

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ЗВУКОВЫХ ФОРМАТОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Окончание. Начало см. в ЭК 2005, №1

Андрей Данилов, к.т.н., старший научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова

Во второй части статьи описываются особенности построения и элементная база внутрисхемных, межблочных и сетевых интерфейсов для передачи цифровых звуковых сигналов высокого разрешения.

ЧАСТЬ 2. ИНТЕРФЕЙСЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ВЫБОРКИ

Основным требованием к цифровому звуковому интерфейсу является изохронность, т.е. следование отсчетов через равные интервалы при воспроизведении фонограммы. Нестабильность интервалов и ошибки синхронизации передатчика и приемника приводят к изменению спектра звукового сигнала. Первые ИС одноканальных звуковых ЦАП и АЦП оснащались 14/16-разрядным параллельным интерфейсом. С появлением двухканальных ИС стал применяться последовательный интерфейс, где 16...20-разрядные слова (позднее — 24-разрядные), соответствующие отсчетам левого (L) и правого (R) каналов, передаются попеременно, начиная со старшего (MSB, СЗР) или младшего (LSB, МЗР) значащих разрядов. Сигнал коммутации каналов (LRCLK), фактически представляющий тактовую частоту выборки, используется для мультиплексирования слов в приемнике, а тактовый сигнал битов (BCLK) — для синхронизации [1]. Очевидно, что такой интерфейс является изохронным; его поддерживают многие современные ИС, предназначенные для работы с цифровыми звуковыми сигналами.

Последовательный интерфейс I²S (Inter-IC Sound), разработанный компанией Philips на основе описанного выше «местного» (native) интерфейса, является основным для современных цифровых звуковых ИС [16]. Он остался трехпроводным: по линии данных (Serial Data, SD) передаются мультиплексированные отсчеты двух каналов (как правило, в двоичном коде с дополнением до двух, СЗР вперед), по линии синхронизации — тактовый сигнал битов (SCK) частотой до 25 МГц, по линии выбора

слов (Word Select, WS) — сигнал коммутации выборки. Спецификация I²S является достаточно гибкой, — приемник и передатчик не должны «договариваться» о длине слова данных: ведомое устройство может определять разрядность данных по переключению сигнала WS. Один кадр данных (макс. 64 бита) состоит из двух полукадров, представляющих два звуковых канала; 8 бит каждого полукадра могут использоваться для обеспечения согласованной по фазе (matched-phase) передачи данных при последовательном включении нескольких устройств.

Интерфейс I²S допускает 6 режимов работы источника и абонента (см. рис. 10). Три из них, соответственно, являются ведомыми (slave), три — ведущими (master). При необходимости, переключение направления выво-

дов ИС (вход/выход) осуществляется посредством управляющего интерфейса (например, I²C). Для передачи большого числа звуковых каналов добавляются линии SD, что обеспечивает сохранение фазовых соотношений в системах окружающего звука. Такой режим работы по нескольким линиям данных иногда называют I²S. Интерфейс также допускает последовательное включение (daisy-chain) входных регистров сдвига нескольких ИС при разделении отсчетов во времени (Time Division Multiplexed, TDM). При этом число устройств в цепочке ограничено частотой выборки и тактовой частотой 25 МГц. Режим TDM часто используется ЦПОС, оборудованными многоканальным буферизованным последовательным портом (McBSP™), например, «звуковым» семейством TMS320C671x.

В некоторых микросхемах порт I²S можно переключить в режим DSD, который не использует мультиплексирование данных. В этом случае две линии передают цифровые потоки

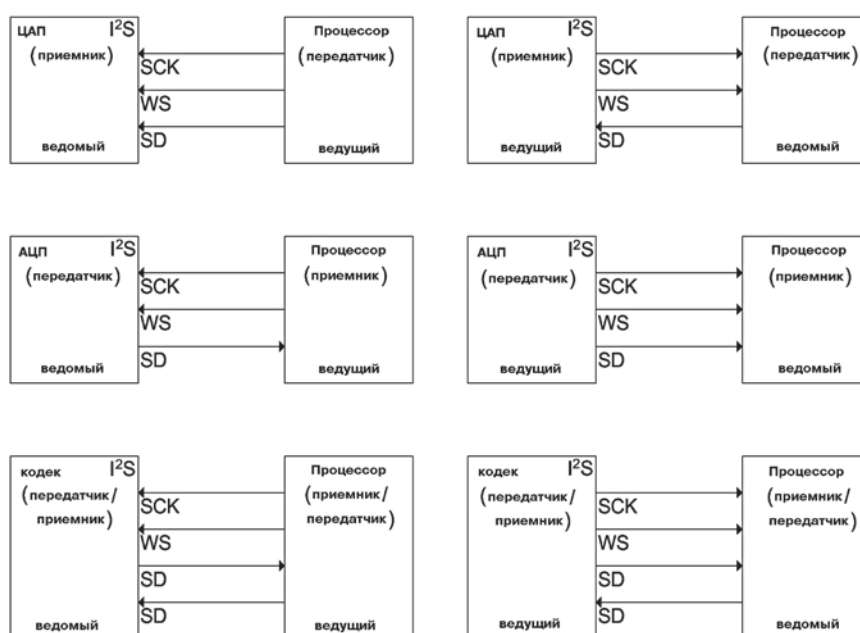


Рис. 10. Возможные конфигурации внутрисхемного интерфейса I²S

звуковых каналов, а третья — сигнал синхронизации (DSD_SCLK). В многоканальном режиме SACD 5.1 добавляются четыре линии данных; в сетевых медиапроцессорах с этой целью переконфигурируется порт I²S. Если используется режим DSD с фазовой модуляцией, для передачи опорного сигнала 2,8284 МГц (DSD_PHASE) задействуется дополнительная линия данных.

Наиболее распространенными последовательными интерфейсами, используемыми для однонаправленной (simplex) передачи ИКМ-аудиосигналов между оборудованием, являются AES3 (AES/EBU) и S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format). Первый реализован на базе интерфейса RS-422 и применяется в профессиональной аппаратуре, второй — в бытовой, причем в двух разновидностях (проводной и оптической). Оптический интерфейс, называемый Toslink (Toshiba optical link) или Miniplug (Sony MD), отличается только средой передачи и наличием соответствующих электронно-оптических преобразователей (светодиодов и фотодиодов). В таблице 1 приведены основные физические параметры этих интерфейсов. Подробное описание формата S/PDIF можно найти в [1], AES3 — в [17, 27, 28]. Интерфейсы идентичны по формату данных (который, в свою очередь, аналогичен стандартам IEC60958 и CP1201), но различаются служебной (субкод) и вспомогательной информацией.

Хотя в S/PDIF и AES3 предусмотрена самосинхронизация приемника при помощи ФАПЧ, в профессиональном оборудовании используется отдельная линия синхронизации (word clock, по стандарту AES11), гарантирующая изохронность интерфейса, причем передатчик может работать как в ведущем, так и в ведомом режимах. Посредством интерфейсов AES3 и S/PDIF можно передавать два мультиплексированных ИКМ-сигнала с линейным квантованием

до 24 бит/192 кГц. Для большего числа звуковых каналов применяются различные методы перцептуального сжатия информации (DTS, Dolby Digital, WMA Professional), мультиплексирование 12:2 (стандарт SMPTE324M), а также родственные S/PDIF интерфейсы — оптический 8-канальный ADAT (фирма Alesis) и многопроводный 8-канальный TDMF (Tascam, отделение TEAC Corp.).

Микросхема **AK4122** фирмы АКМ представляет собой асинхронный преобразователь частоты выборки (Sample Rate Converter, SRC), работающий в диапазоне отношения входной и выходной частоты от 1:3 (повышающая передискретизация, upsampling) до 6:1 (понижающая, downsampling). ИС снабжена коммутируемым входным интерфейсом, который может принимать сигнал в линейных ИКМ-форматах AES3, S/PDIF, IEC60958 и CP1201 (EIAJ), а также в сжатых форматах. Порог чувствительности четырех однофазных входов составляет 0,2 В (размах), входное сопротивление 10 кОм, диапазон захвата аналоговой ФАПЧ — 32...96 кГц. Встроенная система автоматически опознает форматы DTS (три типа), Dolby Digital, MPEG-1/2, ATRAC и перенаправляет поток на соответствующий порт, анализирует субкод линейных форматов (с буферизацией), а также приглушает выход при срыве синхронизации, появлении ошибок или незвукового цифрового потока. Встроенный БИХ-фильтр обеспечивает стандартную коррекцию предвыскажений. Три порта I²S совместимы с местным форматом (16 и 24 бит, МЗР вперед) и работают в диапазоне частоты выборки 8...96 кГц; два из них являются двунаправленными и могут работать в ведущем режиме. Типовой уровень общих гармонических искажений плюс шум собственно SRC составляет –113 дБ, динамический диапазон 117 дБ. Управление режимами преобразования и комму-

тацией входов/выходов осуществляется через 4-проводной последовательный порт микропроцессора. ИС питается от двух источников 3,3 В и размещается в корпусе LQFP-48. Аналогичный по функциональным возможностям и параметрам прибор **CS8420** выпускает компания Cirrus Logic в корпусе SOIC-28, но без коммутатора входов.

Фирма АКМ также производит приемники S/PDIF без встроенного преобразователя частоты выборки: двухканальный **AK4117** (частота выборки до 192 кГц), одноканальный **AK4116** с низким потреблением, приемопередатчик (трансивер) **AK4114** (макс. 192 кГц) с 8-канальным коммутатором, 6-канальный приемник **AK4113** (192 кГц), 4-канальный **AK4112B** (96 кГц). Приемник **CS8416** и трансивер **WM8802** с 8-канальным входным коммутатором предлагают фирмы Cirrus Logic и Wolfson. Для передачи сигналов можно использовать 8-канальный **AK4101A** и 2-канальный **AK4103A**, одноканальные **DIT4192** от компании Texas Instrument и **CS8406** (все — до 192 кГц), а также трансивер **CS8427** (96 кГц) от Cirrus Logic. Следует отметить, что в реальных устройствах приемники и передатчики последовательных звуковых интерфейсов, как правило, снабжены входными и выходными импульсными трансформаторами (110 Ом/1:1 или 75 Ом/2:1), чтобы обеспечить гальваническую развязку между источником и абонентом. Кроме того, оптические стыки Toslink/Miniplug не поддерживают частоту выборки 192 кГц.

Преобразователи частоты и разрядности выборок используются не только для согласования параметров цифрового аудиосистемы и воспроизводящего устройства, но и для подавления паразитных спектральных составляющих, обусловленных нестабильностью тактового сигнала (jitter), недостаточной разрядностью представления данных и/или низкой частотой выборки оригинального материала. Одним из лучших интегральных SRC является 4-канальный (независимые стереоканалы А и В) асинхронный преобразователь **SRC4194** компании TI/Burr-Brown. Прибор может работать с частотой выборки до 212 кГц при отношении частот вход/выход от 1:16 до 16:1. Он обеспечивает динамический диапазон не хуже 140 дБ (см. рис. 11) и высокую линейность (см. рис. 12) благодаря высококачественному интерполирующему КИХ-фильтру и 28-разрядному представлению данных с обя-

Таблица 1. Физические параметры двухканальных звуковых интерфейсов

Параметр/интерфейс	AES3	AES3id	S/PDIF	Toslink, Miniplug
Среда передачи	экр. витая пара 110 Ом	коаксиальный кабель 75 Ом	коаксиальный кабель 75 Ом	оптоволокно (650 нм)
Соединитель	XLR-3	BNC (CP-75)	RCA («тюльпан»)	Toslink (квадратный), Miniplug (круглый)
Макс. размах выходного напряжения передатчика, В	7	1,2	0,6	—
Пороговое входное напряжение приемника, В (размах)	0,2	0,32	0,2	—
Макс. ток в линии, мА	64	1,6	8	—
Макс. длина линии связи, м	100	1000	10	10

зательным дизерингом (dithering¹). Максимальная опорная частота внешней синхронизации составляет 50 МГц; она не должна быть кратной частоте выборки. Входной и выходной порты I²S (А и В) могут работать в режиме TDM, а также быть ведущими и/или ведомыми. Управление каналами преобразования осуществляется через отдельные порты SPI. Прибор выпускается в корпусе TQFP-64 и потребляет около 320 мВт от трех источников питания (1,8, 3,3 и 1,65...3,6 В). Профессиональные двухканальные преобразователи частоты выборки также производят компании Analog Devices (**AD1896**) и Cirrus Logic (**CS8421**). Отличительной чертой AD1896 является стабилизация периода выборки с теоретической погрешностью до 5 пс при помощи грубо-точной цифровой ФАПЧ и 64-отводного интерполирующего КИХ-фильтра; CS8421 — 32-разрядное представление данных и динамический диапазон 172 дБ. Максимальный уровень общих гармонических искажений плюс шум у SRC4194, AD1896 и CS8421 составляет -130 дБ.

В спецификацию последовательного интерфейса USB с самого начала была заложена возможность работы в изохронном режиме с 12-канальным цифровым звуком в виде кластера (группы) однородных каналов [18]. Однако в реальных устройствах реализация такого кластера довольно сложна и требует наличия многоканального контроллера прямого доступа в память (ПДП, DMA) хост-процессора. Кроме того, версии USB 1.0 (макс. 1,5 Мбит/с) и 1.1 (12 Мбит/с) не позволяют работать с 192-кГц выборками высокого разрешения. Поэтому до появления версии USB 2.0 (макс. 480 Мбит/с) интерфейс USB, как правило, использовался для передачи двухканальных линейных или сжатых звуковых форматов (MP3, Dolby Digital). Концерн Philips подготовил набор ИС и активно продвигает беспроводной стандарт Wireless USB (WUSB), обеспечивающий скорость передачи данных до 200 Мбит/с на расстоянии до 10 м и 480 Мбит/с (в перспективе — свыше 1 Гбит/с) в радиусе 2 м от передатчика.

Тем не менее, компания Texas Instrument с 2001 г. выпускает контроллер **TUSB3200A**, позволяющий подключить 4 порта I²S к интерфейсу USB персонального компьютера.

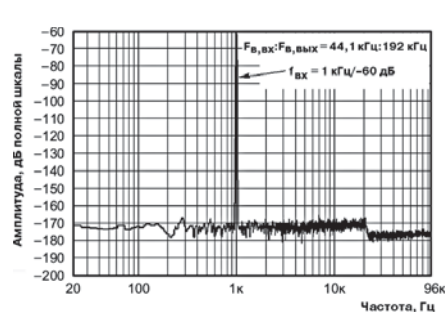


Рис. 11. График спектра выходного сигнала преобразователя SRC4194

Контроллер имеет полнофункциональный порт USB 1.1, управляющий порт I²C (только ведущий режим) и два порта ввода/вывода общего назначения. Изохронный режим передачи звуковых данных обеспечивает 4-канальный контроллер ПДП. В зависимости от режима работы портов I²S контроллер позволяет обслуживать одновременно до четырех каналов ЦАП и трех каналов АЦП (макс. 24 бит/48 кГц). Прибор реализован по 0,25-мкм КМОП-технологии на базе микроконтроллера Intel 8052 с встроенными ПЗУ 4 Кбайт и ОЗУ 8 Кбайт, питается от источника 3,3 В и размещен в 52-выводном корпусе S-PQFP.

Швейцарская фирма BridgeCo AG разработала специализированные БИС **DM1200** и **DM1500** (плюс порт IEEE1394a/b) для сопряжения звуковых интерфейсов I²S, I²S, DSD, SPDIF и ADAT с шиной USB 2.0. Эти сетевые медиапроцессоры поддерживают прием и передачу до 12 звуковых каналов высокого разрешения в изохронном режиме благодаря цифровой ФАПЧ. Они реализованы на базе высокопроизводительного ЦПОС (150 МГц) с встроенной поддержкой нескольких алгоритмов шифрования данных (для системы DRM²) и ОЗУ 96 Кбайт, 16-разрядного контроллера внешней памяти SDRAM (до 256 Мбайт), микроконтроллера ARM926EJ (150 МГц) и снабжены управляющими интерфейсами SPI (ведущий/ведомый), UART и общего назначения (GP I/O). Фирма обеспечивает разработчиков полным комплектом инструментария и отладки.

Индивидуальный беспроводной интерфейс Bluetooth [19] позволяет, в числе прочих, использовать транспортный уровень интерфейса USB

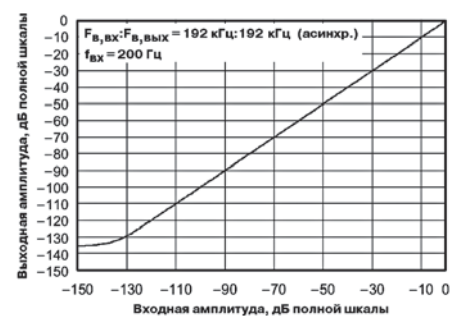


Рис. 12. Амплитудная характеристика преобразователя SRC4194 в асинхронном режиме

и обеспечивать передачу цифрового звука (с ограничениями по скорости). Кроме того, в спецификации интерфейса предусмотрена трансляция сжатого потока (Bluetooth Digital Audio, 384 Кбит/с) на беспроводные стереотелефоны или громкоговорители. Фирма AKM предлагает интегральный Bluetooth-кодек **AK4641**, содержащий 16-разрядные стерео ЦАП (частота выборки 7...48 кГц) и одноканальный АЦП (8...16 кГц) с микрофонным предусилителем и компрессором. ИС работает от напряжения питания 2,6...3,6 В и выпускается в корпусе QFN-36.

Последовательный интерфейс IEEE1394 (торговые названия FireWire, i.LINK) уже в первоначальной версии (1995 г.) обеспечивал высокую пропускную способность (до 400 Мбит/с). В 2001 г. были разработаны рабочая версия 1.0 спецификации изохронного режима передачи аудиосигналов по стандарту IEC61883 (пакетирование мультимедийных потоков), версия 2.0 протокола транспортного уровня для передачи звукового сигнала в формате IEC60958, а также версия 1.2 протокола передачи потока DSD для проигрывателей SACD. Изохронная передача пакетов в IEEE1394 [20] гарантирует постоянство полосы пропускания, безобрывное соединение передатчика с приемником и предсказуемое время задержки, что позволяет без потерь и ограничений передавать многоканальный (32, 56 или 64 каналов) цифровой звук высокого разрешения (до 24 бит/96 кГц) в режиме TDM согласно стандарту AES10-2003 (Serial Multichannel Audio Digital Interface, MADI). Столь же эффективный транспортный уровень (IEC62365, AES47) был разработан для реализации MADI по

¹ Размывание (англ.) — подмешивание в сигнал псевдослучайного шума с размахом менее 1 МЗР и определенными спектральными характеристиками (как правило, треугольной функцией плотности распределения вероятности).

² Digital Rights Management — цифровое управление (авторскими) правами.

сети ATM [21, 42], обеспечивающей скорость 155,5 Мбит/с.

Для сопряжения мультимедийных интерфейсов с IEEE1394 полупроводниковая промышленность разработала специализированные БИС на базе 32-разрядных RISC-процессоров: **PDI1394L40** (Philips), **DM1000**, **DM1500** (плюс порт USB2.0) от BridgeCo, **DICE II** (TC Applied Technologies, Канада), **OXF970** (Oxford Semiconductors). С использованием IEEE1394 компания Alaris усовершенствовала свой интерфейс ADAT и назвала его FirePort 1394 (24 входных/выходных канала, 24 бит/48 кГц или 12 каналов 24 бит/96 кГц). Не отстала и фирма Tascam, предложив 12-канальный аудиоинтерфейс FW-1804. На базе IEEE1394 компания Xilinx разработала мультимедийный сетевой интерфейс HAVi, обеспечивающий дуплексную передачу цифровых видеосигналов и многоканального звукового сопровождения, и предложила соответствующие HAVi-процессоры. Германская фирма RME на основе скоростной версии IEEE1394b (800 Мбит/с) реализовала 56-канальный звуковой интерфейс Fireface 800. Ассоциация компаний, продвигающих интерфейс IEEE1394, в настоящее время разрабатывает его беспроводной вариант — Wireless 1394, схожий по характеристикам с упомянутым выше WUSB.

Относительно новым последовательным интерфейсом, способным передавать 8-канальный несжатый цифровой звук высокого разрешения, является HDMI (High-Definition Multimedia Interface). Этот интерфейс, являющийся приемником DVI (Digital Vision Interface), теоретически обеспечивает скорость передачи данных до 5 Гбит/с на расстоянии до 15 м. Его поддерживают гиганты электронной промышленности (Hitachi, Sony, Matsushita Electric, Thomson, Toshiba), поэтому внедрение HDMI в бытовую и профессиональную аппаратуру происходит впечатляющими темпами.

Ядро спецификации HDMI, в том числе ключевую технологию Transition Minimized Differential Signaling (TMDS), разработала компания Silicon Image, два типа соединителей (A и B) — компания Molex [22]. Три (или шесть, в «широком» варианте B) дифференциальных сигнала данных и сигнал синхронизации передаются по раздельно экранированным витым парам с волновым

сопротивлением 100 Ом, время нарастания/спада импульсов не превышает 200 пс. Параллельно витым парам следуют линия обнаружения включения под напряжением (Hot Plug Detect), линия передачи данных дисплея VESA DDC или приемника (Sink's Enhanced Extended Display Identification Data, E-EDID), линия управления и конфигурации аудиовизуальных устройств по протоколу CEC (Consumer Electronics Control), шины I²C (SDA, SCL) и питания 5 В. Передатчик (Source Device) представляет собой дифференциальный коммутатор тока, приемник (Sink Device) — дифференциальный усилитель с нагрузочными резисторами 100 Ом на входе и рабочим диапазоном 150...1200 мВ (размах). Минимальное время передачи 1 бита данных составляет примерно 750 пс. Затухание сигнала в соединительном кабеле не должно превышать 8 дБ в полосе частот 0,3...825 МГц и 21 дБ в полосе 0,825...2,475 ГГц.

Для передачи звуковых данных по каналам TMDS используется структура из четырех субпакетов (SP0—SP3), каждый из которых вмещает один кадр по стандарту IEC60958 или один блок по IEC61937 (DTS, Dolby Digital). Таким образом, субпакет содержит по одной выборке из двух смежных каналов (всего 8 каналов). Надежность передачи обеспечивают код коррекции ошибок BCH, исправляющий до 5 бит из 64, и специальное защитное кодирование 10-разрядными словами. В базовом варианте, интерфейс HDMI передает двухканальный аудиопоток с частотой выборки до 48 кГц по стандарту IEC60958 (субкадры по 28 бит). В расширенном варианте — до четырех линейных ИКМ-потоков (т.е. восемь 24-разрядных каналов) с частотой выборки до 192 кГц, или нелинейный аудиопоток с частотой выборки до 192 кГц по стандарту IEC61937. Информация о частоте выборки содержится в 4 битах (с 24 по 27) сигнала статуса, передаваемого по линии E-EDID. Тактовые частоты слов и битов регенерируются приемником на базе сигнала синхронизации при помощи таблицы целочисленных коэффициентов деления.

Компания Toshiba предлагает двухпортовые приемник **TC90700FG** и передатчик **TC90701FG**, предназначенные для построения интерфейсов HDMI 1.1. Выпускаются и однопортовые версии ИС. Микросхемы имеют 4 порта I²S (можно конфи-

гурировать три I²S плюс S/PDIF) и способны передавать 8 каналов ИКМ 24 бит/192 кГц (плюс цифровой видеосигнал ТВЧ). Данные могут быть зашифрованы внешним ключом по стандарту HDCP³ версии 1.1 при передаче информации, защищенной авторскими правами. Приемник в корпусе LQFP-144 рассеивает мощность не более 600 мВт. Аналогичные приборы **SiI9030** (передатчик) и **SiI9031** (приемник) выпускает фирма Silicon Image.

Общим принципом передачи звуковых данных при помощи широкополосных последовательных интерфейсов является пакетирование субкадров (по стандартам IEC60958 и IEC61883) в кадре «материнского» формата, например, Ethernet IEEE802.3 объемом до 1500 байт. В условиях студии звукозаписи время обращения сигнала от микрофона до микшерского пульта и обратно на головные телефоны исполнителя не должно превышать 3 мс. Однако в сетях с коллизийным доступом не гарантируется время доставки сообщений от источника к абоненту. Ситуация еще более усложняется при использовании ресурсоемких протоколов высокого уровня (например, TCP/IP). Поэтому для обеспечения изохронности интерфейса помимо эффективного пакетирования необходимо предусмотреть размер буфера кадров, соответствующий максимально возможной задержке передачи между узлами сети, и предпочесть экономичный протокол низкого уровня.

Технология CobraNetTM, разработанная компанией Cirrus Logic, позволяет передавать многоканальный звук высокого разрешения по сети Ethernet 100BASE-TX при использовании одной из БИС семейства **CS1810xx** Silicon Series в паре со стандартным контроллером Ethernet. Сетевые медиапроцессоры этого семейства выпускаются в корпусе LQFP-144, различаются количеством входных и выходных портов I²S (1, 4 или 8) и могут работать с частотой выборки 48 или 96 кГц при разрешении 16, 20 или 24 бит. Хотя современные коммутаторы с неблокирующей архитектурой гарантируют постоянство потока между двумя узлами (MAC-адресами) сети вне зависимости от активности других узлов, предусмотрена установка времени задержки (латентности) из ряда 1,33, 2,66, 5,33 мс по результатам измерения статистических пара-

³ High-bandwidth Digital Content Protection — защита высокоскоростных цифровых данных.

метров сети. В особых случаях, возможно непосредственное соединение узлов кросс-кабелем. Управление интерфейсом производится по протоколу SNMP. Программное обеспечение (firmware) можно загрузить во внешнюю флэш-память процессоров посредством протокола TFTP с любого компьютера сети. Использование технологии CobraNet™ не требует лицензионных отчислений, а сами приборы стоят от 15 до 20 долл. США (в оптовых партиях). Конкурирующей 8-канальной сетевой процессор DM1001 от BridgeCo не требует наличия внешнего контроллера Ethernet, но его использование предполагает лицензионные отчисления.

Компания Cirrus Logic предлагает разнообразные программные продукты, облегчающие внедрение и использование технологии CobraNet™, а также готовые сетевые устройства. Например, дуплексный 8-канальный звуковой модуль NM1, реализованный на базе процессора CS181012-CQ, содержит два сетевых разъема RJ-45 с возможностью питания по кабелю (Power over Ethernet, PoE), микрофонный предусилитель студийного качества (коэффициент передачи устанавливается по сети) и одноканальный контрольный усилитель мощности. Оборудование под маркой NetCIRA™, разработанное на базе технологии EtherSound™ и позволяющее одновременно передавать до 64 каналов в формате 24 бит/48 кГц по сети Ethernet 100BASE-TX, предлагает японская компания Fostex.

Использование в студийной, концертной и бытовой практике новых сетевых технологий (WiFi, Gigabit Ethernet и др.) для передачи цифрового звука высокого разрешения позволяет снизить общую стоимость оборудования и упростить его эксплуатацию, увеличить число передаваемых каналов и, в конечном счете, повысить качество звучания. В прилагаемом списке литературы, кроме официальных Интернет-сайтов органов стандартизации, приведены ссылки на страницы с описанием сетевых технологий и устройств, разработанных различными фирмами.

ЛИТЕРАТУРА

16. Todd Hiers & Rebecca Ma, *The Inter-IC Sound (I²S) serial interconnect format*, in *Texas Instruments Application Report SPRA595* (www.ti.com).

17. Dennis Bohn, *Interfacing AES3 & S/PDIF*, *RaneNote 149*, Rane Corporation, 2001.

18. *Universal Serial Bus Device Class Definition for Audio Devices*, Release 1.0, March 18, 1998 (www.usb.org).

19. *Bluetooth Specification Including Core v1.2*, November 5, 2003 (www.bluetooth.com, bluetooth.org).

20. *Digital Audio over IEEE1394*, Oxford Semiconductor, WP0001, January 2003.

21. C.J. Chambers, *The development of ATM network technology for live production infrastructure*, BBC R&D White Paper WHP074, September 2003.

22. *High-Definition Multimedia Interface, Specification Version 1.1*, May

20, 2004, *HDMI Licensing, LLC* (www.hdmi.org).

23. Kevin Gross, *Digital Audio Distribution Systems Rev.1*, 2004, Cirrus Logic, Inc.

24. www.itu.int

25. www.ieee.org

26. www.smpete.org

27. www.aes.org

28. www.ebu.ch

29. www.atsc.org

30. www.eia.org

31. global.ihf.com

32. www.iec.ch

33. www.iso.ch

34. www.ansi.org

35. www.digitalharmony.com

36. www.xilinx.com

37. www.1394ta.org

38. www.dolbylabs.com

39. www.dtstech.com

40. www.dtsonline/pro-audio/

41. www.mpeg.org

42. www.ninetails.com

43. www.audiorail.com

44. www.zarlink.com

45. www.semiconductors.philips.com

46. www.bridgeco.net

47. www.tctechnologies.tc

48. www.oxsemi.co.uk

49. www.multibandofdm.org

50. www.wimedia.org

51. www.elansat.com

52. www.yamahaproaudio.com

53. www.digigram.com

54. www.alesis.com

55. www.tascam.com

56. www.rme-audio.com

57. www.calrec.com

58. www.netcira.com

59. www.apogeeddx.com

60. www.siliconimage.com