

## CHƯƠNG 2

# CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ AN TOÀN ĐIỆN

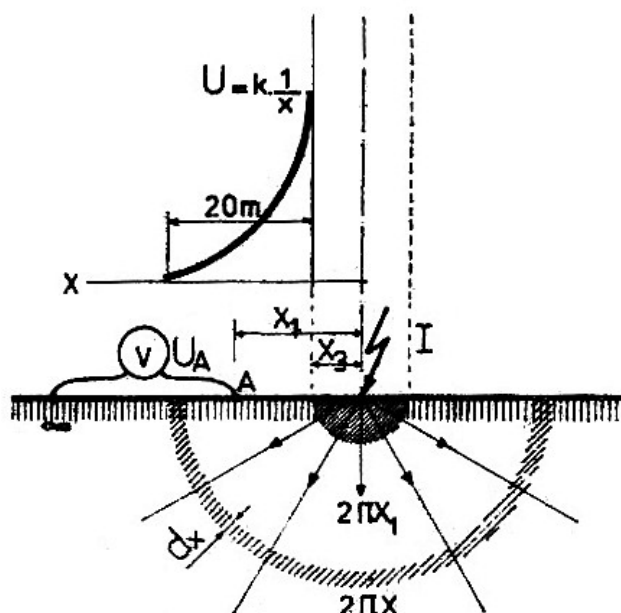
### 2.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các khái niệm cơ bản về an toàn điện xuất phát từ sự phân tích các hiện tượng chạm đất gây ra. Vì thế, để có các biện pháp đề phòng tai nạn điện hiệu quả, bước đầu tiên cần phải phân tích các hiện tượng nói trên.

### 2.2. DÒNG ĐIỆN TẢN TRONG ĐẤT

Do hư hỏng cách điện, mạch điện chạm đất làm cho dòng điện sự cố tản ra trong đất dẫn đến giữa các điểm khác nhau trong đất sẽ có sự chênh lệch điện áp (Hình 2.1).

Giả sử dòng điện sự cố tản vào trong đất qua một cực nối đất bằng kim loại có dạng bán cầu chôn trong đất đồng nhất có điện trở suất bằng  $\rho$ . Trường hợp này có thể xem dòng điện có đường đi theo bán kính từ tâm hình cầu.



Hình 2.1. Dòng điện tản trong đất.

Mật độ dòng điện ở khoảng cách  $x$  kể từ tâm bán cầu:

$$j = \frac{I}{2\pi \cdot x^2} \quad (2.1)$$

Vùng quanh cực nối đất mà dòng điện tản đi qua gọi là “trường tản dòng điện”. Đối với dòng điện một chiều hay dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp, khi nghiên cứu có thể xem là một điện trường đều.

Mật độ dòng điện xác định theo định luật Ohm dưới dạng vi phân:

$$j = \nu \cdot E = \frac{E}{\rho} \quad (2.2)$$

Ở đây:  $\nu$  là điện dẫn suất của đất;  $\rho$  là điện trở suất của đất.

Từ đó, cường độ điện trường trong trường dòng điện tức là điện áp rơi trên đơn vị dài dọc theo trường dòng điện được xác định theo biểu thức:

$$E = -\text{grad}\varphi = j.\rho \quad (2.3)$$

Điện áp rơi trên lớp đất có chiều dày  $dx$  dọc theo đường dòng điện:

$$dU = E.dx = j.\rho.dx = \frac{I.\rho}{2\pi.x^2} dx \quad (2.4)$$

Thế điện của A cách điểm chạm đất khoảng cách  $x$  là hiệu số điện thế giữa điểm A và điểm  $\infty$  mà ở đó điện thế có thể lấy bằng 0.

$$\varphi_A = U_A - U_\infty = \int_x^\infty dU = \frac{I.\rho}{2\pi} \int_x^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{I.\rho}{2\pi.x} \quad (2.5)$$

Tất cả các điểm trên bề mặt của điện cực sẽ có thế điện cực đại  $U_{\max}$ :

$$U_{\max} = \frac{I.\rho}{2\pi.x_{\bar{n}}} \quad (2.6)$$

Ở đây:  $x_d$  là bán kính của bán cầu nối đất.

Chia (2.5) cho (2.6):

$$\frac{U_A}{U_{\max}} = \frac{x_3}{x} \quad \text{hoặc} \quad U_A = U_{\max} . x_3 . \frac{1}{x} \quad (2.7)$$

Đặt tích số không đổi  $U_{\max} . x_3 = k$  sẽ được phương trình hyperbol:

$$U_A = \frac{k}{x} \quad (2.8)$$

Bằng thí nghiệm đo đạc thực tế, đối với các cực nối đất có dạng thanh, cọc, tấm phân bố điện áp cũng có dạng hyperbol.

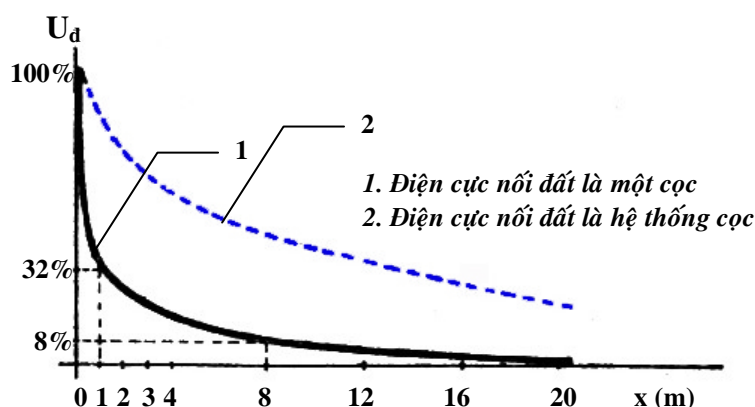
Trong trường hợp dây dẫn mang điện bị đứt xuống đất, phân bố điện áp được trình bày ở Hình 2.2.

Dòng điện tản từ cực nối đất ra có thể xem là chạy trong một dây dẫn (đất) mà tiết diện tăng theo bậc 2 của bán kính cầu  $q = 2\pi x^2$  (Hình 2.3).

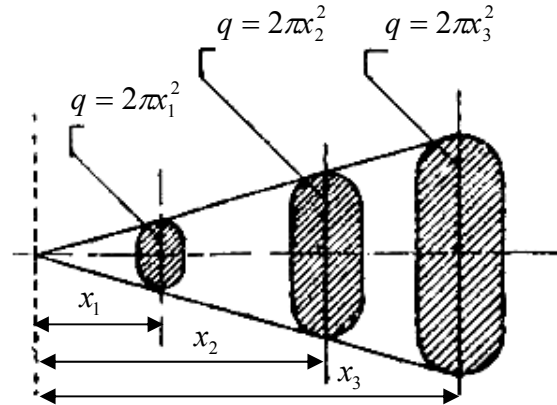
Điện trở tản dòng điện sẽ lớn nhất ở lớp đất phần cực nối đất vì khi đó dòng điện chạy qua một tiết diện nhỏ (ở các điểm đó điện áp rơi lớn nhất) càng xa cực nối đất tiết diện dây dẫn càng tăng nhanh, điện trở của nó giảm xuống và trị số điện áp rơi cũng giảm.

Từ đường cong ở Hình 2.2, nhận thấy có khoảng 68% điện áp trên cực nối đất tổn hao trên đoạn dài 1m, 24% trên đoạn dài từ 1÷10m và 8% trên đoạn dài từ 10÷20m kể từ cực nối đất.

Ngoài phạm vi 20m cách cực nối đất (hoặc điểm ngắn mạch chạm đất), tiết diện dây dẫn (đất) sẽ tăng rất lớn nên điện trở xem như không đáng kể (mật độ dòng điện xem như bằng 0).



Hình 2.2. Quan hệ giữa  $U_d$  và khoảng cách  $x$  từ cực nối đất



Hình 2.3. Mô hình đơn giản của dây dẫn đất.

Như vậy, điện thế của các điểm nằm cách điểm nối đất lớn hơn 20m có thể xem như bằng 0.

Thông thường bộ phận nối đất không phải chỉ có một cọc mà nhiều cọc nối với nhau bằng các thanh kim loại dẹp hoặc tròn. Trường hợp này, sự phân bố điện áp có dạng thoải hơn (đường cong 2 ở Hình 2.2). Vì vậy, độ chênh lệch điện áp của cùng một điểm so với đất sẽ lớn hơn lúc chỉ có một cọc nối đất.

Các thành phần điện trở của bộ phận nối đất bao gồm:

- Điện trở tản của cực nối đất (kể cả điện trở tiếp xúc)
- Điện trở thuần của bản thân cực nối đất và dây nối đất.

### 2.3. ĐIỆN ÁP BƯỚC

Điện áp bước là điện áp mà con người phải chịu khi chân tiếp xúc tại hai điểm trên mặt đất hay trên sàn, nằm trong phạm vi dòng điện chạy trong đất do đó có sự chênh lệch điện thế.

Sự phân bố điện áp bước xảy ra khi xuất hiện dòng điện ngắn mạch chạm đất của một pha trong mạng điện (Hình 2.4).

Khi dòng điện chạy qua hệ thống nối đất để đi vào trong đất hay dây dẫn có điện áp bị đứt rơi trên mặt đất, thì đất sẽ là điện trở tản với dòng điện này.

Điện trở của đất mà dòng điện chạy qua sẽ giảm theo khoảng cách càng xa đối với điểm dòng điện chạy vào trong đất. Đến một khoảng cách nhất định thì điện trở này thực tế trở nên bằng 0. Vùng mà dòng điện thực tế bị triệt tiêu được gọi là vùng điện thế 0.

Ở ngay tại điểm chạm đất, điện áp so với đất sẽ là:

$$U_d = I_d \cdot R_d$$

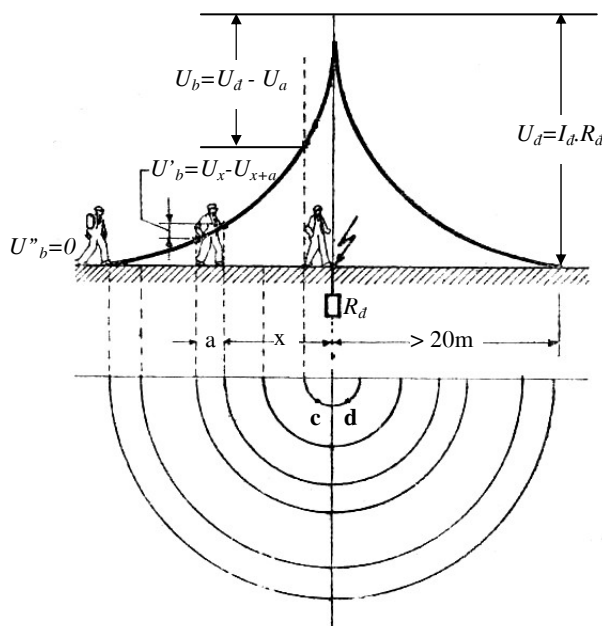
Các điểm ở cách đều điểm chạm đất có điện thế bằng nhau (các vòng tròn đẳng thế).

Người đứng hai chân trên hai điểm có điện thế khác nhau thì sẽ chịu tác động của một điện áp. Hiệu điện thế đặt vào hai chân người đứng ở hai điểm có chênh lệch điện thế do dòng điện ngắn mạch trong đất gọi là điện áp bước.

Điện áp bước xác định bằng biểu thức sau :

$$U_b = U_x - U_{x+a} = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \int_x^{x+a} \frac{dx}{x^2} = \frac{I \rho \cdot a}{2\pi x(x+a)} \quad (2.10)$$

Ở đây: a là độ lớn bước chân người, khi tính toán lấy bằng 0,8m; x là khoảng cách từ điểm chạm đất đến chân người.



Hình 2.4. Điện áp bước

Từ biểu thức (2.10), nhận thấy khi càng xa điểm ngắn mạch chạm đất (hoặc cực nối đất) thì mẫu số càng tăng và trị số  $U_b$  sẽ giảm xuống. Ngoài khoảng cách 20m điện áp xem như bằng 0.

Ở sát nơi có ngắn mạch chạm đất, điện áp bước  $U_b$  cũng có thể bằng 0 nếu hai chân người đứng trên cùng một vòng đẳng áp (điểm c và d Hình 2.4).

Giới hạn cho phép của trị số điện áp bước không quy định ở các tiêu chuẩn hiện hành vì trị số  $U_b$  lớn thường do các dòng điện ngắn mạch chạm đất lớn gây ra và như vậy nó sẽ bị cắt ngay tức thời bởi các thiết bị bảo vệ.

Các trị số  $U_b$  nhỏ (không gây nguy hiểm cho người do đặc điểm các tác dụng sinh lý của mạch điện từ chân qua chân).

Mặc dù dòng điện đi trong mạch chân-chân tương đối ít nguy hiểm nhưng với điện áp  $U_b = 100 \div 250V$  chân có thể bị co rút và người bị ngã xuống đất. Lúc này điện áp đặt vào người tăng lên và đường dòng điện đi qua theo mạch chính tay-chân.

Nếu thiết bị bảo vệ không cắt được dòng điện ngắn mạch thì được dòng điện đi qua theo mạch tay-chân sẽ gây ra tai nạn điện.

Khi xảy ra chạm đất phải cấm người đến gần chỗ bị chạm với khoảng cách sau:

- Từ 4 ÷ 5m đối với thiết bị điện trong nhà.
- Từ 8 ÷ 10m với thiết bị điện ngoài trời.

Ví dụ: Tính điện áp bước  $U_b$  lúc người đứng cách chỗ chạm đất  $x = 22m$  dòng điện chạm đất  $I_d = 1000A$ , điện trở suất của đất  $\rho = 10^4 \Omega \cdot cm$  và khoảng cách giữa hai bước chân người  $a = 0,8m$ .

$$U_b = \frac{I_d \cdot \rho \cdot a}{2\pi x(x+a)} = \frac{1000 \cdot 10^4 \cdot 80}{2\pi \cdot 2200(2200 + 80)} = 25,42 V$$

## 2.4. ĐIỆN ÁP TIẾP XÚC

Giả sử có hai thiết bị điện vỏ bọc kim loại (Hình 2.5) được nối với bộ phận nối đất (điện trở nối đất  $R_d$ ) thì đối với bất kỳ thiết bị nào chạm vỏ sự phân bố điện áp trong đất cũng có dạng đường cong 1. Cực nối đất và các vỏ kim loại nối với nó có điện áp so với đất bằng:

$$U_d = I_d \cdot R_d$$

Người chạm vào vỏ kim loại của bất kỳ thiết bị nào (nguyên vẹn hoặc chạm vỏ) cũng sẽ chịu một điện áp bằng  $U_d$ . Mặt khác, điện áp ở chân người  $U_x$  phụ thuộc vào khoảng cách từ đó đến cực nối đất. Như vậy, người sẽ chịu tác dụng của điện áp tiếp xúc  $U_{tx}$ . Điện áp tiếp xúc là hiệu điện thế giữa  $U_d$  và  $U_x$ .

Điện áp tiếp xúc  $U_{tx}$  càng tăng khi càng cách xa cực nối đất. Ở khoảng cách 20m thì  $U_{tx} = U_d$ .

Người đứng ở ngay trên cực nối đất (điểm 0 Hình 2.5) sẽ chịu một điện áp tiếp xúc bằng 0 ( $U_{tx} = U_d - U_d = 0$ )

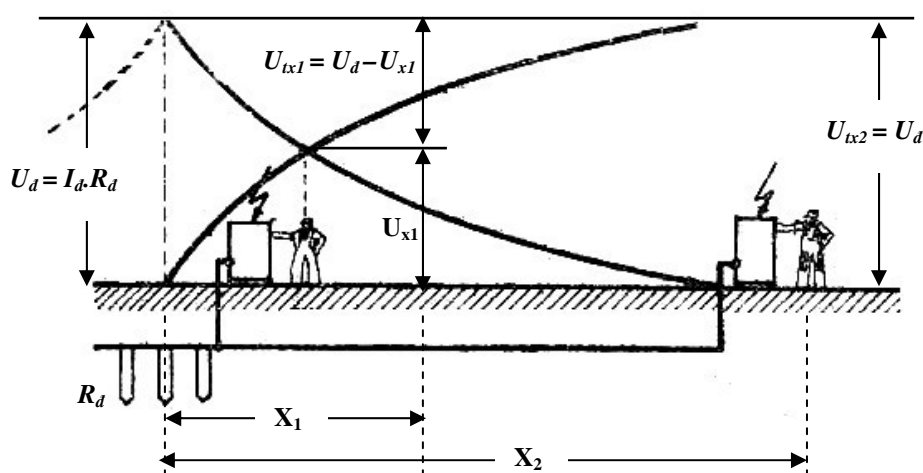
Ngược lại, nếu chạm vào thiết bị 2, người sẽ chịu điện áp tiếp xúc cực đại  $U_{tx} = U_d$ .

Từ những giả thiết trên rút ra nhận xét sau:

- Khi người chạm vỏ thiết bị kim loại có nối đất của một thiết bị nào đó (trong mạch nối đất có một thiết bị bị chạm vỏ) thì người chịu một điện áp tiếp xúc có trị số bằng một phần điện áp so với đất, nghĩa là:

$$U_{tx} = \alpha \cdot U_d \quad (2.11)$$

Ở đây:  $\alpha$  là hệ số tiếp xúc.



Hình 2.5. Điện áp tiếp xúc trong vùng dòng điện ngắn mạch chạm vỏ

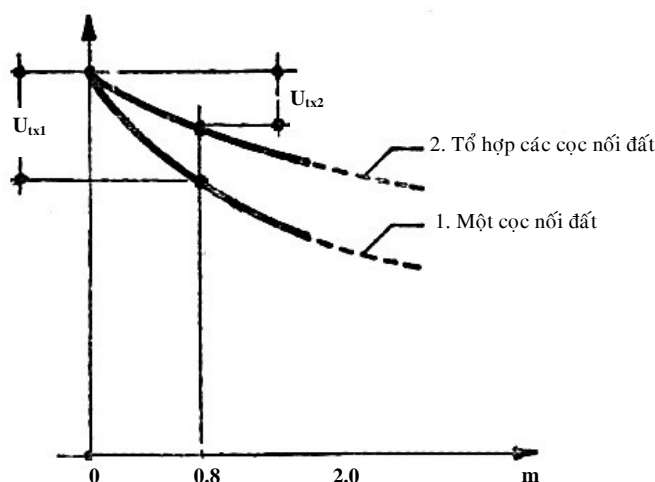
Đường cong 2 Hình 2.5 biểu thị sự biến thiên của điện áp tiếp xúc theo khoảng cách tới cực nối đất.

Giới hạn cho phép của điện áp tiếp xúc không quy định trong các qui phạm hiện hành. Tuy nhiên, đối với các nhà sản xuất thiết bị điện, điện áp tiếp xúc không nên quá 40V, còn đối với các thiết bị phân phối, mà ở đó có các biện pháp bảo vệ phụ rồi thì có thể cho phép đến 250V.

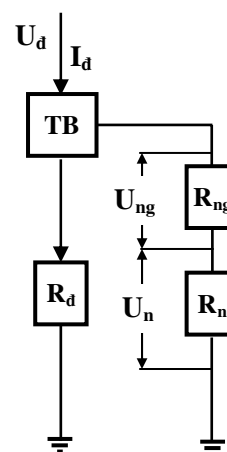
- Đường cong phân bố điện áp  $U_d$  (Hình 2.6) phụ thuộc vào cấu tạo của bộ phận nối đất (một cọc nối đất hoặc một tổ hợp các cọc nối đất) có thể dốc (đường 1) hoặc thoải (đường 2). Điện áp tiếp xúc  $U_{tx}$  sẽ có trị số nhỏ hơn nếu đường cong phân bố điện áp thoải thoải. Độ chênh lệch giữa điểm 0 và điểm cách nó 0,8m sẽ khác nhau tùy thuộc vào đường cong 1 và 2 ( $U_{tx1} > U_{tx2}$ ). Như vậy, khi bộ phận nối đất trải rộng trên một diện tích lớn thì điện áp tiếp xúc sẽ nhỏ.

- Muốn xác định đúng điện áp tiếp xúc  $U_{tx}$ , phải xem xét đoạn mạch từ chỗ ngắn mạch tới đất.

Giả thiết việc tiếp xúc xảy ra theo đường tay-chân sẽ hình thành hai mạch song song (Hình 2.7).



Hình 2.6. Đường cong phân bố điện áp trong vùng tản dòng điện ngắn mạch một pha.



Hình 2.7. Sơ đồ thay thế mạch điện chạm vỏ

- Mạch 1 nối thiết có chạm vỏ với thiết bị nối đất có trị số  $R_d$ .
- Mạch 2 có điện trở cơ thể người  $R_{ng}$  và nối tiếp với nó là điện trở của mặt nền nơi người đứng  $R_n$ .

Khi có ngắn mạch một pha chạm vỏ, dòng điện sẽ phân bố giữa mạch 1 và mạch 2 theo tỉ lệ nghịch với điện trở của chúng, còn điện áp trong hai mạch thì phân bố tỉ lệ thuận với  $R_{ng}$  và  $R_n$ .

Khi có ngắn mạch chạm vỏ trong vùng tản dòng điện (điểm  $x_1$ , Hình 2.5), điện áp đặt lên cơ thể người sẽ bằng:

$$U_{ng1} = U_d - U_{x1} - U_n$$

Khi ở ngoài vùng tản (điểm  $x_2$ , Hình 2.5), điện áp đặt lên cơ thể người sẽ bằng:

$$U_{ng2} = U_d - U_n$$

Ở đây:  $U_n$  là điện áp rơi trên lớp mặt nền.

Khi điện trở lớp mặt nền lớn (nền bằng nhựa đường khô, điện trở từ vài trăm  $k\Omega$ ) thì  $U_n$  sẽ lớn. Còn trên cơ thể con người (điện trở khoảng  $1k\Omega$ ), điện áp sẽ nhỏ hơn hàng chục hoặc hàng trăm lần. Trị số dòng điện trong mạch 2 như thế có thể không nguy hiểm cho người.

Như vậy, trường hợp nguy hiểm nhất là lúc người chạm vào vỏ thiết bị bị chạm vỏ mà đứng trực tiếp ngay trên nền đất ẩm ướt chân đi giày ẩm, để đóng đinh hoặc đi chân không.

## 2.5 CÁC HỆ THỐNG NỐI ĐẤT CHUẨN

Sự lựa chọn đúng các khí cụ điện bảo vệ về thông số dòng điện, điện áp định mức, cũng như việc lựa chọn giải pháp kỹ thuật an toàn điện phụ thuộc một phần vào sự bố trí nối đất của hệ thống điện. Hệ thống điện phân phối được phân loại theo tiêu chuẩn IEC 364/3 dựa vào cách bố trí hệ thống nối đất. Theo tiêu chuẩn này, một hệ thống điện được định nghĩa bằng hai chữ cái, đó là hệ thống điện IT, TT, TN. Bên cạnh hai chữ cái, còn dùng thêm một hoặc hai chữ cái nữa để chỉ cách bố trí dây trung tính và dây bảo vệ, chẳng hạn hệ thống điện TN-C, TN-S, TN-CS.

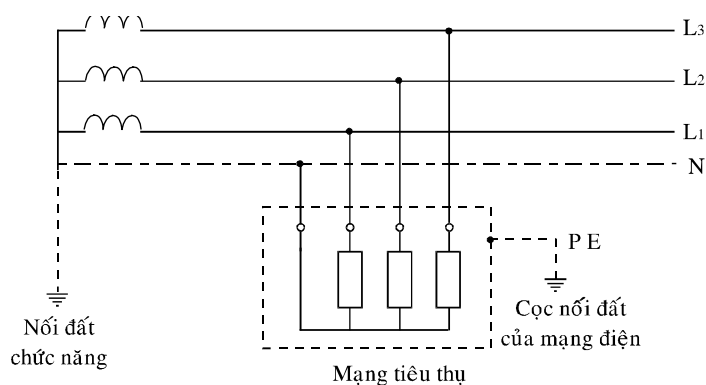
- Chữ cái thứ nhất thể hiện tính chất của trung tính nguồn, chỉ mối quan hệ nguồn điện và hệ thống nối đất: **T** - Nối đất trực tiếp (trung tính nguồn trực tiếp nối đất - “Terre” direct bond to earth), **I** - Tất cả các phần mang điện cách ly với đất hoặc một điểm được nối đất thông qua một trở kháng (trung tính nguồn cách ly- “Insulation” Insulated).

- Chữ cái thứ hai thể hiện hình thức bảo vệ, xác định mối quan hệ của các phần dẫn điện lộ ra ngoài của hệ thống, mạng điện lắp đặt và hệ thống nối đất: **T**- Nối đất trực tiếp (bảo vệ nối đất – vỏ thiết bị điện bằng kim loại được nối đến hệ thống nối đất), **N**- Nối trực tiếp các phần dẫn điện lộ ra ngoài bằng một dây dẫn bảo vệ với một điểm đã được nối đất của nguồn điện, thường là chính điểm trung tính (bảo vệ nối dây trung tính-vỏ thiết bị điện bằng kim loại được nối đến dây trung tính).

Trong hệ thống, mạng điện **TN** còn dùng thêm một hoặc hai chữ cái để định nghĩa cách bố trí dây trung tính và dây bảo vệ: **C** (“Combined” - PE and N (=PEN) combined in the system) - Dây trung tính N và dây bảo vệ PE (**P**rotective **E**arth **C**onductor) chung nhau thành một dây là dây PEN (**PE** and **N** Combined), **S** (“Separated” - PE and N separated in the system) - Dây trung tính N và dây bảo vệ PE được tách biệt với hai chức năng riêng là dây N và dây PE, **CS** - Dây trung tính và dây bảo vệ chỉ kết hợp trong một vài phần của hệ thống.

### 1. Hệ thống TT

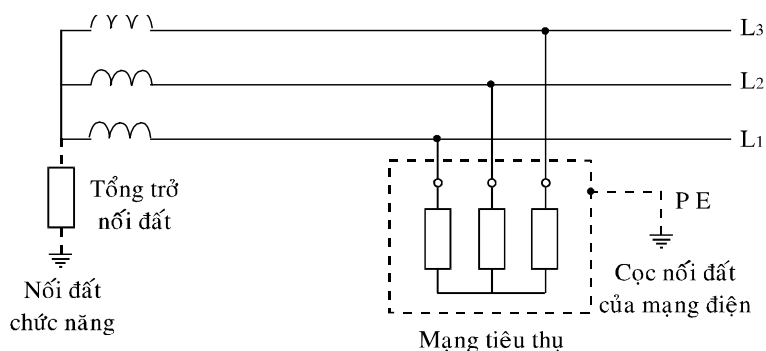
Trong hệ thống TT, tất cả các phần dẫn điện lộ ra ngoài (vỏ kim loại của thiết bị điện) trong hệ thống điện lắp đặt được nối với một hệ thống nối đất. Hệ thống này không nối kết về điện với đất tại nguồn cấp điện (Hình 2.8).



Hình 2.8 Hệ thống TT

### 2. Hệ thống IT

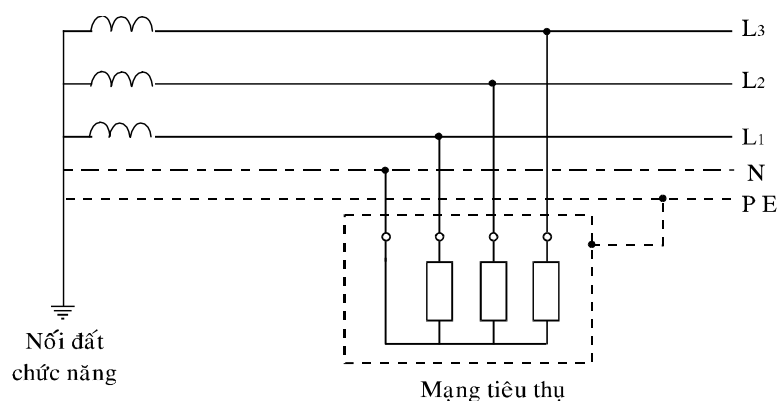
Đôi khi rất khó nối đất có hiệu quả, bởi vì tổng trở mạch vòng có thể không đủ nhỏ theo yêu cầu. Giới hạn dòng điện sự cố trong hệ thống IT đạt được bằng cách bỏ nối đất từ nguồn (trung tính cách ly), hay bằng cách nối điện trở vào giữa đường dây trung tính và hệ thống nối đất (Hình 2.9).



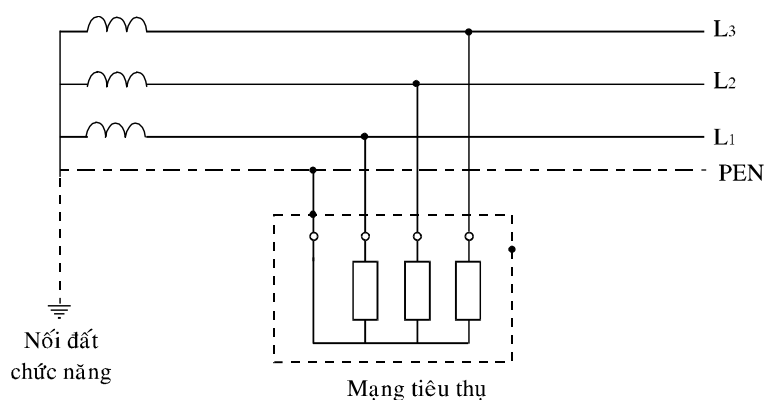
Hình 2.9 Hệ thống IT

### 3. Hệ thống TN

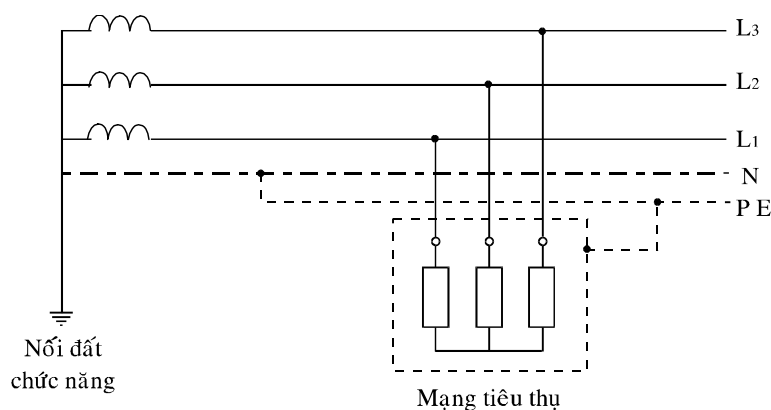
Trong hệ thống TN, mạch vòng sự cố bao gồm toàn bộ các phần dẫn điện, do đó có thể tránh trị số cao của điện trở nối đất. Điểm trung tính của nguồn điện được nối đất trực tiếp, các phần dẫn điện lộ ra ngoài của hệ thống có thể được nối với một dây bảo vệ riêng (hệ thống TN-S) hay kết nối dây bảo vệ với dây trung tính (hệ thống TN-C hay TN-CS) (hình 2.10, 2.11, 2.12).



Hình 2.10. Hệ thống TN-S



Hình 2.11. Hệ thống TN-C



Hình 2.12 Hệ thống TN-CS