21+20*h,10);
    write(chr(188));
  end;
end;
  EscKey : No2_1[Counter2_1]:=No2_1[Counter2_1-1];
end;
until (Key2_1=ReturnKey) or (Key2_1=EscKey);
WindowClose;
case No2_1[Counter2_1] of
  1 : Pattern:=1;
  2 : Pattern:=2;
  3 : Pattern:=3;
end;
end;
3 : begin
  SetHeadAttr(HighDisplay);
  SetBoxAttr(HighDisplay);
  SetCharAttr(HighDisplay);
  SetWinAttr(HighDisplay);
  SetWinHeader(' CHANGE DATA ');
  SetBoxStyle(Double);
  WindowOpen(29,10,52,16);
  textbackground(1);
  gotoxy(2,1);
  writeln(' ',chr(127),Lminimum );
  textbackground(0);
  writeln(' ',chr(127),Lx or ',chr(127),Ly');
  writeln(' Lx/Ly or Ly/Lx');
  writeln(' D');
  write(' Delay Time');
  No2_2:=1;
  repeat
    repeat
      UpToDn:=false;
      DnToUp:=false;
      Key2_2:=readkey;
      case Key2_2 of
        UpKey : begin
          if No2_2=1 then begin
            UpToDn:=true;
            No2_2:=5;
            textbackground(0);
            gotoxy(2,1);
            write(' ',chr(127),Lminimum );
            textbackground(1);
            gotoxy(2,5);
            write(' Delay Time ');
          end;
          if No2_2=2 then begin
            No2_2:=1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อ...
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา...
 No2_2:=1; อาจต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' ',chr(127),Lx or ',chr(127),Ly ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' ',chr(127),Lminimum ');
end;
if No2_2=3 then begin
No2_2:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write(' Lx/Ly or Ly/Lx ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' ',chr(127),Lx or ',chr(127),Ly ');
end;
if No2_2=4 then begin
No2_2:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write(' D ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write(' Lx/Ly or Ly/Lx ');
end;
if (No2_2=5) and (UpToDn=false) then begin
No2_2:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write(' Delay Time ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write(' D ');
end;
end;
DnKey : begin
if No2_2=5 then begin
DnToUp:=true;
No2_2:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write(' Delay Time ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' ',chr(127),Lminimum ');
end;
if No2_2=4 then begin
No2_2:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write(' D ');
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write(' Delay Time ');
end;
if No2_2=3 then begin
No2_2:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write(' Lx/Ly or Ly/Lx ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write(' D ');
end;
if No2_2=2 then begin
No2_2:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' ',chr(127),Lx or ',chr(127),Ly ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write(' Lx/Ly or Ly/Lx ');
end;
if (No2_2=1) and (DnToUp=false) then begin
No2_2:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' ',chr(127),Lminimum ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' ',chr(127),Lx or ',chr(127),Ly ');
end;
end;
EscKey : No2_2:=0;
end;
until (Key2_2=ReturnKey) or (Key2_2=EscKey);
case No2_2 of

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ EscKey : No2_2:=0; เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้า until (Key2_2=ReturnKey) or (Key2_2=EscKey);
 ่เนือที่และดยังย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 : begin
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader("");
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(31,12,50,20);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln('      10 m      ');
textbackground(0);
writeln('      50 m');
writeln('     100 m');
writeln('     500 m');
writeln('    1000 m');
writeln('   5000 m');
write(' 10000 m');
Counter3_1:=Counter3_1+1;
No3_1[Counter3_1]:=1;
repeat
UpToDn:=false;
DnToUp:=false;
Key3_1:=readkey;
case Key3_1 of
UpKey : begin
if No3_1[Counter3_1]=1 then begin
UpToDn:=true;
No3_1[Counter3_1]:=7;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write('      10 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,7);
write('   10000 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=2 then begin
No3_1[Counter3_1]:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write('      50 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write('      10 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=3 then begin
No3_1[Counter3_1]:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write('     100 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write('      50 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=4 then begin
No3_1[Counter3_1]:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write('     500 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write('     100 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=5 then begin
No3_1[Counter3_1]:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write('    1000 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write('     500 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=6 then begin
No3_1[Counter3_1]:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,6);
write('   5000 m      ');
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write('    1000 m      ');
end;
if No3_1[Counter3_1]=7 and (UpToDn=false) then
No3_1[Counter3_1]:=6;
textbackground(0);
gotoxy(2,7);
write('   10000 m      ');

```

begin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อ

```

        textbackground(1);
        gotoxy(2,6);
        write(' 5000 m ');
    end;
end;
DnKey : begin
    if No3_1[Counter3_1]=7 then begin
        DnToUp:=true;
        No3_1[Counter3_1]:=1;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,7);
        write(' 10000 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,1);
        write(' 10 m ');
    end;
    if No3_1[Counter3_1]=6 then begin
        No3_1[Counter3_1]:=7;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,6);
        write(' 5000 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,7);
        write(' 10000 m ');
    end;
    if No3_1[Counter3_1]=5 then begin
        No3_1[Counter3_1]:=6;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,5);
        write(' 1000 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,6);
        write(' 5000 m ');
    end;
    if No3_1[Counter3_1]=4 then begin
        No3_1[Counter3_1]:=5;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,4);
        write(' 500 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,5);
        write(' 1000 m ');
    end;
    if No3_1[Counter3_1]=3 then begin
        No3_1[Counter3_1]:=4;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,3);
        write(' 100 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,4);
        write(' 500 m ');
    end;
    if No3_1[Counter3_1]=2 then begin
        No3_1[Counter3_1]:=3;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,2);
        write(' 50 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,3);
        write(' 100 m ');
    end;
    if (No3_1[Counter3_1]=1) and (DnToUp=false) then
        No3_1[Counter3_1]:=2;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,1);
        write(' 10 m ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,2);
        write(' 50 m ');
    end;
end;
EscKey : No3_1[Counter3_1]:=No3_1[Counter3_1-1];
end;
until (Key3_1=ReturnKey) or (Key3_1=EscKey);
WindowClose;
case No3_1[Counter3_1] of
    1 : DeltaLmin:=10;
    2 : DeltaLmin:=50;
    3 : DeltaLmin:=100;
    4 : DeltaLmin:=500;
    5 : DeltaLmin:=1000;
    6 : DeltaLmin:=5000;
    7 : DeltaLmin:=10000;
end;
end;
2 : begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader("");
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(31,13,50,19);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln('      1 m      ');
textbackground(0);
writeln('      5 m      ');
writeln('     10 m      ');
writeln('     50 m      ');
write('    100 m      ');
Counter3_2:=Counter3_2+1;
No3_2[Counter3_2]:=1;
repeat
  UpToDn:=false;
  DnToUp:=false;
  Key3_2:=readkey;
  case Key3_2 of
    UpKey : begin
      if No3_2[Counter3_2]=1 then begin
        UpToDn:=true;
        No3_2[Counter3_2]:=5;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,1);
        write('      1 m      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,5);
        write('    100 m      ');
        end;
      if No3_2[Counter3_2]=2 then begin
        No3_2[Counter3_2]:=1;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,2);
        write('      5 m      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,1);
        write('     10 m      ');
        end;
      if No3_2[Counter3_2]=3 then begin
        No3_2[Counter3_2]:=2;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,3);
        write('     10 m      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,2);
        write('      5 m      ');
        end;
      if No3_2[Counter3_2]=4 then begin
        No3_2[Counter3_2]:=3;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,4);
        write('     50 m      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,3);
        write('     10 m      ');
        end;
      if (No3_2[Counter3_2]=5) and (UpToDn=false) then
        begin
          No3_2[Counter3_2]:=4;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,5);
          write('    100 m      ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,4);
          write('     50 m      ');
          end;
        end;
      DnKey : begin
        if No3_2[Counter3_2]=5 then begin
          DnToUp:=true;
          No3_2[Counter3_2]:=1;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,5);
          write('    100 m      ');
          textbackground(1);
          gotoxy(2,1);
          write('      1 m      ');
          end;
        if No3_2[Counter3_2]=4 then begin
          No3_2[Counter3_2]:=5;
          textbackground(0);
          gotoxy(2,4);
          write('     50 m      ');
          end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องสงวนลิขสิทธิ์ไว้เสมอ

begin

```
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write( 2 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=3 then begin
No3_3[Counter3_3]:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write( 6 );
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write( 4 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=4 then begin
No3_3[Counter3_3]:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write( 8 );
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write( 6 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=5 then begin
No3_3[Counter3_3]:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write( 10 );
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write( 8 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=6 then begin
No3_3[Counter3_3]:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,6);
write( 12 );
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write( 10 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=7 then begin
No3_3[Counter3_3]:=6;
textbackground(0);
gotoxy(2,7);
write( 14 );
textbackground(1);
gotoxy(2,6);
write( 12 );
end;
if (No3_3[Counter3_3]=8) and (UpToDn=false) then
No3_3[Counter3_3]:=7;
textbackground(0);
gotoxy(2,8);
write( 16 );
textbackground(1);
gotoxy(2,7);
write( 14 );
end;
DnKey : begin
if No3_3[Counter3_3]=8 then begin
DnToUp:=true;
No3_3[Counter3_3]:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,8);
write( 16 );
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write( 2 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=7 then begin
No3_3[Counter3_3]:=8;
textbackground(0);
gotoxy(2,7);
write( 14 );
textbackground(1);
gotoxy(2,8);
write( 16 );
end;
if No3_3[Counter3_3]=6 then begin
No3_3[Counter3_3]:=7;
textbackground(0);
gotoxy(2,6);
write( 12 );
textbackground(1);
gotoxy(2,7);
write( 14 );
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและเพื่อการพัฒนาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

begin

```
write(' 14 ');
end;
if No3_3[Counter3_3]=5 then begin
No3_3[Counter3_3]:=6;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write(' 10 ');
textbackground(1);
gotoxy(2,6);
write(' 12 ');
end;
if No3_3[Counter3_3]=4 then begin
No3_3[Counter3_3]:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write(' 8 ');
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write(' 10 ');
end;
if No3_3[Counter3_3]=3 then begin
No3_3[Counter3_3]:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write(' 6 ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write(' 8 ');
end;
if No3_3[Counter3_3]=2 then begin
No3_3[Counter3_3]:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' 4 ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write(' 6 ');
end;
if (No3_3[Counter3_3]=1) and (DnToUp=false) then
No3_3[Counter3_3]:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' 2 ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' 4 ');
end;
end;
EscKey : No3_3[Counter3_3]:=No3_3[Counter3_3-1];
end;
until (Key3_3=ReturnKey) or (Key3_3=EscKey);
WindowClose;
case No3_3[Counter3_3] of
1 : Ratio:=2;
2 : Ratio:=4;
3 : Ratio:=6;
4 : Ratio:=8;
5 : Ratio:=10;
6 : Ratio:=12;
7 : Ratio:=14;
8 : Ratio:=16;
end;
end;
4 : begin
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader('');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(31,15,50,20);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln(' 5 ');
textbackground(0);
writeln(' 10');
writeln(' 15');
write(' 20');
Counter3_4:=Counter3_4+1;
No3_4[Counter3_4]:=1;
repeat
UpToDn:=false;
DnToUp:=false;
Key3_4:=readkey;
case Key3_4 of
UpKey : begin
DnToUp:=true;
UpToDn:=false;
end;
DownKey : begin
DnToUp:=false;
UpToDn:=true;
end;
end;
until (Key3_4=ReturnKey) or (Key3_4=EscKey);
WindowClose;
end;
end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

begin

```
if No3_4[Counter3_4]=1 then begin
  UpToDn:=true;
  No3_4[Counter3_4]:=4;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,1);
  write('      5      ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,4);
  write('      20     ');
end;
if No3_4[Counter3_4]=2 then begin
  No3_4[Counter3_4]:=1;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,2);
  write('      10      ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,1);
  write('      5       ');
end;
if No3_4[Counter3_4]=3 then begin
  No3_4[Counter3_4]:=2;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,3);
  write('      15      ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,2);
  write('      10     ');
end;
if (No3_4[Counter3_4]=4) and (UpToDn=false) then
  No3_4[Counter3_4]:=3;
  textbackground(0);
  gotoxy(2,4);
  write('      20     ');
  textbackground(1);
  gotoxy(2,3);
  write('      15     ');
end;
DnKey : begin
  if No3_4[Counter3_4]=4 then begin
    DnToUp:=true;
    No3_4[Counter3_4]:=1;
    textbackground(0);
    gotoxy(2,4);
    write('      20     ');
    textbackground(1);
    gotoxy(2,1);
    write('      5       ');
  end;
  if No3_4[Counter3_4]=3 then begin
    No3_4[Counter3_4]:=4;
    textbackground(0);
    gotoxy(2,3);
    write('      15     ');
    textbackground(1);
    gotoxy(2,4);
    write('      20     ');
  end;
  if No3_4[Counter3_4]=2 then begin
    No3_4[Counter3_4]:=3;
    textbackground(0);
    gotoxy(2,2);
    write('      10     ');
    textbackground(1);
    gotoxy(2,3);
    write('      15     ');
  end;
  if (No3_4[Counter3_4]=1) and (DnToUp=false) then
    No3_4[Counter3_4]:=2;
    textbackground(0);
    gotoxy(2,1);
    write('      5       ');
    textbackground(1);
    gotoxy(2,2);
    write('      10     ');
  end;
end;
```

begin

```
EscKey : No3_4[Counter3_4]:=No3_4[Counter3_4-1];
end;
until (Key3_4=ReturnKey) or (Key3_4=EscKey);
WindowClose;
```

```
case No3_4[Counter3_4] of
```

- 1 : Smax:=5;
- 2 : Smax:=10;
- 3 : Smax:=15;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง

อย่างไร้ความยินยอมของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

4 : Smax:=20;
end;
end;
5 : begin
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader("");
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(31,16,50,22);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln(' 0 S ');
textbackground(0);
writeln(' 500 S');
writeln(' 1000 S');
writeln(' 5000 S');
write(' 10000 S');
Counter3_5:=Counter3_5+1;
No3_5[Counter3_5]:=1;
repeat
UpToDn:=false;
DnToUp:=false;
Key3_5:=readkey;
case Key3_5 of
UpKey : begin
if No3_5[Counter3_5]=1 then begin
UpToDn:=true;
No3_5[Counter3_5]:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' 0 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write(' 10000 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=2 then begin
No3_5[Counter3_5]:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' 500 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' 0 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=3 then begin
No3_5[Counter3_5]:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write(' 1000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' 500 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=4 then begin
No3_5[Counter3_5]:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write(' 5000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write(' 1000 S ');
end;
if (No3_5[Counter3_5]=5) and (UpToDn=false) then
begin
No3_5[Counter3_5]:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write(' 10000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write(' 5000 S ');
end;
end;
DnKey : begin
if No3_5[Counter3_5]=5 then begin
DnToUp:=true;
No3_5[Counter3_5]:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,5);
write(' 10000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' 0 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=4 then begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อให้มีการนำไปใช้

begin

```
No3_5[Counter3_5]:=5;
textbackground(0);
gotoxy(2,4);
write(' 5000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,5);
write(' 10000 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=3 then begin
No3_5[Counter3_5]:=4;
textbackground(0);
gotoxy(2,3);
write(' 1000 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,4);
write(' 5000 S ');
end;
if No3_5[Counter3_5]=2 then begin
No3_5[Counter3_5]:=3;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' 500 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,3);
write(' 1000 S ');
end;
if (No3_5[Counter3_5]=1) and (DnToUp=false) then
No3_5[Counter3_5]:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' 0 S ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' 500 S ');
end;
end;
EscKey : No3_5[Counter3_5]:=No3_5[Counter3_5-1];
end;
until (Key3_5=ReturnKey) or (Key3_5=EscKey);
WindowClose;
case No3_5[Counter3_5] of
1 : Td:=0;
2 : Td:=500;
3 : Td:=1000;
4 : Td:=5000;
5 : Td:=10000;
end;
end;
end;
until Key2_2=EscKey;
WindowClose;
end;
4 : begin
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader("");
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(32,15,48,18);
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
writeln(' YES ');
textbackground(0);
write(' NO');
No2_3:=1;
repeat
UpToDn:=false;
DnToUp:=false;
Key2_3:=readkey;
case Key2_3 of
UpKey : begin
if No2_3=1 then begin
UpToDn:=true;
No2_3:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' YES ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' NO ');
end;
if (No2_3=2) and (UpToDn=false) then begin
No2_3:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ ที่เห็นหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเอกสารนี้อีกอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

write(' NO ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' YES ');
end;
end;
DnKey : begin
if No2_3=2 then begin
DnToUp:=true;
No2_3:=1;
textbackground(0);
gotoxy(2,2);
write(' NO ');
textbackground(1);
gotoxy(2,1);
write(' YES ');
end;
if (No2_3=1) and (DnToUp=false) then begin
No2_3:=2;
textbackground(0);
gotoxy(2,1);
write(' YES ');
textbackground(1);
gotoxy(2,2);
write(' NO ');
end;
end;
EscKey : No2_3:=2;
end;
until (Key2_3=ReturnKey) or (Key2_3=EscKey);
WindowClose;
case No2_3 of
1 : Exit:=true;
2 : Exit:=false;
end;
end;
until (Start=true) or (Exit=true);
WindowClose;
end;
procedure Step1;
begin
{--- ROW OF BORDER ---}
CursorOn;
textcolor(1);
for i:=0 to 2 do begin
for j:=3 to 78 do begin
if (i=0) or (i=1) then
gotoxy(j,7*i+1)
else
gotoxy(j,24);
write(chr(219));
end;
end;
{--- COLUMN OF BORDER ---}
for i:=1 to 24 do begin
for j:=0 to 1 do begin
gotoxy(78*i+1,i);
write(chr(219),chr(219));
end;
if (i>8) and (i<24) then begin
gotoxy(40,i);
write(chr(219),chr(219));
end;
end;
textcolor(14);
textbackground(1);
gotoxy(27,1);
write('THE DESIGN OF GROUNDING GRID');
gotoxy(16,24);
write('FRONT VIEW');
gotoxy(57,24);
write('TOP VIEW');
{--- FRONT VIEW OF TANK ---}
textcolor(15);
textbackground(0);
for i:=10 to 23 do begin
gotoxy(4,i);
write(chr(186));
gotoxy(38,i);
write(chr(186));
end;
gotoxy(4,23);
write(chr(200));
for j:=5 to 37 do begin
gotoxy(j,23);
write(chr(205));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต

```

end;
gotoxy(38,23);
write(chr(188));
for i:=11 to 22 do begin
  if Pattern=1 then
    textcolor(6);
  if Pattern=2 then begin
    if i<14 then begin
      textcolor(7);
    end
    else
      textcolor(6);
    end;
  if Pattern=3 then begin
    if i<16 then
      textcolor(7)
    else
      textcolor(6);
    end;
  for j:=5 to 37 do begin
    gotoxy(j,i);
    write(chr(219));
  end;
end;
textcolor(15);
if Pattern=1 then begin
  textbackground(6);
  gotoxy(6,11);
  write('Soil');
end
else begin
  textbackground(7);
  gotoxy(6,11);
  write('Upper Soil');
  textbackground(6);
  if Pattern=2 then
    gotoxy(6,14)
  else
    gotoxy(6,16);
  write('Lower Soil');
end;
{--- TOP VIEW OF TANK ---}
textcolor(15);
textbackground(0);
gotoxy(43,9);
write(chr(201));
for j:=44 to 76 do begin
  gotoxy(j,9);
  write(chr(205));
end;
gotoxy(77,9);
write(chr(187));
for i:=10 to 22 do begin
  gotoxy(43,i);
  write(chr(186));
  gotoxy(77,i);
  write(chr(186));
end;
gotoxy(43,23);
write(chr(200));
for j:=44 to 76 do begin
  gotoxy(j,23);
  write(chr(205));
end;
gotoxy(77,23);
write(chr(188));
if (Pattern=1) or (Pattern=2) then
  textcolor(6)
else
  textcolor(7);
for i:=10 to 22 do begin
  for j:=44 to 76 do begin
    gotoxy(j,i);
    write(chr(219));
  end;
end;
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader(' INPUT DATA ');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(4,2,77,7);
if Pattern=1 then
  write(' Area of Substation = x m',chr(253));
else
  write(' Area of Substation = x m',chr(253));

```



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของราชการในทางเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีผู้ประสงค์จะนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด
 ไม่เว้นกรณีใด ๆ ที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้

```

textcolor(14);
repeat
  if Pattern=1 then
    gotoxy(28,1)
  else
    gotoxy(34,1);
  read(Lsubx);
  if Lsubx<=0 then begin
    if Pattern=1 then
      gotoxy(28,1)
    else
      gotoxy(34,1);
      write(' ');
      write(#07);
    end;
  until Lsubx>0;
repeat
  if Pattern=1 then
    gotoxy(37,1)
  else
    gotoxy(43,1);
  read(Lsuby);
  if Lsuby<=0 then begin
    if Pattern=1 then
      gotoxy(37,1)
    else
      gotoxy(43,1);
      write(' ');
      write(#07);
    end;
  until Lsuby>0;
textcolor(15);
if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
  write(' Resistivity of the Upper Soil = ',chr(234),'-m');
  textcolor(14);
  repeat
    gotoxy(34,2);
    read(P1);
    if P1<=0 then begin
      gotoxy(34,2);
      write(' ');
      write(#07);
    end;
  until P1>0;
end;
textcolor(15);
if Pattern=1 then
  write(' Resistivity of the Soil = ',chr(234),'-m')
else
  write(' Resistivity of the Lower soil = ',chr(234),'-m');
textcolor(14);
repeat
  if Pattern=1 then
    gotoxy(28,2)
  else
    gotoxy(34,3);
  read(P2);
  if ((Pattern=1) and (P2<=0)) or (((Pattern=2) or (Pattern=3)) and ((P2<=0) or (P2=P1))) then begin
    if Pattern=1 then
      gotoxy(28,2)
    else
      gotoxy(34,3);
      write(' ');
      write(#07);
    end;
  until ((Pattern=1) and (P2>0)) or (((Pattern=2) or (Pattern=3)) and ((P2>0) and (P2<>P1)));
  if Pattern=1 then
    P1:=P2;
  WindowClose;
  D:=9.266;
  Gauge:=2/0 A.W.G.';
  if (Pattern=1) or (Pattern=3) then begin
    if Pattern=1 then
      H1:=0
    else
      H1:=2;
      H2:=0.25;
    end;
  if Pattern=2 then begin
    H1:=0.1;
    H2:=0.5;
  end;
end;
procedure Step2;
begin
  CursorOff;
  SetHeadAttr(HighDisplay);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากต้องการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader(' CONDUCTOR SIZE ');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(4,2,77,7);
writeln(' Diameter of the Conductor =      mm');
write(' Gauge          = ');
textcolor(14);
gotoxy(30,1);
write(D:6:3);
gotoxy(30,2);
write(Gauge);
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step3;
begin
  CursorOff;
  SetHeadAttr(HighDisplay);
  SetBoxAttr(HighDisplay);
  SetCharAttr(HighDisplay);
  SetWinAttr(HighDisplay);
  SetWinHeader(' TOUCH VOLTAGE & STEP VOLTAGE CRITERIOR ');
  SetBoxStyle(Double);
  WindowOpen(4,2,77,7);
  writeln(' Touch Voltage =      V');
  write(' Step Voltage =      V');
  if Counter=1 then begin
    SetHeadAttr(HighDisplay);
    SetBoxAttr(HighDisplay);
    SetCharAttr(HighDisplay);
    SetWinAttr(HighDisplay);
    SetWinHeader(' SHOCK AND FAULT DURATION ');
    SetBoxStyle(Double);
    WindowOpen(39,3,76,10);
    writeln('      Seconds      Cycles(50Hz)');
    writeln(' -----');
    textbackground(1);
    gotoxy(2,3);
    writeln(' 0.01      ',chr(171),'      ');
    textbackground(0);
    writeln(' 0.12      6      ');
    writeln(' 0.3      15      ');
    write(' 0.7 or more 35 or more');
    No:=1;
    repeat
      UpToDn:=false;
      DnToUp:=false;
      Key:=readkey;
      case Key of
        UpKey : begin
          if No=1 then begin
            UpToDn:=true;
            No:=4;
            textbackground(0);
            gotoxy(2,3);
            write(' 0.01      ',chr(171),'      ');
            textbackground(1);
            gotoxy(2,6);
            write(' 0.7 or more 35 or more      ');
          end;
          if No=2 then begin
            No:=1;
            textbackground(0);
            gotoxy(2,4);
            write(' 0.12      6      ');
            textbackground(1);
            gotoxy(2,3);
            write(' 0.01      ',chr(171),'      ');
          end;
          if No=3 then begin
            No:=2;
            textbackground(0);
            gotoxy(2,5);
            write(' 0.3      15      ');
            textbackground(1);
            gotoxy(2,4);
            write(' 0.12      6      ');
          end;
          if (No=4) and (UpToDn=false) then begin
            No:=3;
            textbackground(0);
            gotoxy(2,6);
            write(' 0.7 or more 35 or more      ');
            textbackground(1);
            gotoxy(2,5);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิเผยแพร่หรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        write(' 0.3      15      ');
    end;
end;
DnKey : begin
    if No=4 then begin
        DnToUp:=true;
        No:=1;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,6);
        write(' 0.7 or more 35 or more ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,3);
        write(' 0.01      ',chr(171),' ');
    end;
    if No=3 then begin
        No:=4;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,5);
        write(' 0.3      15      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,6);
        write(' 0.7 or more 35 or more ');
    end;
    if No=2 then begin
        No:=3;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,4);
        write(' 0.12      6      ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,5);
        write(' 0.3      15      ');
    end;
    if (No=1) and (DnToUp=false) then begin
        No:=2;
        textbackground(0);
        gotoxy(2,3);
        write(' 0.01      ',chr(171),' ');
        textbackground(1);
        gotoxy(2,4);
        write(' 0.12      6      ');
    end;
end;
end;
until Key=ReturnKey;
case No of
1 : begin
    T:=0.1;
    Df:=1.39;
end;
2 : begin
    T:=0.12;
    Df:=1.2;
end;
3 : begin
    T:=0.3;
    Df:=1.1;
end;
4 : begin
    CursorOn;
    SetHeadAttr(HighDisplay);
    SetBoxAttr(HighDisplay);
    SetCharAttr(HighDisplay);
    SetWinAttr(HighDisplay);
    SetWinHeader("");
    SetBoxStyle(Double);
    WindowOpen(41,10,74,12);
    repeat
        textcolor(15);
        write(' T =      S (0.7 ',chr(243),' T ',chr(243),' 1 S)');
        textcolor(14);
        gotoxy(6,1);
        read(T);
        if (T<0.7) or (T>1) then
            write(#07);
        until (T>=0.7) and (T<=1);
        WindowClose;
        CursorOff;
        Df:=1;
    end;
end;
WindowClose;
end;
C:=1-0.106*(1-P2/P1)/(2*H1+0.106);
if (Pattern=1) or (Pattern=2) then
    P:=1+0.1378/H2
else
    P:=1;

```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Scon:=Lgridx/(Ncony-1);
Lcon:=Nconx*Lgridx+Ncony*Lgridy;
until (Lcon>=Lmin) or (N>576) or (Scon<=2.5);
{--- Size of the grid is expanded to only one direction ---}
if (Lcon<Lmin) or (N>576) or (Scon<=2.5) or (Scon>Smax) then begin
  if Lsubx<=Lsuby then begin
    Lgridx:=Lsubx;
    Ncony:=1;
    repeat
      Ncony:=Ncony+1;
      Nconx:=Ncony;
      repeat
        Nconx:=Nconx+1;
        N:=(Nconx-1)*(Ncony-1);
        Scon:=Lgridx/(Ncony-1);
        Lgridy:=Scon*(Nconx-1);
        Lcon:=Nconx*Lgridx+Ncony*Lgridy;
      until ((Lcon>=Lmin) and (N<=576) and (Scon>2.5) and (Scon<=Smax)) or (Lgridy/Lgridx>
Ratio);
    until (Ncony>=24) or (Scon<=2.5) or (Lgridy/Lgridx<=Ratio);
  end
  else begin
    Lgridy:=Lsuby;
    Nconx:=1;
    repeat
      Nconx:=Nconx+1;
      Ncony:=Nconx;
      repeat
        Ncony:=Ncony+1;
        N:=(Nconx-1)*(Ncony-1);
        Scon:=Lgridy/(Nconx-1);
        Lgridx:=Scon*(Ncony-1);
        Lcon:=Nconx*Lgridx+Ncony*Lgridy;
      until ((Lcon>=Lmin) and (N<=576) and (Scon>2.5) and (Scon<=Smax)) or (Lgridx/Lgridy>
Ratio);
    until (Nconx>=24) or (Scon<=2.5) or (Lgridx/Lgridy<=Ratio);
  end;
end;
{--- Size of the grid is expanded to both directions ---}
if (Lcon<Lmin) or (N>576) or (Scon<=2.5) or (Scon>Smax) then begin
  if Lsubx<=Lsuby then begin
    Lgridx:=Lsubx;
    repeat
      Lgridx:=Lgridx+DeltaLgrid;
      Ncony:=1;
      repeat
        Ncony:=Ncony+1;
        Nconx:=Ncony-1;
        repeat
          Nconx:=Nconx+1;
          N:=(Nconx-1)*(Ncony-1);
          Scon:=Lgridx/(Ncony-1);
          Lgridy:=Scon*(Nconx-1);
          Lcon:=Nconx*Lgridx+Ncony*Lgridy;
        until ((Lcon>=Lmin) and (N<=576) and (Scon>2.5) and (Scon<=Smax)) or (Lgridy/Lgridx>
Ratio);
      until (Ncony>=25) or (Scon<=2.5) or (Lgridy/Lgridx<=Ratio);
    until (Ncony<25) and (Scon>2.5);
  end
  else begin
    Lgridy:=Lsuby;
    repeat
      Lgridy:=Lgridy+DeltaLgrid;
      Nconx:=1;
      repeat
        Nconx:=Nconx+1;
        Ncony:=Nconx-1;
        repeat
          Ncony:=Ncony+1;
          N:=(Nconx-1)*(Ncony-1);
          Scon:=Lgridy/(Nconx-1);
          Lgridx:=Scon*(Ncony-1);
          Lcon:=Nconx*Lgridx+Ncony*Lgridy;
        until ((Lcon>=Lmin) and (N<=576) and (Scon>2.5) and (Scon<=Smax)) or
(Lgridx/Lgridy>Ratio);
      until (Nconx>=25) or (Scon<=2.5) or (Lgridx/Lgridy<=Ratio);
    until (Nconx<25) or (Scon>2.5);
  end;
end;
textcolor(14);
gotoxy(35,1);
write(Lgridx:6:2);
gotoxy(35,2);
write(Lgridy:6:2);
gotoxy(35,3);
write((Ncony-1):3);
gotoxy(35,4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการเรียนการสอนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

```

write((Nconx-1):3);
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step5;
begin
CursorOff;
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader(' GRID RESISTANCE ');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(4,2,77,7);
Lmesh:=(Lgridx-D/1000*Ncony)/(Ncony-1);
Ltotal:=2*Lmesh*(N+sqrt(N));
Agrid:=Lgridx*Lgridy;
if (Pattern=1) or (Pattern=2) then begin
Rg1:=(P2/4*sqrt(pi/Agrid)+P1/(2*pi*Ltotal)*ln(165*Lmesh/(e*D)))*(1-2.256*(H2-H1)/sqrt(Agrid));
Rg2:=0;
end
else begin
Rg1:=(P1/4*sqrt(pi/Agrid)+P1/(2*pi*Ltotal)*ln(165*Lmesh/(e*D)))*(1-2.256*H2/sqrt(Agrid));
K:=(P2-P1)/(P2+P1);
if Lgridx=Lgridy then
Cf:=0.9
else
Cf:=0.93;
Rg2:=P1*ln(1-K)/(2*pi*(H1+Cf*sqrt(Agrid/(2*pi)))*ln(1-K)*(K-1)/(2*K));
end;
Rg:=Rg1-Rg2;
write(' Grid Resistance = ',chr(234));
textcolor(14);
gotoxy(20,1);
write(Rg:6:3);
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step6;
begin
CursorOff;
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader(' GRID CURRENT ');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(4,2,77,7);
write(' Grid Current = A');
textcolor(14);
gotoxy(17,1);
write(Igrid:8:2);
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step7;
begin
CursorOff;
SetHeadAttr(HighDisplay);
SetBoxAttr(HighDisplay);
SetCharAttr(HighDisplay);
SetWinAttr(HighDisplay);
SetWinHeader(' CHECK GPR ');
SetBoxStyle(Double);
WindowOpen(4,2,77,7);
GPR:=Igrid*Rg;
writeln(' GPR Etouch');
writeln(' -----');
if GPR<Etouch then begin
write(' < ',Etouch:8:2,' V');
textcolor(10);
gotoxy(4,3);
write(GPR:8:2);
end
else begin
if GPR=Etouch then
write(' = ',Etouch:8:2,' V')
else
write(' > ',Etouch:8:2,' V');
textcolor(4);
gotoxy(4,3);
write(GPR:8:2);
end;
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step8;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  CursorOff;
  SetHeadAttr(HighDisplay);
  SetBoxAttr(HighDisplay);
  SetCharAttr(HighDisplay);
  SetWinAttr(HighDisplay);
  SetWinHeader(' MESH VOLTAGE & STEP VOLTAGE ');
  SetBoxStyle(Double);
  WindowOpen(4,2,77,7);
  Ncon:=sqrt(Nconx*Ncony);
  Ki:=0.656+0.172*Ncon;
  Kii:=1/exp(2/Ncon*ln(2*Ncon));
  if (Pattern=1) or (Pattern=2) then begin
    Kh:=sqrt(1+(H2-H1));
    Km1:=1/(2*pi)*ln(1000*sqrt(Scon)/(16*(H2-H1)*D)+1000*sqrt(Scon+2*(H2-H1))/(8*Scon*D)-1000*(H2-H1)/(4*D));
  end
  else begin
    Kh:=sqrt(1+H2);
    Km1:=1/(2*pi)*ln(1000*sqrt(Scon)/(16*H2*D)+1000*sqrt(Scon+2*H2)/(8*Scon*D)-1000*H2/(4*D));
    if H1<sqrt(Agrid) then
      x:=-0.075*exp(2*ln(ln(sqrt(Agrid)/H1)/ln(10)))
    else
      x:=0;
    Cm:=exp(x*ln(P2/P1));
  end;
  Km2:=Kii/(2*pi*Kh)*ln(8/(pi*(2*Ncon-1)));
  Km:=Km1+Km2;
  if (Pattern=1) or (Pattern=2) then
    Em:=P2*Km*Ki*Igrid/Ltotal
  else
    Em:=Cm*P1*Km*Ki*Igrid/Ltotal;
  if Nconx>=Ncony then
    Ncon:=Nconx
  else
    Ncon:=Ncony;
  Ki:=0.656+0.172*Ncon;
  if (Pattern=1) or (Pattern=2) then
    Ks:=1/pi*(1/(2*(H2-H1))+1/(Scon+H2-H1)+(1-exp((Ncon-2)*ln(0.5)))/Scon)
  else begin
    Ks:=1/pi*(1/(2*H2)+1/(Scon+H2)+(1-exp((Ncon-2)*ln(0.5)))/Scon);
    if H1<sqrt(Agrid) then
      y:=exp(1/3*ln(2*H2/H1))*(0.3*ln(Ltotal/sqrt(Agrid))/ln(10)+0.1)
    else
      y:=0;
    Cs:=exp(y*ln(P2/P1));
  end;
  if (Pattern=1) or (Pattern=2) then
    Es:=P2*Ki*Ks*Igrid/Ltotal
  else
    Es:=Cs*P1*Ki*Ks*Igrid/Ltotal;
  writeln(' Mesh Voltage = ',V);
  write(' Step Voltage = ',V);
  textcolor(14);
  gotoxy(17,1);
  write(Em:8:2);
  gotoxy(17,2);
  write(Es:8:2);
  delay(Td);
  WindowClose;
end;
procedure Step9;
begin
  CursorOff;
  SetHeadAttr(HighDisplay);
  SetBoxAttr(HighDisplay);
  SetCharAttr(HighDisplay);
  SetWinAttr(HighDisplay);
  SetWinHeader(' CHECK MESH VOLTAGE ');
  SetBoxStyle(Double);
  WindowOpen(4,2,77,7);
  writeln('      Em      Etouch');
  writeln(' -----');
  if Em<Etouch then begin
    write('      < ',Etouch:8:2,' V');
    textcolor(10);
    gotoxy(4,3);
    write(Em:8:2);
  end
  else begin
    if Em=Etouch then
      write('      = ',Etouch:8:2,' V')
    else
      write('      > ',Etouch:8:2,' V');
    textcolor(4);
    gotoxy(4,3);
    write(Em:8:2);
  end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
delay(Td);
WindowClose;
end;
procedure Step10;
begin
  CursorOff;
  SetHeadAttr(HighDisplay);
  SetBoxAttr(HighDisplay);
  SetCharAttr(HighDisplay);
  SetWinAttr(HighDisplay);
  SetWinHeader(' CHECK STEP VOLTAGE ');
  SetBoxStyle(Double);
  WindowOpen(4,2,77,7);
  writeln('      Es      Estep');
  writeln('-----');
  if Es<Estep then begin
    write('      <  ',Estep:8:2,' V');
    textcolor(10);
    gotoxy(4,3);
    write(Es:8:2);
  end
  else begin
    if Es=Estep then
      write('      =  ',Estep:8:2,' V')
    else
      write('      >  ',Estep:8:2,' V');
    textcolor(4);
    gotoxy(4,3);
    write(Es:8:2);
  end;
  delay(Td);
  WindowClose;
end;
procedure Step11;
begin
  {--- FRONT VIEW OF TANK ---}
  CursorOff;
  textcolor(14);
  if Lgridx<=Lgridy then begin
    if (Pattern=1) or (Pattern=2) then begin
      textbackground(6);
      if Pattern=1 then
        gotoxy(14,16)
      else
        gotoxy(14,18);
    end
    else begin
      textbackground(7);
      gotoxy(14,14);
    end;
    end;
    write(' ',chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(207),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),' ',chr
(18),' ');
    end
    else begin
      if (Pattern=1) or (Pattern=2) then begin
        textbackground(6);
        if Pattern=1 then
          gotoxy(14,16)
        else
          gotoxy(14,18);
        end
        else begin
          textbackground(7);
          gotoxy(14,14);
        end;
        end;
        write(chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(207));
        write(chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),chr(205),' ',chr(18));
      end;
      if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
        for i:=11 to 15 do begin
          gotoxy(32,i);
          if Pattern=2 then begin
            textbackground(7);
            if (i=11) or (i=13) then
              write(chr(179));
            end
            else begin
              if (i<13) or (i>13) then
                write(chr(179));
            end;
          end;
        end;
        end;
        for i:=11 to 17 do begin
          gotoxy(20,i);
          if Pattern=1 then begin
            if (i<13) or ((i>13) and (i<16)) then
              write(chr(179));
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ หากท่านต้องการข้อมูลเพิ่มเติมหรือต้องการแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        write(chr(179));
    end;
    if Pattern=2 then begin
        if (i<14) or (i>14) then begin
            if i>14 then
                textbackground(6);
            write(chr(179));
        end;
    end;
    if Pattern=3 then begin
        if (i=11) or (i=13) then
            write(chr(179));
    end;
end;
textcolor(15);
if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
    if Pattern=2 then
        textbackground(7);
        gotoxy(6,11);
        write('Resistivity1');
        gotoxy(6,12);
        write('= ',chr(234),'-m');
    end;
    if Pattern=1 then begin
        gotoxy(6,11);
        write('Resistivity');
        gotoxy(6,12);
    end
end
else begin
    textbackground(6);
    if Pattern=2 then
        gotoxy(6,14)
    else
        gotoxy(6,16);
        write('Resistivity2');
        if Pattern=2 then
            gotoxy(6,15)
        else
            gotoxy(6,17);
    end;
    write('= ',chr(234),'-m');
    if Pattern=1 then
        gotoxy(22,18);
    if Pattern=2 then
        gotoxy(22,20);
    if Pattern=3 then
        gotoxy(22,16);
    write('d = mm');
    if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
        textbackground(7);
        if Pattern=2 then
            gotoxy(26,12)
        else
            gotoxy(26,13);
            write('H1 = m');
    end;
    if Pattern=1 then begin
        gotoxy(20,13);
        write('H = m');
    end
    else begin
        if Pattern=2 then begin
            textbackground(6);
            gotoxy(20,14);
        end
        else
            gotoxy(20,12);
            write('H2 = m');
    end;
end;
textcolor(14);
if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
    if Pattern=2 then
        textbackground(7);
        gotoxy(8,12);
        write(P1:4:0);
    end;
    if Pattern=1 then
        gotoxy(8,12)
    else begin
        textbackground(6);
        if Pattern=2 then
            gotoxy(8,15)
        else
            gotoxy(8,17);
    end;
end;
write(P2:4:0);
if Pattern=1 then

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(26,18);
if Pattern=2 then
gotoxy(26,20);
if Pattern=3 then
gotoxy(26,16);
write(D:6:3);
if (Pattern=2) or (Pattern=3) then begin
textbackground(7);
if Pattern=2 then
gotoxy(31,12)
else
gotoxy(31,13);
write(H1:3:2);
end;
if Pattern=1 then
gotoxy(24,13);
if Pattern=2 then begin
textbackground(6);
gotoxy(25,14);
end;
if Pattern=3 then
gotoxy(25,12);
write(H2:3:2);
{--- TOP VIEW OF TANK ---}
for i:=14 to 18 do begin
for j:=49 to 61 do begin
gotoxy(j,i);
write(' ');
end;
end;
if Lgridx<=Lgridy then begin
if Lgridx=Lgridy then begin
gotoxy(52,15);
write(chr(201),chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(187));
end
else begin
gotoxy(52,14);
write(chr(201),chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(187));
gotoxy(52,15);
write(chr(204),chr(205),chr(205),chr(206),chr(205),chr(205),chr(206),chr(205),chr(205),chr(185));
end;
for i:=16 to 17 do begin
gotoxy(52,i);
write(chr(204));
end;
gotoxy(52,18);
write(chr(200));
end
else begin
gotoxy(49,15);
write(chr(201),chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(203));
write(chr(205),chr(205),chr(203),chr(205),chr(205),chr(187));
for i:=16 to 17 do begin
gotoxy(49,i);
write(chr(204),chr(205),chr(205),chr(206));
end;
gotoxy(49,18);
write(chr(200),chr(205),chr(205),chr(202));
end;
for i:=16 to 17 do begin
gotoxy(53,i);
write(chr(205),chr(205),chr(206),chr(205),chr(205),chr(206),chr(205),chr(205),chr(185));
end;
gotoxy(53,18);
write(chr(205),chr(205),chr(202),chr(205),chr(205),chr(202),chr(205),chr(205),chr(188));
if Lgridx<=Lgridy then begin
gotoxy(52,19);
write(chr(195));
end
else begin
gotoxy(49,19);
write(chr(195),chr(196),chr(196),chr(196));
end;
write(chr(196),chr(196),chr(196),chr(196),chr(196),chr(196),chr(196),chr(196),chr(180));
if Lgridx>=Lgridy then begin
gotoxy(63,15);
write(chr(194));
end
else begin
gotoxy(63,14);
write(chr(194));
gotoxy(63,15);
write(chr(179));
end;
gotoxy(63,18);
write(chr(193));
textcolor(15);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(56,20);
write('Lx = m ');
gotoxy(63,16);
write('Ly = m');
gotoxy(56,21);
write('Nx = ');
gotoxy(63,17);
write('Ny = ');
textcolor(14);
gotoxy(61,20);
write(Lgridx:6:2);
gotoxy(68,16);
write(Lgridy:6:2);
gotoxy(61,21);
write((Ncony-1):3);
gotoxy(68,17);
write((Nconx-1):3);
if (GPR>Etouch) and ((Em>Etouch) or (Es>Estep)) then begin
  if (((Pattern=1) or (Pattern=3)) and (Counter<6)) or ((Pattern=2) and (Counter<5)) then
    H2:=H2+0.25;
  if (((Pattern=1) or (Pattern=3)) and (Counter>5) and (Counter<18)) or
    ((Pattern=2) and (Counter>4) and (Counter<17)) then begin
    if D=12 then begin
      D:=12.7;
      Gauge:='5/0 B.W.G. or 7/0 S.W.G.';
    end;
    if D=11.786 then begin
      D:=12;
      Gauge:='12 mm.G.';
    end;
    if D=11.684 then begin
      D:=11.786;
      Gauge:='6/0 S.W.G.';
    end;
    if D=11.532 then begin
      D:=11.684;
      Gauge:='4/0 A.W.G.';
    end;
    if D=10.973 then begin
      D:=11.532;
      Gauge:='4/0 B.W.G.';
    end;
    if D=10.795 then begin
      D:=10.973;
      Gauge:='5/0 S.W.G.';
    end;
    if D=10.404 then begin
      D:=10.795;
      Gauge:='3/0 B.W.G.';
    end;
    if D=10.16 then begin
      D:=10.404;
      Gauge:='3/0 A.W.G.';
    end;
    if D=10 then begin
      D:=10.16;
      Gauge:='4/0 S.W.G.';
    end;
    if D=9.652 then begin
      D:=10;
      Gauge:='10 mm.G.';
    end;
    if D=9.44 then begin
      D:=9.652;
      Gauge:='2/0 B.W.G.';
    end;
    if D=9.266 then begin
      D:=9.44;
      Gauge:='3/0 S.W.G.';
    end;
  end;
  if (((Pattern=1) or (Pattern=3)) and (Counter>17)) or ((Pattern=2) and (Counter>16)) then begin
    D:=11.684;
    Gauge:='4/0 A.W.G.';
    if (Pattern=1) or (Pattern=3) then
      H2:=0.5
    else
      H2:=0.75;
  end;
  if (Pattern=2) and (Counter>16) and (Counter<21) then
    H1:=H1+0.05;
  if (Pattern=3) and (Counter>17) and (Counter<25) then
    H1:=H1+1;
  if (Pattern=2) and (Counter>20) then
    H1:=0.15;
  if (Pattern=3) and (Counter>24) then
    H1:=3;

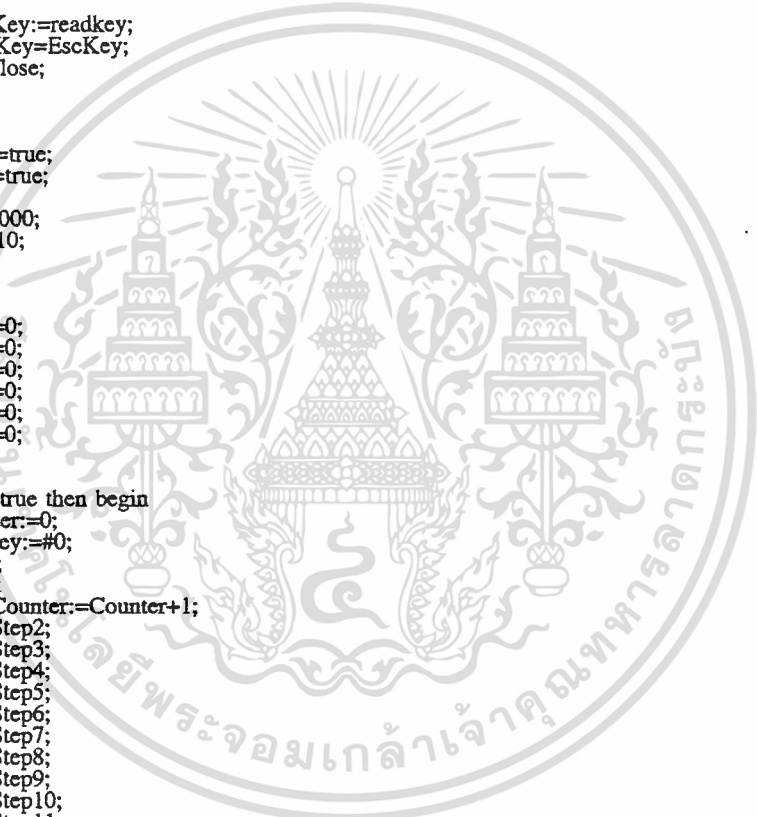
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
procedure Step12;
begin
  if (GPR<Etouch) or ((Em<Etouch) and (Es<Estep)) then begin
    SetHeadAttr(HighDisplay);
    SetBoxAttr(HighDisplay);
    SetCharAttr(HighDisplay);
    SetWinAttr(HighDisplay);
    SetWinHeader(' DETAIL DESIGN ');
    SetBoxStyle(Double);
    WindowOpen(4,2,77,7);
    writeln(' Grid Resistance =      ',chr(234));
    writeln(' GPR                =      V');
    writeln(' Mesh Voltage    =      V');
    write(' Step Voltage    =      V');
    textcolor(14);
    gotoxy(20,1);
    write(Rg:9:3);
    gotoxy(20,2);
    write(GPR:9:3);
    gotoxy(20,3);
    write(Em:9:3);
    gotoxy(20,4);
    write(Es:9:3);
    repeat
      ExitKey:=readkey;
    until ExitKey=EscKey;
    WindowClose;
  end;
end;
begin
  DirectVideo:=true;
  CheckSnow:=true;
  Pattern:=2;
  Deltalmin:=1000;
  DeltaLgrid:=10;
  Ratio:=4;
  Smax:=15;
  Td:=1000;
  Counter2_1:=0;
  Counter3_1:=0;
  Counter3_2:=0;
  Counter3_3:=0;
  Counter3_4:=0;
  Counter3_5:=0;
  repeat
    Menu;
    if Start=true then begin
      Counter:=0;
      ExitKey:=#0;
      Step1;
      repeat
        Counter:=Counter+1;
        Step2;
        Step3;
        Step4;
        Step5;
        Step6;
        Step7;
        Step8;
        Step9;
        Step10;
        Step11;
        Step12;
        if keypressed then
          ExitKey:=readkey;
      until (GPR<Etouch) or ((Em<Etouch) and (Es<Estep)) or (ExitKey=EscKey);
    end;
  until Exit=true;
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

โปรแกรมยูนิตสำหรับการแสดงผลตัวอักษรบนจอภาพ

```

unit Screen;
interface
uses crt,dos;
const NoDisplay = $00;
      LowDisplay = $07;
      HighDisplay = $0F;
      UnderLineLow = $01;
      UnderLineHigh = $09;
      ReverseLow = $70;
      ReverseHigh = $78;
      BlinkLow = $87;
      BlinkHigh = $8F;
      UndBlinkLow = $81;
      UndBlinkHigh = $89;
      RevBlinkLow = $F0;
      RevBlinkHigh = $F8;
      ColorSeg = $B800;
      MonoSeg = $B000;
var VideoSeg : word;
    CrtType : byte absolute $0040:$0049;
    CursorMode : word absolute $0040:$0060;
    Vport : word absolute $0040:$0063;
procedure SetAttr (Attrib : byte);
procedure SetCursor (Top,Bottom : byte);
procedure CursorOn;
procedure CursorOff;
implementation
var Regs : registers;
procedure SetAttr (Attrib : byte);
begin
  TextAttr:=Attrib;
end;
procedure SetCursor (Top,Bottom : byte);
begin
  Regs.AH:=1;
  Regs.CH:=Top;
  Regs.CL:=Bottom;
  intr($10,Regs);
end;
procedure CursorOn;
begin
  Port[Vport]:=10;
  Port[Vport+1]:=Hi(CursorMode) and $DF;
  Port[Vport]:=11;
  Port[Vport+1]:=Lo(CursorMode);
end;
procedure CursorOff;
begin
  Port[Vport]:=10;
  Port[Vport+1]:=Hi(CursorMode) or $20;
  Port[Vport]:=11;
  Port[Vport+1]:=Lo(CursorMode);
end;
procedure IdentifyCrt;
begin
  case CrtType of
    0..3 : VideoSeg:=ColorSeg;
    7 : VideoSeg:=MonoSeg;
  end;
end;
begin
  IdentifyCrt;
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
โปรแกรมยูนิตสำหรับการสร้างหน้าต่าง

```

unit Win;
interface
uses crt,screen;
const Single = 1;
      Double = 2;
      Mix1 = 3;
      Mix2 = 4;
      BoxStyle : byte = Single;
      AttrOfBox : byte = HighDisplay;
      AttrOfWindow : byte = HighDisplay;
      AttrOfHeader : byte = HighDisplay;
      AttrOfChar : byte = HighDisplay;
      HeaderOfWindow : string = ' ';
      TypeOfBox : array[1..4,1..8] of char =
        ((#196,#179,#179,#196,#218,#191,#192,#217),
         (#205,#186,#186,#205,#201,#187,#200,#188),
         (#205,#179,#179,#205,#213,#184,#212,#190),
         (#196,#186,#186,#196,#214,#183,#211,#189));
var ErrorWindow : byte; {indicate window error type}
    {ErrorWindow = 0 : No error}
    {ErrorWindow = 1 : Window's frame not valid}
    {ErrorWindow = 2 : Not enough memory to open window}
procedure WindowBox (X1,Y1,X2,Y2 : byte);
procedure WindowOpen (X1,Y1,X2,Y2 : byte);
procedure WindowClose;
procedure SetBoxStyle (Attrib : byte);
procedure SetBoxAttr (Attrib : byte);
procedure SetWinAttr (Attrib : byte);
procedure SetHeadAttr (Attrib : byte);
procedure SetCharAttr (Attrib : byte);
procedure SetWinHeader (St : string);
implementation
type ScreenLine = array[1..80] of integer;
   ScreenArray = array[1..25] of ScreenLine;
   ScreenBlock = array[1..2000] of integer;
   WindowLink = ^WindowControlBlock;
   WindowControlBlock = record
      X1,Y1,X2,Y2 : integer;
      X,Y : integer;
      ID : byte;
      backLink : WindowLink;
      ScreenContents : ScreenBlock;
   end;
var ActiveWindow : WindowLink;
   ScreenPtr : ^ScreenArray;
   FixedSize : integer;
   WindowCount : byte;
procedure Windowbox (X1,Y1,X2,Y2 : byte);
const Top = 1;
      Left = 2;
      Right = 3;
      Bottom = 4;
      UpLeft = 5;
      UpRight = 6;
      LoLeft = 7;
      LoRight = 8;
var X,Y : byte;
begin
  Window(X1,Y1,X2,Y2);
  SetAttr(AttrOfWindow);
  clrscr;
  window(1,1,80,25);
  SetAttr(AttrOfBox);
  {Top}
  gotoxy(X1,Y1);
  write(TypeOfBox[BoxStyle,UpLeft]);
  for X:=X1+1 to X2-1 do
    write(TypeOfBox[BoxStyle,Top]);
  write(TypeOfBox[BoxStyle,UpRight]);
  {Sides}
  for Y:=Y1+1 to Y2-1 do begin
    gotoxy(X1,Y);
    write(TypeOfBox[BoxStyle,Left]);
    gotoxy(X2,Y);
    write(TypeOfBox[BoxStyle,Right]);
  end;
  {Bottom}
  gotoxy(X1,Y2);
  write(TypeOfBox[BoxStyle,LoLeft]);
  for X:=X1+1 to X2-1 do
    write(TypeOfBox[Boxstyle,Bottom]);
  write(TypeOfBox[BoxStyle,LoRight]);
  {Make it the current window and locate cursor to top}
  SetAttr(AttrOfHeader);
  gotoxy((X1+X2-Length(HeaderOfWindow)) div 2,Y1);
  write(HeaderOfWindow);
  Window(X1+1,Y1+1,X2-1,Y2-1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2327-8100

```

SetAttr(AttrOfChar);
end;
procedure WindowOpen (X1,Y1,X2,Y2 : byte);
var Block          : WindowLink;
    LineLength,WindowSize,I : integer;
    Y                : byte;
begin
    LineLength:=X2-X1+1;
    WindowSize:=LineLength*(Y2-Y1+1)*2+FixedSize;
    if (X2>80) or (Y2>25) or (X2-X1<2) or (Y2-Y1<2) then
        ErrorWindow:=1
    else
        if (abs(MemAvail)<WindowSize) then
            ErrorWindow:=2
        else
            ErrorWindow:=0;
    if ErrorWindow=0 then begin
        Getmem(Block,WindowSize);
        Block^.X1:=X1;
        Block^.X2:=X2;
        Block^.Y1:=Y1;
        Block^.Y2:=Y2;
        Block^.X:=WhereX;
        Block^.Y:=WhereY;
        Block^.BackLink:=ActiveWindow;
        ActiveWindow:=Block;
        WindowCount:=WindowCount+1;
        Block^.ID:=WindowCount;
        I:=1;
        for Y:=Y1 to Y2 do begin
            Move(ScreenPtr^[Y,X1],Block^.ScreenContents[I],LineLength*2);
            I:=I+LineLength;
        end;
        WindowBox(X1,Y1,X2,Y2);
    end;
end;
procedure WindowClose;
var Block          : WindowLink;
    LineLength,WindowSize,I : integer;
    Y                : byte;
begin
    if ActiveWindow<>nil then begin
        Block:=ActiveWindow;
        LineLength:=Block^.X2-Block^.X1+1;
        WindowSize:=LineLength*(Block^.Y2-Block^.Y1+1)*2+FixedSize;
        WindowCount:=WindowCount-1;
        I:=1;
        for Y:=Block^.Y1 to Block^.Y2 do begin
            Move(Block^.ScreenContents[I],ScreenPtr^[Y,Block^.X1],LineLength*2);
            I:=I+LineLength;
        end;
        ActiveWindow:=Block^.BackLink;
        if ActiveWindow=nil then
            Window(1,1,80,25)
        else
            With ActiveWindow^ do Window(X1+1,Y1+1,X2-1,Y2-1);
        gotoxy(Block^.X,Block^.Y);
        FreeMem(Block,WindowSize);
    end;
end;
procedure InitWin;
begin
    ActiveWindow:=nil;
    FixedSize:=SizeOf(WindowControlBlock)-SizeOf(ScreenBlock);
    ScreenPtr:=Ptr(VideoSeg,0);
    Window(1,1,80,25);
    WindowCount:=0;
end;
procedure SetBoxStyle (Attrib : byte);
begin
    BoxStyle:=Attrib;
end;
procedure SetWinHeader (St : string);
begin
    HeaderOfWindow:=St;
end;
procedure SetWinAttr (Attrib : byte);
begin
    AttrOfWindow:=Attrib;
end;
procedure SetBoxAttr (Attrib : byte);
begin
    AttrOfBox:=Attrib;
end;
procedure SetHeadAttr (Attrib : byte);
begin
    AttrOfHeader:=Attrib;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;  
procedure SetCharAttr (Attrib : byte);  
begin  
  AttrOfChar:=Attrib;  
end;  
begin  
  InitWin;  
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ศุที บรรจงจิตร และ อ.สมชาติ จิรวินาทร ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาต่าง ๆ

และบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องอื่น ๆ ตั้งแต่เริ่มทำโครงการโดยเฉพาะเพื่อน ๆ ในภาควิชาไฟฟ้ากำลัง ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ เจ้าหน้าที่ และ เพื่อนภาควิชาเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์การทดสอบ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี ที่ให้ยืมอุปกรณ์วัดค่าความนำไฟฟ้า และ บริษัท ศรีอุทอง จำกัด ที่ให้ยืมอุปกรณ์การทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ross Caldecott , Donald G. Kasten , “Scale Model Studies of Station Grounding Grids” , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems , Vol. PAS-102 , No. 3 , March 1983
- [2] E.B. JOY , N. Paik , T.E. Brewer , R.E. Wilson , R.P. Webb , and A.P. Meliopoulos , “Graphical Data for Ground Grid Analysis” , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems , Vol. PAS-102 , No. 9 , September 1983
- [3] B. Thapar , S.L. Goyal , “Scale Model Studies of Grounding Grids in Non-Uniform Soils” , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. PWRD-2 , No. 4 , October 1987
- [4] Baldev Thapar , Victor Gerez , Arun Balakrishnan , Donald A. Blank , “Evaluation of Ground Resistance of a Grounding Grid of any Shape” , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 6 , No. 2 , April 1991
- [5] Baldev Thapar , Victor Gerez , Arun Balakrishnan , Donald A. Blank , “Simplified Equations for Mesh and Step Voltages in an AC Substation” , IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 6 , No. 2 , April 1991
- [6] Baldev Thapar , Victor Gerez , Vijay Singh , “Effective Ground Resistance of the Human Feet in High Voltage Switchyards” , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 8 , No. 1 , January 1993
- [7] M.M.A. Salama , M.M. El Sherbiny , Y.L. Chow , “A Formula for Resistance of Substation Grounding Grid in Two-Layer Soil” , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 10 , No. 3 , July 1995
- [8] J.M. Nahman , V.B. Djordjevic , “Nonuniformity Correction Factors for Maximum Mesh and Step Voltages of Ground Grids and Combined Ground Electrodes” IEEE Transactions on Power Delivery , Vol. 10 , No. 3 , July 1995
- [9] วิบูล เขมรังษณภูมิ , “การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน” , อุปกรณ์ส่งจ่ายไฟฟ้า การออกแบบและระบบป้องกัน เล่ม 2 , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้