

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

«Исследование RLC параметров элементов микросхем в диапазоне частот»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 252 группы
направления 03.04.02 «Физика»
физического факультета
Гунствина Арсения Валерьевича

Научный руководитель

к. ф.-м. н., доцент _____ Л.Л. Страхова

Зав. кафедрой

д.ф.-м. н., профессор _____ А.А. Игнатъев

Саратов, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Микросхемы, основу которых составляют ЖИГ (железо - иттриевый гранат)– генераторы, широко применяются в практике высоких и сверхвысоких частот. ЖИГ - генераторы входят как составная часть в схемы таких устройств, как магнитометры, смесители, фазовращатели, фильтры, синтезаторы и т. д. В последнее время оптимизации схем ЖИГ-генераторов, разработке конструкций, увеличению полосы рабочих частот, улучшению характеристик, способам юстировки ЖИГ -сфер посвящены многочисленные патенты.

Магнитометр, разработанный в ОАО «Институте критических технологий», включает ЖИГ - генератор с резонатором в цепи обратной связи, резонансная частота которого изменяется в зависимости от поля подмагничивания..Такой генератор с ЖИГ - резонатором в цепи обратной связи представляет собой преобразователь индукции магнитного поля в сигнал, частота которого несет информацию о величине и направлении индукции измеряемого магнитного поля.

Магниточувствительная микросхема ЖИГ - генератора собрана на дискретных ЧИП элементах. В качестве активного элемента может использоваться биполярный или полевой транзистор. Система подмагничивания на основе постоянного магнита создаёт постоянное магнитное поле. Величина индукции постоянного магнитного поля определяет частоту генерации ЖИГ - генератора (преобразователя). При помещении магнитометра во внешнее магнитное поле, магнитную индукцию которого надо измерить, частота генерации будет изменяться на величину, пропорциональную измеряемую магнитному полю.

В микросхеме в качестве активного элемента использован биполярный транзистор *BFG67*и микроэлементы с сосредоточенными параметрами. Все пассивные элементы схемы – это ЧИП элементы фирм Panasonic и Murata типоразмером 0805 или меньше. Производственная необходимость требует проводить тестирование RLC параметров микроэлементов до монтажа микросхемы.

Целью и задачами выпускной квалификационной работы являются:

- создание методики предварительного неразрушающего контроля RLC параметров микроэлементов микросхемы в диапазоне частот от 10 кГц до 200 кГц с использованием прецизионного измерителя *LCR* типа *HAMEG HM 8118*;
- создание методики исследования магнитной проницаемости ферритов в диапазоне частот от 50 Гц до 200 кГц с использованием прецизионного измерителя *LCR* типа *HAMEG HM 8118*

Выпускная квалификационная работа включает введение, первый, второй и третий разделы, заключение, список использованных источников.

Раздел 1 Экспериментальное исследование RLC параметров микроэлементов в диапазоне от 10 кГц до 200 кГц .

Раздел 2 Основные физические свойства ферритов.

Раздел 3 Исследование магнитной проницаемости ферритов в диапазоне частот от 50 Гц до 200 кГц

Тема выпускной квалификационной работы в связи с широким использованием в практике высоких и сверхвысоких частот микросхем, включающих ЧИП элементы и ферритовые резонаторы, **является весьма актуальной.**

Новизна и научно-практическая значимость выпускной квалификационной работы заключается в установлении физических особенностей зависимости RLC параметров микроэлементов микросхем от частоты в диапазоне от 10 кГц до 200 кГц и магнитной проницаемости ферритов от частоты в диапазоне от 50 Гц до 200 кГц с использованием прецизионного измерителя *LCR* типа *HAMEG HM8118*

Экспериментальное исследование RLC параметров микроэлементов в диапазоне от 10 кГц до 200 кГц.

RLC параметры микроэлементов измерялись мостовым методом с помощью прецизионного программируемого измерителя LCR типа HAMEGHM8118.

При использовании этого прибора диапазон измерения индуктивности L составляет от 10 нГн до 100 кГн, емкости C – от 0,01 пФ до 100 мкФ, сопротивлений – от 0,01 мОм до 100 Мом с основной погрешностью 0,05% в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц.

В работе были исследованы параметры 30 микроэлементов с типоразмером 0805 и меньше фирм Panasonic и Murata. Измеряемые элементы подключались к измерителю с помощью 4-проводного измерительного адаптера HZ188, который преобразует 4-проводное измерение в 2-проводное.

Приводятся результаты расчета двойного моста Кельвина.

В диапазоне частот от 10кГц до 200кГц. проведены измерения сопротивления шести микроэлементов фирмы Panasonic двух номинальных значений: 3,3 кОм и 18 кОм, определенных с точностью $\pm 1\%$.

Результаты измерения сопротивления R одного из микроэлементов с номинальным значением $3,3 \text{ кОм}$ представлены на рисунке 1.

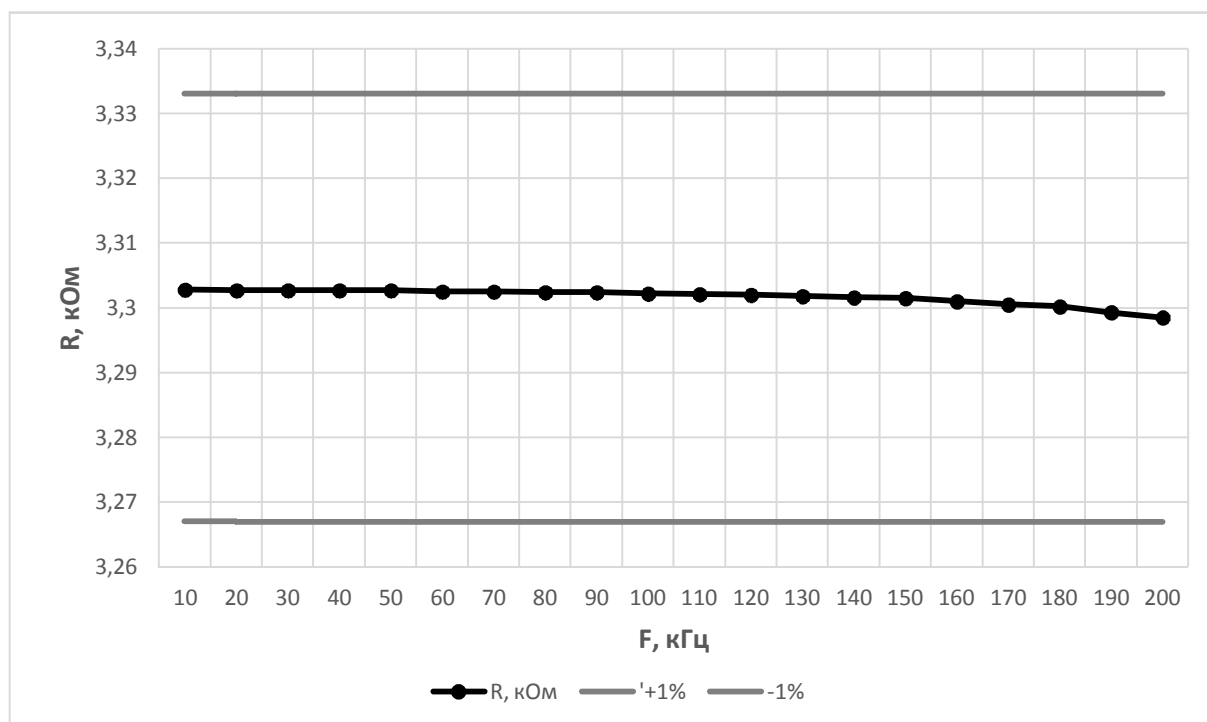


Рисунок 1. Зависимость сопротивления R микроэлемента с номинальным значением $3,3 \text{ кОм}$ от частоты.

Экспериментально полученные значения сопротивлений всех микроэлементов практически не изменяются по диапазону и отличаются от номинальных ($3,3 \text{ кОм}$ и 18 кОм) не более, чем на $0,25\%$.

На рисунке 1 прямыми линиями ограничен возможный диапазон изменения номинального значения ($\pm 1\%$).

В диапазоне частот от 10 кГц до 200 кГц были измерены индуктивности 17 микроэлементов фирмы Murata 8 номинальных значений: 12нГн., 15нГн., 18нГн., 22нГн, 27нГн, 33нГн, 47нГн, 68нГн.

Результаты измерения индуктивности L одного из микроэлементов с номинальным значением 22 нГн представлены на рисунке 2.

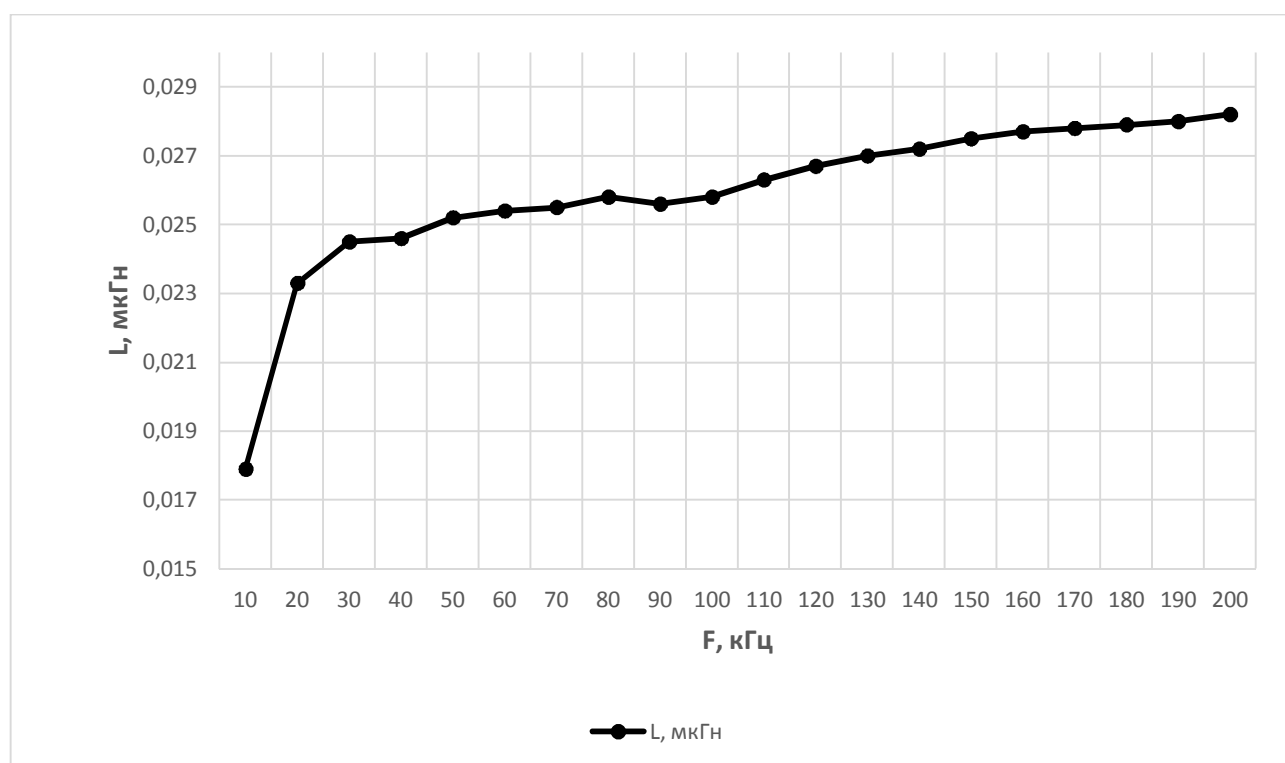


Рисунок 2. Зависимость индуктивности L микроэлемента с номинальным значением 22 нГн от частоты.

Величина индуктивности микроэлементов всех номинальных значений увеличивается по диапазону и можно говорить о совпадении экспериментально полученных значений индуктивности с их номинальными значениями только на отдельных частотах.

В диапазоне от 10 кГц до 200 кГц были измерены емкости 7 микроэлементов фирмы Murata. двух номинальных значений, определенных с точностью $\pm 5\%$.

Результаты измерений емкости одного из микроэлементов с номинальным значением 100 пФ представлены на рисунке 3.

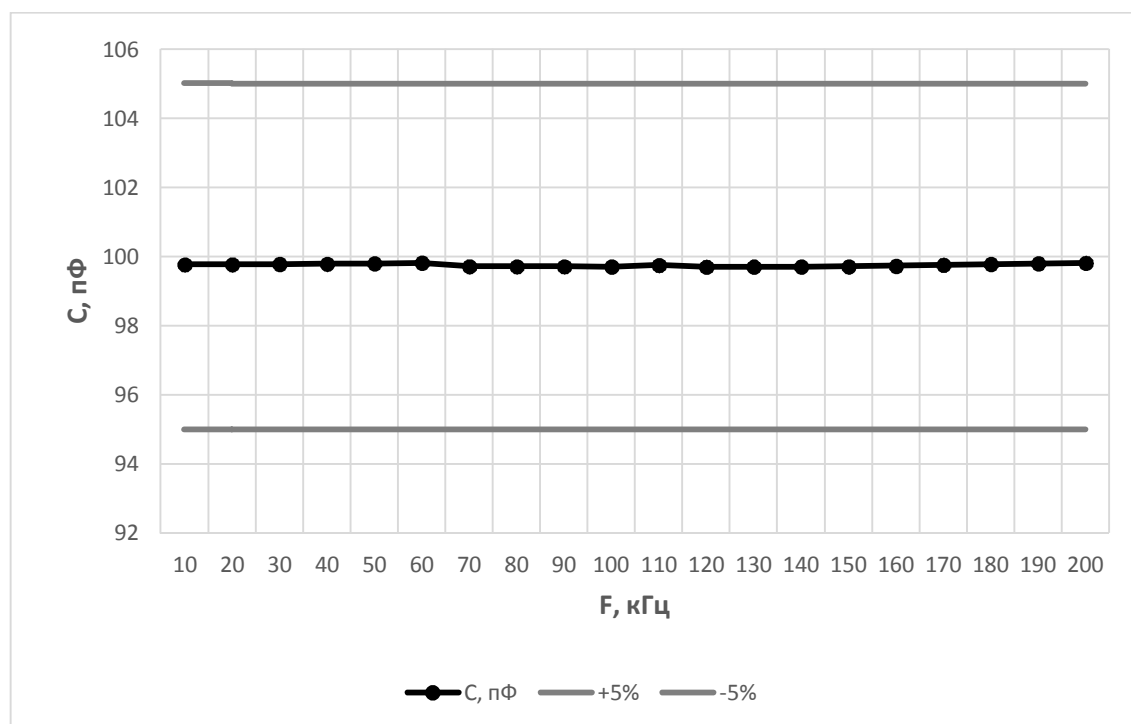


Рисунок 3. Зависимость емкости C микроэлемента с номинальным значением 100 пФ от частоты.

В диапазоне частот от 10кГц до 200кГц при измерении емкости микроэлементов с номинальным значением 100 пФ изменения емкости по диапазону частот не наблюдалось. Измеренные значения емкости всех элементов хорошо согласуются с номинальным значением. Отклонения измеренных значений емкости микроэлементов от номинального значения составили не более 1,5%. На рисунке 3 прямыми линиями ограничен возможный диапазон изменения номинального значения ($\pm 5\%$).

Измерения емкости двух микроэлементов с номинальным значением 100нФ, проведенные в диапазоне частот от 10кГц до 200кГц, показали незначительное уменьшение емкости по диапазону: 7,1% для одного микроэлемента и 6,4% - для другого.

Достоверность полученных результатов была проверена проведением трех контрольных измерений для микроэлементов с номинальными значениями 3,3 кОм, 33 нГн, 100 нФ. Эти измерения показали хорошую повторяемость результатов.

Основные физические свойства ферритов. В работе проведен теоретический анализ самопроизвольной атомной магнитной структуры ферритомангнетиков, строения различных типов ферритов, их магнитных свойств, таких, как магнитная восприимчивость и относительная магнитная проницаемость, зависимость этих величин от напряженности внешнего магнитного поля и от частоты, магнитных потерь ферритов на высоких частотах, методов измерения магнитной проницаемости.

Экспериментальное исследование магнитной проницаемости ферритов в диапазоне частот от 50 Гц до 200 кГц. Для разработки методики определения магнитной проницаемости ферритовых колец была рассчитана типовая схема моста переменного тока для измерения индуктивности. Получено выражение для определения магнитной проницаемости по измеренному значению индуктивности.

$$\mu = \frac{L2\pi r_{cp}}{\mu_0 N^2 S}$$

Индуктивность трех ферритовых колец с обмоткой измерялась прецизионным измерителем LCR типа HAMEG HM8118 в диапазоне частот от 50 Гц до 200 кГц. В качестве примера на рисунке 4 представлена зависимость индуктивности одного из ферритовых колец от частоты.

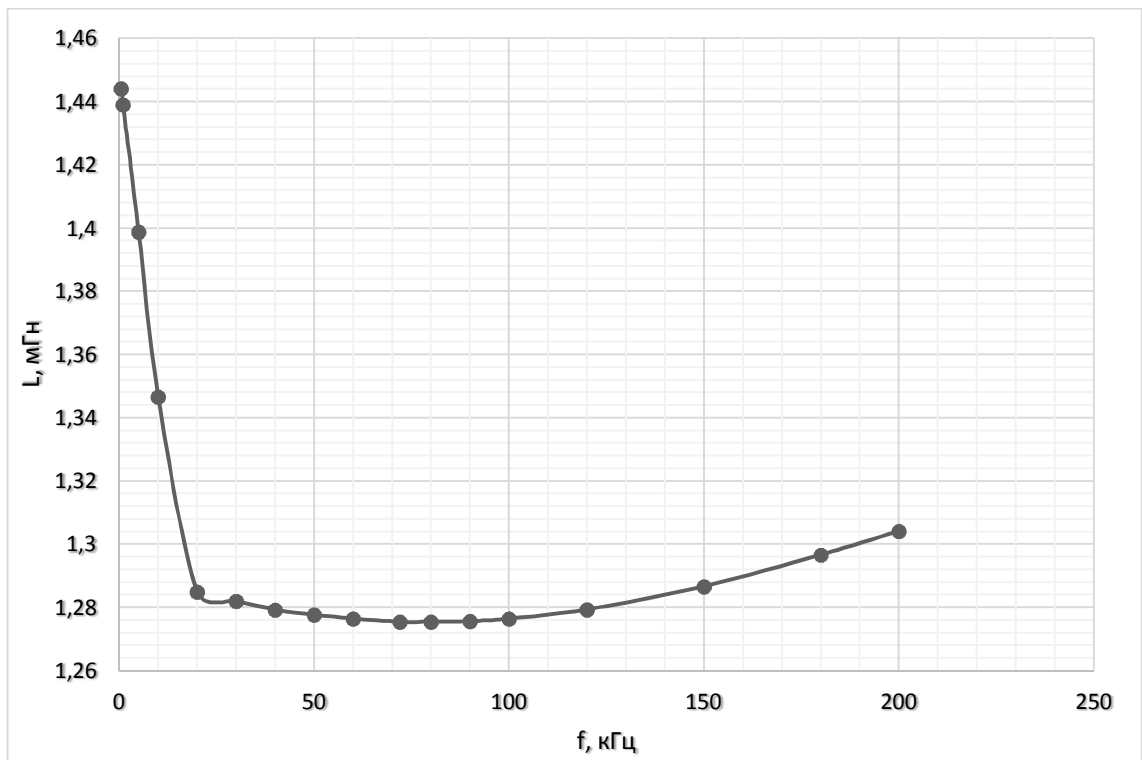


Рисунок 4. Зависимость индуктивности ферритового кольца №1 от частоты

По полученным значениям индуктивности рассчитывалась магнитная проницаемость. В качестве примера на рисунке 5 представлена зависимость от частоты магнитной проницаемости одного из ферритовых колец.

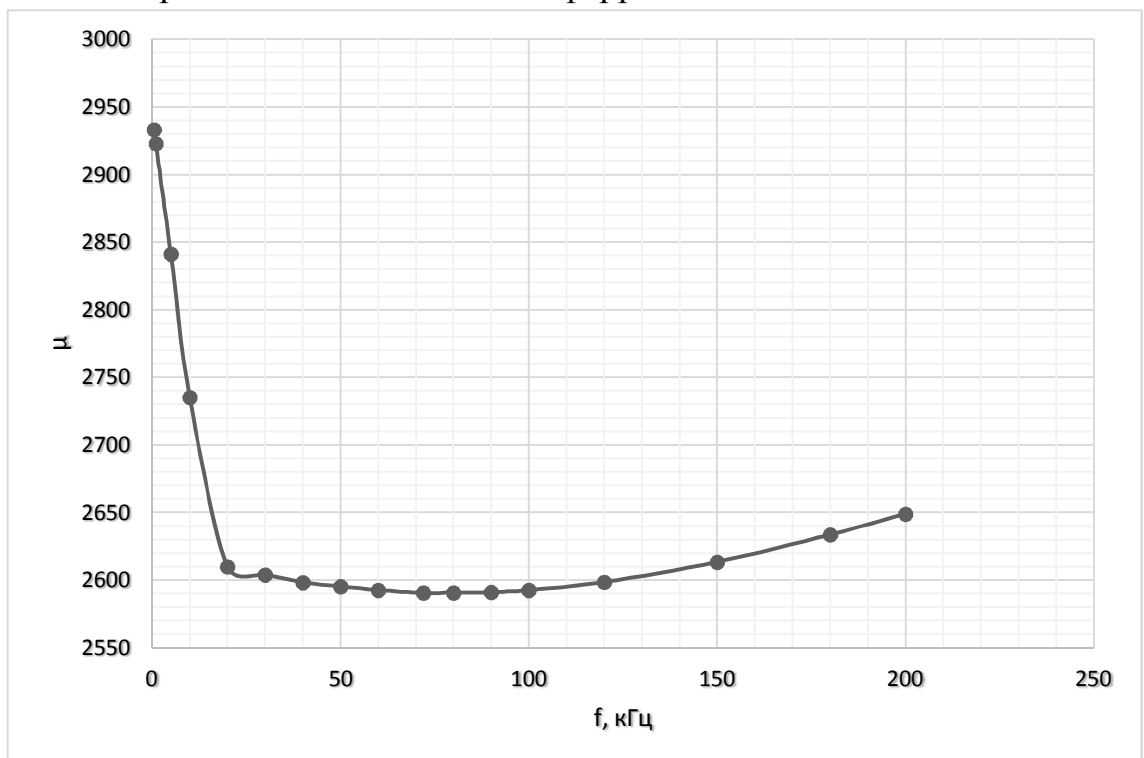


Рисунок 5. Зависимость от частоты магнитной проницаемости ферритового кольца №1.

Магнитная проницаемость феррита уменьшается с увеличением частоты. Это объясняется тем, что с увеличением частоты растут магнитные потери феррита. В ферритах, удельное сопротивление которых достаточно велико потери на вихревые токи малы, потери на гистерезис в магнитомягких ферритах в слабых магнитных полях также являются незначительными. Потери в ферритах на высоких частотах главным образом определяются инерционностью смещения доменных границ.

На высоких частотах инерционность смещения доменных границ приводит не только к увеличению магнитных потерь, но и к уменьшению магнитной проницаемости μ . На критической частоте наблюдается значительное уменьшение магнитной проницаемости μ .

Потери в ферритах характеризуются тангенсом угла магнитных потерь. Чтобы определить частотный диапазон, в котором может использоваться феррит, вводят понятие критической частоты $f_{кр}$. Как правило под $f_{кр}$ понимают такую частоту при которой $tg \delta_m$ принимает значение 0,1.

Были определены критические частоты всех трех ферритовых колец.

По величине начальной магнитной проницаемости были определены марки исследуемых ферритов: 3000НМ (кольца №1 и №3), 4000НМ (кольцо №2).

Для контроля были проведены измерения индуктивности катушки, сердечник которой представлял кольцо, изготовленное из феррита марки М2000НМ1 (термостабильный магнитомягкий марганец-цинковый феррит). Магнитные свойства этого феррита: начальная магнитная проницаемость $\mu_n = 2000$, максимальная магнитная проницаемость $\mu_{макс} = 3500$, критическая частота $f_{кр} = 500$ кГц, граничная частота $f_{гр} = 1500$ кГц.

Контрольные измерения показали, что величина магнитной проницаемости этого ферритового кольца $\mu = 3052,3$, измеренная на частоте $f = 0,05$ кГц, в диапазоне от 0,05 кГц до 200 кГц практически не изменяется (изменения маг-

нитной проницаемости составили всего 1,45%). Полученный результат соответствует действительности, так как критическая частота этой марки феррита $f_{кр} = 500$ кГц, находится за пределами исследуемого диапазона частот.

Для проверки достоверности полученных результатов индуктивность измеренных ферритовых колец с обмоткой измерялась прибором «Измеритель LCR универсальный E7-11». Полученные величины индуктивности, добротности, магнитной проницаемости и тангенса магнитных потерь с помощью приборов «Измеритель LCR универсальный E7- 11» и «Измеритель LCR типа НМ 8118» компании Rohde&Schwarz находятся в хорошем соответствии друг с другом.

Заключение

В работе показано, что разработанная методика измерения параметров микроэлементов с использованием прецизионного измерителя *LCR* типа *HAMEG HM 8118* может быть с успехом применяться на производстве для предварительного неразрушающего контроля параметров микроэлементов, используемых в магниточувствительных микросхемах.

В работе разработана методика исследования магнитной проницаемости ферритов в диапазоне частот от 50 Гц до 200 кГц с использованием прецизионного измерителя *LCR* типа *HAMEG HM 8118*. Определены магнитные проницаемости исследуемых ферритовых колец, критические частоты и марки ферритов.

Программируемый измеритель *LCR* типа *HM 8118* компании *Rohde & Schwarz* планируется использовать в учебном процессе при обучении бакалавров и магистров в общем физическом и специальном практикумах.

Результаты, полученные в ходе выполнения выпускной квалификационной работы, опубликованы в статьях:

1. Страхова Л.Л., Игнатьев А.А., Гунствин А.В., Васильев А.В. Методика экспериментального исследования параметров микроэлементов магниточувствительных микросхем в диапазоне частот // Гетеромагнитная микроэлектроника. 2016. № 20. С. 72-80.

2. Гунствин А.В., Страхова Л.Л., Игнатьев А.А. Экспериментальное исследование параметров микроэлементов магниточувствительных микросхем в диапазоне частот // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2016: материалы 4-ого Международного симпозиума и 20-ой Международной молодежной научной школы Saratov Fall Meeting 2016 /под ред. Г.В.Симоненко, В.В.Тучина. Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2016. С. 138-142. ISBN 978-5-98116-214-5.

3. Гунствин А.В., Саяпин К.А., Страхова Л.Л., Игнатъев А.А. Методика исследования магнитной проницаемости ферритов в диапазоне частот // Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2015: материалы 3-его Международного симпозиума и 19-ой Международной молодежной научной школы» Saratov Fall Meeting 2015 / под ред. Г.В.Симоненко, В.В.Тучина.Саратов: изд-во «Новый ветер»,2015. С.108-112. ISBN 978-5-98116-191-9.