

Использование цифрового сигнального процессора для поворотной диагностики пучка

А.Батраков, Т.Большаков, Е.Левичев, В.Сажаяев В.Смалюк, В.Шило
Институт ядерной физики им.Г.И.Будкера СО РАН
Новосибирск
С.Кузнецов

РНИЦ "Курчатовский институт", Москва,

Разработан модуль ADC-DSP для поворотной регистрации положения и тока пучка, включающий 4-канальный 10-разрядный АЦП и цифровой сигнальный процессор TMS320, сопрягаемый с центральной ЭВМ. Модуль позволяет проводить быструю обработку измеряемой информации согласно загружаемым алгоритмам. В статье приводятся примеры использования модуля для диагностики пучка, а также для системы обратной связи, подавляющей поперечные колебания замкнутой орбиты пучка.

Введение

Для стабилизации положения пучка электронов в накопителе СИБИРЬ-2 в полосе частот 0-300 Гц разрабатывается система цифровой обратной связи, состоящая из датчиков положения пучка (пикап-станций), корректирующих магнитов и контроллера, управляющего ими. Основным элементом контроллера является модуль, включающий быстрые АЦП, и сигнальный процессор, реализующий алгоритм обратной связи. Блок использует аналоговые сигналы, поступающие с пикап-станции существующей системы поворотных измерений параметров пучка. Разработанная аппаратура может быть использована для проведения различного рода измерений, связанных с быстрой (каждый оборот) регистрацией характеристик сгустка электронов. Наличие сигнального процессора позволяет проводить быструю обработку поступающих сигналов.

В данной работе мы приводим примеры использования созданного оборудования, не анализируя наблюдаемые явления. Когерентные поперечные колебания пучка, регистрируемые пикап-станцией, могут возбуждаться внешним импульсом раскачки, например с целью изучения динамики пучка [1, 2], несогласованностью условий инжекции, когерентными неустойчивостями, сейсмическими или иными вибрациями магнитных элементов, накоплением ионов, связью продольных и поперечных колебаний при ненулевой дисперсии и т.д. Все эти явления могут изучаться с помощью аппаратуры, описываемой ниже. Возможны два подхода: временной, когда исследуется зависимость тока и поперечного положения пучка от номера оборота, и частотный, когда к набранным массивам применяется дискретное преобразование Фурье.

Обработка сигнала

Блок-диаграмма ADC-DSP модуля показана на рис.1. Модуль включает две платы, содержащие: (1) цифровые узлы и (2) аналоговые узлы и схему синхронизации. Вторая плата устанавливается на первой в специальные разъемы.

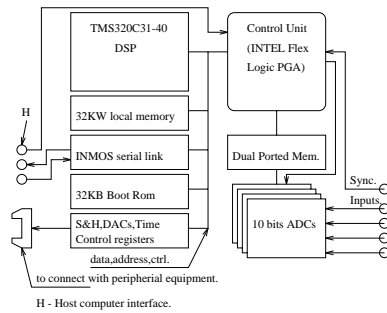


Рис. 1: Блок-диаграмма ADC-DSP модуля.

Основой цифровой части является сигнальный процессор (DSP) MS320C31-40 фирмы Texas Instruments. DSP имеет локальную статическую память объемом 32 Кслова и двухпортовую память данных с таким же объемом, размещенную в адресном пространстве DSP, но доступную также для АЦП, что позволяет записывать данные АЦП в адресное пространство процессора без дополнительных затрат времени. Время доступа и к той, и к другой памяти составляет 50 нс.

TMS320C31 обеспечивает моду начальной загрузки, когда код может быть загружен в память процессора из ПЗУ начальной загрузки (bootloader ROM). Динамическая загрузка кода из ПЗУ также возможна. После стартовых операций процессор ожидает поступления через интерфейс связи кода программы пользователя, загружает его в отведенную область памяти и стартует выполнение программы. Микросхема последовательного интерфейса IMS C012 фирмы INMOS обеспечивает связь с управляющим компьютером. Данные принимаются/передаются на расстояние до 200 м через коаксиальный 50 Ом кабель с физической скоростью 10 или 20 Мбит/сек. Управление двухпортовой памятью, шиной данных и работой АЦП производится от микропрограммного автомата, выполненного на кристалле Intel Flex Logic NFX-780.

Дополнительная аналоговая плата содержит 4-канальный 10-бит АЦП, схему синхронизации и 4-канальный ЦАП. Мы приняли решение аналоговую плату выполнить как сменную с тем, чтобы в дальнейшем ее можно было легко заменить на плату с разрешением 12-14 бит и, возможно, с большим быстродействием. ADC-DSP модуль обеспечивает скорость выборки 5 MSPS в двухканальном режиме и 2,5 MSPS в четырехканальном режиме.

Экспериментальные данные

Пооборотные измерения. В этой моде разработанная аппаратура эквивалентна уже существующей на ВЭПП-4М. Сигналы с четырех электродов пикапа (до 8192 оборотов) оцифровываются с помощью АЦП, обрабатываются с целью получения значений тока и координат и запоминаются в памяти сигнального процессора. Полученное разрешение $\sigma_{x,z} \simeq 70 \mu\text{м}$ в диапазоне токов 1-5 мА. На рис.2 показана зависимость амплитуды когерентных бетатронных колебаний, возбужденных импульсом раскачки, от времени, а также спектр-Фурье измеренного массива. Данная мода может применяться для изучения динамики (в том числе нелинейной) пучка в поперечном фазовом пространстве [1, 2]. На рис.3 приведены фазовые траектории горизонтального движения.

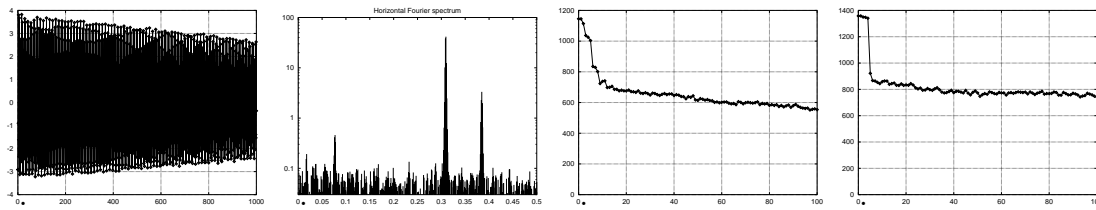


Рис. 2: Слева: когерентные колебания пучка (1000 оборотов) и их спектр. Справа: потери пучка на границе (а) динамической и (б) геометрической апертур.

Возможность пооборотного измерения интенсивности пучка позволяет изучать различные процессы, связанные с его потерями: ограничения апертуры динамического или физического характера, рассогласования при инжекции, развитие быстрых неустойчивостей и т.п. Рис.2 показывает потери пучка на границе динамической апертуры, обусловленной нелинейностями и при ограничениях геометрического характера. На рис.3 показаны остаточные колебания пучка, вызванные несогласованностью условий инжекции и их спектр Фурье. Такие данные позволяют настраивать выпуск пучка с целью увеличения эффективности инжекции. Еще один пример показывает возможности пооборотных измерений при изучении когерентных явлений: на рис.3 приведен процесс развития когерентной неустойчивости пучка из-за взаимодействия с окружающей структурой.

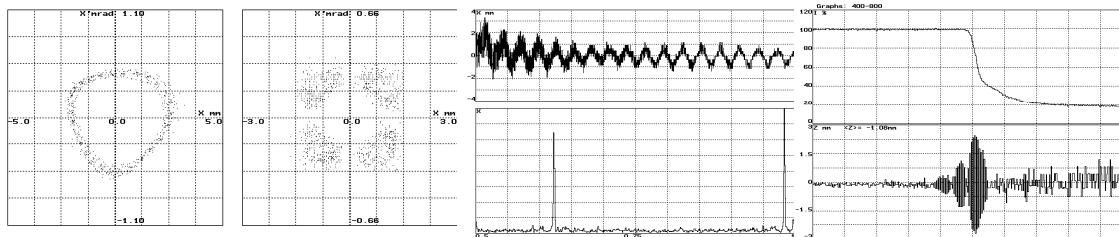


Рис. 3: Слева направо: фазовые траектории; колебания пучка после инжекции и их спектр (видны гармоники, соответствующие бетатронной и синхротронной частотам); когерентная неустойчивость (вверху — ток, внизу — координата).

Интегрирование. Интегрированием (усреднением) измеренных данных достигается (1) смещение частотного спектра в область более низких частот, вплоть до измерения замкнутой орбиты пучка [3], и (2) уменьшение шумов измерения и улучшение разрешения. На рис.4 приведен график улучшения разрешения пикапа в зависимости от времени интегрирования. Рис.4 показывает пример измерения медленных сигналов — колебаний пучка, вызванных сейсмическими вибрациями (6 Гц) и пульсациями питающего магниты напряжения (50 Гц).

Подавление медленных колебаний пучка. Для современных источников синхротронного излучения с очень малым эмиттансом пучка актуально подавление колебаний пучка в диапазоне 0-200 Гц, ухудшающих яркость источника и затрудняющих проведение ряда экспериментов. Подавление нежелательных колебаний производится с помощью системы обратной связи, включающей пикап-станции, контроллер на основе СП и исполнительные (корректирующие) элементы. Прототип системы был тести-

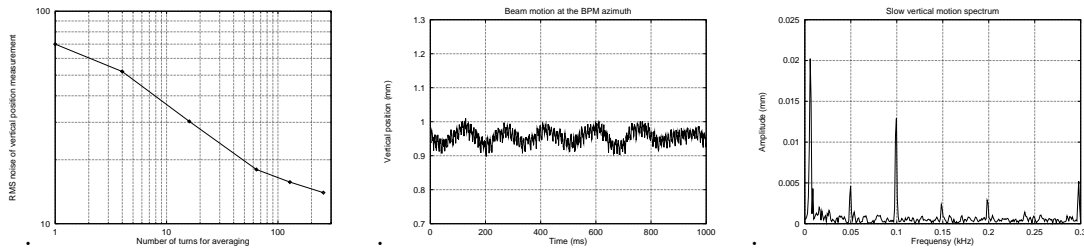


Рис. 4: Слева направо: разрешения пикапа ($\mu\text{м}$) от времени интегрирования; сейсмоколебания пучка и их спектр.

рован на ВЭПП-4М. В качестве алгоритма контроллера применялся ПИД-регулятор. Рис.5 демонстрирует уменьшение низкочастотных колебаний (до 20 Гц) в 3-5 раз, с 80-160 до 20-30 мкм.

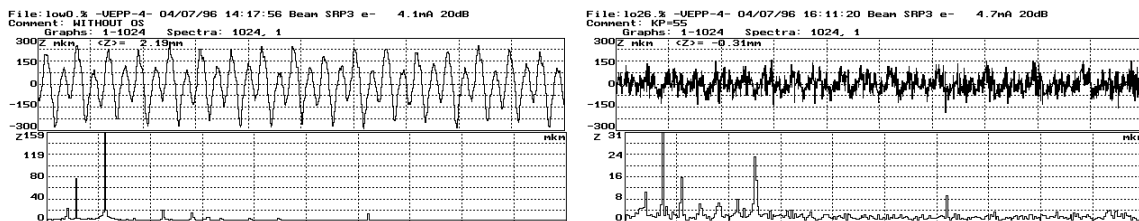


Рис. 5: Колебания пучка без/с обратной связью.

Динамическое измерение спектральных характеристик. Для изучения различных динамических процессов (подъем энергии в синхротроне, когерентные неустойчивости, накопление ионов в электронном пучке и т.д.) зачастую необходимо исследовать зависимость частоты колебаний пучка от времени [4]. Так как используемая модель СП выполняет ДПФ для 1024 точек за 2,5 мс, подобные методы (“спектральное кино”) также могут быть реализованы с использованием разработанной аппаратуры. В наши ближайшие планы входит тестирование алгоритма спектрального кино на накопителе ВЭПП-3.

Список литературы

- [1] В.А.Киселев, Е.Б.Левичев, В.В.Сажаев, В.В.Смалюк. Экспериментальное изучение нелинейной динамики на накопителе ВЭПП-4М (Наст.сборник).
- [2] В.А.Киселев, Е.Б.Левичев, В.В.Сажаев, В.В.Смалюк. Экспериментальное изучение динамической апертуры на накопителе ВЭПП-4М (Наст.сборник).
- [3] R. De Monte et al. Elettra BPM system (Hardware and software); first results. - Proc. of the EPAC'94, v.2, pp.1530-1532.
- [4] J.Gonzales et al. Fast Q-measurement for the PS by FFT analysis. - Proc. of EPAC'94, v.2, pp.1734-1736.