

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

6
2006

● Датчики

Компакт-диск
компании
Thermokon

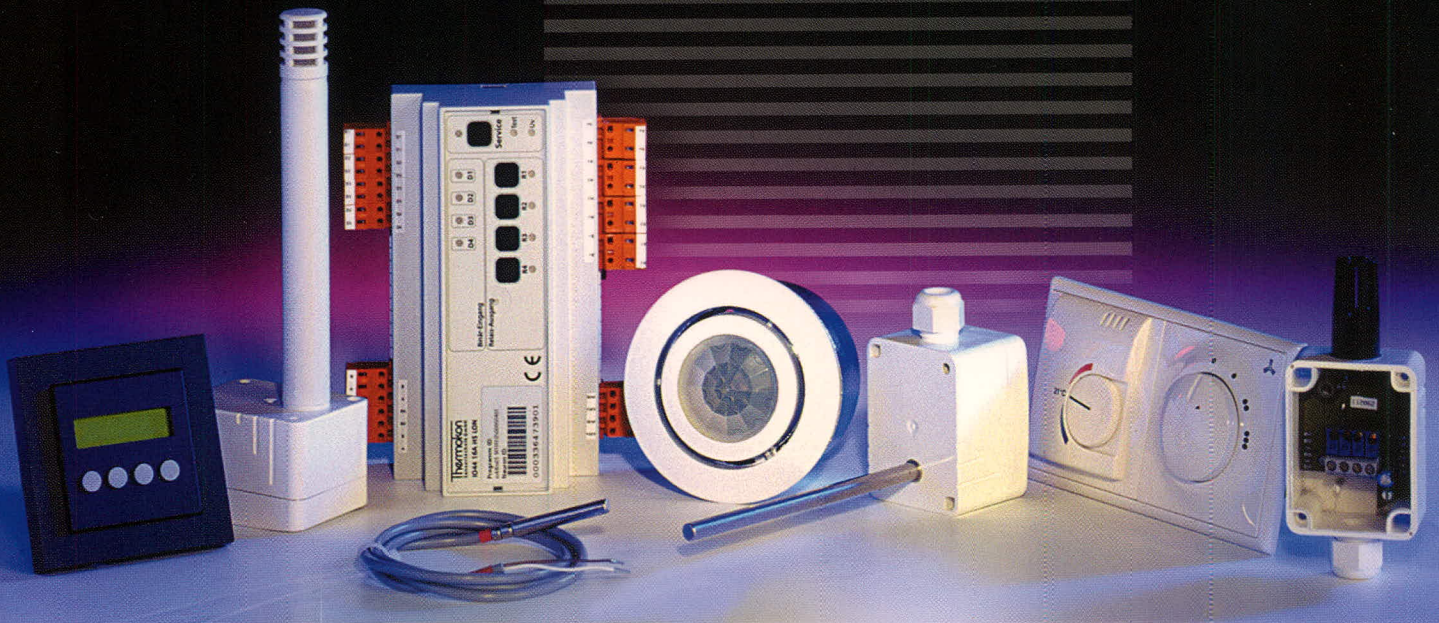


18.5°C = 64.5°F

00.5 1.2343.345 3:24

Современный дизайн

Передовые технологии



Сенсоры

thermokon
Sensortechnik GmbH

thermokon
Sensortechnik GmbH

каталог продукции



PROSOFT[®]

МОСКВА

Тел./Факс: (495) 234-0636 / 234-0640

E-mail: info@prosoft.ru; Web: www.prosoft.ru

С.-ПЕТЕРБУРГ

Тел./Факс: (343) 376-2820 / 376-2830

E-mail: info@prosoftsystems.ru

Web: www.prosoftsystems.ru

С.-ПЕТЕРБУРГ

Тел./Факс: (812) 448-0444 / 448-0339

E-mail: info@spb.prosoft.ru; Web: www.prosoft.ru

САМАРА

Тел./Факс: (846) 277-9165 / 277-9166

E-mail: info@samara.prosoft.ru

Web: www.prosoft.ru

Компания Thermokon является давним партнером компании WAGO в области автоматизации зданий, дополняя линейку контроллеров необходимыми датчиками и панелями управления.

Немецкая компания Thermokon в 1987 году начала с производства датчиков для систем отопления. К настоящему времени спектр изделий компании позволяет автоматизировать практически все процессы в зданиях. Датчики качества воздуха, влажности, освещенности и присутствия разработаны с использованием новейших технологий. При разработке изделий большое внимание уделяется дизайну.

PROSOFT[®]

ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

МОСКВА

Телефон: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

С.-ПЕТЕРБУРГ

Телефон: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ

Телефон: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru

САМАРА

Телефон: (846) 277-9165 • Факс: (846) 277-9166 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prochip.ru

Главный редактор

Александр Майстренко

Зам. главного редактора

Татьяна Крюк

Научные редакторы

Александр Масыкин, Роберт Алексанян

Дизайн и верстка

Татьяна Крюк, Александр Либков,
Дмитрий Юсим

Web-мастер

Дмитрий Романчук

Служба распространения

Ирина Самохина (circul@soel.ru)

Служба рекламы

Татьяна Кравченко (advert@soel.ru)

Издательство «СТА-ПРЕСС»

Директор Константин Седов

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Телефон: (495) 232-0087

Факс: (495) 232-1653

Сайт: www.soel.ru

E-mail: info@soel.ru

Тираж 15 000 экземпляров

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 года)

Свидетельство № 00271-000 о внесении в Реестр надёжных партнеров Торгово-промышленной палаты Российской Федерации
Цена договорная

Отпечатано:

Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

www.pkpp.ru

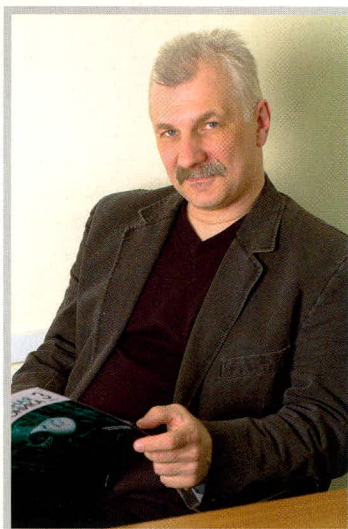
Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

© СТА-ПРЕСС, 2006



Уважаемые читатели!

Этот номер журнала посвящён датчикам.

Без датчиков, или, как их сейчас ещё называют, сенсоров, не может обойтись ни одна сколько-нибудь сложная система, будь то видеоманитофон, автомобиль или спиртзавод. По сути, это органы чувств системы, подающие в её вычислительный комплекс информацию о ней самой и окружающей её обстановке. Ошибки в оценке состояния системы, вызванные неточностью или неисправностью датчика, могут привести к нарушению работы и даже к аварии. Надо ли говорить, что в ряде случаев, например, в авиации, космонавтике или на химическом производстве, цена такой ошибки может быть очень высока. Датчики, таким образом, являются ответственными компонентами, от которых требуется высокая точность и надёжность.

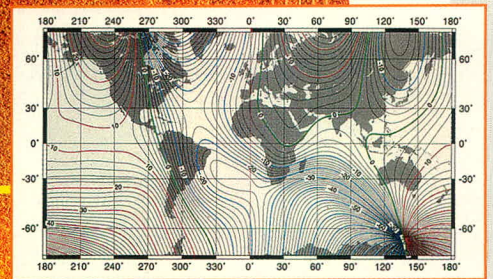
Благодаря развитию современной электроники появляются новые технологии изготовления и использования датчиков. Помимо усовершенствования традиционных датчиков давления, ускорения, температуры и т.д. появляются совершенно новые классы этих устройств, использующие самые современные технологии. Так, на смену традиционным механическим гироскопам пришли интегральные микромеханические датчики. Но вместе с тем, сейчас с успехом используются и технологии, предложенные около века назад, например, платиновые термодатчики, которым в некоторых случаях замены просто нет.

В одном журнале невозможно рассказать обо всех новинках, появившихся в этой области электроники хотя бы даже за последний год. Мы рассказываем только о самом интересном.

*С наилучшими пожеланиями,
Александр Майстренко*

Содержание **6** 2006

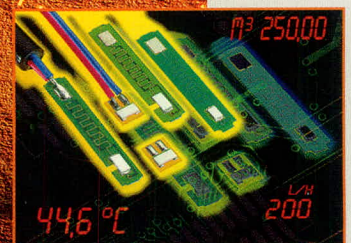
• ДАТЧИКИ



стр. 10



стр. 46



стр. 36

Рынок

4 Новости российского рынка

Современные технологии

10 Мультисенсорные навигационные системы для локального позиционирования
Александр Самарин

Компоненты

18 Акселерометры и гироскопы для портативных устройств
Николай Савенко

22 Датчики температуры
Алексей Журав

26 Аналоговые датчики температуры, влажности и давления
Владимир Бартенев, Максим Бартенев

32 Микрокамертонные кварцевые датчики
Валерий Симонов

36 Платиновые тонкоплёночные датчики температуры
фирмы Heraeus Sensor Technology
Александр Ядевич

40 Датчики компании «ПРОСОФТ-Системы»
Павел Галаган

46 Суперконденсаторы для электроники (часть 2)
Александр Деспотули, Александра Андреева

Схемные решения

52 Простой цифровой термометр с точностью 0,4°C
Рикардо Хименес, Нефтали Салазар, Майорал Улисес

Проекты

54 Микропроцессорный коммутатор аудиосигналов
Олег Пушкарёв

Приборы

56 Прецизионный термометр на основе пьезочастотных датчиков температуры
для промышленного применения
Дмитрий Тумайкин

Проектирование и моделирование

58 Программное обеспечение для анализа схемотехнического проекта
в базах ПЛИС и БМК
Сергей Артёмов

64 Схемы, методики и сценарии тестирования SPICE-совместимых макромоделей
операционных усилителей (часть 5)
Сергей Лоцицкий

Программирование

70 Практикум программиста USB-устройств.
Часть 4. Разработка программатора МК P89LPC9xx
Дмитрий Чекунов

События

78 Дисплей-2006: парад технологий средств отображения

79 Российский филиал National Instruments провёл конференцию
«Электроника/Авионика 2006»

Новости российского рынка

Компоненты

Разъёмы фирмы LEMO

Швейцарская фирма LEMO, ведущий мировой производитель электрических соединителей (разъёмов), всё сильнее проникает на отечественный рынок.

Основной прорыв наблюдается в области СВЧ-соединителей. На рынке, где ещё совсем недавно господствовал BNC-разъём, появилась более выгодная альтернатива – разъём серии 00 NIM-CAMAC (LEMO). На данный момент в условиях постоянно растущих требований к компактности изделий, данная серия разъёмов выигрывает перед другими производителями по следующим параметрам:

- посадочный диаметр 7 мм (нет аналогов);
- коаксиал, триаксиал и сигнальные разъёмы;
- самозащёлкивающийся push-pull-фиксатор;
- разнообразная цветовая палитра резиновых хвостовиков;
- радиационная защита до 108 Гр;
- 10 000 сочленений без изменений характеристик соединения;
- износостойкий диэлектрик (серого цвета);
- более 40 вариантов исполнений разъёмов;
- международный стандарт защиты IP50;
- контакты под пайку и обжим;
- эстетичный внешний вид.



Типовая маркировка разъёма: FFA.00.250 и ERA.00.250.

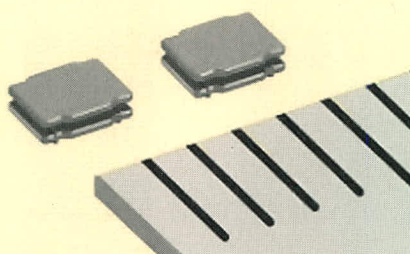
Из всего этого можно сделать вывод, что на рынке появился разъём, по многим параметрам превосходящий все близкие аналоги.

Дистрибьютор фирмы LEMO в России – компания «Электронная индустрия».

www.INDUSTRY.su
Тел. (495) 540-4530

Сверхтонкие катушки индуктивности для поверхностного монтажа 0806 EIA серии LQH2MC для DC/DC-преобразователей

Компания Murata Manufacturing разработала и запустила в производство новую серию катушек индуктивности LQH2MC



для DC/DC-преобразователей. От аналогичных продуктов их отличают миниатюрные размеры (2,0 × 1,6 × 0,7 мм), что позволяет использовать их в компактных портативных устройствах, например сотовых телефонах.

Новые катушки индуктивности перекрывают диапазон от 1,0 до 10 мГн при номинальной силе тока до 600 мА. Диапазон рабочих температур –40...+85°C. Катушка индуктивности выпускается по бессвинцовой технологии RoHS.

Современные портативные устройства, питающиеся от аккумуляторных батарей, могут содержать несколько DC/DC-преобразователей, включенных в систему распределённого питания. При этом катушки индуктивности могут занимать до 50% объёма и поверхности печатной платы преобразователя. Использование новых катушек индуктивности 0806 EIA серии LQH2MC позволяет снизить этот объём более чем на 15%.

Продукция доступна в массовых количествах с апреля 2006 г.

www.prochip.ru
тел. (495) 234-0636

Танталовые чип-конденсаторы T83 Vishay для высоконадёжных применений

Компания Vishay Intertechnology объявила о своей новой разработке – твердотельный танталовый чип-конденсатор Hi-Rel COTS T83. Конденсатор разработан для различных высоконадёжных применений, таких как авиационные и военные электронные системы, радары, ракетно-космическая техника и т.п. На сегодняшний день T83 –



это уникальный продукт с характеристиками, которые позволят разработчикам уменьшить габариты и вес электронных узлов.

Новые танталовые конденсаторы серии T83 имеют диапазон емкостей от 0,1 до 330 мкФ при напряжениях от 4 до 35 В и работают в температурном диапазоне –55...+125°C. Значение ESR снижено до 0,1 Ом при 25°C на частоте 100 кГц, что улучшает эффективность фильтрации выходного напряжения DC/DC-преобразователей, а также повышает устойчивость схемы при больших величинах тока пульсаций.

В настоящее время доступны образцы конденсаторов в производственных количествах.

www.prochip.ru
тел. (495) 234-0636

Новая микросхема компании Monolithic Power Systems для высоковольтных преобразователей

Компания MPS начала производство первых в своей продуктовой линейке интегральных DC/DC-преобразователей с входным напряжением от 4,75 до 150 В. Микросхема может быть использована для построения как трансформаторных источников электропитания по топологии Flyback/Forward, так и бестрансформаторных преобразователей по бустерной схеме или схеме SEPIC. В обоих случаях преобразователь позволяет развивать выходную мощность в нагрузке до 15 Вт.

Микросхема имеет архитектуру ШИМ-контроллера с фиксированной частотой преобразования и управлением по пиковому току через встроенный ключевой MOSFET с сопротивлением в открытом состоянии 0,9 Ом. Контроллер обеспечивает функции автоматического плавного запуска и перезапуска, защиты от перегрузки по току, короткого замыкания нагрузки, превышения входного напряжения. Благодаря наличию режима пропуска циклов преобразования микросхема обеспечивает устойчивую и экономичную работу на холостом ходу.

При использовании схмотехники с гальванической развязкой выходного напряжения, обратная связь может осуществляться с помощью транзисторной оптопары общего применения.

Новости российского рынка

Частота преобразования может быть выбрана в диапазоне 55...550 кГц, что позволяет оптимизировать требования к ЭМС в конкретном изделии.

Микросхема выполнена в корпусе SO-8 с теплоотводящим основанием и работоспособна в температурном диапазоне -40...+85°C.

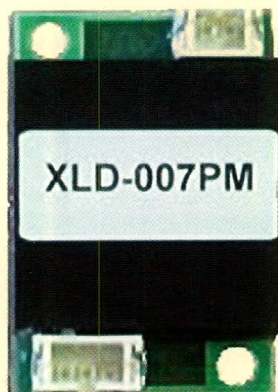
Контроллеры будут доступны в Москве в III квартале 2006 г.

www.prochip.ru
тел. (495) 234-0636

Узлы и модули

Универсальный драйвер для полупроводниковых ламп XLD-007PM

Компания «Прософт» представляет новый драйвер XLD-007PM из линейки светотехнической электроники XLight™. Данное устройство является модернизированной версией выпускаемого ранее драйвера XLD-007, отлично зарекомендовавшего себя за последний год эксплуатации во многих проектах.



Основным отличием является расширение диапазона входных напряжений от 2,4 до 21 В, возможность питания кластеров с количеством от 2 до 11 полупроводниковых ламп XLamp™ с кристаллами AlInGaP на SiC и от 1 до 7 – с кристаллами InGaN на SiC.

Драйвер выполнен в виде герметичного модуля с разъёмами для подключения источника питания и нагрузки и предназначен для эксплуатации в промышленном диапазоне рабочих температур -40...+85°C.

Драйвер XLD-007PM доступен со склада компании «Прософт» в промышленных количествах.

www.prochip.ru
тел. (495) 234-0636

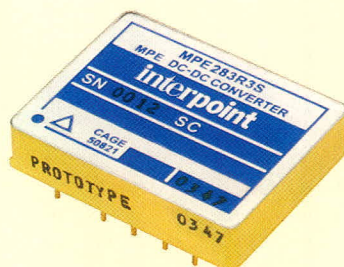
DC/DC-преобразователи для авиационных применений от фирмы Interpoint

Фирма Interpoint начала серийное производство высокоэффективных DC/DC-преобразователей серии MPE в модульном исполнении для применений в бортовой авиационной аппаратуре. Пре-

образователи характеризуются высокими энергетическими, габаритно-массовыми и точностными характеристиками. Габариты 37,08 × 28,7 × 8,38 мм, масса 35 г (без крепёжных фланцев). В контуре цепи обратной связи применяется трансформаторная развязка, удельная мощность равна 43 Вт/дюйм³. КПД практически не зависит от выходной мощности: модули способны работать с высоким уровнем КПД (до 88%) во всём диапазоне выходных мощностей.

Диапазон входных напряжений 16...40 В, частота преобразования составляет 500 кГц. Структурно модули серии MPE представляют собой одноканальный прямоходовый преобразователь с резонансным повторным включением схемы без выброса тока стока силового транзистора. Изделия характеризуются низким уровнем пульсаций выходных напряжений – 0,5% от номинального значения. Каналы двухканальных моделей изолированы друг от друга. Доступны модели с низким значением выходного напряжения – до 1,8 В (в перспективе до 1 В).

Модули обладают следующими сервисными функциями: дистанционное включение и выключение, синхронизация, защита от короткого замыкания нагрузки, выключение при понижении входного напряжения ниже предельного нижнего значения.



DC/DC-преобразователи способны выдерживать импульсные напряжения с амплитудой 50 В в течение 1 с. Диапазон рабочих температур -55...+125°C (температура основания корпуса). Поставляются изделия с двумя уровнями отбраковки: стандартный и специальный (ES).

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

DC/DC-преобразователи от Interpoint о встроенными входным и выходным фильтрами

Компания Interpoint объявила о начале поставок DC/DC-преобразователей серии FMTR, которые имеют встроенный помехоподавляющий фильтр на входе.

Изделия серии FMTR обеспечивают на выходе мощность до 30 Вт. DC/DC-преобразователи выполнены на основе одноканального прямоходового ШИМ-регулятора. В контуре обратной связи применяется трансформаторная развязка, а одноканальные модели снабжены цепью выносной обратной связи.

Изделия оснащены следующими сервисными функциями: защита от короткого замыкания нагрузки (при режиме КЗ осуществляется ограничение тока на уровне 115% от макс. значения выходного тока), защита от перегрузки, дистанционное включение и выключение, внешняя синхронизация.

Встроенные входной и выходной фильтры осуществляют подавление кондуктивных помех (вносимое затухание 55 дБ на частоте 500 кГц) и помех излучения, при этом значение максимального тока через входной фильтр (2,7 А) позволяет подключать дополнительные преобразователи через выходные контакты. Выходной фильтр осуществляет подавление дифференциальных помех и помех общего вида, что устраняет необходимость применения внешних развязывающих конденсаторов.

Конструктивно интегрально-гибридные преобразователи выполнены в герметичных металлических корпусах. Поставляются изделия с двумя уровнями отбраковки: стандартный и специальный (ES), что позволяет использовать их в военных, авиационно-космических и других применениях, требующих высоконадёжных изделий.

Общие характеристики: диапазон рабочих температур -55...+125°C (температура основания корпуса), частота преобразования 600 кГц, защита от импульсов перенапряжения с амплитудой 50 В и длительностью 50 мс.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Новости российского рынка

Новая серия трёхканальных DC/DC-преобразователей с высокими показателями качества от фирмы Interpoint

Фирма Interpoint начала серийное производство новой серии MWR DC/DC-преобразователей, характеризующихся высокими показателями качества. DC/DC-преобразователи серии MWR конструктивно выполнены по гибридной технологии. Они отличаются широким диапазоном напряжения питания (14...50 В) и высоким значением удельной мощности (33 Вт/дюйм³). Конструктивно изделия представляют собой герметизированный металлический модуль с габаритами 41,91 × 34,29 × 10,29 мм без крепёжных фланцев и 73,91 × 28,58 × 10,16 мм с крепёжными фланцами.



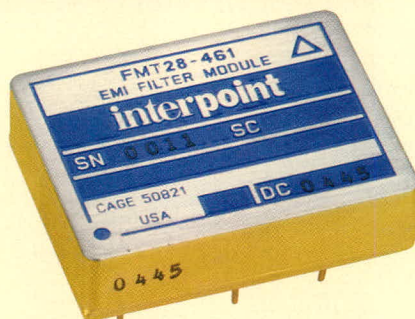
В обратноточковой одноканальной структуре применяется два контура обратной связи, работающие со сдвигом по фазе 120°, что обеспечивает небольшой уровень пульсаций выходного напряжения (0,5%) от номинального напряжения. В контуре цепей обратной связи применяется трансформаторная развязка, позволяющая работать с высоким уровнем КПД (до 85%) во всём диапазоне выходных мощностей.

DC/DC-преобразователи способны выдерживать импульсные напряжения с амплитудой 80 В в течение 1 с; изделия обладают сервисными функциями дистанционного включения/выключения и синхронизации. Диапазон рабочих температур -55...+125°C (температура основания корпуса). Поставляются изделия с двумя уровнями отбраковки: стандартный и специальный (ES).

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Высокоэффективный помехоподавляющий фильтр от фирмы Interpoint

Фирма Interpoint начала поставки помехоподавляющего фильтра FMT28-461 для применения с новыми DC/DC-преобразо-



вателями серий MWR и MPE. Наряду с этим фильтр можно применять также и с другими DC/DC-преобразователями фирмы Interpoint: MHD, MHV, MHF+, MSA, MGA, HSH, MCH, MGH, MHE, MRT, MTO.

Фильтр снижает кондуктивные помехи, возникающие при работе DC/DC-преобразователей – вносимое затухание на частоте 500 кГц составляет 50 дБ. Дроссели фильтра выполнены на бескаркасных ферритовых сердечниках, температура перегрева не превышает 20°C.

Значение максимального тока через фильтр 3 А. Габариты 37,08 × 28,7 × 9,14 мм (без крепёжных фланцев); масса 26 г. Диапазон рабочих температур -55...+125°C (температура основания корпуса). Поставляются изделия с тремя уровнями отбраковки: стандартный, специальный (ES) и по стандарту 883.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Sharp представляет первые ЖК-дисплеи для промышленных применений с универсальным представлением изображения

Технология Advanced Super View (ASV) позволяет устанавливать альбомный и портретный режимы представления изображения, расширяя сферу применения промышленных дисплеев. Новые 10,4- и 12,1-дюймовые промышленные дисплеи от фирмы Sharp созданы с применением технологии ASV. Это значит, что TFT-дисплеи имеют чрезвычайно широкий угол обзора (160° и 170° в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно) и обеспечивают превосходную чёткость изображения из любого положения наблюдения.

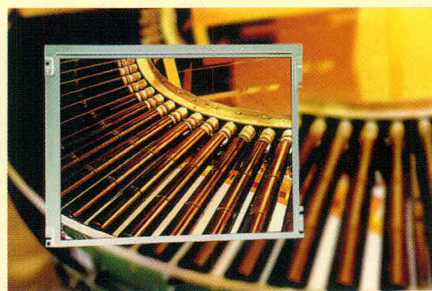
Другие созданные по TN-технологии промышленные дисплеи, доступные на рынке, не способны обеспечить высокую чёткость изображения из любого положения наблюдения, т.к. цветовая координата смещается и изображение подвергает-

ся воздействию солнца, как только угол обзора немного отклоняется от фронтального. С другой стороны, новые ЖК-дисплеи Sharp могут располагаться как в горизонтальном, так и в вертикальном формате, по всем высотам наблюдения благодаря широкому углу обзора. Высокая яркость (до 380 кд/м²) и значительное контрастное отношение (800 : 1) означает, что панели обеспечивают превосходную чёткость.

Изображения у дисплеев нового ряда отлично видны под любым углом наблюдения. Дисплеи могут быть установлены на уровне глаз, непосредственно под потолком или на высоте колен. Новые промышленные ЖК-дисплеи пригодны для широкого спектра применений: от медицинского оборудования до систем управления и автоматизации. Дополнительным преимуществом новых промышленных дисплеев Sharp является улучшенная гибкость конструкции. Так как изображение отчётливо видно из любого положения, разработчики не должны учитывать предпочтительное направление наблюдения при размещении панелей. Разнообразные типы дисплеев Sharp также предлагают высокий уровень конструктивной совместимости, которая означает, что применения могут изменяться или модифицироваться быстрее при значительно меньших затратах. Если, например, заказчику требуется панель для наружного применения с более широким диапазоном рабочих температур, может быть установлен модуль Strong-2 с такими же габаритами без необходимости адаптации деталей механической конструкции.

Технические характеристики новых дисплеев фирмы Sharp моделей LQ104V1DW02 и LQ121S1LW01 соответственно:

- размер диагонали: 26,4 см (10,4 дюйма), 30,7 см (12,1 дюйма);
- разрешение: VGA, SVGA;
- габариты (Ш × В × Г): 246,5 × 179,4 × 15,5 мм, 276 × 209 × 11 мм;
- угол обзора 160°/160°;
- яркость: 380 кд/м², 250 кд/м²;



Новости российского рынка

- контрастное отношение: 450 : 1, 800 : 1;
- количество воспроизводимых цветов 262 144;
- интерфейс: КМОП, 18-битный сигнал (6 бит/цвет), LVDS;
- напряжение питания 3,3/5 В.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Самый маленький в мире 212-ваттный источник питания AC/DC

Компания XP Power с помощью ряда новаторских способов разработки и производства микромодулей изготовила самый маленький в мире 212-ваттный одноканальный источник питания AC/DC, названный EMA212. Этот источник питания создан для коммуникационных применений и поэтому соответствует требованиям сетевого оборудования и систем voice over IP, беспроводных ЛВС, серверов, областей памяти вычислительных сетей и оконечного радиовещательного оборудования. Разработчики этих систем требуют повышенной мощности от блоков питания AC/DC в стандартном для промышленности конструктивном формате 1U (высота конструкции 34,04 мм). EMA212 является первым источником питания AC/DC на основе высокочастотных преобразователей, обеспечивающим в нагрузке свыше 200 Вт во всём диапазоне входных напряжений. Удельная мощность достигает значения 642 Вт/дм³ без изменения показателей качества или функциональности.

При полной нагрузке (КПД свыше 90%) EMA212 требует принудительного обдува небольшой интенсивности (12 CFM) для работы при температуре окружающей среды 50°C и будет функционировать до температуры 70°C с понижением выходной мощности. Основной выходной канал имеет номинальное значение напряжения 12 или 48 В, но каждый модуль также имеет канал 5 В, 100 мА вспомогательного напряжения (standby) и выход 12 В, 1 А для питания вентилятора. Модуль снабжён полным набором сигналов, включая сигналы состояния питания AC fail/DC OK, активную схему корректора коэффициента мощности (ККМ), дистанционное включение/выключение и активное распределение тока нагрузки.

Габариты входного фильтра были уменьшены до двухзвенной конструкции путём применения сердечников с высокой магнитной индукцией. Пакетный монтаж сердечников минимизирует площадь печатной платы и максимизирует эффек-

тивность отвода тепла. В схеме ККМ применяется диод из карбида кремния для получения дополнительно 1% КПД по отношению к традиционному диоду и демпфирующей цепочке. Катушка со ступенчатым зазором работает в режиме непрерывного тока, сокращая пиковый ток коммутации, и минимизирует требования к фильтру. Коммутационные потери устраняются применением структуры с резонансным переключением транзисторов при нулевом токе. Переключение осуществляется в точке нулевого тока при нагрузке от 0 до 100%. Более того, частота переключения 100 кГц даёт возможность применения малогабаритных магнитных компонентов без влияния на КПД.

В основном преобразователе керамическое основание печатной платы заменяет обычный радиатор, предлагая дополнительную экономию места. Та же технология отвода тепла применяется для выходных выпрямителей. При этом применение синхронного выпрямления устраняет практически все коммутационные потери, сохраняя низкий уровень пульсаций, и минимизирует как стоимость, так и площадь печатной платы. Коррекция коэффициента мощности осуществляется применением схемы управления с однократным циклом, которая предпочтительней, чем режим управления средним значением тока, осуществляемый за несколько циклов. Такая технология сокращает шесть пассивных компонентов, экономит площадь печатной платы и уменьшает стоимость модуля.

Модуль питания EMA212 обладает такими сервисными функциями, как защита от перегрузки по току, напряжению и короткому замыканию.

Серийное производство модулей питания EMA212 начнется в сентябре 2006 г.

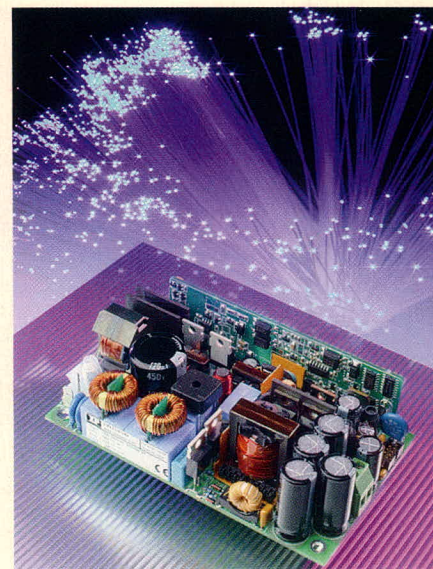
www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Гибкие и надёжные источники питания AC/DC для медицинского оборудования в компактных 200- и 300-ваттных исполнениях

Новейшие источники питания (ИП) AC/DC фирмы XP Power PBM200 (200 Вт) и PBM300 (300 Вт) сочетают гибкость (до четырёх выходов) и высокую надёжность (свыше 300 000 ч по MIL-HDBK-217F, температура 25°C). Они соответствуют всем требованиям медицинских стандартов к безопасности медицинских электрических изделий.



Габариты ИП серии PBM200 – 177,8 × 101,6 × 38,1 мм, PBM300 – 190,5 × 114,3 × 44,45 мм. Серия PBM200 состоит из 22 моделей, серия PBM300 включает в свой состав 21 модель. Номинальные значения выходных напряжений от 3,3 до 48 В постоянного тока, в 1-, 2-, 3- и 4-канальных исполнениях.



Разработанные главным образом для медицинских применений, изделия серии PBM200 поставляются укомплектованными кожухом и встроенным вентилятором и выдают в нагрузку до 200 Вт; доступны также изделия с конвекционным отводом тепла, с выходной мощностью 100 Вт. Аналогичные модели PBM300 характеризуются номинальной выходной мощностью 300 и 150 Вт соответственно.

Источники питания серии PBM оснащены плавкими предохранителями на входе (цепь фазы и «земли»), что обеспечивает соответствие требованиям европейских стандартов к медицинским электрическим системам без дополнительных предо-

Новости российского рынка

хранителей. Модули питания характеризуются универсальным входом от 90 до 264 В переменного тока, значением удельной мощности 4,76 Вт/дюйм³ и КПД до 80%.

Все модели оснащены функцией дистанционного включения/выключения, одноканальные модели имеют выносную обратную связь для компенсации падения напряжения до 0,5 В на проводниках между выходом и нагрузкой. Встроены также защита от перенапряжения, перегрузки по току и короткого замыкания.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Компания Nemic Lambda усиливает ряд промышленных источников питания для монтажа на DIN-рейку

Новинкой от фирмы Nemic Lambda является серия DHP компактных одноканальных источников питания (ИП) для монтажа на DIN-рейку. В таких применениях, как автоматизация производственных процессов и управление производственными процессами, всё большее применение находят модули ИП с выходным напряжением 24 В. Конструктивно они приспособлены для монтажа на DIN-рейку. Для удовлетворения спроса на такие ИП компания Nemic Lambda предоставляет 480- и 960-ваттные ИП. Это закономерное развитие существующей серии DLP. Они разработаны с учётом габаритов, КПД и надёжности.

Модули серии DHP являются экономически эффективными решениями для широкого ряда применений, включая системы управления электродвигателями, управление технологическими процессами, измерительное и испытательное оборудование. Все модели имеют трёхфазный вход с диапазоном напряжений 340...575 В. При этом 480-ваттные модули доступны с однофазным входом и с диапазоном входных напряжений 85...265 В.

Новые источники питания оснащены встроенной защитой от перегрузки по току и перенапряжения, имеют аварийный светодиод красного свечения и аварийные реле контакты, сообщающие оператору немедленное предупреждение о падении выходного напряжения ниже 22 В. Предусмотрена также функция дистанционного включения/выключения. Конвекционный отвод тепла применяется в диапазоне рабочих температур -10...60°C. Типичное значение КПД 93%.

Источники питания имеют стандартную общепринятую высоту и глубину 125 и 135 мм соответственно. Ширина составляет 140 мм для DHP480 и 220 мм для DHP960. Это позволяет минимизировать пространство, необходимое на DIN-рейке.

Чрезвычайно прочные новые модули серии DHP являются надёжными изделиями с длительным сроком службы. Гарантийный срок составляет 3 года.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

Новый одностержневый датчик уровня для сыпучих материалов

Датчики уровня вибрационного типа фирмы Pepperl+Fuchs завоевали прочное положение на рынке за прошлые десятилетия. В серии датчиков Vibracon-S-LVL-B фирма Pepperl+Fuchs выбрала новое направление и представила уникальный одностержневой датчик предельного уровня. Серия Vibracon стала известна благодаря своей высокой надёжности. Это также верно для новой серии датчиков вибрационного типа Vibracon-S-LVL-B. На рынке существует много одностержневых датчиков, но ни один из них не может составить конкуренцию новому датчику Vibracon-S. Новый наклоненный пьезогенератор обеспечивает его уникальные рабочие характеристики.

Развязка части датчика, связанного с технологическим процессом, от вибрирующего элемента делает датчик нечувствительным к внешним вибрационным воздействиям и гарантирует достоверные результаты измерений. Пьезогенератор не контактирует со средой, что делает его менее чувствительным к боковым нагрузкам и изменениям температуры.

Датчик Vibracon-S-LVL-B для определения предельного уровня сыпучих материалов является оптимальным по цене. Датчик доступен в двух исполнениях: компактная конструкция LVL-B1 и с удлиненной трубой LVL-B2.

Основные характеристики датчика:

- среда: от порошковых до крупнозернистых сыпучих материалов;
- максимальный размер гранулы 25 мм;
- минимальная плотность 200 г/л;
- диапазон измерения 225...1500 мм;
- максимальная температура среды 150°C.

Vibracon-S-LVL-B обеспечивает достоверные результаты измерений даже в комковатой или влажной среде, т.к. за-



клинивание не является проблемой для одностержневого датчика.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636

ЖК-дисплей LB1503R для предприятий торговли

Компания Planar Systems начала поставки 15-дюймового ЖК-дисплея открытого исполнения, разработанного для установки в киосках розничной торговли, системах видеонаблюдения и регистрации. Дополнительный композитный видеовход позволяет транслировать динамичное изображение. С помощью установочной системы стандарта 75 мм VESA новинка совместима с другими вариантами установки.

Основные характеристики ЖК-дисплея LB1503R:

- минимальная яркость 550 кд/м²;
- контрастность 500 : 1;
- время отклика 12 мс;
- разрешение: 1024 × 768 пикселей, IBM VGA, VESA VGA, SVGA, XGA;
- угол обзора 140°/120°;
- варианты входного сигнала: аналоговый – DVI-D, композитный – NTSC, PAL;
- внешний соединитель: D-sub, 15-контактный;
- диапазон рабочих температур 5...35°C, температур хранения -20...60°C;
- потребляемая мощность 60 Вт (3 Вт в дежурном режиме);
- габариты (Ш × В × Г) 360 × 270 × 41,5 мм;
- вес 3 кг.

www.prosoft.ru
тел. (495) 234-0636



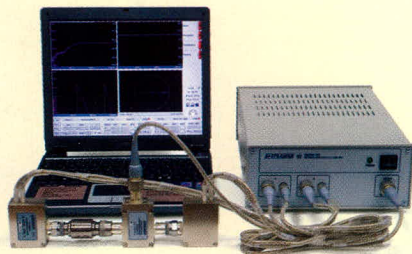
Новости российского рынка

Приборы

Измеритель КСВН «Обзор-103»

«Обзор-103» (Россия) выполнен в виде малогабаритного блока с внешними измерительными секциями и управляется по USB с помощью внешнего ПК. Измеритель «Обзор-103» обеспечивает измерения в частотном диапазоне до 1,3 ГГц. В Госреестре СИ РФ за № 29615-05.

Генератор качающей частоты является полностью синтезированным по диапазону. Измерительные секции выполнены по принципу гетеродинных приёмников с набором фильтров ПЧ с полосой от 30 Гц. Это обеспечивает динамический диапазон прибора свыше 100 дБ и линейность около 0,1 дБ/10 дБ. Наличие второй измерительной секции позволяет проводить измерения комплексного коэффициента передачи проходных устройств. Доступны: режим одновременного определения коэффициентов передачи диплексоров с помощью двух измерительных секций, режим



определения модуля коэффициента отражения устройств, работающих с переносом частоты.

Программное обеспечение позволяет отображать результат измерения в различных видах: КСВН, линейный и логарифмический масштаб коэффициента отражения, комплексное сопротивление в полярных координатах и т.д. Одновременно отображается до четырёх окон индикации, в каждом из которых возможно наблюдение измеряемых величин на проход и по отражению.

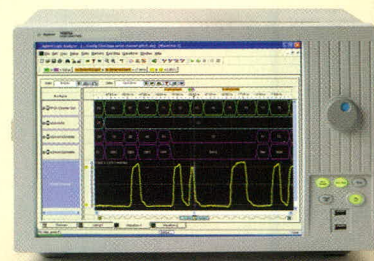
Завершается разработка измерителя с частотным диапазоном до 3 ГГц.

www.prist.ru
тел. (495) 777-5591

Самый производительный логический анализатор с фиксированной конфигурацией на рынке

Agilent Technologies выпустила новейшее семейство логических анализаторов 16800, обладающее высокой производительностью, в компактном корпусе с фиксированной конфигурацией, доступной по цене и мощными возможностями:

- в 4 раза больший объём памяти, чем у любого другого логического анализатора с фиксированной конфигурацией, – 32 Мвб;



- встроенный цифровой генератор тестовых последовательностей в трёх моделях;
- все восемь моделей серии 16800 с числом каналов от 34 до 204 обеспечивают 4-ГГц дискретизацию во времени (с разрешением 250 пс) одновременно с анализом логических состояний;
- возможность независимой модернизации глубины памяти сбора данных и частоты внешнего тактового сигнала;
- операционная система Windows XP Pro и дисплей с опциональным режимом Touch-screen обеспечивают невероятную простоту в использовании.

Цена модели 16801A с 34 каналами начинается примерно с 9450 долл. (на условиях CIP), а на старшую модель 16806A с 204 каналами она начинается с 25 000 долл. (на условиях CIP).

www.agilent.ru
тел. (495) 797-3965

События

Предприятие ОСТЕК отметило свое 15-летие

Предприятие ОСТЕК специализируется на внедрении технологий, поставке оборудования и материалов, оказании сервисных услуг и технической поддержки предприятиям – изготовителям электронной аппаратуры. Основными направлениями работы компании являются: мелкосерийное и крупносерийное сборочное оборудование, оборудование для электрического контроля и испытаний, обработки проводов и кабелей, микроэлектроники, а также поставка технологических материалов.

За 15 лет более 1500 компаний стали клиентами Предприятия ОСТЕК. Сегодня Предприятие работает более чем с 30 ведущими мировыми производителями оборудования и материалов для электронной промышленности. На Предприятии работает более 90 высококвалифицированных специалистов различного профиля.

В офисе Предприятие ОСТЕК функционирует Технологический центр для оценки качества изготовления электронных модулей клиентов, отработки новых технологических процессов, проведения исследований.

Предприятие ОСТЕК с 1998 г. выпускает бесплатный информационный бюллетень «Поверхностный монтаж» с полезной информацией о практическом опыте и теоретических основах поверхностного монтажа, новых технологиях, оборудовании, материалах для производства электроники.



За пятнадцать лет Предприятие ОСТЕК достигло многого, заметно выросло, но не собирается на этом останавливаться. В планах Предприятия – увеличение спектра услуг по сервису и поддержке клиентов, превышение мировых стандартов по качеству предоставляемых услуг, внедрение новых передовых технологий и усовершенствование бизнес-процессов, расширение присутствия на региональных рынках.

Предприятие ОСТЕК с оптимизмом смотрит в будущее, оставаясь лидирующей компанией на рынке электроники в России по поставке технологий, оборудования, материалов и оказанию сервисных услуг по всем своим стратегическим направлениям, а также совершенствуя собственную исследовательскую базу и готовя квалифицированных специалистов для профессиональной работы в данной области.

www.ostec-smt.ru
тел. (495) 788-4444

Мультисенсорные навигационные системы для локального позиционирования

Александр Самарин (Москва)

В статье дан обзор технологии локальной системы позиционирования для пешеходов на базе датчиков Honeywell. Приведены примеры использования системы локального позиционирования на основе модуля счисления пути. Даны характеристики отдельных компонентов пешеходной навигационной системы, приведена схемотехника отдельных узлов, рассмотрены метрологические аспекты пешеходной навигационной системы.

Системы позиционирования обеспечивают определение местонахождения пользователя с привязкой к карте местности или объекта. Навигационные, информационные, рекламные и игровые приложения, системы дистанционного управления, системы обеспечения безопасности – вот далеко не полный перечень возможностей, предоставляемых системами позиционирования. Существуют системы абсолютного и относительного (локального) позиционирования. Абсолютное позиционирование подразумевает получение каждый раз новых координат вне зависимости от предыдущего местоположения. GPS является примером такой системы. Относительное позиционирование предполагает знание начальных координат и

вычисление в процессе движения разностных координатных компонент. Технология основана на измерении векторов перемещения и длины пути.

Системы локального позиционирования обеспечивают большее разрешение, чем системы GPS, кроме того, некоторые из них могут работать как снаружи, так и внутри зданий, обеспечивая непрерывное отслеживание передвижения человека или другого объекта, например робота. Системы локального позиционирования, в свою очередь, могут быть автономными и неавтономными. Термин «автономный» означает полную независимость методики определения координат от наличия внешних излучаемых сигналов, например, спутниковых станций или ВЧ-передатчиков.

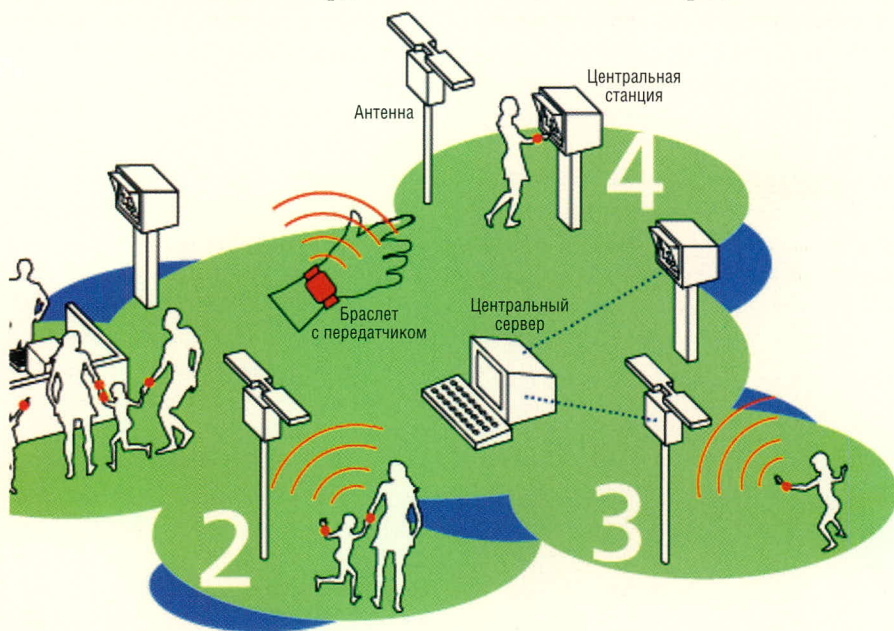


Рис. 1. Структура локальной навигационной системы SafeTzone

Неавтономные системы локального позиционирования

Примером систем неавтономного локального позиционирования являются разработки компаний SafeTzone и Hitachi. Обе фирмы используют такой же принцип действия, как и в системе GPS: пользовательское устройство измеряет задержку сигнала, приходящего от расположенных вокруг базовых станций.

Система SafeTzone применяется для нахождения потерявшихся посетителей в американских парках отдыха. Основу системы SafeTzone составляют приёмники, установленные по всей территории парка. Посетителям, желающим воспользоваться этой услугой, выдаются небольшие браслеты, оборудованные передатчиками. Каждые 12,5 с передатчик посылает данные о своём местонахождении на ближайший приёмник. Достижимая точность позиционирования составляет 6...15 м. Структура локальной навигационной системы SafeTzone показана на рис. 1.

Центральная станция навигационной системы (LocationStation) связана с интерактивными киосками-терминалами. Терминалы позволяют посетителю получить доступ в систему Guest Locator. Станция обеспечивает определение координат каждого члена группы и отправку сообщений.

В системе локального позиционирования Hitachi используется технология беспроводной передачи данных WLAN. Система должна иметь как минимум три узла, расположенных на расстоянии 100...200 м друг от друга. Точность позиционирования объекта составляет 1...3 м. Несмотря на обилие альтернативных способов позиционирования (GPS, сотовые сети и т.д.), на рынке существует потребность в системах, обеспечивающих высокую точность. Основными областями применения системы фирмы Hitachi является контроль за перемещениями оборудования и продукции на заводах и складах.

Автономные системы локального позиционирования

В автономных системах локального позиционирования применяется инерциальная система отсчёта. Базовыми компонентами такой системы являются гироскоп и магнитный компас, а также другие датчики, которые позволяют вводить поправки на возможный крен объекта при движении. Автономные системы локального позиционирования могут использоваться как для транспортных средств, так и для пешеходов. Разработка пешеходных систем локального позиционирования в настоящее время является актуальной задачей для использования в сфере так называемой Wearable Electronics – носимого или встроенного в одежду электронного оборудования. Одной из технологий автономных навигационных систем является Dead reckoning – вычисление пройденного пути.

Метод навигационного счисления пути

Одним из методов определения местоположения подвижных объектов является метод навигационного счисления пути, или метод инерциальной навигации. Движущийся объект (пешеход или транспортное средство) оснащается датчиками курса и пройденного пути, по показаниям которых определяется местоположение объекта относительно фиксированных точек на местности. Координаты фиксированных точек определяются GPS-системой, и по ним производится привязка объекта к электронной карте местности. В зависимости от назначения и структуры навигационной системы вычисление местоположения может производиться как непосредственно на самом объекте с помощью навигационного компьютера, так и на внешнем управляющем компьютере подсистемы обработки данных.

Пешеходная навигационная система счисления пути

Для определения координат нужна система отсчёта (reference frames). Для трёхмерной системы, какой является наш мир, используются три координаты.

Пешеходная система навигационного счисления пути базируется на использовании системы датчиков и встроенного микроконтроллера, который производит вычисление курса и

пройденного пути. Магниторезистивные трёхосевые датчики обеспечивают определение направления движения пешехода. Датчики гироскопа и акселерометра позволяют учесть поправки на крен датчиков магнитометра при движении пешехода. С помощью акселерометров производится фиксация дискретных движений, например шага. Встроенный барометрический датчик давления позволяет определить третью координату при перемещении объекта, например, по этажам здания. Температурный датчик позволяет скорректировать показания всех датчиков, в которых проявляется температурный дрейф параметров. В системе также может присутствовать и GPS-приёмник для привязки перемещений пешехода к абсолютным координатам на карте местности. На рис. 2 показана типовая структура пешеходного навигатора.

«Сердце» системы – хост-микропроцессор. Он принимает данные широты и долготы от GPS-приёмника, значения векторов от датчиков магнитного поля и значения ускорений от MEMS-акселерометров. Кроме того, для вычисления положения по высоте в системе имеется встроенный температурный и барометрический датчик. Модуль GPS-приёмника состоит из антенны, блока приёмника RF-сигнала и демодулятора. Большинство приёмников используют чипсет из двух микросхем для приёма и демодуляции сигналов частотой 1227,6 МГц двенадцати спутниковых каналов (L2 downlink).

Микроконтроллер вычисляет векторы изменений и точки изменения траектории, скорости движения и выполняет расчёт времени прохождения трассы. Длина пути пешехода складывается из последовательных дискретных перемещений. Пешеход может двигаться как медленным шагом, так и быстрым, а также бежать. Кроме того, должны учитываться движения назад, вбок и передвижения по-пластунски. Алгоритм работы системы должен обеспечить распознавание типа перемещения, вычисление длины дискретного перемещения и вектора перемещения. В памяти контроллера перемещения фиксируется двухмерная или трёхмерная карта перемещения. Вычисление длины шага является нетривиальной задачей. Решается она использованием данных от датчиков акселерометров и датчиков магнитного поля.

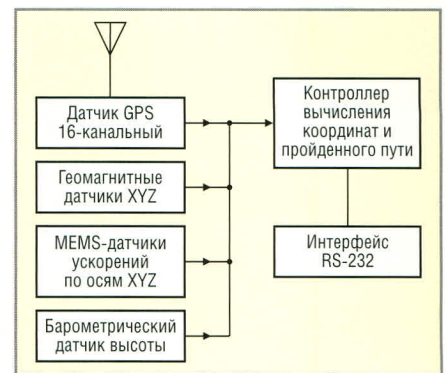


Рис. 2. Типовая структура пешеходного навигатора

Система для пешеходной навигации должна иметь малые габариты и малое потребление энергии при питании от батарей.

Датчики Honeywell для модуля локального позиционирования

Для создания различных навигационных систем фирма Honeywell выпускает как отдельные датчики, так и различные готовые модули «под ключ» со встроенными схемами согласования и обработки сигналов. Компания Honeywell владеет фирменной технологией для производства очень точных магниторезистивных датчиков. На их основе фирма разработала готовые функциональные модули магнитометров и электронных магнитных компасов. Специалистами Honeywell разработаны и запатентованы эффективные алгоритмы обработки первичных данных от интегральных датчиков. Эти алгоритмы дают пользователям готовые функциональные решения и избавляют от расходов на собственные разработки.

Электронный магнитный компас

Многие навигационные системы в настоящее время используют различные типы компасов для определения направлений движения. Магнитный компас, изобретённый китайцами, человечество использует уже сотни лет. Известно, что мореплаватели XII в. в походах по Средиземному морю уже использовали магнитные компасы. Интенсивность магнитного поля Земли на уровне поверхности находится в пределах 0,5...0,6 Гс. Вектор магнитного поля параллелен поверхности и направлен на Северный магнитный полюс Земли. Это базовые эффекты, на которых основана работа всех типов магнитных

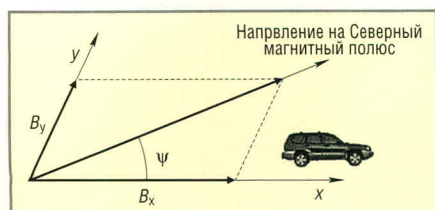


Рис. 3. Вычисление направления электронного магнитного компаса

компасов. Электронные магнитные компасы, построенные на базе магниторезистивных датчиков, также используют магнитное поле Земли. Датчики способны обеспечить разрешение до 0,1°. Электронные компасы используются как самостоятельные устройства, компоненты к многоэлементным навигационным системам и в качестве встроенных модулей GPS-приёмников. Многие легковые и грузовые машины по всему миру оснащаются электронными компасами. Несмотря на то что GPS-приёмники в комплекте с одной антенной обладают высокой точностью определения местоположения, они не в состоянии определить свой курс – направление движения самого приёмника или платформы, на которой он установлен. На помощь в данной ситуации приходит компас! Когда GPS-сигналы блокируются всевозможными физическими препятствиями, навигационная система с поддержкой GPS может указать направление дальнейшего движения на основании данных, полученных от компаса.

Датчики магнитного поля Земли и GPS хорошо дополняют друг друга и обеспечивают решение как простых, так и сложных навигационных задач.

Большинство электронных компасов основано на датчиках, называемых магнитометрами. Магнитометр – это

прибор для измерения интенсивности одного или нескольких составляющих магнитного поля Земли. Полученные данные усиливаются, нормируются и передаются в микроконтроллер для вычисления вектора направления компаса. Типовой электронный компас создаётся при помощи установки двух магнитометров под правильными углами на плоской горизонтальной опоре. Каждый датчик измеряет одну из компонент горизонтального поля – по оси X опоры и по оси Y. Если мы запишем эти компоненты как B_x и B_y , то угол между осью X и направлением горизонтального поля, указывающим на Северный магнитный полюс, будет равен арктангенсу отношения B_x/B_y (рис. 3).

МАГНИТНОЕ СКЛОНЕНИЕ

Стрелка компаса показывает не на Северный географический полюс, а на Северный магнитный полюс, который находится в северной части Канады, вблизи острова Принца Уэльского, в 1300 милях от северного географического полюса. Величина угла между направлением на Северный магнитный полюс и направлением на Северный географический полюс для различных районов Земли различна. Этот угол в данной точке земной поверхности называется магнитным склонением. Коэффициенты магнитного склонения должны быть учтены для определения истинного направления на географический полюс и вычисления географических координат. Карта изолиний коэффициентов магнитного склонения для земного шара представлена на рис. 4.

В электронных магнитных компасах коэффициенты магнитного склонения считываются из Flash-памяти. Значе-

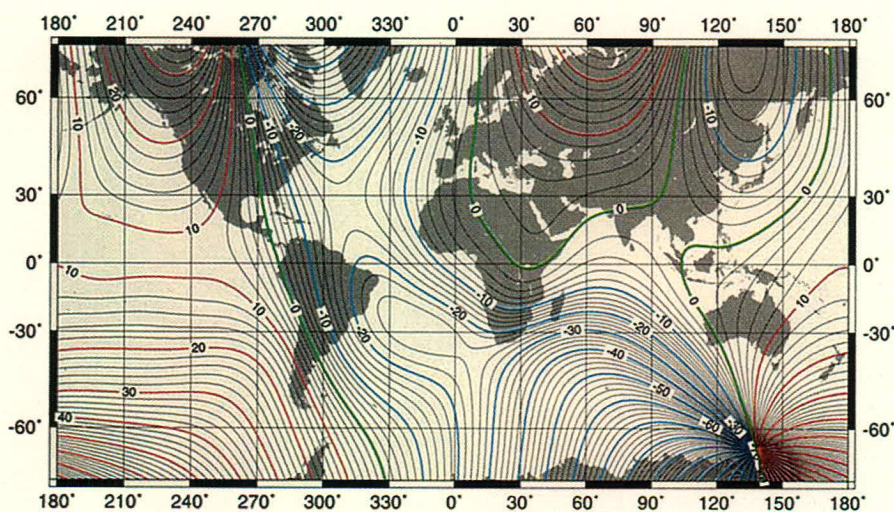


Рис. 4. Карта изолиний коэффициентов магнитного склонения

ние коэффициентов определяется исходя из знания координат местности.

МОСТОВЫЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЕ ДАТЧИКИ HONEYWELL

В основе принципа действия мостовых магниторезистивных датчиков лежит АМР (анизотропный магниторезистивный) эффект, который основан на способности пермаллоевой (NiFe) плёнки изменять своё сопротивление в зависимости от ориентации протекающего через плёнку тока к направлению её вектора намагниченности. При производстве датчиков плёнка помещается в сильное магнитное поле для ориентации магнитных областей в одинаковом направлении. Тем самым задаётся направление вектора намагничивания. Затем при попадании во внешнее магнитное поле, перпендикулярное плёнке, вектор намагничивания начинает вращаться или изменять угол. Это, в свою очередь, меняет сопротивление плёнки. Для построения датчика четыре идентичных магниторезистивных плёнки соединяются по мостовой схеме, как показано на рис. 5. Плёнки формируются осаждением тонкого слоя пермаллоя на кремниевую пластину в форме ромба.

Мостовой магниторезистивный датчик имеет ось предпочтительного намагничивания или «лёгкую» ось, которая принудительно формируется встроенной плоской катушкой SET/RESET. Подача короткого установочного импульса тока 2...5 А длительностью 1...2 мкс через катушку SET/RESET формирует поле, ориенти-

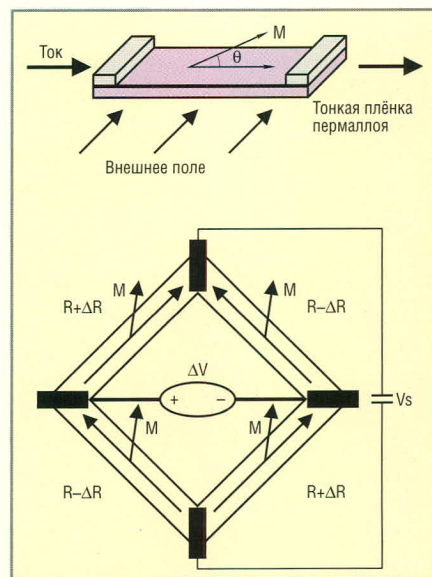


Рис. 5. Принцип работы магниторезистивного датчика

рующее магнитные домены плёнок сенсора в одном направлении. Для восстановления максимальной чувствительности датчика требуется периодическое проведение данной процедуры. Сильное внешнее магнитное поле постепенно ослабляет чувствительность датчика. Смещение характеристики датчика происходит также из-за присутствия вблизи сенсора крупного ферромагнитного объекта. Внешнее поле компенсируется с помощью второй встроенной в сенсор катушки OFFSET. Помимо компенсации смещения характеристики от паразитных магнитных полей, при помощи катушки OFFSET производится автокалибровка усиления МР-моста в процессе работы. Это процедура необходима и для температурной компенсации параметров датчика.

Выпускаются магниторезистивные датчики с одной, двумя или тремя осями. Датчики могут выпускаться как отдельные устройства либо использоваться в составе готовых модулей. При правильной калибровке электронные компасы на магниторезистивных датчиках могут достигать точности, превышающей один градус. Встроенные компасы в некоторых GPS-приёмниках реализованы именно на данной технологии. Электронные компасы тоже необходимо калибровать для исправления отклонений и других возможных ошибок, таких как масштабный коэффициент и ошибки при несовпадении осей. Двух- и трёхосевые сенсоры главным образом предназначены для построения датчиков курса по магнитному полю Земли в автомобильных, морских и авиационных приложениях.

Модули электронного компаса Honeywell

Принцип действия модулей электронных компасов Honeywell основан на измерении горизонтальных составляющих поля Земли и определения угла наклона пешехода или транспортного средства. Имея двухкоординатный датчик магнитного поля, датчик крена и учитывая несовпадение географического меридиана с магнитным, можно построить высокоточный датчик курса на север. Для построения электронного компаса фирма Honeywell выпускает специальный компасный набор HMC1055, включающий двух- и одноосевые датчики магнитного поля, а также М-датчик уско-

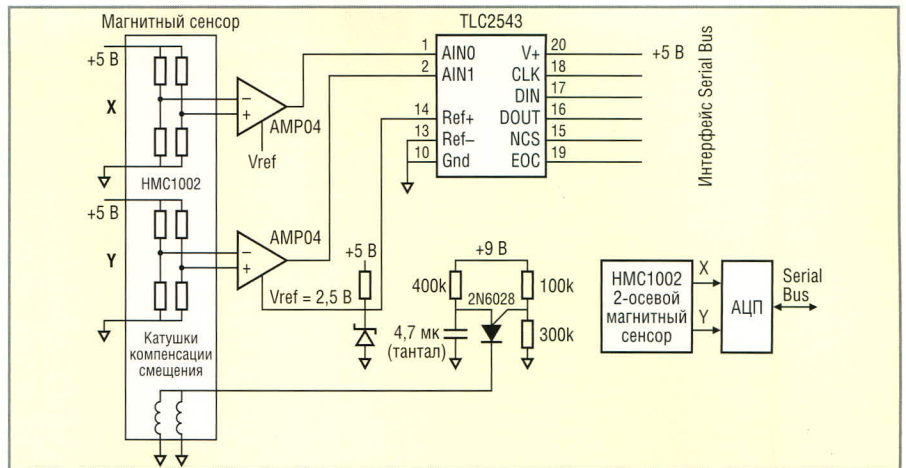


Рис. 6. Структура модуля с двухосевым магниторезистивным датчиком

рения для определения крена объекта. Линейка датчиков Honeywell включает два прибора (HMC1501 и HMC1512), которые предназначены для работы в сильном магнитном поле (80 Гс и более) в режиме насыщения без деградации характеристики. На рис. 6. представлена структура модуля с двухосевым магниторезистивным датчиком.

Микросхема TLC2543 представляет собой 12-разрядный 11-канальный АЦП с последовательной шиной производства компании Texas Instruments.

Ниже приведены краткие характеристики других модулей электронных компасов Honeywell.

Модуль цифрового компаса HMR3100

На рис. 7. показано недорогое устройство – модуль цифрового компаса HMR3100 с интерфейсом USART.

Размеры модуля: 19 × 19 × 4,5 мм. В модуле используется двухосевый магниторезистивный датчик (два HMC1022) и отсутствует датчик компенсации крена. Области применения модуля: носимая электроника, системы ориентации телескопов и поворота антенн, навигационные системы бытового применения.

Интегральный модуль двухосевого магнитного компаса HMC6352

Модуль HMC6352, показанный на рис. 8, имеет меньшие размеры, чем HMR3100. Вся необходимая обработка первичных данных производится программой встроенного микроконтроллера. Хост-контроллер получает уже обработанные данные. Модуль предназначен для встраивания в недорогие устройства бытовой электроники, например мобильные телефоны.

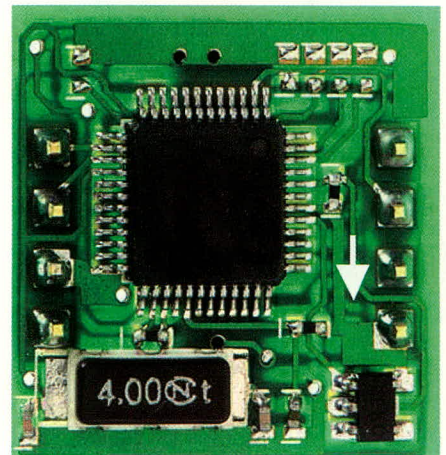


Рис. 7. Модуль цифрового компаса HMR3100

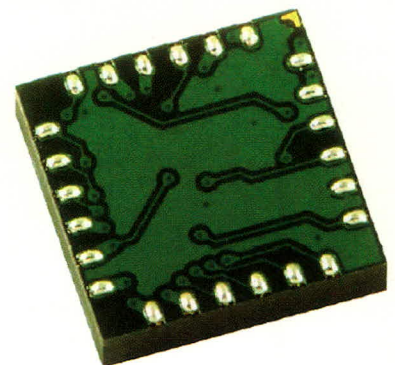


Рис. 8. Интегральный модуль двухосевого магнитного компаса HMC6352 Honeywell

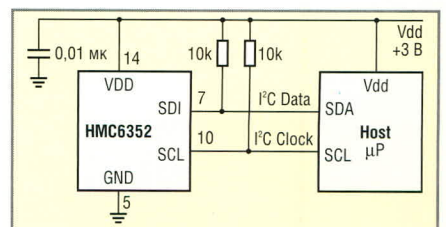


Рис. 9. Интерфейс датчика HMC6352 с хост-контроллером

Модуль имеет размеры 6,5 × 6,5 × 1,5 мм. В качестве интерфейса с хост-контроллером используется шина I²C (см. рис. 9). Питание осуществляется от источника 2,7...5,2 В.

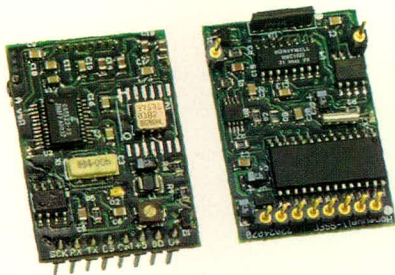


Рис. 10. Цифровой компас HMR3200/HMR3300



Рис. 11. Общий вид модуля µPOINT

Модуль цифрового компаса HMR3200/HMR3300

Модуль цифрового компаса HMR3200/HMR3300 представлен на рис. 10.

Это более дорогой и более точный компас. В нём используются три ортогональных магниторезистивных датчика. В модуль HMR3300 встроены MEMS-акселерометры для компенсации крена производства компании Analog Devices (ADXL213). Частота опроса данных составляет 8 Гц. Обмен данными осуществляется с помощью интерфейсов RS-232, SPI и специального командного протокола управления. Область применения – бытовая электроника, промышленные приборы.

Модуль цифрового магнитного компаса µPOINT

Этот модуль относится к новому поколению интеллектуальных азимутальных интегральных датчиков, в которых используется технология твердотельного MEMS-гироскопа и магниторезистивных датчиков. Модуль отличают малые габариты, малое потребление энергии, наличие встроенного контроллера для обработки данных. Общий вид модуля представлен на рис. 11.

Основные особенности модуля µPOINT:

- гироскопическая стабилизация;
- компенсация кренов (азимутальная точность – 0,5°, точность по углам склонения – 0,2°);
- скорость обновления данных – 25 Гц;
- высокая стойкость к ударам и вибрациям;
- выбираемые пользователем опции для компенсации внешнего магнитного поля;
- автоматическое вычисление коэффициентов магнитного склонения по встроенной Мировой карте магнитной модели Земли;
- патентованные решения и алгоритмы;
- габариты – 25,4 × 26,4 × 13 мм;
- интерфейс – RS-232 (9,6...38,4 кБод);
- потребление – 400 мВт (220 мВт в режиме покоя).

Базовая структура модуля вычисления пути

Модуль вычисления пути состоит из датчика магнитного компаса HMC6042 и специализированной микросхемы вычисления пути SIFRstar2t (см. рис. 12). Эта микросхема имеет встроенный двухканальный АЦП и последовательный интерфейс с хост-микроконтроллером.

Honeywell HMC6042 является двухосевым интегральным датчиком магнитного поля, в котором наряду с двумя кристаллами датчиков HMC1042 содержится микросхема обработки сигнала (HMR5003). Схема обработки сигнала состоит из усилителей, АЦП и микроконтроллера с интерфейсом управления. Эта же микросхема содержит формирователь сигнала для периодического восстановления магнитной чувствительности датчиков. Для этой цели выходной каскад формирует импульс длительностью 1...2 мкс. Выходной ток микросхемы – не менее 400 мА. Для формирования короткого токового импульса используется встроенный емкостной умножитель напряжения.

Модуль может быть использован для встраивания в мобильные телефоны нового поколения, персональные системы мониторинга, а также в системы для слежения за перемещением объектов как снаружи, так и внутри помещений. Для увеличения разрешения позиционирования структура компаса дополняется трёхосевыми магнитными датчиками и по крайней мере двухосевым акселерометром. Для это-

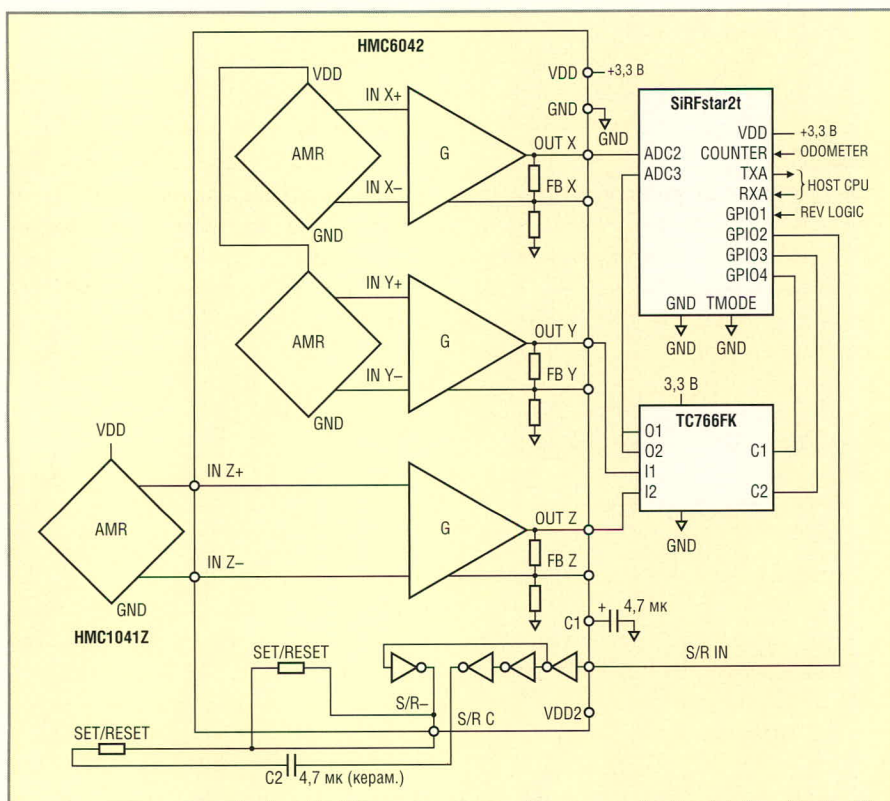


Рис. 12. Схема модуля счисления пути на базе SIFRstart2t

го двухосевую систему магнитных датчиков HMC6042 можно дополнить датчиком магнитного поля по оси Z Honeywell HMC1041Z.

Модуль SiRFstar2T

Использование модуля SiRFstar2T со встроенным 14-разрядным АЦП обеспечивает преобразование в цифровую форму трёх компонент измеренного в определённой точке магнитного поля для вычисления курсовых перемещений.

Трёхосевая система датчиков магнитного поля Земли раскладывает вектор поля на три составляющие по осям X, Y, Z. Далее вычисляется проекция этого вектора на поверхность Земли. Эта проекция и будет направлением стрелки магнитного компаса. Датчики акселерометров нужны для того, чтобы скомпенсировать угловые компоненты крена перемещений пешехода.

Реальное направление виртуальной стрелки магнитного компаса вычисляется уже с учётом компенсации крена по вертикали и горизонтали (наклона). Поэтому данные от датчиков магнитного поля и акселерометров обрабатываются в специализированной микросхеме. В хост-контроллер передаётся уже результирующее значение направления стрелки магнитного компаса с учётом поправок на крен. Другая функция, которая обеспечивается при обработке данных акселерометров – это вычисление длины пройденного пути. Поскольку движение происходит дискретно – шагами, требуется фиксировать направление и длину шага и производить векторные вычисления пути. До настоящего времени шагомеры использовались в медицинских бытовых приборах для мониторинга здоровья. То есть с помощью шагомеров подсчитывалось число шагов и ориентировочно длина пройденного пешком пути за определённое время. Длина шага бралась статистическая или устанавливалась вручную пользователем. Для правильной работы таких шагомеров предполагается только движение вперед. Реально направление шага может быть любым, в том числе назад и вбок. Положение модуля, встроенного в одежду, может быть также любым.

Простейший алгоритм работы модуля основан на использовании средней расчётной длины шага, полученной на базе опорных точек от GPS. В пределах помещений длина шага,

скорее всего, будет отличаться от длины шага вне помещения. Требуется распознавать тип движения – медленная, быстрая ходьба или бег.

Магнитные датчики направления, представляющие собой, как правило, трёхкомпонентные измерители магнитного поля Земли, дополняются другими приборами, позволяющими компенсировать искажения магнитного поля, которые возникают из-за различных факторов. В качестве таких приборов наиболее часто используются датчики ускорения – акселерометры.

Модуль вычислителя пути DRM®-3

Модуль Honeywell DRM®-3 счисления пути является первым предназначенным для пешеходной навигации устройством, в котором реализованы функция компаса и вычисления пройденного пути. Модуль используется в военных приложениях, службами национальной безопасности, путешественниками и туристами, а также в медицинских приложениях (мониторинг движения пациентов).

Модуль DRM® может работать как совместно с приёмником GPS, так и без него. DRM® содержит магнитный компас с компенсацией кренов, электронный шагомер и барометрический высотомер. Доступна также «облегчённая» модификация устройства – DRM-core (без высотомера и GPS-приёмника).

Модуль счисления пути DRM-5

Следующей разработкой фирмы Honeywell стал модуль счисления пути GyroDRM™ с дополнительными гироскопическими датчиками (см. рис. 13). Новая система GyroDRM™ является интеллектуальным персональным навигатором с ошибкой определения местонахождения 1...5 м на 100 м пройденного пути. Области применения модуля – картография, системы национальной безопасности, городская топография, персональные навигационные системы для пожарных подразделений, полиции, МЧС, служб безопасности и разведки, а также для навигации в парках и в лесу. Модуль имеет улучшенные характеристики по сравнению с DRM-3. В нём применяются новые алгоритмы для фильтрации данных от датчиков и вычисления пути.

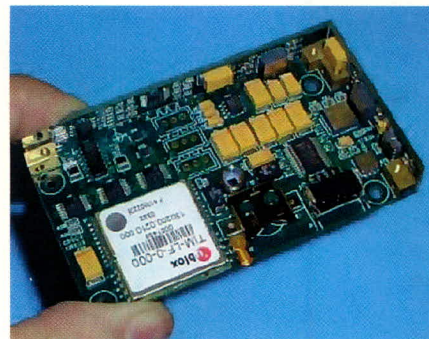


Рис. 13. Модуль DRM-5

Основные особенности модуля Gyro DRM™:

- режим непрерывного позиционирования без провалов;
- работа как с GPS, так и без него;
- типовая точность – 1...2%;
- внутренняя фильтрация Кальмана;
- точность встроенного цифрового компаса не хуже 1°;
- 12-канальный GPS-приёмник;
- возможность записи и хранения координат пройденного пути;
- не требуется поддержка внешним оборудованием;
- отметчик событий;
- встроенный барометрический высотомер;
- патентованный алгоритм SmartPedometry™;
- сигнал тревоги о магнитных аномалиях.

Уникальный алгоритм работы компаса обеспечивает правильное определение углов как для вертикального, так и для горизонтального положения тела пользователя.

Для магнитного компаса существует встроенная математическая модель, которая позволяет корректировать значения азимута. Предусмотрена программная классификация типа движения. Применяются адаптивные алгоритмы для счисления пути, локализации и слежения (трекинга). В таблице представлены основные параметры модуля DRM-5

Алгоритм SmartPedometry™ учитывает любые движения человека: ходьбу, бег, боковое смещение, ползание, движение назад, даже топтание на месте. Автоматический компас учитывает положение тела оператора – стоит он или лежит. DRM® –5 имеет встроенный GPS-приёмник военного типа высокого разрешения. Низкое потребление позволяет носить устройство постоянно включенным. Барометрический высотомер позволяет определять номер этажа при дви-



Рис. 14. Оценочный набор модуля GuoDRM, встроенный в пояс, в водозащитном исполнении

жени объекта внутри здания. Программное обеспечение может модифицироваться с хост-контроллера. Для модуля не требуется подключение дополнительных датчиков движения, которые крепятся, например, на ноги. Датчик может использоваться для солдат или других служащих спецподразделений, которым нужно обеспечить позиционирование и навигацию внутри зданий.

Состав модуля: три датчика гироскопа, три датчика ускорения, три магниторезистивных датчика и барометрический высотомер. Мощность потребления – менее 1 Вт. Компактный модуль удобен для встраивания в одежду.

На рынке доступна оценочная плата – GuoDRM – готовый блок в корпусе с питанием, встроенным программным обеспечением и поддержкой ОС Windows (см. рис. 14). Интерфейс для связи с хостом – RS-232. Литий-ионный аккумулятор обеспечивает непрерывную работу модуля в течение 8 часов. Внешняя антенна используется для встроенного блока GPS (16 каналов). Модуль может использоваться как регистратор пути. По своим характеристикам прибор отнесён к стратегически важным устройствам навигации. Пока данный

модуль не разрешён для продажи вне пределов США.

GPS-микромодуль uBlox типа TIM-LF

В качестве приёмника GPS в модуле DRM-5 используется микромодуль фирмы uBlox типа TIM-LF. Фирма uBlox выпускает миниатюрный GPS-приёмник, выполненный по технологии ANTARIS. С модулем TIM-LF продолжается эволюция GPS-микросхем. TIM-LF – это полностью готовый GPS-приёмник. TIM-LF предоставляет ресурсы для запуска программы разработчика на процессоре модуля TIM-LF. Это позволяет сократить число навесных компонентов и получать из модуля уже обработанные данные. Небольшие размеры модуля (25,4 × 25,4 × 3 мм) дают широкие возможности для его применения в малогабаритных устройствах.

Микромодуль uBlox TIM-LF имеет 16-канальный приёмник GPS, Flash-память на 8 Мбит. Данные модуля обновляются с частотой 4 Гц. Чипсет Antaris GPS Technology содержит:

- ATR0600 RF front-end приёмник;
- ATR0620 процессор обработки данных на базе ARM7TDMI;
- ATR0610 антенный маломощный усилитель сигнала приёмника.

Для пользовательских приложений доступны следующие ресурсы:

- SRAM;
- Flash;
- порты ввода-вывода;
- интерфейс SPI.

Метрологический аспект модуля вычисления пути

Как было показано выше, модуль вычисления пути для навигации внутри помещений является сложной

комбинацией цифрового компаса, GPS и систем шагометрии. Основные ошибки в предсказании пути и местоположения происходят из-за неточности определения направления магнитным компасом (75%) и неточности определения длины шага (25%). Таким образом, для создания приемлемой бытовой системы локального позиционирования ошибка вычисления пути должна быть не больше 5%. В этом случае точность вычисления пути согласуется с точностью опорных координат хорошего GPS-приёмника.

Для того чтобы достичь такого уровня точности в позиционировании, ошибка системы электронного компаса должна быть не более 1° при всех допустимых углах наклона модуля в процессе пешего перемещения. Следовательно, бюджет ошибки компаса будет определяться и точностью определения угловых кренов по вертикали и горизонтали. Выбранные MEMS-акселерометры должны обеспечивать достаточный уровень точности при определении углов наклона, чтобы не выйти за пределы допуска 1°. Для этого, по скромным подсчётам, ошибка должна быть не более 0,25° для каждой угловой компоненты. Интегральная погрешность двух акселерометров увеличится до ±0,5°. Основные конкурирующие на рынке модули вычисления пешеходного пути используют пьезоакселерометры и дешёвые датчики магнитного поля. Из-за этого точность электронного компаса получается явно недостаточной для создания систем локального позиционирования внутри помещений. Особенно это важно при позиционировании на этажах зданий с плотной планировкой, где невозможно оперативное обновление опорных координат от GPS. Для самостоятельной разработки программного обеспечения цифрового компаса необходимо несколько сот и даже тысяч часов, которые потребуются для тестирования и оптимизации алгоритмов фильтрации и обработки данных. Программа должна содержать простые компоненты для получения данных от датчиков, коррекции и адаптивной фильтрации, содержать вычислительные алгоритмы, основанные на геометрических формулах. Важно отметить следующее. Для получения хорошей точности требуется выполнить одновременное считывание данных от всех датчиков (snap-shot), чтобы сформировать на-

Параметры модуля DRM-5

Параметр	Значение
Точность горизонтального позиционирования	1...2% от последней привязки
Азимутальная точность встроенного компаса	1° (rms) , разрешение 0,1°
Точность вертикального позиционирования	1,5 м (rms)
GPS-приёмник	16-канальный
Габариты модуля	86,4 × 50 × 15 мм
Вес	42,5 г
Температурный диапазон	-40...+85°C
Потребляемая мощность	Менее 1 Вт
Питание	Две стандартные литий-ионные батареи, 8 часов непрерывной работы
Частота обновления данных	4 Гц
Управляющий интерфейс	RS-232 или UART (КМОП уровни) 9,6...38,4 КБод
Разъём	Двухрядный, 2 × 5 контактов

бор отсчётов, строго относящихся к одному и тому же моменту времени. Последовательное преобразование значений от датчиков без использования схем выборки и хранения приведёт к появлению недопустимой ошибки. В первую очередь это относится к данным акселерометров. Измерение векторов магнитного поля также имеет свои особенности. Поскольку датчики выполнены по мостовой схеме, возможны ошибки за счёт смещений. Первое смещение – Гауссово. Другое смещение может происходить за счёт температурной нелинейности. Требуется калибровка датчика и компенсация постоянной составляющей поля, наведённого, например, стальными объёмными конструкциями (балки здания, шасси автомобиля).

БАЗОВАЯ СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ (PRIMORDIAL FIREFIGHTER)

Система Primordial Firefighter обеспечивает позиционирование и трекинг бойцов подразделения пожарных внутри помещений в реальном времени. На рис. 15 показана архитектура системы Primordial Firefighter. С командного пункта пожарного расчёта доступна информация о местонахождении каждого бойца подразделения с привязкой к плану здания (этаж, комната, коридор, лестничный марш). Можно записывать и анализировать действия каждого бойца в процессе выполнения задания на объекте.

Бойцы пожарного подразделения оснащены модулями локального позиционирования и двухсторонней связью. На рис. 16 показан терминал командира подразделения пожарных. На рис. 17 показаны места нахождения бойцов. На позиции курсора индицируется имя бойца, этаж, температура в помещении, частота пульса.

Систему позиционирования предоставляет фирма Point Research. Система реализована на базе модуля счисления пути DRM-3 фирмы Honeywell. Терминал бойца выполнен на базе наладонного компьютера Axim X30 в упрочненном корпусе фирмы Dell. В качестве командного терминала в системе управления применяется планшетный компьютер Atigo M фирмы Xubernaut также в упрочненном корпусе.

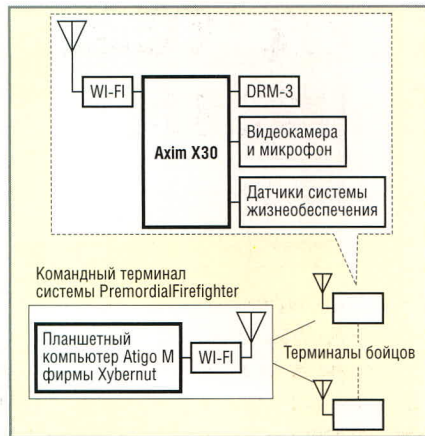


Рис. 15. Архитектура системы Primordial Firefighter

Система позиционирования обеспечивает отслеживание траекторий движения всей команды пожарных в реальном времени, а также запись траекторий для последующего анализа действий бойцов. Наличие обратной связи позволяет эффективно руководить слаженностью действий и давать указания по ходу выполнения операции. Встроенная в шлем видеокамера позволяет наблюдать на экране командного терминала то, что видит каждый боец подразделения. Система полезна как в качестве тренажёра, так и в качестве штатного оборудования пожарной команды при реальных действиях. В компьютерах управляющего комплекса используются стандартные операционные системы Windows XP (планшетный компьютер) и Windows Mobile (наладонный компьютер бойца)

ПЕШЕХОДНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА NAVSOE, ВСТРОЕННАЯ В ОБУВЬ

Рассмотренная выше система навигационного счисления пути была встроена в пояс пешехода. Существует также концепция встраивания пешеходной навигационной системы в обувь пешехода. В обуви размещается источник питания, сам модуль счисления, а также приёмник GPS. Ещё в 1996 г. в проекте DAPRA предполагалась разработка подобной системы военного назначения, однако результаты испытаний той разработки остались неизвестными. Проведённые испытания системы NavSoe, разработанной в 2005 г., показали очень хорошую её точность – на 740 метров кольцевого маршрута по сложной траектории со спусками и подъёмами была зафиксирована ошибка всего 2 м!



Рис. 16. Терминал командира подразделения пожарных

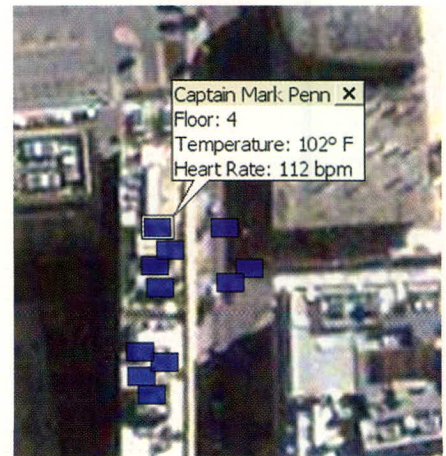


Рис. 17. Места нахождения бойцов

О ФИРМЕ SSEC

Подразделение компании Honeywell International's – Solid State Electronics Center (SSEC) – является разработчиком и производителем специализированных микросхем для рынка аэрокосмической и телекоммуникационной индустрии. Прежде всего, подразделение известно как производитель датчиков давления и магниторезистивных датчиков, а также интегральных интеллектуальных модулей на основе этих датчиков, предназначенных для различных бытовых и военных приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Performance Analysis of a Commercial Multi-Sensor Pedestrian Navigation System. Klaus Macheiner.
2. DRM®-5 Dead Reckoning Module. Honeywell.
3. Петров Н.Н. Методы счисления пути в системах местоопределения подвижных объектов. Специальная техника. 1999. № 3.
4. Application Note – AN219 Digital Compass Reference Design with the SiRFstar2t GPS Chipset.
5. Caruso M.J. Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems. Honeywell Inc.
6. Foxlin E. Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors. InterSense. ©

Акселерометры и гироскопы для портативных устройств

Николай Савенко (Санкт-Петербург)

Среди разработчиков портативных устройств с инерциальными датчиками сегодня наблюдается растущий спрос на компактные, малопотребляющие, точные датчики. В статье представлен ряд новых изделий от основных производителей микроэлектронных инерциальных датчиков и показаны пути эволюции данной категории датчиков.

В настоящее время в области компактных механических инерциальных датчиков стала доминировать микроэлектромеханическая технология (MEMS). Технология MEMS подразумевает изготовление на кристалле кремния микроскопических подвижных элементов и при совмещении с микроэлектронными технологиями позволяет создавать очень компактные, надёжные, простые с точки зрения применения датчики, и не просто датчики, а «системы на кристалле» высокой степени интеграции. Эта технология разрабатывалась в течение нескольких десятилетий, прежде чем стала коммерческой (примерно с начала 90-х годов прошлого века) и её плоды стали доступны потребителю. Сейчас она освоена и улучшена многими производителями, продолжает бурно развиваться и совершает переворот во многих областях техники.

Стоит отметить, что технология MEMS применяется не только для создания датчиков; её возможности чрезвычайно широки. Интересующимся можем порекомендовать статью [1], а мы вернёмся к обзору датчиков.

Одним из первых коммерческих производителей акселерометров MEMS стала фирма Analog Devices, которая начиная с 1993 г. поставила на рынок уже более 200 миллионов акселерометров и продолжает их поставлять. Акселерометры в очень больших количествах потребляет современная автомобильная промышленность. Здесь микроэлектромеханические приборы применяются в качестве датчиков столкновения для активации подушек безопасности (SRS). В таких областях особенно ценится высокая надёжность микроэлектромеханических датчиков.

По мере развития технологии появились более чувствительные и точные приборы, и их области применения стали расширяться. В частности, сейчас очень часто чувствительные акселерометры применяются в качестве датчиков наклона (инклинометров). Отметим также некоторые другие более или менее характерные примеры применения акселерометров в современной промышленной и бытовой технике:

- датчики систем сигнализации, в частности автомобильных. В таких системах акселерометры с успехом детектируют наклон и вибрацию [5];
- системы мониторинга вибрации в промышленности;
- системы балансировки белья в современных стиральных машинах по уровню вибрации при отжиме;
- устройства ввода данных (манипуляторы) для портативных устройств типа PDA или сотовых телефонов;
- системы стабилизации положения стрел кранов, экскаваторов, буровых установок и т.д.;
- системы оповещения о землетрясениях.

В начале нынешнего века появились первые гироскопы (датчики угловой скорости), изготовленные по технологии MEMS. Здесь также одним из лидеров является фирма Analog Devices, предложившая портативные гироскопы ADXRS150 и ADXRS300. Эти приборы выдают напряжение, пропорциональное скорости вращения. Такие гироскопы можно применять и в качестве датчиков направления, если интегрировать сигнал угловой скорости; хотя при этом довольно быстро накапливается погрешность.

Компактные гироскопы используются в таких системах, как:

- схемы стабилизации изображения в цифровых фотоаппаратах, видеокамерах, встроенных камерах сотовых телефонов;
- автомобильные системы (динамическое управление движением автомобиля, антиблокировочные системы торможения, круиз-контроль, датчики поворота в системах безопасности);
- системы навигации. Гироскоп в составе автомобильной навигационной системы с GPS-приёмником позволяет сохранить точность навигации в течение нескольких минут при потере приёма сигнала со спутника. Например, при въезде в туннель или лес или в условиях плотной городской застройки довольно часто происходит потеря приёма; обычно не превышающая 2...3 мин. Применение гироскопа позволяет сделать навигацию непрерывной;
- устройства ввода информации, манипуляторы и т.д.;
- системы стабилизации стрел башенных кранов и т.п.;
- игрушки, роботы;
- беспилотные летательные аппараты. Очень интересный пример робота-БПЛА был продемонстрирован фирмой Epson [3]. В этом устройстве был применён ультракомпактный гироскоп XV-3500CB фирмы Epson.

Итак, перейдём к обзору наиболее интересных и современных портативных инерциальных датчиков, ожидаемых или уже представленных сегодня на рынке.

ANALOG DEVICES

Одним из крупнейших производителей акселерометров и гироскопов (датчиков угловой скорости) является фирма Analog Devices. Эта фирма вот уже около 15 лет поставляет датчики, изготовленные по технологии iMEMS, и смогла захватить значительную часть рынка благодаря, в частности, значительным вложениям в научные исследования и высокому качеству продукции.

Технология производства постоянно развивается. Среди новшеств сто-

ит отметить герметизацию кристаллов микромеханических датчиков на стадии кремниевой пластины. В ходе технологического процесса на каждый датчик приваривается «крышка» из поликристаллического кремния (см. рис. 1).

Таким образом, герметизация производится ещё до разделения пластины на кристаллы и помещения кристаллов в корпус. Такой подход позволил повысить качество продукции и одновременно снизить её стоимость за счёт использования дешёвых корпусов, т.к. от корпуса герметичности уже не требуется.

Среди новинок хочется отметить двухосевые акселерометры с выходом по напряжению ADXL320 и ADXL321, их функциональная схема приведена на рис. 2. Это компактные, мало потребляющие приборы с аналоговым выходом. Их динамические диапазоны соответственно $\pm 5g$ и $\pm 18g$; в остальном это однотипные приборы, их характеристики приведены ниже (здесь и далее g обозначает ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$, mg соответственно равно $1/1000g$). Основные параметры датчиков:

- двухосевые;
- динамический диапазон $\pm 5g$ (ADXL320) и $\pm 18g$ (ADXL321);
- разрешающая способность 2 mg (ADXL320) и 3 mg (ADXL321) на частоте 60 Гц;
- однополярное напряжение питания 2,4...5,25 В;
- малое энергопотребление: 350 $\mu\text{А}$ (тип.) при $V_{\text{пит}} = 2,4 \text{ В}$;
- высокая стабильность нуля;
- высокая точность коэффициента преобразования;
- погрешность ортогональности осей X и Y не более $\pm 0,1^\circ$ (тип.);
- полоса устанавливается конденсатором RC-цепочки;
- выдерживает ускорение до 10 000g;
- корпус LFCSP $4 \times 4 \times 1,45 \text{ мм}$.

Очень интересный и перспективный новый прибор – это трёхосевой акселерометр ADXL330 с динамическим диапазоном $\pm 2g$. Функциональная схема датчика аналогична приведенной на рис. 2, но отличается наличием третьего канала. Характеристики акселерометра ADXL330:

- трёхосевой датчик;
- динамический диапазон $\pm 2g$;
- чувствительность 300 мВ/g ;
- однополярное напряжение питания 2...3,6 В;

- малое энергопотребление: 200 $\mu\text{А}$ (тип.) при $V_{\text{пит}} = 2 \text{ В}$;
- высокая стабильность нуля;
- высокая точность коэффициента преобразования;
- полоса устанавливается конденсатором RC-цепочки;
- выдерживает ускорение до 10 000g;
- выпускается в обычном и бессвинцовом исполнении;
- корпус LFCSP $4 \times 4 \times 1,45 \text{ мм}$.

Среди гироскопов фирмы Analog Devices один из наиболее современных и точных – однокристалльный гироскоп ADXRS401. Функциональная схема датчика приведена на рис. 3. Этот датчик угловой скорости продолжает линию гироскопов ADXRS150/300. Приведём его основные характеристики:

- динамический диапазон скорости вращения: $\pm 75 \text{ град/с}$;
- чувствительность 15 мВ/град/с ;
- полоса частот 40 Гц;
- спектральная плотность шума выходного сигнала, пересчитанная на скорость вращения, – 0,05 $\text{град/с}/\sqrt{\text{Гц}}$;

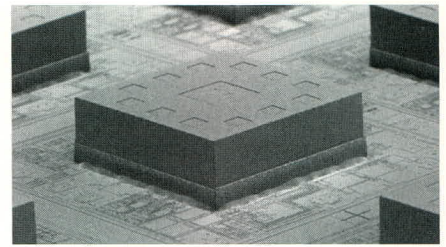


Рис. 1. «Крышка» из поликристаллического кремния, закрывающая микромеханический датчик

- нелинейность 0,1%;
- встроенный температурный датчик и источник опорного напряжения;
- напряжение питания 4,75...5,25 В;
- потребляемый ток 6 мА ;
- рабочий температурный диапазон $-40...+85^\circ\text{C}$;
- встроенная схема автотестирования;
- встроенный температурный датчик;
- корпус 32-выводной BGA.

Новая линия инерционных датчиков Analog Devices – это серия высокоинтегрированных приборов со смешанными сигналами ADIS. Главные достоинства датчиков ADIS заключаются в наличии встроенной

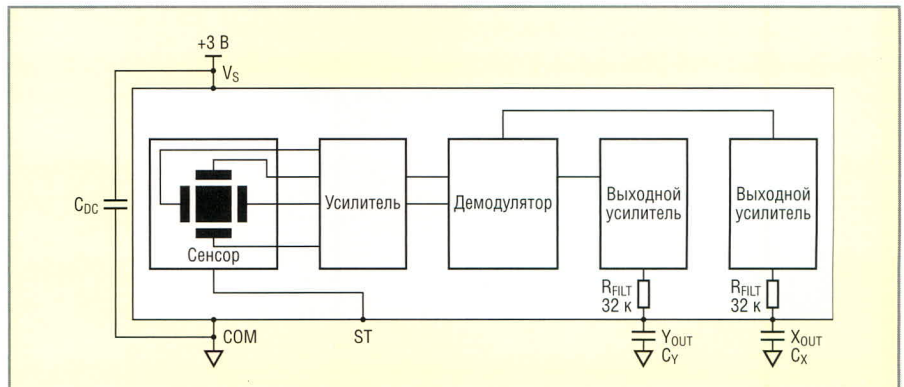


Рис. 2. Функциональная схема двухосевых акселерометров с аналоговыми выходами ADXL320/ADXL321

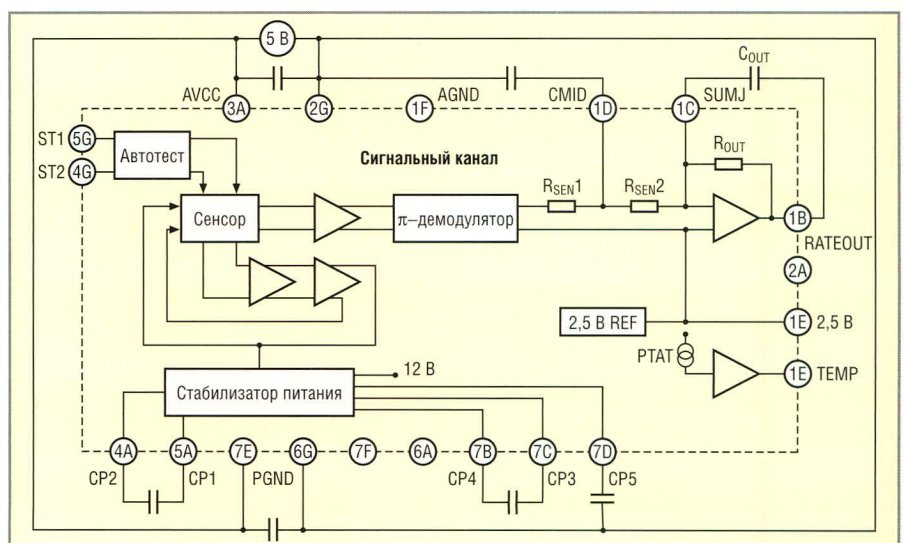


Рис. 3. Функциональная схема гироскопа с аналоговым выходом ADXRS401

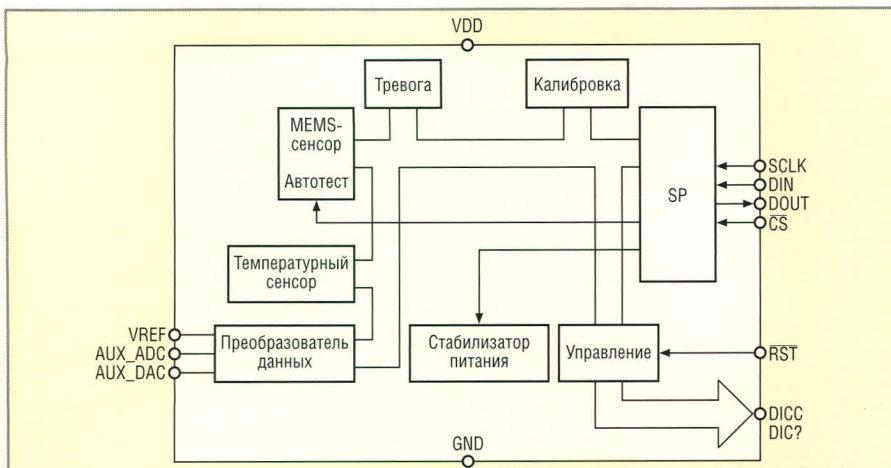


Рис. 4. Функциональная схема акселерометра-инклинометра с цифровым выходом ADIS16201

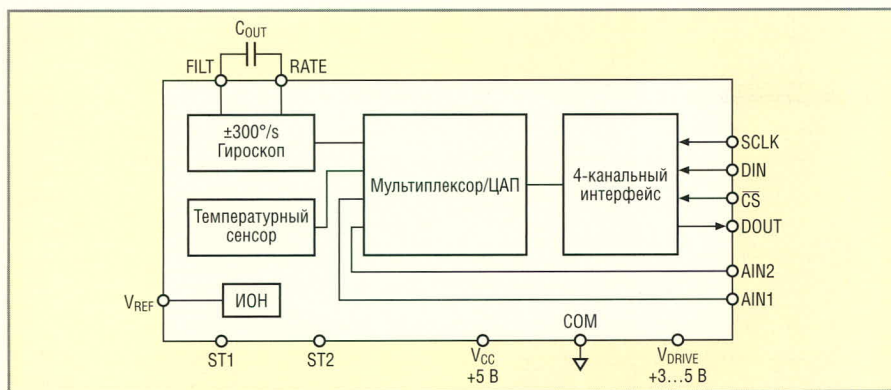


Рис. 5. Функциональная схема гироскопа с цифровым выходом ADIS16100

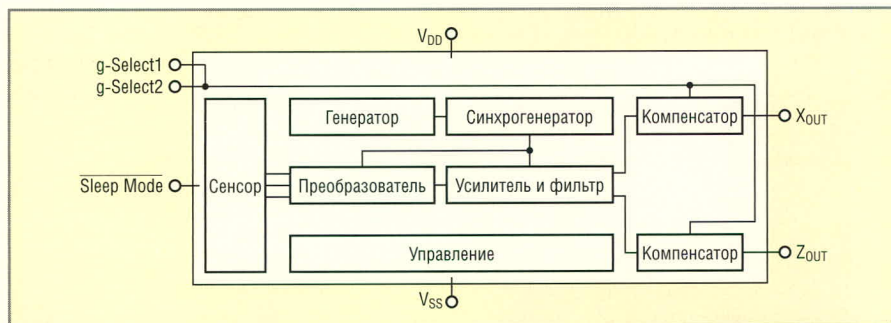


Рис. 6. Функциональная схема двухосевого акселерометра с аналоговым выходом MMA6280Q

схемы оцифровки сигнала, контроллера и последовательного интерфейса SPI, через который осуществляется считывание цифрового кода, значения температуры, управление режимами работы датчиков и их калибровка. Датчики серии ADIS весьма удобны в применении при прямом подключении к хост-микроконтроллеру.

Интересный представитель этой новой серии датчиков – акселерометр-инклинометр ADIS16201 (рис. 4). Его основные характеристики:

- двухосевой;
- 12-разрядный цифровой код на выходе;
- динамический диапазон ±1,7g;
- 10-разрядный код от температурного датчика;

- чувствительность, смещение, частота отсчётов, АЧХ программируются посредством цифрового интерфейса;
- программируются уровни срабатывания сигнала Alarm;
- имеются встроенные средства автотестирования;
- имеется режим отключения (shutdown);
- высокоскоростной интерфейс SPI;
- дополнительный 4-разрядный порт;
- 12-разрядный ЦАП, 12-разрядный АЦП;
- напряжение питания 3...3,6 В;
- рабочий температурный диапазон -40...+125°C
- корпус LGA 9 × 9 мм.

Прибор имеет массу полезных достоинств, но, пожалуй, самое уникальное – что этот прибор выдаёт цифровой код, соответствующий углу наклона, а не просто проекции ускорения силы тяжести на ось чувствительности, как это свойственно обычным акселерометрам. Понятно, что это обеспечивает удобство в применении и освобождает процессор от пересчёта значения ускорения в значение угла, то есть от вычисления арксинуса.

Ещё один новый прибор фирмы Analog Devices – гироскоп с цифровым интерфейсом ADIS16100 (рис. 5). Его основные характеристики:

- полностью интегрированный гироскоп на одном кристалле;
- цифровой интерфейс SPI;
- величина кода пропорциональна скорости вращения;
- чувствительность 4,1 LSB/град/c (LSB – единица младшего разряда выходного кода);
- встроенные средства автотестирования;
- встроенный температурный датчик;
- два внешних входа АЦП;
- однополярное питание 5 В;
- корпус 8 × 8 мм.

FREESCALE SEMICONDUCTOR (MOTOROLA)

Фирма Freescale Semiconductor (подразделение фирмы Motorola) также является одним из лидеров в области MEMS, весьма давно занимается разработками в данной области и сейчас для производства датчиков использует поверхностную и объёмную микромеханическую технологии. В числе новых приборов – двухосевые и трёхосевые датчики ускорения [6]. В качестве примера приведём новый двухосевой датчик MMA6280Q (рис. 6). Его особенности:

- двухосевой датчик ускорения;
- выбор одного из четырёх значений чувствительности/динамического диапазона: 1,5g/2g/4g/6g;
- малое энергопотребление: 500 мкА;
- энергопотребление в режиме ожидания: 3 мкА;
- напряжение питания: 2,2...3,6 В;
- корпус QFN размером 6 × 6 × 1,45 мм.

Ещё один новый прибор фирмы Freescale Semiconductor – трёхосевой акселерометр MMA7261Q. Его структурная схема отличается от приведённой на рис. 6 только наличием третьего канала. Особенности данного прибора:

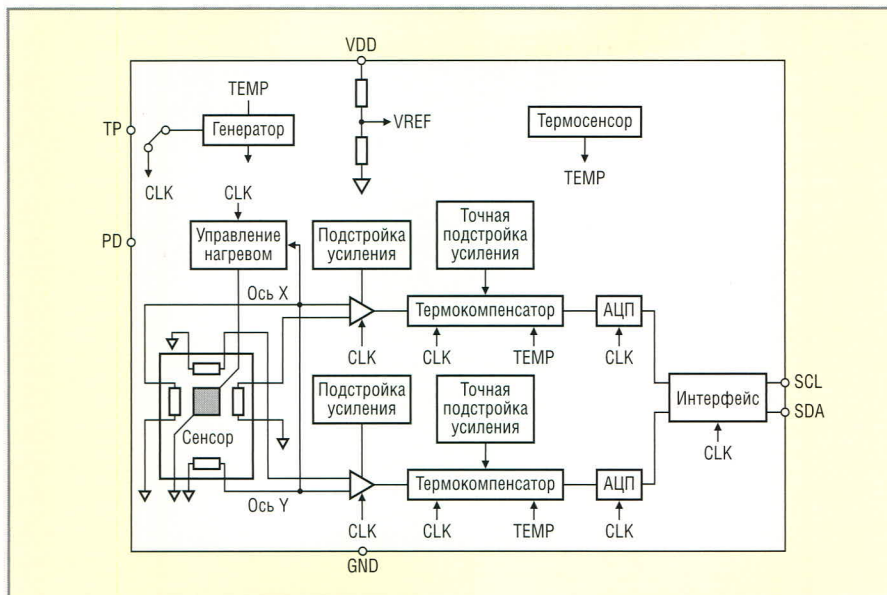


Рис. 7. Функциональная схема двухосевого акселерометра с интерфейсом I²C MXC6202

- трёхосевой датчик ускорения;
- выбор одного из четырёх значений чувствительности/динамического диапазона: 2,5g/3,3g/6,7g/10g;
- малое энергопотребление: 500 мкА;
- энергопотребление в режиме Sleep: 3 мкА;
- напряжение питания: 2,2...3,6 В;
- корпус типа QFN 6 × 6 × 1,45 мм;
- время включения: 1 мс.

MEMSIC

Весьма известная фирма на рынке MEMS, целиком специализируется на этой продукции [7]. Один из наиболее популярных и современных датчиков этой фирмы – двухосевой акселерометр MXC6202 (рис. 7). Характеристики этого прибора:

- двухосевой датчик ускорения;
- встроенные средства оцифровки и интерфейс I²C;
- динамический диапазон: ±2g;
- чувствительность: 512 LSB/g;
- температурный диапазон: –40...+85°C;
- имеются встроенные средства автотестирования;
- встроенный датчик температуры;
- напряжение питания: 2,7...3,6 В;
- энергопотребление менее 2 мА при напряжении питания 3,0 В;
- корпус LCC размером 5 × 5 × 1,55 мм.

ST MICROELECTRONICS

Фирма ST Microelectronics выпускает ряд малопотребляющих двух- и трёхосевых акселерометров. Кроме того, эта фирма предлагает ряд своеобразных приборов – датчиков углового ускорения. На рис. 8 показан

датчик углового ускорения со встроенным АЦП и цифровым выходом. Этот прибор построен на основе сигма-дельта архитектуры, имеет встроенный цифровой фильтр-дециматор. Приводим его характеристики:

- чувствительность: 2,5 рад/с²;
- 8-разрядный АЦП;
- полоса частот: 800 Гц;
- динамический диапазон: 200 рад/с²;
- трёхпроводной цифровой интерфейс;
- напряжение питания: 3,3 В.

Ещё один новый датчик фирмы ST Microelectronics – трёхосевой акселерометр LIS3L06AL для малых значений ускорения с выходом по напряжению (рис. 9). Особенности датчика:

- напряжение питания: 2,4...3,6 В;
- энергопотребление: 1 мА;
- выбираемый динамический диапазон: ±2g или ±6g,
- разрешающая способность: 0,5 мг в полосе 100 Гц;
- встроенные средства автотестирования.

EPSON

Фирма Epson представила на рынке гироскоп XV-3500CB, который, возможно, на сегодня является самым маленьким гироскопом: его размеры 5 × 3,2 × 1,5 мм. Этот гироскоп сделан с помощью пьезотехнологии. Его основные особенности и характеристики:

- энергопотребление: 2,7 мА;
- напряжение питания: 2,7...3,3 В;
- рабочая температура: –20...+80°C;
- выходное напряжение в неподвижном состоянии: 1,35 В;

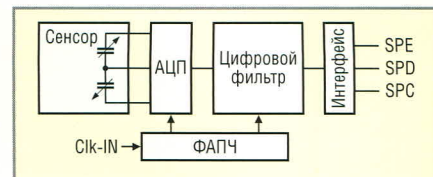


Рис. 8. Функциональная схема датчика углового ускорения с цифровым интерфейсом LIS1R02

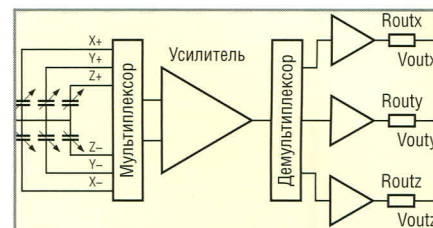


Рис. 9. Функциональная схема трёхосевого акселерометра с аналоговыми выходами LIS3L06AL

- динамический диапазон: ±100 град/с;
- чувствительность: 0,67 мВ/град/с;
- линейность: ±5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рынке микромеханических датчиков в настоящее время наблюдается довольно бурный рост, вызванный, с одной стороны, повышением спроса, а с другой стороны – конкуренцией между основными поставщиками. Ассортимент портативных инерциальных датчиков довольно велика этот выбор между ними довольно сложен. Необходимо учитывать много различных параметров, причём эти параметры зачастую нормируются разными производителями по-разному. Цель данной статьи – в первую очередь, познакомить читателя с основными игроками на рынке микромеханических датчиков. Для более полного ознакомления с продукцией упомянутых в статье фирм советуем обратиться к приведённым ниже ссылкам.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.bytemag.ru/?ID=606646>.
2. http://www.analog.com.ru/pub_imems.htm.
3. http://www.epson.co.jp/e/newsroom/news_2004_08_18.htm.
4. <http://www.analog.com/iMEMS>.
5. http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/50324364571097434954321528495730car_app.pdf.
6. http://www.freescall.com/webapp/sps/library/prod_lib.jsp.
7. http://www.memsc.com/memsc/products/productselector_app.asp.
8. <http://www.st.com/stonline/products/families/sensors/accelerometers.htm>.



Датчики температуры

Алексей Журав (Москва)

Контроль над температурой составляет основу многих технологических процессов. Измерение температуры жидкости, газа, твёрдой поверхности или сыпучего порошка – каждый случай имеет свою особенность, которую необходимо понимать, чтобы измерения максимально соответствовали поставленной задаче. Существует множество датчиков температуры, построенных с использованием различных физических законов. Одни из них прекрасно справляются с конкретной задачей по измерению температуры, другие предназначены для универсального использования. В данной статье описаны основные типы датчиков для измерения температуры, их особенности, слабые и сильные стороны, задачи, для которых они предназначены.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термометры сопротивления, инфракрасные датчики температуры.

Кремниевые датчики температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур для таких датчиков составляет $-50...+150^{\circ}\text{C}$. Внутри этого диапазона кремниевые датчики температуры показывают хорошую линейность и точность. Возможность размещения в одном корпусе такого датчика не только самого чувствительного элемента, но также и схем усиления и обработки сигнала обеспечивает датчику хорошую точность и линейность внутри температурного диапазона. Встроенная в такой датчик энергонезависимая память позволит индивидуально откалибровать каждый прибор. Большим плюсом можно назвать разнообразие типов выходного интерфейса: это может быть напряжение, ток, сопротивление либо цифровой выход, позволяющий подключить такой датчик к сети передачи данных. Из слабых мест кремниевых датчиков температуры можно отметить узкий температурный диапазон и относительно большие размеры по сравнению с аналогичными датчиками других типов, особенно термопарами. Кремни-

евые датчики температуры применяются, в основном, для измерения температуры внутри электронных приборов. Например, можно назвать температурные регистраторы компании Dallas semiconductor, выпускаемые под маркой Thermochron. Регистраторы имеют кремниевый датчик температуры, микросхему обработки сигнала и память для сохранения результатов.

Биметаллический датчик температуры, как следует из названия, сделан из двух разнородных металлических пластин, скреплённых между собой. Различные металлы имеют различный коэффициент расширения при той или иной температуре. Например, константан практически не расширяется при повышении температуры, железо, напротив, испытывает заметное расширение. Если полосу из этих металлов скрепить между собой и нагреть (или охладить), то она изогнётся. В биметаллических датчиках пластинки замыкают или размыкают электрические контакты или переводят стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков $-40...+550^{\circ}\text{C}$. Биметаллические датчики используют для измерения поверхности твёрдых тел, реже для измерения температуры жидкости. Основным преимуществом датчиков является простота и надёжность конструкции, возможность работы без электрического тока, низкая стоимость. Вместе с тем биметаллические датчики температуры имеют большой разброс характеристик, а также большой гистерезис переключе-

чения, особенно при низких температурах. Основные области применения биметаллических температурных датчиков – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.

Жидкостные и газовые термометры – наиболее старые типы датчиков температуры. Первая шкала температуры была предложена Фаренгейтом в начале 18-го века именно для жидкостного термометра. Жидкостные термометры используют эффект расширения жидкостей при повышении температуры. В качестве жидкостей используется спирт или ртуть в диапазоне комнатных температур. Для измерений низких температур, например, в криогенной технике может быть использован жидкий неон, а для измерения высоких температур обычно используют галлий, который находится в жидком состоянии уже при 20°K . В газовых термометрах используется эффект расширения при переходе вещества из жидкого в газообразное состояние. Газ давит через мембрану и замыкает электрические контакты. Диапазон измерений для жидкостных и газовых термометров $-200...+500^{\circ}\text{C}$. Термометры этого класса обычно применяются для визуального контроля температуры либо в качестве термостатов в различных нагревателях и холодильной технике.

Термоиндикаторы – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Такое изменение цвета может быть как обратимым, так и необратимым. В диапазоне комнатных температур используются термоиндикаторы на основе жидких кристаллов. Они плавно изменяют свой цвет при изменении температуры. Изменения эти, как правило, обратимые. Производятся термоиндикаторы в виде плёнки, часто с клейкой подложкой, и служат для оперативного визуального контроля температуры. Для низких и высоких температур производятся, в основном, необратимые термоиндикаторы. То есть если температура хотя бы один раз превысила допустимую, то индикатор необратимо меняет свой цвет. Такие термоиндикаторы используют, например, для контроля за замороженными продуктами. Если в процессе хранения или транспортировки температура хоть раз была выше допустимой, то изменившаяся

окраска термоиндикатора сообщит об этом. Основное достоинство термоиндикаторов – низкая стоимость. Их можно использовать как одноразовые датчики температуры.

В термисторах используется эффект изменения электрического сопротивления материала под воздействием температуры. Обычно в качестве термисторов используют полупроводниковые материалы, как правило, оксиды различных металлов. В результате получаются датчики с высокой чувствительностью. Однако большая нелинейность позволяет использовать термисторы лишь в узком диапазоне температур. Термисторы имеют невысокую стоимость и могут изготавливаться в миниатюрных корпусах, что увеличивает их быстродействие. Существует два типа термисторов: использующие положительный температурный коэффициент – когда электрическое сопротивление растёт с повышением температуры – и использующие отрицательный температурный коэффициент – в этом случае электрическое сопротивление падает при повышении температуры. Термисторы не имеют определённой температурной характеристики. Она зависит от конкретной модели прибора и области его применения. Основными достоинствами термисторов являются высокая чувствительность, малые размеры и вес, позволяющие создавать датчики с малым временем отклика, что важно, например, для измерения температуры воздуха. Безусловно, невысокая стоимость также является их достоинством, позволяя встраивать датчики температуры в различные приборы. К недостаткам можно отнести высокую нелинейность термисторов, ограничивающую их применение в широком температурном диапазоне. Использование термисторов также ограничено в диапазоне низких температур. Большое количество моделей с различными характеристиками и отсутствие единого стандарта заставляют производителей оборудования использовать термисторы только одной конкретной модели без возможности замены.

Инфракрасные датчики температуры или пирометры измеряют температуру поверхности на расстоянии. Принцип их работы основан на том, что любое тело при температуре вы-

ше абсолютного нуля излучает электромагнитную энергию. При низких температурах это излучение в инфракрасном диапазоне, при высоких температурах часть энергии излучается уже в видимой части спектра. Интенсивность излучения напрямую связана с температурой нагретого объекта. Диапазон измерений температур бесконтактными датчиками –45...+3000°C. Причём в диапазоне высоких температур инфракрасным датчикам нет конкуренции. Для измерения в различных диапазонах температур используются различные участки инфракрасного спектра. Так, при низких температурах это обычно диапазон длин волн электромагнитного излучения 7...14 мкм. В диапазоне средних температур это может быть 3...5 мкм. При высоких температурах используется участок в районе 1 мкм. Однако и здесь есть свои особенности, связанные с решением конкретной задачи. Так, для измерения температуры тонких полимерных плёнок используются датчики, работающие на длинах волн 3,43 или 7,9 мкм, а для измерения температуры стекла – 5 мкм.

Для правильного измерения температуры необходим ещё ряд факторов. Прежде всего, это *излучательная способность*. Она связана с коэффициентом отражения простой формулой: $E = 1 - R$, где E – излучательная способность, R – коэффициент отражения. У абсолютно чёрного тела излучательная способность равна 1. У большинства органических материалов, таких как дерево, пластик, бумага, излучательная способность находится в диапазоне 0,8...0,95. Металлы, особенно полированные, напротив, имеют низкую излучательную способность, которая в этом случае составит 0,1...0,2. Для правильного измерения температуры необходимо определить и установить излучательную способность измеряемого объекта. Если значения будут выбраны неправильно, то температура будет измеряться неверно. Обычно показания занижаются. Так, если металл имеет излучательную способность 0,2, а на датчике установлен коэффициент 0,95 (он обычно используется по умолчанию), то при наведении на нагретый до 100°C металлический объект датчик будет показывать температуру около 25°C. Корректировать излуча-

тельную способность можно двумя способами: либо по справочнику, либо измеряя температуру поверхности альтернативным способом, например термопарой, и внося необходимые поправки. Хорошие результаты при не очень высоких температурах даёт окраска специальной термостойкой чёрной краской измеряемой поверхности. Второй важной характеристикой инфракрасного датчика является *оптическое отношение* – это отношение расстояния до объекта измерений к размеру области, с которой эти измерения ведутся. Например, оптическое отношение 10 : 1 означает, что на расстоянии 10 м размер площади, с которой ведётся измерение температуры, составляет 1 м. Современные инфракрасные датчики температуры имеют оптическое отношение, достигающее 300 : 1. Основное достоинство инфракрасных датчиков температуры – малое время отклика: это самые быстродействующие датчики температуры. Датчики позволяют измерять температуру движущихся объектов, температуру в труднодоступных и опасных местах, высокие температуры там, где другие датчики уже не работают. К достоинствам можно также отнести то, что отсутствует непосредственный контакт с объектом и, соответственно, не происходит его загрязнения. Это может быть важно в полупроводниковой промышленности или фармацевтике.

Термометры сопротивления – это резисторы, изготовленные из платины, меди или никеля. Они могут выполняться из проволоки либо напылением металлического слоя на изолирующую подложку, обычно керамическую или стеклянную. Платина чаще всего применяется в термометрах сопротивления из-за её высокой стабильности и линейности изменения сопротивления с температурой. Медь используется, в основном, для измерения низких температур, а никель – в недорогих датчиках для измерения в диапазоне комнатных температур. Для защиты от внешней среды платиновые термометры сопротивления помещают в защитные металлические чехлы и изолируют керамическими материалами, такими как оксид алюминия или оксид магния. Такая изоляция снижает также воздействие вибра-

ции и ударов на датчик. Однако вместе с дополнительной изоляцией растёт и время отклика датчика на резкие температурные изменения. Платиновые термометры сопротивления – одни из самых точных датчиков температуры. Кроме того, они стандартизированы, что значительно упрощает их использование. Стандартно производятся датчики сопротивлением 100 и 1000 Ом. Изменение сопротивления таких датчиков с температурой даётся в любых тематических справочниках в виде таблиц или формул. Диапазон измерений платиновых термометров сопротивления составляет $-180...+600^{\circ}\text{C}$. Несмотря на изоляцию, стоит оберегать термометры сопротивления от сильных ударов и вибрации.

Термопары представляют собой две проволоки из различных металлов, сваренных между собой на одном из концов. Термоэлектрический эффект открыл немецкий физик Зеэбек в первой половине 19-го века. Он заметил, что если соединить два проводника из разнородных металлов таким образом, чтобы они образовывали замкнутую цепь, и поддер-

живать разную температуру контактов, то в цепи потечёт постоянный ток. Экспериментальным путём были подобраны пары металлов, которые в наибольшей степени подходят для измерения температуры, обладая высокой чувствительностью, временной стабильностью, устойчивостью к воздействию внешней среды. Это, например, пары металлов хромель–алюмель, медь–константан, железо–константан, платина–платина/родий, рений–вольфрам. Каждый тип подходит для решения определённых задач. Термопары хромель–алюмель (тип К) имеют высокую чувствительность и стабильность и работают вплоть до температур 1300°C в окислительной или нейтральной атмосфере. Это один из самых распространённых типов термопар. Термопара железо–константан (тип J) работает в вакууме, восстановительной или инертной атмосфере при температурах до 500°C . При высоких температурах до 1500°C используют термопары платина–платина/родий (тип S или R) в керамических защитных кожухах. Они прекрасно измеряют температу-

ру в окислительной, нейтральной среде и вакууме.

Будь то платиновый термометр сопротивления, термопара, инфракрасный датчик, кремниевый датчик или термистор, каждый из них обладает рядом уникальных свойств, позволяющих наилучшим образом решить задачу по измерению температуры. Высокая точность и стабильность отличают платиновые термометры сопротивления. Достоинством кремниевых датчиков также является высокая точность, пусть и в узком температурном диапазоне. Термисторы обладают высокой чувствительностью и невысокой ценой, что позволяет встраивать их в различные электронные приборы. Инфракрасные датчики температуры позволяют измерить быстротекающие температурные процессы и объекты с очень высокой температурой. К достоинствам термопар, несомненно, можно отнести точность и стабильность показаний в широком диапазоне температур, их устойчивость в неблагоприятных воздействиях внешней среды. ©





Идеальная точность

Фотоэлектрические датчики **VISO+**





Закажите БЕСПЛАТНЫЙ каталог Pepperl+Fuchs "Factory Automation" на CD-ROM
по факсу: (495) 234-0640
или на сайте: www.prosoft.ru

Новости мира News of the World Новости мира

Двухканальный логарифмический ВЧ-детектор

Компания Analog Devices предлагает двояканный детектор/контроллер ADL5519. Высокочастотная интегральная схема позволяет измерение и управление усилением в передающих и приёмных трактах. В чипе находятся два взаимно согласованных детектора, перекрывающих частотный диапазон от 1 МГц до 10 ГГц. По заявлению производителя, микросхема предназначена для применения в таких системах стандартов мобильной радиосвязи, как GSM, CDMA, W-CDMA и TD-SCDMA, а также в приборах, работающих с широкополосными стандартами Wireless-Standards 802.16, WiMAX, WiBro и 802.11 W-LAN. Кроме того, ADL5519 может применяться в системах с расширенным частотным диапазоном, например UNII 5,8 ГГц.

ADL5519 работает в диапазоне напряжения питания 3...5 В и потребляет в активном состоянии 56 мА (тип.). В неактивном состоянии – 400 мкА. Элемент предлагается в корпусе LFCSP (Lead Frame Chip Scale Package) с 24 выводами и монтажной площадью 4 × 4 мм.

В настоящее время детектор проходит фазу опробования. Серийное производство начнется в октябре 2006 г.

www.analog.com

Линейные регуляторы на 1,5 и 3 А

Компания Texas Instruments представляет семейство линейных Low-Dropout-регуляторов (LDO) на 1,5 и 3 А, имеющих погрешность регулирования напряжения 1% относительно колебаний входного напряжения, нагрузки и температуры. LDO-регуляторы – тип линейных регуляторов напряжения, отличающихся малым падением напряжения на регулирующем элементе. Один из главных параметров – падение напряжения (dropout) – определяется как минимальное напряжение между входом и выходом стабилизатора, при ко-

тором схема стабилизации сохраняет работоспособность.

LDO выполняют требования в отношении Power-Up и Power-Down напряжений программируемых вентильных матриц (FPGA) и цифровых сигнальных процессоров компании TI. Элементы серии TPS74xxx, согласно заявлению производителя, стабильны с конденсатором и без конденсатора на выходе. При использовании дополнительного вспомогательного напряжения регуляторы обрабатывают входные напряжения вплоть до 0,9 В и Dropout-напряжения вплоть до 115 мВ при токе на выходе 3 А во всём диапазоне входного напряжения. Стабилизаторы напряжения могут настраиваться на выходное напряжение в диапазоне 0,8...3,3 В. Варианты с Soft-Start-входом допускают индивидуальную настройку времени запуска и скорости нарастания выходного напряжения посредством Soft-Start-конденсатора. Благодаря этому становится возможным при использовании выходных конденсаторов большей ёмкости или при применении в FPGA-приложениях значительно снизить ток включения.

Семейство LDO TPS74xxx предлагается уже сейчас штучными партиями компанией TI и её авторизованными дилерами. Чипы предлагаются в корпусе QFN размером 5 × 5 мм.

www.ti.com/sc06111

Преобразователь тока для монтажа на печатной плате на токи до 100 Аэфф

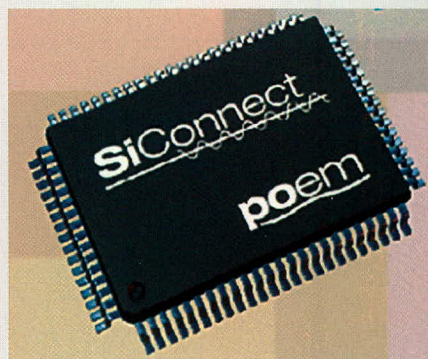
Фирма Lem представляет модуль LAX 100-NP. Это преобразователь тока для монтажа на печатной плате. Он рассчитан на измерение токов до 100 Аэфф. Этот датчик Холла может конфигурироваться по своим основным контактам на печатной плате на токи до 16,67; 25; 33,33; 50 и 100 Аэфф. Высота преобразователя 16,35 мм. При первичном номинальном токе 100 Аэфф погрешность менее ±0,91%. Нелинейность при 100 А составляет ±0,06%, температурный дрейф в диапазоне тем-

ператур 0...70°C не более 200 мкА. Датчик не имеет вносимого затухания, постоянная времени менее 1 мкс.

www.lem.com

Powerline-трансиверы

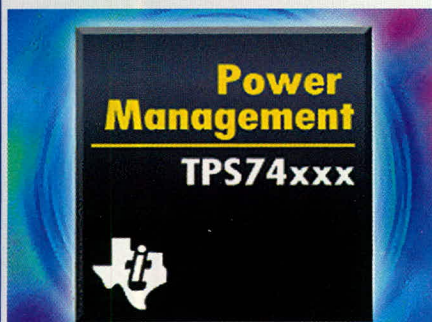
Роет-технология разработки английского предприятия SiConnect предназначена для применения в существующей домашней проводке для передачи аудио-, видео-, голосовой информации и данных. Технология предоставляет в распоряжение Managed QoS для Plug-and-Play, располагает 128-разрядной кодировкой, полностью соответствует мировым требованиям электромагнитной совместимости и должна выйти на рынок по цене \$5. Роет использует синхронный протокол Multiple Access/Contention Resolution (SMA/CR) и 16 различных уровней приоритетов передаваемых данных. Эта комбинация должна обеспечить взвешенное и преимущественное распределение ширины полосы между соответствующими службами.



С помощью Peer-to-Peer-разводки Роет должна покрыть все имеющиеся в доме розетки. Качество каждого отдельного соединения всегда известно каждому узлу в сети, который может также служить как усилитель. Новые узлы авторизуются автоматически. Поддерживается до 255 сетей, из которых каждая в свою очередь может иметь до 255 узлов.

Согласно производителю, Роет-технология соответствует европейским нормам EN55022 по излучению помех в проводах и EN55024 по невосприимчивости помех. Роет должна также отвечать требованиям FCC Part 15 (USA) по излучению помех и норм CISPR 22 и CISPR 24 для остальных регионов мира. Powerline Modem-чип имеет схему опознавания и уклонения, смещающую несущий сигнал, чтобы избежать имеющихся помех от радиолобительских диапазонов. SiConnect намерена представить свои первые Powerline-трансиверы в третьем квартале 2006 г.

www.siconnect.com



Аналоговые датчики температуры, влажности и давления

Владимир Бартнев, Максим Бартнев (Москва)

В статье приводятся характеристики современных наиболее распространённых датчиков температуры, влажности и давления. Особое внимание авторы уделяют проблеме удалённого мониторинга этих датчиков на распределённых объектах в масштабируемых АСУ ТП.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение температуры, влажности и давления становится всё более актуальным как в современных научных исследованиях, так и в промышленном производстве. Измерение этих параметров имеет огромное значение в среде обитания человека и в медицине. Об этом и о существенном росте сбыта датчиков в последние годы говорилось в статье [1]. Хотя основные способы измерения температуры, влажности и давления известны давно, успехи современной электроники создали за последнее десятилетие благоприятные условия для существенного совершенствования характеристик датчиков этих важных параметров. Одновременно для этих задач появились специализированные АЦП, что упростило высокоточное преобразование аналоговых сигналов от датчиков в цифровой код, а разнообразные интерфейсные решения позволили не только повысить помехозащищённость каналов измерения этих параметров, но и обеспечить их удалённый мониторинг на распределённых объектах.

В статье рассмотрены характеристики основных представителей семейств датчиков температуры, давления и влажности, выпускаемых известными фирмами, и выделены наиболее актуальные области их применения.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Что же нового появилось в измерении температуры? Революционным событием явилось появление в последнем десятилетии нового класса интегральных микросхем – монолитных цифровых датчиков температуры. Главным их отличием является прямое преобразование температуры в цифру на одном кристалле (т.е. не требуется внешнее АЦП), возможность калибровки и коррекции характеристик в процессе изготовления, возможность адресации большого числа цифровых датчиков, работающих на одной шине за счёт встроенного интерфейса. Однако интегральные цифровые датчики позволяют измерять температуру только до 150°C, т.к. изготовлены они на кремниевой основе. Работа с такими датчиками подробно рассмотрена в статьях [2, 3].

Рассмотрим аналоговые датчики для измерения температуры в расширенном диапазоне значений, которые в науке и технике востребованы гораздо в большей степени. Это термопреобразователи сопротивления (ТПС) и термоэлектрические преобразователи, или термопары. В ТПС для измерения температуры используется свойство изменения сопротивления проводника тока при изменении температуры, а в термопарах применяется свойство изменения термо-эдс,

возникающей на спае разнородных металлов, при изменении температуры. В табл. 1 приводятся сравнительные характеристики датчиков температуры этих двух типов.

Рабочий диапазон температур и других характеристик во многом зависит от применяемых металлов и сплавов. Так, в качестве металлов для ТПС используются в основном платина (до 750°C) и медь (до 150°C). Термопары изготавливаются из платино-родиевых (до 1700°C), хромель-алюмелевых (до 1100°C) или хромель-копелевых (до 700°C) сплавов.

В настоящее время наблюдается внедрение высоких технологий при изготовлении термопар и ТПС. Например, при изготовлении термоэлектрических преобразователей стал широко использоваться так называемый термопарный кабель. Он представляет собой гибкую металлическую трубку с размещёнными внутри неё одной или двумя парами термоэлектродов. Пространство вокруг термоэлектродов заполнено уплотнённой минеральной изоляцией. Термоэлектроды термопарного кабеля со стороны рабочего торца соединяются между собой лазерной сваркой, образуя рабочий спай, который заглушен приваренной стальной пробкой (рис. 1). Термопарный кабель выпускается за рубежом (марка Pyrotex) [4] и в России (марки КТМС и КТМСп) [5] с минеральной изоляцией.

Использование термопарного кабеля для производства термопреобразователей позволило повысить следующие потребительские качества по сравнению с термопарами традиционного исполнения:

- повышены в 2...3 раза термоэлектрическая стабильность и рабочий ресурс при сравнимых рабочих условиях;
- появилась возможность изгибать, укладывать в труднодоступные места, приваривать, припаивать или просто прижимать датчик к поверхности для измерения её температуры;
- уменьшился показатель тепловой инерции, позволяющий применять

Таблица 1. Характеристики аналоговых датчиков температуры широкого применения

Характеристика	ТПС	Термопара
Диапазон температур, °C	-200...+750	-200...+1700
Точность, °C	±(0,01...1)	±(1...10)
Тепловая инерция, с	10...30	50...150
Стабильность	Очень высокая	Высокая
Взаимозаменяемость без калибровки	Имеется	Не имеется
Линейность	Хорошая	Средняя
Чувствительность	Высокая	Низкая

термопары при регистрации быстротекущих процессов;

- блочно-модульное исполнение термопреобразователей в защитных чехлах обеспечивает дополнительную защиту электродов от воздействия рабочей среды и оперативную замену чувствительного элемента;
- конструкция имеет хорошую технологичность, малую материалоемкость и обеспечивает универсальность применения в различных условиях эксплуатации.

Сравнительные испытания термопар нового типа показали, что дрейф термо-эдс кабельной термопары хромель-алюмель (КТХА) при температуре 800°C за 10 000 ч составляет примерно 80...85 мкВ, тогда как у обычной термопары типа хромель-алюмель (ХА) с диаметром электродов 0,7 мм – 200 мкВ. Повышенная стабильность обусловлена дополнительной защитой термоэлектродов от воздействия рабочей среды. В нашей стране и за рубежом почти на всех атомных электростанциях применяют кабельные термопары. Применение кабельных термопар ТХА(ХК)-2076 с максимальной длиной погружаемой части до 16 м позволило повысить точность измерения температуры в 4 раза по сравнению с ранее применявшимися обычными термопарами. Ресурс увеличен в 2,5 раза, инерционность уменьшена в 4,5 раза [6].

Приведём характеристики отечественных термопарных кабелей. Термопарные кабели КТМС(ХА), КТМС(ХК), КТМСп(ХА), КТМСп(ХК) предназначены для изготовления кабельных термоэлектрических преобразователей (термопар), которые используются для измерения температуры от -50 до +800°C с жилами из сплавов хромель-Т-копель и от -50 до +1000°C с жилами из сплава хромель-Т-алюмель. Кабель состоит из термоэлектродных жил, которые заключены в оболочку из нержавеющей стали марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т или сплава марки ХН78Т. Термоэлектродные жилы расположены параллельно и изолированы минеральной изоляцией – периклазом или окисью магния. Одножильные термоэлектродные кабели сделаны из сплавов хромель Т, алюмель, копель. В двухжильном кабеле одна жила сделана из сплава хромель Т, другая – из сплава алюмель или копель. В четырёхжильном кабеле две жилы – из

сплава хромель Т и две другие жилы – из сплава алюмель или копель.

В изготовлении ТПС также наблюдается заметный прогресс. Прежде ТПС изготавливались путём намотки на керамический каркас платиновой или медной проволоки. В настоящее время резистор для ТПС изготавливается из тонкой плёнки металла, напылённого на керамическую подложку. С помощью лазерной подгонки сопротивление резистора (датчика) доводится до номинального значения с высокой точностью (0,001%). При этом если сопротивление проволочных резисторов (например, платиновых) составляет 50 или 100 Ом, то для тонкоплёночных резисторов легко достигаются значения 500, 1000 и даже 10 000 Ом. Тонкоплёночная конструкция ТПС позволила улучшить такие характеристики ТПС, как точность измерения, линейность, чувствительность, тепловая инерция, долговременная стабильность. Тонкоплёночные ТПС приобрели такое привлекательное качество, как взаимозаменяемость без дополнительной калибровки. При всех своих преимуществах тонкоплёночные ТПС дешевле своих проволочных аналогов.

В табл. 2 приведены характеристики тонкоплёночных платиновых ТПС семейства HRTS фирмы Honeywell [7]. Они предназначены для измерения температуры поверхности в диапазоне -200...+480°C. Конструктивно ТПС оформлены в металлических и керамических корпусах с тефлоновыми выводами (рис. 2).

В последнее время весьма популярными стали тонкоплёночные бескорпусные платиновые ТПС фирмы Heraeus Instruments [8]. Многие фирмы используют бескорпусные ТПС, размещая их в различных корпусах и контейнерах.

Платиновые датчики семейства НМ фирмы Heraeus Instruments характеризуются стабильной работой в широком диапазоне температур и имеют сопротивление 100, 500, 1000 Ом (НМ1020) и 10 000 Ом (НМ622) при 0°C. Диапазон рабочих температур для НМ1020 от -70°C до +400°C, для НМ622 верхняя граница диапазона доходит до +500°C. Самонагрев не превышает 0,3 мВт/°C при рабочем токе от 0,1 до 0,7 мА. Датчики выпускаются на керамической подложке с проволочными выводами длиной 10 мм. Габариты датчиков семейства НМ показаны на рис. 3.

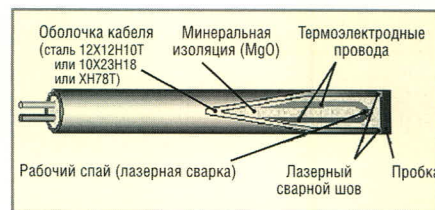


Рис. 1. Устройство термопарного кабеля



Рис. 2. Внешний вид датчиков температуры фирмы Honeywell

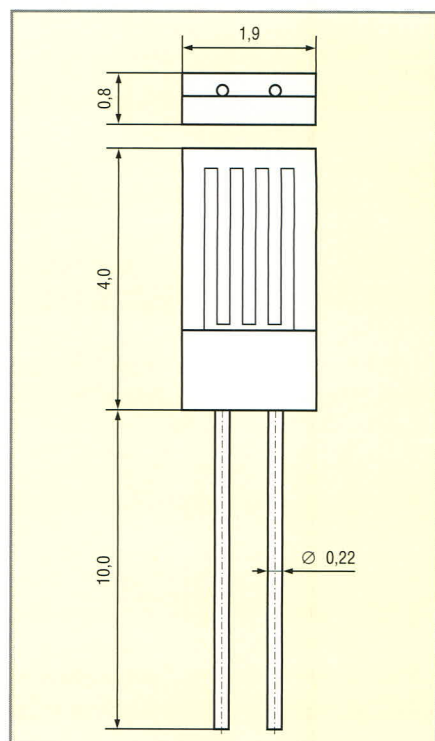


Рис. 3. Габариты датчиков семейства НМ

Датчики влажности

Датчики влажности, использующие психрометрический метод, основанный на измерении температур сухого и

Таблица 2. Характеристики тонкоплёночных ТПС семейства HRTS фирмы Honeywell

Материал ТПС	Платина
Сопротивление, Ом	1000
Диапазон рабочих температур, °C	-200...+480
Постоянная времени (тепловая инерция), типовая, с	20
Напряжение питания, постоянное, В	4,0...9,0
Ток потребления, типовой/макс., мА	1/2
Самопрогрев, типовой, мВт/°C	0,3

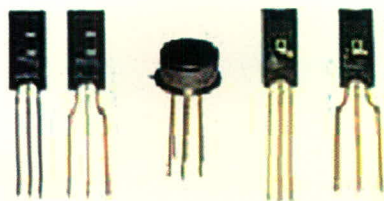


Рис. 4. Внешний вид датчиков влажности семейства HIH

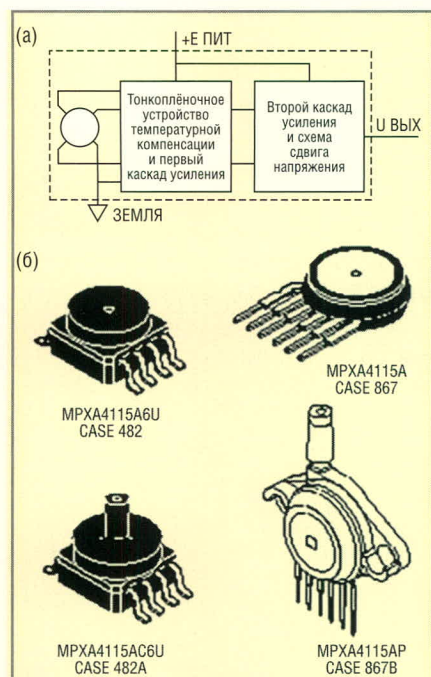


Рис. 5. Структурная схема (а) и внешний вид датчиков MPX4115 в различных корпусах (б)

влажного термометра, ушли в прошлое, и теперь для измерения влажности применяются интегральные датчики влажности нового типа, в которых чувствительным элементом является многослойная конденсаторная структура с платиновыми электродами и специальной полимерной изоляцией. Фирма Honeywell выпускает множество моделей таких датчиков семейства HIH [7]. В табл. 3 приведены обобщённые параметры датчиков влажности семейства HIH (HIH3602, HIH3605 и HIH3610), а на рис. 4 показан их внешний вид.

Таблица 3. Обобщённые параметры датчиков влажности семейства HIH фирмы Honeywell

Диапазон измеряемой относительной влажности, %	0...100
Погрешность измерения, % RH	2
Погрешность взаимозаменяемости, %	5
Постоянная времени, макс., с	50
Напряжение питания, постоянное, В	4,5...5,8
Ток потребления, макс., мА	2
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85

Датчики влажности емкостного типа семейства HIH снабжаются интегральными схемами, формирующими выходное напряжение, пропорциональное измеряемой относительной влажности. Лазерная подгонка параметров и калибровка элементов этих интегральных схем обеспечивает высокую точность измерения влажности и взаимозаменяемость датчиков. В табл. 4 приведены характеристики наиболее популярного и экономичного датчика влажности HIH-3610, предназначенного для измерения относительной влажности воздуха и других газов.

Некоторые фирмы выпускают совмещённые датчики влажности и температуры. В частности, немецкая фирма S+S Regeltechnik [9] предлагает широкий выбор датчиков влажности воздуха внутри или вне помещений семейств RFF и AFF. Аналогичные датчики семейств RFTF и AFTF позволяют измерять влажность и температуру. В них сигналы чувствительного элемента емкостного типа HC1000/HC200 преобразуются в нормализованные сигналы (0...10 В или 4...20 мА). Для измерения температуры используется платиновый датчик PT1000. В табл. 5 приведены технические характеристики датчиков этих семейств.

Датчики давления

На смену традиционным датчикам давления пришли интегральные пьезорезистивные датчики, изготовленные на базе монокристаллического кремния. Их отличает высокая точность и долговременная стабильность, отсутствие вариации, устойчивость к ударным и знакопеременным нагрузкам. Они включают в себя датчики абсолютного и избыточного давления. Первые датчики такого типа стала производить фирма Motorola [10], в дальнейшем передавшая их производство фирме Freescale Semiconductor [11]. Погрешность интегральных датчиков в диапазоне температур 0...85°С не превышает 0,5%.

Датчики фирмы Freescale Semiconductor представлены рядом семейств. Среди новинок отметим датчики давления MPVZ4006/5004/5010. Нижняя граница диапазона измеряемых давлений начинается с 4, 6 и 10 кПа соответственно. Они особенно эффективны для измерения уровней жидкости.

Датчик MPX4115 отлично подходит для измерения абсолютного давления

в метеорологии. Его отличает широкий диапазон измеряемого давления (15...115 кПа), достаточно высокая точность в диапазоне температур 0...85°С (не хуже 1,5%), наличие температурной компенсации во всём диапазоне рабочих температур -40...+125°С. Напряжение питания 4,85...5,15 В, ток потребления 7...10 мА. Выходное напряжение 0,135...4,863 В, чувствительность 49,5 мВ/кПа. Время отклика 20 мс. На рис. 5 изображена структурная схема датчиков MPX4115 и их внешний вид в разных корпусах.

Рассмотрим также датчики давления фирмы S+S Regeltechnik семейства SHD [9]. Они используются для измерения давления газов или жидкостей. Измеряемое давление преобразуется в аналоговые сигналы 0...10 или 4...20 мА. Диапазоны измеряемого давления от 0...0,6 до 0...60 бар (максимальный диапазон). В промежутке от 0,6 до 60 бар имеется ещё семь градаций верхней границы диапазона измеряемого давления: 1, 2, 5, 6, 10, 16, 25 и 40. Мембрана датчика выполнена из нержавеющей стали. Она обеспечивает герметичность датчика. Диапазон рабочей температуры -40...+100°С. Измерительный элемент – тонкоплёночный пьезорезистор. Напряжение питания постоянно 12...32 В при нагрузке 100...1100 Ом соответственно для токового выхода 4...20 мА с двухпроводным подключением и 14...32 В при нагрузке 10 кОм для выхода по напряжению 0...10 В с трёхпроводным подключением. Время реакции 1,5 мс. Класс точности 0,5%. Суммарная погрешность не превышает 3%. Сопротивление изоляции 100 МОм. Класс защиты IP65-68. Двукратное превышение максимально допустимого значения измеряемого давления не выводит датчик из строя.

Широкую номенклатуру датчиков, измеряющих давление от 10 мбар до 2000 бар, выпускает фирма Vdsensors [12]. Приведём, в частности, характеристики датчика DMP331, предназначенного для измерения абсолютного и избыточного давления в диапазоне 0,04...40 бар с погрешностью не больше 0,35%. Это датчик общепромышленного применения для контроля технологических процессов. Он имеет низкое энергопотребление от источника питания 6...15 В и стандартные выходные сигналы: 4...20 мА при токовом выходе и 0...5 или 0...10 В при выходе по напряжению по трёхпро-

водной схеме. Датчик имеет низкую температурную зависимость, высокую линейность и долговременную стабильность характеристик, компактную и прочную механическую конструкцию в корпусе из нержавеющей стали для тяжелых условий эксплуатации. Класс защиты IP65-68.

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ ДАТЧИКОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В измерительных системах сигнал аналоговых датчиков претерпевает несколько этапов преобразования. Сначала он усиливается и масштабируется, далее в АЦП оцифровывается и затем передается по интерфейсу в контроллер или компьютер. Однако грани между этими этапами преобразования сигнала датчиков начинают стираться. При этом в конструкциях новых аналоговых датчиков проявляются следующие тенденции.

Во-первых, современные датчики зачастую на выходе уже имеют нормированные сигналы в виде тока или напряжения, пропорциональные измеряемой величине, и поэтому не требуют усиления и масштабирования. Во-вторых, разработаны 2-, 3- и 4-проводные схемы подключения аналоговых датчиков непосредственно к аналого-цифровым преобразователям (АЦП) без масштабирования и усиления. В-третьих, появились более совершенные высокоразрядные (до 24 бит) АЦП, имеющие специализированные 2-, 3- и 4-проводные аналоговые входы и встроенные источники опорного напряжения и тока [13]. И, наконец, ещё одна характерная тенденция – это появление разнообразных специализированных цифровых интерфейсов, по которым передаются цифровые сигналы аналоговых датчиков, что особенно важно при мониторинге большого числа датчиков в распределённых масштабируемых системах.

Проиллюстрируем сказанное. 24-битные АЦП AD7710/7711/7712 фирмы Analog Devices специально предназначены для работы с ТПС и термопарами. Они имеют один дифференциальный аналоговый вход и два аналоговых входа с каналами, имеющими программируемое усиление, НЧ-фильтр с программируемой частотой среза, двунаправленный последовательный интерфейс и низкое энергопотребление (не более 25 мВт, а в режиме ожидания – 7 мВт). Микро-

схемы имеют встроенные источники тока для ТПС и могут работать от одного или двух источников питания.

АЦП AD7730 предназначен для подключения к мостовым схемам, используемым с пьезорезистивными датчиками для измерения давления. Они имеют два дифференциальных аналоговых входа с программируемым усилением, на которые можно подавать четыре однополярных или двухполярных напряжения в диапазонах до ± 10 , ± 20 , ± 40 и ± 80 мВ. АЦП питается от одного источника питания +5 В, имеет средства автономной калибровки, при этом дрейф нуля не превышает 5 нВ/°С. Трёхпроводный последовательный интерфейс обеспечивает двунаправленную связь с цифровым сигнальным процессором

или контроллером. На рис. 6 показана структурная схема АЦП.

При проектировании распределённых систем сбора данных о температуре, влажности и давлении, например, в задачах энергосбережения, требуется обеспечение контроля большого числа аналоговых датчиков, установленных на различных контролируемых объектах. Для построения таких сложных масштабируемых систем между их узлами (снабжёнными контроллерами), к которым непосредственно подключаются через цифровой интерфейс множество разных датчиков, и удалёнными серверами OPC (OLE for Process Control), предназначенными для взаимодействия с системами диспетчерского управления и сбора дан-

Таблица 4. Характеристики экономичного датчика влажности модели HIH-3610

Корпус	SIP
Точность, % RH*	$\pm 2^{**}$
Взаимозаменяемость, типовая, % RH	± 5 для 0...60%; ± 8 для 0...90%
Линейность, типовая, % RH	$\pm 0,5$
Гистерезис от максимального промежутка, %	$\pm 1,2$
Повторяемость, % RH	$\pm 0,5$
Отклик при 25°C, с	15***
Стабильность, типовая, % RH	$\pm 1^{****}$
Напряжение питания, постоянное, В	4,0...5,8
Ток потребления, типовой, мкА	200
Диапазон относительной влажности, %	0...100
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+85
Особенности применения	Чувствительность к свету, требуется защитный экран

* RH – Relative Humidity (относительная влажность).

** При 25°C и напряжении питания 5 В.

*** В неподвижном воздухе.

**** При относительной влажности 50% за 5 лет.

Таблица 5. Технические характеристики датчиков семейств RFF/AFF и RFTF/AFTF

Диапазоны измерения влажности и температуры, % RH/°C	0...100/0...50 (RFTF), -20...+80 (AFTF)
Тип подключения	2-, 3-, или 4-проводное, клеммное
Способ крепления	Установка на стену или на монтажное основание
Напряжение питания для моделей с выходом по напряжению, постоянное/переменное, В	15...35/24 20...28 при сопротивлении 500 Ом / –
Напряжение питания для моделей с токовым выходом, постоянное, В	11...28 при сопротивлении 50 Ом
Выход, В/мА	0...10/4...20**
Диапазон рабочей влажности, % RH	10...90
Погрешность измерения относительной влажности, % RH	$\pm 3^{***}$
Погрешность измерения температуры, °C	$\pm 0,3$ (выход по напряжению); $\pm 0,5$ (токовый выход)
Класс защиты по DIN40050	IP 30 – RFTF, IP 40 – AFTF

* Для сопротивления 500 Ом.

** На выход по напряжению или току указывает суффикс U или I в обозначении модели.

*** В диапазоне влажности 40...60% при 20°C.

Для проверки датчиков, подключенных параллельно к двухпроводной линии, достаточно через адаптер DS9097U присоединить их к порту RS232 компьютера. С помощью специальной программы (её дистрибутив имеется на сайте фирмы MAXIM) удаётся обнаружить и считать параметры датчиков, подключенных к сети MicroLAN, число которых может быть практически любым. В процессе опроса программа позволяет получить следующие данные:

- результат проверки присутствия датчика в сети на момент опроса;
- уникальный идентификационный номер датчика;
- значения температуры, влажности или давления, измеренные датчиком;
- описание ошибки в случае её наличия.

Кроме того, после 100 измерений программа выдаёт среднее время снятия измеряемого параметра с одного датчика. После компьютерного тестирования и калибровки датчиков измерительная линия подключается к узловому контроллеру масштабируемой системы. Контроллеры построены по многопроцессорной схеме на микросхемах фирмы Microchip (например, на PIC16F648A реализован последовательный интерфейс с GSM-модемом). В целях снижения стоимости проектируемых систем в качестве GSM-модемов используются сотовые телефоны фирмы Sony-Ericsson.

Контроллер с GSM-модемом позволяет получать тревожные сообщения об отключении сети на объектах. При превышении/снижении предельно допустимых значений контролируемых параметров с помощью контроллера с GSM-модемом производится дистанционное регулирование температуры, влажности и давления в распределённой системе. Для этого с GSM-модема сервера OPC передаются и получают SMS-сообщения специального формата. Ответные SMS-сообщения передаются через соответствующий GSM-модем запрошенного узла также в специальном формате. В результате конкретный объект обрабатывает откорректированную дистанционно новую установку температуры, влажности или давления. Энергосберегающая и дистанционно управляемая система АСУ

ТП подобного типа подробно описана в [14, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря новым информационным технологиям расширяются области применения аналоговых датчиков температуры, влажности и давления во многих отраслях промышленности. Особенно эффективно применение датчиков при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами, при построении систем аварийной защиты на экологически опасном производстве, для контроля технологических процессов и мониторинга режимов оборудования, а также при реализации программ энергосбережения [18].

ЛИТЕРАТУРА

1. Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Mysbkin I.L. World Sensors and MEMS Markets: Analysis and Trends. Sensors & Transducers Magazine (S&T e-Digest). December 2005. Vol. 62. Issue 12. PP. 456–461.
2. Бартенев В., Бартенев Г., Краснополянский Л. Технологии plug & play в технике измерения температуры. Контрольно-измерительные приборы и системы. 1997. № 2.
3. Бартенев В. Цифровые датчики температуры и их применение. Датчики и системы. 2004. № 12.
4. Pyrotenax® – High Temperature Cable Measurement Probes. Tyco Thermal Controls Corporate (www.tycothermal.com).
5. Кабели термодарные. Каталог фирмы «Кирскабель» (www.kirscable.ru).
6. Термопреобразователи. Каталог фирмы «Тесей», г. Обнинск, 2004 (www.tesey.com).
7. Temperature and humidity sensors. Honeywell Sensing and Control (www.honeywell.com).
8. Heraeus Sensor Technology. Product Catalog (www.heraeus.com).
9. Датчики фирмы S+S Regeltechnik. 2005 (www.numerix.ru).
10. Motorola Semiconductor Technical Data. Integrated Pressure Sensors (www.motorola.com).
11. Integrated Pressure Sensors. Freescale Semiconductor (www.freescale.com).
12. Pressure Measurement. Product Catalog BD/Sensors (www.bdsensors.com).
13. Signal Conditioning ADC: AD7710, AD7711, AD7712, AD7730. Technical description. Analog Devices (www.analogdevices.com).
14. Бартенев М.В. Применение сотовой радиосвязи при построении масштабируемых АСУ. Труды Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
15. MicroLAN – новая концепция построения однопроводной сети. Перспективные изделия, сб. Москва: Додэка, 1996. Вып. 2.
16. www.maxim-ic.com, www.dalsemi.com.
17. Бартенев В., Бартенев М. Энергосберегающая модульная АСУ ТП для распределённых объектов «Сингал телетерм». Датчики и системы. 2005. № 2.
18. Энергосбережение – концепция и технологии (www.digiterm.ru).



МАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ

для пневмоцилиндров



Датчики определяют положение поршня пневмоцилиндров и выполняют функцию концевого выключателя. Устанавливаются на корпус цилиндра и фиксируют поле кольцевого магнита, расположенного на поршне.





Для цилиндров с Т-образными прорезями:
MZ2Q, MZT6, RZT6, MZT1, RZT1, MZF1

Для цилиндров с коротким ходом:
MZK1, MZK3

Для цилиндров с круглыми прорезями:
MZN1, RZN1, MZR2, MZR1

Для стандартных цилиндров:
MZP3, MZP4

Для цилиндров с затянутым на поршень штоком:
MZZ1, MZU2





Москва 1-ый Щемиловский пер., д. 17/19, стр. 2
Тел./факс: (495) 223 00 38
E-mail: sensor@platan.ru

Микрокамертонные кварцевые датчики

Валерий Симонов (Москва)

В статье рассматривается современное состояние одной из ветвей пьезорезонансных измерительных преобразователей на основе кварцевых резонаторов – микрокамертонных датчиков давления, температуры и других параметров. На примерах нескольких реализаций демонстрируются метрологические и функциональные свойства датчиков, приводятся их основные технические и потребительские характеристики – высокая точность, удобство сопряжения с цифровой техникой, универсальность и относительно низкая стоимость.

ВВЕДЕНИЕ

Пьезорезонансные датчики (ПРД) различных физических параметров известны около 50 лет [1]. Однако из-за сложной технологии изготовления до середины 80-х годов они имели высокую себестоимость и применялись для решения задач, требующих высокой точности. Бурное развитие электронных кварцевых часов привело к созданию массовой технологии кварцевых резонаторов, что послужило толчком для развития ПРД и снижения их себестоимости. Заметным шагом в развитии ПРД стал новый чувствительный элемент – микрокамертонный резонатор (МКР) [2]. Низкочастотные кварцевые резонаторы с пьезоэлементом камертонного типа, обладая миниатюрными размерами (длина 3...8 мм, ширина 0,5 мм, толщина 0,125...0,3 мм), идеально подходят для стабилизации частоты в микропроцессорной и портативной аппаратуре, средствах связи и вычислительных устрой-

ствах. Чувствительные элементы (сенсоры) на основе МКР устанавливаются в специальный корпус (рис. 1). Они обладают большой полезной перестройкой частоты (до 10%) и высокой температурной стабильностью. Относительный температурный коэффициент частоты в диапазоне температур $-50...+100^{\circ}\text{C}$ составляет $(-32...-37) \times 10^{-9}$. Это уникальная совокупность характеристик.

Пьезоэлемент термочувствительного МКР имеет форму камертона, а тензочувствительного МКР – форму сдвоенного камертона. Ветви пьезоэлемента МКР совершают изгибные по ширине колебания. Благодаря высокой механической добротности кристаллического кварца, а также камертонообразной форме пьезоэлемента, добротность колебаний составляет от 10^4 до 10^5 . Такая добротность обеспечивает высокую кратковременную и долговременную стабильность резонансной частоты и выходного сигнала датчика. Динамический диапазон датчиков на МКР (отношение верхнего предела измеряемого параметра к порогу реагирования) составляет $10^5...10^7$.

Другое достоинство ПРД связано с высокой воспроизводимостью температурно-частотных характеристик – на уровне $10^{-7}...10^{-8}$ относительных единиц. Это позволяет компенсировать температурный дрейф в широком диапазоне рабочих температур до величины, сравнимой с основной погрешностью.

Естественный выходной сигнал ПРД – частотный. Это в значительной мере упрощает сопряжение первичного преобразователя датчика с со-

временными цифровыми устройствами приёма, сбора и обработки информации.

От кварцевых электронных часов ПРД на МКР унаследовали способность обходиться малым потреблением электрической энергии. Так, некоторые модификации датчиков потребляют ток около 20 мкА. Это позволяет создавать автономные измерительные устройства с периодичностью замены источника питания от 2 до 10 лет.

Несомненным достоинством ПРД является их универсальность. С помощью кварцевых резонаторов можно с высокой точностью измерять широкий спектр механических, тепловых, химических и других параметров.

Зарубежные микрокамертонные датчики давления и температуры, например, датчики давления фирмы Паросайентифик (США) или датчики температуры фирмы ЕТА (Швейцария), обладают уникальными техническими характеристиками: у них гистерезис и временной дрейф находится на уровне 0,01% [1]. В области отечественных ПРД техническим прорывом в середине 80-х годов стал кварцекристаллический чувствительный элемент (КЧЭ) преобразователя давления в изменение частоты резонатора. Он полностью состоит из кварцекристаллических деталей (рис. 2а) [3 – 5]. Разработка технологии пайки кварцекристаллических деталей стеклом позволила снизить гистерезис до величины $\pm(0,02 - 0,03)\%$ в интервале температур $-60...+150^{\circ}\text{C}$ и повысить рабочий диапазон давлений до 100 МПа (рис. 2б). Одновременно были разработаны микрокамертонные сенсоры усилий и температуры [7].

В основе существующих датчиков на основе МКР лежат следующие общие принципы построения:

- дифференциальная (или с одним опорным и одним чувствительным резонатором) схема включения МКР, что позволяет снизить погрешности температурного, временного, режимного дрейфов и убрать неинформативную частотную «подставку», усложняющую обработку сигнала в последующей аппаратуре;
- модульное построение узла чувствительного элемента, которое позволяет унифицировать конструк-

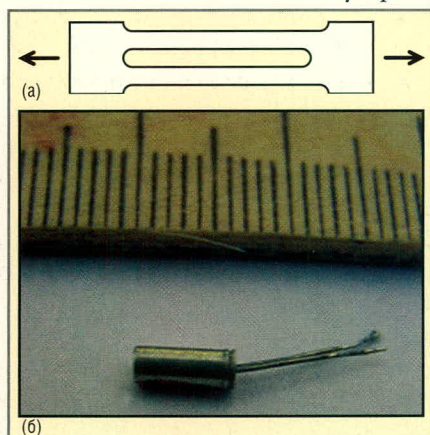


Рис. 1. Тензочувствительный сдвоенный микрокамертон (а) и термочувствительный МКР, установленный в корпус (б)

цию и значительно снизить её стоимость. Существует семь типоразмеров чувствительных элементов датчиков избыточного давления на различные пределы измерений с двумя типоразмерами корпусов. Чувствительных элементов датчиков температуры всего три, и три типоразмера корпусов: диаметр – 1,5; 2 и 3 мм, длина – 1,5, 6 и 8 мм соответственно. Они предназначены для работы в двух диапазонах температур: $-200...+200^{\circ}\text{C}$ и $0...+400^{\circ}\text{C}$.

Ниже приведены наиболее интересные отечественные разработки в период с 1983 г. по настоящее время.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

1. Измерительные преобразователи абсолютного и избыточного давления с верхним пределом в диапазоне $0...100$ МПа с приведённой погрешностью $\pm(0,03...0,1)\%$, в том числе:

- датчик избыточного давления в диапазоне $0,06...60$ МПа, модель Кварц-ДИ взрывозащищённого исполнения, разработан, сертифицирован и освоен в 1993–1994 гг. предприятиями «Центрприбор» и «Инсэкс» (Москва), СКТБ ЭЛПА (г. Углич) и «Пирамида» (г. Смоленск);
- датчик избыточного и абсолютного давления, модель Кварц-2, сертифицирован и освоен предприятием «Термоавтоматика» (Москва) в 2000 г.;
- семейство датчиков избыточного и абсолютного давления с температурным каналом для внешней термокомпенсации, модели ПДТК-01, ПДТК-Р-МГ, ПДТК-Р-МС, ПДТК-Р-МН, разработаны предприятиями СКТБ ЭЛПА, «Инсэкс» и «Авангард-Элионика» (С.-Петербург) [7];
- манометр двойного применения с выходными сигналами в цифре (RS-232 или RS-485) и по частоте, модель МК-01 (рис. 3), разработан предприятиями «Инсэкс» и «Микрокамертон» (Москва) в 2005 г., освоен предприятием «Инсэкс».

2. Кварцевый частотный термометр ПТК-01 на диапазон измеряемых температур $-60...+60^{\circ}\text{C}$ с погрешностью $\pm(0,1...0,3)^{\circ}\text{C}$, разработан и серийно выпускается предприятием СКТБ ЭЛПА.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Кварцевый медицинский термометр, модель ТЭ-01. Разработан НПО «Интеграл» (г. Минск) и СКТБ ЭЛПА, серийно выпускается НПО «Интеграл».
2. Микробарометр для баронивелирования местности, обладает погрешностью 2 см в диапазоне перепадов высот до 1000 м. Прибор разработан в МИФИ и освоен НПО «Геофизика» (Москва).
3. Кварцевый датчик избыточного давления с оптоволоконной связью на различные диапазоны с верхним значением от 0,16 до 25,0 МПа с погрешностью 0,1%, модель Кварц-ОДИ. Благодаря оптоволоконной линии связи с приёмной аппаратурой датчик обладает высокой помехоустойчивостью, особым уровнем взрывозащищённости и грозозащиты. Сертифицирован и освоен в 1998 г. предприятиями «Инсэкс» и НПО «Газприборавтоматика» (Москва).
4. Датчик уровня жидкости погружного типа в диапазоне глубин от нескольких метров до 10 км с погрешностью $\pm(0,05...0,1)\%$. Разработан и освоен предприятиями «Инсэкс» и СКТБ ЭЛПА.
5. Скважинный измеритель давления и температуры с погрешностью $\pm(0,05...0,1)\%$ в диапазоне давлений до 100 МПа и температур $0...150^{\circ}\text{C}$. Освоен предприятиями «Инсэкс» и СКТБ ЭЛПА в 2003 г. (рис. 4).
6. Датчики для систем теплового учёта, модели ТЧК-01 и ТЧК-012, сертифицированы и освоены предприятиями «Теплоконтроль» (г. Сафоново, 1995 г.), «Рэмик-2» (Москва, 1996 г.), «Термоавтоматика» и «Инсэкс» (1999 г.).
7. Малопотребляющий датчик температуры для термокомпенсации температурных дрейфов в устройствах и системах, разработан и выпускается предприятием «Инсэкс».
8. Датчик температуры «Метран-299» для систем поквартирного учёта тепла. Силами предприятий «Инсэкс», СКТБ ЭЛПА и «Метран» (г. Челябинск) в 2004–2005 гг. разработана техническая документация и изготовлена опытная партия. Описание технических характеристик вышеприведённых датчиков не является целью данного обзора. Приведём здесь лишь основные данные некоторых из этих датчиков.

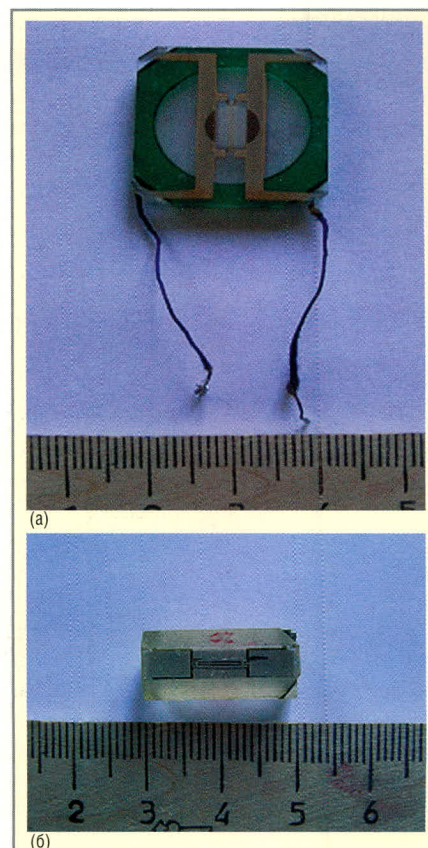


Рис. 2. Манометрический МКР давлений до 10 МПа (а) и до 100 МПа (б)



Рис. 3. Манометры кварцевые МК-01



Рис. 4. Датчики давления скважинные

КВАРЦЕВЫЕ МАНОМЕТРЫ МК-01

Кварцевые манометры показаны на рис. 3. Они представляют собой семейство измерительных преобразователей абсолютного (МК-01-А), избыточного (МК-01-И) и дифференциального (МК-01-Д) давления. Манометры предназначены для измерения давления газообразных, жидких

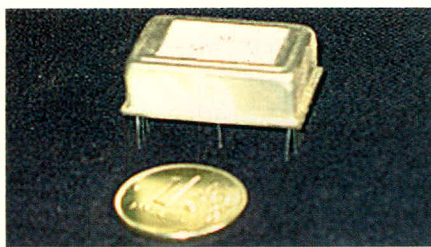


Рис. 5. Кварцевый двухчастотный генератор ГКД-01 с встроенным датчиком температуры

и сыпучих нейтральных и агрессивных сред и обеспечивают непрерывное преобразование давления этих сред в частотные и цифровые сигналы. Конструктивное исполнение манометров, предназначенных для общепромышленного и специального применения, различно.

Манометры общепромышленного применения используют для измерения абсолютного давления (модели А1, А2, А3, А4, А5), избыточного давления (модели И1, И2, И3, И4, И5) и малых перепадов давления (модель Д7). Манометры специального применения используют для измерения барометрического давления (модель А5) и атмосферного диапазона рабочих давлений. Они имеют миниатюрное исполнение и малое потребление энергии (модели А6 и И6), а также специальное исполнение для использования в скважинах (модель А8).

Манометры имеют как невзрывозащищённое исполнение, так и взрывозащищённое видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь 1ф» и уровнем взрывозащиты «особовзрывобезопасный» (О) по ГОСТ 22782.5-78).

По виду выходного сигнала манометры имеют следующие исполнения: Ч (один частотный сигнал, по давлению), 2Ч (два частотных сигнала, по давлению и температуре), Ц (один цифровой сигнал и один кодовый, по давлению) и 2Ц (два цифровых и два кодовых сигнала, по давлению и температуре). Измерительный преобразователь (ИП) манометров имеет на выходе один или два частотных сигнала: по давлению или по давлению и температуре. Манометры Ц и 2Ц состоят из ИП исполнений Ч или 2Ч, адаптера измерительного преобразователя (АИП) с дисплеем, индицирующим цифровое значение давления и температуры и передающим кодовый сигнал по интерфейсу RS-232 или RS-485, и кабеля линии связи между ИП и АИП.

Дисплей АИП содержит светодиодный индикатор, отображающий четыре десятичные цифры значения давления (температуры) и знак «-». На передней панели АИП размещены также два точечных светодиодных индикатора единиц измерения давления (например, МПа или кг/см²) и кнопка переключения единиц измерения. В разъёме кабеля связи, подключаемом к АИП, содержится микросхема ППЗУ с коэффициентами ИП. Величина измеряемых абсолютных и избыточных давлений – от 0,07 до 100 МПа, а дифференциальных давлений – от ±(0,4...6,0) кПа.

Верхний предел основной погрешности находится в диапазоне ±(0,1...0,5)%. Температурная погрешность манометров без температурной компенсации (исполнения по выходному сигналу Ч и Ц) не превышает величины основной погрешности на любые 10°C, а погрешность манометров исполнения 2Ч и 2Ц с температурной компенсацией – основной погрешности во всём диапазоне рабочих температур.

ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ «МЕТРАН-299» ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОКВАРТИРНОГО УЧЁТА ТЕПЛА «МЕТРАН-1500А»

Датчик температуры «Метран-299» предназначен для работы в системе поквартирного учёта тепла «Метран-1500А», разработанной предприятием «Метран». В состав датчика входят патрон с чувствительным элементом и электронный блок. Электронный блок состоит из генераторной части и интерфейсного модуля. Генераторная часть и чувствительный элемент размещаются в патроне (рис. 5). В качестве чувствительного элемента используется кварцевый термочувствительный резонатор типа РКТ306. Интерфейсный модуль используется для согласования термопреобразователя с другими устройствами системы «Метран-1500А».

Диапазон измеряемых температур в системе отопления здания 30...105°C. Абсолютная основная погрешность измерения температуры не превышает ±0,05°C, а повторяемость (сходимость) результатов измерения во всём диапазоне измерения не более ±0,05 °C. Разность показаний двух датчиков из любой неподобранной пары по модулю не превышает 0,05°C.

Питание электронного блока датчика осуществляется от внешнего источника по шине обмена напряжением 3,3...4,0 В. Средняя наработка датчика температуры до отказа – не менее 50 000 ч, средний срок службы – не менее 5 лет.

ДУХЧАСТОТНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ГКД-01 СО ВСТРОЕННЫМ КВАРЦЕВЫМ ДАТЧИКОМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Двухчастотные кварцевые генераторы ГКД-01 (рис. 5) предназначены для формирования высокостабильного стандарта времени в автономных информационно-измерительных системах с ограниченным потреблением электрической мощности [8].

В металлический корпус генератора заключены термостабильный кварцевый генератор (ТСКГ) и датчик температуры – термочувствительный кварцевый генератор (ТЧКГ) с микрокамертонным сенсором. Габариты ГКД-01 не более 25 × 15 × 10 мм.

Ниже приведены основные параметры генератора:

- номинальное значение частоты выходного сигнала ТСКГ 5...10 МГц,
- частота выходного сигнала ТЧКГ 32,6...32,8 кГц,
- температурный коэффициент частоты ТЧКГ –(1,8...2,2) Гц/°C,
- диапазон рабочих температур –50...+120°C,
- температурная зависимость частоты ТСКГ от частоты ТЧКГ записывается в паспорте кварцевого генератора в виде таблицы (с точностью до 3×10^{-8}),
- долговременная нестабильность частоты ТСКГ составляет не более 10^{-9} при 0°C и не более 5×10^{-9} при 50°C после 30 дней непрерывной работы,
- напряжение питания $5 \pm 0,05$ В,
- ток потребления не более 10 мА (в среднем 6 мА).

Использование градуировочной зависимости частоты ТСКГ от частоты ТЧКГ и выходного сигнала ТЧКГ даёт возможность пользователю в своей аппаратуре осуществлять цифровую температурную компенсацию дрейфа частоты ТСКГ. Преимуществом генераторов ГКД-01 по сравнению с аналогами, например, термостатированными генераторами, является малое потребление электрической

кой мощности наряду с высокой стабильностью задаваемых временных интервалов.

МИКРОКАМЕРТОННЫЕ МИКРОВЕСЫ

Микрокамертонные резонаторы могут с успехом применяться для точного измерения сыпучей порошкообразной массы в диапазоне десятков микрограммов без ограничения формы, размера, механических или адгезионных свойств микрочастиц взвешиваемого вещества и их положения на поверхности датчика. Представим экспериментальные результаты по взвешиванию микрообъёмов, в частности, изучение гигроскопических свойств фармацевтических материалов [9].

Множество химических компаний в настоящее время управляют программами исследования, нацеленными на открытие новых материалов и составов. При этом поток анализируемых составов чрезвычайно велик, а сами материалы дороги и доступны анализу в чрезвычайно малых количествах. Кроме того, как правило, технология анализа характеристик трудоёмка и невозможна без автоматизации.

Применение кварцевого камертонного резонатора является привлекательной альтернативой традиционным методам измерения. Микрокамертонные резонаторы имеют малые габариты, могут быть установлены на автоматизированной руке робота и обладают высокой добротностью в воздухе (10 000...15 000). Такие свойства позволяют отследить резонансные изменения частоты с большой точностью.

Типичная операция измерения влажности кристаллических порошков выполняется следующим образом. Тонкий слой адгезионного покрытия наносится на торцы ветвей камертонного резонатора. Покрытые адгезионным материалом ветви камертонного резонатора погружают-

ся в слой порошка так, чтобы покрытие захватило некоторое количество порошкового образца. Лишний порошок и частицы, которые присоединены свободно, самопроизвольно удаляются. После этого микрокамертон с порошковым образцом переносится в камеру влажности – гигростат. Изменение частоты записывается на каждом этапе процесса. Для вычисления относительного изменения массы $\Delta m/m$ по измеренному значению частоты микрокамертона используется следующая формула: $\Delta m/m = (f_2 - f_3)/(f_1 - f_2)$, где f_1 – начальная резонансная частота после нагружения резонатора адгезионным материалом, но без анализируемого порошкового образца и влаги, f_2 – частота резонатора с адгезионным материалом и порошковым образцом, f_3 – частота резонатора, подвергнутого воздействию влаги.

Переходной процесс при измерении влажности отнимает в обычных измерениях влажности много времени. Однако, благодаря малым размерам измеряемого материала, микрокамертон уравнивается намного быстрее (~1 мин). При изменении массы материала от 0 до 7 мкг частота микрокамертона изменялась в пределах 32 780...32 580 Гц. При этом зависимость частоты от массы – линейная.

В работе [10] приводится метод измерения параметров жидкостей с использованием микрокамертонных микровесов. Небольшие размеры микрокамертона по сравнению с длиной компрессионных волн в жидкости позволяют получить высокочувствительный механизм для одновременного измерения трёх параметров жидкости: произведения плотности на вязкость, диэлектрической проницаемости и электрической проводимости. Приводятся подробные результаты исследования свойств полимерных растворов с помощью микрокамертонных резонаторов.

Авторы работы [11] разработали тактильный (осязательный) датчик, способный ощущать качество бумаги. Кончик вилки колеблющегося микрокамертона приводится в контакт с анализируемой бумагой. В зависимости от количества целлюлозы в бумаге импеданс резонатора изменяется, что и позволяет судить о качестве бумаги. При этом толщина листа бумаги практически не влияет на оценку её качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. Москва: Энергоатомиздат, 1989.
2. Симонов В.Н. Микрокамертонные датчики давления и температуры. Тр. Междунаучно-технической конф. «Датчик-90». Гурзуф, 1990.
3. Paros T.M. Precision digital pressure transducer. ISA AC. 1972. P. 72–602.
4. Кварцевые температурные сенсоры TS-156, TS-261, TC-137, GT-3500. Рекламный проспект компании ETA SA (Швейцария).
5. Виноградов М.А., Малов В.В., Симонов В.Н. Устройство для измерения давления. АС СССР № 1402043. 1988.
6. Малов В.В., Козловский В.Д., Макаров В.М. Частотный датчик атмосферного давления на основе кварцевых пьезорезонаторов. Робототехника и автоматизация производственных процессов. 1983. Ч. 3. С. 78–79.
7. www.sktbelpa.ru.
8. Симонов В.Н. Пьезокристаллический генератор. Патент РФ на изобретение № 2277292.
9. Matsiev L.F. Tuning Fork QCM. Application to Powder and Gel Technology. 2002 IEEE Ultrasonic Symp. P. 468–471.
10. Matsiev L.F., Bennett J.W., McFarland E.W. Application of Low Frequency Mechanical Resonators to Liquid Property Measurements. 1998 IEEE Ultrasonic Symp. P. 308–311.
11. Hideaki I., Masataka N. and Naoya K. A Paper-Quality Monitor Using a Quartz-Crystal Tuning-Fork Tactil Sensor. 1998 IEEE Ultrasonic Symp. P. 312–316. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Трёхосевой датчик усилий с ICP-усилителем

Фирма Synotech предлагает трёхкомпонентные датчики усилий со встроенным усилителем в герметичном корпусе из высококачественной стали производителя PCB Piezotronics. Эти датчики измеряют как динамические, так и ква-

зистатические силы по трём ортогональным осям. Каждый элемент, воспринимающий усилие, содержит 3 кварцевых элемента. Диапазон измерений по оси Z составляет в зависимости от модели 4,5 или 45 кН и по осям X и Y – 2,2 или 18 кН.

www.synotech.de



Платиновые тонкоплёночные датчики температуры фирмы Heraeus Sensor Technology

Александр Ядевич (г. Минск, Белоруссия)

Статья посвящена тонкоплёночным платиновым датчикам температуры фирмы Heraeus Sensor Technology (HST). Дана классификация датчиков температуры, производимых HST. Рассмотрено строение и некоторые характеристики тонкоплёночных платиновых датчиков температуры. Приведены примеры их применения. Кратко описаны новейшие разработки HST.

ВВЕДЕНИЕ

Точность, быстродействие, стабильность, долговечность, надёжность и экономичность – это ключевые характеристики, которыми оперируют на современном рынке датчиков, в т.ч. датчиков температуры. Платиновые датчики температуры имеют оптимальное сочетание вышеперечисленных характеристик. Высокая чистота, химическая устойчивость и физические свойства платины делают её идеальным материалом для измерительного термосопротивления. Ещё сто лет тому назад Рихард Кюх (руководитель Heraeus в 1909–1915 г.) опубликовал патент на резистор для температурных измерений, выполненный из платиновой проволоки. С развитием тонкоплёночной технологии в 70-х годах на массовом рынке появились платиновые датчики в тонкоплёночном исполнении. Фирма Heraeus Sensor Technology GmbH (HST) завоевала мировое лидерство в производстве высокоточных платиновых температурных датчиков.

Тонкоплёночные платиновые датчики температуры представляют собой плёночные резисторы в форме меандра, выполненные из платины. Изготовление платиновых датчиков температуры практически полностью автоматизировано. Сначала в высоком вакууме на керамическую подложку напыляют платиновую плёнку до заданного поверхностного сопротивления и материалы для контактных площадок. Затем методом фотолитографии получают рисунок контактных площадок и пла-

тинового меандра. Сопротивление резистора зависит от отношения длины резистивной дорожки к её ширине. Оно должно быть строго определённым и иметь высокую точность. Этот тонкоплёночный резистор представляет собой термочувствительный элемент, из которого изготавливают датчик. Сопротивление резистора изменяется с изменением температуры строго в соответствии с температурной характеристикой и таким образом сообщает о температуре среды, в которой находится датчик.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) датчиков фирмы HST и их характеристики соответствуют стандарту IEC 60751, принятому международной электротехнической комиссией. Стандарт нормирует характеристики платиновых датчиков с начальным сопротивлением 100 Ом при 0°C и ТКС = 1,3850 град⁻¹.

Тонкоплёночные платиновые датчики температуры благодаря особым свойствам платины имеют следующие преимущества по сравнению с термисторами, полупроводниковыми термодатчиками и термопарами:

- высокая точность (например, погрешность датчика класса точности 1/3В при 0°C составляет $\pm 0,1^\circ\text{C}$);
- почти линейная зависимость сопротивления от температуры;
- высокая чувствительность;
- широкий диапазон измеряемых температур: $-196\dots+1000^\circ\text{C}$;
- высокая долговечность, надёжность и долгосрочная стабильность (например, максимальный

дрейф номинального сопротивления после 1000 ч при 500°C для датчика М 222 составляет 0,04%);

- взаимозаменяемость датчиков.

Фирма HST производит тонкоплёночные платиновые датчики температуры в виде компонентов с проволочными выводами и SMD-, SMDFC-, SOT- и TO-компонентов, а также датчики температуры в специальных корпусах.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПРОВОЛОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ

Производят четыре типа платиновых датчиков температуры с проволочными выводами для работы в диапазонах температур С, L, М и Н.

Диапазон С – это диапазон криогенных температур: $-196\dots+500^\circ\text{C}$. Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100 или 1000 Ом. ТКС = 1,3850 град⁻¹. Выводы для этого типа датчиков выполнены из AuPd- или AgPd-проволоки. Тонкоплёночные датчики имеют более высокую виброустойчивость по сравнению с проволочными датчиками и более устойчивы к циклическому изменению температуры. У них отсутствует явление гистерезиса.

Диапазон L – это диапазон низких температур: $-50\dots+400^\circ\text{C}$. Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100, 500 или 1000 Ом. ТКС = 1,3850 град⁻¹. Выводы для этого типа датчиков выполнены из AgPd-проволоки. Характеризуются долгосрочной стабильностью, высокой точностью и компактностью. Датчик L 220P предназначен для измерения температуры поверхности. Датчик L 410ax изготовлен с аксиальным расположением выводов.

Диапазон М (МН) – это диапазон средних температур: $-70\dots+600^\circ\text{C}$. Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100, 500, 1000 и 10 000 Ом. ТКС = 1,3850 и 1,3750 град⁻¹. Для выводов этого типа датчиков используется проволока из AuPd-сплава или

никелевая проволока в платиновой оболочке. Датчики М (МН) 410ах изготовлены с аксиальным расположением выводов. Выводы также могут быть в виде DBS (Direct Bonding Strip) и DBW (Direct Bonding Wire) – ленточные выводы с прямоугольным сечением. Длина выводов – до 210 мм. Ленточные выводы более удобны в процессе монтажа. Характеризуются долгосрочной стабильностью, высокой точностью и компактностью.

Диапазон Н (НА, НД, НЛ) – это диапазон высоких температур: $-70...+1000^{\circ}\text{C}$. Номинальное сопротивление датчиков этого типа 100, 200 или 1000 Ом. ТКС = 1,3850 и 1,3770 град $^{-1}$. Выводы для этого типа датчиков выполнены из Pt-, PtNiCr-, AuInс-, PtRh-проволоки. Характеризуются высокой точностью и долгосрочной стабильностью.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВИДЕ SMD-, SMDFC-, SOT- И ТО-КОМПОНЕНТОВ

Измеряемый диапазон температур $-50...+150^{\circ}\text{C}$. Номинальное сопротивление датчиков этого типа – 100, 500, 1000 и 10 000 Ом. ТКС = 1,3850 град $^{-1}$. Спектр применений – от компенсации температурно-чувствительной электроники до непосредственного измерения в высокотемпературной среде.

Платиновые датчики температуры SMD-, SMDFC- и SOT-исполнения предназначены для монтажа на поверхность, а в пластмассовом трёхвыводном корпусе ТО-92 удобны для монтажа на печатных платах. Они характеризуются нормированным сигналом согласно стандарту DIN EN 60751, взаимозаменяемы и обладают высокой стабильностью и точностью (рис. 1). Датчики температуры в корпусах для поверхностного монтажа разработаны для автоматической установки на печатные платы. Датчики температуры в корпусе ТО-92 предназначены для общего применения.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ В СПЕЦИАЛЬНЫХ КОРПУСАХ

Для применения в автомобильной, авиационной, военной и других отраслях промышленности требуются датчики температуры в специальных корпусах. Измеряемый диапазон температур $-70...+1000^{\circ}\text{C}$. Номинальное

сопротивление датчиков этого типа 100, 200, 500 и 1000 Ом. ТКС = 1,3850 и 1,3770 град $^{-1}$.

Для различных условий применения фирма HST заключает тонкоплёночные платиновые датчики в керамические или пластмассовые корпуса, а также они могут помещаться в металлическую гильзу. В дальнейшем датчики располагаются на печатной плате или монтируются в специальном корпусе какого-либо устройства. В сотрудничестве с потребителями или по конкретному заданию разработчиков аппаратуры, механизмов и другой техники проектируются и изготавливаются новые датчики, которые измеряют температуру в строго определённых, индивидуальных для данного потребителя условиях. При этом создаются готовые модули, которые у потребителя могут монтироваться с минимальными технологическими затратами. Время и производственные затраты, связанные с корпусированием датчиков, в этом случае значительно снижаются или исключаются. Вариантами модульного исполнения являются мультисенсорная платформа (рис. 2) и микробридж (рис. 3). Это платиновые температурные датчики, имеющие multifunctionальное строение. Они состоят как минимум из двух слоёв, которые интегрированы в один элемент. В соответствующих областях применения они выполняют задачи, которые не всегда связаны с непосредственным измерением температуры (например, определение массы и качества воздуха в помещениях с кондиционированием, биологический сенсор и др.).

Тонкоплёночные платиновые датчики типа MR устойчивы к ударным и вибрационным нагрузкам. Они характеризуются узким классом допуска по размерам, что гарантирует облегчённый монтаж в защитный чехол, и представляют собой элементарный тонкоплёночный датчик, установленный в керамический корпус.

Датчики типа PCB состоят из элементарных датчиков серии SMD, которые впаяются на печатную плату, имеющую присоединительные площадки (рис. 4). Этот тип датчиков наилучшим образом приспособлен для измерения температуры в жидкостях. Датчик PCB 540 разработан

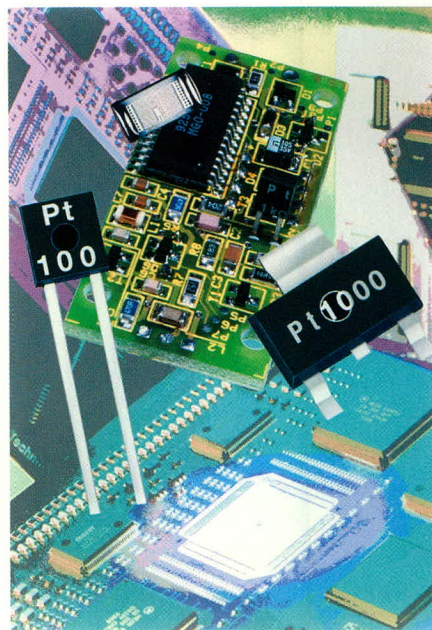


Рис. 1. Тонкоплёночные платиновые датчики температуры для электроники

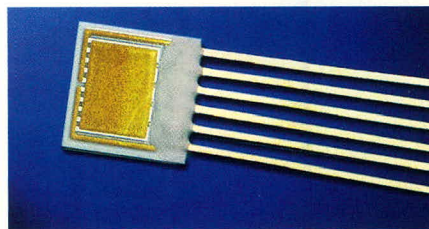


Рис. 2. Мультисенсорная платформа с золотым электродом и ленточными выводами

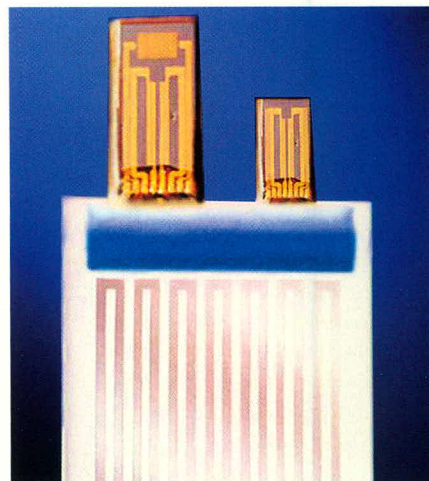


Рис. 3. Микробридж – сенсорная система для датчика расхода воздуха

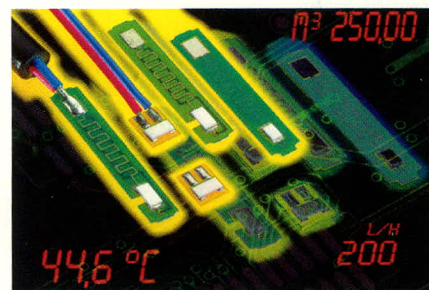


Рис. 4. Платиновые тонкоплёночные датчики температуры серии PCB

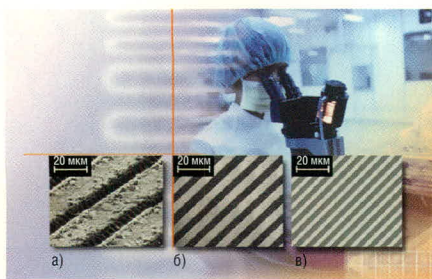


Рис. 5. Эволюционное развитие тонкоплёночного платинового резистора: формирование меандра с помощью лазера (а), методом фотолитографии на керамике (б) и на новейших подложках (в)

специально для температурных измерений в резервуарах, цистернах, бассейнах и т.п.

Ежегодно фирма HST разрабатывает большое число новых температурных датчиков, которые приспособлены к решению поставленных заказчиками задач.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАТИНОВЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Наиболее широко платиновые тонкоплёночные датчики температуры применяются в оборудовании, устройствах или аппаратуре, будучи установленными на печатные платы. Наряду с измерением температуры датчики используются также для термокомпенсации отдельных компонентов или всей платы. Фирма HST предлагает для этих целей SMD-элементы (поверхностный монтаж) и предварительно корпусированные датчики с планарными (SOT) и штырьковыми (TO) выводами. SMD-датчики применяются для автоматического монтажа в крупносерийном производстве. Монтаж SMDFC-датчиков можно осуществлять как пайкой, так и путём приклеивания.

Датчики температуры находят все большее применение в бытовой технике. С ростом применения электронного управления в большинстве приборов, платиновые датчики температуры становятся серьёзным конкурентом электромеханическим регуляторам, а также NTC-термисторам. В высокотемпературной области (600...900°C) платиновые датчики служат для контроля температуры в различных печах и технологическом оборудовании. В этом диапазоне температур платиновые датчики вне конкуренции. В низкотемпературной области (до 250°C) платиновые дат-

чики всё больше применяются для электронного слежения и регулирования температуры в печах для выпечки и приготовления пищи.

Быстрое и одновременно высокоточное определение температуры является важной характеристикой при разработке и опробовании медицинских препаратов и при лечении больных. Типичными примерами применения платиновых датчиков температуры в этой области являются медицинская техника, системы диализа, инкубаторы, центрифуги, газовые хроматографы, оборудование для наркоза, а также приборы диагностики и анализа.

Для РСВ-датчиков конструктивными мерами достигнута чрезвычайно низкая погрешность, обусловленная теплоотводом. Поэтому они преимущественно применяются в термометрах для теплосчётчиков, определяющих стоимость затрат на отопление. Фирма HST поставляет в год более четырёх миллионов датчиков температуры этого типа ведущим европейским производителям теплосчётчиков. Корректная система измерения температур позволяет производителям экономить энергию, а для конечных потребителей обеспечивает надёжные данные для расчёта затрат на отопление. В этом секторе рынка высокоомные платиновые датчики температуры находят всё большее применение.

Широко применяются платиновые тонкоплёночные датчики температуры в автомобилестроении. В низкотемпературной области датчики фирмы HST измеряют температуру масла и температуру охлаждающей жидкости автомобиля. Специальные датчики определяют состояние масла. Это позволяет установить точное время замены отработанного масла, что, с одной стороны, обеспечивает снижение нагрузки на окружающую среду, с другой – обеспечивает владельцу снижение затрат на эксплуатацию автомобиля. Широко используются платиновые датчики температуры для бортовых кондиционеров, обеспечивающих комфортные условия водителю.

В высокотемпературной области благодаря чрезвычайно высокой термической стабильности платиновые тонкоплёночные датчики температуры пригодны для измерения температуры выхлопных газов в

дизельных двигателях. Расположенный непосредственно за катализатором специальный датчик фирмы HST контролирует оптимальный режим работы катализатора. Для современных катализаторов это примерно 950°C. При отклонении от оптимальных условий работы датчик сообщает об этом управляющей системе, которая регулирует режим работы двигателя. Таким образом, датчик, контролирующий температуру выхлопных газов, с одной стороны, защищает катализатор от перегрева, с другой – снижает выброс вредных веществ от работы дизельного двигателя.

Оптимизация потребления топлива и уменьшение выброса вредных веществ определяется составом топливно-воздушной смеси во всасывающем тракте двигателей внутреннего сгорания. При установке оптимального состава смеси уже более 15 лет используется принцип измерения массы воздуха с использованием соответствующих датчиков. Эти датчики отличаются высокой точностью, быстрым срабатыванием на изменение массы воздуха и хорошей механической прочностью. С самого начала HST заняла лидирующее место в этой области и представила уже третье поколение датчиков-микробриджей. Этот новый датчик для измерения воздушных потоков отличается чрезвычайно быстрым временем срабатывания и высокой механико-термической стабильностью. Микробридж фирмы HST впервые позволяет определять «обратный поток» в двигателях внутреннего сгорания. Ключом к этому послужила новейшая мембранная технология.

НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ

Последние достижения в области технологий осаждения из газовой фазы, ионного травления, успешные работы по оптимизации технологических процессов фотолитографии и изготовлению материала подложки с абсолютно плоской поверхностью позволяют сегодня фирме HST получать тонкоплёночные структуры с размерами 2...3 мкм и изготавливать высокотехнологические датчики высочайшего качества. Для сравнения: человеческий волос имеет диаметр 50...100 мкм! На рис. 5 представлено эволюционное разви-

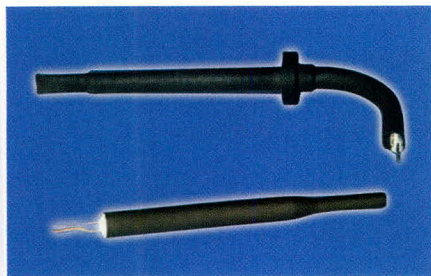


Рис. 6. Универсальные измерительные элементы HT-Spitze HA и MP-HT-Spitze HA (прямой) для высокотемпературного термометра

тие тонкоплёночного платинового меандра.

Этот инновационный прорыв обеспечил для датчиков SMD 603 миниатюризацию, а для датчиков М 622 и SMD 805 – высокое номинальное сопротивление в 10 кОм, позволившее получить превосходный выходной сигнал. Достигнутые технологические возможности открывают великолепные перспективы – уже в ближайшее время предполагается разработать и изготовить датчик SMD 603 в 10 кОм.

С помощью новых технологических процессов были изготовлены

тонкоплёночные платиновые датчики с проволочными выводами очень малых размеров, например, датчики М 213 и М 310. Датчик М 213 имеет размеры чипа $1,2 \times 1,7$ мм. Максимальное время срабатывания в воде, движущейся со скоростью 0,4 м/с, составляет 0,12 с, а в потоке воздуха, движущегося со скоростью 2,0 м/с, – 7,0 с. Малые габариты тонкоплёночных датчиков температуры способствуют увеличению их быстродействия.

Среди новинок последних лет следует отметить датчики для высокотемпературных измерений. Датчик HD 421 измеряет температуру до 850°C , а платиновый датчик HA 421 – до 1000°C . Датчик HT-Spitze HA является универсальным измерительным элементом в защитной гильзе из жаростойкой стали. Он используется для изготовления высокотемпературного термометра, измеряющего температуру до 1000°C (рис. 6). При этом не требуется сложных технологических операций. Датчик характеризуется высокой точностью и долгосрочной стабильностью. Новые высокотемпературные датчики температуры имеют типичную для

платиновых датчиков линейную зависимость сопротивления от температуры, что обеспечивает лёгкую оценку сигнала и высокую точность измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.heraeus-sensor-technology.de.
2. www.mcm-sensor.ru.
3. Гутников В., Ядевич А. Платиновые тонкоплёночные датчики температуры фирмы Heraeus Sensor Technology GmbH. Электронные компоненты. 2005. № 5.
4. Wienand K. New Gas Flow Sensor for Exhaust Gas Recirculation. AutoTechnology. 2003. № 4.
5. Kleiner, schneller, billiger, besser – neue Platin-Dunnschichtsensoren. Sensor Magazin. 2003. № 3.
6. Mit Platin-Dunnschichttechnologie erfolgreich (Interview). Sensor report. 2003. № 6.
7. Pt100-Chips stabil bei 850°C . Sensor Report 2004. № 2.
8. Wienand K. Plattformkonzept für Gas- und Feuchte-Sensorik. elektronik industrie. 2005. № 1/2.
9. Bracker C. Sensorik mit Platin-Präzision. Sensor Magazin. 2005. № 4.



Heraeus Sensor Technology

Тонкоплёночные платиновые датчики температуры

измерять и регулировать
от -200 до $+1000^{\circ}\text{C}$

подробности <http://www.mcm-sensor.ru>

Официальный представитель
Heraeus Sensor Technology
в странах СНГ и Балтии
ОДО «МСМ»

пр. Независимости, 78А, оф. 3
220012, г. Минск, РБ
Тел./факс: (+375 17) 280-5861
E-mail: mcm@mail.belpak.by



Датчики компании «Прософт-Системы»

Павел Галаган, Григорий Пургин (г. Екатеринбург)

В данной статье рассматривается линейка «интеллектуальных» датчиков, используемых в системах вибродиагностики и тахометрического контроля. Приводятся технические характеристики датчиков, демонстрируются их функциональные, коммутационные, конструктивные особенности. Рассматриваются варианты готовых комплексных систем контроля и диагностики, использующие данные датчики.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное решение задач вибродиагностики и тахометрического контроля невозможно без использования надёжных многофункциональных датчиков. Современные требования, предъявляемые к таким устройствам, предполагают наличие «интеллектуальных» функций, способность работы в агрессивных условиях окружающей среды, дистанционное конфигурирование устройств и другие функциональные возможности. Инженерная компания «Прософт-Системы» предлагает линейку датчиков, удовлетворяющих приведённым характеристикам. Конструктивно-технологические параметры датчиков обеспечивают надёжную работу систем вибрационного и тахометрического контроля,

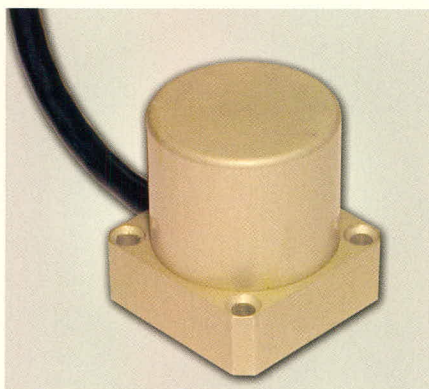


Рис. 1. Датчик ИВД-3

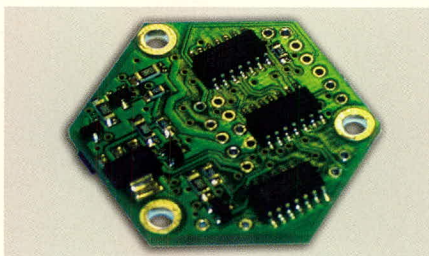


Рис. 2. Плата датчика ИВД-3

защиты турбоагрегатов, насосов, двигателей электрических станций, нефтеперекачивающих и газокompresсорных станций и т.п. В данной статье приводятся технические характеристики датчиков, демонстрируются их функциональные, коммутационные, конструктивные особенности и рассматриваются комплексные решения в области систем вибрационного и тахометрического контроля.

ДАТЧИКИ И АППАРАТУРА ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Виброконтроль – наиболее быстрый и информативный вид диагностики. Это обусловлено тем, что около 80% дефектов, возникающих в агрегатах, может быть обнаружено с помощью отслеживания вибрации. Самый распространённый вид промышленного контроля вибрационного состояния агрегатов представляет собой измерение величины среднеквадратического значения виброскорости в частотном диапазоне 10...1000 Гц и сравнение результатов измерений с уставками, соответствующими требованиям стандартов ISO 2372, ISO 2373.

Преобразование механических колебаний в цифровую величину среднеквадратического значения виброскорости в частотном диапазоне 10...1000 Гц и передача этой величины по интерфейсу RS-485 в контроллер осуществляется «интеллектуальными» датчиками ИВД-2 и ИВД-3 (последний заменил выпускаемый ранее датчик ИВД-1).

Датчик ИВД-3

Датчик производит измерение параметров вибрации по 1, 2 или 3 взаимоперпендикулярным направлениям

и может работать как интеллектуальный выключатель оборудования (датчик-реле). Датчик преобразует механические колебания основания в:

- токовый сигнал, пропорциональный мгновенному значению ускорения;
- цифровой сигнал среднеквадратического значения (СКЗ) виброскорости;
- дискретные сигналы при достижении пороговых значений виброскорости.

Датчик имеет несколько вариантов исполнения, отличающихся выходными сигналами и числом чувствительных осей.

Вариант ИВД-3 обеспечивает контрольно-защитные и диагностические задачи одновременно. Выходные сигналы датчика могут быть как в аналоговой, так и в цифровой форме. Вариант ИВД-3Ц обеспечивает только контрольно-защитные задачи, а выходные сигналы – только цифровые. Датчик ИВД-3В является датчиком-реле, выходные сигналы дискретные, интерфейсная линия используется для изменения уставок. Дискретный сигнал обеспечивает срабатывание реле с управляющим напряжением 24 В и током до 100 мА. Цифровые данные передаются по интерфейсу RS-485, протокол Modbus RTU.

Датчики конструктивно выполнены в виде моноблока (рис. 1) с кабелем для внешних соединений. В максимальной комплектации они имеют пять миниатюрных функциональных плат: две платы с чувствительным элементом фирмы Analog Devices (рис. 2), аналоговую плату, плату микроконтроллера и плату дискретных сигналов. В минимальной комплектации имеется три платы: с чувствительным элементом, аналоговая плата и плата преобразователя. Основные параметры датчика приведены в табл. 1.

Датчик ИВД-2

Датчик производит одновременные измерения относительных перемещений объектов из электропроводящих материалов: статических (измерение зазора между торцом чувствительной части датчика и поверхностью объекта или осевого сдвига) и динамических (измерение амплитуды виброперемещения объекта относительно датчика). Датчик также производит измерение температуры в районе торца гильзы.

Датчик представляет единую конструкцию (рис. 3), объединяющую гильзу с чувствительным элементом (катушкой индуктивности на её торце) и корпус, в котором установлены максимально три миниатюрные функциональные платы: аналоговая плата, плата микроконтроллера и плата дискретных сигналов. Платы микроконтроллера и дискретных сигналов датчиков ИВД-2 и ИВД-3 унифицированы. Гильза по заказу выполняется разной длины. В зоне катушки индуктивности размещается температурный чувствительный элемент. Он позволяет измерять температуру подшипника скольжения одновременно с измерением радиального зазора и биения вала.

Датчик имеет несколько вариантов исполнения, отличающихся выходными сигналами. Виды выходных сигналов:

- токовый – мгновенное значение зазора/осевого сдвига,
- токовый – мгновенное значение перемещения,
- цифровой – СКЗ зазора/осевого сдвига,
- цифровой – СКЗ перемещения,
- цифровой – температура,
- два дискретных сигнала при достижении пороговых значений зазора/осевого сдвига,
- два дискретных сигнала при достижении пороговых значений перемещения.

Вариант ИВД-2 выполняет контрольно-защитные и диагностические задачи одновременно. При этом выходные сигналы могут быть как токовыми, так и цифровыми. Вариант ИВД-2Ц обеспечивает только контрольно-защитные задачи, выходные сигналы цифровые. Датчик ИВД-2В является датчиком-реле, выходные сигналы дискретные, интерфейсная линия используется для изменения уставок. Основные параметры датчика приведены в табл. 2.

Преимущества датчиков

Датчики ИВД-1 и ИВД-2 во многом унифицированы и имеют ряд уникальных особенностей:

- дистанционная установка тарировочного коэффициента, сетевого и заводского адреса, скорости обмена для каждого датчика;
- высокие эксплуатационные и метрологические характеристики аппаратуры за счёт объединения чувствительного элемента и электро-

ники в одном герметичном корпусе, наличия кодовой связи и особых способов калибровки;

- отсутствие дополнительных выносных блоков (согласующих усилителей и приёмных блоков), что определяет меньшую по сравнению с традиционными вибросистемами стоимость и возможность внедрения виброконтроля в широкий круг агрегатов;
- работа датчика в режиме интеллектуального выключателя;
- возможность работы с любым контроллером, имеющим порт RS-485 и работающим по протоколу Modbus RTU.

Для комплексного решения задач вибрационного контроля и защиты компания предлагает готовое решение – аппаратуру вибрационного контроля ЦВА. Аппаратура ЦВА состоит из совокупности датчиков ИВД-2, ИВД-3 и контроллера.

Контроллер

Блок контроллера показан на рис. 4. В корпусе контроллера установлены

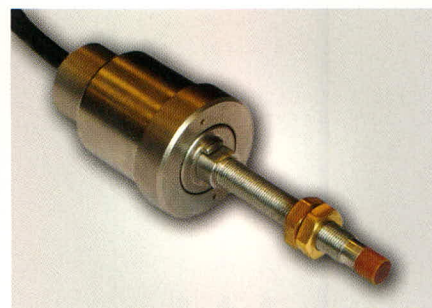


Рис. 3. Датчик ИВД-2

плата контроллера, блок питания, блок барьеров искробезопасности и плата релейной коммутации. На лицевой панели контроллера имеются ЖК-индикатор (2 × 16 символов) и матричная клавиатура 4 × 4. Подключение питания 220 В, цепей датчиков и релейных цепей осуществляется с помощью разъёмов.

Контроллер выполняет следующие операции:

- производит последовательный опрос датчиков, поддерживаемых контроллером;
- выдаёт релейный сигнал при повышенной и аварийной вибрации;

Таблица 1. Основные параметры датчика ИВД-3

Диапазон цифрового измерения виброускорения, м/с	До 50
Диапазон цифрового измерения виброскорости, мм/с	До 70
Диапазон токового сигнала виброускорения, мА	±20
Диапазон токового сигнала виброскорости, мА	±20
Максимальная основная погрешность измерения вибропараметров во всём частотном диапазоне, %, не более	5
Максимальная основная погрешность измерения вибропараметров на базовой частоте 160 Гц, %, не более	1
Напряжение питания, В	10...30
Диапазон рабочих температур, °С	-40...85
Габариты корпуса, мм	55 × 50 × 50

Таблица 2. Основные параметры датчика ИВД-2

Диапазон измерения зазора/осевого сдвига, мм	0...6
Диапазон измерения виброперемещения, мкм	10...800
Диапазон токового сигнала зазора, мА	±20
Диапазон токового сигнала виброперемещения, мА	±20
Частотный диапазон изменения зазора, Гц	0...1,5
Частотный диапазон изменения виброперемещения, Гц	10...1000
Максимальная основная погрешность измерения зазора во всём частотном диапазоне, %, не более	2
Максимальная основная погрешность измерения виброперемещения во всех диапазонах амплитуд и частот, %, не более	8
Напряжение питания, В	10...30
Степень защиты оболочки	IP67
Диапазон рабочих температур, °С	-40...80
Габариты корпуса (диаметр × длина), мм	52 × 76
Максимальный диаметр гильзы, мм	M12
Длина гильзы, мм	54...151

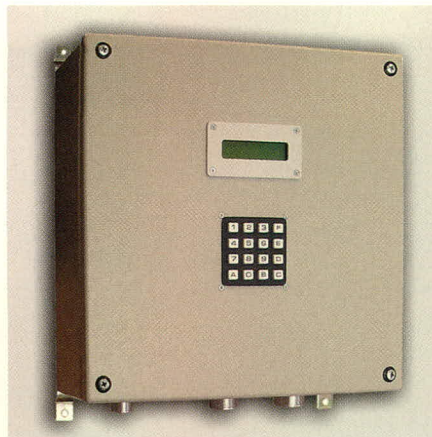


Рис. 4. Виброконтроллер

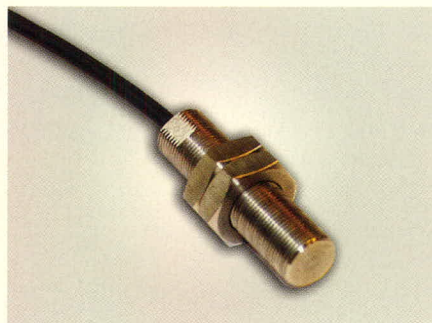


Рис. 5. Датчик МЭД-1

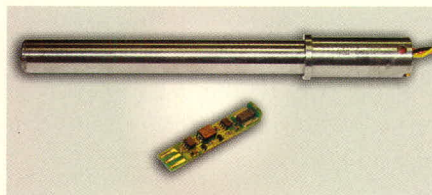


Рис. 6. Датчик МЭД-2



Рис. 7. Преобразователь МТ1-2

- формирует статус каналов;
- обеспечивает связь с АСУ ТП верхнего уровня;
- производит ведение и просмотр журнала событий;
- устанавливает сетевой адрес датчика и скорости обмена;
- задаёт две уставки величины виброскорости;
- изменяет с помощью оператора статус каналов;

- устанавливает тарифовочный коэффициент для каждого датчика;
- индицирует величины виброскорости по каждому датчику, в т.ч. кнопочным заданием по одному датчику последовательно.

Все составные части контроллера разработаны и производятся компанией «Прософт-Системы». Аппаратура внесена в Государственный реестр средств измерений под № 23646-02. Маркировка взрывозащиты датчика – ИВД-3 РВ ExibI/1ExibIICT5 В, маркировка взрывозащиты контроллера – ПЕ2.781.001 – [Exib]I/[Exib].

Датчики и контроллеры эксплуатируются на Пуртазовской, Комсомольской, Слонимской, Минской, Вынгайхской, Губкинской, Западно-Таркосалинской газокomppressorных станциях и Качканарском ГОК.

ДАТЧИКИ ТАХОМЕТРИЧЕСКИЕ И КОМПЛЕКС МТ-1

Для работы ряда турбоагрегатов, насосов, двигателей и подобного оборудования требуется измерение скорости вращения валов. Эксплуатируемые в настоящее время отечественной промышленностью тахометрические системы (от первичных преобразователей до контроллеров) в большинстве физически и морально устарели. Компания «Прософт-Системы» разработала и выпускает тахометрические датчики и комплекс МТ-1 для измерения скорости вращения валов агрегатов, имеющих зубчатое мерительное колесо из ферромагнитного материала.

Датчик МЭД-1

Датчик МЭД-1 предназначен для формирования импульсов тока прямоугольной формы при прохождении возле него зубьев мерительной шестерни (рис. 5). Расстояние от торца датчика до вершины зуба – до 5 мм. Частота формируемых импульсов – от 2 до 20 000 Гц. Напряжение питания датчика 10...24 В. Имеется защита от переплюсовки и перенапряжения. Стойкость датчика к промышленным электромагнитным полям до 1500 А/м.

Датчик конструктивно выполнен в виде моноблока с экранированным трёхжильным кабелем во фторопластовой оболочке. Внутри корпуса из нержавеющей и немагнитной стали установлена плата преобразователя с чувствительным элементом и постоянным магнитом. Размеры корпуса (диаметр × длина) могут быть М14 ×

× 55 или М22 × 55 мм или другими по желанию заказчика. Материалы и конструкция датчика гарантируют его работоспособность в среде воды, масла, нефти. Датчик предназначен для работы с зубчатым колесом, имеющим модуль не менее 0,8 и толщину не менее 3 мм.

Датчик МЭД-2

Датчик тахометрический МЭД-2 предназначен для бесконтактного преобразования вращения зубчатого колеса в последовательность импульсов тока прямоугольной формы. Отличительной особенностью датчика является чувствительность к мелкоодульным зубьям толщиной от 0,6 мм.

Датчик конструктивно выполнен в виде моноблочного корпуса с экранированным кабелем во фторопластовой оболочке. На концах жил кабеля (на выводах) устанавливаются разъёмы по требованию заказчика. Исполнение корпуса – по желанию заказчика. На рис. 6 показан корпус, аналогичный корпусу датчика МИД, – ДУ300/400 «Турбоквант». Внутри корпуса, части которого выполнены из титанового сплава и нержавеющей стали, установлена плата преобразователя с чувствительным элементом и постоянным магнитом. Стойкость датчика к промышленным электромагнитным полям – до 300 А/м.

Датчик МЭД-2 эксплуатируется производственной компанией «Помощь» (г. Тюмень) на образцовой установке, тарирующей расходомеры узлов учёта нефти.

Датчики МЭД-1 и МЭД-2 входят в состав тахометрического комплекса компании «Прософт-Системы» для контроля и защиты агрегатов электрических станций, газокomppressorных станций и других промышленных объектов. Сигнал датчиков может быть введён в любой другой контроллер АСУ ТП.

В состав тахометрического комплекса входят датчик тахометрический МЭД-1 или МЭД-2, преобразователь аналоговый МТ1-2 и контроллер МТ1-1. Возможна работа комплекса в конфигурациях преобразователь-датчик и контроллер-датчик.

Преобразователь аналоговый МТ1-2

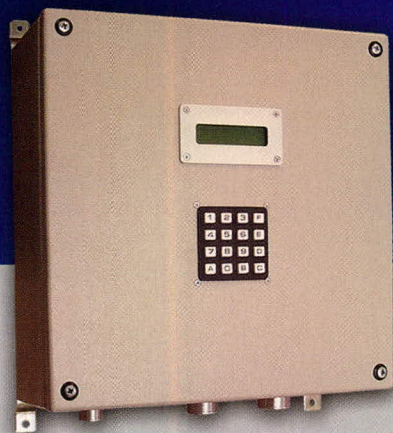
Преобразователь (рис. 7) преобразует сигнал произвольной формы

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ВИБРОКОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

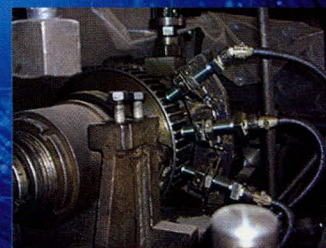
АППАРАТУРА ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ «ЦВА»

Предназначена для вибрационного контроля и защиты турбогенераторов, насосов, двигателей электрических станций, нефтеперекачивающих и газокomppressorных станций, шахтных вентиляционных установок и других промышленных объектов.

Аппаратура имеет разрешение на применение во взрывоопасных зонах на объектах нефтяной и газовой промышленности



Контроллер



Контроллер предназначен для приёма цифровых сигналов, передаваемых датчиками ИВД-1, ИВД-2, ИВД-3, установки технологических режимов и параметров, индикации величин вибрации и технологических параметров.

ИВД-1 производит измерения величины среднеквадратического значения виброскорости в частотном диапазоне 10-1000 Гц.

ИВД-2 производит одновременные измерения относительных перемещений объектов из электропроводящих материалов:

- статических, т.е. зазора (осевого сдвига) между торцом чувствительной части датчика и поверхностью объекта;
- динамических, т.е. амплитуды виброперемещения объекта относительно датчика.

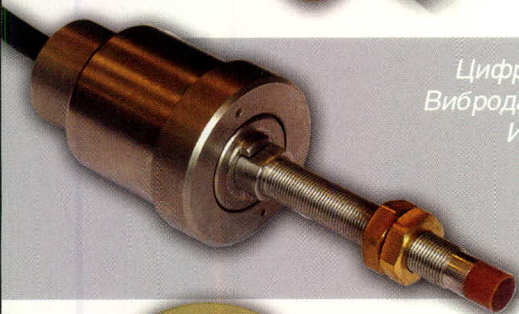
Датчик может работать как интеллектуальный выключатель оборудования (датчик-реле) и производить измерение температуры в районе торца гильзы.

ИВД-3 производит измерения среднеквадратического значения виброскорости в частотном диапазоне 10-1000 Гц по одному, двум, трем взаимоперпендикулярным направлениям, может работать как интеллектуальный выключатель оборудования (датчик-реле).

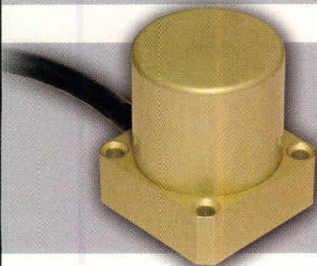
Измеряемые датчиками параметры передаются в цифровом виде по интерфейсу RS-485



Цифровой
Вибродатчик
ИВД-1



Цифровой
Вибродатчик
ИВД-2



Цифровой
Вибродатчик
ИВД-3



Рис. 8. Контроллер МТ1-1

тахометрических датчиков МЭД-1, МЭД-2 и любого другого тахометрического датчика в один частотный сигнал и два сигнала постоянного тока. Кроме того, преобразователь обеспечивает при необходимости питание датчика.

Преобразователь имеет частотный и аналоговый выход. На частотном выходе преобразователь выдаёт импульсы тока прямоугольной формы с уровнями 4...20 мА или 0...20 мА. Частота линейно зависит от скорости вращения зубчатого измерительного колеса из ферромагнитного материала. На аналоговом выходе преобразователь выдаёт два сигнала в виде постоянного тока в диапазоне 4...20 мА или 0...20 мА, величина сигнала линейно зависит от скорости вращения зубчатого колеса.

Контроллер МТ1-1

Контроллер (рис. 8) выполняет следующие операции:

- производит расчёт и отображает на дисплее частоту вращения и ускорения вала в диапазоне от программно задаваемого минимального значения 120/Z до 15 500 об./мин (Z – число зубьев зубчатого мерительного колеса);
- производит расчёт и отображает на дисплее ускорения вращения до 2513,274 рад/с² (400 Гц/с);
- выдаёт два релейных сигнала при превышении оборотов вала двух заданных значений;

Таблица 3. Зависимость погрешности от частотного диапазона

Частотный диапазон, Гц	Погрешность, %
500...2500	±2
2500...4500	±3
4500...8500	±6
8500...10 500	±8
10 500...14 500	±12

- выдаёт релейный сигнал при превышении ускорения вала заданного значения;
- выдаёт релейный сигнал при останове агрегата;
- проводит диагностику неисправности линии частотного входа: обрыв и КЗ;
- производит обмен информацией с АСУ верхнего уровня по изолированному интерфейсу RS-485 (протокол Modbus RTU).

Потребитель устанавливает (под паролем) аварийную и предупредительную уставки, число зубьев, числа программного усреднения периодов.

В режиме просмотра архивных данных индицируются:

- фактическая величина частоты вращения на момент выдачи релейного сигнала «Предупредительный»,
- фактическая величина частоты вращения на момент выдачи релейного сигнала «Аварийный»,
- фактическая величина ускорения вала на момент выдачи релейного сигнала «Аварийный»,
- минимальная и максимальная частоты за всё время измерения.

Основные характеристики тахометрического комплекса

Тахометрический комплекс имеет следующие характеристики:

- относительная погрешность цифрового измерения частоты при задании входного сигнала от прецизионного генератора составляет 0,01% в диапазоне 2...6000 об./мин и 0,02% в диапазоне 6000...15 500 об./мин;
- относительная погрешность цифрового измерения ускорения – согласно табл. 3;
- относительная погрешность аналогового измерения составляет 0,4% в диапазоне $0,075f_{max} \dots f_{max}$, где f_{max} – заданное потребителем значение максимальной частоты (об./мин);
- при использовании мерительного колеса погрешность измерения определяется погрешностью шага зубьев и составляющей биения вала, перпендикулярной оси датчика;
- диапазон рабочих температур контроллера и преобразователя: 0...70°C;
- диапазон рабочих температур датчика: -40...+85°C;
- габариты и масса контроллера: 250 × 200 × 150 мм, 3,0 кг;
- габариты и масса преобразователя: 240 × 120 × 90 мм, 1,0 кг.

Контроллер и преобразователь могут быть проверены на работоспособность с помощью внешнего генератора.

В тахометрическом комплексе мерительное колесо выполняет роль датчика. Марка ферромагнитного материала мерительного колеса не нормируется. Число зубьев мерительного колеса может быть от 1 (паз или шпонка на валу) до 999. Компания производит на высокоточных станках зубчатые колеса для замены колёс, находящихся в длительной эксплуатации. Колесо выполняется как цельным, так и разрезным (последнее облегчает установку колеса на вал). Посадочный и наружный диаметры колеса и ширина венца выполняются по требованию заказчика. Зуб прямой, число зубьев любое. Погрешность шага зубьев не более 1 угловой минуты. Накопленная ошибка шага менее $D_H \times 10^{-4}$, где D_H – наружный диаметр колеса. Компания может производить колёса с числом зубьев, кратным 8, для компенсации накопленной ошибки шага с помощью современных микроконтроллерных устройств.

Тахометрический комплекс внесён в Государственный реестр средств измерений. Существенные преимущества комплекса следующие:

- наличие функции расчёта ускорения;
- современная элементная база, что обеспечивает высокие метрологические свойства и высокую надёжность;
- программное задание нескольких параметров позволяет использовать комплекс для широкого диапазона задач (в частности, в качестве локомотивного скоростемера с дополнительной функцией расчёта расстояний);
- комплекс может иметь искробезопасное исполнение при включении в его состав блока барьеров;
- комплекс имеет высокую стойкость к магнитному полю промышленной частоты.

Пять тахометрических комплексов эксплуатируются на Среднеуральской ГРЭС.

Следует отметить, что на основе контроллера МТ1-1 и датчиков МЭД-1 создано такое важнейшее контрольно-измерительное средство, как трёхканальный электронный автомат безопасности паровых турбин ЭПЗ-800.



Новости мира News of the World Новости мира

ВЧ-усилители

Компания Intersil представляет шесть ВЧ-усилителей, предназначенных для применения в спутниковых приёмниках и приложениях для промышленности, науки и медицинской техники. Усилители обеспечивают интегрированную защиту от электростатических разрядов до 3 кВ и имеют различные импедансы. ISL55005 является 3,3-В усилителем для работы в диапазоне 0,9...2,5 ГГц. Усилитель обеспечивает усиление 17 дБ и OIP3 (Output Intercept Point третьего порядка) 18 дБм. Он имеет входной импеданс 75 Ом и выходной импеданс 50 Ом.



Микросхема выполнена в корпусе SC70 с 6 выводами. На частотах свыше 1 ГГц усиление выдерживается с точностью до 1 дБ. Ток покоя составляет ~20 мА у микросхем ISL55005/7/8 и ~13 мА – у ISL55009/10/11. Предлагаются следующие конфигурации входного и выходного импеданса: 50/50 Ом и 75/75 Ом. Модели ISL55005, ISL55007, ISL55008, ISL55009, ISL55010 и ISL55011 уже предлагаются в корпусе SC70 с 6 выводами и стоят \$0,65 при заказе партий по 1000 штук.

www.intersil.com/amps

Прикладной процессор для электронных книг и словарей

Компания Epson выпускает на рынок ИС S1C33E07, которая, согласно заявлению производителя, идеально подходит для мобильных устройств, таких как электронные книги и словари. Процессор располагает контроллером цветного ЖК-дисплея, интерфейсом USB 2.0 и интерфейсами карт памяти, а также SDRAM- и NAND-FLASH-памятью. LCD-контроллер поддерживает как ЖК-индикаторы STN, так и TFT. Он обладает аппаратным ускорителем для таких функций, как Picture-in-Picture. Потребление тока снижается перемен-



ной тактовой частотой ЦПУ, а также рядом функций, которые юстируют тактовые частоты для отдельных функциональных блоков.

Образцы будут поставляться с июля 2006 г., серийное производство должно начаться в сентябре. Микросхема будет предлагаться в корпусах Bare Chip, TQFP и BGA.

www.epson-electronics.de

Изолированные DC/DC-преобразователи компании C&D Technologies

Компания C&D Technologies предлагает изолированные DC/DC-преобразователи с входным напряжением 5 и 12 В. Серия NDTs-Reihe имеет один выход, а серия NDTD – два выхода. Все преобразователи имеют диапазон входных напряжений 2 : 1 и максимально достижимую выходную мощность без теплоотвода 3 Вт при 85°C.



24-выводной герметизированный корпус с размерами 32,36 × 14,66 × 7 мм соответствует требованиям RoHS. Материалы корпуса сертифицированы по UL94V-0. Преобразователи обеспечивают непрерывную защиту от короткого замыкания. Напряжение изоляции 1 кВ. Преобразователи построены по схеме обратногоходового генератора с изолированной обратной связью для того, чтобы обеспечить регулирование в пределах 25...100% во всём диапазоне рабочих температур –40...85°C.

www.cd4power.com

Двунаправленные изоляторы для шины I²C

Компания Analog Devices представляет микросхемы семейства ADuM125x – двунаправленные изоляторы для шины I²C. Модели ADuM1250 и ADuM1251 базируются на собственной технологии компании Analog Devices iCoupler и содержат интегрированные в одном чипе микротрансформаторы. Они предлагаются в корпусе SOIC с 8 выводами и обеспечивают напряжение изоляции 2,5 кВ. Обе микросхемы содержат Hot-Swap-интерфейс, препятствующий повреждению данных и установке карты в активную шину.

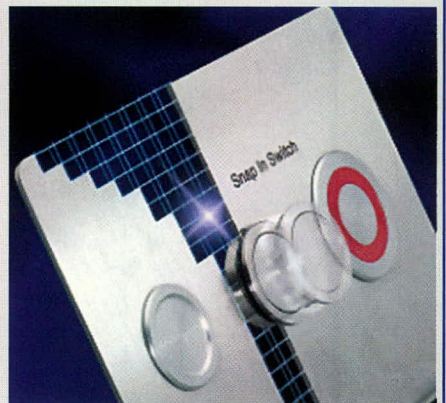
Модель ADuM1250 располагает двумя двунаправленными каналами. Модель ADuM1251 имеет один двунаправленный канал. Она предназначена для приложений, в которых двунаправленный синхросигнал не требуется. Обе модели работают со скоростью передачи до 400 Кбит/с и совместимы с протоколами SMBus и PMBus.

Изоляторы шины I²C в настоящее время находятся в стадии опробования, а с октября 2006 г. будут поставляться крупными партиями из серийного производства. Изоляторы предлагаются в корпусе без содержания свинца SOIC с 8 выводами.

www.analog.com/icoupler

Вандалостойкие выключатели

Фирма Schurter GmbH предлагает вандалостойкие металлические выключатели, крепящиеся посредством защёлкивания на передней панели прибо-



ра. Выключатели предлагаются с монтажным диаметром 19, 22, 24, 27 и 30 мм и обладают ударной прочностью и герметичностью уровней IK 07 и IP 67 соответственно.

www.schurter.com

Суперконденсаторы для электроники

(часть 2)

Александр Деспотули, Александра Андреева (Московская обл.)

Во второй части статьи изложены основные тенденции и проблемы электроники ультраплотного поверхностного монтажа. Представлены данные по разрабатываемым суперконденсаторам нового класса – наноионным суперконденсаторам на основе передовых суперионных проводников, отличающихся специальной конструкцией функциональных гетеропереходов. Рассмотрены примеры применения суперконденсаторов в современной электронике.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УЛЬТРАПЛОТНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА КОМПОНЕНТОВ

В ближайшее десятилетие микро- и наноэлектроника должна решить ряд проблем, связанных с дальнейшим уменьшением размеров элементов и созданием:

- приборов с пониженным энергопотреблением и напряжением электропитания,
- приборов с высокой плотностью хранения заряда и энергии,
- интегральных схем (ИС) для работы в экстремальных условиях,
- интеллектуальных беспроводных сетей сенсоров и микророботов.

В настоящее время электронные компоненты ультраплотного поверхностного монтажа (УППМ) с линейными размерами меньше 500 мкм (корпус 0201) используются в большинстве портативных приборов (сотовые телефоны, автомобильные системы глобального позиционирования, многочиповые модули и др.). Согласно прогнозу ITRS-2004 (International Technology Roadmap for Semiconductors), УППМ-компо-

ненты с линейными размерами 150...300 мкм получают распространение в 2006–2015 гг. Автоматизированные технологии УППМ найдут широкое применение при массовом выпуске портативной электроники и объектов нано- и микросистемной техники (НМСТ) модульной конструкции.

С 1965 г. плотность транзисторов ИС возросла до 10^9 на чип. В 1960–1975 гг. для удвоения плотности требовался примерно 1 год, на рубеже XX–XXI вв. – 2 года, к 2018 г. уменьшение размеров КМОП-транзисторов прекратится из-за ограничений фундаментального характера. Тенденция понижения V_{dd} (напряжения питания) ИС показана на рис. 12. В настоящее время субвольтовый дизайн ИС становится главным направлением в исследованиях и разработках. В ближайшие годы проявятся такие тенденции:

- понижение напряжения электропитания (V_{dd}) ИС до 0,5...0,7 В,
- уменьшение (<300 мкм) линейных размеров УППМ-компонентов,
- повышение верхнего предела рабочей температуры (>150°C) ИС,
- разработка новых типов конденсаторов с повышенными значениями R_C , R_E и R_W ,
- появление источников электропитания в одном корпусе с ИС и др.

Тепловыделение ИС экспоненциально растёт с повышением плотности и уменьшением времени переключения КМОП-транзисторов. Современные процессоры рассеивают мощность ≈ 100 Вт, что близко к предельно возможному значению. Для радикального решения проблемы перегрева предложен ряд стратегий. Например, транзисторы разделяют

на быстрые (time-critical tasks) и медленные, использующие пониженное напряжение питания V_{dd} . Согласно прогнозам ITRS-2004, к 2010 г. величина V_{dd} понизится до 1,0 В (0,7 В, экономный режим), а к 2018 г. – до 0,7 В (0,5 В, экономный режим). Корпорации Intel, AMD, Analog Devices уже сейчас выпускают процессоры, которые работают при напряжении питания 0,8 В. В феврале 2005 г. Hitachi и Renesas Technology объявили о разработке ИС SRAM с $V_{dd} = 0,8$ В. В ИС с элементами нанометровых размеров и малыми значениями V_{dd} различные виды шумов и помех создадут серьезные проблемы. Фильтрация шумов и помех в ИС, а также согласование ИС в многочиповых модулях с низкими значениями V_{dd} потребует использования конденсаторов повышенной ёмкости. В настоящее время электронная промышленность производит УППМ-конденсаторы с рабочим напряжением 4...6 В. Снижение напряжения питания V_{dd} ИС позволит за счёт уменьшения толщины диэлектрика увеличить ρ_C конденсаторов традиционных конструкций. Другое перспективное решение – использование СК на основе передовых суперионных проводников (ПСИП) – твёрдых тел с кристаллической структурой, близкой к оптимальной для быстрого ионного транспорта (БИТ).

Прогресс технологий ведёт к повышению функциональности, мобильности и компактности изделий электроники и НМСТ. Ведущей тенденцией является гетероинтеграция, когда на одном чипе (Systems On Chip, SOC) или в одном корпусе (Systems in Package, SIP) объединяются различные устройства и модули. Для их согласования необходимы УППМ-компоненты. В период 1995–2005 гг. плотность таких компонентов в сотовых телефонах выросла в 3 раза (рис. 13). При этом УППМ-компоненты составляют до 90% комплектующих, занимают 80% места и создают 70% стоимости (www.rfdesign.com/ar/radio_passive_integration_technology).

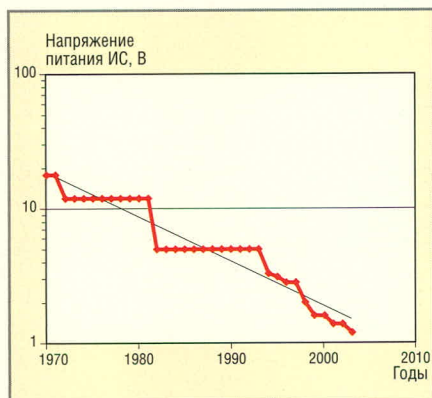


Рис. 12. Тенденция понижения напряжения питания ИС

Авионика, космические исследования, военные приложения и т.п. требуют микроисточников с более высокими значениями ρ_E , чем у электрохимических приборов. Кардинально решают проблему электропитания генераторы прямого преобразования радиоактивного β -распада. Например, изотоп ^{63}Ni хорошо подходит для многих приложений вследствие малой длины пробега β -частиц в кремнии (≈ 21 мкм). Радиационная безопасность обеспечивается обычным корпусированием. В β -микрoгенераторах с p-n-переходом при использовании плёнки изотопа ^{63}Ni активностью 50...100 мКи достигнута мощность $\sim 10^{-9}$ Вт (напряжение разомкнутой цепи ≈ 130 мВ, ток короткого замыкания ~ 3 нА) [19]. СК на основе известных ПСИП имеют рабочее напряжение $\approx 0,55$ В, поэтому они могут входить в состав гибридных источников, накапливать индуцированный β -излучением заряд (энергию) и генерировать высокие уровни импульсной мощности. Использование β -микрoгенераторов ведёт к новой парадигме в электропитании электроники специального назначения: снабжение каждой ИС собственным β -микрoгенератором.

Высокоёмкие конденсаторы для УППМ

УППМ-конденсаторы на основе многослойных сегнетоэлектрических керамик X7R/X5R и Y5V выпускает ряд производителей. В последние годы активные и пассивные УППМ-компоненты достигли микронных размеров. Промышленность производит ряд аналоговых приборов микро-SMD (операционные усилители, регуляторы напряжения, детекторы, дискриминаторы, генераторы, датчики и др.). Наименьшие из них имеют посадочную площадку $0,8 \text{ мм}^2$, где размещены четыре электрода диаметром примерно 150 мкм. На рис. 14 показаны последние разработки чипов MICROSM (National Semiconductor) с 42, 49 и 100 электродами.

Следует ожидать появления компонентов цифровой электроники в формате микро-SMD. Эффективная миниатюризация означает, что все компоненты электронной схемы имеют сопоставимо малые размеры. Конденсаторы повышенной ёмкости (0,1...100 мкФ) широко используются



Рис. 13. Увеличение плотности компонентов поверхностного монтажа в сотовых телефонах

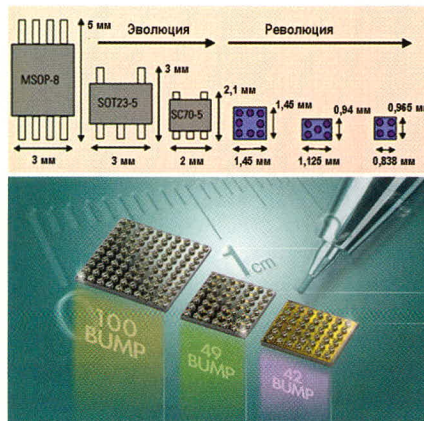


Рис. 14. Прогресс в миниатюризации активных аналоговых компонентов

в развязывающих и проходных цепях, цепях фильтрации шумов, линиях задержки, схемах генерации импульсов и др. Однако, номиналы 0,1...100 мкФ трудно обеспечить при линейных размерах корпуса меньше 1 мм (корпуса в стандарте EIA – 0603, 0402, 0201 и 01005). На рис. 15 и 16 показан масштаб и соотношение размеров для пассивных компонентов УППМ.

В 2003 г. в портативных приборах соотношение пассивных и активных компонентов составляло в среднем 20:1 [20]. Среди пассивных компонентов доля конденсаторов была порядка 40%, при этом половина из них – конденсаторы ёмкостью 0,01...0,1 мкФ. Высокопроизводительные автоматы корпорации Assembleon, предназначенные для сборки плат электроники, показаны на рис. 17 (www.assembleon.com/InformationCenter). Автоматы способны монтировать свыше 90 компонентов разных типов, включая УППМ-компоненты самого миниатюрного формата 01005 с производительностью $10^4 - 10^5$ компонентов/час и точностью сборки 25...50 мкм.

Конденсаторы на основе керамик X7R/X5R и Y5V занимают всё боль-

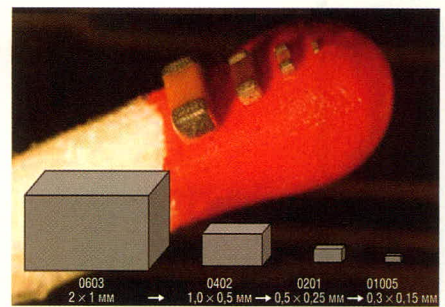


Рис. 15. Обозначение, масштаб и соотношение размеров корпусов пассивных компонентов ультра плотного поверхностного монтажа

	0402	0201	01005
Площадь основания	0,5 мм ²	0,18 мм ²	0,08 мм ²
Отношение площадей	100%	36%	16%
Объём	0,25 мм ³	0,054 мм ³	0,016 мм ³
Отношение объёмов	100%	22%	6%

Рис. 16. Прогресс в миниатюризации пассивных компонентов



Рис. 17. Высокопроизводительные автоматы для сборки компонентов поверхностного монтажа

шую долю рынка, вытесняя танталовые и алюминиевые электролитические конденсаторы там, где частота ограничена 100 кГц. Отличительной особенностью керамических конденсаторов является сильная зависимость диэлектрической проницаемости, а следовательно, и ёмкости, от температуры и приложенного напряжения. Согласно Raumanok Publications, в настоящее время сегнетоэлектрические конденсаторы в корпусе 0201 пользуются всё возрастающим спросом. Доля конденсаторов в корпусе 0402 (см. рис. 18) сокращается, а самый миниатюрный формат УППМ – 01005 – получит распространение после 2006 г. (www.aei.dempa.net). Конденсаторы других типов в корпусах 0201 и 01005 на рынке не представлены. Очевидно, что СК на основе жидких электролитов не могут быть сделаны в современных форматах УППМ.



Рис. 18. Изменение спроса на керамические конденсаторы разных форматов (ордината – доля конденсаторов в разных корпусах, %)

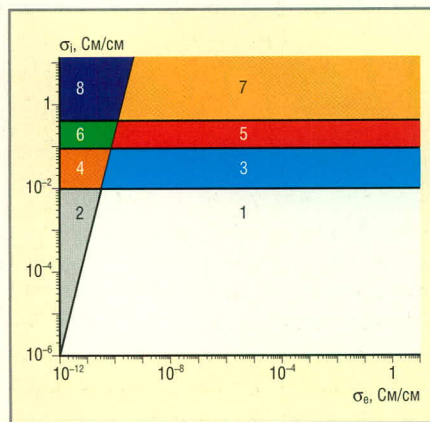


Рис. 19. Области существования различных твердотельных ионных проводников на $\sigma_i - \sigma_e$ диаграмме:

- 2, 4 и 6 – твёрдые электролиты (ТЭЛ), $\sigma_i \gg \sigma_e$;
- 1, 3 и 5 – смешанные ион-электронные проводники;
- 3 и 4 – суперионные проводники (СИП), $\sigma_i > 0,001 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, σ_e – произвольное значение;
- 4 – СИП и, одновременно, ТЭЛ (СИП-ТЭЛ), $\sigma_i > 0,001 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $\sigma_i \gg \sigma_e$;
- 5 и 6 – передовые суперионные проводники (ПСИП), $\sigma_i > 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $E \approx 0,1 \text{ эВ}$, σ_e – произвольное значение;
- 6 – ПСИП и, одновременно, ТЭЛ (ПСИП-ТЭЛ), $\sigma_i > 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $E \approx 0,1 \text{ эВ}$, $\sigma_i \gg \sigma_e$;
- 7 и 8 – гипотетические ПСИП с $E \sim kT \approx 0,03 \text{ эВ}$ при 300 К ;
- 8 – гипотетические ПСИП-ТЭЛ

Одним из лидеров в области производства многослойных керамических конденсаторов является компания Murata Manufacturing. Конденсаторы этой компании в корпусах 0402, 0201 и 01005 с рабочим напряжением 6,3 В имеют максимальные ёмкости 1, 0,1 и 0,01 мкФ соответственно, что даёт для плотности ёмкости ρ_C значения 4, 2 и 1 мкФ/мм³. В корпусе 1210 (3,5 × 2,5 × 1,3 мм) компании Murata, TDK, Taiyo Yuden производят многослойные конденсаторы ёмкостью выше 100 мкФ ($\rho_C \approx 10 \text{ мкФ/мм}^3$). Уменьшение ρ_C с уменьшением размеров можно отнести к сокращению доли полезного

объёма, вызванного корпусированием. Толщина отдельного слоя сегнетоэлектрической керамики приближается к 1 мкм (используется керамика с размером зерна менее 0,1 мкм), и в корпусе 1210 может быть 700 слоёв структуры. Ведутся разработки структур с числом слоёв более 1000. Это позволит поднять ёмкость многослойных структур до уровня алюминиевых электролитических конденсаторов (www.tdk.co.jp). Разработки в области сегнетоэлектрических структур и многослойных керамических конденсаторов осуществляются в течение десятилетий, поэтому резкое повышение ρ_C могут обеспечить только прорывные инновации.

НАНОИОННЫЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДОВЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ

Нанонаука и нанотехнология к настоящему времени приобрели статус прорывных и решающих. Они влияют на развитие всех направлений современной электроники. В большинстве случаев используются приборы, создаваемые на основе микро- и наносистем электронных проводников. Вместе с тем существует класс полупорядоченных кристаллических веществ с высокой ионной проводимостью – суперионные проводники (СИП), наносистемы которых имеют перспективы использования в электронике. Классификация твердотельных ионных проводников дана на рис. 19 в координатах «ионная проводимость – электронная проводимость» ($\sigma_i - \sigma_e$). Среди СИП можно выделить вещества с рекордно высоким уровнем ион-транспортных характеристик ($\sigma_i > 0,1 \text{ См/см}$ при 300°К и энергия активации ионной проводимости $E_i \approx 0,1 \text{ эВ}$). Это – ПСИП [21], о которых говорилось выше.

В наносистемах ПСИП условия для быстрого ионного транспорта (БИТ) нарушаются на гетерограницах. Проблема дизайна гетерограниц ПСИП–индифферентный проводник (ИЭП) с целью сохранения БИТ в ДЭС впервые поставлена авторами в 2003 г. [18]. ИЭП – это электрод, который в определённом диапазоне потенциалов не вступает в химическое и электрохимическое взаимодействие с электролитом. В основе решения лежит идея

формирования нового вида материала с сохранением БИТ в ДЭС – нефарадеевских когерентных гетерограниц ПСИП–ИЭП. В 2004 г. выдвинуто новое научно-техническое направление: «наноионика ПСИП» [21]. Наноионика – раздел ионики твёрдого тела, имеющий в качестве предмета исследования новые свойства, явления, эффекты и практические приложения наносистем с БИТ. Как новый раздел науки, наноионика предложена в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов (ИПТМ РАН) в 1992 г. [22]. Кристаллоинженерия гетерограниц [23] является методологией наноионики ПСИП. Гетеропереходы ПСИП–ИЭП – ключевые функциональные структуры в полностью твердотельных приборах с ДЭС.

Задача прикладной наноионики ПСИП – создание тонкоплёночных приборов нового класса – наноионных суперконденсаторов (НСК) и сенсоров с когерентными нефарадеевскими переходами ПСИП–ИЭП. СК на основе ПСИП разрабатываются в течение нескольких десятилетий, однако достигнутые значения поверхностной удельной ёмкости $\delta_C \sim 10 \text{ мкФ/см}^2$ и максимальные частоты перезарядки ДЭС $f \sim 10...100 \text{ Гц}$ малы. Низкие значения f , невысокие ρ_W известных конструкций СК – следствие нарушения условий БИТ в молекулярно тонких ДЭС на гетерограницах ПСИП–ИЭП. Ожидается, что НСК обеспечат предельно высокие значения ρ_C , ρ_E и ρ_W [3]. В 2005–2006 гг. авторами теоретически и экспериментально осуществлён поиск состояний с высокой электрической ёмкостью на гетерогранице ПСИП–ИЭП. На рис. 20а и 20б показаны соответственно экспериментальный образец и его осциллограммы заряда-разряда. При измерениях образец включали последовательно с эталонным сопротивлением и подавали П-импульсы внешнего напряжения. Ёмкость образца оценивали путём сравнения с аналогичными осциллограммами стандартного конденсатора известной ёмкости. Температура образца – -155°C . Представленные данные доказывают существование высокой ёмкости на гетеропереходе ПСИП–ИЭП и достижение $\rho_C \sim 50 \text{ мкФ/мм}^3$. Производимые в настоящее время лучшие серийные многослойные конденсаторы на основе

сегнетоэлектрических керамик имеют $\rho_C \sim 5$ мкФ/мм³ при объёме прибора ~ 1 мм³. Корпус компонента 01005 УППМ имеет площадь основания 0,08 мм² и объём 0,016 мм³. Многослойные керамические конденсаторы компании Murata (<http://aei.dempa.net>) в таком корпусе имеют максимальную ёмкость 0,01 мкФ (рабочее напряжение 6,3 В, общая внутренняя площадь электродов более 1 мм²). Экспериментальная гетероструктура на основе ПСИП (рис. 20) на частотах ~ 2 кГц при температуре 155°C имеет ёмкость $\approx 0,3$ мкФ (площадь рабочего электрода $4,5 \times 10^{-2}$ мм², поверхностная плотность ёмкости 600 мкФ/см²), что обеспечивает в 30 раз большие значения ρ_C , чем у серийных конденсаторов 01005 Murata. Дальнейшие исследования и разработки в области гетероструктур ПСИП–ИЭП должны значительно поднять рабочую частоту полностью твердотельных СК. Это позволит приступить к созданию новых типов конденсаторов для УППМ (корпус 01005), доля которых к 2015 г. может составить $\sim 40\%$, как это следует из данных Raumanok Publications [1] и тенденций, представленных на рис. 18.

Эффективность традиционных конструкций конденсаторов резко уменьшается на малых масштабах из-за роста отношения поверхность–объём. Известные типы СК на основе жидких электролитов способны обеспечить значение произведения $\rho_E \rho_W \sim 10^7 \dots 10^8$ Дж²/кг²с. На основе НСК могут быть созданы гибридные микроисточники с высокими значениями ρ_E , ρ_C и ρ_W , базирующиеся на рациональном использовании ёмкостных свойств внутренних поверхностей раздела и с БИТ в ДЭС на гетеропереходах ПСИП–ИЭП. Прогресс технологий ведёт к повышению функциональности, мобильности и компактности портативной электроники, когда в одном корпусе объединяется множество устройств и модулей, для согласования которых необходимы высокоёмкие НСК. Поэтому уменьшение напряжения питания ИС до 0,5...0,7 В сделает привлекательным использование НСК в электронике и НМСТ [3].

Пределные характеристики ёмкостных накопителей

Ёмкостные накопители можно разделить на два основных класса: конденсаторы на основе диэлектриков

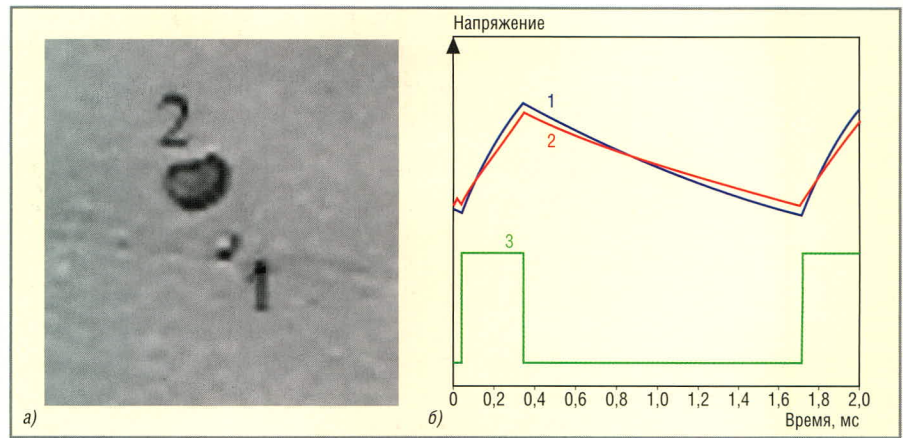


Рис. 20. Экспериментальный образец СК, имеющего гетеропереходы со специальным граничным дизайном гетерограниц ПСИП–ИЭП, и осциллограмма его испытания:

(а) образец СК (1, объём $\approx 6 \cdot 10^{-3}$ мм³, видимая площадь электрода $4,5 \cdot 10^{-4}$ см², ёмкость 0,3 мкФ при 155°C)

и маковое зерно (2);

(б) осциллограмма заряда и разряда образца СК (1) и стандартного конденсатора ёмкостью 0,3 мкФ (2)

в одинаковых условиях через балластное сопротивление с помощью П-импульса (3)

(сегнетоэлектриков) и СК, где заряд и энергия накапливаются в ДЭС на гетеропереходе электронный проводник–твёрдый или жидкий электролит (жидкие электролиты несовместимы с микроэлектронными технологиями).

Из анализа формул максимального напряжения U_{\max} и максимальной энергии плоского конденсатора E_{\max} следует, что для достижения рекордно высоких значений ρ_E и ρ_C необходимо уменьшать толщину ДЭС d и/или повышать пробойную напряжённость электрического поля F_{\max} и относительную диэлектрическую проницаемость ϵ_r диэлектрика. Для СК d – величина порядка размера атома, поэтому лавинный пробой ДЭС невозможен. Величина U_{\max} для известных ПСИП с подвижными ионами Ag^+ и Cu^+ $\approx 0,6$ В, что ведёт к рекордно высоким значениям F_{\max} (порядка молекулярного поля, $\sim 5 \times 10^7$ В/см). Отсюда следует, что СК на основе ПСИП имеют потенциал для достижения предельно высоких значений ρ_E и ρ_C . Анализ показывает [3], что в области создания высокоёмких УППМ-конденсаторов наиболее перспективными являются сегнетоэлектрические конденсаторы и НСК. Зонная структура известных ПСИП подобна электронной зонной структуре диэлектриков (ширина зоны запрещённых для электронов энергий $E_g > 3$ эВ). Конденсаторы с толщиной ДЭС $\sim 0,1$ нм относятся к молекулярным приборам. Высокими характеристиками могут обладать СК с гетеропереходами нанотруб-

ка–ПСИП. Впервые возможность создания наноприборов БИТ обсуждалась в 1992 г. [22]. Наногридные материалы с БИТ имеют большие перспективы. Например, в многослойных гетероструктурах с толщиной бислоя ПСИП–ИЭП ~ 4 нм, образующих параллельно связанные НСК с поверхностной плотностью ёмкости > 10 мкФ/см², величина ρ_C превысит 50 Ф/см³. При напряжении на гетеропереходе 0,5 В будет достигнута $\rho_E \sim 5$ Дж/см³ ($\sim 10^3$ Дж/кг). В [3] для гладких электродов со специальным дизайном гетерограниц ПСИП–ИЭП получены значения поверхностной плотности ёмкости $\delta_C > 100$ мкФ/см², что говорит о возможности создания на основе ПСИП наногридных материалов с $\rho_E \sim 10^4$ Дж/кг.

ПРИМЕНЕНИЕ СК В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

В портативной электронике с уменьшением размеров растёт отношение поверхность/объём компонентов, что ведёт к уменьшению ρ_C , ρ_E и ρ_W конденсаторов и автономных источников энергии и мощности. Вместе с тем ряд факторов требуют роста значений ρ_C , ρ_E и ρ_W . Приведём два примера.

1. Функционирование канала связи «прибор–человек» требует мощности, задаваемой физиологией органа восприятия и не зависящей от размеров прибора. Поскольку с уменьшением размеров источников уменьшаются не только абсолютные значения W и E , но и ρ_C , ρ_E и ρ_W , то без повышения ρ_C , ρ_E и ρ_W

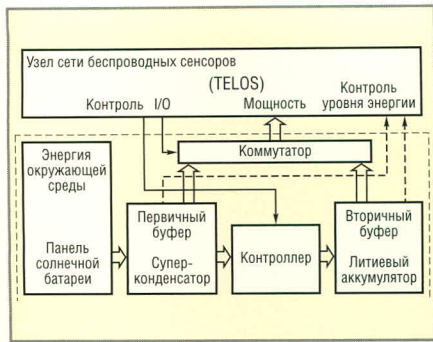


Рис. 21. Архитектура сенсорного узла TELOS беспроводной сети Prometheus

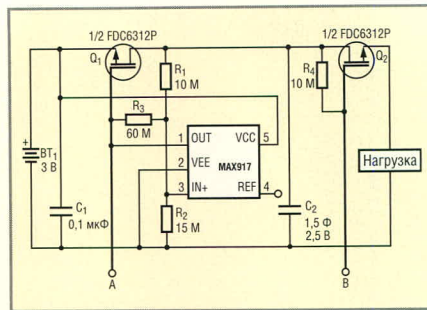


Рис. 22. Источник импульсной мощности на основе СК и миниатюрного литиевого элемента

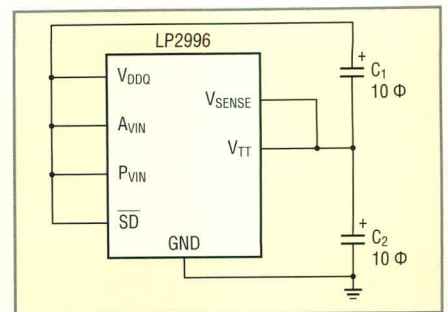


Рис. 23. Активный шинный терминатор для DDR-SDRAM на последовательно соединённых двух СК

дальнейшая миниатюризация автономных приборов, используемых в связке «прибор-человек», оказывается невозможна. Сказанное не относится к каналам связи «прибор-прибор», о чём свидетельствует стремление освоить наноконструкции и нанотехнологии.

2. В беспроводных средствах связи и сетях автономных сенсоров и микророботов источники должны обеспечить в режиме радиопередачи высокие уровни мощности (W), определяемые расстоянием уверенного приёма в степени 2...4, и энергии E , величина которой даётся выражением: $E = Wn\tau N$, где n – число импульсов, задаваемых протоколом (преамбула, номер узла, координаты, номер кода, адрес точки приёма, код поправок и т.д.), τ – длительность отдельного импульса, а N – число последовательно передаваемых файлов. Удовлетворительное решение рассматриваемой задачи достигается использованием гибридных источников, включающих СК.

Развитие нано- и микроэлектроники, НМСТ, беспроводной связи и по-

явление процессоров с малым энергопотреблением создают условия для быстрого становления нового сектора рынка массовой электроники (системы беспроводных сетей сенсоров и микророботов). Использование энергии, рассеянной в окружающем пространстве (свет, перепад давлений и температур, вибрации, химические и биохимические процессы), позволяет развёртывать сети автономных сенсоров и микророботов с длительным сроком функционирования. Пронизывая всё доступное пространство, используя компьютерные технологии и Интернет, эти взаимодействующие между собой сети будут обеспечивать связь между физическим миром и растущей по экспоненте глобальной информационно-вычислительной инфраструктурой.

Одна из современных разработок в области беспроводных сенсорных сетей – система Prometheus (Университет Калифорнии, Беркли, США) с элементами интеллектуального управления энергоресурсами. Силовой блок каждого сенсорного

узла TELOS (рис. 21) содержит солнечную батарею, суперконденсатор (первичный буфер), перезаряжаемую литиевую батарею (вторичный буфер) и контроллер управления. Нагрузка на литиевую батарею, которая при работе узла подвергается деградации (число циклов перезарядки 300 – 500), определяет срок службы системы. Наличие СК и контроллера позволяет оптимизировать нагрузку на литиевую батарею, а также выбрать режим эксплуатации сенсорного узла. Согласно оценкам [24], срок службы узла составит 43 года при уровне нагрузки 1%, 4 года при 10% и 1 год при 100%.

Электронные схемы с СК, питаемые малогабаритными источниками, позволяют формировать на нагрузке импульсы тока с большими значениями произведения EW . Изображённая на рис. 22 схема [25] обеспечивает с помощью СК C_2 (ёмкость 1,5 Ф, рабочее напряжение 2,2 В) каждые несколько часов импульс тока до нескольких ампер длительностью до 2 с. Остальное время система находится в спящем режиме, во время которого потребляются микроамперные токи. Схема построена на основе двух транзисторных ключей Q_1, Q_2 и компаратора на основе микросхемы MAX917. В спящем режиме при подаче положительного сигнала в точку А открывается ключ Q_1 и СК заряжается от миниатюрного литиевого элемента. После достижения на СК напряжения 2,2 В компаратор закрывает ключ Q_1 . При подаче положительного сигнала в точку В открывается ключ Q_2 , и импульс тока с СК поступает в нагрузку.

В ряде приложений требуются СК большой ёмкости с рабочим напряжением, превышающим допусти-

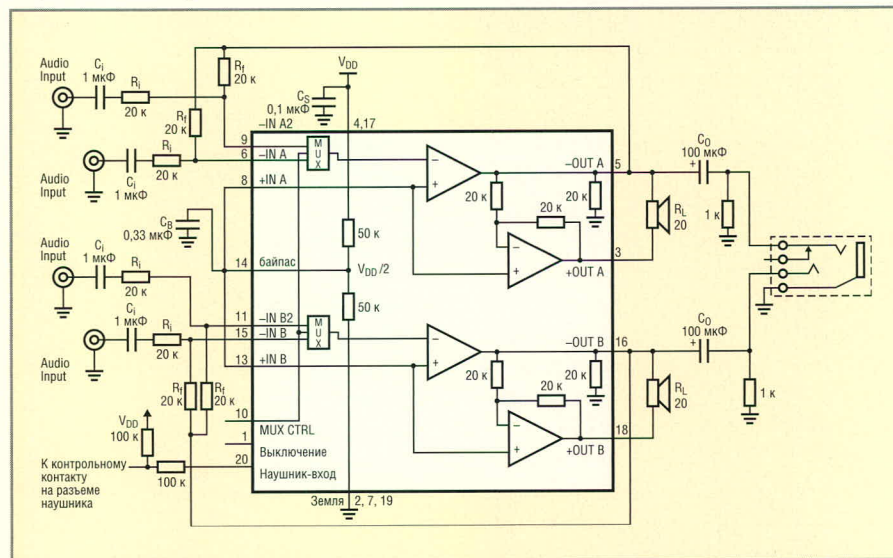


Рис. 24. Стерефонический аудиоусилитель мощности на базе MICROSMD типа LM4873

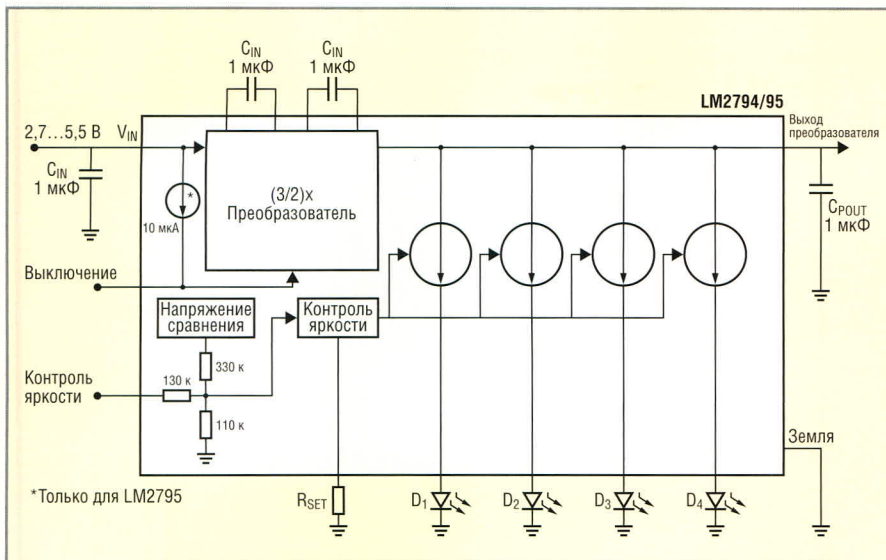


Рис. 25. Регулируемый драйвер светодиодов с аналоговым и PWM-контролем яркости на базе MICROSMД типа LM2794

мое значение для СК. В этом случае несколько однотипных СК соединяют последовательно. Возникает задача зарядки одним и тем же током нескольких СК до одинакового напряжения, т.к. разброс СК по емкостям, токам утечки и ESR может привести при зарядке и разрядке к недопустимо большому напряжению на некоторых СК. На рис. 23 [26] представлена простая схема, которая обеспечивает источник питания шины DDR-SDRAM напряжением 5 В с помощью двух последовательно соединённых СК (10 Ф). Интегральный шинный регулятор, например, LP2996 компании National Semiconductor, предназначен для поддержания стабильного напряжения 2,5 В в общей точке последовательно соединённых СК.

Разработано множество схем использования СК в электронике. Например, на сайте [27] представлена схема микшера, предназначенного для смешения микрофонного сигнала с сигналом от цифровой камеры и подачи смешанного сигнала на видеоманитофон. СК используется в качестве источника питания, которого хватает по меньшей мере на 2 часа работы. Ряд схем на базе чипов MICROSMД, требующих использования конденсаторов повышенной ёмкости, приведены на сайте [28]. Рассмотрим два примера. На рис. 24 приведена схема стереофонического аудиоусилителя мощности с функцией стереонаушников, а на рис. 25 – схема регулируемого драйвера светодиодов с ШИМ и аналоговым конт-

ролем яркости. Схемы выполнены на базе MICROSMД типа LM4873 (посадочная площадка $1,99 \times 2,49$ мм, двадцать шариковых выводов) и LM2794 ($2 \times 2,4$ мм, четырнадцать шариковых выводов) соответственно. Стереофонический усилитель при напряжении питания 5 В обеспечивает 2,1 Вт на нагрузку 4 Ом или 2,4 Вт на нагрузку 3 Ом при суммарном коэффициенте нелинейных искажений менее 1%. Во второй схеме при падении напряжения на Li-ионной батарее ниже 4,7 В микросхема LM2794 повышает напряжение на четырёх светодиодах до номинального уровня, что обеспечивает токи 4×20 мА. В схемах используются внешние СК с номиналами 0,1...100 мкФ, которые в настоящее время не могут быть выполнены в корпусах 01005 и 0201 УППМ.

Прогресс в разработке СК на основе ПСИП и создание НСК позволят осуществлять эффективную миниатюризацию, т.е. использовать активные компоненты и конденсаторы УППМ сопоставимо малых размеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание СК с высокими частотно-емкостными характеристиками и развитие соответствующего рынка ведёт к появлению новых областей знания, технологий и массового спроса (нано- и микросистемная техника, беспроводные сети сенсоров и микророботов). Современный менеджмент знаний объединяет стратегический менеджмент и менеджмент

инноваций в единый комплекс знаний и действий – стратегический инновационный менеджмент. Анализ научно-технологической деятельности ведущих корпораций показывает их ориентацию на стратегический инновационный менеджмент. Поэтому особую ценность приобретают исследования и знания, на основе которых в будущем может быть создана стратегически значимая продукция. В России сохраняются высокий уровень развития науки и возможности для проведения стратегического инновационного менеджмента в электронике.

ЛИТЕРАТУРА

- Guo H., Lal A. Nanopower betavoltaic microbatteries. Transducer'03, The 12th Int. Conf. on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, Boston, June 8–12, 2003.
- Dougherty J.P., Galvagni J., Sandborn P., Ulrich R. The NEMI Roadmap: Integrated Passives Technology and Economics (thor.inemi.org/webdownload/newsroom/Presentations/CARTS_2003.pdf).
- Деспотули А.Л., Андреева А.В., Рамбабу В. Наноионика – основа создания новых приборов для МСТ. Нано- и микросистемная техника. 2005. № 2.
- Деспотули А.Л., Николаичич В.И. A step towards nanoionics. Solid State Ionics. 1993. V. 60.
- Андреева А.В. Симметрия межкристаллитных границ: приложение к задачам гетероэпитаксии. Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. № 46.
- Jiang X., Polastre J., Culler D. Perpetual Environmentally Powered Sensor Networks. Proc. of the Fourth Int. Conf. on Information Processing in Sensor Networks: Special track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (IPSN/SPOTS). Los Angeles. April 25–27, 2005 (www.cs.berkeley.edu/~kwright/nest_papers/spots05-prometheus.pdf).
- Yongping Xia. Supercapacitor boosts current from small battery (www.alcom.be/DATASHEET/Dec%20CETimes.pdf).
- Grantam C.B. Memory-termination IC balances charges (www.edn.com/filtered/pdfs/contents/images/081805di.pdf).
- Belousov A. Single capacitor powers audio mixer (www.edn.com/archives/1997/031497/06DI_04.htm).
- www.national.com/appinfo/microsmd/ad218.html.



Простой цифровой термометр с точностью 0,4°C

Печатается с разрешения журнала *Electronics Design* (<http://www.electronicdesign.com>)

Рикардо Хименес, Нефтали Салазар, Майорал Улиес

Ricardo Jimenez, Neftali Salazar, Mayoral Ulises

Перевод Александра Тищенко

Авторы предлагают схему очень простого электронного термометра, в котором использованы всего три микросхемы: датчик температуры, операционный усилитель и PIC-контроллер.

Принципиальная схема цифрового термометра, работающего в диапазоне температур 0...150°C с разрешением 1°C и точностью 0,4°C показана на рисунке. Разработка основана на микроконтроллере PIC16F872. Поскольку его програм-

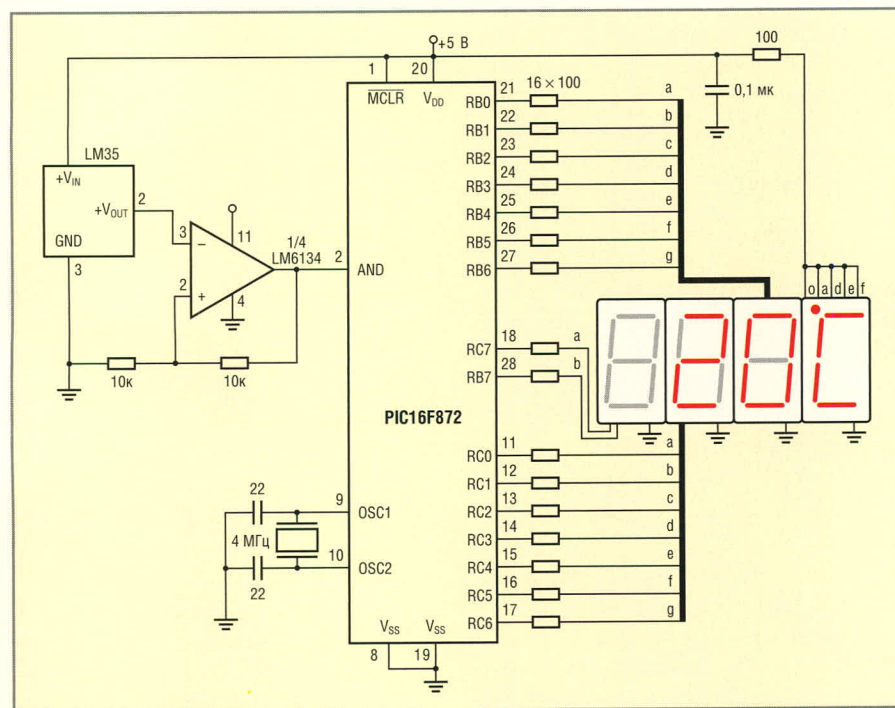
мное обеспечение выполняет все необходимые задачи, то в таких узлах, как АЦП и дешифратор, нет необходимости. В разработке также использован термодатчик LM35, имеющий высокую линейность и точность.

Выходной сигнал датчика LM35 подаётся на вход неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 2, выполненного на LM6134. Усиление сигнала необходимо для согласования крутизны преобразования датчика с разрешением АЦП. Поскольку используется только 8 разрядов АЦП, его разрешение составляет 20 мВ.

Опорными напряжениями V+ и V- для АЦП являются соответственно его питание и «земля». Программа микроконтроллера выполняет несколько функций, таких как управление АЦП, преобразование двоичного кода в код для семисегментных индикаторов, определение переполнения и выхода температуры за рабочий диапазон. Регистр ADCON1 конфигурирует опорные напряжения и аналоговый вход АЦП.

В таблице приведены результаты измерения температуры в нескольких точках. Заметим, что считанные данные 8 разрядов АЦП преобразованы в двоичный код, соответствующий реально измеренной температуре. Затем подпрограмма преобразует двоичные данные в семисегментный формат для непосредственного управления индикаторами. Порт RB управляет разрядом единиц, порт RC – разрядом десятков, а выводы RC7 и RB7 – разрядом сотен.

Программу для микроконтроллера можно скачать на сайте журнала. ©

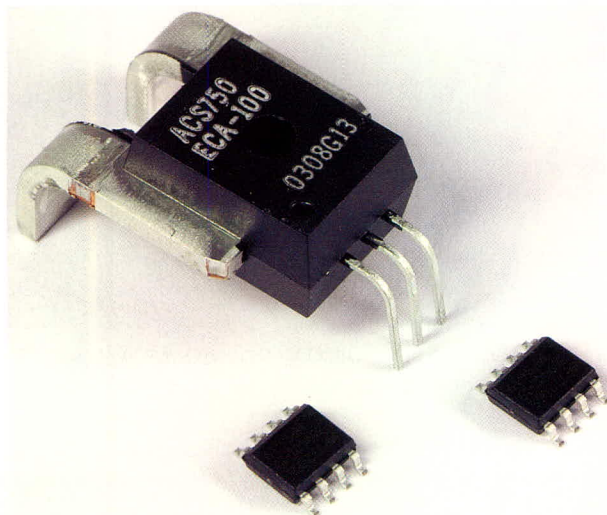


Принципиальная схема термометра

Сигналы в контрольных точках для ряда температур

Температура, °C	Выход LM35, В	Выход LM6134, В	Код АЦП	Выходы разряда сотен	Выходы разряда десятков	Выходы разряда единиц
0	0	0	0	0	0	0
5	0,05	0,1	101	0	0	101
20	0,2	0,4	10100	0	10	0
25	0,25	0,5	11001	0	10	101
99	0,99	1,98	1100011	0	1001	1001
100	1	2	1100100	11	0	0
150	1,5	3	10010110	11	101	0

Датчики тока на эффекте Холла



Параметры датчиков тока Allegro

Наименование	Диапазон измеряемых токов (А)	Чувствительность (мВ/А)	Полоса рабочих частот (КГц)	Корпус
ACS704-005	±5	133	50	
ACS704-015	±15	100		
ACS752-050	±50	40		
ACS752-100	±100	20		
ACS754-050	±50	40	35	
ACS754-100	±100	20		
ACS754-130	±130	14,2		
ACS754-150	±150	13,3		
ACS754-200	±200	10		

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА

- Диапазон измеряемых токов $\pm 5... \pm 200\text{A}$
- Сверхнизкое сопротивление токовой шины
- Хорошая линейность
- Полоса частот до 50 кГц
- Промышленный диапазон температур $-40... +85\text{ }^\circ\text{C}$
- Напряжение изоляции до 3 кВ

Области применения

- Источники вторичного электропитания
- Корректоры коэффициента мощности
- Автоэлектроника
- Системы промышленной автоматики
- Бытовая электроника

Конструкция датчиков тока Allegro

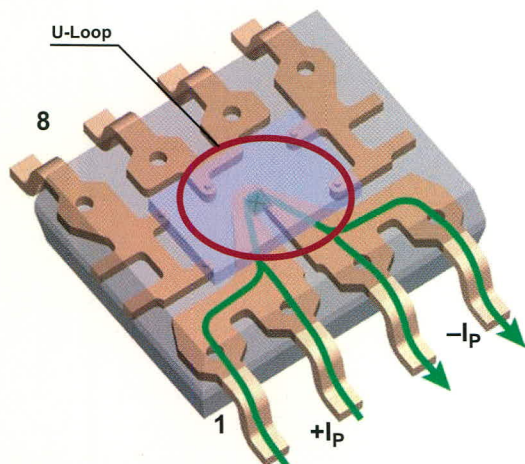
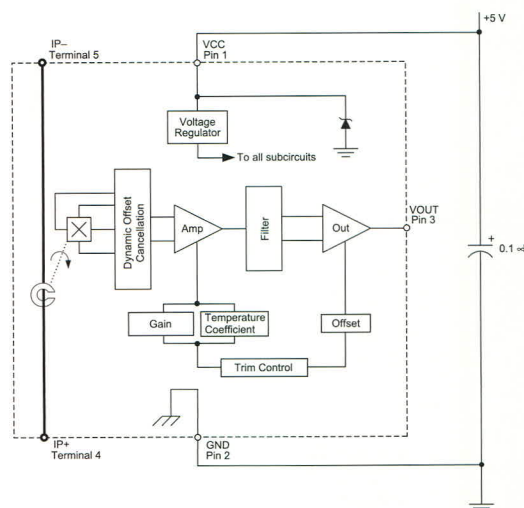
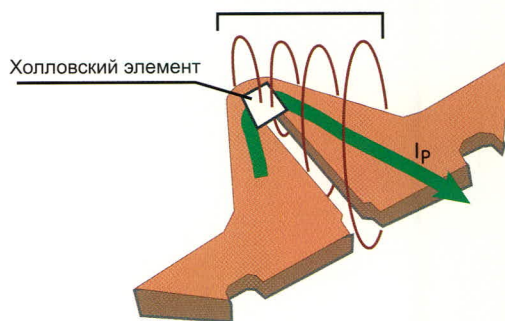


Схема протекания тока в датчике ACS704 и конструкция токовой шины

Магнитный поток, порождаемый протекающим в шине током



Конструкция токовой шины и элемент Холла в датчике ACS704

Микропроцессорный коммутатор аудиосигналов

Олег Пушкарев (г. Омск)

С помощью рассматриваемого в статье коммутатора можно легко соединять источники звука к тем или иным звуковоспроизводящим устройствам в любом сочетании. Это особенно удобно, если в комнате сосредоточено много звуковоспроизводящей аппаратуры.

Количество бытовой звуковоспроизводящей аппаратуры увеличивается в наших квартирах с каждым годом. Новый музыкальный центр, домашний кинотеатр или акустика для компьютера приводят к возрастающему числу межблочных соединений. В определённый момент ко всему многообразию аппаратуры добавляются беспроводные наушники, исключительно для мирного сосуществования домашних в вечерние часы, когда ребром встаёт вопрос: что важнее для духовного развития – двадцатая серия реалити-шоу или прослушивание любимого альбома на CD. Для просмотра DivX-фильма на ПК бывает нелишне подключить к компьютеру мощную акустическую систему домашнего кинотеатра. В такой мо-

мент неизбежно приходится разбираться в хитросплетении проводов в тесном пыльном пространстве за задней панели телевизора или компьютера.

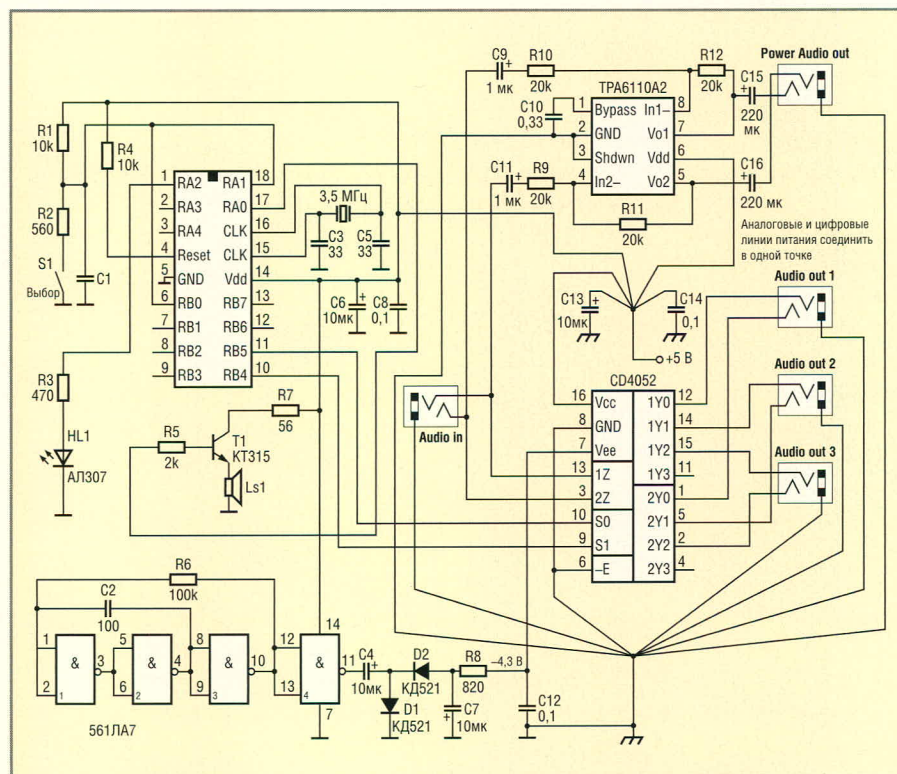
Кардинальным выходом является приобретение коммутатора, который лёгким нажатием кнопок позволял бы соединять источники звука к тем или иным звуковоспроизводящим устройствам в любом сочетании. Проблема состоит в том, что такие коммутаторы встречаются исключительно в профессиональной аппаратуре и стоят довольно дорого.

Для коммутации выхода звуковой карты компьютера был разработан простейший микропроцессорный коммутатор аудиосигналов. Он решает вполне определённые задачи,

а именно: подключает к компьютеру либо активные акустические системы 2.1, либо беспроводные наушники, либо гарнитуру с микрофоном для работы в программе Skype. Коммутатор имеет структуру 1-3, т.е. переключает сигнал с одного входа на один из трёх выходов. Так как коммутирующий элемент является пассивным двунаправленным ключом, появляется возможность использовать коммутатор и для противоположной задачи – подключать к активным колонкам один из трёх источников сигнала. Разумеется, данный коммутатор можно использовать и с любой другой звуковоспроизводящей аппаратурой.

Принципиальная электрическая схема коммутатора приведена на рисунке. В качестве коммутирующего элемента выступает аналоговый коммутатор на микросхеме CD4052. Для коммутации двуполярных сигналов на вывод Vee необходимо подать отрицательное напряжение не менее амплитуды подаваемого на вход аналогового сигнала. Отрицательное напряжение формируется с помощью микросхемы 561ЛА7, на которой собран генератор прямоугольных импульсов, и выпрямителя на диодах по схеме умножения напряжения. Ток потребления по линии Vee пренебрежимо мал, поэтому генератор на 561ЛА7 потребляет всего 100 мкА по линии питания. Рабочая частота генератора выбрана в районе 35 кГц, т.е. за пределами звукового диапазона.

На микроконтроллере PIC16F84 собран управляющий узел, который опрашивает кнопку выбора направления коммутации S1, формирует управляющие сигналы для микросхемы CD4052 и индицирует текущее состояние с помощью светодиода HL1. Тактовая частота 3,5 МГц не является критичной и может быть выбрана в любых пределах от 3 до 4 МГц. Файлы про-



Принципиальная электрическая схема микропроцессорного коммутатора аудиосигналов

граммы прошивки микроконтроллера доступны на сайте журнала.

На микросхеме ТРА6110А2 собран высококачественный стереоусилитель для наушников. Необходимость усилителя вызвана тем, что сигнал с выхода звуковой карты компьютера не всегда способен обеспечить достаточную громкость в пассивных наушниках. Усилитель работает с коэффициентом усиления, равным 1, однако при желании усиление легко увеличить, уменьшая сопротивление резисторов R9 и R10. Усилитель рассчитан на работу с наушниками с выходным сопротивлением не менее 16 Ом. Коэффициент нелинейных искажений усилителя менее 0,03% на частоте 1 кГц. Микросхема усилителя ТРА6110А2 (Texas Instruments) может быть заменена микросхемой LM4881 (National Semiconductor). При сборке устройства следует обратить особое внимание на правильность разводки линий питания и земли.

При включении устройства активным всегда становится аудиовы-

ход 1. Последовательным нажатием на кнопку S1 можно подключать другие аудиовыходы «по кольцу»: 1-2-3-1-2-... Подключение очередного выхода сопровождается однократной звуковой индикацией, при этом число подаваемых звуковых сигналов соответствует номеру выхода. Светодиод постоянно индицирует номер подключенного выхода соответствующим числом коротких вспышек с паузой между сериями. Для удобства эксплуатации кнопку S1 можно вывести за пределы корпуса и расположить в удобном месте, в то время как сам коммутатор расположить ближе к месту сосредоточения разъёмов коммутируемой аудиоаппаратуры. В качестве источника питания используется свободный USB-порт компьютера. Суммарный потребляемый схемой ток не превышает 10 мА.

Данный коммутатор легко модернизировать, расширив его возможности. Наличие свободных портов микроконтроллера позволяет усложнить схему индикации, например, поставив индивидуаль-

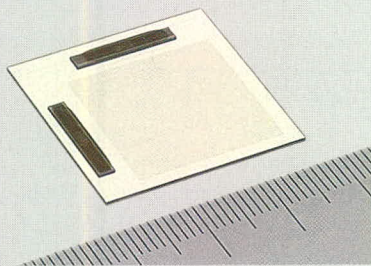
ные светодиоды для индикации подключения каждого выхода. Для увеличения числа коммутируемых выходов до 4 достаточно добавить разъём и подключить его к линиям 11 и 4 микросхемы CD4052 (при соответствующем изменении программы). Потребление тока можно существенно уменьшить, отказавшись от светодиодной индикации и используя режим прерывания по нажатию кнопки S1. Если отказаться от усилителя на микросхеме D3 и оптимизировать работу генератора (включать его на короткий период для зарядки C7), то можно построить коммутатор с батарейным питанием. При этом комплекта из трёх щелочных батарей размера AA будет хватать на несколько лет непрерывной работы коммутатора. Ещё одно направление повышения эксплуатационных характеристик – замена кнопки S1 на управление с помощью пульта на ИК-лучах или по радиоканалу. Вычислительных ресурсов микроконтроллера с запасом хватит на все вышеперечисленные доработки. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Сканер отпечатка пальцев для мобильных телефонов

Японская компания ALPS Electric закончила разработку сверхтонких устройств для считывания отпечатка пальца. Их область использования довольно ясна: это мобильные телефоны, карманные компьютеры, смартфоны и коммуникаторы, ноутбуки, а также другие мобильные устройства, в которых требуется идентификация владельца.

Новые биометрические технологии позволяют максимально обезопасить ценную информацию на персональных устройствах, а в дополнение к голосовому распознаванию и пониманию речерка несанкционированный доступ будет просто невозможен. ALPS Electric предполагает достаточно широкое распространение этой технологии. Ожидается, что уже в 2006 г.



количество устройств, использующих встроенный сканер отпечатка пальцев, достигнет 20 млн.

<http://news.webpanel.ru/>

AM OLED-телевизоры появятся в конце текущего года

Samsung SDI и LG.Philips LCD объявили о скором запуске в серийное производство ТВ-панелей на основе активной матрицы органических светоизлучающих диодов AM OLED (Active Matrix Organic Light-Emitting Diode). Представители компаний LG.Philips (венчур LG Electronics и Philips Electronics с условиями 50 на 50) сообщили, что выпуск дисплеев начнётся в IV квартале текущего года.

Компания Samsung SDI также подтвердила информацию о запуске в октябре в производство OLED-панелей с диагональю 2 и 2,6 дюйма, на создание которых было инвестировано порядка 460 млн. долл. США.

Что касается AM OLED, то Samsung надеется, что данная технология в дальнейшем вытеснит LCD не только в мобильных устройствах. Основные преимущества активных OLED-дисплеев – высокая



скорость реакции, высокое разрешение, яркость и экономичность.

www.3DNews.ru

DALSA выпустила ПЗС-матрицу, содержащую 111 мегапикселей

Фирма DALSA Semiconductor разработала первую светочувствительную матрицу, которая преодолела порог в 100 млн пикселей (10 560 × 10 560), при этом активная площадь датчика составляет 4 × 4 дюйма.

Устройство создано по заказу астрономического отдела обсерватории Военно-морских сил США. Прибор на его основе позволит более точно измерять положение и движение звёзд и солнца.

www.itc.ua

Прецизионный термометр на основе пьезочастотных датчиков температуры для промышленного применения

Дмитрий Тумайкин (Ярославская обл.)

Автор описывает прецизионный термометр для промышленного применения, выполненный на основе пьезочастотных кварцевых датчиков температуры. Представлены интерфейс пользователя и характеристики устройства.

В промышленности и науке часто требуется вести контроль температуры производственной зоны, технологической среды и другие аналогичные температурные измерения. В настоящее время для этого используют всевозможные термометры и датчики температуры. В целях автоматизации процесса в устройствах измерения температуры совместно с датчиками применяются контроллеры. Контроллерные устройства включают в себя схемы считывания состояния датчика и аналого-цифрового преобразования сигнала. Преобразованный сигнал поступает в процессорную систему для автоматического учёта температуры среды и обработки полученных данных.

Преимущество использования термочувствительных кварцевых резонаторов, прежде всего, заключается в их высокой чувствительности и простоте использования. Сигнал от резонаторов можно сразу обрабатывать в цифровой форме, что удешевляет процесс контроля температуры.

Измерение температуры с помощью термочувствительных кварцевых резонаторов основано на использовании анизотропии кристалла кварца. Выбирая соответствующую ориентацию среза пьезоэлемента относительно кристаллографических осей, можно изменять его термочастотную характеристику (ТЧХ), которая в общем случае является нелинейной функцией температуры и описывается рядом следующего вида:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \sum_{n=1}^m \delta_f^{(n)} (T - T_0)^n,$$

где $\delta_f^{(n)}$ – температурный коэффициент частоты (ТКЧ),

$$\delta_f^{(n)} = \frac{1}{n! f_0} \left(\frac{\partial^n f}{\partial T^n} \right)_{T=T_0},$$

T и T_0 – калибровочное и текущее значения температуры.

В широком диапазоне температур ТЧХ кварцевого резонатора с достаточной точностью аппроксимируется тремя членами ряда. Для измерения температуры нужны кварцевые резонаторы с крутым монотонным

изменением ТЧХ на рабочем участке. В кварцевых датчиках температуры используются различные кварцевые термочувствительные резонаторы (например, РКТ-206) с типовой чувствительностью порядка 2 Ц/°С.

Метрологические характеристики информационно-измерительной системы:

- Диапазон измерения, °С -30...100
- Максимальное время измерения одного канала, с 3
- Разрешающая способность измерения частоты, Ц 0,004
- Разрешающая способность индикатора (автономный режим), °С 0,1
- Точность измерения температуры с помощью ПК (с датчиком ПТК-01), °С 0,05

Кварцевые датчики температуры являются автогенераторными преобразователями с частотным выходом и строятся на основе пьезорезонаторов. Измерение температуры с малой погрешностью может быть выполнено, если градуировочная характеристика термодатчика определена с высокой точностью. Микропроцессор пересчитывает значение частоты, поступающее с кварцевого датчика, в значение температуры по индивидуальной градуировочной характеристике.

В качестве датчика температуры применяют различные кварцевые преобразователи температуры (например, ПТК-01), обеспечивающие прецизионное измерение температуры. Прецизионность достигается путём использования кварцевых резонаторов-сенсоров, частота которых при изменении температуры коррелированно изменяется. Например, вышеуказанный датчик позволяет измерять температуру в диапазоне -30...+100°С с точностью 0,05% от верхнего предела измерения.

Пьезокварцевый преобразователь температуры состоит из трёх основных узлов: чувствительного элемента

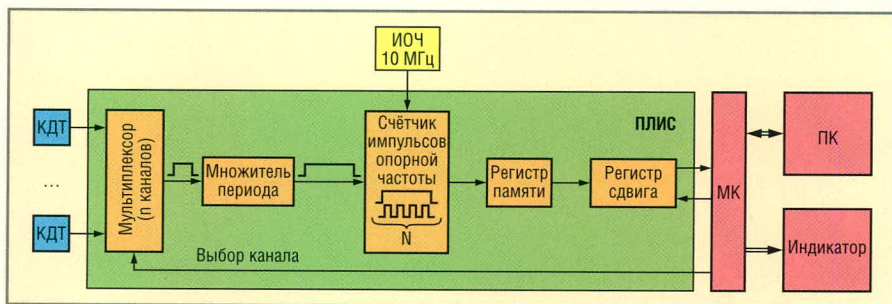


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы

КДТ – кварцевый датчик температуры; ИОЧ – эталонный источник опорной частоты 10 МГц;

ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема; МК – микроконтроллер;

ПК – IBM-совместимый персональный компьютер



Рис. 2. Внешний вид термометра с кварцевым датчиком температуры

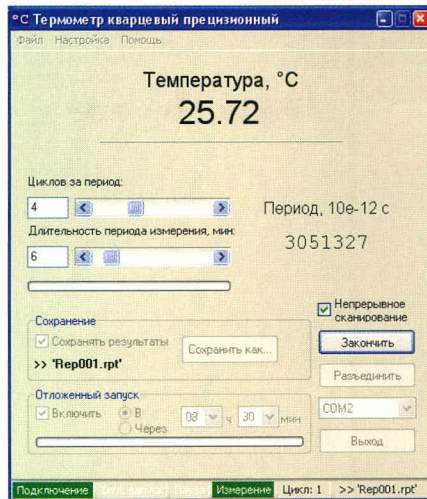


Рис. 3. Внешний вид интерфейса пользователя

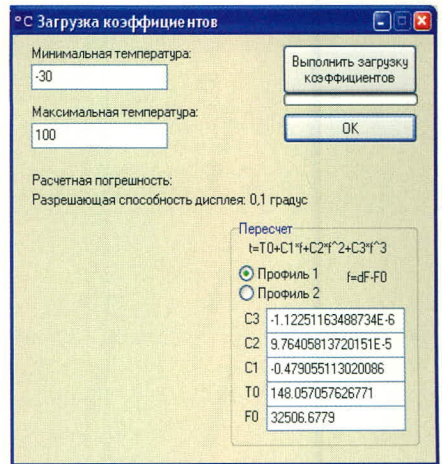


Рис. 4. Меню загрузки индивидуальных градуировочных характеристик

(кварцевый датчик температуры), частотного преобразователя (сформирован на ПЛИС MAX7000S фирмы Altera) и специального вычислителя (микроконтроллер ATmega8515 фирмы Atmel). Структурная схема измерительного устройства представлена на рис. 1.

Подсчёт частоты, поступающей с кварцевых датчиков, производится с помощью 17-битного счётчика, реализованного в ПЛИС. Там же размещены мультиплексоры и сдвиговый регистр. Микроконтроллер управляет процессом измерения, осуществляет связь с ПК, производит математические вычисления и управляет индикацией. ПК с помощью специального интерфейса осуществляет сбор, накопление и статистическую обработку результатов измерения. Счётчики считают импульсы опорной и измеряемой частоты для получения требуемого интервала измерения. Мультиплексор используется для выбора входного канала. Измерение частоты производится с разрешающей способностью ±1 младший значащий бит (0,004 Гц). Далее по индивидуальной градуировочной характеристике производится пересчёт значения частоты, поступающего с кварцевого датчика, в значение температуры. В качестве аппроксимирующей кривой использо-

ван полином третьей степени. Коэффициенты полинома для пересчёта хранятся в энергонезависимой памяти и могут быть перепрограммированы через интерфейс пользователя.

Вычисленное значение температуры выводится на пятизначный цифровой 7-сегментный индикатор с дискретностью 0,1°C (рис. 2). Показанный термометр измеряет температуру -30...+100°C, но этот диапазон может быть легко расширен применением кварцевого датчика с более широким температурным диапазоном (кварцевые резонаторы имеют верхний и нижний пределы рабочей температуры +700°C и -50°C соответственно). Прецизионный цифровой термометр работает как в автономном режиме, так и под управлением ПК.

Программная оболочка осуществляет управление сбором данных, вычислением значения температуры и визуализацией. Погрешность измерения температуры с помощью ПК определяется применённым датчиком температуры (порядка 0,05°C). Внешний вид интерфейса пользователя представлен на рис. 3.

В интерфейсе учтены особенности использования данного цифрового термометра в качестве элемента измерительной системы. Так, реализована возможность однократного из-

мерения выбранных каналов, непрерывное сканирование, сканирование каналов заданное число раз, опрос каналов через заданный интервал времени, реализована возможность отложенного запуска измерения. Все данные возможности востребованы при контроле температуры в различных технологических процессах. Результаты измерений сохраняются в ПК, и можно произвести их статистическую обработку в любое время.

Через интерфейс пользователя производится вычисление и загрузка индивидуальных градуировочных характеристик кварцевого датчика температуры (рис. 4)

Точность измерения во многом определяется точностью кварцевого преобразователя температуры (вносит наибольшую погрешность), источника опорной частоты и дискретностью отсчёта. В качестве источника опорной частоты используется высокостабильный термостатированный генератор на 10 МГц.

Следует отметить, что данный прибор может быть использован также и для точного измерения давления (избыточного и абсолютного от 1 до 600 атм.), веса (усилия), ускорения и влажности (в зависимости от физической величины, на которую реагирует кварцевый резонатор). ☺

Новости мира News of the World Новости мира

Fujitsu, NEC, Renesas и Toshiba объединяют усилия по разработке

Fujitsu, NEC Electronics, Renesas Technology и Toshiba приняли решение о совместной разработке стандартного процесса производства системных инте-

гральных схем новых поколений – с уровнем детализации 45 нм и меньше.

Эта инициатива призвана упростить каждой из вышеупомянутых компаний доступ к интеллектуальной собственности и библиотекам других участников. Кроме того, возможно совместное использова-

ние промышленных мощностей и интеграция заводов в будущем.

Предполагается, что все технические вопросы, касающиеся выработки стандартизованных спецификаций, будут решены к концу текущего года.

www.itc.ua

Программное обеспечение для анализа схемотехнического проекта в базисах ПЛИС и БМК

Сергей Артёмов (Московская обл.)

В статье рассматривается программное обеспечение ConvChip, реализующее алгоритм анализа схемотехнических проектов, представленных одновременно в базисах ПЛИС и БМК. Этот алгоритм позволяет исследовать причины появления расхождений временных диаграмм при моделировании схемы в базисах ПЛИС и БМК.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получили программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые позволяют специалисту создавать на одной или нескольких микросхемах сложные цифровые устройства, имеющие высокую степень интеграции. При этом весь технологический цикл проектирования ПЛИС (ПЛИС), начиная от разработки схемы, тестов ПЛИС (ТПЛИС) и заканчивая программированием, может выполнить один специалист.

Современные ПЛИС выпускаются как полностью готовые изделия. Пользователю не требуется обращаться к изготовителю для выполнения каких-либо завершающих операций, поскольку программирование ПЛИС можно осуществить при помощи компьютера, к которому подключен программатор. Сейчас ПЛИС широко используются на этапе создания опытных образцов, а также для выпуска мелкосерийных партий, к которым не предъявляются жёсткие требования. Однако ввиду невысоких параметров микросхем ПЛИС коммерческого исполнения, их применение в аппаратуре, работающей в жёстких климатических условиях, невозможно [1]. ПЛИС промышленного и космического исполнения обладают лучшими параметрами. Однако при среднесерийном производстве они обходятся значительно дороже полупроводниковых микросхем, выпускаемых на базовых матричных кристаллах (БМК). С другой стороны, в отличие

от ПЛИС, микросхемы на БМК невозможно программировать, что не позволяет использовать их для быстрого создания опытных образцов.

В итоге для ускорения разработки первоначально создаётся проект в базисе ПЛИС (БПЛИС), а после отладки и тестирования аппаратуры схему переводят в базис БМК (ББМК) для последующего выпуска партии микросхем.

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СХЕМЫ

После выполнения перевода проекта из БПЛИС в ББМК в большинстве случаев происходит расхождение временных диаграмм (РВД) работы устройства. Естественно, что такие расхождения анализируются только в те моменты, когда схема находится в стабильном состоянии.

Преобладающей причиной появления РВД является неадекватная работа триггеров из-за различных динамических параметров элементов в базисах ПЛИС и БМК [2].

Программное обеспечение (ПО) ConvChip, рассматриваемое в данной статье, позволяет провести анализ причин появления таких РВД. Для этого ПО реализует алгоритм локализации РВД.

Алгоритм локализации РВД содержит комплекс мероприятий, целью которых является вычисление предположений о причинах появления РВД между ТПЛИС и тестом в базисе БМК (ТБМК).

Исходный тест представлен в системах автоматизированного проек-

тирования (САПР) в виде графических временных диаграмм (ВД), которые отражают все переходные процессы, протекающие в схеме. Таким образом, любое изменение входного воздействия (ВВ) может быть представлено несколькими тестовыми векторами (ТВ), но только последний из них для каждого ВВ содержит наименьшее количество переходных процессов [3]. Однако в качестве входных данных для ПО ConvChip используется тест после его экспорта в любой текстовый формат. Тест в экспортном формате представляет собой текстовую интерпретацию графических ВД. Такой тест содержит набор ТВ V_i , имеющих привязку к временной сетке T_i . Таким образом, ТПЛИС описывается как:

$$V = \bigcup_{i=1}^{|V_{\text{тп}}|} M^i \text{ при}$$

$$M^i = \{V_{\text{tr}}^i, V_{\text{pp1}}^i, V_{\text{pp2}}^i, \dots, V_{\text{ppQ}}^i, V_{\text{otv}}^i\} \quad (1)$$

Здесь M^i – множество ТВ, которые появляются при подаче v_{tr}^i , т.е. i -го ВВ.

Итак, M^i состоит из стандартного набора трёх типов ТВ:

1-й тип: v_{tr}^i – i -е ВВ. Этот ТВ показывает место в тесте, в котором происходит очередное изменение состояния входов схемы;

2-й тип: $v_{\text{pp1}}^i, v_{\text{pp2}}^i, \dots, v_{\text{ppQ}}^i$ – ТВ, обозначающие переходные процессы, которые появляются после подачи i -го ВВ v_{tr}^i .

3-й тип: v_{otv}^i – оптимальный тестовый вектор (ОТВ), т.е. вектор, который появляется непосредственно перед подачей следующего ВВ v_{tr}^{i+1} . Иными словами, ОТВ измеряется в конце подачи i -го ВВ. Фактически ОТВ показывает место в тесте, когда схема находится в наиболее устойчивом состоянии.

В № 4, 2005, «Современной электроники» была опубликована статья «Программное обеспечение для перевода проектов ПЛИС из САПР Maxplus II в базис БМК», в качестве автора которой был ошибочно указан Алексей Королёв. Настоящим автором статьи является Сергей Артёмов.

Пусть V_{iv}, V_{pp}, V_{otv} – множества ВВ, переходных процессов и ОТВ соответственно, тогда:

$$V_{im}^i \in V_{iv}, V_{ppk}^i \in V_{pp}, V_{otv}^i \in V_{otv}. \quad (2)$$

Любой i -й ТВ состоит из множества сигналов:

$$S_{INP}^i = \{S_{INP1}^i, S_{INP2}^i, \dots, S_{INPQ}^i\}$$

и

$$S_{OUT}^i = \{S_{OUT1}^i, S_{OUT2}^i, \dots, S_{OUTq}^i\} \quad (3)$$

соответственно для входов и для выходов, т.е.

$$V_x^i = S_{INP}^i \cup S_{OUT}^i. \quad (4)$$

Для выполнения этого алгоритма схема представляется как направленный граф, вершины которого соответствуют элементам $e \in E$, а рёбра – связям между ними [4]. Причём каждому $e \in E$ ставится в соответствие пара чисел s_i^k/S_i^k , где s_i^k – сигнал на выводе i -го элемента в ТБМК, а S_i^k – в ТПЛИС, на котором ОТВ V_{otv}^k . Таким образом, РВД на i -м выводе элемента, на котором ОТВ описывается как:

$$S_i^k \in V_{otv}^k, s_i^k \in v_{otv}^k \Rightarrow s_i^k \neq S_i^k. \quad (5)$$

Рассмотрим фрагмент графа на рис. 1.

Причиной любых различий ответных реакций на выводе схемы Y является наличие внутри схемы некоторого элемента H (см. рис. 1) на выводе, у которого тоже есть различия ответных реакций в ТПЛИС и ТБМК. Такой элемент H называют причиной появления РВД на выводе Y . В свою очередь, причиной появления различий в ответных реакциях на выводе элемента H является существование элемента E , выход которого является источником сигналов для элемента H . На элементе E также наблюдаются различия в ответных реакциях, т.е. РВД. Такой элемент E называют *причиной РВД* по отношению к элементу H . В свою очередь элемент H является *следствием РВД* для элемента E (и так далее, вплоть до элемента A внутри схемы, на котором впервые появляются РВД). Таким образом формируются схмотехнические предположения (СП), состоящие из цепочек взаимосвязанных причин и следствий: начиная с этого элемента A вплоть до выхода схемы Y , на котором наблюдаются

различия между исходным ТПЛИС и конечным ТБМК на ОТВ [5].

Обозначим символом « \rightarrow » одно такое СП. Слева от этого символа находится причина, а справа – следствие СП.

Алгоритм локализации РВД для схемы, представленной в разных базисах, состоит из нескольких этапов, которые будут показаны на примере рис. 1.

Этап 1. Создание СП

Пусть R – выход схемы, на котором наблюдается РВД между: $V_{otv}^k = (V_{otv1}^k, \dots, V_{otvn}^k, \dots, V_{otvq}^k)$ из ТПЛИС и $V_{otv}^k = (V_{otv1}^k, \dots, V_{otvn}^k, \dots, V_{otvq}^k)$ из ТБМК. Тогда с выходом R ассоциировано множество E^* связанных между собой элементов e_n , на выходах которых наблюдается РВД на V_{otv}^k . Для элементов из E^* следует, что $\forall e_i \in E^* \Rightarrow S_i^k \in V_{otv}^k, s_i^k \in v_{otv}^k \Rightarrow$

$$s_i^k \neq S_i^k, \forall V_{otv}^k \in V_{otv}^k, \forall v_{otv}^k \in v_{otv}^k. \quad (6)$$

Аналогично записывается для выхода R :

$$S_R^k \in V_{otv}^k, s_R^k \in v_{otv}^k \Rightarrow S_R^k \neq s_R^k. \quad (7)$$

Формирование СП выполняется следующим образом:

1. Выбирается элемент $e_i \in E^*$, на выходе которого наблюдается РВД;
2. Выполняется поиск элемента $e_k \in E^*$, хотя бы один вход которого соединён с выходом e_i ;
3. Формируется СП $e_i \rightarrow e_k$, в котором e_i является причиной, а e_k – следствием.

Таким образом, в общем виде будут сформированы следующие СП:

$$1) e_1 \rightarrow e_2; 2) e_2 \rightarrow e_3; 3) e_3 \rightarrow \dots \rightarrow e_{q-1}; 4) e_{q-1} \rightarrow e_q, \text{ где } \forall e_i \in E^*, q = |E^*|. \quad (8)$$

Здесь e_1 – наиболее удалённый элемент от R , а e_q , наоборот, – наиболее близко расположенный к R . Тогда E_1, E_0, E_Z – множества элементов $e_i \in E^*$, на выходах которых наблюдаются РМ соответственно $S_i = 1, S_i = 0, S_i = Z, s_i \in V_{otv}^k \in V_{otv}^k$, т.е. $E^* = E_1 \cup E_0 \cup E_Z$. Причём не принципиально, какие сигналы $s_i \in V_{otv}^k \in V_{otv}^k$ в ТБМК имеют эти элементы $e_i \in E^*$. Для элементов, у которых выход связан со входом, СП не выдвигается, т.е. $e_k \rightarrow e_i$ при $I = k$ не формируется.

Комментарии к примеру из рис. 1 для данного этапа

Для примера на рис. 1 следует, что вывод схемы $R = Y$ и $E^* = (A, B, E, H, Y, O)$.

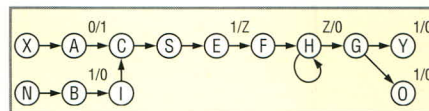


Рис. 1. Пример фрагмента схемы с РВД в виде графа

Сначала выдвигается предположение, что РВД на этом элементе (см. вершину A) является СП для ближайшего РВД (см. вершину E), которое появляется в схеме. Это ближайшее РВД является следствием для СП и т.д. вплоть до выхода Y . Из рисунка следует, что вершины X, N, I, F, G, C, S не участвуют в формировании СП (поскольку на них нет РВД), т.е. $X, N, I, F, G, C, S \notin E^*$. Рассуждая аналогично для РВД на выходе схемы $R = O$, получаем вместо (8) следующие СП:

$$1) A \rightarrow E, 2) B \rightarrow E, 3) E \rightarrow H, 4) H \rightarrow Y, 5) H \rightarrow O. \quad (9)$$

$H \rightarrow H$ не указывается в (9), хотя оно является правильным.

Этап 2. Установка виртуальных модулей в схему

Виртуальным модулем (ВМ) называют подсхему, устанавливаемую на выход элемента, являющегося причиной, для проверки сформированных СП типа (8). ВМ предназначен для имитации сигнала на выходе причины СП при моделировании схемы в ББМК. Объясним предназначение ВМ более подробно.

Пусть сигналы на выходе причины e_i в ТПЛИС и ТБМК при моделировании без ВМ будут соответственно S_i и s_i . Обозначим за s_i^j сигнал на выходе e_i после моделирования схемы в ББМК с установленными ВМ. Если изначально реакция на выходе e_i не совпадала $S_i \neq s_i$, то при помощи ВМ выполняется имитация сигнала на выходе причины, так что в итоге $S_i = s_i^j$. Очевидно, что в схему в ББМК установка ВМ не выполняется.

Для конкретного e_i не имеет значения, какой сигнал s_i был в ТБМК. Значение имеет только тип сигнала S_i в ТПЛИС. Следовательно, все причины e_i для выражения (8) по типу сигнала S_i на выходе в ТПЛИС разделяются на три типа:

- 1) На выходе причины СП «логическая единица» в ТПЛИС, т.е. $S_i = 1$;
- 2) На выходе причины СП «логический ноль» в ТПЛИС, т.е. $S_i = 0$;
- 3) На выходе причины СП «высокоомное состояние» в ТПЛИС, т.е. $S_i = Z$.

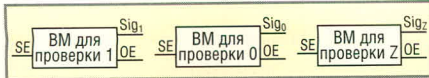


Рис. 2. Общий вид ВМ для имитации сигналов соответственно 1, 0 и Z

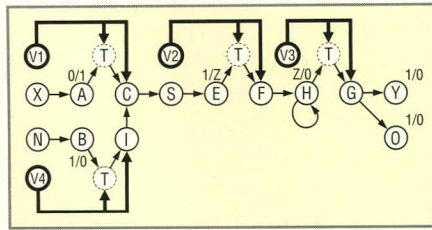


Рис. 3. Схема после подключения ВМ для проверки СП (9)

Для каждого из этих трёх типов существует ВМ, который подаёт необходимый тип сигнала S_i соответственно с выходов Sig_1, Sig_0, Sig_Z . На рис. 2 показан общий вид ВМ трёх этих типов.

В качестве ВМ может применяться любая стандартная схема ВМ из библиотеки или нестандартная схема ВМ, которая удовлетворяет следующим условиям:

1. Если $SE = 1$, то на выходах должны появляться сигналы $Sig_1 = 1, Sig_0 = 0, Sig_Z = Z$. Таким образом, при $SE = 1$ вместо сигнала, предусмотренного работой схемы S_b , на выходе причины $e_i \in E^*$ подаётся сигнал s'_i с выхода Sig_1, Sig_0, Sig_Z ;
2. Если $SE = 0$, то на выходах будет сигнал $Sig_1 = Z, Sig_0 = Z, Sig_Z = Z$. Таким образом, при $SE = 0$ вместо сигнала s'_i с выводов Sig_1, Sig_0, Sig_Z , на выход причины e_i подаётся сигнал S_b , предусмотренный работой схемы в БМК;
3. Если $OE = 1$, то элемент Т пропускает сигнал S_i со своего входа на выход. Выход OE предназначен для управления элементом Т с третьим

состоянием, устанавливаемый на выход каждого $e_i \in E^*$;

4. Если $OE = 0$, то элемент Т пропускает сигнал S_i со своего входа на выход. При $OE = 0$ сигнал на выход причины поступает с выхода Sig_1, Sig_0, Sig_Z .

Итак, на данном этапе алгоритма выполняется следующее:

1. Выбирается схема для ВМ в соответствии с этими условиями;
2. Выполняется установка ВМ на выходы всех причин $e_i \in E^*$, входящих в СП из выражения (8);
3. Управляющие входы SE всех ВМ устанавливаются как внешние выходы схемы. Именно с помощью SE осуществляется имитация переходных процессов $S_{pp1}^i, S_{pp2}^i, \dots, S_{pp Qb}^i$ которые появляются на i -м такте v_m^i , в конце которого наблюдается РВД на v_{out}^i .

Комментарии к примеру из рис. 1 для данного этапа

На рис. 3 показан способ подключения ВМ для рис. 1, т.е. для проверки сформированных СП (9).

Здесь Т – элемент в БМК с третьим состоянием, который управляется ВМ. Причём $V1, V2, V3, V4$ – ВМ, которые подают на элементы значения $Sig_1 = 1, Sig_Z = Z, Sig_0 = 0$ и $Sig_0 = 0$ соответственно. Таким образом, для анализа (9) используются следующие ВМ:

- 1) $V1$ для $A \rightarrow E$, 2) $V2$ для $E \rightarrow H$, 3) $V3$ для $H \rightarrow Y$ и $H \rightarrow O$, 4) $V4$ для $B \rightarrow E$.

На рис. 4 показаны подсхемы, которые были выбраны для ВМ $V1, V2, V3, V4$ в соответствии с рис. 2. Символами на рисунке обозначены следующие элементы:

- Т – элементы с третьим состоянием, управляемые ВМ;

- 1, 2, 3, 4 – элементы, входящие в состав ВМ $V1, V2, V3, V4$ соответственно (границы ВМ показаны пунктиром);
- Y, O, X, N – выходы схемы;
- A', B', H', E – выходы элементов $e_i \in E^*$, на которых проверяются СП, т.е. это ВВС, устанавливаемые для снятия РМ с выходов элементов А, В, Е, Н соответственно;
- $Inp1, Inp2$ – произвольные входы схемы в БМК.

Все остальные символы обозначают элементы из примера на рис. 1.

Например, целью установки $V1$ является проверка истинности СП $A \rightarrow E$ с помощью имитации необходимого сигнала s'_A на выходе элемента А, являющегося причиной СП по отношению к Е. Иными словами, если до установки ВМ на выходе А было в ТПЛИС $S_A = 0$ и в ТБМК $S_A = 1, S_A \neq s'_A$, то после установки $V1$ в ТБМК будет $s'_A = 0$ и $S_A = s'_A$, т.е. выполнится имитация сигнала на выходе А. Фактически при $SE_1 = 1$ сигнал $s'_A = 1$ с выхода Sig_1 ВМ $V2$ попадёт на выход А, а при $SE_1 = 0$ попадёт сигнал со схемы s'_A . Естественно, чтобы не было конфликтов сигналов s'_A и s_A , элемент Т и ВМ работают в противофазе, т.е. при $SE_1 = 1$ на элемент Т подаётся $OE = 0$, а при $SE_1 = 0$ наоборот, $OE = 1$.

Этап 3. ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ для входов SE в ТБМК

В соответствии с выдвинутыми СП выполняется ранжирование следствий СП. Ранжирование необходимо для того, чтобы во время моделирования установить порядок включения ($SE = 1$) ВМ для проверки СП из (8). Ранг № 1 соответствует следствию СП, наиболее близко стоящему ко входу схемы (например, А и В на рис. 1), а максимальный ранг № N соответствует следствию СП на выходе схемы (например, О и Y на рис. 1). Таким образом, множество СП разделяются по номеру ранга j указанного в них следствия на отдельные группы. Пусть $(e_1, e_2, \dots, e_k) \in E^*$ – множество элементов, участвующих в СП и имеющих следствие e одинакового ранга $j \in [1, N]$. Тогда имеем СП в количестве K штук, входящих в одну группу: $e_1 \rightarrow e, e_2 \rightarrow e, \dots, e_i \rightarrow e, \dots, e_k \rightarrow e$. Обозначим за символ «+» объединение нескольких разных причин, имеющих одно одинаковое следствие e . Тогда запишем более компактную форму этого СП: $e_1 + e_2 + \dots + e_i + \dots + e_k \rightarrow e$.

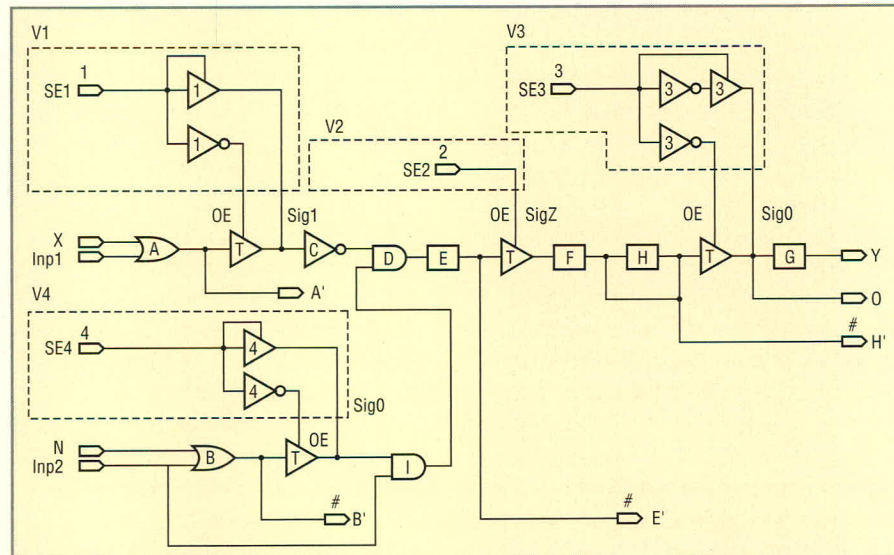


Рис. 4. Типовые структуры ВМ для проверки СП (9)

Поскольку e является следствием ранга j для всех e_i , то назовём это выражение СП ранга j . Необходимо проверить не только СП $e_i \rightarrow e, \forall i \in [1, k]$, но и их комбинации. Следовательно, необходимо проверить $2^k - 1$ таких комбинаций. Это необходимо, поскольку из $\forall i, j \in [1, k]: e_i \rightarrow e, e_k \rightarrow e$ не следует $e_i + e_k \rightarrow e$. Иными словами, при *поочерёдном* включении ВМ ($SE = 1$) на e_i, e_k состояние выхода на e может отличаться от состояния при одновременном включении ВМ на e_i, e_k . Для формирования этих комбинаций осуществляется последовательный перебор причин e_k через операцию «+». Рассмотрим эти $2^k - 1$ комбинаций: (1) $e_1 \rightarrow e$; (2) $e_2 \rightarrow e$; ..., (i) $e_i \rightarrow e$; ..., (k) $e_k \rightarrow e$; (k+1) $e_1 + e_2 \rightarrow e$; (k+2) $e_1 + e_2 + e_3 \rightarrow e$; ...; (2^k - 2) $e_1 + e_2 + \dots + e_{k-1} \rightarrow e$; (2^k - 1) $e_1 + e_2 + \dots + e_{k-1} + e_k \rightarrow e$.

Все эти комбинации для удобства записываются через операцию #, т.е. выражение

$$e_1 \# e_2 \#, e_i \#, \dots, \# e_k \rightarrow e. \quad (10)$$

Для (10) необходим перебор $2^k - 1$ комбинаций, которые для удобства записываются одним СП через операцию #. Обозначим за операцию * объединение нескольких разных следствий $e \rightarrow e_i, e \rightarrow e_k$, имеющих одну общую причину, т.е. СП $e \rightarrow e_i^* e_k$. В тех СП, где стоит операция «*», необходимости в переборе $2^k - 1$ комбинаций нет, поскольку для проверки $e \rightarrow e_i, e \rightarrow e_k$ достаточно проверить только вариант $e \rightarrow e_i^* e_k$, а необходимость проверки $e \rightarrow e_i$ и $e \rightarrow e_k$ по отдельности отпадает.

Для проверки этих $2^k - 1$ комбинаций, образуемых СП из (10) на одном $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^*$, формируется ОТВ ($V_{OTV1}^x, \dots, V_{OTV(2^k-1)}^x$) в количестве $2^k - 1$ штук. Напомним, что V_{OTV}^* – множество ОТВ, на которых наблюдаются РВД. Каждому ставится в соответствие множество V_{OTV}^{**} , которое проверяет все СП типа (8), имеющие следствия всех рангов $j \in [1, N]$ для РВД, появляющихся на конкретном $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^*$. Аналогично (10) для проверки СП $e_1' \rightarrow e', e_2' \rightarrow e', \dots, e_i' \rightarrow e', \dots, e_k' \rightarrow e'$ для причин $(e_1', e_2', \dots, e_k') \in E^*$, имеющих ранг j и следствие в виде $e' \neq e$, формируются другие $2^k - 1$ штук ОТВ ($V_{OTV1}^x, \dots, V_{OTV(2^k-1)}^x$), а следовательно:

$$e_1' \# e_2' \# \dots \# e_i' \# \dots \# e_k' \rightarrow e'. \quad (11)$$

Все множества ОТВ, которые описывают СП ранга j , объединяются в

множество V_{OTVj}^{**} . Например, для выражений (10) и (11) это множество:

$$V_{OTVj}^{**} = \left(V_{OTV1}^x \dots V_{OTV(2^k-1)}^x \right) \cup \left(V_{OTV1}^x \dots V_{OTV(2^k-1)}^x \right).$$

В общем виде для одного ранга j и конкретного $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^*$ получается множество ОТВ:

$$V_{OTVj}^{**} = \bigcup_{i=1}^{|C_j|} \left\{ V_{OTV1}^x, \dots, V_{OTV f(C_j)}^x \right\}, \quad (12)$$

где C_j – множество следствий ранга j , входящих в СП. Причём $2^{f(C_j)}$ – количество ОТВ, формируемых для проверки i -го следствия СП, $i \in [1, C_j]$.

Здесь $f(C_j)$ – функция, вычисляющая количество различных следствий, причём все следствия, описанные через операцию *, не учитываются. Например, для (10) и (11) получим $C_j = \{e, e'\}$, причём при различных следствиях $e \neq e' f(C_j)$ будет равно 2, а при $e = e'$ – единице.

В свою очередь, такие V_{OTVj}^{**} из (12) объединяются в множество V_{OTV}^{**} ОТВ, формируемых для всех СП, состоящих из элементов E^* , т.е.:

$$V_{OTV}^{**} = \bigcup_{j=1}^N V_{OTVj}^{**}. \quad (13)$$

На каждом ОТВ из множества V_{OTVj}^{**} проверяется одна из $2^k - 1$ комбинаций. Например, для выражения (10) при $k = 3$ множество V_{OTVj}^{**} будет иметь $|V_{OTVj}^{**}| = 8 - 1 = 7$. Иными словами, из (10) получим $e_1 \# e_2 \# e_3 \rightarrow e$, которые проверяются ОТВ в количестве $2^3 - 1 = 7$:

- 1) $SE_1 = 0, SE_2 = 0, SE_3 = 1$, проверяется $e_3 \rightarrow e$;
- 2) $SE_1 = 0, SE_2 = 1, SE_3 = 0$, проверяется $e_2 \rightarrow e$;
- 3) $SE_1 = 0, SE_2 = 1, SE_3 = 1$, проверяется $e_2 + e_3 \rightarrow e$;
- 4) $SE_1 = 1, SE_2 = 0, SE_3 = 0$, проверяется $e_1 \rightarrow e$;
- 5) $SE_1 = 1, SE_2 = 0, SE_3 = 1$, проверяется $e_1 + e_3 \rightarrow e$;
- 6) $SE_1 = 1, SE_2 = 1, SE_3 = 0$, проверяется $e_1 + e_2 \rightarrow e$;
- 7) $SE_1 = 1, SE_2 = 1, SE_3 = 1$, проверяется $e_1 + e_2 + e_3 \rightarrow e$.

Если бы все семь этих комбинаций СП были бы доказаны, то вместо них для более компактной записи возможно написать $e_1 \# e_2 \# e_3 \rightarrow e$. Если хотя бы одна комбинация из 7 оказалась *опровергнутой*, то СП через операцию # записывать *нельзя*.

Итак, для каждого ОТВ из V_{OTV}^* , на котором наблюдаются РВД, для эле-

ментов E^* ставится в соответствие множество ОТВ V_{OTV}^{**} типа (13). Такие множества формируются для всех предположений (8), для каждого $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^*$, на котором наблюдается РВД.

Комментарии к примеру из рис. 1 для данного этапа

Рассмотрим формирование V_{OTV}^{**} для СП (9). Выполняется ранжирование следствий СП: 1-й ранг для E; 2-й ранг для H и 3-й ранг – для Y, O. Выражение (11) запишется как:

- 1) $A + B \rightarrow E$, поэтому $|V_{OTV1}^{**}| = 2^2 - 1 = 3$, т.е. $f(C_1) = 1$ и $C_1 = (E)$;
- 2) $E \rightarrow H$, поэтому $|V_{OTV2}^{**}| = 2^1 - 1 = 1$, т.е. $f(C_2) = 1$ и $C_2 = (H)$;
- 3) $H \rightarrow Y^*O$, поэтому $|V_{OTV3}^{**}| = 2^1 - 1 = 1$, т.е. $f(C_3) = 1$ и $C_3 = (Y, O)$.

Выход элемента O входит в множество $C_3 = (Y, O)$, поскольку O и Y принадлежат к одному СП ранга 3. Однако они записаны через операцию *, а следовательно, осуществить проверку СП для O и Y можно на одних и тех же ОТВ, поэтому вместо $f(C_3) = 2$ запишется $f(C_3) = 1$. Иными словами, для СП, описанных через операцию *, перебирать все комбинации не требуется, а для операции «+» – необходимо. Итак, количество следствий C_j для ранга $j \in [1, 3]$ везде одинаково $f(C_j) = 1$. Из (12) следует, что для проверки (9) на одном V_{OTV}^x из множества V_{OTV}^* необходимы следующие множества ОТВ:

$$1) V_{OTV1}^{**} = \bigcup_{i=1}^1 \left\{ V_{OTV1}^x, V_{OTV2}^x, V_{OTV3}^x \right\}$$

для $B \rightarrow E, A \rightarrow E, A + B \rightarrow E$; (14)

$$2) V_{OTV2}^{**} = \bigcup_{i=1}^1 \left\{ V_{OTV1}^x \right\}$$

для проверки $E \rightarrow H$; (15)

$$3) V_{OTV3}^{**} = \bigcup_{i=1}^1 \left\{ V_{OTV1}^x \right\}$$

для проверки $H \rightarrow O^*Y$. (16)

Из (13) следует, что $V_{OTV}^{**} = V_{OTV1}^{**} \cup V_{OTV2}^{**} \cup V_{OTV3}^{**}$.

Этап 4. Доказательство и опровержение СП

После установки входов SE в ТБМК для сформированных ОТВ из (13) выполняются следующие действия:

1. Выполняется моделирование схемы с установленными ВМ. Для проверки всех СП на конкретном V_{OTV}^x необходимо включить ВМ, т.е. имитировать подачу сигнала $S_i = s_i$ на выходе каждой причины СП. Для этой имитации в начале каждого ВВ V_r^x на

выходы элементов, у которых сигнал $S_i = 1$, подаётся $Sig_i = s'_i = 1$. Аналогично для $S_i = 0$ и $S_i = Z$ подаются сигналы $Sig_0 = s'_i = 1$ и $Sig_Z = s'_i = 1$. При необходимости при помощи Sig выполняется имитация всех переходных процессов $S_{pp1}^x, S_{pp2}^x, \dots, S_{ppQx}^x$, которые появляются между V_n^x и V_{OTV}^x , т.е. ВМ реализует $S_{pp1}^x = S_{pp1}^x, S_{pp2}^x = S_{pp2}^x, \dots, S_{ppQx}^x = S_{ppQx}^x$.

2. Выполняется анализ доказательства и опровержения стандартного СП: $\forall e_j, e_i: e_i \rightarrow e_j$, где $s_1 \neq s_i, s_j \neq s_j$ и $S_i = s'_i$:

- если $s'_j = S_j$ то СП будет доказано. Иными словами, СП $e_i \rightarrow e_j$ считается доказанным, если после установки ВМ на выход причины e_i на следствии e_j РВД исчезло, т.е. $s'_j = S_j$. Обозначим символом «!» доказательство такого СП;
- если $s'_j \neq S_j$, то СП будет опровергнуто. Иными словами, СП считается опровергнутым, если РВД не исчезло, т.е. $s'_j \neq S_j$, хотя изменения сигнала $s_j \neq s'_j$ допустимы. Обозначим символом «?» опровержение СП.

3. Среди СП отыскиваются следствия e_a ранга j , т.е. $e_i^! \rightarrow e_a$, которые являются причинами СП ранга $(j + 1)$, т.е. $e_a^! \rightarrow e_c$. После этого такие СП объединяются: $e_i^! \rightarrow e_a^! \rightarrow e_c$.

4. Множества СП записываются более компактно, через операции +, *, #. Например: $e_k + e_i^! \rightarrow \dots \rightarrow e_x^* \dots e_a^! \rightarrow e_j^* \# e_c \dots \rightarrow \dots$

Очевидно, что перечисленные действия выполняются отдельно для каждого ОТВ $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^x$, на котором наблюдаются РВД.

Комментарии к примеру из рис. 1 для данного этапа

Проведём описанные действия для выражения (9) на V_{OTV}^x при $X = 3$:

1. Рассмотрим моделирование схемы в БМК после установки ВМ V1, V2, V3, V4 для анализа (9) на $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^x$ и $R = Y$. Здесь: $A \in E_1$; $B, H \in E_0$; $E \in E_Z$.
- на ВВ V_n^x и V_n^x ВМ будет отключён, т.е. на элементы С, F, G, I будут подаваться сигналы Z, а элементы А, В, Н, Е будут работать, как предусмотрено схемой.
- для проверки $A + B \rightarrow E$ из (9) в начале V_n^x с ВМ V1, V4 поступит сигнал OE = 0 на вход элементов Т, т.е. «отключит»

элементы А, В от сигнала s_i со схемы. После этого на вход элементов I и С подадутся сигналы соответственно $s'_i = 0$ и $s'_c = 1$. Если на ОТВ V_{OTV}^x на выходе следствия Е сигналы совпадут, т.е. $S_E = s'_c$, то предположение $A + B \rightarrow E$ доказано, иначе СП будет опровергнуто. Иными словами, если в V_{OTV}^x на выходе элемента Е вместо 1/Z будет Z/Z, то $A + B \rightarrow E$ – верно. Этому СП соответствует $OTV V_{OTV1}^x \in V_{OTV1}^x \in V_{OTV1}^x$ из выражения (14);

- аналогично проверяются $A \rightarrow E$ и $B \rightarrow E$ путём включения V1 и V4. Однако в отличие от $A + B \rightarrow E$, здесь включение $SE_1 = 1$ и $SE_4 = 1$ будет выполняться не одновременно, а поочередно. Этим СП соответствует ОТВ $V_{OTV2}^x, V_{OTV3}^x \in V_{OTV1}^x$, из выражения (14);
- далее повторяется ВВ V_n^x , но ВМ с помощью элемента Т «отключает» только элемент Е и подаёт на вход элемента F сигнал Z. Если в V_{OTV}^x на выходе элемента Н сигналы совпадут, т.е. вместо Z/0 будет 0/0, то СП $E \rightarrow H$ верно. Если будет наблюдаться вместо Z/0, например, 1/0 или X/0, то $E \rightarrow H$ будет опровергнуто. Этому СП соответствует ОТВ $V_{OTV1}^x \in V_{OTV2}^x$ из выражения (15);
- и, наконец, ВВ V_n^x повторяется ещё раз, но ВМ «отключает» только элемент Н, и на вход элемента G подаётся 0. Если на Y и O в V_{OTV}^x значения в ТБМК и ТПЛИС совпадут, то СП $H \rightarrow Y^*O$ верно. Этому СП соответствует ОТВ $V_{OTV1}^x \in V_{OTV3}^x$ из выражения (16). Аналогичным образом ВМ используются не только на ОТВ V_{OTV}^x , но и на всех остальных ОТВ $V_{OTV}^x \in V_{OTV}^x$.

2. СП (9) соответствуют РВД, показанные на рис. 3. В таблице показаны все ОТВ, необходимые для анализа (9) на конкретном ОТВ V_{OTV}^x при $x = 3$ из V_{OTV}^x . В таблице подчёркнуты сигналы s'_i на выходе следствия, которые используются для доказательства СП (9), а курсивом выделены сигналы s'_i на выходе причины. В графе «СП» указан результат анализа СП (9) после моделирования. Из таблицы следует, что после моделирования СП $E \rightarrow H$ опровергнуто, а остальные доказаны.

Фрагмент ТБМК с установленными выводами SE для (9)

SE1	SE2	SE3	SE4	X	N	Y	O	A'	B'	E'	H'	СП	Предположения
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	Z	Z	!	Проверка $A \rightarrow E$
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	Z	Z	!	Проверка $B \rightarrow E$
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	Z	Z	!	Проверка $A + B \rightarrow E$
0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	Z	1	?	Проверка $E \rightarrow H$
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	!	Проверка $H \rightarrow O^*Y$

3. Среди доказанных СП найдено следствие Н ранга 2, т.е. $E \rightarrow H$, которое является причиной для СП ранга 3, т.е. $H \rightarrow O$. Поэтому выполняется объединение $E? \rightarrow H! \rightarrow O$. Тогда получаем: (1) $B! \rightarrow E$; (2) $A! \rightarrow E? \rightarrow H! \rightarrow O$; (3) $H! \rightarrow Y$; (4) $A + B! \rightarrow E$.

4. Множества СП записываются более компактно, через операции +, *, #:

$$1) A \# B! \rightarrow E? \rightarrow H! \rightarrow Y^*O. \quad (17)$$

Аналогично (17) получаем СП для других ОТВ:

- 1) $A + B! \rightarrow E! \rightarrow H! \rightarrow Y^*O$ на ОТВ V_{OTV}^x с РВД;
- 2) $A? \rightarrow E? \rightarrow H, B! \rightarrow E, H! \rightarrow Y^*O$ на ОТВ V_{OTV}^x с РВД;
- 3) $A + B? \rightarrow E? \rightarrow H? \rightarrow Y, H! \rightarrow O$ на ОТВ V_{OTV}^x с РВД.

В общем виде одни и те же СП могут быть одновременно опровергнуты и доказаны на одних и тех же РВД, но в разные моменты тестового времени. Например, для V_{OTV}^x СП $E! \rightarrow H$ доказано, а для V_{OTV}^x $E? \rightarrow H$ – опровергнуто.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, было рассмотрено ПО ConvChip, позволяющее анализировать причины появления РВД. Существуют и другие методы и алгоритмы, которые реализует данное ПО, в частности – алгоритм для сохранения временных соотношений, а также методы для анализа и модификации схемы и тестов [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стещенко В.Е.* ПЛИС фирмы Altera: проектирование устройств обработки сигналов. М.: ДОДЭКА, 2000.
2. *Бойко В.И.* Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства. СПб.: БХВ – Петербург, 2004.
3. *Шелестов И.П., Семёнов Б.Ю.* Путеводитель в мир электроники. Книга 1. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
4. *Оре О.* Теория графов. 2-е изд. М.: Наука, 1980.
5. *Штулин С.Н., Губанов Д.А., Стещенко В.Е., Храпов В.Ю.* Тенденции развития ПЛИС и их применение для цифровой обработки сигналов. Электронные компоненты. 1999.
6. *Артёмов С.А.* Методы модификации структуры ПЛУ, при конвертировании проектов. Сетевой электронный научный журнал. Системотехника, 2005. Вып. № 3. www.systech.miem.edu.ru/2005/n3/Artemov.doc.

Электронные компоненты для систем отображения и обработки видеоинформации



SHARP | Microelectronics

Электронный каталог продукции Sharp Microelectronics представлен на сайте: www.sharp-sme.com

По вопросам:

- приобретения продукции Sharp Microelectronics
- заказа образцов
- предоставления конструкторской документации
- получение технической поддержки

обращайтесь info@prochip.ru

PROSOFT®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru

Схемы, методики и сценарии тестирования SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей

(часть 5)

Сергей Лоцицкий (г. Брянск)

В пятой части статьи рассматривается тестирование ММ ОУ в составе схемы усилителя: анализ времени установления выходного напряжения с заданной погрешностью и величины переходных выбросов нарастающего и спадающего сигналов.

ТЕСТИРОВАНИЕ ММ ОУ В СОСТАВЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ

Ряд параметров ОУ изготовители нормируют косвенно – в том смысле, что нормируются, строго говоря, не параметры собственно ОУ, а параметры неинвертирующего и/или инвертирующего усилителя с оговоренными номиналами цепи обратной связи, нагрузки и, в отдельных случаях, цепи частотной коррекции. Схема, изображённая на рис. 48, позволяет осуществить тестирование ММ ОУ как в составе инвертирующего, так и в составе неинвертирующего усилителя.

Часть схемы, в которую входят ОУ DA1, резисторы Rg, Rf, Ri, RL, конден-

саторы Ck, CL и источники входных сигналов Vi, Vn, отличается от соответствующей части рассмотренной выше схемы на рис. 41 только тем, что в схеме на рис. 48 условные операторы дополнительно используются для определения атрибутов VAC источников Vi и Vn. Указанная часть схемы (о назначении других компонентов схемы рис. 48 сказано ниже) используется для тестирования частотных параметров усилительных схем, а также для оценки (на качественном уровне) характера их переходных характеристик.

Рассмотрим несколько типичных примеров тестирования. На рис. 49, заимствованном из Datasheet

(www.ti.com), изображены две АЧХ повторителя напряжения, реализованного на ОУ THS4011, которые соответствуют величинам сопротивлений резистора Rf, равным 100 и 270 Ом.

Из надписей на рис. 49 следует, что повторитель нагружен на сопротивление 150 Ом и питается от источников с напряжением ±15 В. Как получить аналогичные АЧХ ММ ОУ THS4011 в схеме тестирования? Задайте численные величины глобальных параметров, которые указаны на рис. 48. Щелчком указателя мыши на пиктограмме Setup Analysis откройте окно Analysis Setup, а в нём – диалоговое окно AC Sweep, и задайте следующие параметры моделирования:

- AC Sweep type: Decade;
- Pts/Decade: 101;
- Start Freq.: 100K;
- End Freq.: 1G.

Закройте окно AC Sweep, откройте окно Parametric и задайте следующие параметры моделирования:

- Sweep Var. Type: Global Parameter;
- Name: Rf;
- Sweep type: Value List;
- Values: 100, 270.

Закройте открытые окна, осуществите прогон моделирования схемы и выведите на экран Probe трассу DB(V(Out)). Установите логарифмический масштаб оси X, а диапазон Y-переменной ограничьте величинами -25 и +5. В результате выполнения указанных действий на экран Probe выводятся графики (см. рис. 50), которые наглядно сопоставимы с графиками Datasheet (рис. 49) и позволяют оценить степень соответствия АЧХ моделируемого и реального повторителя напряжения.

Рассмотрим пример тестирования в режиме Transient. На рис. 51, заимствованном из Datasheet, изображены четыре переходные харак-

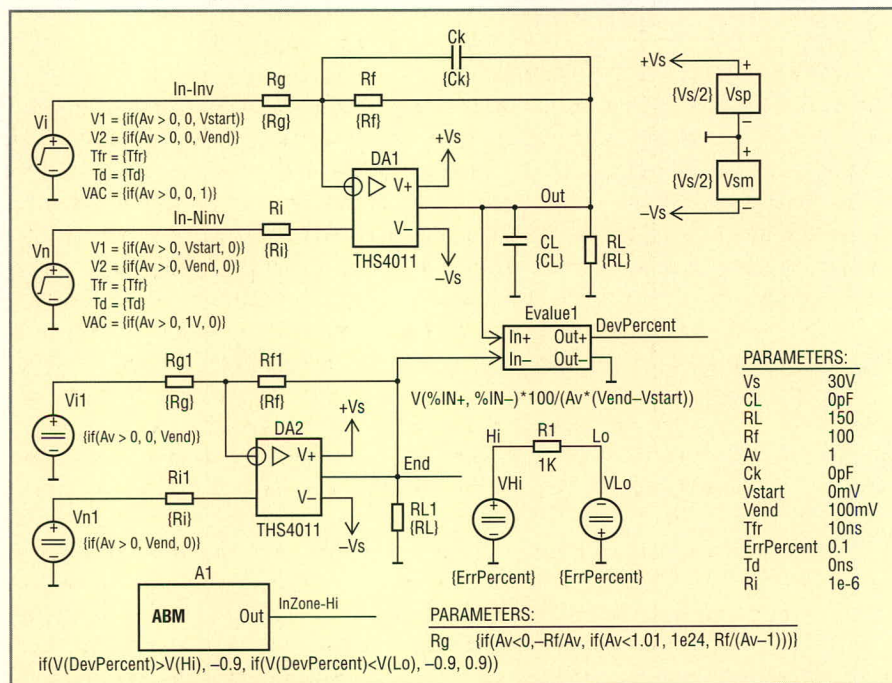


Рис. 48. Схема тестирования ММ ОУ в составе схемы усилителя

теристики повторителя напряжения на ОУ THS4041, соответствующие различным величинам ёмкости нагрузки.

Задайте следующие величины глобальных параметров: $V_s = 30V$, $C_L = 10pF$, $R_L = 150$, $R_f = 200$, $A_v = 1$, $C_k = 0$, $V_{start} = 0$, $V_{end} = -1V$, $T_{fr} = 1ns$, $T_d = 50ns$. Последовательно открыв окна Analysis Setup и Transient, установите следующие параметры моделирования:

- Final Time: 300ns;
- Step Ceiling: 30ps.

Закройте окно Transient и откройте окно Parametric, в котором задайте параметры:

- Sweep Var. Type: Global Parameter;
- Name: CL;
- Sweep Type: Value List;
- Values: 10p, 100p, 1n, 0.01u.

Осуществите прогон моделирования и выведите на экран Probe трассы V(Out)@1+1.5, V(Out)@2+3, V(Out)@3+4, V(Out)@4+4.5. Цепочкой команд Plot → Axis Settings программы Probe откройте окно Axis Settings и, поочерёдно активизируя вкладки Y Axis, X Grid и Y Grid, выполните следующие действия:

1. Диапазон Y-переменной ограничьте величинами 0 и 5 В;
2. Задайте вывод сетки на поле графика с шагом 50 нс по оси X и с шагом 0,5 В – по оси Y;
3. Закройте диалоговые окна.

Вы должны увидеть на экране Probe графики, изображённые на рис. 52, которые наглядно сопоставимы с графиками Datasheet (рис. 51). Заметим, что сопоставимость результатов анализа с данными Datasheet достигается за счёт:

1. Задания величины атрибута Td (времени задержки скачка входного напряжения) источника V2 равным 50 нс;
2. Разнесения по оси Y графиков, соответствующих различным вариантам анализа схемы, путём добавления к выводимым на дисплей выходным переменным постоянных смещений: V(Out)@1+1.5, V(Out)@2+3, V(Out)@3+4, V(Out)@4+4.5.

Во временной области качество усилителя оценивают по искажениям его переходной характеристики (Step Response), которые обычно характеризуются двумя показателями – временем t_{ss} установления с заданной погрешностью δ [%] и макси-

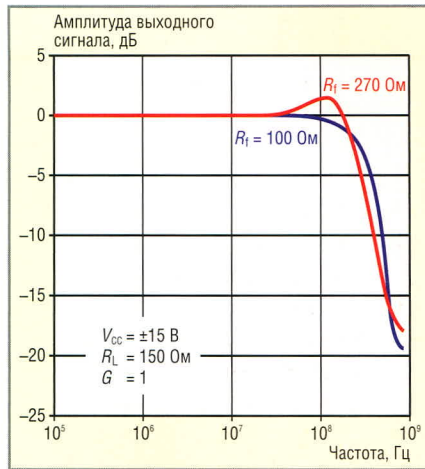


Рис. 49. АЧХ повторителя напряжения на ОУ THS4011

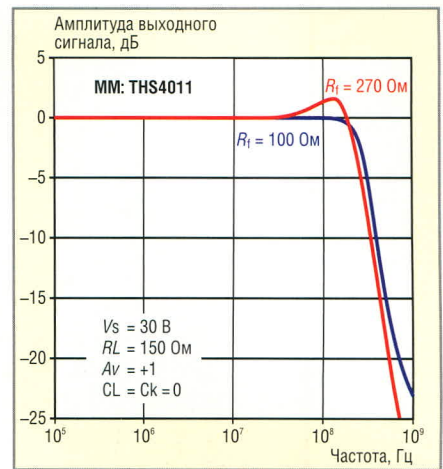


Рис. 50. Результаты тестирования АЧХ повторителя напряжения (MM ОУ THS4011)

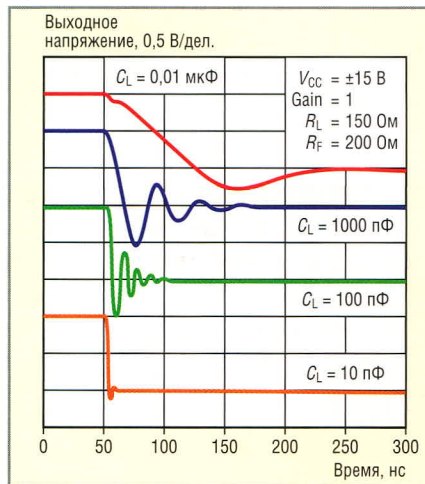


Рис. 51. Переходные характеристики повторителя напряжения на ОУ THS4041

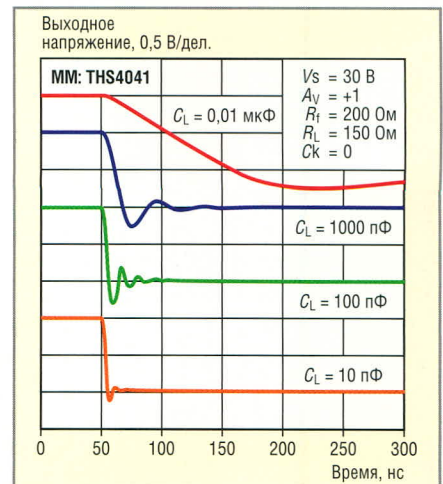


Рис. 52. Результаты тестирования MM ОУ THS4041 в схеме рис. 48

мальным выбросом $OvSh$ [%] переходной характеристики. На рис. 53 изображена типичная колебательная переходная характеристика усилителя, а также отмечены уровни напряжений, необходимых для определения величин t_{ss} и $OvSh$ [%]. На рис. 53 обозначено:

- $V_{O\ START}$ – начальная (стартовая) величина выходного напряжения усилителя;
- $V_{O\ END}$ – величина установившегося выходного напряжения;
- $V_{O\ MAX}$ – максимальная величина выходного напряжения;
- $\Delta V_O = V_{O\ END} - V_{O\ START}$ – перепад выходного напряжения усилителя.
- t_{ss} – время установления выходного напряжения с точностью (погрешностью) δ [%].

На рис. 53 горизонтальные линии с уровнями $V_{O\ END} \pm 0,01\delta$ [%] ΔV_O являются границами зоны установления переходной характеристики с погрешностью δ [%]. Время установления t_{ss} – это время с момента воздействия

на вход усилителя перепада напряжения до момента *последнего* вхождения его выходного напряжения в *зону погрешности* заданной величины δ [%].

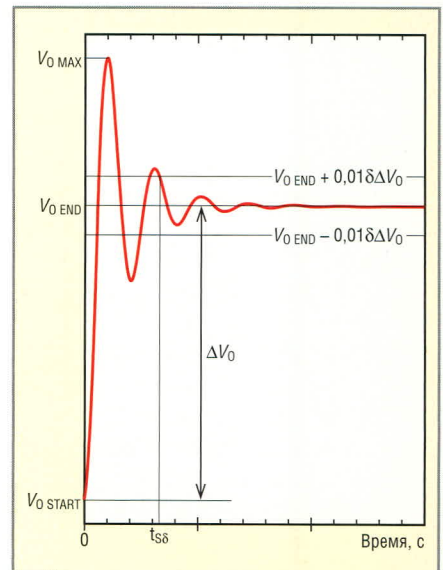


Рис. 53. Типичная колебательная переходная характеристика усилителя

Величина максимального выброса переходной характеристики рассчитывается по формуле:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{V_{O\text{MAX}} - V_{O\text{END}}}{V_{O\text{END}} - V_{O\text{START}}} \times 100 = \frac{V_{O\text{MAX}} - V_{O\text{END}}}{\Delta V_O} \times 100 \quad (8)$$

Строго говоря, формула (8) является приближённой, поскольку теоретически процесс установления схемы длится бесконечно долго. В реальной ситуации (при ограниченном времени анализа процесса установления переходной характеристики) величина напряжения $V_{O\text{END}}(t_{\text{END}})$, которую мы принимаем за установившееся значение, фактически отличается от истинной установившейся величины $V_{O(\infty)}$ на величину

$$V_{O\text{END ERR}}(t_{\text{END}}) = V_{O\text{END}}(t_{\text{END}}) - V_{O(\infty)}, \quad (9)$$

которая является ошибкой установления выходного напряжения, обусловленной конечным временем анализа. Совершенно очевидно, что ошибка установления уменьшается при увеличении времени анализа. Формула (8) даёт малую погрешность расчёта выброса переходной характеристики, если выполняется условие:

$$V_{O\text{END ERR}}(t_{\text{END}}) \ll V_{O\text{MAX}}$$

В файле `pspice.prb` стандартных шаблонов экрана Probe (Plot Window Templates), целевых функций (Goal Functions) и макросов (Macros) имеется описание целевой функции `Overshoot(Trace_Name)`, которая рассчитывает выброс трассы с именем `Trace_Name` в соответствии с формулой:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{Y_{\text{MAX}} - Y(t_{\text{END}})}{Y(t_{\text{END}})} \times 100. \quad (10)$$

Из сравнения формул (8) и (10) следует, что, к сожалению, целевая функция `Overshoot` может использоваться для расчёта выброса в схеме тестирования рис. 48 только в том случае, когда одновременно выполняются два следующих условия:

- величина параметра `Vstart` равна нулю;
- постоянная составляющая выходного напряжения схемы, обусловленная конечными величинами

напряжения смещения и входных токов ОУ, значительно меньше перепада ΔV_O выходного напряжения тестируемой схемы.

От указанных недостатков свободна модифицированная автором целевая функция `OvSh(Trace_Name)` для расчёта выброса, которая имеет следующее описание:

```
*****
* My Modification Goal Function
* Overshoot
*
OvSh(1) = (y2-y3)/(y3-y1)*100
*
* Find the overshoot of a step
* response curve.
*
* Usage: OvSh(<trace name>)
*
{
  1|Search forward x value (0%) !1
  Search forward max !2
  Search forward x value + (100%)
  + !3;
}
*****
```

Целевая функция `OvSh(Trace_Name)` рассчитывает выброс трассы с именем `Trace_Name` в соответствии с формулой:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{Y_{\text{MAX}} - Y(t_{\text{END}})}{Y(t_{\text{END}}) - Y(0)} \times 100.$$

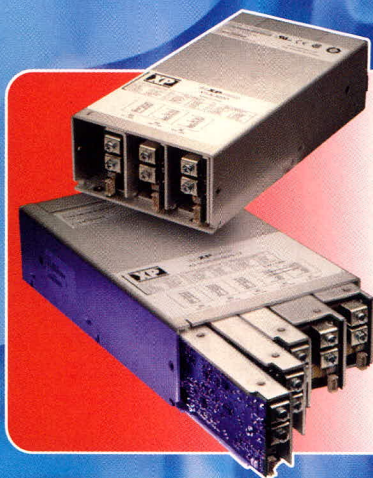
При использовании целевой функции `OvSh` не накладывается ограничений на величины параметра `Vstart` и постоянной составляющей выходного напряжения тестируемой схемы, которая обусловлена конечными величинами напряжения смещения и входных токов ОУ. Следует подчеркнуть, что целевые функции `Overshoot` и `OvSh` корректно «работают» только на нарастающем сигнале, то есть когда $V_{O\text{END}} > V_{O\text{START}}$.

Для определения величины выброса спадающего сигнала необходимо изменить знак аргумента целевой функции. Так, например, если в схеме рис. 48 выходное напряжение ОУ DA1 падает, то для расчёта выброса этого напряжения необходимо вызвать целевую функцию `OvSh(-V(Out))`. Целевая функция `OvSh` унаследовала от целевой функции `Overshoot` единственный недостаток, который заключается в том, что погрешность расчёта величины выброса зависит от времени t_{END} анализа пере-

ходного процесса. Если величина выброса велика (больше 20...30%) и характер переходного процесса имеет ярко выраженный колебательный характер, то определить время t_{END} , обеспечивающее малую погрешность вычисления функции `OvSh`, можно по виду графика переходного процесса. Так, например, совершенно очевидно, что длительность фрагмента переходного процесса, изображённого на рис. 53, достаточна для расчёта целевой функции `OvSh` с пренебрежимо малой погрешностью. Однако если переходной процесс имеет малую величину выброса, то определение времени анализа схемы, гарантирующего малую погрешность расчёта целевой функции `OvSh`, становится весьма проблематичным.

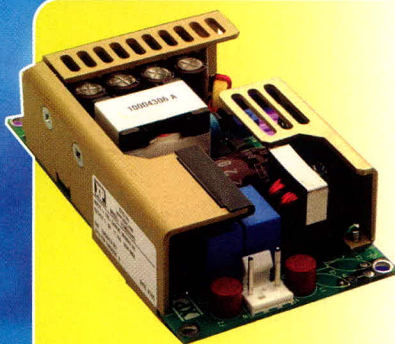
В технической документации обычно нормируется время установления ОУ с погрешностью 0,1% и/или 0,01%. Каким должно быть время анализа схемы рис. 48, при котором гарантируется достоверное тестирование времени установления ОУ с погрешностью 0,01%? Простого ответа на этот вопрос нет. Все проблемы тестирования выброса переходной характеристики и времени установления схемы обусловлены тем, что нам неизвестна точная величина установившегося выходного напряжения $V_{O(\infty)}$. Можно ли в результате тестирования схемы рис. 48 получить величину напряжения $V_{O(\infty)}$ за конечное время анализа? К счастью, да. Для этого достаточно на соответствующий вход усилителя, реализованного на ОУ DA1, подать постоянное напряжение величиной `Vend` и проанализировать схему на постоянном токе. Очевидно, что при этом постоянное напряжение `V(Out)` на выходе ОУ DA1 в точности равно установившемуся напряжению $V_{O(\infty)}$. Мы близки к решению задачи, но имеется ещё одна проблема: величина напряжения `V(Out) = V_{O(\infty)}` получена в процессе анализа схемы на постоянном токе, а требуется она в процессе тестирования схемы в режиме `Transient`. В схеме рис. 48 указанное противоречие разрешается за счёт использования второй копии тестируемого усилителя (DA2, Rg1, Rf1, Ri1, RL1), на соответствующий вход которого подаётся постоянное напряжение `Vend` от источников `Vi1, Vn1`. Заметим, что использование во втором усилителе емкостей не имеет смысла, поскольку он работает с неизменны-

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА, СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



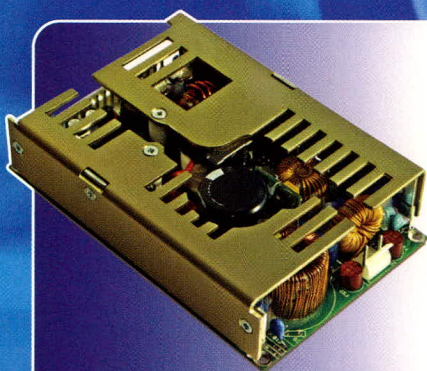
fleXPower конфигурируемый за короткий срок по заказу источник питания

- Выходные мощности 400-2200 Вт
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Соответствие требованиям SEMI F47
- Выходные напряжения 2-150 В постоянного тока
- Расширенный логический интерфейс



ECM100 Самый малогабаритный в мире 100-ваттный источник питания

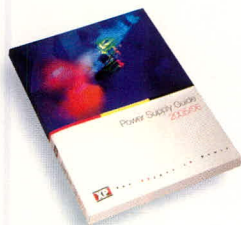
- Габаритные размеры (Г×Ш×В): 114,3 × 63,5 × 30,5 мм
- Открытая конструкция с конвекционным отводом тепла
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Защита от поражения электрическим током: оборудование класса I и II (ГОСТ Р 50377-92, ГОСТ Р 50267.0-92)
- Один, два, три и четыре выхода питающих напряжений



RCL175 Любое стандартное или заказное выходное напряжение

- 175 Вт модифицируемой мощности в объёме 140 × 94,1 × 32,6 мм
- Один, два, три и четыре выхода питающих напряжений
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Защита от поражения электрическим током: оборудование класса I и II (ГОСТ Р 50377-92, ГОСТ Р 50267.0-92)

Каталог продукции фирмы XP Power POWER SUPPLY GUIDE 2005/06



Первое издание 240-страничного каталога продукции компании XP Power (XP Power Supply Guide) содержит подробную информацию о всех изделиях энергетической электроники, выпускаемых компанией. Каталог содержит информацию об источниках электропитания AC-DC, выносных источниках питания, DC/DC-преобразователях, источниках питания для монтажа на DIN-рейку, ИБП и источниках питания, выполненных с применением силовых модулей COTS.

PROSOFT[®]

Москва: тел./факс: (495) 234-0636/0640;
info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Петербург: тел./факс: (812) 448-0444/0339;
root@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru

Екатеринбург: тел./факс: (343) 376-2820/2830;
info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru

Самара: тел./факс: (846) 277-9165/9166;
info@prosoft.samara.ru



T H E X P E R T S I N P O W E R

www.xppower.com

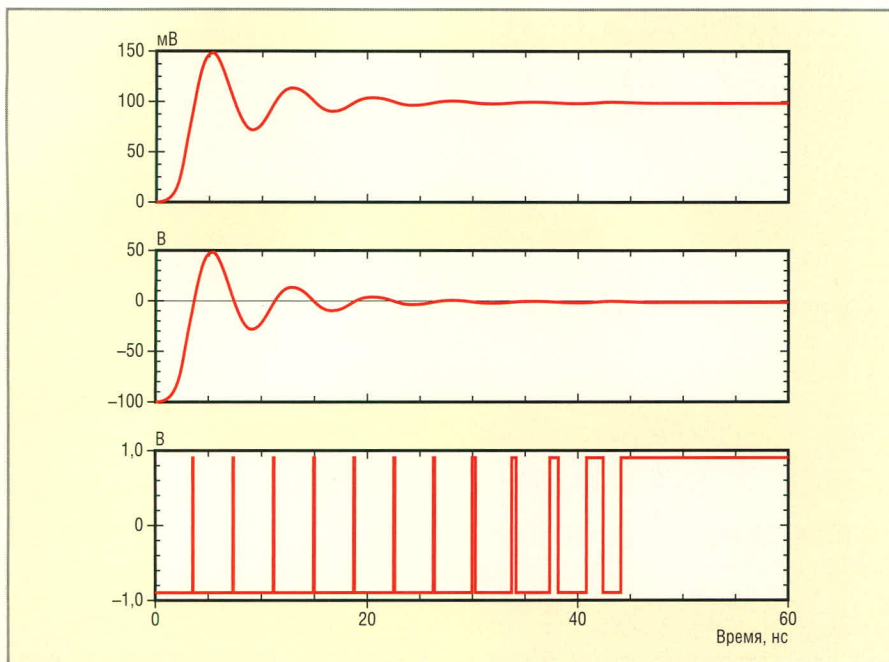


Рис. 54. Временные диаграммы, поясняющие работу схемы рис. 48

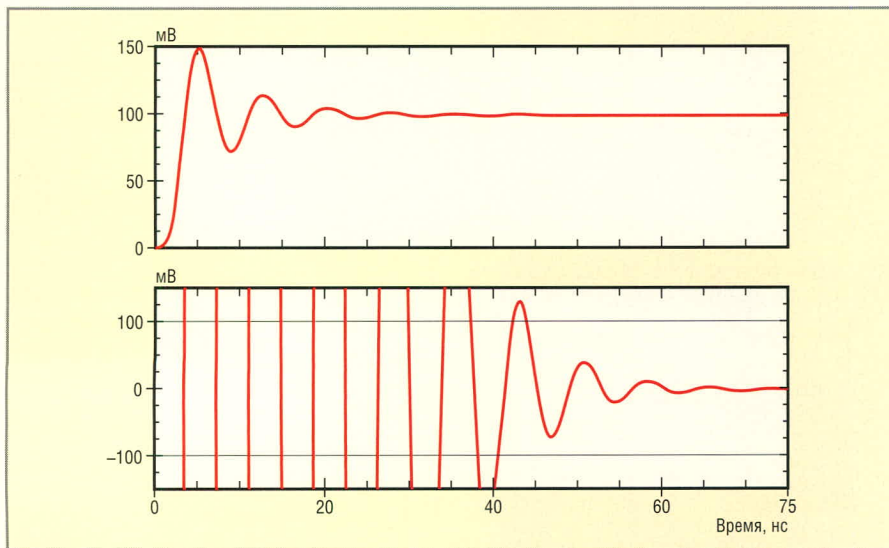


Рис. 55. Переходная характеристика повторителя напряжения (MM THS4011)

ми уровнями сигналов. Итак, напряжение $V(End)$ узла End в процессе Transient-анализа схемы тестирования неизменно и равно полностью установившейся величине узлового напряжения $V(Out)$. Текущая величина выходного напряжения управляемого источника $Evalue1$ (напряжение узла $DevPercent$) определяется формулой:

$$V(DevPercent) = \frac{V(Out) - V(End)}{Av(Vend - Vstart)} \times 100 = \frac{V(Out) - V(End)}{\Delta V_O} \times 100, (11)$$

где: $V(DevPercent)$, $V(End)$, $V(Out)$ – узловые напряжения схемы тестирования; Av , $Vend$, $Vstart$ – величины параметров, задаваемых пользователем;

ΔV_O – величина перепада выходного напряжения тестируемой схемы.

Из уравнения (11) следует, что узловое напряжение $V(DevPercent)$ численно равно отклонению выходного напряжения $OU DA1$ от установившегося значения, выраженному в процентах. Узловые напряжения $V(Lo)$, $V(Hi)$ численно равны величинам нижней и верхней границ зоны установления, задаваемой в процентах с помощью параметра $ErrPercent$. Выполнение условия:

$$V(Lo) \leq V(DevPercent) \leq V(Hi) \quad (12)$$

означает, что выходное напряжение тестируемой схемы находится в зоне, ограниченной величинами $V_{O_END} \pm \pm 0,01\delta [\%] \Delta V_O$ (см. рис. 53). Момент,

когда напряжение $V(DevPercent)$ последний раз входит в зону, ограниченную напряжениями $V(Lo)$ и $V(Hi)$, является временем t_{SS} установления выходного напряжения тестируемой схемы с точностью (погрешностью) $\delta [\%]$. Аналоговый функциональный блок (АФБ) $A1$ осуществляет непрерывный контроль выполнения условия (12). Если это условие выполняется, то узловое напряжение $V(InZone-Hi)$ равно $+0,9 V$, а в противном случае $-0,9 V$.

На рис. 54 изображён вид экрана Probe после осуществления тестирования в схеме рис. 48 MM THS4011 при задании следующего набора параметров: $Vs = 30V$, $CL = 50pF$, $RL = 150$, $Rf = 100$, $Av = 1$, $Ck = 0pF$, $Vstart = 0$, $Vend = 100mV$, $Tfr = 1ns$, $ErrPercent = 0.1$, $Td = 0$, $Ri = 1e-6$.

На верхний график выведена трасса $V(Out)$ выходного напряжения $OU DA1$. На второй график выведена трасса $V(DevPercent)$, а также трассы $V(Hi)$ и $V(Lo)$, которые при выбранном масштабе оси Y неразличимы. На третий график выведена трасса $V(InZone-Hi)$ выходного напряжения АФБ $A1$. Временные диаграммы, изображённые на рис. 54, иллюстрируют сказанное выше о работе схемы рис. 48, однако для практического тестирования времени установления и выброса переходной характеристики они не удобны. Обычно автор выводит на экран Probe временные диаграммы, изображённые на рис. 55.

Трасса $V(Out)$ верхнего графика даёт представление о характере переходного процесса, а трассы $V(DevPercent)$, $V(Hi)$, $V(Lo)$ нижнего графика наглядно показывают процесс установления переходной характеристики с заданной малой погрешностью (в нашем примере – с погрешностью 0,1%). Для определения количественных показателей качества переходного процесса необходимо:

- установить первый курсор на трассу $V(DevPercent)$;
- нажатием комбинации клавиш $Ctrl + Shift + X$ позиционировать курсор в точку трассы $V(DevPercent)$ с максимальной ординатой и считать его координаты в окне $Probe Cursor$. Y-координата курсора численно равна выбросу переходной характеристики в процентах, а X-координата – времени достижения максимума;
- позиционировать курсор в точку *последнего* пересечения трасс

$V(\text{DevPercent})$, $V(\text{Hi})$ и считать его X-координату в окне Probe Cursor, которая численно равна времени установления переходного процесса с заданной точностью. Для точного позиционирования курсора в точку последнего пересечения трасс $V(\text{DevPercent})$ и $V(\text{Hi})$ необходимо сначала нажатием клавиши End установить курсор в конец трассы $V(\text{DevPercent})$, а затем выполнить команду «sble(0.1)» поиска в обратном направлении первой точки трассы с ординатой 0,1. Команда поиска задаётся в окне Search Command, которое открывается при нажатии комбинации клавиш Ctrl + Shift + S.

Если вы желаете определить длительность фронта нарастания переходной характеристики на относительных уровнях 10% и 90%, то установите оба курсора в начало трассы $V(\text{DevPercent})$, а затем позиционируйте первый курсор в точку трассы с ординатой -10, а второй – с ординатой -90. Величина dif разности X-координат первого и второго курсоров, индицируемая в окне Probe Cursor, численно равна длительности фронта нарастания переходной характеристики.

Иногда для быстродействующих ОУ в Datasheet нормируется время задержки распространения (Propagation Delay) импульсного сигнала. Время распространения сигнала численно равно X-координате курсора, позиционированного в точку трассы $V(\text{DevPercent})$ с ординатой минус 50.

Окончание следует

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лоцицкий С.* Эволюция SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей. Современная электроника. 2005. №№ 4–6.
2. *Лоцицкий С.* Методы анализа операционных схем в частотной области. Схемотехника. 2004. №№ 7–12; 2005. №№ 1–5.
3. *Разевиг В.Д.* Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab. М.: Солон, 1999.
4. *Разевиг В.Д.* Система проектирования OrCAD 9.2. М.: Солон, 2001.
5. *Достал И.* Операционные усилители: Пер. с англ. М.: Мир, 1982.
6. *Jung W.* LT1056 Improved JFET Op Amp Macromodel Slews Asymmetrically. Design Note DN43. Linear Technology Corporation, January 1991.



Новости мира News of the World

Touchscreen-технология акустического импульсного распознавания

Фирма Elo TouchSystems создала Touchscreen-технология акустического импульсного распознавания (Acoustic Pulse Recognition – APR). Речь идёт о способе распознавания прикосновений к дисплею. Технология APR фирмы Elo даёт ряд преимуществ, которые другими существующими Touch-технологиями до сих пор могли быть реализованы лишь частично. Акустическое импульсное распознавание сочетает в себе оптическое качество, сопротивляемость и надёжность поверхностно-волновой и инфракрасной технологий. Здесь сохраняются также преимущества резистивной технологии: активизация стержнем, перчатками и ногтем. Так APR функционирует при попадании на экран воды и других загрязнений, не подвергается влиянию окружающих металлов или недостаточного заземления, подходит как для размеров экранов наладонников, так и мониторов с размерами до 42" и допускает наложение ладони на экран во время регистрации почерка.



Касание экрана в любом месте вызывает необычный шум. Этот сигнал оцифровывается контроллером и сравнивается со списком прежде принятых образцов звуков. При совпадении курсор перемещается в место касания. Первый Touch-монитор с APR появится на рынке в сентябре 2006 г.

www.elotouch.de

Разработана альтернативная технология создания плоских видеопанелей

Специалисты канадской электронной компании iFire (Торонто) сообщили о создании действующего прототипа 37-дюймовой плоской HD-панели, построенной на базе собственной передовой технологии Thick-film Dielectric Electroluminescent Technology (TDEL).

По заявлениям разработчиков, изображение формируется специальной системой Color by Blue, основанной на ис-

пользовании тонкой прослойки из голубого люминофора, которая воздействует на флюоресцентные пигменты, заставляя их излучать зелёный и красный цвета. Посредством комбинирования голубого, зелёного и красного цветов обеспечивается качественная цветопередача всей палитры RGB.

Примечательно, что новая панель имеет толщину всего 20 мм, весит около 1 кг и в отличие от обычного жидкокристаллического дисплея не имеет подсветки.

Представители компании утверждают, что благодаря их технологии TDEL в самое ближайшее время можно будет с меньшими затратами выпускать более тонкие и лёгкие телевизоры, отличающиеся низким энергопотреблением и при этом обеспечивающие высокое качество отображаемой картинку.

Ожидается, что массовое производство новых TDEL-панелей будет налажено уже к началу следующего года.

www.hifinews.ru

Planar дополнила серию StereoMirror 20- и 23-дюймовыми стереодисплеями

Фирма Planar Systems, известная разработками в области систем плоских дисплеев, анонсировала выход двух широкоформатных стереоскопических мониторов StereoMirror. Модель SD2020 с размером диагонали 20 дюймов и 23-дюймовая SD2320W обеспечивают увеличенную площадь и улучшенное качество изображения по сравнению с представленной раньше SD1710.

Мониторы SD2020 и SD2320W позволяют просматривать стереоизображение, используя лёгкие поляризационные очки. При этом полностью сохраняются разрешение ЖК-панели и частота кадров, а глаза устают не больше, чем при работе с обычным монитором.

Технология StereoMirror обеспечивает формирование 3D-картинки с помощью двух ЖК-панелей, угол между которыми составляет 110°, и полупрозрачного зеркала, расположенного между ними. Конструкция стереомонитора позволяет, подняв зеркало, работать с ним как с традиционным 2D-дисплеем.

Новые устройства ориентированы на применение в фотограмметрии, 3D-моделировании, радиографических исследованиях и задачах комплексной визуализации.

www.planar.com/stereomirror

Практикум программиста USB-устройств

Часть 4. Разработка программатора МК P89LPC9xx

Дмитрий Чекунов (г. Ижевск)

В очередной статье цикла, посвящённого проектированию USB-устройств, описана работа с «большими» точками. В качестве примера шаг за шагом рассмотрено создание готового устройства – программатора микроконтроллера P89LPC9xx.

ВСТУПЛЕНИЕ

В предыдущих статьях мы подробно познакомились с внутренней структурой МК EZ-USB FX2LP, узнали о методах загрузки исполняемого кода и возможных вариантах организации USB-устройства. Мы подробно рассмотрели работу контрольной точки и работу «малых» точек модуля USB, все полученные знания успешно применили на практике и разработали универсальное аппаратно-программное ядро.

На данный момент мы знаем, как настроить драйвер CyUSB для нового устройства и проверить взаимодействие с устройством посредством программы CyConsole.

В составе МК у нас остались неизученными два весьма значимых ресурса – это «большие» точки и параллельный программируемый интерфейс GPIF. Данные ресурсы поз-

воляют организовать высокоскоростной обмен данными и существенно расширяют возможности устройства.

Начнём с изучения «больших» точек, а для того, чтобы теория стала более понятной, применим полученные знания в новой разработке – программаторе микроконтроллеров семейства P89LPC9xx.

ОРГАНИЗАЦИЯ «БОЛЬШИХ» ТОЧЕК МК

Регистры «больших» точек

В составе модуля USB имеются четыре «большие» точки – EP2, EP4, EP6, EP8. Режим работы каждой из них программируется индивидуально. В таблице 1 представлены основные регистры, используемые для работы с точками. Если название регистра начинается с EPx, то это говорит о его принадлежности к конкретной

точке (x может принимать значение 2, 4, 6, 8).

Начнём знакомство с регистра конфигурации – EPxCFG (см. рис. 1). Работоспособность точки определяется состоянием бита VALID. Если точка x присутствует в описании интерфейса, то в соответствующем ей регистре бит VALID должен иметь значение 1 – точка включена.

Бит DIR задаёт направление передачи данных. Когда DIR сброшен в 0, точка имеет направление OUT, а когда установлен в 1 – направление IN.

«Большие» точки поддерживают три типа передачи данных: изохронный (01b), bulk (10b) и interrupt (11b). Выбор типа осуществляется битами TYPE1, TYPE0 – соответствующие им значения указаны в скобках.

Бит SIZE задаёт размер буфера точки. Когда бит сброшен в 0, размер буфера равен 512 байтам, когда установлен в 1 – 1024 байтам. Для точек EP4 и EP8 бит SIZE всегда сброшен в 0 (буфер этих точек не может быть больше 512 байт).

Глубина буферизации определяется битами BUF1 и BUF0. Точке может принадлежать минимум два буфера. Это значение фиксировано для точек EP4 и EP8. Для точек EP2 и EP6 размер буферизации программируется следующим образом:

- 10b – двукратный;
- 11b – трёхкратный;
- 00b – четырёхкратный.

EPxCS – регистр, при помощи которого осуществляется контроль состояния точки. Назначение битов регистра показано на рисунке 1.

Биты NPAK2, NPAK1, NPAK0 показывают количество заполненных буферов в домене FIFO конкретной точки.

Бит FULL является признаком полного FIFO, его целесообразно исполь-

Таблица 1. Ресурсы FX2LP для взаимодействия с «большими» точками

Ресурсы	Название
Регистр конфигурации	EPxCFG
Регистр управления и статуса	EPxCS
Буфер	EPxFIFOBUF
Регистры размера пакета – старший и младший	EPxBCH EPxBCL
Регистр запроса прерывания при запросе IN и пустом буфере	IBNIRQ
Регистр разрешения прерывания при запросе IN и пустом буфере	IBNIE
Регистр запроса прерывания при запросе PING и полном буфере	NAKIRQ
Регистр разрешения прерывания при запросе PING и полном буфере	NAKIE
Регистр запроса прерывания при изменении состояния буфера	EPIRQ
Регистр разрешения прерывания при изменении состояния буфера	EPIE
Регистр управления пакетами IN	INPKTEND
Регистр управления пакетами OUT	OUTPKTEND

зовать, когда для точки выбрано направление передачи IN.

Для контроля FIFO точки, работающей в противоположном направлении (OUT), служит бит EMPTY. Он служит признаком пустого FIFO.

Бит STALL используется для передачи одноименного подтверждения на любой запрос хоста.

Регистры EPxBCH, EPxBCL позволяют определить размер пакета, размещённого в буферах точки x. Старший байт размера пакета находится в регистре EPxBCH, младший – в EPxBCL.

Последовательность обращения к регистрам размера имеет значение для точек с направлением IN. Это вызвано тем, что после записи в регистр EPxBCL происходит передача буфера под управление модуля USB. По этой причине размер пакета всегда записывают в два приёма: сначала старший байт – в регистр EPxBCH, затем младший байт – в EPxBCL.

С системой прерываний модуля USB мы уже знакомы ранее [1], поэтому кратко напомним о назначении регистров, связанных с прерываниями.

IBNIRQ, IBNIE – регистры относятся только к точкам с направлением IN. Прерывание в регистре IBNIRQ формируется модулем USB после того, как он ввиду отсутствия данных для передачи отвечает подтверждением NAK на запрос хоста IN. Данное прерывание должно интерпретироваться микроконтроллером как сообщение, что хост уже запрашивает данные и следует поторопиться с их подготовкой.

Регистры NAKIRQ, NAKIE в большей степени относятся к точкам OUT и актуальны только в режиме high-speed. Модуль USB формирует прерывание, когда ответил подтверждением NAK на запрос хоста PING. Такая ситуация возможна, когда все буферы точки заполнены и хост проверяет возможность записи следующего пакета.

В регистрах NAKxxx имеется глобальное управление для всех прерываний IBN. Если его не включить, то прерывания IBN будут маскированы.

Регистры EPIRQ, EPIE связаны с точками обоих направлений. Прерывания для точки IN формируются, когда хост забрал данные из буфера. Для точки OUT прерывания формируются, когда получен пакет данных от хоста.

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
EPxCFG	VALID	DIR	TYPE1	TYPE0	SIZE	0	BUF1	BUF0
EPxCS	0	NPAK2	NPAK1	NPAK0	FULL	EMPTY	0	STALL

Рис. 1. Состав регистров конфигурации и управления

Регистры INPKTEND и OUTPKTEND используются для уничтожения или дальнейшей передачи пакетов в буфер точки с соответствующим направлением.

ОРГАНИЗАЦИЯ БУФЕРОВ FIFO

Общий объём FIFO, имеющегося в FX2LP, – 4 Кб. Распределение адресного пространства между точками показано на рисунке 2.

Буфер точки EP8 (EP8FIFOBUF) начинается с адреса FC00h и заканчивается адресом FDFh. Размер буфера составляет 512 байт и не может быть больше, потому что бит SIZE в регистре EP8CFG всегда равен 0. Двойное буферизирование точки EP8 осуществляется за счёт зарезервированной области памяти FE00h – FFFFh.

При работе с буфером точки EP8 все обращения осуществляются к области памяти FC00h – FDFh. После освобождения первого буфера происходит внутреннее переключение адресов, и второй буфер становится доступен в этом же адресном пространстве.

EP4FIFOBUF, буфер точки EP4, работает аналогичным образом.

Буфер точки EP6 организован несколько иначе. Адресное пространство, занимаемое им, расположено от F800h до FBFFh. Полный размер буфера составляет 1 Кб. Однако используемая и доступная область памяти в конечном счёте определяется битом SIZE. Когда он установлен в 1, то для работы доступно всё адресное пространство. В случае если бит сброшен в 0, доступной остаётся нижняя часть буфера (F800h – F9FFh) размером 512 байт.

Буферизация осуществляется за счёт неиспользуемой части буфера и буфера соседней точки. Так, при размере буфера 512 байт и двойной буферизации используется только область памяти, принадлежащая точке EP6. Если же буферизация – четырёхкратная, то к буферу EP6FIFOBUF подключаются области точки EP8 (FC00h – FDFh, FE00h – FFFFh). В последнем случае точка EP8 будет не работоспособна.

Для буфера размером 1 Кб возможна только двойная буферизация, которая осуществляется опять же за счёт областей памяти точки EP8.

В любом из рассмотренных случаев обращение возможно только к области памяти F800h – F9FFh (при размере 512 байт) или к области F800h – FBFFh (при размере 1024 байта). После завершения работы с первым буфером происходит переключение адресов, и следующий (второй, третий, четвёртый) буфер становится доступен в этом же адресном пространстве. Программисту не обязательно знать, с каким буфером он работает, поскольку их переключение происходит аппаратно.

Организация буфера точки EP2 в общем похожа на EP6FIFOBUF. Различие заключается лишь в большем приоритете точки EP2 при распределении FIFO перед всеми остальными точками. Буфер EP2FIFOBUF может иметь четырёхкратную буферизацию при размере 1024 байта. Естественно, что в таком случае все остальные точки станут неработоспособными.

С возможными вариантами распределения буферов FIFO мы уже знакомы ранее [2, рис. 5].

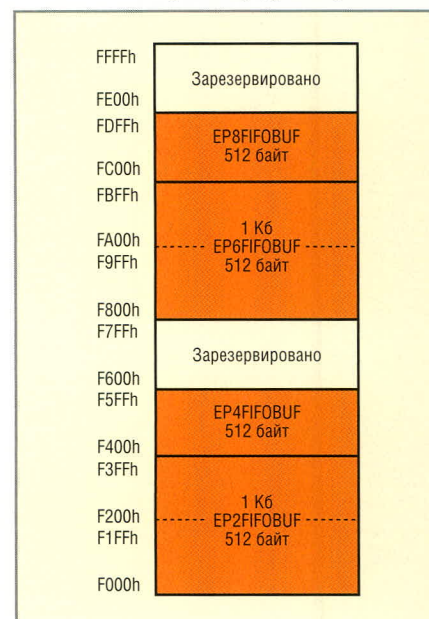


Рис. 2. Распределение адресного пространства FIFO



Рис. 3. Взаимодействие хоста и точки OUT

Методы обслуживания FIFO

В FX2LP имеется три метода обслуживания FIFO: программный, аппаратный и программно-аппаратный.

В первом случае FIFO обслуживает ядро 80C51 под управлением программы. При выборе такого метода программа должна контролировать состояние буферов точек, размеры принимаемых и передаваемых пакетов. Когда принят пакет (точка OUT), необходимо обработать данные и освободить буфер. При работе с точкой IN следует подготовить пакет данных максимально допустимого размера и передать его для отправки. Скорость передачи данных зависит от быстродействия ядра 80C51 и алгоритма программы.

При аппаратном обслуживании FIFO ядро 80C51 не принимает участия в передаче и обработке данных. Подготовка данных, разбиение их на пакеты необходимого размера и отправка происходят автоматически (направление IN). Приём данных, их обслуживание и освобождение буфера выполняются также автоматически (направление OUT). Для организации работы МК в таком режиме программа всего лишь инициализирует ресурсы FX2LP соответствующим образом. Скорость передачи данных, достижимая при использовании аппаратного метода, максимальна.

Третий метод обслуживания FIFO – программно-аппаратный. Он представляет собой синтез двух предыдущих. В этом случае ядро 80C51 занимается приёмом пакетов (точка OUT), возможно – анализом данных, и передаёт пакет для дальнейшего аппаратного обслуживания. Подготовка пакета данных для точки IN происходит также аппаратно, далее ядро 80C51 под управлением программы принимает решение об отправке пакета.

В данной статье мы рассмотрим программный метод обслуживания FIFO.

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ FIFO

Точка с направлением OUT

Рассмотрим, как происходит программное обслуживание буфера «большой» точки с направлением OUT. Считаем, что точка уже сконфигурирована, заданы направление передачи, размер буфера и глубина буферизации.

В работе точки OUT можно выделить три фазы: инициализация, работа и деактивация (см. рис. 3).

Фаза инициализации. Данная фаза необходима для подготовки конечного устройства к приёму данных. Под конечным устройством следует понимать приёмник, данные к которому поступают от хоста транзитом через FX2LP. Здесь же выполняются прочие сопутствующие операции, такие как обнуление счётчика адреса, коммутация адреса внешнего устройства, включение питания внешнего устройства и т.п.

Сигналом к выполнению инициализации могут являться:

- USB-требование (стандартное или дополнительное);
- отсутствие внутреннего признака МК в фазе работы.

Нам уже известно, что при получении стандартных требований SET_CONFIGURATION и SET_INTERFACE, USB-устройство должно очистить буфер данных каждой работоспособной точки и установить маркер DATA0 для всех точек с типом передачи bulk и interrupt. При обслуживании требования CLEAR_FEATURE те же самые действия выполняются применительно к заданной точке – то есть происходит подготовка точки к работе со стороны USB. Это можно использовать для инициализации конечного устройства точки OUT.

Напомню, что при разработке аппаратно-программного ядра [1] мы включили вызов индивидуальной подпрограммы для каждой работоспособной

точки. Организовано это с помощью таблиц векторов подпрограмм инициализации – tableInitFuncEpx.

В рассмотренном случае для инициализации устройства достаточно послать одно из названных стандартных требований.

Тем не менее, в некоторых ситуациях плюсы данного способа могут обратиться в минусы. Во-первых, конечно устройство будет инициализировано всякий раз при смене конфигурации и интерфейса (например, включается питание устройства, а обращения к нему нет). Во-вторых, инициализация выполняется для всех работоспособных точек одновременно. И, наконец, ресурсы, используемые точкой, могут быть задействованы ещё для каких-либо операций. В таком случае задачу инициализации лучше всего возложить на дополнительное требование. Это избавит от возможных конфликтов разделения ресурсов и исключит повторную инициализацию.

Если нет особых требований к быстродействию, то фазу инициализации можно совместить с фазой работы. В этом случае перед каждой обработкой данных необходимо проверить состояние признака инициализации и при его отсутствии – выполнить инициализацию. К плюсам такого способа относятся отсутствие каких-либо USB-требований и немедленный, последовательный переход от инициализации к обработке данных.

Наглядным примером использования рассмотренных способов могут быть:

- посредством стандартного требования – обнуление программного счётчика адреса;
- посредством дополнительного требования – передача команды для подготовки к пакетной записи;
- в составе фазы работы – включение питания устройства: вклю-

чить, если не включено, иначе пропустить.

После завершения фазы инициализации МК готов к приёму данных.

На рисунке 3 команда инициализации показана пакетом с условным названием INIT. При его получении МК освобождает буфер точки и может выполнить дополнительные действия. О готовности буфера к работе свидетельствует бит EMPTY (установлен в 1 – FIFO пуст).

Фаза работы. Контроль приёма данных осуществляется при помощи прерывания EPx (регистры EPIRQ, EPIE) или циклическим анализом бита EMPTY (регистр EPxCS). При получении пакета данных необходимо определить его размер (EPxBCH, EPxBCL) и приступить к обработке. Данные доступны в буфере EPxFIFOBUF.

Пока осуществляется обработка данных первого пакета, хост может успешно передать ещё до трёх пакетов (конечно, это определяется заданной глубиной буферизации). Приём каждого пакета влияет на состояние бит в регистре EPxCS. Так, после получения второго и третьего пакетов число, хранимое битами NPAKx, принимает соответствующее значение. Поступление четвёртого пакета приводит к установке бита FULL – FIFO (заполнено). Теперь на любую попытку хоста передать ещё пакет данных FX2LP автоматически ответит NAK (не готов к приёму данных). Или, если устройство работает в режиме high-speed, на запрос хоста PING МК автоматически ответит NAK и установит запрос в регистре NAKIRQ.

Пока будем считать, что данные полностью переданы за четыре пакета. В этом случае обмен с точки зрения хоста считается завершённым.

FX2LP, закончив обработку первого пакета, освобождает буфер. Любое освобождение буфера корректирует состояние битов статуса в регистре EPxCS (NPAKx, EMPTY, FULL). Из рисунка 3 видно, что после первой такой операции бит FULL принял значение 0 – это сообщает о появлении свободного места в буфере точки.

Для «больших» точек операция освобождения буфера осуществляется при помощи регистра OUTPKTEND. Необходимо записать в данный регистр результат операции ИЛИ значения 80h и номера точки (2, 4, 6, 8).

После освобождения буфера происходит аппаратное переключение адресов в FIFO, и в пространстве EPxFIFOBUF становится доступен второй пакет данных. Регистры EPxBCL, EPxBCH принимают значение, соответствующее размеру второго пакета.

МК снова выполняет обработку данных и освобождает буфер. О том, что данные в буфере исчерпаны, можно узнать по состоянию бита EMPTY. Его единичное состояние говорит о том, что буфер пуст. Однако это не определяет однозначно завершение фазы работы в целом – возможно, последует дальнейшая передача данных от хоста.

Фаза деактивации используется для исключения подобной неоднозначности. Сигналом для начала фазы деактивации могут служить команды хоста и внутренние или внешние события FX2LP.

По аналогии с фазой инициализации, командами хоста являются SET_CONFIGURATION, SET_INTERFACE и SET_FEATURE или дополнительное требование.

При обработке стандартных требований для каждой работоспособной точки, подлежащей отключению, вызывается подпрограмма из таблицы tableHaltFuncErx. Эта возможность реализации фазы деактивации была также заложена при разработке аппаратно-программного ядра [1].

При использовании команд хоста (стандартных и дополнительных) возможно возникновение конфликтов, поскольку они асинхронны к действиям МК. Пример показан на рисунке 3. Время передачи пакета данных по USB обычно меньше времени, необходимого для его программной обработки микроконтроллером. Поэтому не исключена ситуация, когда хост, закончив передачу, инициирует фазу деактивации (первый пакет HALT). В результате такого сочетания данные будут потеряны. Поэтому между передачей OUT и командами, влияющими на целостность данных, следует предусмотреть некоторый интервал времени. Или, если используется дополнительное требование, устройство может отвечать STALL до завершения обработки данных. В последнем случае хост повторит команду позднее (второй пакет HALT).

Вариант, когда фаза деактивации начинается по собственным событи-

ям МК, лишён ранее описанного недостатка. Такими событиями могут являться объём обработанных данных, ответ конечного устройства и т.п.

Данные, поступающие после фазы деактивации, следует уничтожить.

Простой пример. В ПЗУ объёмом 16 Кб необходимо записать данные. Хост посылает файл размером 17,5 Кб. В таком случае МК после обработки данных объёмом 16 Кб выполняет фазу деактивации и оставшиеся 1,5 Кб уничтожает (т.е. просто освобождает буфер).

Точка с направлением IN

Логика работы точек с направлением IN нам уже известна [3]. Поэтому сразу познакомимся с регистрами, используемыми для управления передачей через «большую» точку.

Так же, как и для точки OUT, приём данных из точки IN можно разделить на три фазы.

Фаза инициализации. Здесь необходимо выполнить очистку буфера и подготовить ресурсы к приёму данных. Очистка буфера осуществляется с помощью регистра INPKTEND. Для того чтобы уничтожить пакет, помещённый в буфер, необходимо записать результат операции ИЛИ значения 80h и номера точки (82h, 84h, 86h, 88h). Запись следует повторять до тех пор, пока не будет установлен бит EMPTY в регистре EPxCS. Установка данного бита является признаком того, что все буферы, принадлежащие точке, освобождены.

Схема использования стандартных и дополнительных требований для выполнения инициализации аналогична рассмотренной выше для точки OUT. Как правило, инициализация заканчивается разрешением прерывания IBN для соответствующей точки.

Фаза работы. О начале фазы данных можно узнать, осуществляя циклический контроль битов в регистре IBNIRQ или разрешив соответствующее прерывание в регистре IBNIE. При обнаружении запроса хоста следует немедленно начать подготовку данных. В процессе подготовки также возможно присутствие инициализации. Как правило, на этом этапе она больше предназначена для внешнего устройства. Осуществляется инициализация, когда сброшен определённый признак. После этого происходит его установка во избежание повторения инициализации.

Для того чтобы подготовить пакет данных, следует знать его максимально возможный размер. Заполняя буфер EPx FIFOBUF, необходимо учитывать этот размер. После завершения заполнения буфера следует записать сначала старший байт размера в регистр EPxBCH, а потом младший байт размера – в EPxBCL. Сразу после обращения к регистру EPxBCL пакет переходит под управление модуля USB. Бит EMPTU будет сброшен в 0, а значение, индицируемое битами NPAKx, станет равно единице (занят 1 байтер).

Существует два сценария дальнейшей работы.

По первому сценарию разрешаем прерывание EPx в регистре EPIE или программно контролируем состояние битов в EPIRQ. Как только хост заберёт пакет, будет установлен соответствующий флаг. Поскольку буфер освободился, продолжаем подготовку данных.

Во втором сценарии используются преимущества «больших» точек. Мы продолжаем подготовку и запись данных в буфер до тех пор, пока бит FULL сброшен в 0. Сразу после его установки (все буферы точки заполнены) начинаем действовать по первому сценарию.

Фаза деактивации. События, которые служат сигналом к завершению фазы работы, идентичны событиям точки OUT. Хост или устройство самостоятельно могут определить момент начала фазы деактивации.

Реакция устройства на стандартные или дополнительные запросы хоста повторяет действия точки OUT. Хост имеет возможность сообщить о начале фазы деактивации в любой момент, асинхронно к действиям устройства.

Несколько иначе выглядит фаза деактивации, выполняемая по самостоятельному решению устройства. В этом случае хост ещё продолжает посылать запросы IN, ожидая данные. Однако устройство, выполнившее фазу деактивации, возвращает пустые пакеты.

Наглядным является пример с ПЗУ. Устройство передаёт хосту 16 Кб данных, а на все последующие запросы возвращает пакеты нулевой длины. Для того чтобы повторить чтение ПЗУ, необходимо заново выполнить фазу инициализации.

РАЗРАБОТКА НОВОГО USB-УСТРОЙСТВА

Итак, переходим к разработке программатора микроконтроллеров семейства P89LPC9xx фирмы Philips.

Новое устройство будем разрабатывать на основе аппаратно-программного ядра с использованием «больших» точек.

Знакомство с МК P89LPC9xx

МК P89LPC9xx построен на базе ядра 80C51. Благодаря большому набору функций, МК данного семейства давно пользуются заслуженным вниманием разработчиков.

Всё семейство P89LPC9xx насчитывает около трёх десятков МК. Упакованы они в корпуса различного размера, имеющие от 8 до 48 выводов. Это позволяет легко расширять возможности разрабатываемого устройства, заменяя микроконтроллер более производительным с минимальными доработками ПО.

Немалую роль в популяризации данного семейства сыграла поддержка перепрограммирования МК в системе. Это стало возможным благодаря использованию флэш-памяти и реализации системы самопрограммирования.

Способы программирования

Все МК поддерживают как минимум три способа программирования: параллельный, программный (IAP) и последовательный, через определённые линии порта (ICP).

МК, в составе которых имеется последовательный порт USART, поддерживают программирование и через этот порт (ISP).

Параллельный способ программирования подразумевает, что МК не запаян в плату и может быть установлен в программатор. Данный способ является самым надёжным, поскольку он не зависит от наличия встроенных программ загрузки. С другой стороны, параллельный способ малопривлекателен из-за того, что он неприменим к МК, установленным в устройство.

Программный способ программирования (IAP), а точнее, перепрограммирования, в противоположность параллельному, возможен только для МК, работающего в устройстве. Данный способ используется для обновления встраиваемого ПО и сохранения рабочих констант. Реа-

лизовать такой способ может программист при написании программы для разрабатываемого устройства.

Последовательные способы программирования (ICP, ISP) применимы к МК как запаянному в устройство, так и к незапаянному. В данном случае используются встроенные ресурсы МК (загрузочная программа для ISP), которые обеспечивают приём и запись кода во флэш-память.

В разрабатываемом нами программаторе реализуем последовательные способы программирования. Хочу обратить внимание на то, что МК FX2LP, использованный в схеме аппаратно-программного ядра [1], не имеет порта USART. Тем не менее, мы реализуем метод ISP, поскольку его использование возможно при замене FX2LP с 56 выводами на МК с большим числом выводов, где имеется USART.

Спецификация программирования методом ISP описана в руководстве пользователя для любого МК, имеющего в своём составе порт USART. Возьмём, к примеру, МК P89LPC922 и соответствующее ему описание [4].

Метод программирования ICP почему-то не так подробно описан в документации, хотя именно данный метод применим ко всем МК семейства. Тем не менее, существует отдельный документ, в котором описана спецификация программирования методом ICP [5].

Этими документами мы и будем руководствоваться при разработке программатора.

Условия программирования

В каждом методе программирования общим является использование двух линий питания (VCC, GND) и сигнала RESET. Способы начала программирования и линии передачи данных индивидуальны для каждого метода.

Метод ICP. Вход в режим программирования осуществляется при помощи сигнала RESET. После подачи питания необходимо выдать семь единичных импульсов RESET, как показано на рисунке 4. При дальнейшей установке сигнала в состояние «лог. 1» МК переходит в режим программирования.

Для обмена данными используются две линии порта P0:

- P0.4 (PDA) – двунаправленная линия данных;
 - P0.5 (PCL) – линия тактового сигнала.
- Тактовый сигнал формируется про- грамматором. Данные фиксируются в приёмнике информации по поло- жительному фронту PCL и не могут изменяться, пока PCL находится в состоянии «лог. 1».

Метод ISP. В этом методе обмен данными происходит по линиям TxD и RxD. Передаваемый пакет имеет формат:

- 8 бит данных;
- паритета нет;
- 1 стоп-бит.

Скорость может отличаться от ре- комендуемых 9600 бод, поскольку в МК имеется программная автопод- стройка скорости обмена.

Вход в режим программирования начинается с включения питания и выдачи трёх импульсов RESET. Далее сигнал остаётся в состоянии «лог. 1», а по линии TxD необходимо посылать символ «U» (55h), для того чтобы прог- раммируемый МК подстроил скорость обмена. Вход в режим программирова- ния считается законченным, когда P89LPC9xx пошлёт в ответ символ «U».

Программирование

Когда МК находится в режиме про- граммирования, он готов к приёму команд стирания, записи и чтения. Форматы этих команд для методов ICP и ISP сильно различаются. Более унифицированный формат команд разработан для метода ISP. Поэтому в данном разделе обзор начнем с него.

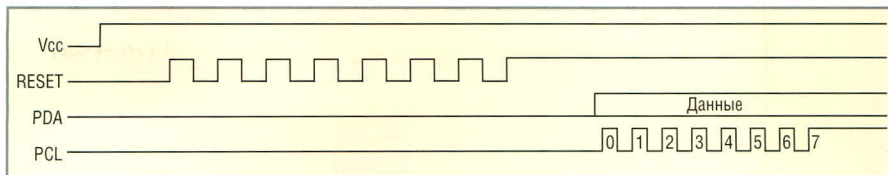


Рис. 4. Диаграмма входа в режим программирования ISP

Метод ISP. Формат всех команд в данном методе соответствует формату HEX-записи, созданному более 20 лет назад фирмой Intel. Запись представ- ляет собой следующую строку:

```
:NNAARDDDD.....DDCC<crLf>
```

Это обычная текстовая строка, на- чинающаяся с символа «:» и заканчи- вающаяся переводом строки. Внутри записи могут встречаться только ASCII-коды шестнадцатеричных чис- ел. Два символа NN характеризуют количество байт данных в записи. Следующие четыре символа AAAA за- дают адрес, с которого необходимо за- писать данные. Два символа RR явля- ются признаком типа записи (обыч- ные данные – 00, конец файла – 01 и т.д.). Далее следуют символы данных DD. Последние два символа CC явля- ются контрольной суммой и позволя- ют проверять целостность записи.

Поскольку формат команды соотве- тствует HEX-записи, её передача про- граммируемому МК осуществляется ASCII-символами. При получении каждого символа P89LPC9xx возвра- щает его по линии RxD («эхо»). Когда HEX-запись передана полностью, МК проверяет контрольную сумму. В слу-

чае если обнаружено несоответствие, по линии RxD будет возвращён сим- вол «X», иначе P89LPC9xx выполняет команду и возвращает символ «.».

Как видим, программирование ме- тодом ISP довольно просто выпол- нить: необходимо войти в режим программирования и передать по ли- нии TxD файл формата HEX, символ за символом. Список команд прото- кола ISP показан в таблице 2.

Метод ICP. К сожалению, в данном методе нет такого унифицированного формата команд, как в ISP. В методе ICP необходимо оперировать содержи- мым регистров, обслуживающих внут- реннюю флэш-память P89LPC9xx:

- FMCON – регистр управления;
- FMDATA – регистр данных;
- FMADRH, FMADRL – регистры стар- шего и младшего байта адреса.

При помощи команд, представлен- ных в таблице 3, мы получаем доступ к названным регистрам и можем ини- циировать выполнение микроконт- роллером любой операции из табли- цы 4. Для контроля окончания выпол- нения операции служит байт статуса.

Передача данных в протоколе ICP осуществляется байтами. На линию PDA байт выдаётся младшим битом вперед. Изменения на линии данных

Таблица 2. Система команд метода программирования ISP

Назначение	Формат команды	Параметры	Возвращаемый результат
Запись кода во флэш-память	:NN AAAA 00 DD ... DD CC	NN – количество байт данных в записи; AAAA – адрес в области памяти; DD – данные; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; «.» – операция выполнена успешно*
Чтение версии ПО	:00 0000 01 FF	–	«X» – несоответствие контрольной суммы; CC CC CC CC «.» – операция выполнена успешно
Запись служебной информации	:02 0000 02 AA DD CC	AA – адрес в служебной области; DD – данные; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; «.» – операция выполнена успешно
Чтение служебной информации	:01 0000 03 AA CC	AA – адрес в служебной области; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; CC CC «.» – операция выполнена успешно
Стирание сектора или страницы	:03 0000 04 TT AAAA CC	TT – приёмник команды (0 – страница, 1 – сектор); AAAA – адрес страницы или сектора; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; «.» – операция выполнена успешно
Чтение контрольной суммы сектора	:01 0000 05 AA CC	AA – адрес сектора; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; CC CC CC CC CC CC «.» – операция выполнена успешно
Чтение глобальной контрольной суммы	:00 0000 06 FA	–	«X» – несоответствие контрольной суммы; CC CC CC CC CC CC CC «.» – операция выполнена успешно
Загрузка генератора USART	:02 0000 07 HH LL CC	HH – старший загружаемый байт; LL – младший загружаемый байт; CC – контрольная сумма	«X» – несоответствие контрольной суммы; «.» – операция выполнена успешно
Перезагрузка МК	:00 0000 08 F8	–	«X» – несоответствие контрольной суммы; «.» – операция выполнена успешно

Следом за символами «X» или «.» следуют два незначащих символа – 0Dh, 0Ah

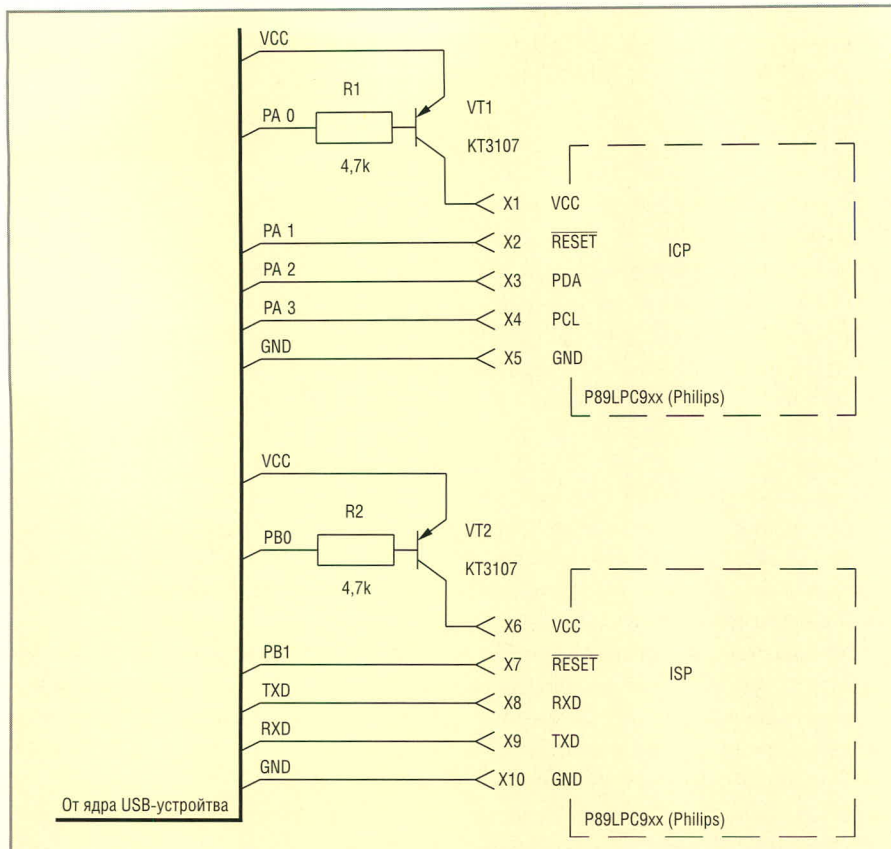


Рис. 5. Электрическая схема программатора МК P89LPC9xx

допускаются только тогда, когда PCL находится в состоянии «лог. 0».

Мы убедились в том, что форматы команд сильно отличаются. Отличие

есть и в типе передаваемых данных. Так, в методе ICP байт передаётся в

двоичном виде (09 – это девять), а в методе ISP каждый байт передаётся

Таблица 3. Коды команд метода программирования ICP

Назначение	Символическое имя	Код
Нет операции	NOP	00h
Запись младшего байта адреса в FMADRL	WR_FMADRL	08h
Чтение младшего байта адреса из FMADRL	RD_FMADRL	09h
Запись старшего байта адреса в FMADRH	WR_FMADRH	0Ah
Чтение старшего байта адреса из FMADRH	RD_FMADRH	0Bh
Запись команды в FMCON	WR_FMCON	0Eh
Чтение статуса из FMCON	RD_FMCON	0Fh
Запись данных в FMDATA	WR_FMDATA	0Ch
Чтение данных из FMDATA	RD_FMDATA	0Dh
Запись данных в FMDATA и увеличение счётчика адреса	WR_FMDATA_I	04h
Чтение данных из FMDATA и увеличение счётчика адреса	RD_FMDATA_I	05h

Таблица 4. Коды внутренних команд P89LPC9xx для работы с флэш-памятью

Назначение	Символическое имя	Код
Загрузить регистр страницы	LOAD	00h
Запрограммировать страницу данными из регистра	PROG	48h
Глобальное стирание	ERS_G	72h
Стереть сектор	ERS_S	71h
Стереть страницу	ERS_P	70h
Доступ к служебной информации	CONF	6Ch
Вычислить глобальную контрольную сумму	CRC_G	1Ah
Вычислить контрольную сумму для сектора	CRC_S	19h
Очистить защиту конфигурации	CCP	67h

двумя ASCII-кодами (30h 39h – это девять: 30h → «0», 39h → «9»). Все рассмотренные особенности нам необходимо будет учесть при разработке системы команд программатора.

Разработка аппаратной части

Для того чтобы осуществить программирование методами ICP и ISP, потребуются минимальные доработки схемы аппаратно-программного ядра ([1], рис. 2).

Для ICP-метода задействуем четыре линии порта PA, которые будут управлять питанием, сигналами RESET, PDA и PCL. Напряжение питания +3,3 В будем коммутировать от внутреннего источника питания ядра к программируемому МК через транзистор VT1 (см. рис. 5).

Для ISP-метода (FX2LP должен быть в корпусе со 100 или более выводами) задействуем две линии порта PB и линии TXD, RXD. Напряжение питания будем коммутировать через транзистор VT2.

На этом разработка аппаратной части завершена. Все остальные действия реализуем программно.

Разработка программной части

Скопируем каталог mydevice в новый каталог и назовем его progipc. В новом каталоге аналогично переименуем главный файл проекта mydevice.asm и изменим переменную NAME_PROJECT в файле asm.bat. Основа программы для нового устройства готова.

В первую очередь начнём редактировать файл переменных.

Файл var.asm. Поскольку у нас уже разработана схема, то мы зададим символические имена используемым линиям портов:

```

; Порт A
portIcp EQU      ioa ; порт ICP
программирования
initPortIcp EQU  11111111b
; начальное состояние выводов -
все выключено
confIcp EQU      oea ; регистр
конфигурации порта ISP програм-
мирования
initConfIcp EQU  00010111b
; начальное направление выводов,
PDA - ввод
initIcpRead EQU
initConfIcp
initIcpWrite EQU  00011111b ;
направление выводов, PDA - вывод
    
```

```
pinPda BIT    portIsp.3 ; <1>
вход/выход данных
pinPcl BIT    portIsp.2 ; [1]
выход тактового сигнала
pinResetIsp BIT    portIsp.1
; [1] выход сигнала "Сброс уст-
ройства"
pinPowerIsp BIT    portIsp.0
; [1] выход сигнала "Включить
питание"

; Порт В
portIsp EQU    iob ; порт ISP
программирования
initPortIsp EQU    11111111b
; начальное состояние выводов -
все выключено
confIsp EQU    oeb ; регистр
конфигурации порта ISP програм-
мирования
initConfIsp EQU    00000011b
; начальное направление выводов

pinResetIsp BIT    portIsp.1
; [1] выход сигнала "Сброс уст-
ройства"
pinPowerIsp BIT    portIsp.0
; [1] выход сигнала "Включить
питание"
```

Проектирование топологии устройства

Из спецификации по программированию [4, 5] мы знаем, что передача больших объёмов информации требуется только во время записи кода во флэш-память. Для прочих команд, в том числе и чтения, объёмы передаваемых данных малы.

В связи с этим наиболее правильным будет оформить все команды, кроме записи, в виде дополнительных требований, поскольку их необходимо подавать редко и выборочно, а вот запись осуществлять через точку OUT, потому что файл с программой для МК имеет большое количество HEX-записей. В этом случае нам необходимо выполнять выборку и обработку каждой записи в пакете. Задача несложная, так как признаки начала и конца записи известны.

Поскольку наше устройство поддерживает два метода программирования, создадим в интерфейсе две альтернативные установки. Первую – для работы с каналом ICP, вторую – с каналом ISP.

На рисунке 6 представлена топология разрабатываемого программатора. На «малые» точки в обоих случаях возложена задача обновле-

ния встраиваемого ПО программатора. Передача данных в программируемый МК осуществляется через точки EP2OUT. Использование одной точки в разных альтернативных установках упростит написание программы, поскольку подпрограммы инициализации, деактивации, приёма данных и выборки записи будут общими. Разделение на интерфейсы будет происходить уже на этапе непосредственной записи данных в P89LPC9xx.

Продолжим редактирование файлов проекта.

Файл ep0sd.asm. Установим программатору идентификатор PID, равный 1974h. Количество альтернативных установок зададим равным 2. При изменении количества альтернативных установок следует соответствующим образом скорректировать таблицу значений конфигурационных регистров tableCfg1If0.

Теперь редактируем описание топологии. В дескрипторе интерфейса исправим количество точек на 3 и добавим описание точки EP2OUT:

```
dscrCfg1If0Alt0Ep2:
    DB 7 ; длина дескриптора
    DB 5 ; тип свойства - точка
    DB 2 ; адрес точки
    DB 2 ; тип передачи bulk
sizeAlt0Ep2:
    DB 64,0 ; максимальная длина
пакета
    DB 0 ; интервал для EP_ISO
```

Сразу следом за этим описанием создадим ещё один дескриптор интерфейса с номером альтернативной установки 1. В нём будут описаны те же самые три точки.

В каждом дескрипторе интерфейса добавим строковое описание его назначения. При изменении строковых описаний следует скорректировать переменную DEAL_STRING и указатели на соответствующие строки в таблицах tableStringRu и tableStringUs.

Создадим файлы со строковыми описаниями и назовём их str4xxx.asm (для ICP) и str5xxx.asm (для ISP).

Поскольку в нашем проекте используются «большие» точки, то при подключении устройства к USB 2.0 желательно корректировать в дескрипторах этих точек размер пакета, обслуживаемого ими. Это позволит передавать данные пакетами большего размера, чем по шине USB 1.1.

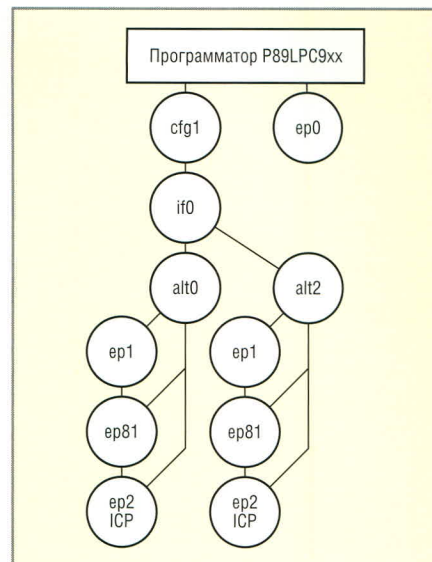


Рис. 6. Топология программатора

Для выполнения этого действия добавим подпрограмму grantHiSpeed, которая будет переписывать соответствующие места в дескрипторах точек:

```
grantHiSpeed:
    mov a,#LOW(SIZE_PAGE_EP2_HIGH)
    mov dptr,#sizeAlt0Ep2
    movx @dptr,a
    mov dptr,#sizeAlt1Ep2
    movx @dptr,a
    mov dptr,#pageEp2 + 1
    movx @dptr,a
    mov a,#HIGH(SIZE_PAGE_EP2_HIGH)
    mov dptr,#sizeAlt0Ep2+1
    movx @dptr,a
    mov dptr,#sizeAlt1Ep2+1
    movx @dptr,a
    mov dptr,#pageEp2
    movx @dptr,a
    ret
```

Файл intusb.asm. В обработчик прерывания isrHiSpeed добавим вызов подпрограммы grantHiSpeed.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекунов Д. Разработка аппаратно-программного ядра USB-устройства. Современная электроника. 2005. № 5, 6.
2. Чекунов Д. EZ-USB FX2LP – универсальное USB-решение. Современная электроника. 2005. № 4
3. Чекунов Д. Расширение функций ядра USB-устройства. Современная электроника. 2006. № 1.
4. User's Manual P89LPC920/921/922. www.semiconductors.philips.com.
5. P89LPC900 In-Circuit Programming (ICP) Specifications. www.8052.com.

«Дисплей-2006»: парад технологий средств отображения

С 14 по 16 июня 2006 г. в Москве в выставочном центре ЦДХ проходила уникальная выставка и конференция по средствам и системам отображения информации «Дисплей-2006», организованная компанией «Чип-ЭКСПО» и российским отделением Международного общества информационных дисплеев (SID).

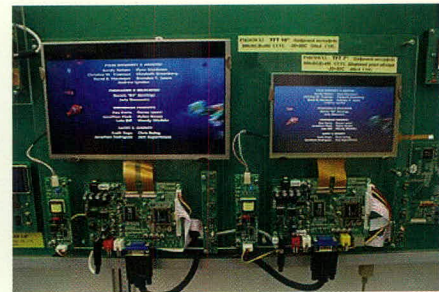
Это первое отечественное мероприятие, в рамках которого демонстрировались передовые дисплейные технологии, компоненты и решения для промышленности, транспорта, оборонного комплекса, рекламной индустрии и городской инфраструктуры. Ведущие производители и разработчики представили светодиодные экраны (плоские, цилиндрические), ЖК-, TFT-, OLED-, плазменные дисплеи, информационные табло, бегущие строки, видеостены, лазерные и проекционные технологии визуализации, электронные декоративные подсветки. Широко была предло-

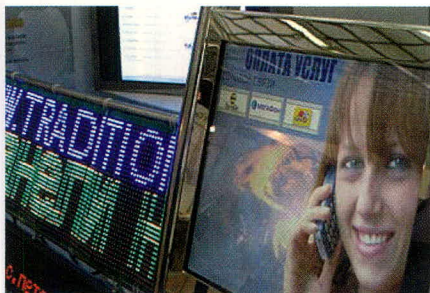
жена техника для жёстких условий эксплуатации с учётом российской специфики.

Экспозиция «Дисплей-2006» размещалась на площади 2000 кв. м в главном зале Центрального дома художника. Удачное расположение выставки позволило посетителям увидеть и оценить по достоинству все аспекты индустрии систем и средств отображения информации.

Выставочную экспозицию дополнила деловая программа из интересных и практически значимых круглых столов и семинаров, подготовленная Российским отделением SID. Для специалистов ВПК, авиастроения, транспортной отрасли прошёл круглый стол «Средства визуализации для промышленных, бортовых и встраиваемых применений и систем управления». Круглый стол «Плазменные, проекционные, ЖК-панели для презентационных и информационных целей», организованный при

участии компании «Полимедиа», привлёк внимание фирм, занимающихся комплексным оснащением конференц-залов, представительских помещений, гостиниц. Семинар «Перспективы новых дисплейных технологий в России и странах СНГ» собрал разработчиков, научные организации, профильную прессу. В рамках этого семинара прошла презентация научно-технической программы Союзного государства: «Разработка перспективных электронных средств отображения информации двойного назначения и современных технологических процессов их производства на 2007–2010 гг.», подготовленная сотрудниками Департамента ОПК Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации. Семинар «Комплексные информационные системы распределённых объектов» вызвал интерес специалистов крупных объектов городской





инфраструктуры: торговые центры, гостиницы, аэропорты, вокзалы, развлекательные центры, концертные залы.

За три дня работы выставку и мероприятия деловой программы посетило 2300 специалистов. Мероприятие привлекло серьезное внимание специалистов из Центральной России, Северо-Западного региона, Урала, Поволжья, Белоруссии и Украины. Должностной состав посетителей выставки: 37% – техническое руководство предприятий, 22% – технические специалисты, 27% – руководители предприятий и их заместители. По данным опросов, более 80% посетителей

охарактеризовали свой визит на выставку как удачный и полезный, при этом участники отмечали высокий процент новых деловых встреч: от 60 до 90% контактов состоялись впервые.

В планах компании «ЧипЭКСПО» – подготовка XXVII Европейской международной выставки «ЕвроДисплей-2007», которую планируется провести в сентябре 2007 г. в Москве.

Подробная информация о выставке «Дисплей-2006» опубликована на сайте <http://display.chipexpo.ru/rus>.

РОССИЙСКИЙ ФИЛИАЛ NATIONAL INSTRUMENTS ПРОВЁЛ КОНФЕРЕНЦИЮ «ЭЛЕКТРОНИКА/АВИОНИКА 2006»

24 мая 2006 г. в Центральном доме предпринимателя (Москва) российский филиал корпорации National Instruments провёл очередную ежегодную конференцию «Электроника/Авионика-2006», посвящённую использованию технологии виртуальных приборов при решении задач комплексного тестирования в авиационной и радиоэлектронной промышленности. В ходе конференции, участниками которой стало более 350 представителей предприятий российской промышленности, были представлены как новейшие продукты National Instruments, так и разработки, созданные на их базе российскими пользователями.

Открыл конференцию директор индийского филиала National Instruments Джейарам Пиллаи (Jayaram Pillai), рассказавший о современных тенденциях в разработке и производстве радиоэлектронного оборудования и авионики. «Сегодня в электронной промышленности происходит повсеместное внедрение микропроцессорных технологий. Данное обстоятельство приводит к тому, что функциональность устройств практически в полной мере определяется программным обеспечением, работающим на микропроцессоре, и может быть изменена в кратчайшие сроки», – сказал Джейарам.

В ходе конференции был представлен ряд технологий National Instruments, позволяющих в кратчайшие сроки разработать тестовые станции для широкого класса приложений. В первой части конференции была продемонстрирована платформа программируемого радио NI, вклю-

чающая в себя векторные анализаторы (NI 5660) и генераторы (NI 5671) ВЧ-сигналов в диапазоне частот до 2,7 ГГц, сигнальные генераторы частот до 6,6 ГГц (NI 565x), модули согласования ВЧ-сигналов и программные средства анализа модулированных ВЧ-сигналов (NI Spectral Measurement Toolkit и Modulation Toolkit).

В следующем докладе был рассмотрен ряд вопросов, связанных с построением универсальных тестовых станций на базе модульных приборов PXI для испытания аналоговой и цифровой электроники. Были освещены такие вопросы, как синхронизация и проведение измерений смешанных сигналов (тесты ЦАП, АЦП), а также управление коммутацией сигналов при проведении комплексных функциональных тестов электроники.

Вторая половина дня была посвящена вопросам проектирования и разработки систем управления и сбора данных на базе ПЛИС. Участникам конференции была представлена новейшая технология NI-RIO, позволяющая инженерам и учёным разрабатывать приложения для устройств программируемой логики в среде LabVIEW с использованием модуля LabVIEW FPGA. Подобный подход позволяет в кратчайшие сроки разрабатывать и тестировать собственные коммуникационные интерфейсы, средства высокоскоростной обработки и фильтрации сигналов, высокоскоростные системы управления и имитаторы многоканальных аналоговых и цифровых устройств.

В заключительной части конференции шла речь о принципах построения

систем тестирования силовой электроники и электротехники на базе платформы National Instruments. Были рассмотрены такие задачи, как измерение мощных высоковольтных сигналов, построение систем контроля качества электроэнергии и тестирования мощных трансформаторов, генераторов и двигателей постоянного и переменного тока.

Помимо представителей корпорации National Instruments на конференции также выступили системные интеграторы и члены альянса NI. Так, компания «АвиаОК» (г. Таганрог) представила несколько своих разработок, среди которых особо следует выделить наземную автоматизированную систему контроля и диагностики бортового авиационного оборудования и бортовой измерительно-вычислительный комплекс контроля качества электроэнергии. Также «АвиаОК» продемонстрировал ряд своих собственных разработок для платформы CompactRIO, таких как коммуникационные интерфейсы MIL-STD-1553 и ARINC-429. Представители компании АСК (г. Москва) рассказали о своём опыте разработки и внедрения бортовых систем диагностики мощных электродвигателей, в частности о системе проведения тягово-энергетических испытаний локомотивов и сервисного оборудования. Питерская компания «Витэк» представила два своих решения, посвящённых использованию LabVIEW FPGA для разработки и настройки силовой управляющей электроники, а также автоматизации испытания мощных газотурбинных генераторов.

LG научилась получать три 50-дюймовые ЖК-панели из одной заготовки

Компания LG Electronics объявила о начале производства плазменных панелей с диагональю 50 дюймов с использованием технологии, позволяющей получать три панели из одной заготовки. Технология даёт возможность LG увеличить месячные показатели объёмов производства 50-дюймовых плазменных панелей с 50 000 до 150 000 штук.



В то же время рынок плоских панелей с диагональю от 50 дюймов, который включает проекционные и плазменные телевизоры, смещается в сторону последних по причине их ценовой конкурентоспособности и лучшего качества изображения. По данным Display Search, в прошлом году доля плазменных телевизоров на мировом рынке телевизоров с диагональю 50 дюймов и более составила 18,7%, тогда как проекционные телевизоры занимали 81,3% рынка. Однако ожидается, что доля плазменных телевизоров увеличится до 34,1% в текущем году, до 54,1% в 2008 г. и достигнет 59,1% в 2010 г.

www.CNews.ru

Intel и Analog Devices разработали новый высокопроизводительный интерфейс транспортной шины

В результате совместных исследований компаниями Analog Devices и Intel создан новый интерфейс SST-шины (Simple Serial Transport bus), обеспечивающий быструю и точную передачу информации об эффективности системы (значений температуры и напряжения) на центральный процессор компьютера или контроллеры ASIC до 1 Мб/с, что в 10 раз выше аналогичного показателя для SMBus. Кроме того, при тестировании на одних материнских платах SMBus даёт 1 ошибку на 10 000 бит, а SST-шина – 1 ошибку на 1 трлн. бит. Таким образом, использование SST-шины приведёт к снижению числа ошибок управления температурой, а следовательно, увеличению

производительности ПК, уменьшению времени загрузки и повышению надёжности. Кроме того, SST-шина позволяет использовать новые возможности чипсетов Intel следующего поколения, в частности Intel Quiet System Technology.

Также компания ADI объявила о выпуске сенсоров семейства ADT748x, работающих по шине SST и замеряющих температуру и напряжение. Сенсоры пригодны для использования во всех классах компьютеров, от десктопов до серверов.

www.itc.ua

Intel представила технологию производства трёхмерных транзисторов

Корпорация Intel сообщила о разработке технологии изготовления в промышленных масштабах трёхзатворных (3-D) транзисторов, что обеспечит дальнейший прогресс в создании экономичных компьютеров.

Планарные транзисторы были получены в конце 50-х годов прошлого века и служили базовыми строительными элементами микросхем со времени зарождения полупроводниковой индустрии. Потребность в трёхмерной транзисторной структуре возникла при достижении уровня детализации в 100 и менее нанометров.

По-видимому, трёхзатворным транзисторам уготовано ключевое место в дальнейших планах Intel – они имеют значительно сниженный ток утечки и потребляют намного меньше энергии, чем планарные транзисторы. В частности, по сравнению с современными 65-нм устройствами интегрированные трёхмерные транзисторы могут обеспечить увеличение скорости коммутации на 45%, уменьшение утечки в 50 раз и затрат энергии на переключение – на 35%.

«Это транзистор с рекордными характеристиками», – отметил Майк Мейберри, вице-президент Intel и директор компонентных исследований.

www.itc.ua

Новая платформа радиокommутации, объединяющая Wi-Fi, WiMAX и RFID

Компания Symbol Technologies объявила о планах вывода на рынок архитектуры Wireless Next Generation (Wi-NG), позволяющей объединить в рамках единой платформы радиокommутации сети Wi-Fi, RFID, VoWLAN (голос поверх беспроводной локальной сети), а также ячеистые сети и сети WiMAX.

По заявлению компании, к 2009 г. рынок RFID достигнет отметки \$2,5 млрд., а объём корпоративного рынка WLAN вырастет до 2,9 млрд. Стоит отметить, что Symbol имеет богатый опыт в производстве беспроводных устройств, так, в 1989 г. компания представила первую беспроводную ЛС, а в 2002 г. – первый в отрасли беспроводной коммутатор.

«Wi-NG – это образец для создания сети четвёртого поколения и следующий шаг в стратегии корпоративных мобильных сетей Symbol, который позволит организациям вводить данные; передавать информацию в приложения через сеть Wi-Fi Symbol и безопасно управлять всей системой», – заявил вице-президент и генеральный менеджер отделений беспроводной архитектуры и RFID Symbol Энтони Бартоло.

Краеугольным камнем архитектуры Wi-NG служит модульная операционная система на базе Linux, которая обеспечивает разделение между инфраструктурой, службами, приложением и разными уровнями управления. Предприятия смогут устанавливать интегрированные системы RFID при гарантированной безопасности и масштабируемости сети Wi-Fi. В дополнение к этому Wi-NG обеспечит заказчикам возможность распространять свои решения Wi-Fi за пределы четырёх стен посредством централизованно управляемой ячеистой сети. Архитектура Wi-NG содержит встроенные средства управления радиосигналом для контроля и управления беспроводными устройствами по всему спектру, чтобы гарантировать максимальную готовность к работе и пиковую производительность сетевой системы, а также планирование, оценку и контроль сети Wi-Fi.

Symbol Wi-NG может послужить фундаментом для объединения на предприятии фиксированных и мобильных сетей (FMC), обеспечивая поддержку существующих и новых беспроводных широкополосных технологий, в том числе 802.11n, WiMAX, GPRS, EV-DO, а также интеграцию нескольких сетей Wi-Fi в локальную сеть. Двухрежимные телефоны VoIP будут беспрепятственно переключаться между сетью Wi-Fi и сотовым оператором обе стороны, так что пользователь сможет работать с тем соединением, которое обеспечивает наилучшее качество связи.

Первым продуктом, использующим инфраструктуру Wi-NG, станет беспроводной коммутатор Symbol WS5100, позволяющий создавать коммутируемую ячеистую сеть 802.11.

www.itc.ua

ТЕХНОЛОГИИ МЕНЯЮТСЯ - *доверие остается*

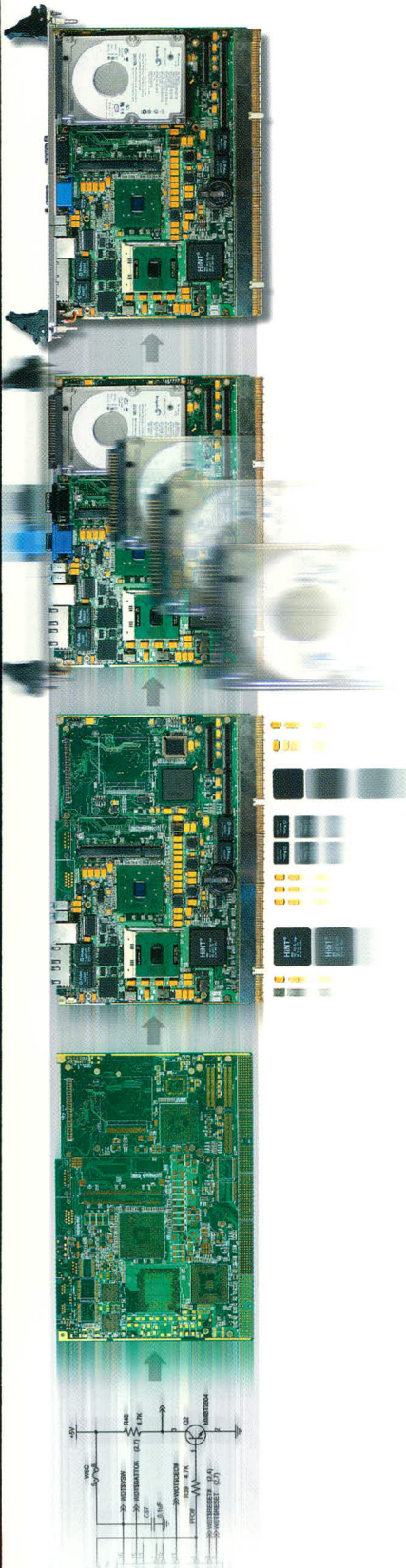
Fasteko – ведущий контрактный производитель электроники в России и СНГ.

Производственные ресурсы компании по квалификации персонала и составу оборудования стоят в ряду лучших европейских производств.

В активе компании прочные и эффективные отношения с признанными лидерами в области электронных компонентов, печатных плат и оборудования.

Компания предоставляет своим клиентам полный комплекс работ и услуг, осуществляя законченный цикл электронного производства.

Fasteko – мир передовых технологий, современных разработок, ответственных решений, заслуженно пользующихся доверием клиентов.



мир электроники Fasteko



ИКСЛАЙТ
XLight

Новая
звезда!

На небосводе
Российской
светотехники —

XLight™

XLight™ – это:

- Изделия полупроводниковой светотехники на базе самых высокоэффективных светодиодных ламп компании Cree®
- Высочайшее качество и надежность: производство сертифицировано по системе качества ISO9001-2000
- Широкая номенклатура изделий светотехнической электроники
- Промышленный температурный диапазон эксплуатации
- 100% выходной контроль
- Приемка ОТК и ПЗ



Кластер 420 Лм @ 350 мА с оптикой



XLamp™ 7090 на алюминиевой печатной плате

PROSOFT®

ПРОСОФТ – эксклюзивный поставщик продукции XLight™

Телефон: (495) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.cree.ru