

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

Патраков В.Е.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт Электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: vitpatrakov@gmail.com

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PICOSECOND PULSE DISPERSION IN MICROSTRIP TRANSMISSION LINES

Patrakov V.E.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics, Yekaterinburg, Russia

Microstrip lines are characterized by frequency dispersion, which leads to distortion of the waveform of transmitted pulses. In this study the effect of this distortion for pulses with rise times as low as 60 ps was experimentally investigated for microstrip lines of different parameters.

Микрополосковой линией передачи (МПЛ) называют двухсвязную линию передачи, выполненную в виде дорожки на диэлектрической подложке (печатной плате), при этом вторым проводником линии является металлизация на обратной стороне платы. В отличие от других распространенных типов двухсвязных линий передачи, например коаксиальных, электромагнитное поле МПЛ распределено между диэлектрической подложкой и воздушным пространством, находящимся над подложкой. Это приводит к тому, что основной волной МПЛ является волна типа квази-ТЕМ, обладающая частотной дисперсией: на низких частотах фазовая скорость волны равна промежуточной скорости между скоростью света в подложке и в воздухе, в то время как на высоких частотах, при которых длина волны в подложке становится сопоставима с её толщиной, фазовая скорость волны падает, и становится равной скорости света в подложке. Физически это явление можно объяснить связью основной волны квази-ТЕМ и поверхностной волны, способной распространяться в диэлектрической подложке МПЛ [1]. На высоких частотах связь этих волн увеличивается, и электромагнитная энергия начинает эффективно передаваться в поверхностную волну, распространяющуюся в подложке.

В настоящее время применение МПЛ актуально для передачи коротких электрических импульсов, например в скоростной цифровой связи [2], а также в технике генерирования и передачи высоковольтных пикосекундных импульсов [3]. Поскольку короткий импульс содержит в себе широкий спектр частот, в МПЛ более высокочастотные компоненты импульса будут распространяться

медленнее низкочастотных, что приведёт к искажению формы импульса. В мощных импульсных устройствах этот эффект может быть использован полезным образом: дисперсия квази-ТЕМ волны в сочетании с нелинейными свойствами подложки применяется для генерации мощных нелинейных СВЧ колебаний и уединённых волн (солитонов) амплитудой в сотни кВ и единицы МВ [4]. При этом в литературе наблюдается недостаток экспериментальных данных по распространению пикосекундных импульсов в МПЛ и подобных ей структурах с квази-ТЕМ волной (например, двухслойных коаксиальных линиях).

В проведённом исследовании было экспериментально изучено искажение прямоугольного и колоколообразного импульсов с длительностью фронта менее 60 пс при распространении по МПЛ. Были исследованы МПЛ, изготовленные на подложках из стеклотекстолита (FR4) и стекла. В ходе исследования варьировалась длина линий и толщина диэлектрика. Полученные осциллограммы были сопоставлены с теоретическими оценками из литературы. Экспериментальные осциллограммы были математически обработаны с применением процедуры деконволюции, для устранения искажений, присутствующих во входном импульсе, и изучения реакции исследуемых линий на более короткие входные импульсы. Полученная таким образом реакция типичной МПЛ на колоколообразный входной импульс длительностью 35 пс представлена на рис. 1. Наблюдается характерное для линий с квази-ТЕМ волной колебательное искажение спада импульса.

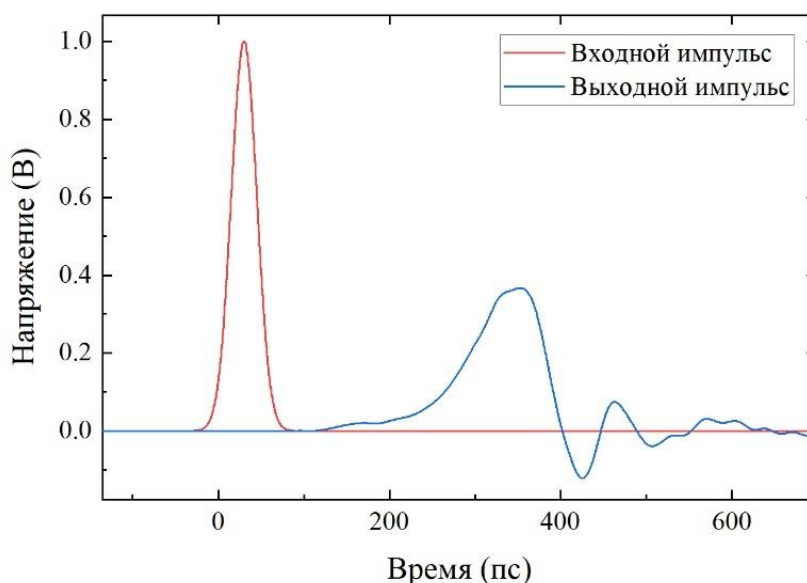


Рис. 1. Осциллограммы входного и выходного импульсов для микрополосковой линии длиной 25 см на подложке из стеклотекстолита

1. Microstrip lines and slotlines / K. C. Gupta, Garg Ramesh, Bahl Inder, Bhartia Prakash. — 2nd ed. — London : Artech House, 1996. — 535 с.
2. Johnson, H. High-speed signal propagation: advanced black magic / H. Johnson, M. Graham. — New Jersey: Prentice Hall, 2003. — 766 с.
3. Patrakov V. E., Pedos M. S., Rukin S. N. Picosecond semiconductor generator for capacitive sensors calibration // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2021. — Т. 2064. — №. 1. — С. 012128.
4. Karelin S. Y. et al. Radio frequency oscillations in gyrotropic nonlinear transmission lines // Plasma. — 2019. — Т. 2. — №. 2. — С. 258-271.