การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(Grounding and Bonding of Standby Generator)

ผศ.ดร.สำเริง ฮินท่าไม้

- กรรมการร่าง มฐ. ดาตาเซนเตอร์
- กรรมการร่าง มฐ. การออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- และกรรมการร่าง มฐ. ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินและโคมไฟฟ้าป้ายทางออกฉุกเฉิน วสท.
- อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ศรีปทุม

เนื้อหา

๑.การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

๒.การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

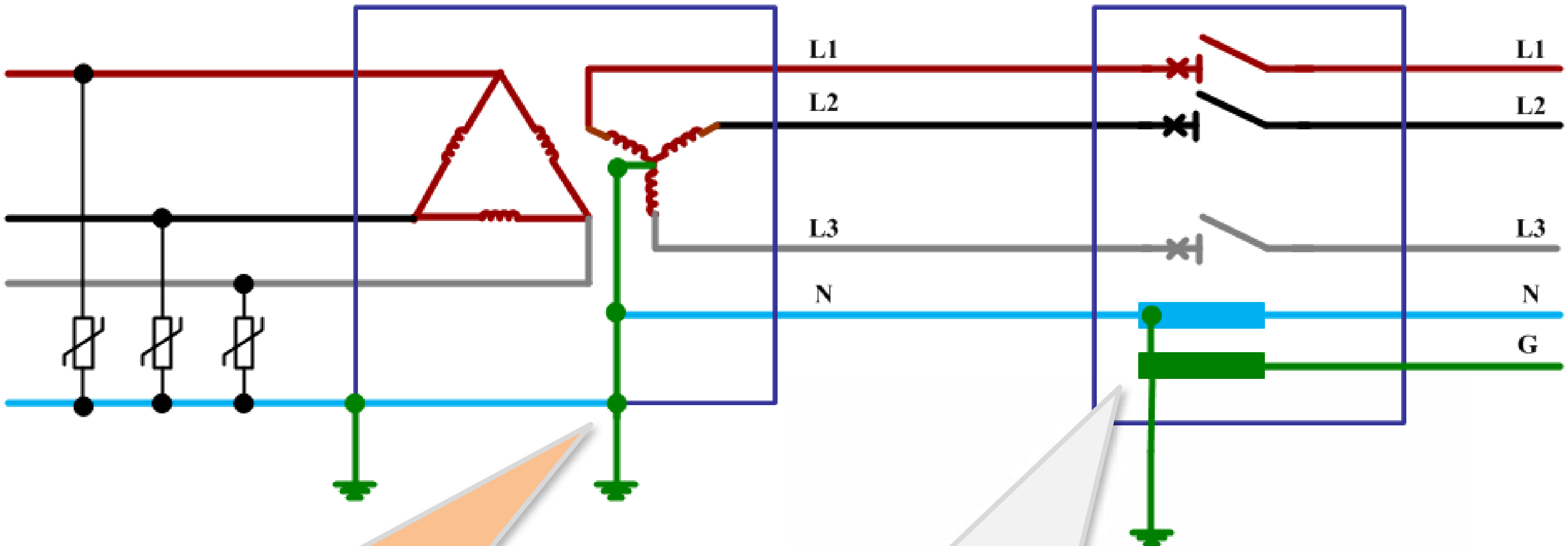
๓.การต่อลงดินของถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายในอาคาร

๔.การป้องกันฟ้าผ่าถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายนอกอาคาร

๕.ความต้านทานดินและแท่งหลักดิน

ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน

ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน

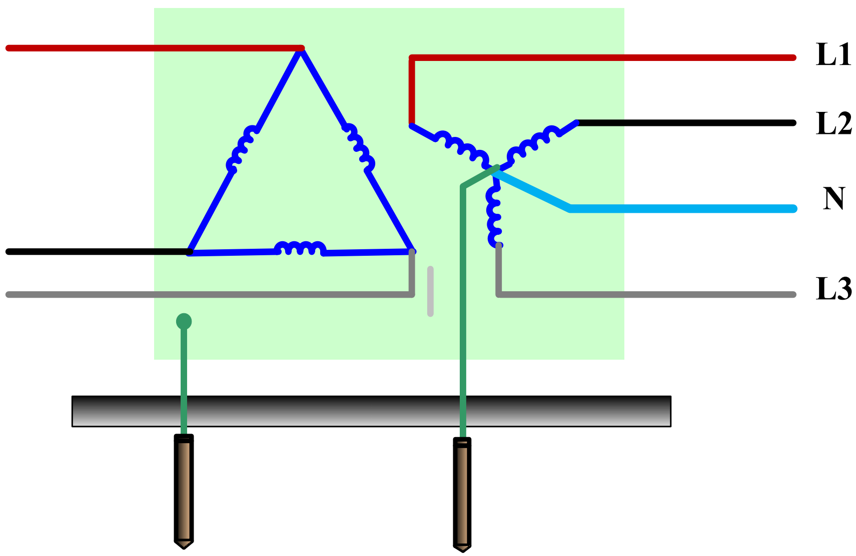


สายนิวทรัล(N) ของหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำของ กฟน. และ กฟภ. จะถูกต่อลงดิน

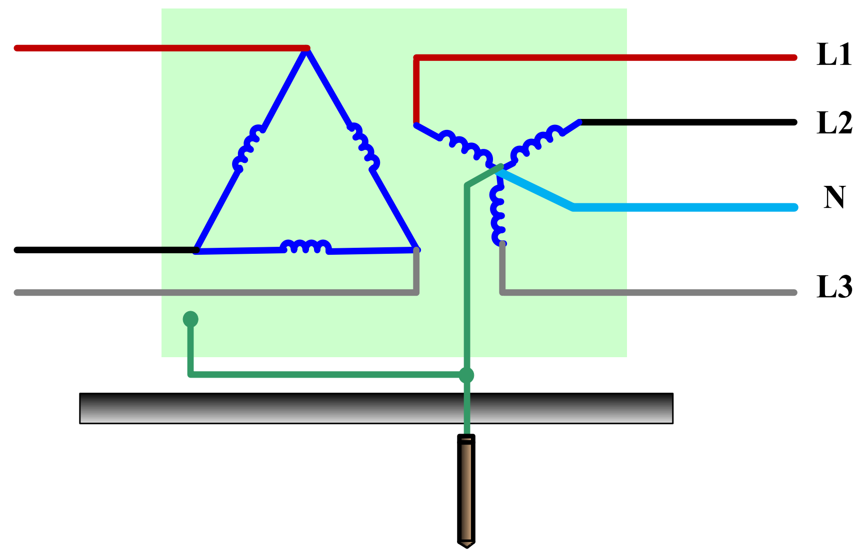
ขั้ว N และ G ของบริภัณฑ์ประธาน (MDB) มาตรฐานกำหนดให้ต่อลงดิน

การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

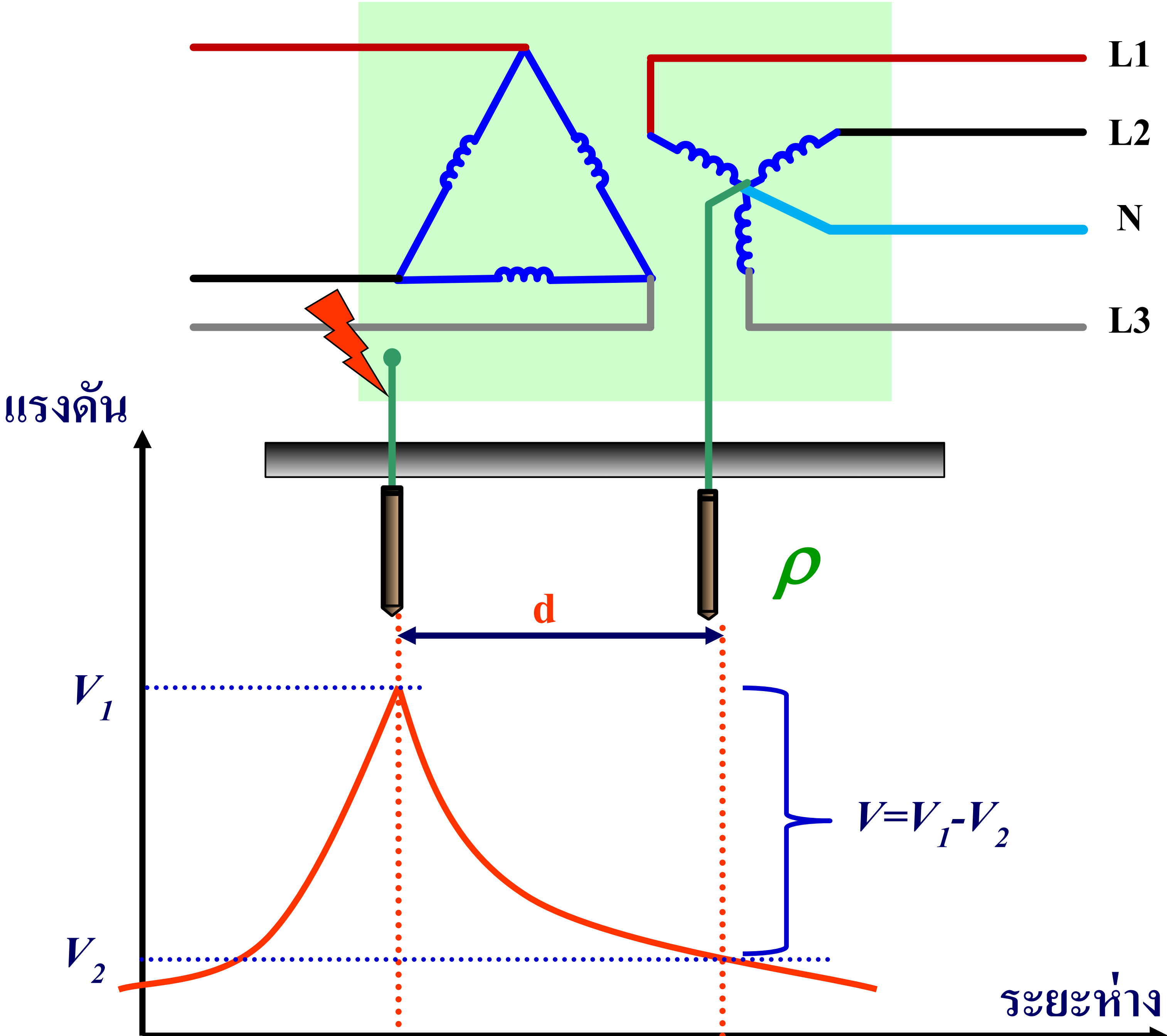
- การต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลง

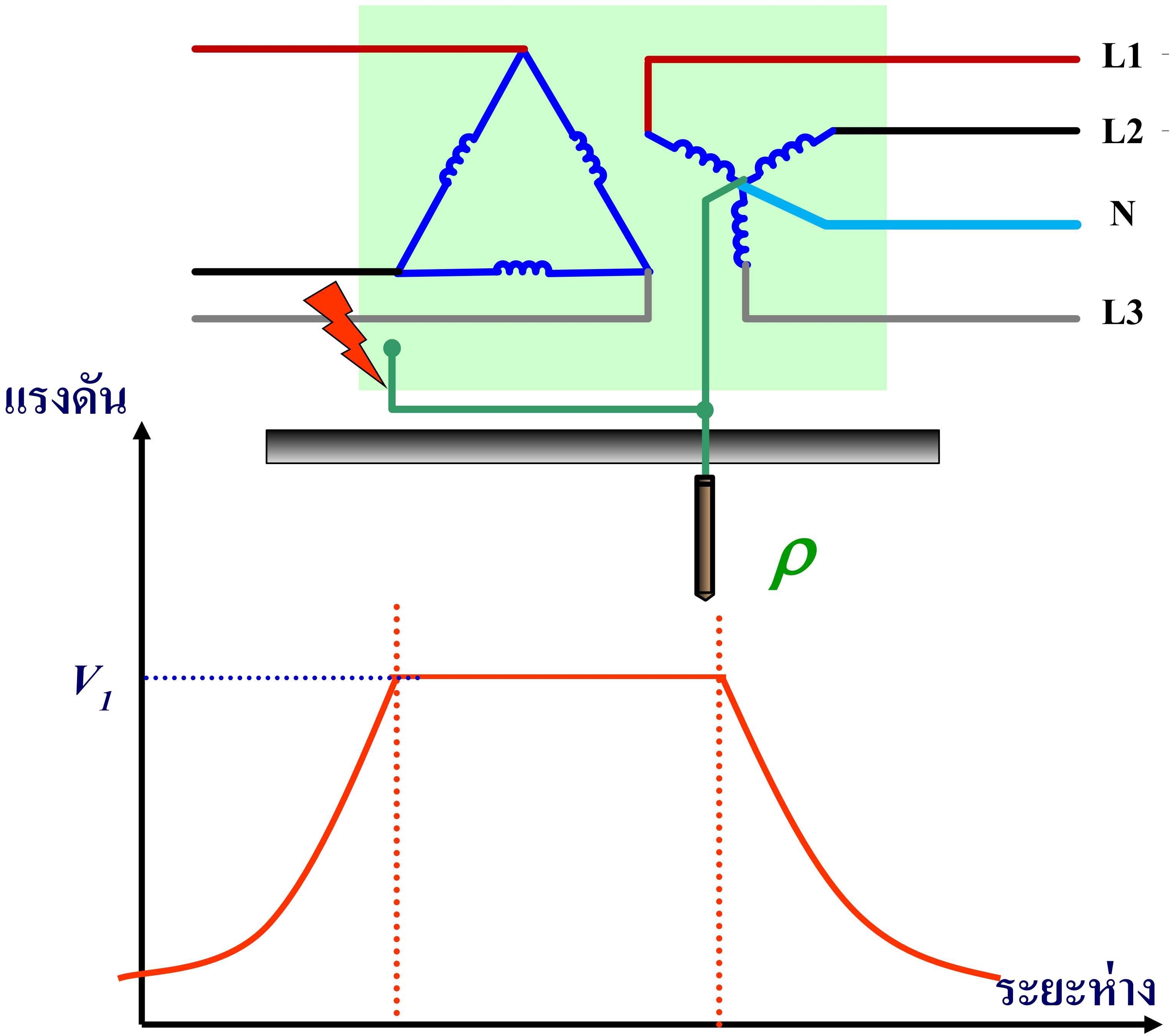


การต่อลงดินแยกกัน



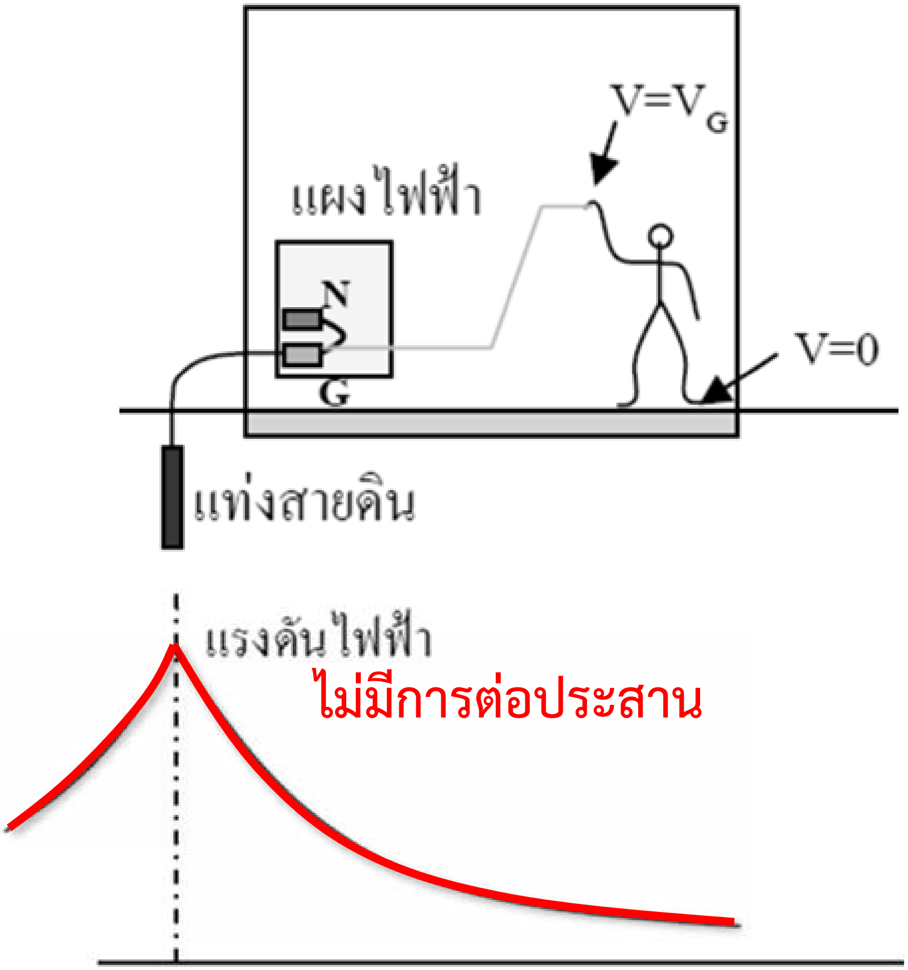
การต่อลงดินร่วมกัน

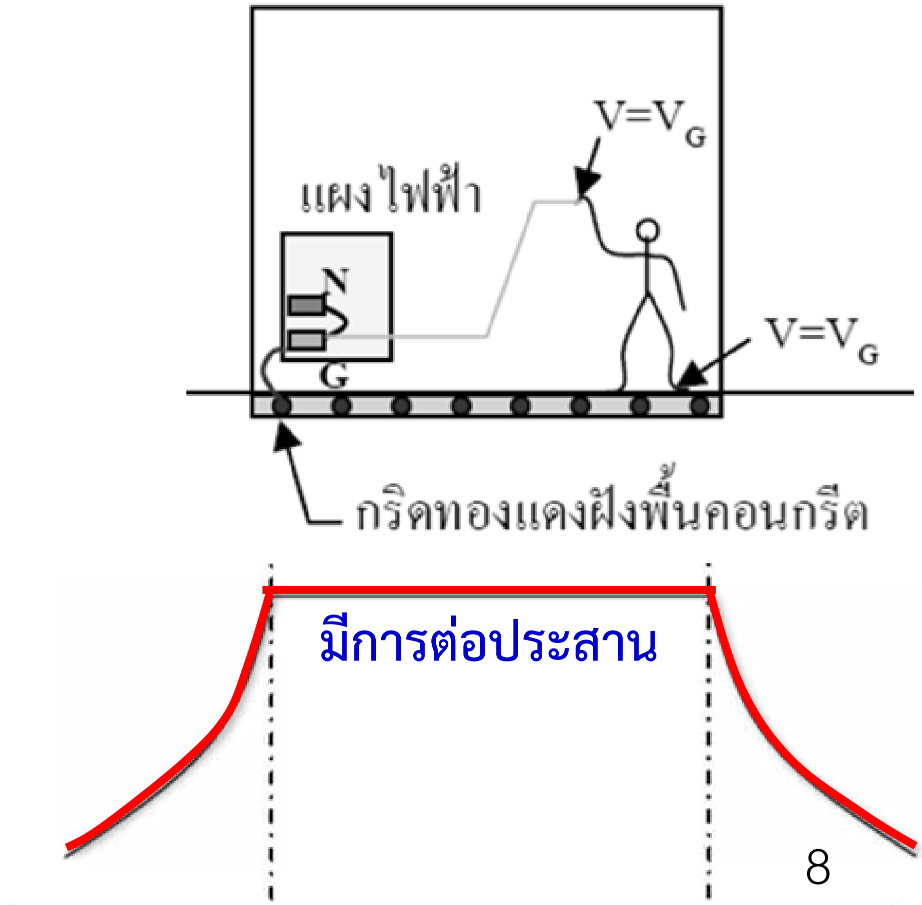

L1
L2
N
L3
แรงดัน
ρ
d
V_1
$V=V_1-V_2$
V_2
ระยะห่าง



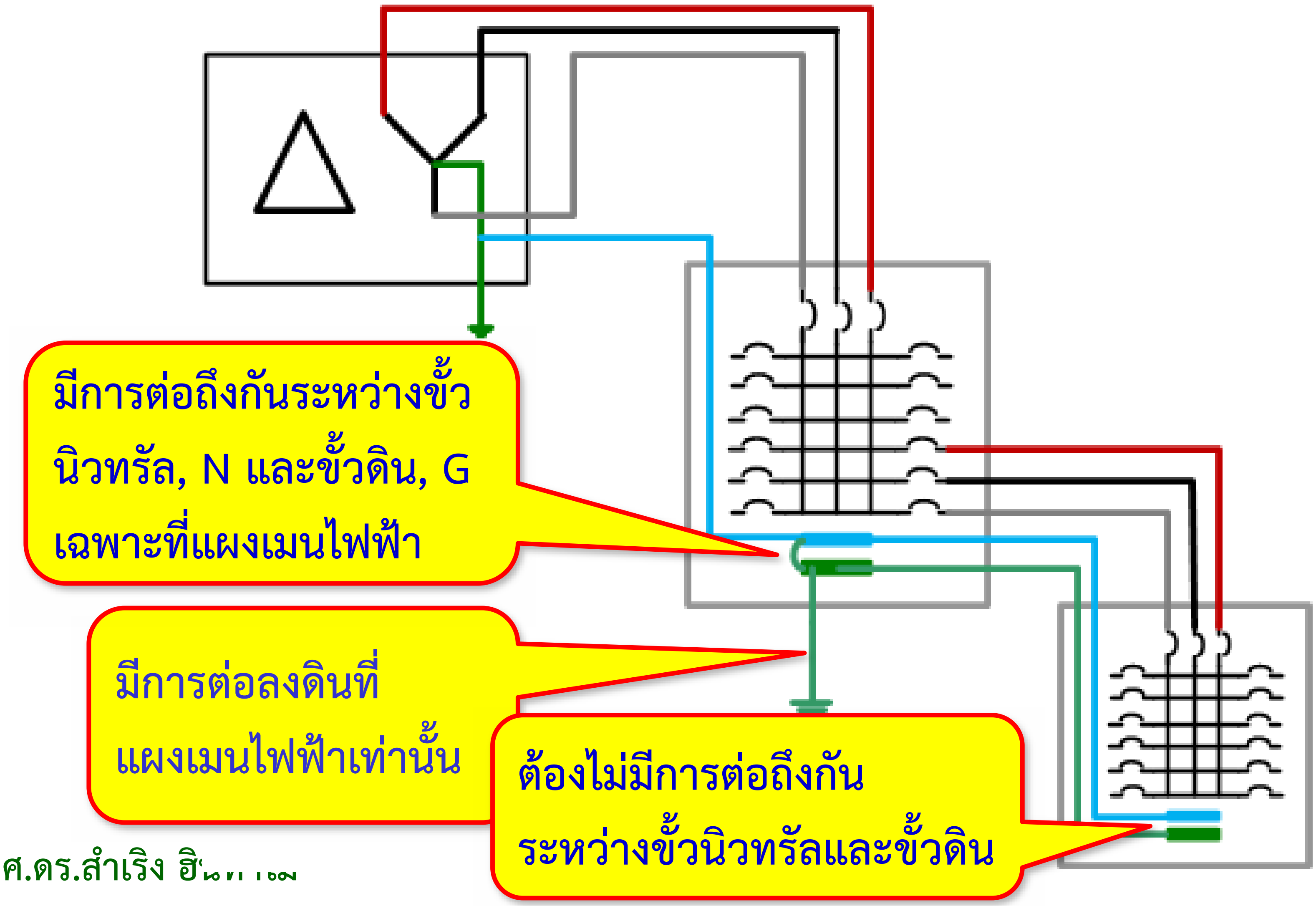
L1
L2
N
L3
แรงดัน
ρ
V1
ระยะห่าง

ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน(ต่อ)





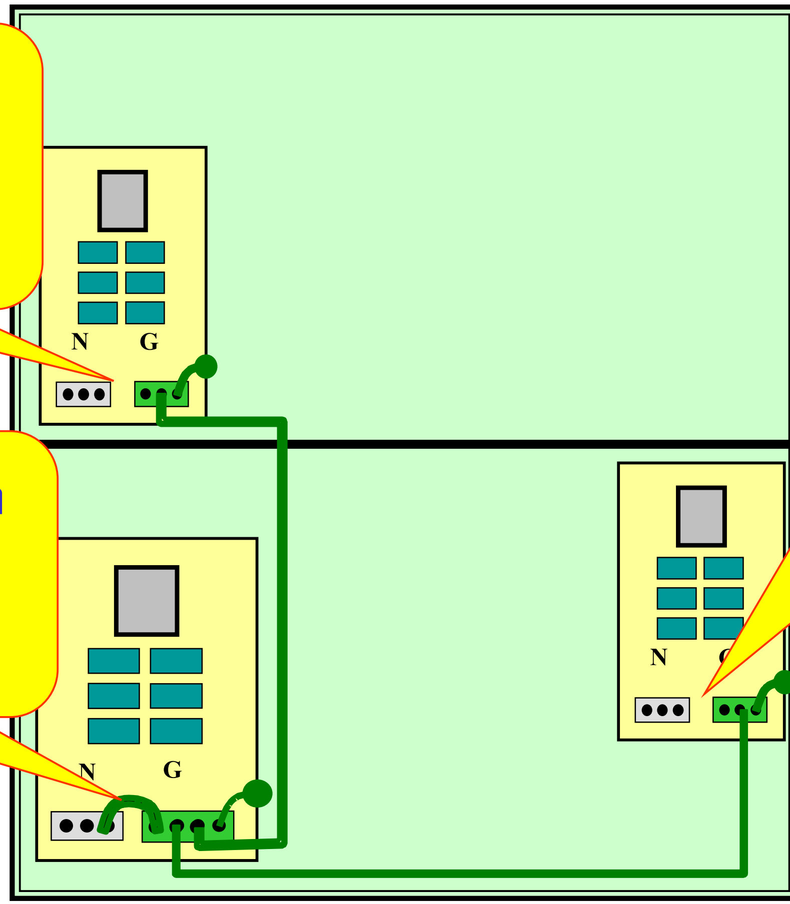
ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน(ต่อ)



ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน(ต่อ)

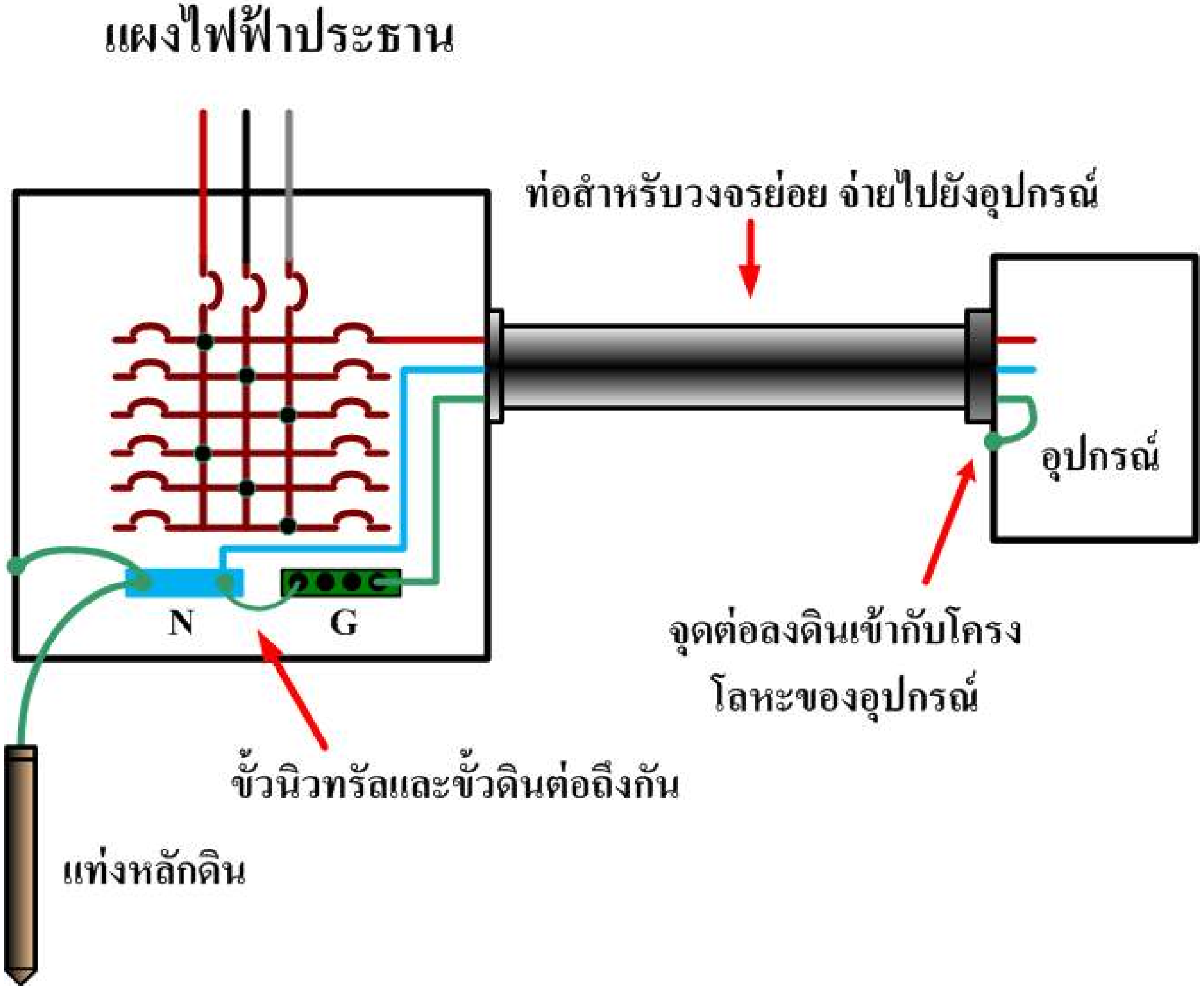
แผงย่อยชั้นบน ห้ามต่อถึงกันระหว่างขั้วต่อสายดินกับขั้วต่อสายนิวทรัล

แผงเมนสวิตช์ ต้องต่อถึงกันระหว่างขั้วต่อสายดินกับขั้วต่อสายนิวทรัล



แผงย่อยชั้นล่าง ห้ามต่อถึงกันระหว่างขั้วต่อสายดินกับขั้วต่อสายนิวทรัล

ทบทวนการต่อลงดินและการต่อประสาน(ต่อ)



ตารางที่ 4-1 ขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดสายประธานเข้าอาคาร (ตัวนำทองแดง) ตร.มม.	ขนาดสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) ตร.มม.
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

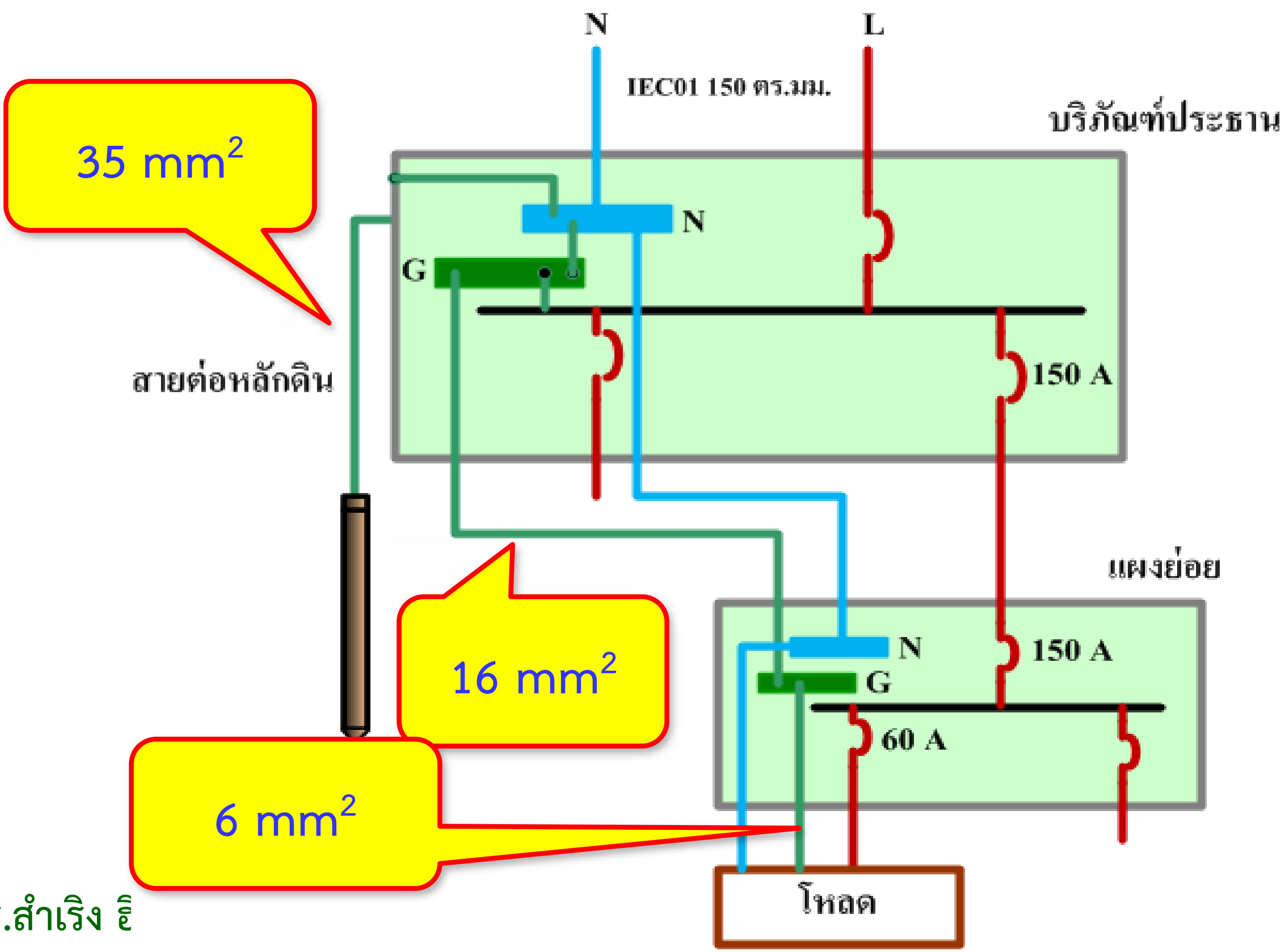
ตารางที่ 4-2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน(แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า(ตัวนำทองแดง) ตร.มม.
16	1.5*
20	2.5*
40	4*
70	6*
100	10
200	16
400	25
500	35

ตารางที่ 4-2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า(ต่อ)

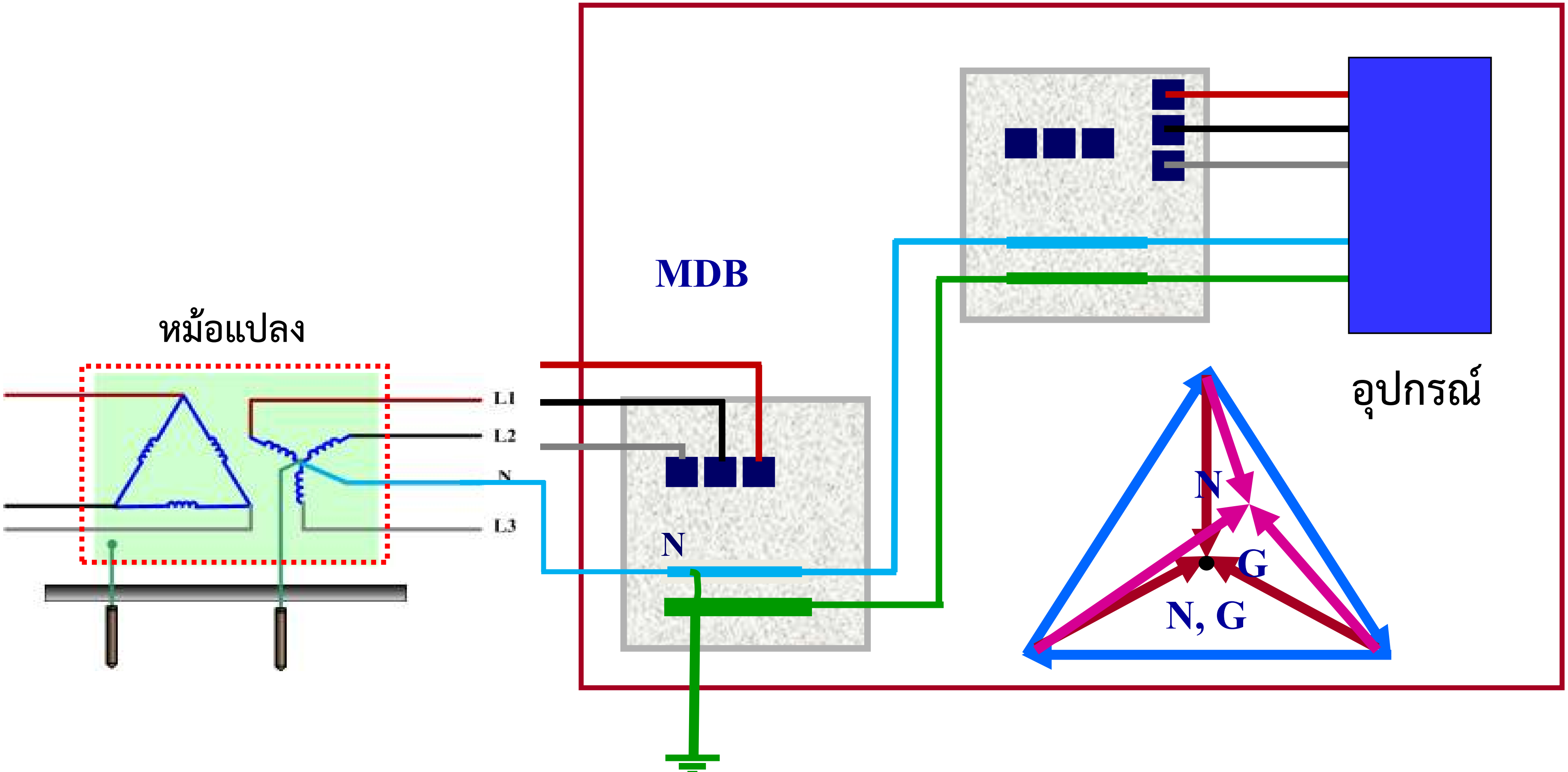
พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน(แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า(ตัวนำทองแดง) ตร.มม.
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

ตัวอย่างหาขนาดสายต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า



การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า



การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน และโดยทั่วไปจะหมายถึงการต่อจุดนิวทรัลลงดิน

- เพื่อทำให้แรงดันเทียบกับดินมีค่าคงตัวในขณะระบบไฟฟ้าทำงานปกติ

- ช่วยจำกัดขนาดแรงดันเกิน (overvoltage) ที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

- และเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้นจะช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น

การต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะ หรือสื่อตัวนำไฟฟ้าที่ห่อหุ้มบริภัณฑ์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและไม่ใช่ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้า ซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับตัวนำที่ต่อลงดิน

- เพื่อทำให้มีศักย์ไฟฟ้าใกล้หรือเท่ากับศูนย์เมื่อเทียบกับดิน

-และเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัดวงจรได้รวดเร็วขึ้น เมื่อมีการลัดวงจรลงดิน

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)

ระบบ TN

ระบบ TN มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับจุดนั้นด้วย

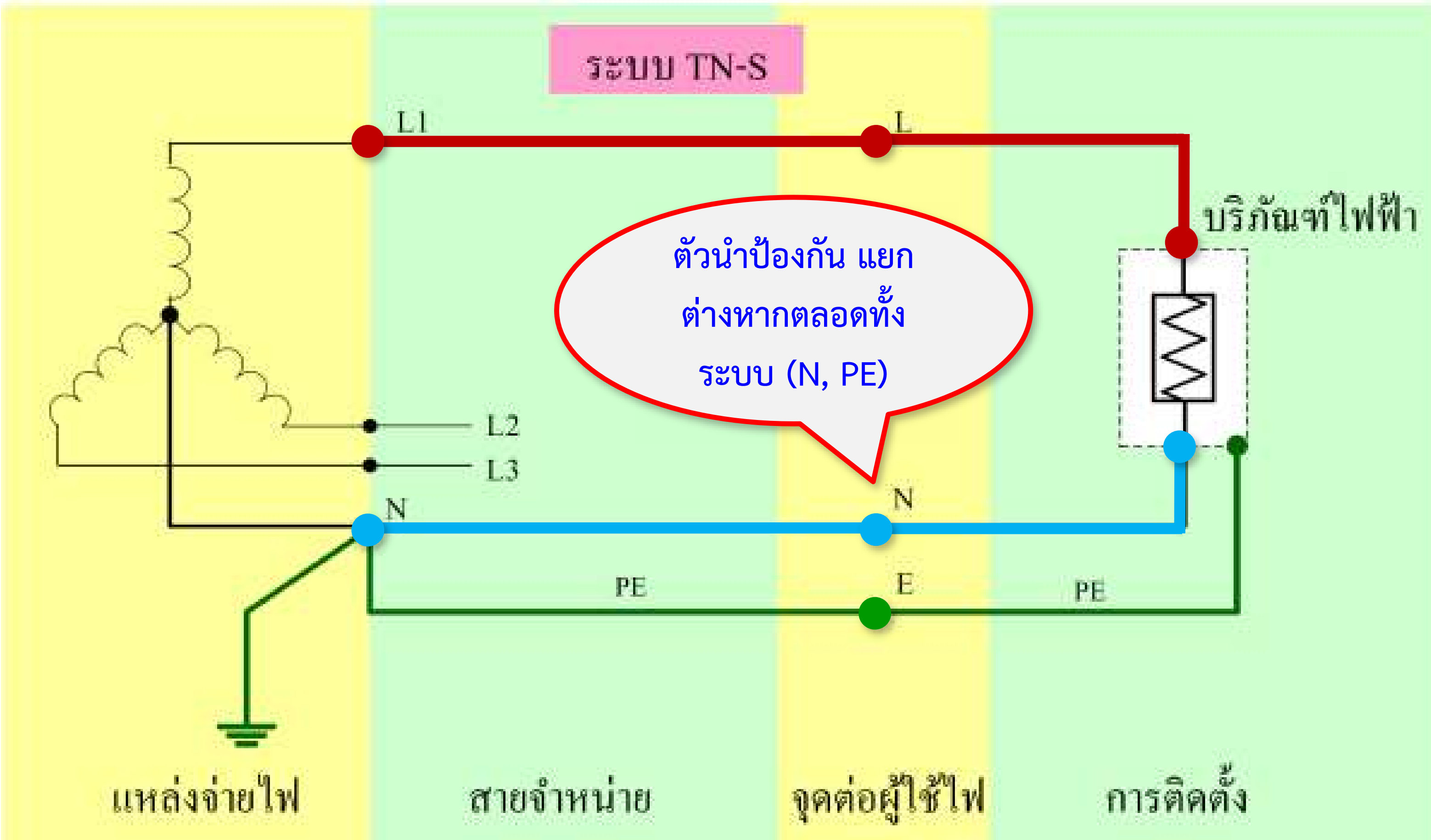
ระบบ TT

มีหนึ่งจุดต่อลงดินโดยตรง ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับหลักดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับหลักดินของระบบไฟฟ้า

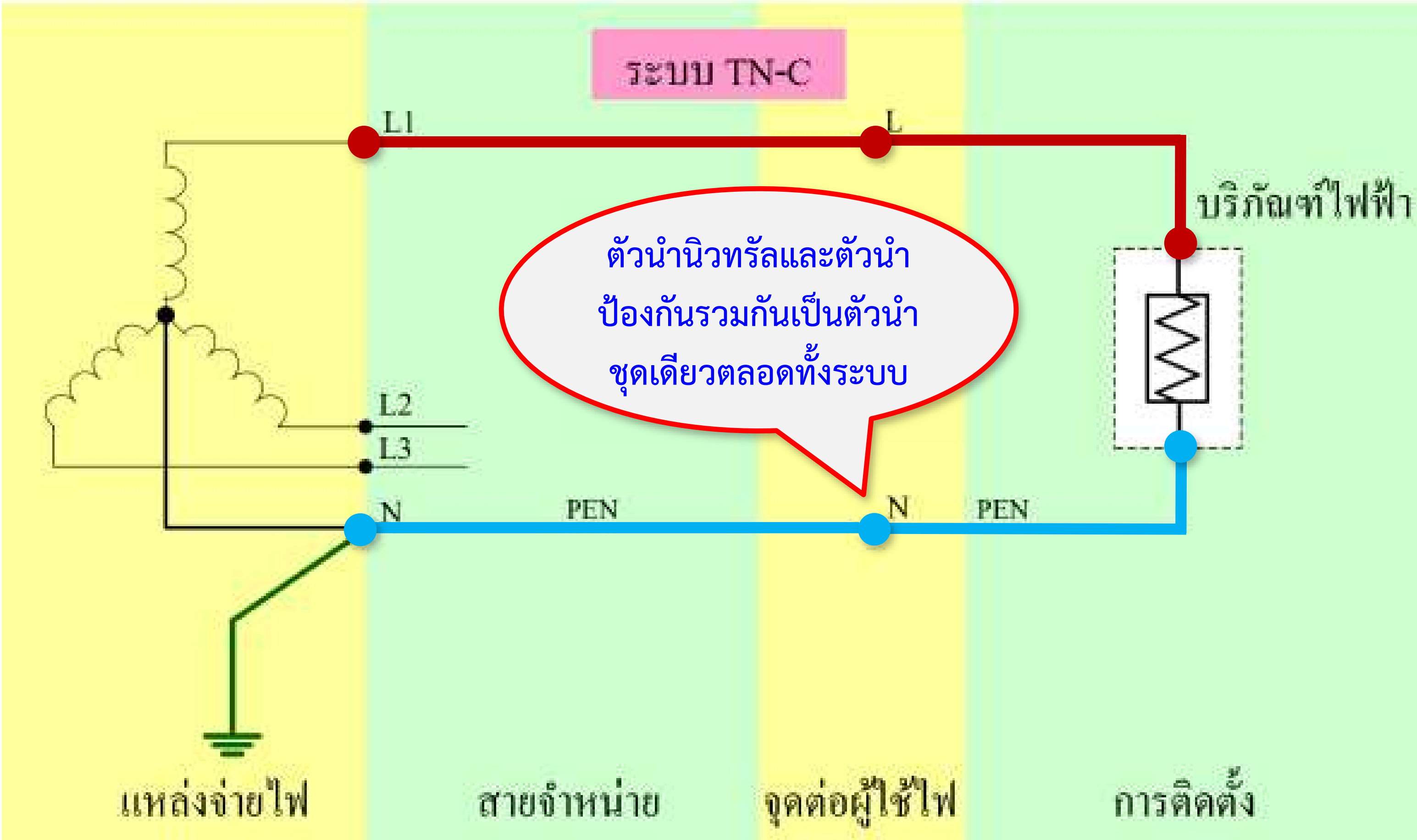
ระบบ IT

ส่วนที่มีไฟทั้งหมดแยกออกจากดิน หรือจุดหนึ่งต่อกับดินผ่านอิมพีแดนซ์ ส่วนตัวนำที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อลงดินอิสระ หรือต่อร่วมกันกับการต่อลงดินของระบบ

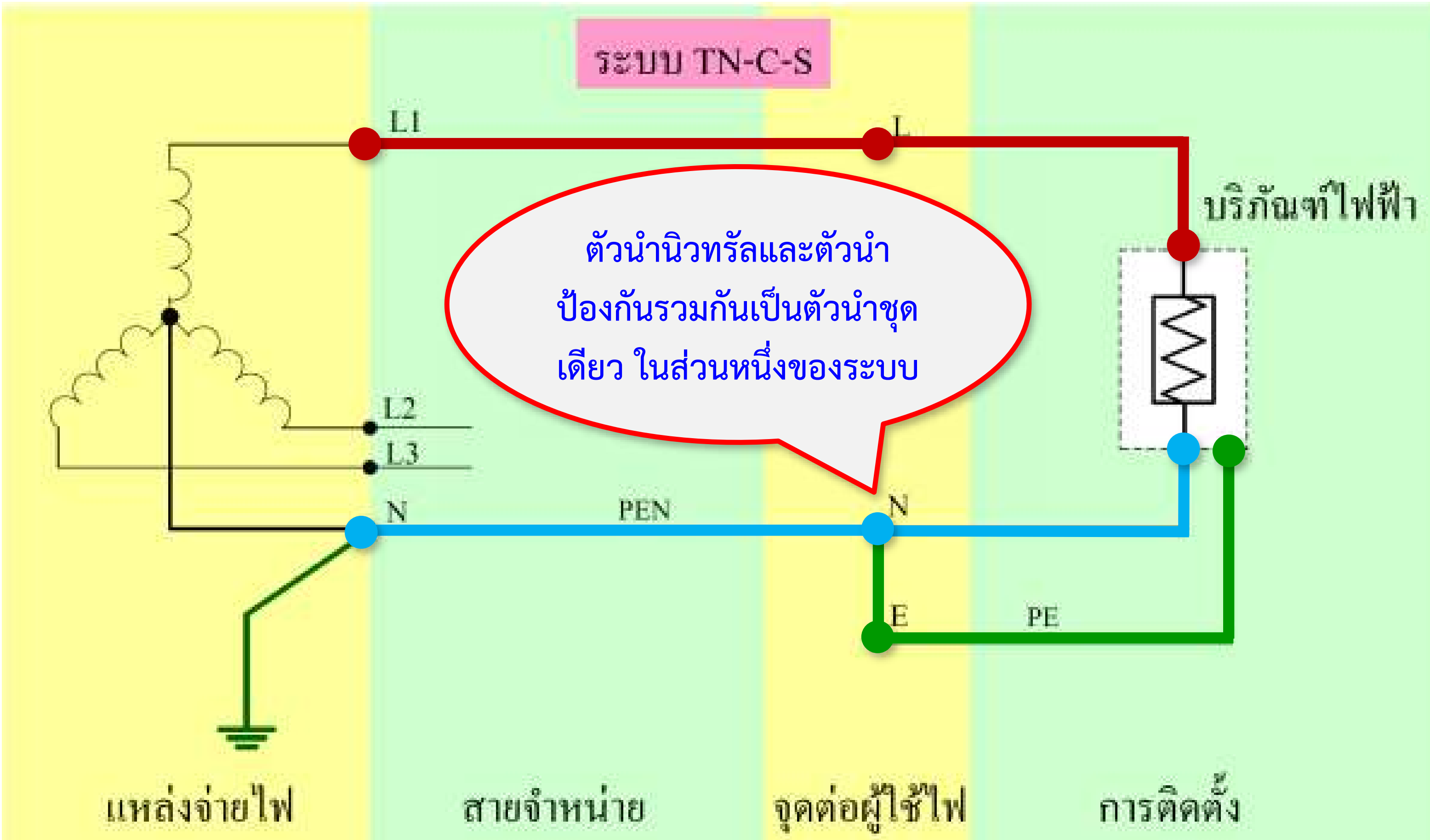
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)



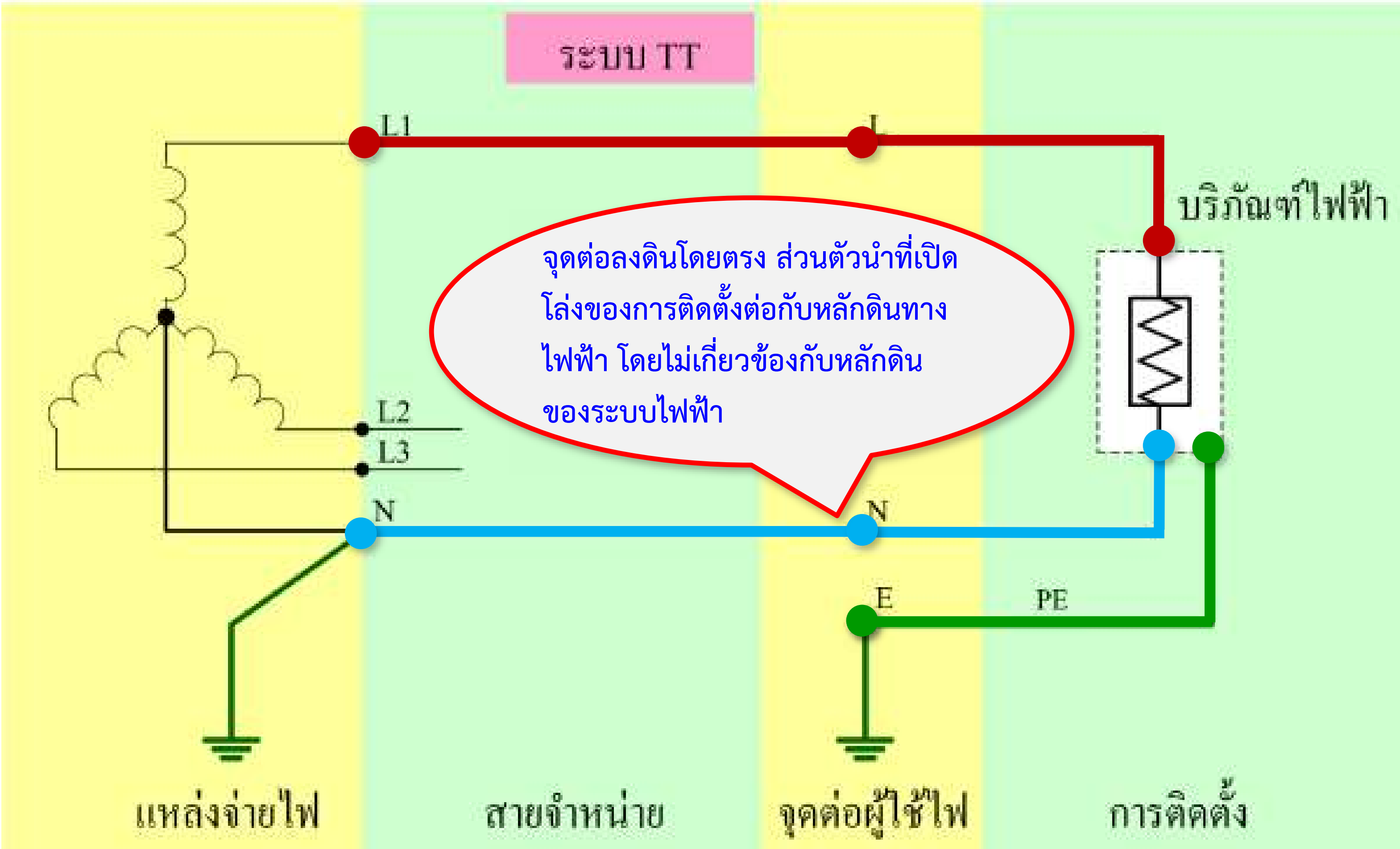
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)



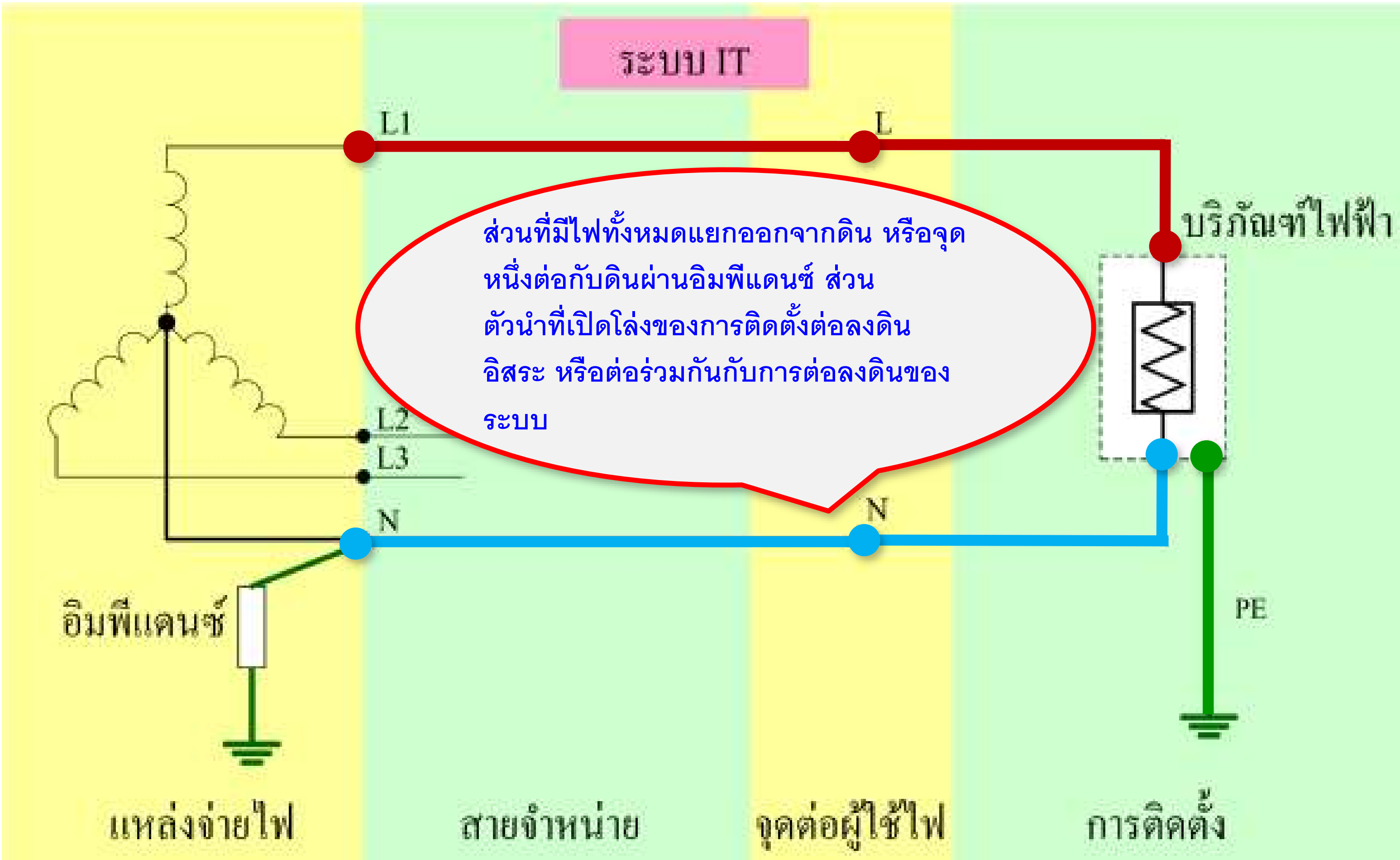
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)



การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)

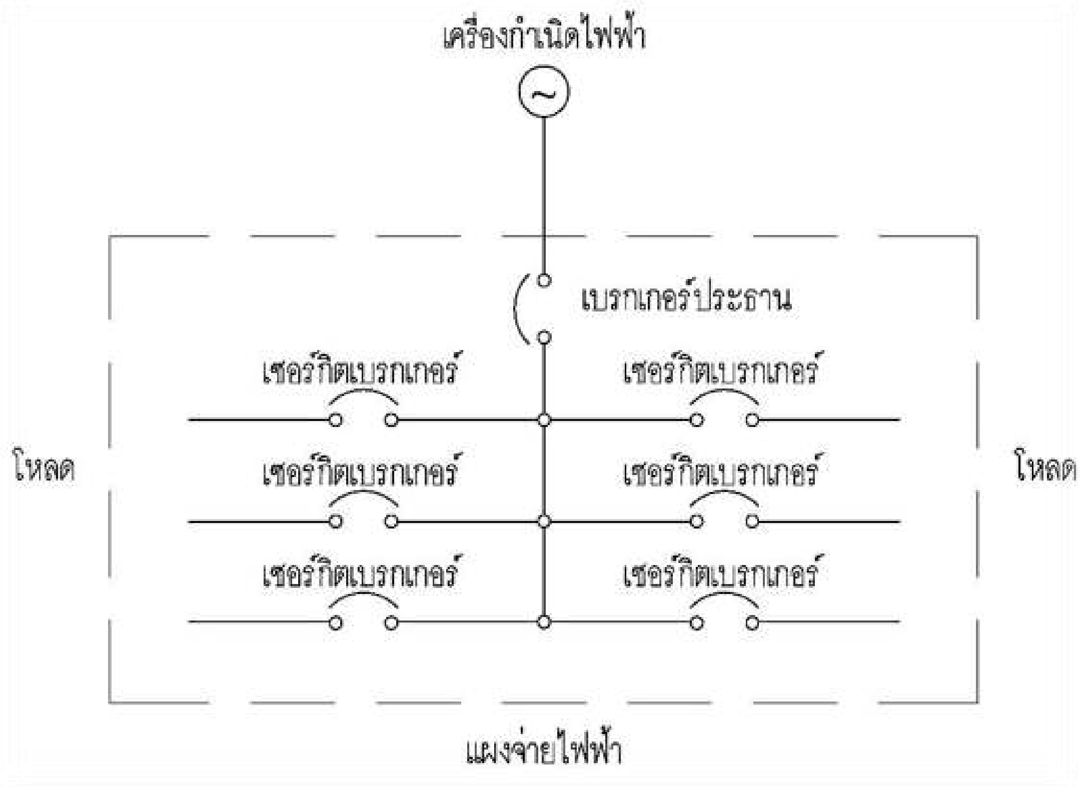


การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (ต่อ)



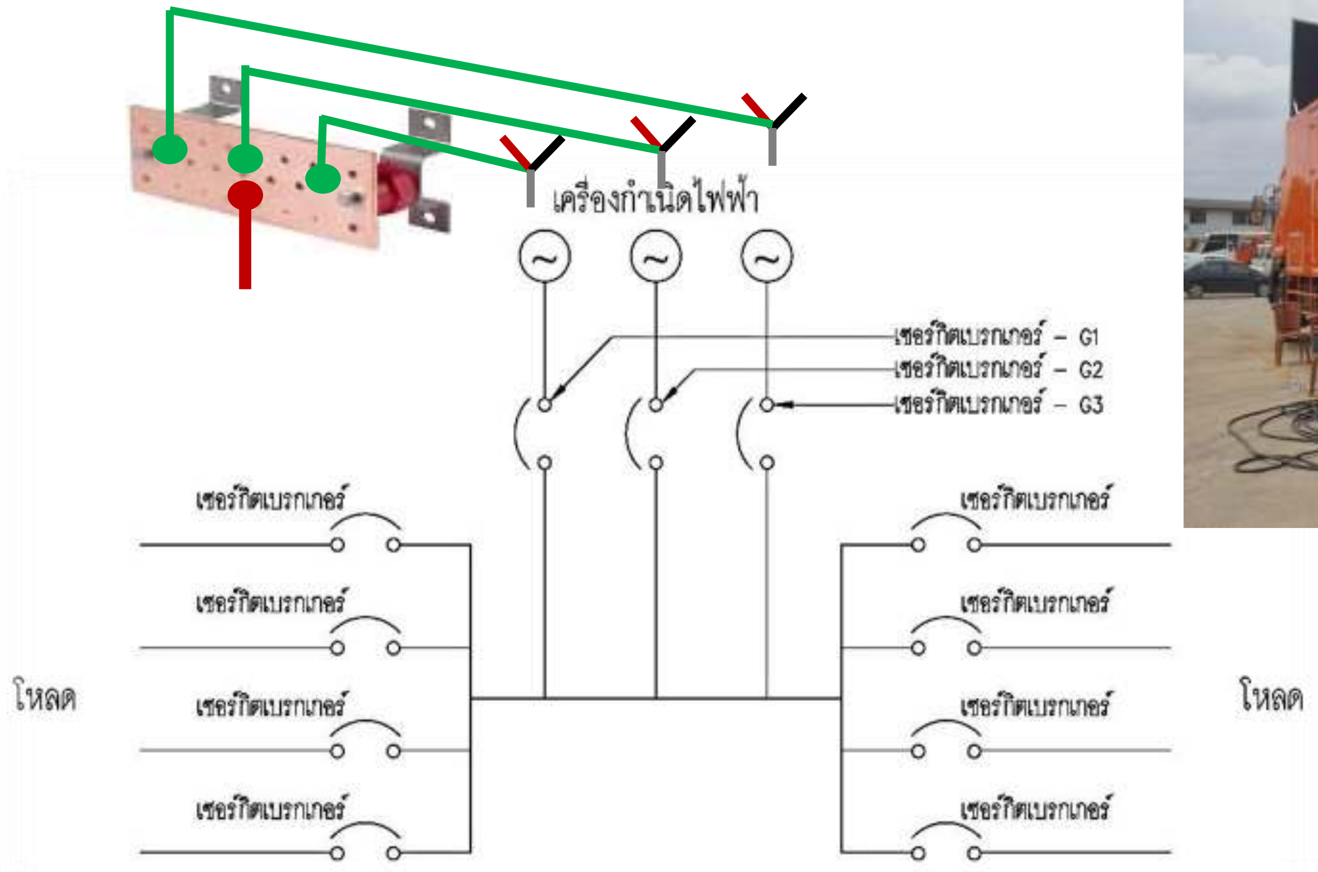
การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



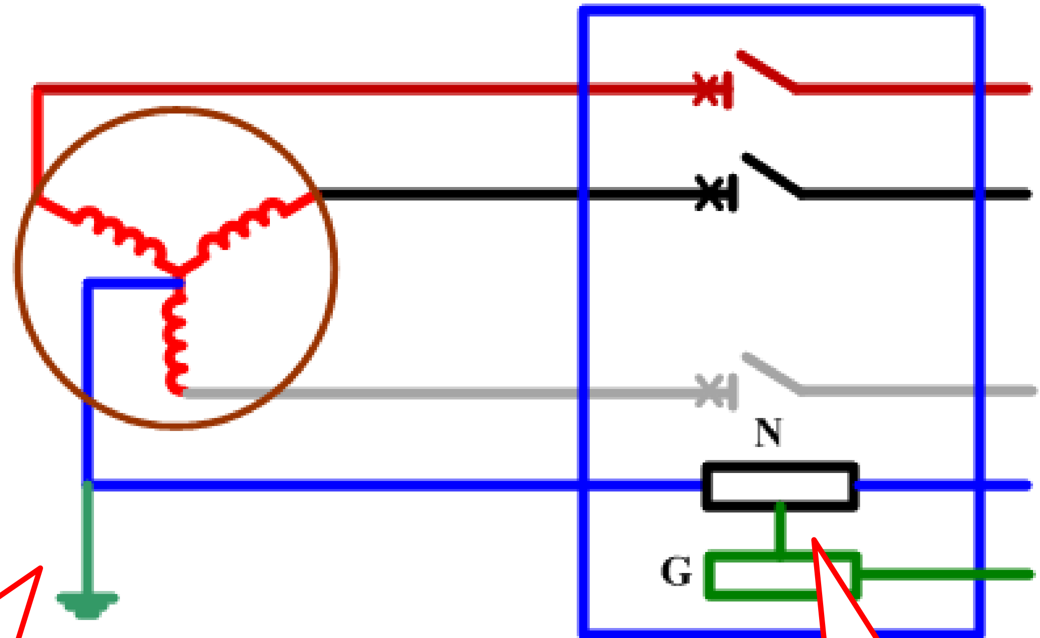
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ๑ ชุดติดตั้งเพื่อรองรับการจ่ายโหลดทั้งหมด

การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)



เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 1 ชุดติดตั้งเพื่อรองรับการจ่ายโหลดทั้งหมด

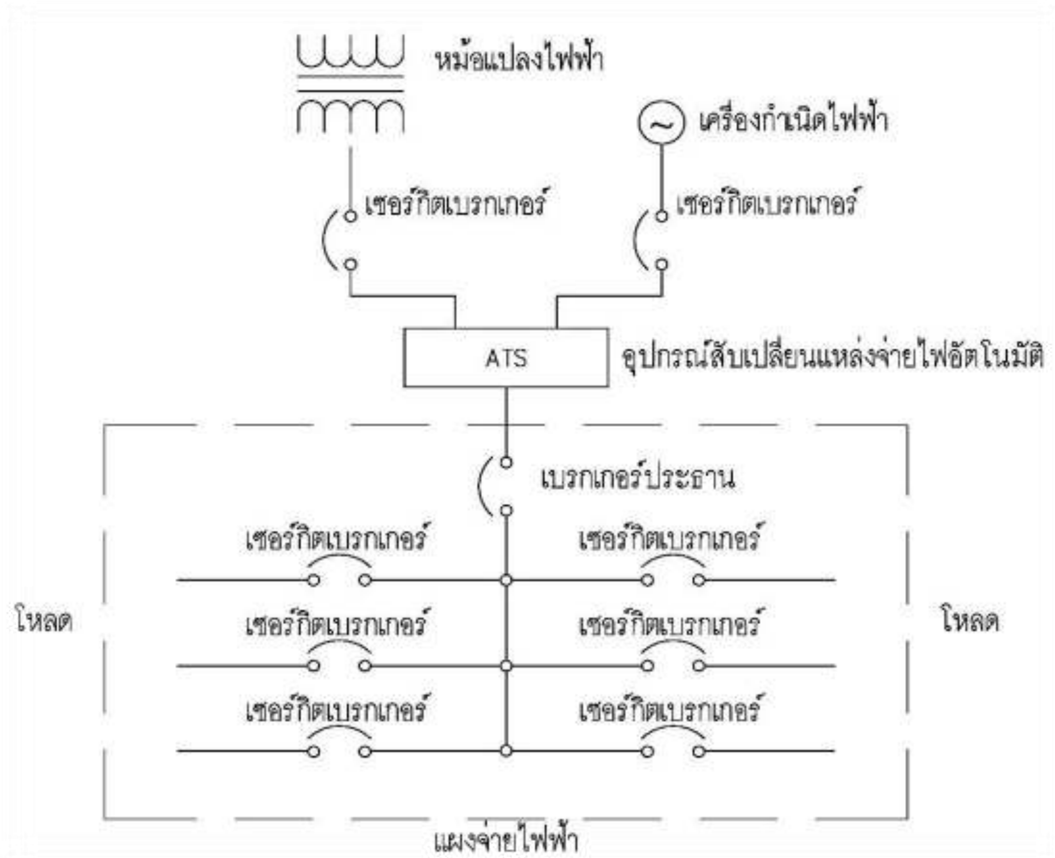
การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)



ต่อลงดินจุดใดก็ได้ ระหว่าง GEN กับ CB

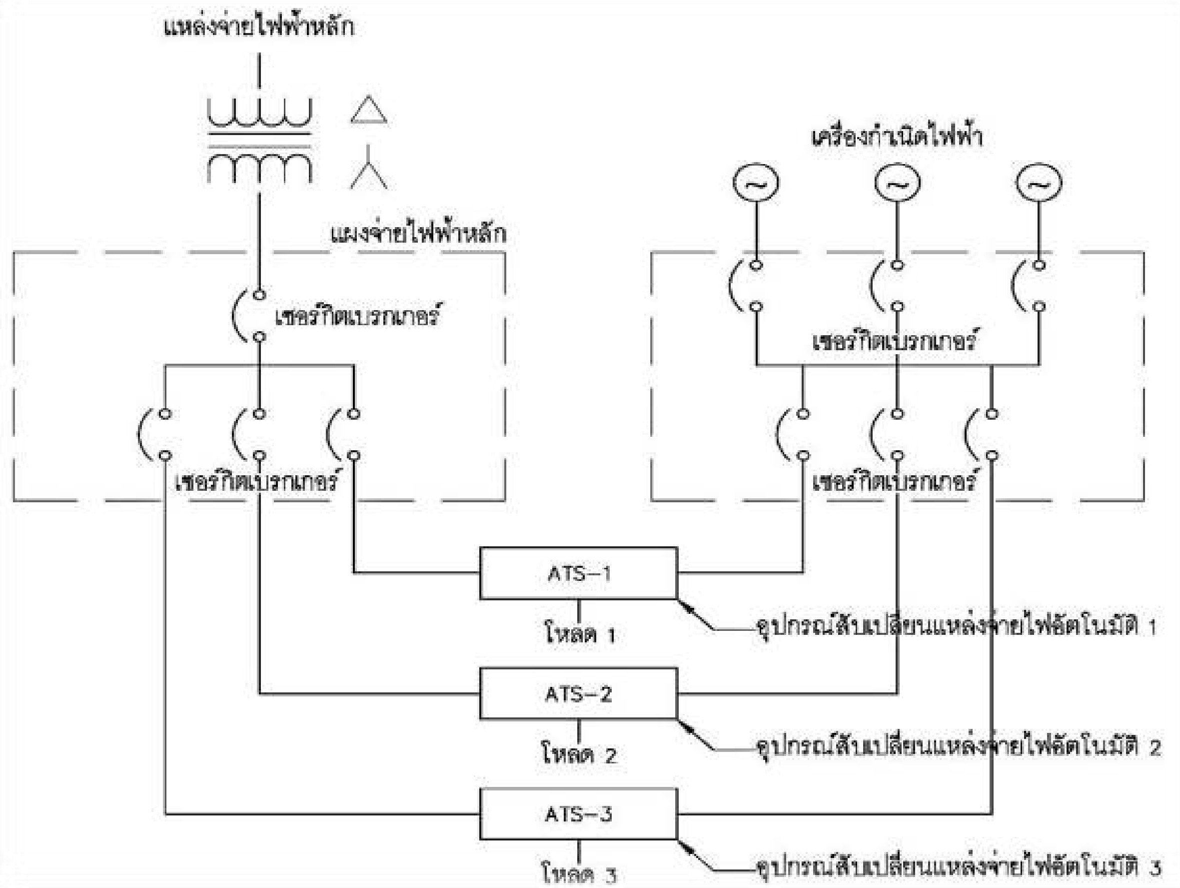
ต้องฝากด้วย

การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)



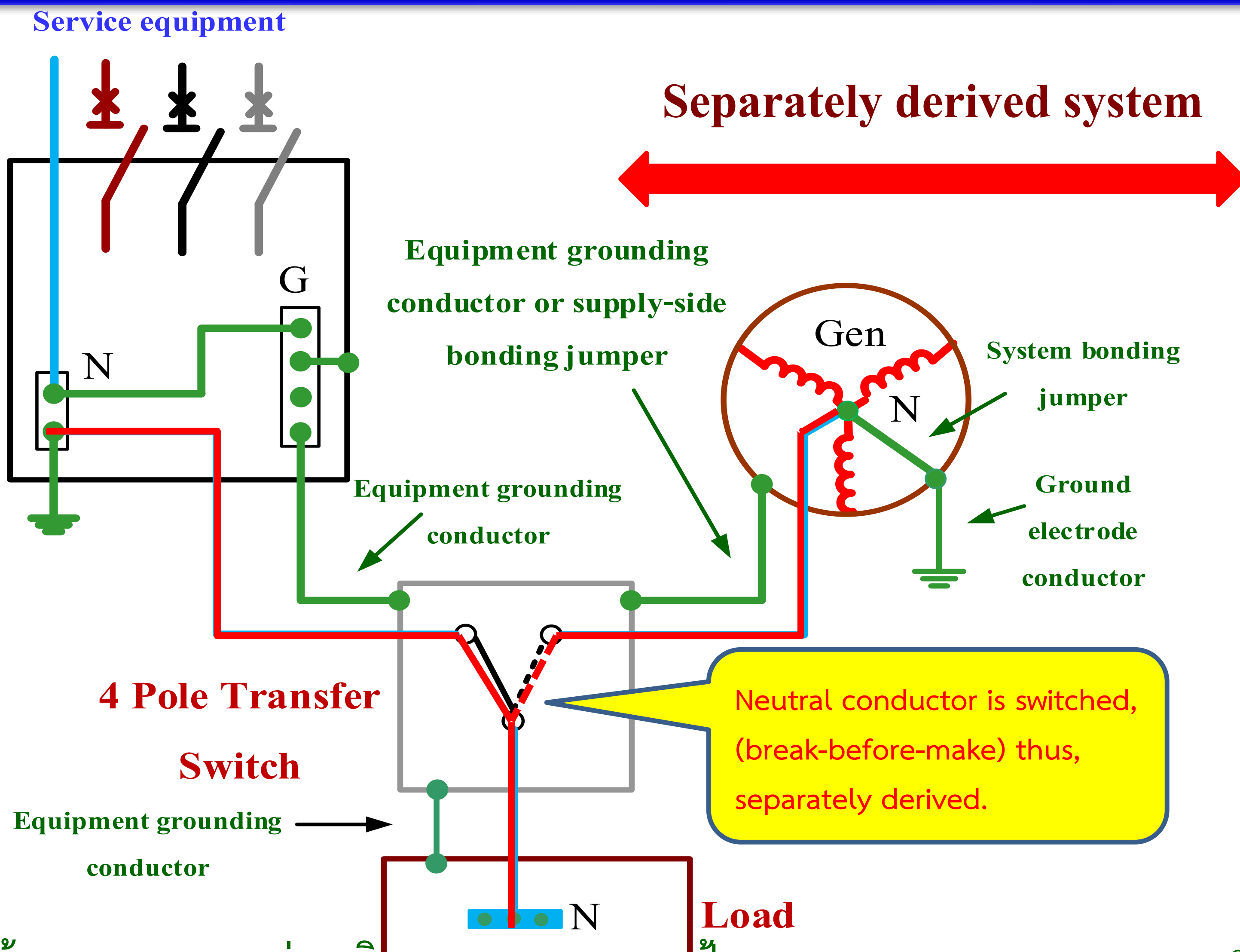
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ๑ ชุดติดตั้งเพื่อสำรองไว้ สำหรับการจ่ายโหลดที่จัดไว้

การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)

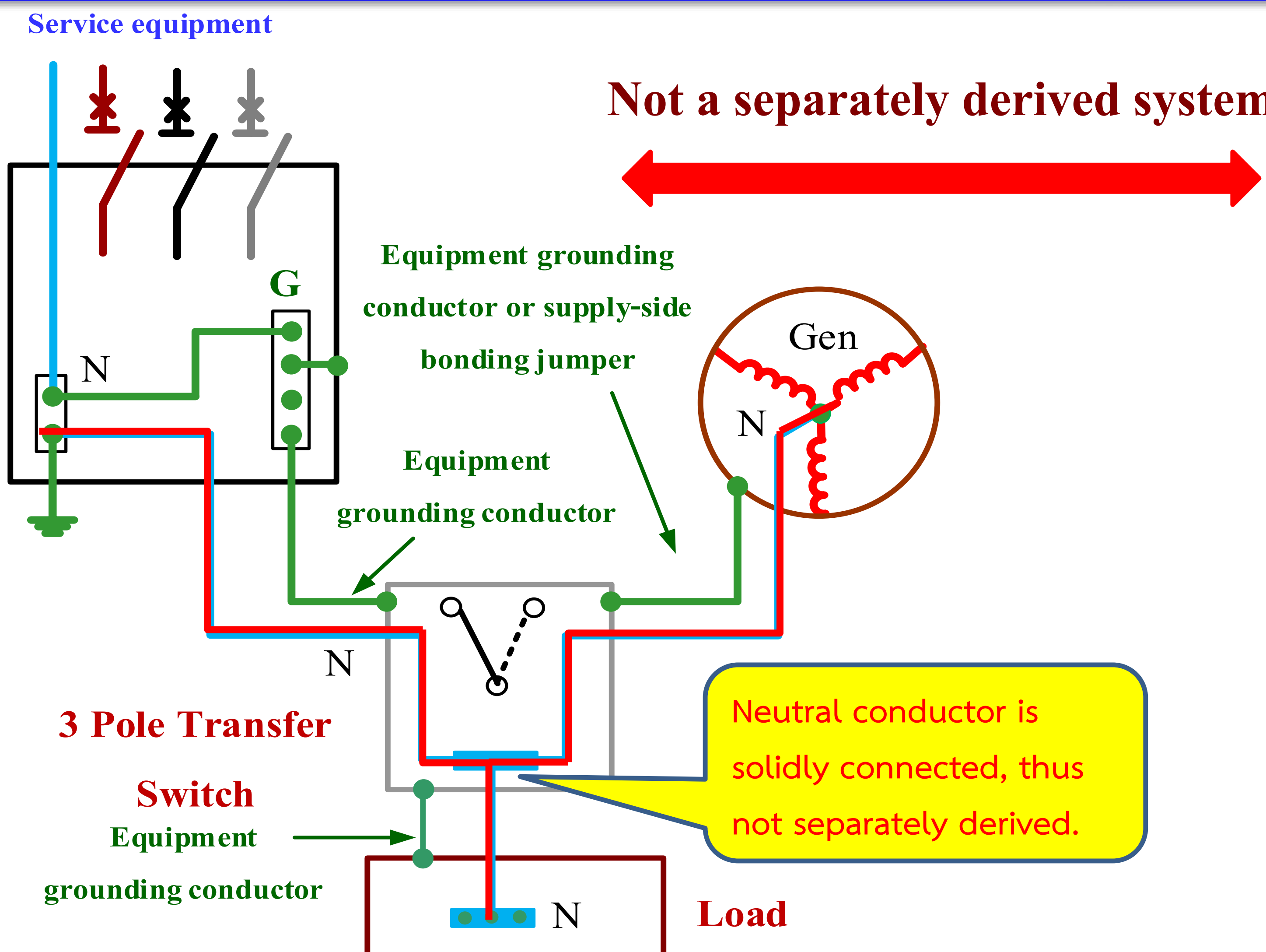


เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า ๑ ชุดติดตั้งเพื่อสำรองไว้ สำหรับการจ่ายโหลดที่จัดไว้

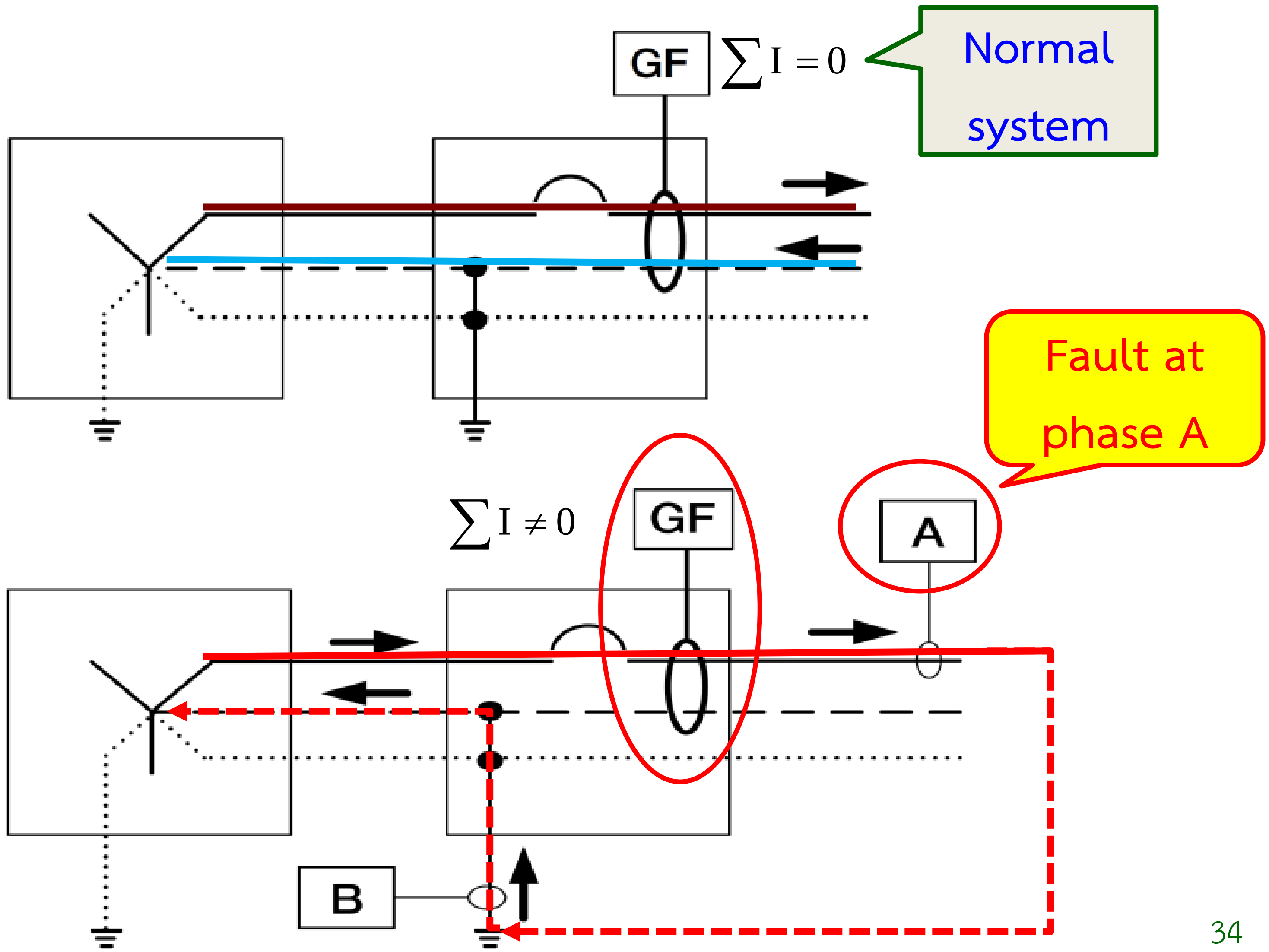
กรณี ATS ชนิด 4 Pole



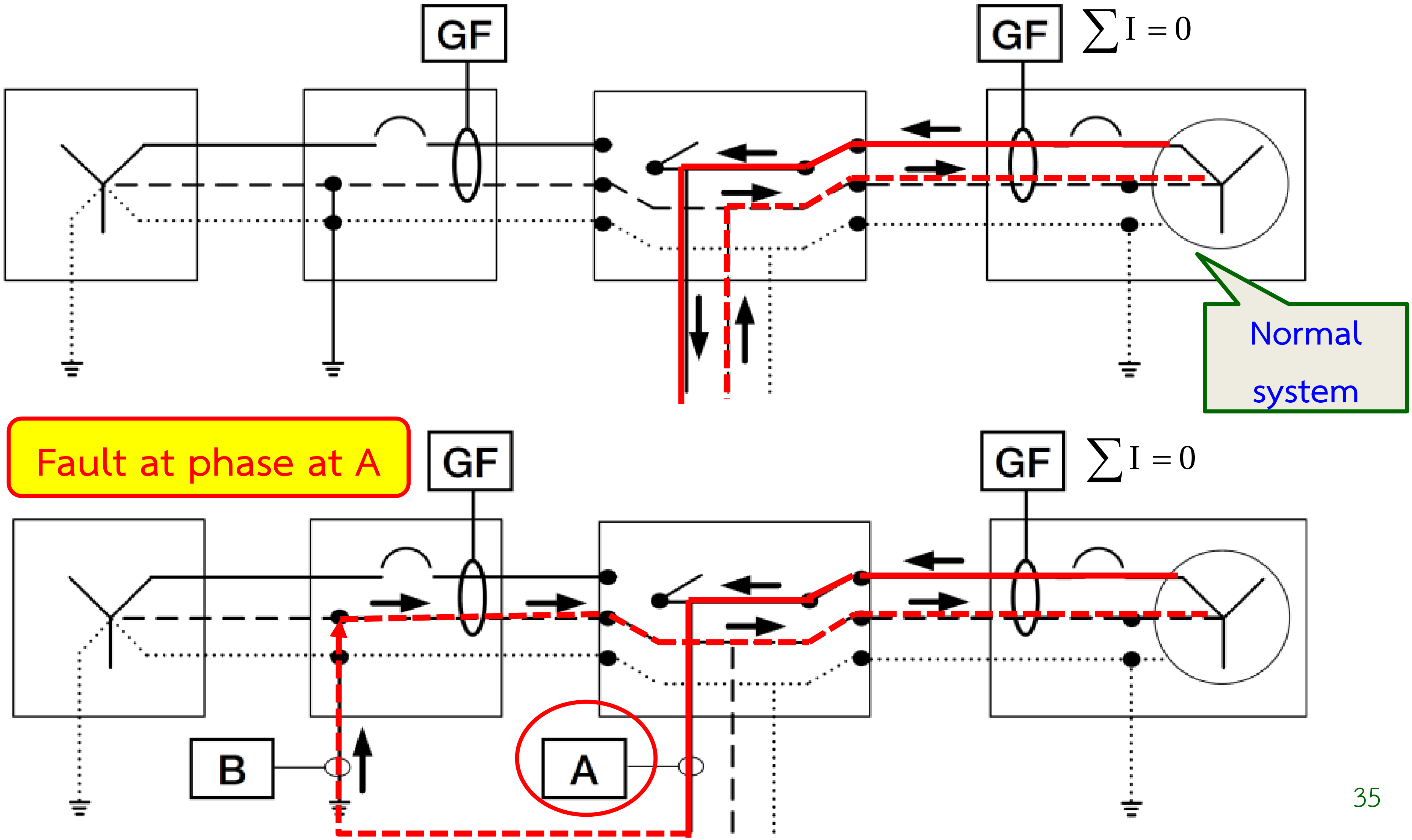
กรณี ATS ชนิด 3 Pole



การเลือกใช้งาน ATS 3 หรือ 4 Pole?

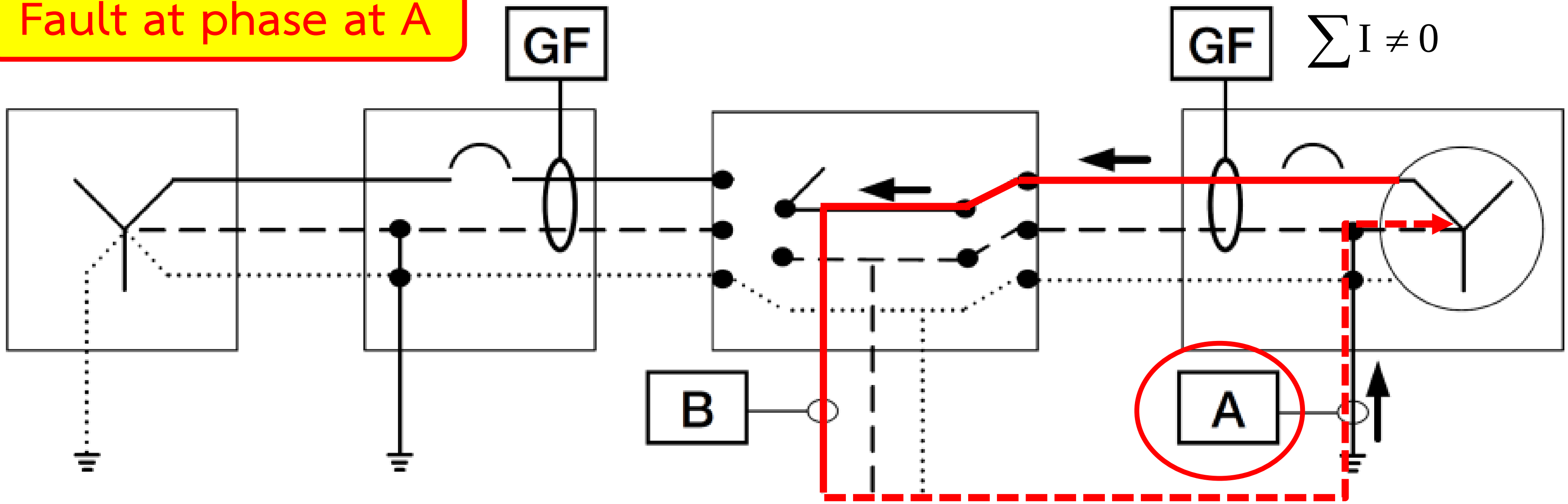


เลือกใช้งาน ATS 3 Pole



เลือกใช้งาน ATS 4 Pole

Fault at phase at A



กฎกระทรวง

กฎกระทรวงระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ.๒๕๕๖

กฎกระทรวง

"น้ำมัน" หมายความว่า น้ำมันตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจ้ง การอนุญาต และอัตราค่าธรรมเนียมเกี่ยวกับการประกอบกิจการน้ำมันเชื้อเพลิง

"สถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน" หมายความว่า สถานีบริการน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน คลังน้ำมัน และสถานที่ที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมันโดยระบบการขนส่งน้ำมันทางท่อตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจ้ง การอนุญาต และอัตราค่าธรรมเนียมเกี่ยวกับการประกอบกิจการน้ำมันเชื้อเพลิง

"ระบบไฟฟ้า" หมายความว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และบริภัณฑ์ที่ใช้ต่อเข้ากับการติดตั้งทางไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบเตือนภัย ระบบควบคุมระยะไกล ระบบสื่อสาร และระบบสูบจ่ายน้ำมัน

"อุปกรณ์" (device) หมายความว่า ส่วนประกอบหน่วยหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มุ่งหมายให้เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าแต่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น สวิตช์ เต้ารับ เซอร์กิต เบรกเกอร์

กฎกระทรวง (ต่อ)

“เครื่องใช้ไฟฟ้า” (appliance) หมายความว่า เครื่องใช้ที่ทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีรูปแบบและขนาดตามมาตรฐาน ซึ่งประกอบเข้าเป็นหน่วยเดียวเพื่อทำงานหน้าที่เดียวหรือหลายหน้าที่ เช่น ตู้จ่ายน้ำมัน เครื่องเติมลมไฟฟ้า กล้องวงจรปิด เครื่องควบคุมการจ่ายน้ำมัน ไฟฉาย อุปกรณ์สื่อสาร แต่ไม่หมายความรวมถึงเครื่องจักรในทางอุตสาหกรรม

“บริภัณฑ์” (equipment) หมายความว่า สิ่งที่รวมทั้งวัสดุ เครื่องประกอบ อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ดวงโคม และสิ่งอื่น ๆ ที่คล้ายกัน ใช้เป็นส่วนประกอบในการติดตั้งระบบไฟฟ้า หรือต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า เช่น ตู้แผงสวิตซ์ ตู้แผงเซอร์กิตเบรกเกอร์ กล่องต่อสายไฟฟ้า

“ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า” หมายความว่า ระบบอิสระที่ประกอบด้วยตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน รากสายดิน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อหรือการจับยึด เพื่อทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่เกิดจากฟ้าผ่า และให้หมายความรวมถึงตัวนำประสาน ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวนำดังกล่าว

“ตัวนำล่อฟ้า” (air terminal) หมายความว่า ส่วนของระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าที่ใช้รับกระแสฟ้าผ่า

กฎกระทรวง (ต่อ)

“ตัวนำลงดิน” (down conductor) หมายความว่า ส่วนของระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าที่ใช้นำกระแสฟ้าผ่าจากตัวนำล่อฟ้าลงสู่รากสายดิน

“ตัวนำประสาน” (bonding conductor) หมายความว่า ตัวนำสำหรับทำให้ศักย์ไฟฟ้าจากกระแสฟ้าผ่าเท่ากัน

“รากสายดิน” (earth terminal) หมายความว่า ส่วนของระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าที่ต่อจากปลายตัวนำลงดินและฝังไว้ในดิน

หมวดที่ ๑ ทั่วไป

ข้อ ๓ ระบบไฟฟ้าตามกฎกระทรวงนี้ครอบคลุมเฉพาะระบบไฟฟ้าที่อยู่ภายในบริเวณอันตรายของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน

ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าตามกฎกระทรวงนี้ครอบคลุมเฉพาะระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าที่อยู่ในเขตสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน

ข้อ ๔ การเดินสายไฟฟ้า การติดตั้งระบบไฟฟ้า และการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าให้ออกแบบและควบคุมโดยวิศวกรไฟฟ้าซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

ข้อ ๕ การออกแบบ การเดินสายไฟฟ้า การติดตั้งระบบไฟฟ้า และการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าและมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มาตรฐานของ National Fire Protection Association (NFPA) มาตรฐานของ International Electrotechnical Commission (IEC) หรือมาตรฐานอื่นที่อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด

ข้อ ๖ บริเวณที่มีการถ่ายเทน้ำมันภายในสถานที่ประกอบกิจการน้ำมันต้องทำการป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต โดยให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

ข้อ ๑๗ สิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมากกว่า ๑๕ เมตร และอยู่ห่างจากถังเก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากในระยะ ๕๐ เมตร โดยวัดจากผนังถังที่ใกล้ที่สุด ภายในเขตสถานีบริการน้ำมันประเภท ก ประเภท ข ประเภท ค และประเภท จ ต้องจัดให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

ข้อ ๑๘ สิ่งปลูกสร้างภายในเขตสถานที่เก็บรักษาน้ำมัน ลักษณะที่สาม ที่มีการเก็บน้ำมันชนิดไวไฟมาก มีปริมาณเกิน ๔๕๔ ลิตร ที่ต้องจัดให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ได้แก่

(๑) ถังเก็บน้ำมันเหนือพื้นดินที่เก็บน้ำมันชนิดไวไฟมาก

(๒) อาคารเก็บถังน้ำมันที่เก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากหรือเก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากอยู่ด้วย

(๓) สิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมากกว่า ๑๕ เมตร และอยู่ห่างจากถังเก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากในระยะ ๕๐ เมตร โดยวัดจากผนังถังที่ใกล้ที่สุด

ข้อ ๑๙ สิ่งปลูกสร้างภายในเขตสถานีบริการน้ำมันประเภท ฉ และคลังน้ำมันที่ต้องจัดให้มีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ได้แก่

(๑) ถังเก็บน้ำมันเหนือพื้นดิน

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

(๒) อาคารแท่นจ่ายน้ำมัน

(๓) อาคารเก็บถังน้ำมันที่เก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากหรือเก็บน้ำมันชนิดไวไฟมากอยู่ด้วย

(๔) สิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมากกว่า ๑๕ เมตร และอยู่ห่างจากถังเก็บน้ำมันในระยะ ๕๐ เมตร โดยวัดจากผนังถังที่ใกล้ที่สุด

ข้อ ๒๐ ตัวนำล่อฟ้าภายในเขตสถานที่ประกอบกิจการน้ำมันต้องออกแบบและติดตั้งให้มีบริเวณป้องกันครอบคลุมสิ่งปลูกสร้างตามข้อ ๑๗ ข้อ ๑๘ และข้อ ๑๙ ที่อาจได้รับอันตรายจากฟ้าผ่า

ข้อ ๒๑ วัสดุที่ใช้ในระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าต้องมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(๑) ตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน และตัวนำประสานต้องเป็นทองแดงที่มีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน ๐.๐๒ โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร หรืออะลูมิเนียมที่มีความต้านทานจำเพาะไม่เกิน ๐.๐๓ โอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร เว้นแต่สถานที่ที่มีการผุกร่อนรุนแรง ให้ใช้ทองแดงเท่านั้น

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

(๒) รากสายดินต้องเป็นทองแดง เหล็กกล้าปลอดสนิม เหล็กชุบสังกะสี (hot - dipped galvanized steel) หรือเหล็กหุ้มด้วยทองแดง (copper - clad steel) ที่มีทองแดงหุ้มแบบแนบสนิท และหนาไม่น้อยกว่า ๐.๒๕ มิลลิเมตร ในกรณีที่เป็นแท่งกลมต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ๑๒.๗๐ มิลลิเมตร และความยาวไม่น้อยกว่า ๒.๔๐ เมตร

(๓) อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน ตัวนำประสาน และรากสายดิน ให้ใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียมตามที่กำหนดไว้ใน (๑) ทองแดงเจือชนิดที่มีทองแดงไม่น้อยกว่าร้อยละหกสิบสอง หรือวัสดุอื่นที่อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด

(๔) อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน ตัวนำประสาน และรากสายดิน ให้ใช้ทองแดงเจือ เหล็กกล้าปลอดสนิม เหล็กชุบสังกะสี (hot - dip galvanized steel) หรือโลหะอื่นที่ทนต่อการกัดกร่อน และการจับยึดต้องมั่นคงแข็งแรง

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

ข้อ ๒๒ ขนาดของวัสดุที่ใช้เป็นตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน และตัวนำประสาน ให้เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ส่วนของระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า	ขนาด		ทองแดง	อะลูมิเนียม
ตัวนำล่อฟ้า (แท่งตัน)	เส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๙.๕๐	๑๒.๗๐
	ความยาวไม่น้อยกว่า	(เมตร)	๐.๒๕	๐.๒๕
ตัวนำล่อฟ้า (แท่งกลวง)	เส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๑๕.๙๐	๑๕.๙๐
	ความหนาไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๐.๘๐	๑.๖๓
	ความยาวไม่น้อยกว่า	(เมตร)	๐.๒๕	๐.๒๕
ตัวนำล่อฟ้า (ลวดตีเกลียว)	เส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุดของลวดแต่ละเส้นที่ตีเกลียว	(มิลลิเมตร)	๑.๑๕	๑.๖๓
	พื้นที่ภาคตัดขวางไม่น้อยกว่า	(ตารางมิลลิเมตร)	๓๕	๕๐
ตัวนำล่อฟ้า (แถบตัน)	ความหนาไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๑.๓๐	๑.๖๓
	ความกว้างไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๒๕.๔๐	๒๕.๔๐

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

ส่วนของระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า	ขนาด		ทองแดง	อะลูมิเนียม
ตัวนำลงดิน (ลวดตีเกลียว)	เส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุดของลวดแต่ละเส้นที่ตีเกลียว	(มิลลิเมตร)	๑.๑๕	๑.๖๓
	พื้นที่ภาคตัดขวางไม่น้อยกว่า	(ตารางมิลลิเมตร)	๓๕	๕๐
ตัวนำลงดิน (แถบตัน)	ความหนาไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๑.๓๐	๑.๖๓
	ความกว้างไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๒๕.๔๐	๒๕.๔๐
ตัวนำประสาน (ลวดตีเกลียว)	เส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุดของลวดแต่ละเส้นที่ตีเกลียว	(มิลลิเมตร)	๑.๑๕	๑.๖๓
	พื้นที่ภาคตัดขวางไม่น้อยกว่า	(ตารางมิลลิเมตร)	๑๖	๒๕
ตัวนำประสาน (แถบตัน)	ความหนาไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๑.๓๐	๑.๖๓
	ความกว้างไม่น้อยกว่า	(มิลลิเมตร)	๑๒.๗๐	๑๒.๗๐

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

ข้อ ๒๓ การใช้วัสดุต่างชนิดที่สัมผัสกันแล้วจะทำให้เกิดการผุกร่อนขึ้นเองต่อเข้าด้วยกันต้องมีการป้องกันการผุกร่อน

ข้อ ๒๔ การต่อตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน ตัวนำประสาน และรากสายดิน ให้ใช้วิธีเชื่อมแบบหลอมละลาย (exothermic weld) หรือวิธีจับยึดที่มีหมุดเกลียวขันยึดให้แน่นไม่น้อยกว่าสองตัว

ข้อ ๒๕ ตัวนำล่อฟ้าต้องติดตั้งที่ส่วนบนของสิ่งปลูกสร้าง หรือติดตั้งบนเสาที่ใช้สำหรับติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ถังเก็บน้ำมัน ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๒๖ ตัวนำลงดินต้องติดตั้ง ดังต่อไปนี้

(๑) ปลายตัวนำลงดินด้านหนึ่งต้องต่อเข้ากับตัวนำล่อฟ้าและปลายตัวนำลงดินอีกด้านหนึ่งต้องต่อเข้ากับรากสายดินอย่างมั่นคงแข็งแรง และมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยตลอดจนถึงรากสายดิน

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

(๒) ตัวนำลงดินที่ติดตั้งกับสิ่งปลูกสร้างต้องมีไม่น้อยกว่าสองตัวนำ และระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินเมื่อวัดตามเส้นขอบโดยรอบสิ่งปลูกสร้างต้องไม่เกิน ๓๐ เมตร ในกรณีถังเก็บน้ำมันจำนวนและระยะห่างของตัวนำลงดินให้เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

(๓) ตัวนำลงดินต้องเดินให้เป็นเส้นตรง หากจำเป็นต้องโค้งงอ รัศมีความโค้งงอต้องไม่น้อยกว่า ๐.๒๐ เมตร และมุมของตัวนำลงดินที่โค้งงอแล้วนั้นต้องไม่น้อยกว่า ๙๐ องศา

(๔) ตัวนำลงดินต้องจับยึดให้มั่นคงแข็งแรงทุกระยะไม่เกิน ๐.๙๐ เมตร

(๕) ตัวนำลงดินส่วนที่ต่อกับรากสายดินในช่วง ๑.๘๐ เมตร จากพื้นดิน ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพ

(๖) ตัวนำลงดินต้องมีจุดต่อทดสอบที่ออกแบบและติดตั้งให้ง่ายต่อการทดสอบและการวัดทางไฟฟ้า

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

ข้อ ๒๗ ตัวนำประสานต้องติดตั้ง ดังต่อไปนี้

(๑) โลหะต่าง ๆ เช่น ท่อน้ำ ท่อลม ที่อยู่ห่างจากตัวนำลงดินไม่เกิน ๑.๘๐ เมตร ต้องต่อตัวนำประสานเข้ากับตัวนำลงดิน โดยจับยึดให้มั่นคงแข็งแรง ยกเว้นกรณีมีผนังคอนกรีตเสริมเหล็กปิดกั้น

(๒) ระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ระบบโทรศัพท์ ระบบเสาอากาศ และระบบท่อโลหะของสิ่งปลูกสร้าง ต้องต่อตัวนำประสานเข้ากับตัวนำลงดินหรือรากสายดิน โดยจับยึดให้มั่นคงแข็งแรง

ข้อ ๒๘ รากสายดินต้องติดตั้ง ดังต่อไปนี้

(๑) รากสายดินต้องอยู่ห่างจากฐานรากของสิ่งปลูกสร้างไม่น้อยกว่า ๐.๖๐ เมตร

(๒) ความต้านทานระหว่างรากสายดินกับดินต้องไม่เกิน ๑๐ โอห์ม ในกรณีที่ต้องเพิ่มจำนวนรากสายดินเพื่อให้ได้ความต้านทานดังกล่าว รากสายดินแต่ละรากต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า ๖ เมตร

ข้อ ๒๙ สิ่งปลูกสร้างที่มีโครงสร้างเป็นโลหะต่อถึงกันโดยตลอด อาจใช้ตัวโครงสร้างโลหะส่วนที่อยู่บนสุดหรือราวกันตกโลหะที่อยู่บนสุดของสิ่งปลูกสร้างและต่อเชื่อมกับโครงสร้างโลหะทำหน้าที่เป็นตัวนำล่อฟ้า และอาจใช้โครงสร้างโลหะส่วนที่เป็นเสาหรือผนังของสิ่งปลูกสร้างทำหน้าที่เป็นตัวนำลงดิน

หมวด ๔ ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า (ต่อ)

ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างโลหะหรือราวกันตกโลหะที่ส่วนบนสุดของสิ่งปลูกสร้างตามวรรคหนึ่ง ให้ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าต่อเข้ากับโครงสร้างโลหะโดยตรงหรือต่อเข้ากับตัวนำลงดินเพื่อเชื่อมกับโครงสร้างโลหะทุกระยะไม่เกิน ๑๘ เมตร

การติดตั้งรากสายดินสำหรับสิ่งปลูกสร้างที่มีโครงสร้างเป็นโลหะ ให้ต่อรากสายดินเข้ากับตัวนำลงดินด้านหนึ่ง และต่อตัวนำลงดินอีกด้านหนึ่งเข้ากับโคนเสาหรือผนังของโครงสร้างโลหะ โดยตัวนำลงดินต้องมีไม่น้อยกว่าสองตัวนำ และระยะห่างกันไม่เกิน ๑๘ เมตร

การต่อตัวนำล่อฟ้าเข้ากับโครงสร้างโลหะ การต่อตัวนำลงดินระหว่างตัวนำล่อฟ้ากับโครงสร้างโลหะ และการต่อตัวนำลงดินระหว่างโคนเสาหรือผนังของโครงสร้างโลหะกับรากสายดิน ต้องใช้แผ่นประกับที่ทำด้วยทองแดงเจือชนิดที่มีทองแดงไม่น้อยกว่าร้อยละหกสิบสอง

ลักษณะของแผ่นประกับด้านหนึ่งมีอุปกรณ์จับยึดสำหรับต่อตัวนำล่อฟ้าหรือตัวนำลงดิน และอีกด้านหนึ่งของแผ่นประกับต้องมีพื้นที่สัมผัสโครงสร้างโลหะได้ไม่น้อยกว่า ๕,๒๐๐ ตารางมิลลิเมตร

ประกาศกระทรวงพลังงาน
หลักเกณฑ์การติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จำนวนและระยะห่างของตัวนำลงดิน ที่ถังเก็บน้ำมัน พ.ศ.๒๕๕๙

หลักเกณฑ์การติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

จำนวนและระยะห่างของตัวนำลงดิน

ข้อ ๑ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดเก้าสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ถังเก็บน้ำมันเหนือพื้นดิน จะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้เป็นไปตามข้อ ๒๐ และข้อ ๒๕ วรรคหนึ่งของกฎกระทรวงระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของสถานที่ประกอบกิจการน้ำมัน พ.ศ. ๒๕๕๖ เว้นแต่ถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่เหนือพื้นดิน สามารถใช้หลังคาถังเป็นตัวนำล่อฟ้าได้ และต้องมีลักษณะ ดังนี้

(๑) ถังเก็บน้ำมันแบบหลังคาติดตายหรือแบบหลังคาลอยภายใน

(ก) หลังคาถังต้องเป็นโลหะและมีความหนาไม่น้อยกว่า ๔.๘๐ มิลลิเมตร (๓/๑๖ นิ้ว)

(ข) โครงสร้างโลหะ จะต้องเชื่อมต่อด้วยวิธีการย้ำหมุด ยึดด้วยสลักเกลียวหรือวิธีการเชื่อม

(ค) ท่อน้ำมันที่ต่อเชื่อมกับถังเก็บน้ำมัน ต้องเป็นท่อชนิดที่ทำด้วยโลหะ

(ง) ช่องเปิดของถังที่อาจมีไอน้ำมันหรือก๊าซที่อยู่ในช่วงติดไฟได้ (lower explosive limit : lel) ต้องจัดให้มีอุปกรณ์นิรภัยระบายแรงดันและสุญญากาศหรืออุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟ

หลักเกณฑ์การติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จำนวนและระยะห่างของตัวนำลงดิน (ต่อ)

(๒) ถังเก็บน้ำมันแบบหลังคาลอยภายนอก

(ก) ต้องมีลักษณะเป็นไปตามข้อ ๒ (๑)

(ข) หลังคาลอย ต้องมีความสามารถในการนำไฟฟ้า และมีการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังผนังถัง

(ค) วัสดุที่ใช้เป็นตัวนำประสานระหว่างหลังคาลอยกับผนังถัง (shunts) ต้องทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (austenitic stainless steel) หรือเทียบเท่า ที่มีการนำกระแสป้องกันการกัดกร่อนและมีความยืดหยุ่น ขนาดความกว้างไม่น้อยกว่า ๕๐ มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า ๒๐ ตารางมิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างกันไม่เกิน ๓ เมตร

(ง) วัสดุกันรั่วระหว่างหลังคาลอยกับผนังถังต้องสัมผัสกับผนังถังและเป็นวัสดุชนิดที่ไม่เป็นสนิม

ข้อ ๓ กรณีที่ใช้หลังคาถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่เหนือพื้นดินเป็นตัวนำล่อฟ้า ต้องติดตั้งตัวนำลงดินอย่างน้อย ๒ จุด ตัวนำลงดินมีระยะห่างระหว่างกันไม่เกิน ๓๐ เมตร

ประกาศกระทรวงพลังงาน
หลักเกณฑ์การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต
พ.ศ.๒๕๕๙

หลักเกณฑ์การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต

ข้อ ๑ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดเก้าสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ คลังน้ำมัน สถานที่เก็บรักษาน้ำมัน ลักษณะที่สาม สถานีบริการน้ำมันประเภท ก สถานีบริการน้ำมันประเภท ข สถานีบริการน้ำมันประเภท ค ลักษณะที่สอง สถานีบริการน้ำมันประเภท จ ลักษณะที่สอง และสถานีบริการน้ำมันประเภท ฉ ต้องจัดให้มีการป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตในบริเวณ ดังนี้

(๑) ระบบท่อรับน้ำมัน ท่อจ่ายน้ำมัน และท่อระบายไอน้ำมัน

(๒) บริเวณที่มีการบรรจุน้ำมันลงภาชนะบรรจุน้ำมัน

(๓) ระบบท่อระบายไอน้ำมันของระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อ ๓ การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตในบริเวณตามข้อ ๒ ต้องมีลักษณะ ดังนี้

(๑) ต้องมีการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างเพียงพอและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยตลอด

(๒) ตัวนำลงดินต้องทำด้วยทองแดงชนิดตีเกลียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า ๑๖ ตารางมิลลิเมตร หรืออะลูมิเนียมชนิดตีเกลียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า ๒๕ ตารางมิลลิเมตร เพื่อป้องกันความเสียหายจากการหักงอ

หลักเกณฑ์การป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต (ต่อ)

(๓) ตัวนำประสานต้องเป็นวัสดุชนิดที่นำไฟฟ้าและมีค่าความต้านทานไม่เกิน ๑๐ โอห์ม

(๔) ค่าความต้านทานของรากสายดิน ต้องมีค่าไม่เกิน ๑๐ โอห์ม

(๕) ต้องมีจุดต่อลงดินเพื่อถ่ายเทไฟฟ้าสถิตจากรถขนส่งน้ำมัน หรือรถไฟขนส่งน้ำมัน

(๖) ระบบท่อน้ำมัน และอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ ต้องทำการต่อตัวนำประสานและต่อรากสายดิน

(๗) ระบบท่อน้ำมัน และอุปกรณ์ที่เป็นอโลหะ ซึ่งใช้งานอยู่ในบริเวณที่มีการรับหรือจ่ายน้ำมัน ต้องออกแบบและใช้งาน เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต

(๘) บริเวณที่ต่อตัวนำประสาน จุดต่อลงดินและที่คีบจุดต่อลงดิน ต้องมีความสะอาด และไม่มีการทาสี

ข้อ ๔ ก่อนการถ่ายเทน้ำมันระหว่างรถขนส่งน้ำมันหรือรถไฟขนส่งน้ำมันกับถังเก็บน้ำมัน ต้องต่อตัวนำประสานเข้ากับจุดต่อลงดิน และปลดออกภายหลังการถ่ายเทน้ำมันเสร็จสิ้น เว้นแต่รถไฟขนส่งน้ำมันที่มีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าผ่านรางรถไฟที่ต่อรากสายดินไว้แล้ว

ข้อ ๕ ก่อนที่จะทำการบรรจุน้ำมันลงภาชนะบรรจุน้ำมัน ต้องต่อตัวนำประสานจากจุดต่อลงดินเข้ากับภาชนะบรรจุน้ำมัน และปลดออกภายหลังการบรรจุน้ำมันเสร็จสิ้น หรือทำการลดการสะสมของประจุไฟฟ้าด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม

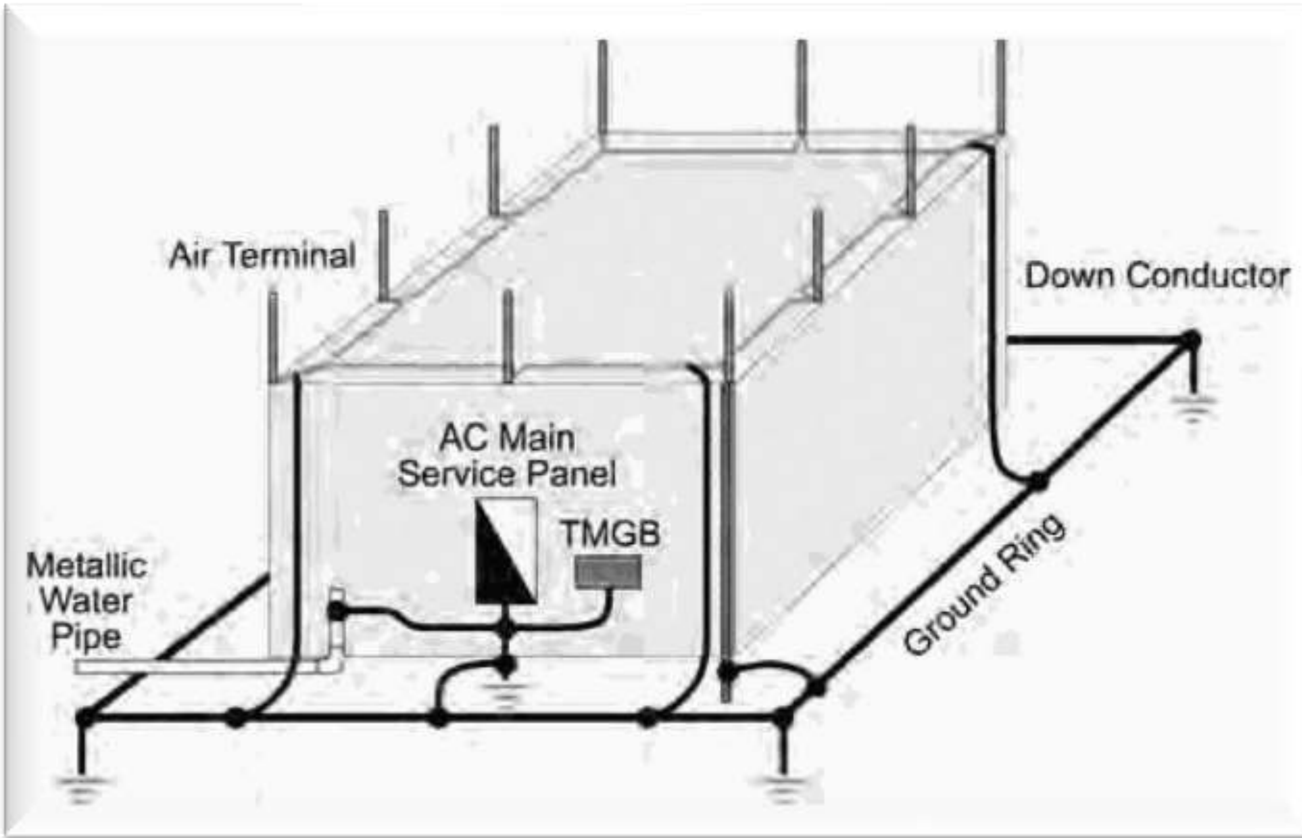
ระบบสายดิน

- ระบบสายดินที่กล่าวถึงในหมวดนี้จะครอบคลุมถึงเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองชนิดแรงดันด้านออกไม่เกิน ๖๐๐ V และให้เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.ฉบับล่าสุดเพื่อป้องกันฟ้าผ่าให้ห่างไกลจากสารหรือวัตถุไวไฟ
- สายดินต้องถูกต่อเข้ากับส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยขนาดของสายดินให้คิดตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและต้องเป็นไปตามมาตรฐาน การติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วสท.ฉบับล่าสุด
- ระบบสายดินสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองจะแบ่งเป็น ๒ ส่วนคือ ระบบสายดินสำหรับระบบไฟฟ้า และระบบสายดินสำหรับอุปกรณ์ ทั้งนี้ สายดินทั้ง ๒ ระบบ จะต้องถูกเชื่อมถึงกัน

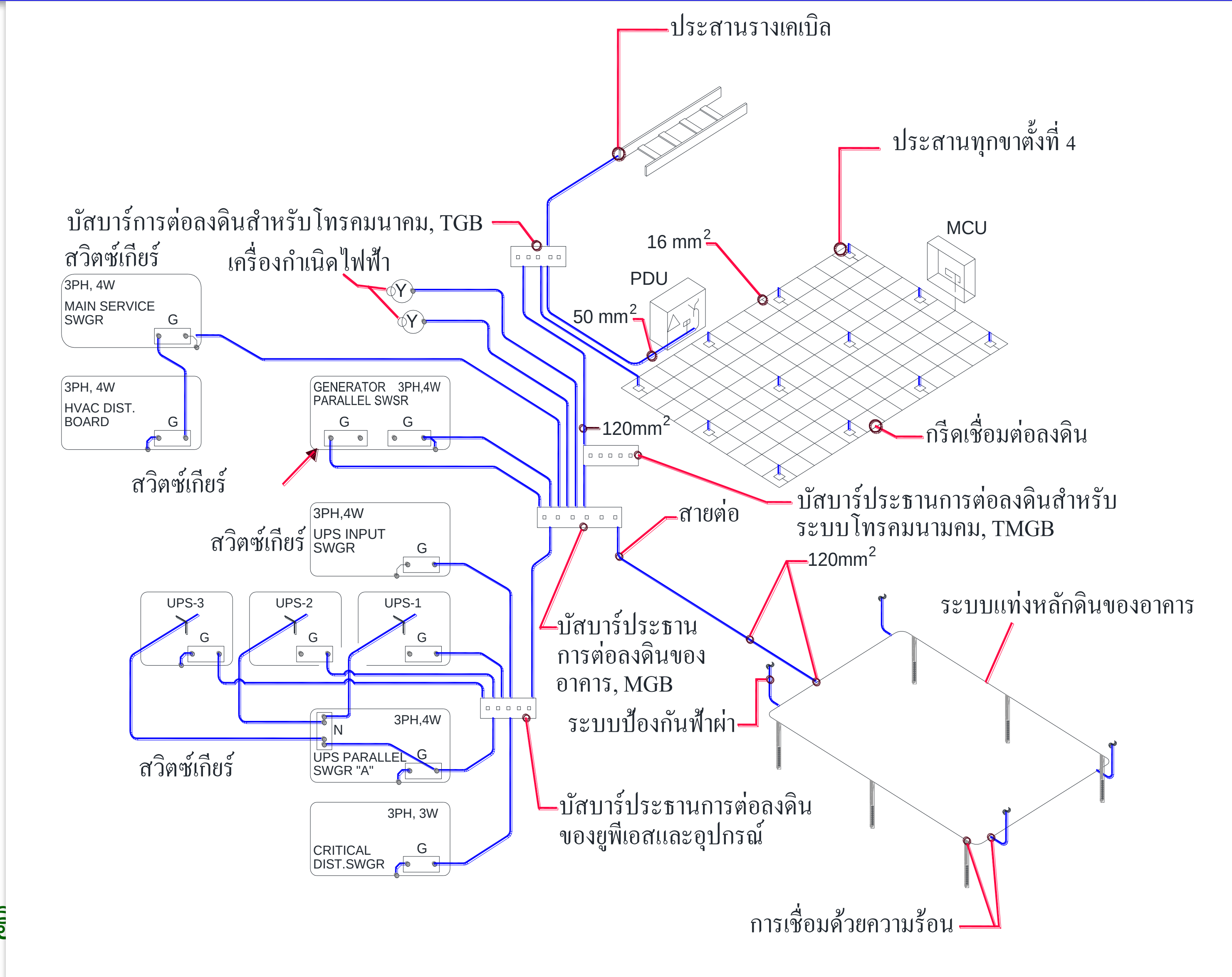
การต่อลงดินของถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายในอาคาร

การต่อลงดินของถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายในอาคาร

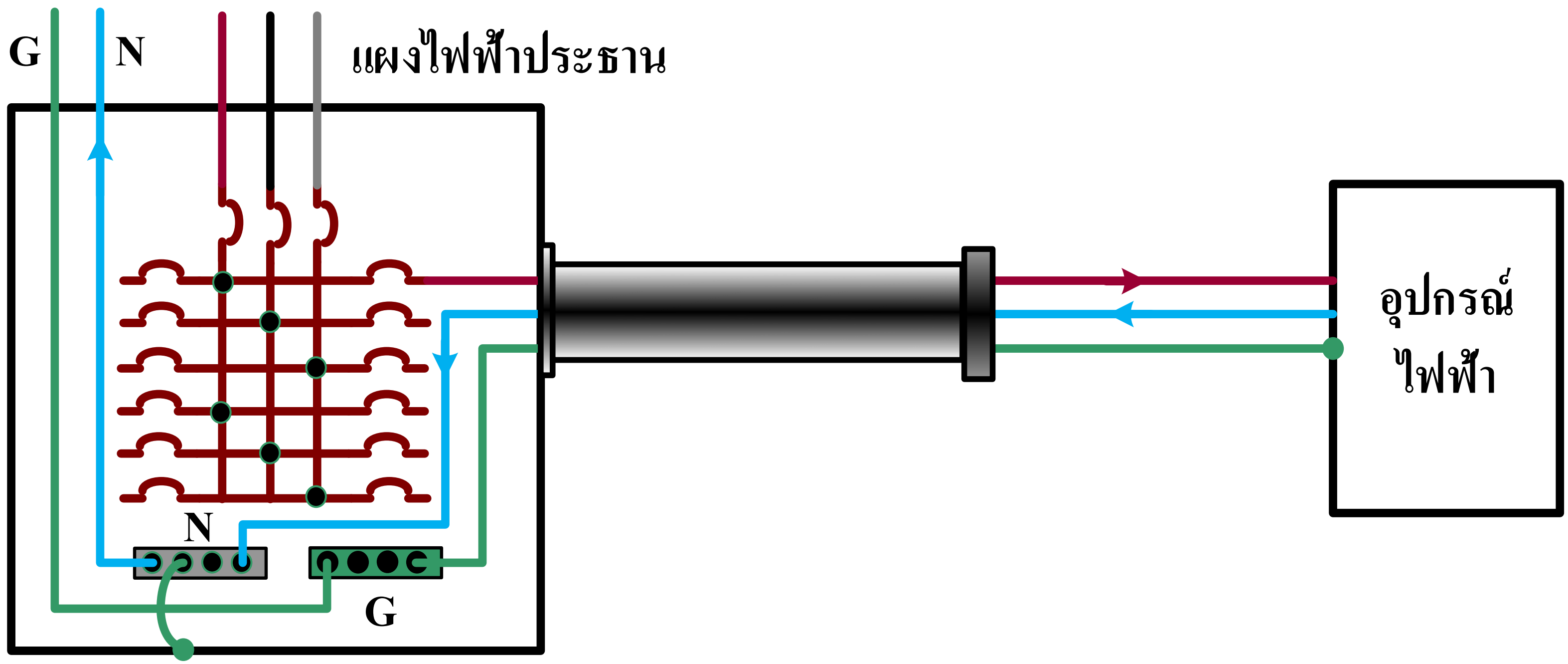
- การต่อลงดินและการต่อประสาน



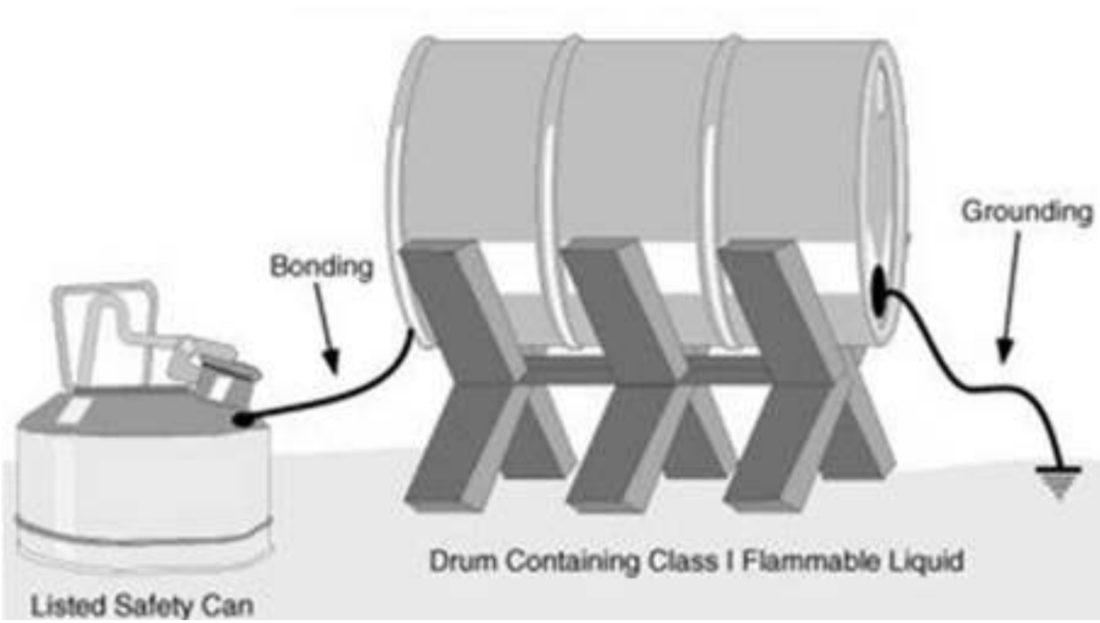
การต่อลงดินของถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายในอาคาร

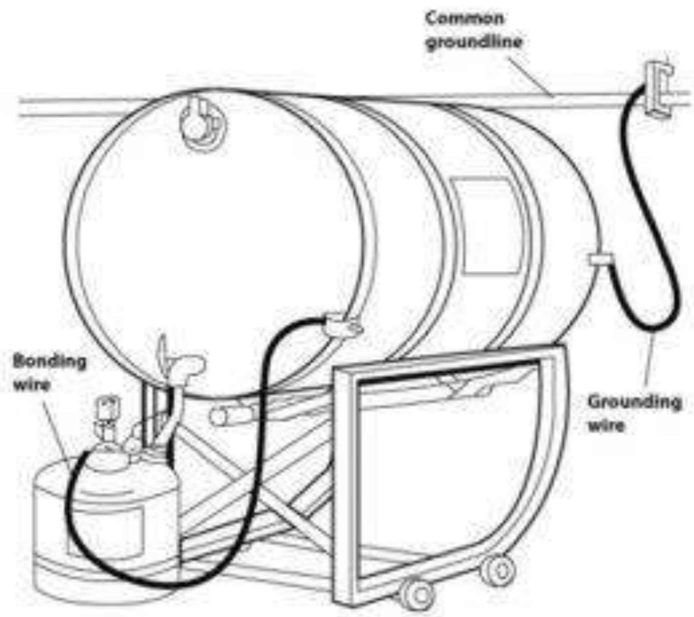


การต่อลงดินและต่อฝากของอุปกรณ์



การต่อลงดินและต่อฝากของถังน้ำมันเชื้อเพลิง



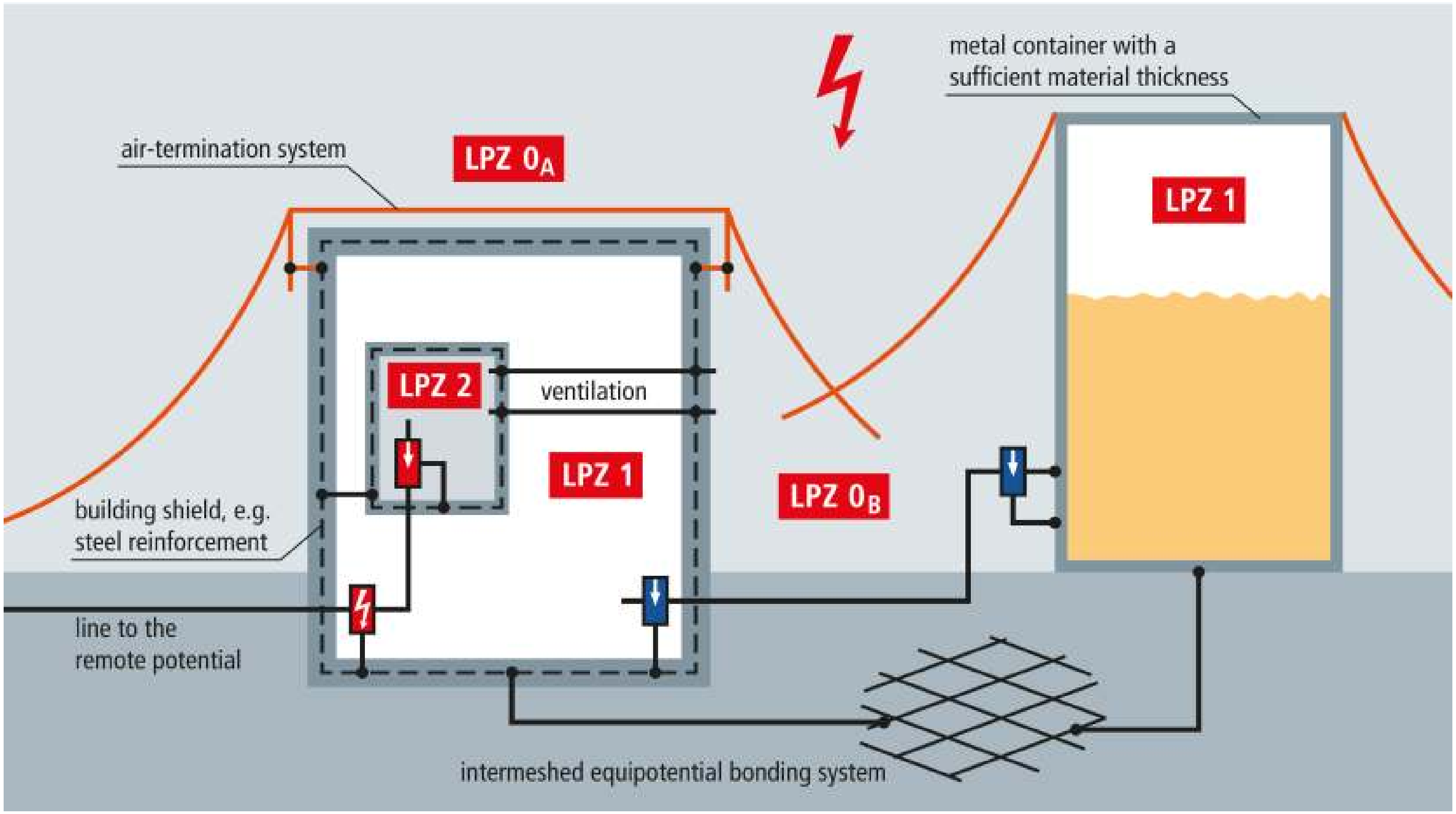


ที่มา : Jon Koppari et., “ Grounding and Bonding Against Static Electricity”, OSHA Training Institute

การต่อลงดินและต่อฝากของถังน้ำมันเชื้อเพลิง (ต่อ)

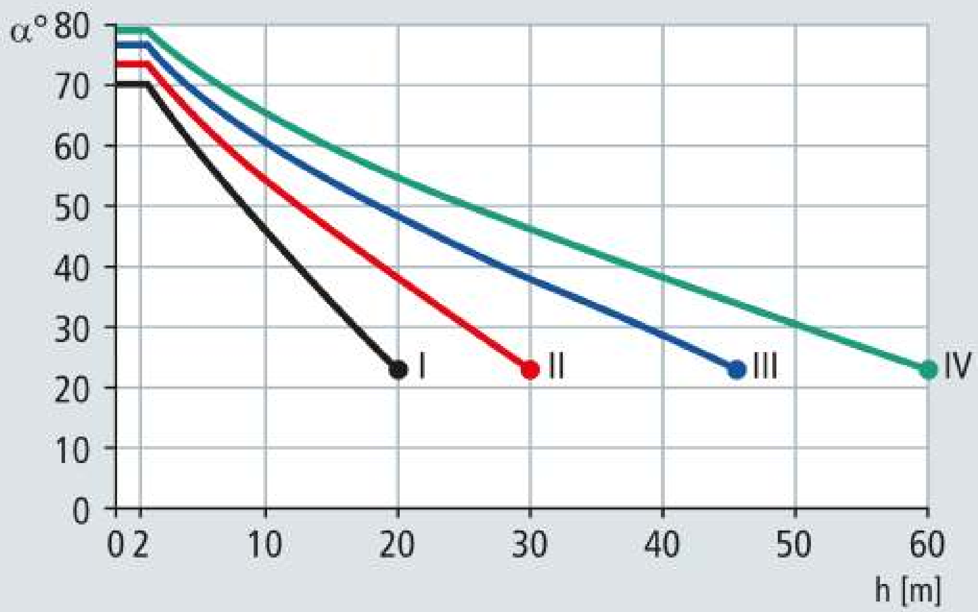
การป้องกันฟ้าผ่าถังน้ำมันเชื้อเพลิงภายนอกอาคาร

ย่านการป้องกันฟ้าผ่า

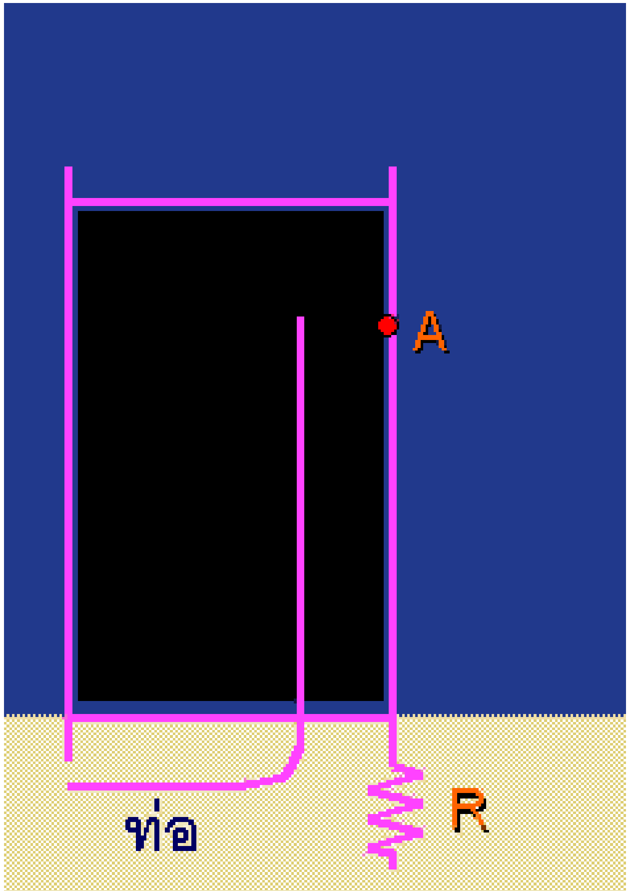


ที่มา : DEHN + SÖHNE, “Lightning Protection of Oil and Gas Industrial Plants”, Lightning protection guide, ๓rd edition, ๒๐๑๔.

ระดับการป้องกันฟ้าผ่า

Class of LPS	Protection method			Typical down conductor spacing [m]
	Rolling sphere radius r [m]	Protective angle α	Mesh size w [m]	
I	20		5 x 5	10
II	30		10 x 10	10
III	45		15 x 15	15
IV	60		20 x 20	20

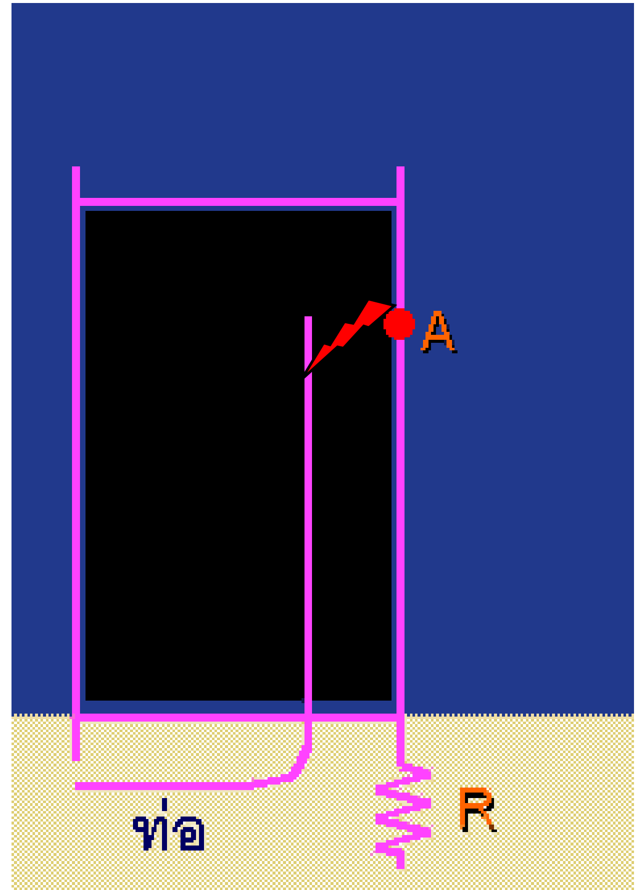
ที่มา : DEHN, Lightning Protection Guide, 3rd Update Edition, 2014.



$e_A = i\,(R_C + R_{E(\text{ต่ำ})}) + L\,di/dt$

R ต่ำ ทำให้

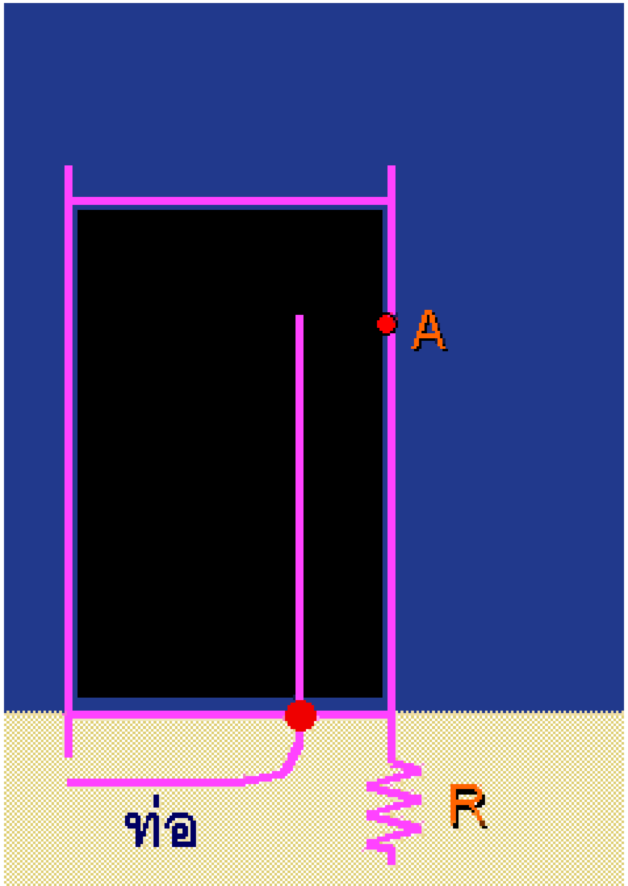
แรงดันที่ A ไม่สูง



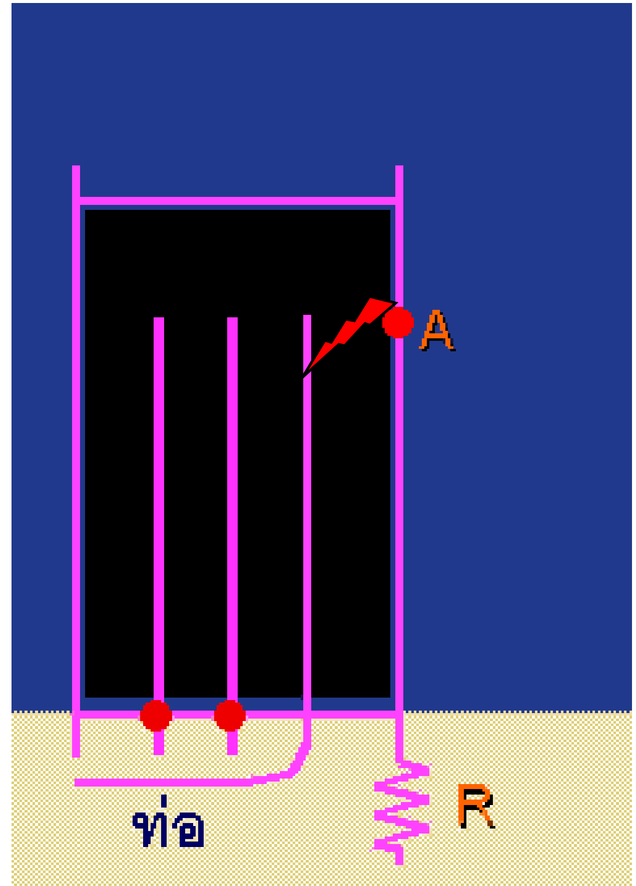
$e_A = i\,(R_C + R_{E(\text{สูง})}) + L\,di/dt$

R สูง ทำให้

แรงดันที่ A สูง



การประสานทำให้ R ไม่มีผลกับ A



การไม่ประสานทำให้ R มีผลกับ A

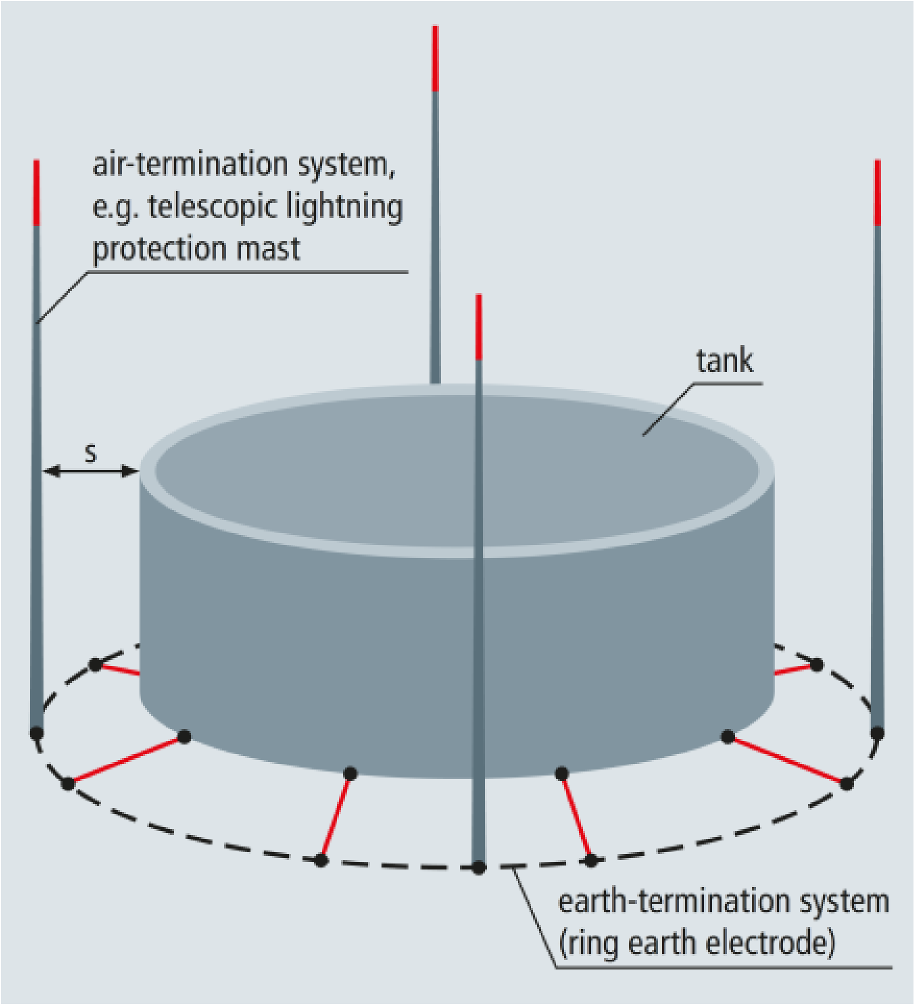
$$e_A = i\,(R_C + R_{E(\text{สูง})}) + L\,di/dt$$

สายตัวนำลงดินและการต่อฝาก

- ตัวนำต้องมีระยะห่างปลอดภัยจากวัตถุไวไฟหรือวัตถุระเบิด

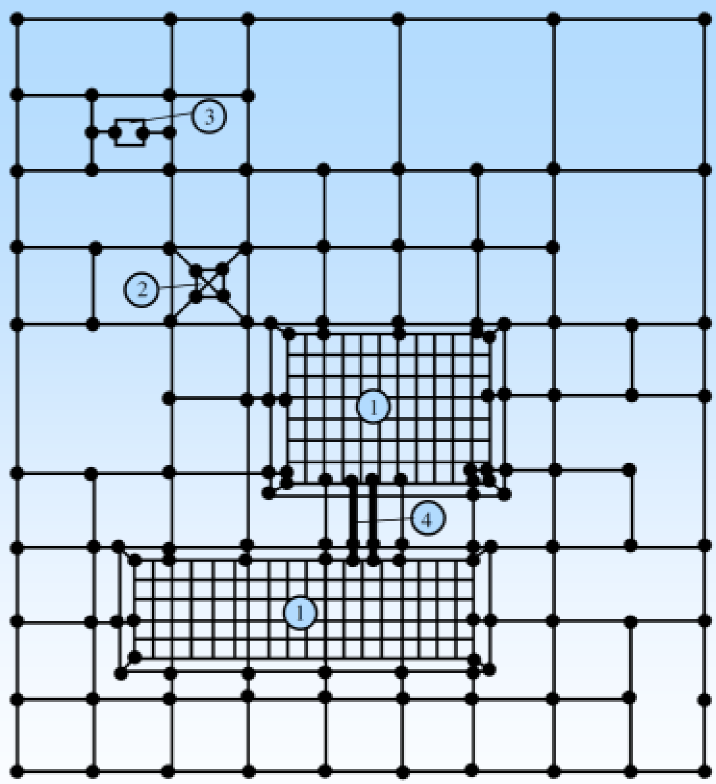
- ต้องครอบคลุมพื้นที่อันตราย

-ต้องเป็นตาข่าย เพื่อสามารถสกัดกั้นฟ้าผ่าได้ทั้งหมด



ที่มา : Christain Bouquegneau, “Lightning Protection of Oil and Gas Industrial Plants”, IX International Symposium on Lightning Protection, Nov. 2007.

ระบบการต่อลงดิน



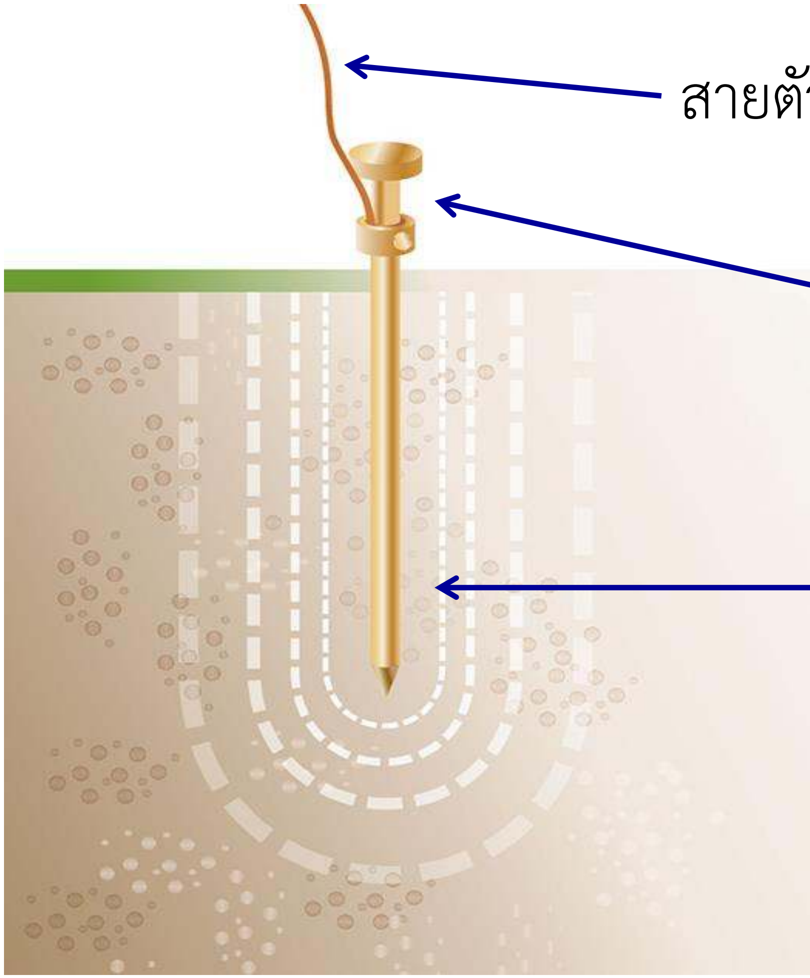
Meshed earth-termination system of an industrial plant

1: buildings with meshed network of the reinforcement 2: tower inside the plant
3: stand-alone equipment 4: cable tray

ที่มา : Christain Bouquegneau, “Lightning Protection of Oil and Gas Industrial Plants”, IX International Symposium on Lightning Protection, Nov. 2007.

ความต้านทานดินและแท่งหลักดิน

ความต้านทานดินและแท่งหลักดิน



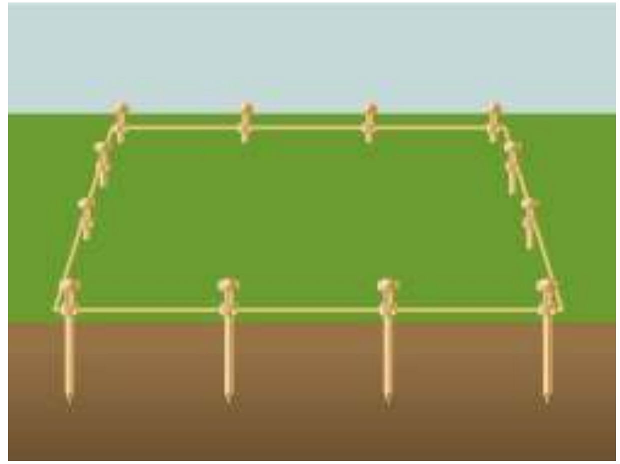
สายตัวนำลงดิน (Ground conductor)

Connection between the ground conductor and ground electrode

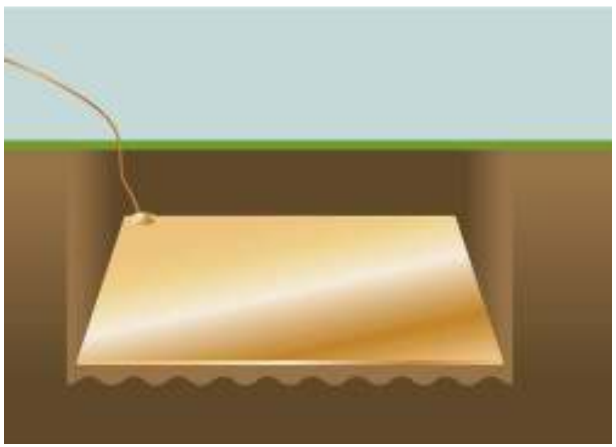
แท่งหลักดิน (Ground electrode)

ชนิดของการต่อลงดินของระบบ

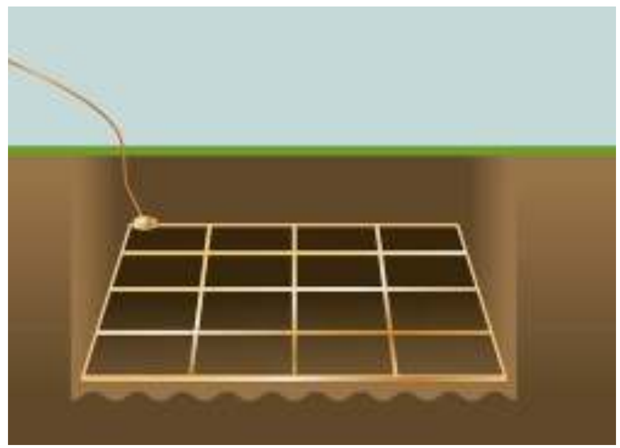
Single Ground Rod



Multiple Ground Electrodes

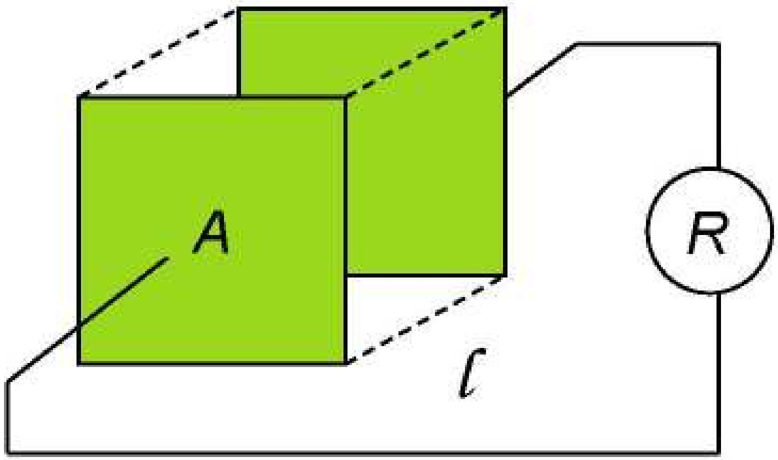


Ground Plate



Ground Mesh

ความต้านทานจำเพาะ(Soil Resistivity)



ความต้านทานของแท่งหลักดิน (uniform Soil)

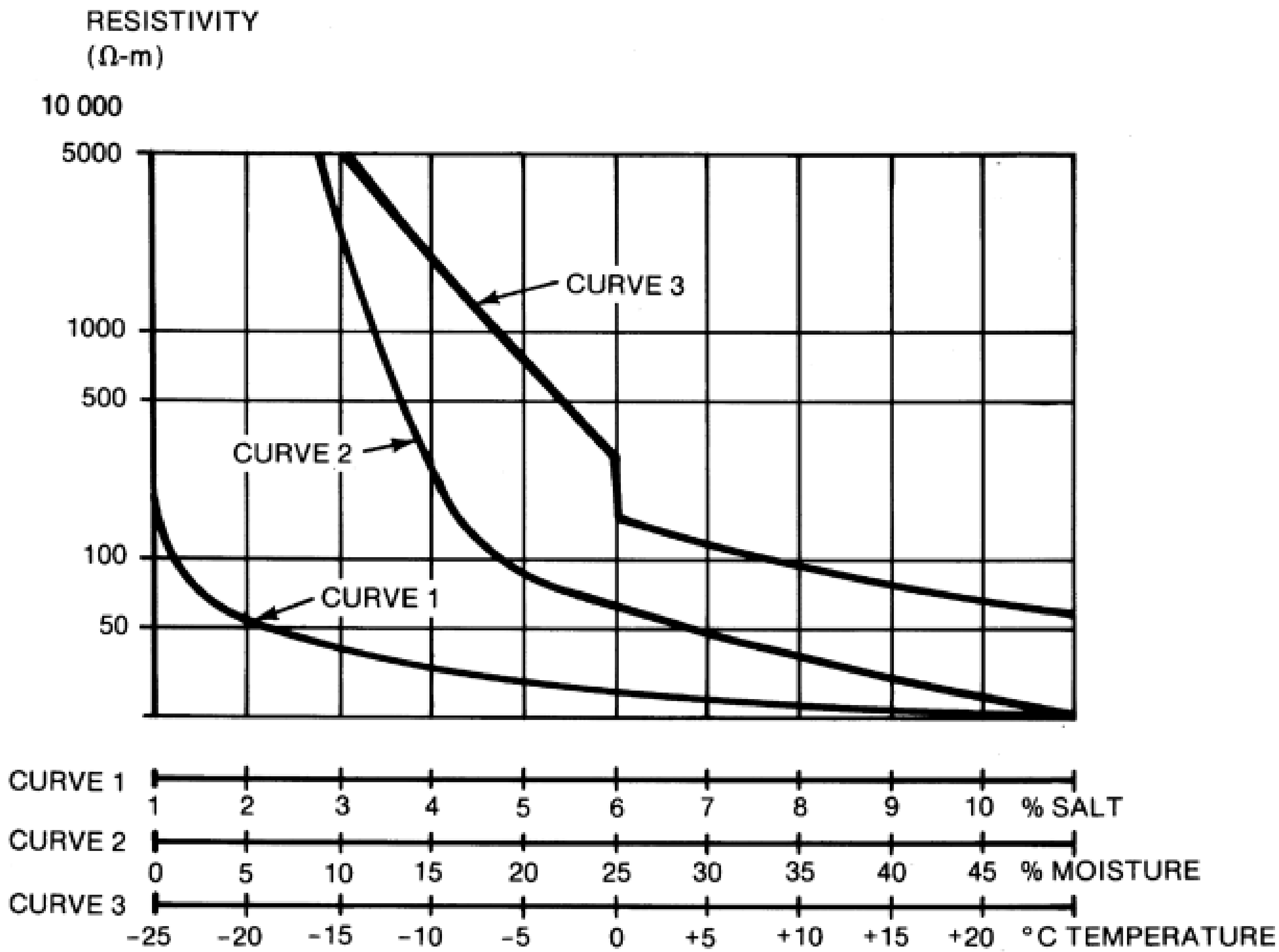
$$R = \frac{\rho}{2\pi l} ln \frac{2l}{r}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left[ln\left(\frac{4l}{r}\right) - 1\right]$$

สภาพความต้านทานจำเพาะของดิน (Soil resistivity)

$$\rho = \frac{2\pi l R}{ln\left(\frac{4l}{r}\right) - 1}$$

การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานจำเพาะของดิน



ความต้านทานจำเพาะของดิน

ชนิดของดิน	ρ (Ω- m)
ดินร่วนเปียก	10...30
ดินเหนียว	50
ดินร่วนชื้น	100
ดินปนทราย	150
ทรายชื้น	200
ดินกรวดชื้น	500
ทรายแห้ง	1,000
ดินกรวดแห้ง	1,000
หิน	3,000 - 10,000

สูตรคำนวณความต้านทานหลักดิน

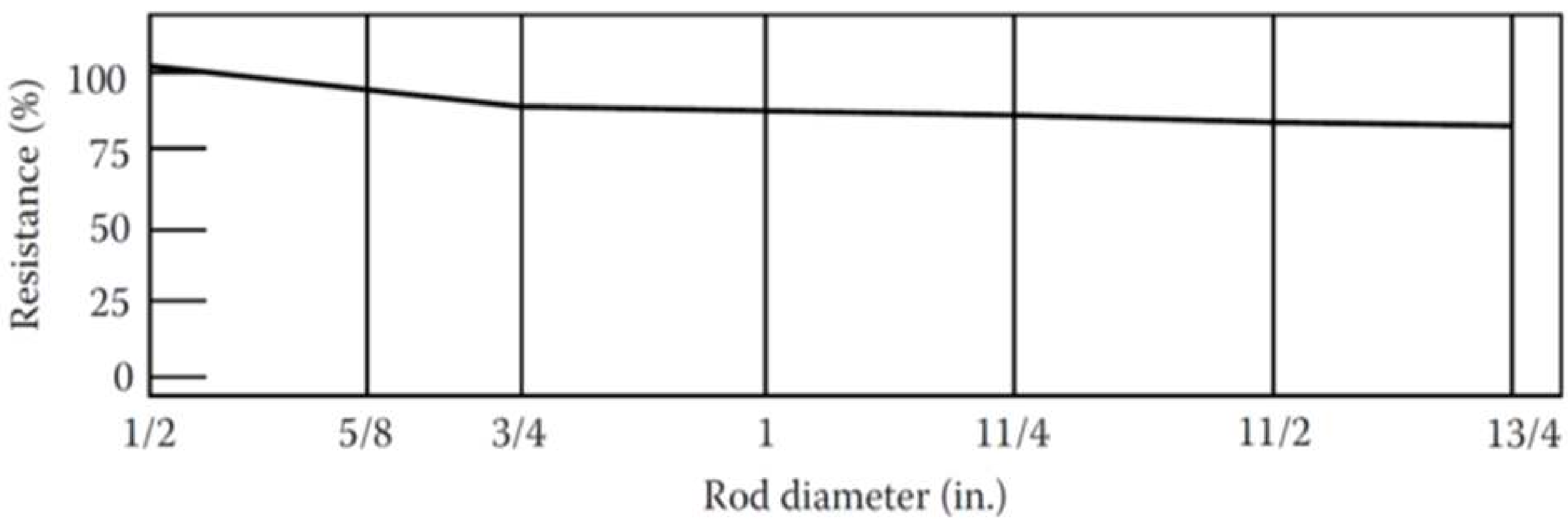
Hemisphere radius a	$R = \dfrac{\rho}{2\pi a}$
One ground rod length L, radius a	$R = \dfrac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\dfrac{4L}{a} - 1\right)$
Two ground rods $s > L$; spacing s	$R = \dfrac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\dfrac{4L}{a} - 1\right) + \dfrac{\rho}{4\pi s}\left(1 - \dfrac{L^2}{3s^2} + \dfrac{2}{5}\dfrac{L^4}{s^4} \cdots\right)$
Two ground rods $s < L$; spacing s	$R = \dfrac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\dfrac{4L}{a} + \ln\dfrac{4L}{s} - 2 + \dfrac{s}{2L} - \dfrac{s^2}{16L^2} + \dfrac{s^4}{512L^4} \cdots\right)$
Buried horizontal wire length $2L$, depth $s/2$	$R = \dfrac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\dfrac{4L}{a} + \ln\dfrac{4L}{s} - 2 + \dfrac{s}{2L} - \dfrac{s^2}{16L^2} + \dfrac{s^4}{512L^4} \cdots\right)$
Right-angle turn of wire length of arm L, depth $s/2$	$R = \dfrac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\dfrac{2L}{a} + \ln\dfrac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146\dfrac{s}{L} + 0.1035\dfrac{s^2}{L^2} - 0.0424\dfrac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
Three-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \dfrac{\rho}{6\pi L}\left(\ln\dfrac{2L}{a} + \ln\dfrac{2L}{s} + 1.071 - 0.209\dfrac{s}{L} + 0.238\dfrac{s^2}{L^2} - 0.054\dfrac{s^4}{L^4} \cdots\right)$

สูตรคำนวณความต้านทานหลักดิน (ต่อ)

	Four-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071\frac{s}{L} + 0.645\frac{s^2}{L^2} - 0.145\frac{s^4}{L^4}\cdots\right)$
	Six-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128\frac{s}{L} + 1.758\frac{s^2}{L^2} - 0.490\frac{s^4}{L^4}\cdots\right)$
	Eight-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51\frac{s}{L} + 3.26\frac{s^2}{L^2} - 1.17\frac{s^4}{L^4}\cdots\right)$
	Ring of wire diameter of ring D, diameter of wire d, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{4D}{s}\right)$
	Buried horizontal strip length $2L$, section a by b, depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln\frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4}\cdots\right)$
	Buried horizontal round plate radius a, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s}\left(1 - \frac{7}{12}\frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40}\frac{a^4}{s^4}\cdots\right)$
	Buried vertical round plate radius a, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s}\left(1 + \frac{7}{24}\frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320}\frac{a^4}{s^4}\cdots\right)$

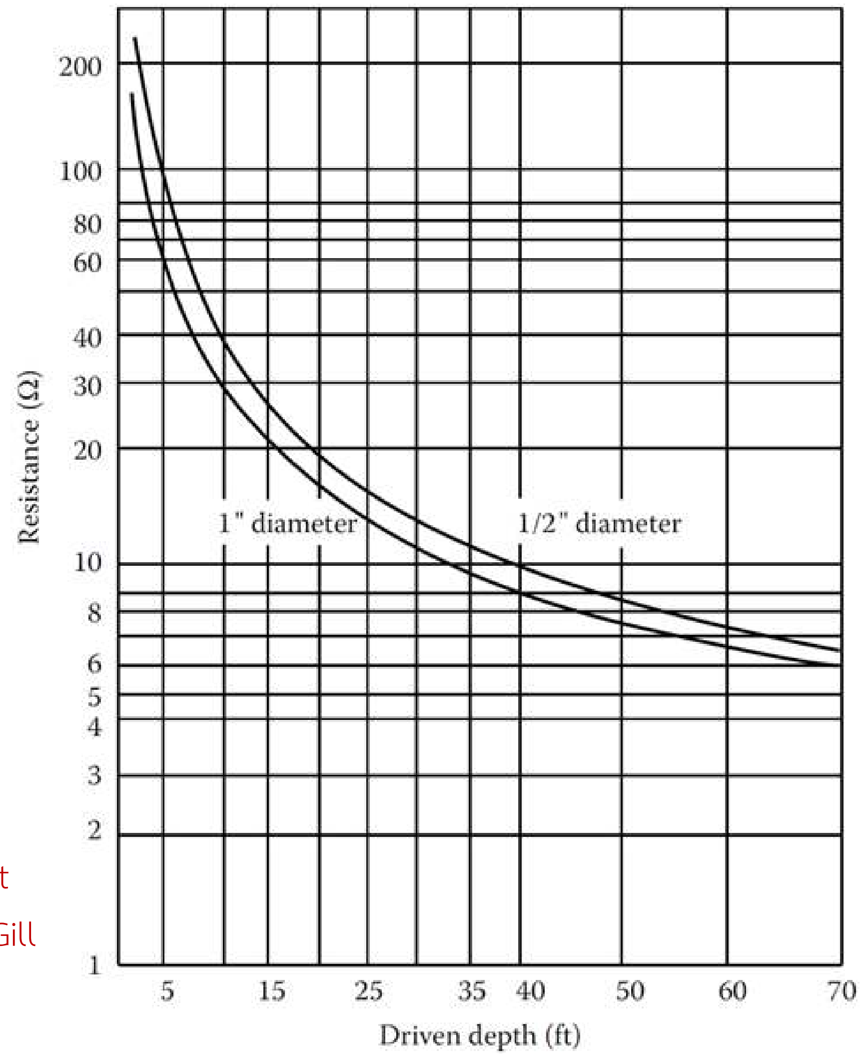
ความต้านทานดินและแท่งหลักดิน

- ความต้านทานดินกับขนาดแท่งหลักดิน



ที่มา: Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, Paul Gill

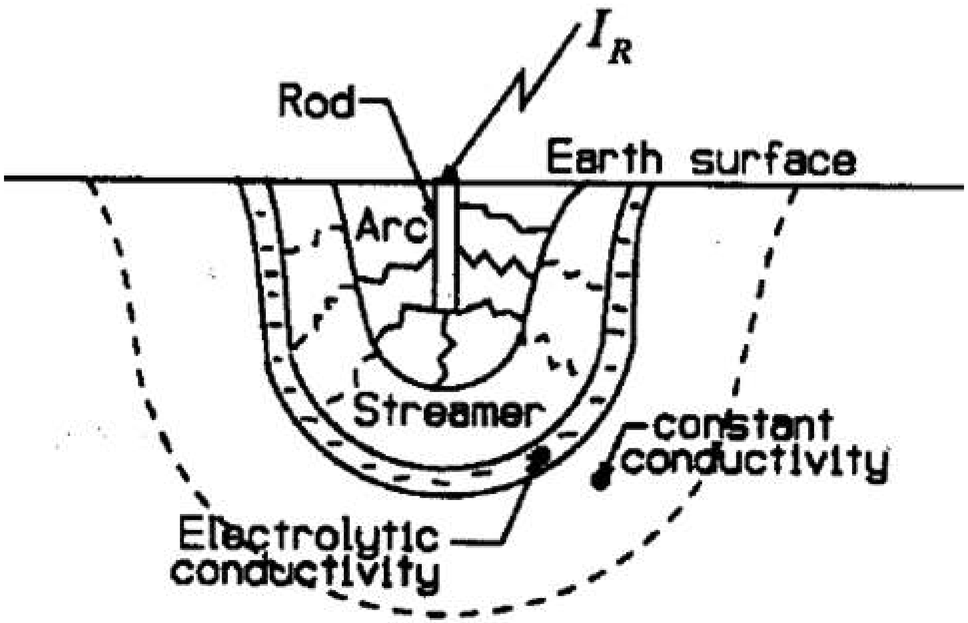
ความต้านทานดินกับความลึก

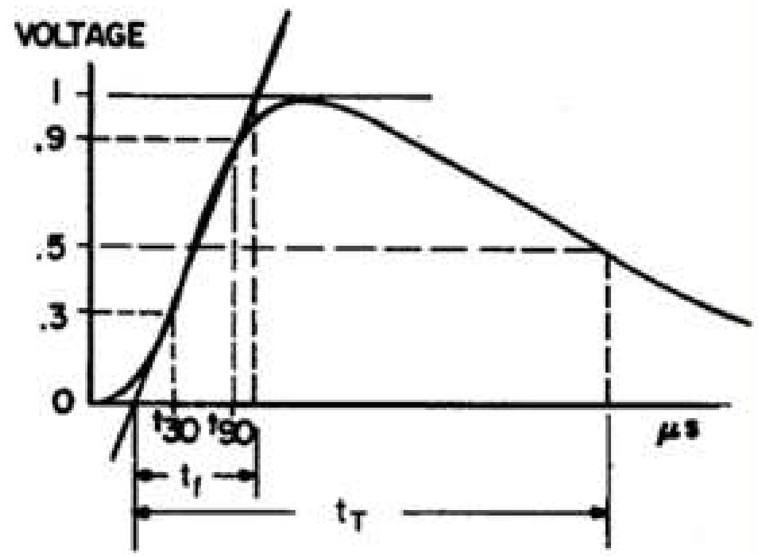


ที่มา: Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, Paul Gill

ความต้านทานดินอิมพัลส์

- ความต้านทานดินอิมพัลส์

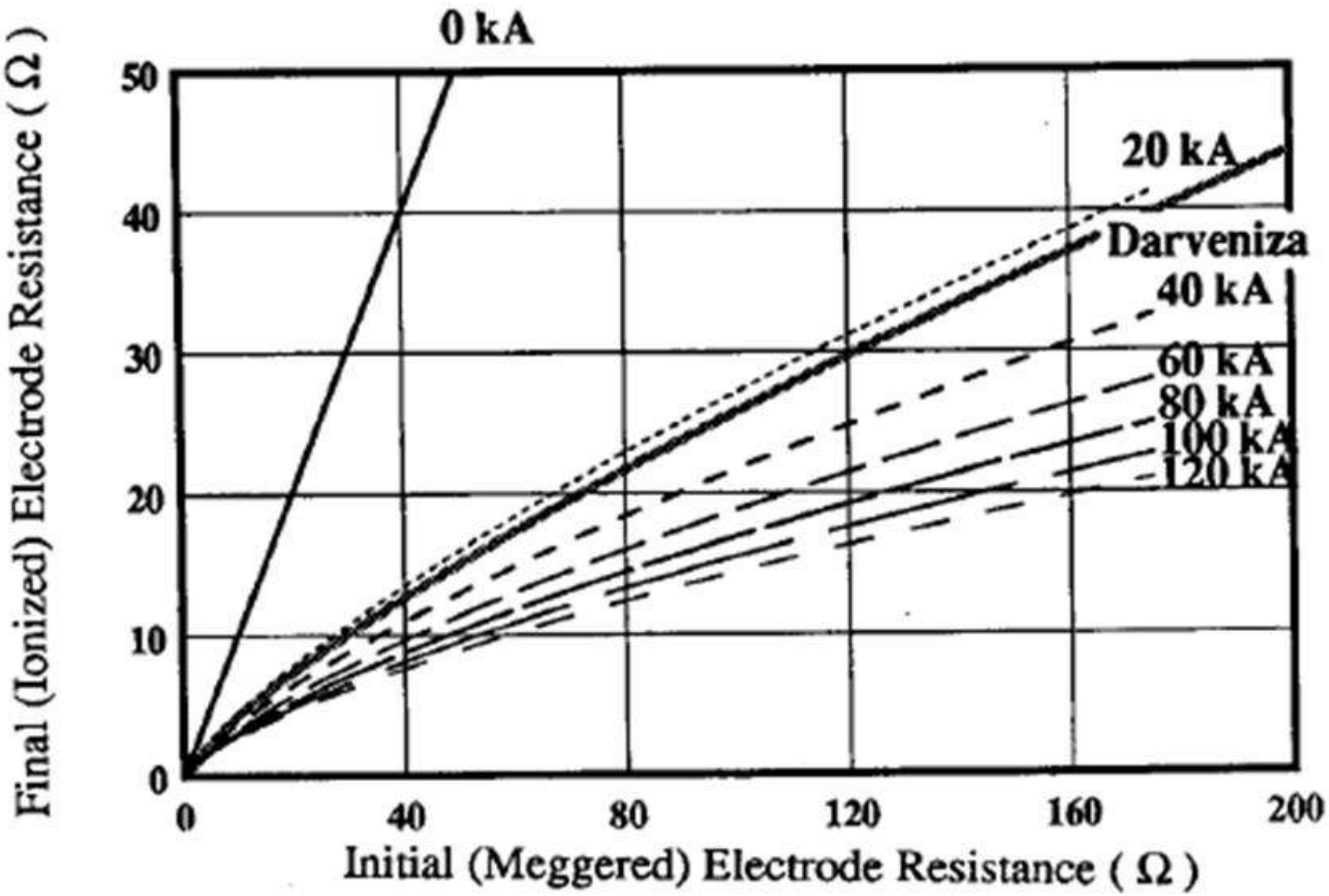




$$R_{impulse} = \alpha R_{AC}$$

R_{AC}: ความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง $\alpha: impulse\ cofficient, 0 - 1$

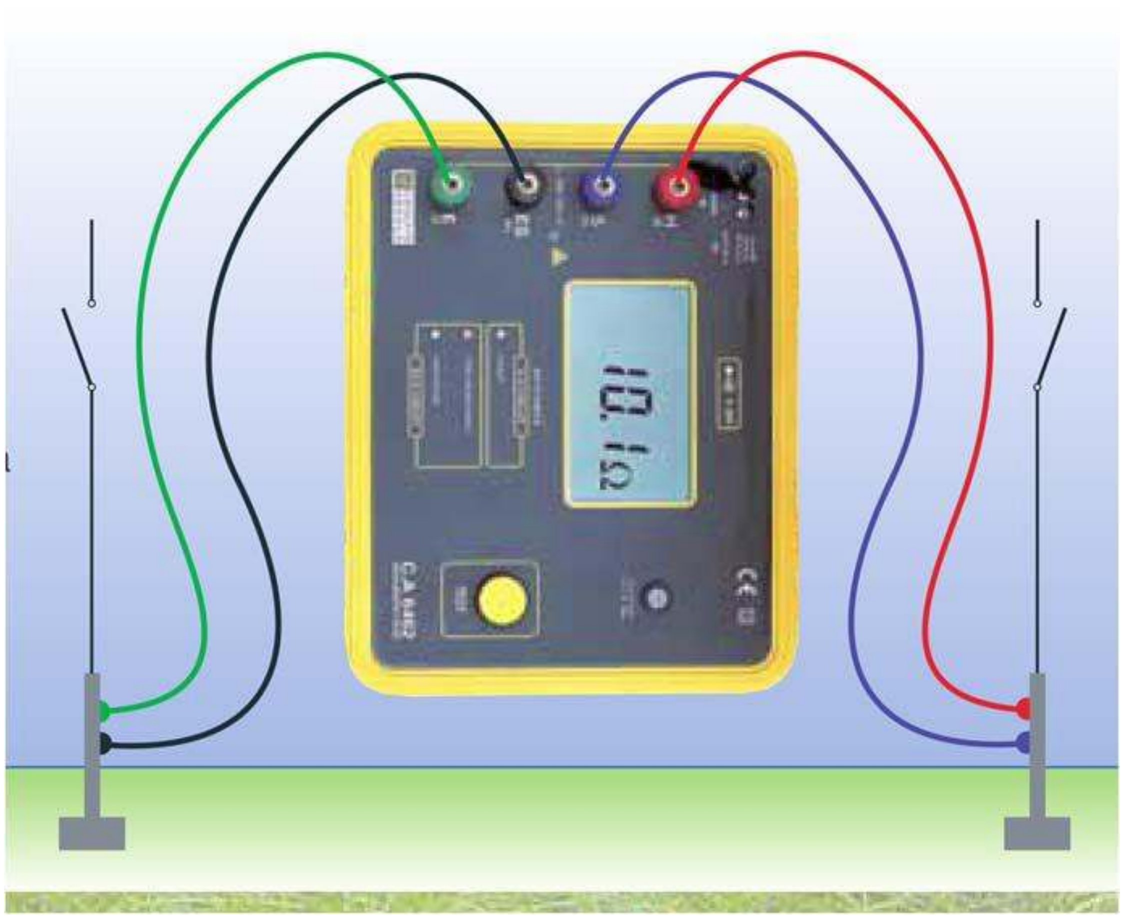
ความต้านทานดินที่ความถี่กำลังกับความต้านทานดินอิมพัลส์



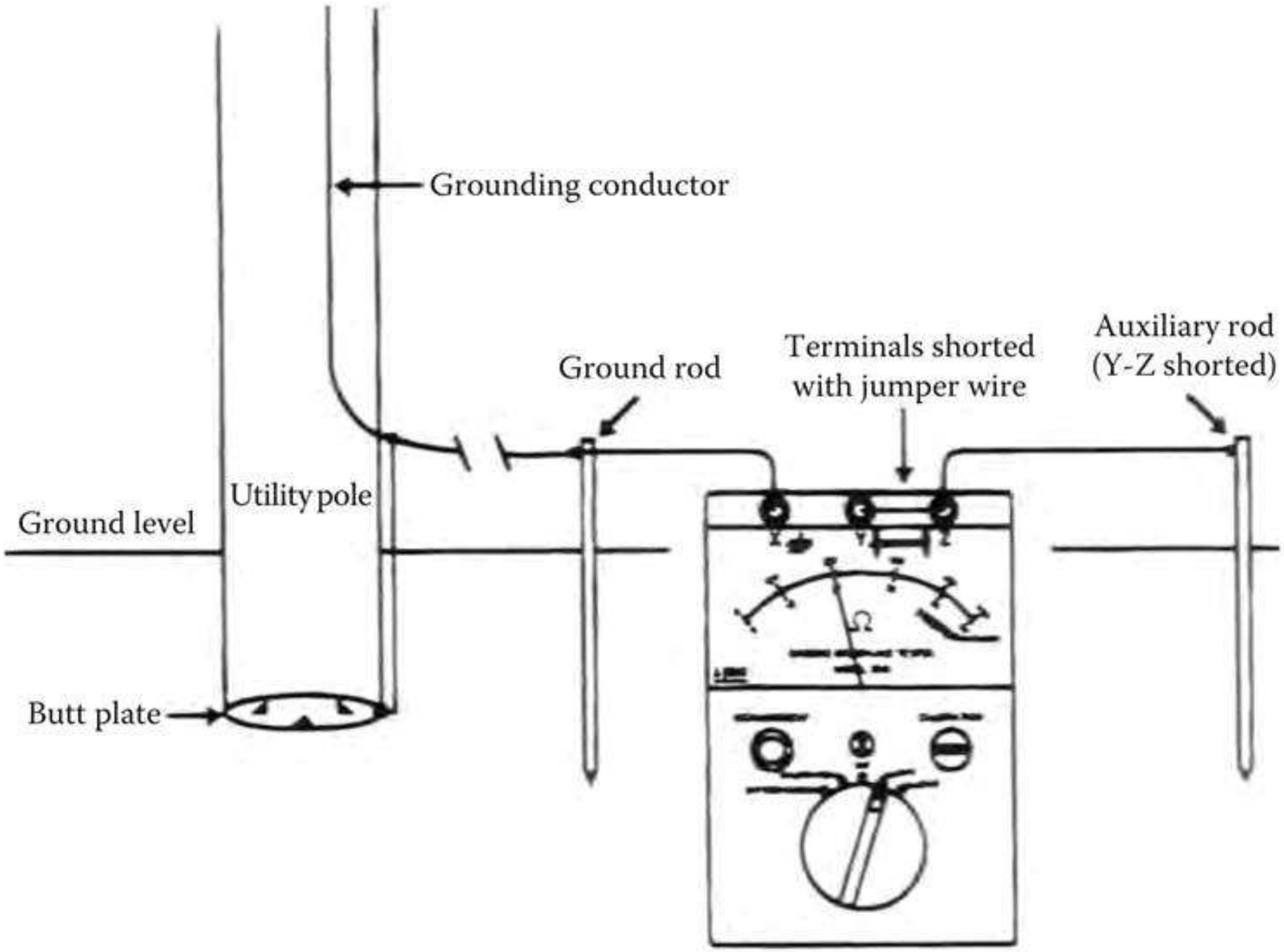
การวัดความต้านทานของหลักดิน

- Two-point method
- Three-point method
- Fall-of-potential method
- Ratio method
- Four-point method
- Touch potential method
- Clam-on method

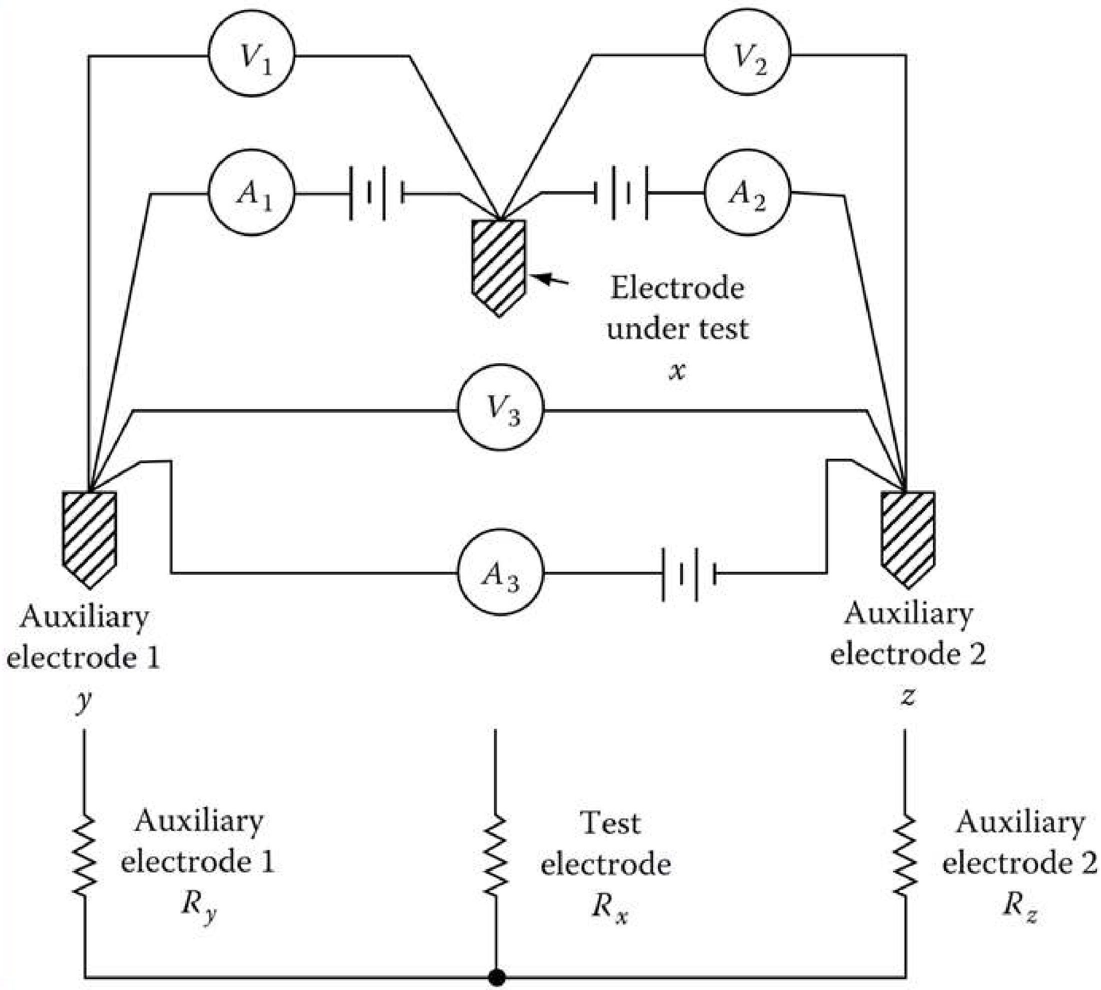
TWO-POINT METHOD



TWO-POINT METHOD



THREE-POINT Method



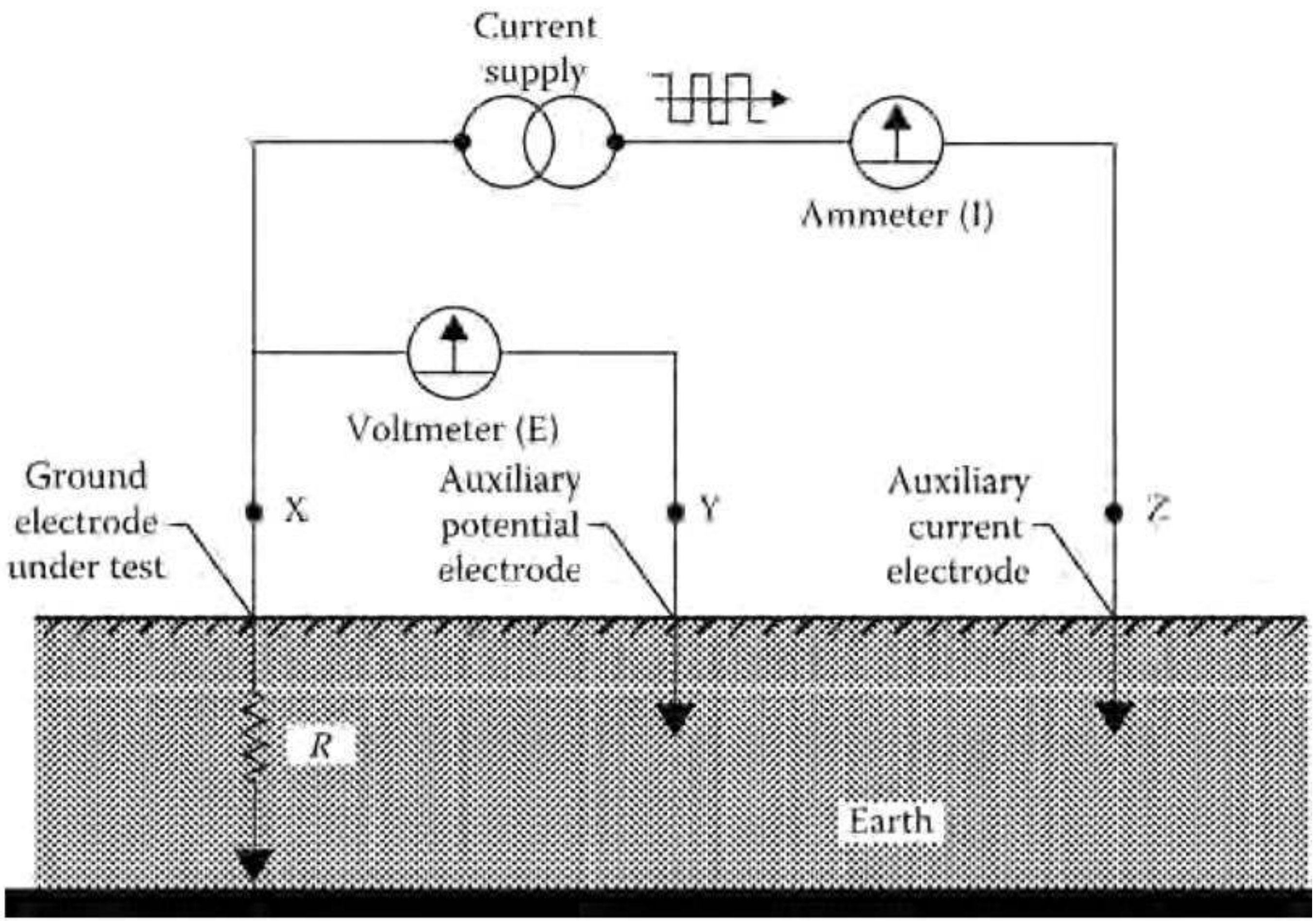
$$R_1 = R_x + R_y = \frac{V_1}{A_1}$$

$$R_2 = R_x + R_z = \frac{V_2}{A_2}$$

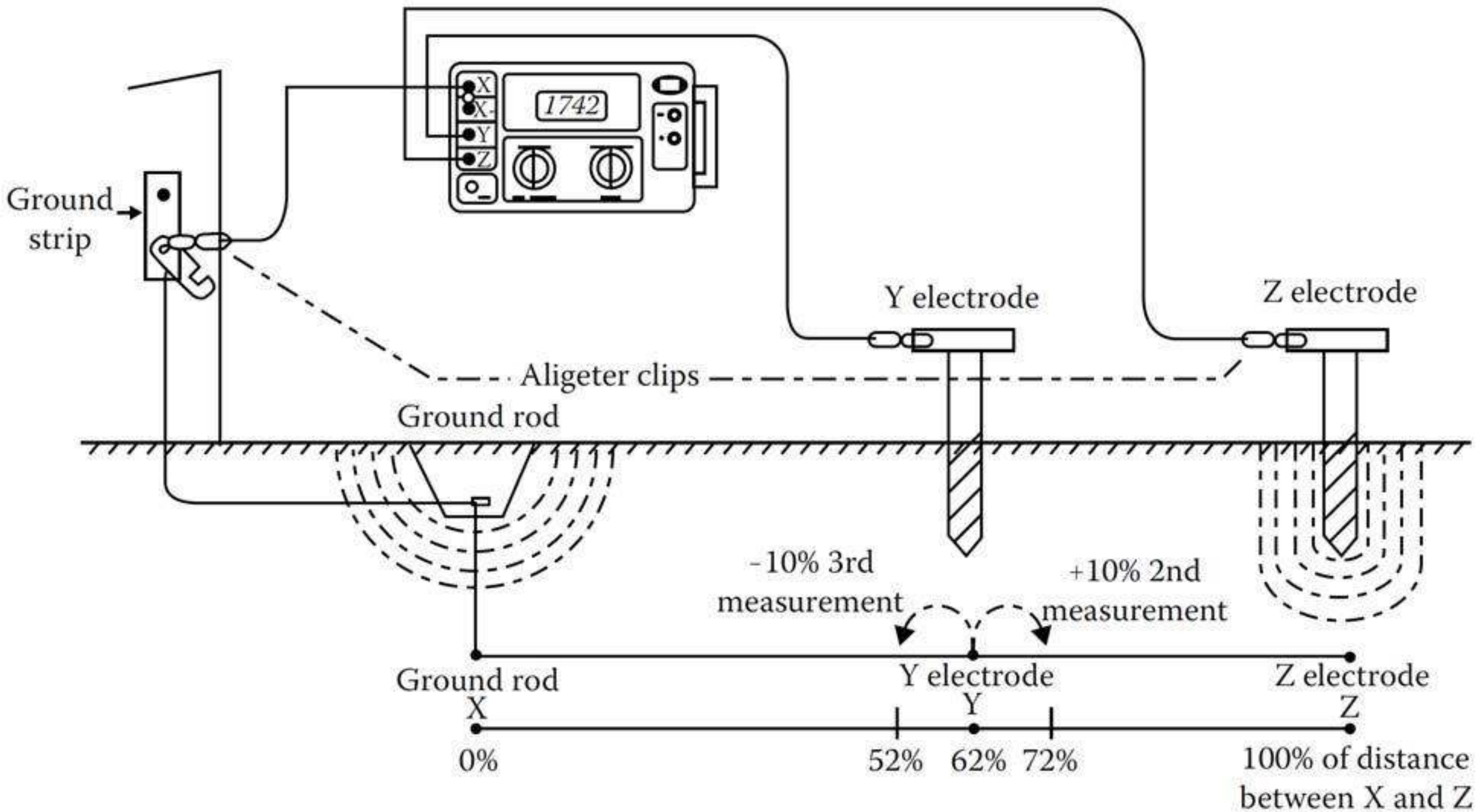
$$R_3 = R_y + R_z = \frac{V_3}{A_3}$$

$$R_x = \frac{R_1 - R_2 - R_3}{2}$$

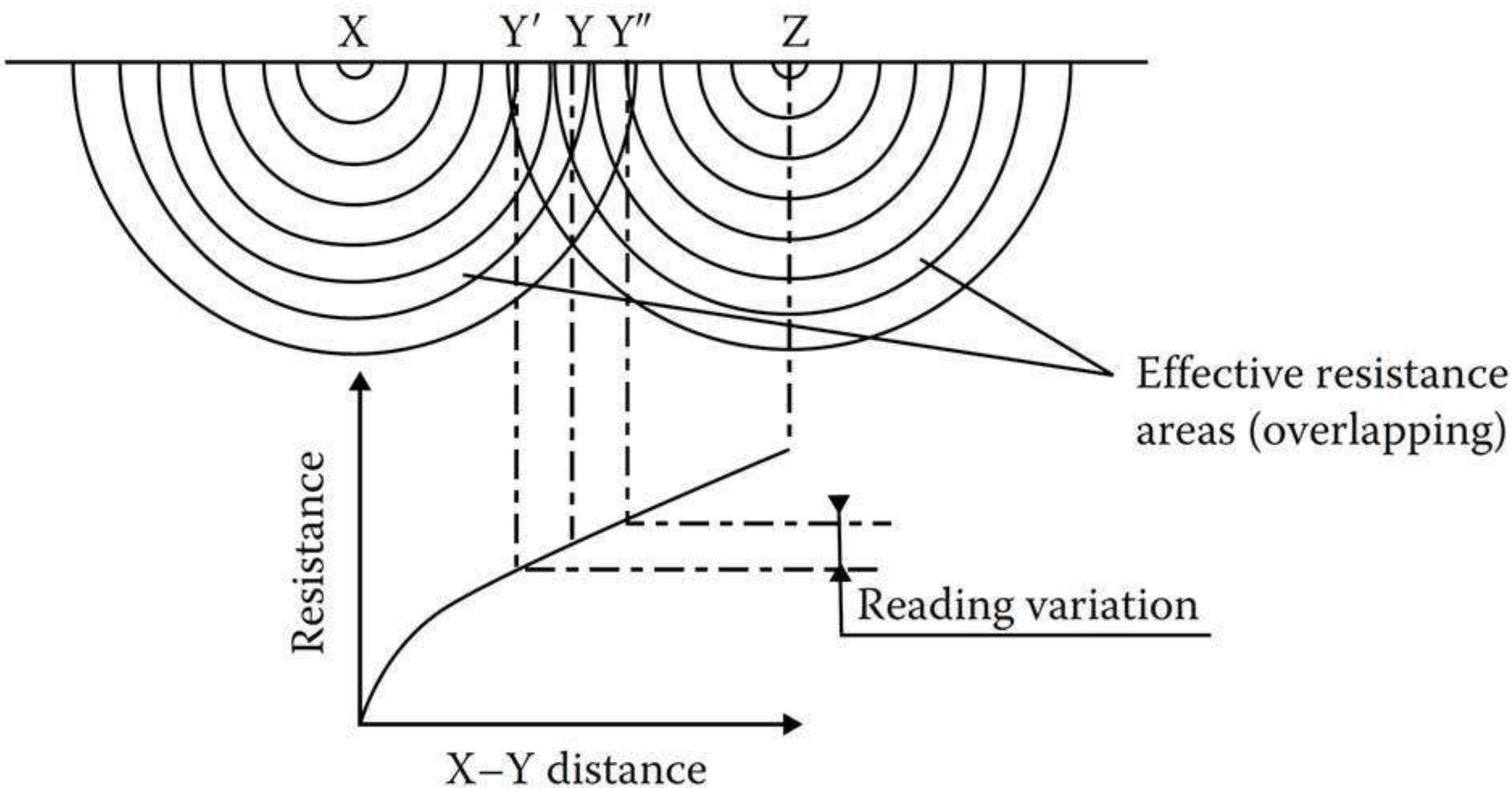
FALL-OF –POTENTIAL METHOD



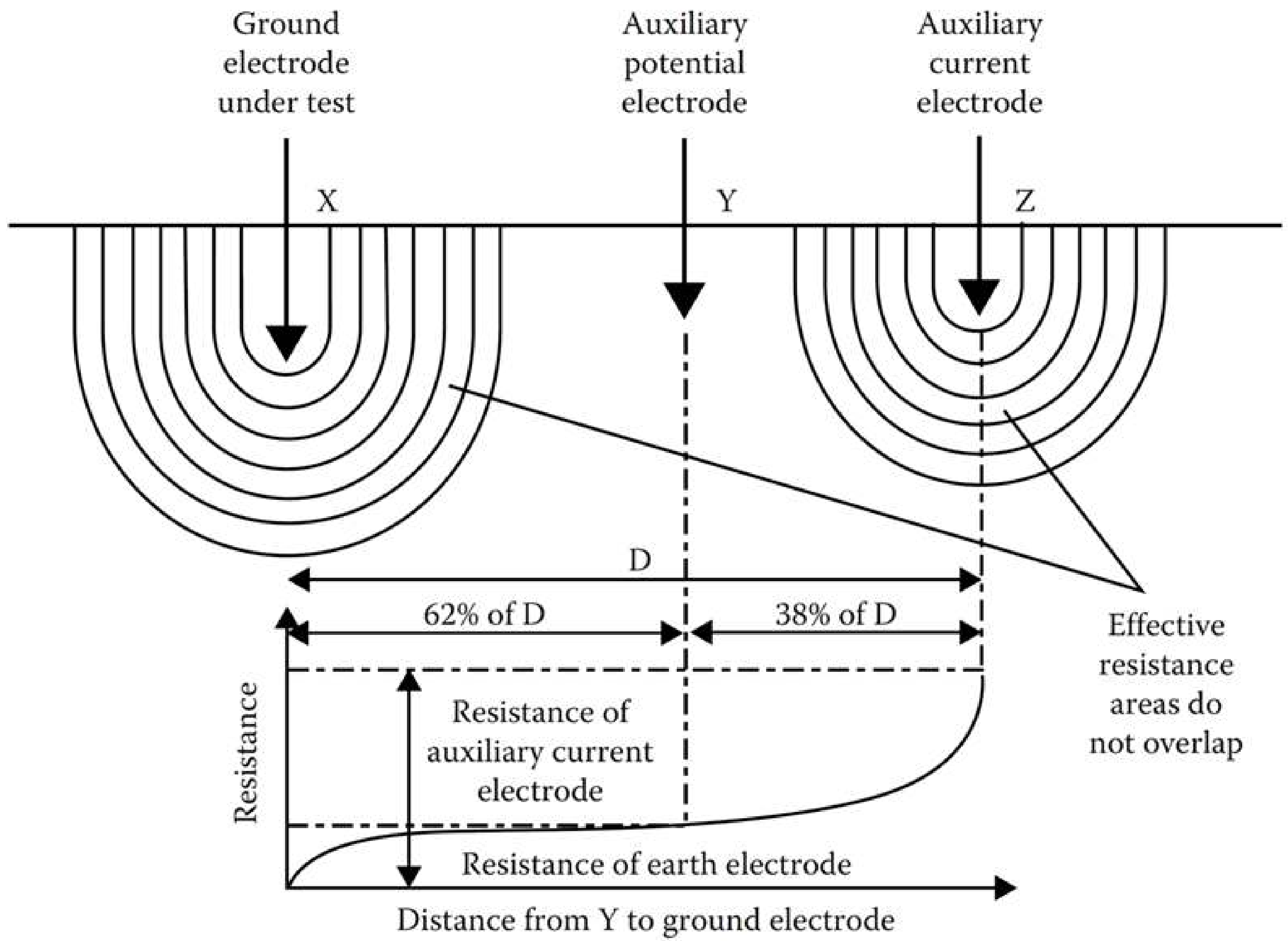
FALL-OF –POTENTIAL METHOD



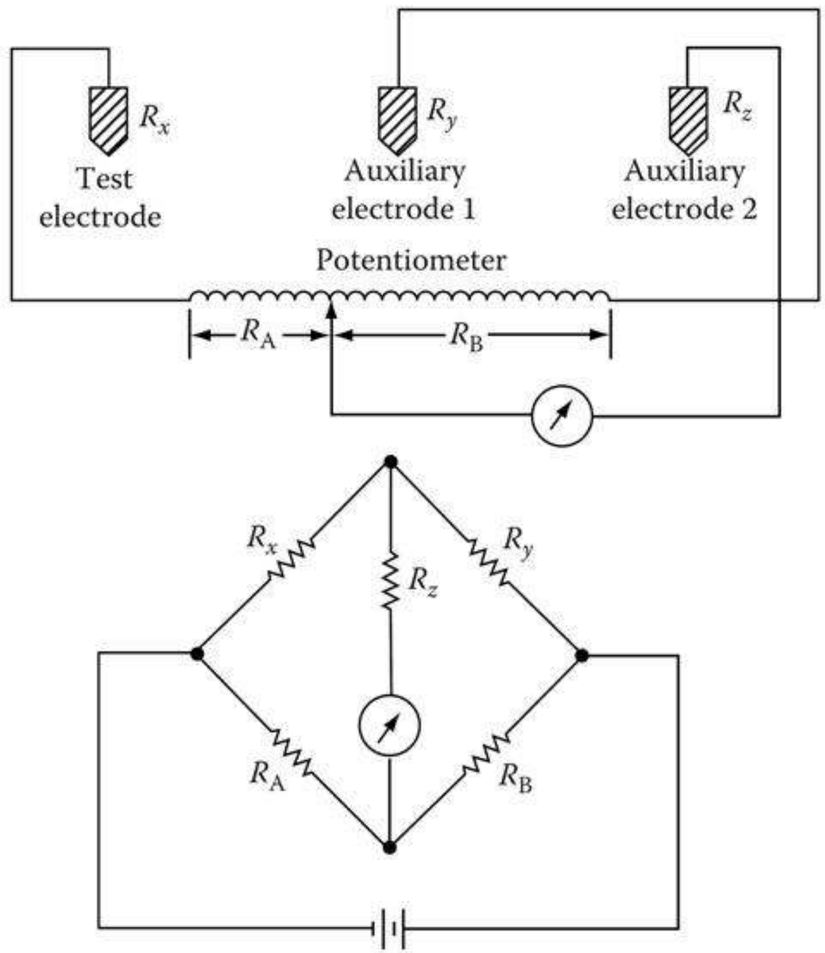
EFFECTIVE RESISTANCE AREAS



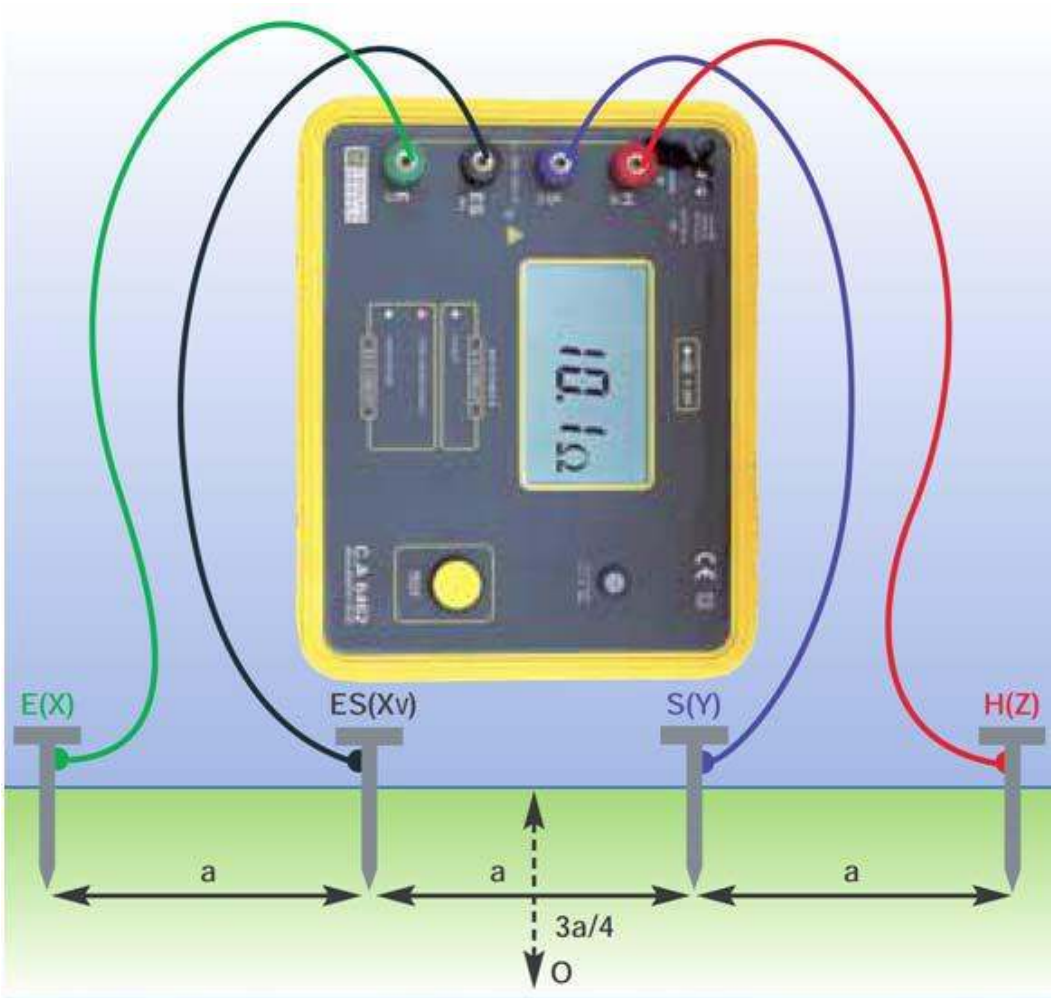
EFFECTIVE RESISTANCE AREAS (Cont.)



RATIO METHOD



FOUR-POINT MEASUREMENT



FOUR-POINT MEASUREMENT

- ค่าสภาพต้านทานดิน สามารถคำนวณได้จาก

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \left(\frac{2a}{\left(\sqrt{a^2 + 4b^2}\right)}\right) - \left(\frac{2a}{\left(\sqrt{4a^2 + 4b^2}\right)}\right)}$$

a : ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด, cm

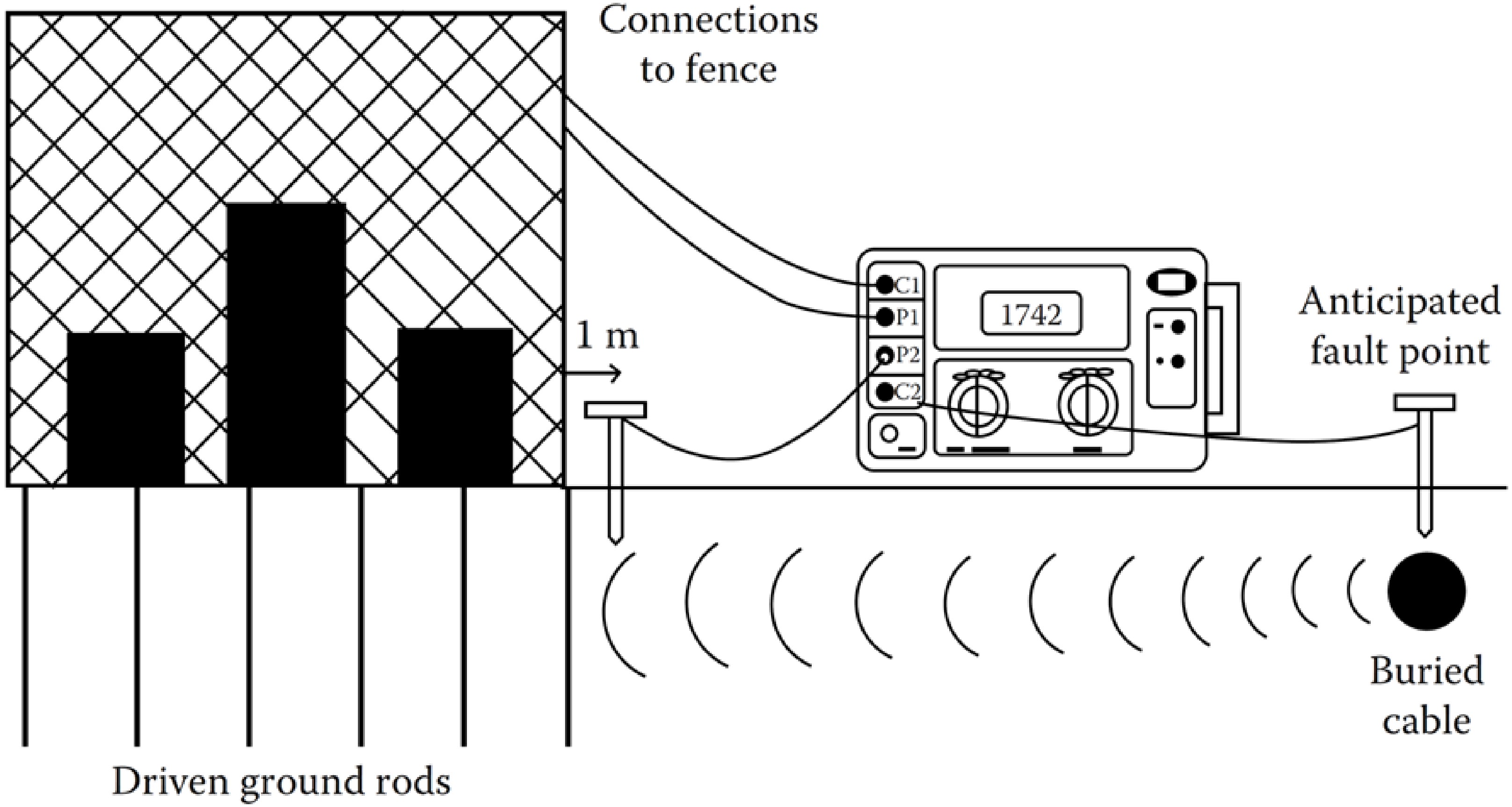
b : ความลึกของอิเล็กโทรด, cm

R : ค่าความต้านทานของหลักดิน ได้จาก four-point ground tester

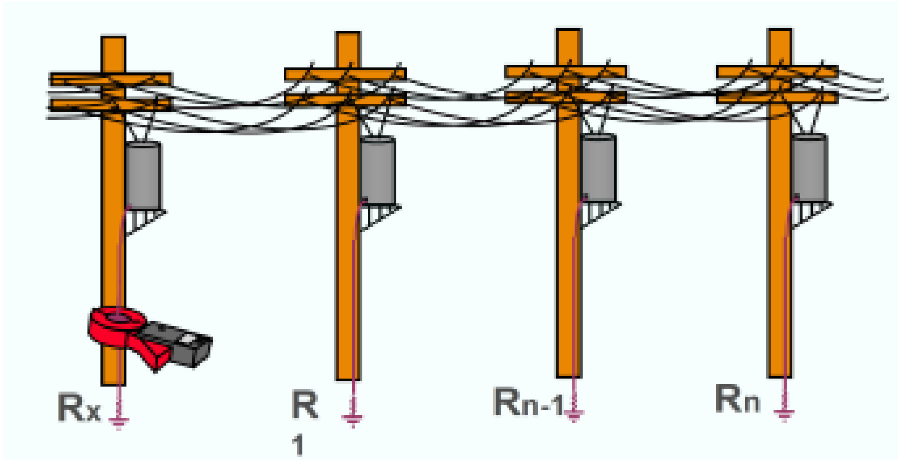
- ถ้า $a > 20b$

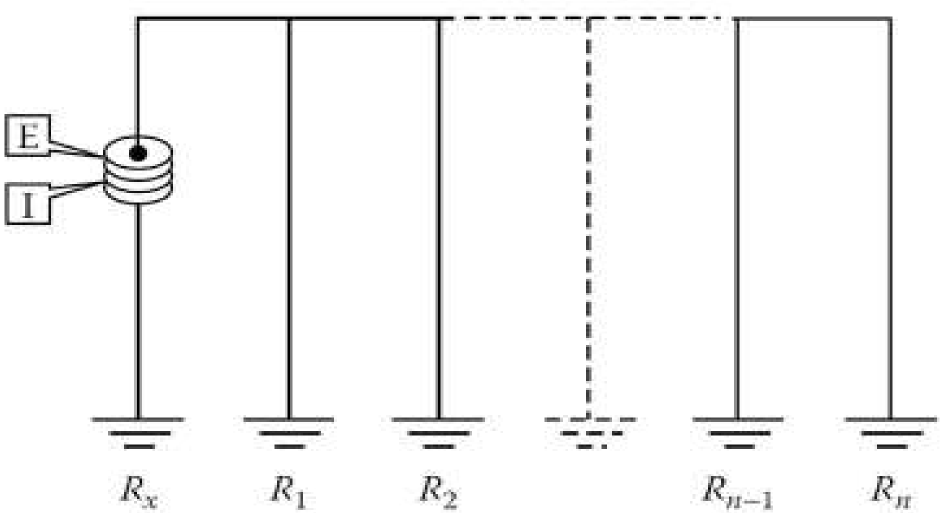
$$\rho = 2\pi aR$$

TOUCH POTENTIAL MEASUREMENT

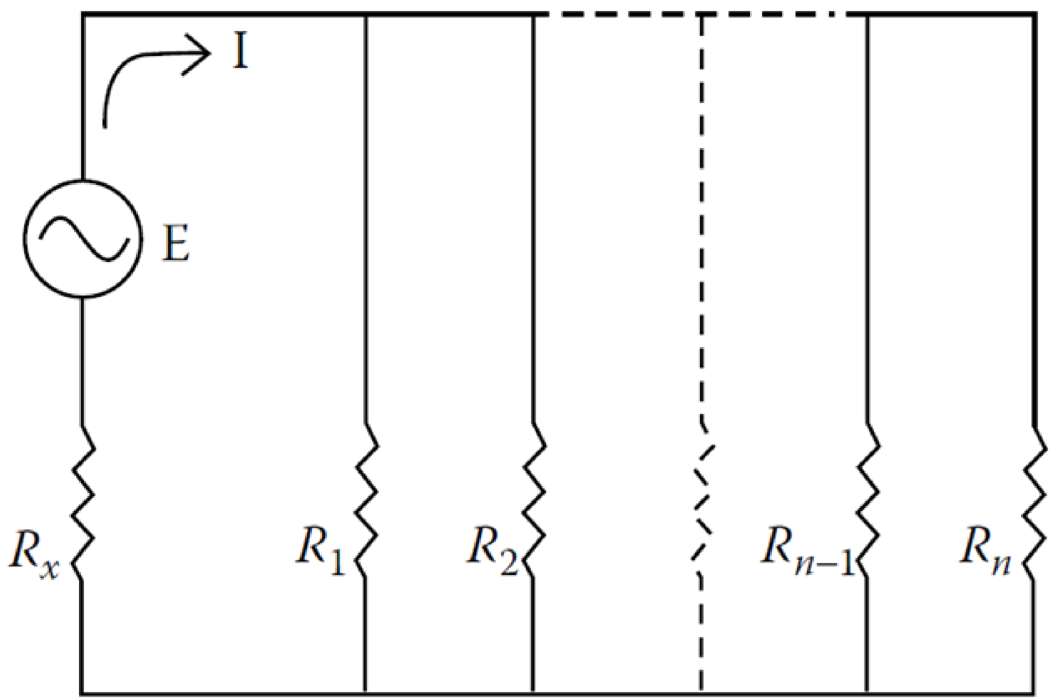


CLAMP-ON GROUND RESISTANCE MEASUREMENT





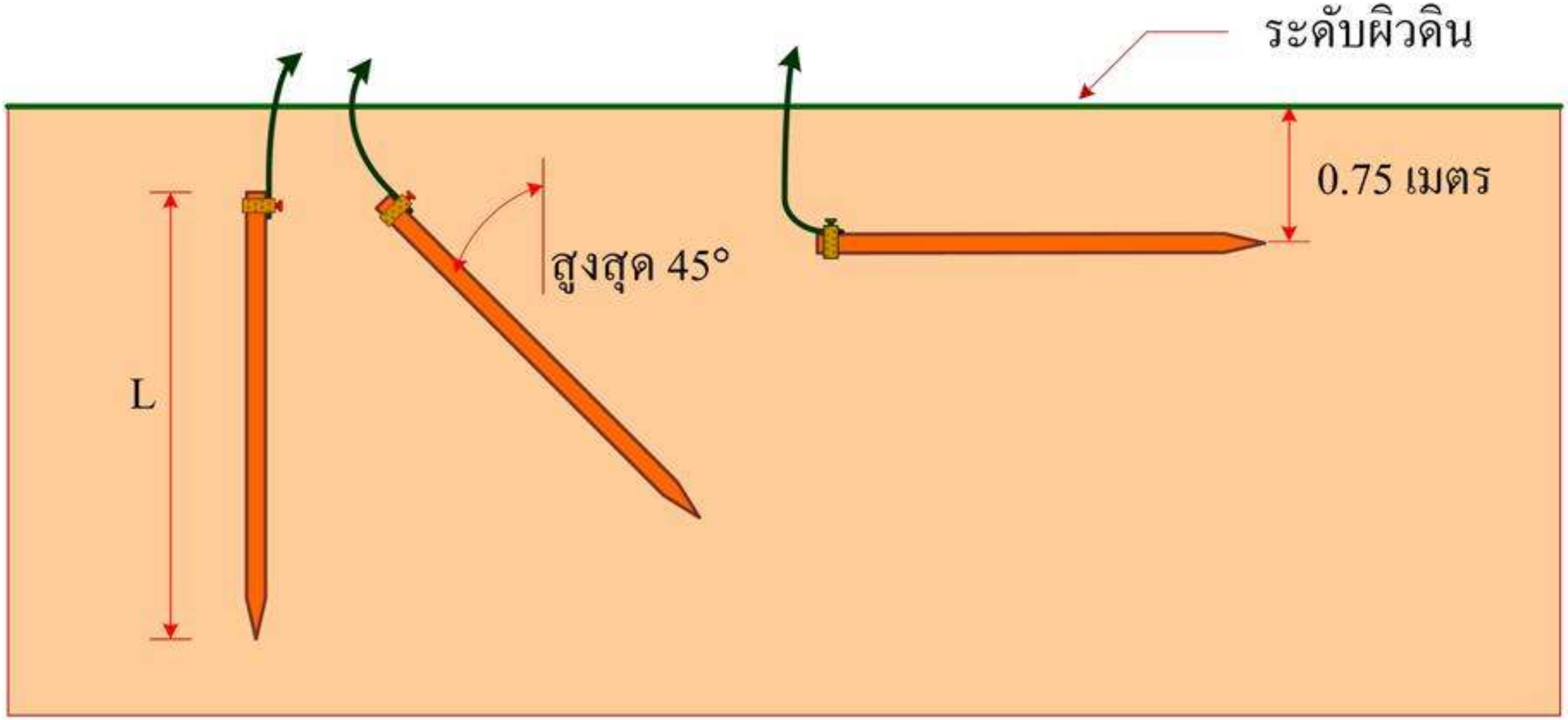
CLAMP-ON GROUND RESISTANCE MEASUREMENT



$$\frac{E}{I} = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^{n}(1/R_k)}$$

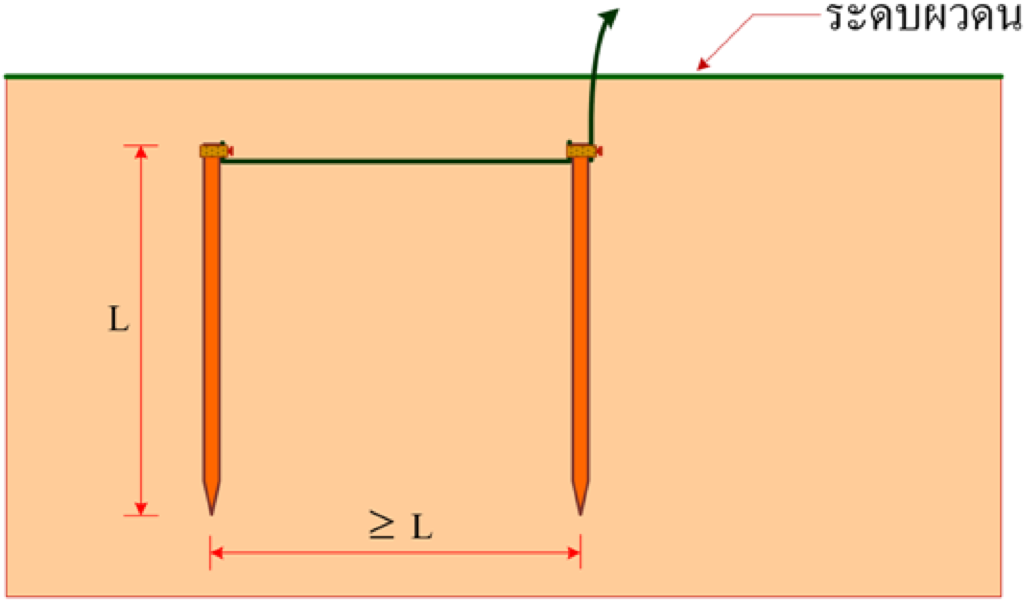
$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^{n}(1/R_k)}$$

การติดตั้งแท่งหลักดิน



ที่มา: ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบ การต่อลงดิน, สภาวิศวกร 2554

ความต้านทานดินมากกว่า 1 แท่ง

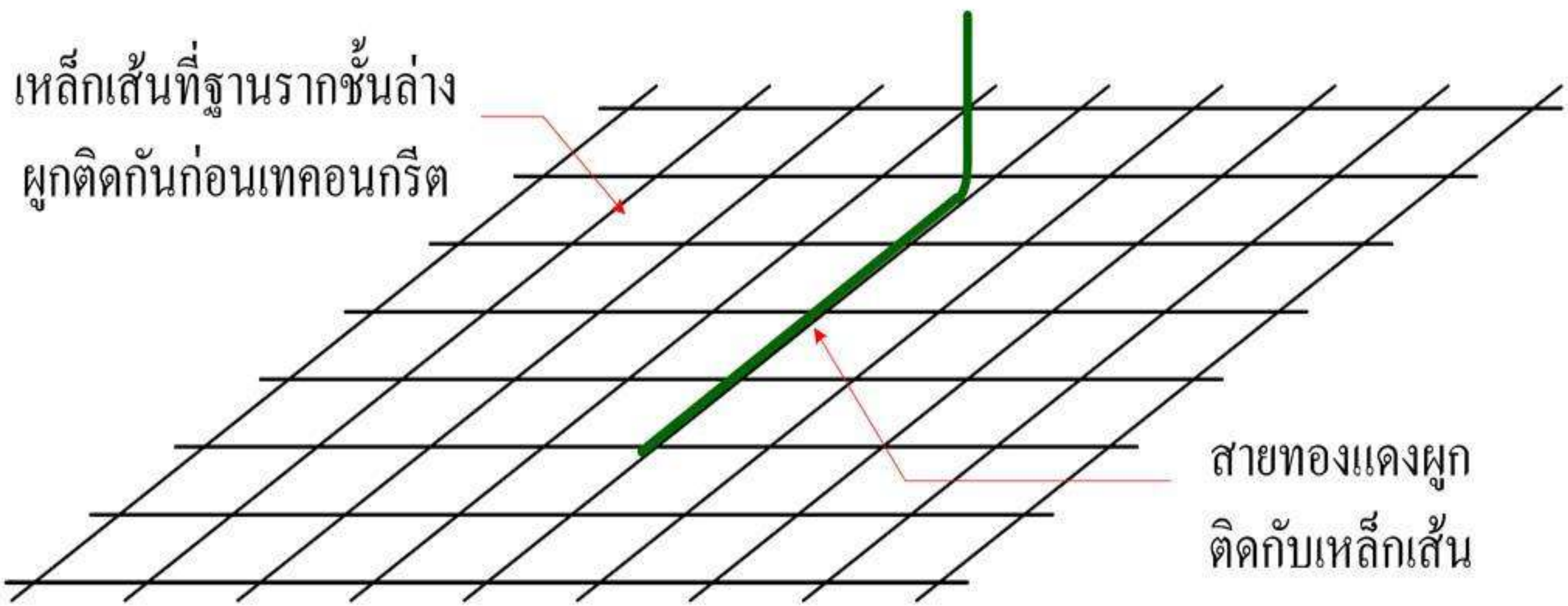


จำนวนอิเล็กโทรดขนานกัน	ค่าตัวคูณ
2	0.58
3	0.42
4	0.34
5	0.28
6	0.24

สำหรับแท่งหลักดินยาว 2.4 เมตร ลึก 3 เมตร และมีระยะห่าง 3 เมตร

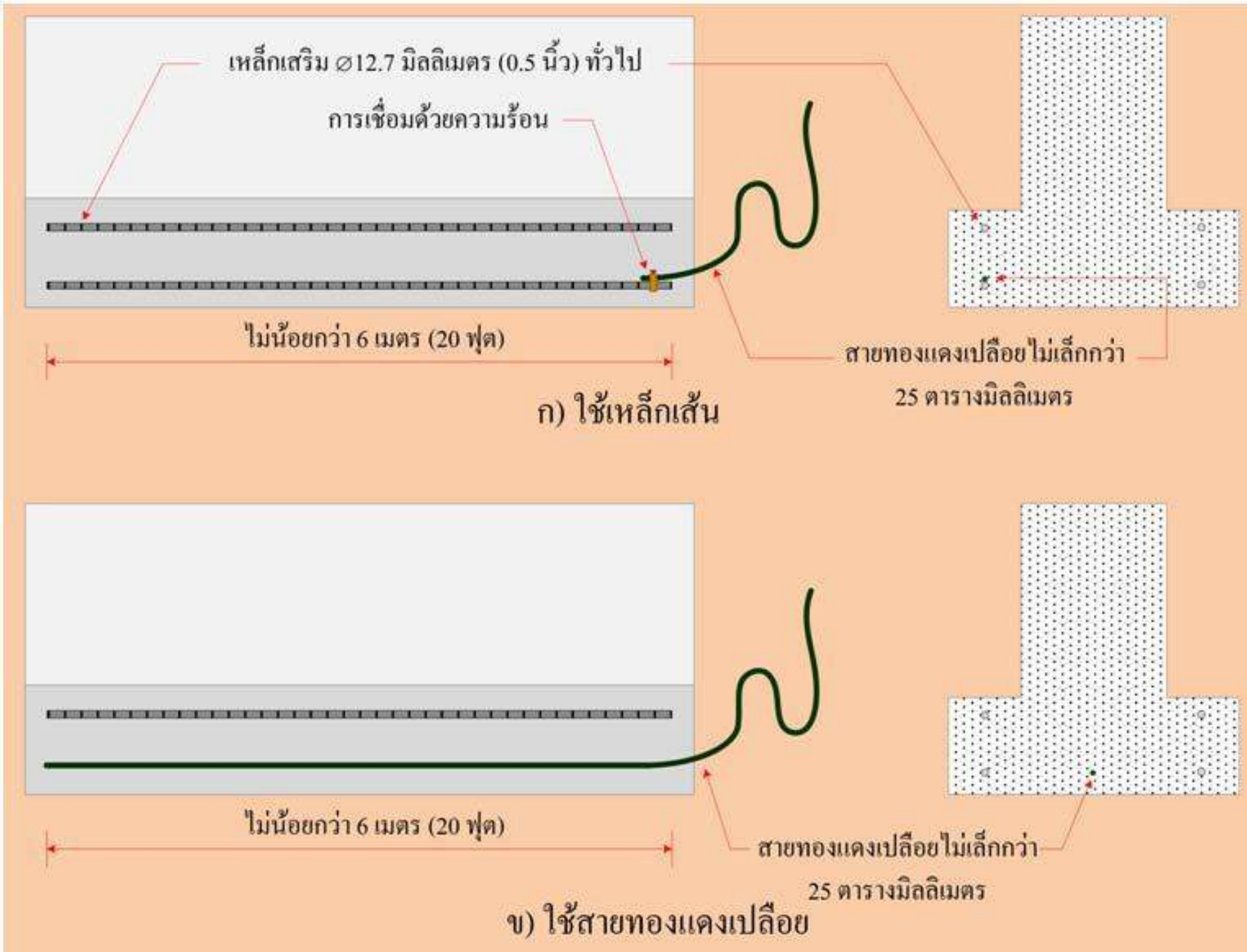
ที่มา: ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบ การต่อลงดิน, สภาวิศวกร 2554

การติดตั้งหลักดินหุ้มคอนกรีต



ที่มา: ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบและทดสอบ การต่อลงดิน, สภาวิศวกร 2554

การใช้ตัวนำในฐานรากคอนกรีต



การติดตั้งหลักดินแบบแผ่นโลหะ