

หน่วยที่ 4: การป้องกันระบบไฟฟ้าและ โคออร์ดิเนชันของฉนวน (Power System Protection & Insulation Coordination)

คู่มือภาพเสมือนจริง (Visual Guide) สำหรับวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

ว่าที่ร้อยตรีสุชาติ คงสืบ

รายวิชาระบบไฟฟ้ากำลัง (Electric Power System)

33-40104-2101 3 (3-0-6)

สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า สถาบันอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร

วิทยาลัยการอาชีพกาญจนาภิเษกหนองจอก



หัวใจของการป้องกัน: แยกส่วนที่ลัดวงจร ปกป้องชีวิตและอุปกรณ์

1. ปรากฏการณ์หน้า (Breakers & RCDs)

ตัดไฟทันทีก่อนเกิดความเสียหาย

2. สมอกลสั่งการ (Protective Relays)

วิเคราะห์เงื่อนไขและสั่งการแม่นยำ

3. เกราะกันฉนวน (Insulation)

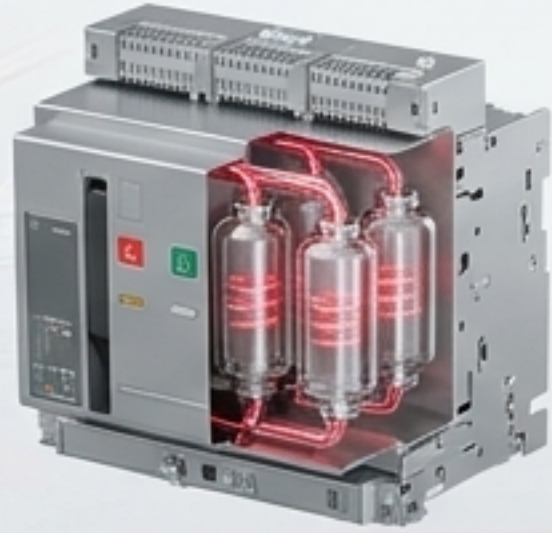
รับมือแรงดันกระชากและฟ้าผ่า

4. รากฐานแห่งชีวิต (Earthing)

ดึงกระแสลงดินเพื่อความปลอดภัยของมนุษย์



เซอร์กิตเบรกเกอร์: เทคโนโลยีการดับอาร์ค (Arc Quenching)



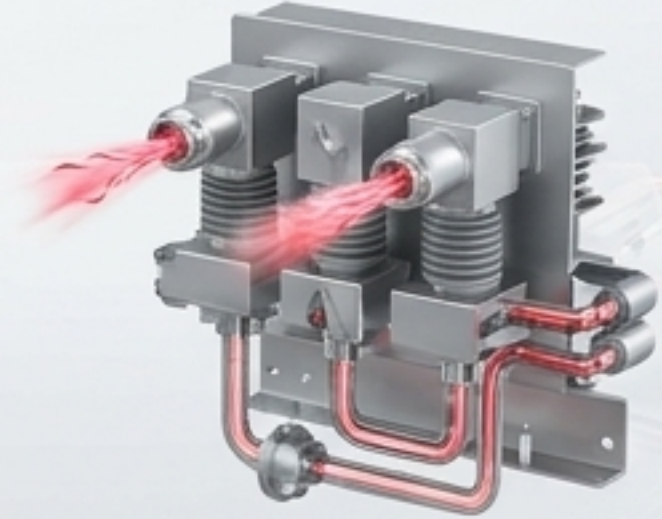
Vacuum (VCB)

- ตัดกระแสเร็วมาก / อายุการใช้งานยาวนาน
- **ข้อควรระวัง:** เกิดแรงดันเกินจากการสวิตช์ (ต้องมี Surge Absorber)



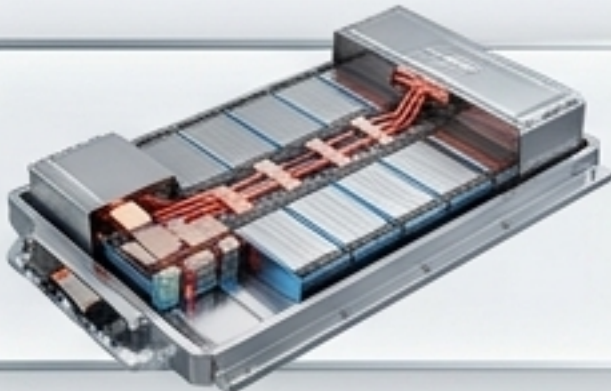
SF6 Gas

- ดับอาร์คแบบ Soft Switching แรงดันเกินต่ำ
- เหมาะกับหม้อแปลงและมอเตอร์
- **ข้อควรระวัง:** เป็นก๊าซเรือนกระจกชั้นรุนแรง



Air Blast

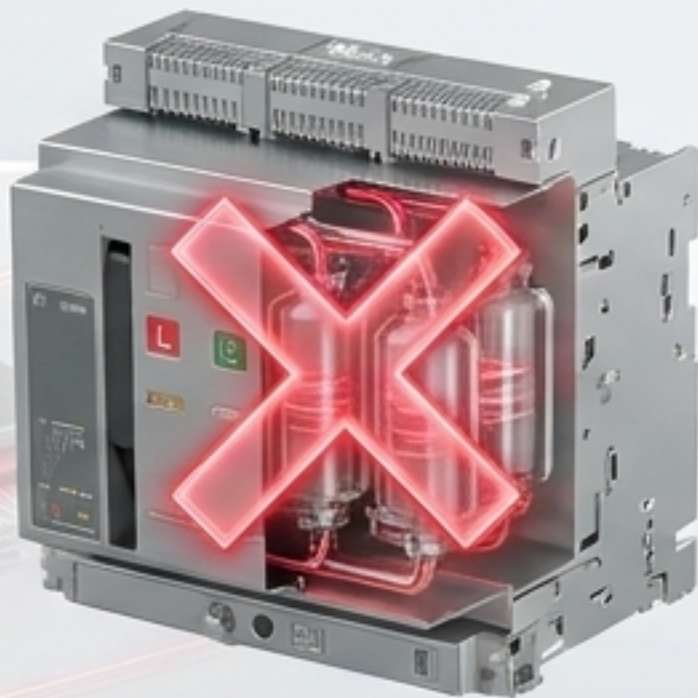
- โครงสร้างเข้าใจง่าย / ปลอดภัยจากสารเคมี
- **ข้อควรระวัง:** ต้องมีระบบอัดอากาศที่ซับซ้อนสูง



BDU/PDU ในยานยนต์ไฟฟ้า: ใช้ Pre-charge Contactor ชาร์จล่วงหน้าผ่านตัวต้านทาน ป้องกันกระแสกระชากจนหน้าสัมผัสหลอมติดกัน

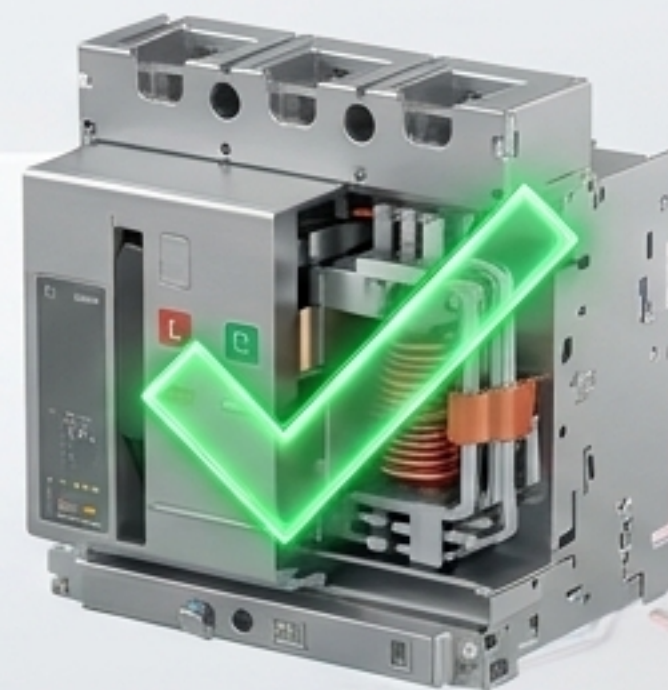


ภัยแฝงจากสายนิวทรัลขาด (Broken Neutral & RCDs)



VD (Voltage Dependent)

แผงวงจรสูญเสียไฟเลี้ยง
ไม่ทำงานเมื่อนิวทรัลขาด
ปล่อยกระแสรั่วค้างในระบบ
(อันตรายถึงชีวิต!)



VI (Voltage Independent)

อาศัยความต่างกระแสแม่เหล็ก
ยังคงทำงานตัดวงจรได้
ปกป้องชีวิตได้ 100% แม่นิวทรัลหลุด

Safety Standard (IEC Zone 2) :

พิกัดปลอดภัย = ตัดกระแสรั่วไหล 30mA ภายในระยะเวลา 20-30 มิลลิวินาที

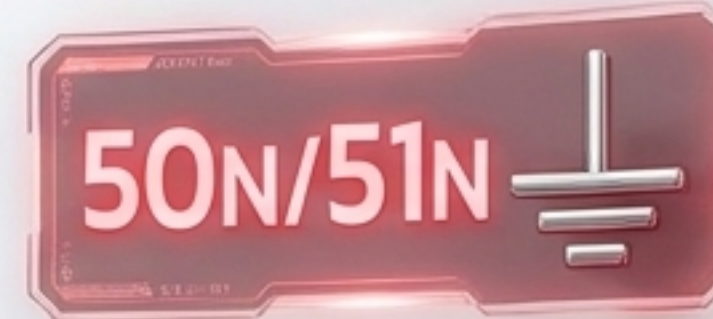
รหัสมองกลสั่งการ (ANSI/IEEE Protection Relays)



Instantaneous:
ตัดวงจรทันที (ไม่หน่วงเวลา)
สำหรับลัดวงจรรุนแรง



Time Overcurrent:
หน่วงเวลาแบบแปรผกผัน
(กระแสยิ่งสูง ยิ่งตัดเร็ว)



Ground:
ความไวสูง
ตรวจจับกระแสลัดวงจรลงดิน



Directional:
ตรวจจับทิศทางกระแส
ป้องกันการรีฟลัคในระบบวงรอบ



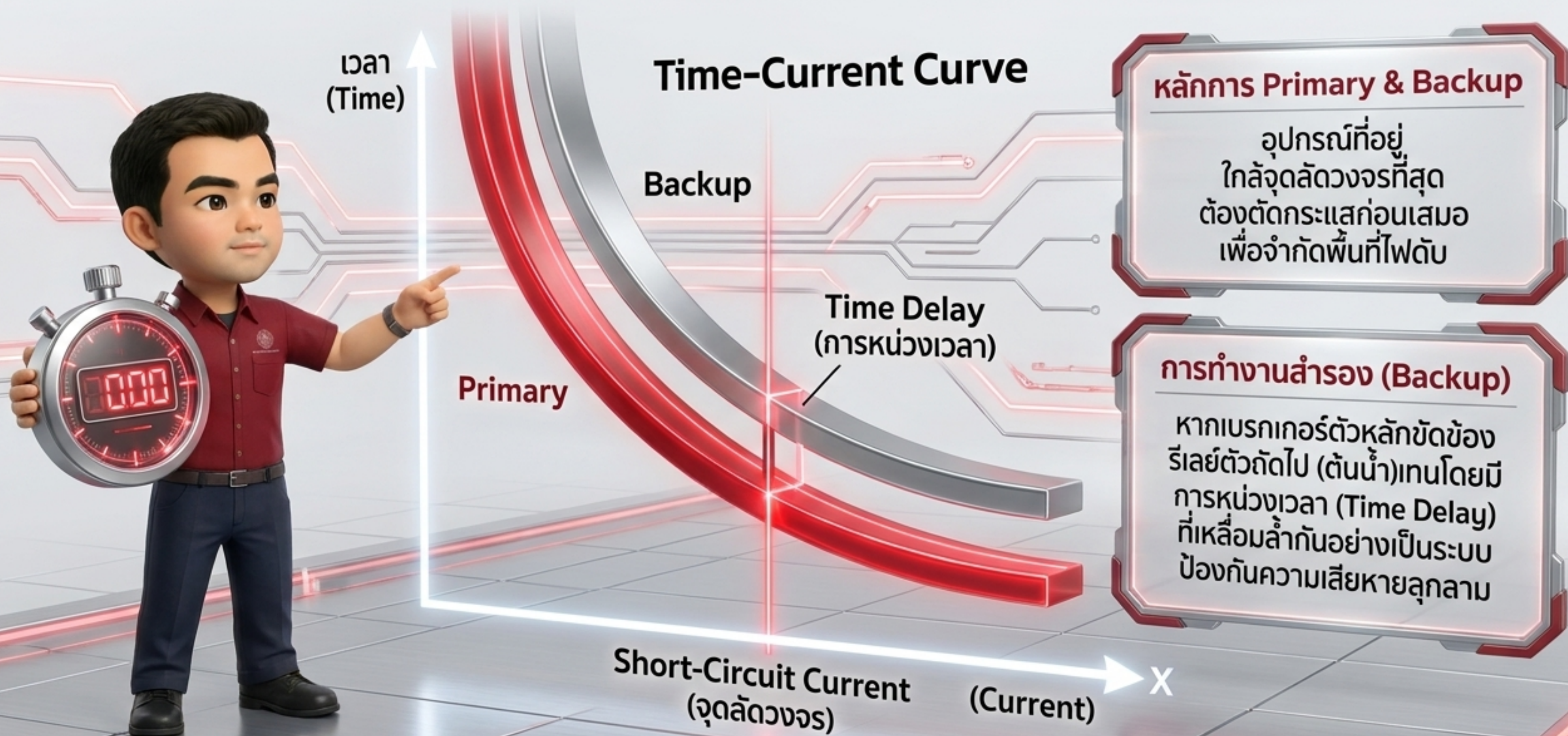
Differential:
ตรวจสอบผลต่างกระแสเข้า-ออก
(หม้อแปลง > 5 MVA)



Distance:
คำนวณอิมพีแดนซ์ตาม
ระยะทางสายส่ง



การประสานสัมพันธ์ (Relay Coordination)



ศัตรูของฉนวน: ชนิดของแรงดันเกิน (Types of Overvoltage)

ฟ้าผ่า (Lightning Overvoltage)

หน้าคลื่นชันรุนแรงแบบอิมพัลส์
เป็นเกณฑ์หลักออกแบบ
ฉนวนระบบต่ำกว่า 230 kV

สวิตชิง
(Switching Overvoltage)
หางคลื่นยาว สะสมความเค้น (Stress)
ระดับมิลลิวินาที
วิกฤตสำหรับระบบ 245 kV ขึ้นไป

ความถี่ใช้งาน
(Temporary Overvoltage - TOV)
เกิดจาก Ferranti Effect หรือ Resonance
ดันรูปคลื่นไซน์ปกติให้พุ่งสูงขึ้น

ฟ้าผ่า (Lightning Overvoltage)

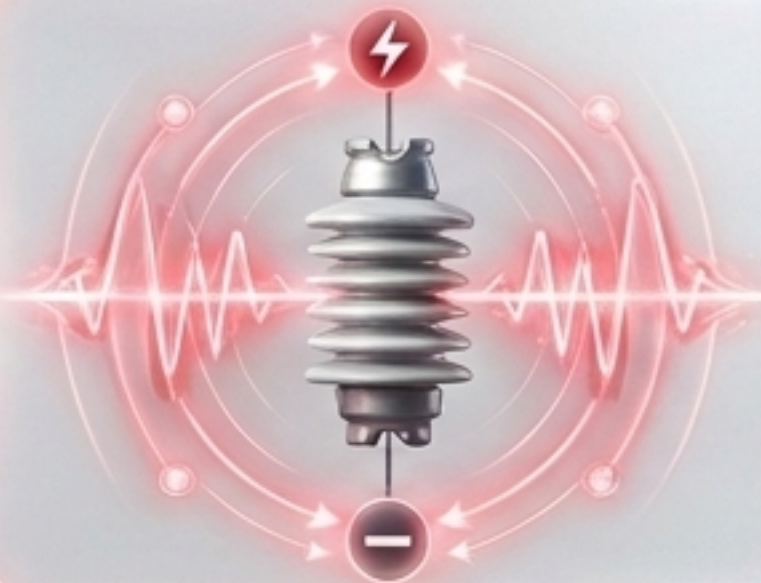
หน้าคลื่นชันรุนแรงแบบอิมพัลส์
เป็นเกณฑ์หลักออกแบบฉนวนระบบต่ำกว่า 230 kV

มาตรฐานการทดสอบฉนวน (Insulation Testing)



50% Dry Impulse

หาพิกัดแรงดันอ้างอิงเชิงสถิติ
(วาทไฟ 50% ของการป้อนสัญญาณ)



Impulse Withstand (BIL)

ป้อนอิมพัลส์ชั่วบวค/ลบ
อย่างละ 5 ครั้งต่อเนื่อง
ต้องไม่พัง



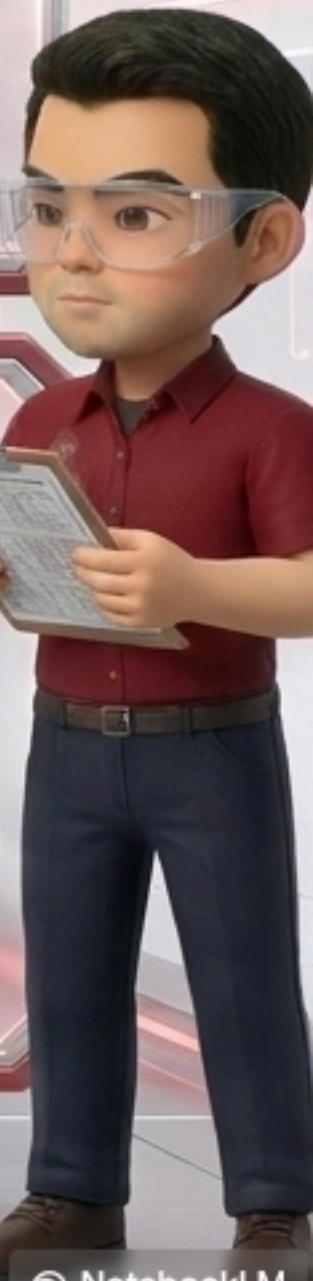
Dry/Wet 1-Minute

ป้อนแรงดันความถี่ใช้งานบกพื้น
ในสภาวะแห้งและเปิดน้ำตามล้า



Thermal Shock

จุ่มสลับอ่างน้ำร้อน-เย็น
(ต่างกัน 70°C) 3 รอบ
ทดสอบเนื้อเคลือบแตกร้า



4 รูปแบบการต่อลงดินของจุดนิวทรัล (Neutral Grounding)

Solidly (ต่อตรง)

อิมพีแดนซ์เป็นศูนย์
แรงดันเฟสคงที่
แต่กระแสลัดวงจร
ลงดินจะสูงมาก

Resistance (ผ่านความต้านทาน)

จำกัดกระแสลัดวงจรลงดิน
ลดความร้อนเชิงกล

Reactance / Peterson Coil

อาศัยการสั่นพ้อง (Resonance)
หักล้างกระแสที่จุดลัดวงจร

Unearthed (ไม่ต่อลงดิน)

ปล่อยลอย จ่ายไฟต่อ
ได้ชั่วคราวเมื่อเกิดฟอลต์
แต่นวนเฟสอื่นจะเครียด

ประสิทธิภาพการต่อลงดิน (Coefficient of Earthing: COE)

เป้าหมาย: การจำกัดแรงดันเกินเมื่อเกิดฟอลต์เฟสเดียวลงดิน

$$\text{COE} = \frac{E_{\text{LG}}}{E_{\text{LL}}} \times 100\%$$

(สัดส่วนระหว่างแรงดันเทียบดินขณะฟอลต์เทียบกับแรงดันระหว่างเฟสปกติ)

เกณฑ์ Effective Grounding (COE < 0.7):

ระบบจะเสถียรเมื่ออิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์และลำดับลบสอดคล้องกับเงื่อนไข:

$$R_0 \leq X_1$$

$$X_0 \leq 3X_1$$



อันตรายที่มองไม่เห็น: GPR, Touch & Step Voltage

GPR (Ground Potential Rise):

ศักย์ไฟฟ้าของดินพุ่งสูงขึ้นเมื่อระบายกระแส
ลัดวงจรปริมาณมหาศาลลงตรง

$$GPR = I_G \times D_f \times R_g$$

Step Voltage (แรงดันก้าว):

ความต่างศักย์ระหว่างเท้าสองข้าง
ที่ก้าวเดินบนพื้น



Touch Voltage (แรงดันสัมผัส):

ความต่างศักย์ระหว่างมือที่แตะตู้โลหะ
กับเท้าที่เหยียบพื้น



พิกัดความทนทานของมนุษย์ (Human Tolerance Limits)

เป้าหมาย: ป้องกันภาวะหัวใจห้องล่างเต้นพลิ้ว (Ventricular Fibrillation) อันตรายถึงชีวิต

สำหรับคนน้ำหนัก 50 กก.

พิกัดรับแรงดันต่ำกว่า ต้องออกแบบ
เพื่อความปลอดภัยที่เข้มงวดกว่า

$$E_{\text{touch(tol)50}} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{\text{step(tol)50}} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$$

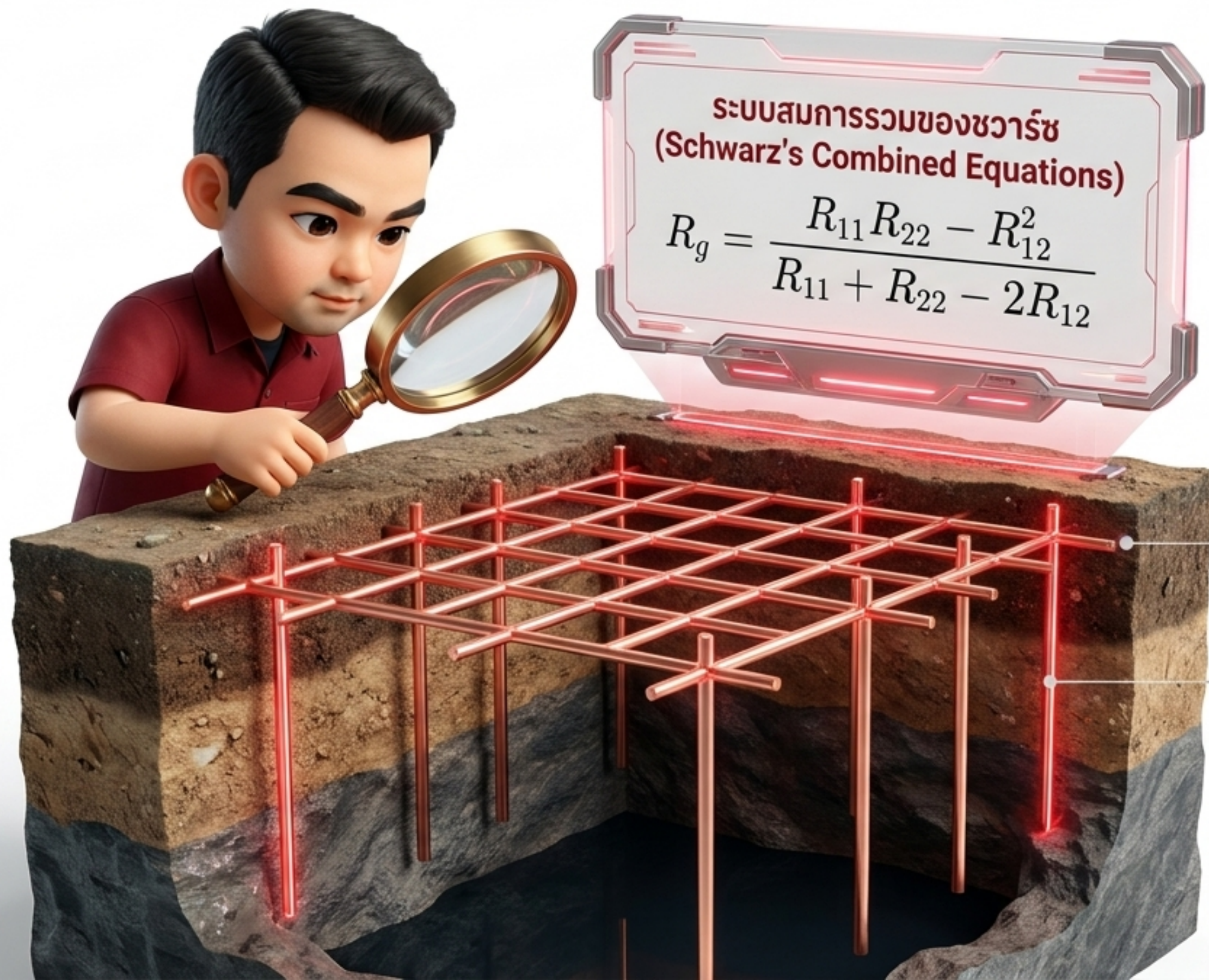
สำหรับคนน้ำหนัก 70 กก.

พิกัดรับแรงดันสูงขึ้นตามมวลร่างกาย
(อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std 80)

$$E_{\text{touch(tol)70}} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{\text{step(tol)70}} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$$

การคำนวณความต้านทานตระแกรงดิน (Schwarz's Equation)



องค์ประกอบของความต้านทานรวม (R_g):

- R_{11} : ความต้านทานของตัวนำแนวระนาบ (โครงตระแกรง)
- R_{22} : ความต้านทานของหลักดินแนวตั้ง (Ground Rods)
- R_{12} : ความต้านทานร่วม (อิทธิพลระหว่างตระแกรงและหลักดิน)

มาตรฐานการติดตั้งของไทย (วสท. / EIT)



1 ระบบบังคับ TN-C-S

ต้องต่อสายนิวทรัล (N) และสายดิน (G) ร่วมกัน
ที่แผงสวิตช์ประธานเพียงจุดเดียวเท่านั้น
ห้ามต่อปลายน้ำเด็ดขาด

2 สเปกหลักดิน (Ground Rod)

เหล็กหุ้มทองแดงขนาด 5/8 นิ้ว / ยาวไม่น้อย
กว่า 2.4 เมตร / ค่าความต้านทานดินเป้าหมาย
< 5 โอห์ม

3 รหัสสายไฟประธาน

- L (Line) = สีนํ้าตาล
- N (Neutral) = สีนํ้าเงิน
- G (Ground) = สีเขียวแถบเหลือง

บทสรุปเชิงรุก: บุรณาการ 4 ปรากฏการณ์เพื่อความปลอดภัยสูงสุด

