

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Ордена Ленина Сибирское отделение
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера СО РАН

В.Р. Козак

НАБОР УСТРОЙСТВ С ИНТЕРФЕЙСОМ CANBUS
В ЕВРОМЕХАНИЧЕСКОМ СТАНДАРТЕ

ИЯФ 2008-18

НОВОСИБИРСК
2008

Набор устройств с интерфейсом CANbus в евромеханическом стандарте

В.Р. Козак

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

В ИЯФ СО РАН системы автоматизации строящихся и модернизируемых электрофизических установок в последние годы базируются на встраиваемых устройствах с интерфейсом CANbus. Для строительства установок новых поколений сейчас разрабатывается окончательная аппаратура в евромеханическом конструктиве. Это потребовало создания соответствующей линейки управляющих устройств. В данной работе описываются первые модели устройств массовой автоматизации с интерфейсом CANbus, выполненные в евроконструктиве. Приводятся основные параметры, результаты тестовых испытаний, примеры реальных применений.

Euromechanical device set with CANbus interface

V.R.Kozak

Abstract

Modern control systems of BINP facilities are based on embedded devices with CANbus interface. Latest end equipment designs use euro mechanics. It requires creating of euromechanical device set with CANbus interface. There are presented new devices with main parameters, results of testing and examples of real applications.

© Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

1. Введение

В ИЯФ проводятся работы по созданию новых (ТНК, ЛСЭ, Инжекционный комплекс) и модернизации действующих (ВЭПП-2000) электрофизических установок. Системы автоматизации этих установок базируются на устройствах с CANbus интерфейсом, встраиваемых в оконечное оборудование (embedded) [1, 2, 3].

Опыт эксплуатации систем, базирующихся на новой аппаратуре, подтвердил все предполагаемые достоинства нового подхода (встраиваемые устройства с интерфейсом CANbus и микропроцессором):

- высокую надежность аппаратуры;
- высокую надежность связи;
- удобства эксплуатации (встраиваемые блоки существенно уменьшают количество сигнальных трасс и промежуточных разъемов и клеммников);
- экономичность (создание любой подсистемы на основе новых устройств обходится заметно дешевле, чем при использовании КАМАК модулей);
- удобство программирования (встроенный процессор позволяет инкапсулировать ненужную программисту специфику современных многофункциональных микросхем и в то же время предоставляет разнообразные способы обмена данными, позволяя выбрать наиболее удобный для данной конкретной системы);
- возможность дальнейшей эволюции (потребности новых установок иногда заставляют добавлять в устройства новые функции и это не ведет к потере совместимости с предыдущей версией);
- меры, принятые для аппаратной и программной совместимости различных устройств, также существенно сокращают затраты на программирование и сборку систем с этими устройствами.

Набор блоков с интерфейсом CANbus, разработанных в институте [4], позволяет эффективно решать большинство задач автоматизации установок как в настоящее время, так и в ближайшем будущем. Однако, все эти устройства выполнены в конструктиве «Вишня». В то же время, разрабатываемое сейчас оконечное оборудование (источники питания, импульсные источники, ВЧ-станции) ориентируется на конструктив евростандарта. Интегрирование в такое оборудование разработанных устройств возможно, но не представляется рациональным. Оптимальным решением является расширение линейки управляющих устройств в

конструктиве евромеханики, наследующее схемотехнические и программные решения уже разработанных устройств. Это позволит значительно удешевить разработку новых устройств и сократить время разработки.

В данной работе описываются разработанные в рамках описанного подхода устройства- CEDAC20, CEAC208, CEAC51, CEAC124 и CEAD20.

2. Линейка устройств в формате евромеханики

Разрабатываемое оконечное оборудование, с точки зрения управляющей аппаратуры, можно разделить на два класса: ориентированное на каркасы высотой 6U и 3U. На каркасы высотой 6U ориентируются разработчики мощной электроники, либо разработчики, которые портируют старые разработки конструктива «Вишня» в новый современный конструктив. Поскольку площади печатных плат обоих вариантов являются близкими, то такое портирование старой разработки является не очень болезненным. Платы для каркасов 6U используются, как правило, глубины 220 мм. В каркасах 3U разрабатывается совершенно новая электроника, которая изначально ориентирована на минимизацию габаритов. В этом классе сегодня разрабатываются источники питания магнитных элементов ускорителей, источники питания магниторазрядных насосов и другая аппаратура.

На любой электрофизической установке большая часть управляющих устройств представляет из себя различного класса аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи одно- и много-канальные. Если мы рассмотрим состав управляющей аппаратуры, к примеру, установки ВЭПП-2000, то легко в этом убедимся. Ниже приводится таблица устройств с интерфейсом CANbus для ВЭПП-2000.

Блок	Кол-во
CANDAC16	21
CANADC40	27
CDAC20	38
CEDAC20	12
CAC208	5
	Сумма
	103
CGVI8	20
CPKS8	19
CURVV	4
CKVCH	6
SLIO24	2
	Сумма
	51

Верхняя половина представляет из себя АЦП и ЦАПы различного класса. Вторая половина включает в себя различного рода цифровые устройства. Видно, что устройства первой группы составляют две трети от общего числа. В таблице не учтена КАМАК аппаратура комплекса. Однако, она невелика по объему и не меняет общей картины.

Следует отметить, что на комплексе ВЭПП-2000 (также, впрочем, как и на комплексе ВЭПП-3/4) каналы транспортировки пучка являются практически полностью импульсными [2]. Источники питания импульсных линз и корректоров как раз и требуют устройств из второй половины таблицы. К примеру, если генераторов импульсов (ГВИ) и преобразователей код-скважности (ПКС) на комплексе ВЭПП-2000 используется 39 блоков, то в работающем комплексе СИБИРЬ (Курчатовский центр) и в проекте комплекса ТНК (Зеленоград) для нужд установки хватает 5 блоков.

Таким образом, в системах управления большинства строящихся (ТНК, ЛСЭ и другие новые проекты) электрофизических установок аналогово-цифровые и цифроаналоговые преобразователи составляют 80÷90% блоков. Соответственно, первыми кандидатами на разработку в новом конструктиве являются аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.

На практически любом ускорительном комплексе существует ограниченное количество устройств, требующих высокой точности и разрешающей способности преобразователей. Как правило, это источники питания поворотных магнитов. Характерными требованиями для устройств управления такими источниками являются следующие.

- Абсолютная точность в диапазоне рабочих температур не хуже 10^{-4} .
- Температурный дрейф $1\div 5$ ppm/°C.
- Разрешающая способность ЦАПа 18–20 бит.
- Каналов ЦАПа – 1.
- Каналов АЦП – $2\div 8$.
- Обязательно наличие по $4\div 8$ каналов дискретного ввода и вывода.

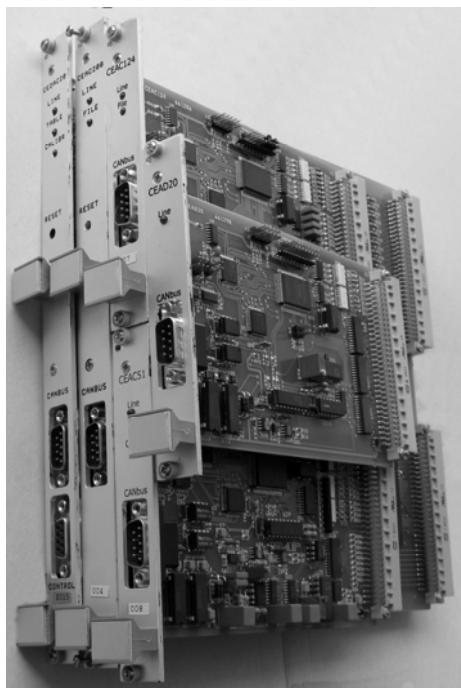
Во всех остальных приложениях требования к управляющему устройству являются значительно более скромными. Но зато в ограниченном объеме имеется несколько управляемых объектов и для удешевления системы (как в производстве, так и в эксплуатации) очень желательна многоканальность управляющих устройств.

Собственно, все перечисленные факторы известны уже давно. Специфика сегодняшнего дня заключается в том, что если 10-20 лет назад разработчику нужно было искать баланс между требованиями задачи и стоимостью реализации соответствующих решений, то сегодня необходимо сформулировать оптимальный набор требований, а возможности электронной базы безусловно позволят реализовать устройства, соответствующие этим требованиям.

В соответствии с изложенными посылками был разработан следующий набор устройств в евромеханическом стандарте с интерфейсом CANbus.

	CEDAC20	CEAC208	CEAC51	CEAC124	CEAD20
Формат	6U*220	6U*220	3U*160	3U*160	3U*160
Каналов АЦП	6	20	5	12	20/40
Каналов ЦАП	1	8	1	4	0
Разрядность ЦАП	21	16	21	16	-
Дискретный ввод	8	8	8	4	4
Дискретный вывод	8	8	8	4	4

Первая пара устройств ориентирована на устройства конструктива 6U, а вторая пара для более миниатюрного оборудования, размещаемого в каркасах 3U. Устройства CEDAC20 и CEAC51 предназначены для обслуживания прецизионных устройств и содержат единственный канал цифроаналогового преобразователя повышенной разрядности. Устройства CEAC208 и CEAC124 предназначаются для многоканальных систем и предоставляют пользователю несколько каналов цифроаналогового преобразователя разрядностью 16 бит.



Устройство CEAD20 предназначено для тех приложений, в которых ЦАП не нужен вообще, а аналого-цифровых каналов может потребоваться больше. В первую очередь это системы термоконтроля. Собственно, проектируемая система термоконтроля комплекса ТНК (Зеленоград) и инициировала эту разработку. Второе структурное отличие этого устройства

от остальных (кроме отсутствия ЦАПа) – это возможность реконфигурировать входные цепи АЦП для работы как в двухпроводном режиме, так и в однопроводном режиме.

3. Структура и основные параметры устройств

Аналоговые сигналы, которые требуется оцифровать и передать значения управляющей программе, значительно разнятся по требованиям к параметрам аппаратуры. Для ряда сигналов достаточно процентной точности и разрешения 10 бит, а некоторые сигналы требуют разрешения $10^{-4}\%$. По этой причине измерительная аппаратура прошлых поколений изначально проектировалась различного класса точности. Достаточно взглянуть на сводную таблицу устройств управления системы автоматизации комплекса ВЭПП-2 [4]. В едином стандарте КАМАК одновременно используются самые различные измерители. Соответственно, одновременно присутствует целый набор аналоговых мультиплексоров для обеспечения многоканальных измерений с различными измерителями.

При разработке описываемых устройств было принято решение не различать измерители на «дешевые» и «прецизионные». Поскольку высокий уровень помех на электрофизических установках однозначно требует использования в измерителях микросхемы сигма-дельта АЦП, то небольшие дополнительные затраты на комплектующие гарантируют высокий класс измерителя (разумеется при правильной схемотехнике[5]).

Аналогичный подход был применен при построении цифроаналоговых преобразователей. Хотя схемотехника различных моделей устройств различается весьма заметно, основные структурные решения и класс ключевых компонентов во всех моделях сохраняется. Соответственно, можно сказать, что существуют два цифроаналоговых тракта.

- Прецизионный (на основе микросхемы сигма-дельта ЦАПа, ± 20 бит) [6].
- Многоканальный (на основе единственной микросхемы ЦАПа поразрядного уравнивания и перезапоминания напряжения на емкостях, 16 бит).

При таком подходе основные параметры всех устройств можно описывать единообразно.

- Параметры АЦП.
- Параметры прецизионного ЦАПа.
- Параметры многоканального ЦАПа.

Различные модели отличаются количеством каналов АЦП, ЦАП, входных и выходных дискретных каналов, конструктивом и различными сервисными возможностями. К примеру, если модели CEDAC20 и CEAC51 имеют только два внутренних канала измерения («земля» и «эталонное напряжение»), то все остальные модели позволяют измерять еще и напряжение источника питания, а также температуру окружающей среды.

В таблице приводятся основные параметры аналого-цифрового преобразователя.

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых напряжений	± 10 В
Разрядность преобразователя	23 бита
Время интегрирования	1, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 160 мсек
Шумовое разрешение (для $T_i=1$ мсек)	>16 бит
Шумовое разрешение (для $T_i=20\pm 160$ мсек)	>19 бит
Абсолютная погрешность (для $T_i=20$ мсек)	$<0.002\%$
Смещение нуля (для $T_i=20$ мсек)	<30 мкВ
Температурная нестабильность масштаба	<1.0 ppm/ $^{\circ}$ С
Входной ток	<2 нА
Допустимая сумма синфазной помехи и дифференциального напряжения сигнала	<10.5 В
Подавление синфазной помехи	>75 дБ
Подавление помехи с частотой сети (для $T_i=20$ мсек)	>80 дБ

В этой таблице приводятся основные параметры прецизионного цифроаналогового преобразователя (использован в моделях CEDAC20, CEAC51).

Параметр	Значение
Разрядность ЦАП	21 бит
Время установления ЦАПа на полную точность (при переключении от -10 В до $+10$ В)	<0.5 сек.
Абсолютная погрешность (без цифровой коррекции)	$<0.01\%$
Абсолютная погрешность (с цифровой коррекцией)	$<0.002\%$
Дрейф шкалы (без цифровой коррекции)	<5 ppm/ $^{\circ}$ С
Дрейф шкалы (с цифровой коррекцией)	<1 ppm/ $^{\circ}$ С
Выходное напряжение	± 10 В
Сопrotивление нагрузки	>10 КОм.

В следующей таблице приводятся основные параметры многоканального цифроаналогового преобразователя (использован в моделях CEAC208, CEAC124).

Параметр	Значение
Разрядность ЦАП	16 бит
Время установления ЦАПа на полную точность (при переключении от -10 В до $+10$ В)	<0.01 сек.
Абсолютная погрешность	$<0.03\%$
Температурная нестабильность масштаба	<10 ppm/ $^{\circ}$ С
Выходное напряжение	± 10 В
Сопrotивление нагрузки	>10 КОм.

4. Функциональные возможности

Для современных устройств управления и контроля функциональные возможности имеют не меньшее значение, чем основные параметры. Изначально во всех устройствах предусматривалось использование микроконтроллера и программируемой логики. Применение микроконтроллера позволяет сначала определить функции, требуемые от устройства, а затем все требуемые функции реализовать практически независимо от их сложности. Однако, широкие возможности, предоставляемые микроконтроллером, одновременно значительно увеличивают стоимость разработки. Общеизвестно, что разработка встраиваемого (embedded) программного обеспечения в несколько раз дороже разработки аппаратной составляющей и это не зависит от единицы счета – будь то рубли, или же человеко-месяцы.

Для удешевления стоимости разработки было использовано два приема. Во-первых, в качестве микроконтроллера были использованы микросхемы единого семейства (с системой команд MCS-51). Во-вторых, в устройствах была использована микросхема программируемой логики, которая предоставила микроконтроллеру унифицированный и достаточно простой доступ к внешним ресурсам. Некоторые внешние устройства (АЦП, ЦАП и т.п.) имеют параллельный интерфейс, другие же обладают только последовательным интерфейсом.

Разработка функций микросхемы программируемой логики также является случаем разработки встроенного (embedded) программного обеспечения. И здесь очень важно найти правильный баланс разделения функций между микроконтроллером и программируемой логикой. При разработке описываемой линейки устройств наивысшим приоритетом являлась минимизация затрат на разработку. Соответственно, в программируемую логику выносились функции либо скоростные, либо те, которые было легче реализовать в ней, а не в микроконтроллере (преобразование последовательных линков в параллельные и т.п.). Таким образом, удалось добиться достаточно простых программ для программируемой логики и в то же время очень похожих программ в микроконтроллерах.

Вообще говоря, возможно разработать единую управляющую программу микроконтроллера для всей линейки устройств. Этот вариант рассматривался. Однако, для этого требуется микроконтроллер следующего уровня производительности, чтобы компенсировать неизбежные при такой универсальности накладные расходы программного обеспечения. Гораздо дешевле было портировать программное обеспечение предыдущего поколения устройств в новую аппаратную среду.

Рассмотрим более подробно функциональные возможности разработанных устройств. Следует заметить, что за единственным исключением аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи никак

не связаны и могут обслуживаться управляющей программой как два независимых устройства. А исключением является режим «цифровой коррекции», который использует аналого-цифровой преобразователь для повышения класса ЦАП [6].

Основным назначением аналого-цифрового преобразователя описываемых устройств является измерение нескольких аналоговых сигналов с максимально возможной точностью и разрешением. Это определяется спецификой основной области применения – управляемые источники питания магнитов ускорительного комплекса. Даже в одноканальном источнике питания поворотных магнитов непрерывному контролю подлежат как минимум два сигнала – ток в нагрузке и напряжение на ней. Эти измерения реализуются специальным «режимом многоканальных измерений». Перед началом сканирования последовательности измеряемых каналов все устройства в режиме многоканальных измерений в обязательном порядке производят калибровку измерительного тракта, не полагаясь на память программиста. Это гарантирует максимально возможную абсолютную точность измерителя. Затраты времени на процедуру калибровки в приложениях, требующих многоканальных измерений, не являются существенными.

Существенным фактором для различных приложений является протокол обмена с многоканальным измерителем, точнее способы и алгоритмы обмена информацией. На небольших экспериментальных стендах, как правило, обновлять информацию о напряжениях в системе требуется не очень часто. Наряду с тем, в подобных системах часто используются интерпретирующие программные среды, которые совместно с непрофессиональными программистами делают невозможным обмен информацией с устройством в режиме реального времени. В то же время основными потребителями разработанной аппаратуры являются ускорительно-накопительные установки, где желательно иметь весь возможный объем информации, а программное обеспечение не является ограничивающим фактором.

Чтобы удовлетворить потребности различных систем автоматизации, был использован следующий прием. Для обмена с измерителем используется минимальный набор команд обмена. Команда инициации режима многоканальных измерений имеет дополнительный спецификатор, который и определяет особенности обмена информацией. Типичный способ работы на ускорительно-накопительных комплексах заключается в том, что после включения системы, программа инициализирует все измерители, после чего все измерители системы самостоятельно сканируют заранее заданные измерительные каналы и без каких-либо запросов от программы отправляют измеренные данные в коммуникационную линию. Для обеспечения однозначности интерпретации информации, каждый информационный пакет сопровождается адресом устройства в системе, а также номером измеряемого канала в блоке. Для простых приложений блоку можно указать,

что он должен запоминать измеренные данные и выдавать их в линию только по специальному запросу. Более того, при включении питания устройство само переходит в этот режим, только измеряет не часть входных каналов (это может знать только управляющая программа), а все имеющиеся. Таким образом, простым программам не нужно даже инициализировать устройство.

Для упрощения обмена все устройства все информационные пакеты стандартизованы, с точки зрения программиста, различные модели измерителей отличаются только количеством измеряемых каналов. Информационные пакеты, несущие информацию об измеренном напряжении, например, являются полными – в пакете содержится адрес устройства, номер измеряемого канала и стандартизованное значение напряжения. Единственное отличие – метка, говорящая о типе запроса и/или режиме измерения (непосредственное измерение или запомненное в памяти, многоканальный режим либо осциллографический).

Осциллографический режим работы измерителя, хотя и мало отличается от многоканального режима, с точки зрения программиста, имеет совершенно другие предназначения. Во-первых, этот режим предназначен для проверки источника питания, с точки зрения наличия относительно низкочастотных (до 300 Гц) пульсаций. Для этого используются измерения с коротким временем интегрирования (вплоть до 1 мсек). Во-вторых, этот режим используется для регистрации кратковременных колебаний выходного тока (напряжения) источника питания. Иногда какой-либо внешний фактор вызывает кратковременное изменение выходной величины источника питания, что приводит к гибели пучка в ускорителе. Очень часто после регистрации гибели пучка разбираться не с чем – внешний фактор уже исчез. В подобных случаях подозрительные источники питания ставятся на просмотр, в так называемом режиме, «время назад». В этом режиме измеритель непрерывно измеряет только подозрительный канал и запоминает измерения в кольцевом буфере. После искомого события, запись прерывается и можно просмотреть запись предыстории события.

Цифроаналоговые преобразователи имеют две основные функции. Во-первых, они предоставляют пользователю один, либо несколько каналов цифроаналогового преобразователя. Здесь также, как и в случае измерителя, набор команд и функций был стандартизован. В частности, запись «установить напряжение 8 В в канале 0» как для одноканального, так и для многоканального преобразователей выглядят идентично и на выходах обоих преобразователей установится одинаковое напряжение (с точностью до разрешения конкретной модели).

Во-вторых, цифроаналоговые преобразователи предоставляют пользователю программируемый генератор функции. В устройство может быть записан один или несколько файлов, описывающий поведение выходного напряжения от времени. Файл может быть снабжен специальной меткой. Управляющий компьютер может стартовать одно устройство или

группу с одинаковой меткой файла и соответствующие устройства будут строго синхронно изменять токи элементов магнитной системы во времени заранее определенным образом. Этот режим предназначен для облегчения реализации режима реального времени на больших комплексах (ВЭПП-2000). Исполнение программы может быть для всей группы приостановлено, выходные значения (либо содержимое файлов) скорректировано, затем продолжено.

К сожалению, цифроаналоговые преобразователи сделать идентичными, с точки зрения программиста, не удалось. Существенными являются два различия. Во-первых, прецизионный цифроаналоговый преобразователь построен на основе микросхемы сигма дельта преобразователя. Для сохранения точности цифроаналогового преобразователя такого типа в условиях изменения температуры окружающей среды либо изменения питающего напряжения требуется периодически проводить процедуру калибровки. При подаче на микросхему соответствующей команды она в течении около 0,5 секунд игнорирует другие команды. Такая пауза совершенно недопустима, например, в процессе подъема энергии пучка. Соответственно, сделать процедуру калибровки ЦАПа скрытой от пользователя невозможно.

Второе отличие относится к файлам генератора функций. Все команды манипуляции с файлами (создание, запись данных, старт, пауза и т.п.) не зависят от типа блока. Однако, структура файла связана с количеством каналов ЦАПа и их разрядностью. Облегчающим обстоятельством является тот факт, что создать унифицированную процедуру генерации кодов файла является не очень сложным, она вполне формализуется.

Следует особо отметить устройство CEAD20. Во всех остальных моделях всегда используется дифференциальное подключение источника сигнала к аналого-цифровому преобразователю. Опыт применения предшественников описываемых устройств показал, что измерительных каналов всегда хватает. В то же время в большинстве приложений требовалась повышенная точность измерений. Соответственно, нужно было использовать дифференциальный съем измеряемого сигнала. Однако, в последнее время появилось достаточно много приложений, с одной стороны, не требовательных к точности измерений, а с другой стороны, имеющих достаточно высокую концентрацию измеряемых сигналов. Примером могут являться системы термоконтроля. Для подобных приложений и предназначено устройство CEAD20. Это устройство может реконфигурировать свои входные цепи и предоставлять пользователю либо 20 дифференциальных входов, либо 40 однопроводных входов. Реконфигурация осуществляется с помощью единственной переменычки на плате. Естественно, вариант конфигурации доступен управляющей программе.

5. Примеры приложений

Хронологически, первым было разработано устройство CEDAC20. Естественно, оно и было первым применено [7]. Оно было использовано для управления и контроля источниками питания комплекса ВЭПП-2000. Это приложение является хорошим примером использования всех ресурсов управляющего устройства, а также использования практически всех функций, доступных управляющей программе.



На фотографии показана выпрямительная секция источника питания 10 КА и каркасы евромеханики для управления и контроля этой секции (на фотографии они отмечены стрелками). В каждом источнике (а на комплексе имеется два 10 килоамперных источника) один блок CEDAC20 используется как цифроаналоговый преобразователь и несколько таких блоков – для контроля ряда напряжений и дискретных сигналов. Требования к источнику питания поворотных магнитов исключительно высоки – дискретность перестройки требуется лучше чем 10^{-5} , а стабильность не хуже чем $2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Поэтому цифроаналоговый преобразователь работает в режиме «цифровой коррекции». Кроме того, при подъеме энергии все источники питания ускорительного кольца должны перестраиваться строго синхронно и достаточно быстро. Соответственно, все цифроаналоговые преобразователи работают в режиме генератора функций, т.е. используют «файловые механизмы» устройств. И в заключение можно сказать, что контроль дискретных сигналов задействует практически все входные регистры устройств.

Следующая фотография иллюстрирует применение модулей формата 3U (комплекс ТНК в Зеленограде). В евростойке присутствует один каркас одноканального 25-амперного источника питания поворотного магнита и два каркаса двухканальных источников питания подшунтировки.

Во всех случаях используется модули SEAC51. Из ресурсов модуля здесь используется цифроаналоговый преобразователь, несколько каналов аналого-цифрового преобразователя и несколько каналов дискретного

ввода/вывода (блокировка источника питания, считывание состояний «перегрузка», «перегрев»).



Следующая фотография иллюстрирует применение модулей формата 6U. На фотографии показан 8-канальный источник питания корректирующих элементов для комплекса ТНК в Зеленограде. Точно такие же многоканальные источники питания предполагается использовать на каналах транспортировки пучка «накопитель-охладитель» – ВЭПП-2000 (ВЭПП-4).



И последняя фотография иллюстрирует применение устройства СЕАС124 в системе управления 4-канальных источников питания магнитоэлектрических насосов (фотография с испытательного стенда) С помощью СЕАС124 измеряются токи магнитоэлектрических насосов, выходные напряжения, можно программно отключать выходное напряжение и переключать 5/7 КВ).



6. Заключение

Опыт первых применений разработанных устройств подтвердил правильность исходных посылок. Все устройства обладают параметрами соответствующими требуемым, являются технологичными как в производстве, так и в применении. Создание достаточно полного набора управляющих устройств для типовых приложений интенсифицировало разработки окончательных устройств в формате евромеханики. Новые системы (как, например, каналы транспортировки пучка «накопитель-охладитель» – ВЭПП-2000 – ВЭПП-4) изначально проектируются с использованием аппаратуры нового поколения.

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что разработка описанного набора устройств была вполне оправданной.

Литература

- [1] *E.N. Demytyev, V.R. Kozak, E.A. Kuper, A.S. Medvedko, A.D. Oreshkov, A.V. Ovchar, T.V. Salikova, P.A. Selivanov, S.S. Serebnyakov, E.N. Shubin, S.V. Tararyshkin, N.A. Vinokuro.* The architecture and basic hardware components of FEL control system. // XX Russian Particle Accelerator Conference, 10 to 14 September, 2006, Novosibirsk, Russia.
- [2] *D.E. Berkaev, P.B. Cheblakov, V.V. Druzhinin, V.R. Kozak, I.A. Koop, E.A. Kuper, A.N. Kyrpotin, A.P. Lysenko, Yu.A. Rogovsky, Yu.M. Shatunov, P.Yu. Shatunov.* Control system of VEPP-2000 collider (software, hardware). // XX Russian Particle Accelerator Conference, 10 to 14 September, 2006, Novosibirsk, Russia.
- [3] *B. Gudkov, A. Filipchenko, V. Kozak, E. Kuper, G. Kurkin, A. Medvedko, G. Serdobintsev, S. Tararyshkin, V. Ushakov, (Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia); V. Korchuganov, Yu. Krylov, A. Valentinov, Yu. Yupinov, KCSR RSC Kurchatov Institute, N. Spinko, (LSRIPP, Zelenograd, Russia).* Revision of Zelenograd synchrotron radiation facility control system. // XX Russian Particle Accelerator Conference, 10 to 14 September, 2006, Novosibirsk, Russia.
- [4] *B.P. Козак, Э.А. Купер, А.Н. Фисенко.* Набор устройств с интерфейсом CANBUS для систем автоматизации физических установок. // Препринт ИЯФ 2003-70, 2003.
- [5] *B.P. Козак, М.М. Ромах.* Устройства с интерфейсом CANbus для систем автоматизации физических установок (блоки SAC208, CURVV). // Препринт ИЯФ 2004-68, 2004.
- [6] *B.P. Козак.* Прецизионный цифроаналоговый преобразователь в стандарте VME. // Препринт ИЯФ 2006-44, 2006.
- [7] *S.S. Vasichev, V.F. Veremeenko, K.M. Gorchakov, Yu.A. Evtouchenko, V.R. Kozak, A.S. Medvedko, S.P. Petrov, R.Z. Pronik, V.P. Prosvetov, O.A. Proskurina.* Power supplies for the bending magnets of the BEP and VEPP-2000 storage ring. // XX Russian Particle Accelerator Conference, 10 to 14 September, 2006, Novosibirsk, Russia.

В.Р. Козак

**Набор устройств с интерфейсом CANbus
в евромеханическом стандарте**

V.Kozak

**Euromechanical device set
with CANbus interface**

ИЯФ 2008-18

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев
Работа поступила 4.06. 2008 г.

Сдано в набор 7.06. 2008 г.

Подписано в печать 8.06. 2008 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 18

Обработано на РС и отпечатано
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11