

hungnd@hcmut.edu.vn





Nội dung

Tiếp xúc trực tiếp vào điện

Tiếp xúc gián tiếp vào điện áp

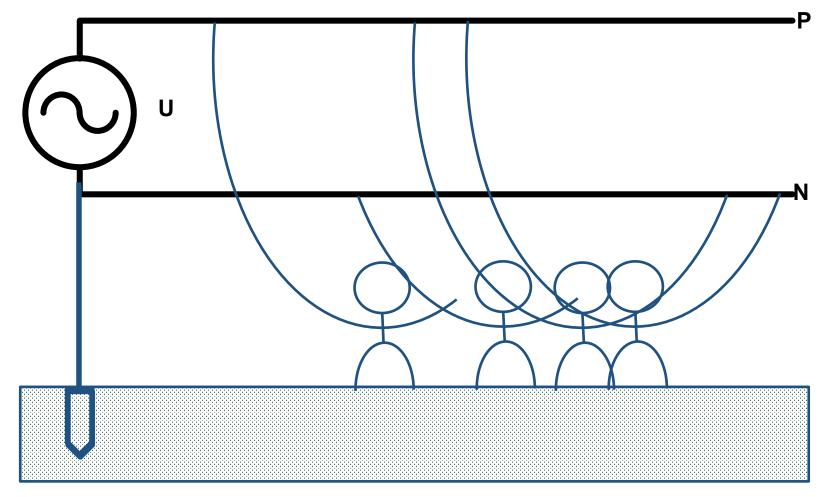
Ví dụ



I. TIẾP XÚC TRỰC TIẾP VÀO ĐIỆN

I.1 Lưới điện đơn giản (Mạng 1 pha hoặc điện DC)

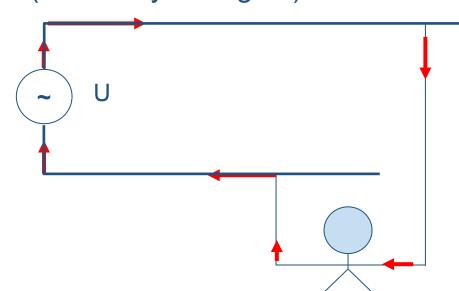
Mạng 1 pha hoặc điện DC



I.1 Lưới điện đơn giản (Mạng 1 pha hoặc điện DC)

1- Chạm trực tiếp vào 2 cực của mạng

 $U_{tx} = U_{ng} \cong U_{pha}$ không phụ thuộc tình trạng vận hành của mạng điện (có tải hay không tải)



$$I_{ng} = \frac{U_{pha}}{R_{ng} + R_{dây}}$$

 $R_{day} \ll R_{ng}$, suy ra:

$$I_{ng} = \frac{U_{tx}}{R_{ng}}$$

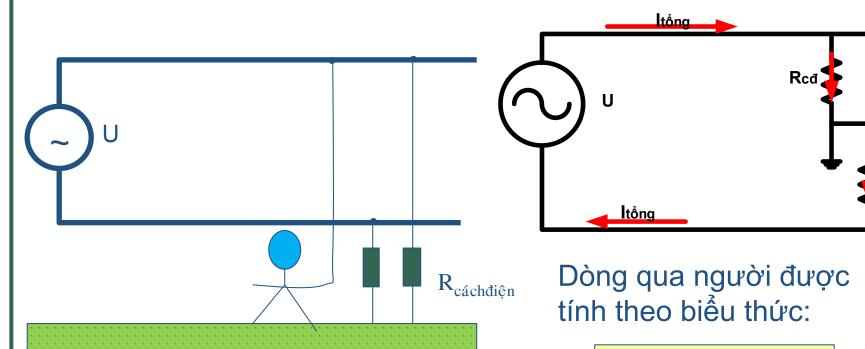
Ví dụ: mạng 1 pha 220V \rightarrow Chạm trực tiếp vào 2 cực của mạng thì U_{ng} = 220V.

$$\rightarrow$$
 Vậy $U_{nq} > U_{cp} = 50V$

Nếu R_{ng} = 2 k Ω ; I_{ng} = 110 mA >> 10mA \rightarrow <u>Rất nguy hiểm</u>

Mạng không nối đất

* Chạm 1 dây trong trạng thái mạng bình thường



$$I_{ng} = \frac{U}{R_{cd} + 2R_{ng}}$$

Rcđ

Mang không nối đất

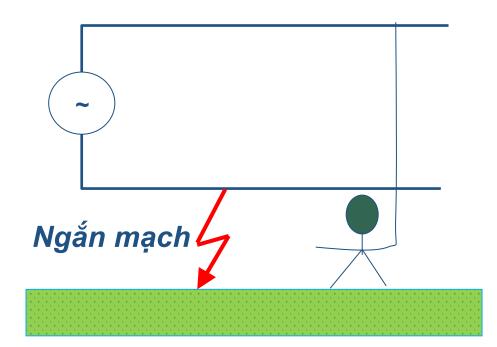
→ Xác định điện trở cách điện cần thiết cho các mạng điện cách ly bảo vệ an toàn chống chạm điện trực tiếp ở mạng hạ áp:

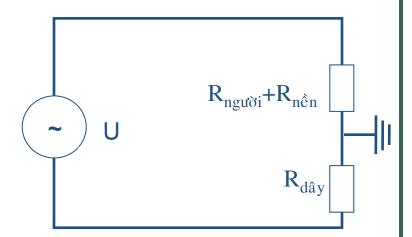
$$I_{ng} = \frac{U}{R_{cd} + 2R_{ng}} < I_{g.h.ng.hiem}$$

$$\Rightarrow R_{cd} > \left(\frac{U}{I_{g.h.ng.hiem}} - 2R_{ng}\right)$$

- \Box <u>Ví dụ:</u> Xét R_{ng}=1000Ω, U=220V, I_{g.h.ng.hiểm}= 10mA R_{cđ} \geq 220/0,01 – 2*1000 = 20 kΩ
- \checkmark Vậy để đảm bảo người sử dụng không bị điện giật (I_{ng} <10mA), cách điện của mạng điện hạ thế cách ly (380/220V) phải được chế tạo với R_{cd} > 20 kΩ

Mạng không nối đất Chạm vào 1 dây khi dây còn lại bị ngắn mạch xuống đất



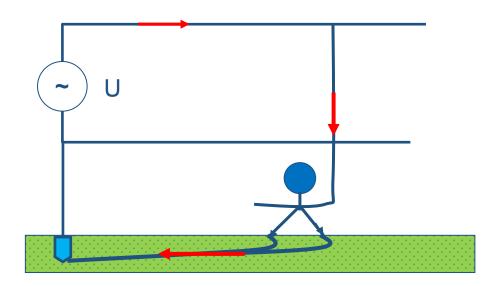


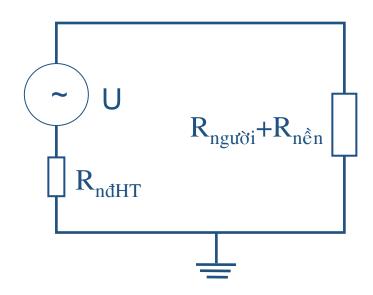
Chạm 1 cực, cực còn lại bị chạm đất trong mạng không nối đất

Dòng qua người:

$$I_{\text{người}} = \frac{U}{R_{\text{nền}} + R_{\text{người}} + R_{\text{dây}}}$$

Mạng có nối đất: Chạm vào dây pha



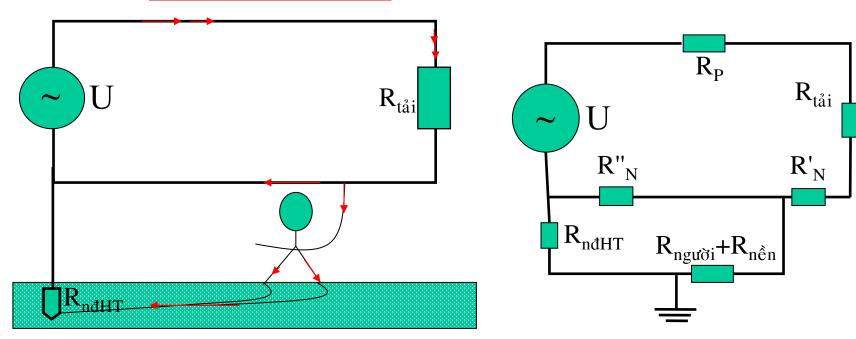


$$U_{tx} = U_{pha}$$
, bỏ qua R_P , $Z_{tải}$ và R_N

Dòng qua người:

$$I_{\text{người}} = \frac{U}{R_{\text{nền}} + R_{\text{người}} + R_{\text{nốiđấtHT}}}$$

Mạng có nối đất: Chạm vào dây trung tính

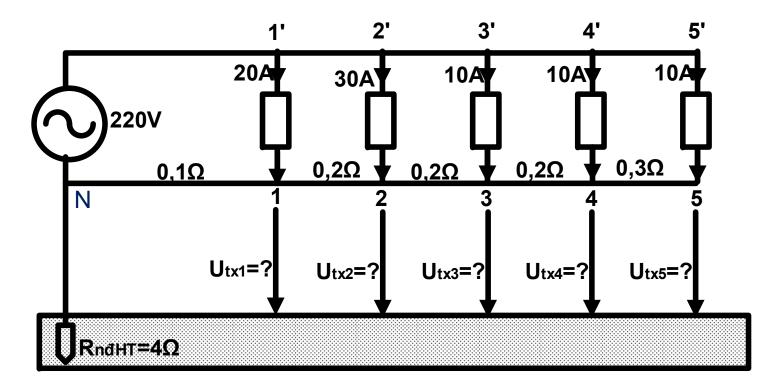


Phụ thuộc vị trí chạm trên dây trung tính:

$$U_{tx} = I_{t\dot{a}i}$$
. $R_{N"} = U_{trung\ tính\ tại\ vị\ trí\ chạm\ so\ với\ đất}$ bỏ qua ảnh hưởng của nhánh rẽ qua R_{ng} (vì $R_{ng} >> R_{N"}$)

Thực tế ở mạng U = 220/380V, R_N rất bé \rightarrow $U_{trung tính-max} \sim 5\% \ U_{pha}$





Tính điện áp tiếp xúc khi người đứng dưới đất, chạm tay vào trung tính tại các vị trí từ 1 đến 5. Kết luận về an toàn khi U_{cp} =25V. Cho $cos\phi \cong 1$ với cả 5 tải.

<u>Ví du 1:</u>

✓ Dòng điện qua các đoạn dây:

$$I_{54}=10A; I_{43}=20A; I_{32}=30A;$$

$$I_{21}$$
=60A; I_{1N} =80A

✓ Điện áp tiếp xúc 1:

$$U_{tx1}=R_{1N}.I_{1N}=0,1.80=8V < U_{cp}=25 V => An toàn$$

✓ Điện áp tiếp xúc 2:

$$U_{tx2} = U_{tx1} + R_{21} * I_{21} = 8 + 0, 2.60 = 20 V < U_{cp} = > An toàn$$

✓ Điện áp tiếp xúc 3:

$$U_{tx3} = U_{tx2} + R_{32} I_{32} = 20 + 0,2.30 = 26V > U_{cp} = Nguy hiểm$$

✓ Điện áp tiếp xúc 4:

$$U_{tx4} = U_{tx3} + R_{43} * I_{43} = 26 + 0,2.20 = 30V > U_{cp} = Nguy hiểm$$

✓ Điện áp tiếp xúc 5:

$$U_{tx5} = U_{tx4} + R_{54} * I_{54} = 30 + 0, 3.10 = 33V > U_{cp} = Nguy hiểm$$

3 - Mạng cách điện với đất có điện dung lớn

- □ Do trị số C lớn, trong quá trình vận hành sẽ xảy ra hiện tượng cảm ứng và tích lũy điện tích q=C.U trên đường dây.
- □ Khi cắt nguồn do lượng q tích được nên điện áp trên các dây tại thời điểm cắt nguồn khác 0 và bằng U_{dư} U_{dư} tắt dần theo hàm mũ.
- □ Người chạm vào 2 dây tại thời điểm mạng vừa cắt nguồn.
- Dòng I_{ng} này không chỉ nguy hiểm do trị số có thể lớn, thời gian tồn tại phụ thuộc R_{ng} và C₁₁, C₁₂ mà còn nguy hiểm do nhiệt lượng sinh ra làm đốt nóng thân thể.

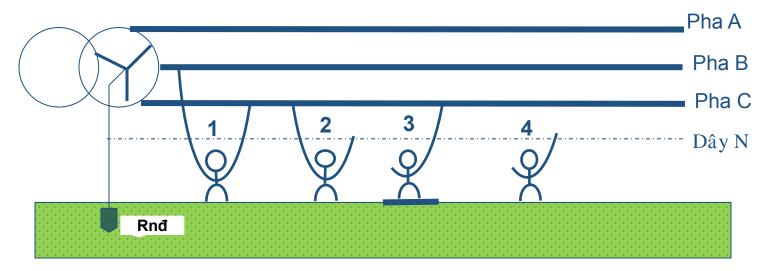
$$U_{du'} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I_{\text{người}} = \frac{U_{\text{dử}}}{R_{\text{người}}} = \frac{U_{0}}{R_{\text{người}}} e^{\frac{-t}{R_{\text{người}}C}}$$

$$W = \frac{1}{2}CU^2(Joule)$$

Để đảm bảo an toàn, khi cắt điện để sửa chữa, cần nối đất các đầu dây để xả hết điện tích dư xuống đất trước khi có người thao tác.

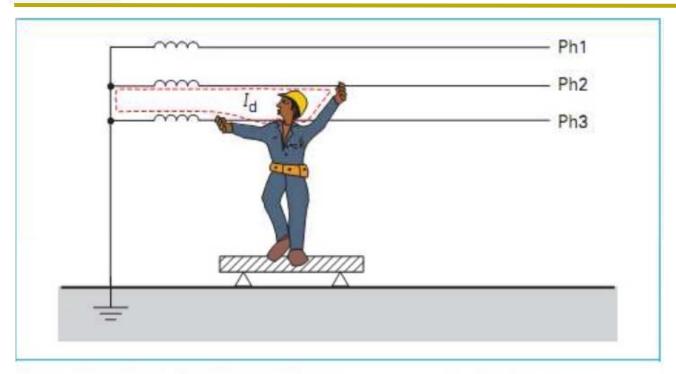
Mạng có nối đất



Chạm trực tiếp pha-pha (1), pha-N (2); pha- đất (3): U_{ng} ~ U_{pha, dây}

$$I_{ng3} = \frac{U_{pha}}{R_{ng} + R_{nen} + R_{nd}}$$

Điều kiện an toàn I_{ng} < 10mA



Mạng có nối đất

Chạm vào 2 dây

Chạm trực tiếp hai pha trong mạng trung tính nối đất 220/380V

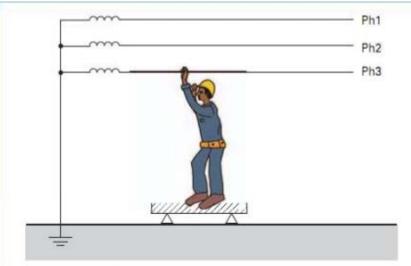
☐ Chạm vào 2 dây pha:

$$U_{tx} = U_{dav} = 380V \rightarrow \mathbf{Rat} \ \mathbf{nguy} \ \mathbf{hiểm}$$

☐ Chạm vào 1 dây pha và dây trung tính:

$$U_{tx} = U_{pha} = 220V \rightarrow Nguy hiểm$$

Mạng có nối đất: Chạm vào 1 dây pha



(có điện trở nền dưới chân nạn nhân)

Chạm trực tiếp một pha trong mạng trung tính nối đất

Chạm trực tiếp một p

Ph1
Ph2
Ph3

Chạm trực tiếp một pha trong mạng trung tính nối đất (không có điện trở nền dưới chân nạn nhân)

- ✓ Khi người chạm trực tiếp vào 1 pha: U_{ng} ~ U_{pha}
- \checkmark Nếu $R_{n en \ be}$ dòng I_{ng} sẽ đủ lớn khiến người bị nguy hiểm:

$$I_{ng} = \frac{U_{pha}}{R_{ng} + R_{nen} + R_{nd}}$$

Mạng có nối đất: Chạm vào dây trung tính

Chạm vào dây trung tính, $U_{ti\acute{e}px\acute{u}c}$ phụ thuộc tình trạng mang tải và trạng thái dây trung tính.

- \Box Khi tải 3 pha đối xứng, $U_{ti\acute{e}p\ x\acute{u}c}\sim 0$, không phụ thuộc tình trạng dây trung tính.
- ☐ Khi tải 3 pha không đối xứng, $U_{ti\acute{e}p \ x\acute{u}c} \neq 0$, phụ thuộc tình trạng dây trung tính.
 - Sụt áp từ trung tính tải đến trung tính nguồn (trung tính tải có nối vào trung tính nguồn):

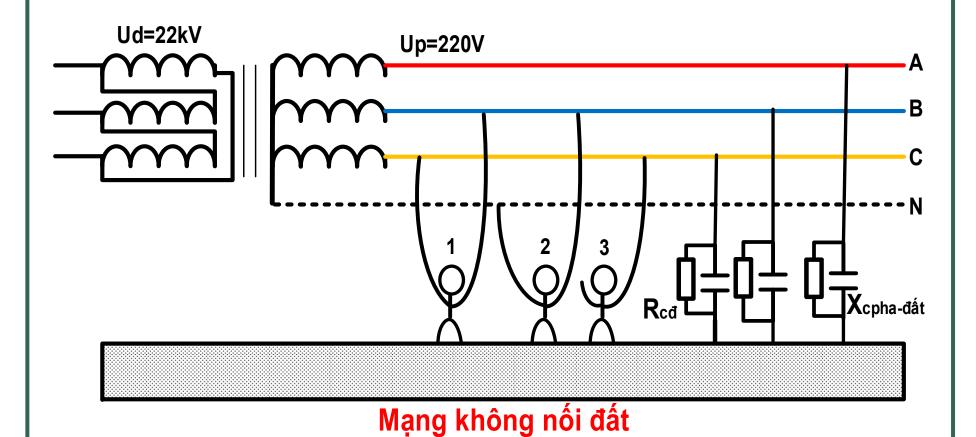
$$U_{\text{tiếp xúc}} = I_{\text{tải}}$$
. $R_{\text{N"}} = U_{\text{trung tính tại vị trí chạm so với đất}}$

❖ Dây trung tính bị đứt → tình trạng trôi trung tính:

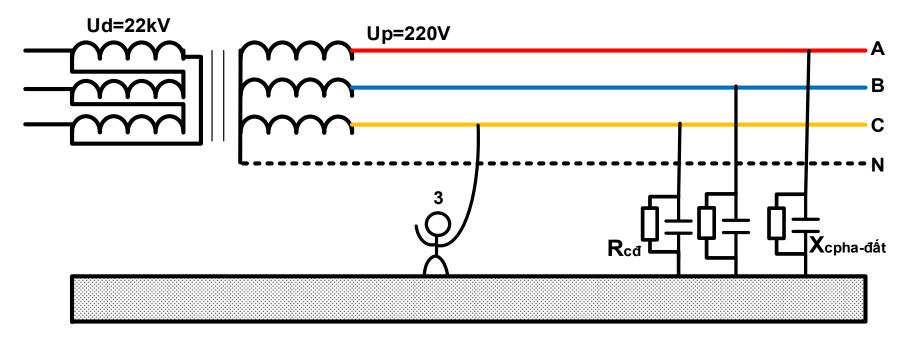
$$\dot{U}_{tx} = \frac{\dot{U}_{A} * \dot{Y}_{A} + \dot{U}_{B} * \dot{Y}_{B} + \dot{U}_{C} * \dot{Y}_{C}}{\dot{Y}_{A} + \dot{Y}_{B} + \dot{Y}_{C}}$$

Y là tổng dẫn của các pha so với trung tính

Mạng có trung tính cách ly hoặc nối đất qua tổng trở có giá trị lớn



Mạng trung tính cách ly / nối đất qua tổng trở có giá trị lớn

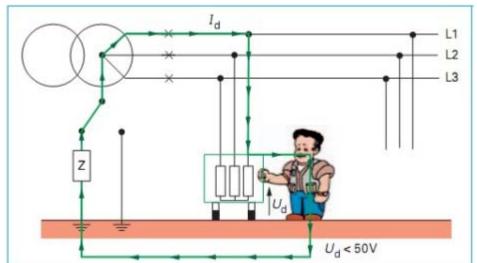


- ☐ Người chạm vào 1 trong 3 pha đang có điện:
- ✓ Bổ qua X_C (X_C ~ ∞), chỉ xét $R_{c\bar{d}}$ ✓ Bổ qua $R_{c\bar{d}}$ ($R_{c\bar{d}}$ ~ ∞), chỉ xét X_C

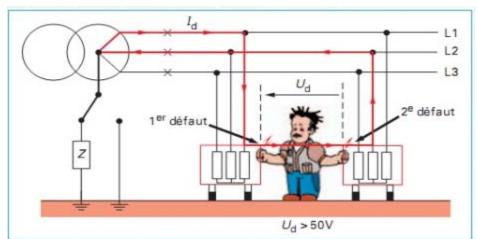
$$I_{ng} = \frac{3U_{pha}}{3R_{ng} + R_{cd}}$$

$$I_{ng} = \frac{3U_{pha}}{\sqrt{9R_{ng}^2 + X_C^2}}$$

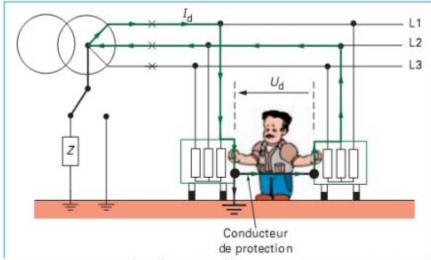
Mạng trung tính cách ly / nối đất qua tổng trở có giá trị lớn



Đường đi của dòng điện trong mạng trung tính được cách ly hoặc nối đất qua điện trở



Đường đi của dòng điện khi chạm vào 2 pha trong mạng trung tính cách ly



Vai trò của nối đất vỏ thiết bị khi chạm vào 2 pha trong mạng trung tính cách ly



II. TIẾP XÚC GIÁN TIẾP VÀO ĐIỆN

Hiện tượng dòng điện đi vào đất

- ☐ Khi dây pha bị đứt rơi xuống đất
- □ Khi thiết bị điện bị chạm vỏ do hư hỏng cách điện, vỏ thiết bị được nối đất qua điện trở tiếp đất R_d.

Trong 2 trường hợp này, dòng điện sự cố sẽ chạy giữa vị trí chạm đất hoặc điện cực nối đất, tỏa ra môi trường đất chung quanh để trở về nguồn hoặc

đi qua điện cực nối đất khác.

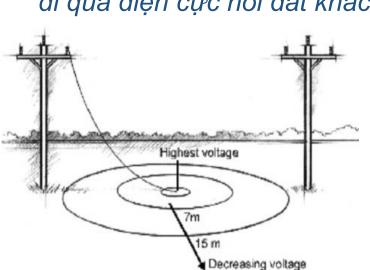
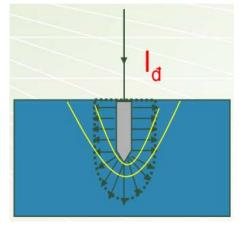
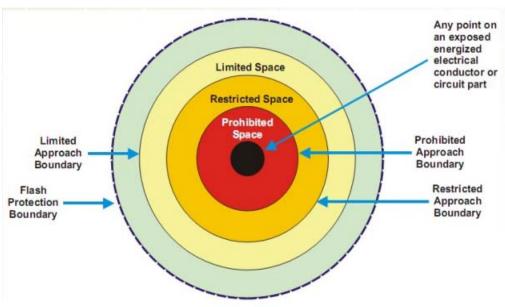


Figure 37 Step Potential "Voltage Ring"





Đường đẳng thế trên mặt đất

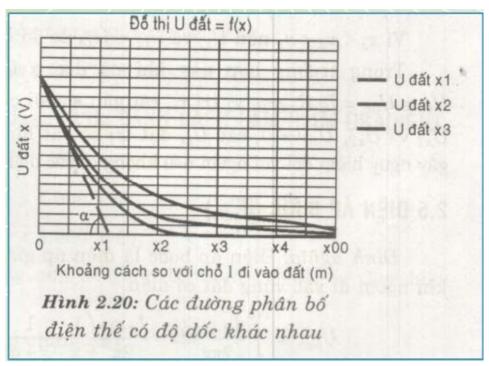
Table 3-1. Qualified Worker Minimum Working Distances

Nominal System Voltage Range Phase to Phase (1)	Flash Protection Boundary	Limited Approach Boundary		Minimum Working Distance (3) (4)	Prohibited Approach Boundary
	From Phase to Phase Voltage	Exposed Movable Conductor	Exposed Fixed Circuit Part	Includes Standard Inadvertent Movement Adder	Includes Reduced Inadvertent Movement Adder
50 V to 300 V	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	3 ft 6 in (1.07 m)	Avoid contact	Avoid contact
>300 V to 750 V	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	3 ft 6 in (1.07 m)	1 ft 0 in (304.8 mm)	0 ft 1 in (25.4 mm)
>750 V to 15 kV	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	5 ft 0 in (1.53 m)	2 ft 2 in (660.4 mm)	0 ft 7 in (177.8 mm)
>15 kV to 36 kV	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	6 ft 0 in (1.83 m)	2 ft 7 in (787.4 mm)	0 ft 10 in (254.0 mm)
>36 kV to 46 kV	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	8 ft 0 in (1.83 m)	2 ft 9 in (838.2 mm)	1 ft 5 in (431.8 mm)
>46 kV to 69 kV	(2)	10 ft 0 in (3.05 m)	8 ft 0 in (1.83 m)	3 ft 2 in (965.2 mm)	2 ft 1 in (635.0 mm)

Notes for Table 3-1:

- 1. For single phase systems select the range that is equal to the system's maximum phase to ground voltage times 1.732.
- 2. The flash protection boundary is determined by a flash hazard analysis. Refer to Paragraph 4-4 for PPE requirements for the intended work location.
- 3. The minimum working distance is defined as the distance between energized parts and grounded objects without insulation, isolation, or guards.
- 4. The minimum working distance applied to hot sticks is the distance between a worker's hand and the working end of the stick.

Độ tăng thế của đất (Potential Gradient)



Dộ tăng điện áp (GPR – Ground Potential Rise) tại điểm có tọa độ x_A ≠ ∞ so với chỗ có dòng l_đ đi vào đất:

$$V_{dx} = \frac{I_{d} \times \rho_{d}}{2\pi \times x} = \frac{K}{x}$$

Tại chỗ dòng đi vào đất x~0, U_đ đạt giá trị cực đại:

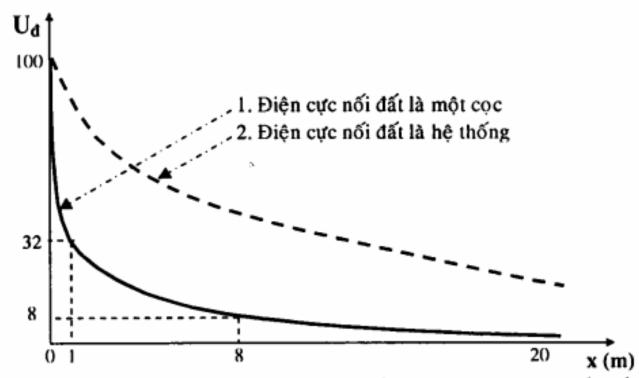
$$V_{\text{max}} = I_{\text{dát}} \cdot R_{\text{nối dát}}$$

> Độ dốc của đường phân bố thế:

$$\alpha = arctg \frac{\Delta U}{\Delta x}$$

 α càng lớn, mối nguy hiếm do điện áp tiếp xúc hoặc điện áp tiếp xúc càng lớn.

Độ tăng thế của đất (Potential Gradient)



Hình 1.9. Quan hệ giữa U_d và khoảng cách x từ cực nối đất

(Nguồn: An toàn điện – Quyền Huy Ánh)

Điện áp bước (U_{bước})

Điện áp bước (U_{bước}, U_{step}) là điện áp giáng giữa 2 chân người khi người đi vào vùng đất có điện.

$$U_{\text{buoc}} = \int_{x}^{x+a} \frac{I_{d} \cdot \rho_{d}}{2\pi x^{2}} dx = \frac{I_{d} \cdot \rho_{d}}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_{d} \cdot \rho_{d} \cdot a}{2\pi \cdot x \cdot (x+a)}$$

$$U_{\text{bước}} = V_{\text{chân}} - V_{\text{chân}}$$

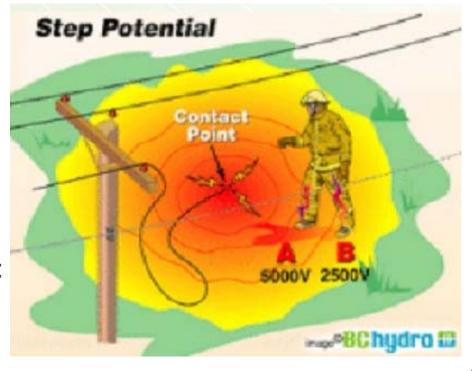
x: khoảng cách từ chỗ dòng đi vào đất đến chân người

a : khoảng cách bước chânρ_{đát} : điện trở suất của đất

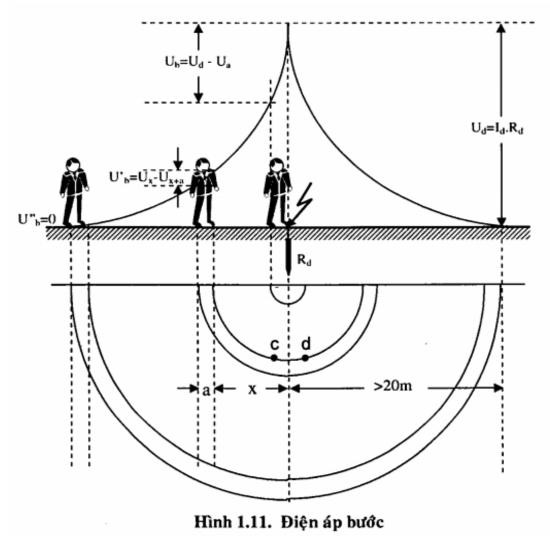
- ✓ Khi x \rightarrow 20m, U_{burớc} = 0
- ✓ Khi người đứng hai chân tại hai điểm của cùng 1 đường đẳng thế:

$$U_{\text{burórc}} = 0$$

✓ Khi người đứng chụm hai chân lại, a \rightarrow 0, $U_{\text{bước}} \rightarrow 0$



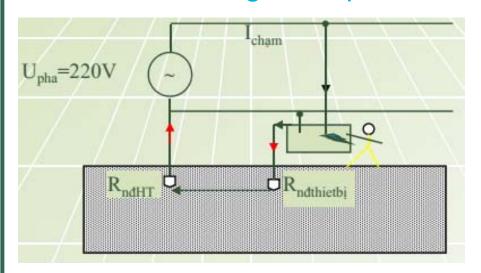
Điện áp bước (U_{bước})



(Nguồn: An toàn điện – Quyền Huy Ánh)

Điện áp tiếp xúc (U_{tiếpxúc} hay U_{touch})

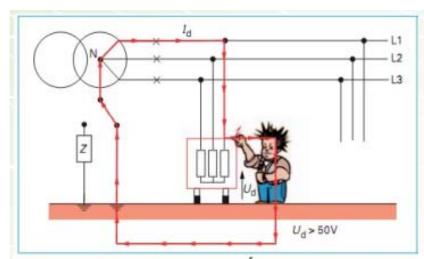
Là giá trị điện áp lớn nhất có thể đặt lên cơ thể người phụ thuộc tình trạng tiếp xúc trực tiếp hay gián tiếp và nhiều yếu tố khác, khi người tiếp xúc vào vật có điện áp.



 $U_{tx} = V_{tay} - V_{vi tri chân người đứng}$

Hay
$$U_{tx} = V_{tay} - V_{tay}$$

Hay
$$U_{tx} = V_{chân} - V_{chân}$$



Đường đi của dòng sự cổ trong mạng trung tính nối đất trực tiếp.

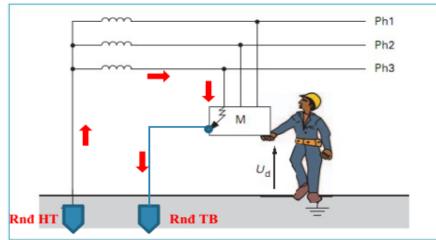
$$U_{tx} = I_{cham} .R_{nathi\acute{e}tbi}$$

Các biện pháp giảm U_{bước} và U_{tiếpxúc}

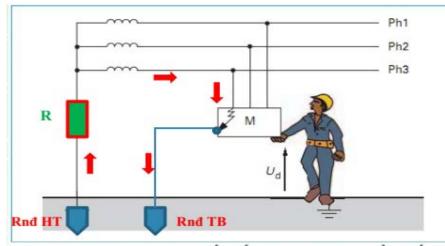
- 1. Giảm trị số dòng chạm đất
- Nối đất trung tính nguồn (máy phát hay máy biến áp) qua điện trở hoặc điện kháng.
- Cắt bớt trung tính nối đất của một vài máy phát hay máy biến áp làm việc song song.
- 2. Tăng chiều dài và số lượng cọc nối đất để giảm R_{nđ}
- 3. Sử dụng loại đất đặc biệt GEM (Ground Enhancement Material) để làm giảm $\rho_{\text{dất}}$.
- 4. Sử dụng lưới đẳng thế nối đất (earthing grids) để san bằng điện thế.

1. Giảm trị số dòng chạm đất

Nối đất trung tính nguồn (máy phát hay máy biến áp) qua điện trở hoặc điện kháng



Chạm gián tiếp trong mạng trung tính nối đất



Thêm R vào đường nối đất trung tính nguồn-đất

$$I_{cham} = \frac{U_{pha-cham}}{R_{day\Sigma} + R_{ndTB} + R_{ndHT}}$$

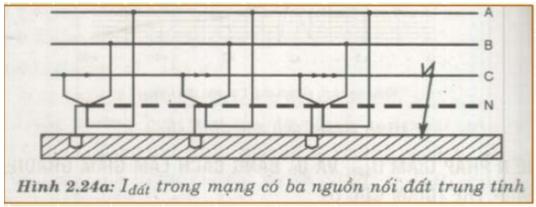
$$U_{tx} = R_{ndTB}.I_{cham}$$

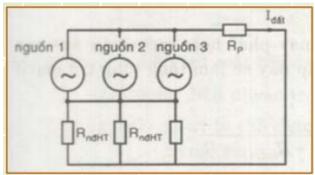
$$I_{cham} = \frac{U_{pha-cham}}{R_{day\Sigma} + R_{ndTB} + R_{ndHT} + R}$$

$$U_{tx} = R_{ndTB}.I_{cham}$$

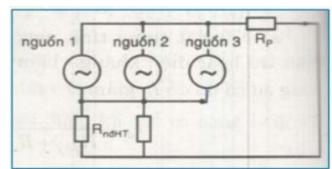
1. Giảm trị số dòng chạm đất

Cắt bớt trung tính nối đất của 1 vài máy phát hay máy biến áp làm việc song song





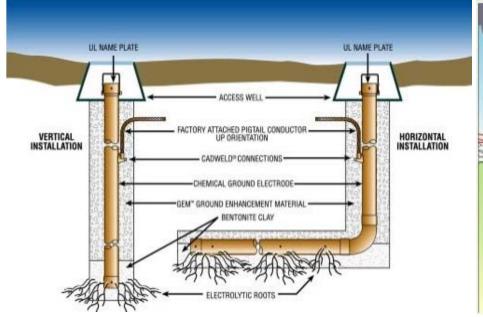
$$I_{dat} = \frac{U_{pha}}{R_{pha} + \frac{R_{ndHT}}{3}} = \frac{3U_{pha}}{3R_{pha} + R_{ndHT}}$$



$$I_{dat} = \frac{U_{pha}}{R_{pha} + \frac{R_{ndHT}}{2}} = \frac{2U_{pha}}{2R_{pha} + R_{ndHT}}$$

2. Giảm trị số điện trở nối đất

❖ Tăng chiều dài và số lượng cọc nối đất để giảm R_{nđ}



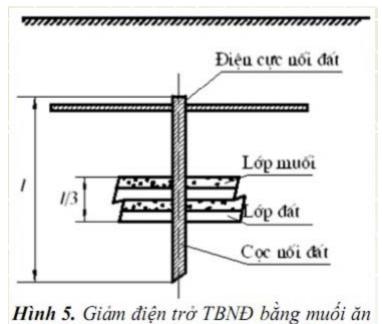


$$R_{nd} = \frac{\rho}{n.L}$$

- ✓ Là điện trở suất đất
- ✓ N là số lượng cọc
- ✓ L là chiều dài cọc

3. Giảm điện trở suất của đất

Giảm điện trở suất đất bằng muối ăn, than chì, bentonite, ... để làm giảm điện trở suất của đất

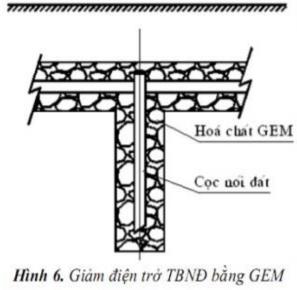


- Muối được đổ xung quanh cọc nối đất (0,5-1)m, tuần tự thành từng lớp xen kẽ với đất, chiều dày mỗi lớp khoảng (2-4)cm cho đến khi đạt khoảng 1/3 chiều dài cọc.
- > Có thể làm giảm điện trở suất đất xuống (1,5-2) lần với đất pha sét, (2,5-4) lần với đất pha cát và (4-8) lần với đất cát.
- Tuy nhiên, khi dùng muối, điện cực sẽ dễ bi ăn mòn, muối ăn bi tan theo nước mưa nên độ ổn định thấp.

3. Giảm điện trở suất của đất

Sử dụng loại đất đặc biệt GEM (Ground Enhancement Material) hay EEC (Earth Enhancing Compound) hay GRIP (Ground Resistance Improvement Powder) để giảm ρ_{đất}.

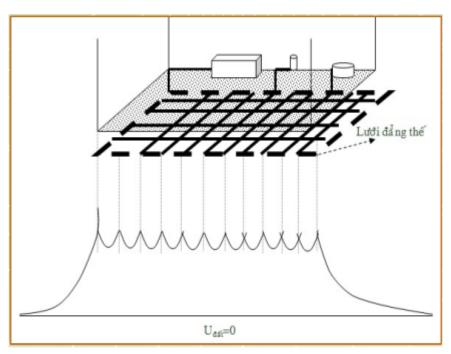


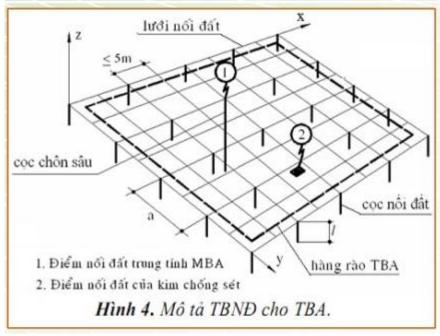


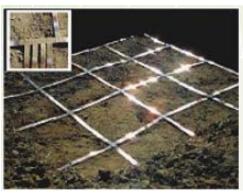
Thành phần chính của các chất này là hỗn hợp các oxit kim loại, không gây ô nhiễm môi trường, được trộn với các chất kết dính, có điện trở suất khoảng (10-12) Ωm

Các thử nghiệm tại hiện trường cho thấy có thể giảm khoảng (50-90)% điện trở suất đất khi dùng GEM, EEC.

4. Lưới đẳng thế nối đất (earthing grids)

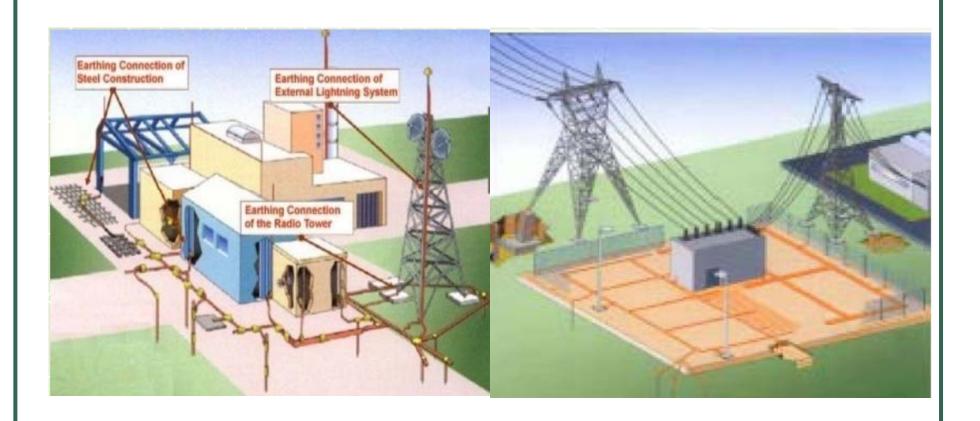




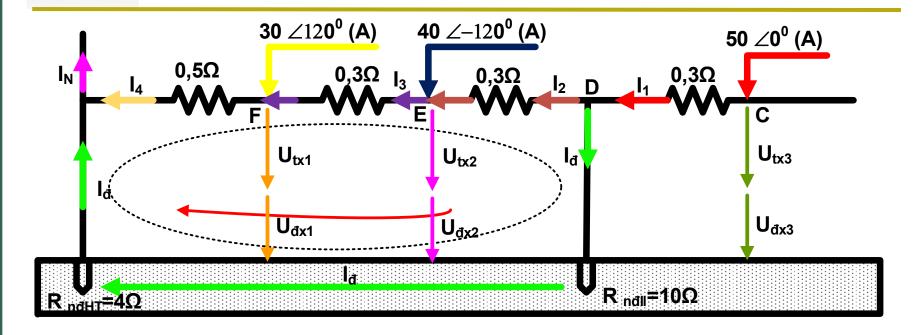


- Với các sân phân phối thiết bị của trạm biến áp hoặc nhà máy điện, phạm vi ảnh hưởng của sự phân bố điện thế lớn do I_{cham vỏ} = I_{đất} rất lớn.
- Sử dụng nối đất nhằm san phẳng độ tăng điện áp đất của toàn khuôn viên khi có l_{đất} đi vào lưới.

4. Lưới đẳng thế nối đất (earthing grids)



Bài tập 2.16



Sơ đồ mạch tương đương Bài tập 2.16

Viết phương trình dòng mắc lưới

$$0.3I_{2} + 0.3I_{3} + 0.5I_{4} - 14I_{d} = 0$$
 (1)
 $I_{2} = 50 \angle 0^{0} - I_{d}$ (2)
 $I_{3} = 40 \angle -120^{0} + I_{2} = 40 \angle -120^{0} + 50 \angle 0^{0} - I_{d} = 45.85 \angle -49.13^{0} - I_{d}$ (3)
 $I_{4} = 30 \angle 120^{0} + 40 \angle -120^{0} + 50 \angle 0^{0} - I_{d} = 17.32 \angle -30^{0} - I_{d}$ (4)

Bài tập 2.16

$$0.3I_{2} + 0.3I_{3} + 0.5I_{4} - 14I_{d} = 0$$
 (1)
 $I_{2} = 50 \angle 0^{0} - I_{d}$ (2)
 $I_{3} = 45.85 \angle -49.13^{0} - I_{d}$ (3)
 $I_{4} = 17.32 \angle -30^{0} - I_{d}$ (4)
 $0.3(50 \angle 0^{0} - I_{d}) + 0.3(40 \angle -120^{0} + 50 \angle 0^{0} - I_{d}) + 0.5(30 \angle 120^{0} + 40 \angle -120^{0} + 50 \angle 0^{0} - I_{d}) - 14I_{d} = 0$
 $I_{d} = 2.3 \angle -25^{0}$ (A)
 $I_{4} = 17.32 \angle -30^{0} - 2.3 \angle -25^{0} = 12.92 - 7.6j = 15 \angle -30^{0}$ (A)
 $I_{3} = 45.85 \angle -49.13^{0} - I_{d} = 27.92-33.7j = 43.76 \angle -50^{0}36$ (A)
 $I_{2} = 50 \angle 0^{0} - 2.3 \angle -25^{0} = 47.91+0.97j = 47.92 \angle 1.16^{0}$ (A)

Bài tập 2.16

b) Điện áp tiếp xúc

$$U_{tx1} = 0.5I_4 - 4I_d - U_{dx1} = 0.5.15 \angle -30^{\circ} - 4.2.3 \angle -25^{\circ} - \frac{100.2.3 \angle -25^{\circ}}{2\pi.15}$$

$$U_{tx2}$$
= 10 I_{d} - 0,3 I_{2} - U_{dx2} =10. 2,3 \angle -25 0 -0,3.47,92 \angle 1,16 0 - $\frac{100.2,3\angle-25^{0}}{2\pi.5}$

$$U_{tx3}$$
=10 I_{d} + 0,3 I_{1} - U_{dx3} =10. 2,3 \angle -25 0 -0,3.50 - 10. 2,3 \angle -25 0 =15 (V)

c) Đứt dây trung tính giữa ED

$$I_{tb3} = \frac{220}{14.3 + \frac{220}{50}} = 11,76 \text{ (A)}$$

$$U_{tx3}$$
=10 I_{d} + 0,3 I_{tb3} - U_{dx3} =10. 11,76 - 0,3.11,76 - 10. 11,76 =3,528 (V)



