

บทที่ 1

ความปลอดภัย ของการต่อลงดิน

1.1 ความปลอดภัยในการต่อลงดิน

1.1.1 หลักการเบื้องต้น



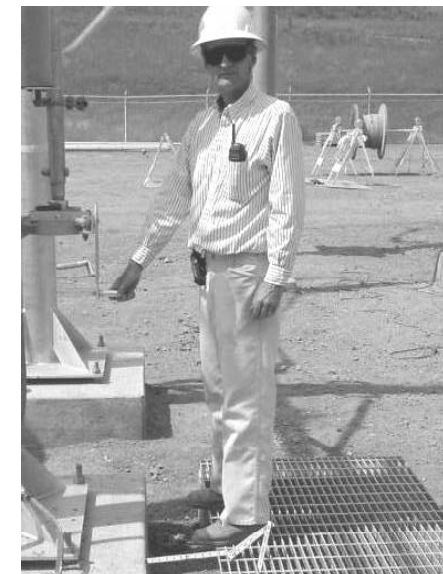
- จุดประสงค์เบื้องต้นของการออกแบบการต่อลงดินอย่างปลอดภัย มีหลักที่สำคัญอยู่สองประการคือ

จุดประสงค์เบื้องต้นประการที่ 1



- เพื่อเตรียมวิธีการนำกระแสไฟฟ้าไปสู่ดินทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดฟอลต์ โดยไม่เกินขีดจำกัดของอุปกรณ์และการทำงานใด ๆ อันจะมีผลกระทบต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องในการจ่ายไฟ

จุดประสงค์เบื้องต้นประการที่ 2

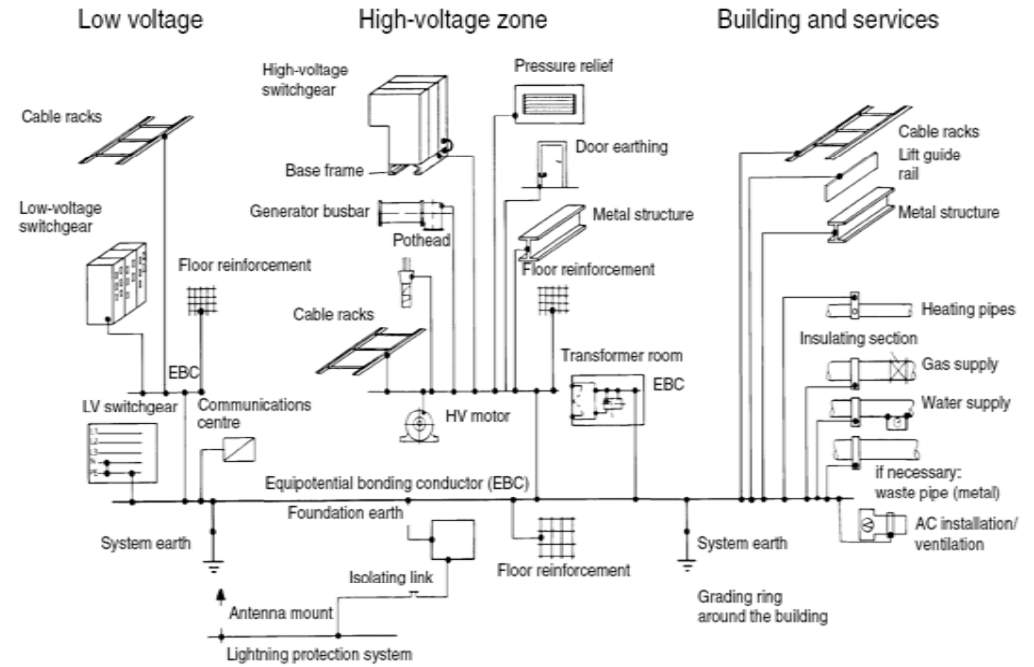


- เพื่อให้แน่ใจว่า ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ใกล้ชิดกับอุปกรณ์ที่ถูกต่อลงดินแล้ว ไม่ได้รับอันตรายจากไฟดูด

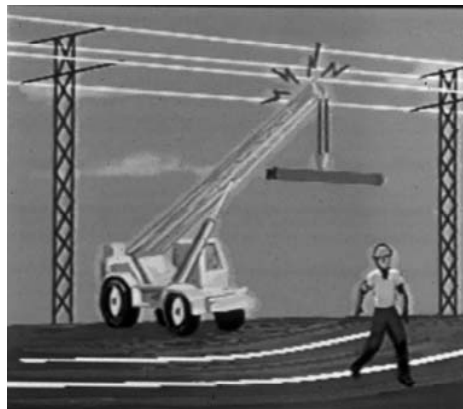
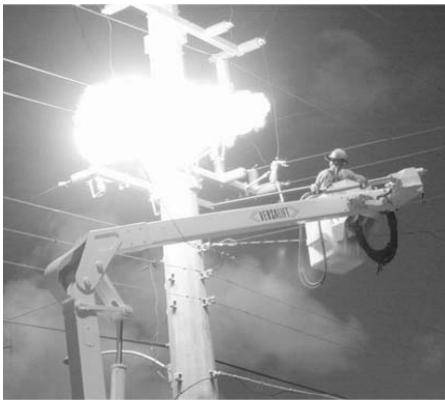
การต่อลงดิน

- การควบคุมผลกระทบกระทั้งซึ่งกันและกัน ของระบบการต่อลงดิน มีอยู่สองประการคือ
 - การต่อลงดินด้วยความจงใจ (intentional ground) ประกอบด้วยกราวด์อิเล็กโทรด (ground electrode) ฟังลิ่งลงไปให้อยู่ต่ำกว่าผิวดิน
 - การต่อลงดินด้วยความบังเอิญ (accidental ground) ซึ่งถูกสร้างขึ้นหรือถูกทำให้เกิดขึ้นชั่วคราวโดยมนุษย์ ถูกกับกระเด็นที่ทางศักย์ที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ที่ถูกลงดิน

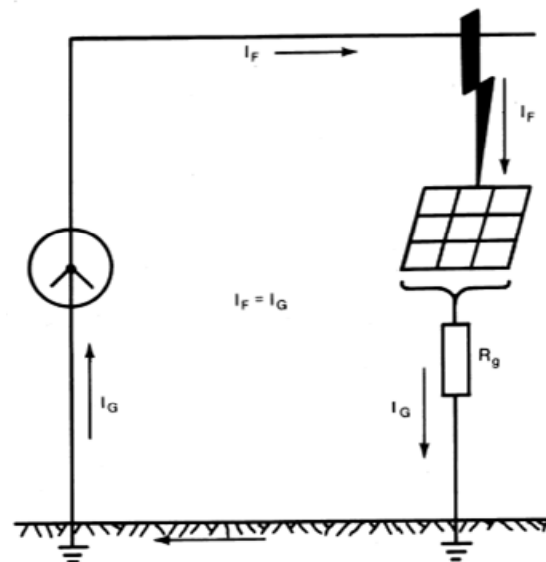
การต่อลงดินด้วยความจงใจ



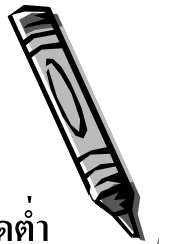
การต่อลงดินด้วยความบังเอิญ (accidental ground)



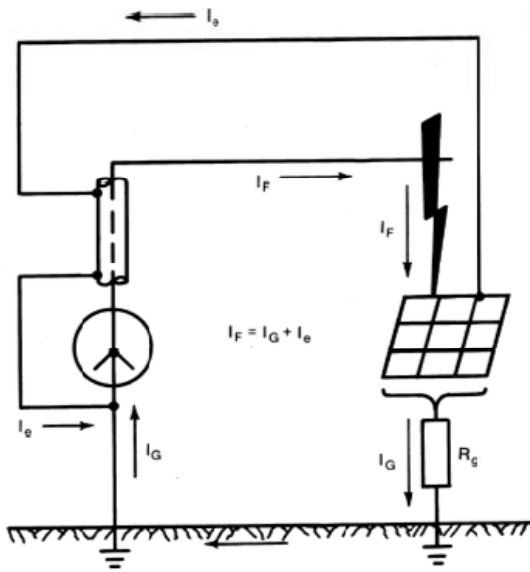
กรณีสถานีไฟฟ้าย่อยจ่ายจากสายพาดในอากาศ โดยไม่มีการตัวกำบัง (shield) หรือสายนิวทรัล



ค่าความต้านทานกริดต่ำ (low grid resistance) จะเป็นสิ่งที่สำคัญมากๆ เพราะกระแสฟอลต์ลงกราวด์ทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดจะไหลลงดิน

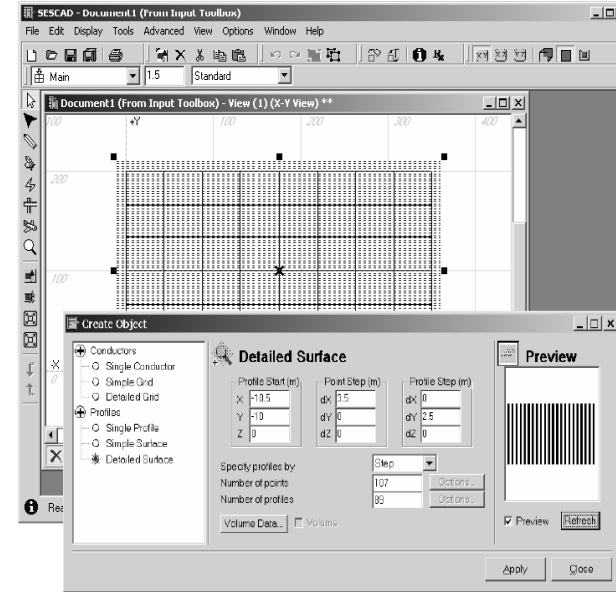


มีการใช้สายกำบัง สายนิวทริล หรือสายป้อนใต้ดิน



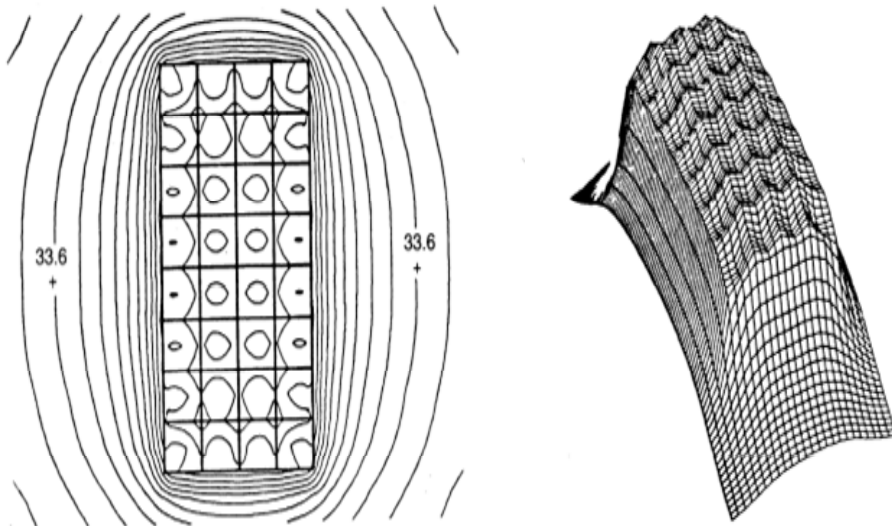
- ส่วนของกระแสฟอลต์จะไหลย้อนกลับโดยตรงผ่านส่วนที่เป็นโลหะกลับไปยังแหล่งจ่าย เนื่องจากส่วนที่เป็นโลหะนี้มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ทำให้ศักย์ในดินบริเวณนั้นเพิ่มขึ้นน้อยมาก

1.1.2 สภาวะที่เป็นอันตราย



- ตัวอย่างการหาการกระจายศักย์ในดินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับกริดการต่อลงดินเป็นลักษณะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในดินเนื้อเดียว

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างแสดงเส้นทางเดินของเส้นสมตักย์



สิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการออกแบบ

- การกระจายของศักย์สูงสุดตามผิวของดิน อาจจะมีขนาดเพียงพอที่สามารถทำให้ผู้คนในบริเวณนั้นได้รับอันตรายในช่วงที่เกิดฟอลต์ลงดิน
- ยิ่งไปกว่านั้น แรงดันที่เป็นอันตราย อาจเกิดขึ้นระหว่างโครงสร้างที่ถูกต่อลงดิน หรือ โครงของอุปกรณ์และดินที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

สภาวะการณ์ที่อาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟดูด

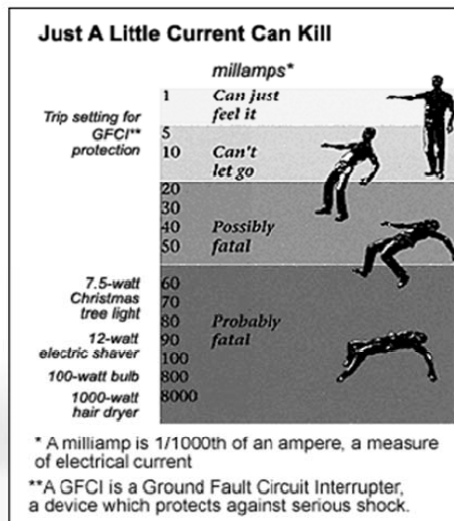
- ก) กระแสฟอลต์สูงสัมพันธ์กับกราวด์ ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ของระบบกราวด์ และค่าความต้านทานของมันกับดินระยะไกล (remote earth)
- ข) สภาพค่าความต้านทานของดินและการกระจายของกระแสลงดิน นั่นคือ การกระจายศักย์ที่สูงอาจจะเกิดขึ้นที่จุดต่าง ๆ ที่ผิวของดิน
- ค) เกิดการเชื่อมโยงผ่านร่างกายระยะจุดสองจุด ที่มีความต่างศักย์สูง
- ง) การขาดไปของค่าความต้านทานสัมผัสที่เพียงพอ หรือค่าความต้านทานอนุกรมอื่น ๆ เพื่อการจำกัดกระแสผ่านร่างกายด้วยค่าที่ปลอดภัยภายใต้สภาวะการณ์ (ก) ถึง (ค)
- จ) ช่วงเวลาของฟอลต์และการสัมผัสทางร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกายของมนุษย์ ด้วยเวลาและกระแสที่เพียงพอที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้

How Electricity Affects the Body

- **Amperage**
 - Amperage is the most destructive factor in electrical accidents.
- **Electrical Injuries consist of four main types:**
 - Electrocutation (fatal)
 - Electric shock
 - Burns
 - Falls caused as a result of contact with electrical energy
- **For death to occur**
 - Body must become part of an active electrical circuit
- **Extent of injuries**
 - Depends on the currents magnitude (amperage), the pathway of the current through the body, and the duration of current flow through the body

How Electricity Affects the Body

- 5 Milliamps is the trip setting for GFCI protection
- 60 Milliamps is the current required to light a 7.5-Watt light bulb
- 800 Milliamps is required to power a 100-Watt light bulb
- 8,000 Milliamps is required to power a 1,000-Watt hair dryer



Effects of Contact to the Body

- **High Voltage**
 - Small superficial injury
 - Destroys subcutaneous tissues
 - Internal blood vessels may clot
 - Nerves in the contact area may be damaged
 - Muscle contractions may cause skeletal fractures
 - Temperatures in excess of 1800 degrees F
 - Hot enough to vaporize skin instantly



สมการเกี่ยวกับพลังงานที่ถูกดูดซับโดยร่างกาย

$$S_B = (I_B)^2 \times t_s \quad (1.1)$$

I_B คือขนาดอาร์เอ็มเอส (rms) ของกระแสผ่านร่างกาย [A]

t_s คือช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่าน [s]

S_B คือค่าคงที่จากการสังเกต ซึ่งถูกทำให้สัมพันธ์กับพลังงานถูกไฟดูดที่ทนได้

1.1.4 ขีดจำกัดกระแสที่ร่างกายพอทนได้

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad (1.2)$$

เมื่อ $k = \sqrt{S_B}$ และ สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 50kg กำหนดให้ $S_B = 0.0135$
 สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 70kg กำหนดให้ $S_B = 0.0246$

ดังนั้น

$$\text{สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 50kg จะมีค่า } k = \sqrt{S_B} = \sqrt{0.0135} = 0.116$$

$$\text{สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 70kg จะมีค่า } k = \sqrt{S_B} = \sqrt{0.0246} = 0.157$$

ความสำคัญของการตัดกระแสไฟลัดความเร็วสูง



- ความน่าจะเป็นของการถูกไฟดูดถูกทำให้ลดลง
- ของการบาดเจ็บหรือตายลดลง
- เวลาในการตัดกระแสควรมีค่าน้อยกว่า 0.5 วินาที
- แต่จะมีอันตรายต่อการทำงานของหัวใจน้อยลง ถ้าเวลาที่ถูกไฟดูดอยู่ในย่าน 0.06-0.3 วินาที

นั่นคือ สมการที่ (1.2) จึงกลายเป็น

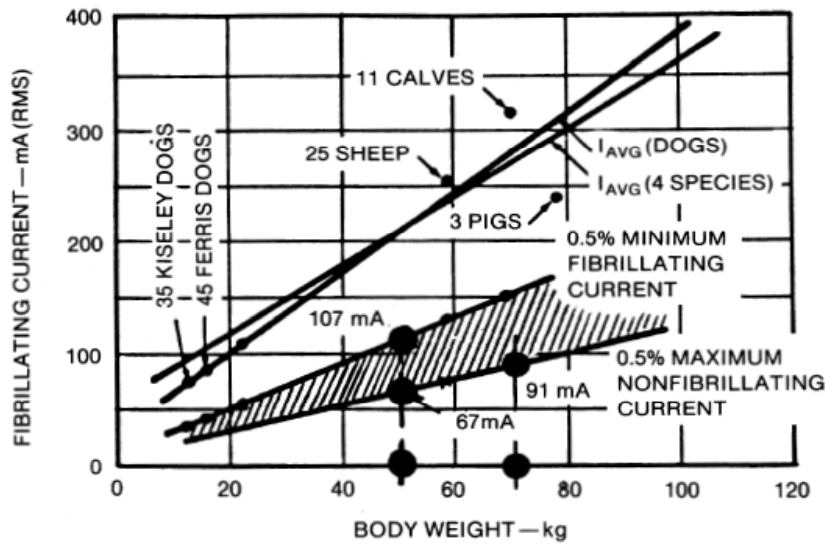
$$I_{B(70kg)} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \text{ สำหรับคนที่มีน้ำหนักร่างกาย 70 kg} \quad (1.4)$$

$$I_{B(50kg)} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \text{ สำหรับคนที่มีน้ำหนักร่างกาย 50 kg} \quad (1.3)$$

- จากสมการที่ (1.3) และ สมการที่ (1.4)
- ถ้า t_s ซึ่งก็คือช่วงเวลาในหน่วยวินาที ที่กระแสไหลผ่านร่างกาย ถ้ามีค่าน้อย จะได้ค่ากระแสผ่านร่างกายที่สามารถยอมรับได้ มีค่ามากขึ้น
- แต่ ในการออกแบบเพื่อป้องกันไฟดูดนั้น ไม่ควรให้ถึงขั้นต้องบาดเจ็บหรือเสียชีวิตอย่างร้ายแรง นั่นคือกระแสควรต่ำกว่าจุดเริ่มต้นที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการกระตุก (fibrillation threshold)



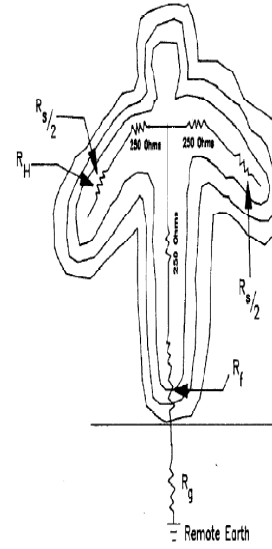
1.1.5 สมมติฐานอื่นๆ



กระแสดังกล่าวและการกระตุ้นและการกระตุ้นของเส้นใยกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักของร่างกาย สำหรับสัตว์ชนิดต่างๆ โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของช่วงเวลาไฟฟูดตามวินาที

1.2 วงจรต่อลงดินที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุ

1.2.1 ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์



$$R_g = 250 + 250 + R_s = 500 + R_s$$

$$R_s = \text{Skin Resistance}$$

$$R_c = \text{Clothing Resistance}$$

$$= R_f + R_H$$

$$R_H = \text{Hand Resistance}$$

$$R_B = \text{Body Resistance}$$

$$R_f = \text{Footwear}$$

- ในที่นี้ ค่าความต้านทานอนุกรมกับค่าความต้านทานของร่างกาย อยู่บนสมมติฐานว่า :
- ค่าความต้านทานสัมผัสที่มือและเท้ามีค่าเท่ากับศูนย์
- ค่าความต้านทานถุงมือและรองเท้ามีค่าเท่ากับศูนย์
- ค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์จากมือถึงเท้าและจากมือถึงมือ หรือจากเท้าข้างหนึ่งไปยังเท้าอีกข้างหนึ่ง คือ

$$R_B = 1000 \Omega$$

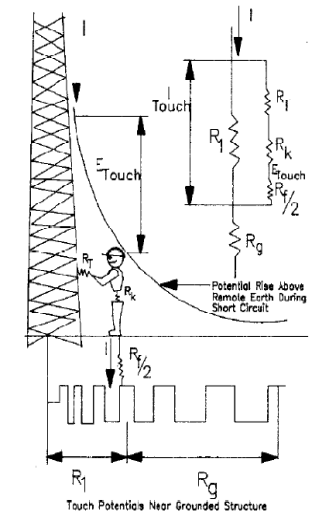
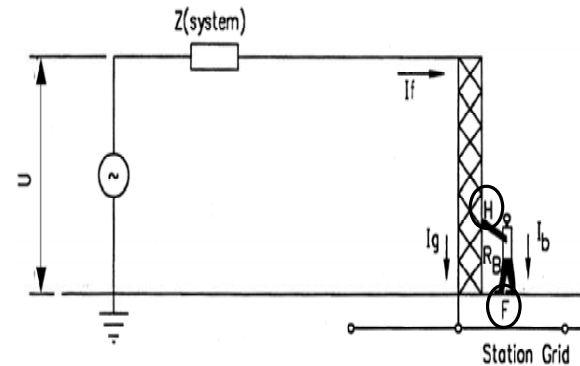
(1.5)

1.2.2 ทางเดินกระแสผ่านร่างกายมนุษย์

- ข้อควรจำ จากการวิจัยที่ผ่านมา อาจจะกล่าวได้ว่า กระแสเท้าถึงเท้า มักมีค่ามากกว่ากระแสจากมือถึงเท้า และมีผลของกระแสเช่นเดียวกับบริเวณหัวใจ บางครั้งอาจจะถึงอัตราส่วนสูงถึง 25:1 เลยก็ได้
- ควรมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้ด้วย
 - แรงดันระหว่างสองเท้า ความเจ็บปวดที่ไม่ถึงกับทำให้เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต อาจจะเป็นผลที่ทำให้มีกระแสเป็นจำนวนมาก ไหลผ่านบริเวณหน้าอก ระดับของอันตรายนี้ ยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฟอลต์และความเป็นไปได้ของการถูกไฟฟูดอื่นๆ ด้วย
 - คนอาจจะกำลังทำงานหรือพักอยู่ในลักษณะนอนเหยียดเมื่อเกิดฟอลต์

1.2.3 การสมมูลทางวงจรที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุ

กรณี แรงดันสัมผัส



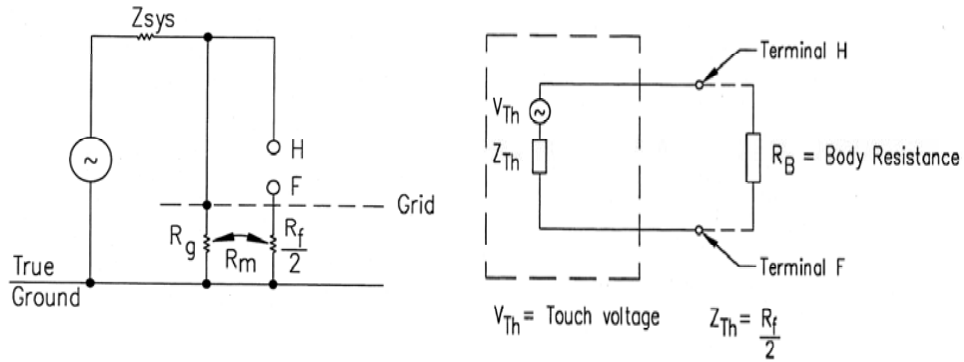
I_b คือกระแสผ่านร่างกาย (ร่างกายคือส่วนของวงจรที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุ) [A]

R_A คือค่าความต้านทานประสิทธิผลทั้งหมดของวงจรที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุ [Ω]

V_A คือแรงดันประสิทธิผลทั้งหมดของวงจรที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุ [V]

(อาจจะป็นแรงดันสัมผัสหรือช่วงก้าว)

อิมพีแดนซ์ต่างๆ สำหรับวงจรและวงจรสมมูลเทวินินของ แรงดันสัมผัส

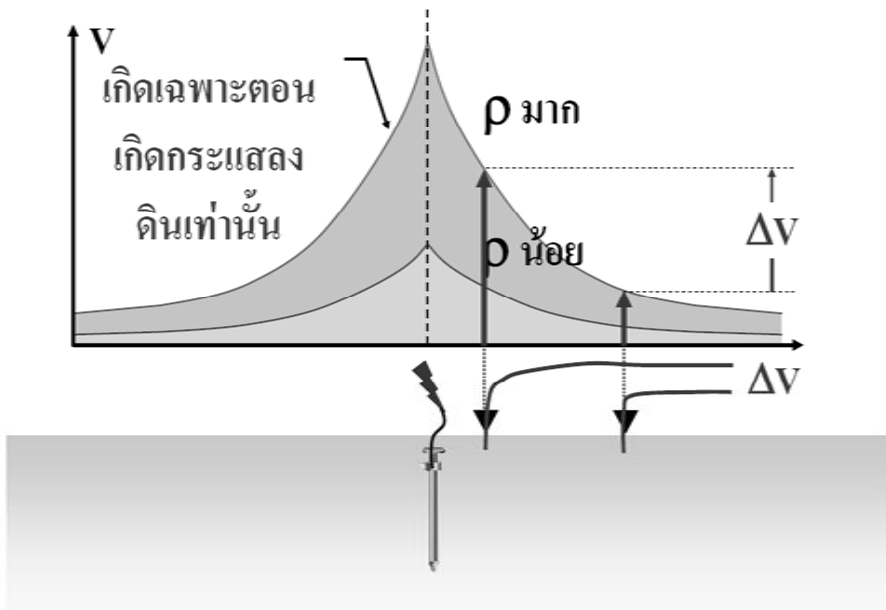


$$I_b = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B}$$

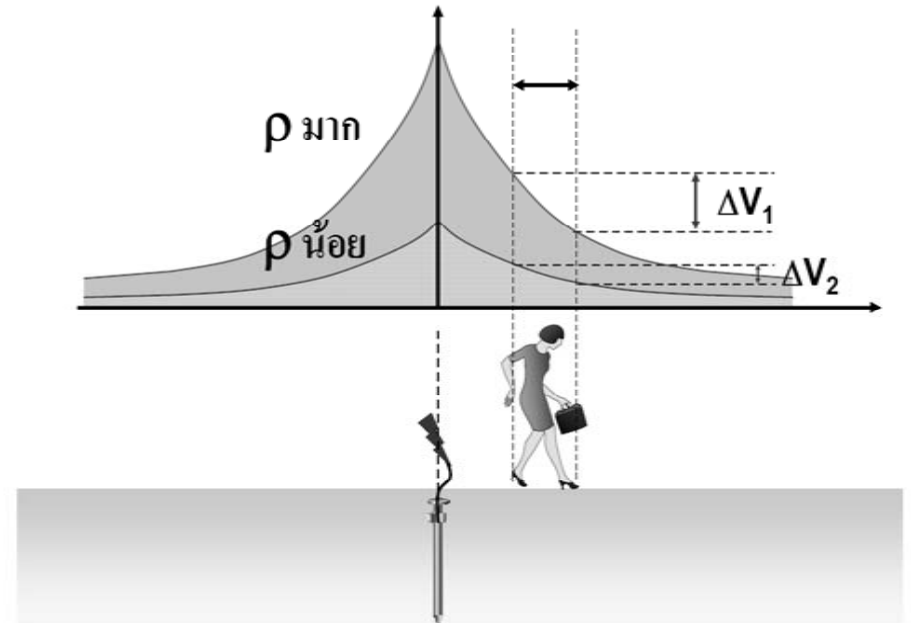
แรงดันย่างก้าว

Step Voltage

กราฟแรงดันของดินที่มี ρ น้อยและมาก

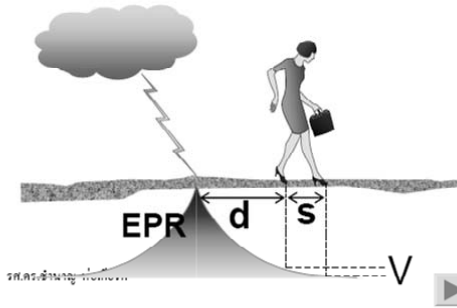


Step Voltage สำหรับ ρ น้อยและมาก



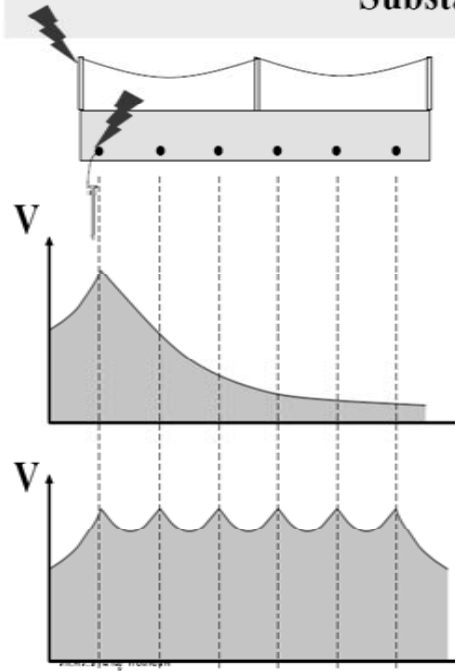
แรงดันย่างก้าว (Step Voltage) เมื่อมีฟ้าผ่าหรือกระแสลัดวงจร

d (m.) =	50	TABLE FOR CALCULATING STEP VOLTAGE - KV					
ρ/I	10	20	40	80	100	200	
50	0.03	0.06	0.12	0.25	0.31	0.62	
100	0.06	0.12	0.25	0.50	0.62	1.25	
200	0.12	0.25	0.50	1.00	1.25	2.50	
500	0.31	0.62	1.25	2.50	3.12	6.24	
1000	0.62	1.25	2.50	4.99	6.24	12.48	



$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{s}{d(d+s)} \right]$$

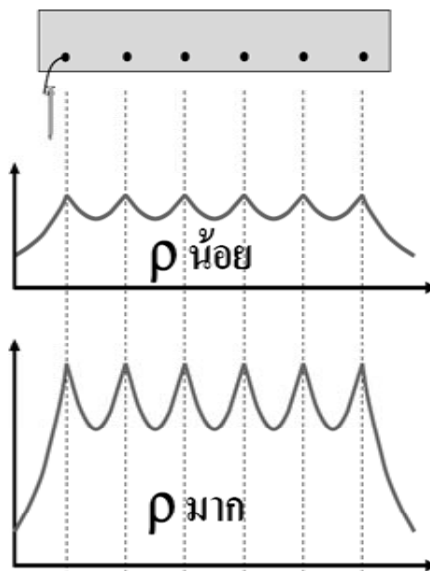
Substation



แรงดันเกิดเนื่องจาก
ฟ้าผ่าหรือ
กระแสลัดวงจร

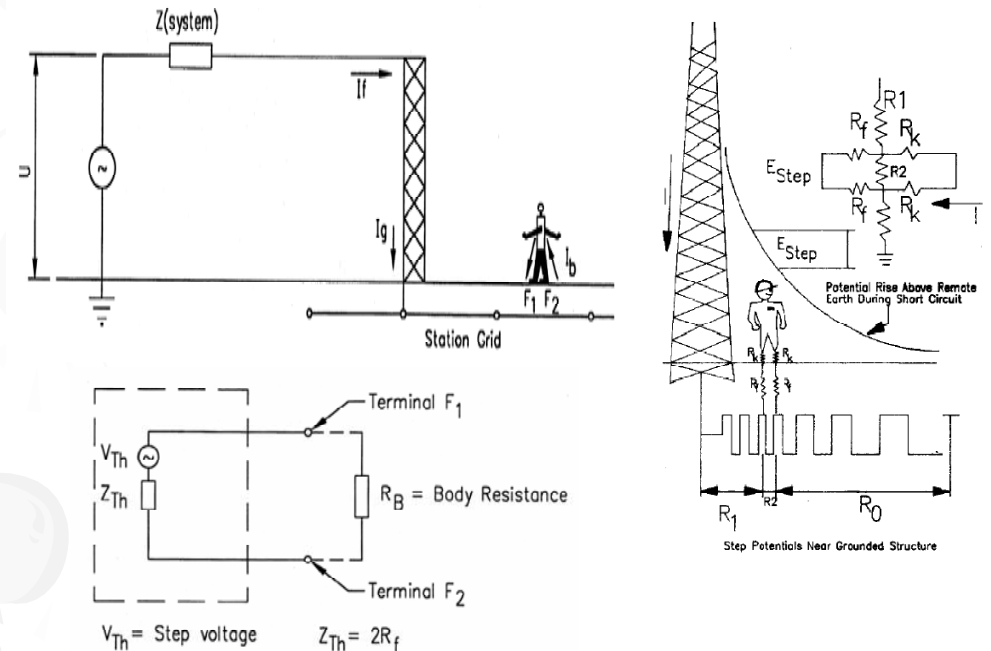
การตีกริดช่วยลด
แรงดันย่างก้าวและ
แรงดันสัมผัส

Substation



ความต้านทาน
จำเพาะมากและ
น้อยมีผลอย่างไร

แรงดันช่วงก้าว



การวิเคราะห์วงจร

R_f คือค่าความต้านทานการต่อลงดินในหน่วยโอห์ม

ρ คือสภาพต้านทานบนผิวของดินเนื้อเดียว ($\Omega \bullet m$)

b คือรัศมีงานโลหะตัวนำถูกแทนเสมือนเท่าคนปกติ (m)

$$R_f = \frac{\rho}{4b} \quad (1.9)$$

โดยทั่วไป แผ่นงานโลหะแทนทำถูกคิดเป็นแผ่นวงกลมด้วยรัศมี 0.08 m ดังนั้น

$$R_f = \frac{\rho}{4 \times 0.08} \approx 3\rho \quad [\Omega]$$

สำหรับวงจรที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุจากแรงดันสัมผัสจะได้

$$Z_{Th} = \frac{R_f}{2} = \frac{3\rho}{2}$$

ดังนั้น อิมพีแดนซ์เทวินิน สำหรับแรงดันสัมผัสคือ

$$Z_{Th} = 1.5\rho$$

วงจรที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุจากแรงดันช่วงก้าว

$$Z_{Th} = 2R_f = 2 \times 3\rho$$

ดังนั้น อิมพีแดนซ์เทวินิน สำหรับแรงดันช่วงก้าวคือ

$$Z_{Th} = 6\rho$$

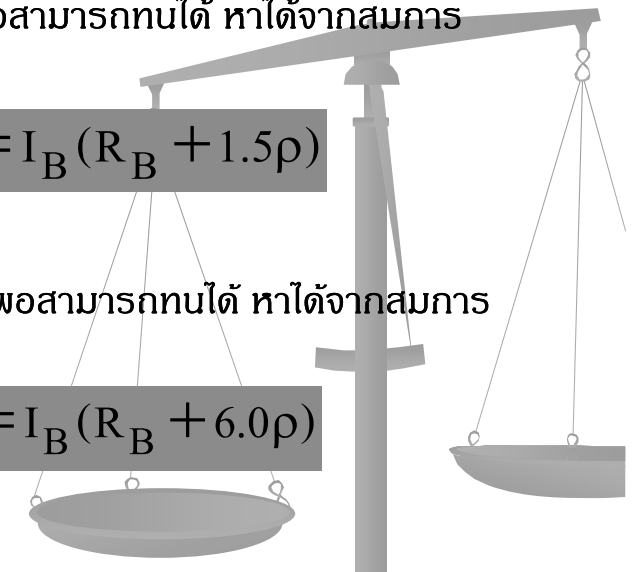
แรงดันสมมูลทั้งหมดที่สามารถยินยอมได้

- แรงดันสัมผัสที่ยังพอสามารถทนได้ หาได้จากสมการ

$$E_{touch} = I_B (R_B + 1.5\rho)$$

- แรงดันช่วงก้าวที่ยังพอสามารถทนได้ หาได้จากสมการ

$$E_{step} = I_B (R_B + 6.0\rho)$$



1.2.4 ผลของชั้นบางๆ ของผิววัสดุ

- สมการที่ (1.9) ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสภาพต้านทานของดินชนิดเดียว แต่อาจจะมีชั้นบาง ๆ ประมาณ 0.08-0.15 เมตร (3-6 นิ้ว) จะเป็นวัสดุที่มีสภาพต้านทานสูง ยกตัวอย่างเช่น ดินลูกรังซึ่งเป็นที่ปกคลุมด้วยชั้นดินเหนียวหรือกรวดกริต (ground grid) จึงทำให้ค่าความต้านทานสัมผัสระหว่างดินกับเท้าของคนในสถานีไฟฟ้าย่อมมีค่าเพิ่มขึ้น
- ดังนั้น สมการที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานต่อลงดินของแท็บนผิววัสดุ

$$R_f = \left[\frac{\rho_s}{4b} \right] C_s$$



C_s หาได้จาก

$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} K^n R_{m(2nh_s)}, \quad K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

C_s คือตัวประกอบที่ทำให้ชั้นผิวลดลง

K คือตัวประกอบในการพิจารณาหาระหว่างสภาพต้านทานวัสดุที่แตกต่างกัน

ρ_s คือสภาพต้านทานผิววัสดุ [Ω-m]

ρ คือสภาพต้านทานของดินที่อยู่ภายใต้ผิววัสดุ [Ω-m]

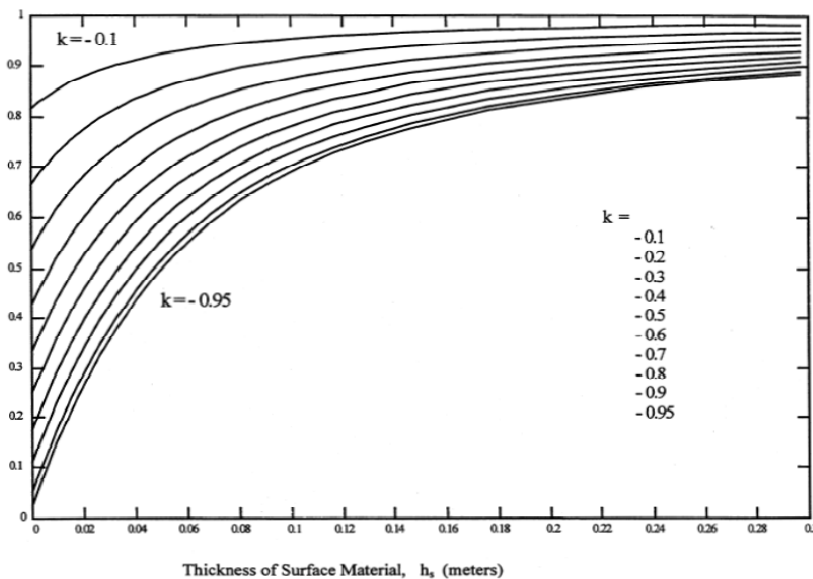
h_s คือความหนาของผิววัสดุ [m]

b คือรัศมีของแผ่นจานโลหะวงกลมซึ่งแทนเท้า [m]

R_{m(2nh_s)} คือค่าความต้านทานดินร่วมระหว่างสองสิ่งที้อยู่ติดกัน ขนานกัน แผ่นดินร่วมเดียวกัน ถูกแยกด้วยระยะทาง 2nh_s ที่อยู่กึ่งกลางอนันต์ของสภาพต้านทาน ρ_s ในหน่วย [Ω-m]

เนื่องจากค่า C_s มีการคำนวณที่ยุ่งยาก จึงมักจะใช้

กราฟ C_s ต่อ h_s ที่ b=0.08m



1.3 บรรทัดฐานของแรงดันที่ยังพอทนได้

- การเพิ่มขึ้นทางศักย์ดิน (ground potential rise, GPR)

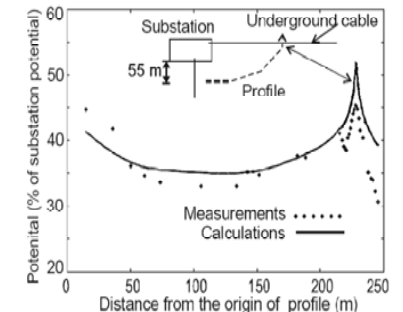
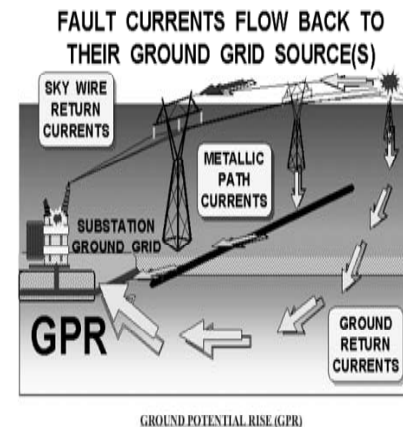
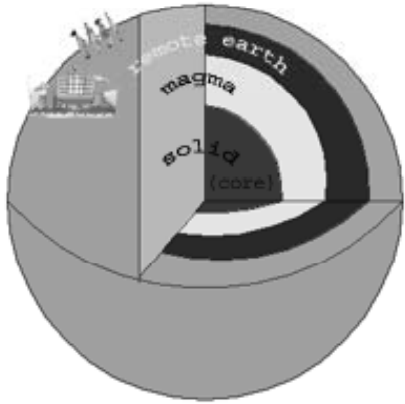
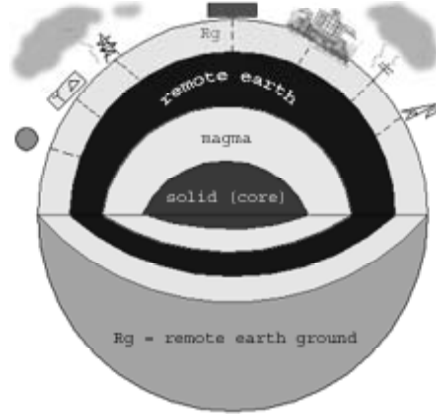


Fig. 2: Normalized values of calculated and measured values of the potential along a profile near 110/10 kV substation.

สภาพของ Remote Earth



แสดง remote earth เนื้อดินที่ให้ค่านำไฟฟ้าสูงสุด ต่อเชื่อมถึงกันปกคลุมทั่วไปอยู่ที่ผิวดิน ที่ความลึกระดับหนึ่ง

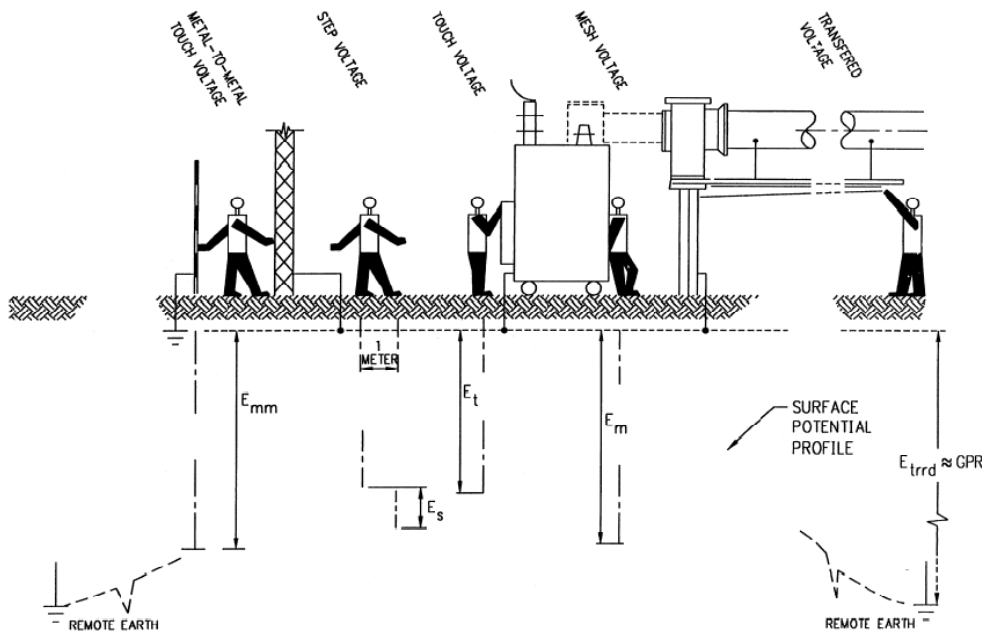


remote earth ทำหน้าที่เป็นจุดต่อร่วมวงจรไฟฟ้า

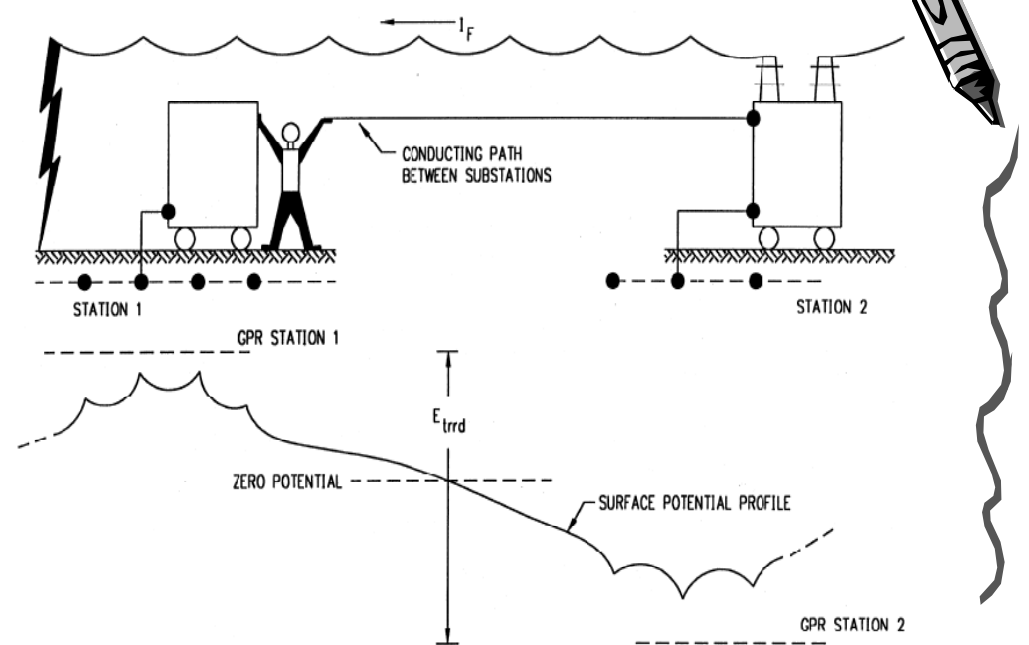
ค่าความต้านทานกราวด์อ้างอิงกับ remote earth

- จากการศึกษาวิจัยได้ผลสรุปว่า เนื้อดินบริเวณผิวโลกยังไม่ให้ความสามารถเป็น ground plane แต่ส่วนเนื้อดินที่ลึกลงไประดับหนึ่งจะมีปริมาณของเนื้อดินที่มีสถานะการรวมตัวต่อเชื่อมถึงกันอย่างต่อเนื่อง ด้วยปริมาตรมหาศาลทำให้เกิดเป็นสภาพดินที่ให้ค่าความนำกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงเป็นอนันต์ (ความต้านทานมีค่าเป็นศูนย์) ค่าความนำกระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุดของเนื้อดินส่วนนี้ให้ความสามารถในการเป็น ground plane ได้ เรียกเนื้อดินส่วนนี้ว่า "Remote Earth"
- เมื่อเราปักแท่งกราวด์ลงไป在地面จะเกิดเป็นความต้านทานกราวด์ระหว่างแท่งกราวด์กับ remote earth ทั้งนี้ การลดความต้านทานกราวด์ทำได้โดยการปักแท่งกราวด์พุ่งเข้าสู่เนื้อดินบริเวณ remote earth หากว่าแท่งกราวด์ไม่สามารถเข้าถึงเนื้อดินส่วน remote earth ก็จะเกิดเป็นสภาพความต้านทานกราวด์
- ปัจจุบันมีการใช้ระบบกราวด์ที่มีค่าความต้านทานกราวด์อ้างอิงกับ remote earth โดยมีข้อกำหนดว่า ความต้านทานกราวด์ต้องไม่เกิน 0.5 โอห์ม ที่ระดับความลึกไม่เกิน 100 เมตร ซึ่งช่วยลดความเสียหายลงได้ถึง 80%

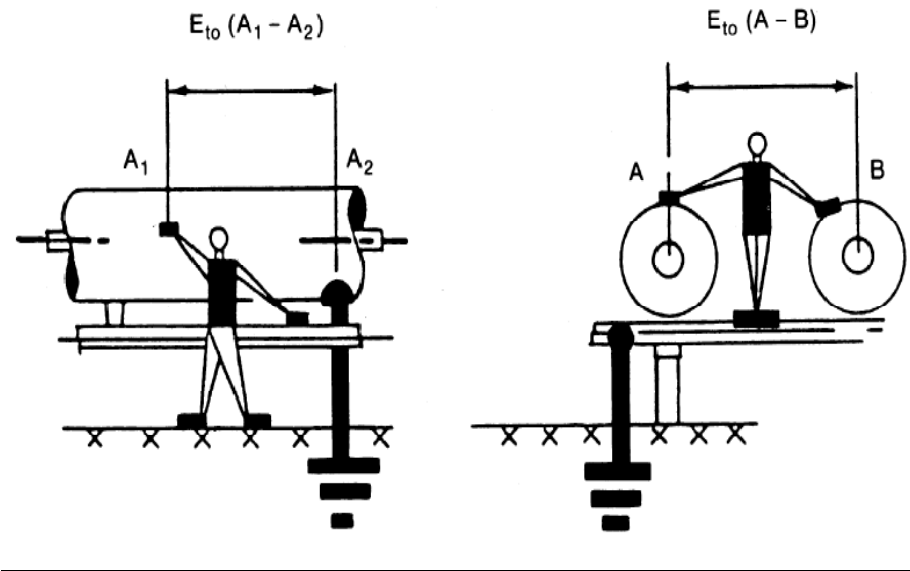
สถานการณ์พื้นฐานต่างๆ ของการถูกไฟดูด



ตัวอย่างสถานการณ์ของศักย์ที่ถูกถ่ายโอนขยายตัวออกไป



ตัวอย่างสถานการณ์ของการสัมผัสระหว่างโลหะกับโลหะใน GIS



1.3.3 บรรทัดฐานแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส

- ขีดจำกัดแรงดันช่วงก้าว

$$E_{step} = (R_B + 2R_f) \cdot I_B$$

- สำหรับน้ำหนักร่างกายหนัก 50 kg

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

- สำหรับน้ำหนักร่างกายหนัก 70 kg

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

1.3.3 บรรทัดฐานแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส

- ขีดจำกัดแรงดันสัมผัส

$$E_{touch} = \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right) \cdot I_B$$

- สำหรับน้ำหนักร่างกายหนัก 50 kg

$$E_{step50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

- สำหรับน้ำหนักร่างกายหนัก 70 kg

$$E_{step70} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

ถ้าไม่ได้ใช้ชั้นผิวที่มีการป้องกันแล้ว

C_s คือตัวประกอบที่ทำให้ชั้นผิวลดลง = 1

ρ_s คือสภาพต้านทานผิววัสดุ = ρ คือสภาพต้านทานของดินที่อยู่ภายใต้ผิววัสดุ [$\Omega\text{-m}$]

ขีดจำกัดแรงดันสัมผัสโลหะกับโลหะ ทั้งที่เป็นมือกับมือและเท้ากับมือ

จะมีค่า $\rho_s = 0$ ดังนั้น

สำหรับน้ำหนักของร่างกายหนัก 50 kg $E_{mm\text{-}touch50} = \frac{116}{\sqrt{t_s}}$

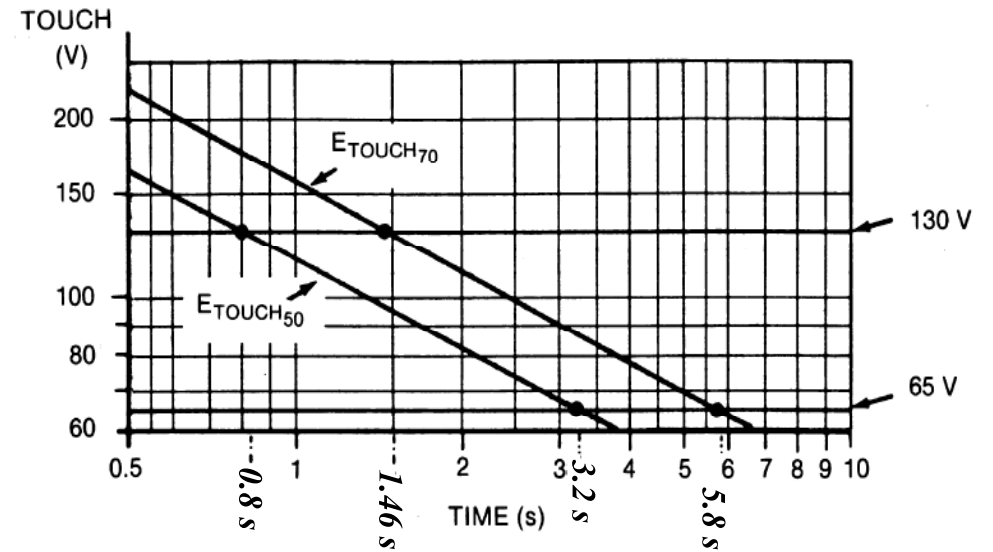
สำหรับน้ำหนักของร่างกายหนัก 70 kg $E_{mm\text{-}touch70} = \frac{157}{\sqrt{t_s}}$

1.3.4 ตัวอย่างสถานการณ์ไฟดูดสำหรับสถานไฟฟ้าย่อยที่ถูก ฉนวนด้วยแก๊ส

- คนที่มาสัมผัสกับเปลือกหุ้มภายนอกของ GIS อาจจะถูกไฟดูดจากผลแรงดันต่าง ๆ อันเนื่องมาจากฟอลต์พื้นฐานสองประการคือ
- ฟอลต์ภายในที่อยู่ในระบบบัสที่ถูกฉนวนด้วยแก๊ส เช่น การวาบไฟระหว่างตัวนำบัสกับผนังภายในของตัวหุ้มปิด
- ฟอลต์ภายนอกกับ GIS ซึ่งกระแสฟอลต์ไหลผ่านบัส GIS และกระแสเหนี่ยวนำในตัวหุ้มปิด



ขีดจำกัดแรงดันสัมผัสสำหรับการแตะโลหะกับโลหะ และ ย่านตัวอย่างของแรงดันที่หุ้มปิดกับกราวด์



จบการนำเสนอตอนที่ 1

