

Система управления источниками питания.

В.Р.Козак, Э.А.Купер, А.С.Медведко, С.П.Петров, В.Ф.Веремеенко,
ИЯФ, Новосибирск, Россия

Аннотация.

В институте Ядерной Физики СО РАН был разработан набор управляемых источников питания с выходной мощностью от 100 Вт до 10 кВт для электромагнитных элементов физических установок. Эти источники питания имеют диапазон перестройки выходного тока 60-80 дБ с высокой точностью (ошибка не должна превышать 0,01%). Некоторые типы источников питания имеют биполярный выход. В докладе описывается унифицированный набор контроллеров источников питания, встраиваемых непосредственно в стойки источников питания. Эти контроллеры включают в себя цифро-аналоговые преобразователи, многоканальные аналого-цифровые преобразователи и регистры ввода/вывода. Все устройства включают в свой состав микропроцессор и могут функционировать с минимальным вовлечением управляющего компьютера. Такое построение значительно уменьшает трафик в системе, обеспечивает возможность синхронной перестройки всех электромагнитных элементов ускорительного комплекса и повышает надежность всей системы.

Abstract

A set of power supplies (PS) with output power rated from 100 W up to 10 KW for electromagnets was developed. These PS have range of current tuning of 60-80 db with high accuracy (error should be less than 0,01%). Some types of power supplies have bipolar output current. The report will describe a set of unified embedded devices for control and measurements of PS incorporated into distributed control systems. These embedded devices includes DAC, ADC with multiplexers and status input/output registers. The devices include microprocessor and allow work with minimal host involving. This capability decreases traffic, provides synchronous tuning of all electromagnet elements of particle accelerator and increases reliability of entire system.

Введение.

В настоящее время Институт ядерной физики строит ряд новых установок (ВЭПП-5, лазер на свободных электронах) и модернизирует существующие ускорительные комплексы (ВЭПП-2000, ВЭПП-4).

Эти установки включают в свой состав множество магнитных элементов которые питаются от источников питания, разработанных и производимых в институте. Все источники питания управляются от ЭВМ посредством цифро-аналоговых преобразователей. Контроль тока и напряжения на элементах магнитной системы осуществляется с помощью аналого-цифровых преобразователей.

Для управления этими источниками питания был разработан набор встраиваемых интеллектуальных контроллеров. Они имеют унифицированное исполнение, аналогичные соединительные разъемы и схожий протокол обмена. Интеграция с системой управления установки осуществляется с помощью популярной сети CANBUS.

Элементы магнитной системы электрофизической установки и, соответственно, источники питания для них могут быть разделены на две группы. Первая группа включает в себя отклоняющие магниты и фокусирующие линзы. Ко второй группе можно отнести слаботочные корректоры. Элементы первой группы требуют от источника питания высокой стабильности и точности. Типичные требования к стабильности этих источников лежат в пределах от 0,01% до 0,001%. Для источников питания корректоров эти требования существенно ниже и, как правило, не превышают 0,1%.

Такой широкий разброс требуемой точности стимулировал разработку двух различных типов контроллеров. Первый тип представляет собой прецизионный контроллер источника питания для отклоняющих магнитов и фокусирующих линз.

Второй тип является многоканальным устройством для элементов коррекции. Оба контроллера предназначены для встраивания непосредственно в источники питания.

Прецизионный контроллер имеет один канал цифроаналогового преобразователя с разрешением до 0,0001% и точностью (долговременной стабильностью) не хуже 0,005%. Он также имеет 8 каналов аналого-цифрового преобразователя с соответствующей точностью и разрешающей способностью для измерения выходного тока и напряжения, а также некоторых дополнительных сигналов внутри источника питания. В условиях эксплуатации очень полезно иметь дополнительно некоторую логическую информацию о состоянии источника питания (статус систем защит, водяного охлаждения, блокировок и т.п.), а также сигналы управления типа включить/выключить для различных целей. Для решения этой задачи, контроллер должен включать в свой состав несколько каналов регистра ввода/вывода с опторазвязкой.

Недорогой многоканальный контроллер должен иметь в своем составе многоканальный ЦАП (мы выбрали 16 каналов на контроллер) с долговременной точностью не хуже 0,1% и многоканальный АЦП с не меньшей точностью. Для цифрового ввода/вывода устройство должно включать в свой состав несколько каналов регистра ввода/вывода с опторазвязкой.

Для связи контроллеров с управляющими компьютерами, мы выбрали стандартный интерфейс CANBUS. Он обеспечивает:

- высокую надежность;
- детерминированное время доставки пакетов с высоким приоритетом;
- широкую поддержку производителей микросхем и устройств;
- возможность гальванической развязки между устройствами и средой передачи данных;

Существует ряд высокоуровневых протоколов работающих в среде CANBUS. Структура и ресурсы выбранного микропроцессора не препятствуют реализации ни одного из них в наших устройствах. Однако, использование множества CANBUS устройств с достаточно высоким уровнем информационного обмена с управляющими ЭВМ требуют уменьшать накладные расходы на передачу полезной информации. Эта причина побудила нас ограничиться использованием непосредственно CANBUS сообщений. Однако, возможность использования какого-либо высокоуровневого протокола может быть реализована позже.

Структура контроллеров.

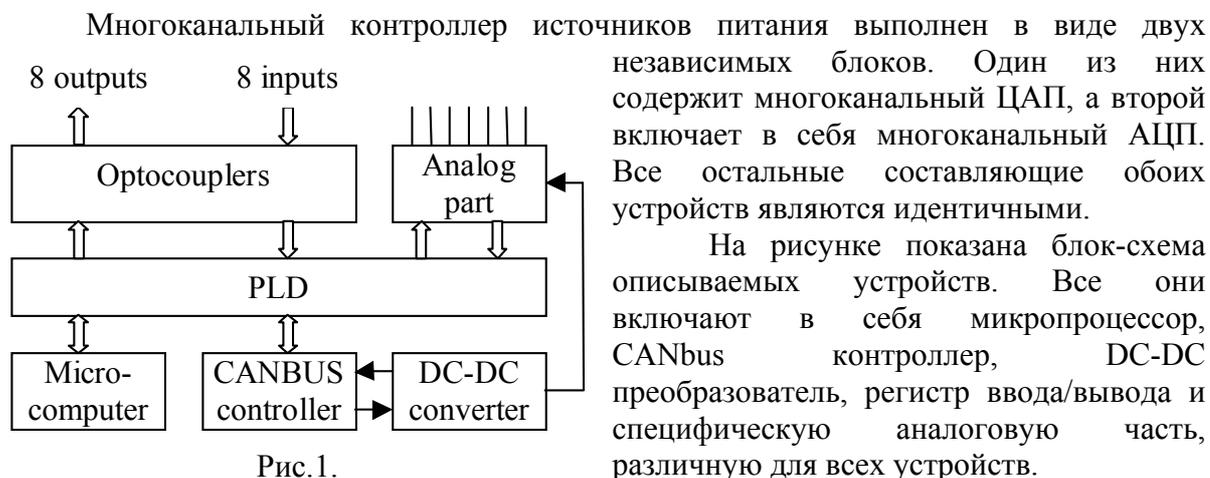


Рис. 1.

Устройство контроллеров.

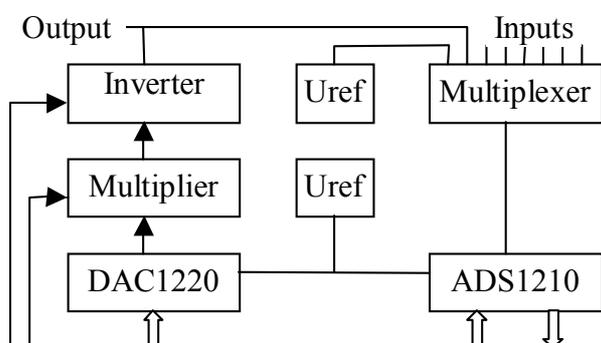


Рис.2.

Аналоговая часть прецизионного контроллера (CDAC20) включает в себя одноканальный ЦАП и многоканальный АЦП. Структура аналоговой части показана на рисунке.

Аналоговая часть устройств базируется на дельта-сигма преобразователях фирмы Burr-Brown (теперь Texas Instruments). Построение аналого-цифрового преобразователя является вполне классическим. Входные

сигналы поступают на микросхему ADS1210 через мультиплексор со встроенной защитой от перенапряжения (MPC507, Burr-Brown). 5 двухпроводных входных каналов предназначены для измерения внешних сигналов. Один вход соединяется с выходом ЦАП непосредственно на плате. Это дает нам возможность контролировать выходное напряжение ЦАПа и, в случае необходимости, корректировать его. Один канал мультиплексора соединен с «землей» и еще один - с источником опорного напряжения. Это дает нам возможность использовать «системную калибровку» АЦП и ликвидировать большинство источников погрешности в аналоговом тракте. В качестве иллюстрации приведем несколько картинок, характеризующих качество АЦП. На рис.3 показана шумовая дорожка при времени измерения 20 мс/отсчет (шкала ± 10 Вольт). Видно, что достигнуто разрешение порядка 10^{-6} . Это соответствует параметрам, заявленным фирмой изготовителем.

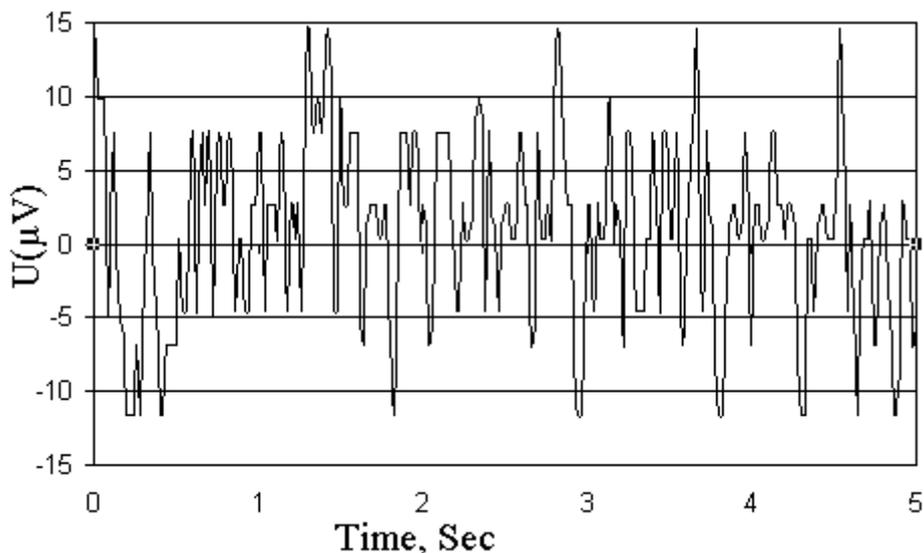


Рис.3.

Иногда в источниках питания возникают низкочастотные пульсации. Описанный контроллер позволяет наблюдать низкочастотные пульсации будучи переведен в режим цифрового осциллографа.

Цифро-аналоговый тракт имеет некоторые особенности. Выбранная микросхема (DAC1220) имеет диапазон выходного сигнала от 0 до +5 В. Большинство наших источников питания требуют для управления опорное напряжение ± 10 В. Поэтому

выходное напряжение DAC1220 сначала удваивается схемой на переключаемых конденсаторах, а затем подается на управляемый инвертор с аналогичной схемотехникой. Этот метод дает нам возможность избежать использования дорогостоящих прецизионных резисторов. Кроме того, исчезает необходимость подстройки коэффициентов передачи при удвоении и инвертировании опорного напряжения. Соответственно, точность и стабильность всего преобразователя определяется единственным элементом – микросхемой, содержащей источник опорного напряжения. Мы применяем опорный источник с температурным коэффициентом $3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее улучшение стабильности преобразователя может быть достигнуто простейшей коррекцией кодов, засылаемых в ЦАП в зависимости от температуры опорного источника. Этот метод позволяет поднять стабильность ЦАП до 10^{-5} в температурном диапазоне $20 \div 50^{\circ}\text{C}$ практически без применения дополнительного оборудования (АЦП для измерения температуры и микропроцессор для коррекции кодов на плате уже есть)

Аналоговая часть контроллера источников питания гальванически изолирована от цифровой части устройства. Это обеспечивается DC-DC преобразователями и оптронами. Гальваническая развязка позволяет улучшить качество передачи аналогового сигнала между контроллером и источником питания.

Аналоговая часть многоканального ЦАП (CANDAC16) базируется на единственной микросхеме ЦАП (AD669, Analog Devices) и 16-ти запоминающих устройствах.

Микропроцессор загружает код в микросхему ЦАП, затем соединяет выход ЦАПа с выбранным конденсатором, для того чтобы обновить заряд. Через некоторое время эта последовательность повторяется для следующего канала. Этот подход обеспечивает построение многоканального ЦАПа с небольшими затратами на канал. В этом устройстве нет гальванической изоляции аналоговой части от цифровой. Это также удешевляет устройство.

Аналоговая часть многоканального АЦП (CANADC40) построена на основе микросхемы дельта-сигма преобразователя (ADS1210, Burr-Brown).

Схема содержит 40-канальный мультиплексор на микросхемах MPC507 (мультиплексор со встроенной защитой от перенапряжения), усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA), дельта-сигма АЦП (ADS1210, Burr-Brown) и источник опорного напряжения. Микросхема программируемого усилителя (коэффициенты 1, 10, 100 и 1000) использована, чтобы обеспечить изменение входного диапазона на разных каналах измерителя. В этом устройстве также нет гальванической изоляции аналоговой части. Для повышения помехоустойчивости измерений мультиплексор выполнен по двухпроводной схеме.

Программное обеспечение контроллеров.

Встроенное программное обеспечение для всех устройств написано на ассемблере, чтобы гарантировать детерминированное время исполнения для критических секций кода. Все устройства используют очень схожие или идентичные сообщения.

Контроллеры, включающие в свой состав цифро-аналоговый преобразователь, имеют дополнительную особенность. Они могут загрузить из сети несколько файлов, которые описывают изменение выходных напряжений во времени. Файл содержит ограниченный набор точек, а встроенное программное обеспечение, вычисляет промежуточные значения, используя метод линейной интерполяции. Это позволяет

изменять поля в многочисленных магнитных элементах ускорителя синхронно и с высокой точностью

Ниже представлены основные параметры описанных устройств.

CDAC20- прецизионный контроллер.

Долговременная точность ЦАП	0,005%.
Разрешение ЦАП	21 бит.
Выходное напряжение ЦАП	$\pm 10V$.
Входных каналов АЦП	5.
Долговременная точность АЦП	0,003%.
Разрешение АЦП	24 бита.
Выходное напряжение АЦП	$\pm 10V$.
Время измерения АЦП	от 1 до 160 мсек.
Память в «осциллографическом режиме»	4096 измерений.
Каналов входного регистра	8.
Каналов выходного регистра	8.

CANDAC16- многоканальный ЦАП.

Выходных каналов ЦАП	16.
Долговременная точность ЦАП	0,05%.
Разрешение ЦАП	16 бит.
Выходное напряжение ЦАП	$\pm 10V$.
Каналов входного регистра	8.
Каналов выходного регистра	8.

CANADC40- многоканальный АЦП.

Входных каналов АЦП	40.
Долговременная точность АЦП	0,03%.
Разрешение АЦП	24 бита.
Выходное напряжение АЦП	$\pm 10V$.
Время измерения АЦП	от 1 до 160 мсек.
Память в «осциллографическом режиме»	4096 измерений.
Каналов входного регистра	8.
Каналов выходного регистра	8.



Рис.4.

Приведем пример использования блока CDAC20 совместно с разработанным в Институте источником питания ВЧ-300 .

Это прецизионный униполярный управляемый источник, выполненный на основе высокочастотного преобразователя, ток до 300 А, выходная мощность до 4 кВт. На рис.4. приведена фотография, показывающая внешний вид источника.

Заключение.

Использование встраиваемых непосредственно в источник питания контроллеров позволило полностью отказаться от многочисленных сигнальных кабелей, упростило эксплуатационную поддержку, уменьшило время запуска систем. Мы предполагаем распространить описанный подход на все крупные установки института.

Эти устройства могут быть использованы и в других применениях, например, система термоконтроля лазера на свободных электронах базируется на нескольких измерителях CANADC40. Рассматривается применение подобных контроллеров в системах высокочастотного питания ускорительных комплексов ИЯФ и т.д.

Эволюционные изменения встроенного программного обеспечения позволяют расширять области применения разработанных устройств без аппаратных изменений.