

ВЛИЯНИЕ ПОТЕРЬ В СЛОЯХ НА ПРОЦЕСС НЕСТАЦИОНАРНОГО ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОТ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР

А.В. Козарь, А.В. Трофимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн.
thtrofim@yandex.ru

Проведенные в последние годы исследования нестационарного отражения электромагнитных импульсных сигналов от многослойных структур [1,2,3,5] показали, что изучение этого явления представляет не только фундаментальный интерес. Данное явление может быть эффективно использовано для решения целого ряда прикладных задач: диагностики и управления импульсными процессами как в оптике, так и в радиофизике (получение сверхкоротких импульсов; спектральное сжатие импульсов, падающих на многослойную структуру; восстановление амплитудно-частотных и временных характеристик импульсных сигналов). Все это обуславливает интерес и необходимость дальнейшего изучения этого явления, а также возможности и условий его практической реализации.

Наиболее контрастно это явление наблюдается в структурах неотражающего типа (фильтры, просветляющие интерференционные покрытия, интерференционные поглотители и т.д.), поскольку в этом случае наблюдаемый отраженный сигнал обусловлен только этим явлением.

Анализ публикаций по данной тематике показывает, что проведенные до настоящего времени исследования этого явления носили аналитический или численный характер, и, кроме того, в них не учитывалось наличие возможных при практической реализации потерь в слоях структуры.

В настоящей работе впервые проведено экспериментальное, аналитическое и численное исследование явления нестационарного отражения электромагнитного импульса от реальной неотражающей структуры с потерями. В качестве объекта исследования был выбран простейший и относительно легко реализуемый на практике неотражающий в стационарном режиме в отсутствие потерь слой диэлектрика полуволновой оптической толщины, помещенный между двумя идентичными по волновым характеристикам средами.

В работе, для анализа распространения электромагнитной волны через слоистую структуру с потерями, был использован метод импедансных характеристик [6,7].

Пусть полуволновый слой с потерями помещен в пустой волновод, в котором возбуждена основная мода H_{10} , и имеющий импеданс Z_0 . Воспользуемся моделью «диэлектрика с потерями». В этом случае среда будет

характеризоваться комплексной относительной диэлектрической проницаемостью

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'', \quad (1)$$

где ε' и ε'' - действительная и мнимая части комплексной относительной диэлектрической проницаемости среды. Считая потери малыми, введем малую величину:

$$\xi = \frac{\varepsilon''}{\Lambda} \ll 1, \quad (2)$$

тогда после несложных преобразований для входного импеданса и постоянной распространения с точностью до величин первого порядка малости получим следующие выражения для коэффициента отражения:

$$r \approx \frac{\pi\varepsilon''}{\sqrt{\Lambda}} \frac{(1 - Z_0^2 \Lambda)}{4Z_0 \Lambda}, \quad (3)$$

здесь адмитанс слоя Λ .

Метод импедансных характеристик позволяет получить зависимость коэффициента отражения от частоты $r(\omega)$, а для получения огибающей отраженного сигнала, зависящей от времени, использовалось обратное Фурье преобразование.

Аналитически было продемонстрировано, что при отражении амплитудно-модулированного сигнала от полуволнового слоя с потерями всегда существует момент времени, когда амплитуда отраженного сигнала стремится к нулю, а его фаза изменяется на π . Получено экспериментальное подтверждение численного и аналитического расчетов (рис. 1).

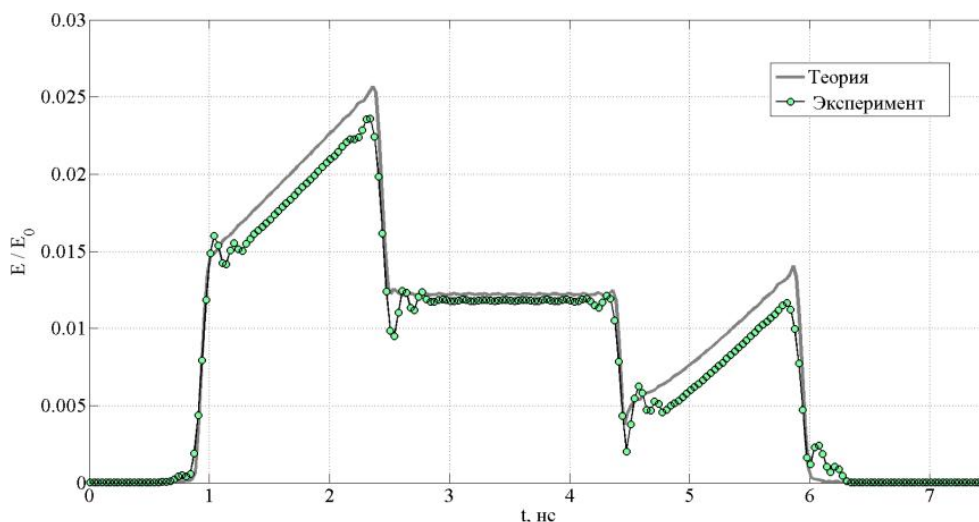


Рис. 1. Отражение трапециевидного импульса от полуволнового слоя

Аналитические, численные и экспериментальные исследования показали, что огибающая отраженного амплитудно-модулированного сигнала существенно изменяет свой вид при наличии даже малых потерь в не отражающей структуре. Причем, амплитудный коэффициент отражения линейно зависит от величины потерь, в то время как формирование фазовой

картины интерферирующих волн происходит в этом случае так же, как и в отсутствии потерь.

Следует так же отметить эффективность метода временной фильтрации для увеличения точности экспериментальных исследований, применение которого позволяет получить не только качественное, но и хорошее количественное соответствие численных и экспериментальных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kozar A.V. // International conference "IQEC/LAT". Moscow, Russian, 2002, p.471.
2. Козарь А.В., Горохов П.Н., Бобровников Ю.А. // Изв. академии наук. Физ. 2002. Т. 66. №.12. С. 1823.
3. Бобровников Ю.А., Горохов П.Н., Козарь А.В. // Квантовая электроника. 2003. Т. 3. №.11. С. 1019.
4. Козарь А.В., Макаров В.А., Сухоруков А.П. // Научная конференция "Ломоносовские чтения " секция физики, подсекция оптики и лазерной физики, ч. 1, М.: МГУ, 2006.
5. Kozar A.V. // GRLS ,2008 in Luebeck, Rostock and Hamburg
6. Бреховских Л.М. "Волны в слоистых средах". М.: Наука, 1973.
7. Козарь А.В. Колесников В.С. Пирогов Ю.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1978. 19 №.1. С.76.