



Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2023. Т. 31, № 6
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2023;31(6)

Научная статья
УДК 530.182

DOI: 10.18500/0869-6632-003072
EDN: YZYKNC

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

Р. К. Бабичев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: 405092@mail.ru

Поступила в редакцию 14.07.2023, принята к публикации 28.08.2023,
опубликована онлайн 13.11.2023, опубликована 30.11.2023

Аннотация. Цель. Исследование новой конструкции короткозамкнутого коаксиального возбудителя с тонкой линейной перемычкой, замыкающей на одну сторону 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 S_{11} модели от частоты. Результаты. 1. Проведена идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её ширины (оси z). 2. Проведена идентификация мод в однородном статическом магнитном поле H , направленном параллельно плоскости прямоугольной пленки ЖИГ вдоль её длины (оси y). 3. Проведено сравнение спектров мод при векторе \vec{H} , направленном параллельно плоскости пленки ЖИГ вдоль её ширины (оси z) и длины (оси y). Заключение. В настоящей работе исследована конструкция короткозамкнутого возбудителя с тонкой линейной перемычкой, замыкающей на одну сторону заземленного коаксиального цилиндра. Электродинамическим методом 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 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 z), много эффективнее в полосе 4.65...4.9 ГГц, чем в случае, когда этот вектор направлен вдоль длины пленки ЖИГ (оси y). В то же время возбуждение указанных мод в случае вектора \vec{H} , направленного вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), эффективно в полосе 4.4...4.6 ГГц.

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

Для цитирования: Бабичев Р. К. Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнитостатических мод в прямоугольной пленке железиттриевого граната // Известия вузов. ПНД. 2023. Т. 31, № 6. С. 727–738. DOI: 10.18500/0869-6632-003072. EDN: YZYKNC

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. Babichev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: ✉405092@mail.ru

Received 14.07.2023, accepted 28.08.2023,
available online 13.11.2023, published 30.11.2023

Abstract. The purpose of this work is the study of design of new short-circuited coaxial transducer with thin linear jumper, that circuits on one side 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 dependences of the inverse losses S_{11} of the model were calculated. *Results.* 1. The identification of modes in a homogeneous static magnetic field \vec{H} , directed parallel to the plane of a rectangular YIG film along its width (z -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 (y -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 (z -axis) and length (y -axis). *Conclusion.* In this paper short-circuited transducer with a thin linear jumper, circuited on one side 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 \vec{H} : 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 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 (z -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 (y -axis). At the same time, excitation of these modes in the case of the vector \vec{H} , directed along the length of YIG film (y axis) is effective in the band 4.4...4.6 GHz.

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

For citation: Babichev RK. Excitation by shot circuited coaxial transducer of magnetostatic modes in rectangular yttrium iron garnet film. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2023;31(6):727–738. DOI: 10.18500/0869-6632-003072

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

Введение

В разрабатываемых устройствах спинволновой 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 обширные экспериментальные результаты с возбуждением различных серий МСМ микрополосковой линией в прямоугольном образце с пленкой ЖИГ, размещаемым 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.

При возбуждении магнитостатических мод в ферритовых пленках прямоугольной формы свойства этих образцов пленок определяются методом ферромагнитного резонанса с помощью коаксиальных зондов различных типов. Так, в качестве возбудителя магнитостатических мод может быть использован короткозамкнутый коаксиальный зонд, конструкция которого представлена в работе [3].

В работах [6, 7] электродинамическим моделированием подробно исследована эта конструкция зонда с одной линейной перемычкой между центральным проводником и заземленным цилиндром коаксиала.

В работе [8] исследована конструкция короткозамкнутого возбудителя, отличающегося от описанного в [7] тем, что тонкая линейная перемычка замыкается на обе стороны заземленного коаксиального цилиндра. Электродинамическим методом работ [7] и [9] 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 железо-иттриевого граната.

Экспериментальное исследование возбуждения магнитостатических мод в пленке железо-иттриевого граната 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 z)

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.

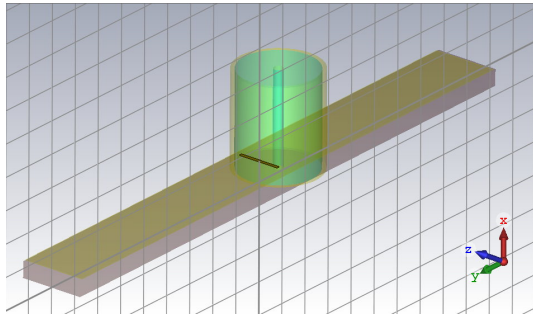


Рис. 1. Исследуемая модель коаксиального возбуждателя с пленкой ЖИГ (цвет онлайн)

Fig. 1. The studied model of the coaxial transducer with YIG film (color online)

1.3275 мм, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью 13.

Расчет модели, представленной на рис. 1, проведен для зазоров d между тонкой линейной перемычкой и поверхностью пленки от 0.1 до 0.8 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 магнитостатическая мода.

У частотной зависимости обратных потерь S_{11} , показанной на рис. 2, когда поверхность пленки ЖИГ удалена от короткозамкнутого проводника перемычки возбуждателя на расстояние $d = 0.1$ мм, на каждой из пронумерованных резонансных частот было проанализировано распределение модуля ВЧ магнитного поля. Распределения модуля ВЧ магнитного поля, по которым проводилась идентификация возбуждаемых мод по числу стоячих полувольт вдоль боковых сторон пленки ЖИГ, представлены на рис. 3.

На каждом распределении ВЧ магнитного поля внутри пленки ЖИГ видны также сечения центрального проводника, заземленного проводящего цилиндра и соединяющей их линейной перемычки.

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 одну сторону заземленного коаксиального цилиндра. Прямоугольный образец пленки ЖИГ имел длину 18 мм, ширину 2 мм, толщину 24 мкм. Размеры линейной перемычки: длина 1.3275 мм, ширина 0.1 мм, толщина 0.0005 мм. Отрезок коаксиальной линии содержал медный внутренний проводник радиусом 0.1525 мм и внешний заземленный цилиндр радиусом

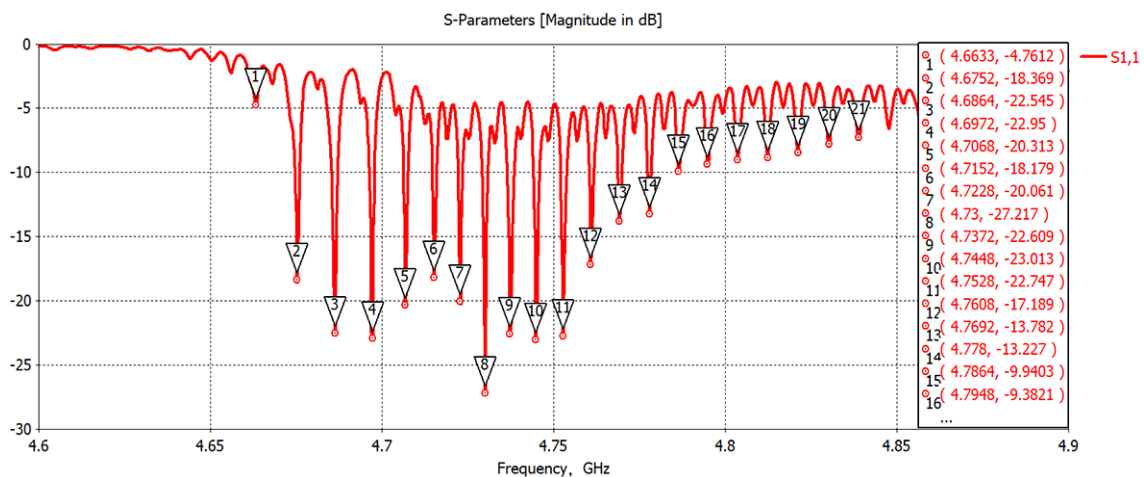


Рис. 2. Частотная зависимость S_{11} при векторе \vec{H} , направленном вдоль ширины пленки ЖИГ (оси z), когда поверхность пленки ЖИГ удалена от короткозамкнутого проводника перемычки возбуждателя на $d = 0.1$ мм

Fig. 2. Frequency dependence S_{11} for vector \vec{H} , directed along YIG film width (z axis), when YIG film surface is removed from short-circuited conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

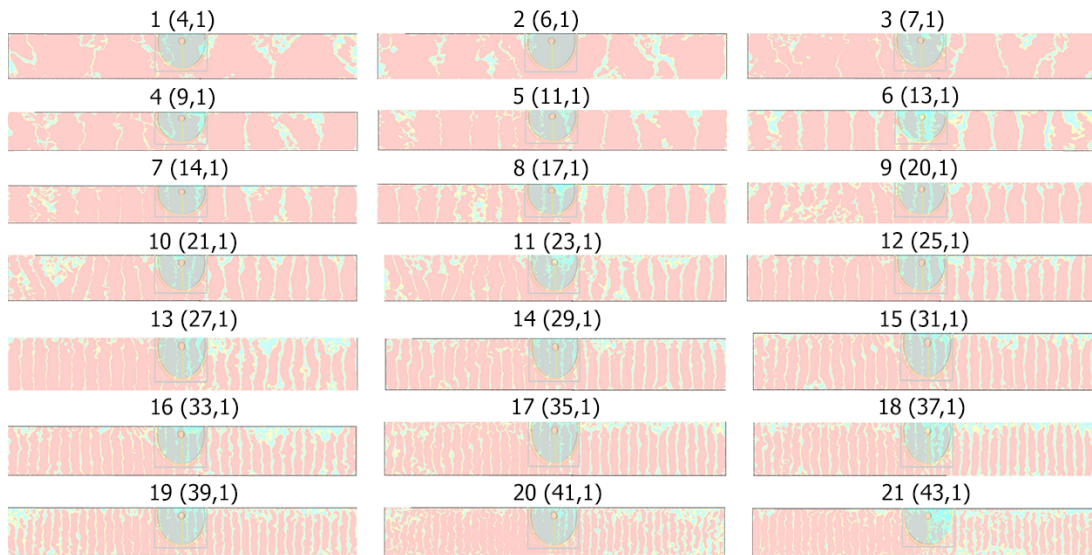


Рис. 3. Распределения модуля ВЧ магнитного поля мод при векторе \vec{H} , направленном вдоль ширины пленки ЖИГ (оси z), согласно нумерации на рис. 2, и их идентификация (цвет онлайн)

Fig. 3. Distribution of the module of the radio frequency (RF) magnetic field mode for vector \vec{H} , directed along YIG film width (z axis), according to the numbering in Fig. 2 and their identification (color online)

Рядом с каждым резонансом на рис. 3 указаны целые числа n_y и n_z , 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, 0.4 мм и 0.8 мм представлены на рис. 4, 5 и 6. Видно, что по уровню -10 дБ при $d = 0.1$ мм возбуждаются четырнадцать магнитостатических мод, при $d = 0.4$ мм – две, а при $d = 0.8$ мм – ни одной.

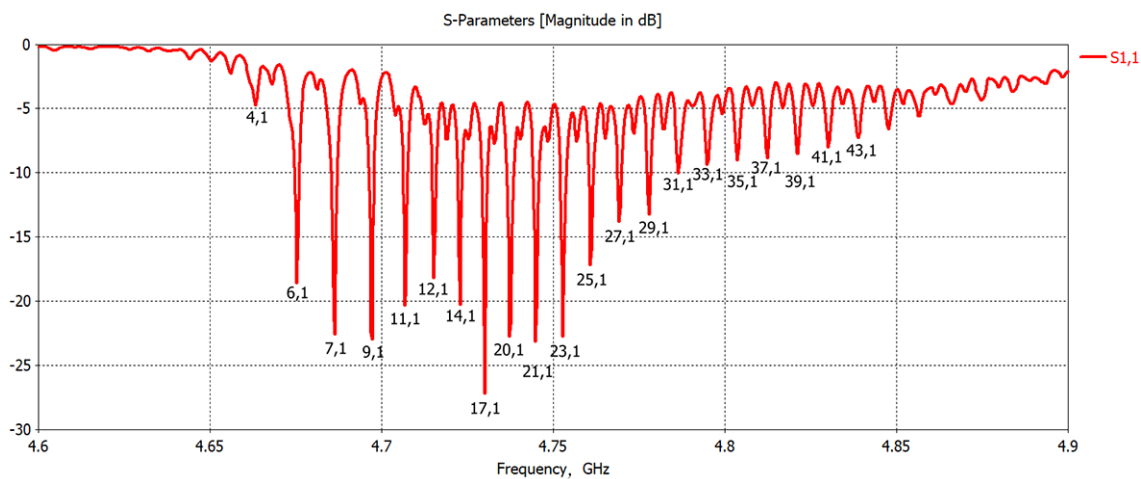


Рис. 4. Частотная зависимость S_{11} при векторе \vec{H} , направленном вдоль ширины пленки ЖИГ (оси z), модели с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.1 мм

Fig. 4. Frequency dependence S_{11} for vector \vec{H} , directed along YIG film width (z axis), model with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

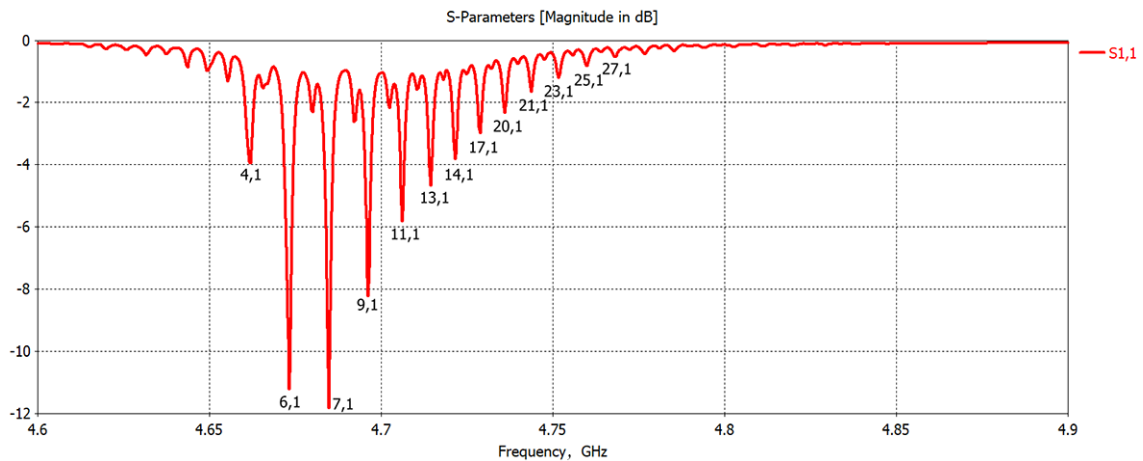


Рис. 5. Частотная зависимость S11 модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль ширины пленки ЖИГ (оси z), с идентифицированными модами при удалении возбуждителя на 0.4 мм

Fig. 5. Frequency dependence of S11 model for vector \vec{H} , directed along YIG film width (z axis), with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.4$ mm

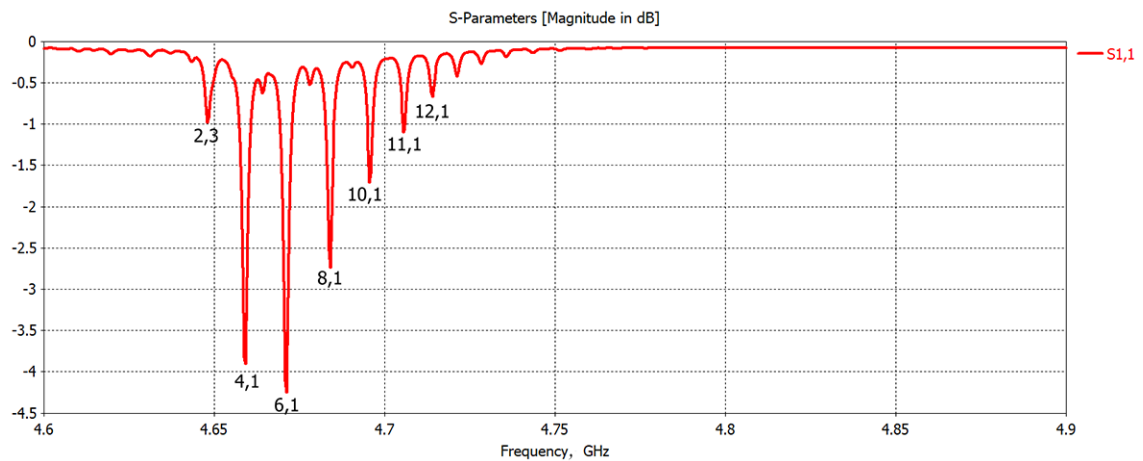


Рис. 6. Частотная зависимость S11 модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль ширины пленки ЖИГ (оси z), с идентифицированными модами при удалении возбуждителя на 0.8 мм

Fig. 6. Frequency dependence of S11 model for vector \vec{H} , directed along YIG film width (z axis), with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.8$ mm

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

Анализ модели был проведен при расстояниях d между возбуждателем и поверхностью феррита от 0.1 мм до 0.8 мм. Для каждого резонанса на частотной характеристике обратных потерь S11 были вычислены и визуализированы распределения абсолютного значения высокочастотного магнитного поля моды внутри пленки ЖИГ. По этим распределениям и идентифицировались магнитоэлектрические моды.

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

возбудителя. Частотная зависимость обратных потерь S11 для этого случая изображена на рис. 7. Для неё были проанализированы распределения абсолютного значения высокочастотного магнитного поля на пронумерованных резонансных частотах. Распределения модуля высокочастотного магнитного поля на резонансных частотах представлены на рис. 8.

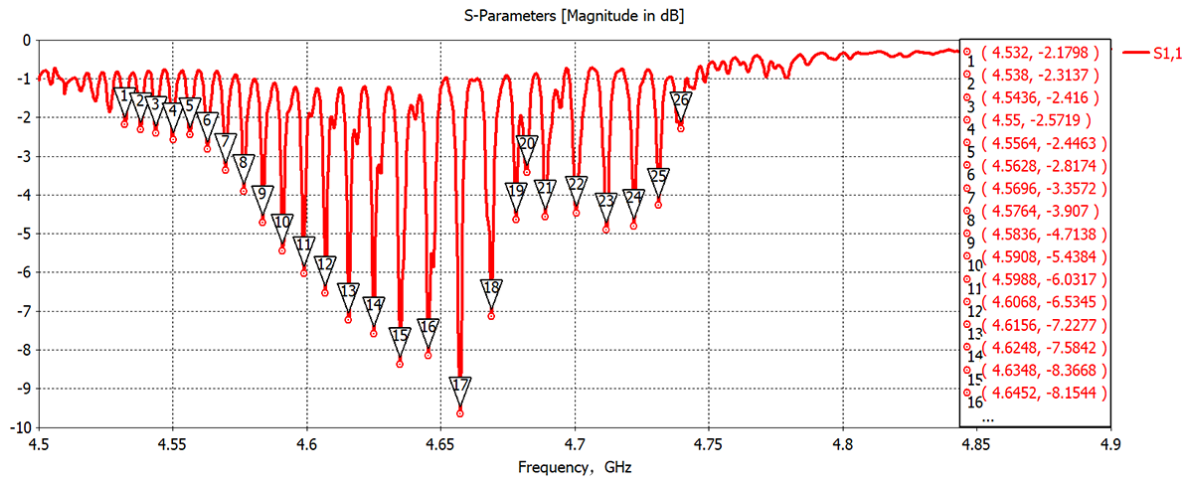


Рис. 7. Частотная зависимость S11 модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), при удалении возбудителя на 0.1 мм

Fig. 7. Frequency dependence of S11 model for vector \vec{H} , directed along YIG film length (y axis), when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

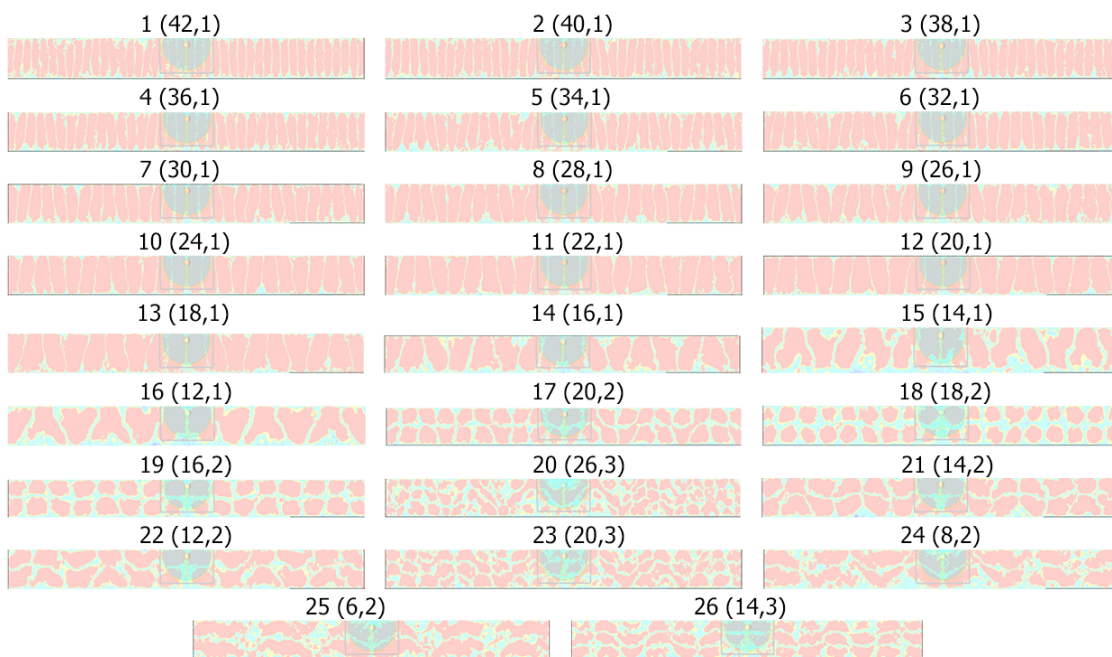


Рис. 8. Распределения модуля ВЧ магнитного поля мод при векторе \vec{H} , направленном вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), согласно нумерации на рис. 7, и их идентификация (цвет онлайн)

Fig. 8. Distribution of the module of the RF magnetic field mode for vector \vec{H} , directed along YIG film length (y axis), according to the numbering in Fig. 7 and their identification (color online)

Исследована зависимость числа возбуждаемых мод от близости прямоугольного образца пленки ЖИГ к короткозамкнутому возбудителю. На рис. 9, 10 и 11 изображены расчетные частотные характеристики обратных потерь S11 для нескольких расстояний d . Видно, что если в полосе частот 4.5...4.9 ГГц при $d = 0.1$ мм по уровню -5 дБ эффективно возбуждается 9 различных магнитостатических мод, то при $d = 0.4$ мм и $d = 0.8$ мм — ни одной. При этом для расстояния $d = 0.1$ мм наиболее эффективно возбуждаемой является мода 20,2 с максимальными обратными потерями S11 около -9.7 дБ, для $d = 0.4$ мм — моды 12,1 и 10,1 с максимальными обратными потерями S11 порядка -2.1 дБ, а для $d = 0.8$ мм — моды 10,1 и 8,1, но уже с максимальными обратными потерями S11 около -0.45 дБ.

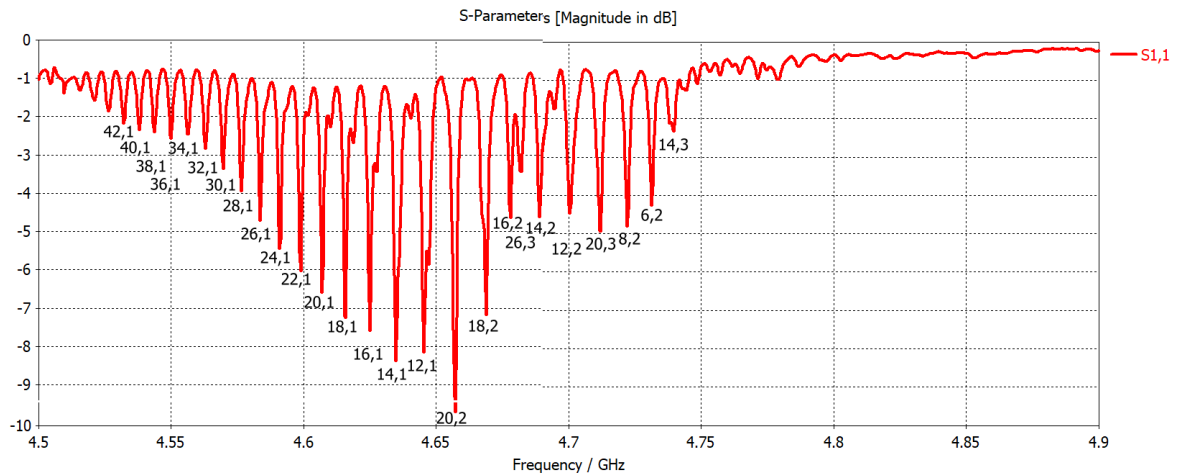


Рис. 9. Частотная зависимость S11 модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.1 мм

Fig. 9. Frequency dependence of S11 model for vector \vec{H} , directed along YIG film length (y axis), with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.1$ mm

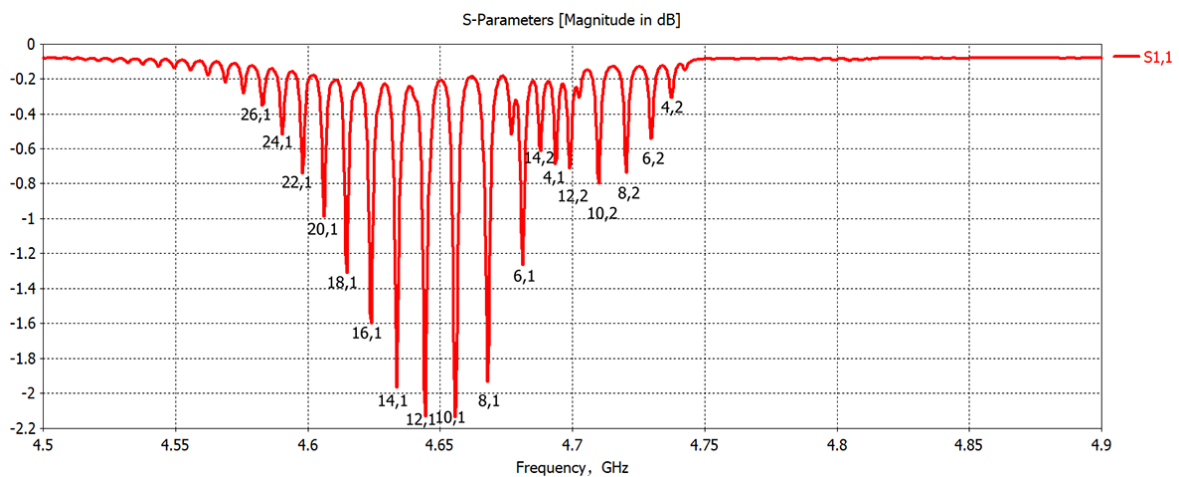


Рис. 10. Частотная зависимость S11 модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.4 мм

Fig. 10. Frequency dependence of S11 model for vector \vec{H} , directed along YIG film length (y axis), with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.4$ mm

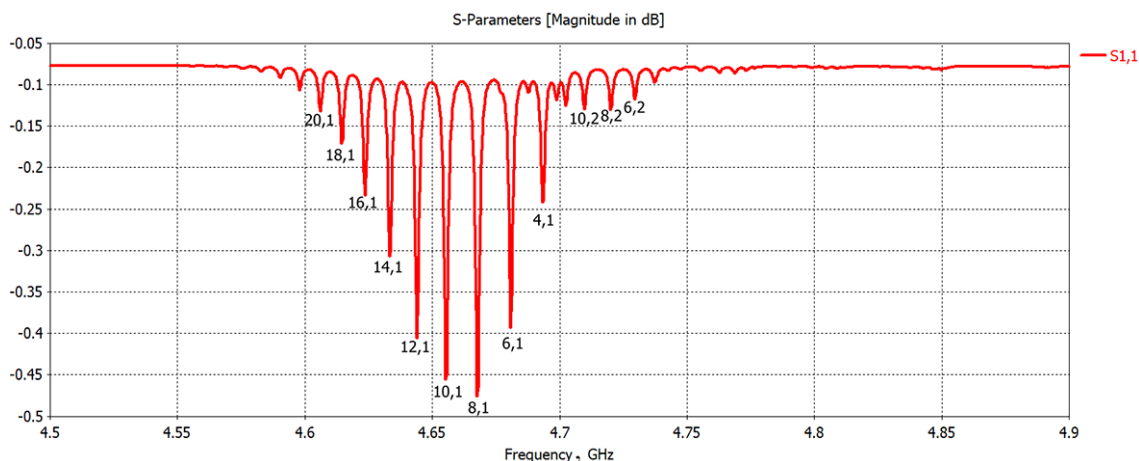


Рис. 11. Частотная зависимость S_{11} модели при векторе \vec{H} , направленном вдоль длины пленки ЖИГ (оси y), с идентифицированными модами при удалении возбудителя на 0.8 мм.

Fig. 11. Frequency dependence of S_{11} model for vector \vec{H} , directed along YIG film length (y axis), with identified modes when the surface of YIG film is removed from conductor of jumper on $d = 0.8$ mm

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

Теперь сравним для минимального расстояния $d = 0.1$ мм при внешнем постоянном магнитном поле $H = 1000$ Э спектр мод, изображенный на рис. 4 для направления H вдоль оси z , со спектром мод, изображенным на рис. 9 для направления H вдоль оси y . Для направления H вдоль оси z , как видно из рис. 4, в полосе частот 4.6...4.9 ГГц по уровню -20 дБ возбуждается 8 мод: 7,1; 9,1; 11,1; 14,1; 17,1; 20,1; 21,1; 23,1. Для направления H вдоль оси y , как видно из рис. 9, в полосе частот 4.5...4.9 ГГц по уровню -6 дБ возбуждается 8 мод: 22,1; 20,1; 18,1; 16,1; 14,1; 12,1; 20,2; 18,2.

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. 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.
4. 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.
5. Тахтамышьян В. В., Бабичев Р. К. Идентификация магнитостатических мод в пленках ЖИГ по распределению высокочастотного магнитного поля // В сб.: Труды XXVI Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические иссле-

- дования)». 23–24 ноября 2018 г., Москва, Россия. М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2018. С. 182–193.
6. *Тахтамышьян В. В., Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения магнито-статических мод короткозамкнутым коаксиальным возбудителем // В сб.: 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.
 7. *Бабичев Р. К., Синяевский Г. П., Тахтамышьян В. В.* Исследование возбуждения магнито-статических мод короткозамкнутым коаксиальным возбудителем // Электромагнитные волны и электронные системы. 2020. Т. 25, № 1–2. С. 43–47. DOI: 10.18127/j15604128-202001-2-05.
 8. *Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиальным преобразователем магнито-статических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // В сб.: 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.
 9. *Бабичев Р. К., Синяевский Г. П., Тахтамышьян В. В.* Идентификация магнито-статических мод в пленках ЖИГ по распределению высокочастотного магнитного поля // Физические основы приборостроения. 2019. Т. 8, № 4 (34). С. 3–10. DOI: 10.25210/jfor-1904-003010.
 10. *Бабичев Р. К., Бабичева Г. В.* Исследование возбуждения короткозамкнутым коаксиально-петлевым преобразователем магнито-статических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // В сб.: 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 магнито-статических волн коаксиально-микрополосковыми преобразователями в пленках железо-иттриевого граната // В сб.: 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 магнито-статических волн коаксиальными преобразователями в пленках железо-иттриевого граната // В сб.: 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 магнито-статических мод в прямоугольной пленке железо-иттриевого граната // В сб.: 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. 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.
4. 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.
5. 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).
6. 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).
7. 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.
8. 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).
9. 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.
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 городе Горьком (1944). Окончил с отличием физический факультет Ростовского государственного университета по направлению «Радиофизика» (1968) и аспирантуру Ростовского государственного университета (1971). Доктор физико-математических наук по специальности «Радиофизика» (1997, РГУ). В 2000 году присвоено ученое звание профессора по кафедре радиофизики РГУ. Работает на кафедре радиофизики 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