

КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

КУЛІК ПРОКОФІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ
В ПЛАНАРНИХ ХВИЛЕВЕДУЧИХ СТРУКТУРАХ
З БАГАТОШАРОВИМ ФЕРИТ-ДІЕЛЕКТРИЧНИМ
ЗАПОВНЕННЯМ**

Київ — 1994

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00778663 (.)

ЛНБ України ім. В. Стефаніка

ЛНБ України ім. В. Стефаніка

ЛНБ України ім. В. Стефаніка

ЛНБ України ім. В. Стефаніка

ЛНБ України ім. В. Стефаніка

На правах рукопису

КУЛІК ПРОКОФІЯ ЛЕОНІДОВИЧ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ В ПЛАНАРНЬХ ХВИЛЕВЕДУЧИХ СТРУКТУРАХ
З БАГАТОШАРОВИМ ФЕРИТ-ДІЕЛЕКТРИЧНИМ ЗАПОВНЕННЯМ

01.04.03 - Радіофізика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня

кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1994

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Київському університеті імені Тараса Шевченка

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
ДАНИЛОВ Вадим Васильович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ФІЛКОВСЬКИЙ Олександр Терентійович
кандидат фізико-математичних наук, ст.наук.сп.
ЛУКОМСЬКИЙ Василь Петрович

Провідна організація: Київський політехнічний інститут

Захист відбудеться 27 червня 1994 р. о 15 год. в ауд. 46
на засіданні Спеціалізованої Ради К 063.18.01 в Київському
університеті імені Тараса Шевченка (252127, Київ-127, вул.
Ковалевська, 1, радіофізичний факультет).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
університету імені Тараса Шевченка (252017, Київ-17, вул.
Володимирська, 62)

Автореферат розісланий 26 Травня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої Ради

Шевченко А.Г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дослідження коливальних та хвилевих процесів в різноманітних структурах з різними матеріальними середовищами вже мають багату історію та я зараз є одним з фундаментальних розділів радіофізики [1]. Вивчення цих процесів, з одного боку, дозволяє отримати інформацію про властивості твердого тіла, а з іншого боку, призвели до створення цілого класу пристроїв, які зайняли стійке місце в елементній базі сучасної радіоелектроніки [2].

З цієї точки зору особливе місце займають дослідження процесів розповсюдження електромагнітних хвиль в планарних хвилеводних структурах що являють інтерес як для освоєння нових типів ліній передач, так і для створення інтегральних функціональних вузлів НВЧ електроніки в межах концепції об'ємних інтегральних схем НВЧ. Успіхи в технології виробництва феритових плівок залізо-ітрієвого гранату (ЗІГ) на підкладках з галій-гадолінієвого гранату (ГГГ) дозволяють ставити питання про застосування унікальних властивостей таких плівок при використанні їх як підкладок для різноманітних класів смужкових хвилеводних структур - смужкові, копланарні та інші типи ліній [3].

Удосконалення можливостей сучасної обчислювальної техніки дозволило перейти до якісно нового етапу досліджень таких структур з точки зору проведення повного аналізу процесів розповсюдження електромагнітних хвиль в них. Розроблені при цьому математичні методи дозволяють провести аналіз на електродинамічному рівні точності [4], а одержані результати можуть бути ефективно використані на практиці.

Застосування в ролі підкладок смужкових структур багат шарових плівок дозволило використати нелінійні властивості фериту для розробки пристроїв, що мають нелінійні динамічні характеристики, наприклад, обмежувач потужності та шумоподавник.

Таким чином, планарні хвилеводні структури з багат шаровим ферит-діелектричним заповненням є надзвичайно цікавим об'єктом для фізичних та прикладних досліджень. Але, проведений аналіз літератури демонструє, що в ній недостатньо повно освітлено ефект існування смуги частотної відсічки в дисперсії смужкової лінії на феритовій підкладці. Зокрема, відсутні розрахунки дисперсії в

області смуги відсічки, нема аналізу розподілу потоків енергії в подібній лінії. Це не дозволяє повністю в'яснити механізм ефекту, що досліджується. Наведені в літературі результати досліджень нелінійних пристроїв типу обмежувач потужності та шумоподавник, поповно описують вплив типу смужкової структури, що використовується, на характеристики подібних пристроїв. Відсутні дослідження прогнів поширення імпульсних НВЧ сигналів в смужкових структурах з феритовими плівками, які мають нелінійні динамічні характеристики. Виходячи з цього, в роботі взято за мету:

теоретичне та експериментальне дослідження ефектів ширококутового загородження в смужкових структурах з багатшаровим ферит-діелектричним заповненням;

дослідження динамічних характеристик планарних хвильових структур з багатшаровим ферит-діелектричним заповненням на високих рівнях потужності, при яких виявляються нелінійні ефекти в феритових шарах.

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

1. Досліджено вплив діелектричної проникності шарів, числа шарів фериту в підкладці та конфігурації підкладки на характеристики смуги загородження мікросмужкової лінії на багатшаровій ферит-діелектричній підкладці. Експериментально підтверджені результати теоретичного аналізу.

2. Вперше показана можливість існування ефекту подвійної відсічки у симетричній смужковій лінії з феритовими плівками, що використовуються у ролі підкладки.

3. Вивчено вплив збуджуваних смужкою магнітостатичних хвиль на характеристики загородження у смужкових структурах з ферит-діелектричними підкладками. Показані конкретні можливості зменшення нерівномірності АЧХ таких структур.

4. Проведено аналіз розподілу густини потоків енергії в мікросмужковій лінії з феритовою плівкою. Вперше виявлено існування зустрічних повздовжніх потоків енергії, локалізованих над ребрами струмоведучої смужки, в області частот відсічки. Експериментально зафіксовано існування таких потоків у МСЛ з феритовою плівкою в магнітному полі, що перпендикулярне до площини підкладки.

5. Досліджені динамічні характеристики різноманітних типів смужкових ліній передачі (смужкова, екранована смужкова,

копланарна та симетрична смужкова) з феритовими плівками у повздовжньому магнітному полі. Показано, що параметри пристроїв, які можуть бути реалізовані на основі використання таких структур (обмежувач потужності, шумоподавник), суттєво залежать від типу смужкової структури, що застосовується. Обговорюється питання використання ефектів, що досліджуються, для поліпшення характеристик таких пристроїв.

6. Показано, що при проходженні прямокутного радіоімпульсу через смужкову лінію на ферит-діелектричній підкладці, спостерігається спотворення форми вихідного імпульсу, що обумовлено скінченним часом утворення параметричних процесів в феритових шарах.

Достовірність отриманих результатів підтверджується надійністю експериментальних даних, отриманих різноманітними методами, результати яких добре погоджуються один з одним, а також з висновками теорії; коректністю математичного апарату, що використовується.

Практична цінність роботи

Виконані в дисертації дослідження тісно пов'язані з практичними задачами НВЧ електроніки. В роботі теоретично і експериментально досліджено ряд пристроїв обробки і фільтрації НВЧ сигналів. Запропоновано конструкції і створено діючі макети режакторного фільтра та обмежувача потужності в діапазоні частот 2-4 ГГц, які можуть бути використані для захисту вхідних трактів НВЧ приймачів.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Механізм ширококутового загородження НВЧ сигналів у планарних хвильоводних структурах з багатшаровими ферит-діелектричним заповненням, який полягає у одночасовій присутності відбиття енергії від структури та втрат енергії, що обумовлені збудженням магнітостатичних хвиль смужкою.

2. Присутність двох зустрічних потоків енергії у смужковій лінії на ферит-діелектричній підкладці в перпендикулярному до площини підкладки магнітному полі.

3. Особливості нелінійних явищ в смужкових структурах з багатшаровими ферит-діелектричними підкладками.

Апробація роботи.

Основні положення роботи доповідались на IX Міжнародній

конференції "Ферити на НВЧ" Алушта 1992 р., Всесоюзній конференції "Об'єми інтегральні схеми НВЧ та КВЧ" Тула 1991 р., конференції "Фізика магнітних явид" Славянгорск 1993 р., Всесоюзних семінарах "Магнітоелектроні пристрої НВЧ" Київ 1991 та 1993 рр.

Публікації

За матеріалами роботи опубліковано 9 друкованих праць.

Структура та обсяг роботи

Дисертація складається із вступу, трьох розділів, закінчення, 107 сторінок машинописного тексту, 32 малюнків, 3 таблиць, 89 посилань на літературні джерела, та додатку.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі досліджені ефекти широкосмугового загородження в мікросмужковій лінії на багат шаровій ферит-діелектричній підкладці в перпендикулярному до площини підкладки зовнішньому магнітному полі. Для розрахунків дисперсії таких структур був використаний метод спектральних областей [5]. Записуючи рівняння Максвелла для просторових гармонік компонент електричного та магнітного поля у кожному шарі з визначенням його особливостей та застосовуючи граничні умови для дотичних компонент поля на границях розділу шарів, задачу можливо звести до розв'язку пари інтегральних рівнянь, які мають вигляд

$$\int_{-a/2}^{a/2} \left[i_x(x) G_{11}(x, h) + i_y(x) G_{12}(x, h) \right] dx = 0,$$

$$\int_{-a/2}^{a/2} \left[i_x(x) G_{21}(x, h) + i_y(x) G_{22}(x, h) \right] dx = 0,$$

де i_x , i_y - компоненти поверхневого струму на смужці, G_{ij} - функція Гріна, h - повздовжня постійна розповсюдження. Далі розв'язок проводиться методом Гальоркіна. В якості базисних функцій розкладу компонент поверхневого струму на смужці використані функції тригонометричного ряду з ваговими коефіцієнтами, що враховують умови на ребрі.

Проведені розрахунки дисперсії для ряду конкретних смужкових структур. Вивчено, що дисперсія електромагнітної хвилі, що

розповсюджується у таких структурах, має смугу частотної відсічки, в якій повздовжня постійна розповсюдження має уявне значення (без врахування діелектричних та магнітних втрат). Ширина смуги загородження залежить від співвідношення товщин феритових та діелектричних шарів, кількості шарів фериту в підкладці, діелектричної проникності шарів, конфігурації підкладки (наприклад у структурі смужка-ферит-діелектрик-метал ширина смуги більша, ніж у структурі смужка-діелектрик-ферит-метал). Отримані розрахункові дані підтверджуються експериментально.

Проведено аналіз симетричної смужкової лінії з двома феритовими плівками, що розташовані над та під смужкою. Виявлено, що в тому разі, коли характеристики плівок (наприклад μ_m) мають різні значення, дисперсійна характеристика такої структури має дві смуги відсічки, які рознесені по частоті. Такі структури можуть бути використані для створення НВЧ фільтрів типу "шторки". Експериментально продемонстрована можливість створення такого фільтру.

Приведені результати розрахунку дисперсії смужкової лінії на багатозаровій ферит-діелектричній підкладці в області смуги відсічки з врахуванням магнітних та діелектричних втрат. Розрахунок уявної частини повздовжньої постійної розповсюдження дозволяє знайти величину втрат у лінії на одиницю довжини. Отримана експериментально АЧХ лінії добре погоджується з розрахованою. Виявлена при цьому порізанисть АЧХ виникає при збудженні смужкою магнітостатичних хвиль, а деяке збільшення ширини смуги загородження обумовлено неоднорідністю зовнішнього магнітного поля вздовж смужки.

З метою в'яснення впливу збуджених смужкою магнітостатичних хвиль (у цьому випадку ПОМСХ) на характеристики лінії було проведено ряд експериментів по виміренню КСХ структур типу смужка на феритовій плівці у хвилеводі. Збуджуваний при цьому спектр ПОМСХ значно порізаний, що обумовлено створенням ширинних мод МСХ (зсув частот між двома частотними піками дорівнює $2\pi/\lambda$, де λ - ширина зразка плівки, n - ціле число). Частотний діапазон збуджуваних МСХ суттєво залежить від ширини смужки. При цьому розрахована у наближенні рівномірного розподілу струму на смужці ширина спектру МСХ, добре погоджується з експериментальною (похибка біля 15-20 %). Отримані спектри збуджених МСХ добре

погоджуються з порівзаністю АЧХ таких структур, що використані в якості смужкової лінії. Всупереч цьому, сильна залежність ширини смуги загородження від ширини смужки не спостерігається, що підтверджується в роботах інших авторів [6]. Приведені результати використання деяких методів подавлення збуджених ширинних мод МСХ, які зменшують порівзаність АЧХ.

Використана у роботі теоретична модель дозволяє провести розрахунок поперечного розподілу компонент поля в досліджуемій структурі. На підставі цих розрахунків проведено аналіз потоків енергії в структурі при обчислюванні компонент вектора Пойнтинга

$$\vec{P} = c/8\pi [\vec{E} * \vec{H}^*]$$

За межами смуги частотної відсічки хвиля має TEM структуру, а по вздовжній потік енергії асиметрично локалізований понад ребрами смужки (при цьому положення максимумів змінюється при переході від частот нижче смуги відсічки до високих частот). В області смуги відсічки у структурі поля хвилі з'являються поведовжні компоненти, але по вздовжній потік енергії в лінії, в різницю від звичайних позазональних структур, не дорівнює нулеві. При цьому існують два зустрічних потоки енергії, що локалізовані понад ребрами смужки, а загальний потік енергії через поперечний переріз лінії дорівнює нулеві. Існує також і поперечний потік енергії, який перекачує енергію прямого потоку в зворотній, що веде до зменшення інтенсивності потоків вздовж напрямку розповсюдження пропорційно $\exp(-h''z)$, де h'' - уявна частина по вздовжньої постійної розповсюдження, z - по вздовжня координата. Приведені також результати експериментального дослідження розподілу густини потоків енергії у смужковій лінії на ферит-діелектричних підкладці методом відлику на фотоіндуковане збурення. Отримано якісне підтвердження розрахунків. Обговорена можливість застосування цього ефекту для створення пристрою типу вентиля.

У другому розділі дисертації досліджені характеристики смужкової та копланарної лінії з багатозаровими ферит-діелектричними підкладками у по вздовжньому (по відношенню до смужки) зовнішньому магнітному полі. У якості джерела магнітного поля був використаний соленоїд в середині якого розміщувалась структура, що досліджувалась. В АЧХ смужкової лінії з феритовою плівкою в такому режимі підмагнічування спостерігалась смуга

загородження, нижня частотна границя якої дорівнює $\omega_{\text{мін}}^{\text{КР}} = \gamma(H_0(H_0 + 4\pi M))^{1/2}$. Характеристики загородження, що спостерігались при цьому наступні:

- рівень втрат зовні смуги загородження 1.5-2 дБ;
- глибина загородження >40 дБ;
- крутість переднього схилу 1 дБ/МГц;
- крутість заднього схилу 0.5 дБ/МГц;
- ширина смуги загородження для двохшарової феритової плівки з товщиною фериту 13.6 мкм по рівню -10 дБ близько 100 МГц.

Показано, що розмиття заднього схилу загородження, що обумовлене неоднорідністю характеристик плівки вздовж напрямку розповсюдження хвилі, а також неоднорідністю зовнішнього магнітного поля, при даному режимі підмагнічування суттєво більше, ніж при перпендикулярному до площини підкладки підмагнічуванню.

Досліджені також характеристики копланарної лінії, що навантажена ферит-діелектричною плівкою. Існуюча у цьому випадку смуга загородження значно ширше ніж смуга загородження смужкової лінії з подібною плівкою, та практично збігається з діапазоном існування магнітостатичних хвиль, що збуджуються смужкою (ПМОХ у цьому випадку) де $\omega_{\text{мін}}^{\text{КСХ}} = \gamma(H_0(H_0 + 4\pi M))^{1/2}$, $\omega_{\text{макс}}^{\text{КСХ}} = \gamma \cdot (H_0 + 4\pi M/2)$. Але АЧХ копланарної лінії має значно більшу порізаяність ніж АЧХ смужкової лінії.

Як теоретична моделі вивчення процесів розповсюдження електромагнітних хвиль в подібних структурах був вибраний метод довгих ліній, що описаний в роботах [7, 8]. Цей метод базується на визначенні погонних параметрів лінії та дозволяє визначити вхідний опір лінії та її АЧХ. У результаті зіставлення розрахункових АЧХ смужкової лінії з феритовою плівкою з експериментальними, показавно, що розрахована ширина смуги загородження відрізняється від експериментальної, при цьому сильна залежність ширини смуги загородження від ширини смужки експериментально не підтверджується (ширина смуги загородження залишається практично постійною). Це свідчить про те, що загородження обумовлено двома процесами: електродинамічним відбиттям енергії від структури та втратами енергії на збудження магнітостатичних хвиль. Приведені результати вимірювання КСХ досліджуваних структур. Спостерігається добре

збігання піків в частотній характеристиці КСХ з ямами в області смуги загородження АЧХ.

Приведені також результати розрахунків опору випромінювання ПМСХ смужковою та копланарною лінією. На підставі ефекту невзаємного збудження ПМСХ копланарним перетворювачем, що знайдений авторами [8], запропоновано метод зменшення порізанності АЧХ копланарної лінії з феритовою плівкою в області смуги загородження, шляхом несиметричного розміщення плівки понад центральним провідником копланарної лінії.

У третьому розділі дисертації розглянуто нелінійні явища в смужкових структурах з ферит-діелектричними плівками. Як було показано в [9], на підставі використання цих структур можливе створення пристроїв типу шумодавник та обмежувач потужності. Нами були досліджені смужкова, екранована смужкова та копланарна лінії з феритовими плівками у повздовжному зовнішньому магнітному полі. На вхід лінії подавався сигнал з частотою ω , при цьому досліджувалась залежність потужності на виході лінії від вхідної потужності при різноманітних значеннях зовнішнього магнітного поля. В діапазоні полів, коли частота $\omega/2$ влучає в спектр існування спінових хвиль, а частота ω розташована вище верхньої границі цього спектру, при зростанні вхідної потужності вище деякого порогового рівня P_1 , спостерігалась нелінійна залежність коефіцієнта ослаблення, яка веде до збільшення втрат в лінії з підвищенням вхідної потужності. Цей ефект зв'язаний з параметричним збудженням спінових хвиль на частоті $\omega/2$. Деякі характеристики структур, що були досліджені, наведено в таблиці

Параметр\лінія	Смужкова	Екран. смуж.	Копланар.
1. Порогова потуж. P_1 , мВт	50-75	20-25	30-35
2. Втрати при $P < P_1$, дБ	1.5-2	1.5-2	3-3.5
3. ДД при перепаді вих. потужності в 2 дБ, дБ	5	15	9
4. Смуга роб. частот, МГц	450	400-450	150-200

З табличних даних видно, що мінімальну порогову потужність має екранована смужкова лінія, що обумовлено, очевидно,

збільшенню густини енергії електромагнітного поля в фериті. При цьому спостерігалось суттєве розширення динамічного діапазону.

Для розрахунків динамічних характеристик була використана залежність втрат на одиницю довжини лінії що має вигляд [9]

$$P_{\text{вих}} = P_1 \left\{ 1 + \left[(P_{\text{вх}}/P_1 - 1)^{1/2} - CL/2P_1 \right]^2 \right\}$$

де L - довжина лінії, C - параметр, який характеризує динамічний діапазон лінії. Теоретичні розрахунки добре узгоджуються з експериментом.

При більших величинах зовнішнього магнітного поля в структурі починається збудження поверхневих МСХ та при $P_{\text{вх}} > P_2$ (де P_2 деякий пороговий рівень) відбувається їх насичення. Динамічна характеристика у цьому випадку має зворотний вигляд - зменшення втрат при збільшенні вхідної потужності (режим шумозадавання). При цьому екранована смужкова лінія має найбільший пороговий рівень P_2 . Таким чином найбільш перспективною в плані розширення динамічного діапазону режкторного фільтру є екранована смужкова структура. У проміжних магнітних полях динамічна характеристика може мати більш складний характер: при збільшенні вхідної потужності ослаблення в лінії спочатку збільшується, а потім зменшується.

Приведено також результати дослідження імпульсного розповсюдження НВЧ сигналів в екранованій смужковій лінії з ферит-діелектричною підкладкою. При розповсюдженні прямокутного радіоімпульсу, який має потужність більшу, ніж порогова ($P_{\text{вх}} > P_1$) в лінії, що має динамічну характеристику типу обмежувач потужності, на передньому фронті вихідного імпульсу спостерігався пік просочування. Спостерігалось також обмеження амплітуди піку просочування при значних перевищеннях вхідної потужності порогового рівня, що обумовлено відхиленням форми імпульсу від прямокутної. Експериментально підтверджено лінійність залежності I/τ від $P_{\text{вх}}^{1/2}$, де τ - тривалість піку просочування. На задньому фронті вихідного імпульсу спостерігався вузький пік, амплітуда якого значно менша, ніж амплітуда піку просочування. Поява цього піку пов'язана з перевищенням енергії із фериту після зовнішнього впливу при перетворенні енергії параметрично збуджених спінових хвиль в енергію електромагнітних хвиль.

При розповсюдженні прямокутного радіоімпульсу в лінії, що має

динамічну характеристику типу шумоподавник, тривалість вихідного імпульсу скорочувалась, що обумовлено, очевидно, скінченністю часу виникнення параметричної нестабільності магнітостатичних хвиль.

У додатку приведено рівняння, які використовуються для обчислення функція Гріна, що застосовані у першому розділі роботи.

У закінченні сформульовані основні висновки дисертації!

1. Застосовуючи метод спектральних областей проведено теоретичний аналіз мікросмужкової лінії на багат шаровій ферит-діелектричній підкладці у перпендикулярному до площини підкладки зовнішньому магнітному полі. В результаті досліджень показано, що хвиля, яка розповсюджується у подібній структурі має частотну смугу відсічки, в якій повздовжня постійна розповсюдження (у відсутності втрат) уявна. Ширина смуги відсічки може змінюватися від 50 до 300 МГц та залежить від товщини шарів фериту та діелектрика, конфігурації підкладки, числа шарів фериту у підкладці. Ширина смужки при цьому слабо впливає на ширину смуги відсічки. Теоретичні розрахунки добре узгоджуються з експериментом.

2. Теоретично та експериментально показано, що симетрична смужкова лінія, яка має понад та під смужкою феритові плівки з різноманітними характеристиками, має дві, рознесені по частоті, смуги відсічки.

3. Показано, що магнітостатичні хвилі, що збуджуються смужкою в феритовій плівці, крім того, що ведуть до появи додаткового каналу дисипації енергії в лінії, погіршують характеристики лінії, що проявляється у появі порізаності схилів та два смуги загородження. Відомі методи подавлення шириних мод МСХ дозволяють ефективно зменшити порізаність АЧХ.

4. Проведено аналіз розподілу густини потоків енергії у смужковій лінії на феритовій підкладці у перпендикулярному до площини підкладки зовнішньому магнітному полі. Показано, що зовні частотних границь смуги відсічки розподіл потоків енергії має різні по амплітуді максимуми, що локалізовані понад ребрами смужки. Положення максимумів змінюється при переході від частот $\omega < \omega_{\min}^{KP}$ до $\omega > \omega_{\max}^{KP}$. В області частот $\omega_{\min}^{KP} < \omega < \omega_{\max}^{KP}$ (смуга відсічки) в структурі існують зустрічні повздовжні потоки енергії, що локалізовані понад ребрами смужки. Сумарний потік енергії через

поперечний переріз лінії дорівнює нулеві - структура має позаемісійний характер. Існування подібних потоків енергії зафіксовано експериментально, з допомогою методу відгуку на фотоіндуковане збурення.

5. Методом довгих ліній проведено аналіз смужкової та копланарної лінії на феритовій підкладці у поздовжньому зовнішньому магнітному полі. Показано, що у подібних структурах також спостерігається загородження, при цьому ширина смуги загородження копланарної лінії значно ширше і більш порізнана, ніж у смужкової лінії. Приведено розрахунки опіру випромінювання магнітостатичних хвиль (ПМСХ у цьому випадку) та АЧХ лінії. Отримана при цьому сильна залежність ширини смуги загородження від ширини смужки не підтверджується експериментально, що обумовлено подвійною природою існування ефекту загородження: позаемісійністю подібних структур та передачею енергії в магнітостатичні хвилі, що збуджуються смужкою.

6. На підставі використання смужкових структур з багат шаровими ферит-діелектриччними підкладками можлива реалізація нелінійних пристроїв обробки НВЧ сигналів - обмежувач потужності та шумодавник. Приведено динамічні характеристики різноманітних типів смужкових структур з феритовими плівками у поздовжньому зовнішньому магнітному полі. Показано, що рівнем порогової потужності у подібних пристроях можливо ефективно керувати, розміщуючи металевий екран на різних відстанях від структури. Найбільш ефективним типом лінії для створення обмежувача потужності є екранована смужкова лінія, а для пристроїв типу шумодавник - копланарна лінія.

7. При розповсюдженні прямокутного радіоімпульсу, який має потужність вище деякого порогового рівня, через смужкову лінію з феритовою плівкою, спостерігається спотворення форми вихідного імпульсу: у режимі обмежувача потужності - поява піків просочування на передньому та задньому фронті імпульса, у режимі шумодавника - скорочення тривалості імпульсу за рахунок зрізання передньої його частини.

8. На підставі ефектів, що досліджувались, запропоновано методи поліпшення характеристик існуючих елементів та вузлів спінхвильової електроніки, наприклад режекторного фільтру, пристроїв типу обмежувач потужності та шумодавник. Деякі

результати досліджень можуть бути використані для створення взаємних пристроїв НВЧ електроніки.

Основні результати дисертації опубліковані у наступних роботах.

1. Данилов В.В., Кулик П.Л., Письменный А.Д. Эффекты заграждения СВЧ сигналов в микрополосковой линии на феррит-диэлектрической подложке // Известия вузов. Радиоэлектроника, 1992, 35, № 10, с. 68-73
2. Данилов В.В., Кулик П.Л., Письменный А.Д. Влияние параметров ферритовых пленок на эффект заграждения СВЧ-сигналов в МПЛ // Тез. докл. всесоюз. семинара "Магнитоэлектронные устройства СВЧ". - Киев. - 1991 май. - с.5-6
3. Данилов В.В., Кулик П.Л., Письменный А.Д., Электромагнитные волны в МПЛ на феррит-диэлектрической подложке // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Объемные интегральные схемы СВЧ и КВЧ", Тула, 1991, с.91
4. Danilov V.V., Kulik P.L., Pismenniy A.Yu. Microstrip line on multilayer substrate with ferrite layers // Proc. of XI International Conference on Microwave Ferrites, Alushta, 1992, v.3, pp.33-36.
5. Кулик П.Л., Письменный А.Д. Анализ микрополосковой линии на многослойной подложке // Украинський фізичний журнал. - 1993. - т.38. - № 4. - стр.595-600.
6. Кулик П.Л., Хвастухин М.Ю. Анализ потоков энергии в МПЛ на ферритовой подложке при перпендикулярном к подложке намагничивании // Известиях вузов. Радиоэлектроника. - 1994. - т.37. - № 2. - стр.10-16.
7. Кулик П.Л., Письменный А.Ю., Тьчинский А.В. Нелинейные эффекты в полосковых линиях с ферритовыми пленками в продольном подмагничивающем поле // Тез. докл. конференции по физике магнитных явлений. - Славяногорск. - 1993 май. - с.16
8. Кулик П.Л., Береславский В.М. Анализ полосковых феррит-диэлектрических структур методом длинных линий // Тез. докл. семинара "Магнитоэлектронные устройства СВЧ". - Киев. - 1993 июнь. - с.4.
9. Кулик П.Л., Береславский В.М. Нелинейные эффекты в

ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ С ФЕРРИТ-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ
ПОДЛОЖКАМИ // там же. - с. 9-10.

Цитована література

1. Гуревич А. Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. - Москва: Наука. - 1967. - 368 с.
2. Микаэлян А. Л. Теория и применение ферритов на СВЧ. - М. - Л.: Госэнергоиздат. - 1963. - 664 с.
3. Нефедов Е. И., Финалковский А. Т. Полосковые линии передачи. - Москва: Наука. - 1980. - 312 с.
4. Иванов В. А., Лерер А. М., Щучинский А. Г. Электродинамический анализ микрополосковой линии на ферритовой подложке. // Радиотехника и электроника. - 1984. - т. 29. - № 6. - с. 1039-1048.
5. Itoh T., Mittra R. Spectral domain approach for calculating the dispersion characteristics of microstrip lines. // IEEE Trans. on MTT. - 1973. - v. 21. - № 7. - pp. 496-499.
6. Tsutsumi M., Satoshi T. Microstrip line filters using YIG film. // IEEE Trans. on MTT. - 1992. - v. 40. - № 2. - pp. 400-402.
7. Вугальтер Г. А., Гилянский И. А. Возбуждение и прием поверхностных магнитостатических волн микрополосковым преобразователем. // ЖТФ. - 1985. - т. 55. - № 11. - с. 2250-2253.
8. Вугальтер Г. А., Гусев Б. Н., Гуревич А. Г. Возбуждение поверхностной МСВ копланарным преобразователем. // ЖТФ. - 1988. - т. 58. - № 4. - с. 839-843.
9. S. N. Stitzer, P. Entage Nonlinear microwave signal-processing devices using thin ferrimagnetic films. // Circuits System Signal Process. - 1985. - v. 4. - № 1-2. - pp. 227-252.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами

Содержание

1. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
2. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
3. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
4. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
5. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
6. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
7. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.
8. Исследования в области теории и практики автоматизации управления объектами с распределенными параметрами. Авторы: А.А. Козлов, А.А. Козлов, А.А. Козлов. 1981 г. 100 стр.

457630

AB 30.403

AB 30.403