ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СХЕМ: ПРОБЛЕМЫ, ИНСТРУМЕНТЫ, РЕШЕНИЯ

ИЛЬЯ ВИКТОРОВ, *i.viktorov@inbox.ru*

С увеличением степени интеграции систем на кристалле и усложнением технологических процессов изготовления аналоговых чипов разработчики аналоговых схем и схем смешанных сигналов сталкиваются с проблемой выбора эффективного решения и возможностью повторного использования разработанных IP-блоков в следующих проектах. В статье обсуждаются методы и средства проектирования аналоговых схем, которые позволяют ускорить оптимизацию схемотехнических и топологических решений.

Не секрет, что проектирование аналоговых схем является наиболее сложным и трудоемким процессом среди работ по созданию электронного устройства. Широкий набор параметров, которые необходимо контролировать, и чрезвычайно высокая чувствительность полученных результатов к изменению граничных условий делают аналоговое проектирование в большей степени видом искусства, чем наукой. Неудивительно, что процесс проектирования аналоговых схем с трудом поддается автоматизации.

Попытки автоматизировать этот процесс, конечно, делались. Но большинство из предлагаемых методов были предназначены только для специфических приложений или требовали слишком сложной настройки и не могли обеспечить существенный выигрыш в эффективности. В результате базовый процесс аналогового проектирования оставался неизменным на протяжении ряда лет. С ростом степени интеграции и усложнением аналоговых и аналого-цифровых компонентов возникла потребность в новых подходах и инструментах проектирования аналоговых схем и схем смешанного сигнала.

Современные чипы, содержащие схемы смешанного сигнала, могут включать большую часть компонентов целой системы. Скорости передачи сигналов в современных системах на кристалле могут достигать нескольких Гбит/с. Однако свойства печатных плат, на которых планируется размещать кристаллы, не позволяют обеспечить достаточную целостность сигналов на таких скоростях, поэтому для реализации проекта часто требуются решения, усложняющие конфигурацию системы. С этой целью разработчики применяют, например, интерфейсные чипы — LVDS-повторители с цепями компенсации, которые позволяют нормализовать сигналы, передаваемые по печатным платам. Кроме того, разработчикам аналоговых схем приходится решать вопросы снижения энергопотребления и сокращения площади кристалла.

Другим фактором, влияющим на поведение аналоговых схем, является сокращение временного бюджета при увеличении скорости сигналов в аналого-цифровых узлах системы. Это увеличивает вероятность появления ошибок и снижает надежность схем.

Критически важной проблемой, особенно при проектировании высокоскоростной системы смешанного сигнала, является создание топологии печатной платы, что часто происходит на одном из последних этапов процесса проектирования. Разработчик печатной платы должен учитывать размещение чипа, расположение и ширину проводников, степень влияния на работу схемы расположенных поблизости цифровых узлов системы. Для корректной интеграции данного чипа в систему разработчику нужно тщательно изучить оценочные платы, документацию и другие материалы от поставщика микросхемы.

Рассмотрим, какие методы и средства помогают оптимизировать и ускорить процесс проектирования аналоговых схем в настоящее время.

ТРАДИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Традиционный процесс проектирования аналоговых схем основан на выполнении многократно повторяющихся операций оптимизации схемы в ручном режиме и моделировании на SPICE. На рисунке 1 показана базовая схема такого итерационного процесса. На основе требуемой спецификации создается конфигурация схемы и вручную рассчитываются базовые параметры элементов. Характеристики и функционирование схемы проверяются на основе SPICE-моделей. Заданные характеристики схемы, такие как потребляемая мощность, коэффициент усиления или запас по фазе, рассчитываются вручную, а затем проверяются в ходе моделирования. После того как достигнуты нужные параметры, схема передается на разработку топологии, проверку проектных норм и верификацию на базе выбранного технологического процесса. После разработки топологии информация о физической реализации схемы передается обратно разработчику для повторной проверки работы схемы в SPICE. Если будет выявлено, что какие-либо паразитные эффекты физической реализации схемы вызывают отклонения в ее работе от заданной спецификации, то может возникнуть потребность в повторных итерациях по модификации схемы и топологии кристалла.

УСКОРЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СХЕМ

Традиционный процесс проектирования аналоговых схем хоть и является достаточно эффективным, но нуждается в ускорении. Ключевыми элементами такого ускорения являются оптимизация схемы, которая позволяет более точно задавать размеры компонентов, автоматизированная компоновка

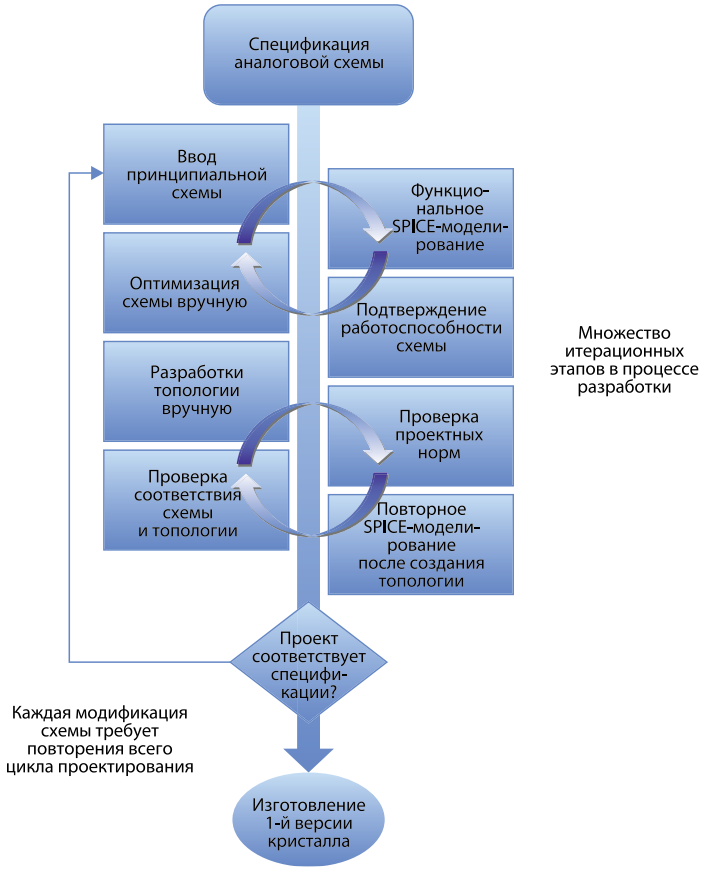


Рис. 1. **В традиционном процессе разработки аналоговой схемы может возникнуть необходимость выполнения нескольких итераций ввиду наличия этапов, выполняемых вручную**

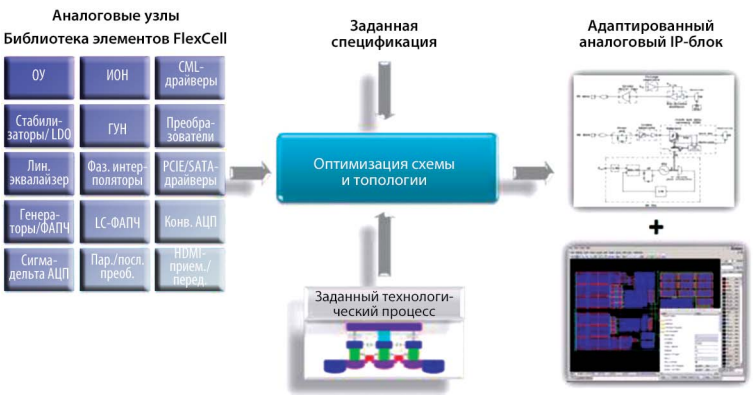


Рис. 2. **Средство разработки Titan ADX позволяет оптимизировать аналоговую схему и топологию на базе IP-моделей**

кристалла и размещения элементов и автоматизированное создание топологии с возможностью повторного использования схемных решений. Рассмотрим эти подходы более подробно.

Оптимизация схемы

С усложнением технологических процессов и увеличением числа параметров, которые необходимо контролировать, проблема оптимизации схем усугубилась настолько, что даже самые опытные разработчики не всегда способны эффективно решать эту задачу. Автоматизация призвана помочь разработчику найти оптимальное решение для данной реализации схемы.

Метод оптимизации схемы, основанный на использовании реализованной модели, например, в средстве разработки аналоговых схем Titan ADX от компании Magma Design Automation, помогает снизить энергопотребление схемы и повысить эффективность процесса проектирования. При таком подходе пользователь определяет граничные условия для схемы, а программное средство находит оптимальные размеры компонентов для данной топологии. На рисунке 2 показана концепция данного метода.

Топология схемы представляется в виде текстовой модели. Процесс описания схемы существенно упрощается за счет доступности библиотеки моделей, называемых FlexCell. Модели FlexCell могут быть использованы для построения любой аналоговой схемы. Разработчики могут использовать модели FlexCell для создания данной топологии, а затем вносить пошаговые изменения в эти модели при их адаптации к конкретному приложению. В результате данный инструмент позволяет создать схему с оптимальными размерами элементов для данной топологии, предельно допустимые параметры схемы и библиотеку элементов для используемого технологического процесса.

Преимуществом метода, основанного на применении моделей, является высокая скорость оптимизации для любого участка схемы и возможность исследования различных вариантов решения. Каждый вариант решения оптимизируется без SPICE-моделирования, что позволяет найти глобальное оптимальное решение за считанные минуты (см. рис. 3). Разработчики могут изменять характеристики, топологию и предельные параметры и быстро получать наглядное представление для каждого варианта решения.

Влияние физических эффектов

Другой важной областью, где автоматизация способна ускорить процесс аналогового проектирования, является связь между принципиальной схемой и физическими эффектами на уровне топологии. Поскольку технологические процессы становятся все более сложными, у разработчиков возникают серьезные проблемы, связанные с влиянием технологических факторов на работу схемы. Оптимизацию размеров компонентов схемы вручную и анализ ее работы приходится выполнять заново, если после разработки топологии были обнаружены физические эффекты, которые искажают характеристики схемы. Рабочие характеристики схемы могут меняться в пределах до 50% от базового уровня в зависимости от ее расположения на кристалле. Раньше такие эффекты были прогнозируемы, и разработчики могли оценивать ситуацию без исполь-

зования сложных инструментов. Но по мере сложности процессов, особенно при проектных нормах 40 нм и меньше, паразитные эффекты в схеме вынуждают разработчиков выполнять множество итераций, чтобы достичь соответствия между расчетными характеристиками схемы и ее реальным поведением после создания топологии. В некоторых случаях разработчики вынуждены довольствоваться неоптимальными характеристиками, что снижает конкурентные преимущества компаний-производителей.

Современные инструменты разработки аналоговых схем, такие как Titan AVP, содержат средства компоновки, позволяющие учитывать эффекты близости других узлов схемы. Разработчики схемы и топологии могут использовать такие инструменты для быстрой компоновки кристалла, а также для извлечения физических данных с целью последующей оптимизации схемы.

Повторное использование решений

Повторное использование схемных и топологических решений в области аналоговых проектов сегодня, как правило, ограничивается на локальном уровне — либо самим разработчиком, либо, в лучшем случае, группой разработчиков. В пределах такой группы повторное использование достаточно широко распространено, поскольку каждая новая схема строится на основе данных и опыта, полученных в предыдущем проекте. Однако поскольку каждая аналоговая схема должна быть фактически полностью переработана под новые требования приложения, выигрыш в эффективности процесса разработки сводится к нулю. В результате число проектов, которые может взять на себя компания, ограничивается именно возможностями группы разработчиков.

В сфере повторного использования решений новые технологии автоматизированного проектирования могут серьезно улучшить эффективность процесса разработки. Если снова обратиться к примеру с инструментом Titan, то выяснится, что те же модели, которые были оптимизированы для данного проекта, могут повторно использоваться и для нового проекта. На уровне разработки схемы оптимизация с использованием моделей позволяет создавать IP-библиотеки, например, FlexCells (см. рис. 2). Созданные проекты можно повторно использовать в других граничных условиях и для других технологических процессов. Каждый новый проект может быть оптимизирован под определенные требования без дополнительной нагрузки на пользователя. Кроме того, опыт, полученный при создании проекта, может быть использован другими разработчиками.

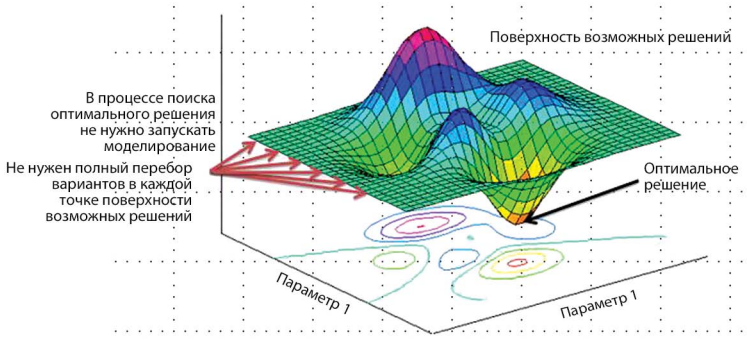


Рис. 3. **Поиск оптимального решения с помощью инструмента Titan ADX**

Группы разработки топологии тратят много времени на оптимизацию компоновки кристалла. И необходимо найти способ сохранения созданных решений и использования их при реализации следующих проектов. В настоящее время доступны инструменты передачи топологии в другие проекты. Инструмент Titan ALX способен отслеживать базу данных физической реализации схем и автоматически генерировать топологию с проверкой проектных норм для нового проекта. Это позволяет существенно сократить время, требуемое для создания топологии.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СХЕМ

Целью развития инструментов проектирования аналоговых схем является необходимость сделать их более простыми в использовании, более интуитивно понятными и наглядными. Недавно выпущенное средство проектирования Webench Designer от National Semiconductor способно быстро создавать и наглядно представлять все возможные аналоговые схемы — от силовых цепей до систем датчиков. Средство Webench помогает разработчику пройти весь путь от создания концепции аналоговой схемы до выбора и заказа компонентов для прототипа.

Многие компании, в том числе TI и National Semiconductor, предлагают интегрированные аппаратные и программные платформы разработки, которые позволяют разработчикам создавать проекты в режиме онлайн, конфигурировать их для заданных требований и быстро перейти к разработке прототипа.

Простой расчет диапазона входных синфазных сигналов с помощью табличного калькулятора INA-CMV-Calc (instrumentation-amplifier common-mode-voltage calculator) от компании TI позволяет сэкономить много времени.

Компания Analog Devices усовершенствовала свой сайт с целью поддержки разработчиков технической информацией и ввела специальный раздел — Engineer Zone. Эта компания также предлагает инструменты разработки радиочастотных схем, среди них ADIsimRF — простой в использовании калькулятор для расчета коэффициента усиления, уровня шумов, точки перехвата составляющих третьего порядка, нелинейных искажений и общей потребляемой мощности. Можно также воспользоваться калькулятором для расчета устройств в передающем и приемном режимах. Компания предоставляет апробированные схемы для разработчиков в разделе своего сайта Circuits from the Lab, гарантируя таким образом заявленные характеристики этих схем.

Компания Intersil предлагает свой инструмент для расчета активных фильтров нижних частот — iSim и другие средства. Многие компании стараются использовать возможности онлайн-проектирования. Перспективные инструменты сочетают функции параметрического поиска подходящих компонентов и выполнения алгоритмов расчета параметров. Такой экспертный подход позволяет быстро и эффективно выбрать нужный компонент благодаря учету как основных параметров, например, диапазона напряжения питания, так и эффектов второго порядка. В новых инструментах также улучшены алгоритмы расчета, которые позволяют уменьшить проектные запасы на характеристики прибора. Эта особенность позволяет создавать более дешевые приложения с меньшей потребляемой мощностью за счет учета разного рода паразитных эффектов уже при первой итерации проектирования схемы. Например,

раньше в инструментах закладывался 100-кратный запас по полосе пропускания фильтра Саллена-Кея второго порядка. В новых же инструментах запас снижен до 10-кратной полосы, что позволило уменьшить стоимость и энергопотребление схемы.

Онлайн-инструменты способны выполнять точный расчет базовых схемных элементов и в некоторых случаях могут передавать разработанные узлы в другие более крупные системы моделирования аналоговых схем, в которых ведется проектирование системы на уровне печатной платы.

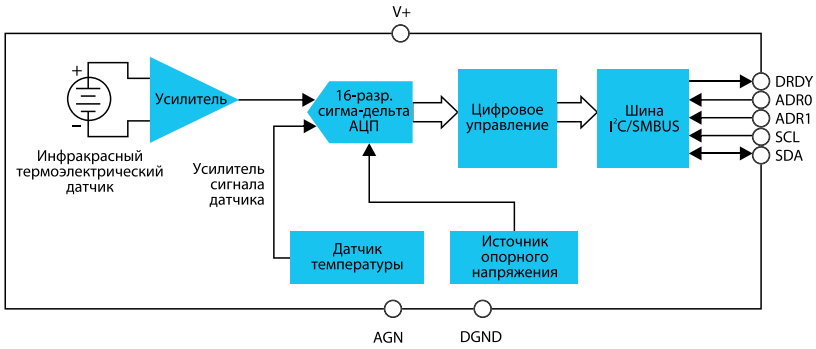


Рис. 4. **Инфракрасный термоэлектрический датчик TMP006 от TI содержит цепи преобразования сигнала, АЦП и выход на последовательную цифровую шину**

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В АНАЛОГОВЫХ СХЕМАХ И СХЕМАХ СМЕШАННОГО СИГНАЛА

Какие новые подходы используют разработчики аналоговых компонентов и схем смешанного сигнала с усложнением технологических процессов? Отрасль быстрее, чем ожидалось ранее, приближается к 20-нм рубежу проектных норм. Разработчикам аналоговых схем нужно как можно быстрее создать новые высокоинтегрированные интегральные схемы смешанного сигнала, чтобы можно было получить конечные продукты, отвечающие растущим требованиям потребителей.

С уменьшением проектных норм становится все труднее поддерживать энергоэффективность аналоговых схем высокой и средней точности. Точность может уменьшаться при масштабировании технологического процесса. Разработчики аналоговых чипов могут улучшить энергоэффективность, используя различные подходы — от выбора оптимальной КМОП-технологии до интеллектуального решения на уровне системы.

Преобразователи данных

Преобразователи данных становятся все более интеллектуальными устройствами. Обладая все большими системными функциями, преобразователи данных способны упростить программное обеспечение. Адаптивное управление питанием и интеграция датчиков в АЦП позволяют упростить задачу разработчикам, исключая необходимость применения цепей преобразования сигналов. Примером такой интеграции может служить инфракрасный термоэлектрический датчик TMP006 от компании TI в компактном корпусе, содержащий цепи преобразования сигнала, АЦП и выход на последовательную цифровую шину (см. рис. 4).

До недавнего времени АЦП, использующие конвейерную архитектуру, лучше всего подходили для обработки широкополосных сигналов с требуемым разрешением. Последние успехи в технологии преобразователей данных с передискретизацией обеспечили альтернативное решение для реализации аналоговых интерфейсов основной полосы частот для беспроводных широкополосных коммуникационных систем. Технология сигма-дельта АЦП с передискретизацией была усовершенствована до такой степени, что теперь эти устройства могут эффективно преобразовывать сигналы с полосой частот в 10 МГц и больше. Это позволяет использовать такие АЦП в приемном канале широкополосных коммуникационных интерфейсов — LTE, WiMax и 802.11abg.

Широкополосные сигма-дельта АЦП с передискретизацией найдут применение в телефонах, которые поддерживают как узкополосную, так и широкополосную связь с шириной полосы до 10 МГц. Они будут также использоваться в приложениях, интегрирующих АЦП с РЧ-приемопередатчиками. Конвейерные АЦП, в свою очередь, найдут применение в приложениях, поддерживающих только широкополосные сигналы, такие как электронные защитные ключи для компьютеров и пикоэлементы, а также сети 802.11n, в которых полоса сигнала основной частоты шире 10 МГц.

Усилители

Ведущие производители разрабатывают усилители, которые предназначены для совместной работы с высокоскоростными широкополосными АЦП. Компания Intersil предлагает SiGe-усилитель с широким динамическим диапазоном для высококачественных систем сбора данных. Другим примером усилителя экзотического типа может служить новый вид СВЧ-усилителя, который был предложен группой разработчиков Университета Аалто (Финляндия). В нем используется нм-резонатор.

Контроллеры питания с цифровым управлением

Реализация цифрового управления в контроллерах питания позволяет разработчикам аналоговых схем упростить мониторинг параметров преобразователей мощности. Для аналоговых контроллеров, по сравнению с их цифровыми аналогами, труднее обеспечить разнообразные функции и возможности гибкой адаптации, которые требуются для силовых преобразователей. Цифровым контроллерам проще достичь этой цели, поскольку они способны оцифровывать данные, которые могут быть считаны внешними устройствами.

Лидером в области силовых устройств с цифровым управлением является компания TI, которая предлагает конфигурируемые устройства для AC/DC- и DC/DC-преобразователей. Компания предлагает широкий набор процессоров, контроллеров и драйверов, а также модулей для построения разнообразных силовых устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последние усовершенствования в процессе проектирования аналоговых схем и успехи в развитии технологических процессов позволили создать новое поколение аналоговых компонентов и систем смешанного сигнала, отвечающих растущим требованиям рынка. Новые подходы, реализованные в средствах проектирования аналоговых схем, повысили эффективность процесса разработки, ускорили время выхода продукта на рынок и обеспечили возможность повторного использования оптимизированных решений.

ЛИТЕРАТУРА

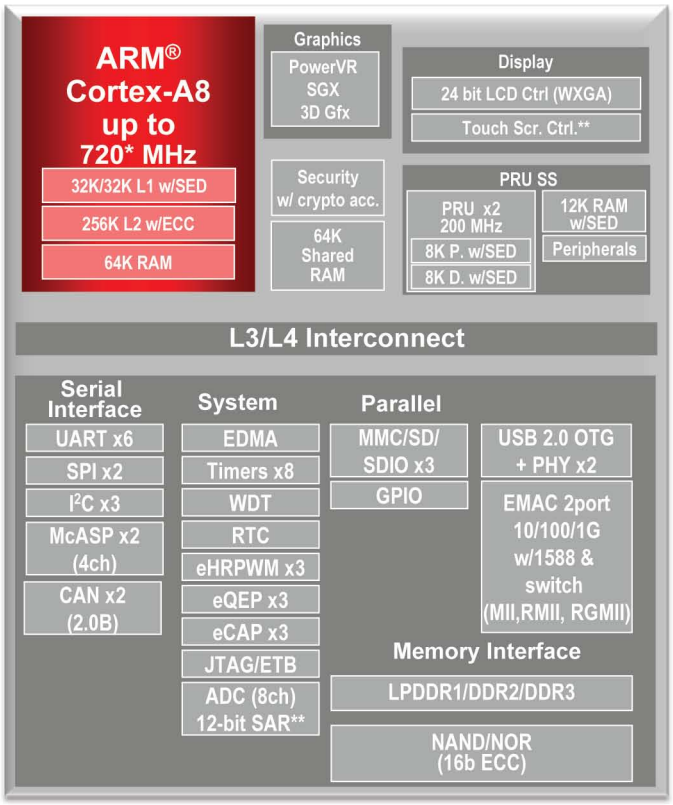
1. *Jeff Jussel, Ashutosh Mauskar. Restoring the artistry of analog design//www.eetimes.com.*
2. *Steve Taranovich. Analog-circuit-design engineers overcome new challenges with advanced tools and ICs//www.edn.com.*

Texas Instruments

МТ-СИСТЕМ - официальный дистрибьютор TEXAS INSTRUMENTS в России

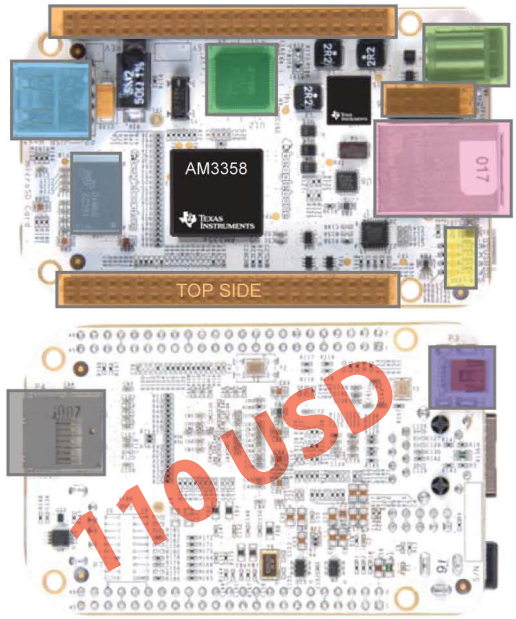
National Products from Texas Instruments

► **Получите больше информации:** ti@mtgroup.ru



ARM Cortex - A8 по цене от 5 USD?

ЭТО РЕАЛЬНО!



Недорогая отладочная плата Beagle Bone!

	ARM Cortex-A8 (MHz)	Graphics	PRU	Industrial I/F [1] M: Master S: Slave	Package	Availability
AM3359	600/720	3D graphics	Two – 32 bit RISC Processer @ 200MHZ	Many incl EtherCAT (M & S)	15x15 / 0.8mm	RTM: Oct 31st RTP: 2Q 2012
AM3358	500/600/720	3D graphics	Two – 32 bit RISC Processer @ 200MHZ	Many excl EtherCAT (M & S)	15x15 /0.8mm 13x13/0.65mm*	RTM: Oct 31st RTP: 2Q 2012
AM3357	275/600/720		Two – 32 bit RISC Processer @ 200MHZ	Many incl EtherCAT (M & S)	15x15 / 0.8mm	RTP: 2Q 2012
AM3356	275/500/600/720		Two – 32 bit RISC Processer @ 200MHZ	Many excl EtherCAT (M & S)	15x15 /0.8mm 13x13/0.65mm*	RTP: 2Q 2012
AM3354	500/600/720	3D graphics		Many incl EtherCAT (M ONLY)	15x15 /0.8mm 13x13/0.65mm*	RTP: 2Q 2012
AM3352	500/600/720			Many incl EtherCAT (M only)	15x15 /0.8mm 13x13/0.65mm*	RTP: 2Q 2012

Pin-to-Pin Compatible

Software Compatible

техническая поддержка • сопровождение проектов • склад

Санкт-Петербург:
Ул. Калинина, 13
Тел.: (812) 325-3685
Факс: (812) 786-8579
e-mail: info@mt-system.ru

Москва:
Красноармейская ул., д. 11, корп. 1
(ст. м. "Аэропорт")
Тел/факс: (495) 988 20 73, 988 20 74
e-mail: moscow@mt-system.ru

MT system
www.mt-system.ru

РЕКЛАМА

Texas Instruments · Samsung Electronics · NXP · Delta · IXYS · Panasonic · SIMCom · aimtec · TE connectivity · Futaba · intersil · ON Semiconductor · maestro · molex