

УДК 621.372.853.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В СИСТЕМЕ ФЕРРИТ–КОНТУР

© 2020 г. Ф. Н. Шакирзянов¹, *, П. А. Бутырин¹, Д. В. Михеев¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

*E-mail: 3728049@mail.ru

Поступила в редакцию 30.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 28.10.2019 г.

Экспериментально исследован эффект магнитоакустического резонанса в системе феррит–контур. Обнаружено весьма сильное влияние резонансного контура на добротность магнитоакустического резонанса. Эффект автогенерации может быть использован при экспериментальном изучении нелинейного ферромагнитного резонанса в далеко запороговой области при основном и дополнительном резонансах в ферритовом образце.

DOI: 10.31857/S0367676520020362

Если ферритовый образец в системе феррит–контур [1] разместить свободно в некоторой полости, то, вследствие возбуждения в ферритовом образце магнитоакустического резонанса (МАР) [2], наблюдается сложное взаимодействие спиновой системы ферромагнетика с контуром [3–5]. Этот эффект, устойчиво наблюдаемый и на основном, и на дополнительном резонансах, может быть теоретически описан системой уравнений для пяти переменных состояния (амплитуды, фазы и расстройки спиновых волн, тока катушки и напряжения на конденсаторе контура), дополненной в случае дополнительного резонанса двумя дифференциальными уравнениями (ДУ) первого порядка, описывающими акустический резонанс в образце. На основном резонансе к ним

следует прибавить еще два ДУ первого порядка, описывающих поведение однородной прецессии [6]. Таким образом, МАР в системе феррит–контур при дополнительном резонансе может быть описан семью ДУ первого порядка, а на основном – девятью. Решение этих систем – сложная задача, и она выходит за рамки настоящей работы. Ограничимся кратким экспериментальным описанием эффекта МАР в системе феррит–контур. Конструкция датчика для наблюдения МАР показана на рис. 1, а блок-схема экспериментальной установки – на рис. 2.

Исследовали сферические образцы из монокристаллов железо-иттриевого граната (ЖИГ) диаметром около 1 мм и шириной полосы ферромагнит-

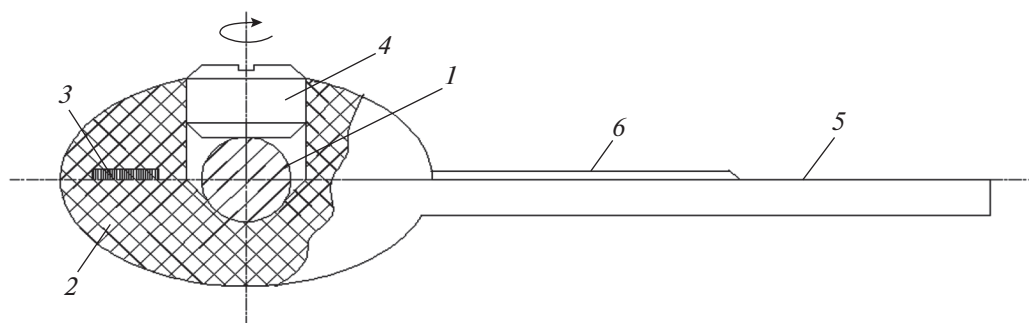


Рис. 1. Конструкция датчика для наблюдения магнитоакустического резонанса в системе феррит–контур: 1 – феррит; 2 – держатель; 3 – плоская обмотка; 4 – штифт; 5 – выходные контакты; 6 – выводы обмотки.

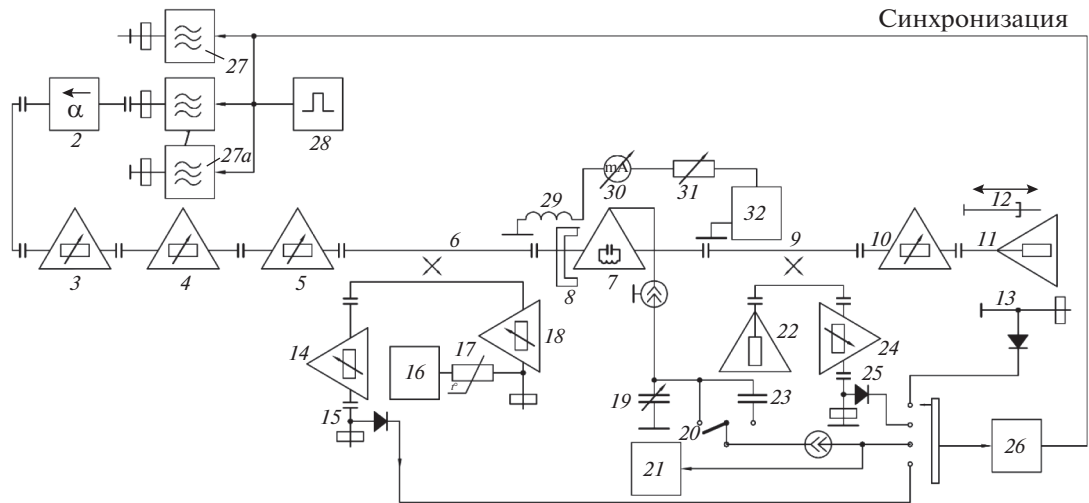


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – передатчик станции РБП-4; 2 – вентиль; 3, 4, 5, 10, 14, 14, 18, 24 – аттенуаторы; 6, 9 – направленные ответвители; 7 – ферритовый датчик-преобразователь; 8 – электромагнит; 11, 22 – согласованные нагрузки; 12 – короткозамыкатель; 13, 15, 25 – детекторные головки; 16 – термисторный мост М4-1; 17 – термисторная головка; 19 – конденсатор переменной емкости; 20 – переключатель; 21 – милливольтметр В4-12; 23 – конденсатор; 26 – осциллограф; 27 – генератор стандартных сигналов; 27а – магнетрон М-849; 28 – генератор синхриимпульсов; 29 – обмотка электромагнита; 30 – измерительный прибор; 31 – регулятор тока; 32 – источник питания.

ного резонанса (ФМР) ($2\Delta H$) около 46 А/м. При определенном уровне СВЧ мощности в полях, несколько меньших резонансного, возникал МАР, приводящий к амплитудной модуляции СВЧ мощности, проходящей через отрезок волновода с ферритовым образцом. В результате на вершине огибающей СВЧ импульса, снимаемого с кристаллического детектора 13 (рис. 2), наблюдали колебания с частотой около 3 МГц, амплитуда которых зависела от уровня СВЧ мощности и значения подмагничивающего поля.

При настройке резонансного контура с помощью конденсатора переменной емкости 19 (рис. 2), существенно менялось время нарастания этих колебаний, достигая минимума при равенстве частот МАР и резонансного контура. Амплитуда же колебаний на вершине огибающей, наоборот, достигала максимального значения, примерно в два раза большего, чем при большой расстройке контура. В резонансном контуре возбуждались колебания частоты МАР, их огибающая соответствовала огибающей СВЧ импульса. Наличие больших изменений времени нарастания и интенсивности магнитоакустических колебаний в зависимости от настройки контура свидетельствует о том, что в данном случае имело место не простое выделение колебаний частоты магнитоакустических колебаний с помощью резонансного контура, а гораздо более сложное явление. Следует отметить, что частота магнитоакустических колебаний отличается большой временной стабильностью, поэтому указанный эффект может быть использован также для создания генераторов со стабильной частотой. На рис. 3 изображена зависимость времени нарастания колебаний τ_n от расстройки ΔF_k .

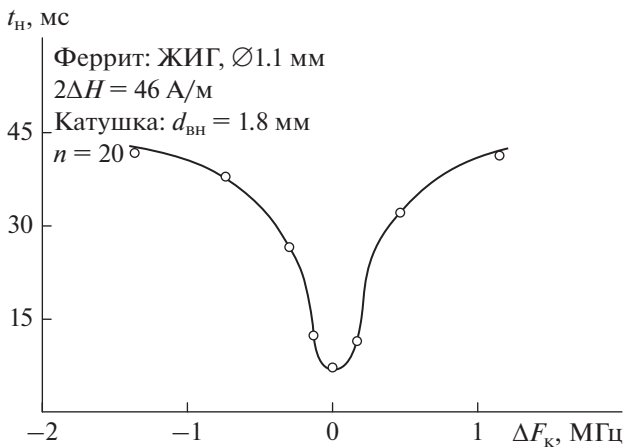


Рис. 3. Зависимость времени нарастания магнитоакустического резонанса от расстройки резонансного контура.

сокого и сверхвысокого уровня мощности СВЧ импульсных сигналов. Кроме того, МАР в системе феррит–контур может быть использован при экспериментальном изучении нелинейного ферромагнитного резонанса [7–9], например, для измерения магнитной восприимчивости в далеко запороговой области возбуждения спиновых волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакирзянов Ф.Н., Михеев Д.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. С. 1123; *Shakirzyanov F.N., Mikhaylov D.V.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. P. 1012.
2. Ахиезер А.И., Барьяхтар В.Г., Пелетминский С.В. // ЖЭТФ. 1959. Т. 35. С. 228; *Akhiezer A.I., Bar'yakhtar V.G., Peletminskii S.V.* // ЖЭТФ. 1959. V. 8. P. 157.
3. Канер Е.А., Песчанский В.Г., Привороцкий И.А. // ЖЭТФ. 1961. Т. 40. С. 214; *Kaner E.A., Peschanskii V.G., Privorotskii I.A.* // ЖЭТФ. 1961. V. 13. P. 147.
4. Ахиезер А.И., Барьяхтар В.Г., Власов К.Б., Пелетминский С.В. // УФН. 1984. Т. 143. С. 673; *Akhiezer A.I., Bar'yakhtar V.G., Vlasov K.B., Peletminskii S.V.* // Sov. Phys. Usp. 1984. V. 27. P. 641.
5. Беляева О.Ю., Зарембо Л.К., Карпачев С.Н. // УФН. 1992. Т. 162. С. 107; *Belyaeva O.Yu., Zarembo L.K., Karpachev S.N.* // Sov. Phys. Usp. 1992. V. 35. P. 106.
6. Bichurin M.I., Petrov V.M., Ryabkov O.V. et al. // Phys. Rev. B. 2005. V. 72. Art. № 060408.
7. Моносов Я.А. Нелинейный ферромагнитный резонанс. М.: Наука, 1971. 376 с.
8. Kittel C. Introduction to solid state physics. New Jersey: Wiley, 2004.
9. Fajans J., Friedland L. // Am. J. Phys. 2001. V. 69. P. 1096.