

[7] Тамада Н., Канеко М., Окамото Т. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 2. P. 554-559.

[8] Беспятых Ю.И., Зубков В.И., Тарасенко В.В. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 1. С. 140-146.

Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики

Поступило в Редакцию
19 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

05.2; 09

© 1990

ПРОХОЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ФЕРРОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АНТЕННОЙ

Е.О. Каменецкий, Н.Г. Ковшиков

К многочисленным исследованиям прохождения и отражения магнитостатических волн (МСВ) неоднородностями в ферродиелектрических пленках относится ряд работ по изучению влияния областей с металлической полоской. В этих работах рассматриваются ситуации, когда магнитостатические волны распространяются в бесконечно широкой ферритовой пленке, а длина металлической полоски, как правило, считается малой по сравнению с характерным масштабом изменения поля основной моды микрополосковой линии, образованной этой полоской. Концы полосок предполагались незамкнутыми на нагрузку [1-4]. В работе [5] получены выражения для коэффициента отражения МСВ от металлической полоски произвольной длины с произвольно нагруженными концами, из которых следует, что коэффициент отражения зависит от длины полоски, нагрузок на его концах и формы падающей МСВ.

В настоящее время отсутствуют экспериментальные работы по исследованию прохождения МСВ через область с металлической полоской, нагруженной на произвольную нагрузку. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния нагрузок промежуточной антенны на прохождение поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ). Наряду с пассивными нагрузками рассмотрен случай активной нагрузки, с помощью которой получено усиление ПМСВ. В экспериментах исследуется ситуация, при которой необходим учет ширины ферритовой пленки, а также учет электрической длины антенны спиновых волн.

Использовались пленки ЖИГ с намагниченностью насыщения $4\pi M_0 = 1750$ Гс и толщинами $d = 7, 20, 43$ мкм. Ширина пленки

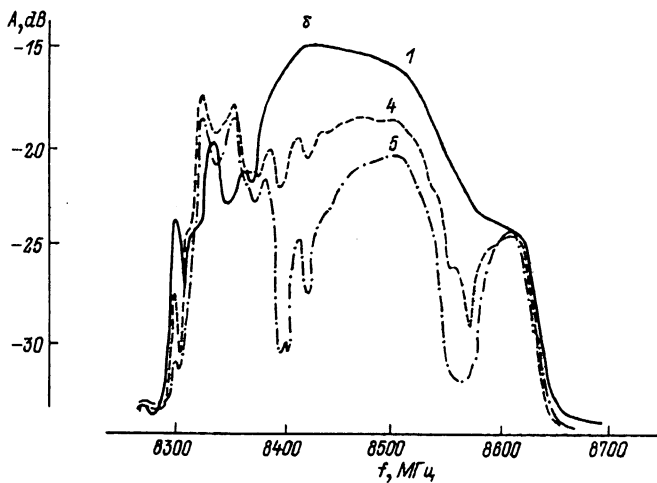
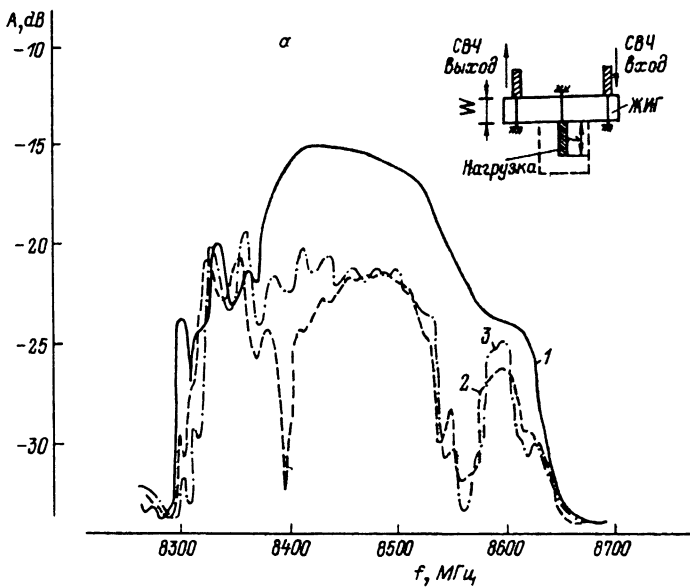


Рис. 1. АЧХ прохождения ПМСВ для различных значений длины l нагрузочной микрополосковой линии.

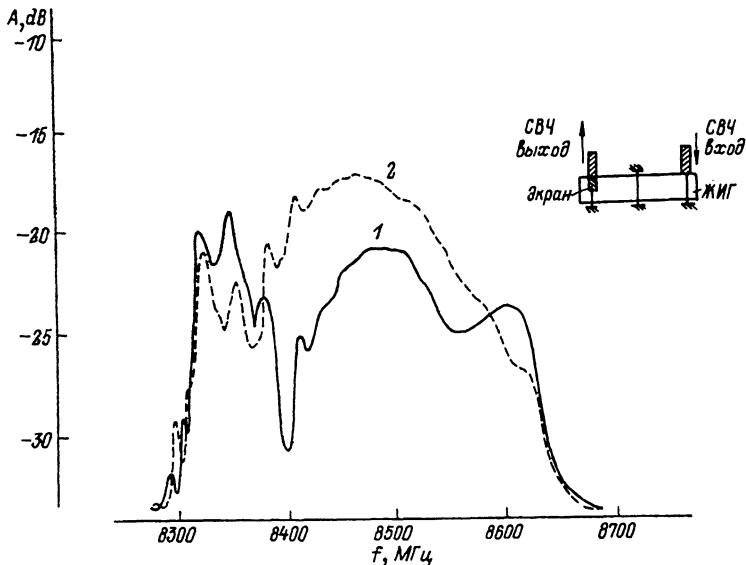


Рис. 2. АЧХ прохождения ПМСВ при короткозамкнутой промежуточной антенне в отсутствие экрана (кривая 1) и при наличии экрана (кривая 2) на выходной антенне.

нок составляла $W = 2$ мм. Входная, выходная и промежуточная антенны выполнялись из проволоки диаметром 30 мкм, расположенной на поверхности пленки ЖИГ. Один из концов каждой антенны замыкался на корпус макета. Расстояние между входной и выходной антеннами составляло 5 мм. Промежуточная антенна располагалась посередине между ними.

В качестве пассивной нагрузки промежуточной антенны использовался отрезок микрополосковой линии длиной l с волновым сопротивлением 50 Ом, разомкнутой на конце. Эта линия изготавливалась на поликорковой керамической подложке. Изменением длины l микрополосковой линии осуществлялась вариация пассивной нагрузки.

На рис. 1, а, б приведены экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) прохождения ПМСВ в пленке толщиной 20 мкм для различных величин l . Вид экспериментального макета изображен на вставке к рис. 1, а. Кривая 1 на рис. 1, а и б соответствует отсутствию промежуточной антенны. Практически такие же АЧХ получаются, если длина нагрузочной микрополосковой линии $l = \lambda/2$, где λ — длина волны в микрополосковой линии на центральной частоте диапазона, равная 13.5 мм. Кривые 2, 3, 4 и 5 на рис. 1, а и б получены соответственно для $l = 0.7, 0.6, 0.32$ и 0.2λ .

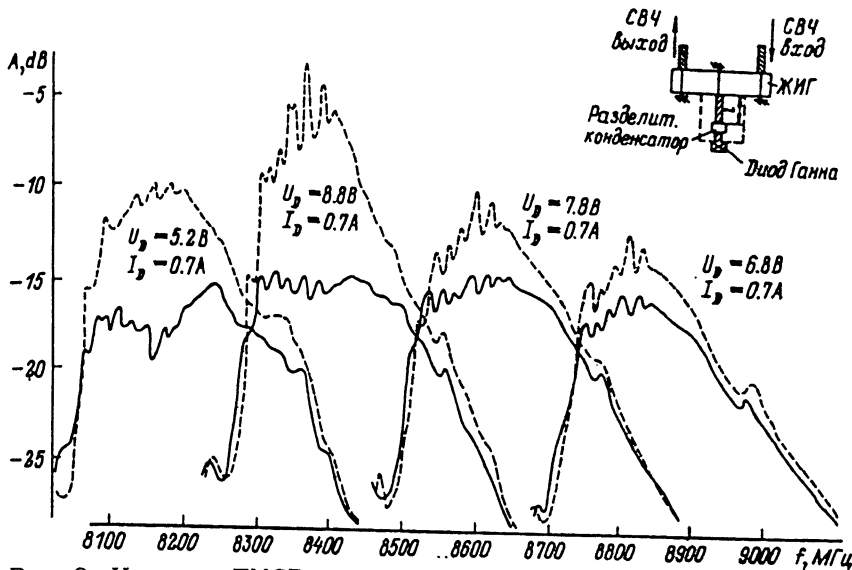


Рис. 3. Усиление ПМСВ при подключении диода Ганна к промежуточной антенне в режиме частотной перестройки АЧХ.

Из приведенных характеристик видно, что при наличии промежуточной антенны, нагруженной на пассивную нагрузку, имеет место уменьшение величины прошедшего сигнала. При этом на АЧХ появляется один или два характерных провала. Изменение величины и характера пассивной нагрузки приводит к появлению или исчезновению каждого из этих провалов. Вариация нагрузки приводит к слабому частотному сдвигу провалов.

Для выявления природы наблюдаемых на АЧХ провалов были проведены дополнительные эксперименты. При определенной нагрузке промежуточной антенны, когда на АЧХ имели место провалы, производилось смещение промежуточной антенны в сторону входной или же выходной антенны. Расстояние между входной и выходной антеннами при этом сохранялось. Смещение производилось не более чем на 1,5 мм в одну и другую сторону от центрального положения промежуточной антенны. При этих смещениях промежуточной антенны провалы на АЧХ исчезали. Исчезновение провалов на АЧХ имело место и в том случае, когда в исходной конструкции (промежуточная антенна расположена посередине) часть выходной антенны закрывалась металлическим экраном. Эта ситуация показана на рис. 2. Кривая 1 на этом рисунке соответствует АЧХ, полученной при коротком замыкании на корпус обоих концов промежуточной антенны в отсутствие экрана на выходной антенне. Кривая 2 показывает вид АЧХ при той же нагрузке промежуточной антенны и наличии экрана на выходной антенне. На вставке рис. 2 показан вид макета с экраном. Следует также отметить, что в отсутствие экрана на выходной антенне небольшая деформация формы

выходной антенны приводила к появлению или исчезновению наблюдаемых провалов на АЧХ.

Серия проведенных экспериментов позволяет сделать вывод, что появление провалов на АЧХ, вызванных подключением промежуточной антенны с пассивной нагрузкой, связано с интерференцией магнитостатических мод по ширине пленки (волноводных мод) на выходной антенне. Для выбранного диапазона частот ширина ферритовой пленки соизмерима с $\lambda/4$ электромагнитной волны. Это значит, что эффективно могут возбуждаться как четные, так и нечетные волноводные моды по ширине. Промежуточная антенна, нагруженная на пассивную нагрузку, имеет иное распределение СВЧ-тока по длине, нежели входная и выходная антенны. Это изменяет соотношение между амплитудами магнитостатических мод, в результате чего на выходной антенне имеет место интерференция волноводных мод, обуславливающая частотные провалы на АЧХ.

В соответствии со сделанным выводом условия, при которых появляются провалы на АЧХ, должны определяться соотношением между шириной пленки и ее толщиной. Как известно, степень вырождения спектра поверхностных мод, обусловленных конечной шириной пленки, уменьшается по мере уменьшения отношения ширины пленки к ее толщине [6]. В экспериментах с пленкой ЖИГ толщиной 7 мкм при подключении промежуточной антенны с различными величинами нагрузок провалы на АЧХ вообще не наблюдались. В случае пленки толщиной 43 мкм наблюдался один характерный провал, расположенный примерно в середине полосы прохождения ПМСВ (в районе 8510–8520 МГц). Причем в отличие от экспериментов с пленкой толщиной 20 мкм этот провал появлялся только при емкостном характере нагрузки промежуточной антенны.

При исследовании влияния активной нагрузки, подключенной к промежуточной антенне, наибольший интерес представляет нагрузка, обладающая отрицательным дифференциальным сопротивлением. В этом случае невзаимный характер распространения ПМСВ позволяет реализовать принцип регенеративного усиления сигнала без применения СВЧ циркуляторов [7]. В экспериментах использовалась пленка ЖИГ толщиной 20 мкм. В качестве активного двухполосника использовался бескорпусной диод Ганна, выполненный на эпитаксиальной $n\text{-GaAs}$ пленке толщиной 9 мкм с концентрацией доноров $N_d = 10^{21} \text{ м}^{-3}$. Диод подключался к разомкнутому концу микрополосковой линии через разделительный конденсатор. При этом длину микрополосковой линии l удалось подобрать таким образом, что в отсутствие постоянного смещения на диоде Ганна АЧХ практически соответствовала случаю отсутствия промежуточной антенны.

На рис. 3 показаны экспериментальные АЧХ, снятые при подключении диода Ганна. Вид экспериментального макета изображен на вставке к рисунку. Сплюснутые кривые на рис. 3 соответствуют АЧХ без промежуточной антенны (или в отсутствие смещения на диоде Ганна). Частотная перестройка АЧХ осуществлялась за счет изменения внешнего магнитного поля. При подаче смещения на диод Ганна наблюдались режимы стабильного усиления или же гене-

рации МСВ. АЧХ на рис.3, изображенные штриховыми линиями, соответствуют подобранным режимам диодов Ганна, при которых наблюдалось устойчивое усиление МСВ (для каждой кривой указаны напряжение и ток диода Ганна, для которых имело место стабильное усиление). При этом АЧХ в режиме усиления снимались для тех же значений постоянного магнитного поля, что и соответствующие АЧХ без диода Ганна.

Полученные результаты говорят о том, что в выполненных экспериментах реализовано чистое усиление МСВ. Максимальный коэффициент усиления МСВ, как видно из рис. 3, достигает 10 дБ .

Авторы выражают благодарность А.А. Барыбину и Б.А. Калининскому за внимание к работе и обсуждение полученных результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Никитов С.А. // РЭ. 1982. Т. 27. № 8. С. 1651.
- [2] Вугальтер Г.А., Махилин В.Н. // РЭ. 1984. Т. 29. № 7. С. 1252.
- [3] Вугальтер Г.А., Махалин В.Н. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 3. С. 497.
- [4] Зубков В.И., Локк Э.Г., Шеглов В.И. // РЭ. 1989. Т. 34. № 7. С. 1381.
- [5] Вугальтер Г.А., Хвошева Н.С. // РЭ. 1988. Т. 33. № 10. С. 2055.
- [6] Новиков Г.М., Петрунькин Е.З. // РЭ. 1984. Т. 29. № 9. С. 1691.
- [7] Давыдова Н.С., Данышевский Ю.З. Диодные генераторы и усилители СВЧ. М.: Радио и связь. 1986.

Ленинградский электротехнический
институт им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
8 июня 1990 г.