

О. В. Савченко, В. А. Бабкин, А. В. Игнатов,  
Г. Е. Заиков, О. Ю. Емелина

## ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ НЕОДНОРОДНОСТИ ВОЛНОВЕДУЩЕЙ СРЕДЫ

*Ключевые слова:* композиционный волновод, электрические и магнитные волны, затухание волны, мощность, диэлектрическая проницаемость, огибающая, материальные характеристики среды.

*Проведены расчеты амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик передачи оптического сигнала в двухмодовом режиме распространения магнитных  $H_2$  и  $H_3$  волн для ступенчатого, параболического и биквадратичного профилей диэлектрической проницаемости неоднородной волноведущей среды.*

*Keywords:* composite waveguide, the electric and magnetic waves, damping of the wave, power, the dielectric permittivity, circumflex, the material characteristics of the environment.

*Calculations were carried out the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the transmission of the optical signal in the two-mode propagation of magnetic waves  $H_2$  and  $H_3$  to stepwise, parabolic, and biquadratic permittivity profile of the inhomogeneous waveguide environment.*

### Цель работы

На конце композиционного волновода изменение огибающей полной мощности конечного числа волн происходит по следующему закону [1, 2]:

$$\tilde{P}_1(g_n, x, \tau, L) = \sum_{m=1}^Q \tilde{P}_{2,m}(g_n, \alpha_m, x, 0) \exp\left[-(2\eta_m^{(E)} + 2\eta_m^{(H)}) \cdot L\right] * \left[1 + \sum_{i=1}^N M_i \sin\left(\Omega_i \frac{\tau - L}{V_{zp,m}(g_n, \alpha_m)}\right)\right],$$

где  $V_{zp,m}(g_n, \alpha_m)$  - групповая скорость  $E_m$  и  $H_m$  волн;  $\eta_m^{(E)}$  и  $\eta_m^{(H)}$  - коэффициенты затухания электрических и магнитных волн за счет диэлектрических и магнитных потерь в волноведущей среде. Учитывая, что затухание невелико, коэффициенты затухания  $E_m$  и  $H_m$  направляемых волн описываются соотношением:

$$\alpha_m^{(H)} = e_{\varepsilon 1} c_{1\varepsilon},$$

$$\eta_m^{(E)} = e_{\mu 1} c_{1\mu},$$

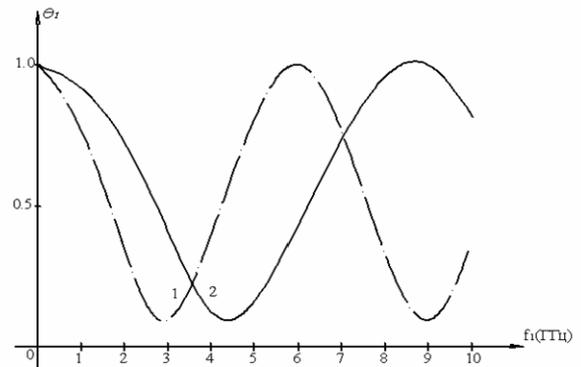
здесь  $e_{\varepsilon 1}$  и  $e_{\mu 1}$  - коэффициенты затухания однородной плоской волны в бесконечной среде с параметрами центрального слоя  $\varepsilon^{(0)}$ ,  $\mu_2$  в зависимости от вида потерь:

$$e_{\varepsilon(\mu)1} = \pi \sqrt{\varepsilon'(0) \mu_2} \operatorname{tg} \delta_{\varepsilon(\mu)1} / \lambda,$$

где  $\lambda$  - длина волны в указанной бесконечной среде. Безразмерные структурные коэффициенты затухания  $c_{1\varepsilon}$  и  $c_{1\mu}$  за счет электрических потерь для  $H_m$  волн и за счет магнитных потерь для  $E_m$  волн определяются фазовым замедлением и величиной переносимых мощностей внутри и вне центрального слоя. Целью настоящей работы являются расчёты частотных характеристик передачи оптического сигнала в двухмодовом режиме распространения магнитных  $H_2$  и  $H_3$  волн для ступенчатого, параболического и биквадратичного профилей диэлектрической проницаемости неоднородной волноведущей среды.

### Результаты расчётов

В настоящей работе проведены расчеты амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик передачи оптического сигнала в двухмодовом режиме распространения магнитных  $H_2$  и  $H_3$  волн для ступенчатого, параболического, одного из промежуточных и биквадратичного профилей диэлектрической проницаемости неоднородной среды. Модулирующее колебание считалось однотональным. Полную мощность, вводимую в композиционный оптический волновод, приняли равной 1Вт. Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 1.



**Рис. 1 - Зависимость амплитуды оптического сигнала  $\theta_1(g_0, g_2, g_4, \Omega_1, L)$  от модулирующей частоты  $\Omega_1$  для параболического и биквадратичного распределений диэлектрической проницаемости неоднородной среды при**

- $\tilde{d} = 1,8; L = 1 \text{ км}; \tilde{\varepsilon}'_1 = \tilde{\varepsilon}'_3 = \tilde{\varepsilon} :$
- 1)  $g_0 = 1, g_2 = 6 \cdot 10^{-3}, g_4 = 0, \tilde{\varepsilon} = 0,99;$
  - 2)  $g_0 = 1, g_2 = 10^{-2}, g_4 = 10^{-4}, \tilde{\varepsilon} = 0,9804$

В случае однородной внутренней среды, зависимость нормированной амплитуды модуляции от модулирующей частоты в оптическом волноводе имеет заметную аperiodичность, которая с ростом количества волн, участвующих в переносе однотонального сообщения, продолжает увеличиваться.

Максимумы амплитуды огибающей чередуются с ее минимумами. При достаточно малых значениях модулирующей частоты  $\Omega_1$  и длины композиционной структуры  $L$ , совокупность несущих волн еще не успевает приобрести значительную разность групповых задержек, то есть амплитуда модуляции, принимая максимальное значение, практически не зависит от модулирующей частоты [3, 4]. С дальнейшим ростом ( $\Omega_1, L$ ) происходит резкое увеличение групповых задержек несущих волн, что приводит к существенному “падению” амплитудно-частотной характеристики структуры (мощности отдельных направляемых волн складываются в различных фазах). Такой зависимостью амплитуды огибающей от модулирующей частоты в основном и объясняются имеющие место искажения передаваемых сообщений и вызывают необходимость в искусственном сужении эффективной полосы частот  $\Omega_1$  (на уровне 0,5 от максимального значения результирующей амплитуды сигнала).

Фазово-частотная характеристика представляет собой последовательность полос, на которых фаза оптического сигнала меняется линейно от частоты  $\Omega_1$ . С ростом количества волн, которые участвуют в передаче сигналов, зависимость результирующей фазы от частоты будет почти линейной в окрестностях максимальных значений амплитуды модуляций однонаправленного сообщения, то есть не вызывает затруднений выбор участков с необходимой фазово-частотной характеристикой.

### Заключение

Таким образом, как и ожидалось в представленных случаях, изменение результирующей фазы не вносит заметных искажений в оптический сигнал, принимаемый на конце композиционного волновода [5-7]. Сравнительный анализ амплитудно-частотной характеристики со скачкообразным распределением диэлектрической проницаемости показывает, что при создании поперечного пространственного профиля материальных характеристик происходит изменение, как дисперсионных свойств, так и энергетических характеристик оптической структуры, а значит, меняются условия передачи сигнала [8-10].

### Литература

1. Савченко, О. В. Процессы переноса излучения в планарных и цилиндрических композиционных структурах на основе пространственных градиентных сред : дис.

канд. физ.-мат. наук / Савченко О. В. - Волгоград, 2007. – 162 с.

2. Савченко, О. В. Процессы переноса излучения в планарных и цилиндрических композиционных структурах на основе пространственных градиентных сред : автореф. дис. канд. физ.-мат. наук / Савченко О. В. - Волгоград, 2007. – 24 с.
3. Савченко, О. В. Математическое моделирование распространения импульсов в волноводах / О. В. Савченко // материалы IV Международная научно-техническая конференция «Информатизация процессов формирования открытых систем на основе САПР, АСНИ, СУБД и систем искусственного интеллекта», 29-30 июня 2007 г. – Вологда, 2007 – с.172-174.
4. Савченко, О. В. О распространении сигналов в планарных композиционных структурах / О. В. Савченко, И. П. Руденок, А. И. Руденок // Физика волновых процессов и радиотехн. системы. – Т. 10, № 4. – С. 29-34.
5. Савченко, О. В. К теории импульсных волн в композиционных структурах / О. В. Савченко [и др.] // Тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и техн. приложения волновых процессов». – Н. Новгород, 2005. – С. 172.
6. Савченко, О. В. К теории распространения ультракоротких видеоимпульсов в планарных композиционных волноводах / О. В. Савченко, И. П. Руденок // Тез. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и техн. приложения волновых процессов». – Самара, 2006. – С. 27-28.
7. Савченко, О. В. К теории оптических импульсов в композиционных структурах / О. В. Савченко, И. П. Руденок // тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов»: Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы», 17-23 сентября 2007 г. - Казань, 2007 – с.16-17.
8. Савченко, О. В. О передаче и искажении оптических импульсов в активных планарных волноводах со сложной внутренней средой / О. В. Савченко, И. П. Руденок // Физика волновых процессов и радиотехн. системы. – 2007. – Т. 10, № 2. – С. 33-38.
9. Савченко, О. В. Сверхкороткие импульсы в структурах со сложной внутренней средой / О. В. Савченко // Материалы научно-технической интернет-конференции СФ ВолгГАСУ «Энерго- и ресурсосбережение в строительной индустрии. Организационно-экономические и социальные проблемы хозяйствования в строительстве», 1 июня 2010г., г. Михайловка Волгоградской обл./ Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград: ВолгГАСУ, 2010 – с.207-209.
10. Савченко, О. В. Распространение коротких оптических импульсов в активных средах / О. В. Савченко // Матер. II Российской науч.-технич. интернет-конф. «Состояние, проблемы и перспективы развития социально ориентированного строительного комплекса на региональном уровне», посвященной 10-летию Себряковского филиала ВолгГАСУ и 60-летию ВолгГАСУ, Михайловка, 12 марта 2012г./ Волгоград: ВолгГАСУ, 2012 – с.170-173.

© **О. В. Савченко** — к.ф.-м.н. доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин Себряковского филиала Волгоградского госуд. техн. ун-та, sfmen12@yandex.ru; **В. А. Бабкин** — д-р хим. наук, проф., нач. научн. отдела Себряковского филиала Волгоградского госуд. техн. ун-та; **А. В. Игнатов** — студ. того же вуза, bartsimpson35@yandex.ru; **Г. Е. Заиков** - д-р хим. наук, проф. каф. технологии пластических масс КНИТУ, chembio@sky.chph.ras.ru; **О. Ю. Емелина** – асс. той же кафедры, emelina\_oy@mail.ru.

© **O.V. Savchenko** – Candidate of Physico-mathematical Sciences, professor of department “Mathematical and Natural Sciences” of Volgograd State Architecture Building University, Sebyakov’s Branch. E-mail: sfmen12@yandex.ru; **V. A. Babkin** – Doctor of Chemical Sciences, professor, Head of Science department of Volgograd State Architecture Building University, Sebyakov’s Branch, Babkin\_v.a@mail.ru; **A.V. Ignatov** –student of Volgograd State Architecture Building University, Sebyakov’s Branch, Bartsimpson35@yandex.ru; **G. E. Zaikov** – Doctor of Chemical Sciences, professor, Department of technology of plastic materials KNRTU, chembio@sky.chph.ras.ru; **O. Yu. Emelina** - assistant, Department of technology of plastic materials KNRTU, emelina\_oy@mail.ru.

