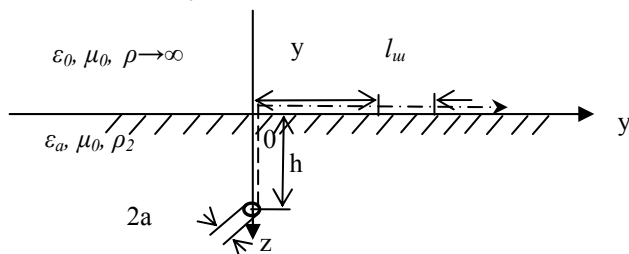


РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

КИСЕЛЕВА Ю.А., асп., БЕДНЯКОВ С.В., студ., руководитель СЛЫШАЛОВ В.К., д.т.н., проф.

Предложена методика расчета напряжений прикосновения и шага при протекании по заземлителю синусоидального тока, а также сопротивлений и проводимостей заземлителя, модель которого адекватна протекающим в нем электромагнитным процессам.

Искомыми, согласно [1], являются: напряжение $U(x)$ между заземлителем и виртуальной бесконечноудаленной поверхностью, на которой собирается стекающий с заземлителя ток; переходное сопротивление z_n ; сопротивление заземления (входное сопротивление); распределение шагового напряжения $U_w(x, y)$ на поверхности земли; напряжение прикосновения $U_{np}(x)$ и параметры адекватной заземлителю модели в форме длинной линии (цепи с распределенными параметрами). Задачи расчета поясняет рисунок.



К расчету напряжений прикосновения и шага

Напряжение $U(x)$ вычисляем как сумму напряжений на пути, указанном пунктиром на рисунке.

$$U(x) = - \int_0^{h-a} E_{z2}(y, z) dz + \int_0^\infty E_{y3}(y, z) dz dy \quad (1)$$

Приближенный (инженерный) вариант (1) –

$$U(x) \cong \frac{\gamma \rho_2 I(x)}{2\pi} \left[\ln \frac{h^2}{(2h-a)a} + \ln \left(\frac{1,123j}{\gamma h} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Первое слагаемое в (2), равное напряжению между заземлителем и точкой «0» поверхности земли, является напряжением прикосновения для данного сечения системы заземлитель – грунт:

$$U_{np}(x) \cong \frac{\gamma \rho_2 I(x)}{2\pi} \ln \frac{h}{2a}, \quad (h \gg a) \quad (3)$$

Из выражения (2) определяется и сопротивление заземления (входное сопротивление), равное для данного случая волновому сопротивлению,

$$z_{ex} = z_B = \frac{U(x)}{I(x)} = \frac{\gamma \rho_2}{\pi} \ln \frac{1,123j}{\gamma \sqrt{2ha}} \quad (4)$$

Переходное сопротивление вычисляется через ток, стекающий с единицы длины заземлителя [1], причем имеем

$$I_0(x) = - \frac{\partial I(x)}{\partial x} = \mathcal{A}(x) Z_{II} = \frac{U(x)}{I_0(x)} = \frac{z_B}{\gamma} \quad (5)$$

Распределение шагового напряжения в этой задаче является экстремальным вдоль оси y и вычисляется по формуле (обозначения на рисунке)

$$\begin{aligned} U_w(x, y) &= \int_y^{y+l_w} E_{y3}(\xi, z) d\xi = \\ &= \frac{\gamma \rho_2 I(x)}{\pi} \ln \frac{\sqrt{(y+l_w)^2 + h^2}}{\sqrt{y^2 + h^2}} \end{aligned} \quad (6)$$

Параметры адекватной заземлителю длинной линии, т.е. значения интегральных погонных параметров в телеграфных уравнениях линии

$$- \frac{dU}{dx} = (r_0 + jx_0)I \quad (7)$$

$$- \frac{dI}{dx} = (g_0 + jb_0)U$$

находим как и в задачах, рассмотренных в статье [1], по условиям $z_{BM} = z_B$, $\gamma_M = \gamma$.

Заменяя в (7) производные произведениями $\gamma U(x)$, $\mathcal{A}(x)$ и учитывая соотношение (2)), получаем для параметров модели [1] расчетные формулы в виде:

$$g_0 + jb_0 = \frac{\pi}{\rho_2 \ln \frac{1,123j}{\gamma \sqrt{2ha}}} \quad (8)$$

$$r_0 + jx_0 = \frac{\gamma^2 \rho_2}{\pi} \ln \frac{1,123j}{\gamma \sqrt{2ha}} \quad (9)$$

В заключение, учитывая необходимость определения волновых параметров для участков заземлителя, находящихся в воздухе вблизи границы с грунтом [1], приведем основные соотношения для их расчета. Величины, относящиеся к воздуху, обозначаем индексом «0», к грунту – индексом «2».

Уравнение для определения параметра –

$$\frac{m_0^2}{k_0^2} \ln \frac{2h}{a} = -2 \int_0^\infty \frac{1}{\eta_0 + \eta_2} e^{-2h\eta_0} d\eta - \frac{2\pi}{j\omega\mu_0}, \quad (10)$$

где $m_0^2 = k_0^2 + \gamma^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 + \gamma^2$

$$\eta_0 = \sqrt{v^2 - m_0^2}, \quad \eta_2 = \sqrt{v^2 - m_2^2} \cong \sqrt{v^2 + j \frac{\omega\mu_0}{\rho_2}}, \quad z_0 =$$

погонное сопротивление заземлителя (см. выше). Это уравнение решается численно методом последовательных приближений при начальном значении $m_0 = 0$ под интегралом.

Полагая, что значение постоянной распространения найдено, определяем перечисленные выше характеристики и параметры волнового процесса, в заземлителе.

Список литературы

1. Слышалов В.К., Голов П.В., Киселева Ю.А., Тимофеева И.В. Полевая и цепная модели волновых процессов в протяженном заземлителе // Вестник ИГЭУ.- 2004.-вып. 5.
2. Слышалов В.К., Киселева Ю.А. Электромагнитное поле протяженного заземлителя, проложенного параллельно границе раздела воздух-грунт. // Вестник ИГЭУ. – 2005.-вып. 1.
3. Гринберг Г.А., Бонштедт Б.Э. Основы точной теории волнового поля линии передачи //ЖТФ.-1954.-ТХХIV, вып.1.-с.67-95.