

Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2022. Т. 30, № 5
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2022;30(5)

Научная статья
УДК 621.318.1

DOI: 10.18500/0869-6632-003010
EDN: PQTVTN

Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнитоэлектрических мод в прямоугольной пленке железиттриевого граната

Р. К. Бабичев¹✉, Г. В. Бабичева²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Институт водного транспорта имени Г. Я. Седова — Ростовский филиал ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: ✉405092@mail.ru, babicheva@iwtseodov.ru

Поступила в редакцию 18.05.2022, принята к публикации 16.06.2022,
опубликована 30.09.2022

Аннотация. Цель. Исследование новой конструкции короткозамкнутого коаксиального возбудителя с тонкой линейной перемычкой, замыкающей на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра, расположенной над прямоугольной пленкой железиттриевого граната (ЖИГ) в однородном поле подмагничивания, направленном в плоскости прямоугольной пленки вдоль её длины или ширины. Тонкая линейная перемычка направлена параллельно ширине пленки ЖИГ. Методы. В среде CST Microwave Studio методом конечных элементов проведен электродинамический анализ исследуемой модели. Для изучения эффективности возбуждения мод в ферритовой пленке при различных расстояниях между коаксиальным возбудителем и поверхностью пленки ЖИГ были рассчитаны зависимости обратных потерь S11 модели от частоты. Результаты. 1. Проведена идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её ширины (оси y). 2. Проведена идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её длины (оси z). 3. Проведено сравнение спектров мод при векторе \vec{H} , направленном параллельно плоскости пленки ЖИГ вдоль её ширины (оси y) и длины (оси z). Заключение. В настоящей работе исследована конструкция короткозамкнутого возбудителя с тонкой линейной перемычкой, замыкающей на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра. Электродинамическим методом проведен расчет распределений высокочастотного магнитного поля возбуждаемых магнитоэлектрических мод и проведена их идентификация для двух направлений однородного поля подмагничивания: вдоль ширины и вдоль длины прямоугольной пленки ЖИГ. Исследована также зависимость числа возбуждаемых мод от близости короткозамкнутого возбудителя к прямоугольному образцу пленки ЖИГ. Проведено сравнение спектров мод при \vec{H} , направленном параллельно плоскости пленки ЖИГ вдоль её ширины и длины. При таком повороте вектора \vec{H} полоса эффективно возбуждаемых мод смещается с 4.6...4.9 ГГц до 4.5...4.75 ГГц. Однако возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль ширины пленки ЖИГ (оси y), много эффективнее в полосе 4.65...4.9 ГГц, чем в случае, когда этот вектор направлен вдоль длины пленки ЖИГ (оси z). В то же время возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль длины пленки ЖИГ (оси z) много эффективнее в полосе 4.4...4.6 ГГц.

Ключевые слова: железиттриевый гранат, магнитоэлектрические моды, коаксиальный возбудитель.

Для цитирования: Бабичев Р. К., Бабичева Г. В. Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнитоэлектрических мод в прямоугольной пленке железиттриевого граната // Известия вузов. ПНД. 2022. Т. 30, № 5. С. 656–668. DOI: 10.18500/0869-6632-003010. EDN: PQTVTN

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Excitation by shot circuited coaxial transducer of magnetostatic modes in rectangular yttrium iron garnet film

R. K. Babichev¹✉, G. V. Babicheva²

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Sedov Water Transport Institute – the branch
of Admiral Ushakov Maritime State University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: ✉405092@mail.ru, babicheva@iwtsedov.ru

Received 18.05.2022, accepted 16.06.2022, published 30.09.2022

Abstract. The purpose of this work is the study of design of new short-circuited coaxial transducer with thin linear jumper, that circuit on both sides of the grounded coaxial cylinder, located above the rectangular iron-yttrium garnet (YIG) film, in homogeneous constant magnetic field with rectangular film along its length or width. The thin linear jumper is directed parallel to the width of the YIG film. **Methods.** In the CST Microwave Studio environment, an electrodynamic analysis of the model was carried out using the finite element method. To study the efficiency of modes excitation in a ferrite film at different distances between the coaxial transducer and the surface of the YIG film, the frequency dependencies of the inverse losses S_{11} of the model were calculated. **Results.** 1. The identification of modes in a homogeneous static magnetic field H , directed parallel to the plane of a rectangular YIG film along its width (y -axis) was carried out. 2. The identification of modes in a homogeneous static magnetic field H directed parallel to the plane of the rectangular YIG film along its length (z -axis) was carried out. 3. A comparison of modes spectra was made at \vec{H} , directed parallel to the plane of the YIG film along its width (y axis) and length (z axis). **Conclusion.** In this paper short-circuited transducer with a thin linear jumper, circuited on both sides of the grounded coaxial cylinder, is investigated. By the electrodynamic method distributions of high-frequency magnetic field of the excited magnetostatic modes were calculated and their identification was carried out for two directions of homogeneous static magnetic field: along width and along length of rectangular YIG film. The dependence of number of excited modes on the distance between a short-circuited transducer and rectangular YIG was also studied. A comparison of modes spectra is carried out at \vec{H} , directed parallel to the plane of the YIG film along its width and length. With this rotation of \vec{H} vector, the band of effectively excitable modes shifts from 4.6...4.9 GHz to 4.5...4.75 GHz. However, the excitation of these modes in the case of the vector \vec{H} , directed along the width of YIG film (y -axis), is much more effective in the band 4.65...4.9 GHz than in the case when this vector is directed along the length of YIG film (z -axis). At the same time, excitation of these modes in the case of the vector \vec{H} , directed along the length of YIG film (z axis) is much more effective in the band 4.4...4.6 GHz.

Keywords: iron-yttrium garnet, magnetostatic modes, coaxial transducer.

For citation: Babichev RK, Babicheva GV. Excitation by shot circuited coaxial transducer of magnetostatic modes in rectangular yttrium iron garnet film. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2022;30(5):656–668. DOI: 10.18500/0869-6632-003010

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Введение

В разрабатываемых устройствах спин-волновой электроники СВЧ возбуждение магнитостатических волн может быть осуществлено с помощью отрезков копланарной, микрополосковой, щелевой и других распределенных линий передачи.

Возбуждение магнитостатических мод (МСМ) микрополосковой линией в наиболее полном виде экспериментально исследовано в [1]. В этой работе представлены экспериментальные результаты возбуждения различных серий МСМ микрополосковой линией в прямоугольном образце с пленкой ЖИГ, размещенном различными способами относительно проводника микрополосковой

линии. Экспериментальная структура, исследованная в [1], использовалась для возбуждения МСМ в прямоугольной пленке ЖИГ микрополосковой линией с внешним постоянным магнитным полем либо параллельным, либо перпендикулярным плоскости пленки. Вид наблюдаемого спектра в обоих случаях определялся дисперсионными соотношениями (уравнениями), относительным положением микрополоскового проводника и образца, а также распределением тока в микрополосковой линии.

Изучение связи между электромагнитной волной, распространяющейся в микрополосковой линии передачи, и возбуждением МСМ в пленках ЖИГ является актуальной прикладной задачей. Целью работ [2–5] являлась визуализация распределения ВЧ магнитного поля этих мод и их идентификация. Эти работы посвящены электродинамическому моделированию распределения высокочастотного магнитного поля в тонких пленках ЖИГ прямоугольной формы, расчету частотных зависимостей вносимых потерь (параметр S_{21}) и обратных потерь (параметр S_{11}) и сравнению их с полученными экспериментально в [1] в виде МСМ-спектров при возбуждении прямоугольного образца пленки ЖИГ микрополосковой линией.

В качестве возбудителя МСМ может быть использован короткозамкнутый коаксиальный зонд, конструкция которого предложена в работе [6]. В работах [7, 8] электродинамическим моделированием подробно исследована эта конструкция зонда с одной линейной перемычкой между центральным проводником и заземленным цилиндром коаксиала. При внешнем магнитном поле, приложенном в плоскости пленки (перпендикулярно перемычке между проводниками коаксиального возбудителя), проведена идентификация возбуждаемых мод и рассмотрено влияние расстояния между пленкой и возбудителем. В случае внешнего магнитного поля, перпендикулярного плоскости ферритовой пленки, также проведена идентификация возбуждаемых мод при расстоянии до зонда 0.2 мм. Результаты расчета частот спектров совпадают с экспериментом [6]. Особенности спектров мод при этих двух взаимно ортогональных ориентациях намагничивающего поля можно объяснить различием дисперсии и, соответственно, частот возбуждения в пленке резонансов поверхностных и обратных объемных магнитостатических волн в первом случае и прямых объемных магнитостатических волн во втором случае.

В работе [9] исследована конструкция короткозамкнутого возбудителя, отличающегося от описанного в [8] тем, что тонкая линейная перемычка замыкается на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра. Электродинамическим методом работ [5] и [8] проведен расчет распределений высокочастотного магнитного поля возбуждаемых магнитостатических мод и проведена их идентификация при ориентации внешнего постоянного магнитного поля в плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её ширины.

В работе [10] проведено исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиально-петлевым преобразователем магнитостатических мод в прямоугольной пленке железиттриевого граната.

Экспериментальное исследование возбуждения магнитостатических мод в пленке ЖИГ короткозамкнутым коаксиально-микрополосковым преобразователем-зондом представлено в [11–13]. Измерены частотные зависимости обратных потерь при различной ориентации плоскости полувитка преобразователя относительно направления внешнего постоянного магнитного поля.

В [14] электродинамическим методом исследовано возбуждение магнитостатических мод в прямоугольной пленке ЖИГ короткозамкнутым коаксиальным возбудителем, у которого тонкая линейная перемычка замыкается на обе стороны внешнего заземленного коаксиального цилиндра. При постоянном магнитном поле, приложенном в плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль ее длины и параллельно перемычке между проводниками коаксиального возбудителя, проведена идентификация возбуждаемых мод и рассмотрено влияние зазора между пленкой и возбудителем на обратные потери S_{11} возбуждаемых мод.

1. Идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её ширины (оси y)

В среде CST Microwave Studio методом конечных элементов проведен электродинамический анализ модели, представленной на рис. 1. Для изучения эффективности возбуждения мод в ферритовой пленке при различных расстояниях между коаксиальным возбудителем и поверхностью пленки ЖИГ были рассчитаны зависимости обратных потерь S_{11} модели от частоты.

Намагниченность насыщения пленки ЖИГ $4\pi M = 1750$ Гс, ширина линии ферромагнитного резонанса $\Delta H = 0.1$ Э. Однородное статическое магнитное поле $H = 1000$ Э ориентировано вдоль оси y параллельно тонкой линейной перемычке, замкнутой на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра. Прямоугольный образец пленки ЖИГ имел длину 4 мм, ширину 2 мм, толщину 24 мкм. Размеры линейной перемычки: длина 5.6 мм, ширина 0.1 мм, толщина 0.0005 мм. Отрезок коаксиальной линии содержал медные внутренний проводник радиусом 0.3 мм и внешний заземленный цилиндр радиусом 2.655 мм, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью 7.

Расчет модели, представленной на рис. 1, проведен для зазоров d между тонкой линейной перемычкой и поверхностью пленки от 0.1 до 0.6 мм. На каждой резонансной частоте зависимости обратных потерь S_{11} было рассчитано и визуализировано внутри пленки ЖИГ распределение модуля ВЧ магнитного поля, согласно которому идентифицировалась магнитоэлектростатическая мода. Рассмотрим частотную зависимость обратных потерь S_{11} , представленную на рис. 2 для случая, когда поверхность пленки ЖИГ удалена от короткозамкнутого проводника перемычки возбудителя на расстояние $d = 0.1$ мм.

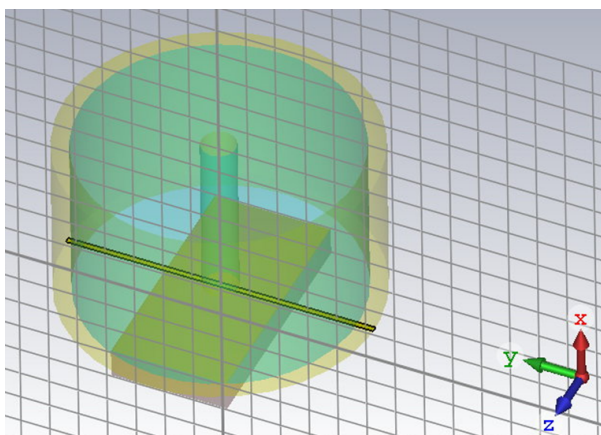


Рис. 1. Исследуемая модель коаксиального возбудителя с пленкой ЖИГ

Fig. 1. The studied model of the coaxial transducer with YIG film

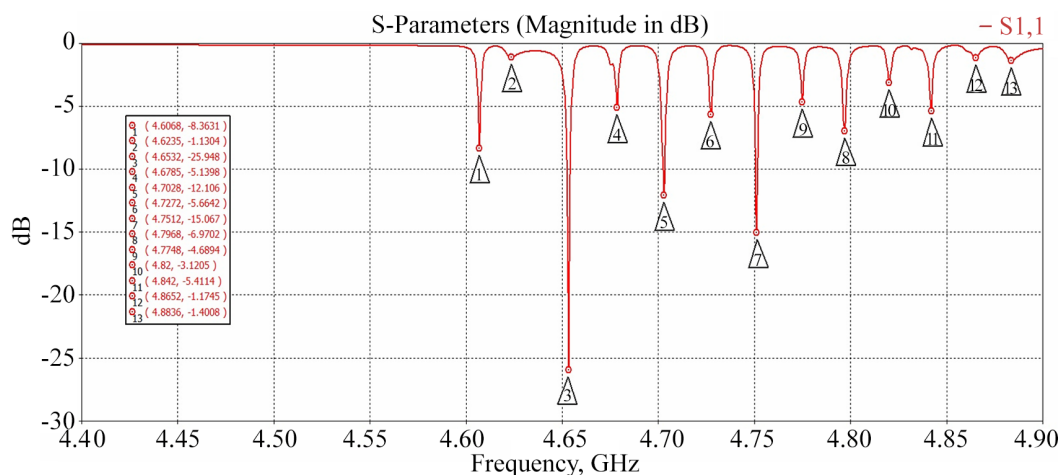


Рис. 2. Частотная зависимость S_{11} , когда поверхность пленки ЖИГ удалена от короткозамкнутого проводника перемычки возбудителя на $d = 0.1$ мм

Fig. 2. Frequency dependence S_{11} , when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

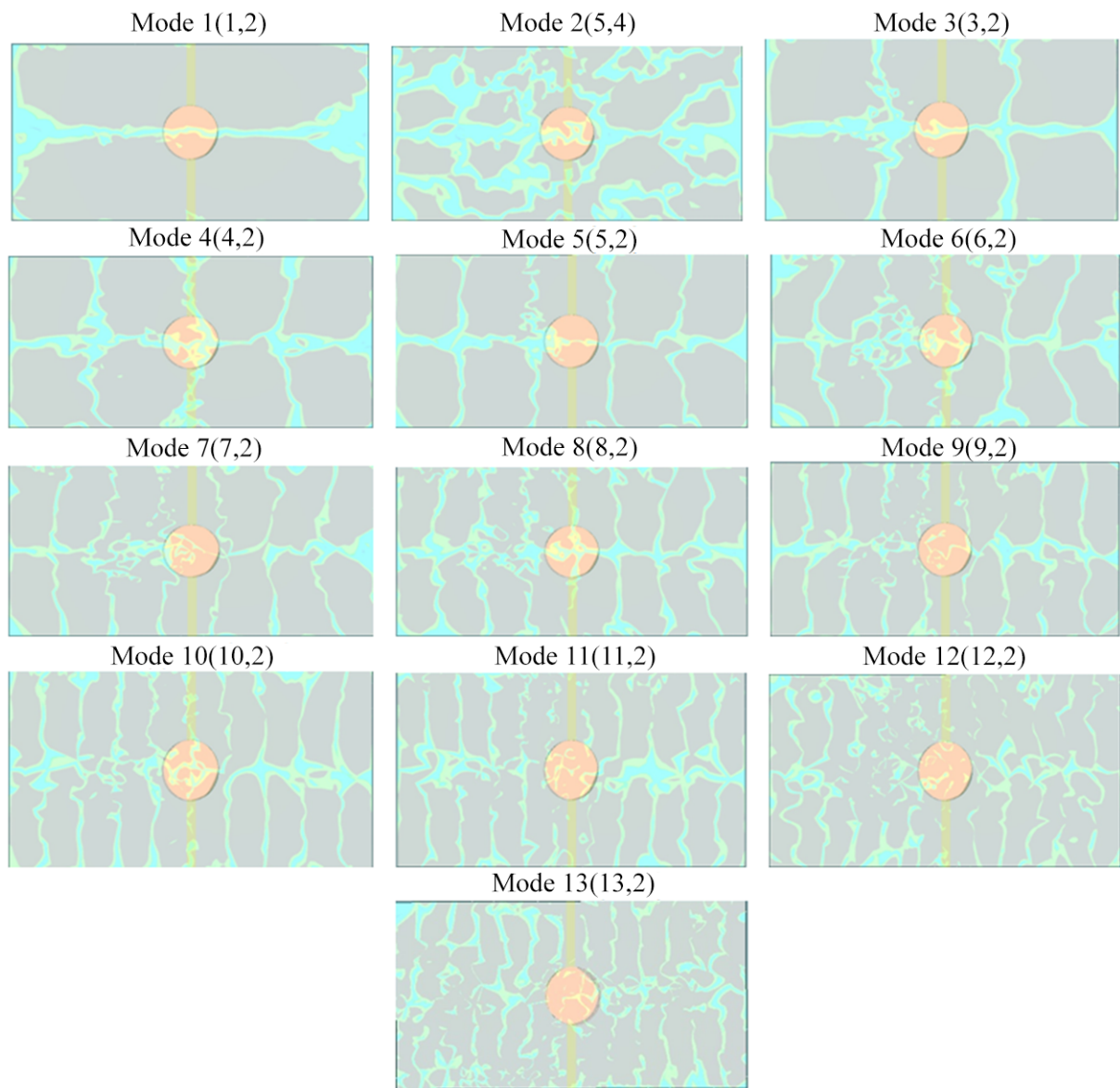


Рис. 3. Распределения модуля ВЧ магнитного поля мод согласно нумерации на рис. 2 и их идентификация

Fig. 3. Distribution of the module of the RF magnetic field mode according to the numbering in Fig. 2 and their identification

На рис. 3 представлены распределения модуля ВЧ магнитного поля, с помощью которых по числу стоячих полувольт вдоль боковых сторон пленки ЖИГ проводилась идентификация возбуждаемых мод.

Рядом с каждым резонансом на рис. 3 указаны целые числа n_z и n_y , обозначающие индексы возбуждаемой моды. Исследована зависимость количества эффективно возбуждаемых мод от расстояния прямоугольного образца пленки ЖИГ до короткозамкнутого возбудителя. Частотные характеристики обратных потерь S_{11} , рассчитанные для расстояний $d = 0.1$ мм (a), 0.2 мм (b), 0.4 мм (c) и 0.6 мм (d), представлены на рис. 4.

Видно, что по уровню -4 дБ при $d = 0.1$ мм возбуждаются девять магнитостатических мод, а при $d = 0.6$ мм всего одна.

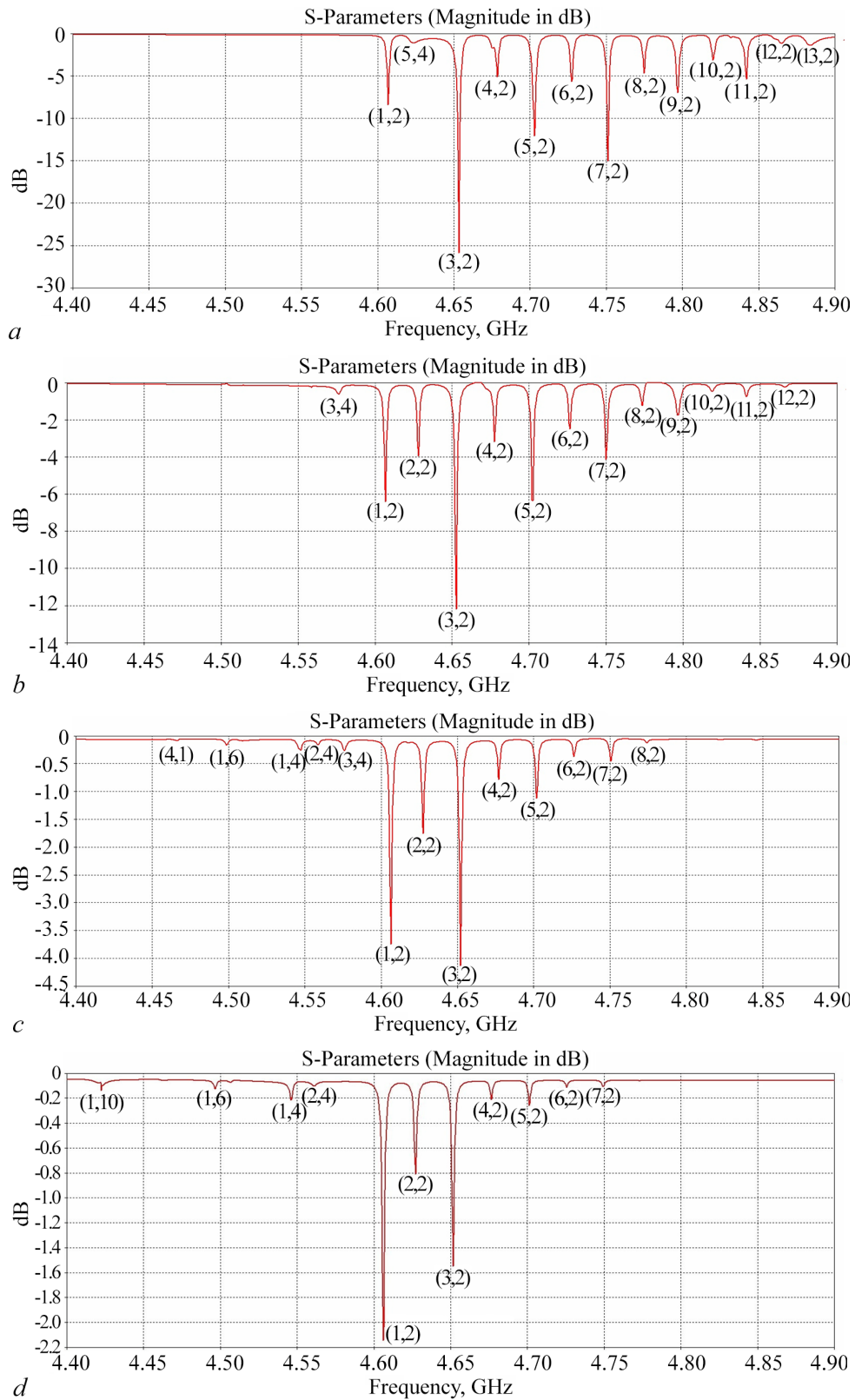


Рис. 4. Частотные зависимости S11 модели с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.1 мм (*a*), 0.2 мм (*b*), 0.4 мм (*c*) и 0.6 мм (*d*)

Fig. 4. Frequency dependences S11 for model with identified modes for distances 0.1 mm (*a*), 0.2 mm (*b*), 0.4 mm (*c*) and 0.6 mm (*d*)

2. Идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль ее длины (оси z)

Анализ модели был проведен при расстояниях d между возбудителем и поверхностью феррита от 0.1 до 0.6 мм. Для каждого резонанса на частотной характеристике обратных потерь S_{11} были вычислены и визуализированы распределения абсолютного значения высокочастотного магнитного поля моды внутри пленки ЖИГ. По этим распределениям и идентифицировались магнитостатические моды.

Рассмотрим спектр возбуждаемых магнитостатических мод в пленке ЖИГ, когда ее поверхность находится на расстоянии $d = 0.1$ мм от короткозамкнутого проводника перемычки возбудителя.

Частотная зависимость обратных потерь S_{11} для этого случая изображена на рис. 5. Для неё были проанализированы распределения абсолютного значения высокочастотного магнитного поля на пронумерованных резонансных частотах, которые представлены на рис. 6. Согласно этим распределениям проведена идентификация возбуждаемой серии мод по числу стоячих полуволн вдоль боковых сторон пленки ЖИГ. Около каждого резонанса на рис. 7 указана пара чисел n_z и n_y , обозначающая индексы этой моды.

Исследована также зависимость числа возбуждаемых мод от близости прямоугольного образца пленки ЖИГ к короткозамкнутому возбудителю. На рис. 7, $a-d$ приведены расчетные частотные характеристики обратных потерь S_{11} для нескольких расстояний d . Из рис. 7 следует, что если в полосе частот 4.4...4.9 ГГц при $d = 0.1$ мм по уровню -4 дБ эффективно возбуждаются три различные магнитостатические моды, то при $d = 0.6$ мм возбуждается только одна мода.

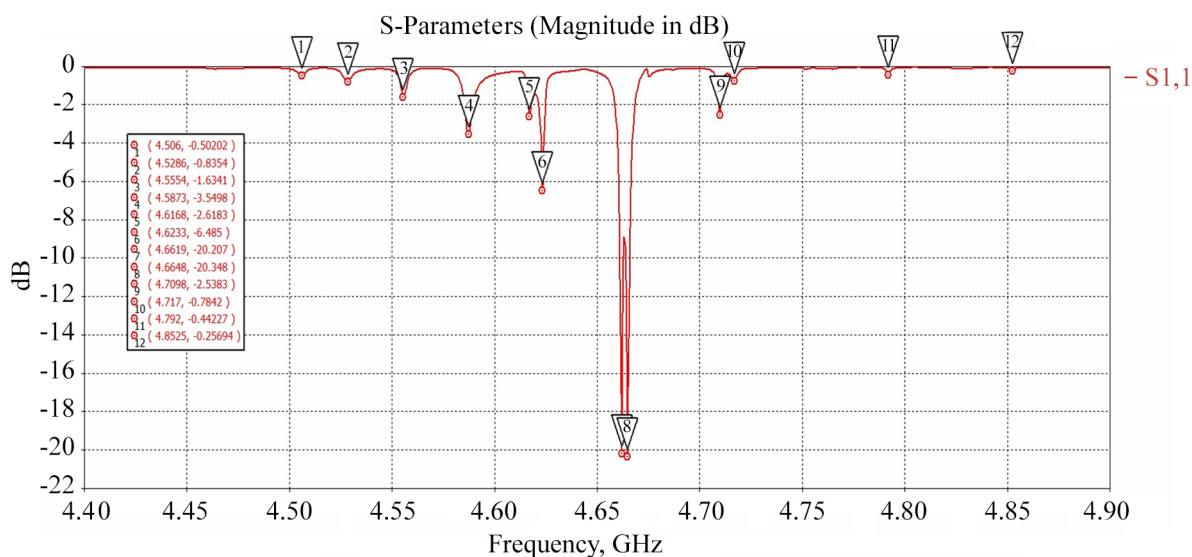


Рис. 5. Частотная зависимость обратных потерь S_{11} для пленки ЖИГ толщиной 24 мкм при удалении проводника перемычки от пленки на 0.1 мм

Fig. 5. Frequency dependence S_{11} , when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

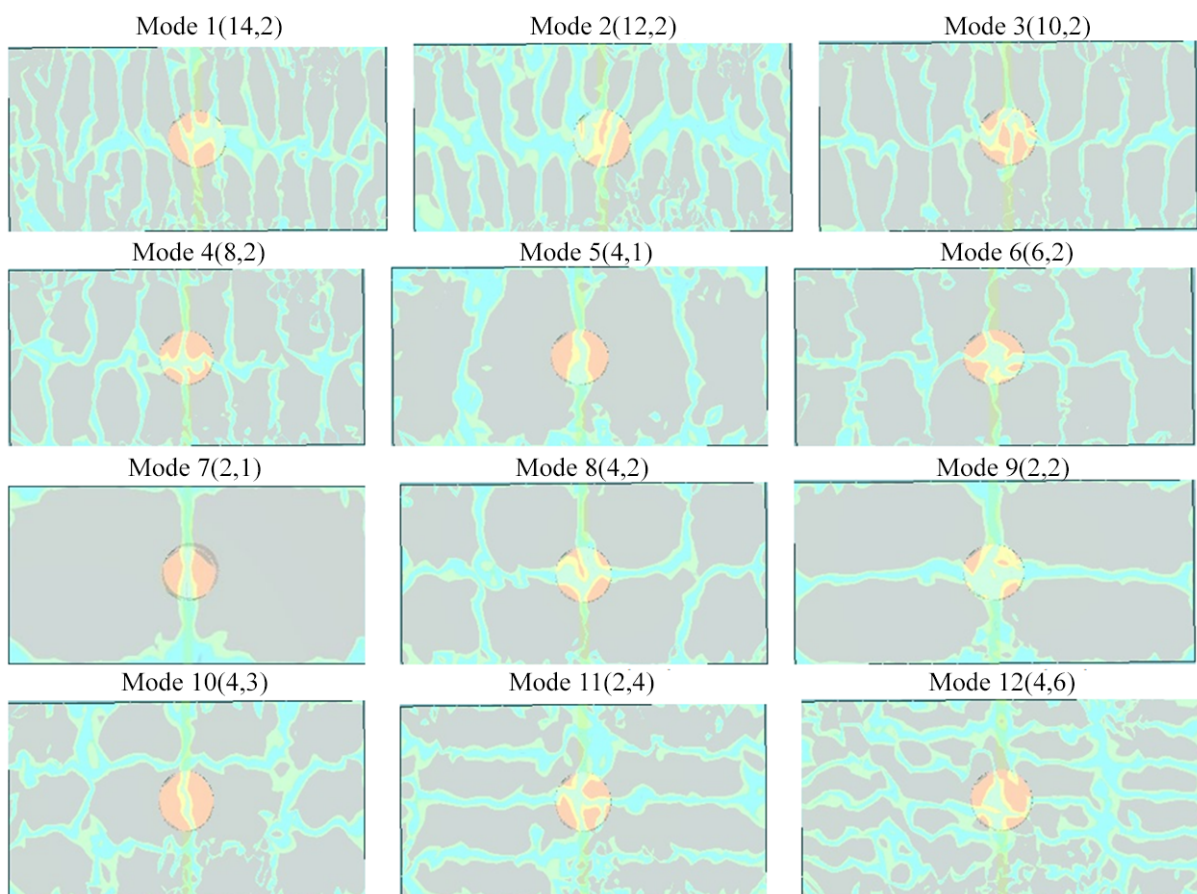


Рис. 6. Распределения модуля ВЧ магнитного поля мод согласно нумерации на рис. 5 и их идентификация

Fig. 6. Distribution of the module of the RF magnetic field mode according to the numbering in Fig. 5 and their identification

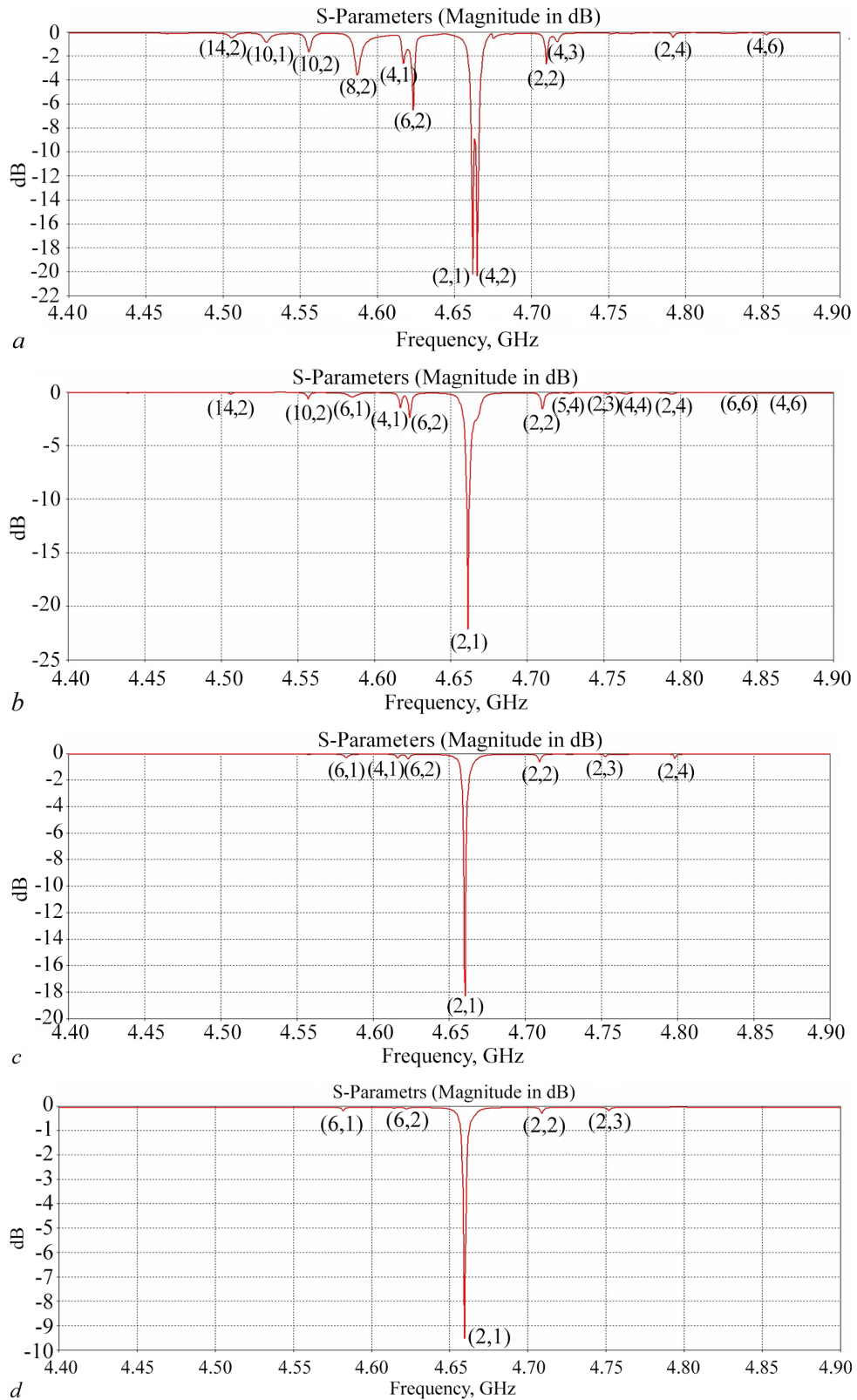


Рис. 7. Частотные зависимости S11 модели с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.1 мм (*a*), 0.2 мм (*b*), 0.4 мм (*c*) и 0.6 мм (*d*)

Fig. 7. Frequency dependences S11 model with identified modes for distances 0.1 mm (*a*), 0.2 mm (*b*), 0.4 mm (*c*) and (*d*) 0.6 mm

3. Сравнение спектров мод при \vec{H} , направленном параллельно плоскости пленки ЖИГ вдоль ее ширины (оси y) и длины (оси z)

Теперь сравним для минимального расстояния $d = 0.1$ мм при внешнем постоянном магнитном поле $H = 1000$ Э спектр мод, изображенный на рис. 4, *a* для направления \vec{H} вдоль оси y , со спектром мод, изображенным на рис. 7, *a* для направления \vec{H} вдоль оси z . При таком повороте вектора \vec{H} , как видно из рис. 4, *a* и рис. 7, *a*, полоса эффективно возбуждаемых мод смещается с 4.6...4.9 ГГц до 4.5...4.75 ГГц. Однако возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль ширины пленки ЖИГ (оси y), много эффективнее в полосе 4.65...4.9 ГГц, чем в случае, когда этот вектор направлен вдоль длины пленки ЖИГ (оси z). В то же время возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль длины пленки ЖИГ (оси z), много эффективнее в полосе 4.4...4.6 ГГц.

Выводы

В настоящей работе исследована конструкция короткозамкнутого возбудителя, отличающегося от описанного в [1] тем, что тонкая линейная перемычка замыкается на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра. Электродинамическим методом [2, 6] проведен расчет распределений высокочастотного магнитного поля возбуждаемых магнитостатических мод и проведена их идентификация для двух направлений однородного поля подмагничивания: вдоль ширины и вдоль длины прямоугольной пленки ЖИГ.

Исследована также зависимость числа возбуждаемых мод от близости короткозамкнутого возбудителя к прямоугольному образцу пленки ЖИГ.

Проведено сравнение спектров мод при \vec{H} , направленном параллельно плоскости пленки ЖИГ вдоль ее ширины и длины. При таком повороте вектора \vec{H} полоса эффективно возбуждаемых мод смещается с 4.6...4.9 ГГц до 4.5...4.75 ГГц. Однако возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль ширины пленки ЖИГ (оси y), много эффективнее в полосе 4.65...4.9 ГГц, чем в случае, когда этот вектор направлен вдоль длины пленки ЖИГ (оси z). В то же время возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль длины пленки ЖИГ (оси z) много эффективнее в полосе 4.4...4.6 ГГц.

Список литературы

1. Barak J., Lachish U. Study of the excitation of magnetostatic modes in yttrium-iron-garnet films by a microstrip line // J. Appl. Phys. 1989. Vol. 65, no. 4. P. 1652–1658. DOI: 10.1063/1.343402.
2. Takhtamyshyan V. V., Babichev R. K. Identification of backward volume and surface magnetostatic modes in a rectangular yttrium-iron-garnet film by high frequency magnetic field distributions // In: International Symposium on Spin Waves. 3–8 June 2018, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg: Ioffe Physical Technical Institute RAS, 2018. P. 150.
3. Takhtamyshyan V. V., Babichev R. K. Backward volume and surface magnetostatic modes identification by distributions of radio frequency magnetic field // In: 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 02–06 October 2018, Novosibirsk, Russia. New York: IEEE, 2018. P. 147–150. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545120.
4. Тахтамышьян В. В., Бабичев Р. К. Идентификация магнитостатических мод в пленках ЖИГ по распределению высокочастотного магнитного поля // Труды XXVI Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)». 23–24 ноября 2018 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2018. С. 182–193.

5. *Бабичев Р. К., Синяевский Г. П., Тахтамышьян В. В.* Идентификация магнитостатических мод в пленках ЖИГ по распределению высокочастотного магнитного поля // *Физические основы приборостроения*. 2019. Т. 8, № 4 (34). С. 3–10. DOI: 10.25210/jfop-1904-003010.
6. *Kaur T., Bhyrava M. D. V., Olvera-Cervantes J. L., Corona-Chavez A.* Ferromagnetic resonance measurement using a novel short circuited coaxial probe technique // *Advanced Electromagnetics*. 2017. Vol. 6, no. 3. P. 41–45. DOI: 10.7716/aem.v6i3.526.
7. *Тахтамышьян В. В., Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения магнитостатических мод короткозамкнутым коаксиальным возбудителем // *Труды XXVI Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 23–24 ноября 2018 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2018. С. 194–202.
8. *Бабичев Р. К., Синяевский Г. П., Тахтамышьян В. В.* Исследование возбуждения магнитостатических мод короткозамкнутым коаксиальным возбудителем // *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2020. Т. 25, № 1–2. С. 43–47. DOI: 10.18127/j15604128-202001-2-05.
9. *Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнитостатических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // *Труды XXVIII Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 27 ноября 2020 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2020. С. 55–61.
10. *Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиально-петлевым преобразователем магнитостатических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // *Труды XXVIII Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 27 ноября 2020 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2020. С. 62–69.
11. *Атоев М. Д., Натхин И. И., Бабичев Р. К.* Исследование возбуждения магнитостатических волн коаксиально-микрополосковыми преобразователями в пленках железо-иттриевого граната // *Труды XXVIII Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 27 ноября 2020 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2020. С. 70–75.
12. *Atoev M. D., Natkhin I. I., Babichev R. K., Kleshchenkov A. B.* Experimental study of magnetostatic waves excitation by coaxial-microstrip transducer in rectangular yttrium-iron garnet films // In: *2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. 28 June 2021 – 02 July 2021, Divnomorskoe, Russia. New York: IEEE, 2021. P. 239–242. DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494123.
13. *Атоев М. Д., Бабичев Р. К., Натхин И. И.* Экспериментальное исследование возбуждения магнитостатических волн коаксиальными преобразователями в пленках железо-иттриевого граната // *Труды XXIX Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 26–27 ноября 2021 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021. С. 67–72.
14. *Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Возбуждение короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнитостатических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // *Труды XXIX Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)»*. 26–27 ноября 2021 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021. С. 45–49.

References

1. Barak J, Lachish U. Study of the excitation of magnetostatic modes in yttrium-iron-garnet films by a microstrip line. *J. Appl. Phys.* 1989;65(4):1652–1658. DOI: 10.1063/1.343402.

2. Takhtamyshyan VV, Babichev RK. Identification of backward volume and surface magnetostatic modes in a rectangular yttrium-iron-garnet film by high frequency magnetic field distributions. In: International Symposium on Spin Waves. 3–8 June 2018, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg: Ioffe Physical Technical Institute RAS; 2018. P. 150.
3. Takhtamyshyan VV, Babichev RK. Backward volume and surface magnetostatic modes identification by distributions of radio frequency magnetic field. In: 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 02–06 October 2018, Novosibirsk, Russia. New York: IEEE; 2018. P. 147–150. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545120.
4. Takhtamyshyan VV, Babichev RK. Magnetostatic modes identification in the YIG films by magnetic field distributions. In: Proceedings of XXVI International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 23–24 November 2018, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2018. P. 182–193 (in Russian).
5. Babichev RK, Sinyavsky GP, Takhtamyshyan VV. Identification of magnetostatic modes in YIG films by the distribution of a high-frequency magnetic field. *Physical Bases of Instrumentation*. 2019;8(4(34)):3–10 (in Russian). DOI: 10.25210/jfop-1904-003010.
6. Kaur T, Bhyrava MDV, Olvera-Cervantes JL, Corona-Chavez A. Ferromagnetic resonance measurement using a novel short circuited coaxial probe technique. *Advanced Electromagnetics*. 2017;6(3):41–45. DOI: 10.7716/aem.v6i3.526.
7. Takhtamyshyan VV, Babichev RK, Babicheva GV. Study of the magnetostatic modes excitation by short circuited coaxial exciter. In: Proceedings of XXVI International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 23–24 November 2018, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2018. P. 194–202 (in Russian).
8. Babichev RK, Sinyavskii GP, Takhtamyshyan VV. Study of magnetostatic modes excitation by short circuited coaxial exciter. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*. 2020;25(1–2): 43–47 (in Russian). DOI: 10.18127/j15604128-202001-2-05.
9. Babichev RK, Babicheva GV. Study of magnetostatic modes excitation by short circuited coaxial transducer in rectangular yttrium iron garnet film. In: Proceedings of XXVIII International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 27 November 2020, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2020. P. 55–61 (in Russian).
10. Babichev RK, Babicheva GV. Study of magnetostatic modes excitation by short-circuited coaxial-loop transducer in rectangular yttrium iron garnet film. In: Proceedings of XXVIII International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 27 November 2020, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2020. P. 62–69 (in Russian).
11. Atoev MD, Natkhin II, Babichev RK. Investigation of magnetostatic waves excitation by coaxial-microstrip transducers in yttrium iron garnet films. In: Proceedings of XXVIII International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 27 November 2020, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2020. P. 70–75 (in Russian).
12. Atoev MD, Natkhin II, Babichev RK, Kleshchenkov AB. Experimental study of magnetostatic waves excitation by coaxial-microstrip transducer in rectangular yttrium-iron garnet films. In: 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). 28 June 2021 – 02 July 2021, Divnomorskoe, Russia. New York: IEEE; 2021. P. 239–242. DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494123.

13. Atoev MD, Babichev RK, Natkhin II. Experimental investigation of magnetostatic waves excitation by coaxial transducers in yttrium-iron garnet films. In: Proceedings of XXIX International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 26–27 November 2021, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2021. P. 67–72 (in Russian).
14. Babichev RK, Babicheva GV. Excitation by short-circuited coaxial transducer of magnetostatic modes rectangular yttrium iron garnet film. In: Proceedings of XXIX International Conference «Electromagnetic Field and Materials (Fundamental Physical Researches)». 26–27 November 2021, Moscow, Russia. Moscow: National Research University «Moscow Power Engineering Institute» Publishing; 2021. P. 45–49 (in Russian).



Бабичев Рудольф Карлович — родился в Горьком (1944). Окончил с отличием физический факультет Ростовского государственного университета по направлению «Радиофизика» (1968), аспирантуру Ростовского государственного университета в 1971 году. Защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «Радиофизика» (1971, РГУ), докторскую диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности «Радиофизика» (1997, РГУ). В 2000 г. присвоено ученое звание профессора по кафедре радиофизики РГУ. Работает на кафедре «Радиофизика» Южного федерального университета в должности профессора. Научные интересы — радиофизика, математическое моделирование, радиотехническое моделирование. Опубликовал свыше 100 научных статей по указанным направлениям.

Россия, 344006 Ростов-на-Дону, Большая Садовая, 77
 Южный федеральный университет
 E-mail: 405092@mail.ru
 ORCID: 0000-0002-9790-3403
 AuthorID (eLibrary.Ru): 265844



Бабичева Галина Викторовна — родилась в Ростове-на-Дону (1955). Окончила с отличием физический факультет Ростовского государственного университета по направлению «Радиофизика» (1978). Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Радиофизика» (1995, РГУ). Работает доцентом на кафедре «Математика, естественнонаучные и общенаучные дисциплины» Института водного транспорта им. Г. Я. Седова — Ростовского филиала ГМУ им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Научные интересы — радиофизика, математическое моделирование. Опубликовала более 30 научных статей по указанным направлениям.

Россия, 344006 Ростов-на-Дону, Седова, 8
 Институт водного транспорта имени Г. Я. Седова — Ростовский филиал ГМУ
 имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
 E-mail: babicheva@iwtседов.ру
 ORCID: 0000-0003-2224-9344
 AuthorID (eLibrary.Ru): 265847