

Встраиваемые компьютеры серии RUGGCORE™

Виктор Жданкин (Москва)

Область использования встраиваемых систем расширяется с каждым годом. Сегодня они применяются в таких далёких друг от друга областях, как военная и медицинская техника, автомобилестроение и промышленная автоматизация. В данной статье рассматриваются встраиваемые безвентиляторные компьютеры в корпусном исполнении, способные работать в жёстких условиях.

Встраиваемые технологии – один из основных двигателей, задающих рост мировой электронной промышленности

В соответствии с документом «Исследование мировых тенденций и научно-исследовательские программы во встраиваемых системах» (Study of Worldwide Trends and R&D Programs in Embedded Systems), подготовленным Европейским Сообществом, значение встраиваемых систем для Европы изменяется. Европа сегодня является основным игроком на поле встраиваемых систем. В то время как США являются мировым лидером в области традиционной обработки данных с применением компьютеров, Европа совершила революцию во встраиваемых системах. Встраиваемые системы играют возрастающую роль в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, а также в экономике современных стран. Их доля в общей активности по исследованиям и разработкам в Европе составила 9% в 2003 г. и достигнет 14% в 2009 г., – несмотря на финансовый кризис, положительная динамика роста рынка встраиваемых систем сохраняется. Но будучи основным игроком на рынке встраиваемых систем, Европа может потерять своё лидирующее положение по отношению к США вследствие дефицита средств, инвестируемых в течение последних десятилетий. Последствием может быть снижение конкурентоспособности тех отраслей промышленности в Европе, в которых инновации находятся под сильным влиянием встраиваемых систем. Это один из наиболее значительных выводов данного исследования.

Встраиваемые системы стали главным фактором в таких областях, как автомобильная промышленность, промышленная автоматизация и медицинское оборудование. Встраиваемые системы проникли во все сегменты рынка: от потребительской электроники до военной техники. Европейская промышленность в настоящее время лидирует на рынке в этих областях, поэтому встраиваемые системы являются серьёзным экономическим фактором, который поможет сохранить конкурентоспособность европейских стран в этих и других высокотехнологичных отраслях. Предполагается, что добавленная стоимость встроенного электронного оборудования автомобиля возрастёт с 20% в настоящее время до 35...40% к 2015 г.

Огромный потенциал встраиваемых систем для экономического развития Европы подтверждается сравнением ожидаемого мирового темпа роста рынка встраиваемых систем на уровне 14% ежегодно в 2004...2009 гг. и среднего годового темпа роста валового внутреннего продукта на уровне 4% в 1999...2002 гг. Значимость встраиваемых систем подтверждается и сравнением рынка электронного оборудования и рынка встраиваемых систем. Например, ожидается, что число микропроцессоров удвоится в 2000...2010 гг., что даст в результате около трёх встраиваемых устройств на душу населения Земли. В настоящее время 98% всех выпускаемых процессоров используются во встраиваемых системах [1].

Одной из современных тенденций является возрастающее значение встраиваемых систем для электронной промышленности. Встраиваемые

технологии являются мощным фактором, задающим рост мировой электронной промышленности. Объём мирового рынка этой отрасли оценивается более чем в 160 млрд. евро, и ожидаются годовые темпы роста на уровне 9% в период до 2010 г. В 2008 г. полупроводниковая промышленность получила 60% своих общемировых доходов от микросхем, применяемых во встраиваемых системах [2].

С 2004 г. на основной электронной выставке Electronica (Мюнхен) встраиваемые технологии представлены в отдельной выставочной зоне, доклады о них звучат на конференциях и презентациях новой продукции. На выставке, состоявшейся в 2008 г., встраиваемая электроника снова была представлена широким спектром встраиваемых технологий. Этот ряд начинался от микропроцессоров и контроллеров, его продолжали инструментальные средства для разработки программного обеспечения и аппаратные средства, а заканчивали готовые к использованию системные решения. К встраиваемым системам сегодня относят различную продукцию: дисплейные модули, измерительные, интерфейсные платы, встраиваемое программное обеспечение и многое другое [3].

Встраиваемые системы являются одним из самых быстро развивающихся сегментов российского рынка электроники. Многие российские компании разрабатывают и производят встраиваемое телекоммуникационное оборудование, системы безопасности и системы АСУ ТП и т.д.

Зарубежные компании предлагают на российском рынке встраиваемые компьютеры, программируемые логические контроллеры, одноплатные компьютеры, выполненные в различных форм-факторах, операционные системы для встраиваемых интеллектуальных устройств и др.

Значимым сегментом рынка встраиваемых систем являются встраиваемые компьютеры, выполненные на современных процессорах разных типов. Встраиваемые одноплатные

компьютеры обеспечивают возможность создания надёжных и компактных решений для промышленной автоматизации, транспортных бортовых систем, телекоммуникаций, систем автоматизации торговых точек, систем специального назначения и т.д. Подробные обзоры современного рынка встраиваемых одноплатных компьютеров и микрокомпьютеров в корпусных исполнениях представлены в различных изданиях [4–7].

В данной статье рассматриваются встраиваемые безвентиляторные компьютеры в корпусном исполнении серии RUGGCORE™, предлагаемые компанией LITEMAX (www.litemax.com), известным разработчиком и производителем плоскопанельных дисплеев высокой яркости для различных применений, панельных компьютеров для промышленных (серия NAVPIXEL™) и медицинских (серия MEDPIXEL™) применений. Серия встраиваемых компьютеров RUGGCORE весьма удачно дополняет линейку продукции компании и позволяет предлагать заказчикам комплексные решения, например, систему на основе упрочнённого дисплея серии NAVPIXEL™ для жёстких условий эксплуатации и встраиваемый компьютер серии RUGGCORE.

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ВСТРАИВАЕМЫХ КОМПЬЮТЕРАХ СЕРИИ RUGGCORE

RUGGCORE™ – это новая серия встраиваемых компьютеров, которая выпускается компанией LITEMAX. Новое поколение встраиваемых компьютеров характеризуется высокой эффективностью и выпускается в очень компактных алюминиевых корпусах, которые обеспечивают защиту от механических ударов и проникновения пыли. Благодаря тому, что конструкция серии RUGGCORE учитывает особенности эксплуатации в промышленных условиях, эти компьютеры отличаются гибкостью во встраиваемых приложениях. Превосходные технические характеристики делают встраиваемые компьютеры RUGGCORE хорошим выбором для применений в морской аппаратуре, информационных киосках, терминалах розничной торговли, системах наблюдения, автозаправочных станциях, развлекательно-информационных системах, автоматизиро-

ванных системах управления предприятием, лазерных гравировочных станках, высокопроизводительных встраиваемых системах управления и т.д.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ RUGGCORE™

Для сохранения работоспособности в жёстких условиях окружающей среды компьютеры серии RUGGCORE™ выполнены в конструктивном исполнении, обеспечивающем повышенную защищённость. Компактный алюминиевый корпус обеспечивает стойкость всех интегральных микросхем и устройств хранения информации к вибрации и механическим ударам.

Отсутствие вращающихся подсистем типа вентилятора охлаждения или жёстких дисков не только способствует снижению энергопотреблению, но также приводит к увеличению надёжности (среднее время между двумя отказами составляет более 50 000 ч).

В дополнение к этому конструкция шасси в виде этажерки отличается гибкостью и служит основой для богатейших возможностей ввода/вывода и разнообразных видеointерфейсов на базе процессоров Intel. Благодаря этим особенностям заказчики могут выбрать встраиваемый безвентиляторный компьютер серии RUGGCORE, исходя из тех функций, которые лучше соответствуют их требованиям.

Компания LITEMAX, обладающая базой для новаторских научно-исследовательских работ, продолжит выпуск изделий серии RUGGCORE по разумным ценам для всё большего числа промышленных применений.

ПРЕИМУЩЕСТВА RUGGCORE

Конструкция повышенной защищённости

Для создания прочной механической конструкции встраиваемых компьютеров серии RUGGCORE применяется специальное алюминиевое шасси. Вибро- и ударопрочность конструкции:

- стойкость к воздействию случайной вибрации: 5 g (среднеквадратическое значение), диапазон частот 5...500 Гц;
- стойкость к механическому удару: 50 g (пиковое ударное ускорение) в течение 11 мс.

Хорошо защищённый специально разработанным антивибрационным креплением НЖМД и закреплённые компоненты выдерживают такие жёсткие испытания, как воздействие предельных температур окружающей среды, случайная вибрация и механический удар [8].

Безвентиляторная конструкция

Встраиваемые компьютеры серии RUGGCORE™ выполнены в компактном алюминиевом корпусе, который способен обеспечить надёжную защиту от воздействия ударов, вибрации, пыли, повышенной и пониженной температур. Благодаря усовершенствованной технологии отвода тепла, компьютеры RUGGCORE способны обеспечить высокую производительность без применения вентилятора. Основные свойства безвентиляторной конструкции:

- устранение отказов, вызываемых вентилятором;
- высокая надёжность (среднее время между двумя отказами более 50 000 ч);
- избавление от грязи, которая может попасть в шасси при использовании вентилятора;
- отсутствие акустического шума.

Расширяемая конструкция шасси

Благодаря специальной расширяемой конструкции шасси пользователи RUGGCORE могут выбирать подходящие лицевые панели для различных промышленных применений. Например, два комплекта компьютеров RUGGCORE могут вмещать четыре COM-порта; имеются PCI-порты. Кроме того, благодаря возможности расширения, в компьютер может быть установлено больше компонентов.

Входное напряжение в диапазоне 9...36 В

Для обеспечения различных приложений напряжением питания и снижения вероятности повреждения компонентов высоким напряжением компьютеры серии RUGGCORE приспособлены для работы в широком диапазоне питающего напряжения. Встроенный преобразователь обеспечивает компоненты системы необходимым напряжением. Компактная конструкция подтвердила свою эффективность во время многочисленных испытаний и способна обес-



Рис. 1. Встраиваемый компьютер REC5415-A01

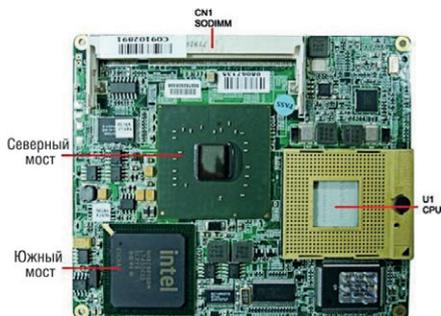


Рис. 2. Вид процессорной платы компьютера REC5415 со стороны установки компонентов

Чипсет выполнен в виде отдельных северного и южного мостов

печить устойчивость, соответствующую промышленным требованиям.

Серия REC – безвентиляторные встраиваемые компьютеры

Встраиваемые компьютеры (таб. 1), выполненные в соответствии с нова-

торской концепцией упрочнённых комплектных корпусных микрокомпьютеров, оснащены низковольтным процессором Celeron M компании Intel (модель REC5415-A01) (рис. 1) с четырьмя портами USB 2.0 (скорость передачи 480 Мбит/с), двумя последовательными портами и цифровым вводом/выводом для осуществления обмена данными с разнообразными устройствами и датчиками. В модели REC5415-A02 применяется двухъядерный центральный процессор Intel® Core™ 2 Duo, который характеризуется отличным соотношением производительность/энергопотребление и возможностью распараллеливания вычислений. Необходимо заметить, что по показателю производительности из расчёта на ватт потребляемой мощности двухъядерные процессоры серии Intel® Core™ 2 Duo превосходят аналогичные модели семейства Intel Pentium M почти вдвое. Распараллеливание позволяет добиться ещё более впечатляющих результатов [9].

Применение чипсета Intel 945GME (северный мост) и ICH-7M (южный мост) является прекрасным выбо-

ром для применений встраиваемых компьютеров серии RUGGCORE в качестве рабочих станций, человеко-машинных интерфейсов и в бортовых приложениях (рис. 2). Использование компонентов, предназначенных для мобильных применений, позволило создать компактное решение с оптимальным тепловым режимом. Эти наборы микросхем поддерживают работу оперативной памяти стандарта Double Data-Rate (DDR) 400/533/667 объёмом до 2 Гб и системной шины с частотой 533/667 МГц. Набор системной логики Intel 82945GME также поддерживает графический акселератор 950 и обеспечивает превосходную производительность трёхмерной графики на наивысшей доступной частоте для применений с разрешением выше 1280 × 1024 при использовании стандартных операционных систем. Два независимых дисплея с разрешениями до 1600 × 1200 (двухканальный 24-битовый интерфейс LVDS) и аналоговый выход VGA также поддерживаются набором системной логики 82945GME. Для ещё более высоких требований к производительности

Таблица 1. Технические характеристики встраиваемых компьютеров серии RUGGCORE™

Характеристики	REC5415	REC5425	REC5435
Процессорная система			
CPU	Intel® Core™ 2 Duo Intel® Celeron™ M	Intel® Core™ 2 Duo Intel® Celeron™ M	Intel® Core™ 2 Duo Intel® Celeron™ M
Чипсет	Intel® 945GME Intel® ICH-7M	Intel® 945GME Intel® ICH-7M	Intel® 945GME Intel® ICH-7M
BIOS	Award™	Award™	Award™
Системная память	DDR II SODIMM до 2 Гб (макс.) (DDR II 400/533/667)	DDR II SODIMM до 2 Гб (макс.) (DDR II 400/533/667)	DDR II SODIMM до 2 Гб (макс.) (DDR II 400/533/667)
Дисплейный интерфейс			
ЭЛТ	VGA (через порт DVI-I)	VGA (через порт DVI-I)	VGA (через порт DVI-I)
ЖКД	24-битовый LVDS, HDMI (опция), DVI	24-битовый LVDS, HDMI (опция), DVI	24-битовый LVDS, HDMI (опция), DVI
Интерфейсы ввода/вывода			
Звуковой	Линейный выход, микрофонный вход (ALC655)	Линейный выход, микрофонный вход (ALC655)	Линейный выход, микрофонный вход (ALC655)
Ethernet	10/100Base-TX × 1 (Intel EP82562ET) Gigabit Ethernet × 1 (Intel 82573 GbE)	10/100Base-TX × 1 (Intel EP82562ET) Gigabit Ethernet × 1 (Intel 82573 GbE)	10/100Base-TX × 1 (Intel EP82562ET) Gigabit Ethernet × 1 (Intel 82573 GbE)
PS/2	1 ×	1 ×	1 ×
USB	4 × USB 2.0	4 × USB 2.0	4 × USB 2.0
Последовательный порт	1 × RS-232, 1 × RS-232/422/485	5 × RS-232, 1 × RS-232/422/485	5 × RS-232, 1 × RS-232/422/485
Система запоминающих устройств			
Твердотельный диск	Compact Flash Тип II	Compact Flash Тип II	Compact Flash Тип I
НЖМД		1 × 2,5" HDD	1 × 2,5" HDD
Электропитание			
Диапазон входного напряжения	9...36 В постоянного тока	9...36 В постоянного тока	9...36 В постоянного тока
Конструкция			
Способ монтажа	Настенный, настольный, на DIN-рейку	Настенный, настольный, на DIN-рейку	Настенный, настольный, на DIN-рейку
Размеры (Ш × В × Г), мм	270 × 61 × 184	270 × 81 × 184	270 × 111 × 184
Вес, кг	4,5	4,6	~ 5
Условия внешней среды			
Диапазон рабочих температур, °C	-15...+55	-15...+55 (с Compact Flash диском)	-15...+55 (с Compact Flash диском)
Диапазон температур хранения, °C	-20...+70	-20...+70	-20...+70
Относительная влажность, %	5...90 (при +40°C без конденсации влаги)	5...90 (при +40°C без конденсации влаги)	5...90 (при +40°C без конденсации влаги)
Электромагнитная совместимость	CE/FCC class A	CE/FCC class A	CE/FCC class A



Рис. 3 . Соединитель HDMI на тыльной стороне корпуса встраиваемого компьютера REC5415



Рис. 4. Соединитель LVDS на тыльной стороне корпуса встраиваемого компьютера REC5415

графики может использоваться порт PCI Express с подключением графического адаптера любого известного производителя.

Компьютеры серии REC способны эффективно работать от сети постоянного напряжения с диапазоном напряжений от 9 до 36 В без применения охлаждающего вентилятора в широком диапазоне температур от -15 до $+55^{\circ}\text{C}$.

Встраиваемые компьютеры серии RUGGCORE характеризуются отличными коммуникационными способностями, работают в двух сетевых сегментах (10/100Base-TX и Gigabit Ethernet $\times 1$), имеют до четырёх портов USB 2.0, до пяти асинхронных портов RS-232 и порт RS232/422/485. Стандарт USB 2.0 поддерживает технологию plug-and-play, «горячую» замену, а также допускает использование смешанных высокоскоростных протоколов, таких как Ethernet, DSL, ISDN и спутниковое соединение.

Применение во встраиваемых компьютерах серии REC двухъядерных процессоров с архитектурой x86 и обширного ряда последовательных коммуникаций полностью соответствует современной тенденции развития встраиваемых компьютерных технологий.

Ещё одним достоинством встраиваемых компьютеров серии REC является

наличие мультимедийного интерфейса высокой чёткости (High Definition Multimedia Interface – HDMI™, устанавливается по заказу). HDMI позволяет передавать цифровые видеоданные высокого разрешения и многоканальные цифровые аудиосигналы с защитой от копирования (High Bandwidth Digital Copy Protection – HDCP). Разъём HDMI обеспечивает цифровое DVI-соединение нескольких устройств с помощью соответствующих кабелей. Основное различие между HDMI и DVI состоит в том, что разъём HDMI меньше по размеру (рис. 3), интерфейс оснащён защитой от копирования HDCP, а также поддерживает передачу многоканальных цифровых аудиосигналов.

В недавнем прошлом для соединения графических контроллеров или графических процессоров с ЖК-панелью применялось параллельное соединение: параллельным кодом передавались биты сигнала RGB синхронно с сигналом задающего генератора. Для организации соединения с удалённым ЖК-дисплеем применение параллельных шин невозможно при дальности связи более 20...30 см из-за чрезмерной толщины кабеля, большой потребляемой мощности и высокого уровня излучаемых помех. Для решения этих проблем во встраиваемых дисплеях применяется высокоскоростной маломощный интерфейс LVDS (Low Voltage Differential Signaling) (рис. 4).

Интересно отметить, что, поскольку возможности параллельных интерфейсов практически исчерпаны, в различных секторах компьютерной отрасли наблюдается переход на последовательные интерфейсы, образованные низковольтными дифференциальными парами проводников (LVDS). Принцип LVDS лежит в основе большинства современных технологий обмена данными, включая Serial ATA, USB и PCI Express. Кроме основного – сектора дисплейного оборудования – интерфейс LVDS применяется в телекоммуникационном оборудовании, системах промышленного зрения и теленаблюдения [10–13].

Для снижения требований к корпусам встраиваемых микрокомпьютеров компания LITEMAX предложила две новые модели – REC3423 и REC-3425, в основе которых платы EPIC-9457 и EPIC-9456 в форм-факторе EPIC. Основные достоинства плат форм-

Таблица 2. Технические характеристики встраиваемых компьютеров серии RUGGCORE второго поколения

Параметры	REC3423	REC3425
Процессорная плата	EPIC-9457	EPIC-9456
ЦП	Atom N270	Core 2 Duo/Core Duo/Celeron M
Системная память	DDR II 400/533 2 Гб (макс.)	DDR II 400/533/667 2 Гб (макс.)
Чипсет	Intel 945GSE +ICH7-M	Intel 945GME+ICH7-M
Микросхема входа/выхода	ITE8781 (COM × 4)	ITE IT8712KX (COM × 2) Fintek F81216 (COM × 4)
Микросхема LAN	Giga LAN × 2 Intel 82574, GbE	Giga LAN × 2 Intel 82574 (× 2), GbE
Запоминающие устройства	CF × 1, SATA × 2, EIDE × 1	CF × 1, SATA × 2, EIDE × 1
Слот расширения	PCI/104	PCI/104
Дисплейные интерфейсы	VGA × 1, DVI × 1, LVDS (24-битовый), TV	VGA × 1, DVI × 1, LVDS (24-битовый), TV
Аудио интерфейсы	ALC655, линейный выход, микрофонный вход	ALC655, линейный выход, линейный вход, микрофонный вход
Последовательные порты	RS-232 × 3 RS-232/422/485 × 1	RS-232 × 3 RS-232/422/485 × 1
Порты USB 2.0	USB × 4 + 2 внутренних	USB × 4 + 4 внутренних
Напряжение питания, В	8,5...19	12
Размеры (Ш × В × Г), мм	196 × 68,5 × 159	196 × 68,5 × 159

фактора EPIC: компактный размер (115 × 165 мм) занимает промежуточное положение между PC/104 (90 × 96 мм) и Mini-ITX (170 × 170 мм); использование промышленных разъёмов, способных работать в условиях повышенных механических нагрузок; поддержка стандартных плат расширения PC/104 и PC/104+ (шина PCI 33 МГц); расположение процессора за границами стека PC/104, что позволяет применять эффективные схемы охлаждения и в то же время не увеличивать существенно размеры. Платы EPIC являются хорошим решением для приложений с небольшими требованиями по входу/выходу. Для обеспечения ещё меньшего энергопотребления модель REC3423 выполнена на основе платы EPIC-9457, которая характеризуется исключительно малой рассеиваемой мощностью и умеренной производительностью благодаря применению ЦП серии Intel Atom N270 (рассеиваемая мощность 2,5 Вт).

Выпустив процессор Atom™ N270, компания Intel проложила новый путь для встраиваемых систем. По-прежнему поддерживая решение на основе трёх микросхем 82945 (ЦП, северный мост, южный мост), производитель ЦП реагирует на потребность промышленности в умеренных по стоимости гибких решениях. С новой платформой Intel® Atom™ достоинства процессора N270 объединяются с мостовой технологией Intel 82945-GME/ICH7 с широкими возможностями по вводу/выводу (внешние и внутренние интерфейсы). Процессор Atom N270 (Diamondville) со специфицированной рассеиваемой мощностью 2,5 Вт предназначен для мобильных и портативных приложений.

Благодаря широкому ряду интерфейсов и поддержке портов DVI/LVDS или PCIe × 16 для внешних графических адаптеров, платформа имеет возможности расширения. Оперативная память до 2 Гб поддерживается базовым набором контроллеров памяти в разъёме SO-DIMM.

Новые модели REC3423 и REC3425 были впервые продемонстрированы на выставке embedded world 2009 (Нюрнберг, Германия, 3–5 марта 2009).

Основные технические характеристики встраиваемых компьютеров второго поколения серии RUGGCORE приведены в табл. 2.

Встраиваемые компьютеры серии RUGGCORE совместимы с операционными системами Windows XP, Windows XP Embedded, Windows CE и Linux RedHat.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширение линейки продукции встраиваемыми компьютерами серии RUGGCORE позволяет компании LITEMAX предлагать комплексные решения: встраиваемые компьютеры и жидкокристаллические дисплеи высокой яркости с системами задней подсветки на основе люминесцентных ламп с холодным катодом и на массивах светодиодов.

Предложение встраиваемых компьютеров, выполненных на основе двухъядерных процессоров Intel Duo Core и на оптимально выбранном наборе системной логики (базовый набор контроллеров памяти, внешних и внутренних интерфейсов), позволяет применять встраиваемые компьютеры в транспортных бортовых приложениях, программно-аппаратных

комплексах человеко-машинного интерфейса, в индустрии развлечений, в области телекоммуникаций, системах автоматизации торговых точек (Point of Sale – POS), обеспечивая совместимость различного оборудования по электрическим, тепловым и механическим параметрам.

Более подробную информацию по встраиваемым компьютерам серии RUGGCORE™ можно найти на сайте изготовителя по адресу www.ruggcore.com или в специальном разделе сайта компании ПРОСОФТ www.ruggcore.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Exhibition Preview: Embedded Systems at electronica 2008. ECE (Embedded Control Europe). 2008. 07/08. October.
2. Dittich K. Electronica 2008: a platform for the international embedded industry. ECE (Embedded Control Europe). 2008. 08/08. Special Issue.
3. Покровский И. Обзор мирового рынка электроники. Новая электроника России. 2008.
4. Буравлёв А. Компьютерные модули: стандарты, спецификации и основные принципы использования. Часть 1. Современные технологии автоматизации. 2009. № 1.
5. Миллер Д., Розенфельд П. «Беговая дорожка» встраиваемых компьютерных технологий. Автоматизация в промышленности. 2007. № 3.
6. Буравлёв А. Процессорные платы PC/104: новые задачи, новые стандарты, новые возможности. Современные технологии автоматизации. 2007. № 3.
7. Акиншин Л.Г. Куда движется рынок встраиваемых компьютерных технологий для систем специального назначения? Часть 1. Промышленные АСУ и контроллеры. 2009. № 1.
8. Engineering Verification Test Report. Product Model: REC5415-A02, REC5425-A02. 2009. January.
9. Акиншин Л. Перспективы многоядерных процессоров во встраиваемых системах стандарта CompactPCI. Электронные компоненты. 2006. № 10.
10. Ячменников В. Варианты интерфейса LVDS для высокоскоростной передачи данных. Электронные компоненты. 2006. № 9.
11. Гросс К. Интерфейс LVDS. Мир компьютерной автоматизации. 2006. № 5.
12. Вирием Т. Внешние и внутренние интерфейсы в архитектуре автомобильных дисплеев и возможности их интеграции. Электронные компоненты. 2007. № 10.
13. Самарин А. Микросхемы LVDS-интерфейса компании ROHM. Электронные компоненты. 2008. № 3.

