

тролировать потребляемый ток. Анодный ток покоя в таком режиме составляет 80...100 мА в зависимости от конкретного экземпляра лампы. При отсутствии явных неполадок или после устранения таковых устанавливается равный для всех выходных пентодов начальный анодный ток. Подавая на вход усилителя сигналы различной формы амплитудой 7-12% от номинальной проверяется работоспособность всего аппарата.

Сняв входной сигнал, замыкают петлю ООС. Если после данной операции появится самовозбуждение усилителя, необходимо поменять местами концы обмотки обратной связи. Следует помнить, что в таком случае наиболее ха-

рактерна генерация в области звуковых частот. Устранив самовозбуждение устройства, на вход можно подать сигнал небольшой амплитуды и проверить устойчивость работы. При неустойчивой работе необходимый результат достигается стандартными методами, такими как изменение топологии монтажа, введением различных корректирующих цепочек, в т.ч. в петлю ООС и т.п.

Только добившись удовлетворительной работы аппарата в облегченных электрических режимах, можно довести питающие напряжения до номинальных величин. После этого производится окончательная регулировка схемы. Эта операция осуществляется стандартными

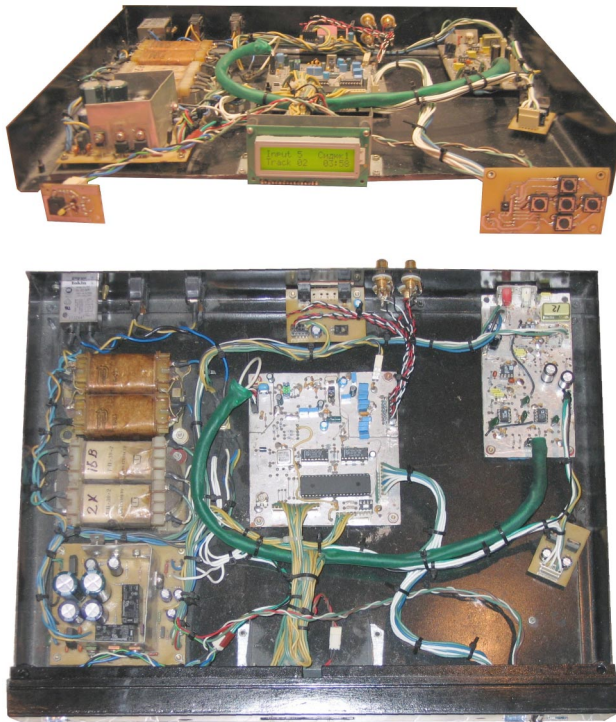
общеизвестными методами и в настоящем материале не рассматривается.

Основные **характеристики** акуратно собранного и хорошо **отрегулированного усилителя** будут такими: максимальная выходная мощность при коэффициенте гармоник <6% - 850 Вт. В таком режиме нижняя граничная частота по уровню не хуже -4 дБ составляет 30 Гц, а верхняя в зависимости от схемы включения вторичных обмоток выходного трансформатора - 18...23 кГц с завалом не более 2...2,5 дБ. Номинальная чувствительность зависит от каскадов предварительного усиления, а без них составляет 2,7 В.

(Продолжение следует)

Цифровой предварительный усилитель «с претензией» на...

Дмитрий Харций, г.Запорожье



*Выше гор могут быть только горы,
На которых еще не бывал...
В. Высоцкий*

*Какой же это предварительный усилитель?
Это ЦАП с громкостью.
А. Торрес*

Мир все глубже погружается в «цифру». Все, что можно оцифровать и сохранить, уже оцифровывается и сохраняется. Причем, практически любой вид информации - все, что мы видим, слышим, чувствуем, обоняем. А с чего все начиналось? Созданный в начале 80-х годов 20 века и революционный по тем временам формат CD-Audio был компромиссом между требуемым качеством и объемом цифровых данных, необходимым для этого. 16-битное кодирование с частотой дискретизации 44100 Гц, которое теоретически должно было обес-

печить высокое качество, требовало огромных по тем временам хранилищ информации. Объем данных, записываемых на компакт диск, составлял более 700 МБ и в несколько раз превышал объем «винчестеров» среднего ПК тех времен. Однако, буквально сразу же началось улучшение параметров как записи (стандарт HDCD - 20-битное кодирование), так и воспроизведения (повышение частоты дискретизации в несколько раз и добавление промежуточных отсчетов методом интерполяции - т. н. «оверсемплинг» или, если ближе к русскому (ой ли) языку - передискретизация). А причиной тому - неудовлетворенность качеством, определяемым ограниченным объемом информации, который может быть записан на один диск. Много воды утекло с тех пор. На сегодняшний день объем данных, хранящихся на одном носителе, перестал быть ограничением, по крайней мере, для аудио. Со все ускоряющимися темпами различные фирмы анонсируют все новые технологии и разработки, увеличивающие емкость носителей. И вот уже аудио данные кодируются 24-мя битами с частотой дискретизации до 192 кГц. Что это дает? Максимальная частота записываемых сигналов возрастает с 22050 Гц до 96000 Гц, шумы с теоретического уровня в -90 дБ уходят в -120 дБ. Может это услышит далеко не каждый (не так много людей с идеальным слухом), но кто-нибудь пробовал сейчас в продаже найти бюджетный CD-проигрыватель? А вот дешевых проигрывателей DVD полно в каждом магазине. Никто, правда, не обещал, что на этом рост прекратится или сократятся его темпы...

Радиолобителями очень давно и довольно плотно освоено конструирование усилителей мощности. Характеристики их усилителей зачастую превосходят параметры промышленных конструкций. А вот с «предвариями» - прогиб. Конечно, с точки зрения минимализма, переключатель входов с контактами из драгметаллов и регулятор громкости из проволочного резистора - самое то. Но, все равно - прогиб...

Мной уже были предложены две схемы предварительных усилителей [1], [2]. Первая из них рассчитана только на использование источников сигнала с аналоговым выходом. Вторая может «съесть» и цифровой сигнал, но не любой, а только от проигрывателей аудио компакт дисков, проигрывателей минидисков и DAT-магнитофонов (до 20 бит/48 кГц максимум). А на цифровом выходе проигрывателя DVD может присутствовать сигнал разрядностью 24 бита с частотой дискретизации до 192 кГц (теоретически; практически - пока что только до 96 кГц). Но пройдет время, и кто-то из изготовителей аппаратуры (причем, из чисто маркетинговых соображений) «выдаст на гора» 192 кГц обязательно. И куда его девать?

Данная конструкция создавалась как раз для того, чтобы «понять» и принять цифровой поток с любой частотой дискретизации вплоть до 192 кГц. Или же - ее задача как раз спра-

виться с цифровым потоком от проигрывателя DVD. Правда, данные должны быть не сжатые (не все конфеты сразу), а в обычном ИКМ (PCM, если по-английски) формате. Идея родилась постепенно, причем, «с хвоста», точнее, - в полном соответствии с хронологией появления на рынке использованных ИМС. Сначала была микросхема AD1853 от Analog Devices - стерео ЦАП с максимальной разрядностью 24 бита и максимальной частотой дискретизации 192 кГц [3]. Кроме того, при использовании внешнего управляющего процессора, ИМС позволяет регулировать уровень громкости. Второй была микросхема AD1895 от все той же Analog Devices [4]. Это асинхронный преобразователь частот дискретизации с все теми же максимальными параметрами - 24 бита/192 кГц. Используемая микросхемой архитектура позволяет ей преобразовывать цифровые аудио данные с частотами дискретизации, отличаясь до 8 раз и не имеющими даже общего кратного! Осталось лишь выбрать цифровой приемник. На вопрос «третьим будешь» подошел приемник CS8416 от Cirrus Logic (или, более известное старое название - Crystal Semiconductor) [5]. Эта ИМС позволяет выбрать один из 8-ми цифровых входов стандарта EIAJ CP 1201/IEC-60958/AES3/SPDIF и полученный с него сигнал подать на последующие устройства. Максимальные характеристики входного сигнала (как не хорошо так часто повторяется) - 24 бита/192 кГц. Вот Вам и селектор входов. Перечисленные выше три ИМС являются тем фундаментом, на котором построена вся конструкция. Кроме того, ИМС PIC18F458 исполняет роль процессора управления. Использование остальных микросхем продиктовано либо стремлением к качеству, либо является вынужденной мерой (об этом ниже). Те, кто читал внимательно, уже догадались - аналоговых входов в предлагаемом устройстве нет! Таким образом, предлагаемая конструкция выполняет тот минимум функций, который возлагается на предварительный усилитель, - позволяет выбрать один из восьми источников для прослушивания и регулировать громкость сигнала. Кстати, почитатели High-End также могут обратить внимание на эту конструкцию - она, правда, не ламповая (хотел бы я увидеть полностью ламповый ЦАП ©), но все коммутации и преобразования сигнала происходят, пока он в цифровом виде, а выходной аналоговый фильтр желающие могут применить какой заблагорассудится. Скептики могут спросить: «Зачем аж восемь цифровых входов?» Ответу - с небольшим запасом на вырост, ведь три или четыре из них можно задействовать уже сейчас: проигрыватель DVD, проигрыватель аудио компакт дисков, проигрыватель минидисков или DAT-магнитофон, персональный компьютер. Вот половины уж и нет. А об оставшихся в ближайшем будущем позаботится прогресс - ведь мир не стоит на месте.

Схема

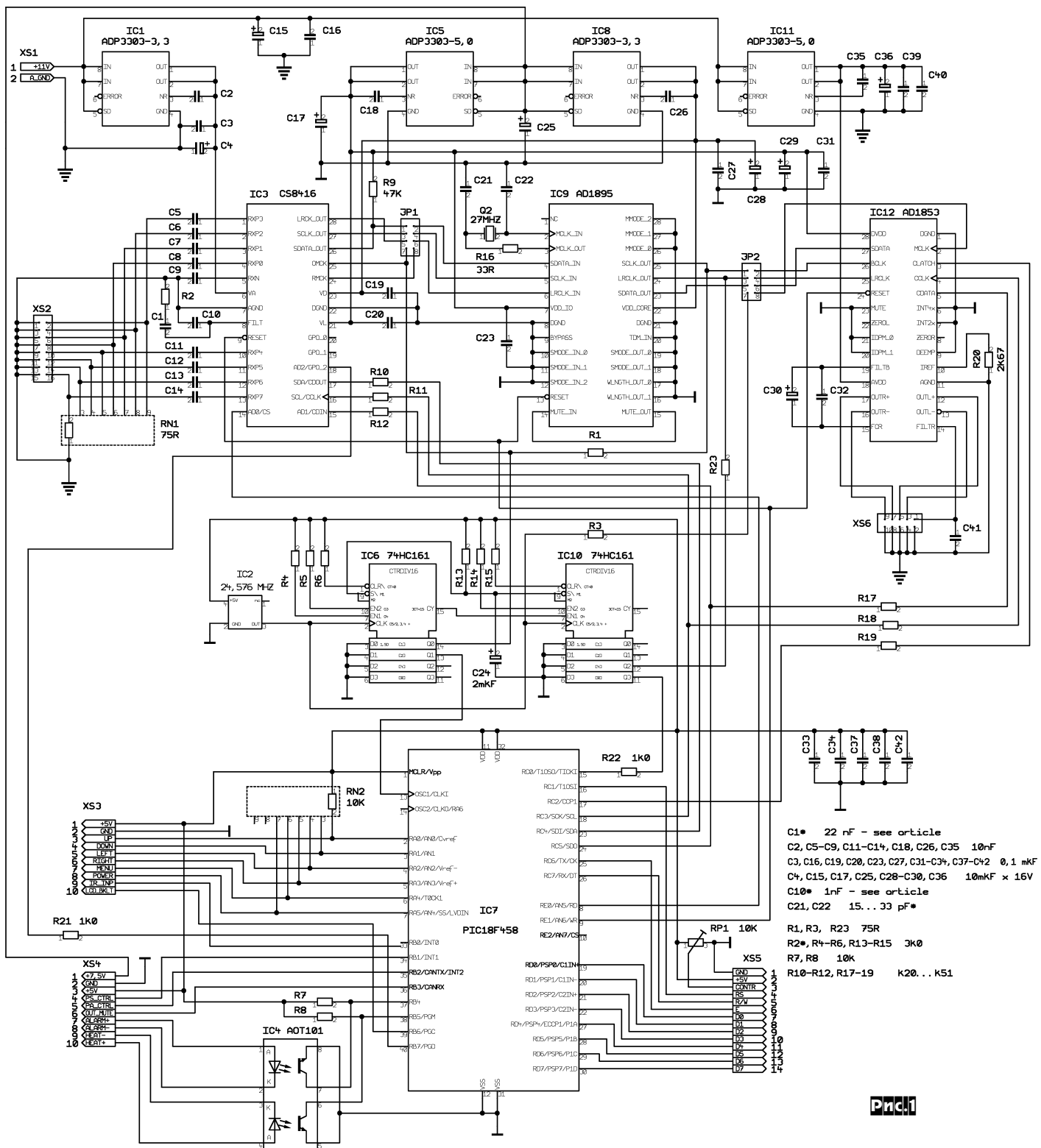
Основной блок

Рассмотрим теперь схему устройства (рис. 1) поподробнее. Микросхема IC3 выполняет функцию приемника цифровых данных от одного из восьми входов. Входные сигналы (несимметричные) поступают на разъем XS2. При использовании входных разъемов типа RCA сигнальные провода подводятся к контактам с четными номерами (2, 4, 6 ... 16), а «земляные» - с нечетными (1, 3, 5 ... 15). Нагрузкой им служат резисторы сборки RN1 сопротивлением 75 Ом. Если использовать микросхемы оптических приемников TOSLINK, то резисторы на входах устанавливать не нужно (хотя, это не аксиома - в [2] пришлось установить резистор сопротивлением 750 Ом). Микросхема CS8416 используется в режиме программного управления, т. е. все управление приемником осуществляется процессором управления IC7 по шине SPI. Чтобы ИМС CS8416 работала в программном режиме, резистор R9 подключен между выводом SDOUT (конт. 26) микросхемы и положительным источником питания VL (конт. 21). Микросхема выбирает один из восьми цифровых входов, декодирует поступающие аудиоданные и отправляет их на последующие устройства по выводам OLRCK, OSCLK и SDOUT (контакты 28, 27 и 26 соответственно). Сами аудио данные в последовательном виде представлены на выводе SDOUT, а выводы OLRCK и OSCLK являются синхросигналами: первый определяет - данные левого или правого канала передаются, а второй - синхронизирует каждый бит данных. Частота сигнала OLRCK равна час-

тоте дискретизации, а частота сигнала OSCLK обычно в 64 раза выше. При передаче данных на последующие устройства микросхема может выступать «мастером» или «ведомым» (подчиненным). В данной конструкции выходной аудио-порт микросхемы используется в режиме «мастера», т. е. ИМС сама формирует сигналы OLRCK и OSCLK. Использовать режим «ведомого» не получается потому, что мы хотим принимать сигнал от источников с разными частотами дискретизации. В отличие от AD1892, использованной в [2], ИМС CS8416 не имеет в своем составе преобразователя частот дискретизации, и, если использовать внешний источник опорной частоты с фиксированным значением, при несовпадении частоты дискретизации принимаемого сигнала и опорной частоты в выходных аудиоданных будут иметь место либо пропуски, либо повторы отсчетов. С другой стороны, менять опорную частоту при смене частоты дискретизации принимаемого сигнала очень хлопотно. Поэтому, микросхема работает «мастером» и ей поручается лишь декодировать входной сигнал и «очищать» его от джиттера. Таким образом, на выходе микросхемы будет представлен сигнал с частотой дискретизации выбранного источника. Тем более, что следом за ней стоит как раз та самая микросхема преобразователя частот дискретизации.

Теперь немного о питании данной ИМС. Микросхема CS8416 предназначена для использования в высококлассном оборудовании и имеет отдельные входы питания аналоговых (VA; вывод 6) и цифровых (VD; вывод 23) цепей. Также разделены аналоговая и цифровая «земли». Напряжение питания аналоговых и цифровых цепей равно 3,3 Вольта. Кроме того, логические уровни на цифровых выходах определяются напряжением на выводе VL (питание цепей ввода/вывода; конт. 21). Для нормального сопряжения с остальными микросхемами оно выбрано равным 5 Вольт (почему - читайте ниже). Таким образом, при бескомпромиссном подходе, микросхеме требуется три отдельных источника питания! Для этого используются микросхемы IC1, IC5 и IC8 типа ADP3303-xx (где XX обозначает выходное напряжение) фирмы Analog Devices [6], разработанные специально для применения в высококачественном оборудовании. Точность установки выходного напряжения составляет $\pm 0,8\%$ при изменении входного напряжения и $\pm 1,4\%$ при изменении выходного тока в пределах их допустимых значений. Уровень шумов и помех в выходном напряжении при использовании конденсатора в цепи NR (конт. 3) не превышает 30 мкВ (среднеквадратичное значение). Максимальный ток микросхемы без использования внешних регулирующих элементов - 200 мА. По-моему, очень даже ничего.

Сигналы с выходов CS8416 через контакты джампера JP1 (о его назначении - ниже) поступают на входы микросхемы IC9. ИМС AD1895 от Analog Devices является асинхронным преобразователем частот дискретизации. Микросхема имеет свой собственный опорный генератор. С одной стороны, согласно справочным данным на микросхему [4], максимальная частота опорного генератора равна 30 МГц (хотя, там же есть мелко напечатанное примечание, что максимальное значение этой частоты может достигать 34 МГц при соблюдении некоторых условий). С другой стороны, если один из аудио-портов ИМС работает в режиме «мастера», то частота дискретизации сигнала этого порта будет ровно в 256 раз ниже опорной. Поделив «очень максимально возможные» 34 МГц на 256, получаем 132,8125 кГц. А мы хотели, чтобы на выходе было 192 кГц ☺! То есть, выходному порту AD1895 работать «мастером» не светит. И входной порт тоже работает «ведомым». Единственное решение - использовать оба аудио-порта ИМС в режиме «подчиненного». При этом частота опорного генератора должна быть не менее чем $138F_s$ (при этом выбирается большее значение из частот дискретизации входного и выходного сигнала). Кроме того, нет необходимости в том, чтобы опорная частота была синхронна частоте дискретизации как входного, так и выходного сигналов. Подставив в приведенную формулу 192 кГц, (на входе больше быть не может, а на выходе такая частота дискретизации все время) получаем 26,496 МГц. То есть обычного «кварца» на 27 МГц нам с головой достаточно (что мы и наблюдаем в схеме - Q2). (Ах, если бы практика совпала с теорией! Увы, читайте «Приколы» ниже.) Осталась лишь одна проблема - мы решили, что оба порта ИМС AD1895 работают в режиме «подчиненного». Но интерфейс IIS - синх-



- C1* 22 nF - see article
- C2, C5-C9, C11-C14, C18, C26, C35 10nF
- C3, C16, C19, C20, C23, C27, C31-C34, C37-C42 0,1 mF
- C4, C15, C17, C25, C28-C30, C36 10mKf x 16V
- C10* 1nF - see article
- C21, C22 15...33 pF*

- R1, R3, R23 75R
- R2*, R4-R6, R13-R15 3k0
- R7, R8 10K
- R10-R12, R17-19 K20...K51

Princ.1

ронный, следовательно, кто-то (передающая, принимающая или третья сторона) должен сформировать сигналы LRCLK и BCLK. С входным портом все просто: на него от CS8416 поступают и данные и синхросигналы (выходной порт CS8416, как мы уже решили, работает «мастером»). А вот входной порт микросхемы цифро-аналогового преобразователя AD1853, стоящая после AD1895, может работать *только «ведомым»*.

Вот мы и добрались до творчества. А то все « типовые схемы включения »... Так ведь недолго и до таких « разработок » дойти [7]. Почему в кавчках? Да потому, что достаточно по ссылке [8] загрузить справочный листок на микросхему

AD1892, открыть его на стр. 20 и на рисунке fig.34 увидеть схему до последней точки повторяющую предложенную автором. Спрашивается, так что именно здесь разработал автор? Ну да ладно, это было небольшое « лирическое » отступление...

Возвращаемся к нашей конструкции. И речь пойдет как раз о вынужденных элементах схемы. Итак, мы получили интерфейс между AD1895 и AD1853, в котором обе микросхемы выступают в роли « подчиненных ». Следовательно, нужно найти « мастера ». Задача « мастера » - сформировать сигналы LRCLK и BCLK. Кроме того, для ИМС AD1853 необходим сигнал опорной частоты - MCLK. Благодаря разработчикам дан-

ной микросхемы, в этом случае мы более свободны в выборе ее значения: опорная частота может быть в 64; 96; **128** (в данной схеме); 192 или 256 раз выше частоты дискретизации передаваемых аудиоданных. Как было сказано выше, частота сигнала OLRCK(LRCLK) равна частоте дискретизации F_s , а частота сигнала OSCLK (BCLK) в 64 раза выше. То есть, нам необходим источник сигналов трех частот, соотношение между которыми фиксированное и известно нам. Роль «мастера» поручена интегральному генератору IC2 и делителю на двух синхронных счетчиках IC6 и IC10. Частота генератора 24,576 МГц. Поделив ее на 128, получаем 192 кГц. То есть, сигнал LRCLK у нас уже есть (на одном из выходов делителя); одновременно мы убедились, что выход генератора IC2 может служить сигналом MCLK для AD1853 (24,576 МГц = **128** F_s). А, поделив частоту опорного генератора на 2, мы получаем $64F_s=12,288$ МГц, то есть сигнал BCLK. Таким образом, мы выполнили все условия, необходимые для того, чтобы на выходе ИМС AD1895 цифровые аудиоданные были представлены с частотой дискретизации 192 кГц. Теперь разберемся с форматами. Микросхема AD1895 конфигурируется только аппаратно. С целью упрощения разводки платы все конфигурационные выходы «посажены на землю». Что мы получили? На всех выводах MMODE_0/1/2 логические «0» - оба порта микросхемы работают в режиме «подчиненного» (именно этого мы и хотели). Уровни на выводах SMODE_IN_0/1/2 определяют формат данных входного порта. Т. к. на них «нули», входной порт работает в формате «Left Justified» (выравнивание по левому краю). Разрядность данных в этом формате может быть любой из ряда 16/18/20/24 бит(а). Напряжения на выводах SMODE_OUT_0/1 определяют выходной формат. На них тоже «нули», и выходной порт также работает в формате «Left Justified». Разрядность выходных данных определяется уровнями на выводах WLGNTH_OUT_0/1. При установке их в «0» данные на выходе представлены в 24-битном разрешении. Итак, на выходе AD1895 данные всегда в виде 192 кГц/24 бита. А конфигурации портов: выходного CS8416 и входного AD1853 в данной конструкции устанавливаются программно и очень просто приводятся в соответствие с форматами входных и выходных данных AD1895.

Питание микросхемы AD1895 также осуществляется от нескольких источников. Во-первых, это напряжение 3,3 Вольта, подаваемое на вывод 22 (VDD_CORE). Это питание ядра микросхемы (основное). Кроме того, необходимо подать напряжение на вывод 7 (VDD_IO). Это напряжение питания для цепей ввода/вывода микросхемы. Оно может быть равно 3,3 или 5 Вольт и определяет логические уровни цифровых входов и выходов. В данной схеме на вывод VDD_IO подается 5 Вольт. Этому есть три причины (снова вынужденные меры): микросхема AD1853 работает только с пяти-вольтовым интерфейсом; опорный генератор и делители на микросхемах IC6 и IC10 запитаны от 5 Вольт; управляющий процессор IC7 - также пяти-вольтовый. Следовательно, внешние интерфейсы ИМС AD1895 должны работать от пяти Вольт. Кстати, интерфейсное питание микросхемы CS8416 равно 5 Вольтам по тем же причинам.

Двигаемся дальше. Снова джампер (блок перемычек) - JP2. О нем попозже. Сигнал цифровых аудиоданных, синхронизированных с сигналами LRCLK и BCLK, с выхода AD1895 по-

ступает на микросхему цифроаналогового преобразователя AD1853. Назначение микросхемы вопросов не вызывает - ЦАП! Кроме того, AD1853 может изменять кратность встроенного цифрового фильтра, включать/выключать цепь компенсации предсказаний (DEEMPHASIS) и менять ее АЧХ для разных частот дискретизации, а также регулировать уровень сигнала на выходе. Данная ИМС может управляться как аппаратно (логическими уровнями на входах конфигурации), так и программно (командами, подаваемыми с внешнего процессора по шине SPI). Особенность заключается в том, что реальные установки определяются функцией «ИЛИ» уровней на входах аппаратного управления и значений битов, записанных в регистры управления. Чтобы упростить разводку платы и иметь полный контроль над параметрами ИМС, все выводы аппаратной конфигурации «посажены на землю». Кроме собственно преобразования «цифры» в аналоговый сигнал, на микросхему возложена роль регулятора громкости (у нас все-таки предварительный усилитель). Но, громкостью можно управлять только программно. А еще необходимо правильно сконфигурировать входной порт микросхемы. Таким образом, и конфигурирование AD1853, и регулировка громкости осуществляются программно - этим занимается процессор управления IC7, используя для этого шину SPI. Питание аналоговых и цифровых цепей ИМС AD1853, как и положено у «крутых» микросхем, разделено. Для этого используются две микросхемы ADP3303-5,0 (IC5 и IC11). Аналоговая и цифровая «земли» также разделены. Все это сделано ради минимизации шумов и помех на выходе ЦАП. Для этой же цели аналоговые выходы микросхемы AD1853 сделаны **токовыми** и дифференциальными. Они выведены на разъем XS6. Это позволяет при повторении конструкции подключить к разъему XS6 схему выходного фильтра, выбранную по собственному усмотрению.

К выходным фильтрам мы вернемся позже.

(Продолжение следует)

Список литературы

1. Харций Д. Современный предварительный усилитель с микропроцессорным управлением. «Радиолюбитель», 2003, №5 с. 48.
2. Харций Д. Ресивер с цифровой обработкой сигнала. «Радиолюбитель», 2004, №1 с. 48.
3. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/401172167AD1853_a.pdf
4. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/326447608AD1895_b.pdf
5. <http://www.cirrus.com/en/pubs/proDatasheet/CS8416-4.pdf>
6. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/31653297ADP3303_a.pdf
7. Радиолюбитель №5 2000 г. с. 20. Дайджест зарубежной периодики, П. Збисински «АудиоЦАП с S/PDIF входом».
8. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/294553517AD1892_0.pdf
9. Радиолюбитель №4 1998 г. с. 27. Дайджест зарубежной периодики, УНЧ А-9510 фирмы Onkyo.
10. <http://www.cirrus.com/en/pubs/errata/ER578B5.pdf>
11. http://perso.wanadoo.fr/softelec/index_us.htm