

บทที่ 4

การออกแบบการต่อลงดิน

4.1 คำจำกัดความ

- 4.1.1 อิเล็กโทรดต่อลงดินช่วย (auxiliary ground electrode)

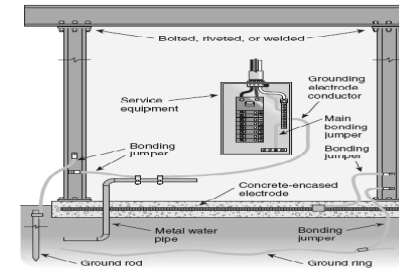
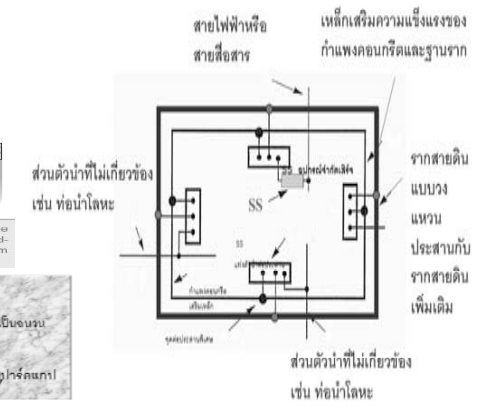
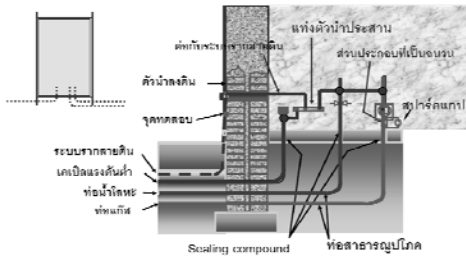


Exhibit 250.27 An example of running the grounding electrode conductor to any convenient electrode available as well as bonding electrodes together to form the grounding electrode system required by 250.50.



4.1.2 กราวด์อิเล็กโทรด (ground electrode)

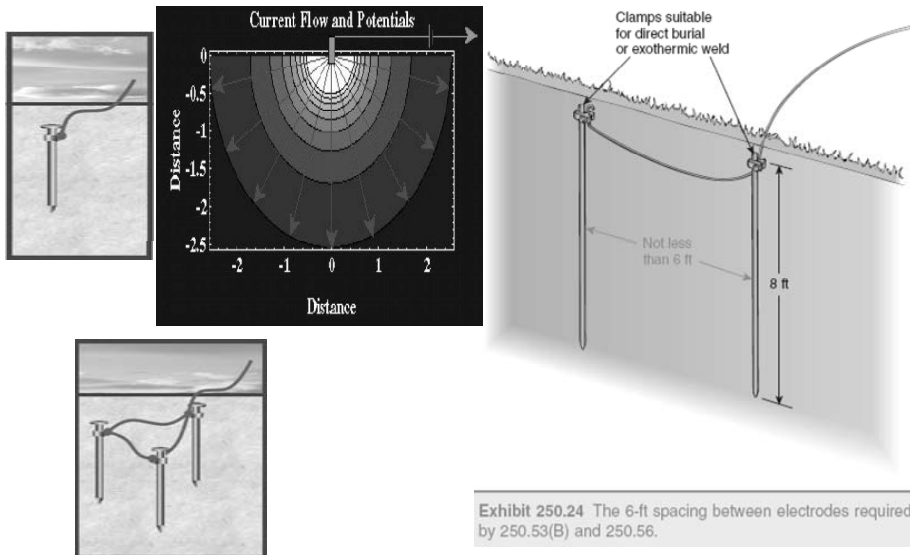


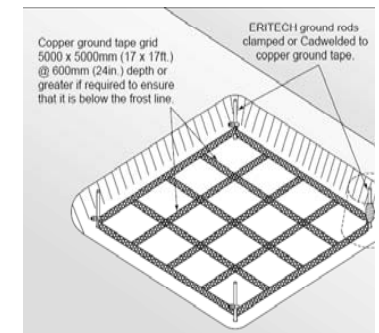
Exhibit 250.24 The 6-ft spacing between electrodes required by 250.53(B) and 250.56.

4.1.3 พื้นพรมต่อลงดิน (ground mat)

- แผ่นโลหะในดินหรือแผ่นตัวนำเปลี่ยนนั้นถูกต่อและวางอยู่ในคูลึก บนกราวด์กริดหรือที่ผิวดิน เพื่อการป้องกันพิเศษ จากอันตรายน้อยต่อไฟดูดจากแรงดันสัมผัสหรือแรงดันช่วงก้าวสูง ในพื้นที่การทำงานที่ถูกคนใช้บ่อยครั้ง ตาข่ายโลหะที่ถูกต่อลงดิน วางอยู่ข้างบนหรือบนผิวดิน หรือตาข่ายสายไฟวางไว้ใต้ผิววัสดุ ปกติจะอยู่ในรูปของตาข่ายกราวด์

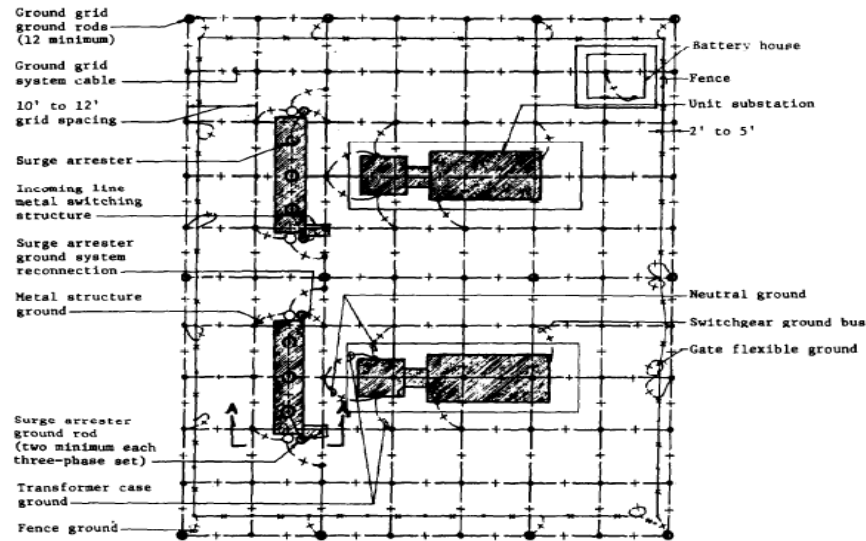


Figure 22.



Grid Ground.

4.1.4 กริดการต่อลงดิน (grounding grid)



US Army Corps of Engineers

Grounding of a Main Electric Supply Substation.

4.2 แนวคิดทั่วไป

- ระบบการต่อลงดินควรมีลักษณะที่จะ
 - จำกัดผลของการกระจายศักย์ดิน เพื่อให้ระดับกระแสและแรงดันนั้น จะไม่ถูกทำให้เป็นอันตรายต่อความปลอดภัยของคน หรืออุปกรณ์ภายใต้สภาวะปกติและสภาวะที่เกิดฟอลต์
 - ระบบการต่อลงดินควรมีความแน่ใจได้ด้วยความต่อเนื่องที่ดีพอ

ในการอธิบายต่อไปนี้จะกำหนดให้ระบบกรวดมีรูปแบบของกริดของตัวนำที่ถูกฝังในแนวนอน เสริมด้วยหลักสายดินแนวตั้งจำนวนหนึ่งที่ต่อกับกริด

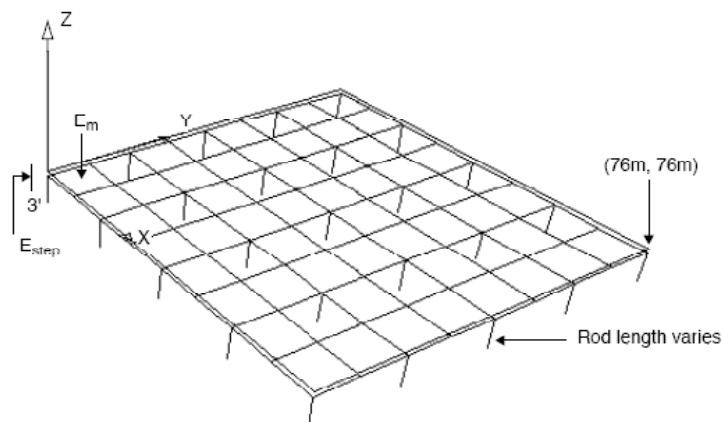
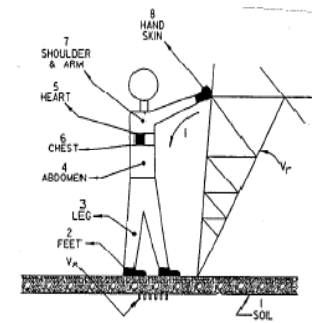
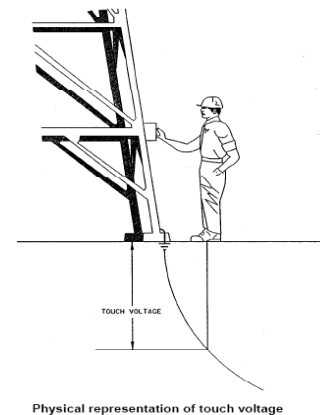


Figure E.1—The ground grid modeled for computing grounding parameters

เหตุผลบางประการสำหรับการใช้ระบบผสมของแท่งหลักแนวตั้งและตัวนำในแนวนอน มีดังต่อไปนี้

- ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอิเล็กทรอนิกส์ โดยตัวมันเอง ไม่เพียงพอในการจัดเตรียมระบบการต่อลงดินอย่างปลอดภัย



a) Actual circuit

Physical representation of touch voltage

ถ้าขนาดของกระแสที่กระจายไปยังดินสูง บางทีอาจจะเป็นไปได้ที่จะทำการติดตั้งกริดที่มีค่าความต้านทานต่ำพอ เพื่อให้แน่ใจว่าศักย์กราวด์ที่เพิ่มขึ้น จะไม่เกิดการกระจายที่ผิวอย่างไม่ปลอดภัยสำหรับการสัมผัสของมนุษย์

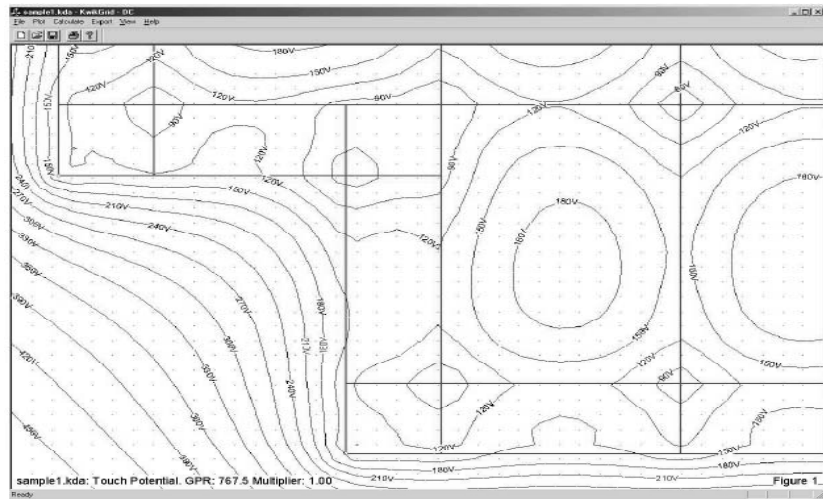


Figure 3 Plot of Touch Potential Contour Lines

ระบบผสมกริดในแนวนอนและจำนวนของแท่งหลักต่อลงดิน แนวตั้งที่ฝังลึกลงในดิน มีข้อดีดังต่อไปนี้

- ตัวนำกริดในแนวนอน มีผลอย่างมากในการลดอันตรายจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวบนผิวของดิน มีการจัดให้กริดถูกติดตั้งในลึกกลงไปประมาณ 0.3-0.5 m (12-18 in) แท่งหลักดินที่ยาวเพียงพอ
- การหยั่งแท่งหลักดิน มีประสิทธิภาพในการกระจายกระแสฟอลต์มากกว่าเมื่อมีดินสองชั้นหรือหลายๆ ชั้น อยู่ด้วยกันและดินชั้นบนมีสภาพต้านทานสูงกว่าชั้นดินที่ต่ำกว่า และการติดตั้งในสถานที่ที่มีที่ว่างจำกัด
- แท่งหลักดินตามแนวเขตกริด จะช่วยบรรเทาการเพิ่มขึ้นของการกระจายศักย์ที่ผิวใกล้ตาข่ายรอบนอก

4.4 เกณฑ์พื้นฐานของการออกแบบกริด

- แนวคิดการวิเคราะห์ของระบบกริด ปกติเริ่มต้นด้วย
 - การตรวจสอบผังแบบการจัดวางสถานีไฟฟ้าย่อย และ โครงสร้างและอุปกรณ์หลักทั้งหมด

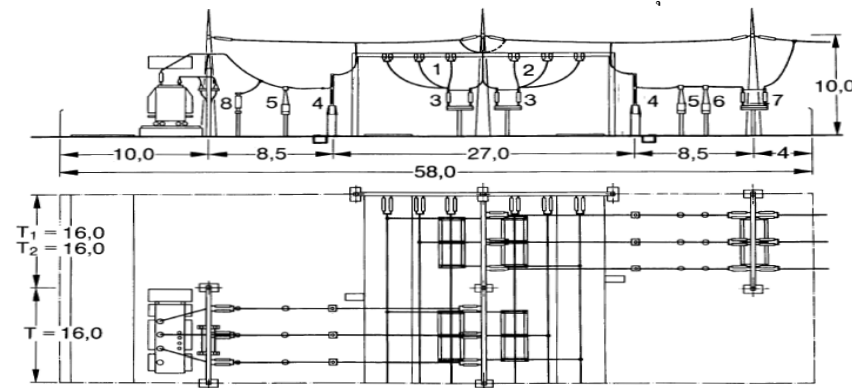


Fig. 11-15

245 kV outdoor switchyard with double busbars, low-rise (classical) layout:
 1 Busbar system I, 2 Busbar system II, 3 Busbar disconnector, 4 Circuit-breaker,
 5 Current transformer, 6 Voltage transformer, 7 Feeder disconnector, 8 Surge arrester;
 T Bay width, T₁ Width initial bay, T₂ Width final bay at busbar dead-end

เพื่อตั้งแนวความคิดเบื้องต้น ประเด็นตัวอย่างต่อไปนี้ จะช่วยในการออกแบบกริดการต่อลงดิน

- วงรอบตัวนำที่มีความต่อเนื่อง ควรอยู่รอบๆ อาณาบริเวณพื้นที่ล้อมรอบเท่าที่จะมากได้ เพื่อช่วยหลีกเลี่ยงความหนาแน่นกระแสสูง และทั้งการกระจายที่สูงในพื้นที่กริดและช่วยลดค่าความต้านทานของกริดด้วย
- ภายในวงรอบ ตัวนำต่างๆ ถูกวางในลักษณะที่เป็นเส้นขนาน และในทางปฏิบัติ ตาม โครงสร้างหรือแถวของอุปกรณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ สำหรับการต่อกราวด์สั้นๆ

ตัวอย่างระบบกราวด์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

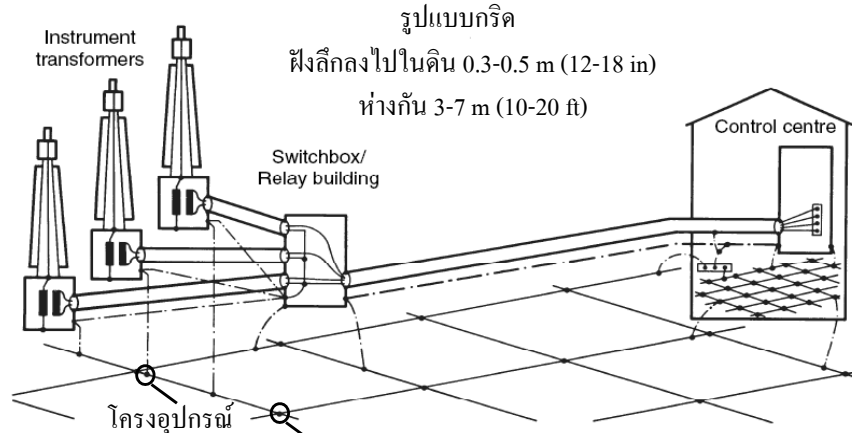
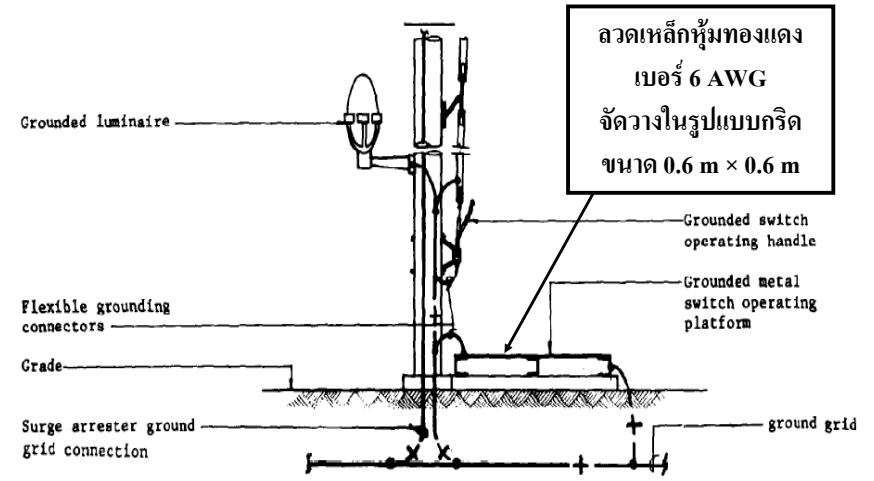


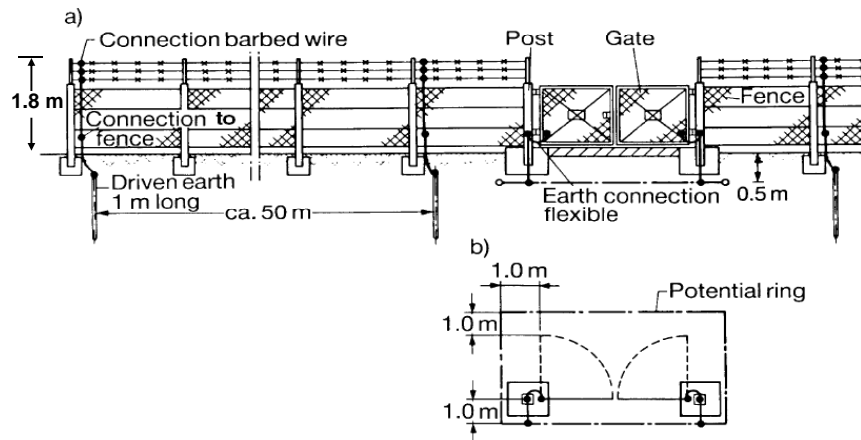
Fig. 5-24. ทุกตัวต่อลงดิน ตัวนำควรถูกเชื่อมประสานเข้าด้วยกัน
 Meshed bonding system and treatment of shielding of secondary wiring in a high-voltage switchgear installation¹⁾

¹⁾ ABB publication DSI 1290 88 D, reprint from "Elektrotechnik und Informationstechnik" 105 (1988): p. 357-370; Remde, Meppelink, Brand "Electromagnetic compatibility in high-voltage switchgear installations".

แท่งหลักต่อลงดินอาจจะถูกติดตั้งที่อุปกรณ์หลัก โดยเฉพาะที่อยู่ใกล้กับกับดักฟ้าผ่า



ระบบกริดนี้ควรถูกขยายออกไปทั้งลานไถสถานีไฟฟ้าย่อย และควรไปถึงแนวรั้ว



Principle of fence earthing if distance from earth network to fence $\cong 2$ m
 a) Elevation, b) Plan view at gate

อัตราส่วนของด้านต่างๆ ของตาข่ายกริด

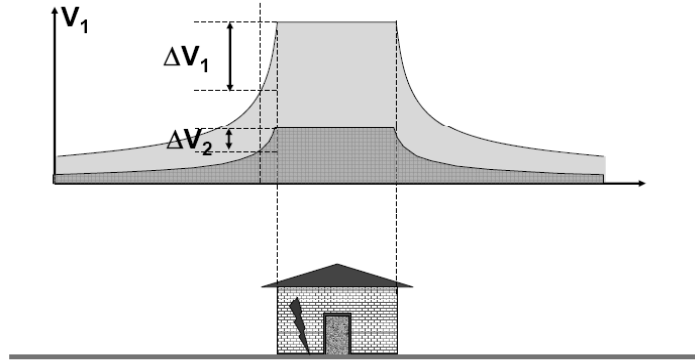
- ตาข่ายกริด มีบทบาทหลักคือ เพื่อให้แน่ใจว่ามีการควบคุมที่ดีพอของ ศักย์ที่ผิวดิน เมื่อมีกระแสฟอลต์ไหลผ่าน
- มีแรงดันตกในกริดของมันมีค่าน้อย
- มีการเผื่อไว้ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรของตัวนำ
- โดยทั่วไป อัตราส่วนของด้านต่างๆ ของตาข่ายกริด ปกติจะมีค่าจาก 1:1 ถึง 1:3
- อาจจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการการออกแบบด้วยก็ได้

4.5 การออกแบบในสภาพที่มีอุปสรรค

สภาพที่มีอุปสรรคคือ

- พื้นที่ที่สภาพด้านทานดินค่อนข้างสูง

อาคารที่ตั้งบนดินที่มี ρ มาก



4.5 การออกแบบในสภาพที่มีอุปสรรค

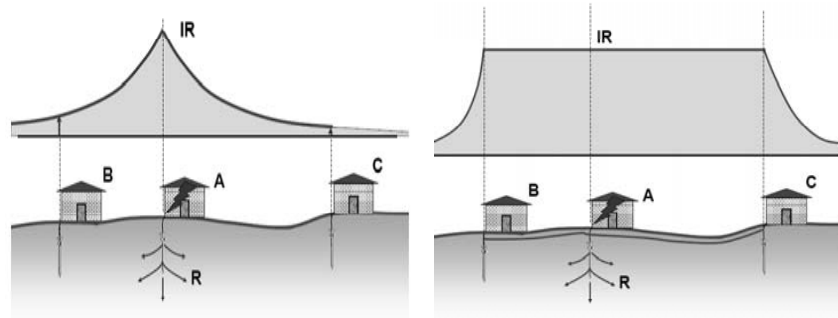
สภาพที่มีอุปสรรคคือ

- พื้นที่ที่สภาพด้านทานดินค่อนข้างสูง
- ที่วางสถานีไฟฟ้าอยู่ตั้งอยู่ในที่มีราคาแพง ดังเช่นการติดตั้งสถานีแบบ GIS ซึ่งมีพื้นที่น้อยในการติดตั้งอุปกรณ์ จึงทำให้การควบคุมการกระจายผิวได้ลำบาก

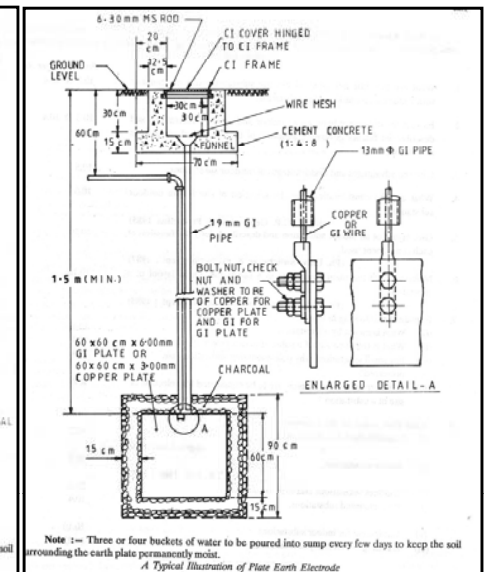
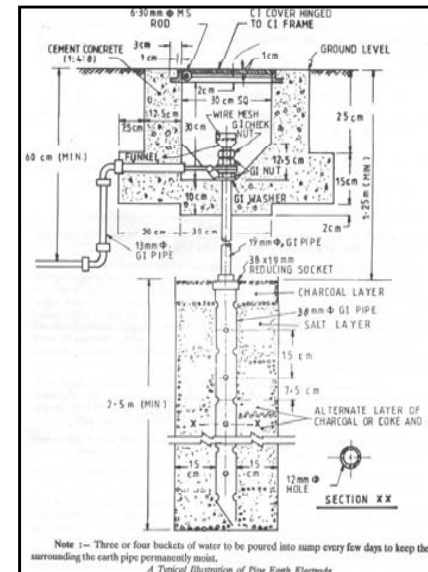


วิธีการแก้ปัญหาการควบคุมการกระจายผิวได้ลำบาก อาจจะทำได้โดย

- การเชื่อมต่อ กราวด์กริดระยะไกล และอุปกรณ์เครื่องใช้ในการต่อลงดินเป็นระยะ รวมระบบเครื่องมือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่แยกการติดตั้งในอาคาร ห้องนิรภัยใต้ดิน เป็นต้น



การใช้แท่งหลักสายดิน ที่ถูกฝังลึกและบ่อกราวด์ที่ถูกเจาะไว้



Note 1:- Three or four buckets of water to be poured into sump every few days to keep the soil surrounding the earth plate permanently moist.
A Typical Illustration of Pipe Earth Electrode

Note 1:- Three or four buckets of water to be poured into sump every few days to keep the soil surrounding the earth plate permanently moist.
A Typical Illustration of Plate Earth Electrode

การแก้ปัญหาเพิ่มเติมอื่น ๆ

THE INTERFACING HEMISPHERE
GROUND ROD OR CHEM-ROD

1. D=6"
2. D=12"
3. D=24"
4. D=36"

TO BE TREATED BY GAF

EXAMPLES

- (1) For a rod in a 6" diameter hole backfilled with GAF, resistance is reduced by 34%. 2 bags of GAF required.
- (2) For a rod in a 12" diameter hole backfilled with GAF, resistance is reduced by 45%. 6 bags of GAF required.
- (3) For a rod in a 24" diameter hole backfilled with GAF, resistance is reduced by 56%. 23 bags of GAF required.
- (4) For a rod in a 36" diameter hole backfilled with GAF, resistance is reduced by 63%. 50 bags of GAF required.

GAF 50 Lb. (22.6 kg) bag
1.5 cubic feet

การปรับสภาพดิน

R สูง

การแก้ไข

การต่อกับแท่งหลักสายดิน และการเชื่อมต่อระหว่างกันกับตัวนำเพิ่มเติม

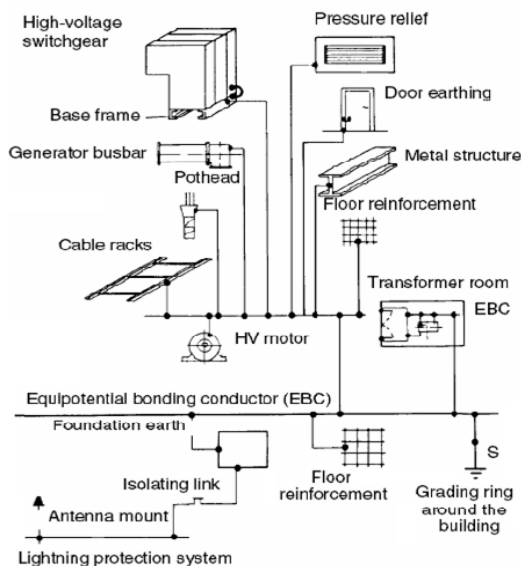
การฝากการต่อลงดิน

低电阻率河水
Volumes of Low Resistivity Water

高电阻率空气
Volumes of High Resistivity Air

- ที่ไหนที่มีวัตถุที่มีสภาพต้านทานต่ำของปริมาตรที่เพียงพอ สามารถถูกนำมาใช้ในการฝากติดตั้งกริดพิเศษได้ เช่น
- ดินเหนียวมีสภาพต้านทานต่ำ
- โครงสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะเป็นมวลคอนกรีตที่เชื่อมกันน้ำ ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำก็ได้

4.6 การต่อกับกริด



- อิเล็กโทรดกราวด์ทั้งหมดเช่น กริดต่อลงดิน แปลงแท่งหลักดิน ปอกราวด์ และโลหะ น้ำ เป็นต้น
- ส่วนที่เป็นโลหะตัวนำต่อลงดินทั้งหมดเช่น โครงเครื่องจักรกล กรอบโลหะของสวิตช์เกียร์ หม้อแปลง ตัวถังตัวป้องกัน เป็นต้น อาจมีความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน กับส่วนโลหะอื่นๆ จึงควรมีการเชื่อมประสานเข้าด้วยกันที่กราวด์กริด
- แหล่งจ่ายกระแสฟอลต์ทั้งหมด อย่างเช่นกับดักฟ้าผ่า ชุดตัวเก็บประจุหรือตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ หม้อแปลงและอื่นๆ ที่เหมาะสม นิวทริล เครื่องจักร แสงสว่าง และวงจรกำลัง

4.7 บรรทัดฐานในการออกแบบ

- เป้าหมายของการออกแบบระบบกราวด์สถานีไฟฟ้าย่อยให้ได้ดี ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดฟอลต์ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้
 - เพื่อเตรียมวิธีการนำกระแสไฟฟ้าไปสู่ดินทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดฟอลต์ โดยไม่เกินขีดจำกัดของอุปกรณ์และการทำงานใดๆ อันจะมีผลกระทบต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องในการจ่ายไฟ
 - เพื่อให้แน่ใจว่า ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ใกล้ชิดกับอุปกรณ์ที่ถูกต่อลงดินแล้ว จะไม่ได้รับอันตรายจากไฟดูด

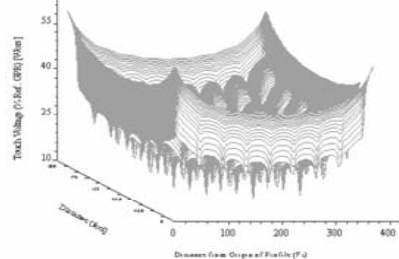
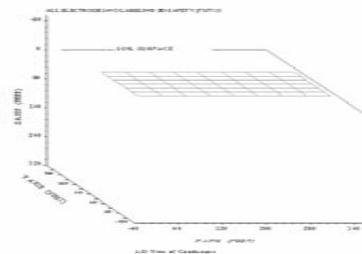
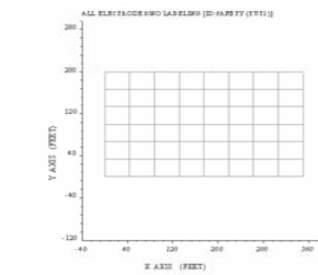
กระบวนการออกแบบ

- กระบวนการออกแบบระบบการต่อลงดินที่สถานีไฟฟ้าแรงสูง มีเป้าหมายที่ความปลอดภัยจากอันตรายที่มาจาก แรงดันช่วงก้ำว และแรงดันการสัมผัสภายในสถานีไฟฟ้าย่อย
- GPR ของสถานีไฟฟ้าย่อยระหว่างสถานะฟอลต์
- พื้นที่ภายนอกด้วย รั้วสถานีไฟฟ้าย่อย

บรรทัดฐานในการออกแบบกริด

- บรรทัดฐานในการออกแบบกริดคือ
 - หลังจากกริดถูกการออกแบบ
 - ค้นหาแรงดันช่วงก้ำวและแรงดันสัมผัส
 - เปรียบเทียบกับแรงดันช่วงก้ำวและแรงดันการสัมผัสที่ยินยอมได้
 - นั่นคือบรรทัดฐาน หรือเกณฑ์เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบกริด

แรงดันตาข่าย E_m สำหรับกริดที่ห่างเท่า ๆ กัน



ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างอัตราส่วนของแรงดันตาข่ายของมุมถึงมุม

Grid number	Number of meshes	E_m corner/center
1	10 × 10	2.71
2	20 × 20	5.55
3	30 × 30	8.85

4.8 พารามิเตอร์วิกฤต

- พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบค่อนข้างมากกับการออกแบบกริดคือ
 - กระแสกริดสูงสุด
 - ช่วงเวลาที่ฟอลต์
 - ช่วงเวลาที่ถูกไฟดูด (มีย่านจาก 0.25 s ถึง 1.0 s)
 - สภาพต้านทานดิน และสภาพต้านทานวัตถุผิว
 - ลักษณะทางเรขาคณิตของกริด

- พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อแรงดันที่ตาข่ายคือ
 - พื้นที่ของระบบกราวด์
 - การเว้นช่องว่างสายตัวนำ
 - ความลึกของกราวด์กริด
- พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบน้อยแรงดันที่ตาข่ายคือ
 - เส้นผ่านศูนย์กลางสายตัวนำ
 - ความหนาของผิววัตถุ

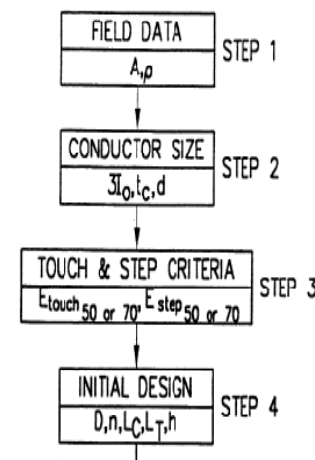
4.8.5 ลักษณะทางเรขาคณิตของกริด

- โดยทั่วไป ขีดจำกัดของพารามิเตอร์ทางกายภาพสำหรับกราวด์กริด อยู่บนพื้นฐานทางด้านเศรษฐศาสตร์ และขีดจำกัดทางกายภาพของการติดตั้งกริด
- ระยะห่างระหว่างสายตัวนำโดยทั่วไป จะมีขนาดจาก 2 m ถึง 15 m
- ระยะความลึกของกริดโดยทั่วไป จะมีขนาดจาก 0.5 m ถึง 1.5 m
- สายตัวนำมีขนาดจาก 2/0 AWG (67 mm²) ถึง 500 kcmil (253 mm²)
- เส้นผ่าศูนย์กลางสายตัวนำมีผลกระทบเล็กน้อยต่อแรงดันที่ตาข่าย
- พื้นที่ของระบบกราวด์คือตัวประกอบทางเรขาคณิตที่สำคัญมาก

4.9 ดัชนีของพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบ

- พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.8
- สำหรับตารางที่ 4.2 คือข้อสรุปของพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบที่ใช้ในกระบวนการออกแบบ หรือดัชนีของพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อให้ค้นหาความหมายของสัญลักษณ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

4.10. ขั้นตอนการออกแบบ

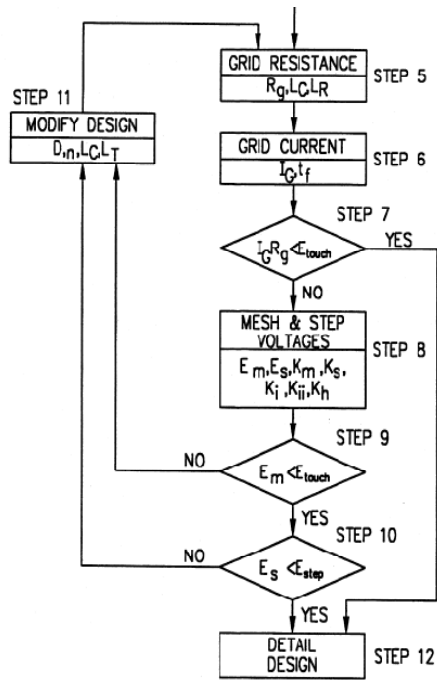


แผนที่และแปลนตำแหน่งทั่วไปของสถานีไฟฟ้าย่อย พื้นที่ และ สภาพดิน

ขนาดของตัวนำ (d) พิจารณาจาก กระแสฟอลต์(3I₀) เวลาในการตัดกระแส (t_c)

แรงดันการสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวที่ยังพอทนได้

การออกแบบขั้นต้น ระยะห่างระหว่างสายตัวนำ ขนาน (D) ตัวประกอบทางเรขาคณิต (n) ความยาวของตัวนำต่อลงดิน (L) และความลึก



5. หาค่าความต้านทานชั้นดินของระบบการต่อลงดินอยู่บนฐานของแบบจำลองส่วนประกอบของระบบการต่อลงดินและความยาวของตัวนำต่อลงดิน
6. กระแสกริด ถูกนำมาพิจารณา เพื่อป้องกันการออกแบบเกินจำเป็นของระบบการต่อลงดิน ส่วนนั้นของกระแสฟอลต์ทั้งหมดเท่านั้น ที่ไหลผ่านกริดไปยังดิน
7. ถ้า GPR ของการออกแบบขั้นต้นอยู่ต่ำกว่าแรงดันสัมผัสที่ยังพอทนได้ ก็ไม่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป
8. คำนวณแรงดันตาข่ายและแรงดันช่วงก้ำวสำหรับกริด
9. ถ้าแรงดันไฟฟ้าตาข่ายที่คำนวณได้ต่ำกว่าแรงดันสัมผัสที่ยังพอทนได้ ไปต่อขั้นตอนที่ 10 มิฉะนั้นให้กลับไปทบทวนการออกแบบขั้นต้นใหม่ (ขั้นตอนที่ 11)
10. ถ้าทั้งแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้ำวที่คำนวณได้ อยู่ต่ำกว่าแรงดันที่ยังพอทนได้ ไปต่อขั้นตอนที่ 12 ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ไปที่ขั้นตอน 11
11. ปรับปรุงแก้ไขการออกแบบกริด อาจจะได้โดยการลดระยะห่างระหว่างสายตัวนำให้เล็กลง เพิ่มเติมหลักสายดินเป็นต้น
12. อาจจะต้องการเพิ่มเติมกริดและแท่งหลักสายดิน สายตัวนำกริดเพิ่มเติมสำหรับบริเวณฐานของค้ำกึ่งที่เสา นิวทริลหม้อแปลงไฟฟ้า ศักย์ที่ถูกปล่อย และอันตรายอื่นๆ ในบริเวณพื้นที่พิเศษที่เกี่ยวข้องกัน เป็นต้น

4.11 การคำนวณแรงดันที่ตาข่าย และแรงดันช่วงก้ำวสูงสุด

- การคำนวณแรงดันที่ตาข่ายและแรงดันช่วงก้ำวสูงสุด ละเอียดมักคิดด้วยคอมพิวเตอร์
- แต่ในที่นี้จะอธิบายสมการในการประมาณค่าสำหรับการพิจารณาพารามิเตอร์การออกแบบ สำหรับการคำนวณแรงดันที่ตาข่ายและแรงดันช่วงก้ำวสูงสุด โดยไม่มีความจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ ส่วนตัวอย่างการคำนวณอื่นๆ จะอยู่ใน Annex D แล้ว

4.11.1 แรงดันตาข่าย (E_m)

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M}$$

K_m คือตัวประกอบทางเรขาคณิต

K_i คือตัวประกอบเป็นการแก้ไข

ρ คือสภาพต้านทานดิน

I_G/L_M คือกระแสเฉลี่ยต่อหน่วยของความยาวประสิทธิผลที่ถูกฝังในดินของสายตัวนำระบบกราวด์

ตัวประกอบทางเรขาคณิต K_m (ของ Sverak) คือ

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right]$$

สำหรับกริดกับแท่งหลักสายดินตามเส้นโดยรอบ หรือกริดกับแท่งหลักสายดินที่มุมกริดรวมทั้งตามเส้นโดยรอบและผ่านออกไปยังพื้นที่กริด

$$K_{ii} = 1$$

สำหรับกริดที่ไม่มีแท่งหลักสายดิน หรือกริดที่มีแท่งหลักสายดินเพียงสองสามแท่งเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ที่มุมต่างๆ หรือบริเวณโดยรอบ

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}}$$

ตัวประกอบความถูกต้องของผลความลึกกริด K_h

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad h_0 = 1\text{m (grid reference depth)}$$

h คือความลึกของกรวดกริด [m]

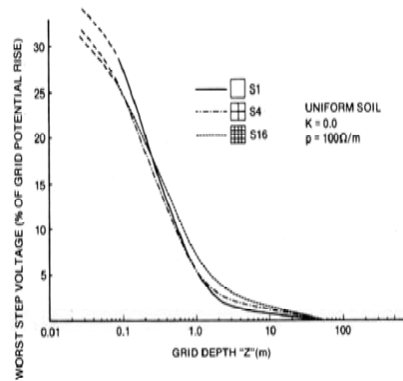


Figure F.11 – Step voltage versus grid depth

จำนวนประสิทธิผลของ ตัวนำที่วางขนานกันในกริดที่กำหนด n

- จำนวนประสิทธิผลของตัวนำที่วางขนานกันในกริดที่กำหนด n สามารถทำได้โดยการใช้กริดที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรูปร่างที่ไม่แน่นอน ที่แสดงจำนวนของตัวนำที่ขนานกันของกริดสี่เหลี่ยมมุมฉากสมมูล

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

เมื่อ

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_p}$$

โดย

$$n_b = 1 \text{ สำหรับกริดสี่เหลี่ยมจัตุรัส}$$

$$n_c = 1 \text{ สำหรับกริดสี่เหลี่ยมผืนผ้า}$$

$$n_d = 1 \text{ สำหรับกริด สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปตัว L}$$

หรือ

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} \quad n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0.7 \cdot \frac{A}{L_x \cdot L_y}} \quad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

L_C คือ ความยาวทั้งหมดของตัวนำในกริดแนวนอน m

L_p คือ ความยาวโดยรอบของกริด m

A คือ พื้นที่ของกริด m^2

L_x คือ ความยาวสูงสุดของกริดในทิศทาง x มีหน่วยเป็น m

L_y คือ ความยาวสูงสุดของกริดในทิศทาง y มีหน่วยเป็น m

D_m คือ ระยะห่างสูงสุดระหว่างสองจุดใดๆ ที่กริด มีหน่วยเป็น m

ตัวประกอบรูปร่างที่ไม่แน่นอน (K_p) ใช้ร่วมกับตัว n โดย

สำหรับกริดที่ไม่มีแท่งหลักสายดิน หรือกริดที่มีแท่งหลักสายดินเพียงสองสามแท่งตลอดทั้งกริด แต่ไม่อยู่ที่มุมหรือตามแนว

โดยรอบของกริด ความยาวที่ถูกฝังประสิทธิผล L_m คือ

$$L_M = L_C + L_R$$

สำหรับกริดที่มีแท่งหลักสายดินที่มุม รวมทั้งที่อยู่โดยรอบ

และตลอดกริด ความยาวที่ถูกฝังประสิทธิผล L_m คือ

L_R คือ ความยาวทั้งหมดของแท่งหลักสายดิน [m]

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

L_r คือ ความยาวของแต่ละแท่งหลักสายดิน [m]

4.11.2 แรงดันช่วงก้าว (E_s)



$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_s}$$

ρ คือสภาพต้านทานดิน
 K_s คือค่าแรงดันช่วงก้าว

ได้มาจากตัวประกอบ

ทางเรขาคณิต
 K_i คือค่าประกอบค่าการแก้ไข
 I_G คือกระแสไหลย้อน

หน่วยของความยาวที่ถูก
 ฝังของตัวนำระบบการ
 ต่อลงดิน

สำหรับกริดที่มีแท่งหลักสายดินหรือไม่มีแท่งหลักสายดิน ความยาวตัวนำที่
 ถูกฝังประสิทธิผล L_s คือ

แรงดันช่วงก้าวสูงสุดถูกสมมติให้เกิดขึ้นที่ระยะทาง
 เกิน 1 m การเริ่มต้นที่ขยายออกไปทางด้านนอกของ
 ตัวนำโดยรอบที่มีการแบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กันที่มุม
 เกินของกริด สำหรับความลึกของการฝังปกติอยู่ที่ 0.25

$$L_s = 0.75 \cdot L + 0.85 \cdot L_p$$

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

4.12 การกลั่นกรองการออกแบบในเบื้องต้น

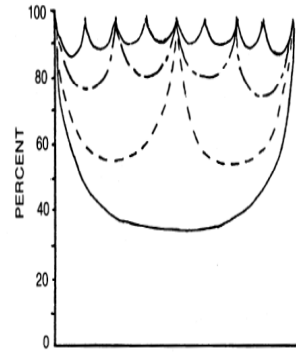
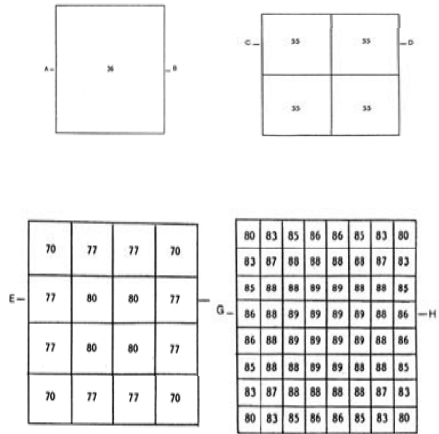
- ถ้าคำนวณในเบื้องต้นแล้ว เกิดความแตกต่างของศักย์ที่อันตราย ที่
 สามารถเกิดขึ้นได้ในสถานีไฟฟ้าย่อย ควรใช้วิธีการดังต่อไปนี้
 - (ก) การลดค่าความต้านทานกริดทั้งหมด
 - (ข) เพิ่มระยะห่างกริดให้ชิดกันมากขึ้น
 - (ค) การเบี่ยงเบนในส่วนที่ใหญ่กว่าของกระแสฟอลต์
 - (ง) การจำกัดกระแสฟอลต์ทั้งหมด ถ้าสามารถทำให้เหมาะสม การจำกัด
 กระแสฟอลต์ทั้งหมดจะลด GPR และการกระจายทั้งหมดในสัดส่วน
 ของตัวประกอบอื่นๆ
 - (จ) การกั้นทางเข้าถึงพื้นที่ที่น่าจะเป็นไปได้ของอันตรายให้กับเจ้าหน้าที่

การลดค่าความต้านทานกริดทั้งหมด

Table F.1—Touch voltages for multiple driven rods

(A) Uniform soil					
	R1	R2	R3	R4	R5
Electrode type					
Resistance (Ω)	11.85	6.43	4.52	3.01	2.16
Touch* Voltage (%)	84.7	72.0	68.2	59.1	40.8
(B) R9 in two-layer soil ($H = 5$ m)					
Reflection factor K	-0.9	-0.5	Uniform soil (0.0)	0.5	0.9
Resistance (Ω)	0.169	0.926	2.16	4.21	8.69
Touch* Voltage (%)	51.1	47.4	40.8	31.8	19.3

เพิ่มระยะห่างกริดให้ชิดกันมากขึ้น



Potential distribution for a ground mat with various mesh densities; ground mat potential = 100%

เพิ่มระยะห่างกริดให้ชิดกันมากขึ้น

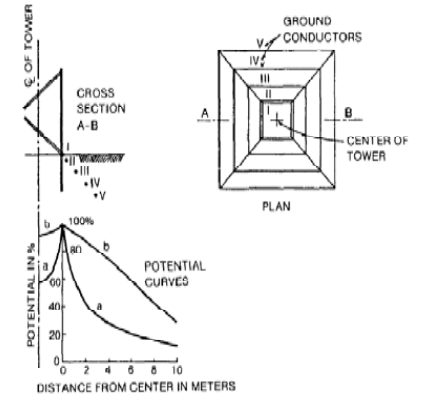
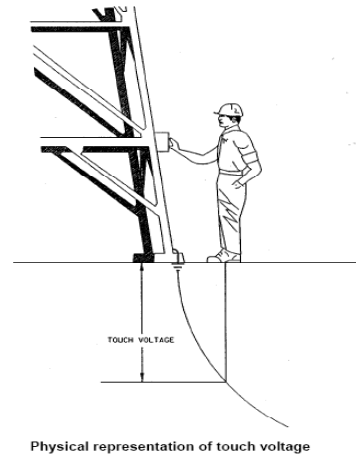
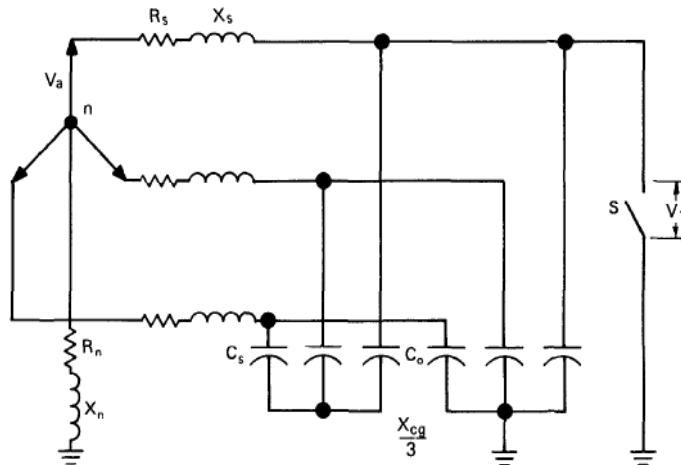


Figure 10. Potential Distribution Around a Mast Footing in the Direction A-B for a Mast with Ramp (Curve b) and without Ramp (Curve a)

การจำกัดกระแสฟอลต์ทั้งหมด



การกันทางเข้าถึงพื้นที่

