

ЛЕКЦИЯ 11

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ШАГА

В случае замыкания фазы на землю (обрыв и падение фазного провода на землю, замыкание фазы на корпус заземленного оборудования и т.д.) (рис.1) происходит растекание тока в земле (грунте).

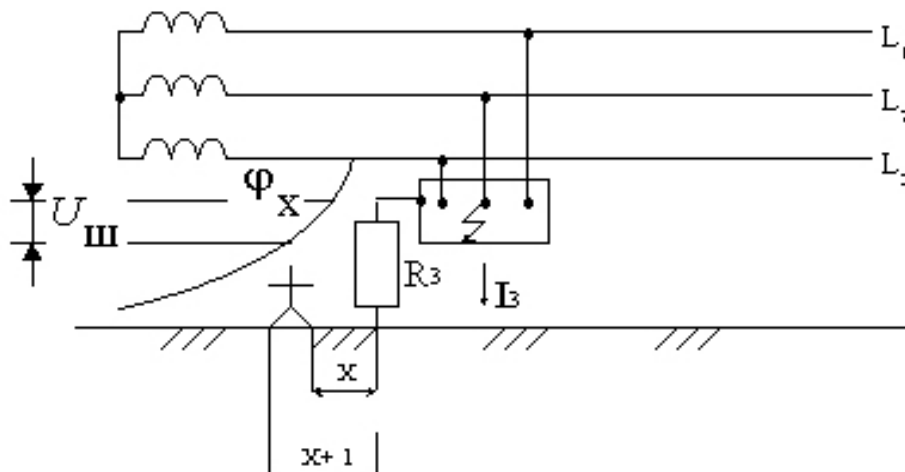


Рис. 1. Схема включения человека под напряжением шага

На поверхности земли появляется электрический потенциал $\varphi(x)$ величина которого зависит от величины тока замыкания на землю I_3 , удельного сопротивления грунта ρ_3 в зоне растекания тока и расстояния от точки замыкания x .

В зоне растекания тока человек может оказаться под разностью потенциалов, например на расстоянии шага.

Напряжение шага – это напряжение между двумя точками на поверхности земли на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

$$U_{\text{ш}} = \varphi(x) - \varphi(x+1)$$

Остановимся подробнее на этом явлении – растекания тока в земле.

Физические основы протекания тока в земле

Стеkanie тока в землю происходит через проводник, находящийся с ней в непосредственном контакте.

При замыкании одной фазы электроустановки на землю происходит резкое снижение потенциала (напряжение относительно земли U_3 , В) заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю (I_3 , А) на сопротивление, которое этот ток встречает на

своем пути, т.е. сопротивление заземлителя растеканию тока. $(R_3, \text{ Ом}) U_3 = I_3 \cdot R_3$.

Однако наряду с понижением потенциала, что хорошо, происходит появление напряжения на заземлителе и находящихся в контакте с ним металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю.

Разности потенциалов отдельных точек при этом могут достигать больших значений и представлять опасность для человека

Для комплексного рассмотрения физических основ протекания тока в земле принимаются следующие допущения:

1. Земля по всей толще предполагается однородной, т.е. обладающей одним и тем же удельным электрическим сопротивлением $\rho_3 = \text{const}$.

Среднее значение удельного сопротивления земли принимается $\rho_3 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

2. Предполагается, что плотность j в любой точке земли постоянная во времени по величине и направлению, $j = \text{const}$.

Плотность тока прямо пропорциональна напряженности электрического поля $j = E/\rho_3$; $E = j \cdot \rho_3$, т.к. линии тока j совпадают с линиями напряженности электрического поля E . Следовательно, в любой точке земли напряженность электрического поля также постоянна во времени и направлению, $E = \text{const}$.

Вследствие постоянства плотности тока величина магнитного истока, пронизывающего любой контур в земле, постоянная во времени $d\Phi/dt = 0$. Из постоянства магнитного потока для любого контура следует, что интеграл напряженности электрического поля между точками А и В не зависит от пути интегрирования:

$$\int_A^B E_1 dx - \int_A^B E_2 dx = 0 ,$$

откуда

$$\int_A^B E_1 dx = \int_A^B E_2 dx = \int_A^B E dx = U_{AB},$$

где x – путь интегрирования от А к В.

Отсюда следует, что напряженность электрического поля в земле при протекании по ней постоянных токов равна градиенту электрического потенциала $E = dU/dx$.

При стекании тока с заземлителя в землю необходимо учитывать граничные условия на поверхности раздела электрод – земля.

Определение потенциала при стекании тока через шаровой заземлитель

Для определения потенциала, создаваемого в земле и на её поверхности при протекании тока через заземлитель, рассматриваем заземлитель как шаровой – радиусом r (м) (рис. 2) Через этот шар в землю по проводнику стекает ток I_3 .

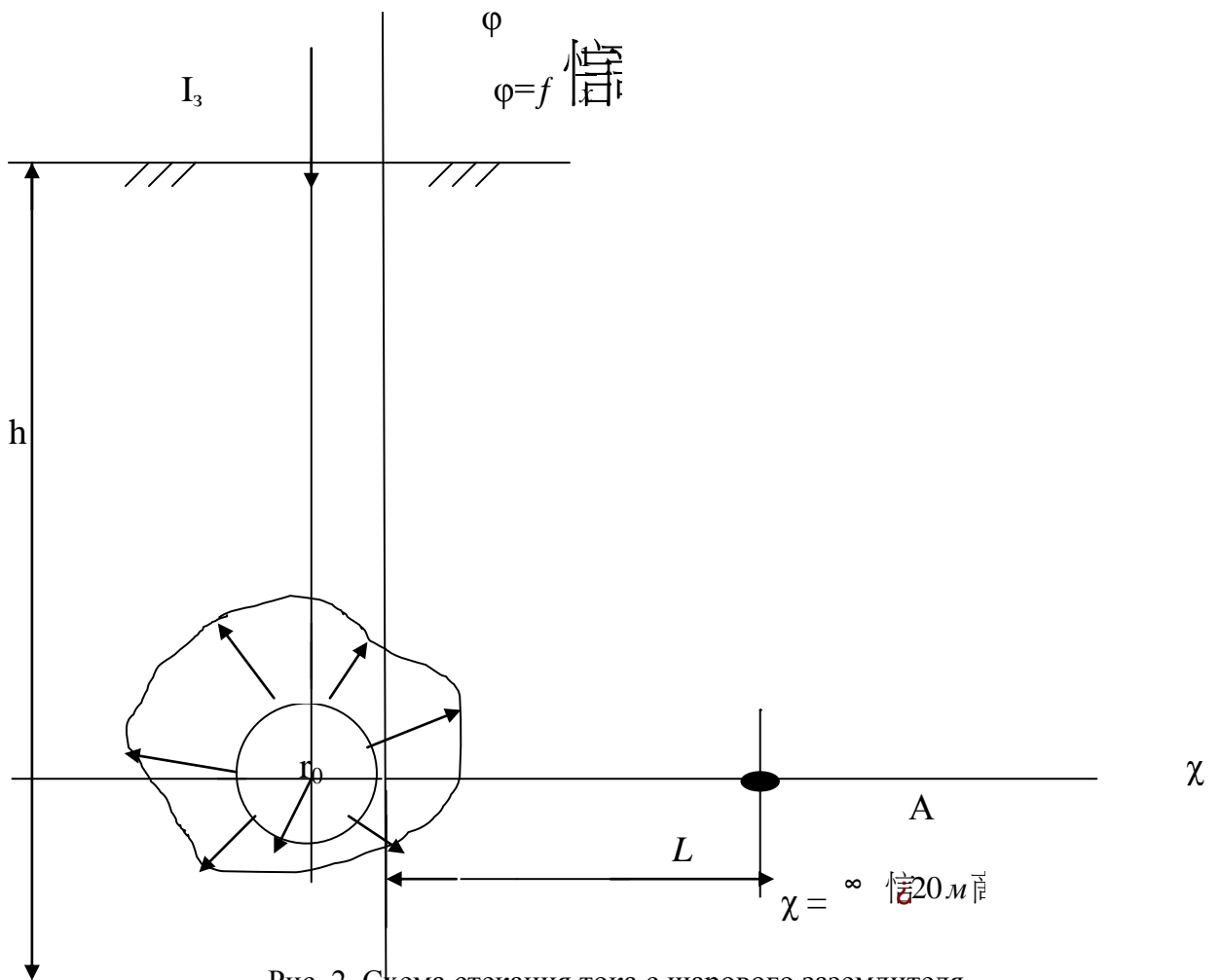


Рис. 2. Схема стекания тока с шарового заземлителя

Учитывая принятые ранее допущения плотность тока:

$$j = \frac{I_3}{4\pi x^2},$$

Напряженность электрического поля $E = dU/dx$; Отсюда потенциал $dU = E \cdot dx$, с другой стороны $j = E/\rho_3$; $E = j \cdot \rho_3$

$$dU = E \cdot dx = j \cdot \rho_3 \cdot dx = \frac{I_3}{4\pi x^2} \rho_3 \cdot dx$$

$$\phi = \int_x^{\infty} dU = \int_x^{\infty} \frac{I_3 \rho_3}{4\pi x^2} dx = \frac{I_3 \rho_3}{4\pi} \int_x^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{I_3 \rho_3}{4\pi x},$$

максимальный потенциал будет при наименьшем значении x , равным радиусу заземлителя, т.е. непосредственно на заземлителе:

$$\phi_3 = \frac{I_3 \rho_3}{4\pi r},$$

В любой точке земли $\phi_A = \frac{I_3 \rho_3}{4\pi r_A}$.

Определение потенциала при стекании тока через полушаровой заземлитель

Заземлитель, расположенный на поверхности земли, можно рассматривать, как полушаровой (рис. 3).

Учитывая принятые ранее допущения:

$$j = \frac{I_3}{2\pi x^2}, \quad j = E/\rho_3; \quad E = j \cdot \rho_3$$

$$E = dU/dx; \quad dU = E \cdot dx$$

$$\phi = \int_x^{\infty} dU = \int_x^{\infty} E dx = \int_x^{\infty} j \rho_3 dx = \int_x^{\infty} \frac{I_3 \rho_3}{2\pi x^2} dx = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi} \int_x^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi x},$$

$$\phi_3 = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi r},$$

$$\phi_A = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi r_A}.$$

С другой стороны потенциал любой точки земли в том числе и на поверхности будет пропорционален падению напряжения сопротивления элементарного слоя земли между эквипотенциальными поверхностями (полусферами) с радиусами r и $(r + dr)$ в грунте с удельным сопротивлением ρ_3 (рис.3):

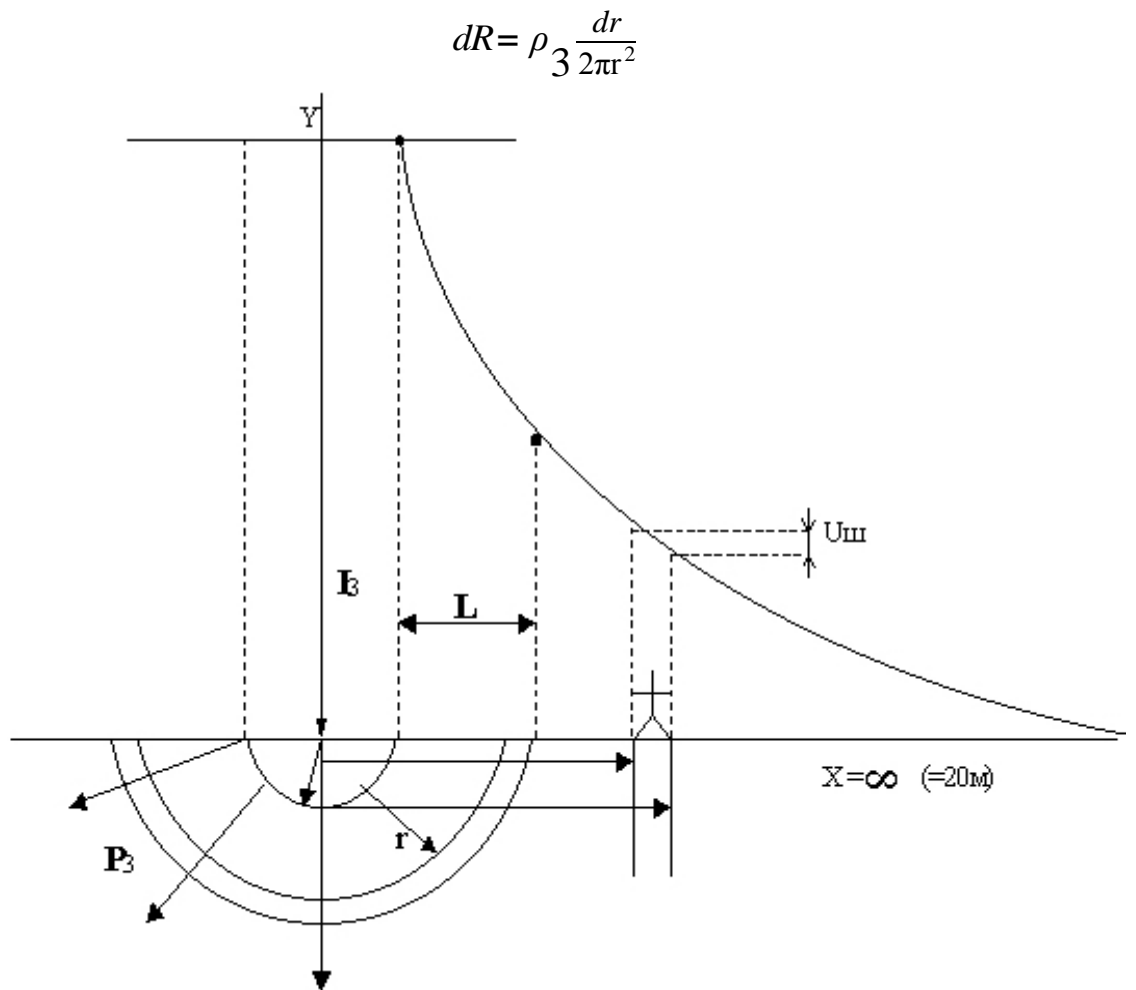


Рис. 3. Схема стекания тока с полушарового заземлителя

Всё сопротивление растекания тока с заземлителя полушара радиусом r_0 составит:

$$R = \int_0^{\infty} dR = \frac{\rho_3}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho_3}{2\pi r_0}$$

Потенциал на заземлителе:

$$\phi_3 = I_3 \cdot R = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi r_0}$$

В любой точке А в земле от нуля до x :

$$\phi_A = \frac{I_3 \cdot \rho_3}{2\pi r} = \frac{I_3 \rho_3}{2\pi \cdot 0.7L}$$

Если человек идет к месту заземления, то через ноги и тело человека будет протекать ток, который зависит от напряжения, создаваемого разностью потенциалов точек x_1 и x_2 .

$$U_m = \frac{\rho_3 \cdot I_3}{2\pi} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

x_1 и x_2 - расстояния от центра заземления до ног человека.