

Применение ЦАП фирм АКМ и Burr-Brown в звуковой и видеоаппаратуре

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

В статье приведены параметры и особенности применения цифроаналоговых преобразователей серии АК43хх фирмы АКМ и серии РСМ17хх фирмы Burr-Brown в современной звуковоспроизводящей и видеоаппаратуре ведущих мировых производителей.

Цифроаналоговые преобразователи для звуковых трактов бытовой и профессиональной аппаратуры выпускает большое число зарубежных фирм, однако проведённый автором анализ сервисной документации нескольких сотен моделей аппаратуры (CD/DVD-проигрыватели, рекордеры, ресиверы, системы домашнего кинотеатра, мини- и микросистемы, комбинированные устройства) выявил несколько производителей, изделия которых доминируют в бытовой аудио- и видеотехнике.

По функциональному назначению можно выделить двухканальные, многоканальные и «интерфейсные» (USB и др.) ЦАП, причём они могут находиться в составе БИС частного применения или выпускаться в виде отдельных микросхем. Интегральные реше-

ния часто используются в мобильной и недорогой цифровой аппаратуре, качество звучания которой не является определяющим фактором, однако и в значительном числе моделей стационарной аппаратуры самых различных фирм используются варианты с интегрированными ЦАП.

В каталоге фирмы АКМ 2008 г. фигурируют более 30 типов звуковых ЦАП серии АК, в каталоге TI – более 40 ЦАП серии РСМ. В аппаратуре различных фирм, попавшей в данный обзор, использовались следующие двухканальные ЦАП АКМ и TI/Burr-Brown из каталогов 2008 г.: АК4382-АК4385, АК4392, АК4394, РСМ1723, РСМ1742, РСМ1748, РСМ1753, РСМ1755 и РСМ1782.

Коротко рассмотрим некоторые общие понятия и термины, используемые в специальной литературе, а

также в технической документации по ЦАП АКМ и Burr-Brown.

В большинстве схемных решений ЦАП борьбу с заметностью шума квантования ведут путём добавления к преобразованному сигналу специального шума. В английской терминологии такой процесс называют термином dithering (размывание), общий уровень шума при этом незначительно возрастает.

Существенной проблемой при цифроаналоговых преобразованиях является «многолепестковость» спектра сигнала на выходе, поэтому одной из важнейших задач является выделение только центральной части спектра преобразуемого сигнала, для чего необходимы ФНЧ высокого порядка (обычно цифровые).

Для улучшения качества звучания и снижения порядка ФНЧ широко применяется метод, заключающийся в увеличении частоты выборки в несколько раз (Oversampling, повышающая передискретизация). Наиболее совершенные устройства содержат перед ЦАП специальные ИС, которые, наряду с повышающей передискретизацией, осуществляют табличную интерполяцию отсчётов.

Джиттер (jitter) – случайные фазовые или частотные отклонения передаваемого цифрового сигнала, которые возникают из-за недостаточной стабильности задающих генераторов, влияния шума систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), пульсаций источников питания и некоторых других причин.

Особое место в цифровой схемотехнике занимают АЦП и ЦАП на основе дельта-сигма (или сигма-дельта) модуляции. Метод заключается в дискретизации аналогового сигнала на очень больших частотах, превышающих частоту Найквиста (F_N) в десятки раз. При этом для квантования достаточно всего одного разряда, в котором будет храниться не амплитуда сигнала, а факт её изменения

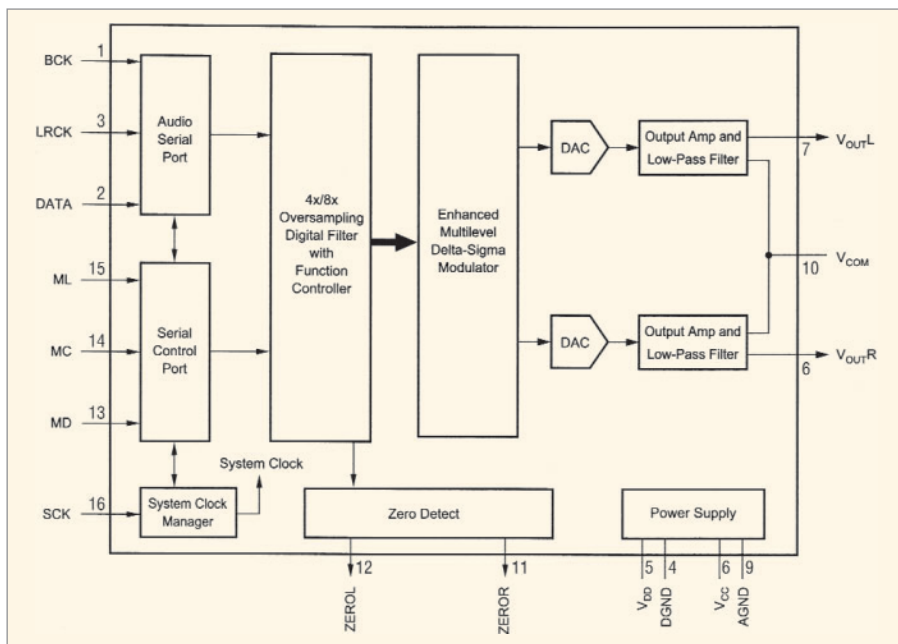


Рис. 1. Структура и нумерация выводов ЦАП РСМ1742

(«дельта»). Возрастание амплитуды кодируется логической единицей, уменьшение – логическим нулём, а отсутствие изменений – чередованием нулей и единиц.

Для уменьшения шума квантования ДС-модулятора в звуковой области применяется преобразование спектра шума, получившее наименование noise shaping (формирование шума). Достоинством метода дельта-сигма-модуляции является относительная простота построения ЦАП и его способность обеспечить более высокую эквивалентную разрядность, линейность и монотонность передаточной характеристики.

В последние годы разработчики фирмы TI/Burr-Brown активно применяют в звуковых ЦАП многоуровневые (Multi-Level Noise Shaping) ДС-модуляторы (5 – 8 уровней вместо двух). В пятиуровневом дельта-сигма-модуляторе, использованном в ИС ЦАП типа PCM1715, весь диапазон входных сигналов разбивается на пять поддиапазонов, в пределах которых производится восьмикратная передискретизация и ДС-модуляция (перед модулятором устанавливается цифровой фильтр, обычно 4-го порядка). ЦАП с многоуровневыми дельта-сигма-модуляторами, по заявлениям разработчиков Burr-Brown, по сравнению с одноразрядными (двухуровневыми), отличаются меньшей чувствительностью к джиттеру и лучшей стабильностью параметров.

Цифроаналоговый преобразователь PCM1742 является восьмиуровневым ДС-преобразователем и предназначен для использования в AV-ресиверах, CD/DVD-проигрывателях и рекордерах, HDTV-ресиверах, автомобильных звуковых системах, звуковых картах для компьютеров и других устройствах, требующих 24-разрядной дискретизации. Структура и номера выводов микросхемы приведены на рисунке 1.

В состав ИС входят: блок звукового интерфейса (Audio Serial Port); блок интерфейса управления режимами ЦАП (Serial Control Port); блок 4/8-кратной передискретизации с цифровым фильтром и узлом управления (4x/8x Oversampling Digital Filter with Function Controller); усовершенствованный восьмиуровневый ДС-модулятор (Enhanced Multilevel Delta-Sigma Modulator); одноразрядные

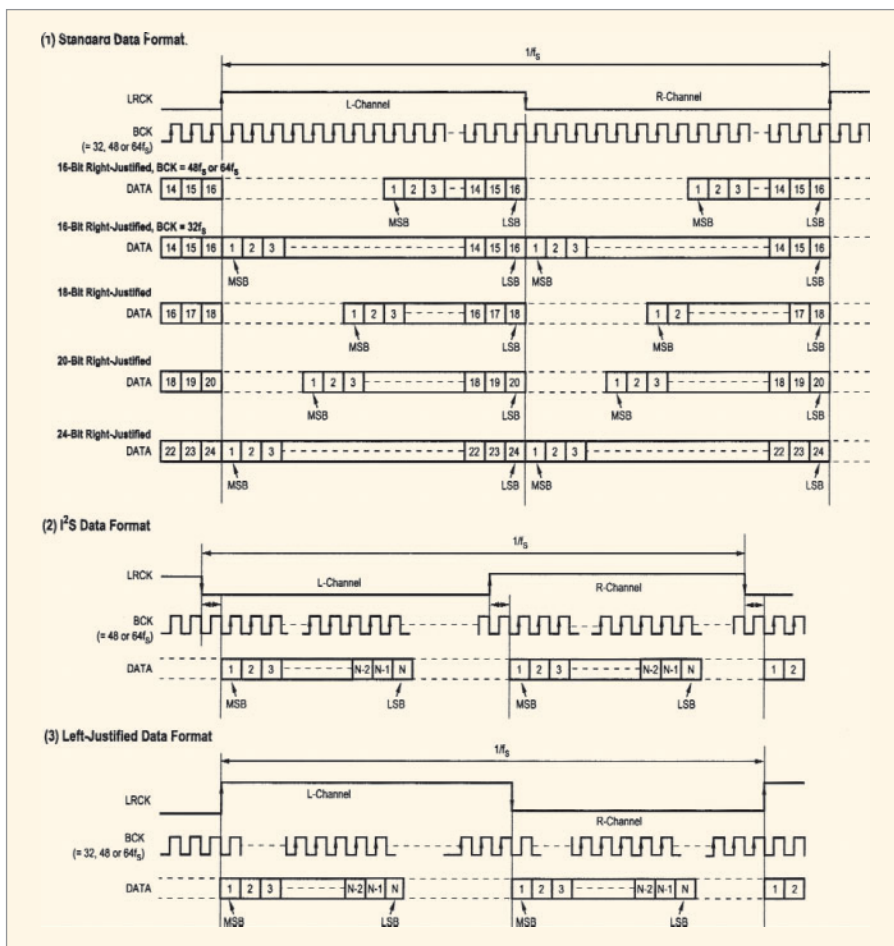


Рис. 2. Диаграммы звукового интерфейса ЦАП PCM1742

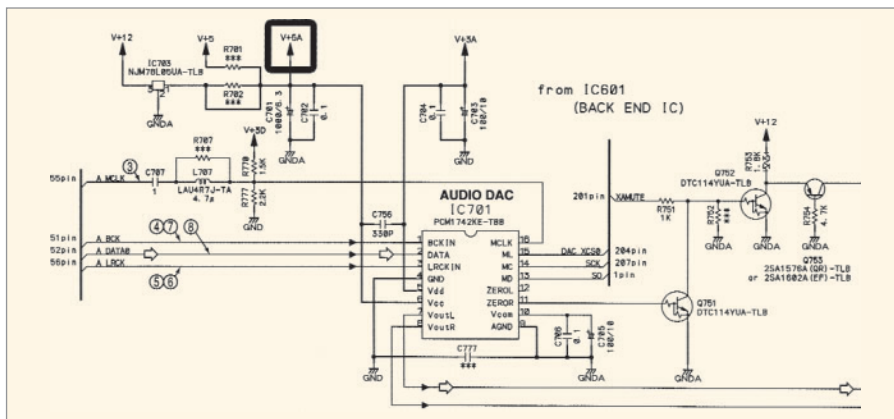


Рис. 3. Схема включения ЦАП типа PCM1742 в DVD-проигрывателях Pioneer-DV360-K/360-S

ЦАП левого и правого каналов (DAC); выходные ФНЧ и усилители левого и правого каналов (Output Amp and Low-Pass Filter); детекторы отсутствия сигналов в левом и правом каналах (Zero Detect); формирователь системных тактовых сигналов (System Clock Manager) и внутренний источник питания (Power Supply).

Основные технические характеристики ЦАП типа PCM1742 (в терминологии Burr-Brown):

- форматы входного (звукового) интерфейса Standard (т.е. Right-Justified), I2S, Left-Justified;

- формат звуковых данных MSB-First, Binary Two's Complement, сигнал подаётся на вывод 2;
- тактовые частоты 32, 48, 64fs, сигнал подаётся на вывод 1;
- системные тактовые частоты (System Clock Frequency) – 256, 384, 512, 768fs, сигнал подаётся на вывод 16;
- суммарный уровень нелинейных искажений и шумов (THD+N) 0,003% (PCM1742E), 0,002% (PCM1742KE), типовые значения при частоте fs = = 44,1кГц и уровне выходного сигнала 0 дБ. При частотах дискретизации 96 и 192 кГц искажения несколько

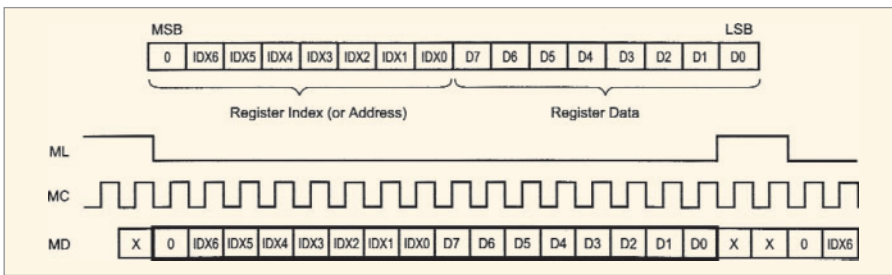


Рис. 4. Диаграммы интерфейса управления ЦАП типа PCM1742

больше (до 0,005%). С уменьшением уровня выходного сигнала искажения увеличиваются и при уровне -60 дБ составляют 1,2% ($f_s = 44,1$ кГц, группа E), 0,65% (KE);

- динамический диапазон (методика EIAJ, с взвешивающим фильтром типа A) при частоте $f_s = 44,1$ кГц составляет 100 дБ (E) и 106 дБ (KE). При частотах дискретизации 96 и 192 кГц динамический диапазон уменьшается до 98 и 96 дБ соответственно;
- отношение сигнал/шум (EIAJ, A-Weighted) при частоте $f_s = 44,1$ кГц - 100 дБ (E) и 106 дБ (KE);

- разделение каналов (Channel Separation) при $f_s = 44,1$ кГц - 98 дБ (E) и 103 дБ (KE);
- ошибка линейности уровня выходного сигнала (Level Linearity Error) при уровне выходного сигнала -90 дБ равна $\pm 0,5\%$ (E, KE);
- ошибка установки нулевого уровня выходного сигнала (Bipolar Zero Error) находится в пределах ± 30 мВ;
- размах выходного сигнала полной шкалы (FSR), соответствующий уровню 0 дБ, составляет 62% от напряжения питания;
- параметры цифрового фильтра (режим Sharp Roll-Off): полоса пропуска-

ния (Passband) при неравномерности $\pm 0,03$ дБ составляет $0,454f_s$, при спаде АЧХ на 3 дБ - $0,487f_s$; полоса задержания (Stopband) $0,546f_s$ (затухание -50 дБ). В режиме Slow Roll-Off соответствующие значения параметров $0,198f_s$ (неравномерность $\pm 0,5$ дБ), $0,390f_s$ (-3 дБ), $0,884f_s$ (-40 дБ);

- напряжение питания 3...3,6 В, типовое 3,3 В (цифровая часть, V_{DD}), 4,5...5,5 В, типовое 5 В (аналоговая часть, V_{CC});
 - ток потребления ИС зависит от частоты дискретизации, I_{DD} (6...16 мА), I_{CC} (8,5...9,0 мА).
- Системные тактовые частоты, подаваемые на вход SCK, определяются выбранной частотой дискретизации и режимом работы, задаваемым сигналами управления на входах ML, MC, MD. Например, для частоты дискретизации 44,1 кГц в режиме $256f_s$ системная тактовая частота равна 11,2896 МГц, в режиме $384f_s$ - 16,9344 МГц, $512f_s$ - 22,5793 МГц, $768f_s$ - 33,8688 МГц.
- В звуковом интерфейсе ЦАП используется три шины: LRCK, сигнал

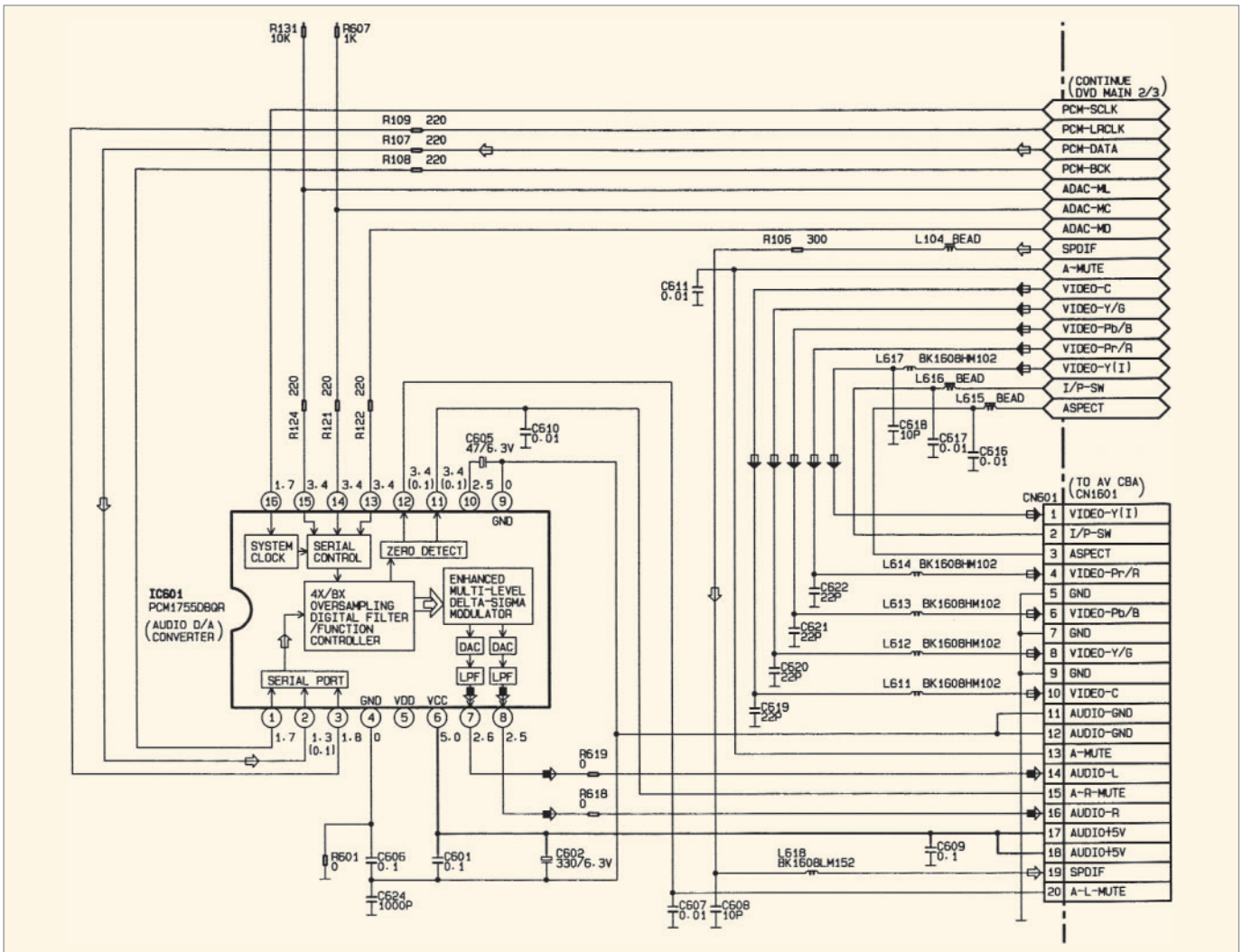


Рис. 5. Схема включения ЦАП типа PCM1755 в DVD-проигрывателе Marantz-DV4500

представляет собой меандр с частотой следования f_s , в течение положительных интервалов (HIGH) этого сигнала обрабатываются сигналы левого канала (L-Channel), отрицательных (LOW) – правого (R-Channel), в формате данных I2S наоборот; BCK – тактовый сигнал с частотами 32, 48 или $64f_s$; DATA – звуковые данные в коде BTC и первым разрядом MSB. На рисунке 2 показаны временные диаграммы сигналов звукового интерфейса при работе с различными форматами данных.

Диаграмма 1 (см. рис. 2) соответствует стандартному формату Right-Justified (выравнивание по правому краю), спад (задний фронт) последнего, младшего (LSB) разряда данных совпадает со спадом сигнала LRCK. Диаграмма 2 соответствует формату I2S, выравнивание в котором не производится; первый, старший разряд данных (MSB) проходит через некоторый интервал после фронта сигнала LRCK, примерно равный периоду сигнала BCK. Диаграмма 3 соответствует формату Left-Justified (выравнивание по левому краю), фронт первого (MSB) разряда данных совпадает с фронтом сигнала LRCK. Выбор формата осуществляется переключением кода в специальном секторе данных интерфейса управления SPI (шины MC, MD, SCK); по умолчанию установлен формат 24 бит и Left-Justified.

Прибор типа PCM1742 достаточно широко применяется в аппаратуре среднего и высокого классов различных фирм. Схема включения ЦАП в DVD-проигрывателе Pioneer-DV360-K/360-S (модель 2003 г.) приведена на рисунке 3. Заявленные параметры звукового тракта этого аппарата: отношение сигнал/шум 115 дБ, динамический диапазон 101 дБ, КНИ 0,0016% (меньше, чем типовое значение для PCM1742KE по данным TI/Burr-Brown), полоса пропускания при воспроизведении компакт-дисков 4 Гц...20 кГц, DVD – 4 Гц...22 кГц ($f_s = 48$ кГц, 16, 20, 24 бит), 4 Гц...44 кГц ($f_s = 96$ кГц, 16, 20, 24 бит).

Системная тактовая частота сигнала A MCLK составляет 24,576 МГц ($256f_s$, $f_s = 96$ кГц или $512f_s$, $f_s = 48$ кГц), размах синусоидального сигнала в точке 3 порядка 3,5 В. Сигналы звукового интерфейса по цепям A LRCK, A BCK, A DATA поступают в формате Left-Justified (16, 20, 24 бит). Напряжение питания +5 В для аналоговой части ЦАП обеспечивает стабилизатор на микросхеме IC703, установленный в непосред-

ственной близости от ИС ЦАП. Напряжение питания +3,3 В для цифровой части ЦАП подаётся от отдельного источника; корпусные цепи аналоговых GND и цифровых GND узлов схемы на печатной плате разделены, что способствует уменьшению цифровых наводок на звуковой тракт. В приборе типа PCM1742 предусмотрены выходы блокировки ZEROL, ZEROR, предназначенные для управления внешними узлами, подавляющими щелчки при сбоях во время воспроизведения. Сигнал лог. 1 на этих выходах устанавливается при поступлении на вход ЦАП лог. 0 в течение 1024 и более тактов дискретизации.

Для управления режимами ЦАП используется трёхпроводной интерфейс SPI: MD – 16-разрядная последовательная шина данных, MC – тактовая шина, ML – шина управления (LATCH). Изменение режимов (перепрограммирование регистра хранения данных) производится при лог. 0 на шине ML. Установленные по умолчанию (Default) режимы могут быть изменены. Сигнал данных MD (16 бит) состоит из двух частей (см. рис. 4) – 8 адресных разрядов (0, IDX6 – IDX0) и 8 разрядов данных (D7 – D0). Предусмотрены следующие программируемые функции: цифровая регулировка уровня выходного сигнала (0...–63 дБ, шаг 0,5 дБ); включение/выключение «мягкого» приглушения (Soft Mute); переключение

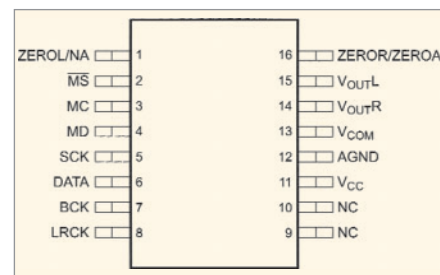


Рис. 6. Расположение выводов ЦАП типа PCM1782

частоты передискретизации ($64\times$ или $128\times$); переключение параметров коррекции предскажений (De-Emphasis Function Control); переключение форматов звукового интерфейса; переключение типов АЧХ цифрового фильтра (Digital Filter Roll-Off Control) и некоторые другие.

Заводские предустановки: выходной уровень 0 дБ; «мягкое» приглушение выключено; передискретизация $64\times$; коррекция предскажений для $f_s = 44,1$ кГц; формат входных данных Left-Justified (16 – 24 бит); тип АЧХ цифрового фильтра Sharp Roll-Off.

Технические характеристики взаимозаменяемых приборов PCM1748 и PCM1742 весьма близки, однако у PCM1748 меньше диапазон частот дискретизации (5...100 кГц).

Преобразователи PCM1753 и PCM1755 отличаются от PCM1742 использованием одного источника питания +5 В, подключаемого к выводу 6 (вывод 5 не подключен),

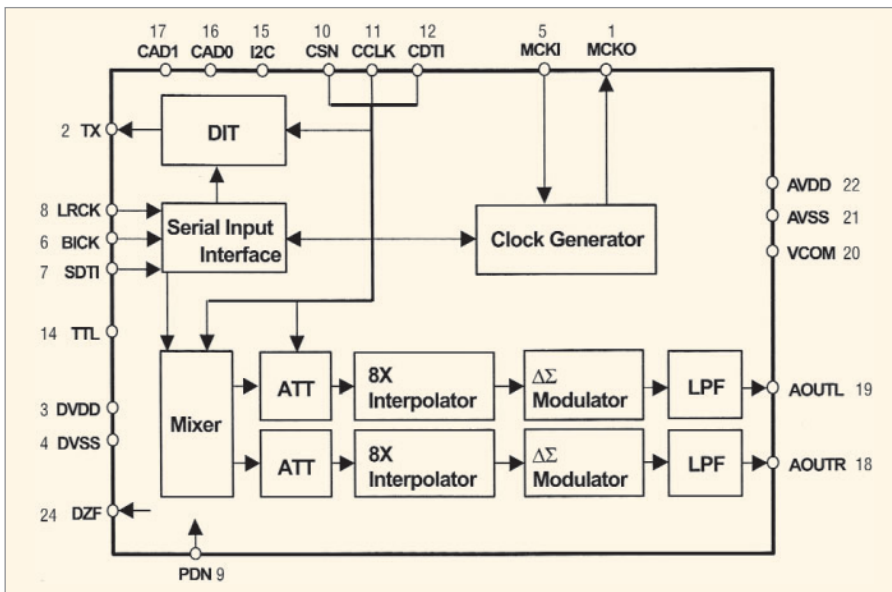


Рис. 7. Структура и номера выводов ЦАП АК4353
 Mixer – сумматор, ATT – аттенюатор, Clock Generator – тактовый генератор

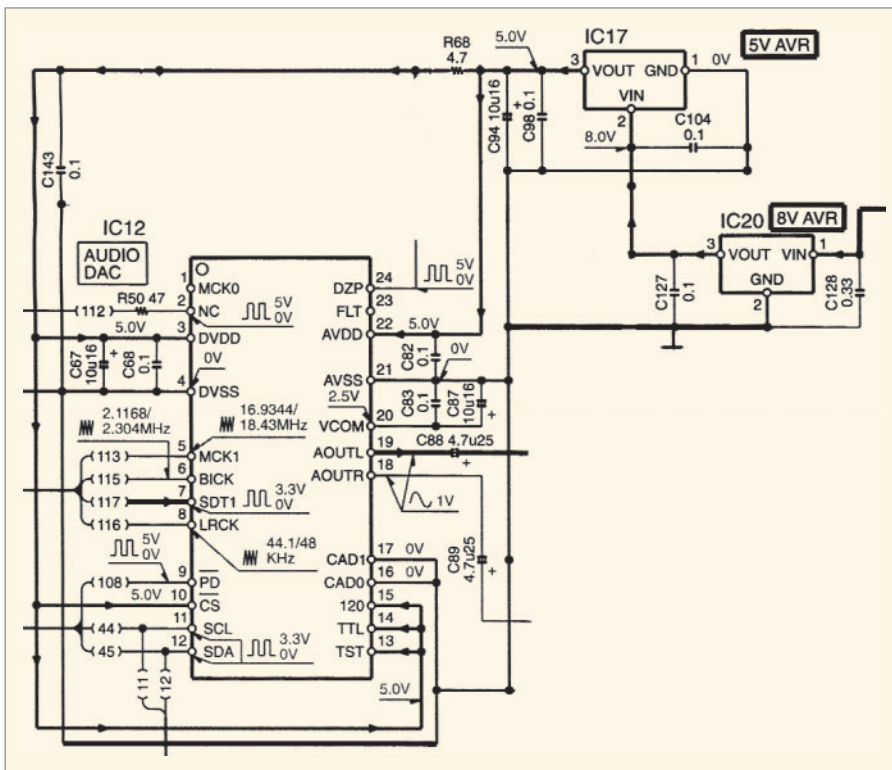


Рис. 8. Схема включения ЦАП типа АК4353 в автомобильных DVD-ресиверах Kenwood-KVT-910/920/930/940/960DVD

ими можно заменить ЦАП типа РСМ1741, РСМ1742 и РСМ1748. Перечислим параметры, отличающиеся от соответствующих параметров ЦАП РСМ1742:

- системные тактовые частоты 128, 192, 256, 384, 512, 768, 1152fs;
- (THD+N) 0,002% ($f_s = 44,1$ кГц), 0,003% (96 кГц), 0,004% (192 кГц) при уровне выходного сигнала 0 дБ. При уровне -60 дБ параметр THD+N увеличивается до 0,65% (44,1 кГц), 0,8% (96кГц), 0,95% (192 кГц);
- динамический диапазон 106 дБ (44,1 кГц), 104 дБ (96 кГц), 102 дБ (192 кГц);
- разделение каналов не менее 102 дБ при всех частотах дискретизации;
- размах выходного сигнала, соответствующий уровню 0 дБ, составляет 0,8V_{CC};
- отношение сигнал/шум 106 дБ (44,1 кГц), 104 дБ (96 кГц), 102 дБ (192 кГц);
- параметры цифрового фильтра в режиме Sharp Roll-Off: полоса пропус-

кания при неравномерности ±0,04 дБ равна 0,454f_s; полоса задержания 0,546f_s (при ослаблении -50 дБ). В режиме Slow Roll-Off соответствующие параметры равны 0,198f_s при неравномерности ±0,5 дБ и 0,884f_s (при ослаблении -35 дБ);

- напряжение питания составляет 4,5...5,5 В, потребляемый ток зависит от частоты дискретизации: 16 мА (44,1 кГц), 25 мА (96 кГц), 30 мА (192 кГц) при напряжении +5 В.

Микросхемы РСМ1753 и РСМ1755 широко применяются в современной звуковой и видеоаппаратуре ведущих мировых фирм. Схема включения ЦАП типа РСМ1755 в DVD-проигрывателе MARANTZ-DV4500 (модель 2004 г.) приведена на рисунке 5. Схема достаточно проста и не требует комментариев. Заявленные параметры звукового тракта проигрывателя: отношение сигнал/шум 115 дБ, динамический диапазон 96 дБ (CD), 100 дБ (DVD), (THD+N) нормирован только для CD 0,0045%.

Приборы РСМ 1780 и РСМ1782 также является усовершенствованными 24-разрядными многоуровневыми преобразователями, однако по расположению выводов они несовместимы с рассмотренными выше ЦАП. Такое решение направлено на обеспечение их совместимости по интерфейсу управления с восьмиканальными ЦАП типа РСМ1680. Расположение выводов микросхем показано на рисунке 6 (структура микросхемы такая же, как и на рисунке 1). Параметры ЦАП типа РСМ 1780 и РСМ1782 практически не отличаются от соответствующих параметров РСМ1742. В интерфейсе управления SPI микросхем аббревиатура ML (РСМ1742) заменена на MS, других отличий нет.

Перейдём к рассмотрению параметров и схем включения ЦАП фирмы АКМ из каталога 2008 г. Приведённые ниже термины и аббревиатуры используются разработчиками АКМ в технической документации и каталогах.

Прибор АК4353 является стерео-ЦАП с цифровым интерфейсом DIT (96 kHz 24-Bit DAC with DIT), число разрядов 16, 18, 20, 24, частота дискретизации 16...96 кГц, напряжение питания 2,7...5,5 В. Цифровые звуковые интерфейсы: LSB Justified (соответствует R-Justified фирмы Burr-Brown), MSB Justified (соответствует L-Justified), I2S. Интерфейсы управления: последовательный трёхпроводной (3-wire Serial),

I²C; корпус 24-выводной VSOP. В составе микросхемы имеется цифровой «передатчик» DIG (Digital Audio Interface Transmitter), совместимый с интерфейсами S/PDIF, IEC958, AES/EBU и EIAJ CP1201 (разработка 2000 г.); блок звукового интерфейса (Serial Input interface); сумматор сигналов управления (Mixer); управляемые цифровые аттенюаторы (ATT); блоки восьмикратной передискретизации (8× Interpolator); ДС-модуляторы (ΔΣ Modulator); ФНЧ левого и правого каналов (LPF); цифровой «передатчик» (DIG); формирователь системных тактовых сигналов (Clock Generator). Структура и номера выводов микросхемы приведены на рисунке 7 (не отмечены выводы 13 TEST и 23 – не подключен).

Основные технические характеристики ЦАП типа АК4353:

- формат звуковых данных соответствует MSB-First, ВТС Burr-Brown (шина SDTI);
- тактовые частоты 32, 36, 40, 48, 64f_s (шина BICK);
- системные тактовые частоты 128, 256, 384, 512, 768, 1024, 1536f_s (шина MCKI);
- отношение сигнал/суммарный уровень нелинейных искажений и шума (S/N+D) равно 90 дБ при напряжении питания +5 В и 86 дБ при +3 В (типичные значения при частоте дискретизации 44,1 кГц), при частоте дискретизации 96 кГц – 86 и 84 дБ соответственно;
- динамический диапазон (DR) 102 дБ (U_{пит} = +5 В), 90 дБ (+3 В) при частоте дискретизации 44,1 кГц; при частоте дискретизации 96 кГц – 96 и 92 дБ соответственно;
- отношение сигнал/шум (со взвешивающим фильтром типа А при частоте дискретизации 44,1 кГц) – 102 дБ (+5 В), 97 дБ (+3 В), при частоте дискретизации 96 кГц – 96 и 92 дБ соответственно;
- разделение каналов 110 дБ;
- размах выходных сигналов (Output Voltage) 3 В (+5 В) и 1,8 В (+3 В);
- параметры цифрового фильтра: полоса пропускания (Passband) при неравномерности АЧХ 0,02 дБ – 20 кГц (f_s = 44,1 кГц), 43,5 кГц (f_s = 96 кГц); при спаде АЧХ –6 дБ – 22,05 и 48 кГц соответственно; полоса задержания (Stopband) – 24,1 кГц/52,5 кГц (затухание –54 дБ);
- ток потребления по цепи AV_{DD} – 8...12 мА, DVDD – 8...16 мА (44,1 кГц), 13...26 мА (96 кГц).

Системные тактовые частоты, подаваемые на вход MCKI, определяются выбранной частотой дискретизации и режимом работы, задаваемым сигналами последовательного кода управления. Например, для частоты дискретизации 44,1 кГц в режиме 256f_s системная тактовая частота равна 11,2896 МГц, для частоты дискретизации 96 кГц в режиме 256f_s – 24,5760 МГц. Интерфейс сигналов управления определяется логическим уровнем напряжения на выводе 15 (I²C) микросхемы, при лог. 0 обеспечивается управление по трёхпроводному интерфейсу (3-wire Serial Control Mode). При этом задействованы выводы 10, 11 и 12 (CSN – шина управления, CCLK – тактовая шина, CDTI – шина данных), при лог. 1 – выводы 11 и 12 (названия шин изменяются на SCL и SDA, т.е. сигналы стандартной шины I²C).

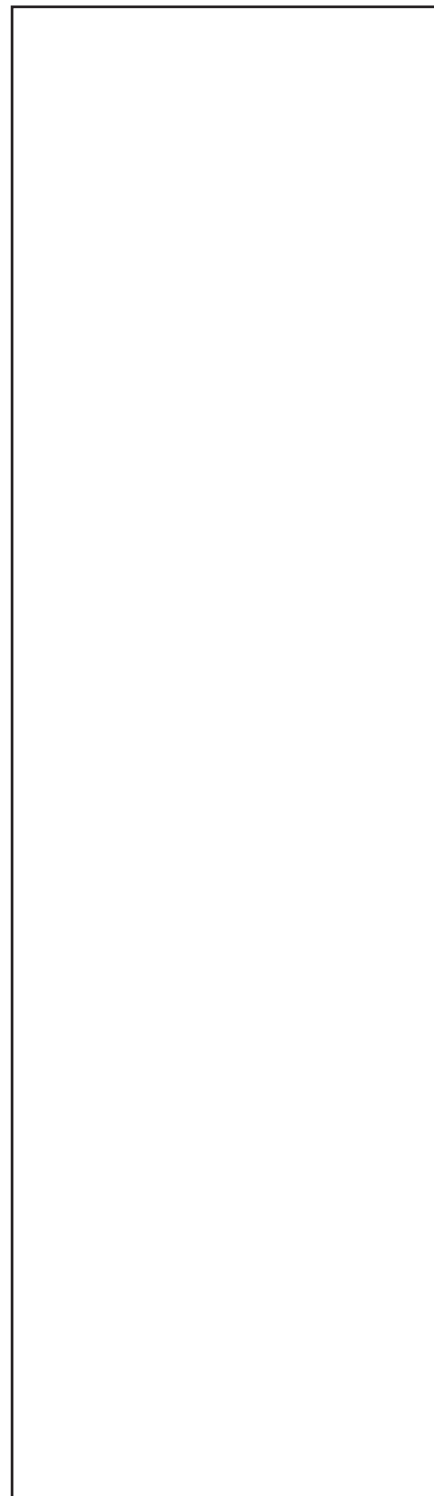
Структура сигналов трёхпроводной шины близка к структуре интерфейса SPI, показанной на рисунке 7 (адресные разряды обозначены другими буквами). Изменение режимов (перепрограммирование регистра хранения данных) производится при уровне лог. 0 на шине CSN. Установленные по умолчанию режимы могут быть изменены. Для программирования регистра управления ЦАП следует ориентироваться на справочные данные, приведённые на интернет-странице изготовителя [2].

Структура сигналов звукового интерфейса (LRCK, BICK, SDTI) в основном соответствует структуре, показанной на рисунке 2. Предусмотрена возможность работы с пятью форматами данных: в режиме Mode 0 – 16bit LSB Justified; Mode 1 – 18bit LSB Justified; Mode 2 – 20bit LSB Justified; Mode 3 – 24bit LSB Justified (см. диаграмму 1 на рис. 2); Mode 4 – 24bit MSB Justified (см. диаграмму 3 на рис. 2); Mode 5 – I2S (см. диаграмму 2 на рис. 2); по умолчанию установлен режим I2S.

Схема включения ЦАП типа АК4353 в автомобильных DVD-ресиверах с ЖК-телевизорами KENWOOD-KVT-910/920/930/940/960DVD (модели 2002 г.) приведена на рисунке 8 (шины на выводах 2, 5, 7, 10 – 12 и 15 ИС имеют обозначения, отличающиеся от соответствующих обозначений на рисунке 7). Заявленные параметры звукового тракта этого аппарата: отношение сигнал/шум 115 дБ (DVD, частота дискретизации 96 кГц); динамический диапазон 95 дБ; КНИ = 0,003% (соответствует вышеприведённому параметру

S/N + D = 90 дБ); частотный диапазон 20 Гц...44 кГц (f_s = 96 кГц), 20 Гц...22 кГц (48 кГц), 20 Гц...20 кГц (44,1 кГц); передискретизация 8f_s (44,1 кГц, 48 кГц), 4f_s (96 кГц); число разрядов 16, 20, 24.

Системные тактовые частоты в цепи 113 (вывод 5 IC12) 16,9344 МГц (CD), 18,43 МГц (DVD). Сигналы звукового интерфейса по цепям 115 (вывод 6), 116 (вывод 8), 117 (вывод 7) поступают в формате LSB-Justified (16, 20, 24 разряда). Напряжение +5 В для питания ИС обеспечивает двухступенчатый линейный стабилизатор



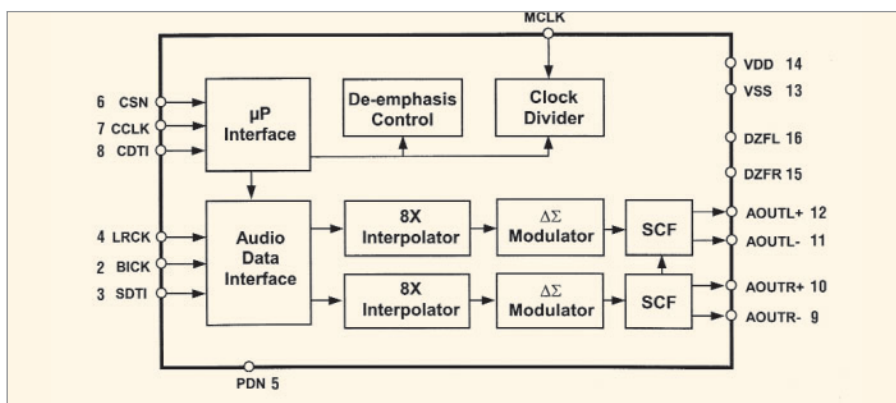


Рис. 9. Структура и номера выводов ЦАП типа АК4381, АК4382, АК4384 и АК4385

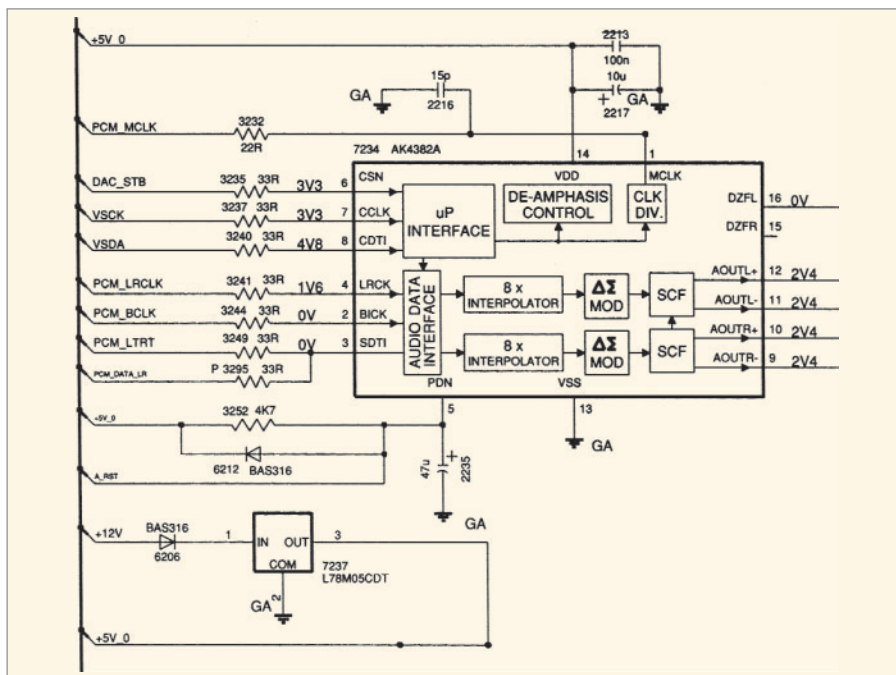


Рис. 10. Схема включения ЦАП типа АК4382 в DVD-проигрывателе Philips-DVP720SA

на микросхемах IC20 AN7708SP фирмы MATSUSHITA и IC17 NJU7222U50 фирмы JRC. Выходные звуковые сигналы левого и правого (выводы 19 и 18) каналов подаются на буферные сдвоенные ИОУ типа NJM4565V. Узел DIT (вывод 2) не задействован.

Преобразователи АК4382 (2000 г.), АК4384 и АК4385 (2006 г.) – 24-разрядные, с большим динамическим диапазоном; число разрядов 16, 20, 24; динамический диапазон 112, 106 и 108 дБ соответственно; частоты дискретизации 8...192 кГц; напряжение питания 5 В; цифровые звуковые интерфейсы LSB/MSB-Justified, I2S; интерфейс управления 3-wire Serial; корпус 16-выводной TSSOP. Структура и номера выводов микросхем АК4381, АК4382, АК4384 и АК4385 приведены на рисунке 9; микросхемы функционально идентичны, что в ряде случаев обеспечивает их взаимозаменяемость. В со-

став ИС входят: последовательный интерфейс управления (uP Interface); входной последовательный интерфейс данных (Audio Data Interface); интерполирующие цифровые фильтры (8x Interpolator); одноканальные ДС-модуляторы с преобразователями спектра шума (ΔΣ Modulator); выходные фильтры на переключаемых конденсаторах (SCF); узел коррекции предискажений (De-emphasis Control); делитель частоты (Clock Divider).

Приведём основные технические характеристики ЦАП типа АК4382 при 24-разрядном входном сигнале и тактовой частоте BICK = 64f_s:

- (THD+N): при f_s = 44,1 кГц, U_{ВЫХ} = 0 дБ, -94 дБ (тип., макс. -86 дБ), при U_{ВЫХ} = -60 дБ, -48 дБ; при f_s = 96/192 кГц, U_{ВЫХ} = 0 дБ, -92 дБ, при U_{ВЫХ} = -60 дБ, -45 дБ;
- отношение сигнал/шум 112 дБ (мин. 102 дБ);

- разделение каналов 110 дБ (мин. 90 дБ);
- полный размах выходного напряжения (F_s) ±2,75 В на нагрузке 2 кОм. Указанный выше динамический диапазон действителен для 24-разрядного входного сигнала, при 16 разрядах он снижается до 100 дБ для всех ИС;
- ток потребления 20...40 мА.

Отличающиеся от приведённых параметры ЦАП типа АК4381/АК4385 (кроме динамического диапазона): (THD + N) при частоте f_s = 44,1 кГц и U_{ВЫХ} = -60 дБ составляет -44 дБ, при f_s = 96/192 кГц и U_{ВЫХ} = -60 дБ равен -41 дБ. Для микросхемы АК4384: (THD + N) при f_s = 44,1 кГц и U_{ВЫХ} = -60 дБ равен -42 дБ, при f_s = 96/192 кГц и U_{ВЫХ} = -60 дБ равен -39 дБ. Параметры цифровых фильтров для режима Sharp Roll-off при частоте дискретизации 44,1 кГц: полоса пропускания (Pass-band) 22,5 кГц (по уровню -6 дБ); затухание в полосе задержания (Stopband Attenuation) -54 дБ. Для режима Slow Roll-off полоса пропускания составляет 18,2 кГц (по уровню -3 дБ); затухание в полосе задержания -72 дБ (для АК4382). Допустимый диапазон тактовых частот MCLK на выводе 1 микросхем 2,048...36,864 МГц.

Преобразователь АК4382 применён в звуковом тракте DVD-проигрывателя Philips DVP720SA (модель 2004 г.). Заявленные параметры проигрывателя в стереорежиме: неравномерность АЧХ в диапазоне 20 Гц...20 кГц ±0,2 дБ; отношение сигнал/шум не менее 90 дБ (с взвешивающим фильтром типа А); КНИ + шум не более -85 дБ; разделение каналов не менее 100 дБ; максимальный размах выходного сигнала 2 В ±1,5 дБ. Форматы данных и компрессии: MPEG-1, MPEG-2, AC-3, PCM (16, 20, 24 разряда, f_s = 44,1, 48, 96 кГц); MP3 (ISO9660), 96, 112, 128, 256 Кбит/с (f_s = 32, 44,1, 48 кГц).

Схема включения ЦАП типа АК4382А в двухканальном звуковом тракте этого проигрывателя приведена на рисунке 10. Сигналы входного звукового интерфейса на микросхему 7234 поступают по цепям PCM_LRCK, PCM_BCLK, PCM_LRTRT, PCM_DATA_LR, сигнал системных тактовых частот – по цепи PCM_MCLK. Дифференциальные выходные аналоговые сигналы с выводов 9 – 12 подаются на ФНЧ, выполненный на сдвоенном ИОУ 7233 типа LM8833V. Напряжение питания +5 В поступает на ЦАП по цепи +5V_0 от

отдельного стабилизатора 7237 (L78M05CDT).

В заключение следует отметить, что в настоящее время благодаря усилиям инженеров и сотрудников фирм АКМ и Texas Instruments, разработчикам звуковых компьютерных карт, звуковой и видеоаппаратуры стали доступны недорогие ЦАП, обеспечивающие качество звучания на уровне Hi-Fi.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ti.com>.
2. <http://www.asahi-kasei.co.jp>.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Использованные сокращения и обозначения:

BTC (Binary Two's Complement) – двоичный дополнительный код, в приложении к ЦАП используется для кодирования отрицательных значений входного сигнала. Отрицательные значения сигнала (ниже уровня Bipolar Zero – биполярного нуля) всегда кодируются лог. 1 в старшем (первом) разряде, положительные – лог. 0;

FSR (Full Scale Range) – размах выходного сигнала на выходе ЦАП, соответ-

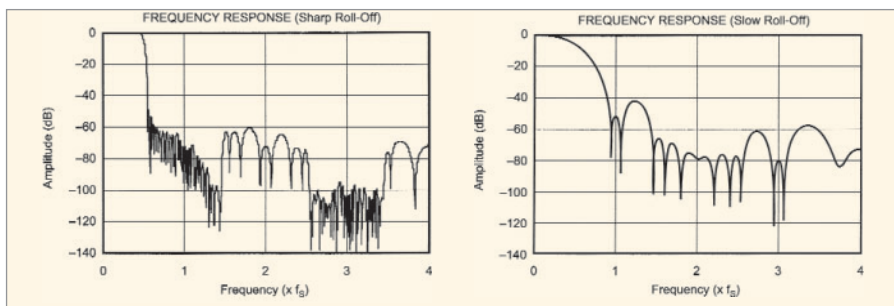


Рис. 11. АЧХ цифровых фильтров ЦАП типа PCM1742

ствующий максимальному значению входного кода;

ELAJ (Electronic Industries Association of Japan) – ассоциация электронной промышленности Японии;

I2S (Inter Integrated Circuits Sound) – двунаправленная асинхронная шина с последовательной передачей данных внутри одного устройства, см. диаграмму 2 на рисунке 2;

LSB (Least Significant Bit) – наименее значимый (младший) разряд двоичного числа;

MSB (Most Significant Bit) – наиболее значимый (старший) разряд;

SPI (Serial Peripheral Interface Bus) – полудуплексный скоростной синхронный трёхпроводной интер-

фейс, предложенный фирмой Motorola; в стандарте на интерфейс фигурируют четыре шины: SCK (MC), SDI (MD), CS (ML), в скобках приведены эквиваленты обозначений Burr-Brown (см. рис. 4), четвёртая шина SDO – выход данных (предназначена для каскадирования устройств);

Sharp Roll-Off – АЧХ цифрового фильтра с крутым спадом;

Slow Roll-Off – АЧХ цифрового фильтра с пологим спадом. АЧХ цифрового фильтра ЦАП PCM1742 приведены на рисунке 11, по горизонтальной оси отложены значения частоты в долях частоты дискретизации f_s . ©