

บทที่ 6

โครงสร้างระบบการต่อลงดิน และการวัดภาคสนาม

ติดตั้งกริดการต่อลงดิน

- โดยทั่วไป มีการใช้งานอยู่สองวิธีที่จะติดตั้งกริดการต่อลงดิน นั่นคือ
- วิธีทำคู (trench method)
- วิธีการไถวางสายเคเบิล (cable plowing method)
- ซึ่งทั้งสองวิธีจะใช้เครื่องจักรช่วยในการทำงานด้วย
- เมื่อไม่ได้ใช้เครื่องเหล่านี้ เนื่องจากไม่มีที่วางที่จะเคลื่อนย้ายมัน หรือที่ทำเลที่ตั้งในการปฏิบัติงานมีขนาดเล็ก กริดการต่อลงดินถูกติดตั้งโดยการขุดด้วยมือ

6.1 การก่อสร้างระบบการต่อลงดิน

- วิธีการก่อสร้าง จะขึ้นอยู่กับตัวประกอบจำนวนมาก อย่างเช่น
- ขนาดของกริด
- ชนิดของดิน
- ขนาดของสายตัวนำ
- ความลึกของการฝัง
- ราคาของค่าแรงงาน
- ความเคร่งครัดในเรื่องความปลอดภัย เนื่องจากโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียง หรืออุปกรณ์ที่ถูกละเลยไฟ

วิธีทำคูโดยใช้เครื่องจักร (trench method)



กริดการต่อลงดินถูกติดตั้งโดยการขุดด้วยมือ



6.2 วิธีการก่อสร้างแนวกริดการต่อลงดิน

- การปักแนวตรงตามแนวรอบทั้งสองด้าน เพื่อที่จะระบุระยะห่างระหว่างสายตัวนำที่ขนานกัน เครื่องหมายเหล่านี้ยังใช้สำหรับเป็นแนวของเครื่องที่จะมาทำคู
- การขุดคู จะใช้เครื่องขุดคูตามด้านมีสายตัวนำขนานจำนวนมาก
- คูเหล่านี้ จะมีความลึกจำเพาะ (ปกติประมาณ 0.5 m หรือ 1.5 ft)
- สายตัวนำถูกติดตั้งในท้องร่องและแท่งหลักสายดินที่ถูกตอกลงไปเหล่านี้
- เชื่อมต่อเข้ากับสายตัวนำ สำหรับการต่อลงดิน

Ground rod driving machine



ขั้นตอนถัดไปคือการขุดแนวท้องร่องสายตัวนำข้าม

- แนวท้องร่องสายตัวนำข้าม ปกติจะทำให้มีความลึกที่ตื้นกว่า
- ให้ทำเครื่องหมายหรือแนวอีกครั้งหนึ่ง
- ระมัดระวังเมื่อการขุดคูเหล่านี้ จำต้องหลีกเลี่ยงสายตัวนำที่วางในท่อที่จุดข้ามกัน สายตัวนำถูกติดตั้งในคู และแท่งหลักสายดินที่ยังคงใดๆ ถูกตอก และเชื่อมต่อกับสายตัวนำ ทางเป็ยที่เหลืออยู่ได้รับการเชื่อมต่อกับสายตัวนำเหล่านี้อีกด้วย
- การเชื่อมต่อแบบข้าม (Cross-type connections) ถูกทำระหว่างสายตัวนำที่วิ่งตั้งฉากกัน

6.3 วิธีการก่อสร้างด้วยการใถวางสายตัวนำกริดการต่อลงดิน

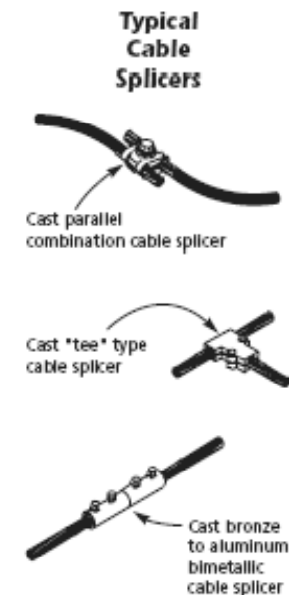
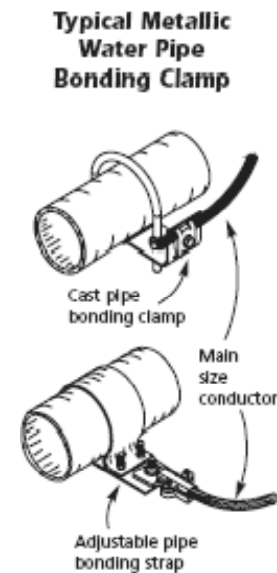
- การใถวางสายตัวนำ มีข้อดีคือ ประหยัด และรวดเร็ว
- การใถวางสายตัวนำลงไป แนวใถแคบเป็นพิเศษ ซึ่งอาจจะผูกติดกับตัวตั้ง โดย เครื่องแทรกเตอร์ หรือรถบรรทุกขับเคลื่อนสี่ล้อ
- บางครั้งการใถอาจจะทำได้โดยเครื่องมือกว้านแทน สายตัวนำอาจจะถูกวางบนดินข้างหน้าการใถชุด หรือหลอดของสายตัวนำอาจจะถูกติดกับฐานที่ เครื่องแทรกเตอร์ หรือรถบรรทุก หรือบนแครงที่ดึงไปข้างหน้าของการใถชุด ต่อมาสายตัวนำถูกป้อนเข้าไปในดินตามแนวของใบมีดของการใถข้างล่าง
- วิธีการอื่นๆ จะผูกติดที่ปลายของสายตัวนำที่ข้างล่างของใบมีดที่ใถไป และดึงมันไปตามแนวข้างล่างของใบที่ตัดดินที่ใถไปข้างหน้า ในกรณีนี้ ควรจะ ใช้ความระมัดระวังและการเอาใจใส่ เพื่อให้แน่ใจว่าสายตัวนำนั้นไม่ทำงานผ่านดินหลวมๆ ขึ้นมาด้านบน

6.4 การติดตั้งของการเชื่อมต่อ หางเปีย และแท่งหลักสายดิน

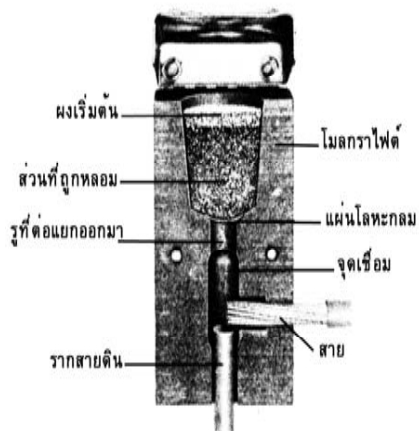
- เมื่อสายตัวนำถูกวางในคูแล้ว และต้องทำการเชื่อมต่อ โดยทั่วไป จุดต่างๆของการข้ามที่ต้องการการเชื่อมต่อแบบข้าม ขณะที่การเชื่อมต่อแบบตัว tee ถูกใช้สำหรับการต่อแยกให้สายตัวนำตรงวิ่งไปยังที่ตั้งตามเส้น โดยรอบ ชนิดของการเชื่อมต่อมีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีความหลากหลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อต่อ วัสดุที่ถูกต้อง
- หางเปียถูกทำให้เหลือไว้ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อการต่อลงดินกับโครงสร้าง หรืออุปกรณ์ หางเปียเหล่านี้ อาจจะมีขนาดสายเคเบิล เดียวกันกับกริดใต้ดิน หรือขนาดที่แตกต่างขึ้นอยู่กับจำนวนของการต่อลงดินต่ออุปกรณ์ ขนาดของกระแสฟอลต์การต่อลงดิน และในทางปฏิบัติการ ออกแบบของความเร็วของเครื่องใช้ หลังจากที่มีกรกลบฝัง หางเปียสามารถเข้าถึงอย่างรวดเร็ว เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่อขึ้นบน

การติดตั้งแท่งหลักสายดิน

- โดยปกติ การติดตั้งแท่งหลักสายดินถูกทำโดยการใช้
- ค้อนไฮดรอลิก (hydraulic hammer)
- ค้อนอากาศ (air hammer)
- โดยการใช้วิธีการทางความร้อน หรือเส้นป่าน หรือเครื่องต่อแบบไม่มีเส้นป่าน
- การเชื่อมต่อระหว่างแท่งหลักสายดินและสายตัวนำกริด

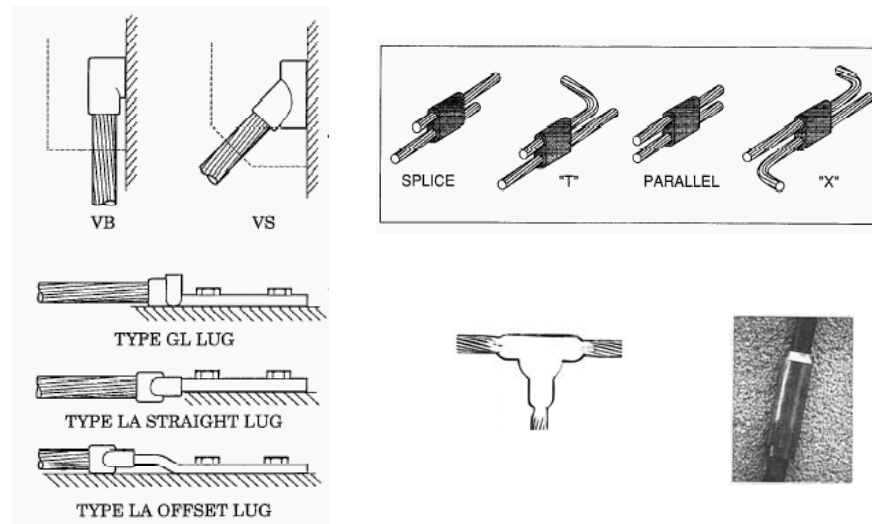


การเชื่อมแบบเทอร์มิต (Thermit Welding) หรือการเชื่อมแบบเทอร์โมเวล (Thermoweld)



- การเชื่อมต่อระหว่างสายนำลงดินกับหลักดิน นิยมใช้การเชื่อมต่อด้วยด้วยความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งจะเรียกว่า การเชื่อมแบบเทอร์มิต (Thermit Welding) หรือการเชื่อมแบบเทอร์โมเวล (Thermoweld)
- โดยเป็นการเชื่อมต่อตัวนำที่เป็นทองแดงเข้ากับทองแดงหรือทองแดงเข้ากับเหล็ก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ระหว่างจุดต่อซึ่งจะเป็นความต้านไฟฟ้า บริเวณจุดต่อทำให้กระแสไฟฟ้าไหลลงสู่พื้นดินได้ไม่สะดวก

ตัวอย่างการต่อแบบต่างๆ



6.5 การพิจารณาลำดับขั้นการก่อสร้าง สำหรับการติดตั้งกริดการต่อลงดิน

- ◆ กริดการต่อลงดินที่ถูกติดตั้งหลังจากลานถูปรับในอยู่ในระดับเดียวกัน รากฐานถูกเท และท่อใต้ดินอยู่ลึกกว่า และท่อน้ำถูกติดตั้ง และถูกลบ
- ◆ ความปลอดภัยรั่วอาจจะถูกติดตั้งก่อน หรือหลังจากการติดตั้งกริด การต่อลงดิน
- ◆ ถ้าที่ท่อใต้ดินลึกกว่า และท่อน้ำไม่ได้ถูกติดตั้ง ก่อนการติดตั้งกริดการต่อลงดิน ควรพยายามที่จะจัดความสัมพันธ์ของคู่มือสอดคล้องกันเหตุผลของการต่อลงดิน

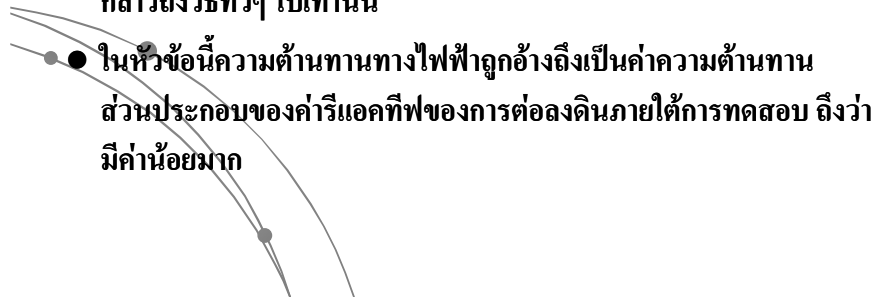
6.6 การพิจารณาลำดับ ความปลอดภัยระหว่างการเจาะ

- ◆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1.2.4 ค่าการฉนวนของชั้นของวัสดุผิวที่สะอาด หรือกรวดที่ช่วยให้ความปลอดภัยได้สถานะปลอดภัยลงดิน
- ◆ เพราะฉะนั้น เมื่อการขุดเจาะเป็นสิ่งจำเป็นหลังจากที่พื้นผิวหินได้รับการใช้ ควรระมัดระวังเอาใจใส่เพื่อการหลีกเลี่ยงการผสมดินที่มีสภาพต้านทานดินต่ำกว่าจากการขุดเจาะ กับวัสดุผิวหินโดยรอบ



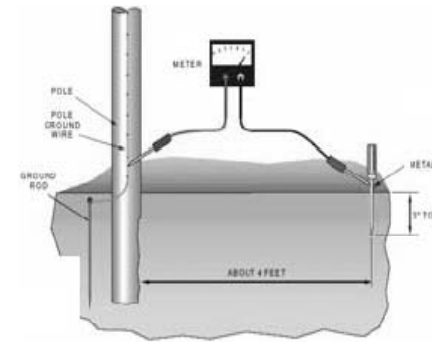
6.7 การวัดภาคสนามของระบบที่กำลังก่อสร้างการต่อลงดิน

- 6.7.1 การวัดอิมพีแดนซ์ของระบบที่การต่อลงดิน
- การวัดอิมพีแดนซ์เป็นเรื่องที่ต้องระมัดระวังพอๆ กับการติดตั้งและการสร้าง แม้ไม่เหมาะแก่การปฏิบัติตลอดเวลา ถ้ากริดได้รับการเชื่อมต่อกันหรือถูกอิทธิพลอื่นๆ จากโครงสร้างโลหะที่ถูกฝังในดิน ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงวิธีต่างๆ ไปเท่านั้น



- ในหัวข้อนี้ความต้านทานทางไฟฟ้าถูกอ้างถึงเป็นค่าความต้านทานส่วนประกอบของค่ารีแอกทีฟของการต่อลงดินภายใต้การทดสอบ ถึงว่ามีค่าน้อยมาก

(ก) วิธีการใช้จุดสองจุด



- วิธีการนี้ วัดค่าความต้านทานของระบบที่การต่อลงดิน และการต่อลงดินช่วยทั้งหมด ค่าที่ถูกต้องในหน่วยโอห์ม
- วิธีนี้ เป็นวิธีการที่มีความผิดพลาดมาก สำหรับค่าความต้านทานระบบการต่อลงดินที่มีค่าต่ำ หรือเมื่อการต่อลงดินใกล้กันและกัน

(ข) วิธีแบบสามจุด

- วิธีการนี้ รวมถึงการใช้โอห์มมิเตอร์สองทดสอบสองอิเล็กโทรด กับค่าความต้านทานของมันที่ถูกกำหนดเป็น r_2 และ r_3 และอิเล็กโทรดที่ถูกวัดค่าที่ถูกกำหนดเป็น r_1 ค่าความต้านทานระหว่างแต่ละคู่ของอิเล็กโทรดถูกวัดค่า และกำหนดเป็น r_{12} , r_{13} , และ r_{23} เมื่อ $r_{12} = r_1 + r_2$ เป็นต้น ดังนั้น

$$r_1 = \frac{(r_{12}) + (r_{13}) - (r_{23})}{2}$$

โดยวัดค่าค่าความต้านทานของแต่ละคู่ของอิเล็กโทรดการต่อลงดินซึ่งอนุกรมกัน และการแทนค่าเหล่านี้ในสมการที่ (6.1) จึงสามารถหาค่าของ r_1 ๗ ๕

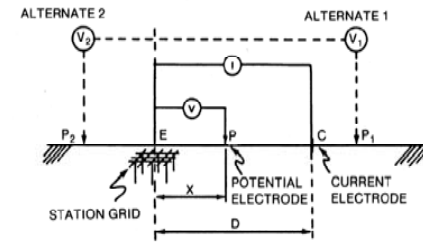
(ค) วิธีอัตราส่วน

- วิธีนี้ เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของอิเล็กโทรดภายใต้การทดสอบกับค่าความต้านทานที่รู้แล้ว
- โดยทั่วไป ค่าที่ตั้งไว้สำหรับอิเล็กโทรดที่เหมือนกัน เป็นเหมือนกับวิธีการสัณยต์ที่ตกลง ดังที่จะได้ที่บรรยายต่อไปในหัวข้อที่ (ง)
- วิธีการเปรียบเทียบ หน่วยความต้านทานไฟฟ้าที่อ่านได้ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดกระแสทดสอบ นั่นก็คือกระแสทดสอบสูงได้พอ เพื่อให้ได้ความไวเหมาะสม

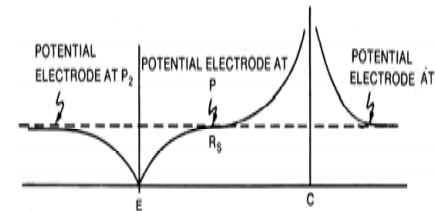
(ง) การทดสอบที่ถูกดำเนินการเกี่ยวกับฟอลต์

- อาจจำเป็นต้องทดสอบด้วยชั้นกระแสสูง เมื่อต้องการข้อมูลข่าวสารจำเพาะเจาะจง สำหรับการออกแบบระบบกราวด์เฉพาะ การทดสอบนี้ ควรจะได้ปริมาณจาก อิมพีแดนซ์ดิน ที่สามารถถูกนำมาพิจารณาได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย
- การทดสอบชนิดนี้ ควรจะใช้ใช้ออสซิลโลสโคป ซึ่งควรจะถูกบันทึกแรงดันระหว่าง จุดที่ถูกเลือก อย่างไรก็ตาม ขนาดของแรงดันอาจจะมากทีเดียว และต้องการหม้อ แปลงแรงดัน (potential transformer) เพื่อลดขนาดของแรงดันลง ค่าแรงดันสูงสุด
- อัตราส่วนหม้อแปลงแรงดันควรจะถูกพิจารณาที่การทดสอบดำเนินการกับฟอลต์ เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ทดสอบได้รับความเค้นมากเกินไป
- การทดสอบศักย์ที่ตกลงสามารถเพื่อพิจารณาแรงดันที่ถูกคาดไว้สำหรับการทดสอบ ดำเนินการเกี่ยวกับฟอลต์
- ตำแหน่งของจุดต่างๆ ที่เป็นจริงที่ถูกวัด แน่แน่นอนว่า ขึ้นอยู่กับบนข้อมูลข่าวสารที่ ต้องการ แต่ในกรณีทั้งหมดเนื่องจากการยินยอมควรจะทำเพื่อการเชื่อมต่อระหว่าง ทดสอบวงจร

(จ) วิธีการทางศักย์ที่ตกลง



(ก) ภาพตัวอย่างแสดงการวัดที่จุดต่างๆ



(ข) ศักย์ที่วัดดินสำหรับระยะห่าง "X" ต่างๆ

- วิธีการนี้ มีความแปรปรวนที่ หลากหลาย และสามารถ ใช้ได้กับการวัดค่าความ ต้านทานดินทุกชนิด โดย พื้นฐาน การวัดค่าความ ต้านทานดินประกอบด้วยวัด ค่าความต้านทานของระบบที่ การต่อลงดิน โดยการเทียบ กับอิเล็กโทรดการต่อลงดิน ระยะไกล

6.8 การสำรวจภาคสนามของเส้นรูปร่างศักย์ และแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันช่วงก๊าว

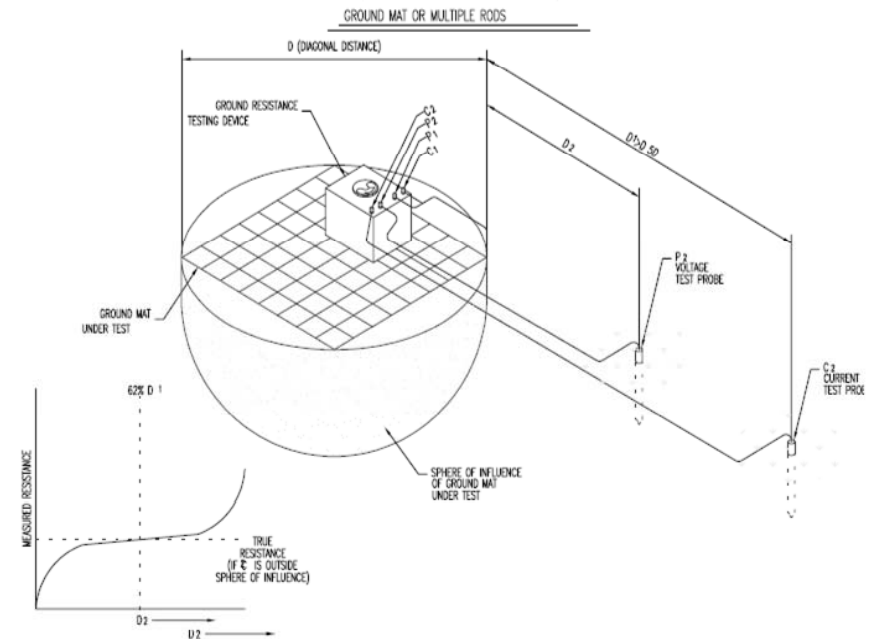
- การรับรองที่ดีที่สุดก็คือ สถานีไฟฟ้าย่อยปลอดภัยจะมาจาก การทดสอบ ภาคสนามตามความเป็นจริง เกี่ยวกับแรงดันช่วงก๊าวและแรงดันสัมพันธ์ กับกระแสไหลคั่นกันๆ แผ่นรองรับการต่อลงดิน เนื่องจากใช้ค่าใช้จ่าย และเครื่องมือ น้อย ในการทดสอบเป็นประจำในทางปฏิบัติ
- ถ้า ความไม่สอดคล้องกันมีมากระหว่างคำนวณ และวัดค่าค่าความ ต้านทาน หรือค่าปกติที่รู้ในเรื่องสภาพต้านทานการต่อลงดิน ที่สงสัย เกี่ยวกับการคำนวณแรงดันช่วงก๊าว และแรงดันสัมพันธ์แล้ว ผลการ ทดสอบอาจจะถูกนำมาพิจารณา สิ่งนี้ถูกต้อง โดยเฉพาะเมื่อค่าคำนวณ โดดเดี่ยวกับขีดจำกัดที่ยังพอรับได้ และการปรับปรุงการต่อลงดินอื่นๆ

6.9 การประเมินค่าของการวัดภาคสนาม สำหรับการออกแบบอย่างปลอดภัย

- ด้วยรูปแบบสำหรับค่าความต้านทานที่ถูกวัดอย่างเหมาะสม GPR สูงสุด สามารถถูกคำนวณซ้ำได้ ถ้ามีแตกต่างจากค่าความต้านทานที่เป็นฐานอ้างอิง
- ข้อควรระวังคือการพิจารณาศักย์ที่ถูกโอนถ่ายด้วยต้องถูกนำมาทบทวนใหม่
- ค่าความต้านทานที่ถูกวัด ไม่ได้จัดเตรียมด้วยวิธีโดยตรงของการตรวจสอบ ตามขั้นตอนการคำนวณอีกครั้ง และศักย์สัมพันธ์ เพราะค่าเหล่านี้ ได้มาจาก สภาพความต้านทาน
- อย่างไรก็ตาม ถ้าความแตกต่างระหว่างการคำนวณ และการวัดค่าความ ต้านทานกริดของสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่ามาก โครงร่างของค่าความต้านทาน หรือ สภาพต้านทานอาจจะอยู่ภายใต้ความน่าสงสัยเป็นอันดับต้นๆ

6.10 ทดสอบความสมบูรณ์ของกริดการต่อลงดิน

- หลาย ๆ ครั้ง ที่รีเลย์แบบโซลิตสเตท (solid-state relays) อุปกรณ์โทรศัพท์ วงจรบันทึกเหตุการณ์ หรือแหล่งจ่ายไฟหน่วยต่าง ๆ ในหน่วยควบคุมได้รับความเสียหายเนื่องจากเสิร์จฟ้าผ่า หรือฟอลต์ ถ้าสถานีไฟฟ้าย่อยมีระบบการต่อลงดินที่ไม่ดีพอ
- โดยทั่วไป การทดสอบความสมบูรณ์ของกริดการต่อลงดินถูกกระทำตามสภาพการณ์ที่ได้กล่าวมาแล้ว ควรมีการประเมินค่าของกริดการต่อลงดินเท่าอีกด้วย
- บางครั้ง การปฏิบัติตามการติดตั้งของกริดการต่อลงดินขนาดใหญ่ การทดสอบนี้ถูกปฏิบัติเพื่อให้แน่ใจในความสมบูรณ์ ก่อนสถานีไฟฟ้าย่อยถูกยืนยันสำหรับการปฏิบัติงาน การทดสอบความสมบูรณ์เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบวงจรเปิดใด ๆ หรือโครงสร้างที่ถูกแยกออก หรืออุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย



- อุปกรณ์การทดสอบประกอบด้วย
- แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ (0–35 V, 0–300 A)
- อุปกรณ์การวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า
- สายทดสอบสองเส้น สายทดสอบเส้นหนึ่งจากสองสายได้รับการเชื่อมต่อกับไรเซอร์การต่อลงดินอ้างอิง (reference ground riser) โดยทั่วไป การต่อลงดินกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า สายตัวนำการทดสอบอื่นๆ นำมาเชื่อมต่อกับไรเซอร์การต่อลงดินที่ถูกทดสอบ
- การทดสอบประกอบด้วยกระแสไหลที่ 300 A (ตัวอย่าง) ระหว่างการเชื่อมต่อกับไรเซอร์ และการวัดค่าแรงดันตกคร่อมวงจรการต่อลงดินรวมถึงสายทดสอบ การวัดการแบ่งกระแสที่ไรเซอร์ที่ทดสอบ จะใช้เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบหนีบ (clamp-on ammeter)

- สายทดสอบที่สองถูกเคลื่อนย้ายไปรอบ ๆ เพื่อทดสอบไรเซอร์ที่อุปกรณ์อื่น ๆ และโครงสร้าง จนกระทั่งกริดการต่อลงดินสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งหมดถูกทดสอบ
- บ่อยครั้งที่ ตัวค้นหาสายเคเบิล (cable tracer) ถูกใช้เพื่อการค้นหาสายตัวนำการต่อลงดินที่ไม่รู้ที่ตั้งหรือชำรุด เครื่องตามรอยสายเคเบิลจะตรวจสอบสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นโดยกระแสทดสอบ และสร้างเสียงรบกวนสมมูลซึ่งสามารถได้ยินผ่านหูฟัง การขาดหายของเสียงรบกวนเป็นการชี้บ่งกว่าสายการต่อลงดินชำรุด หรือการเชื่อมต่อถูกเปิดวงจร

- ◆ มันจำเป็นต้องพิจารณาแรงดันตกของสายทดสอบ นี้ถูกกระทำโดยสายสั้น ๆ ผ่านชุดทดสอบ
- ◆ การวัดค่าแรงดันตกคร่อมโดยมีกระแสไหลวนผ่าน 300 A อาจจะทำให้ผลอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ถูกต้อง
- ◆ ทางหนึ่งที่จะประเมินค่าการลดการต่อลงดินคือ จะเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ กับค่าซึ่งกันและกันอื่น ๆ และพิจารณาการทดสอบไรสเซอร์ ซึ่งได้ค่าอิมพีแดนซ์สูงอย่างผิดปกติ
- ◆ อาจประเมินค่าการลดการต่อลงดินโดยเปรียบเทียบแรงดันตกกับค่าอ้างอิงที่รู้แล้ว (ยกตัวอย่างเช่น 1.5 V/ 50 ft ระหว่างไรสเซอร์ทดสอบ)



6.11 การตรวจสอบเป็นช่วง ๆ ของระบบการต่อลงดินที่ถูกติดตั้ง

- ควรมีการตรวจค่าความต้านทานการต่อลงดินสถานีไฟฟ้าย่อยอีกครั้งเป็นระยะ ๆ หลังจากการก่อสร้างที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว
- เนื่องระบบการต่อลงดินในบางครั้ง สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในสภาวะระบบที่อาจจะกระทบต่อค่าสูงสุดของกระแสการต่อลงดิน อีกด้วย รวมทั้งการขยายสถานีไฟฟ้าย่อยเอง มันอาจจะมีผลกระทบต่อกระแสสูงสุด ค่าความต้านทานการต่อลงดินสถานีไฟฟ้าย่อย หรือความแตกต่างเป็นไปได้อย่างในบริเวณนั้น ๆ