

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЕЙ ЛВС

О. Г. Патрик, О. Ф. Суровцева

Кафедра линий связи, Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. Проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПБ ГУТ) наб. Р. Мойки, 61, Санкт-Петербург, 191065, Россия, тел. (812) 1101401, sof-22@mail.ru, tatyana@sut.ru

## АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются методы расчета переходных характеристик “тонкого” (по зарубежной технологии) отечественного кабеля типа РК-50-2-11 с использованием РС-486.

Прохождение импульсных сигналов по кабелям различного назначения, в том числе и по кабелям локальных вычислительных сетей (ЛВС), неизбежно сопровождается изменением их амплитуды, формы и длительности. Во многих случаях используются импульсы прямоугольной формы. Попытки аналитически определить форму импульса в конце цепи можно обнаружить у ряда авторов [1-3]. Такого рода расчеты, как правило, делались с использованием операторного метода, т. к. возможность использования ЭВМ в то время была весьма ограничена. Эти расчеты не обладают высокой точностью и дают заметное расхождение с результатами эксперимента.

Как известно, [4] при подаче на вход цепи единичного скачка напряжения, реакцию цепи, то есть напряжение на выходе можно рассчитать по следующей формуле (1):

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{K(\omega) * \cos(\theta) * \sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (1)$$

где

$K(\omega)$  – модуль передаточной функции

$\theta(\omega)$  – аргумент передаточной функции цепи.

В свою очередь модуль и аргумент передаточной функции цепи будут равны (2) и (3):

$$K(\omega) = \exp[-\alpha(\omega) * 1] \quad (2)$$

$$\theta(\omega) = \beta(\omega) * 1 \quad (3)$$

В диапазоне высоких частот коэффициент затухания и коэффициент фазы равны (4) и (5):

$$\alpha(\omega) = \frac{R(\omega)}{2} \sqrt{\frac{C}{L_e}} + \frac{G(\omega)}{2} \sqrt{\frac{L_e}{C}}, \text{ Нп/км} \quad (4)$$

$$\beta(\omega) = \omega \sqrt{(L_e + L_i)C}, \text{ рад/км} \quad (5)$$

где

$L_e$  – внешняя индуктивность;

$L_i$  – внутренняя индуктивность;

Активное сопротивление легко рассчитывается через конструктивные размеры коаксиальной пары (6):

$$R(\omega) = 3.34 * 10^{-2} \sqrt{\omega} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right), \text{ Ом/км} \quad (6)$$

Для РК-50-2-11  $d=0,67\text{мм}$ ;  $D=2,2\text{мм}$

Проводимость изоляции равна (7):

$$G(\omega) = \omega C * \text{tg} \delta(\omega) \quad (7)$$

Значения тангенса угла диэлектрических потерь приведены в [3].

Расчет  $\alpha(\omega)$  по формуле (4) в диапазоне частот от 1МГц до 1ГГц с последующей аппроксимацией по методу наименьших квадратов приводит к зависимости вида (8):

$$\alpha(\omega) = 0,115(5,61\sqrt{\omega} + 0,024\omega), \text{ Нп/км} \quad (8)$$

где

$f$  в МГц.

Формулу (5) можно записать таким образом

$$\beta(\omega) = \omega C Z_{\infty} \sqrt{1 + \frac{L_i(\omega)}{L_e}} \quad (9)$$

где

$Z_{\infty}$  – установившееся значение волнового сопротивления на высоких частотах, рав-

ное  $\sqrt{\frac{L_e}{C}}$ .

Воспользовавшись биномом Ньютона и ограничиваясь двумя первыми членами, получим (10):

$$\beta(\omega) = \omega C Z_{\infty} \sqrt{1 + \frac{1}{2} \frac{L_i(\omega)}{L_e}} \quad (10)$$

Внутренняя индуктивность  $L_i(\omega)$  на высоких частотах аналогично активному сопротивлению определяется через конструктивные размеры и будет равна (11):

$$L_i(\omega) = \frac{R(\omega)}{\omega}, \text{ Гн/км} \quad (11)$$

Внешняя индуктивность от частоты не зависит и определяется по формуле (12):

$$L_e = 2 * 10^{-4} \ln \frac{D}{d}, \text{ Гн/км} \quad (12)$$

Величина емкости была получена экспериментально с помощью моста Е7-11. Для кабеля

РК-50-2-11 среднее значение из 4-х образцов составило – 104,5 нФ/км.

Подставив (6), (11) и (12) в (10) получим:

$$\beta(\omega) = \omega CZ_{\infty} \left( 1 + \frac{135.8}{\sqrt{\omega}} \right), \text{рад/км} \quad (13)$$

отсюда следует, что:

$$Z_B(\omega) = Z_{\infty} \left( 1 + \frac{135.8}{\sqrt{\omega}} \right), \text{Ом} \quad (14)$$

Так как величина модуля волнового сопротивления зависит от  $\omega$ , это видно из (14), то полностью согласовать линию с источником и приемником сигналов невозможно. Поэтому необходимо учесть наличие отраженных волн в начале и в конце линии. Напряжение в конце линии с учетом падающей и отраженной волн будет равно (15):

$$U_{\ell} = U_0 \left( 1 + \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B} \right) * e^{-\alpha(\omega)} * \cos \beta(\omega) \ell \quad (15)$$

Необходимо еще учесть дополнительное напряжение, создаваемое отраженной волной, которая, отразившись от места стыка линии с источником сигнала, снова возвращается к приемнику. С учетом этого, окончательное выражение для напряжения в конце линии будет выглядеть так (16):

$$U_{\ell} = \frac{2Z_H}{Z_H + Z_B} * e^{-\alpha(\omega)} * \cos \beta \ell * \left( 1 + \frac{2Z_H}{Z_H + Z_B} * \frac{Z_{\Gamma} - Z_{\text{вх}}}{Z_H + Z_{\text{вх}}} * e^{-2\alpha(\omega)} \cos 2\beta(\omega) \ell \right) \quad (16)$$

Величину входного сопротивления  $Z_{\text{вх}}$  можно рассчитать по формуле, приведенной в [4].

Численное интегрирование (1) с учетом (8), (13) и (16) проводилось по методу Гаусса с использованием стандартной программы, приведенной в [5] для двух длин кабеля (102,8м и 205,3м), имеющих емкость 10,9нФ и 21,5нФ соответственно.

Для повышения точности расчетов в области малых времен верхний предел интегрирования выбирался таким, чтобы в момент времени, равной величине задержки сигнала, интеграл был равен нулю. Для первой длины он составил величину  $5,92 * 10^8$ , для второй –  $1,96 * 10^8$ . И в первом и во втором случае шаг интегрирования был выбран равным  $10^4$  Гц. Время счета одной

временной точки на компьютере РС – 486 составила 2,5 мин.

На Рис.1 приведены переходные характеристики этих длин кабелей, полученные экспериментально. Обе длины были составлены из образцовых кабелей, входящих в комплект рефлектометра Р5-8. В качестве источника сигналов был применен генератор прямоугольных импульсов Г5-78. Амплитуда импульсов составила величину 5 В, длительность – 10 мкс. В качестве приемника сигналов – осциллограф С1-65А. Образцы кабелей были нагружены на сопротивление, равное 50 Ом.

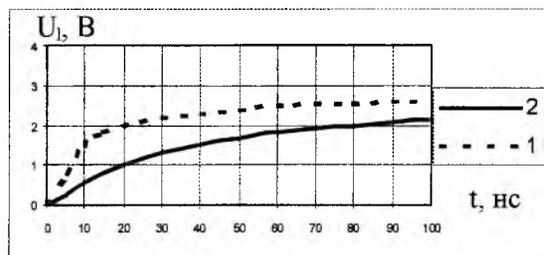


Рисунок 1. Переходные характеристики кабеля РК-50-2-11

- 1 – длина кабеля 102,8м
- 2 – длина кабеля 205,3м

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение экспериментальных и рассчитанных переходных характеристик показало их хорошее совпадение в интервале времени до 200 нс, (схождение составляет не более 5%). В области больших временных интервалов расхождение становится заметнее, что объясняется возрастанием доли низкочастотных составляющих сигнала.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глебович Г.В., Ковалев И.П. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов – М.: Советское радио, 1973 г.
- [2] Андреев В.А. Временные характеристики кабельных линий связи – М.: Радио и связь, 1986 г.
- [3] Глебович Г.В. Переходные характеристики коаксиальных кабелей с учетом потерь в проводниках и диэлектрике – Электросвязь, №5, 1964 г.
- [4] Зевеке Г.В., Ионкин П.А. и др. Основы теории цепей – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963 г.
- [5] Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке БЕЙСИК для персональных ЭВМ – М.: Наука, 1987 г.