

09;12

ОБ АНОМАЛЬНОМ ПОВЕДЕНИИ ИМПУЛЬСОВ ВОЛН *ТЕМ*-ТИПА В НЕРЕГУЛЯРНЫХ СОГЛАСОВАННЫХ ПЕРЕХОДАХ

© В.И.Короза, В.Е.Кондрашов

При распространении импульсов электромагнитных волн типа *ТЕМ* в согласованных нерегулярных отрезках линии без потерь, согласно сложившимся представлениям, вытекающим из одномодовой теории линий передачи электромагнитных волн этого типа, форма импульсов должна сохраняться.

Однако в реальном поведении импульсов экспериментально обнаружены существенные отклонения, выражающиеся в значительных изменениях их формы [1]. Подобное поведение импульсов может быть объяснено возникновением на распределенной неоднородности (в нерегулярном участке линии, в том числе и согласованном) процесса трансформации недисперсной *ТЕМ*-волны в моды дисперсного характера, не учитываемые одномодовой теорией. Для адиабатически медленного изменения параметров распределенной неоднородности указанные качественные представления получили также и теоретическое подтверждение [1,2]. Здесь же мы рассмотрим это явление в условиях быстрого изменения параметров неоднородности на основе численного анализа нестационарных волноводных уравнений "модели связанных струн" — временно́го прообраза монохроматических волноводных уравнений [3], описывающих переходные процессы в нерегулярных волноводах и учитывающих трансформацию типов волн.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчетов процесса прохождения импульса *ТЕМ*-волны в согласованных коаксиальных переходах между регулярными коаксиальными линиями. В каждом из двух приведенных примеров волна распространяется в пространстве между проводящими поверхностями: внутренним проводником $r = a(z)$ (кривая 1) и внешним — $r = b(z)$ (кривая 2) в вакууме ($\epsilon = \mu = 1$). При этом в соответствии с условиями согласования вдоль всего тракта (в том числе и в регулярных участках слева и справа от перехода) выполняется условие $b(z)/a(z) = \lambda = \text{const}$. Для изображенных на рисунках примеров $\lambda = 3$.

Величины с размерностью длины для удобства представлены в безразмерном виде: за единицу длины принята длина перехода ($0 < z < 1$) от левого регулярного участка трак-

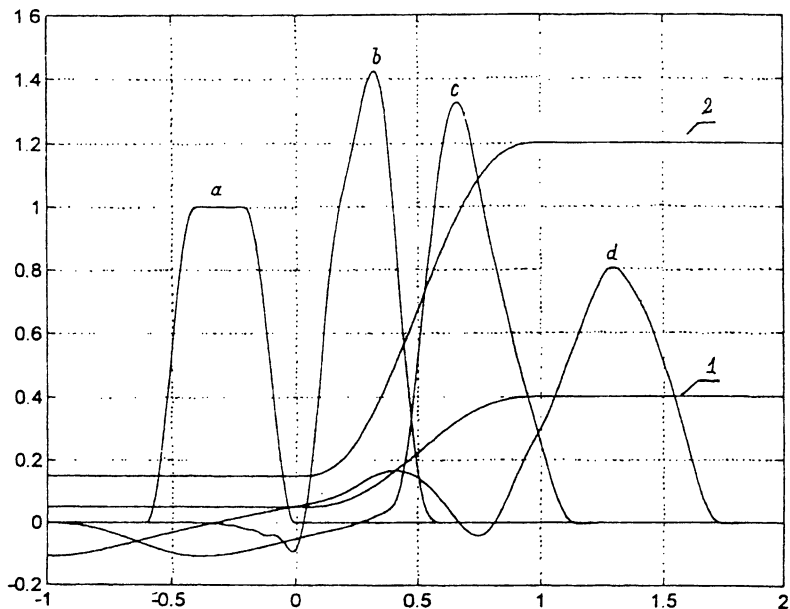


Рис. 1.

та ($z < 0$; $a(z) = \text{const} = 0.05$; $b(z) = \text{const} = 0.15$) к его правому регулярному участку ($z > 1$), для которого в примере на рис. 1 $a(z) = \text{const} = 0.40$ и $b(z) = \text{const} = 1.20$ и в примере на рис. 2 $a(z) = \text{const} = 0.60$ и $b(z) = \text{const} = 1.80$.

Помимо функций $a(z)$ и $b(z)$ на рисунках приведены мгновенные формы импульса напряжения $U(z) = \int_{a(z)}^{b(z)} E_r dr$ между соответствующими точками на внешнем и внутреннем проводниках тракта, вычисленные через равные интервалы времени для четырех различных моментов (кривые a, b, c, d). На каждом из рисунков начальному моменту времени отвечает кривая a , которой соответствует положение импульса, еще не успевшего достичь начала нерегулярного перехода в процессе перемещения его в положительном направлении оси Z из левого регулярного участка. К этому моменту процесс трансформации типов волн еще не начался и пространственная структура электромагнитного поля, соответствующая волне типа TEM , а также и первоначальная форма импульса напряжения вследствие отсутствия у этих волн дисперсии остаются неизменными в течение всего времени его распространения по этому участку.

В последующие моменты времени импульс проникает в переход. Здесь вследствие процесса трансформации типов волн начинается и развивается перестройка пространствен-

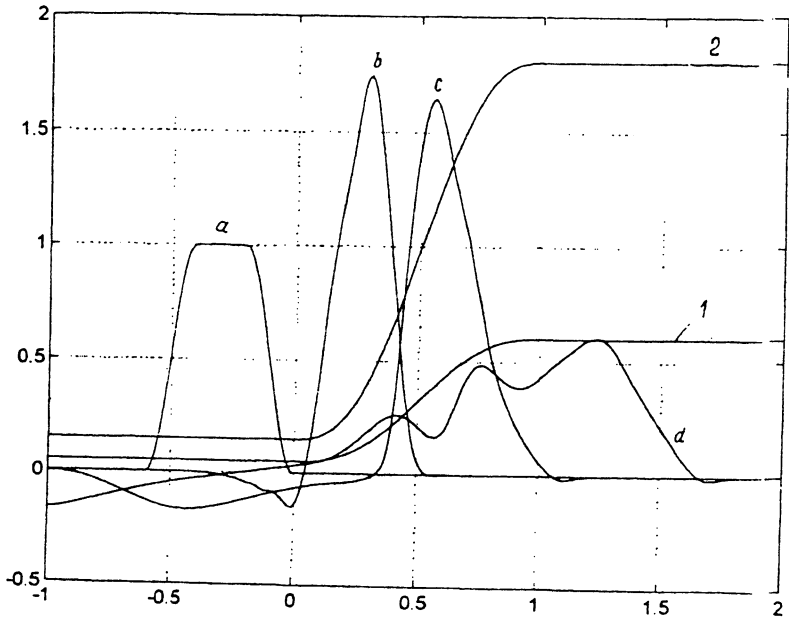


Рис. 2.

ной структуры поля импульса из-за возникающих дисперсных волн E -типа с иной пространственной конфигурацией. Появление при этом связи между “струнами” и межмодовой перекачки энергии приводит к непрерывному изменению радиальной компоненты напряженности электрического поля TEM -составляющей импульса и совпадающей с ней с точностью до размерного числового множителя формы импульса $U(z)$ (для каждого соответствующего момента времени). Отмеченное совпадение вытекает из того, что средние по поперечному сечению значения радиальных компонент напряженности электрического поля у всех возникающих мод E -типа равны нулю, что приводит к нулевому вкладу этих мод в интегральную величину $U(z)$.

О последовательном изменении формы импульса $U(z)$ при его распространении в переходе свидетельствуют кривые b , c и d на представленных рисунках. Из этих кривых видно быстрое изменение у импульса его первоначальной формы вплоть до полного распада формы (вблизи выходного конца перехода на рис. 2 — кривая d).

При выполнении расчетов помимо TEM -волны учитывалось 5 мод E -типа (волны $E_{01} - E_{05}$). Для контроля точности расчетов по вычисленным значениям напряженности электрического и магнитного полей путем интегрирования

по объему плотности энергии вычислялась полная энергия импульса как функция времени. При этом для приведенных на рисунках примеров разброс значений полной энергии составил $\sim 1\%$ (в том числе и для импульса в фазе распада — кривая d на рис. 2), что значительно превышает достижимую в настоящее время точность эксперимента.

Резюме. 1) Приведенные здесь примеры численного расчета дают количественное подтверждение сделанных ранее выводов [1,2] о существовании механизма изменения формы импульсов волны $ТЕМ$ -типа в согласованных нерегулярных переходах, не связанного с возможными потерями в тракте. Это качественно не согласуется с выводами из широко распространенной одномодовой теории. Упомянутый механизм обусловлен возникновением дисперсных волн при трансформации $ТЕМ$ -волны на распределенной неоднородности в переходе.

2) Из рис. 1 и 2 видно, что изменение формы импульсов даже в согласованном переходе может быть весьма значительным (вплоть до “распада” их формы).

3) Необходимость учета трансформации типов волн для устранения качественных несоответствий и получения приемлемой точности расчетов определяет границы применимости одномодовой модели.

4) Приведенные результаты расчетов на основе модели “связанных струн” показывают пригодность этого подхода для решения задач подобного типа; при этом точность расчетов, значительно перекрывающая экспериментальные возможности, легко достижима.

Список литературы

- [1] Короза В.И., Нечаев М.Н., Цветков С.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 11. С. 1–5.
[2] Короза В.И. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 20. С. 26–29.
[3] Короза В.И., Старжинский В.М. // Вестник Московского университета. Матем. и механика. 1971. В. 1. С. 101–110.

Научно-исследовательский
институт импульсной техники
Москва

Поступило в Редакцию
22 июля 1996 г.