

применение *p-i-n*-диодов. Это позволяет избавиться от сложных механических устройств переключения, повысить надежность аттенуаторов. Однако по техническим характеристикам (меньшему диапазону рабочих частот, высоким начальным потерям, большой погрешности ослабления, высокому КСВН на входе и выходе) такие ступенчатые аттенуаторы уступают аттенуаторам с механическим переключением.

Например, аттенуатор модели 1095 в диапазоне частот от 2,0 ГГц до 8,15 ГГц имеет: ослабление 0-110 дБ ступенями в 10 дБ, начальные потери (на «нулевом» канале ослабления) 6,0 дБ, погрешность ослабления $\pm 1,9$ дБ, величину КСВН $\leq 2,0$.

Литература

1. Шишков Г.И. Широкополосные коаксиальные аттенуаторы // Антенны. 2004. Вып. 1 (80). С. 18-21.
2. А.С. 240789 (СССР). Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов // Б.И. № 13. 1969.
3. А.С. 866617 (СССР). Фиксированный аттенуатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев // Б.И. № 35. 1981.
4. А.С. 327866 (СССР). Ступенчатый аттенуатор / В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев, В.И. Моталин, И.М. Рубцов, Г.И. Шишков // Б.И. № 16. 1972.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР С ТОНКИМИ РЕЗИСТИВНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Н.А. Новоселова¹, Р.Г. Рудоясова¹, А.Ю. Седаков²

¹Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru;

²Нижний Новгород, ФГУП ФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова», niis@niis.nnov.ru)

MATHEMATICAL MODELING OF WAVEGUIDE STRUCTURES WITH THIN RESISTIVE FILMS

N.A. Novoselova, R.G. Rudoyasova, A.Yu. Sedakov

Задачи о волноводах с тонкими резистивными пленками решаются как правило, методом поверхностного тока (МПТ), который отличается от обычного МЧО введением разрывных граничных условий для магнитного поля в месте расположения резистивных пленок.

Расчет направляющих структур сводится, как правило, к решению различных краевых электродинамических задач, особенности которых определяются спецификой рассматриваемых структур. Одним из важнейших вопросов, возникающих при постановке и решении краевых задач электродинамики, является определение типа оператора, соответствующего рассматриваемой задаче. В понятие электродинамического оператора входят дифференциальное уравнение и система граничных условий, конкретизирующих особенности электромагнитных процессов, описываемых уравнением. Операторы подразделяются на самосопряженные и несамосопряженные. Решение вопроса: к какому типу относится оператор, соответствующий рассматриваемой краевой задаче, является основополагающим фактором, определяющим спектр решений краевой задачи, то есть спектр волн направляющей структуры.

Направляющие структуры с резистивными пленками являются диссипативными. В том случае, когда направляющая структура образуется средами с комплексными ϵ и μ , краевые задачи являются заведомо несамосопряженными ввиду невыполнения первого условия самосопряженности – тождественности дифференциальных уравнений прямой и сопряженной задач. Собственные значения краевых задач для направляющих структур, содержащих дис-

сипативные среды, в общем случае являются комплексными величинами. Соответственно, волновые числа собственных волн являются комплексными функциями частоты.

При использовании МПТ, когда присутствие резистивных пленок учитывается введением разрывных граничных условий для магнитного поля, все среды, заполняющие волновод, оказываются недиссипативными, то есть имеющими действительные параметры ϵ и μ . Поэтому встает вопрос о типе электродинамического оператора, соответствующего краевой задаче. В докладе показывается, что, несмотря на недиссипативность сред, заполняющих волновод, краевая задача, решаемая с помощью МПТ, является неамосопряженной. Таким образом, доказывается корректность метода поверхностного тока.

ОСОБЕННОСТИ ВОЛН В НАПРАВЛЯЮЩИХ СТРУКТУРАХ С РЕЗИСТИВНЫМИ ПЛЕНКАМИ

С.Б. Раевский¹, А.Ю. Седаков², Г.И. Шихов¹

¹Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru;

²Нижний Новгород, ФГУП ФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова», niis@niis.nnov.ru)

WAVE FEATURES IN WAVEGUIDE STRUCTURES WITH RESISTIVE FILMS

S.B. Raevskii, A.Yu. Sedakov, G.I. Shishkov

Волноводы с тонкими (меньше толщины скин-слоя) резистивными пленками являются базовыми структурами при построении целого ряда устройств СВЧ: согласованных нагрузок, широкополосных поглощающих аттенуаторов, фильтров паразитных мод, направленных ответвителей и т.д. Особое значение такие направляющие структуры имеют для создания базовых элементов и функциональных узлов на объемных интегральных схемах. Моделирование таких структур производится на основе метода поверхностного тока, который отличается от метода частичных областей введением в месте расположения резистивных пленок разрывных граничных условий для магнитного поля.

Волны волноводов с резистивными пленками обладают своими специфическими особенностями. В большинстве случаев у них отсутствуют критические частоты или проявляются они (критические частоты) особым образом, не разделяя области распространяющихся и запердельных волн. У волн в волноводах с резистивными пленками наблюдается сильное замедление групповой скорости, во много раз превышающее значение $\sqrt{\epsilon}$ (ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей волновод). При $\omega \rightarrow \infty$ у всех типов волн постоянная затухания стремится к нулю, что объясняется увеличением экранирующего действия резистивных пленок, при котором происходит отеснение от них электрического поля. Поведение дисперсионных характеристик собственных волн определяется величиной поверхностного сопротивления пленки, параметрами диэлектрического заполнения волновода, характером напыления резистивной пленки. Все три фактора должны учитываться разработчиками при создании СВЧ узлов на базе волноводов с тонкими резистивными пленками, при решении задач параметрического синтеза.

В докладе рассматриваются дисперсионные свойства и распределения полей волн неоднородно заполненных диэлектриком волноводов с резистивными пленками прямоугольного, круглого и эллиптического поперечных сечений с резистивными пленками между слоями диэлектрика.