

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Островский Олег Станиславович



Распространение и трансформация электромагнитных сигналов в  
электродинамических системах с многослойными магнитодиэлектриками

01.04.03 - радиофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук



AB 30.078

Диссертация является рукописью  
Работа выполнена в Харьковском государственном университете

Научный руководитель - доктор физико-математических наук,  
профессор Шматько Александр Александрович,  
Харьковский государственный университет

Официальные оппоненты

- доктор физико-математических наук,  
профессор Просвирнин Сергей Леснидович,  
Радиоастрономический институт Академии наук Украины, г. Харьков

- доктор технических наук,  
старший научный сотрудник Сухаревский Олег Ильич  
Харьковский военный университет, г. Харьков

Ведущая организация - Харьковский технический университет  
радиоэлектроники, г. Харьков

Защита состоится "3" 06 1994 г. в 15<sup>30</sup> часов на  
заседании специализированного совета Д 02.01.07 в Харьковском  
государственном университете (310077, Харьков, пл. Свободы, 4,  
аудитория 3-9).

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной  
библиотеке ХГУ.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Автореферат разослан "3" маї 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

Н.И. Чеботарев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ.

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке общих и прикладных проблем теории нестационарных волновых процессов в электродинамике. Это вопросы защиты электронной аппаратуры от интенсивных нестационарных полей, разработка СВЧ узлов сверхширокополосных импульсных РЛС, обеспечивающих высокую разрешающую способность, задачи увеличения быстродействия ЭВМ, исследование влияния сложных сигналов на биологические структуры, разработка технологических процессов с использованием СВЧ и др. При решении большинства прикладных задач требуется знание характеристик нестационарных и ограниченных в пространстве полей, рассеянных различными электродинамическими системами. Для перехода от пространственно-частотного к пространственно-временному представлению в общем случае применяется обратное преобразование Фурье. Поэтому естественно использовать обширную базу полученных решений в пространственно-частотном представлении различными методами для исследований задач во временном представлении.

В радиофизических микроволновых системах широкое применение находят различные устройства на основе многослойных диэлектрических структур. Дифракционные решетки в сочетании с магнитодиэлектриками являются базовыми элементами многих устройств СВЧ, могут применяться для пространственной фокусировки, поляризационной, модовой и частотной селекции, в качестве отражателей, возбудителей и преобразователей электромагнитных волн, для СВЧ нагрева материалов, при СВЧ терапии и диагностике. Поэтому исследование их электродинамических свойств представляет интерес как с точки зрения разработки нового математического аппарата, так и с точки зрения применения известных методов исследования для выявления возможных приложений. Изучение физических свойств периодических структур, расположенных в многослойных магнитодиэлектриках, дает возможность не только выяснить влияние параметров диэлектриков на характеристики рассеянного поля, но и использовать эффекты, возникающие вследствие резонансов и поглощения в диэлектрических слоях.

Наиболее сложным вопросом при разработке согласователей, отражателей и поглотителей электромагнитных волн является задача синтеза, реализующая получение наименьшего коэффициента отражения в заданном диапазоне частот при минимальной толщине материала. Многослойное покрытие из различных материалов позволяет расширить

диапазон и оптимизировать покрытие по толщине. Разработка программного обеспечения позволит практически полностью отказаться от сложной процедуры экспериментального подбора параметров слоев.

В связи с решением задач повышения эффективности систем СВЧ актуальна разработка устройств различного функционального назначения, содержащих неоднородные магнитодieleктрические компоненты. К ним можно отнести разработку широкополосных линий передачи СВЧ с заданными дисперсионными свойствами, оптических волоконных линий передачи, различных фильтров, согласующих устройств, поглощающих покрытий и др. Характеристики слоистых структур, особенно одномерно-неоднородных, исследованы достаточно хорошо. Случаи плавного изменения диэлектрической или магнитной проницаемостей в зависимости от координат исследованы гораздо меньше. Строгие аналитические решения получены для некоторых простейших зависимостей  $\epsilon(z)$ ,  $\mu(z)$ . При исследовании градиентно-неоднородных сред зачастую используют решения простых задач для моделирования более сложных. Ступенчатое расслоение неоднородных областей может оказаться полезным при решении векторных и других достаточно сложных задач, когда простота метода является главным фактором. Поэтому представляется важным подробно проанализировать такой подход с целью установления его потенциальных возможностей, выработать критерии достоверности результатов, оценить погрешность метода. Особое внимание вызывают исследования характеристик неоднородных сред при возбуждении нестационарными сигналами.

Цель работы:

- разработка строгих математических моделей и эффективных численных алгоритмов расчета и оптимизации дифракционных характеристик сложносоставленных структур;
- исследование закономерностей отражения электромагнитных волн от границ раздела поглощающих сред и экранированных магнитодieleктриков;
- изучение физической природы и особенностей резонансного рассеяния и поглощения электромагнитных волн, в том числе ограниченных в пространстве и во времени, многослойным магнитодieleктрическим покрытием дифракционных решеток;
- разработка критериев аппроксимации неоднородного магнитодieleктрика и создание эффективного численного алгоритма определения дифракционных характеристик структур, содержащих градиентно-неоднородный магнитодieleктрик с потерями;
- определение параметров нестационарных сигналов, распрост-

ранящихся в линиях передачи волноводного типа и сравнительный анализ различных линий передачи.

#### Методы исследования.

В качестве основного метода исследования сложных дифракционных структур выбран метод частичных областей в силу следующих его важных особенностей: он обладает строгостью формулировки граничных задач электродинамики и пригоден для численного и аналитического исследования электродинамических систем, содержащих многослойные магнитодиэлектрики и дифракционные решетки. Метод Фурье достаточно универсален и позволяет на основе имеющихся решений для плоских монохроматических волн получить решение для более сложных условий возбуждения. При решении задачи о распространении импульсных сигналов в волноводных линиях передачи применялся метод функции Грина. Использование этого метода предпочтительнее при коротких сигналах сложной формы.

#### Научная новизна.

В строгой постановке получено решение задачи о дифракции плоских монохроматических электромагнитных волн Е или Н-поляризации на объемной решетке с многослойным покрытием из произвольного числа гетеротропных магнитодиэлектриков. Покрытие может содержать полупроводниковые управляющие пленки и отражающий экран. Решение для внешней краевой задачи обобщено для планарного волновода с многослойной структурой.

Исследованы явления, связанные с резонансами высших пространственных гармоник в слоях магнитодиэлектриков. Рассмотрены эффекты аномального прохождения (отражения) и поглощения электромагнитных волн в многослойных структурах. В области резонансов фаза сигнала  $\varphi(\omega)$  претерпевает дополнительное приращение, при этом знак и абсолютное значение  $\varphi'(\omega)$  зависят от величины тангенса угла потерь в магнитодиэлектрике. Численно рассчитана и обоснована возможность измерения параметров магнитодиэлектриков при различных режимах возбуждения.

Рассмотрена дифракция электромагнитных волн на многослойной структуре, моделирующей градиентно-неоднородный магнитодиэлектрик. Получены соотношения, связывающие параметры структуры и сигнала, шаг дискретизации с ошибками моделирования градиентного магнитодиэлектрика слоистым.

Построена нестационарная функция Грина для полей волноводов и волноводов, заглушенных проводящей средой. Численно исследована

трансформация радио и видео импульсов при распространении в однородно заполненных волноводах и волноводах с магнитодиэлектрическим покрытием. Получено численное решение задачи о дифракции импульсных сигналов на периодической структуре с многослойным покрытием.

Показано, что в области аномалий дисперсионных характеристик систем происходит характерное разделение на два импульсных сигнала, распространяющихся с разной групповой скоростью и содержащих необходимую информацию об электродинамических системах. Исследованы эффекты аномального поглощения энергии нестационарного электромагнитного поля в слоистых структурах. Показано, что в первую очередь в резонансной структуре поглощается запаздывающий сигнал.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов подтверждается использованием при решении задач хорошо апробированных в СВЧ электродинамика и теории дифракции строгих методов Фурье и метода функции Грина. В большинстве случаев решения получены в виде сходящихся систем линейных алгебраических уравнений 2 рода, с контролируемой точностью вычислений. Кроме этого, ряд теоретических результатов согласуется с данными, полученными другими авторами и, наконец, обоснованность и достоверность всех полученных результатов подтверждена выполнением закона сохранения энергии в исследуемых системах, и тем, что точность численных данных контролировалась путем их сравнения с результатами, полученными другими методами.

Практическая ценность работы состоит в том, что исследуемые модели максимальны приближены к реальным СВЧ структурам и условиям их возбуждения (слоистые и градиентно-неоднородные магнитодиэлектрики, учет потерь в слоях магнитодиэлектриков и конечных размеров структуры, импульсные сигналы и волновые пучки). Создан комплекс прикладных программ: для расчета и оптимизации дифракционных и дисперсионных свойств структур, содержащих решетки и магнитодиэлектрическое покрытие, для моделирования структур, содержащих градиентно-неоднородный магнитодиэлектрик при различных условиях возбуждения. Рассмотрены возможности практического применения выявленных эффектов для измерений диэлектрических проницаемостей веществ, при создании сверхширокополосных поглотителей СВЧ энергии. Предложен метод измерения параметров магнитодиэлектриков в нестационарном режиме. Новизна метода подтверждается

положительным решением на изобретение. Практическая ценность и общенаучное значение работы обусловлено ее связью с важнейшими НИР и ОКР НИИФИ, научной тематикой ХГУ.

Основные положения, результаты и выводы, выносимые на защиту:

1. Исследование дифракционных характеристик многослойных композиционных структур.

1.1. Решение задачи о дифракции плоских монохроматических электромагнитных волн на объемной решетке с покрытием из произвольного числа слоев гиротропных магнитодиэлектриков с потерями, управляющей полупроводниковой пленкой и отражательным экраном.

1.2. Исследование дифракционных характеристик многослойных структур с объемной металлической решеткой. Показано существование явления аномального отражения, прохождения и поглощения электромагнитных волн, связанного с резонансами высших пространственных гармоник в многослойных структурах. Выявлены особенности "переключения" фазы сигналов и аномальная дисперсия в резонансных структурах при наличии потерь. На основе изученных эффектов предложены практические методики для измерений диэлектрических проницаемостей веществ.

2. Система численного моделирования электродинамических характеристик структур, содержащих градиентно-неоднородные магнитодиэлектрики.

2.1. Соотношения, связывающие параметры структуры -  $n(z)$ ,  $n'(z)$ , сигнала -  $\alpha, \lambda$ , шаг дискретизации -  $\Delta z$  с ошибками моделирования характеристик градиентно-неоднородных магнитодиэлектриков при использовании кусочно-однородной аппроксимации.

2.2. Численный алгоритм автоматического моделирования электродинамических характеристик градиентно-неоднородной среды, использующий аппроксимацию реального профиля неоднородного магнитодиэлектрика минимальным числом слоев для заданного отклонения коэффициента отражения от его точного значения.

3. Исследование трансформации ограниченных в пространстве и во времени электромагнитных сигналов электродинамическими системами, обладающими дисперсией и потерями.

3.1. Нестационарная функция Грина для многомодовых волноводов, заполненных проводящей средой.

3.2. Численные алгоритмы расчета параметров импульсных сигналов и волновых пучков, рассеянных многослойными дифракционными

структурами с потерями, импульсных сигналов, распространяющихся в однородно-заполненных волноводах и волноводах с магнитодиэлектрическим покрытием.

3.3. В области висмалий дисперсионных характеристик систем обнаружено характерное разделение на два сигнала, распространяющихся с разной скоростью и позволяющих получить информацию об электродинамических характеристиках объекта. В многослойных структурах с потерями преимущественное поглощение испытывает запаздывающий сигнал. При значительном уровне потерь форма диспергированного сигнала не изменяется.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Всесоюзном научно-техническом симпозиуме "Электрoмагнитная совместимость радиоэлектронных средств" (г. Харьков, 1986г.), Научно-практической конференции "Интегральные волноводные и полосковые СВЧ элементы систем связи" (г. Куйбышев, 1987г.), 2-й Всесоюзной научно-технической конференции "Устройства и методы прикладной электродинамики" (г. Одесса, 1991г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Применение сверхширокополосных сигналов в радиоэлектронике и геофизике" (г. Красноярск, 1991г.), "Конференция по приборам, техника и распространению миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн" (г. Харьков, 1992г.), Конференция и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием" (г. Севастополь, 1992г.), VI Международная школа-семинар "Техника, теория, математическое моделирование и САПР систем сверхбыстрой обработки информации на объемных интегральных схемах" (г. Калининград, 1992г.). По материалам диссертации опубликовано 15 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Она содержит 155 страниц, из них 36 страниц рисунков и таблиц, список литературы на 13 страницах из 115 наименований, включая публикации автора.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, кратко изложено ее содержание, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе решена задача о возбуждении плоской монохроматической E или H-поляризованной волной дифракционной структуры, образованной периодической решеткой и слоистым гиротропным магни-

тодieleктриком. Решетка составлена из идеальнопроводящих брусьев прямоугольной формы поперечного сечения. Система содержит произвольное (заданное) количество слоев магнитодиелектриков с потерями и учитывает наличие управляющего элемента в виде полупроводниковой пленки между слоями магнитодиелектрика. Структура может содержать металлический отражательный экран. Решение получено с использованием метода Фурье в виде бесконечных систем линейных алгебраических уравнений 2-го рода относительно неизвестных амплитудных коэффициентов гармоник дифрагированного поля.

С помощью численного эксперимента установлено возникновение аномального прохождения, отражения и поглощения электромагнитных волн, связанных с резонансами высших пространственных гармоник в слоях магнитодиелектрика. Проанализированы возможности измерения параметров магнитодиелектриков и влияние потерь в слоях магнитодиелектриков на характеристики рассеянного поля. На рис. 1-3 представлены серии кривых, иллюстрирующих частотные зависимости модуля  $\Gamma$  и фазы  $\varphi$  коэффициента отражения, суммарной энергии отраженного и прошедшего полей  $\Lambda$ , нормированной на энергию падающего поля для различных значений тангенса угла потерь  $\delta$ . Аномальное отражение (поглощение) электромагнитных волн вызвано резонансным возбуждением в слоях магнитодиелектриков высшей (в данном случае -1-й) пространственной гармоники поля, что приводит к перераспределению энергии отраженного и прошедшего сигналов. Если диэлектрик обладает потерями ( $\delta \neq 0$ ), то за счет концентрации энергии поля в слое при резонансе, имеет место аномальное поглощение падающей волны. Кривые 1, 2, 3, 4 на рис. 1, 2 соответствуют значениям  $\delta = 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}$ , а на рис. 3 -  $\delta = 10^{-5}, 10^{-4}, 1.25 \cdot 10^{-4}$  и  $10^{-3}$  соответственно.

Аномальное поглощение электромагнитных волн в диэлектрических слоях с потерями наблюдается во всей полосе резонанса, достигая своего максимального значения при определенных для каждого резонанса значениях  $\delta$ . В данном случае поглощение (более 75%), имеет место при  $\delta \sim 10^{-4}$ , а при  $\delta > 10^{-3}$  происходит разрушение резонанса. В области резонансов скорость изменения фазы отраженного сигнала максимальна. В данном случае при  $\omega > \omega_p$  фаза изменилась на  $2\pi$ . В зависимости от величины омических потерь в диэлектрическом слое, скорость изменения фазы может менять знак на противоположный - наблюдается эффект переключения фазы коэффициента отражения при незначительном приращении величины  $\delta$ .

Проведенный анализ характеристик многослойных структур и

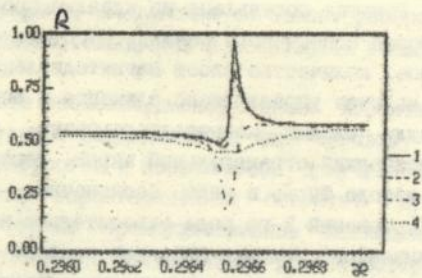


Fig. 1

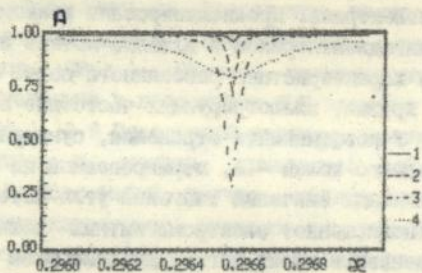


Fig. 2

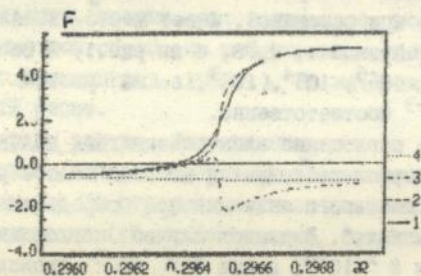


Fig. 3

разработанные алгоритмы их расчета позволили промоделировать такие структуры в ряде практически важных приложений. В частности, показано, что решетка-апликатор при определенных условиях существенно повышает поглощение электромагнитного поля слоем магнитодиэлектрика. Так, по сравнению со слоистой структурой без решетки, поглощение может быть увеличено в десятки и даже сотни раз для диэлектриков с величиной тангенса угла потерь  $\delta \sim 10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  и в несколько раз для диэлектриков с  $\delta \sim 10^{-2}$ ,  $10^{-1}$ . Исследованы возможности использования управляющего элемента в виде полупроводниковой пленки для коммутации (управления) фазой сигнала, уровнем поглощения и резонансной частотой.

При создании СШП поглощающих покрытий, ключевой задачей является согласование поглощающей структуры с окружающим пространством, при котором от внешнего слоя поглотителя отражается минимум электромагнитного поля. Для нормального падения волн на границу раздела проводящих сред при  $\delta=0$  и  $q=(\mu/\epsilon)^{1/2}$ ; модуль коэффициента отражения от границы раздела двух сред -  $R$  стремится к 0. Минимальное отражение электромагнитных волн при произвольном угле падения от границы раздела сред наблюдается при выполнении условия:  $q_2/q_1 = E_1/H_2$ , где  $E_1$  и  $H_2$  амплитуды тангенциальных составляющих напряженностей электрического и магнитного полей на границе раздела сред. В случае E-поляризации это соотношение равно  $1/\cos\alpha$ , а для H-поляризованных волн -  $\cos\alpha$ , где  $\alpha$  - угол падения волны по отношению к нормали. Характеристики для H и E-поляризованного поля совпадают при замене  $q \rightarrow 1/q$ .

На основе полученных строгих решений задач дифракции электромагнитных волн на многослойных структурах с потерями, разработан численный алгоритм синтеза магнитодиэлектрических покрытий с требуемыми характеристиками. Приведен пример расчета параметров СШП трехслойного поглощающего покрытия в диапазоне до 0.2 ГГц. При общей толщине 21 мм в интервале углов до 30° полоса поглощения остается практически постоянной, а уровень энергии отраженного сигнала не превышает 1%.

Во второй главе решена задача моделирования рассеяния электромагнитных волн на структурах, содержащих градиентно-неоднородный магнитодиэлектрик. При этом реальный профиль проницаемости магнитодиэлектрика аппроксимируется слоями с кусочно-постоянными проницаемостями. Возможные ошибки вычисления параметров рассеянного поля связаны с "паразитными" резонансами в отдельных моделирующих слоях, с отличием оптической толщины моделирующей и моделируемой

структур, зависят от скорости изменения оптической толщины слоя. Выполнение условия:  $2 * \Delta Z < \lambda * \cos \alpha * (\mu_e)^{1/2}$  позволяет избежать появления "паразитных" резонансов в слоистой модели, не имеющих места в реальной структуре.

Априорно получены соотношения, связывающие параметры структуры и сигнала, шаг дискретизации с ошибками моделирования. Параметру аппроксимации достаточно однозначно можно поставить в соответствие максимальные ошибки во всем диапазоне длин волн. Параметры аппроксимирующих слоев вычисляются с учетом параметров структуры, сигнала и требуемой точности вычисления дифракционных характеристик системы, что дает возможность определения электродинамических параметров слоев в произвольном (заданном) диапазоне длин волн, углов падения волны с необходимой точностью. Рис.4 иллюстрирует зависимость гарантированных средней и максимальной ошибок моделирования в широком диапазоне длин волн от параметра аппроксимации. Максимальные ошибки моделирования  $D_{max} < 2D_{cp}$ , что свидетельствует о равномерном во всем диапазоне моделировании градиентно-неоднородных структур. Приведены примеры расчета характеристик градиентно-неоднородных структур, ошибок моделирования в широком диапазоне изменения параметров сигнала.

В третьей главе исследованы решения задач с распространением сигналов сложной формы в системах с дисперсией и потерями. В первом разделе решена электродинамическая задача определения параметров нестационарных сигналов, распространяющихся в волноводной линии передачи, заполненной проводящей средой. Форма импульса может задаваться в начальный момент времени ( $t=0$ ) или в начальном сечении ( $z=0$ ). Решение получено с использованием нестационарной функции Грина. Проанализированы преимущества и недостатки использования метода функции Грина по сравнению с применением метода Фурье. Исследованы закономерности искажения и затухания нестационарных сигналов при распространении в волноводных линиях передачи. Выявлены особенности распространения импульсных сигналов в волноводах с неоднородным по радиусу магнитодиэлектрическим заполнением. Проведен сравнительный анализ волноводов различной формы поперечного сечения. Предложен метод измерения в нестационарном режиме параметров магнитодиэлектриков в волноводах.

Во втором разделе рассмотрена задача дифракции импульсных сигналов и волновых пучков на периодических структурах с многослойным покрытием. Результаты получены с использованием метода Фурье на основе решений для монохроматических плоских волн. Ос-

новное внимание уделено исследованию нестационарных характеристик рассеяния в области аномалий (резонансов) электромагнитных волн в дифракционных структурах. Дана физическая интерпретация явления разделения сигнала в многослойных структурах. Рассмотрены закономерности преобразования импульсных сигналов системами, обладающими потерями. Показано, что преобразование сигнала в области аномалий дисперсионных характеристик может быть использовано для измерений параметров магнитодieleктриков в нестационарном режиме.

С использованием результатов первой главы исследованы нестационарные характеристики рассеяния многослойного сверхширокополосного поглощающего экрана.

В качестве примера рассмотрены нестационарные характеристики рассеяния слоя неоднородного диэлектрика с синусоидальным профилем диэлектрической проницаемости ( $\epsilon'(z/L) = 2 + 2\sin(\pi z), 0 < z < 1$ ). На рис.5 приведены временные зависимости отгибших радиосигналов для падающего (кривая 1) и отраженных сигналов при различных значениях тангенса угла потерь  $\delta$  (кривая 2 соответствует  $\delta = 0.1$ , 3 -  $\delta = 1$ ). Длительность импульса -  $2T\delta = 0.1$  нс, несущая частота -  $\omega = 0.107$  ГГц, угол падения -  $\alpha = 15^\circ$ .

Если несущая частота сигнала близка к собственной частоте системы, то первоначальный сигнал трансформируется в два импульса, причем запаздывающий импульс соответствует резонансной области спектра. При совпадении  $\omega$  с резонансной частотой, исходный сигнал полностью разделяется на два импульса, при этом частотная модуляция отраженного сигнала выражена слабо. Соотношение амплитуд этих импульсов определяется шириной спектра сигнала и резонансной кривой системы. В неоднородном слое с омическими потерями происходит преимущественное поглощение энергии запаздывающего сигнала и перераспределение энергии отраженного и прошедшего полей. При  $\delta = 1$  отраженный сигнал близок по форме к исходному. Нестационарные характеристики рассеяния для слоя градиентно-неоднородного магнитодieleктрика принципиально не отличаются от характеристик кусочно-однородных магнитодieleктриков.

При рассеянии пространственно-неоднородных волн (волновых пучков) наблюдаются аналогичные изменения сигналов в резонансной области дифракционных структур, но в пространственном масштабе. В качестве примера рассмотрена дифракция монохроматического волнового пучка на слое диэлектрика. На рис.6 представлены пространственные распределения падающего, отраженного и прошедшего сигналов (кривые 1, 2 и 3 соответственно). Для удобства анализа

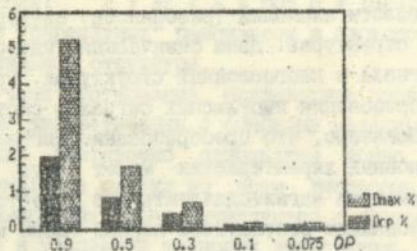


Fig. 4

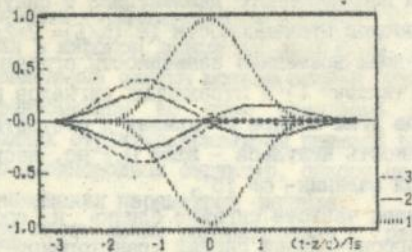


Fig. 5

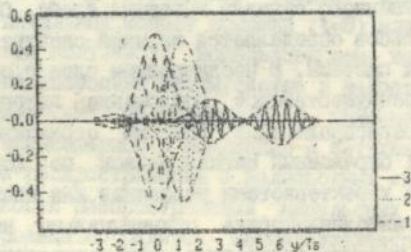


Fig. 6

параметры сигналов пересчитаны в плоскости  $z=0$ . В пределах пространственного спектра падающего сигнала отраженное поле формируется в виде двух пучков с разной частотой пространственного заполнения  $\omega_1 < \omega_0$ ,  $\omega_2 > \omega_0$ . Максимум пространственного распределения пучка соответствует нулю коэффициента отражения, поэтому отраженный и прошедший сигналы практически симметричны.

В Выводах подведены итоги выполненной работы и намечены пути дальнейших исследований в выбранном направлении.

В Приложении получено дисперсионное уравнение для планарного волновода, содержащего решетку с многослойным покрытием, и кратко рассмотрены дисперсионные свойства такой структуры.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Адонина А.И., Островский О.С., Ивайлика А.Н. Решетка из брусьев прямоугольной формы поперечного сечения, размещенных в многослойном магнитодиэлектрике // Киев, 1987. - 20 с. - Деп. в ВИНТИ № 8965 - В87.

2. Адонина А.И., Островский О.С. Решетка из брусьев, расположенная на двухслойном магнитодиэлектрике // Изв. вуз. Радиофизика - 1987. - Т.30. - №4. - С.560-562.

3. Адонина А.И., Островский О.С. Применение решетки с диэлектрическими слоями для улучшения электромагнитной совместимости квазиоптических линий передач // Электромагнитная совместимость радиоволновых средств: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического симпозиума. М., 1986. - С.52.

4. Адонина А.И., Островский О.С. Антенные устройства на периодических решетках в многослойном магнитодиэлектрике // Интегральные волноводные и полосковые СВЧ элементы систем связи: Тезисы докладов областной межвузовской научно-практической конференции (22-25 сентября 1987г., Куйбышев). Куйбышев, 1987. - С.135-137.

5. Адонина А.И., Островский О.С. Наклонное падение E и H-поляризованных волн на объемную решетку в многослойном гиротропном магнитодиэлектрике // Харьк. ун-т, Харьков, 1991. - 9с. - Деп. в ВИНТИ 22.01.91 №351-В91.

6. Адонина А.И., Островский О.С. Дисперсионные характеристики планарного металло-диэлектрического волновода с периодической структурой конечной толщины // Радиотехника - 1992. - №9. - С.62-66.

7. Островский О.С., Сорока А.С. Распространение коротких импульсов в круглом волноводе с тонким магнитодиэлектрическим покрытием стенок // Устройства и методы прикладной электродинами-

ки: Тез. докл. 2 Всес. научно-технической конференции (9-13 сентября 1991г., Одесса ). М., 1991.- С.98.

8. Сорока А.С., Островский О.С. Устройство для измерения параметров жидких магнитоэлектриков. - Положит. рож. по заявке на изобрет. N 5005488/21 от 08.07.91.

9. Балабанов В.В., Гребенки Ю.И., Островский О.С. Распространение нестационарных сигналов в волноведущих системах// Применение сверхширокополосных сигналов в радиоэлектронике и геофизике: Тез. докл. Всесоюз. научно-технической конференции (сентябрь 1991г., Красноярск ). Красноярск, 1991.- С.61.

10. Островский О.С., Сорока А.С., Шматько А.А. Распространение нестационарных сигналов в волноволных линиях передачи// Харьк.ун-т, Харьков, 1992.- 31с.- Доп. в ВИНТИ 9.03.92 N753-Б92.

11. Гребенки Ю.И., Островский О.С., Сорока А.С., Шматько А.А. Преобразование импульсов электродинамическими системами в области аномалий их дисперсионных характеристик// Конференция по приборам, технике и распространению миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн: Тез. докл. (30 июня -3 июля 1992 г., Харьков). Харьков, 1992.- С.59.

12. Гребенки Ю.И., Островский О.С., Сорока А.С. Аппроксимация градиентно-неоднородного магнитоэлектрика в задачах моделирования волноводных устройств// Конференция и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием". Материалы конференции. Севастополь, 8-10 октября 1992.- С. 535-540.

13. Гребенки Ю.И., Островский О.С., Сорока А.С. Дифракция электромагнитных волн на многослойной структуре с решеткой// VI Межгосударственная школа-семинар "Техника, теория, математическое моделирование и САПР систем сверхбыстрой обработки информации на объемных интегральных схемах". Материалы конференции, т.2. Москва, 1992.- С.321-326.

14. Ostrovsky O., Soroka A., Shmat'ko A. Pulse Transformation by Waveguide and Grating with Inner Dielectric Layer// Proceedings of the Third International Symposium on Antennas and EM Theory (ISA'93) Sept.6-9, 1993, Nanjing, China, P.424-427.

15. Ostrovsky O., Soroka A., Shmat'ko A. Anomalous Absorption of Microwave Pulse in an Inhomogeneous Dielectric// Proceedings of the International Conf. on Millimeter and Submillimeter Waves and Applications. San Diego, USA, January 10-14, 1994.

Підписано до друк. 27.04.94. Формат 60x84 1/16.  
Умовно-друк. арк. 1,0. Учбово-видав. арк. 1,0. Заказ 319.  
Тираж 100.

---

Ділянка оперативного друку Харківського ДАУ. ЗІЗІЗІ, ХДАУ.  
Учбове містечко.

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

257029

1. See also: Z. B. ... 1971, ...

2. ... 1971, ...

3. ... 1971, ...

4. ... 1971, ...

5. ... 1971, ...

6. ... 1971, ...

7. ... 1971, ...

8. ... 1971, ...

9. ... 1971, ...

457039

AB 30.078

**AB 30.078**