

CHƯƠNG 3

PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG MẠNG ĐIỆN

3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi tiếp xúc với mạng điện, tùy theo mạng điện và cách tiếp xúc, dòng điện sẽ tác dụng lên con người ở những mức độ khác nhau, có thể là ít nguy hiểm hay rất nguy hiểm.

Đối với bất kỳ mạng điện ba pha nào, nguy hiểm nhất vẫn là đồng thời chạm vào hai pha khác nhau, lúc đó điện thế đặt vào người sẽ lớn nhất.

$$I_{ng} = \frac{U_d}{R_{ng}} = \frac{\sqrt{3} U_{fa}}{R_{ng}} \quad (3.1)$$

Ở đây: U_d , U_{fa} lần lượt là điện áp dây và điện áp pha của mạng điện.

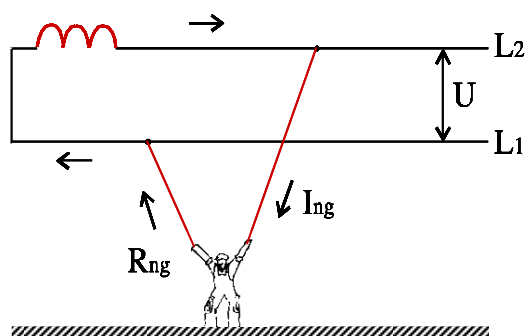
Tuy nhiên, trường hợp như vậy ít xảy ra. Tai nạn thường xảy ra do người chạm vào một pha là phổ biến chiếm 80 ÷ 83%. Khi đó mức độ nguy hiểm phụ thuộc vào các yếu tố như điện áp mạng, trị số điện trở cách điện của các pha, điện dung của pha đối với đất và nhất là tình trạng làm việc của điểm trung tính của mạng.

3.2. CHẠM VÀO CẢ HAI CỰC CỦA MẠNG ĐIỆN

Trường hợp chạm vào cả hai cực của mạng điện (Hình 3.1) là nguy hiểm nhất dù trong mạng điện có nối đất hay không, dòng điện qua người vẫn có trị số lớn nhất.

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}} \quad (3.2)$$

Ở đây: I_{ng} là dòng điện qua người; R_{ng} là điện trở của người; U là điện áp giữa hai cực của mạng điện.

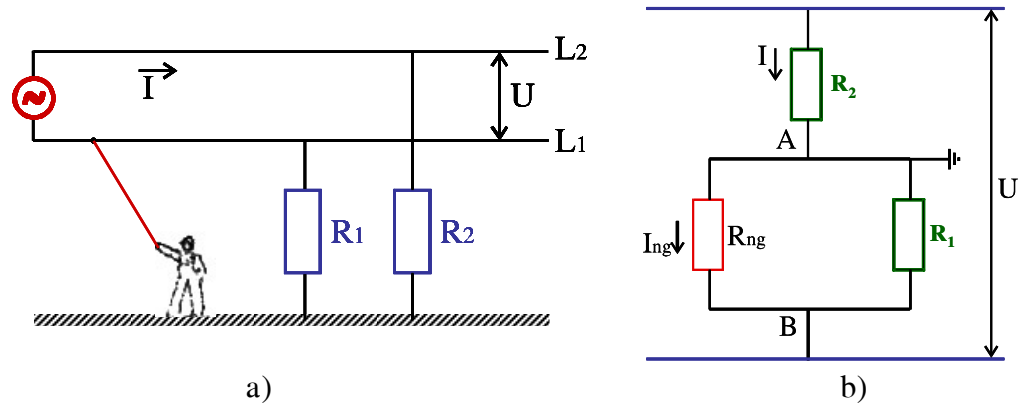


Hình 3.1.
Người chạm vào
cả 2 cực của
mạng điện cách
điện với đất.

Tai nạn này xảy ra cho người công nhân khi một tay làm việc chạm vào cực thứ nhất, tay kia chạm vào cực thứ hai. Khi đó, cho dù người đó đứng trên ghế cách điện, thảm cách điện ... vẫn không có tác dụng giảm dòng điện qua người.

3.3. CHẠM VÀO MỘT CỰC CỦA MẠNG ĐIỆN CÁCH ĐIỆN ĐỐI VỚI ĐẤT.

Thông thường trong thực tế người chạm vào hai cực rất ít. Hầu hết các tai nạn xảy ra là trường hợp chỉ chạm vào một cực của mạng điện (Hình 3.2) và tính chất nguy hiểm tùy trường hợp sẽ khác nhau.



Hình 3.2 Người chạm vào một cực của nguồn điện cách điện với đất (a) và sơ đồ thay thế (b).

Ở đây: U là điện áp giữa hai cực của mạng điện; R_1 , R_2 lần lượt là điện trở cách điện với đất của các cực.

Từ sơ đồ thay thế, tính được:

$$I = \frac{U}{(R_{ng} // R_1) + R_2} = \frac{U}{\frac{R_{ng} R_1}{R_{ng} + R_1} + R_2}$$

$$I_{ng} = \frac{IR_1}{R_{ng} + R_1} = \frac{UR_1}{R_{ng} R_1 + R_2 (R_{ng} + R_1)}$$

$$I_{ng} = \frac{UR_1}{R_{ng} (R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

Đặt: $R_1 = R_2 = R_{cd}$

$$I_{ng} = \frac{U}{2R_{ng} + R_{cd}} \quad (3.3)$$

Từ biểu thức (3.3), nhận thấy rằng giá trị điện trở cách điện R_{cd} càng lớn thì trị số I_{ng} càng tiến tới mức an toàn.

Nếu biết giá trị dòng điện an toàn cho phép đi qua cơ thể người là $[I_{ng}]$ thì trị số cần thiết của điện trở cách điện để đảm bảo yêu cầu an toàn được xác định như sau:

$$R_{cd} > R_{cdmin}$$

$$R_{cdmin} = \frac{U}{[I_{ng}]} - 2R_{ng} \quad (3.4)$$

Trong tính toán thường chọn: $R_{ng} = 800 \div 1000 \Omega$, $[I_{ng}] = 8 \div 10 \text{mA}$ ($f = 50 \text{Hz}$).

Khi tính toán với giá trị an toàn nhất thì với mạng điện áp $U=220\text{V}$, R_{cd} phải có giá trị $R_{cd} > 25.990 \Omega$

Thực tế, khi xác định dòng điện qua người phải kể đến điện trở nền R_n dưới chân người:

$$I_{ng} = \frac{U}{2(R_{ng} + R_n) + R_{cd}} \quad (3.5)$$

Khi trị số điện trở nền R_n càng tăng thì giá trị dòng điện qua người I_{ng} càng giảm.

Nếu cơ thể người chạm phải một dây trong khi dây thứ hai bị chạm đất ($R_2 = 0$) cũng xem như trường hợp chạm cả hai cực của mạng điện. Khi đó, dòng điện qua người sẽ là:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}}$$

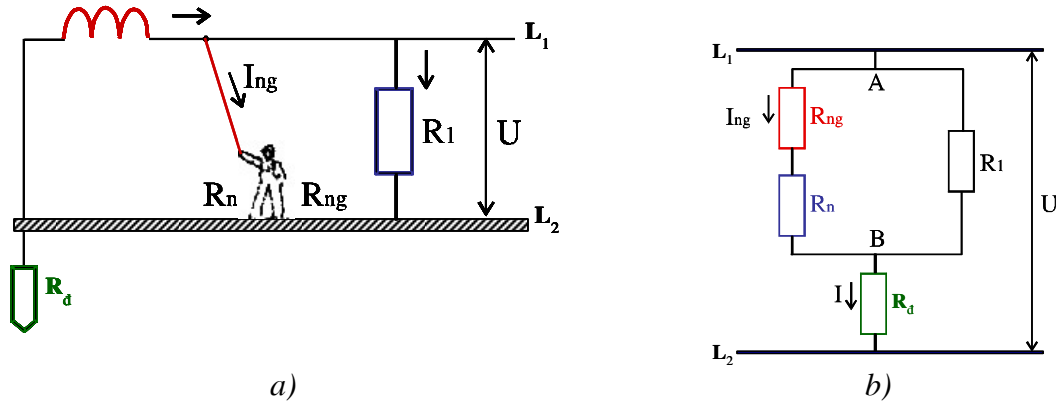
và đây là trường hợp bất lợi nhất.

3.4. CHẠM VÀO MỘT CỰC CỦA MẠNG ĐIỆN CÓ NỐI ĐẤT.

1. Mạng điện có nối đất chỉ có một dây.

Mạng điện có nối đất chỉ có một dây là mạng điện chỉ dùng một dây để dẫn điện đến nơi tiêu thụ, còn dây dẫn về thì lợi dụng các đường ray, đất ... như trong các mạng điện của tàu điện, máy hàn điện.

Hình 3.3 trình bày trường hợp người tiếp xúc với một cực của mạng điện có nối đất chỉ có một dây.



Hình 3.3. Người tiếp xúc với một cực của mạng điện có nối đất chỉ có một dây (a) và sơ đồ thay thế (b)

Từ sơ đồ thay thế, tính được:

$$I = \frac{U}{[(R_{ng} + R_n) // R_1 + R_d]} = \frac{U}{\frac{(R_{ng} + R_n)R_1}{R_{ng} + R_n + R_1} + R_d}$$

$$I_{ng} = \frac{IR_1}{R_1 + R_n + R_{ng}} = \frac{U \cdot R_1}{(R_{ng} + R_n)R_1 + R_d(R_1 + R_n + R_{ng})}$$

$$I_{ng} = \frac{U \cdot R_1}{(R_{ng} + R_n)(R_1 + R_d) + R_1 R_d} \quad (3.6)$$

Nếu mạng điện nối đất tốt thì $R_d \approx 0$ thì $I_{ng} \approx \frac{U}{R_{ng} + R_n}$

Rõ ràng là dòng điện qua người I_{ng} tăng lên. Nguy hiểm nhất là khi nối đất tốt ($R_0 \approx 0$), sàn lại ẩm ướt, không có thảm, giày cách điện ($R_n \approx 0$) sẽ giống như trường hợp chạm vào hai cực của mạng điện.

Như vậy, biện pháp an toàn đối với mạng điện có nối đất chỉ có một dây thì phải treo cao dây dẫn điện để tránh va chạm và quan trọng nhất là tăng cường cách điện thật tốt.

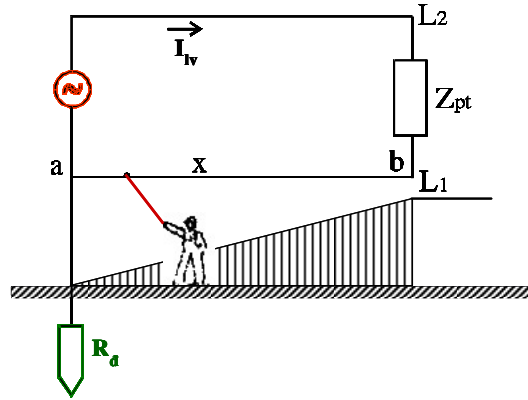
2. Mạng điện có nối đất gồm hai dây dẫn.

Mạng điện có nối đất gồm hai dây dẫn thường gặp trong các máy hàn, mạng điện dùng cho đèn di động, máy biến áp đo lường một pha. Về mặt an toàn điện, sẽ có hai trường hợp xảy ra đối với mạng điện có nối đất gồm hai dây dẫn. Trường hợp thứ nhất là cơ thể người chạm vào

dây dẫn có nối đất của mạng điện. Trường hợp thứ hai là cơ thể người chạm vào dây dẫn không có nối đất của mạng điện.

a. Trường hợp chạm vào dây dẫn có nối đất của mạng điện.

Trường hợp cơ thể người chạm vào dây dẫn có nối đất L_1 (hay dây dẫn về) mà trên đó có dòng điện làm việc I_{lv} đi qua thì phân bố điện áp trên dây dẫn có dạng như Hình 3.4.



Hình 3.4.

Người chạm vào dây dẫn có nối đất của mạng điện gồm 2 dây dẫn.

$$\begin{aligned} \text{Điện áp tại điểm a của dây dẫn ab} &: U_a = 0 \\ \text{Điện áp tại một điểm x bất kỳ của dây dẫn ab} &: U_x = I_{lv} \cdot R_{ax} \\ \text{Điện áp tại điểm b của dây dẫn ab} &: U_b = I_{lv} \cdot R_{ab} \end{aligned}$$

Ở đây: U_x là điện áp tại điểm đang xét x; R_{ax} là điện trở của dây dẫn tính từ a đến x; R_{ab} là điện trở của dây dẫn tính từ a đến b.

Như vậy, điện áp U_b tại điểm b có trị số lớn nhất

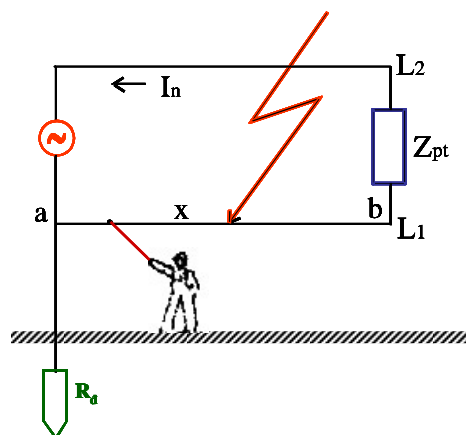
Giá trị cực đại của điện áp người ở chế độ làm việc bình thường, thông thường vào khoảng:

$$U_{ngmax} = U_b = (0.01 \div 0.015)U \quad (3.7)$$

Do có trị số U_{ngmax} nhỏ sẽ không gây nguy hiểm cho người.

Khi xảy ra ngắn mạch tại b (Hình 3.5), dòng điện ngắn mạch có giá trị rất lớn. Điều này dẫn đến U_{blv} có giá trị lớn nhất và xác định theo biểu thức:

$$\begin{aligned} U_b &= I_{lv} R_{ab} \approx \frac{U}{2} \\ U_x &= I_{lv} \cdot R_{ax} = U_{lv} \cdot \frac{L_{ax}}{L_{ab}} \end{aligned} \quad (3.8)$$



Hình 3.5.

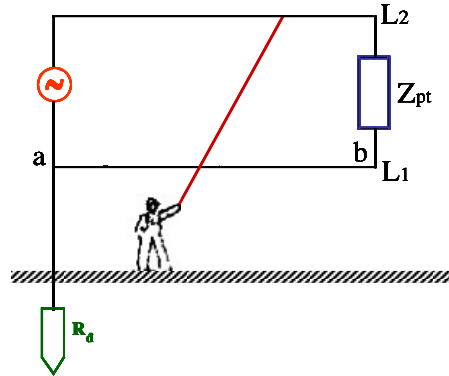
Người chạm vào một pha khi ngắn mạch tại b

Như vậy, điện áp đặt lên người lúc này khá lớn gây nguy hiểm chết người. Vì thế, trong mạng phải có khí cụ điện bảo vệ (cầu chì, CB automat) để bảo vệ sự cố ngắn mạch.

b. Trường hợp chạm vào dây dẫn không có nối đất của mạng điện.

Trường hợp cơ thể người chạm vào dây dẫn không nối đất L_2 (dây dẫn đi) Hình 3.6. Lúc này toàn bộ điện áp đặt lên người rất nguy hiểm.

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}}$$



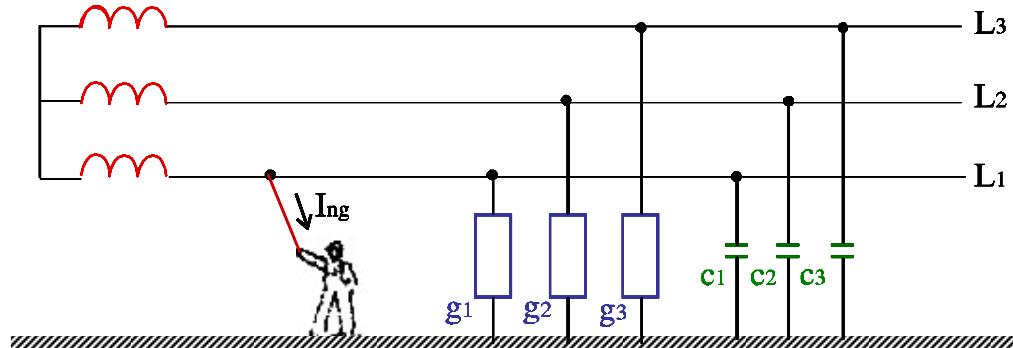
Hình 3.6

Người chạm vào dây dẫn không có nối đất của mạng điện gồm 2 dây dẫn.

3.5 MẠNG ĐIỆN BA PHA BA DÂY.

1. Mạng điện có trung tính cách điện đối với đất

Xét một mạng điện ba pha trung tính cách điện đối với đất (Hình 3.7) có các thông số sau:



Hình 3.7. Người tiếp xúc với 1 pha trong lưới điện 3 pha 3 dây

Ở đây: U_1, U_2, U_3 là điện áp tương ứng của các pha đối với đất; U là trị số hiệu dụng chung điện áp giữa các pha đối với đất; C_1, C_2, C_3 là điện dung của các pha đối với đất; g_1, g_2, g_3 là điện dẫn của cách điện các pha đối với đất; I_{ng} là dòng điện đi qua người khi chạm vào các dây dẫn.

Theo định luật Kirchoff, dòng điện đi vào đất xác định theo phương trình:

$$g_{ng}U + g_1U_1 + g_2U_2 + g_3U_3 + C_1 \frac{du_1}{dt} + C_2 \frac{du_2}{dt} + C_3 \frac{du_3}{dt} = 0 \quad (3.9)$$

Giải phương trình (3.9), tìm được :

$$I_{ng} = \frac{1}{2}U \cdot g_{ng} \sqrt{\frac{[3(g_3 + g_2) + \sqrt{3}\omega(C_3 - C_2)]^2 + [\sqrt{3}(g_2 - g_3) + 3\omega(C_2 + C_3)]^2}{(g_1 + g_2 + g_3 + g_{ng})^2 + \omega^2(C_1 + C_2 + C_3)^2}} \quad (3.10)$$

Nếu dây dẫn một pha bị chạm đất (dây dẫn chạm vỏ) và người đứng ở đất và chạm vào dây dẫn khác thì người chịu một điện áp là :

$$U_{ng} = \sqrt{U_0^2 + U^2 + U_0 U} \quad (3.11)$$

Ở đây: U_0 là điện áp của điểm trung tính khi có một pha chạm đất; U là điện áp pha của mạng điện; U_{ng} là điện áp đặt lên người (gần tương đương điện áp pha U).

Dòng điện qua người xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng} + R_d + R_n} \quad (3.12)$$

Nếu hệ thống nối đất tốt ($R_d \approx 0$) và người đứng nơi ẩm ướt ($R_n \approx 0$) thì:

$$I_{ng} \approx \frac{U}{R_{ng}} \quad (3.13)$$

Theo các phân tích trên, trong mạng điện này dù điện trở cách điện của vỏ bọc dây dẫn các pha đối với đất rất lớn ($R_1 = R_2 = R_3 = \infty$) nhưng khi người chạm vào một pha vẫn có khả năng bị nguy hiểm chết người.

Đối lưới điện $U \geq 110$ kV, thường thực hiện an toàn bằng cách nối đất trực tiếp và nhờ rơ le bảo vệ cắt mạch khi có sự cố. Ở lưới điện $U \geq 35$ kV, thực hiện trung tính cách điện hay nối đất qua cuộn hồ quang. Tuy nhiên, dù sao cũng cần lưu ý rằng đối với mạng điện cao áp thì rất nguy hiểm và thường dẫn đến chết người nhanh chóng cho dù người tiếp xúc với bất kỳ pha nào.

Trong mạng điện điện áp thấp $U \leq 1000$ V và những mạng điện thông dụng, xác suất chạm phải phần mang điện ở mạng này là lớn. Các mạng này thường được nối đất trực tiếp.

a. Trường hợp mạng điện có điện áp thấp $U \leq 1000$ V, chiều dài đường dây ngắn

Trường hợp này điện dung C của các pha đối với đất nhỏ không đáng kể.

Khi đó $g_1 = g_2 = g_3 = 1/R_{cd}$, $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ và dòng điện đi qua người I_{ng} được xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{3U}{3R_{ng} + R_{cd}} \quad (3.14)$$

Như vậy, dòng điện đi qua người I_{ng} phụ thuộc vào điện trở cách điện R_{cd} của mạng đối với đất. Nếu R_{cd} đủ lớn thì dòng điện đi qua người I_{ng} có thể giảm đến mức an toàn.

b. Trường hợp mạng điện có điện áp cao $U > 1000$ V, dây cách điện tốt và chiều dài đường dây dài

Trường hợp này $R_{cd} = \infty$ nên $g_1 = g_2 = g_3 = 0$. Điện dung C của các pha đối với đất lớn. Đặt $C_1 = C_2 = C_3 = C$, dòng điện đi qua người I_{ng} được xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{3U}{\sqrt{9R_{ng}^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (3.15)$$

Như vậy, dòng điện đi qua người I_{ng} phụ thuộc vào điện trở người R_{ng} và điện dung của đường dây C . Nếu giá trị điện dung C càng lớn thì dòng điện đi qua người I_{ng} càng lớn và đây là trường hợp nguy hiểm.

c. Trường hợp mạng điện có cách điện không lớn lắm, chiều dài đường dây dài và điện áp cao.

Đây là trường hợp trung gian giữa hai trường hợp trên. Khi đó $g_1 = g_2 = g_3 = 1 / R_{cd}$ và $C_1 = C_2 = C_3 = C$.

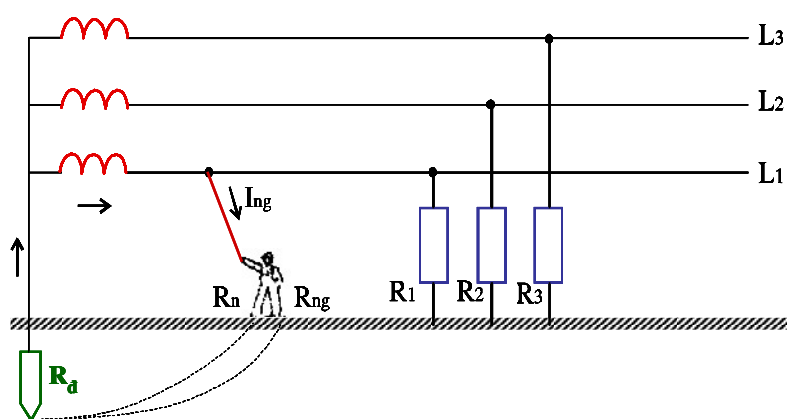
Dòng điện đi qua người I_{ng} khá lớn và được xác định theo biểu thức sau:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_{cd}(R_{cd} + 6R_{ng})}{9(1 + R_{cd}^2 \cdot \omega^2 C^2) \cdot R_{ng}^2}}} \quad (3.16)$$

Như vậy, hai trường hợp sau (trường hợp b và c) đều rất nguy hiểm vì cường độ dòng điện qua người có giá trị lớn và thường gây chết người.

2. Mạng điện có trung tính trực tiếp nối đất.

Mạng điện có trung tính trực tiếp nối đất được trình bày ở hình 3.8.



Hình 3.8.
Người tiếp xúc
với một pha ở lưới
điện 3 pha 3 dây có
trung tính nối đất

a. Mạng điện điện áp thấp $U \leq 1000 V$

Mạng điện ba pha có điểm trung tính trực tiếp nối đất nguy hiểm nhất là trường hợp có một dây chạm đất hoặc chạm vào vỏ máy và người đứng ở đất chạm vào một trong hai dây dẫn còn lại. Để giảm bớt nguy hiểm trong trường hợp này, cần thực hiện nối đất điểm trung tính của nguồn cung cấp (mạng 380/220V) nhằm bảo đảm cho khí cụ điện bảo vệ (rơle, máy cắt, cầu chì) nhanh chóng cắt điện khi một pha chạm đất.

Nhược điểm chính của mạng điện có trung tính trực tiếp nối đất là trường hợp làm việc bình thường người chạm phải một dây dẫn, dòng điện qua người tương đối lớn.

$$I_{ng} = \frac{U_{fa}}{R_{ng} + R_d + R_n}$$

Ở đây: R_d là điện trở nối đất của điểm trung tính; R_n là điện trở của nền dưới chân người; U_{fa} là điện áp pha.

Nếu nối đất tốt ($R_d \approx 0$) và sàn nền đất ướt ($R_n \approx 0$) thì dòng điện đi qua người sẽ là:

$$I_{ng} \approx \frac{U_{fa}}{R_{ng}}$$

Đối với mạng điện trung tính nối đất, cho dù điện trở cách điện, vỏ bọc cách điện của các pha đối với đất là rất lớn ($R_1 = R_2 = R_3 = R_{cd}$) thì vẫn không làm giảm được dòng điện đi qua người và điện áp mà người phải chịu là điện áp pha rất nguy hiểm.

b. Mạng điện có điện áp cao $U > 1000V$

• Đối với lưới điện có điện áp $U \geq 110 \text{ kV}$, về mặt an toàn trung tính được trực tiếp nối đất có lợi là khi chạm đất một pha, mạch bảo vệ sẽ cắt ngay sự cố nên giảm thời gian tồn tại của điện áp giáng ngay chỗ chạm đất. Do đó, giảm được xác suất nguy hiểm đối với người làm việc gần đó. Nhược điểm của mạng điện trung tính trực tiếp nối đất là dòng ngắn mạch chạm đất lớn.

• Đối với mạng điện có điện áp $U \leq 35 \text{ kV}$, điểm trung tính ít khi nối đất trực tiếp, thường cách điện và nối đất qua cuộn dập hồ quang.

Khi nối đất qua cuộn dập hồ quang, về mặt an toàn nó có tác dụng giảm dòng điện qua chỗ chạm đất nên giảm được điện áp quanh chỗ chạm đất.

3.6. MẠNG ĐIỆN BA PHA BỐN DÂY.

1. Mạng điện có trung tính cách điện đối với đất.

Mạng điện ba pha trung tính cách điện đối với đất chỉ được sử dụng ở nơi có yêu cầu an toàn như trong khai thác than bùn, khai thác mỏ, hầm lò, trong tàu thủy. Để ngăn ngừa điện chạm đất, người ta phải đặt khí cụ điện bảo vệ (rơ le, cầu chì, máy cắt) kiểm tra ở từng pha.

a. Chạm trực tiếp vào một dây pha.

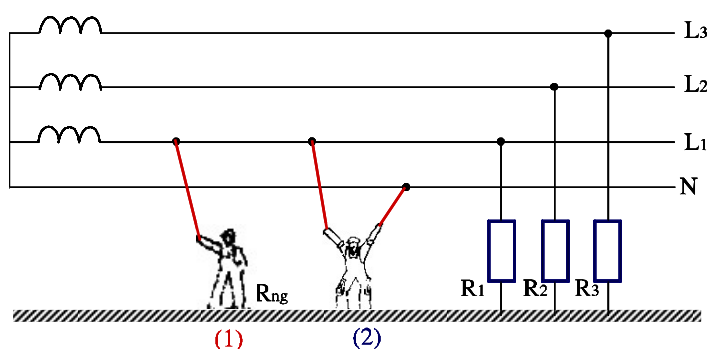
Khi người chạm trực tiếp vào một dây pha của mạng ba pha bốn dây trung tính cách điện đối với đất sẽ có hai khả năng xảy ra.

• Trường hợp người chạm vào dây pha

Xét trường hợp người chạm trực tiếp vào một dây pha của mạng trung tính cách điện đối với đất (1) (Hình 3.9) và gọi tổng trở của pha so với đất là R_{td} . Tổng trở này bao gồm điện trở cách điện so với đất R_x đấu song song với tụ điện C hình thành giữa dây pha và đất.

Giả sử điện trở cách điện R_x và giá trị điện dung C của mỗi pha so với đất đều bằng nhau thì dòng điện đi qua người sẽ là:

$$I_{ng} = \frac{U_{fa}}{R_{ng} + \frac{R_{td}}{3}} \quad (3.17)$$



Hình 3.9.
Người tiếp xúc trực tiếp vào 1 pha ở mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính cách điện đối với đất

• Trường hợp người vừa tiếp xúc với dây pha vừa tiếp xúc với dây trung tính

Khi người vừa tiếp xúc với dây pha lại vừa tiếp xúc với dây trung tính (2) (Hình 3.9) thì người phải chịu một điện áp là điện áp pha và dòng điện đi qua người sẽ là:

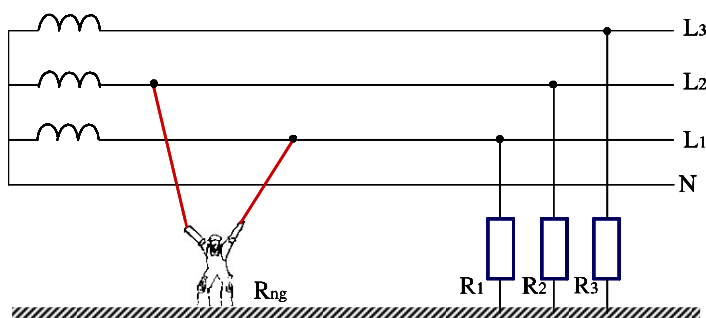
$$I_{ng} = \frac{U_{fa}}{R_{ng}} \quad (3.18)$$

b. Chạm trực tiếp vào hai dây pha.

Đây là trường hợp nguy hiểm nhất và điện áp chạm bằng điện áp dây U_d . Khi chạm trực tiếp vào hai pha (Hình 3.10), giá trị dòng điện đi qua người lớn nhất và được xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{U_d}{R_{ng}} = \frac{\sqrt{3} U_{fa}}{R_{ng}}$$

Trường hợp chạm trực tiếp vào hai pha ít gặp và chỉ xảy ra nhiều ở mạng điện hạ áp do khi sửa chữa không đảm bảo đúng các qui định về an toàn điện.



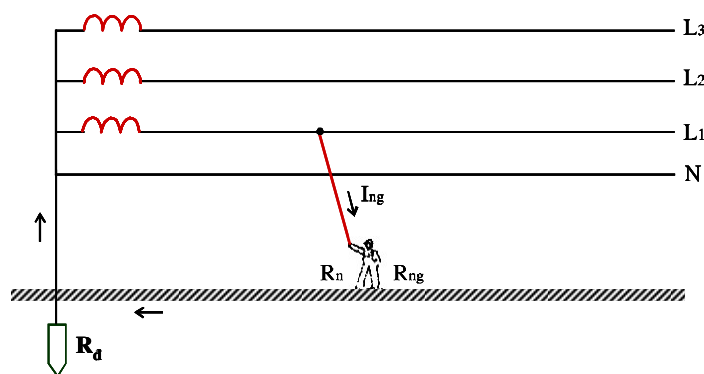
Hình 3.10
Người tiếp xúc trực tiếp vào 2 pha của mạng điện 3 pha 4 dây trung tính cách điện đối với đất

2. Mạng điện có trung tính trực tiếp nối đất

Mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất là các mạng điện được sử dụng phổ biến hiện nay. Loại mạng điện này nguy hiểm cho người sử dụng điện vì có thể bị giật khi đứng trên đất mà chạm vào dây dẫn điện.

a. Chạm trực tiếp vào một dây pha.

Khi người chạm trực tiếp vào một dây pha sẽ có hai tình huống bị điện giật xảy ra:



Hình 3.11.
Người chạm trực tiếp vào một dây pha của mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất.

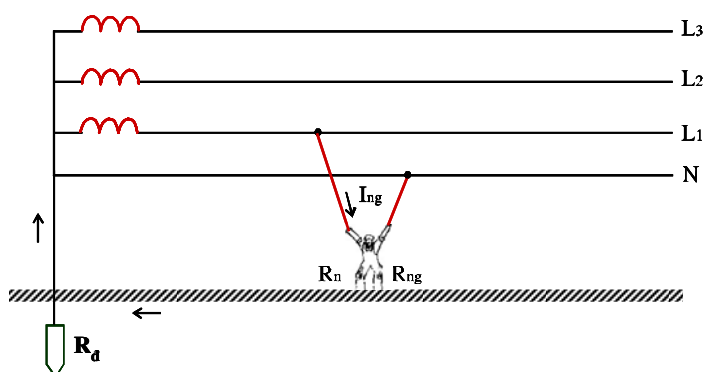
• **Tình huống 1:** Người đứng trên nền đất tiếp xúc với dây pha (Hình 3.11), dòng điện từ dây pha qua người xuống đất về dây trung tính nguồn. Dòng điện chạy qua người được xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{U_{fa}}{R_{ng} + R_n + R_d} \quad (3.19)$$

Ở đây: R_{ng} là điện trở của cơ thể người; R_n là điện trở nền; R_d là điện trở nối đất nguồn; U_{fa} là điện áp pha của mạng điện.

• **Tình huống 2:** Người tiếp xúc đồng thời với dây pha và dây trung tính (khi dây trung tính đã được nối đất) (hình 3.12). Lúc này người bị điện giật chịu điện áp chạm bằng điện áp pha và dòng điện chạy qua người sẽ là:

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



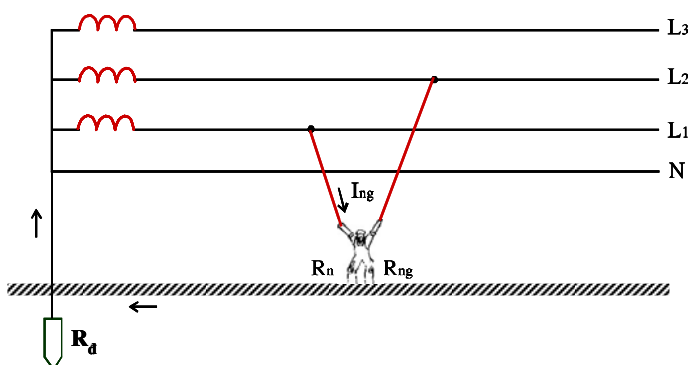
Hình 3.12.
Người chạm đồng thời vào một dây pha và một dây trung tính của mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất.

b. Chạm trực tiếp vào hai dây pha.

Đây là trường hợp rất nguy hiểm và điện áp chạm bằng điện áp dây U_d . Khi chạm trực tiếp vào hai dây pha (Hình 3.13) cho dù người được cách điện với mạng điện thì giá trị dòng điện đi qua người vẫn lớn nhất và được xác định theo biểu thức:

$$I_{ng} = \frac{U_d}{R_{ng}} = \frac{\sqrt{3} U_{fa}}{R_{ng}}$$

Ở đây: U_d , U_{fa} lần lượt là điện áp dây và điện áp pha của mạng điện; R_{ng} là điện trở người.



Hình 3.13.
Người chạm trực tiếp vào hai dây pha của mạng điện 3 pha 4 dây có trung tính trực tiếp nối đất.