



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
ФНЦ «Курчатовский институт»
/ М.А. Камболов/

Отзыв

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» на диссертационную работу 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

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Современные требования к точности измерений быстропеременных и стационарных магнитных полей способствуют появлению не просто измерительной аппаратуры с новыми схемными решениями и на новых электронных компонентах, но и глубоких теоретических обоснований возможных ошибок измерений. Диссертационная работа А.В.Павленко посвящена решению задач, возникающих при разработке, создании и внедрении современных интегрирующих устройств (интеграторов) для магнитных измерений на основе так называемого индукционного метода. Достижения современной электроники делают привлекательным построение интеграторов на основе аналого-цифровой техники, что создаёт предпосылки для достижения нового, более высокого качества магнитных измерений элементов ускорителей. В этой связи актуальность диссертации не вызывает сомнения.

НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Из полученных в работе А.В. Павленко результатов крайне важными представляются теоретические исследования цифровых методов интегрирования сигналов, позволившие получить аналитические выражения, определяющие принципиальные погрешности цифрового интегрирования. Эти теоретические исследования стали основой для добротной схмотехнической реализации многофункциональных цифровых интеграторов VsDC2 и VsDC3 (Volt-second-to-Digital Converter).

Не менее существенна практическая ценность работы. Созданы действительно многофункциональные приборы, которые могут применяться для измерений как импульсных, так и стационарных магнитных полей. Судя по характеристикам, представленным в диссертационной работе, эти приборы находятся на уровне лучших мировых достижений. На основе новых цифровых интеграторов изготовлено несколько

электронных стендов для измерения характеристик импульсных и постоянных магнитов. Стенды применялись для серийных исследований при производстве в ИЯФ СО РАН магнитных элементов канала К-500 и коллайдера ВЭПП-2000 (ИЯФ СО РАН); линз, дипольных магнитов и септум-магнитов комплекса NSLS-II (BNL, USA); линз для MAX IV LAB (Lund, Sweden); импульсных дипольных магнитов для источника СИ PETRA III (DESY, Germany).

Кроме того, созданные диссертантом приборы в настоящее время применяются в стационарных системах контроля и управления импульсных магнитов на комплексах ВЭПП-2000, ВЭПП-3 и в канале К-500 (ИЯФ СО РАН), в каналах впуска/выпуска 3 ГэВ бустера (BNL, USA).

Успешная работа созданных А.В.Павленко устройств в ускорительных центрах России и за рубежом, а также высокое качество магнитных элементов ускорителей, изготовленных при активном участии диссертанта, свидетельствуют о точности и надежности работы нового оборудования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа А.В. Павленко состоит из Введения, пяти глав, Заключения, двух Приложений и списка литературы из 56 наименований.

Во Введении обсуждаются различные методики магнитных измерений, применяемых в ускорительной технике, и отмечаются уникальные свойства индукционного метода. Обосновывается актуальность работ по совершенствованию аппаратуры для реализации этого метода. Формулируются цели диссертации и положения, выносимые на защиту.

В главе 1 отмечается, что задачи по измерению магнитных полей в элементах ускорителей, решаемые с помощью индукционного метода, разбиваются на две группы: импульсные измерения и измерения магнитных элементов с постоянным полем. Далее описываются наиболее показательные примеры таких задач и формулируются требования к современной аппаратуре для магнитных измерений. Во второй части главы описываются несколько возможных схем построения интегрирующих измерителей и делается вывод, что перспективным является метод цифрового интегрирования.

Основываясь на материалах данной главы, диссертант ставит перед собой весьма сложную задачу: разработать такой «универсальный» интегратор, который может применяться не только для измерения большинства магнитных элементов современных ускорителей, но и обладать некоторым запасом по точности измерения (минимизация шума) и продления времени интегрирования на будущее.

Глава 2 посвящена теоретическим аспектам метода цифрового интегрирования. В первом разделе данной главы рассматриваются погрешности цифрового интегрирования, связанные с дискретизацией. Диссертант выполнил этот анализ на высоком профессиональном уровне, что позволило ему получить аналитические соотношения, демонстрирующие причины ошибок цифрового интегрирования. Как результат, были сформулированы требования к структуре и элементам сигнального тракта цифровых интеграторов. Второй раздел главы посвящен достаточно сложному анализу шума

интегралов. В итоге этого анализа определены факторы, ограничивающие разрешающую способность метода с точки зрения шумов при больших временах интегрирования.

В главе 3 рассматриваются схемотехнические решения цифровых интеграторов VsDC2 и VsDC3, в которых реализован рассмотренный ранее принцип цифрового интегрирования. В материалах главы описаны оригинальные решения, позволившие получить не уступающие мировому уровню рабочие характеристики интегрирующих устройств. Полученные характеристики описываются достаточно подробно. Среди них автор выделяет важнейший, по его мнению, показатель качества интегратора – зависимость шума интеграла от времени интегрирования. Отметим несомненное лидерство разработок диссертанта по этому показателю среди известных приборостроительных компаний мира.

В главе 4 представлены примеры систем магнитных измерений, построенных с использованием разработок диссертанта. Рассматривается структура универсального стенда для измерения параметров импульсных магнитов и применение интеграторов VsDC2 и VsDC3 в стационарных системах контроля импульсных полей на ускорительном комплексе ВЭПП-2000, в бустере источника СИ NSLS-II (BNL, USA) и канале транспортировки частиц К-500. Возможности аппаратуры уверенно обеспечивают необходимое качество измерения импульсных магнитных полей. В последнем разделе главы описан стенд для измерения параметров мультипольных линз с постоянным полем. Благодаря предложениям автора, реализованным в этом стенде, применение индукционного датчика с компенсацией дипольной и квадрупольной компонент магнитного поля и использования интегратора VsDC3, достигнут рекордно низкий уровень шума при измерении амплитуд гармоник поля до 15-ой гармоники включительно.

Глава 5 – ещё один теоретический раздел диссертации. В нём рассматривается влияние спектральных характеристик шума сигнального тракта прибора на шум интеграла при больших временах интегрирования. Достижение «хороших» характеристик при интегрировании процессов с длительностью в десятки секунд позволит сделать прецизионную аппаратуру, способную решать предельно широкий набор задач по измерению магнитов ускорителей с помощью индукционного метода. Содержание этой главы показывает, что для диссертанта является ясным направление развития дальнейших перспективных разработок.

В Заключении формулируются результаты работы, суть которых изложена выше в разделе «Новизна результатов и практическая ценность»

ЗАМЕЧАНИЯ

1. В разделе 1.1.2 «Измерение пространственных характеристик поля в импульсных магнитах», стр.15 обсуждаются требования к стабильности синхронизации моментов старта/стопа интегратора относительно временного интервала существования измеряемого магнитного поля. Приведённое обоснование величины нестабильности в 10 нс выглядит искусственным и несколько завышенным. Видимо, более естественным было написать, что, при использовании современной компонентной базы нестабильность синхронизации в пределах несколько наносекунд не является серьёзной проблемой, что и было показано, см. Таблицу 3.4, стр.65.

2. Раздел 2.2, «Влияние шума электроники», стр.42, 43. Автор не придерживается однозначного определения вводимых в тексте величин, называя их по-разному, например - спектр мощности шума, спектральная плотность мощности шума...

3. Раздел 3.2.2, «Входные цепи». При оценке номиналов входных сопротивлений интегратора, исходя из допусков на величины спектральной плотности шума его входных цепей, стр.53, вводится три разных обозначения для одних и тех же сопротивлений (в схеме входного усилителя на рис. 3.6 и в формулах на стр.53 и 54). Это несколько затрудняет понимание конечных выводов, приведенных в Таблице 3.2., стр.54.

4. Раздел 3.2.2, «Входные цепи». Показанные на рис.3.7 нелинейные искажения выходного напряжения усилителя ADA4898, судя по графику, существуют не только при больших входных сигналах, но и при напряжениях с амплитудой не более 1 В, с максимумом в «нуле» сигнала.

5. В разделе 3.3. графики зависимости шума интеграторов от времени интегрирования Рис.3.15 (стр.64), важные для демонстрации сравнительных возможностей приборов, имело бы смысл привести в крупном, более читаемом масштабе.

6. В разделе 4.1.2 было бы полезно привести описание, как калибровалась матрица изогнутых печатных катушек для измерения Septum-магнитов бустера NSLS-II.

7. В разделе 4.4 на стр.87 в 3-м абзаце следует, видимо, читать «Rref = 25 мм», а не 25 см, как в тексте.

8. В сложноподчиненных предложениях относительно часто либо не хватает пунктуации, либо она употребляется избыточно.

9. В автореферате, раздел «Научная новизна», отмечается, что «исследованы теоретически и экспериментально структурные и схемотехнические решения цифровых интеграторов, определяющие принципиальные характеристики устройств...». Однако в соответствующем разделе диссертационной работы (раздел 3.2, «Схемотехнические решения») суть этих исследований изложена крайне лаконично и, в основном, приведены лишь их результаты в виде готовых схем.

10. Желательно было бы привести в диссертационной работе иерархию физических явлений, определяющих минимальный (предельный) уровень шума, как для трактов интеграторов, так и для цепей датчиков сигналов.

Однако, приведенные замечания ни в коей мере не снижают общего высокого уровня диссертационной работы А.В. Павленко.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что диссертация написана ясным языком, содержит необходимые для понимания текста иллюстрации, исчерпывающую библиографию.

Актуальность темы, научная новизна и практическая ценность работы не вызывают сомнения. В итоге работы, на основе полученных автором значимых теоретических результатов, разработаны приборы и измерительные системы, обладающими уникальными характеристиками. Полученные научные результаты и технические решения хорошо обоснованы, проверены на практике, полезны для специалистов и, несомненно, будут применяться в организациях, где создаётся и эксплуатируется ускорительная техника.

Работы диссертанта известны научной общественности и докладывались на Всероссийских и международных конференциях и совещаниях. Список научных работ, представляющих основные результаты диссертации, включает 10 публикаций, из которых три – в рецензируемых журналах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Презентация диссертации заслушана 20.04.2015 и поддержана на семинаре Курчатовского источника синхротронного излучения НИЦ КИ.

Диссертационная работа А.В.Павленко отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв подготовил
Заместитель руководителя ККСНИ
д. ф.-м. н.



В.Н. Корчуганов