

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Тесленко В.А., НТУУ "КПИ", г. Киев, к.т.н

Проведение комплексных исследований и испытаний сложных механических конструкций предопределяет применение многоканальных измерительных систем, обеспечивающих получение и обработку информации от разнотипных датчиков. Одним из направлений реализации таких систем является применение крейтовых конструктивов с набором различных модулей. При этом возможны два подхода к конфигурации крейтовой системы:



Объект испытаний

- применение набора специализированных модулей, например, системы SCXI (National Instruments, США) или серии LTC (L-Card, Россия);
- применение универсальных модулей, обеспечивающих возможность оперативного конфигурирования измерительных каналов для работы с различными датчиками, например, модули ML10B системы измерительных усилителей MGC-plus (HMB, Германия).

Второй подход, конечно, ближе любому исследователю, так как позволяет варьировать номенклатурой измеряемых параметров и типами используемых датчиков в ходе эксперимента. Этот подход и используется в рассматриваемой аппаратуре, в которой применены конструктивные компоненты и базовые модули измерительной станции LTC. Система LTC включена в Госреестр средств измерений России. Открытая архитектура LTC и консультационная поддержка специалистов L-Card позволили существенно сократить сроки разработки системы.

Основу станции составляет разработанный автором универсальный 4-канальный измерительный усилитель. Каждый канал может быть оперативно сконфигурирован для работы с тензорезистивными датчиками, с резистивными (реохордными) датчиками и датчиками с выходным сигналом в виде напряжения. Измерительный тракт поддерживает работу с полумостовыми и потенциометрическими схемами включения резистивных датчиков, что обеспечивает выполнение измерений, регистрацию и обработку сигналов датчиков механических деформаций, силы, давления, перемещений, вибраций и других физических величин. Высокая чувствительность (пределы измерения входных напряжений $\pm 50 \text{ мкВ} \dots \pm 5 \text{ В}$) позволяет массово применять недорогие тензо- и вибродатчики с низкой чувствительностью.

Особенностями универсальной станции следует считать как работу под управлением компьютера, так и возможность работы в автономном режиме записи сигналов с помощью многоканальных аналоговых регистраторов.

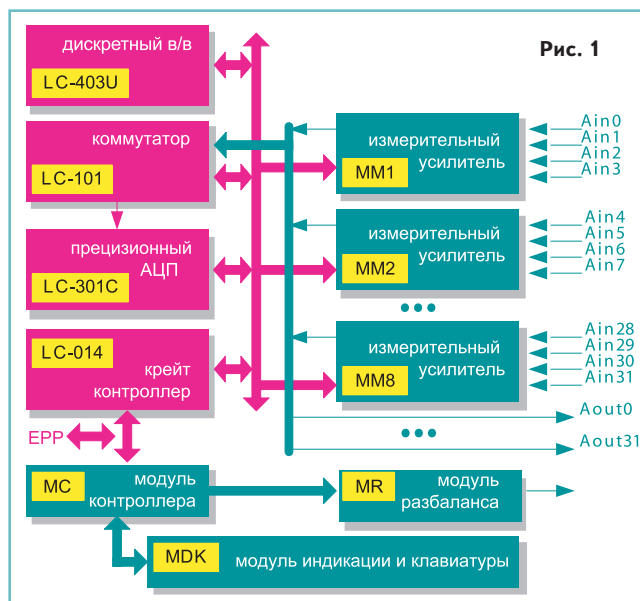
Структура комплекта 32-канальной тензометрической аппаратуры (рис.1) содержит крейт-контроллер LC-014, модуль аналого-цифрового преобразования LC-301C, аналоговый коммутатор LC-101, модуль дискретного В/В LC-403U, микроконтроллер MC, модуль индикации и клавиатуры MDK, модуль разбаланса MR и



Тензостанция

4-х канальные измерительные модули MM1..MM8.

Модуль крейт-контроллера выполнен на мощном 16-ти битном RISC-процессоре семейства ADSP21XX и осуществляет все функции по управлению модулями УСО, временной синхронизации, формированию массива данных и передаче его через блок внешнего интерфейса в компьютер по каналу LPT в режиме EPP или Bidirectional со скоростью до 800 кбайт/с. На плате контроллера установлена внешняя память 32 кСлов. Первые два банка (страницы) памяти по 8 кСлов каждый отведены под память программ и системную память данных. Таким образом, пользователю доступны два старших банка



общей емкостью 16 кСлов для хранения данных. Во внешней памяти организован FIFO-буфер для накопления данных с последующей передачей в ПК.

Модуль LC-301 является модулем, обеспечивающим 12-битовое аналого-цифровое преобразование сигналов. с частотой дискретизации до 250 кГц. Возможна поставка модуля с системой калибровки, включающей дополнительный 24-разрядный АЦП и 16-разрядный ЦАП. Данный модуль не имеет собственного внешнего разъема и не содержит каких-либо конфигурационных перемычек. Для работы с ним в системе необходимо наличие модуля коммутатора LC-101, выход которого подключается ко входу модуля LC-301 через внутреннюю шину крейта. Модуль LC-101 предназначен для коммутации 16 дифференциальных или 32 однопроводных аналоговых сигналов на вход модуля АЦП, а также для предварительного усиления сигнала выбранного канала: $R_{вх}$. не менее 10 МОм, 100 пФ, диапазоны входных сигналов ± 10 В, ± 5 В, ± 2.5 В, ± 1.25 В.

Многофункциональный модуль дискретного В/В LC-403U (4x8 линий, конфигурируемых побайтно как входы, выходы или выходы с контролем состояния) предназначен для управления приборами с цифровыми входами /выходами, а также для синхронизации процессов В/В. Часть линий В/В задействовано для реализации отдельных функций управления измерительными модулями.

Микрокомпьютерный модуль МС обеспечивает работу комплекта аппаратуры в автономном режиме. Он реализован на основе встраиваемого одноплатного ПК ICOP-6016 (ICOP Technology, Тайвань):

386SX-40, watchdog timer; часы реального времени RTC, ОЗУ 4 (8) МВ, Flash Disk 8-144 МВ, два коммуникационных порта RS-232 и RS-232/485; параллельный двунаправленный порт, поддерживающий режимы SPP, EPP и ECP; 16 программируемых дискретных линий В/В, питание 5 В (0,4 А).

Модуль индикации и клавиатуры MDK, состоящий из символьного LCD-индикатора 20г4 и мембранной клавиатуры 4г2, подключен к 16 дискретным линиям В/В микрокомпьютера. Этот модуль необходим для управления и отображения информации в автономном режиме работы комплекта, а именно для:

- задания режима работы канала

(тензоусилитель или нормирующий усилитель потенциометрических датчиков);

- начальной балансировки измерительного канала;
- задания коэффициентов усиления;
- задания частоты среза ФНЧ;
- отображения номера канала, режима работы, коэффициентов усиления, напряжений питания датчиков, частоты среза ФНЧ, знака и величины выходного напряжения канала (усредненное значение).

Канал: 32 Сх: МОСТ
Ус: 200*512 ФНЧ: 128 Гц
Режим: ИЗМ Пит: 0,5 В
Вых: + 0000 мВ

Работа оператора с модулем MDK построена в форме "меню". Нажатие одной из восьми функциональных кнопок, имеющих словесное описание, приводит к появлению мигающего маркера на индикаторной панели возле параметра, который предполагается изменить. Установка значений параметра осуществляется путем перебора фиксированных допустимых значений. При этом разовое нажатие кнопок приводит к изменению параметра на одно значение, соответственно большее или меньшее, если речь идет о цифровых характеристиках. При последующем удерживании указанных кнопок, перебор возможных значений осуществляется автоматически в ускоренном темпе. Выключение мигающего маркера осуществляется повторным нажатием той же функциональной кнопки. Установленные значения параметров фиксируются в памяти микрокомпьютера.

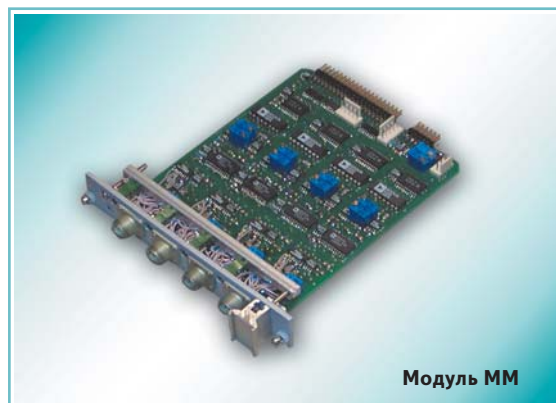
Подключение крейт-контроллера к внутреннему микрокомпьютеру или внешнему ПК выполняется с помощью коммутируемого разъема. Модуль разбалансов MR представляет собой набор коммутируемых опорных резисторов, которые могут быть подключены на вход любого из измерительных каналов для контроля его работоспособности.

Измерительные модули MM1..MM8 обеспечивают необходимые входные параметры - входное сопротивление, входной ток, подавление синфазной помехи, программно управляемое усиление и полосу

пропускания, компенсацию начального смещения (разбаланса) и буферизацию выходных аналоговых сигналов. Управление выполняется по внутренней шине крейта.

Структура модуля приведена на рис. 2. Измерительный модуль содержит четыре идентичных канала CH0..CH3, а также источник опорных напряжений UREF U15 и два дешифратора адреса DC D2, D3. В состав каждого измерительного канала входят:

- мультиплексор опорных напряжений питания датчиков U1;
- полумостовой опорный делитель R1, R2;
- буферные формирователи опорных напряжений питания датчиков U2, U13;
- усилитель разбаланса полумостовой схемы U6;
- дифференциальный усилитель сигналов резистивных (реохордных) датчиков U5;
- переключатель U10, обеспечивающий совместно с резистором R3 фиксацию входного потенциала не-



Модуль MM

задействованных (отключенных) измерительных каналов;

- переключатель U7, предназначенный для переключения режимов работы измерительных каналов в соответствии с используемой схемой подключения датчиков;
- перестраиваемый активный фильтр нижних частот (LPF) Баттерворта 3-го порядка U8, управляемый трехканальным преобразователем код-сопротивление DRC U9;
- переключатель U4, обеспечивающий возможность отключения перестраиваемого активного фильтра нижних частот (LPF) для режима измерения широкополосных сигналов;
- нормирующий усилитель PGA с программно управляемым коэффициентом усиления U14;
- буферный каскад U2, обеспечива-

ИЗМЕРЕНИЯ

- ющий подключение нагрузки с низким входным сопротивлением;
- два цифро-аналоговых преобразователя DAC1 (U12), DAC2 (U13), которые совместно с масштабирующими резисторами R3, R4 предназначены для компенсации начального смещения (разбаланса) измерительного канала;
- регистр D1, предназначенный для фиксации управляющих воздействий, формируемых программно;
- три дополнительных контакта (разъема) RSh0, RSh1, RSh2, которые предназначены для подключения модуля разбалансов.

печивается включением опорных резисторов R1и R2 (опорный полумост) в цепь инвертирующего операционного усилителя U13. Нестабильность опорных резисторов, в значительной степени, определяет смещение (дрейф) нуля измерительного канала. Для питания тензометрических датчиков используется два уровня переключаемого опорного напряжения: ± 2 В и $\pm 0,5$ В. При этом напряжение ± 2 В должно применяться для питания датчиков с номинальным значением сопротивления i 200 Ом. При номинальном сопротивлении датчиков менее 200 Ом - необходимо

значения входного напряжения модуля аналого-цифрового преобразования LC-301, равного ± 5 В, необходимо обеспечить общий коэффициент усиления измерительного канала 100000! Усилитель разбаланса полумостовой схемы U6 имеет фиксированный коэффициент усиления, равный 200, а нормирующий усилитель PGA с программно управляемым коэффициентом усиления U14 обеспечивает переключаемый коэффициент усиления от 1 до 512, кратно 2. Для питания потенциометрических (реохордных) датчиков формируется опорное напряжение ± 5 В.

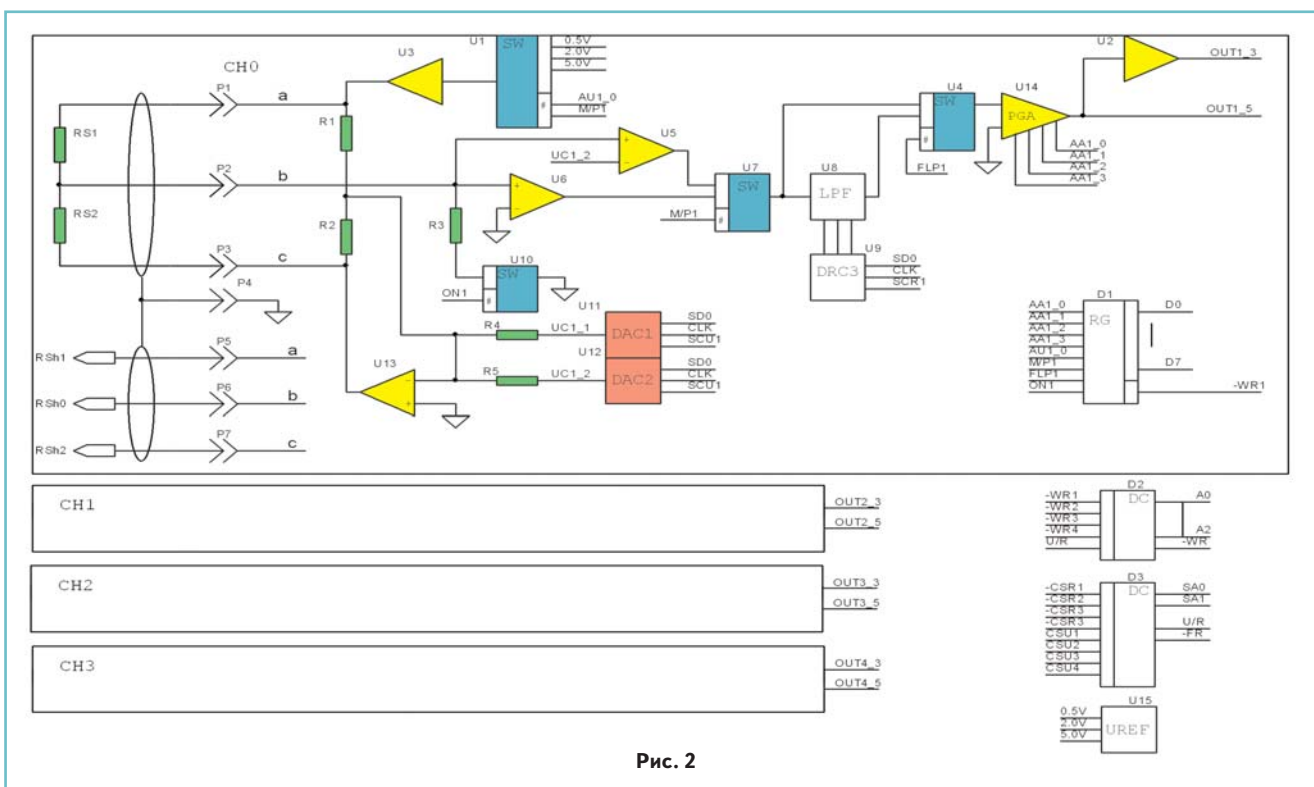


Рис. 2

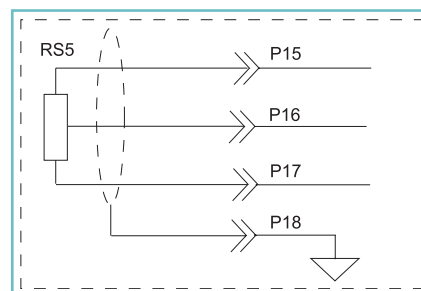
В каждом измерительном канале возможно организовать один из двух режимов работы: - режим тензоизмерений (рис. 2), при котором выходной сигнал тензомоста последовательно проходит через усилитель, ФНЧ, масштабный усилитель и подается на входы буферного повторителя, или режим нормирующего усилителя (рис.3), при котором сигнал с реохордного датчика давления или перемещения через коммутатор подается на ФНЧ, масштабный усилитель и далее аналогично первому режиму. Тем самым, входной сигнал нормализуется по частоте и амплитуде.

В измерительных каналах используется известная конфигурация подключения мостовых и полумостовых схем резистивных датчиков с квазидвуполярным питанием. Это обес-

использовать опорное напряжение с уровнями $\pm 0,5$ В. Указанные ограничения определяются свойствами источников питания модулей УСО крейта LTC. Питание аналоговых устройств и модулей осуществляется от источников напряжений с допустимым током нагрузки до 400 мА. С учетом потребления элементов измерительных модулей и других компонентов системы, суммарный рабочий ток питания датчиков не должен превышать 300 мА при допустимом токе питания тезорезисторов одного измерительного канала - не более 20 мА!

При указанных ограничениях необходимо было обеспечить нижний диапазон измерений ± 50 мкВ (при напряжении питания датчиков ± 2 В и номинальном сопротивлении датчиков 200 Ом). Для номинального

Существенное влияние на метрологические характеристики измерительного канала оказывают каскады формирования напряжений смещения (балансировки). Балансировка мостовой схемы включения реали-



зована программно (автоматически), при переключении заданного канала в режим балансировки (смещения).

ИЗМЕРЕНИЯ

При подключении к измерительному каналу реохордного датчика и потенциометрической схеме включения, требуемое смещение выходной характеристики датчика задается оператором. В первом случае реализуется итерационный алгоритм компенса-

и размещаются в конструктиве LTC, рассчитанном на монтаж в стойку 19". К конструктивным особенностям крейта можно отнести возможность работы, как с основным блоком питания LTC-PW (220 В, 50 Гц), так и с

ческой аппаратуры базируется на максимальном использовании возможностей программного обеспечения системы LTC, а разработанные измерительные модули адаптированы настолько это возможно к библиоте-



Тензостанция в вагоне-лаборатории динамических испытаний ДИИТ, г.Днепропетровск



ции, использующий несколько тактов измерений при различной чувствительности измерительного канала. Для обеспечения заданного динамического диапазона балансировки используются два 10-битовых цифро-аналоговых преобразователя DAC1 (U12), DAC2 (U13), выходы которых подключены к буферному формирователю опорных напряжений питания датчиков U13 через масштабирующие резисторы R3, R4. Указанный формирователь выполняет функцию сумматора. При допустимом разбалансе сопротивлений тензорезисторов до $\pm 4\%$ и напряжении питания тензорезистивного датчика ± 2 В, необходимо обеспечить компенсацию возможного разбаланса ± 40 мВ с разрешающей способностью не более ± 1 мкВ, что в два раза меньше допустимого уровня шумов. Для реализации указанных соотношений требуется 17-битовый цифро-аналоговый преобразователь, т.е. двоянный 10-битовый цифро-аналоговый преобразователь обеспечит требуемые параметры балансировки. Для смещения характеристик реохордных датчиков используется один 10-битовый цифро-аналоговый преобразователь DAC2 (U13), выход которого подключен к входу дифференциального усилителя сигналов резистивных (реохордных) датчиков U5.

Конструкция крейта системы LTC базируется на стандарте "Евромеханика 3U" и характеризуется высокой устойчивостью к механическим воздействиям. Все модули выполнены в виде плат размером 100x135 мм

дополнительным блоком питания OP-PW27 (27 В, постоянного тока).

Программное обеспечение комплекта 32-канальной тензометри-

ке драйверных функций. Программное обеспечение работы с портами контроллера и обмен данными с компьютером позволят избежать от

Технические характеристики комплекта

количество каналов	4..32
тензорезисторы реохордные датчики давления/перемещения	50 ÷ 400 Ом 500 ÷ 2500 Ом
схема включения тензорезисторов	полумост
ток питания тензомостов	не более 10 мА
напряжение питания тензомостов, раздельное по каждому каналу, с защитой от к.з.	± 2 В; $\pm 0,5$ В
тип линии связи	3-проводная, длина до 70 м
режим измерений	статодинамика
частотный диапазон	0.. 1000 Гц
диапазон начальной балансировки тензомостов, приведенный к номинальному сопротивлению	$\pm 4\%$
значения сопротивлений разбалансов калибровки	75; 150; 300; 600; 1200; 2400; 4700 кОм
диапазоны измерения разбаланса сопротивлений тензомоста, $\Delta R/R$, (отн. единиц * 10^{-3})	0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4
температурный дрейф нуля	не более $0,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
уровень шумов (скз), приведенный ко входу измерительного канала	не более 0,8 мкВ
частоты среза ФНЧ 3-го порядка	4; 8; 16; 20; 32; 40; 64; 80; 128 Гц
выходное напряжение канала	± 3 В
выходной ток	± 30 мА
режим нормирующего усилителя с реохордными датчиками	
максимальное входное напряжение	± 5 В
коэффициент усиления	1 ÷ 64, шаг 2
частотный диапазон	0 ÷ 20000 Гц

ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ТЕПЛА и ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРИБЫЛИ



Сертификат на систему качества ISO 9001:2000

Специализация : создание систем энергоснабжения на базе генераторных агрегатов и UPS

НПП "МАДЕК" производит проектирование, поставку, монтаж, ремонт, гарантийное, сервисное обслуживание

На июнь 2003 внедрено более 1 810 генераторных агрегатов и систем электропитания

ОБОРУДОВАНИЕ от НПП "МАДЕК" :

Газопоршневые генераторы FG Wilson от 10 до 4500 кВА

Газопоршневые генераторы WARTSILA от 600 до 10000 кВА

Системы утилизации тепла и когенерационные станции

Дизель - генераторы FG Wilson от 10 до 6500 кВА

Источники бесперебойного питания UPS APC от 0,25 до 480 кВА

Электростанции МАДЕК от 2 до 12 кВА

НПП "МАДЕК"

03056, Киев, ул. Борщаговская, 126, НТУУ "КПИ", корпус 18

тел. : (044) 241-95-57

факс: (044) 455-64-94

madek@madek.kiev.ua

www.madek.com.ua

низкоуровневого программирования и вызывать только функции верхнего уровня, обеспечивающими удобный интерфейс общения с модулями УСО. С системой поставляется законченный набор подпрограмм для DOS, для языка Си и библиотека функций под Windows.

Перед началом работы крейт-контроллер должен быть загружен программой L-BIOS. Загрузка производится стандартной функцией. Программное обеспечение для процессора крейт-контроллера (L-BIOS) не поддерживает алгоритмы обработки поступающей в него информации, а служит для обмена данными между РС и модулями УСО, а также управления ими. Предполагается, что обработка информации, например, быстрое преобразование Фурье, цифровая фильтрация входного сигнала и пр., будет происходить в компьютере. Необходимость в написании собственных программ низкого уровня (для сигнального процессора крейт-контроллера либо на уровне языка ассемблера для РС) требуется только при решении сложных задач, либо для оптимизации существующих функций под конкретную задачу.

Система программного обеспечения комплекта включает:

- файлы образа BIOS для контроллера и модулей УСО;
- законченную библиотеку функций для DOS для языка Си в виде исходных текстов на языках ассемблер для IBM PC и Си (BorlandC 3.1);
- DLL-библиотеку функций для среды Windows (16-ти и 32-х битную);
- примеры использования библиотек функций для DOS (на языке Си, Паскаль) и для Windows (для нескольких сред и языков программирования: C++, Delphi, CVI, LabView, Visual Basic).

DOS библиотека логически разбита на две большие части: ядро, представляющее собой ассемблерный драйвер lci_drv.asm (набор низкоуровневых функций, написанных на языке ассемблер для персонального IBM-совместимого компьютера, и общающихся с аппаратурой на уровне портов V/B), и интерфейсные высокоуровневые API-функции для работы с модулями крейта и самим контроллером, написанные на языке Си в среде BorlandC версии 3.1. API функции состоят в основном из вызовов ассемблерных функций и, помимо этого, содержат ряд полезных утилит.

DLL библиотека для работы под Windows содержит в себе все функ-

ции для работы с LTC системой и предоставляет удобный интерфейс для общения с внешними устройствами. Вызовы функций поддерживаются из всех популярных сегодня сред программирования: Delphi, BorlandC++, C++ Builder, Visual Basic, LabWindows/CVI, LabView и пр.

Базовое ПО позволяет:

- осуществлять асинхронный дискретный В/В;
- осуществлять асинхронный ввод с аналоговых каналов различных модулей;
- осуществлять многоканальный ввод с аналоговых каналов с частотой до 150 кГц на канал с синхронизацией по таймеру ADSP процессора с одновременной записью на жесткий диск;
- осуществлять ввод в программном режиме;
- однократный и непрерывный ввод
- генерировать прерывания.

В комплект поставляемого ПО могут быть дополнительно включены исходные тексты DLL-библиотеки для Windows для желающих оптимизировать стандартные функции и создавать свои приложения и комплект разработчика для программирования процессора ADSP21XX крейт-контроллера с исходными текстами программ для ADSP.

Разработка комплекта 32-канальной тензометрической аппаратуры выполнена по заказу Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна и прошла испытания в вагон-лаборатории.

Автор выражает признательность компании "ХОЛИТ Дэйта Систем" за поддержку и техническую помощь в реализации данного проекта.



КОНТАКТЫ:

т. (044) 245-31-00

e-mail: tesva@yandex.ru

