© «Вестник ИГЭУ» Вып. 4 2005 г.

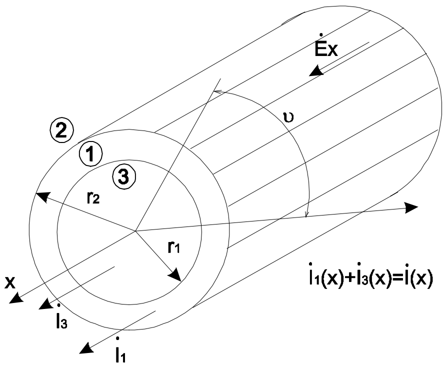
УДК 621.316

ПОЛЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОТЯЖЕННОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

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

Представлены материалы исследования электромагнитного поля прямого протяженного заземлителя в форме цилиндрической трубы, проложенной в неограниченном проводящем пространстве. На основе решений для векторов поля устанавливаются параметры цепи с распределенными параметрами.

Полагаем, что труба проложена в неограниченном пространстве, заполненном средой, электрические свойства которой характеризуются удельным сопротивлением ρ_2, диэлектрической и магнитной проницаемостью $\varepsilon_{a2}=\varepsilon_2\varepsilon_0$, $\mu_{a2}=\mu_0$. Внутренняя область трубы заполнена средой с параметрами ρ_2, ε_{a2}, $\mu_{a2}=\mu_0$. По заземлителю протекает синусоидальный ток, амплитуда и фаза которого изменяются по длине трубы за счет оттока в среду, и поэтому комплексное значение тока является функцией координаты *x*: $\dot{I}=\dot{I}(x)$.



Координатная система и геометрические характеристики заземлителя

Описанный процесс, как это следует из уравнений Максвелла [2], является волновым, причем все компоненты комплексов напряженностей электрического и магнитного полей $\dot{\vec{E}}, \dot{\vec{H}}$ удовлетворяют уравнению Гельмгольца

$$\Delta\psi_i + k_i^2\psi = 0 \qquad (1)$$

ψ_i - любая из составляющих напряженностей в среде i=1,2,3 (см. рисунок),

$$k_i^2 = \varpi^2 \tilde{\varepsilon}_{ai}\mu_{ai} = \varpi^2\left(\varepsilon_{ai} - j\frac{1}{\varpi\rho_i}\right)\mu_{ai}.$$

Классическая методика решения уравнения (1) [2] предполагает экспоненциальное изменение ψ_i по координате *x* с показателем экспоненты $\pm\gamma x$, где $\gamma=\alpha+j\beta$ – постоянная распространения инвариантная относительно номера среды *i*; α и β – коэффициенты затухания и фазы; знаки "–", "+" соответствуют прямой и обратной волнам.

Полагая, что заземлитель имеет неограниченную длину, будем рассматривать в полевой модели только движение прямой волны, а процессы отражения и преломления волн, обусловленные конечной длиной участков заземлителя и послойным изменением удельного сопротивления среды, разберем на основе цепной модели.

С учетом указанного выше допущения, формально означающего для прямой волны, что $\frac{\partial}{\partial x} = -\gamma$, уравнение (1) относительно составляющей $\dot{E}_{xi}$ в координатной системе (см. рисунок) принимает вид

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{d\dot{E}_{xi}}{dr}\right) + m_i^2\dot{E}_{xi} = 0, \qquad \text{где}\, m_i^2 = k_i^2 + \gamma^2 \qquad (2)$$

Общая форма решений (2) известна, поэтому, опуская промежуточные выкладки, запишем выражения для *Ėx, Ėr, Ḣυ* в областях «1», «2» (см. рисунок):

Поле в заземлителе ($r_1 \le r \le r_2$)

$$\left.\begin{aligned}
\dot{E}_{x1} &= A_1J_0(k_1r) + B_1H_0(k_1r),\\
\dot{E}_{r1} &= \frac{1}{k_1}\frac{dA_1}{dx}J_0'(k_1r) + \frac{1}{k_1}\frac{dB_1}{dx}H_0'(k_1r),\\
\dot{H}_{\upsilon 1} &= -\frac{1}{k_1\rho_1}\left[A_1J_0'(k_1r) + B_1H_0'(k_1r)\right].
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

поле в грунте ($r_2 \le r \le \infty$)

$$\left.\begin{aligned}
\dot{E}_{x2} &= C_2H_0(m_2r),\\
\dot{E}_{r2} &= \frac{1}{m_2}\frac{dC_2}{dx}H_0'(m_2r),\\
\dot{H}_{\upsilon 2} &= -\frac{1}{m_2\rho_2}C_2H_0'(m_2r).
\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Уравнение, с учетом граничных условий, для определения электромагнитного параметра m_2 стержневого заземлителя, проложенного в неограниченной среде,

$$\frac{k_1\rho_1}{2\pi a}\cdot\frac{J_0(k_1a)}{J_1(k_1a)} = -\frac{m_2^2\rho_2}{2\pi}\,ln\,\frac{\gamma' m_2 a}{2j} \qquad (5)$$

решаем методом последовательных приближений.

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. **Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П.** Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения.- М.: Энергия, 1973.-272 с.