Анализ канонической, стандартной управляемой и наблюдаемой моделей элементарного участка одной линии канала передачи данных

Сергеев Илья Александрович

Аспирант

Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

E-mail: hise73@yandex.ru

Научный руководитель *— Цыганова Юлия Владимировна*

Технология передачи данных по витой паре в настоящее время является самым распространенным решением для построения проводных (кабельных) локальных сетей. Электрические свойства витой пары полностью характеризуются ее первичными параметрами: сопротивлением по постоянному току R, индуктивностью L проводников, емкостью между проводниками C, проводимостью изоляции G. Математическое и компьютерное моделирование передачи данных по витой паре позволяет глубже исследовать данную технологию и рассчитать оптимальные параметры линии передачи. В работе проведен анализ канонической, стандартной управляемой и наблюдаемой моделей [1] элементарного участка одной линии передачи данных. Для решения задачи была построена передаточная функция, соответствующие модели в пространстве состояний в непрерывном времени и проверены свойства управляемости и наблюдаемости.

Передаточная функция имеет следующий вид:

$$H(s) = \frac{c_0}{s^2 + a_1 s + a_0}, \tag{1}$$

где $c_0 = \dfrac{1}{LC}, a_1 = \dfrac{R}{L} + \dfrac{G}{C}, a_0 = \dfrac{RG+1}{LC}, s$ – переменная Лапласа [2].

Стандартная наблюдаемая модель:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c_0 \end{bmatrix} U_{\text{вх}}(t), \\ U_{\text{вых}}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}. \end{cases} \tag{2}$$

Стандартная управляемая модель:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} w(t), \\ y(t) = \begin{bmatrix} c_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}. \end{cases} \tag{3}$$

Каноническая модель:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} U_{\text{вх}}(t), \\ U_{\text{вых}}(t) = \begin{bmatrix} r_0 & r_2 \end{bmatrix} x(t)\,, \end{cases} \tag{4}$$

где коэффициенты r_1 и r_2 являются вычетами $H(s)$.

Подставим числовые значения параметров L, C, G, R для стандартной витой пары типа TP1(Ø 0.4мм) и TP2(Ø 0.5мм) в (4), которые зависят от вторичных параметров r_{0c}, a_c, l_0, l_∞, b, f_m, c_∞, g_0 и g_e следующим образом:

$$R(f) = \sqrt[4]{(r_{0c}^4 + a_c f^2)}; L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \left(\dfrac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\dfrac{f}{f_m}\right)^b}; C(f) = c_\infty; G(f) = g_0 f^{g_e}.$$

С учетом числовых значений вторичных параметров, приведенных в [2, табл. 2.1], получим, что при $f > 0$ дискриминант характеристического уравнения $D > 0$. Следовательно, характеристическое уравнение имеет два различных действительных корня, и для моделирования витой пары типа TP1 и TP2 можно рекомендовать каноническую модель, определяемую уравнениями (4).

Литература

1. Семушин И.В. Стохастические модели, оценки и управление. Раздел: Детерминистские модели динамических систем (учебно-методическое пособие) / И.В. Семушин, Ю.В. Цыганова. – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2007. – 22 с.
2. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп / Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

3. Düngen M. Crosstalk Mitigation Techniques for Digital Subscriber Line Systems / M. Düngen. – Cuvillier Verlag; 2016. – 162 p.