АЛГОРИТМ АНАЛИЗА НЕОДНОРОДНОЙ ЦЕПНОЙ СХЕМЫ

В.В. Гизенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Б.А. Верига

Рассмотрим линию с распределенными параметрами, к которой через определенные промежутки различной длины подключены источники тока. Основными характеристиками каждого участка являются:

l – длина участка;

$\gamma = \sqrt{\left(R_0 + j\omega L_0\right)\left(G_0 + j\omega C_0\right)}$ – постоянная распространения;

$Z_B = \sqrt{\dfrac{\left(R_0 + j\omega L_0\right)}{\left(G_0 + j\omega C_0\right)}}$ – волновое сопротивление.

В случае, когда заданы погонные параметры линии (R_0, L_0, G_0, C_0), решение для описанной схемы известно. Однако в некоторых практических задачах неизвестной величиной является проводимость G_0, которая для различных участков разная и определяет утечки с линии.

Предлагается решать такую задачу следующим способом:

1. Рассмотрим линию с подключенными источниками тока (рис. 1а). Участок линии между двумя источниками может быть представлен в виде симметричного

Т-образного четырехполюсника (рис. 1б), сопротивления которого определяются по следующим формулам:

$$Z_{1,n} = Z_{2,n} = \frac{ch(\gamma_{n,n+1} l_{n,n+1}) - 1}{sh(\gamma_{n,n+1} l_{n,n+1})} Z_c, \tag{1}$$

$$Z_{3,n} = \frac{1}{sh(\gamma_{n,n+1} l_{n,n+1})} Z_c, \tag{2}$$

2. Для каждого узла схемы замещения может быть записано уравнение:

$$-Y_{n,n-1}\varphi_{n-1} + (Y_{n,n} + Y_{n,з})\varphi_n - Y_{n,n+1}\varphi_{n+1} = I_n, \tag{3}$$

где

$$Y_{n,n} = \{cth(\gamma_{n,n-1} l_{n,n-1}) + cth(\gamma_{n,n+1} l_{n,n+1})\}\frac{1}{Z_c};$$

$$Y_{n,n-1} = Y_{n,n+1} = \frac{1}{sh(\gamma_{n,n+1} l_{n,n+1})}\frac{1}{Z_c}.$$

В матричной форме:

$$(Y_m + Y_з)\varphi_n\rangle = I_n\rangle, \tag{4}$$

где Y_m – матрица взаимных проводимостей участков линии; $Y_З$ – матрица проводимостей источников тока; $\varphi_n\rangle$ – матрица потенциалов; $I_n\rangle$ – матрица токов источников.

Система уравнений может быть решена относительно $\gamma_{n,n+1}$ при условии конечности схемы, или для участка схемы при известных параметрах какого-либо участка между источниками.

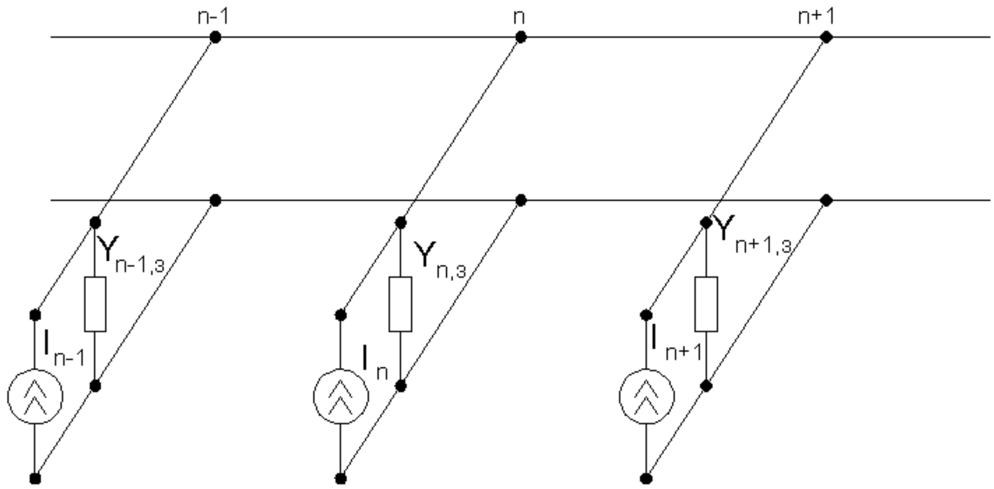
$$\gamma_{n,n+1} = \frac{1}{l_{n,n+1}} arsh\left(\frac{1}{B}\right), \tag{5}$$

где

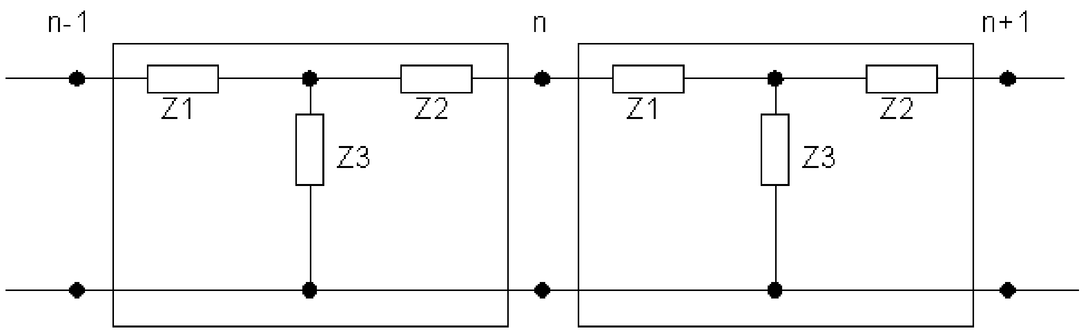
$$B = \frac{2A\varphi_{n+1} \pm \sqrt{(2A\varphi_{n+1})^2 - 4(\varphi_n^2 - \varphi_{n+1}^2)(\varphi_n^2 - A)}}{2(\varphi_n^2 - \varphi_{n+1}^2)};$$

$$A = J_n Z_c + \frac{\varphi_{n-1}}{sh(\gamma_{n,n-1} l_{n,n-1})} - \varphi_n \sqrt{\left(\frac{1}{sh(\gamma_{n,n-1} l_{n,n-1})}\right)^2 + 1}.$$

Рассчитав постоянную распространения для каждого участка можно рассчитать положение и величину нарушения изоляции.



а)



б)

Рис. 1. Длинная линия с подключенными источниками (*а*) и ее схема замещения (*б*)

3. Определим положение и величину утечки на участке (n, n + 1) (рис. 2).

Найдем $\gamma^*_{n,n+1}$ для рассматриваемого участка длиной $L_{n,n+1}$. Это значение будет больше, чем $\gamma_{n,n+1}$ для опорного участка. В качестве опорного участка можно взять тот, с которого начинался расчет. Обозначим $\gamma_{n,n+1} = \gamma$; $\gamma^*_{n,n+1} = \gamma^*$; $L_{n,n+1} = L$. Пусть на расстоянии L_1 от входа n находится повреждение с проводимостью Y ($L_2 = L - L_1$).

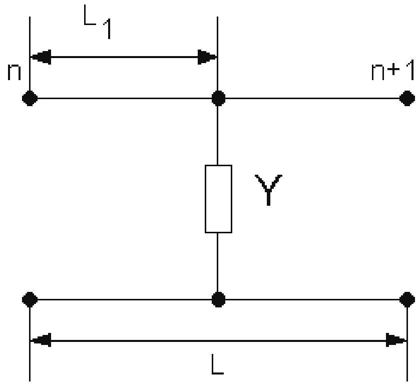


Рис. 2. Схема участка линии с утечкой

Матрица передачи [A] опорного участка при $Z_В = 1$ (т. е. нормированная) имеет вид:

$$[A]=\begin{pmatrix} ch(\gamma L_1)ch(\gamma L_2)+sh(\gamma L_1)sh(\gamma L_2) & ch(\gamma L_1)sh(\gamma L_2)+sh(\gamma L_1)ch(\gamma L_2) \\ ch(\gamma L_1)sh(\gamma L_2)+sh(\gamma L_1)ch(\gamma L_2) & ch(\gamma L_1)ch(\gamma L_2)+sh(\gamma L_1)sh(\gamma L_2) \end{pmatrix}, \tag{6}$$

Матрица передачи [A^*] рассматриваемого участка:

$$[A^*]=[A]+Y\begin{pmatrix} sh(\gamma L_1)ch(\gamma L_2) & sh(\gamma L_1)sh(\gamma L_2) \\ ch(\gamma L_1)ch(\gamma L_2) & ch(\gamma L_1)sh(\gamma L_2) \end{pmatrix}, \tag{7}$$

с другой стороны:

$$[A^*]=\begin{pmatrix} ch(\gamma^*(L_1+L_2)) & sh(\gamma^*(L_1+L_2)) \\ sh(\gamma^*(L_1+L_2)) & ch(\gamma^*(L_1+L_2)) \end{pmatrix}. \tag{8}$$

Приравнивая соответствующие члены матриц находим Y и L_1:

$$L_1 = L\left(1-\frac{2}{\gamma L^2\left(\gamma+\gamma^*\right)}\right), \tag{9}$$

$$Y=\frac{L\left(\gamma^*-\gamma\right)}{\gamma^2 L_1\left(L-L_1\right)}. \tag{10}$$

Таким образом, рассчитывается постоянная распространения для каждого участка (формула (5)) и по формулам (9) и (10) могут быть рассчитаны положение и величина утечки.

Данная методика может быть применена при оперативном контроле состояния изоляции магистральных трубопроводов и кабелей уложенных в грунт.

Литература

1. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров /Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.
2. Основы теории цепей: учебник для вузов /Г.В. Зевеке [и др.]. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.