

CHƯƠNG 2: AN TOÀN ĐIỆN

I. Nguyên nhân tai nạn điện :

Tai nạn điện là tai nạn xảy ra nhiều nhất trong sinh hoạt hằng ngày cũng như trong lao động sản xuất, một phần do tính ưu việt của điện năng, nhưng nguyên nhân chính dẫn đến xảy ra tai nạn vẫn là do con người chưa thực hiện đầy đủ các yêu cầu về kỹ thuật an toàn trong sản xuất và sinh hoạt .

Các tai nạn ở điện áp thấp (<250 V đối với đất) có tỉ lệ lớn (78%), còn lại là tai nạn xảy ra ở điện áp cao. Nguyên nhân chủ yếu là do con người thường tiếp xúc với các thiết bị điện hạ áp, được dùng rất phổ biến trong sản xuất và đời sống.

Các tai nạn thường xảy ra đối với điện áp thấp :

+ Sửa chữa đường dây trên cao, bị điện giật và rơi xuống .

+ Lắp đặt các thiết bị chiếu sáng, bóng đèn .

+ Rò rỉ điện ở các dụng cụ điện cầm tay và di động, đặc biệt là máy hàn , dụng cụ mỏ .

+ Di chuyển dụng cụ, thiết bị khi chưa bảo đảm an toàn về nguồn điện.

+ Kéo dây, lắp đặt khí cụ điện tạm thời trên công trường .

+ Khi đóng cầu dao, CB đang mang tải .

Tai nạn xảy ra chủ yếu ở điện áp cao :

+ Làm việc ở đường dây trên không thì bị hiện tượng dòng ngược từ máy phát điện hạ thế nhà dân , đóng cắt đường dây nhầm,...

+ Không tôn trọng khoảng cách với đường dây đang mang điện .

+ Đóng, cắt các thiết bị cao áp không đúng quy trình, quy phạm.

II. Khái niệm về tai nạn điện

1. Tai nạn điện

Có ba loại tai nạn về điện : điện giật , đốt cháy , hỏa hoạn và nổ .

a. Điện giật :

Do tiếp xúc với phần tử mang điện áp , Có thể chia làm 2 loại tiếp xúc

Tiếp xúc trực tiếp :

- Tiếp xúc với các phần tử mang điện áp đang làm việc .

- Sự tiếp xúc với các phần tử đã được cắt ra khỏi nguồn điện song vẫn còn chứa điện tích.

- Sự tiếp xúc với các phần tử đã bị cắt ra khỏi nguồn điện, song phần tử này vẫn chịu một điện áp cảm ứng do ảnh hưởng của điện từ hay cảm ứng tĩnh điện của các thiết bị mang điện khác đặt gần .

Tiếp xúc gián tiếp:

- Tiếp xúc với vỏ của thiết bị mà vỏ có điện áp do bị chạm, hỏng hóc .

- Sự tiếp xúc với các phần tử có điện áp cảm ứng do ảnh hưởng điện từ hay tĩnh điện .

b. Đốt cháy điện:

Là trường hợp tai nạn điện do tiếp xúc trực tiếp, nhưng khi đó dòng điện qua cơ thể người rất lớn và kèm theo hồ quang phát sinh mạnh .

c. Hỏa hoạn và cháy nổ :

Hỏa hoạn : Do dòng điện lớn so với dòng giới hạn cho phép gây nên sự đốt nóng dây dẫn, hay do hồ quang điện .

Sự nổ : Do dòng điện quá lớn so với dòng giới hạn cho phép , nhiệt độ tăng rất cao và gây nổ .

2. Tác dụng của dòng điện đối với cơ thể con người

Đối với điện giật : tùy theo mức độ, dòng điện qua người sẽ gây nên những phản ứng sinh học như co cơ, tê liệt hệ thống hô hấp, sự co giãn nhịp tim bị rối loạn, sự kích thích và đình trệ hoạt động của não .

Đối với đốt cháy hồ quang : dòng điện cường độ lớn tạo nên sự hủy diệt lớp da, sâu hơn có thể hủy diệt các cơ bắp, lớp mỡ, gân, xương. Nếu xảy ra ở một diện tích khá rộng hay tổn thương các cơ quan quan trọng có thể dẫn đến tử vong .

3. Các yếu tố liên quan tác hại dòng qua người :

a. Giá trị dòng điện đi qua người :

Giá trị lớn nhất của dòng điện không nguy hiểm đối với người là :

- **10mA : dòng AC.**
- **50mA : dòng DC.**

Bảng tác hại của dòng điện đối với cơ thể con người .

I(mA)	Tác hại đối với người	
	Điện AC	Điện DC
0.6-1.5	Bắt đầu thấy tê	Chưa có cảm giác
2-3	Tê tăng mạnh	Chưa có cảm giác .
5-7	Bắp thịt bắt đầu co	Đau như bị kim châm
8-10	Tay khó rời vật có điện	Nóng tăng dần
20-25	Tay không rời vật có điện , bắt đầu cảm thấy khó thở	Bắp thịt co và rung
50-80	Tê liệt hô hấp , tim bắt đầu đập mạnh	Tay khó rời vật có điện và khó thở
90-100	Nếu kéo dài > 3s tim ngừng đập	Hô hấp tê liệt
3-8 (A)	Các cơ bắp bị tổn thương nặng, có thể dẫn đến bốc cháy	

b. Điện trở của người :

Là yếu tố quan trọng để xác định độ lớn dòng đi qua cơ thể người .

$$I_{ng} = U_{ng} / R_{ng} .$$

Điện trở của người gồm có 2 phần: da có điện trở từ $(1.6-2).10^6 \Omega$, các cơ quan nội tạng khác như: tủy sống, huyết thanh, hệ cơ bắp, máu có điện trở khoảng vài trăm Ω .

Điện trở người không giống nhau đối với mỗi người, phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: điện áp đặt lên cơ thể người, diện tích tiếp xúc, áp lực tiếp xúc, môi trường, thời gian dòng tác dụng, giới tính, tuổi tác, ...

Điện áp :

Khi điện áp tăng sẽ xuất hiện sự xuyên thủng da dẫn đến điện trở của cơ thể sẽ giảm đến một giá trị nhất định không đổi .

Sự xuyên thủng da bắt đầu ở điện áp 10-50V .

Diện tích tiếp xúc :

Diện tích tiếp xúc càng lớn , điện trở người càng bé do điện trở thay đổi tỷ lệ nghịch với tiết diện dòng điện chạy qua a .

Áp lực tiếp xúc :

Áp lực tiếp xúc lớn , điện trở người bé .

Độ ẩm môi trường :

Độ ẩm cao dẫn đến độ dẫn điện của lớp da sẽ tăng lên , điện trở người giảm .

Nhiệt độ môi trường

Nhiệt độ môi trường cao , tuyến mồ hôi hoạt động nhiều , điện trở người giảm .

Thời gian dòng tác dụng :

Thời gian dòng chạy qua người tăng sẽ dẫn đến :

- Xảy ra quá trình xuyên thủng da, điện trở người giảm .
- Nhiệt lượng tỏa ra của cơ thể tăng, tạo nên sự hoạt động tích cực của tuyến mồ hôi, điện trở người giảm .

c. Điện áp tiếp xúc :

Ta có thể coi điện áp tiếp xúc là điện áp đặt lên cơ thể người khi bị điện giật . Nó phụ thuộc tình trạng tiếp xúc, điện áp và cấu trúc mạng điện .

Điện áp tiếp xúc là thông số quan trọng ảnh hưởng đến cường độ dòng điện qua người . ta có : $I_{ng} = U_{tx}/R_{người}$.

Theo tiêu chuẩn IEC 364-4-4.1 , giới hạn điện áp an toàn cho người là:

Thời gian tiếp xúc tối đa	$U_{AC} (V)$	$U_{DC}(V)$
>5	50	120
1	75	140
0.5	90	160
0.2	110	175
0.1	150	200
0.05	220	250
0.03	280	310

d. Đường đi của dòng qua người

Dòng điện đi qua tim, vị trí có hệ thần kinh tập trung, hay các vị trí khớp nối của tay có mức độ nguy hiểm cao. Ví dụ: vùng đầu, gáy, cổ, thái dương; vùng bụng, cuống phổi.

Dòng đi từ tay phải qua chân có lượng dòng điện đi qua tim lớn nhất.

e. Tần số dòng điện

Dòng một chiều ít nguy hiểm hơn dòng xoay chiều .

Đối với dòng xoay chiều, tần số nguy hiểm nhất là 50-60Hz. Khi trị số tần số càng cao thì mức độ nguy hiểm giảm đi.

f. Tình trạng sức khỏe và thể xác con người

Người mệt mỏi, tình trạng say rượu khi bị điện giật dễ dẫn tới tình trạng “ sốc điện ”.

Phụ nữ , trẻ em nhạy cảm với hiện tượng “sốc điện ”.

g. Sự chú ý của người lúc tiếp xúc

Khi không được chuẩn bị hay chú ý trước khi tiếp xúc điện sẽ dẫn đến tình trạng nghiêm trọng hơn , đặc biệt khi dòng điện chạy qua hệ thống thần kinh .

III. HIỆN TƯỢNG DÒNG ĐIỆN TRONG ĐẤT, ĐIỆN ÁP TIẾP XÚC VÀ ĐIỆN ÁP BƯỚC

1. Hiện tượng dòng đi trong đất :

Xét hai trường hợp :

- Dây pha bị đứt rơi xuống đất .
- Thiết bị điện bị chạm vỏ do hư hỏng cách điện, vỏ thiết bị được nối qua điện trở tiếp đất R_d .

Khi đó sẽ có dòng điện sự cố chạy giữa vị trí chạm đất hoặc điện cực nối đất tỏa ra môi trường xung quanh. Giữa vị trí chạm đất và đất bao xung quanh sẽ có sự phân bố điện thế trong và trên mặt đất .

Ở ngay chỗ chạm đất, điện trở của đất sẽ lớn do dòng chạy qua diện tích nhỏ. Càng xa vị trí này ,điện trở của đất sẽ giảm theo khoảng cách, sự sụt áp điện thế sẽ nhỏ.

Có thể biểu diễn sự phân bố điện thế chung quanh chỗ chạm đất qua vật nối đất hình bán cầu :

$$U_d = K / x$$

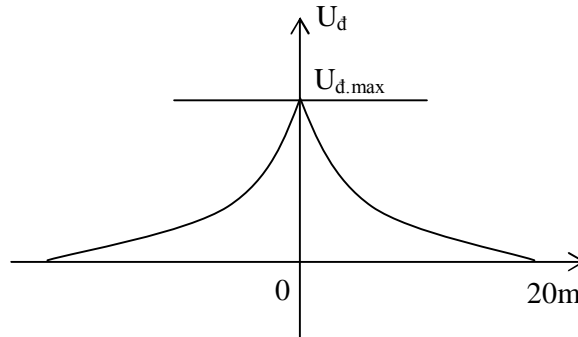
U_d : Điện thế tại điểm đang xét cách chỗ chạm đất khoảng cách x .

$$K = \rho_d \cdot I_d / (2\pi)$$

ρ_d : điện trở của đất .

I_d : Dòng đi vào trong đất .

U_d có dạng hyperboloid tròn xoay .



Các khảo sát cho thấy cách chỗ chạm đất 1m, điện áp đất có giá trị từ 0.5- 0.8 giá trị điện áp tại chỗ chạm đất . Đứng gần chỗ chạm đất là rất nguy hiểm.

Các vị trí có cùng khoảng cách đối với điểm chạm đất sẽ có cùng một điện thế, gọi là đường đẳng thế. Đường đẳng thế là một vòng tròn có tâm là điểm chạm đất .

2. Điện áp tiếp xúc :

Điện áp tiếp xúc là điện áp đặt lên cơ thể người khi tiếp xúc với vật có điện áp . Phụ thuộc tình trạng tiếp xúc trực tiếp hay gián tiếp, tiếp xúc với một pha hay hai pha của lưới điện mà ta có các giá trị điện áp tiếp xúc khác nhau .

Ví dụ : Khi người tiếp xúc với hai dây pha, điện áp tiếp xúc là :

$$U_{tx} = U_d : \text{Điện áp dây .}$$

Xét trường hợp tiếp xúc gián tiếp hay gặp khi phân tích an toàn trong mạng điện . Một người tiếp xúc với thiết bị có vỏ chạm pha và đứng 2 chân trên đất, khi đó điện áp tiếp xúc giáng trên thân người :

$$U_{tx} = U_p - U_k$$

U_p : Điện áp trên vỏ thiết bị = điện áp cực nổi đất .

U_k : Điện áp tại vị trí chân người .

Người càng đứng xa vị trí tiếp đất thì có U_k càng giảm , do đó điện áp tiếp xúc càng lớn . Tại vùng điện thế không , $U_{tx} = U_p$.

Điện áp tiếp xúc cũng có thể lớn hơn U_p , khi xét một người tiếp xúc với phần tử nổi đến cực tiếp đất A , vừa tiếp xúc với một vùng ảnh hưởng của cực tiếp đất B :

$$U_{txmax} = U_{pA} - U_{pB} = U_{AB} \text{ (Điện áp dây) .}$$

Tỉ lệ giữa U_{tx} và U_p gọi là hệ số tiếp xúc :

$$K_{tx} = U_{tx} / U_p .$$

3. Điện áp bước

Khi một người đứng trong vùng có dòng chạy trong đất, tồn tại điện áp chênh lệch giữa hai chân gọi là điện áp bước :

$$U_b = U_{k1} - U_{k2}$$

U_{k1} , U_{k2} : điện áp tại vị trí hai chân .

Nếu bước càng dài thì U_b càng lớn. Gần chỗ chạm đất nên bước những bước ngắn.

Tỉ lệ giữa điện áp bước và U_p gọi là hệ số bước :

$$K_b = U_b / U_p .$$

IV. BẢO VỆ AN TOÀN ĐIỆN.

1. Các biện pháp bảo vệ :

a. Biện pháp bảo vệ tích cực :

Là những biện pháp mang tính ngăn chặn các sự cố, không để cho sự cố xảy ra .

Gồm có các biện pháp sau :

- Bảo vệ bằng phương pháp ngăn cách với lưới điện công cộng .
- Bảo vệ bằng phương pháp ngăn cách điện phụ .
- Bảo vệ bằng cách sử dụng điện áp cực thấp .
- Bảo vệ bằng cách sử dụng các phương tiện dụng cụ an toàn .

b. Phương pháp bảo vệ thụ động .

Là những phương pháp nhằm mục đích giảm sự nguy hại đến mức nhỏ nhất khi xảy ra sự cố về điện .

Nó được thực hiện bằng cách lựa chọn những sơ đồ hạ thế mang tính an toàn và kinh tế, được dựa trên đặc điểm lưới điện nguồn, kết hợp với đặc thù riêng của từng mục đích cấp điện .

Những sơ đồ hạ thế này được kết hợp một cách chặt chẽ với những biện pháp bảo vệ sau :

- Bảo vệ tiếp đất .
- Bảo vệ tiếp trung tính .
- Bảo vệ bằng phương pháp cắt phần tử bị sự cố .
- Bảo vệ bằng phương pháp cân bằng và điều khiển sự phân phối điện thế.

2. Sơ đồ TN-C:

a.Cách thực hiện :

Nối đất :

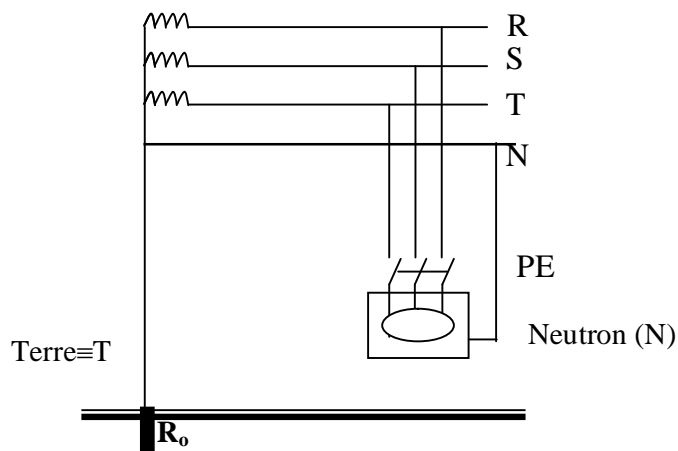
- Điểm nối sao của nguồn hoặc cuộn hạ thế của máy biến áp được tiếp đất .

Nối trung tính :

- Các vỏ thiết bị và vật dẫn tự nhiên được nối với trung tính nguồn qua dây nối trung tính PE . Dây PE và dây trung tính tính sử dụng chung gọi là dây PEN .

Khi có hư hỏng cách điện :

- Mạch sẽ tự động ngắt nguồn cung cấp sử dụng CB , cầu chì , do khi có hư hỏng cách điện thì sẽ dẫn đến ngắn mạch pha và trung tính với dòng ngắn mạch lớn .



b. Đặc điểm :

Quá áp :

- Trong điều kiện bình thường , điểm trung tính , vỏ thiết bị có cùng điện thế .

- Khi có hư hỏng cách điện trung áp , dòng sẽ đi qua cực nối đất của trung tính cuộn hạ áp , làm xuất hiện điện áp tần số công nghiệp giữa vỏ thiết bị và đất .

Tương hợp điện từ :

- Ở trạng thái làm việc bình thường , do tải không đối xứng sẽ phát sinh dòng chạy trong dây trung tính, đồng thời tạo ra các điện áp rơi và độ lệch điện thế . Dòng trung tính tạo nên trường điện từ gây nhiễu . Các điện áp rơi có thể được khuếch đại .
- Khi có hư hỏng cách điện , dòng sự cố lớn , vài kA . Độ sụt áp , các nhiễu điện từ cao , điện áp quá độ giữa vỏ thiết bị điện và pha sẽ vượt quá điện áp pha – trung tính , có thể lấy bằng $1,45U_f$.

Nguy cơ hỏa hoạn :

- Dòng điện sự cố lớn nên dễ gây cháy .
- Đồng thời khi thực hiện nối dây PEN với các vật dẫn tự nhiên của tòa nhà sẽ tạo dòng chạy trong công trình gây hiểm họa cháy .

Thiết bị ngắt mạch CB :

- Do dùng CB nên khi thiết kế phải biết tổng trở nguồn mạch trước và tổng trở mạch sau thiết bị cần bảo vệ . đặc tính các thiết bị bảo vệ sẽ xác định theo các tổng trở này .
- Khi công trình được cấp từ hai nguồn (UPS, máy phát) , các đặc tính CB , cầu chì cần phải được xác định cho mỗi nguồn sử dụng .
- Bất kỳ sự cải tạo , mở rộng lưới đều đòi hỏi sự kiểm tra lại các điều kiện bảo vệ .

3. Sơ đồ TN-S :

a.Cách thực hiện :

Nối đất :

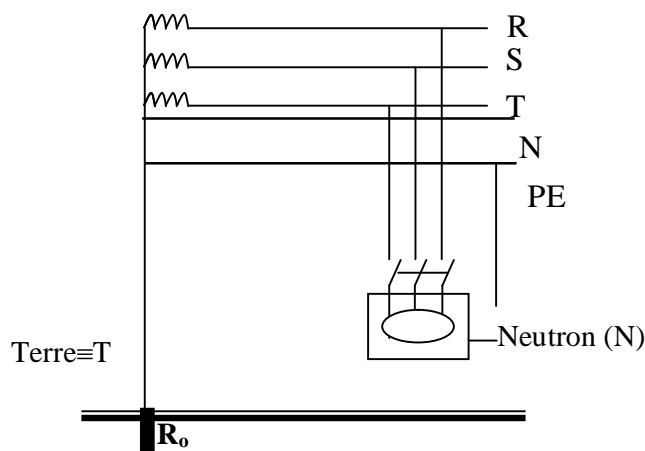
- Điểm nối sao của nguồn hoặc cuộn hạ thế của máy biến áp được tiếp đất .

Nối trung tính :

- Các vỏ thiết bị và vật dẫn tự nhiên được nối với trung tính nguồn qua dây nối trung tính PE .Dây PE và dây trung tính tính sử dụng riêng biệt

Khi có hư hỏng cách điện :

- Mạch sẽ tự động ngắt nguồn cung cấp bằng cách sử dụng CB , cầu chì giống như mạch TN-C , hoặc sử dụng RCD (vì bảo vệ chống chạm điện sẽ tách bảo vệ ngăn mạch pha) .



b. Đặc điểm :

Quá áp :

- Trong điều kiện bình thường , điểm trung tính , vỏ thiết bị có cùng điện thế .

Tương hợp điện từ :

- Trong điều kiện bình thường , trên dây PE không có sụt áp và nhược điểm sơ đồ TN-C sẽ được khắc phục
- Khi có hư hỏng cách điện , giống như sơ đồ TN-C .

Nguy cơ hỏa hoạn :

- Dòng điện sự cố lớn nên dễ gây cháy
- Hạn chế được nguy cơ hỏa hoạn của sơ đồ TN-C do không có dòng chạy trong dây PE ở điều kiện bình thường .

Thiết bị bảo vệ ngắt mạch :

- Nếu dùng CB , cầu chì để bảo vệ chống chạm điện thì các đặc tính tương tự sơ đồ TN-C .
- Nếu bảo vệ chống chạm điện gián tiếp có trang bị RCD , để chống nhiễu ta sử dụng RCD có dòng rò lớn.

4. Sơ đồ IT :

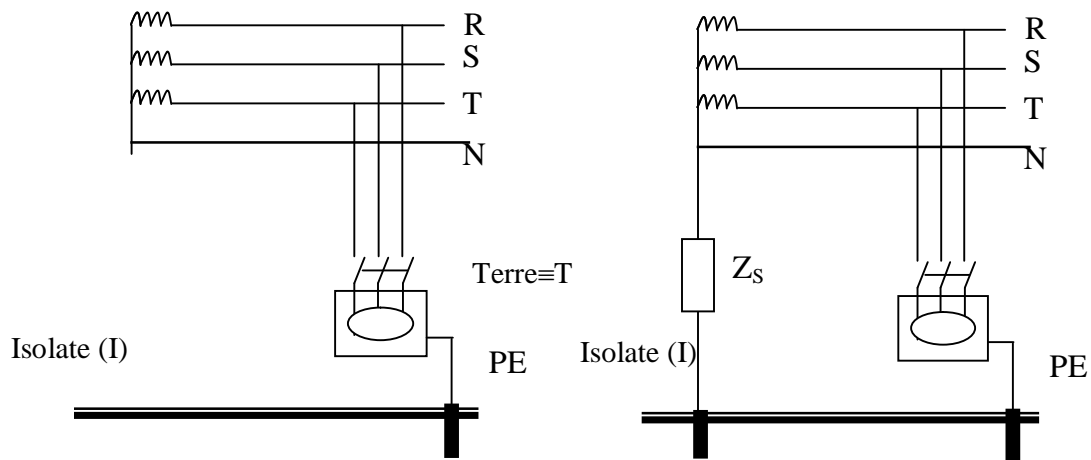
a.Cách thực hiện :

Nối đất :

- Điểm nối sao của nguồn hoặc cuộn hạ thế của máy biến áp sẽ được cách ly với đất hay nối đất qua điện trở lớn và bộ hạn chế quá áp .
- Các vỏ thiết bị và vật dẫn tự nhiên được tiếp đất ở điện cực riêng qua dây tiếp đất PE . Tiết diện dây PE được xác định theo dòng sự cố lớn nhất có thể xảy ra

Khi có hư hỏng cách điện :

- Dòng sự cố thường thấp và không nguy hiểm . Để tránh sự cố khi chạm đất tại hai điểm , ta phải lắp đặt một thiết bị giám sát cách điện để bảo vệ và báo tín hiệu .
- Để bảo vệ chống hư hỏng hai điểm , ta sử dụng CB , cầu chì .
- Thiết bị chống dòng rò RCD cũng được sử dụng



b. Đặc điểm :

Quá áp :

- Trong điều kiện bình thường , điểm trung tính , vỏ thiết bị có cùng điện thế .
- Khi có hư hỏng cách điện trung áp , xuất hiện điện áp giữa vỏ thiết bị và phần mang điện , điện áp này có thể lớn .
- Khi bị hư hỏng cách điện điểm thứ nhất , các thiết bị tiếp tục làm việc và điện áp dây sẽ xuất hiện giữa dây pha và vỏ thiết bị .

Tương hợp điện từ :

- Trong điều kiện bình thường cũng như khi có hư hỏng cách điện điểm thứ nhất, không có sụt áp trên PE.

Nguy cơ hỏa hoạn :

- Sử dụng RCD với dòng rò < 500 mA để tránh nguy cơ hỏa hoạn.

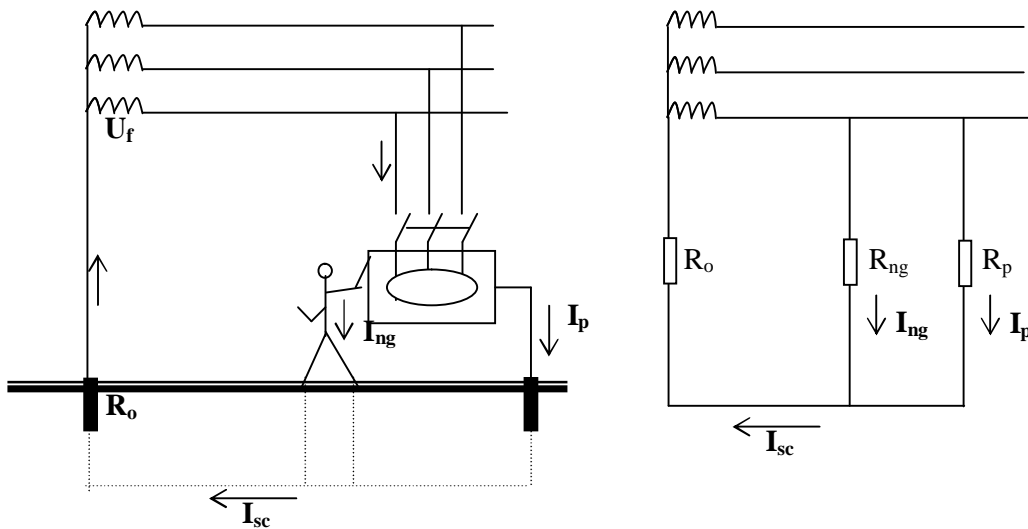
Thiết bị ngắt mạch bảo vệ :

- Khi dùng CB, cầu chì để bảo vệ chống hư hỏng cách điện tại hai điểm thì các quy tắc giống như sơ đồ TN.
- Khi sử dụng RCD thì mỗi mạch phải lắp một RCD. Nếu 2 mạch có các điện cực nối đất riêng biệt thì cần đặt các RCD trên đầu vào của chúng. Nếu tải của các mạch không quan trọng thì RCD có thể ngắt mạch ngay sự cố chạm vỏ đầu tiên.

5. Sơ đồ TT :

Mạng TT là mạng có trung tính của nguồn được nối đất và vỏ thiết bị được nối đất.

2. Tiếp xúc gián tiếp :



Dòng điện sự cố :

$$I_{sc} = \frac{U_f}{R_0 + \frac{R_p \cdot R_{ng}}{R_p + R_{ng}}}$$

Dòng chạy qua hệ thống tiếp đất bảo vệ :

$$I_p = I_{sc} \cdot \frac{R_{ng}}{R_p + R_{ng}}$$

$$I_p = I_{sc} = \frac{U_f}{R_0 + R_p}$$

(Do $R_p \ll R_{ng}$)

Điện áp tiếp xúc :

$$U_{tx} = U_p = \frac{U_f \cdot R_p}{R_0 + R_p} = \frac{U_f \cdot k}{1 + k}$$

Ví dụ : $U=380/220$, $R_0=R_p=4\Omega$,

$$U_{tx} = 220/2 = 110 \text{ V}$$

Điện áp tiếp xúc luôn có giá trị nguy hiểm.

V. Lựa chọn sơ đồ cấp điện:

Khi lựa chọn sơ đồ cần phân tích giữa đặc điểm của lưới điện công cộng kết hợp với các tiêu chuẩn phù hợp với mục đích sử dụng .

Các tiêu chuẩn cơ bản :

- Chống điện giật .
- Chống hỏa hoạn .
- Chống quá điện áp, nhiễu .
- Tính liên tục của cung cấp điện .
- Tính đơn giản trong vận hành, bảo trì .

Sự lựa chọn có thể bao gồm nhiều sơ đồ khác nhau cho các phần của lưới .

1. Sơ đồ TT :

Sơ đồ đơn giản, dễ kiểm tra, bảo dưỡng, có thể mở rộng hoặc cải tạo .

Chống được nguy cơ hỏa hoạn .

2. Sơ đồ TN :

Đối với các sơ đồ TNC, TNC-S dễ gây hỏa hoạn và nhiễu điện từ .

Khi mở rộng lưới cần phải kiểm tra, tính toán kỹ .

3. Sơ đồ IT :

Thiết kế và vận hành phức tạp, sự bảo dưỡng cách điện cần phải có chuyên môn .

Sự mở rộng lưới gặp khó khăn.

Có độ tin cậy cung cấp điện cao .

Đòi hỏi bảo vệ quá áp một cách nghiêm ngặt .

VI. Đo điện trở hệ thống nối đất :

Khi thực hiện hệ thống tiếp đất, luôn luôn tạo những mối nối có thể tháo rời để cô lập hệ thống tiếp đất khi đo .

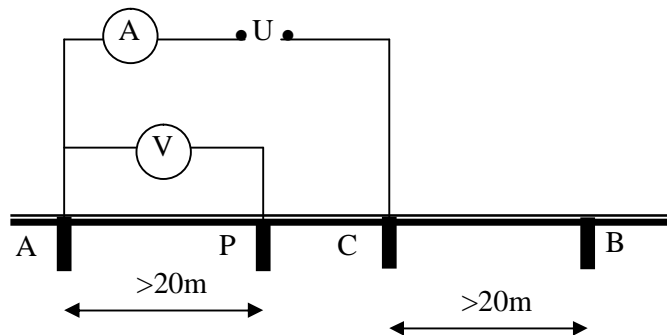
1. Dùng Volt kế và Ampe kế :

Cách thực hiện :

Cọc A là cọc tiếp đất cần đo , đóng thêm 2 cọc phụ P và C như hình vẽ .

Đặt vào 2 cọc AC nguồn áp xoay chiều , đo hiệu điện thế U giữa 2 cọc A, P và dòng I chạy từ cọc A tới C .

Điện trở của hệ thống tiếp đất A : $R_A = U/I$.



Chứng minh :

Do 2 cọc phụ P, C cách cọc tiếp đất cần đo A khoảng cách > 20m , nên đối với dòng điện đi từ cọc tiếp đất A vào đất , 2 điểm P,C coi như ở trong vùng có điện trở bằng không , và điện thế cũng bằng không .

Vậy giá trị dòng ampe kế đo chính là dòng đi qua cọc tiếp đất A vào vùng có điện trở 0 , điện áp volt kế đo là điện áp giữa cọc tiếp đất A và vùng điện thế 0 . (ĐPCM)

Khoảng cách giữa cọc A và B lớn hơn 40m nên tránh được ảnh hưởng của hệ thống tiếp đất B lên hệ thống tiếp đất cần đo .

2. Dùng máy đo chuyên dụng .

Máy đo chuyên dụng có 3 cọc E, P, C. Cọc R được nối đến điện trở đất cần đo . cọc P (gọi là cọc phụ áp) và cọc C (được gọi là cọc phụ dòng) được nối đến 2 cọc phụ .

