

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФОРМ СИГНАЛА НА КОНЦАХ ОТРЕЗКА ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ, ОСНОВАННЫЙ НА МЕТОДЕ МОДАЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Рыжова, магистрант

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, mariya_rijova@mail.ru*

На начальных этапах конструирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используют компьютерное моделирование для анализа форм сигнала на концах отрезков многопроводных линий передачи. Для более детального анализа частных структур и выявления причин искажения форм сигнала используют аналитические подходы.

В работе [1] детально рассматривается вычисление форм сигнала последовательно соединенных отрезков одиночных и связанных линий передачи с учетом дополнительных составляющих. Анализ форм сигнала с учетом каждого проводника многопроводной линии передачи представлен в [2]. Аналитический подход из [3] применяет метод модального разложения для вычисления форм сигнала, использующий источник изначально падающей моды и моды коэффициента отражения.

Цель работы – разработать алгоритм и выполнить программную реализацию для вычисления форм сигнала на концах отрезка двухпроводной линии передачи на основе метода модального разложения во временной области.

Теоретические основы аналитического подхода изложены в [3]. Для разработки алгоритма ниже приведены необходимые формулы и выражения.

Матрицы преобразования мод для двухпроводной линии представлены как

$$\mathbf{T}_V = \begin{bmatrix} 1 & 1-\rho \\ 1 & -\rho \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_I = \begin{bmatrix} \rho & 1 \\ 1-\rho & -1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{где } \rho = \frac{C_{11} + C_{12}}{C_{11} + C_{22} + 2C_{12}}.$$

Матрицы источника напряжения и импедансов на концах линии (индексы S и L обозначают начало и конец линии):

$$\mathbf{V}_S = \begin{bmatrix} V_S \\ 0 \end{bmatrix},$$

где V_S – амплитуда сигнала

$$\mathbf{R}_S = \begin{bmatrix} R_{S1} & 0 \\ 0 & R_{S2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_L = \begin{bmatrix} R_{L1} & 0 \\ 0 & R_{L2} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Матрицы модальных источников и модальных импедансов

$$\mathbf{V}_{sm} = \mathbf{T}_V^{-1} \mathbf{V}_s, \quad \mathbf{R}_{vm} = \mathbf{T}_V^{-1} \mathbf{R}_V \mathbf{T}_V. \quad (3)$$

Диагональные матрицы для \mathbf{L} и \mathbf{C}

$$\mathbf{L}_m = \mathbf{T}_I^{-1} \mathbf{L} \mathbf{T}_I, \quad \mathbf{C}_m = \mathbf{T}_I^{-1} \mathbf{C} \mathbf{T}_I$$

Характеристический импеданс

$$Z_{cmi} = \sqrt{\frac{L_{mi}}{C_{mi}}}, i=1,2,\dots,n. \quad (4)$$

Вектор источников изначально падающих мод

$$\mathbf{V}_{0m} = (\mathbf{E} + \mathbf{R}_{Sm} \mathbf{Z}_{cm}^{-1})^{-1} \mathbf{V}_{sm} = \begin{bmatrix} V_{0a} \\ V_{0b} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матрица мод коэффициентов отражения

$$\mathbf{\Gamma}_{vm} = (\mathbf{R}_{vm} \mathbf{Z}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{R}_{vm} \mathbf{Z}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \quad (6)$$

где \mathbf{E} – единичная матрица.

Для вычисления форм напряжения двухпроводной линии на ближнем конце задается по формуле (1), на дальнем конце по формуле (2):

$$\begin{aligned} V_{\bar{o}}(0,t) &= V_c(t) \mp V_d(t)/2 = \{V_{0c}(t) - V_{0d}(t)/2\} \pm \\ &\pm \{ \Gamma_{Ldd} \Gamma_{Scd} - \Gamma_{Ldd} (1 + \Gamma_{Sdd})/2 \} V_{0d}(t - 2T_d) \pm \\ &\pm \{ \Gamma_{Ldc} \Gamma_{Scd} - \Gamma_{Ldc} (1 + \Gamma_{Sdd})/2 \} V_{0c}(t - (T_d - T_c)) \pm \\ &\pm \{ \Gamma_{Lcd} (1 + \Gamma_{Scc}) - \Gamma_{Lcd} \Gamma_{Sdc}/2 \} V_{0d}(t - (T_d + T_c)) \pm \\ &\pm \{ \Gamma_{Lcc} (1 + \Gamma_{Scc}) - \Gamma_{Lcc} \Gamma_{Sdc}/2 \} V_{0c}(t - 2T_c). \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{\partial}(\ell,t) &= V_c(t) \mp V_d(t)/2 = \{ \Gamma_{Lcd} \mp (1 + \Gamma_{Ldd}/2) \} V_{0d}(t - T_d) + \\ &+ \{ (1 + \Gamma_{Lcc}) \mp \Gamma_{Ldc}/2 \} V_{0c}(t - T_c). \end{aligned} \quad (8)$$

Алгоритм вычисления напряжения на концах отрезка двухпроводной линии передачи имеет следующий вид:

1. Задать параметры входного сигнала: амплитуда, длительность входного сигнала, фронт, спад.

2. Задать параметры отрезка двухпроводной линии передачи: длина, матрицы погонных параметров \mathbf{C} , \mathbf{L} , \mathbf{R} , \mathbf{G} . При этом элементы матриц \mathbf{R} и \mathbf{G} равны 0.

3. Задать значения импедансов на концах линии \mathbf{R}_{S1} , \mathbf{R}_{S2} , \mathbf{R}_{L1} , \mathbf{R}_{L2} .

4. Вычислить T_V, T_I из (1).
5. Задать V_S из (2).
6. Вычислить R_S, R_L из (2).
7. Получить V_{sm} и R_{vm} из (3).
8. Вычислить L_m и C_m и Z_{cmi} из (4).
9. Получить V_{0m} из (5).
10. Вычислить Γ_{vm} из (6).
11. Определить формы сигналов на ближнем и на дальнем концах по формулам (7), (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Для выполнения вычислений значение параметров сигнала, нагрузки и линии передачи взяты из [4], где длина линии 0,1 м, длительность вершины импульса 6 нс, фронт 1,5 нс, спада 1,5 нс, временной шаг 1 пс. Результаты, полученные на основе предложенного алгоритма, представлены на рис. 2.

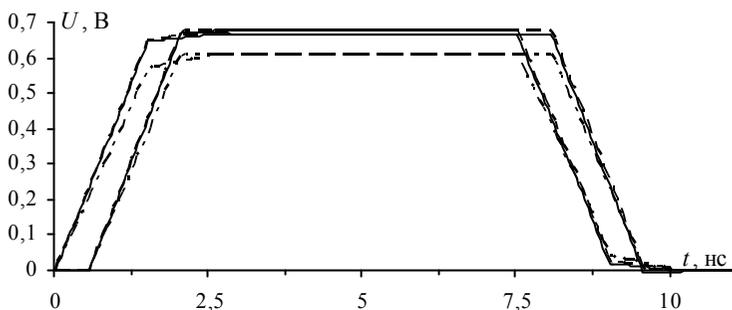


Рис. 1. Формы напряжений в начале и конце активного проводника, полученные на основе разработанного алгоритма (---), в TALGAT (—), полученные по выражениям из [2] (-·-·-)

Из рис. 1 видно, что формы сигналов в активной линии, вычисленные предложенным алгоритмом по амплитуде на ближнем конце, совпадают с вычислениями, выполненными в TALGAT. На дальнем конце результаты отличаются на 1,5%. Формы сигнала, вычисленные по выражениям из [2], по амплитуде на ближнем конце и на дальнем концах отличаются на 15% от результатов, полученных в TALGAT. Длительности на ближнем на дальнем концах совпадают.

Из рис. 2 видно, что формы сигнала в пассивной линии, вычисленные предложенным алгоритмом по амплитуде на ближнем конце совпадают с результатом, полученным в TALGAT. На дальнем конце для переднего фронта совпадают, для спада различаются на 5%. Формы сигнала, вычисленные по выражениям из [2] по амплитуде на ближнем конце, отличаются в 3 раза, на дальнем конце отличаются в 5

раз от результатов, полученных в TALGAT. Длительности сигналов на ближнем и дальнем концах отличаются на 10% от результатов TALGAT.

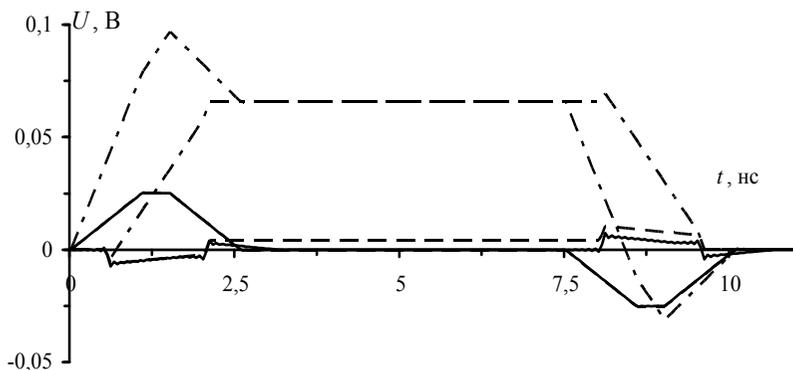


Рис. 2. Формы напряжений в начале и конце пассивного проводника, полученные на основе разработанного алгоритма (---), в TALGAT (—), полученные по выражениям из [2] (- · - · -)

В ходе работы разработан алгоритм для вычисления форм сигнала; выполнена программная реализация в Mathcad; получены формы сигнала на концах отрезка двухпроводной линии передачи.

Работа выполнена в рамках проекта 8.9562.2017/8.9 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев Н.А. Анализ временного отклика в межсоединениях быстродействующих радиоэлектронных схем: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: Том. гос. ун-т, 2000. – 126 с.
2. You H., Soma M. Crosstalk analysis of interconnection lines and Packages in High-speed integrated circuits // IEEE Transactions On Circuits And Systems. – 1990. – Vol. 37. – P. 1019–1026.
3. Park S.W., Xiao F., Kami Y. Analytical approach for crosstalk characterization of multiconductor transmission lines using mode decomposition technique in the time domain // IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility. – 2010. – Vol. 52. – P. 436–446.
4. Заболоцкий А.М. Временной отклик многопроводных линий передачи / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Том. гос. ун-т, 2007. – 152 с.