

Мониторинг и управление пучками частиц в реальном времени

Рекомендации по применению

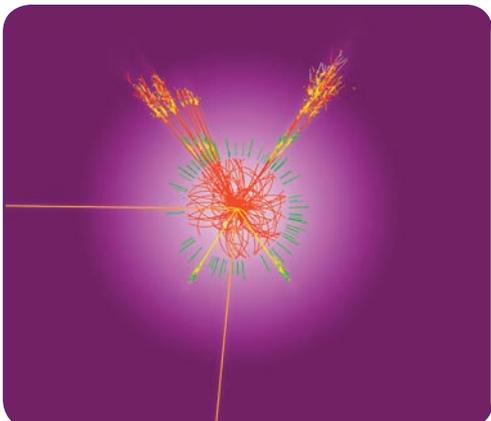
Высокопроизводительные дигитайзеры повышают качество пучка в сложных приложениях

Ускорители быстрых частиц помогают ученым исследовать природу вещества и происхождение вселенной. Типичные эксперименты включают тщательно контролируемые столкновения частиц в пересекающихся пучках или между пучком частиц и мишенью атомарного масштаба. Последующий анализ результатов может дать новые сведения о строении материи и взаимодействии между элементарными частицами, ответить на вопросы о свойствах частиц и темной материи и приоткрыть завесу над тайной возникновения вселенной более 13 миллиардов лет тому назад.

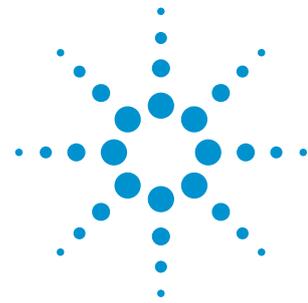
Организация столкновений частиц в нанометровом масштабе и длительностью в единицы пикосекунд требует чрезвычайной точности пространственного и временного управления. Такие исследовательские центры, как Европейская организация по ядерным исследованиям, более известная как CERN, и Австралийский синхротрон, широко применяют высокопроизводительные дигитайзеры Agilent Acqiris для достижения необходимого уровня точности, при котором можно выполнить больше измерений за меньшее время. Дигитайзеры Agilent выгодно отличаются высокой скоростью измерений, очень малыми значениями «мертвого времени» между выборками, превосходной достоверностью измерений, небольшими размерами и невысокой ценой.

Настоящие рекомендации по применению описывают создание пучков быстрых частиц, управление пучками частиц в принадлежащем CERN Большом адронном коллайдере (LHC) и управление электронными пучками, производящими световое излучение высокой интенсивности в Австралийском синхротроне¹. В конце рекомендаций приведены ссылки на дополнительную литературу, из которой можно больше узнать об этих организациях, их лабораториях, об истории синхротронов и многое другое.

¹ К адронам относятся протоны и нейтроны.



© Copyright CERN Женева.



Дигитайзеры Agilent Acqiris используются во всех точках планетарных исследований, помогая проводить исследования с применением различных типов ускорителей.

Ускорители элементарных частиц

- CERN (Швейцария)
- Лаборатория Ферми (США)

Источники света синхротронов

- Австралийский синхротрон (Австралия)
- SOLEIL (Франция)
- DIAMOND (Великобритания)
- ESRF (Франция)
- KEK (Япония)
- Брукхейвенская национальная лаборатория (США)
- SPring-8 (Япония)
- SLAC (США)
- DESY (Германия)

Ускорители тяжелых ионов

- GANIL (Франция)
- GSI (Германия)
- Брукхейвенская национальная лаборатория (США)



Agilent Technologies

Создание пучков быстрых частиц

Ускорители элементарных частиц отличаются разительным контрастом размеров. Например, LHC в CERN имеет окружность 27 км; тогда как характеристики пучка частиц измеряются нанометрами и пикосекундами.

Ускорители частиц бывают двух типов. Линейные ускорители или "linac" работают по прямой линии и – в связи с ограничениями по размеру – имеют ограниченную мощность. Синхротроны имеют кольцевую структуру и состоят из нескольких каскадов. В настоящее время самым мощными ускорителями являются синхротроны.

Чтобы проиллюстрировать структуру синхротрона, на рис. 1 показана упрощенная схема LHC. Ниже приведен краткий перечень использованных на рисунке сокращений в порядке их применения:

- Linac 2: линейный ускоритель протонов
- PSB: вспомогательный ускоритель протонного синхротрона
- PS: протонный синхротрон
- SPS: протонный суперсинхротрон
- LHC: большой андронный коллайдер

Процесс начинается в Linac 2, который генерирует пучок протонов с энергией 50 МэВ, поступающий в PSB. Здесь протоны ускоряются до 1,7 ГэВ и затем подаются в PS. PS ускоряет протоны до 26 ГэВ, после чего они поступают в SPS, который поднимает их энергию до уровня 450 ГэВ. Примерно через 20 минут протоны инжектируются в главное кольцо LHC. На этом последнем этапе протоны группируются, ускоряются до пиковой энергии 7 ТэВ и затем циркулируют в виде двух отдельных пучков, движущихся в противоположном направлении от 10 до 24 часов. Столкновения могут создаваться в четырех отдельных пересечениях, расположенных по окружности LHC.

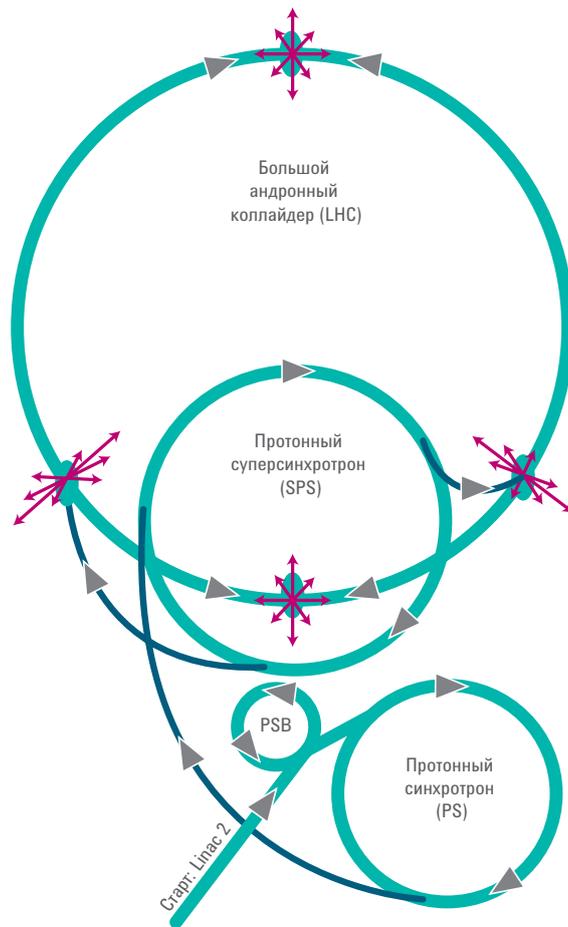


Рис. 1. Упрощенная схема многокаскадных синхротронов LHC, используемых для ускорения протонов.

Протоны группируются, ускоряются до пиковой энергии 7 ТэВ и циркулируют двумя отдельными пучками, движущимися в противоположных направлениях

Создание пучков быстрых частиц

В LHC каждый пучок перемещается в трубе, из которой откачан воздух до состояния сверхглубокого вакуума (рис. 2). Пучок направляется по кольцевому синхротрону сильным магнитным полем, создаваемым электромагнитами со сверхпроводящими обмотками. Электромагниты работают при температуре $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая поддерживается распределенной системой охлаждения, подающей жидкий гелий в многочисленные секции ускорителя. В ускорителе используются магниты трех типов: 15-метровые дипольные магниты (1232 шт.) используются для изгибания пучков, квадрупольные магниты длиной от 5 до 7 метров (392 шт.) фокусируют пучки, а перед каждой точкой столкновения стоит третий набор магнитов, которые используются для концентрации частиц с целью повышения вероятности столкновения.

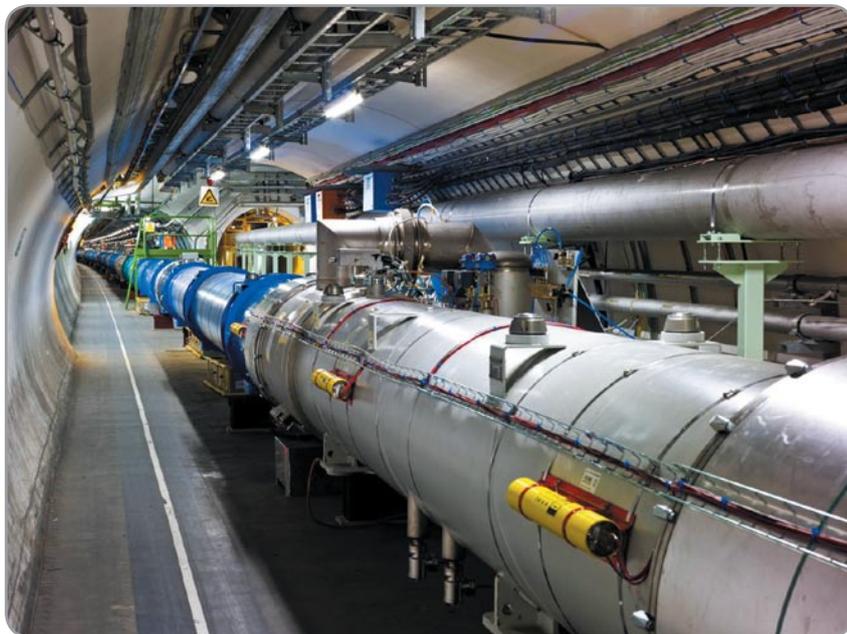


Рис. 2. Секция LHC внутри туннеля.
Публикуется с разрешения CERN. © Copyright CERN Женева.

Внутри этой огромной установки не создается непрерывного потока частиц. Напротив, такие частицы, как протоны, объединяются в «пачки», длительность (или «ширина») которых измеряется единицами пикосекунд. Такое пакетирование всегда применяется в высокочастотных ускоряющих системах для создания высоких градиентов ускорения внутри синхротрона. Пакеты, которые могут состоять из нескольких миллиардов протонов, движутся со скоростями, близкими к скорости света. В зависимости от длины окружности кольцевого ускорителя, длительность полного оборота составляет от нескольких сотен наносекунд до десятков микросекунд.

Измерение и мониторинг

Если взглянуть на это по-другому, то сами ускорители частиц являются ни чем иным, как гигантскими научными приборами. Они состоят из множества подсистем, от взаимосвязанных малых, средних и больших ускорителей до фотодетекторных диодов. Для измерения, мониторинга и контроля качества пучков используются комплексы традиционного измерительного оборудования. Одним из ключевых показателей качества пучка является фокусировка: точно сфокусированные пучки позволяют получить более высокие скорости столкновения и взаимодействия.

В типичном синхротроне или линейном ускорителе мониторинговое оборудование состоит из двух основных элементов: детектора и дигитайзера. Детектор определяет такие параметры, как интенсивность света или уровень энергии отдельных пачек. Подключенный к датчику дигитайзер преобразует аналоговый выходной сигнал детектора в цифровой сигнал, который затем анализируется и используется для формирования сигналов управления ускорителем. В некоторых случаях в приборной стойке используется ПК, который выполняет предварительную обработку данных перед отправкой результатов по локальной сети (ЛВС).

Пакеты состоят из нескольких миллиардов протонов и движутся со скоростями, близкими к скорости света.

Управление пучками частиц в LHC

Обладая окружностью 27 км, LHC является самым большим в мире ускорителем и коллайдером частиц. К тому же, он и самый мощный: в ноябре 2009 года он побил предыдущий рекорд в 1 ТэВ, а при выходе на расчетную мощность в 2010 году должен достичь энергии 7 ТэВ.

Исследователи будут использовать LHC для получения ответов на множество вопросов в области физики высоких энергий: Почему частицы имеют массу? Как возникла вселенная? Откуда взялась темная материя?

Как уже говорилось, LHC – это не автономный агрегат. Он питается от четырех других, работающих синхронно ускорителей – Linac 2, PSB, PS и SPS – последовательно повышающих уровень энергии протонов, которые затем инжектируются в LHC.

Управление цепью инжекции

Всеми этими процессами управляет центр управления CERN (ССС), который следит за работой всех восьми ускорителей. СССР объединяет все восемь постов управления в одном помещении (рис. 3). Кроме того, он управляет криогенными и техническими инфраструктурами лаборатории. Например, криогенная инфраструктура управляет охлаждением 1600 сверхпроводящих магнитов, расположенных по окружности LHC. Когда LHC работает на полной мощности, результаты измерений и моделирования создают поток данных в вычислительной сети LHC более 15 петабайт в год.¹

¹ 1 ПБ равен 10^{15} байтов

Переходя последовательно от Linac 2 на PSB, PS, SPS и на LHC, протоны ускоряются и формируются в два пучка, которые движутся в противоположных направлениях внутри LHC. Каждый пучок состоит примерно из 2808 «пачек», каждая из которых содержит до 100 миллиардов протонов. Пачки движутся со скоростью 99.9999991 % от скорости света – и на такой скорости одно прохождение окружности длиной 27 км занимает около 90 мкс.



Рис. 3. В главной диспетчерской СССР.
Публикуется с разрешения CERN. © Copyright CERN Женева.

LHC – самый
большой в мире
ускоритель частиц
с длиной окружности
27 км.

Управление пучками частиц в LHC

Производительность LHC зависит от производительности цепи инжекции. Для регистрации и отображения аналоговых сигналов вдоль этой цепи используется Открытая аналоговая система сбора информации (OASIS). Сигналы, поступающие от каждого ускорителя CERN, дискретизируются с помощью разного рода дигитайзеров.

Дигитайзеры установлены в одном месте с компьютерами предварительной обработки данных (FEC). Это позволяет без потерь передавать данные по сети Ethernet для отображения их на рабочей станции со специальным ПО виртуального осциллографа Vscore (рис. 4).

Vscore представляет собой программный осциллограф, который берет данные от различных дигитайзеров и отображает все сигналы, как если бы они поступали от аппаратных модулей одного типа. Благодаря такой схеме, персонал ССС может непосредственно сравнивать разные сигналы в цепи инжекции. Система OASIS выравнивает сигналы, обеспечивая осмысленное сравнение за счет синхронизации параметров всех аппаратных дигитайзеров.

Рис. 4. Экран Vscore системы OASIS показывает оборот пучка, подобный тому, что наблюдается в пучке LHC.

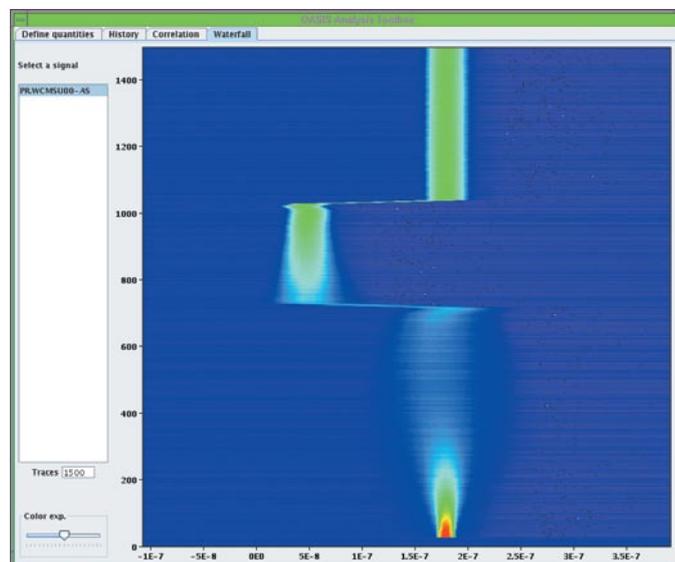
Регистрация сложных сигналов

Физики, использующие систему OASIS, имеют дело более чем с 2000 отдельных сигналов. Им приходится следить за множеством индикаторов, показывающих состояние LHC и всей инжекционной цепи: нестабильность протонных пучков, качество пучков, ток в импульсных магнитах («толкачах»), фазовые сдвиги между толкачами и состояние ВЧ сигналов в ускоряющих резонаторах. Все эти параметры помогают поддерживать оптимальные условия для проводимых экспериментов.

Когда пучки протонов движутся на околосветовых скоростях, критическую роль играет скорость измерения, и дигитайзеры должны обладать очень малым мертвым временем между измерениями. Это основная причина, по которой CERN использует в системе OASIS более 70 дигитайзеров Agilent Acqiris. Эти дигитайзеры установлены во всех ускорителях CERN.

В частности, CERN использует от одного до нескольких блоков восьми разных моделей Agilent Acqiris. Частота дискретизации этих моделей простирается от 500 Мвыб/с до 8 Гвыб/с с разрешением 8 или 10 битов по одному, двум или четырем каналам (см. цветную вставку). Все дигитайзеры имеют формат CompactPCI и установлены в базовые блоки cPCI вместе с FEC.

Эти высокопроизводительные дигитайзеры используются для широкополосного мониторинга пучка и контролируют прямые и обратные ВЧ сигналы в резонаторах ускорителя. В буквальном смысле мониторинг пучков стал возможен благодаря дигитайзерам Agilent U1064A, которые обладают достаточной скоростью и полосой для захвата интересующих сигналов. В ходе ВЧ измерений дигитайзеры Agilent измеряют прямую и отраженную энергию и, тем самым, помогают определять конечную энергию, передаваемую пучку в каждом обороте вдоль ускорителя.



Публикуется с разрешения CERN. © Copyright CERN Женева.

В ускорителях CERN установлено более 70 дигитайзеров Agilent.

Управление пучками частиц в LHC

Кроме того, дигитайзеры применялись в ходе исследований процессов взаимопревращений при захвате нейтронов, которые могут использоваться для преобразования радиоактивных веществ с большим периодом полураспада в материалы, распадающиеся быстрее. Точность этих экспериментов зависит от разрешения, с которым контролируется энергия нейтронов. Используя новую схему эксперимента, включающую банк из 70 каналов регистрации с дигитайзерами Agilent Acqiris, исследователи значительно расширили рамки прежних экспериментов и могут теперь наблюдать взаимодействия нейтронов с большей точностью и в более широком диапазоне энергий.

Глядя вперед

По мере того, как LHC будет выходить на проектный уровень мощности 7 ТэВ и начнет новую эру физических исследований, дигитайзеры Agilent Acqiris будут по-прежнему выполнять свою работу, помогая персоналу CERN использовать систему OASIS для мониторинга состояния взаимосвязанных ускорителей. Они могут делать это с полной уверенностью, зная, что очень малое мертвое время дигитайзеров позволит угнаться за пучками протонов, движущимися по окружности LHC с околосветовыми скоростями.

Дигитайзеры Agilent в CERN

Для ввода сигналов в систему OASIS использовались следующие высокоскоростные дигитайзеры cPCI:

- U1063A: четыре канала, 8 битов, от 0,5 до 1 Гвыб/с
- U1064A: четыре канала, 8 битов, от 1 до 4 Гвыб/с
- U1065A: четыре канала, 10 битов, от 2 до 8 Гвыб/с

Исследователи
расширили
рамки прежних
экспериментов
и могут наблюдать
взаимодействие
нейтронов более
детально

Управление электронными пучками в Австралийском синхротроне

Источники света синхротрона ускоряют электроны для создания излучения, занимающего спектр от инфракрасного и видимого света до рентгеновских лучей. Результирующие пучки фотонов создают уровень яркости, в миллион раз превышающий яркость солнца. Этот яркий свет используется для проведения экспериментов по получению изображений с помощью спектроскопии или дифракции в материаловедении, биологии и медицине в миллиметровом, микрометровом, нанометровом и субнанометровом масштабе.

Сегодня в мире используются три поколения источников света и ведется разработка источников четвертого поколения. Каждый тип дает свою форму излучения, подходящую для разных экспериментов и исследований. Проще говоря, каждое следующее поколение создает излучение более высокой энергии (с более короткой длиной волны) и более высокой яркости. Рискуя слишком все упростить, можно сказать, что исходный результат заключается в постоянном улучшении способности выполнять измерения с большим разрешением за меньшее время.



Рис. 5. Аэрофотоснимок Австралийского синхротрона в Мельбурне

Австралийский синхротрон относится к источнику света третьего поколения. Он оперирует энергиями 3,0 ГэВ с предполагаемой длительностью электронного пакета 20 пс. Номер гармоники накопительного кольца равен 360, а период обращения 720,5 нс (рис. 5 и 6).

Для получения высококачественного пучка в синхротроне используется технология, известная как мониторинг шаблона заполнения (FPM), которая применяется для измерения распределения интенсивности электронных пучков в накопительном кольце в реальном масштабе времени. Знание

профиля электронного заполнения очень важно для экспериментов, требующих точного пространственного и временного контроля. Для экспериментов, чувствительных к пространственным и временным характеристикам,

источник с известным профилем распределения интенсивности по времени позволяет анализировать влияние источника излучения на результаты.

Стандартная методика измерений использует монитор считывающего типа. В качестве примера такого монитора можно привести детектор, который для измерения напряжения, создаваемого пачками, проходящими через вакуумную камеру ускорителя, использует емкостную полосу.

Альтернативный подход заключается в определении и измерении излучения оптического синхротрона, создаваемого каждой пачкой. Для этого нужен сверхбыстрый фотодиод и высокопроизводительный дигитайзер, которые позволяют выполнять непосредственные измерения интенсивности излучения. В тесном сотрудничестве с Agilent, команда Австралийского синхротрона создала детектор этого типа и, как описано ниже, продемонстрировала его способность разрешать отдельные пачки.



Рис. 6. Упрощенная схема Австралийского синхротрона: кольцо вспомогательного ускорителя (внутреннее) питает накопительное кольцо (внешнее) и пучки синхротронного излучения (ответвления накопительного кольца).

Управление электронными пучками в Австралийском синхротроне



Рис. 7. Схема экспериментальной установки для измерения шаблона заполнения.

Проверка альтернативного подхода

Для проверки детектора, состоящего из фотодиода/дигитайзера, команда синхротрона провела целый ряд тестов и сравнила результаты с результатами применения монитора считывающего типа. Из приведенных ниже итогов видно, что результаты совпали достаточно точно. Детальное описание тестов и результатов приведено в статье «Измерение шаблона заполнения реального времени в Австралийском синхротроне» (публикация Agilent 5989-7558EN).

В ходе тестирования для измерения шаблона заполнения электронного пучка, циркулирующего в накопительном кольце, использовался FPM на основе фотодиода/дигитайзера. Способность осуществлять динамический контроль дала возможность использовать режимы «дозаправки пучка». При необходимости эти режимы позволяют управлять инъекцией дополнительных электронов в накопительное кольцо для компенсации потерь или для создания специальных шаблонов заполнения в соответствии с требованиями конкретных экспериментов. Режим динамической дозаправки пучка привлекателен тем, что он позволяет получить пучок стабильной интенсивности,

который снижает тепловую нагрузку на оптические компоненты и создает предсказуемое синхротронное излучение для проведения экспериментов.

Описание схемы эксперимента

Главной особенностью Австралийского синхротрона является наличие специального диагностического оптического пучка синхротронного излучения. Он состоит из оптического манипулятора, фокусирующей линзы, создающей первичное изображение пучка в масштабе 1:1, и оптической скамьи, содержащей все диагностические приборы. В ходе тестирования эта конструкция использовалась для направления диагностического пучка в небольшую активную зону (0,04 см²) сверхбыстродействующего фотодиода структуры MSM (металл-кремний-металл), регистрирующего фронты длительностью от 30 пс. Совмещение входящего синхротронного излучения с активной зоной диода выполнялось с помощью оптической системы с тремя степенями свободы.

Практические ограничения согласования фотодиода с источником света синхротрона привели к необходимости усиления индуциро-

ванного фототока. Серия широкополосных усилителей обеспечивала усиление 20 дБ, а результирующий сигнал оцифровывался с помощью дигитайзера Agilent Acqiris U1065A, работающего с частотой 8 Гвыб/с и выполненного в виде платы Compaq PCI, установленной в базовый блок cPCI (рис. 7). Синхронизация с накопленным электронным пучком достигалась путем запуска цикла захвата FPM по сигналу орбитальной тактовой частоты, который поступал от центральной системы синхронизации и соответствовал орбитальной частоте накопленного электронного пучка.

Настройка FPM, управление и отображение данных выполнялись дистанционно с помощью интерфейса Системы управления для промышленности и экспериментальной физики (EPICS). Программная среда EPICS, использованная для проектирования и построения распределенных систем управления, основана на архитектуре клиент-сервер и использует взаимодействие типа публикация-подписка. Поскольку она создает сообщения TCP/IP при каждом изменении переменной, EPICS не успевает за потоком необработанных данных от FPM. Для решения этой проблемы в базовый блок был установлен ПК, который выполнял предварительный локальный анализ оцифрованных данных.

Управление электронными пучками в Австралийском синхротроне

Результаты эксперимента

Для исследования производительности FPM команда синхротрона выполнила несколько измерений шаблона заполнения. Для осмысленного сравнения с измерениями, выполненными с помощью рекордера с емкостной полоской, результаты нормировались по времени.

Было выполнено два контрольных теста. Один имитировал контролируемую потерю пучка и проверял чувствительность FPM. Другой оценивал разрешение FPM путем измерения инжекции одного пакета. В обоих случаях FPM превзошел рекордер с емкостной полоской. В ходе тестирования потери пучка FPM дал более точные характеристики шаблона заполнения (рис. 8) и показал лучшую чувствительность при пониженной мощности пучка (рис. 9).

В ходе тестирования инжекции одного пакета выполнялось заполнение одного ВЧ контейнера в режиме инжекции одного пакета с током 0,05 мА на один впрыск. Сравнение инжекции в накопительное кольцо и энергии после инжекции подтвердило точность инжекции в один ВЧ контейнер (рис. 10). Такой уровень чувствительности обеспечил более точный выбор тока инжекции, используемого в протоколе динамической дозаправки.

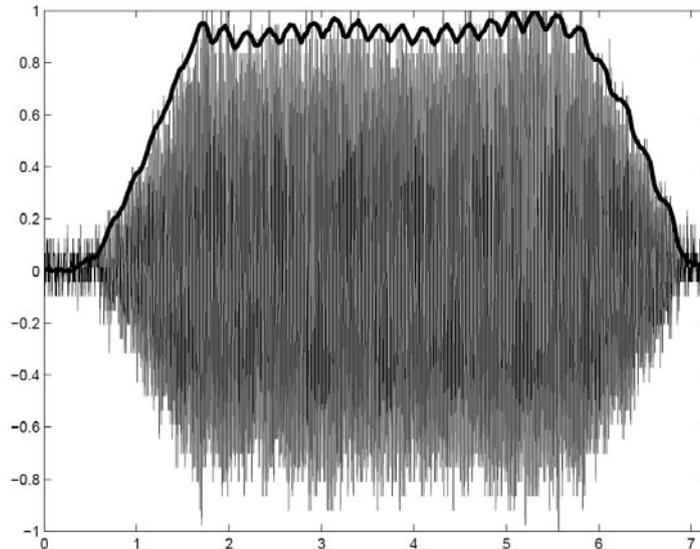


Рис. 8. Сравнение измерений шаблона заполнения, выполненных с помощью рекордера с емкостной полоской (тонкие линии) и с помощью FPM (жирная линия).

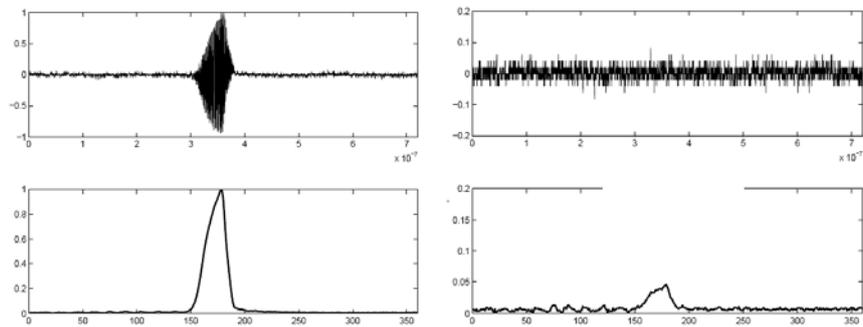


Рис. 9. Сравнение измерений шаблона заполнения, выполненных во время контролируемой потери пучка. Правая кривая показывает, что FPM смог измерить низкоуровневый остаточный шаблон заполнения.

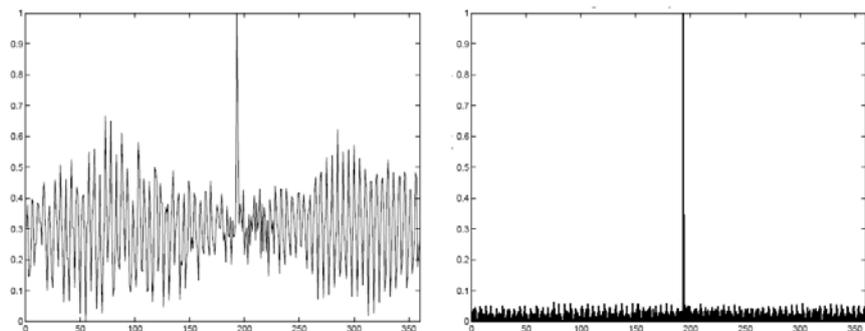


Рис. 10. Сравнение первого впрыска в накопительное кольцо (слева) и тест завершённой инжекции (справа), показывающий весь инжектированный ток в нужном ВЧ контейнере.

Управление электронными пучками в Австралийском синхротроне

В третьем тесте использовался новейший подход для проверки точности инъекции электронов – создание сообщения в коде Морзе. Работа с дозаправкой требует, чтобы система могла инжектировать электроны в нужные ВЧ контейнеры накопительного кольца. Используя один заполненный пакет в качестве «точки», и три заполненных пакета в качестве «тире» в пучок было успешно введено сообщение “ASP” (Проект австралийского синхротрона) (рис. 11).

Оценка работы FPM

После успешного завершения этих начальных тестов были проведены дополнительные тесты для оценки работы FPM в ходе реальной дозаправки. Предполагается, что источники света третьего поколения должны давать электронный пучок с малой эмиссией и высокой яркостью. Это требует большого сохраненного заряда на каждый пакет, однако сокращает время жизни пучка, что отрицательно сказывается на общем потоке фотонов за время, доступное для экспериментов.

Для компенсации пониженного времени жизни пучка можно использовать периодическую инъекцию электронов в определенные ВЧ контейнеры. Предоставляемые FPM данные реального времени обеспечивают во время целевых инъекций разрешение

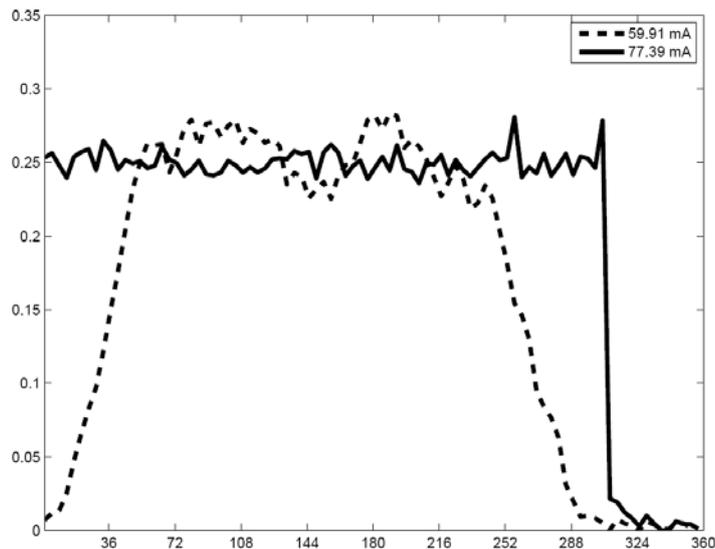


Рис. 11. Точки и тире кода Морзе, сформированные инъекцией электронов в определенные ВЧ контейнеры.

на уровне пакетов. Тестирование показало, что эта способность позволяет создавать равномерно заполненные пучки прямоугольной формы (рис. 12). Равномерно заполненный пучок снижает температурные флуктуации в оптических компонентах и создает излучение постоянной интенсивности для проведения экспериментов.

Более подробно эксперимент описан в обзоре «Измерение шаблона заполнения в реальном времени». В итоге значения интенсивности реального времени, предоставляемые FPM, успешно продемонстрировали работу протокола режима дозаправки. В ходе тестирования

было продемонстрировано, что FPM является надежным методом динамического поддержания шаблона заполнения накопительного кольца.

В перспективе

Комбинация сверхбыстродействующего фотодиода с соответствующей обвязкой и дигитайзера Agilent Acqiris позволяет выполнять измерения шаблона заполнения в реальном времени с разрешением в один ВЧ контейнер. Такое применение FPM является теперь неотъемлемой частью программного обеспечения для управления Австралийским синхротроном.

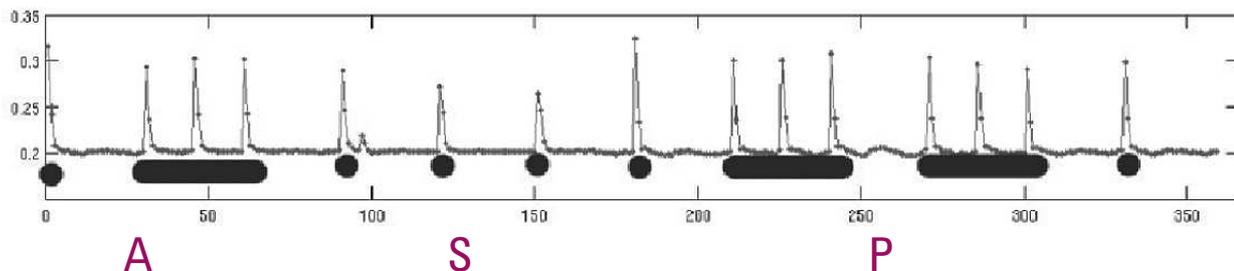


Рис. 12. Прецизионная дозаправка создает прямоугольный и равномерный шаблон заполнения, обеспечивающий постоянную интенсивность излучения для проведения экспериментов.

Возможность расширенных исследований

Дигитайзеры Agilent Acqiris способны удовлетворить потребности ответственных приложений в ходе расширенных исследований: в физике элементарных частиц и высоких энергий, в ядерной физике, в гидродинамических испытаниях, в астрофизике и в исследованиях плазмы. Пять ключевых характеристик делают наши дигитайзеры идеально подходящими для этих приложений:

- доступная плотность каналов дает больше возможностей при меньших габаритах;
- возможность синхронизации нескольких каналов в нескольких модулях с помощью системной шины Acqiris AS;
- высокая скорость измерений обеспечивает высокую частоту запуска и, следовательно, способность захвата большего числа событий;
- высокая точность гарантирует получение достоверных результатов за меньшее число измерений;
- готовое программное обеспечение и поддержка разных операционных систем и сред программирования ускоряют интеграцию системы.

Чем бы вы ни занимались, высокоскоростные преобразователи данных компании Agilent помогут увидеть то, что недоступно другим дигитайзерам.

Дополнительные ресурсы

- CERN: <http://public.web.cern.ch/public/>
- Австралийский синхротрон: www.synchrotron.org.au
- Большой адронный коллайдер: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>
- Проект OASIS: www.project-oasis.web.cern.ch/project-oasis
- EPICS: www.aps.anl.gov/epics/
- История источников синхротронного излучения (Берклеевская лаборатория в Лоренсе): http://xdb.lbl.gov/Section2/Sec_2-2.html

Литература

Рекомендации по применению и статьи

- Измерение шаблона заполнения реального времени в Австралийском синхротроне, публикация Agilent 5989-7558EN <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7558EN.pdf>
- Дигитайзеры становятся неотъемлемой частью поисков путей уничтожения ядерных отходов, публикация Agilent 5989-7562EN <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7562EN.pdf>

Технические описания

- Agilent U1063A: 8-битные высокоскоростные сPCI дигитайзеры, публикация Agilent 5989-7470EN <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7470EN.pdf>
- Agilent U1064A: 8-битные высокоскоростные сPCI дигитайзеры, публикация Agilent 5989-7444EN <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7444EN.pdf>
- Agilent U1065A: 10-битные высокоскоростные сPCI дигитайзеры, публикация Agilent 5989-7443EN <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7443EN.pdf>

В Интернете

- www.agilent.com/find/u1063a
- www.agilent.com/find/u1064a
- www.agilent.com/find/u1065a

Благодарности

Компания Agilent хочет поблагодарить авторов статьи «Измерение шаблона заполнения реального времени в Австралийском синхротроне»

Д. Дж. Пика и Р.П. Рассула
Школа физики, Мельбурнский университет
Мельбурн, Виктория, 3010, Австралия

М. Дж. Боланда, Р. Доуда, Г.С. Лебланка, М. Дж. Спенсера и Й-Р. Е. Тана
Группа физики ускорителей, Австралийский синхротрон
Клейтон, Виктория, 3168, Австралия

Чем бы вы ни занимались, высокоскоростные преобразователи данных компании Agilent помогут увидеть то, что недоступно другим дигитайзерам.

Обращайтесь в российское представительство

Agilent Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 1

Тел.: +7 (495) 7973900

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@agilent.com

www.agilent.ru

Информация обновлена 1 октября 2009 г.

Приведенные в настоящем документе технические характеристики и описания продуктов могут изменяться без предварительного уведомления.

© Agilent Technologies, Inc. 2010
Напечатано в России, январь 2010 г.
5990-5154RURU



Agilent Technologies