

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

УДК538.114

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ПОЛЯ В
МІКРОСМУЖКОВІЙ ЛІНІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТНОГО ЗОНДУ В
РЕЖИМІ ФЕРОМАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ.*Вунтесмері В.С., Комарова О.П., Осіпов А.М.**Проведено експериментальне дослідження структури електромагнітного поля в мікросмужковій лінії з використанням методу магнітного зонду на основі феромагнітного резонансу.***Вступ**

В сучасних НВЧ пристроях набули широкого розповсюдження мікросмужкової лінії передачі (МСЛ), які відносять до класу ліній передачі з неоднорідним діелектричним заповненням. Основним типом хвилі тут є квазі-Т хвиля. Найбільш широко МСЛ застосовуються для малопотужних систем, де можуть допускатися порівняно великі втрати [1]. Електромагнітні поля в МСЛ характеризуються наявністю поздовжніх складових електричного і магнітного полів. При їх теоретичному аналізі переважно використовуються: 1) модифікований метод конформних перетворень [2,3]; 2) релаксацийний метод [4]; 3) варіаційний метод або метод Релея-Рітца [4]. До числових методів відносять, наприклад, метод мінімальних автономних блоків [5], метод Гальборкіна. Різноманітність чисельних методів, що мають різну точність і відрізняються один від одного, зумовлює необхідність експериментальних досліджень, які б їх підтверджували. Існують також і методи, що є комбінацією чисельних і аналітичних [4]. Експериментальні дослідження і вимірювання структури поля в МСЛ вже проводились раніше [6,7]. Метод вимірювання на основі ефекту Фарадея в магнітоактивних кристалах дозволяє вимірювати розподіл поля лише над смужковою лінією. Запропонований метод за допомогою магнітного зонду на основі феромагнітного резонансу [8] дозволяє отримати розподіл поля як в повітрі над діелектриком, так і в самому діелектрику.

Постановка задачі

Широке використання МСЛ у пристроях НВЧ стала причиною застосування методу [8] для експериментального дослідження структури поля саме в цій лінії (рис.1). Використаний при проведенні експерименту макет має такі параметри: загальна ширина 39мм, висота діелектрику $h=6,55$ мм, його діелектрична проникність $\epsilon=3$; ширина смужки $W=6,55$ мм, а її товщина $t=50$ мкм. Запобігти збудженню вищих типів хвиль у МСЛ можна при її роботі нижче частоти відсічки першого типу хвилі, яка розраховується за формулою [9]: $f = \frac{c}{\sqrt{\epsilon(2W + 0,8h)}}$, де c – швидкість світла рівна $3 \cdot 10^8$ м/с.

Згідно цієї формули, робоча частота макету має не перевищувати 9,45 ГГц.

Опис вимірювального стенду

Блок-схема вимірювального стенду наведена на рис. 2. Сигнал генератора, що працює на частоті 3,36 ГГц (менше допустимої, потужність генератора максимальна), подається через коаксіальний перехід на МСЛ (рис.1) збуджуючи її. Надалі сигнал детектується детекторною камерою, підсилюється та поступає на осцилограф. Основні похибки коефіцієнтів відхилення при безпосередньому вході і при роботі з виносним дільником

1:10 визначаються за формулою [10]: $\pm(4 + \frac{1,5 \cdot 10^{-3} B}{U_x})\%$, де U_x - напруга сигналу на вході підсилювача, рівна 19,25 мВ. Мінімальна похибка складає 4%.

В МСЛ за допомогою постійних магнітів створюється підмагнічуюче поле величиною 94 кА/м. На один з полюсів магніту намотана котушка, за допомогою якої магнітне поле модулюється з малою девіацією при частоті 50 Гц. Феритовий резонатор у вигляді кулі діаметром 0,81мм із монокристалу залізо-іттрієвого гранату (ЗІГ) з додаванням гадолінію з намагніченістю насичення 110 кА/м і шириною лінії феромагнітного резонансу 134 А/м переміщувався вздовж осі X МСЛ. Переміщення здійснювалось на відстані 1,5мм від смужки над діелектриком і 2 мм від смужки всередині діелектрика. Резонатор кріпився до нитки, точність переміщення якої забезпечувалась вимірювальною лінією з ноніусною шкалою (точність позиціювання - 0,05 мм). На екрані осцилографа спостерігаємо резонансну криву, амплітуда якої прямопропорційна квадрату амплітуди магнітної складової поля кругової поляризації правого обертання. Коефіцієнт поглинання до 10% гарантує внесення мінімальних збурень у вимірювану величину.

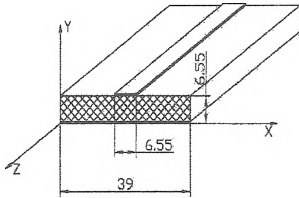


Рис. 1

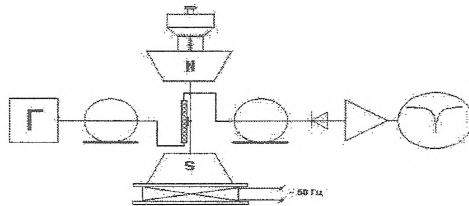


Рис. 2

Результати експериментальних досліджень

Використовуючи звітну методику [8], отримуємо інформацію, щодо розподілу полів. Дані, одержані при переміщенні резонатора:

1. а) Всередині МСЛ на відстані 2мм від смужки. Магнітне поле спрямоване по осі Y , тобто перпендикулярно до площини лінії. На рис.3 зображено виміряні розподіли магнітних складових поля з правою та лівою коловими поляризаціями вздовж координати X . Підсумовуючи право- і лівополяризовані поля, отримуємо поперечну складову магнітного поля $H_x = H_+ + H_-$. Їх різниця - поздовжня складова поля $H_z = H_+ - H_-$ (рис.4). Видно,

що поздовжня складова складає біля 2% поперечної складової.

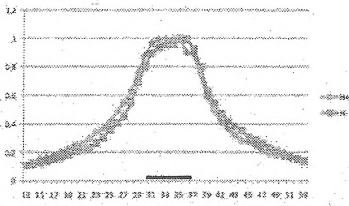


Рис.3.

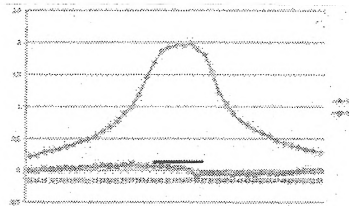


Рис.4

б) Всередині МСЛ на відстані 2мм від смужки. Магнітне поле спрямоване вздовж осі X (дотичне площині лінії). На рис. 5 зображено розподіли магнітних складових поля з правою та лівою коловими поляризаціями; на рис. 6 поперечна $H_y = H_- + H_+$ та поздовжня $H_z = H_- - H_+$ складові.

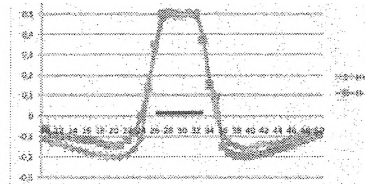


Рис. 5.

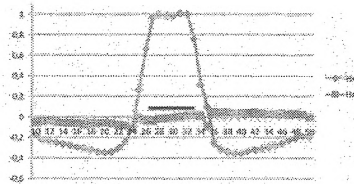


Рис. 6.

2. а) Над лінією на відстані 1,5мм від смужки. Магнітне поле спрямоване по осі Y (перпендикулярно площині МСЛ). На рис. 7 наданий вимірний розподіл магнітних складових поля з правою та лівою коловими поляризаціями. На рис. 8 - поздовжня складова рівна 15% поперечної складової.

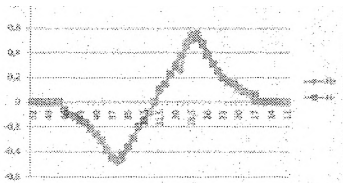


Рис.7

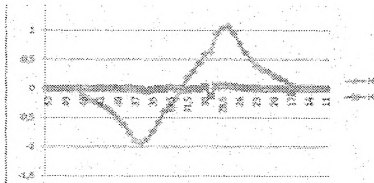


Рис.8

б) Над лінією на відстані 1,5 мм від смужки. Магнітне поле спрямоване

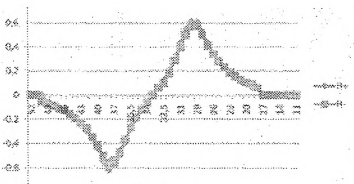


Рис.9.

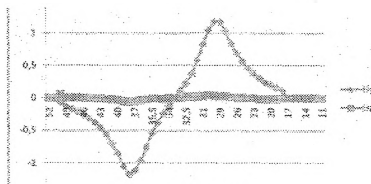


Рис.10

по осі X (дотичне площині лінії). На рис. 9 надано розподіл магнітних складових поля з правою та лівою коловими поляризаціями. На рис.10 - позовжня складова рівна 4% поперечної.

Висновки

На основі експериментального дослідження структури електромагнітного поля в МСЛ ($\epsilon=3$) методу магнітного зонду на основі ферромагнітного резонансу встановлено, що хвиля типу квазі-ТЕМ має позовжня складову магнітного поля, що складає під смужкою біля 2 % поперечної складової магнітного поля H_x . Над смужкою на відстані 1,5 мм позовжня складова магнітного поля складає біля 15 % поперечної складової H_x . Отримані результати розподілу магнітних компонент поля співпадають з відомою структурою квазі-ТЕМ хвилі в МСЛ при малих значеннях діелектричної проникності діелектрика.

Недоліком цього методу є неможливість визначення структури поля у феритових приладах НВЧ діапазону, які мають власне магнітне поле.

Література

1. Полосковые линии и устройства сверхвысоких частот. / Под ред.Седых В.М. – Харьков.: Вища школа, 1974.
2. Конструирование и расчет полосковых устройств/ Под ред. И.С. Ковалева.-М.: Советское радио, 1974.- 336с.
3. Мурашев Д.А. Математическое моделирование электрических полей в системах с биполярным электродом
4. Вычислительные методы в электродинамике: Пер. с англ. под ред. Р.Митры.- М.: Мир.- 1977.- 485с.
5. Никольський В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебн. пособие для вузов. – М.:Гл.ред.физ.-мат. лит., 1989.- 544с.
6. Rothe L., Experimentell Ermittlung der magnetischen Feldverteilung auf einer Microstrip-Leitung mittels Storkorpermessungen, Vortage der 2. Internationalen Konferenz uber Mikrowellenferrite, vom 23. bis 27. September 1974 in Suhl/DDR, p. 350-376.
7. Highly-accurate Measurement of Current Distribution Using Polarization-stabilized MO Probe / Shin Nakamatsu, Ryo Yamaguchi and Shinji Uebayashi // Collaboration Projects DoCoMo R&D Technical Journal, vol.8, №3, p.50-54.
8. Дослідження структури поля в електродинамічній системі методом магнітного зонду. Вунтесмері В.С., Бульба О.П., Осипов А.М., Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія-Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2007. – Вип.34. – с.118-123.
9. Microstrip filters for RF/Microwave Applications. Hong Jia-Sheng, Lancaster M.-2001.
10. Осциллограф двухлучевой С1-103. Техничское описание и инструкция по эксплуатации.-М.:Машприборинторг.

Ключові слова: електромагнітне поле, мікросмужкова лінія, визначення структури електромагнітного поля

Вунтесмері В.С., Комарова О.П., Осипов А.М.	Vuntsemeri V.S., Komarova O.P., Osipov A.M.
Експериментальне дослідження структури поля в мікрополосковій лінії з допомогою магнітного зонда в режимі ферромагнітного резонанса	Experimental research electromagnetic field structure in a microstrip line by magnetic probe on the basis of a ferromagnetic resonance
Проведено експериментальне дослідження структури електромагнітного поля в мікрополосковій лінії з використанням метода магнітного зонда на основі ферромагнітного резонанса.	The method of a magnetic probe on the basis of a ferromagnetic resonance for research of structure of an electromagnetic field in microstrip line is lead.