

Отзыв

официального оппонента Костромина Сергея Александровича на диссертацию Павленко Антона Владимировича «Многофункциональные цифровые интеграторы для прецизионных измерений магнитных полей в элементах ускорителей», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Диссертация посвящена разработке и использованию цифровых интеграторов для прецизионного измерения параметров магнитных полей в структурных элементах ускорителей с помощью индукционного метода.

Магнитные измерения в элементах ускорителей являются одним из ключевых этапов, как при их строительстве, так и во время эксплуатации.

Методики магнитных измерений на основе индукционного метода известны довольно давно, однако их реализация, включая аппаратную базу и программное обеспечение, постоянно совершенствуется. Качество магнитного поля структурных элементов сильно влияет на физику работы ускорителя. В связи с этим актуальность диссертации, не вызывает сомнения.

Научная новизна работы и практическая ценность результатов

В работе проведено теоретическое исследование возможностей использования аналого-цифровых преобразователей для построения систем магнитных измерений.

Выполнен анализ погрешностей цифрового интегрирования, что позволило определить предельные возможности метода. В результате были сформулированы требования к структуре и элементам цифровых интеграторов, обладающих минимальной методической погрешностью как для медленно меняющихся, так и широкополосных сигналов.

Впервые предложено использовать интеграторы, включающие в себя три ключевых элемента: быстродействующий аналоговый ключ, фильтр низких частот и прецизионный АЦП.

Определены факторы, ограничивающие разрешающую способность метода с точки зрения шумов при временах интегрирования от единиц до десятков секунд.

Практическую значимость результатов подчеркивает факт успешной эксплуатации разработанной аппаратуры в составе различных систем для измерения характеристик импульсных и постоянных магнитов. Стенды применялись для исследования и серийного производства магнитных элементов канала К-500 и ВЭПП-2000 (ИЯФ), линз, дипольных магнитов и септум-магнитов комплекса NSLS-II (BNL, США), линз для MAX IV LAB (Швеция), импульсных дипольных магнитов для источника СИ PETRA III (DESY, Германия). Кроме того, интеграторы VsDC2 и VsDC3 применяются в стационарных системах контроля импульсных магнитов на комплексах ВЭПП-2000, ВЭПП-3 и в канале К-500 (ИЯФ), в каналах впуска/выпуска 3 ГэВ бустера в Brookhaven National Laboratory.

Успешное использование оборудования подтверждает достоверность полученных результатов.

Благодаря предложенным автором решениям, разработанная электроника обладает лучшей величиной шума интегралов в диапазоне времён интегрирования от единиц микросекунд до десятков миллисекунд по сравнению с функционально близкими устройствами ведущих мировых производителей.

Общая характеристика и содержание работы

Во введении дается краткий обзор различных методов магнитных измерений, выделяется уникальность свойств индукционного метода для ускорительной техники, кратко рассматриваются подходы для построения специализированной аппаратуры – интегрирующих измерителей, необходимых для измерений индукционным методом. Обсуждается актуальность диссертационной работы, формулируются её цели и приводятся положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится обзор различных способов измерения параметров магнитного поля в структурных элементах ускорителей с помощью индукционного метода. Рассматриваются подходы для создания интегрирующих измерителей и обсуждается набор параметров, характеризующих такие устройства.

В итоге, формулируются требования к «универсальному» интегратору с рекордно низким уровнем ошибки интегрирования.

Во второй главе рассматриваются причины методической погрешности цифрового интегрирования. Погрешности представления интеграла сигнала суммой цифровых отсчетов, вызванные дискретизацией сигнала во времени, рассматриваются с использованием спектрального представления. Приводятся основные результаты, и формулируется структура цифрового интегратора, в которой можно минимизировать вклад рассмотренных ошибок. Далее, рассматривается вклад в погрешность цифрового интегрирования ошибок, возникающих при преобразовании дискретных выборок в цифровой код, особое внимание уделяется анализу зависимости шума интегралов от времени интегрирования, как одной из основных характеристик такого типа устройств.

Третья глава посвящена созданию многофункциональных цифровых интеграторов VsDC2 и VsDC3. Приводится анализ предложенных схмотехнических решений, и выявляются факторы, влияющие на параметры устройств. Далее представлены основные характеристики разработанных устройств.

В четвёртой главе описаны примеры систем магнитных измерений на основе индукционного метода, в которых используются разработки автора. Рассматривается структура универсального стенда для измерения параметров импульсных магнитов на этапе их производства.

Описаны стационарные системы контроля стабильности поля в импульсных магнитах, эксплуатируемые на ускорительных комплексах ВЭПП-2000 и К-500 (ИЯФ СО РАН) и в бустере источника СИ NSLS-II (BNL, США).

Рассмотрена широкополосная система подавления пульсаций основного поля для комплекса ВЭПП-4М. Система строится на основе интегратора VsDC3 и позволяет обеспечить уровень пульсаций в полосе 0 – 50 Гц и долговременной стабильности, близкой к 10^{-7} . В заключительном разделе главы описан стенд для измерения параметров

мультипольных линз с постоянным полем на основе метода вращающихся катушек, обладающий уникальным соотношением высокой скорости измерения (6 сек. для определения всех параметров линзы) и рекордно низкого уровня шума ($\sim 5 \cdot 10^{-7}$) при измерении гармоник поля.

В пятой главе анализируются пути расширения возможностей цифровых интеграторов в области больших времен интегрирования – десятков и сотен секунд. В главе приведены теоретические исследования связи спектральных характеристик шума сигнального тракта устройства с шумом интеграла. На основе этих исследований формулируются предложения по дальнейшему развитию цифровых интеграторов и приводятся предварительные результаты уменьшения шума в измерениях с большой длительностью процессов.

В заключении формулируются основные результаты диссертационной работы.

Замечания и недостатки

1. Выводы в явном виде приедены только к Главе № 2.
2. На стр.39 при описании основных этапов процедуры измерения интеграла в пункте №3 указано, что необходимо суммировать выборки после размыкания ключа, однако, не очень понятно, какое количество выборок необходимо просуммировать. Кроме того, в дальнейшем рассмотрении шума интеграла, вклад от суммы этих дополнительных выборок не анализируется.
3. На рис.3.2. приведена амплитудно-частотная характеристика цифрового фильтра, из которой следует, что его полоса равна 250кГц, однако в тексте фигурирует значение 125кГц.
4. В последнем разделе 4й главы рассматривается система, в которой реализовано непрерывное вращение вала и делается акцент на возможностях интегратора с точки зрения жесткой синхронизации интервала интегрирования – приводится схема коммутации каналов для реализации непрерывного интегрирования. Однако, необходимо обеспечить еще и хорошую привязку измерения угла, про требования к параметрам угломера практически ничего не сказано.
5. В тексте диссертации встречается несогласованность при нумерации формул, рисунков и таблиц, например, таблица 4.5 отсутствует, а номер рисунка Б.2 встречается дважды, отсутствуют единицы измерения в подписи к оси абсцисс на графике Рис 4.4 стр.70. Также в работе встречаются выражения, не соответствующие тексту технического документа: «ужесточение допусков», «выявлены основные подводные камни».

Однако, эти замечания не являются принципиальными и не снижают общего впечатления и оценки работы.

Тема работы, несомненно, актуальна учитывая требования к качеству полей структурных элементов современных ускорителей, а также растущие технологические

возможности при их производстве. Диссертация является законченным трудом и решает задачи, имеющие важное значение для физики пучков заряженных частиц и техники ускорителей.

Главным результатом работы является создание систем магнитных измерений использованных для серийного производства элементов действующих ускорителей, а также использование разработанных интеграторов в системах контроля импульсных магнитов.

Работа представляет несомненный научный интерес и практическую полезность, написана ясным языком, содержит необходимые иллюстрации и библиографию. Автореферат соответствует содержанию.

Работа выполнена на высоком профессиональном уровне, удовлетворяет всем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Павленко Антон Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, начальник Научно-экспериментального отдела сверхпроводящих магнитов и технологий отделения №1 Лаборатории физики высоких энергий

Сергей Александрович Костромин

Объединенный институт ядерных исследований,
141980, РФ, Московская область, г.Дубна, ул.Жолио-Кюри, 6
e-mail: kostromin@jinr.ru

Подпись С.А. Костромина заверяю:

Ученый секретарь Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований



к.ф.-м.н. Д.В. Пешехонов

12 мая 2015г.