

УТВЕРЖДАЮ

директор СФИРЭ

им. В.А. Котельникова РАН,

д-р физ.-мат. наук, проф.



[Handwritten signature]

Филимонов. Ю.А.

«25» *сентября* 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Орлова Андрея Андреевича

«Измерение параметров источников неоднородного магнитного поля в нестационарных условиях преобразователями Холла»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Разработка метаматериалов и устройств функциональной электроники, включающих в себя источники неоднородного магнитного поля, требует применения инструментов, позволяющих измерять параметры таких источников. В этой связи, диссертация Орлова А.А., посвященная методам измерения магнитных полей с помощью тонкопленочных преобразователей Холла и определению параметров источников магнитного поля по результатам обработки этих измерений, является **актуальной**. Основная **цель работы** – разработка методов увеличения точности и быстродействия измерения параметров источников магнитного поля в нестационарных условиях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 84 наименований, трех приложений. Работа содержит 38 рисунков и 1 таблицу, полный объем диссертации с приложениями – 148 страниц.

Во *введении* описываются цель и задачи исследования, обосновывается его актуальность, отмечаются научная и практическая значимость работы, формулируются положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* дан обзор методов измерения магнитного поля, среди которых более подробно рассмотрены эффект Холла и ядерная-магнитная

релаксация. Сформулирована проблема определения параметров источников магнитного поля в виде обратной магнитостатической задачи.

Вторая глава посвящена исследованию явлений, ограничивающих точность и быстродействие измерений холловского магнитометра. Рассмотрены соотношения взаимности и их экспериментальная проверка для преобразователя Холла в нестационарных условиях.

В *третьей главе* описаны методы увеличения точности и быстродействия магнитных измерений преобразователями Холла.

Четвертая глава посвящена методам обработки результатов измерений распределений вектора магнитного поля различных источников с целью определения их параметров. Подробно рассмотрен случай намагниченных пластин и поверхностного распределения токов.

В *заключении* представлены основные результаты, полученные в ходе исследования.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа Орлова А.А. выполнена на высоком научном уровне, о чем, в частности, свидетельствует большое число публикаций с результатами диссертации в рецензируемых изданиях (18 статей в изданиях индексируемых Web of Science и Scopus), в том числе высокорейтинговых. При этом применение соискателем современных средств и методов измерений и многократное проведение экспериментов с воспроизводимыми результатами определяет **достоверность** приводимых данных, а хорошее соответствие между экспериментальными данными и результатами численного моделирования подтверждает **обоснованность** сделанных выводов. Все полученные результаты являются **новыми** и представляют научно-практический интерес.

К **наиболее значимым научным результатам** диссертационной работы можно отнести следующие.

1. Впервые получено соотношение взаимности для нелинейного нестационарного многополюсника в неоднородном внешнем магнитном поле. Экспериментально подтверждено выполнение этого соотношения с достаточно высокой относительной точностью (10^{-3} в полях $\sim 10^{-4}$ Тл на преобразователе Холла ПХЭ602117А).
2. Разработан новый алгоритм коммутации тока для холловского тонкопленочного преобразователя, позволяющий существенно снизить зависимость смещения показаний от температуры (для преобразователя ПХЭ602117А с уровня 33 нТл/К до 1 нТл/К при частоте получения отсчетов магнитометра 125 отсчетов/с, пороге чувствительности к магнитному полю не хуже 2 нТл и времени накопления 5 с).

3. На основе квантовой модели ферромагнетика (на примере, α -Fe) разработан метод моделирования магнитных микроструктур, позволяющий описать изменение магнитных свойств под действием деформаций.

Практическая ценность работы определяется следующим.

1. Результаты исследования соотношений взаимности в тонкопленочных преобразователях Холла могут быть использованы при проектировании устройств микроэлектроники для устранения систематических погрешностей измерений с использованием алгоритмов коммутации токов.
2. Метод расчета системной функции тонкопленочного преобразователя Холла может быть использован для проектирования элементов функциональной электроники.
3. Разработанный метод коммутации тока может быть использован для уменьшения погрешности измерений холловских магнитометров.
4. Методы, разработанные в ходе работы с холловским магнитным микроскопом, могут представлять интерес при разработке устройств для дефектоскопии.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертации, несомненно, представляют интерес для организаций, занимающихся проектированием холловских магнитометров. Кроме того, данная работа может быть полезна организациям, активно использующим магнитные системы (ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, ВНИИФТРИ, НИИЭФА им. Д.В. Ефремова и др.), а также организациям, проводящим исследования материалов с магнитными свойствами (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИФМ УрО РАН, Институте физики твердого тела РАН, ВолГТУ и др.) и земного геомагнетизма (ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина и др.). Материалы диссертации рекомендуется также использовать образовательным учреждениям при подготовке специалистов соответствующего профиля.

Имеющиеся **замечания** к диссертации связаны с некоторой небрежностью в ее оформлении и представлении материала:

1. Встречаются опечатки и смысловые несогласованности, имеются «обрезанные» рисунки и рисунки с трудночитаемыми символами, что отчасти затрудняет чтение диссертации и понимание изложенного в ней материала.
2. Некоторые выводы, приводимые в диссертации, могли бы быть более наглядными при использовании дополнительных графических материалов. Например, в конце раздела 2.5.2 соискатель делает

следующие выводы: «Амплитуда переходного процесса напряжения Холла зависит от тока через преобразователь Холла линейно с точностью не хуже 10%» и «Характерное время затухания и амплитуда процесса сильно зависят от того, как отводится тепло от преобразователя и от длительности такта», однако соответствующих зависимостей не приводит.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Работа представляет собой завершённое исследование. Положения, выносимые на защиту, хорошо подкреплены экспериментальными и расчетными данными и не вызывают сомнений. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Таким образом, диссертационная работа «Измерение параметров источников неоднородного магнитного поля в нестационарных условиях преобразователями Холла» отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., №842, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Орлов Андрей Андреевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Орлова А.А. и отзыв на нее заслушаны и обсуждены на заседании ученого совета СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 25 сентября 2019 г.

Отзыв составили

Ведущий научный сотрудник
лаборатории магнитоэлектроники СВЧ
СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
канд. физ.-мат. наук,
Адрес: 410019 Саратов, ул. Зеленая, д. 38
email: khivintsev@gmail.com



Хивинцев Юрий Владимирович

Ведущий научный сотрудник
лаборатории магнитоэлектроники СВЧ
СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
канд. физ.-мат. наук,
Адрес: 410019 Саратов, ул. Зеленая, д. 38
email: vysotsk@gmail.com



Высоцкий Сергей Львович