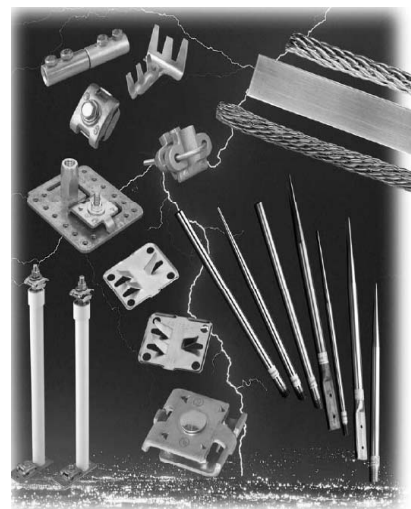


บทที่ 5

การเลือกตัวนำและ การพิจารณาบริเวณเฉพาะ



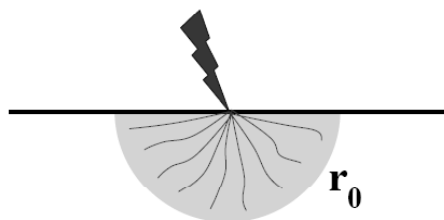
5.1 การเลือกขนาดตัวนำและการต่อ



- ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง
 - วัสดุตัวนำและขนาดตัวนำ
 - ขีดจำกัดอุณหภูมิที่ยอมได้สูงสุด
 - ที่ต้องการสำหรับการออกแบบในสถานการณ์ต่างๆ

5.1.1 ความต้องการเบื้องต้น

- แต่ละองค์ประกอบของระบบการต่อลงดินทั้งหมดควรมีลักษณะดังต่อไปนี้
- (ก) มีค่าความนำเพียงพอ โดยไม่เกิดความแตกต่างของแรงดันกระจายอยู่ในบริเวณนั้น



ข) ด้านการละลาย และการเสื่อมลงทางกล ภายใต้การรวมที่ตรงกันข้ามมากที่สุดของขนาดฟอลต์ และช่วงเวลา



(ค) มีความเชื่อถือได้ทางกล อยู่ในระดับสูง



(ง) สามารถที่จะรักษาหน้าที่ของมัน แม้เมื่อเกิดการกัดกร่อน หรือมีลักษณะที่ผิดไปทางกายภาพ

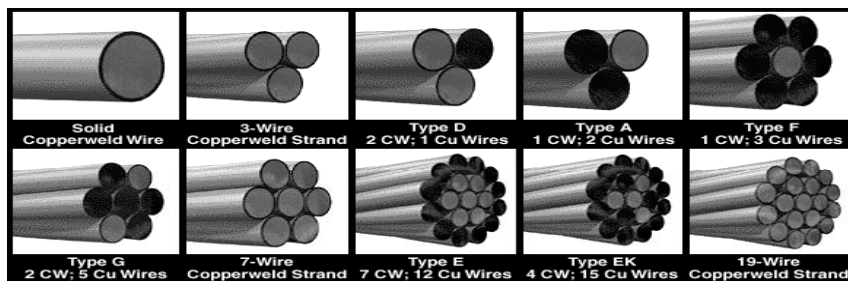


5.2 การเลือกวัสดุสำหรับตัวนำ และสัมพันธ์กับปัญหาเรื่องการกัดกร่อน



Fig.2. Corrosion of the Grounding Grid

5.2.1 ทองแดง (Copper)



- ปกติทองแดงเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก
- ตัวนำทองแดงมีสภาพความนำสูง
- ต้านทานการกัดกร่อนเมื่ออยู่ใต้พื้นดิน
- และเนื่องจากทองแดงเป็นแคโทด (cathodic) เมื่อเทียบกับโลหะอื่นๆ ที่ถูกฝังในดินในบริเวณเดียวกัน

5.2.2 เหล็กกล้าหุ้มทองแดง (Copper-clad steel)

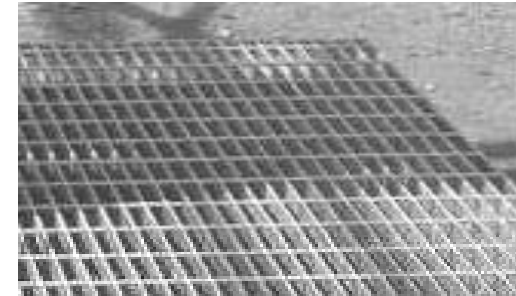
- ถูกนำมาใช้สำหรับแท่งหลักสายดินในดิน สำหรับกริดการต่อลงดิน
 - บริเวณที่มีปัญหาเรื่องการขโมย การใช้ทองแดง
 - เพื่อให้เกิดความมั่นใจในเรื่อง ความสมบูรณ์ของโครงข่ายการต่อลงดินจะถูกรักษาไว้เป็นเวลาหลายๆ ปี โดยสายตัวนำที่มีขนาดเหมาะสม และไม่ชำรุด หรือไม่เกิดการกัดกร่อนเมื่ออยู่ในดิน

5.2.3 อลูมิเนียม

- อลูมิเนียมถูกนำมาใช้กับกริดการต่อลงดินค่อนข้างน้อยมากๆ เนื่องจากอลูมิเนียมมีข้อเสียดังต่อไปนี้
 - อลูมิเนียมเองอาจจะกัดกร่อนในดิน ชั้นของวัตถุอลูมิเนียมที่ถูกกัดกร่อน ไม่มีสภาพความนำ สำหรับจุดประสงค์ในการต่อลงดินที่เหมาะสมแก่การปฏิบัติ
 - การกัดกร่อนที่ค่อยเป็นค่อยไป เป็นสาเหตุมาจากกระแสไฟฟ้าสลับ ที่อาจจะเป็นปัญหาภายใต้สภาวะหนึ่งอีกด้วย เนื่องจากอลูมิเนียมมีลักษณะเป็นแอโนด (anodic) เมื่ออยู่ในดิน

5.2.4 เหล็ก

- เหล็กอาจจะถูกนำมาใช้กับสายตัวนำกราวด์กริด และแท่งหลักสายดิน ดังเช่นการออกแบบที่ต้องการการเอาใจใส่ในเรื่องการกัดกร่อนของเหล็ก การใช้เหล็กต้านการกัดกร่อนหรือชุบหรือเคลือบด้วยสังกะสี (galvanized)



5.2.5 การพิจารณาอื่น ๆ

- วิธีการอื่นๆ ในการป้องกันการกัดกร่อนทองแดงในพื้นที่เล็กๆ โดยธรรมชาติ ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารเคมีในดิน ที่มักพบบ่อยคือ
 - การใช้วัตถุที่ทำให้เป็นฉนวนของผิวหน้าโลหะ ด้วยการหุ้มหรือเคลือบด้วยเทปพลาสติก หรือราดด้วยยางมะตอย (asphalt) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน
 - การจัดเส้นทางของส่วนประกอบโลหะที่ถูกฝัง เพื่อให้สายตัวนำที่เป็นฐานทำด้วยทองแดงใดๆ จะข้ามท่อส่งน้ำ หรือวัตถุซึ่งคล้ายกัน ที่ทำด้วยโลหะ ไม่ได้ห่อหุ้มอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันเท่าที่จะเป็นไปได้ และใช้ฉนวนปกคลุมให้กับโลหะหนึ่ง หรืออื่นๆ ที่ซึ่งมันอยู่ใกล้ชิดกัน โดยปกติกการคลุมด้วยฉนวนจะถูกใช้กับท่อ
 - การป้องกันการผุกร่อนแคโทด (cathodic protection)
 - การใช้ท่อน้ำและท่อร้อยสายที่ไม่เป็นโลหะ

5.3 ตัวประกอบขนาดตัวนำ

- 5.3.1 กระแสสมมาตร
$$I = A_{mm^2} \sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right)}$$

I	คือ กระแส rms	[k-A]
A	คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ	[mm ²]
T _m	คือ อุณหภูมิสูงสุดที่ตามารอขอมได้	[°C]
T _r	คือ อุณหภูมิอ้างอิงสำหรับค่าคงที่ของวัสดุ	[°C]
T _a	คือ อุณหภูมิโดยรอบ	[°C]
α ₀	คือ ค่าประสิทธิ์ทางความร้อนของสภาพนำไฟฟ้าที่ 0 °C	[μ/°C]
α _r	คือ ค่าประสิทธิ์ทางความร้อนของสภาพนำไฟฟ้าที่ T _r	[μ/°C]
ρ _r	คือ สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำการต่อลงดินที่ T _r	[μΩ - cm]
K ₀	คือ 1/α ₀ หรือ (1/α _r) - T _r	[°C]
t _c	คือ ช่วงเวลาของกระแส	[s]
TCAP	คือ พลังงานความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของตัวนำที่ 5.1 [J/(cm ³ °C)]	

ตารางที่ 5.1 ค่าคงที่วัสดุสำหรับระบบกรวดต่างๆ ไป

Description	Material conductivity (%)	α_r factor at 20 °C (1/°C)	K_o at 0 °C (0 °C)	Fusing ^a temperature T_m (°C)	ρ_r 20 °C (μ52·cm)	TCAP thermal capacity [J/cm ³ ·°C]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.42
Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.003 81	242	1084	1.78	3.42
Copper-clad steel wire	40.0	0.003 78	245	1084	4.40	3.85
Copper-clad steel wire	30.0	0.003 78	245	1084	5.86	3.85
Copper-clad steel rod ^b	20.0	0.003 78	245	1084	8.62	3.85
Aluminum, EC grade	61.0	0.004 03	228	657	2.86	2.56
Aluminum, 5005 alloy	53.5	0.003 53	263	652	3.22	2.60
Aluminum, 6201 alloy	52.5	0.003 47	268	654	3.28	2.60
Aluminum-clad steel wire	20.3	0.003 60	258	657	8.48	3.58
Steel, 1020	10.8	0.001 60	605	1510	15.90	3.28
Stainless clad steel rod ^c	9.8	0.001 60	605	1400	17.50	4.44
Zinc coated steel rod	8.6	0.003 20	293	419	20.10	3.93
Stainless steel, 304	2.4	0.001 30	749	1400	72.00	4.03

^aFrom ASTM standards.

^bCopper-clad steel rods based on 0.254 mm (0.010 in) copper thickness.

^cStainless-clad steel rod based on 0.508 mm (0.020 in) No. 304 stainless steel thickness over No. 1020 steel core.

ตัวกำหนด TCAP ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานสองประการคือ

1. ความร้อนทั้งหมดนั้น จะอยู่ที่ตัวนำ
2. ความร้อนจำเพาะ (SH) และน้ำหนักจำเพาะ (SW) และ TCAP นั้น อยู่ที่ค่าคงที่โดยประมาณ เนื่องจาก SH เพิ่มขึ้น และ SW ลดลง ที่ประมาณพิกัดเดียวกัน สำหรับโลหะเกือบทั้งหมด ค่าที่อ้างหลักฐานนี้ สามารถใช้กับย่านอุณหภูมิกว้าง นานพอๆกับช่วงเวลาฟอลต์ ที่เวลาประมาณสองสามวินาที

TCAP ถูกกำหนดโดย

$$TCAP [\text{cal}/(\text{cm}^3 \cdot \text{°C})] = SH [\text{cal}/(\text{gram} \cdot \text{°C})] \cdot SW (\text{gram}/\text{cm}^3)$$

หรือ

$$TCAP [\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{°C})] = 4.184 (\text{J}/\text{cal}) \cdot SH [\text{cal}/(\text{gram} \cdot \text{°C})] \cdot SW (\text{gram}/\text{cm}^3)$$

ขนาดตัวนำที่ต้องการในฟังก์ชันของกระแสตัวนำ

$$A_{mm^2} = I \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_d}\right)}}$$

$$A_{kcmil} = I \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_d}\right)}}$$

ตัวอย่างที่ 5.1 ใช้สมการที่ (5.5) และตารางที่ 5.1 เพื่อหาข้อมูลสำหรับเหล็กหุ้มทองแดง 30% และ 40% และตัวนำทองแดง 100% และ 97% สำหรับตัวอย่างในการคำนวณที่ 1 s ของขนาดตัวนำเหล็กหุ้มทองแดง 30% จะได้

$$t_c = 1.0, \alpha_{20} = 0.00378, \rho_{20} = 5.86, TCAP = 3.85, T_m = 1084, T_a = 40, K_0 = 245$$

ดังนั้น สำหรับ $I = 1\text{kA}$ และใช้สมการที่ (5.5) จะได้

$$A_{kcmil} = \frac{197.4}{\sqrt{267.61}} = 12.06 \text{ kcmil or } 12.06 \text{ kcmil/kA}$$

5.3.1.2 สูตรทั่วไป สำหรับหาพื้นที่ตัวนำในหน่วย [kcmil]

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \sqrt{t_c}$$

A_{kcmil} คือ พื้นที่ตัวนำในหน่วย [kcmil]

I คือ กระแสฟอลต์ rms [kA]

t_c คือ ช่วงเวลาของกระแส [s]

K_f คือ ค่าคงที่จากตารางที่ 5.2 สำหรับวัสดุที่ค่าต่างๆ ของ T_m

ตารางที่ 5.2 ค่าคงที่ของวัสดุสำหรับค่าต่างๆ ของ T_m

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00
Copper, commercial hard-drawn	97.0	1084	7.06
Copper, commercial hard-drawn	97.0	250	11.78
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45
Copper-clad steel wire	30.0	1084	12.06
Copper clad steel rod	20.0	1084	14.64
Aluminum EC Grade	61.0	657	12.12
Aluminum 5005 Alloy	53.5	652	12.41
Aluminum 6201 Alloy	52.5	654	12.47
Aluminum-clad steel wire	20.3	657	17.20
Steel 1020	10.8	1510	15.95
Stainless clad steel rod	9.8	1400	14.72
Zinc-coated steel rod	8.6	419	28.96
Stainless steel 304	2.4	1400	30.05

^aSee 11.3.3 for comments concerning material selection.

ตัวอย่างที่ 5.2 การใช้สมการที่ (5.6) สำหรับกระแสฟอลต์ 20kA เป็นเวลา 3 s

- (ก) สำหรับ soft drawn copper

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \sqrt{t_c}$$

$$A_{kcmil} = 20 \times 7.00 \sqrt{3}$$

$$= 242.5 \text{ kcmil}$$

use 250 kcmil

ตัวอย่างที่ 5.2 การใช้สมการที่ (5.6) สำหรับกระแสฟอลต์
20kA เป็นเวลา 3 s

- (ข) สำหรับตัวนำโลหะชุบทองแดง สภาพความนำ 40%

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \sqrt{t_c}$$

$$A_{kcmil} = 20 \times 10.45 \sqrt{3}$$

$$= 362.0 \text{ kcmil}$$

ตัวอย่างที่ 5.2 การใช้สมการที่ (5.6) สำหรับกระแสฟอลต์
20kA เป็นเวลา 3 s

- (ค) สำหรับตัวนำโลหะ

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Steel 1020	10.8	1510	15.95

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \sqrt{t_c}$$

$$A_{kcmil} = 20 \times 15.95 \sqrt{3}$$

$$= 552.5 \text{ kcmil}$$

กระแสการละลายของขนาดตัวนำ ที่ช่วงเวลาต่างๆ

ยกตัวอย่างเช่น การใช้ตัวนำ 4/0 AWG (211.6 kcmil) soft drawn copper

จากสมการที่ (5.6) จะได้

$$I = \frac{A_{kcmil}}{K_f \sqrt{t_c}}$$

จากตารางที่ 5.2

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00

$$\text{If } t_c = 0.5 \text{ s; } I = 211.6 / (7.00 \sqrt{0.5}) = 42.7 \text{ kA}$$

$$\text{If } t_c = 1.0 \text{ s; } I = 211.6 / (7.00 \sqrt{1.0}) = 30.2 \text{ kA}$$

$$\text{If } t_c = 3.0 \text{ s; } I = 211.6 / (7.00 \sqrt{3.0}) = 17.5 \text{ kA}$$

ขนาดตัวนำที่ถูกเลือกจริง

- ขนาดตัวนำที่ถูกเลือกจริง ปกติจะมีค่าที่โตกว่าการละลาย เนื่องจากมีตัวประกอบเช่น
 - ตัวนำควรจะมีค่าความคงทนทางกลและทนต่อการกัดกร่อน
 - ตัวนำควรมีค่าความนำที่ดีพอ เพื่อป้องกันแรงดันตกคร่อมในช่วงเวลาที่เกิดฟอลต์
 - ตัวประกอบของความปลอดภัย ควรจะถูกใช้สำหรับระบบการต่อลงดิน เหมือนกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

5.3.2 กระแสไม่สมมาตร

5.3.2.1 การใช้ตัวประกอบการลด

- ค่าสมมูลของกระแสสมมาตร I_F แทนค่าประสิทธิผลของกระแสไม่สมมาตรที่รวมช่วงเวลาที่แอฟลิต์ทั้งหมด t_c สามารถพิจารณาในฟังก์ชันของ X/R โดยการใช้ตัวประกอบการลด D_f จะได้

$$I_F = I_f \times D_f$$

$I_F > I_f$ เสมอ เนื่องจากเนื่องจากตัวประกอบการลด ตั้งอยู่บนฐานที่เปลี่ยนแปลงตามสมมติฐานขององค์ประกอบไฟฟ้ากระแส ac ที่ไม่ค่อยๆ ลดลงกับเวลา

5.3.2.2 การใช้ตารางกระแสไม่สมมาตร

- เนื่องจาก dc offset ในกระแสฟลิต์จะเป็นสาเหตุทำให้ตัวนำเข้าสู่อุณหภูมิที่สูงกว่า ทำให้แรงทางกลและพลังงานที่ถูกดูดกลืนเกือบมีค่าเป็นสี่เท่าของกรณีกระแสสมมาตรสมมูล อย่างไรก็ตามผลของ dc offset สามารถละทิ้งไปได้ ถ้าช่วงเวลาของกระแสมากกว่าหรือเท่ากับ 1 s หรืออัตราส่วน X/R ที่ตำแหน่งฟลิต์น้อยกว่า 5
- คุณลักษณะการละลายสำหรับขนาดต่างๆ ของตัวนำทองแดง กับระดับต่างๆ ของ dc offset ถูกแสดงในตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.3 พิกัดขีดความสามารถในการพากระแสสูงสุดของสายเคเบิลการต่อลงดินด้วยทองแดง ค่ากระแสเป็น RMS สำหรับความถี่ 60 Hz ที่ X/R=40 หน่วยกระแสเป็น kA

Cable size, AWG	Nominal cross section, mm ²	6 cycles (100 ms)	15 cycles (250 ms)	30 cycles (500 ms)	45 cycles (750 ms)	60 cycles (1 s)	180 cycles (3 s)
#2	33.63	22	16	12	10	9	5
#1	42.41	28	21	16	13	11	7
1/0	53.48	36	26	20	17	14	8
2/0	67.42	45	33	25	21	18	11
3/0	85.03	57	42	32	27	23	14
4/0	107.20	72	53	40	34	30	17
250 kcmil	126.65	85	62	47	40	35	21
350 kcmil	177.36	119	87	67	56	49	29

ตารางที่ 5.4 พิกัดขีดความสามารถในการพากระแสสูงสุดของสายเคเบิลการต่อลงดินด้วยทองแดง ค่ากระแสเป็น RMS สำหรับความถี่ 60 Hz ที่ X/R=20 หน่วยกระแสเป็น kA

Cable size, AWG	Nominal cross section, mm ²	6 cycles (100 ms)	15 cycles (250 ms)	30 cycles (500 ms)	45 cycles (750 ms)	60 cycles (1 s)	180 cycles (3 s)
#2	33.63	25	18	13	11	9	5
#1	42.41	32	22	16	13	12	7
1/0	53.48	40	28	21	17	15	9
2/0	67.42	51	36	26	22	19	11
3/0	85.03	64	45	33	27	24	14
4/0	107.20	81	57	42	35	30	18
250 kcmil	126.65	95	67	50	41	36	21
350 kcmil	177.36	134	94	70	58	50	29

ตารางที่ 5.5 พิกัดขีดความสามารถในการพากระแสสูงสุดของสายเคเบิลการต่อลงดินด้วยทองแดง ค่ากระแสเป็น RMS สำหรับความถี่ 60 Hz ที่ X/R=10 หน่วยกระแสเป็น kA

Cable size, AWG	Nominal cross section, mm ²	6 cycles (100 ms)	15 cycles (250 ms)	30 cycles (500 ms)	45 cycles (750 ms)	60 cycles (1 s)	180 cycles (3 s)
#2	33.63	27	19	13	11	9	5
#1	42.41	35	23	17	14	12	7
1/0	53.48	44	30	21	17	15	9
2/0	67.42	56	38	27	22	19	11
3/0	85.03	70	48	34	28	24	14
4/0	107.20	89	60	43	36	31	18
250 kemil	126.65	105	71	51	42	36	21
350 kemil	177.36	147	99	72	59	51	30

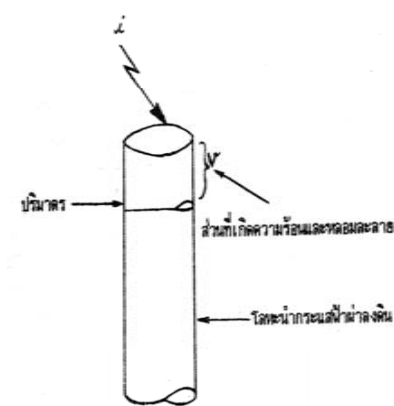
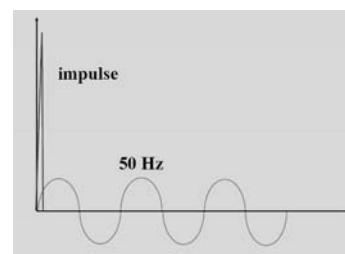
ตารางที่ 5.6 พิกัดขีดความสามารถในการพากระแสสูงสุดของสายเคเบิลการต่อลงดินด้วยทองแดง ค่ากระแสเป็น RMS สำหรับความถี่ 60 Hz ที่ X/R=0 หน่วยกระแสเป็น kA

Cable size, AWG	Nominal cross section, mm ²	6 cycles (100 ms)	15 cycles (250 ms)	30 cycles (500 ms)	45 cycles (750 ms)	60 cycles (1 s)	180 cycles (3 s)
#2	33.63	31	19	14	11	9	5
#1	42.41	39	24	17	14	12	7
1/0	53.48	49	31	22	18	15	9
2/0	67.42	62	39	28	22	19	11
3/0	85.03	79	50	35	28	25	14
4/0	107.20	99	63	44	36	31	18
250 kemil	126.65	117	74	52	43	37	21
350 kemil	177.36	165	104	73	60	52	30

5.3.3 ตัวประกอบการเพิ่มขนาดตัวนำ

- (ก) โดยทั่วไปสายตัวนำ และการเชื่อมต่อใกล้อุปกรณ์เครื่องมือที่ติดไฟได้ง่าย ควรจะเข้มงวดเรื่องขีดจำกัดอุณหภูมิอย่างมาก
 - (ข) ถ้าต้องการความแข็งแรงทางกลของ hard drawn copper อุณหภูมิไม่ควรเกิน 250°C เพื่อที่จะป้องกันการหลอมให้อ่อนตัวของสายตัวนำ การเปิดโล่งที่เป็นไปได้กับการกักความร้อนจากสิ่งแวดล้อม อาจจะต้องเลือกขนาดสายตัวที่ใหญ่กว่า เพื่อที่จะชดเชยสำหรับการค่อยๆ ลดลงในพื้นที่หน้าตัดสายตัวนำในระยะยาว
- สายตัวนำลงดินจากจากอุปกรณ์ถึงกริดอาจจะถูกนำมาพิจารณาที่กระแสฟอลต์ทั้งหมดที่เข้าไปในกริด ดังนั้น สายตัวนำลงดินอาจจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าสายตัวนำกริด ส่วนสายตัวนำในกริดคือเรื่องของเศษส่วนบางส่วนของกระแสฟอลต์ทั้งหมด

สายตัวนำกรวดสำหรับชักร่างกระแสฟ้าผ่า



ตารางแสดงปริมาณของโลหะที่หลอมละลายได้ต่อกระแส 1 ลูกอมป์

ชนิดของโลหะ	ปริมาณ(mm ³)
เหล็ก	4.4
ทองแดง	12
อะลูมิเนียม	5.4

ความเชื่อถือทางกล

- (ก) การที่รีเลย์ทำงานไม่ปกติ ส่งผลในเรื่องช่วงเวลาที่เกิดฟอลต์ที่มีปริมาณเกินกว่าเวลาการตัดกระแสหลัก
 - สถานีไฟฟ้าขนาดเล็กรวมถึงนี้อาจจะเข้าใกล้ 3 s หรือยาวนานกว่านั้น
 - สถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีแผนการป้องกันมากมาย ฟอลต์โดยทั่วไปจะถูกตัดภายใน 1 s หรือน้อยกว่า
- (ข) ค่าที่สูงที่สุดของกระแส ในการพิจารณาขนาดสายตัวนำ ควรดูความเป็นไปได้ของการเจริญเติบโตในอนาคต และราคาที่เหมาะสม มากกว่า การที่จะพยายามเสริมสายกราวด์จำนวนมากในภายหลัง

5.4 การพิจารณาเฉพาะสำหรับ GIS

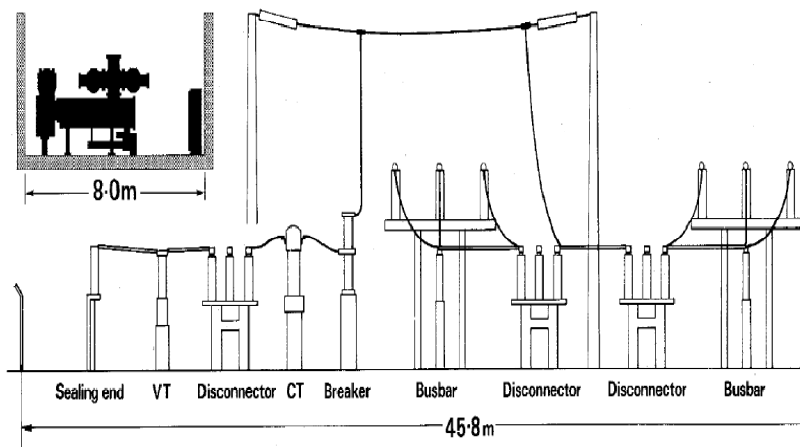


Substation Building and Transmission Lines Serving Substation



Fig. 2. 275 kV GIS Switchgear Room

เปรียบเทียบระหว่างสถานีไฟฟ้าแรงสูง แบบ GIS และ AIS



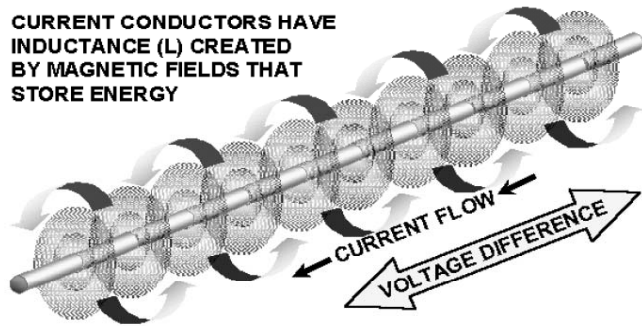
5.4.1.1 การหุ้มปิดอย่างต่อเนื่อง (continuous enclosure)



- การหุ้มปิดบัส ซึ่งส่วนเป็นหนึ่งของตัวโครงหุ้มตามสายตัวนำเฟสที่เหมือนกัน ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อจัดเตรียมเส้นทางกระแสอย่างไฟฟ้าต่อเนื่องผ่านความยาวที่หุ้มปิดทั้งหมด การเชื่อมประสานต่อไขว้กัน การเชื่อมต่อเพื่อหุ้มปิดเฟสอื่นๆ

5.4.1.2 กระแสที่หุ้มปิด (enclosure currents)

CURRENT CONDUCTORS HAVE INDUCTANCE (L) CREATED BY MAGNETIC FIELDS THAT STORE ENERGY



- กระแสซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในส่วนหุ้มปิดที่เป็นโลหะโดยกระแส (ต่างๆ) ที่ไหลในสายตัวนำ (ต่างๆ) ที่หุ้มปิด

5.4.1.3 สถานีไฟฟ้าย่อยที่ปกคลุมด้วยฉนวนแก๊ส (gas-insulated substation)

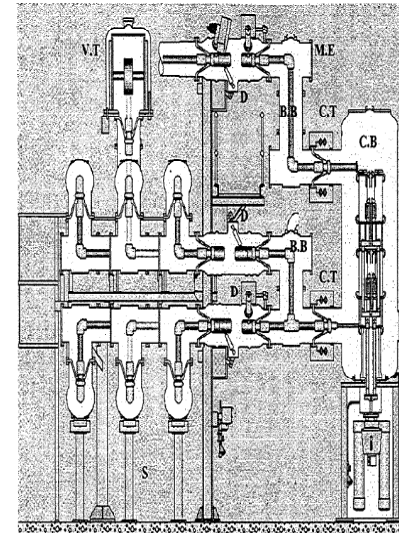
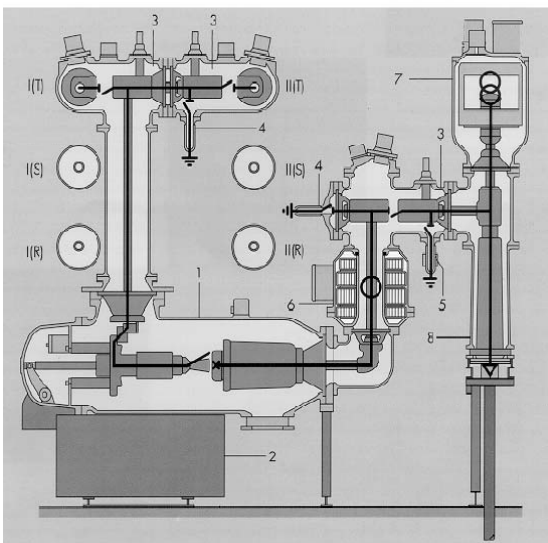


Figure 1. GIS double bus-bar section view

CB: Circuit Breaker
D: Disconnectors
ME: Metal Enclosure
BB: Bus Bars
CT: Current Transformers
VT: Voltage Transformers
S: Steel structures

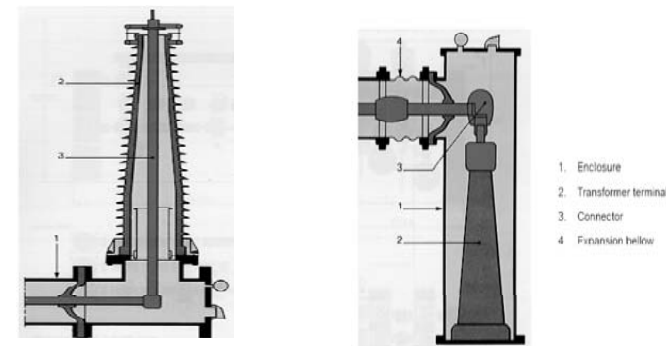
- ขนาดกระทัดรัด มีการรวมหลายๆ องค์ประกอบเข้าด้วยกัน ถูกหุ้มปิดในโครงโลหะที่ถูกต่อลงกราวด์ ภายในเป็นตัวกลางการฉนวนหลักที่เป็นแก๊สอัดความดัน และปกปิดจะประกอบด้วยสวิตช์เกียร์ และ และอุปกรณ์ย่อยต่างๆ (subassemblies)

5.4.1.4 บัสกราวด์หลัก (main ground bus)



- สายตัวนำ หรือระบบของสายตัวนำสำหรับการเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยโลหะที่ถูกออกแบบไว้ทั้งหมดของ GIS กับระบบการต่อลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อย

5.4.1.5 ส่วนหุ้มปิดที่ไม่ต่อเนื่อง (noncontinuous enclosure)



- บัสที่มีการหุ้มปิด กับส่วนที่ต่อเนื่องกันของโครงหุ้มสายตัวนำเฟสเดียวกัน ที่มีการแยกออกทางไฟฟ้า (หรือถูกด้วยฉนวนจากซึ่งกันและกัน) เพื่อให้ไม่มีกระแสสามารถไหลไปยังแต่ละส่วนที่หุ้มปิด

5.4.1.6 แรงแดันหุ้มปิดชั่วคราว

(transient enclosure voltage, TEV)

- เป็นปรากฏการณ์ชั่วคราวที่เร็วมากๆ ซึ่งถูกพบที่ส่วนหุ้มปิดที่ถูกต่อลงดินของระบบ GIS โดยทั่วไป สายกราวด์มีความยาวมากๆ (เกี่ยวกับความเหนี่ยวนำ) ที่ความถี่ที่สนใจ
- เพื่อให้ป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพต่อการปรากฏของ TEV
 - ปรากฏการณ์ที่ถูกจกกันในนามของการเพิ่มขึ้นของกราวด์ชั่วคราว (transient ground rise, TGR)
 - หรือการเพิ่มขึ้นของศักย์กราวด์ชั่วคราว (transient ground potential rise ,TGPR)

5.4.1.7 ปรากฏการณ์ชั่วคราวที่เร็วมากๆ

(Very fast transient phenomena, VFT)

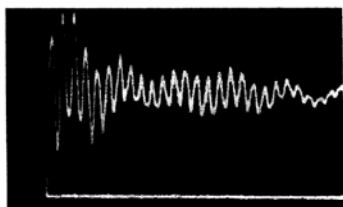


Figure 3. A typical VFTO waveform. Time Scale: 2.5 ns/div. t_r = Breakdown time. t_p = time to maximum peak. O: is at 10% of the peak value (B) obtained with zero (0 V) as the base. A: is the first peak from O on the rising portion of the VFTO waveform. B: maximum peak of the VFTO

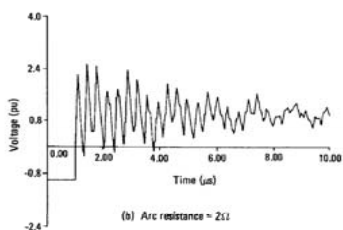
- มีคุณลักษณะช่วงเวลาสั้น และความถี่สูงๆ VFT ถูกสร้างโดยแรงดันในช่วงเวลาที่เกิดการเสียดสีดับปลิ้นของการฉนวนด้วยแก๊ส ไม่ว่าจะเป็นส่วนที่สัมผัสข้ามกันของอุปกรณ์การสวิตช์ หรือในช่วงเวลาฟอลต์แบบสายไปยังกราวด์ ซึ่งมีเวลาเป็นนาโนวินาที (nanoseconds) มีความถี่ราว 100 MHz

5.4.1.8 แรงแดันเกินชั่วคราวความเร็วสูงๆ

(very fast transients overvoltage, VFTO)



Typical measured VFTO waveform; (180 kV/div, 1 μs/div)



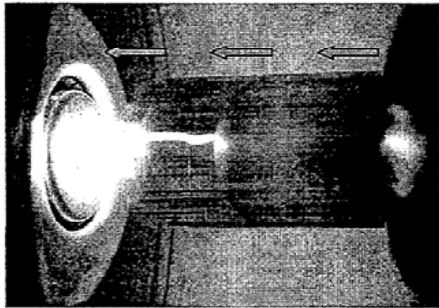
Simulated VFTO waveforms of the substation

- แรงแดันเกินในระบบนั้น เป็นผลมาจากการเกิด VFT ขณะที่ VFT เป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของ VFTO บางความถี่ต่ำกว่า ($\approx 1\text{MHz}$) ส่วนประกอบอาจจะแสดงอยู่ในรูปผลของการปล่อยประจุของค่าความจุที่เป็นกลุ่มก้อน (หม้อแปลงแรงดัน)

5.5 คุณลักษณะสมบัติ GIS

- GIS ถูกกำหนดให้มีขนาดเดียวกันกับกระแสกราวด์ฟอลต์ของสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ไป เนื่องจาก พื้นที่ดินมีพื้นที่เล็ก 10–25% ของสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ไป มันอาจจะยากที่จะกราวด์อย่างเหมาะสม
- โดยวิธีต่างๆ ไป ควรจะกำหนดให้มีการเชื่อมประสานของส่วนที่หุ้มปิดด้วยโลหะของสวนประกอบ GIS เพราะการหุ้มปิดเหล่านี้จะเหนี่ยวนำกระแสขึ้นได้ ได้มีการแนะนำการกราวด์โดยผู้ผลิต GIS ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

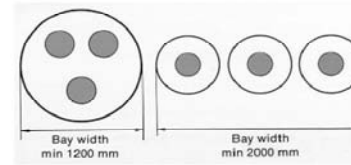
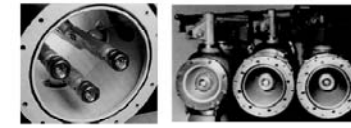
การเสียดสภาพฉนวนทางไฟฟ้าในการฉนวนด้วยแก๊ส



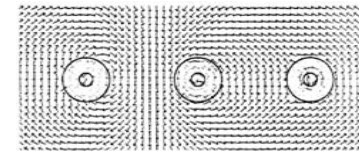
Pre-strikes during a disconnector closing operation

- เนื่องจากธรรมชาติของ GIS มีขนาดกะทัดรัดและมีระยะห่างของม้วนมีน้อย การเสียดสภาพฉนวนทางไฟฟ้าในการฉนวนด้วยแก๊ส ไม่ว่าจะเป็นส่วนที่ติดต่อกันผ่านของอุปกรณ์การสวิตช์ในช่วงเวลาการทำงาน หรือในช่วงฟอลต์ ที่สร้างสภาวะชั่วคราวความถี่สูงๆ ที่สามารถเชื่อมต่อไปยังระบบการต่อลงดินได้ สภาวะชั่วคราวเหล่านี้ อาจจะถูกรับพิจารณาในการออกแบบกราวด์ทั้งหมด สภาวะชั่วคราวเหล่านี้ อาจจะเป็นสาเหตุทำให้การเพิ่มขึ้นทางกราวด์มีขนาดสูงในช่วงเวลาสั้นๆ

5.6 การหุ้มปิดและกระแสที่หมุนเวียน



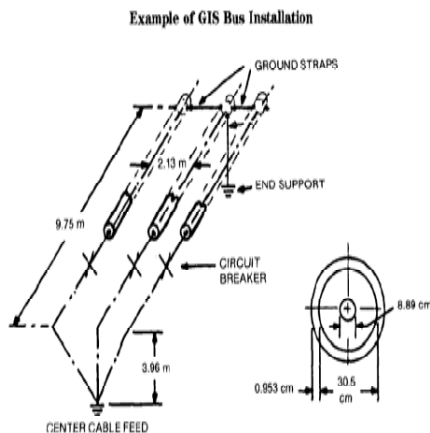
รูปที่ 7 (a) ตัวถังแบบ 3 เฟส (b) ตัวถังแบบเฟสเดียว (c) เส้นรอบวง Diameter



Magnetic flux density distribution around the three phase enclosures in a GIS bus-duct

- การกำบัง (shielding) ที่ได้ผลของการหุ้มปิดบัส ถูกตัดคลื่นไอโดยอิมพีแดนซ์ของมัน ซึ่งควบคุมการหมุนเวียนของกระแสเหนี่ยวนำ
- ด้วยการแยกส่วนที่หุ้มปิดออกสำหรับแต่ละเฟส ขนาดและทิศทางของกระแสที่ถูกหุ้มปิด ถูกอิทธิพลของขนาดที่หุ้มปิด และระยะห่างระหว่างเฟสกับบัส รวมทั้งโดยวิธีของการเชื่อมต่อกันระหว่างส่วนที่หุ้มปิด
- ในการออกแบบการหุ้มปิดที่ต่อเนื่อง แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำในส่วนหุ้มปิดโดยกระแสในสายตัวนำ นั้นมันมีอยู่รอบทิศทาง จะผลิตกระแสตามยาวที่ใหญ่ในส่วนที่หุ้มปิด เมื่อความต่อเนื่องกันของส่วนที่มีการหุ้มปิดเฟสถูกรักษาไว้ ผ่านการเชื่อมต่อสั้นที่ปลายทั้งสอง กระแสที่หุ้มปิดมีค่าน้อยกว่าที่ไหลภายในบัสในทิศทางตรงกันข้าม

5.7 การต่อลงดินของส่วนที่หุ้มปิด



- ตามปกติ ส่วนที่หุ้มปิดชนิดต่อเนื่อง ได้มีการจัดเตรียมเส้นทางเดินกลับสำหรับกระแสเหนี่ยวนำ ดังนั้น สายตัวนำ และรูปแบบการหุ้มปิดแบบศูนย์กลางร่วมคู่ กับกำบังภายนอกได้ผลของสนามภายในที่มีการหุ้มปิด

การเชื่อมประสาน และการต่อลงดินของส่วนที่หุ้มปิด GIS

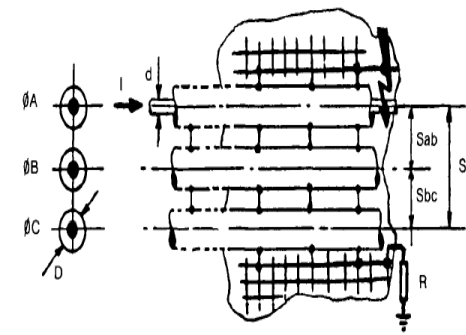


Fig D9

Flat Arrangement of GIS Enclosures With Multiple Grounding and Bonding

- ปกติการเชื่อมประสาน และการต่อลงดินของส่วนที่หุ้มปิด GIS มีการแก้ปัญหาที่ดีในเรื่องความเสี่ยงอันตรายของแรงดันสัมผัส และแรงดันช่วงก๊าวภายในพื้นที่ GIS รวมถึงการวัดรูปแบบการนำไฟฟ้า(แผ่นกราวด์) นั่นคือการเชื่อมต่อกับโครงสร้าง GIS และกราวด์

เพื่อจำกัดผลกระทบผลจากกระแสหมุนเวียน

- ควรต้องมีการปฏิบัติดังต่อไปนี้
 - ก) ส่วนหุ้มปิดที่เป็นโลหะทั้งหมด ควรจะทำงานที่ระดับแรงดันกราวด์
 - ข) เมื่อถูกกราวด์ที่จุดที่ถูกออกแบบ การออกแบบส่วนที่หุ้มปิดบัสควรจะแน่ใจว่า ไม่มีความแตกต่างทางแรงดันมืออยู่ระหว่างส่วนหุ้มปิดของตัวมัน
 - ค) เพื่อหลีกเลี่ยงการหมุนเวียนของกระแสที่ตัวหุ้มปิด นอกเหนือจากทางเดินคืนกลับปกติภายใน GIS การออกแบบที่ปลายสายเคเบิลควรมีช่องว่างอากาศที่แยกโดด หรือใช้องค์ประกอบการฉนวนที่เหมาะสมสถานะชั่วคราวความเร็วสูงๆ สร้างโดยการสวิตช์ หรือโดยฟลลตใน GIS อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการวาบไฟไปตามผิว
 - ง) กระแสที่ไหลคืนกลับส่วนที่หุ้มปิด ไม่ยินยอมให้การไหลเวียนผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสที่ถูกยึดตั้งอยู่กับฐานได้

5.8 การร่วมมือกันระหว่างผู้ผลิต GIS และผู้ใช้

- โดยปกติ ผู้ผลิต GIS จะเป็นผู้กำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า
- กราวด์บัสหลักของ GIS อยู่ที่ไหน
- ระบุว่าอะไรคือความต้องการของผู้ใช้สำหรับการเชื่อมต่อประกอบ GIS กับกราวด์สถานีไฟฟ้าย่อย
- ควรมีเอกสารอ้างอิงที่เพียงพอ ซึ่งจำเป็นที่จะทำให้มั่นใจว่าไม่มีการเชื่อมต่อที่ถูกกำหนดจากกราวด์บัสหลักไปยังกริดการต่อลงดินที่จะเป็นอุปสรรคต่อความต้องการทางเส้นทางกระแสส่วนที่หุ้มปิด
- การกระทำพิเศษอื่นใด

ผู้ผลิต GIS ควรจัดเตรียม หรือรับผิดชอบ ดังต่อไปนี้

- (ก) การจัดเตรียมการเชื่อมประสานส่วนประกอบย่อยกับส่วนประกอบย่อยเพื่อที่จะทำให้มั่นใจมีการกระจายแรงดันได้อย่างปลอดภัยระหว่างส่วนต่างๆ ภายในที่ถูกต่อลงดินของ GIS
- (ข) การจัดทำตัวเชื่อมต่อที่สามารถเข้าถึงอย่างอย่างรวดเร็ว ที่มีความแข็งแรงทางกลเพียงพอที่จะทนต่อแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า และในสถานะที่ผิดปกติ
- (ค) การจัดเตรียมแผ่นบุรองกราวด์ หรือตัวเชื่อมต่อ หรือทั้งสองอย่าง
- (ง) การแนะนำขั้นตอนที่เหมาะสม สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโลหะที่ไม่เหมือนกัน ยกตัวอย่างเช่น ระหว่างสายเคเบิลทองแดง หรือสายตัวนำกราวด์ซึ่งคล้ายกัน และส่วนหุ้มปิดที่เป็นอลูมิเนียม

5.9 ลักษณะพิเศษอื่น ๆ ของการต่อลงดินสำหรับ GIS

- ควรจะระมัดระวังกระแสมากเกินปกติ จากการถูกเหนี่ยวนำไปยังโครงที่อยู่ใกล้ๆ โครงสร้าง หรือเหล็กเสริมแรง และการสร้างเพื่อการหลีกเลี่ยงของกระแสวนซ้ำผ่านทางอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าย่อยอื่นๆ ที่ไม่เป็นที่พึงปรารถนาผ่านทาง การเชื่อมต่อกราวด์
- องค์ประกอบที่มีการแยกโดดทั้งหมด ควรจะสามารถที่จะทนต่อความต่างศักย์เต็ม ยกตัวอย่างเช่น
 - การแยกโดดของสายเคเบิลที่อนันต์ความดันสูงจากระบบการต่อลงดิน GIS อาจจะจัดเตรียมการแยกโดดที่เหมาะสมจากกราวด์ภายนอก (โดยการออกแบบที่ดี รวมถึงการใช้ฉนวนเป็นแผ่นฐานที่ทำด้วยกระเบื้องเคลือบหรือเส้นใยแก้วทนแรงดันไฟฟ้าสูง)

5.10 ข้อสังเกตในการต่อลงดินของฐานราก GIS

- เนื่องจากเส้นทางดินของกระแสกราวด์ที่มีผลกระทบอย่างมาก โดยตำแหน่งของ วัตถุการนำไฟฟ้านั้นคือกราวด์ ควรจะเอาใจใส่อย่างมากในส่วนของระบบการต่อลงดิน GIS โดยส่วนใหญ่ของพื้นที่สถานีไฟฟ้าย่อยที่ถูกครอบครองด้วยฐานราก คอนกรีต ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่ปกติในเส้นทางการปล่อยประจุ กระแส ควรจะสร้างกราวด์ที่ดีกว่า และแถบบาร์ที่เสริมแรง
- ฐานราก GIS สิ่งซึ่งรวมถึงบาร์เสริมแรง และโลหะอื่นๆ สามารถกระทำเป็น อิเล็กโทรดการต่อลงดินช่วย และอาจจะถูกใช้ในการถูกจัดเตรียมไว้ภายใต้เงื่อนไข ที่ไม่มีการปล่อยประจุของกระแส ที่จะส่งผลในเรื่องความเสี่ยงของคอนกรีต เนื่องจากความร้อนเกินเฉพาะบริเวณ หรือการกัดกร่อนที่ค่อยๆ เกิดขึ้น ของข้อ ผูกมัดเหล็ก-คอนกรีต

5.11 บรรทัดฐานแรงดันสัมผัส สำหรับ GIS

- โดยปกติ ถึงแม้ว่าผู้ผลิต GIS ที่ออกแบบอุปกรณ์ที่ สอดคล้องกับความต้องการสำหรับการทำงานอย่าง ปลอดภัย และเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากที่สุด
- แต่ก็ยังมีลักษณะวิกฤตบางประการของการเชื่อมต่อระหว่าง กันของ GIS กับระบบการต่อลงดิน ที่จะถูกกล่าวถึงอย่าง ย่อๆ คือ

- (ก) ถ้าการแบ่งกระแส และการไหลผ่านทางเส้นทางที่ประกอบด้วยโลหะที่ เหมาะสมทั้งหมด อัตราส่วนอะไรที่ถูกคาดหวังเอาไว้ระหว่างกระแสที่ หมุนเวียนภายใน GIS และที่หมุนเวียนผ่านทาง การเชื่อมต่อลงดิน
- (ข) กระแสที่หมุนเวียนผ่านทาง การเชื่อมต่อกราวด์วนรอบมากเกินไปมาก เท่าไหร่?
- (ค) GIS ควรจะถูกออกแบบอย่างปลอดภัย ถ้าไม่มีกระแสที่หมุนเวียนที่ควร จะเป็น (อย่างน้อยที่สุดสำหรับฟอลต์ภายนอก) การหมุนเวียนผ่านทาง การเชื่อมต่อกราวด์?
- (ง) และในตอนท้าย การต่อลงดินต้องการความสมดุลที่ดีที่สุดระหว่าง การทำงาน และความปลอดภัยที่สัมพันธ์กับ ความต้องการมากเท่าไร?

บรรทัดฐานแรงดันสัมผัสสำหรับ GIS คือ

$$\sqrt{E_t^2 + (E'_{to\ max})^2} < E_{touch}$$

เมื่อ

E_t คือ แรงดันสัมผัสสูงสุด ที่ถูกพิจารณาสำหรับจุดที่อยู่ส่วนล่างท่าของมนุษย์

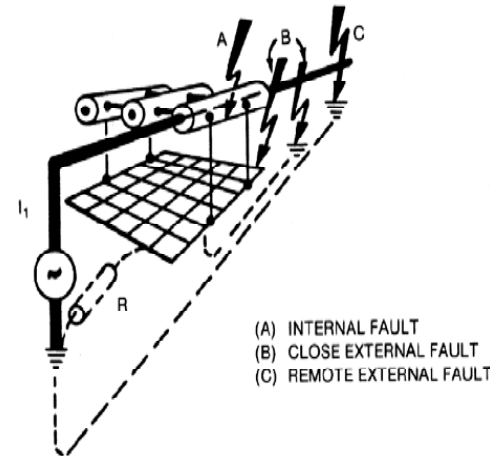
$E'_{to\ max}$ คือ ค่าความแตกต่างทางแรงดันที่โลหะกับโลหะสูงสุด (การเหนี่ยวนำมีเหนือกว่า)

และระหว่างส่วนที่หุ้มปิด GIS หรือระหว่างส่วนที่หุ้มปิดเหล่านี้ และโครงสร้างที่กำรองรับ รวมถึง สมาชิกแวนอน หรือแนวตั้งใดๆ สำหรับส่วนประกอบ GIS ที่ถูกออกแบบ

คำแนะนำสำหรับการติดตั้ง GIS

- (ก) เมื่อมีการใช้บรรทัดฐานแรงดันสัมผัสควรจะพิจารณา แรงดันเหนี่ยวนำที่ปกคลุม สำหรับมือกับมือที่สัมผัสโลหะกับโลหะ แต่การคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้ำวที่ผิวดิน จะเหมือนกันกับการติดตั้งทั่วไป
- (ข) ในประเมินค่าขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ ที่มีสาเหตุมาจากฟลด์ที่ภายนอก GIS จะพิจารณาเฉพาะ กรณี (B) ในรูปที่ 5.1 เท่านั้น เนื่องจากฟลด์ภายนอกระยะไกลจะมีปัญหาต่อกริดน้อย

ตัวอย่างฟลด์ใน GIS



- จากรูปจะเห็นความมากมายของ
- เส้นทางเดินคืนกลับ
- การเชื่อมข้ามกันที่เกิดขึ้น
- กระแสเหนี่ยวนำตามยาว
- ฟลด์ภายนอกระยะไกลบางส่วน
- การจัดวางทางกายภาพที่เป็นไปได้ของการประกอบ GIS
- การเว้นระยะห่าง และตำแหน่งของการเชื่อมประสาน

พื้นที่พิเศษที่เกี่ยวข้อง

- ก่อนที่การออกแบบกริดขั้นสุดท้ายจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ยังเหลือการสำรวจพื้นที่พิเศษที่เป็นไปได้ ที่เกี่ยวข้องกับการต่อลงดินสถานีไฟฟ้าย่อยคือ
 - การสำรวจเทคนิคการต่อลงดินสำหรับรั้วสถานีไฟฟ้าย่อย
 - กำนการดำเนินงานของสวิตช์ ราง ระบบพอน้ำ และเปลือกหุ้มสายเคเบิล
 - ผลกระทบของศักย์ที่ถูกโอนถ่าย

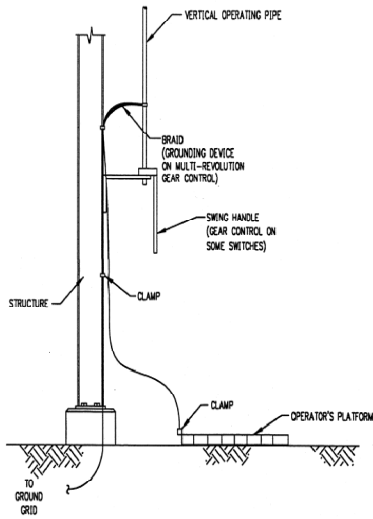
พื้นที่การบริการ

- พื้นที่บริการคือ พื้นที่ภายในรั้วสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งโดยทั่วไป กริดการต่อลงดินจะสร้างอยู่ในพื้นที่ใช้สอย ตามรั้วสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น จึงมีการตรวจสอบศักย์สัมผัสและศักย์ช่วงก้ำวอยู่แล้ว



Photo 1. A very large high voltage substation.

5.15 ก้านสวิตช์ และการต่อลงดินให้กับการทำงานด้วยมือ

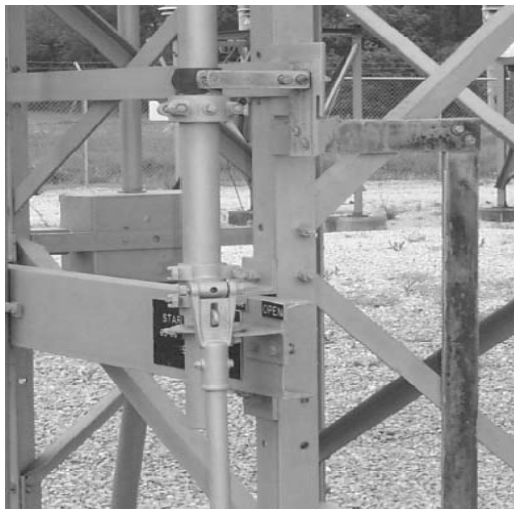


- วิธีการเพิ่มเติมถูกนำมาใช้เพื่อจัดเตรียมตัวประกอบความปลอดภัยที่มากกว่าสำหรับการปฏิบัติงานก่อนข้างบ่อยครั้ง เป็นต้นว่า
- ก้านการทำงานสวิตช์ที่สามารถถูกเชื่อมต่อกับแผ่นกราวด์ ซึ่งยื่นทำงานตอนที่มีการปฏิบัติงานกับสวิตช์ แผ่นกราวด์จะถูกเชื่อมต่อโดยตรงที่กราวด์กริด และที่ก้านสวิตช์ เป็นต้น

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการต่อลงดินด้วยสายถัก



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการต่อลงดินที่ไม่ใช่สายถัก



5.16 กราวด์ของรั้วสถานีไฟฟ้าย่อย

- เนื่องจากตามปกติรั้วสามารถเข้าถึงได้โดยทั่วไปตามสาธารณะ จึงควรมีสถักสัมพัทธ์ที่รั้วอยู่ในขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ส่วนสติกส์ช่วงก้ำวที่ไม่มี ความเกี่ยวข้องกับบริเวณโดยรอบรั้ว
- การต่อลงดินที่รั้วโลหะนี้ อาจจะถูกทำได้โดยการเชื่อมประสานรั้วกับกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าย่อย
- แยกสายตัวนำใต้ดินให้ต่ำกว่าหรือไกลกับแนวรั้ว

The National Electrical Safety Code (NESC)

- NESC ได้อธิบายการต่อลงดินที่รั้วต่างๆ ในทางปฏิบัติดังนี้
- รั้วที่อยู่ภายในและภายนอกพื้นที่กราวด์กริด ต้องได้รับการเชื่อมต่อที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าย่อย
- รั้วที่อยู่ภายนอกพื้นที่กราวด์กริด แต่ไม่เชื่อมต่อที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าย่อย รั้วนั้น ต้องถูกต่อเชื่อมประสานกับสายตัวนำกราวด์ที่แยกออกมา
- รั้วที่อยู่ภายนอกพื้นที่กราวด์กริด แต่ไม่เชื่อมต่อกับกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าย่อย รั้วนั้น และไม่ได้รับการเชื่อมต่อกับสายตัวนำที่กราวด์ที่แยกออกมา การสัมผัสกันของเสารั้วผ่านเสารั้วคอนกรีตไปสู่ดินที่การต่อลงดินอย่างมีประสิทธิภาพ

ถ้ารั้วไม่ได้ถูกเชื่อมต่อในทางใดๆ กับกราวด์กริดหลัก

- ต้องมีการพิจารณาตัวประกอบสามตัวคือ
- การตกลงของสายที่ถูกจ่ายบนรั้ว ต้องถูกนำมาพิจารณาด้วยว่าอันตรายหรือไม่?
- อาจจะมีศักย์ที่เสี่ยงต่ออันตรายที่รั้วในช่วงที่มีพอลต์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากแนวรั้วข้ามเส้นทางเดินเส้นศักย์เท่าปกติได้หรือไม่?
- ในทางปฏิบัติ สามารถที่จะแยกโคดส่วนที่ประกอบด้วยโลหะของรั้วได้อย่างสมบูรณ์ และกราวด์กริดสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถทำให้มั่นใจได้ตลอดเวลาหรือไม่?

ตัวอย่างการต่อลงดิน เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของศักย์สัมผัสที่รั้ว 5 กรณี

The fenced area for each case is a square having sides of 43.9 m (144 ft).

The test calculations are based on the following parameters:

$$\rho = 60 \Omega \cdot \text{m}$$

$$I_G = 5000 \text{ A}$$

$$h_s = 0.076 \text{ m}$$

$$r_s = 3000 \Omega \cdot \text{m, extending } 0.91 \text{ m (3 ft) beyond the fence}$$

$$R_g = 0.66 \Omega \text{ for cases 1-4}$$

$$R_g = 0.98 \Omega \text{ for case 5}$$

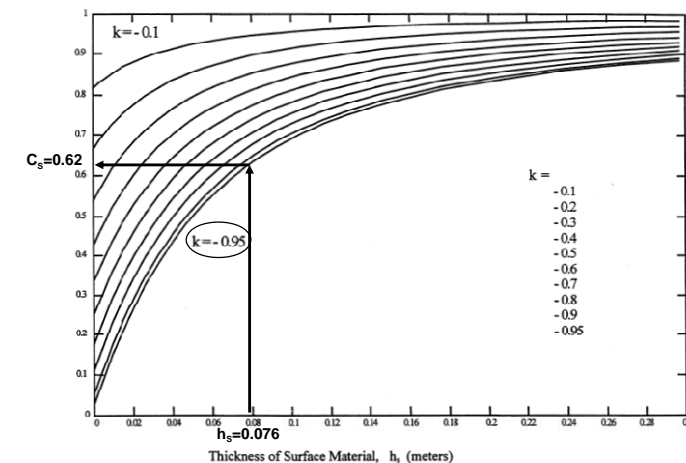
$$t_s = 0.5 \text{ s}$$

$$D_f = 1.0$$

ตัวประกอบ K ขึ้นอยู่กับสภาพต้านทานของวัสดุผิวและสภาพต้านทานดิน

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad K = \frac{60 - 3000}{60 + 3000} = 0.961$$

ตัวประกอบ C_s หาได้จากกราฟ ในรูปที่ 1.9



แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส ถูกคำนวณโดยการใช้สมการที่ (1.26) และสมการที่ (1.29) สำหรับกรณีทดสอบ 1-5:

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s)0.116/\sqrt{t_s} = 1995 \text{ V}$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s)0.116/\sqrt{t_s} = 622 \text{ V}$$

แรงดันช่วงก้าวจริง E_s และแรงดันตาข่ายจริง E_m ถูกคำนวณในฟังก์ชันของ GPR ปัจจุบัน โดยการใช้สมการดังต่อไปนี้

$$E_s = R_g \cdot I_g \frac{E_s(\%)}{100} D_f$$

$E_s(\%)$ คือ ศักย์ช่วงก้าวในทอมของเปอร์เซ็นต์ของ PGR

$$E_m = R_g \cdot I_g \frac{E_m(\%)}{100} D_f$$

$E_m(\%)$ คือ ศักย์ที่ตาข่ายในทอมของเปอร์เซ็นต์ของ PGR

สมการแรงดันตาข่ายและแรงดันช่วงก้าวจริง กับค่าแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวที่ยังพอทนได้ ($E_{step} = E_s$ และ $E_{touch} = E_m$) และแก้สมการหา $E_s(\%)$ และ $E_m(\%)$ กลายเป็น

$$E_s(\%) = \frac{E_{step}(100)}{R_g \cdot I_g \cdot D_f} \quad E_m(\%) = \frac{E_{touch}(100)}{R_g \cdot I_g \cdot D_f}$$

แทนพารามิเตอร์ที่ถูกสมมติสำหรับกรณีทดสอบเหล่านี้ จะได้ผลดังต่อไปนี้คือ

For cases 1-4

For case 5

$$E_s(\%) = 60.5$$

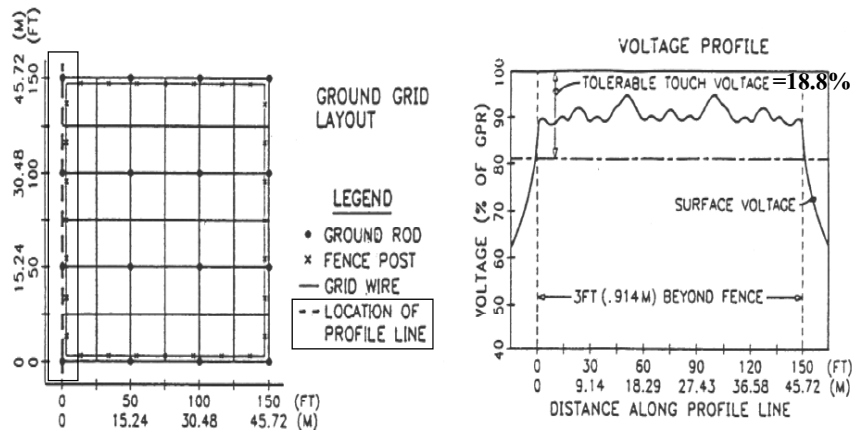
$$E_s(\%) = 40.7$$

$$E_m(\%) = 18.8$$

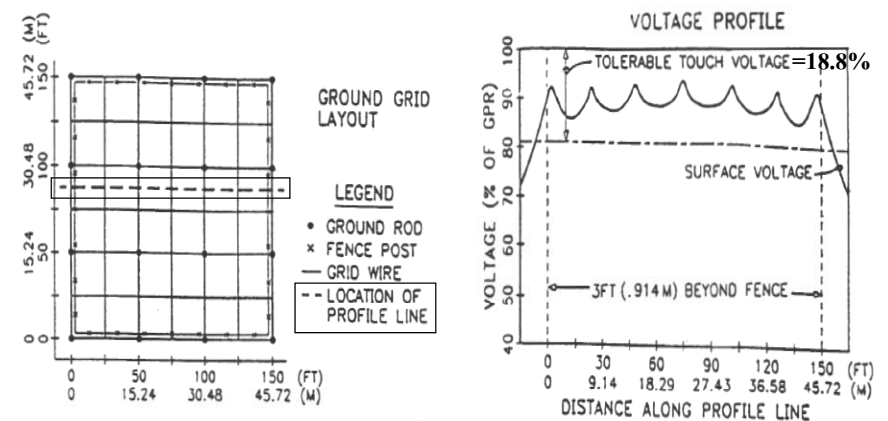
$$E_m(\%) = 12.7$$

สำหรับกรณีที่ 1-4 แรงดันช่วงก้าวจริงและแรงดันตาข่ายของ GPR ต้องน้อยกว่า 60.5% และ 18.8% ตามลำดับ และกรณีที่ 5 ต้องน้อยกว่า 40.7% และ 12.7% ตามลำดับ

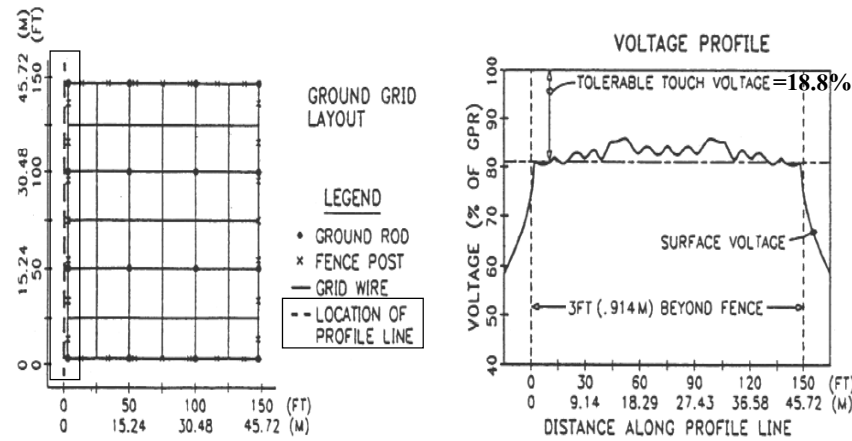
กรณี 1: (กราฟ 1) ข้อสรุปของรั้วภายในพื้นที่กริดที่มีการต่อลงดิน สายกราวด์ตัวนอกคือ 0.91 m (3 ft) ภายนอกเส้นรอบรั้ว รั้วได้รับการเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



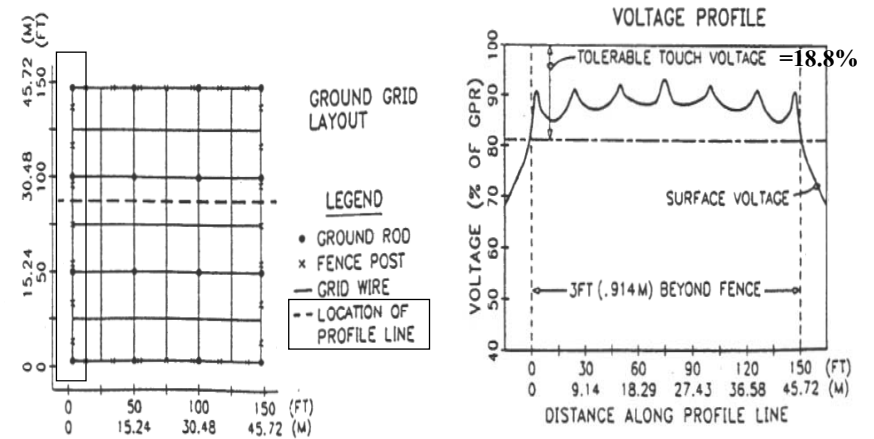
กรณี 1: (กราฟ 2) ข้อสรุปของรั้วภายในพื้นที่กริดที่มีการต่อลงดิน สายกราวด์ตัวนอกคือ 0.91 m (3 ft) ภายนอกเส้นรอบรั้ว รั้วได้รับการเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



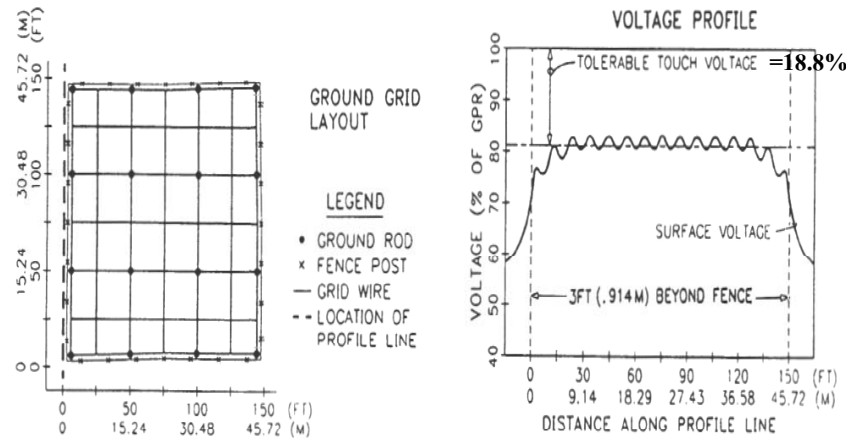
กรณี 2 : (กราฟ 1) กราวด์กริด และเส้นรอบรั้วที่ตรงกัน
โดยประมาณ สายกราวด์ตัวนอกที่ตรงกับทางข้าง ๆ เส้นรอบรั้ว
รั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



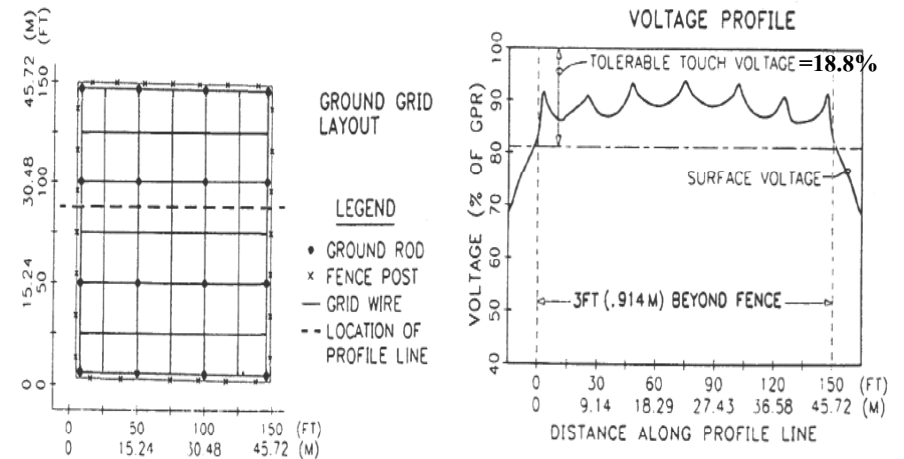
กรณี 2 : (กราฟ 2) กราวด์กริด และเส้นรอบรั้วที่ตรงกัน
โดยประมาณ สายกราวด์ตัวนอกที่ตรงกับทางข้าง ๆ เส้นรอบรั้ว
รั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



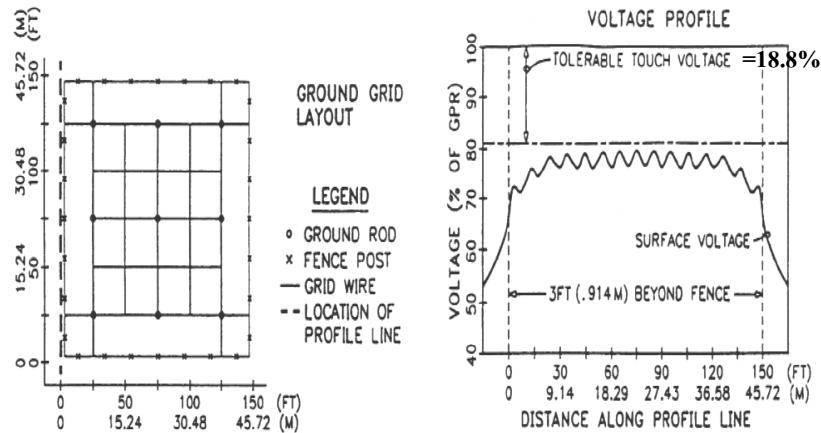
กรณี 3 : (กราฟ 1) สายกราวด์กริดตัวนำ 0.91 m
(3ft) อยู่ข้างในเส้นรอบรั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



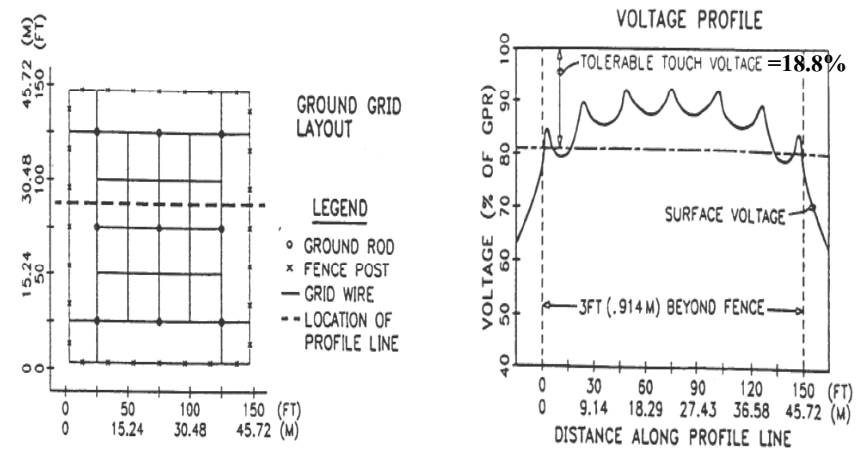
กรณี 3 : (กราฟ 2) สายกราวด์กริดตัวนำ 0.91 m
(3ft) อยู่ข้างในเส้นรอบรั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อกับกราวด์กริด



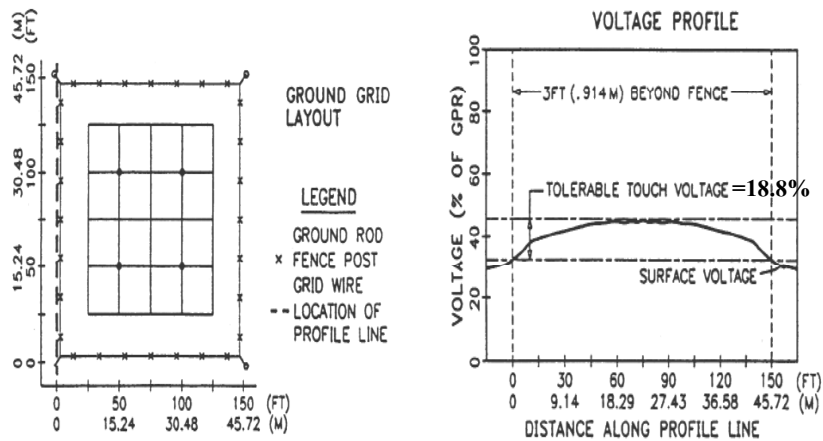
กรณี 4 : (กราฟ 1) กราวด์กริดที่อยู่ข้างในพื้นรั้ว สายกราวด์กริดตัวนอก 6.7 m (22 ft) ข้างในเส้นรอบรั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อที่กราวด์กริด



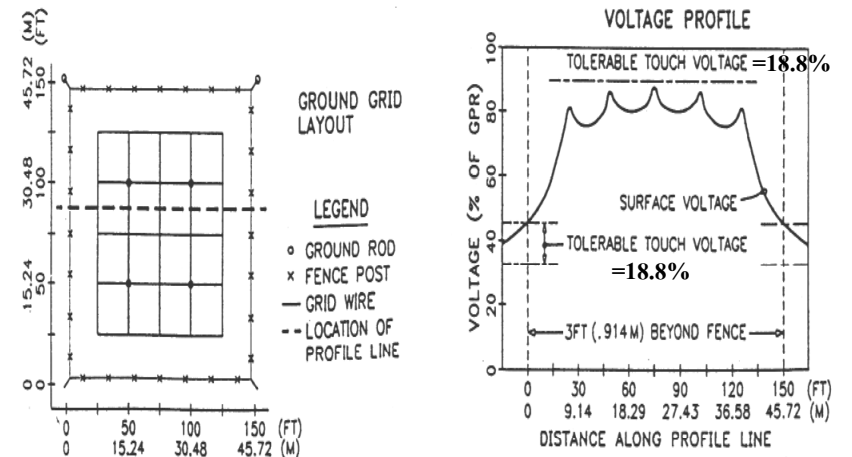
กรณี 4 : (กราฟ 2) กราวด์กริดที่อยู่ข้างในพื้นรั้ว สายกราวด์กริดตัวนอก 6.7 m (22 ft) ข้างในเส้นรอบรั้ว รั้วถูกเชื่อมต่อที่กราวด์กริด



กรณี 5 : (กราฟ 1) กราวด์กริดข้างในพื้นรั้ว 6.7 m (22 ft) ข้างในสายกราวด์กริดเส้นรอบวงรั้ว รั้วที่ถูกกราวด์เฉพาะแห่ง แต่ไม่ได้เชื่อมต่อกับกราวด์กริด



กรณี 5 : (กราฟ 2) กราวด์กริดข้างในพื้นรั้ว 6.7 m (22 ft) ข้างในสายกราวด์กริดเส้นรอบวงรั้ว รั้วที่ถูกกราวด์เฉพาะแห่ง แต่ไม่ได้เชื่อมต่อกับกราวด์กริด



5.18 การต่อลงดินที่เปลือกหุ้มสาย

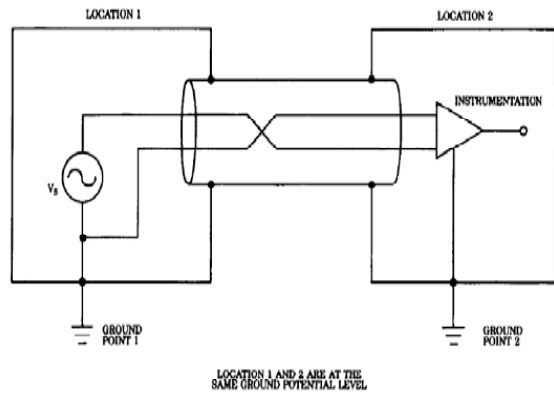
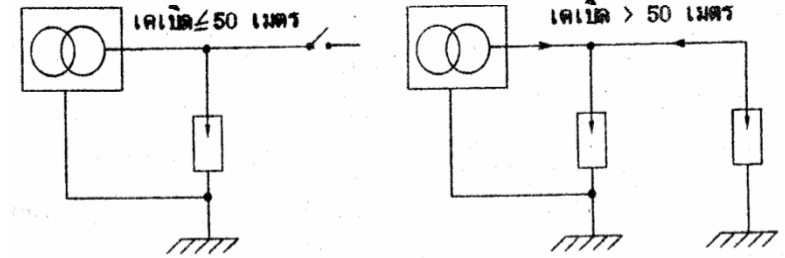


Figure 24—Shield grounded at both ends-ideal

5.20 การต่อลงดินกับดักเสิร์จ



- (ก) การต่อสายดินของตัวลิ่งหม้อแปลง และกับดักเสิร์จ ช่วยลดแรงดันเกิน ภายในหม้อแปลง
- (ข) ติดตั้งกับดักเสิร์จ 2 ตำแหน่ง ในกรณีสาย เเคเบิลยาวกว่า 50 เมตร

ตัวอย่างการติดตั้งกับดักเสิร์จ ตามลักษณะการใช้งาน

5.22 สักกัที่ถูกลอนถ่าย

5.22.1 วงจรการสื่อสาร

5.22.2 ราง

5.22.3 สายนิวทริลแรงต่ำ

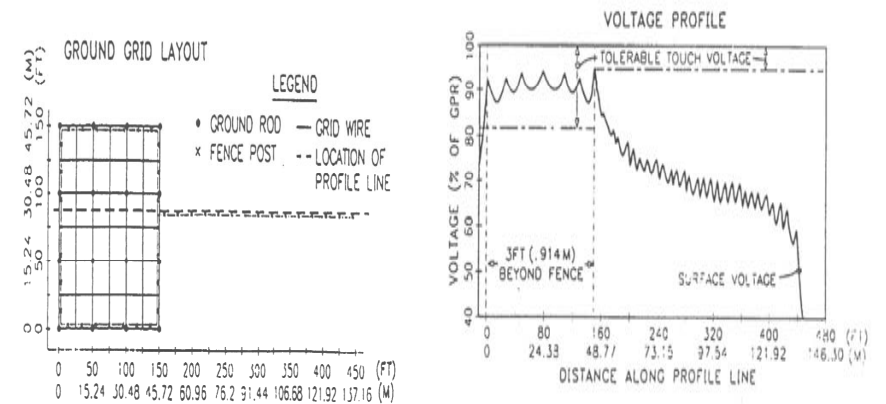
5.22.4 อุปกรณ์แบบมือถือ และเครื่องมือที่ถูกลองจ่ายจากสถานีไฟฟ้าย่อย

5.22.5 ท่อ

5.22.6 ความช่วยเหลือจากตัวอาคาร

5.22.7 รั้ว

รูปที่ 5.15 สักกัออนถ่ายที่รั้ว



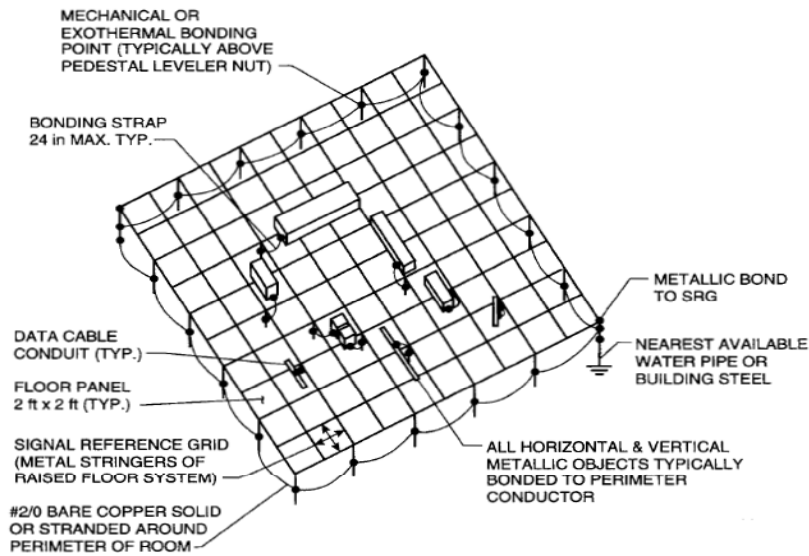


Fig 9-4
Raised Access Flooring Substructure as Signal Reference Grid

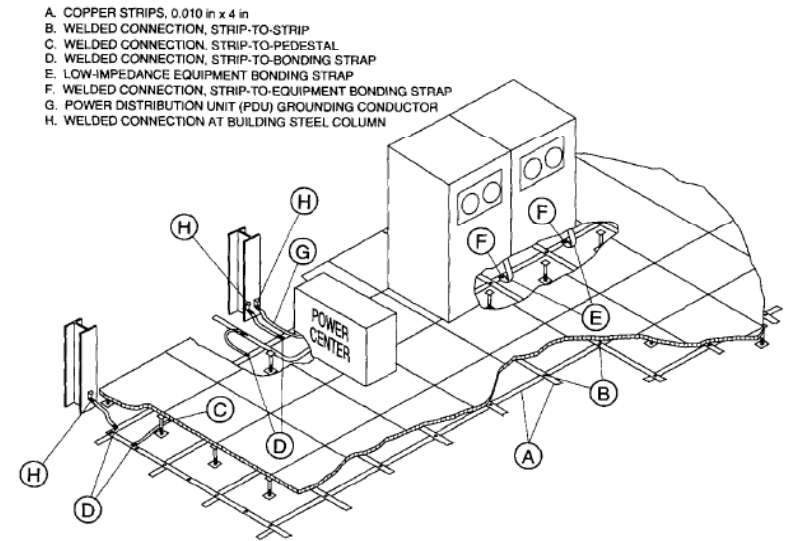


Fig 9-5
Signal Reference Grid Fabricated From Copper Strips

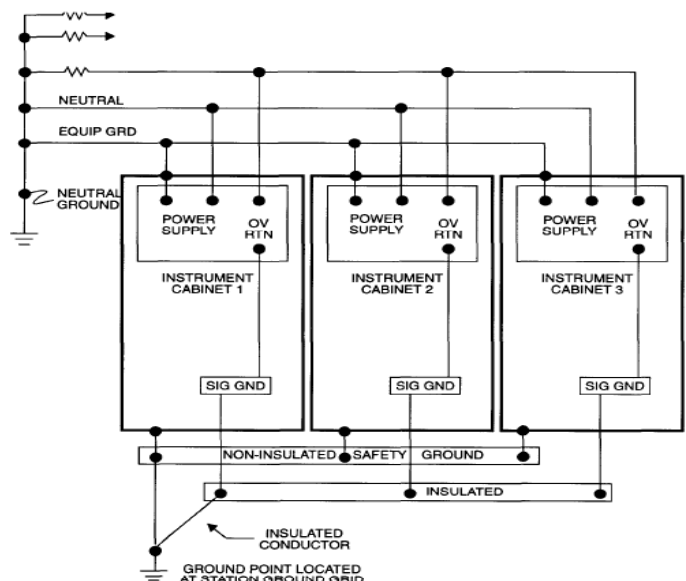


Figure 12—Single-point ground system for low-frequency signals with cabinets in close proximity

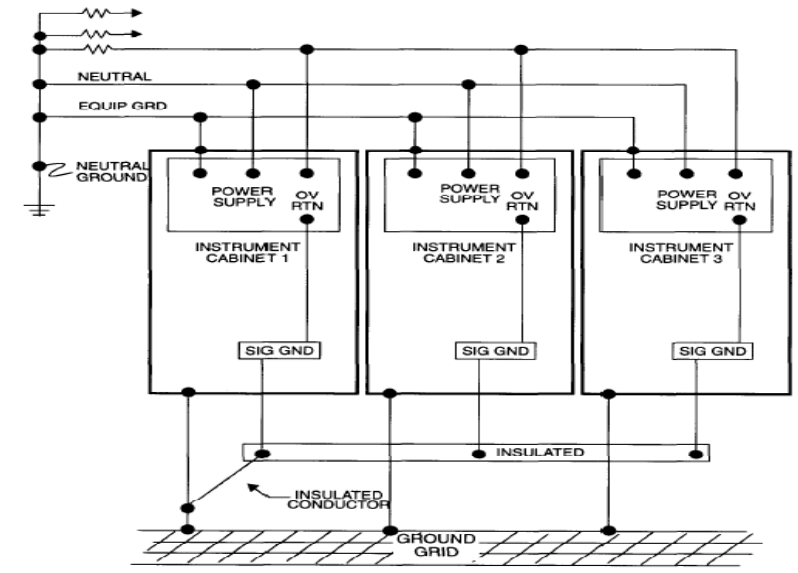


Figure 13—Single-point ground system for low-frequency signals with cabinets widely separated

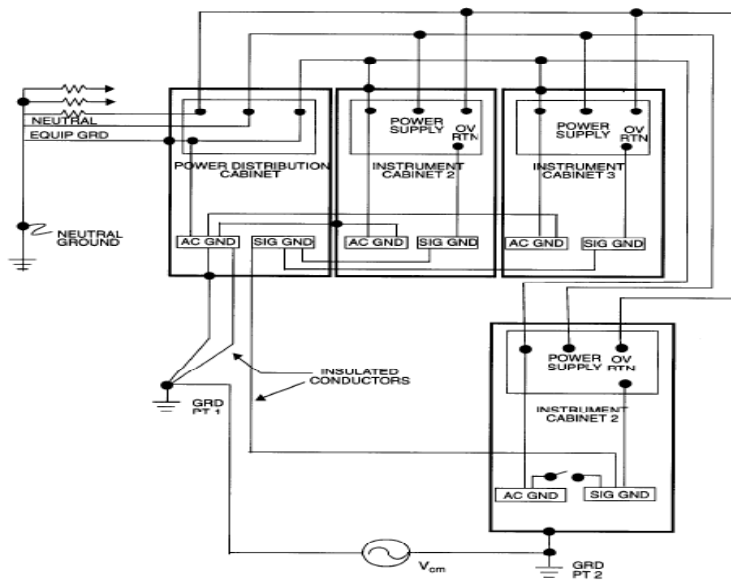


Figure 14—Single-point ground system for low-frequency signals with cabinets widely separated showing safety door switch