

01;05

Дисперсионные характеристики щелевых и копланарных линий на основе структуры "сегнетоэлектрическая пленка–диэлектрическая подложка"

© И.Г. Мироненко, А.А. Иванов

С.-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"

E-mail: mit@eltech.ru, MironencolG@rambler.ru, iva@solaris.ru

Поступило в Редакцию 4 февраля 2001 г.

Приводятся результаты численного анализа зависимости постоянной распространения электромагнитных волн в щелевых и копланарных линиях. Они расширяют представления о возможности проектирования линий передачи и устройств планарного типа мпм-диапазона волн на основе сегнетоэлектрической пленки.

Нелинейные свойства сегнетоэлектрических материалов находят разнообразное применение в технике СВЧ [1]. Интерес к дисперсионным характеристикам планарных линий передачи на основе структуры "сегнетоэлектрическая пленка (СЭП)–диэлектрическая подложка" вызван прежде всего тем, что в них постоянная распространения электромагнитных волн зависит от диэлектрической проницаемости СЭП. И это обстоятельство является решающим фактором при разработке устройств на их основе с управляемыми характеристиками. На рис. 1 представлены экранированная щелевая и копланарная линии в структуре "СЭП–диэлектрическая подложка". В данной работе приводятся результаты численного анализа зависимости постоянной распространения основных электромагнитных модов в щелевой и копланарной линиях от толщины и диэлектрической проницаемости СЭП в диапазоне частот, представляющих наибольший практический интерес. Анализ выполнен в рамках полноволновой модели, в наилучшей степени отвечающей гибриднему характеру электромагнитных волн в планарных линиях передачи.

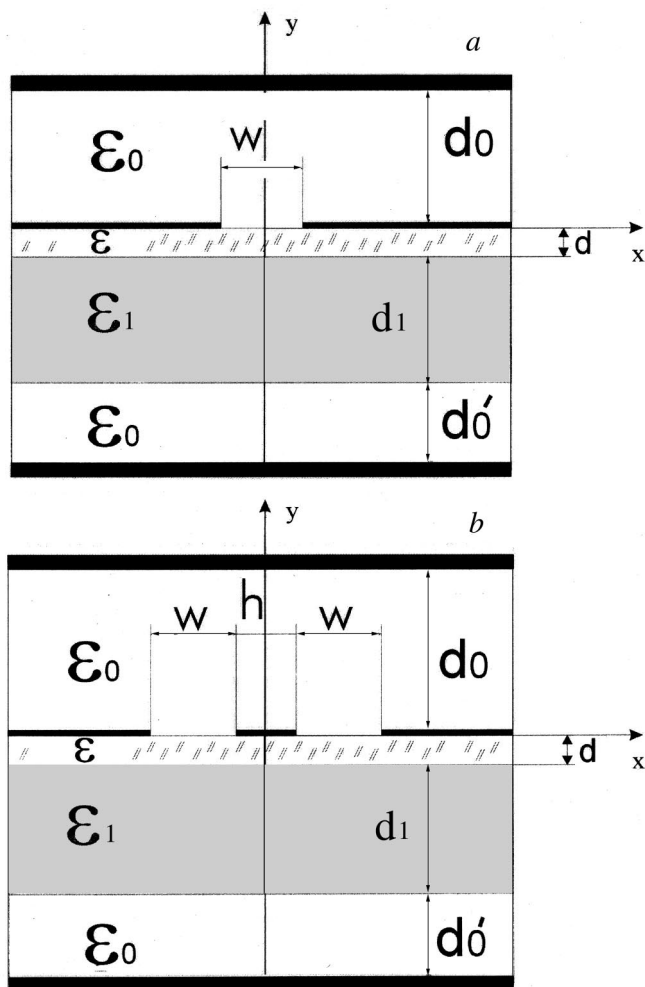


Рис. 1. Поперечные сечения щелевой (*a*) и копланарной (*b*) линий передачи: ϵ, d — диэлектрическая проницаемость и толщина СЭП, ϵ_1, d_1 — диэлектрическая проницаемость и толщина диэлектрической подложки, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, d_0, d'_0 — расстояния до экранов.

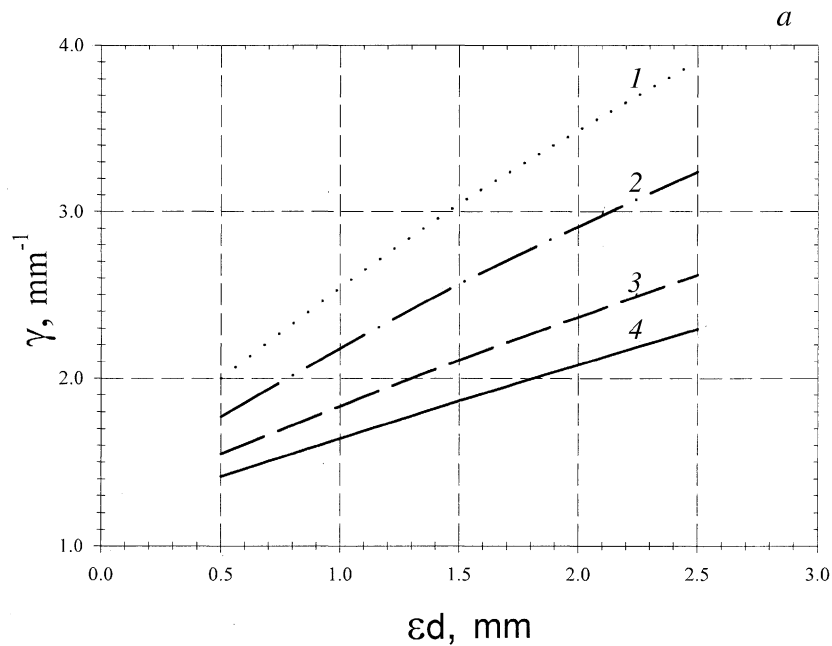


Рис. 2. Зависимость постоянной распространения в щелевой линии (а): 1 — $w = 0.05$ mm; 2 — $w = 0.1$ mm; 3 — $w = 0.25$ mm; 4 — $w = 0.5$ mm. Зависимость постоянной распространения в копланарной линии (б): 1 — $w = 0.05$ mm, $h = 0.1$ mm; 2 — $w = h = 0.05$ mm.

Гибридный характер электромагнитного поля в линиях можно описать суперпозицией LE и LM волн. Поэтому зададим векторы Герца в виде: магнитный

$$\dot{\mathbf{A}} = \mathbf{e}_y \cdot A(x, y) \cdot \exp(-j \cdot (\gamma \cdot z - \omega \cdot t)), \quad \dot{\mathbf{F}} = \mathbf{e}_y \cdot F(x, y) \cdot \exp(-j \cdot (\gamma \cdot z - \omega \cdot t))$$

— электрический, где γ — постоянная распространения электромагнитных волн в линиях. В каждой области поперечного сечения линий (рис. 1) фурье-образы (ФО) потенциалов $\bar{A}_i(y, s)$ и $\bar{F}_i(y, s)$ удовлетворя-

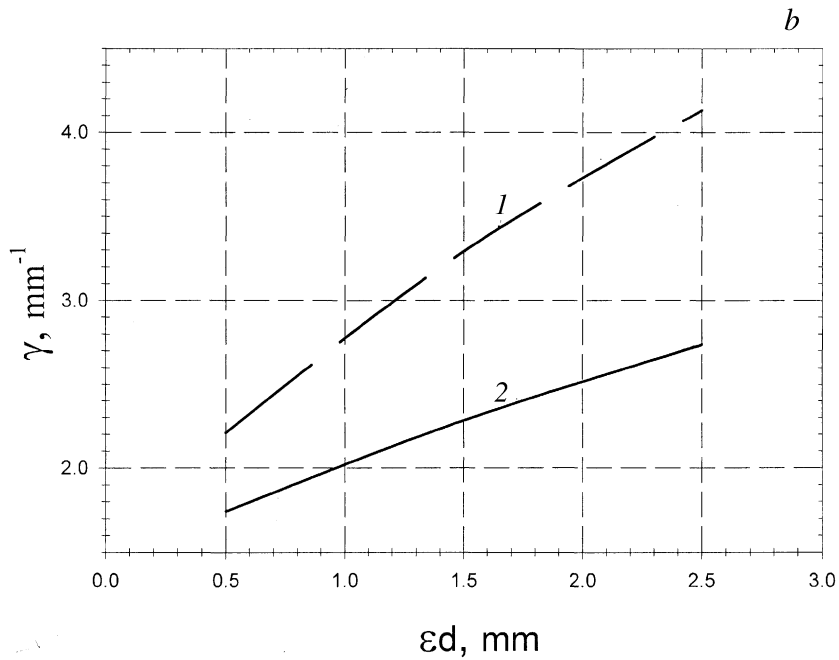


Рис. 2 (продолжение).

ют уравнению

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \alpha_i^2 \right) \cdot \begin{Bmatrix} \bar{A}_i(y, s) \\ \bar{F}_i(y, s) \end{Bmatrix} = 0, \quad (1)$$

где $\alpha_i = \sqrt{(s^2 + \gamma^2 - k^2 \cdot \epsilon_i)}$, $k^2 = \omega^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_0$ — постоянная распространения в свободном пространстве.

Задача нахождения постоянной распространения решалась следующими этапами:

1. Решено уравнение (1) и найдены ФО потенциалов.
2. Через ФО потенциалов были вычислены ФО касательных составляющих напряженностей электрического и магнитного полей в плоскости $y = 0$.

3. Сшивание касательных составляющих E_x , E_z , H_x и H_z на ширине щели в щелевой и копланарной линиях привело к парной системе интегральных уравнений относительно напряженности электрического поля на щелях.

4. Разложения полей на щелях по полиномам Чебышева [2,3] и последующая процедура алгебраизации, принятая в методе Галеркина, позволила свести интегральные уравнения к бесконечной системе алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов разложения a_n , b_m и постоянной распространения в виде

$$\sum_{n=0,1,2}^{\infty} a_n \cdot K_{p,n}^{11}(\gamma, s) + \sum_{m=1,2}^{\infty} b_m \cdot K_{p,m}^{12}(\gamma, s) = 0,$$

$$\sum_{n=0,1,2}^{\infty} a_n \cdot K_{q,n}^{21}(\gamma, s) + \sum_{m=1,2}^{\infty} b_m \cdot K_{q,m}^{22}(\gamma, s) = 0, \quad (2)$$

где

$$K_{p,n}^{11}(\gamma, s) = (-1)^{n+p} \cdot \int_0^{\infty} J_{2p}\left(\frac{s \cdot w}{2}\right) \cdot f_{11}(s, \gamma) \cdot J_{2n}\left(\frac{s \cdot w}{2}\right) \cdot ds$$

— для щелевой линии,

$$K_{p,n}^{11}(\gamma, s) = (-1)^{n+p} \cdot \int_0^{\infty} J_{2p}\left(\frac{s \cdot w}{2}\right) \cdot f_{11}(s, \gamma) \\ \times J_{2n}\left(\frac{s \cdot w}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{s \cdot (w + h)}{2}\right) \cdot ds$$

— для копланарной линии; $K_{p,m}^{12}$, $K_{q,n}^{21}$, $K_{q,m}^{22}$ имеют аналогичный вид, $J_\nu(z)$ — функция Бесселя I рода; $f_{11}(s, \gamma)$ (аналогично $f_{21}(s, \gamma)$, $f_{22}(s, \gamma)$ в других интегралах) — функции, зависящие только от размеров поперечного сечения и диэлектрических проницаемостей слоев.

5. Равенство нулю определителя системы (2) дает уравнение для определения постоянной распространения γ .

Результаты расчетов постоянной распространения в щелевой и копланарной линиях представлены на рис. 2, а, б. По оси абсцисс

графиков отложено произведение ($\varepsilon \cdot d$), позволяющее определять γ для различной толщины СЭП в диапазоне значений ($0 \leq d \leq 5 \cdot 10^{-3}$ mm) и ее диэлектрической проницаемости ($\varepsilon \leq 2.5 \cdot 10^3$). Расчеты выполнены для диэлектрической подложки с параметрами $d_1 = 0.34$ mm, $\varepsilon_1 = 9.5$ на частоте 30 GHz. Влияние экранирующих электродов пренебрежимо мало при $d_0 = d'_0 \geq 5$ mm. Погрешность расчетов, оцениваемая из сходимости интегралов в соотношениях (2), не превышает долей процента.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в щелевой и копланарной линиях, образованных на поверхности СЭП, можно обеспечить требуемое замедление электромагнитных волн и эффективное управление постоянной распространения за счет изменения диэлектрической проницаемости СЭП.

Список литературы

- [1] *Integrated Feffoelectrics*. V. 22. 1998.
- [2] *Gupta K.C., Garg R., Bahl I., Bhartia P.* Microstrip lines and slotlines. ARTECH HOUSE, INC. 1996.
- [3] *Itoh T.* // IEEETrans. V. MTT-28. N 7. July 1980. P. 733–736.