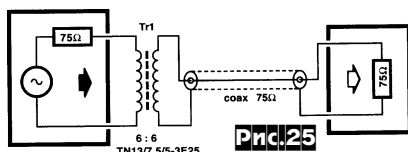
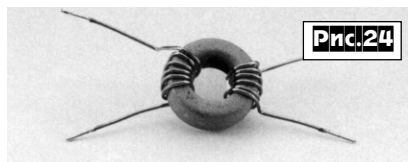
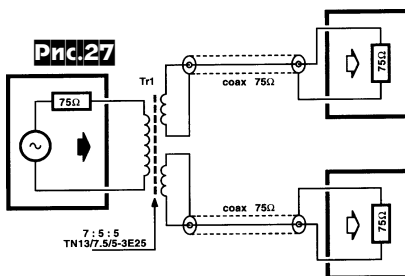
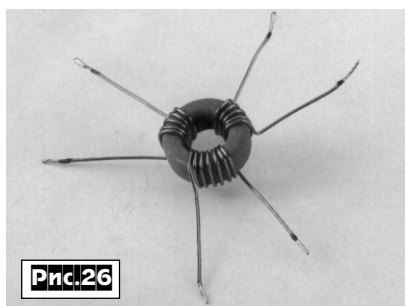


кроссовера как программой HSPS Filter Designer (www.dialspace.dial.pipex.com/hsp/), так и в самодельной полочной (bookshelf) АС на основе НЧ динамика Morel MW142 и ВЧ MDT29 подтвердили отличные характеристики - суммарная АЧХ имеет неравномерность менее 1 дБ, а крутизна спада сразу за граничной частотой соответствует обычным фильтрам 8-го порядка. **Герд Шмидт** предлагает для построения активных кроссоверов применять т.н. **фильтры с конечной импульсной характеристикой** (FIR - Finite Impulse Response), которые имеют линейную ФЧХ и постоянное ГВЗ независимо от других характеристик. Практическая реализация (рис. 22) в зависимости от сопротивления R1-R4 может быть оптимизирована по разным критериям - максимальной крутизны АЧХ ФВЧ (рис. 23а), ФНЧ (рис. 23б) или и той, и другой, но не гладкой АЧХ ФНЧ (рис. 23с). Достоинством схемы рис. 22 является автоматическое согласование частот среза ФНЧ (V_{lp}) и ФВЧ (V_{hp}), а также возможность их изменения простым изменением емкости конденсаторов в цепях неинвертирующих входов всех ОУ («*Electronics World + Wireless World*» №8/99, с. 652-655, 691-693; №7/99, с. 572).

Изолирующий трансформатор для S/PDIF (рис. 24), предложенный **Т. Гизбертсом**, позволяет избавиться от помех, сопутствующих передаче цифровых

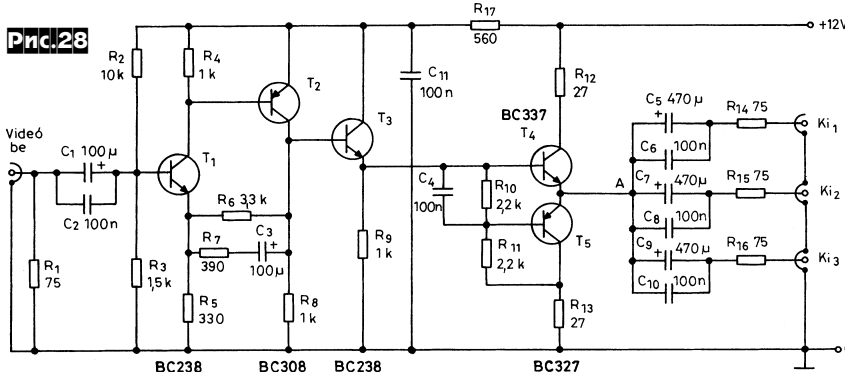


звукодающих между незаземленными или некорректно заземленными источником и приемником, например звуковой картой ПК и R-DAT. Авторский вариант содержит по 6 витков провода диаметром 0,5 мм на ферритовом кольце Philips Type TN13/7.5/5-3E25 (13x7,5 мм, высота 5 мм, относительная магнитная проницаемость $\mu=4500$). Для правильного согласования трансформатор необходимо подключать непосредственно к выходу источника (рис. 25), а вторичную обмотку соединять с приемником стандартным 75-омным кабелем. При стандартном напряжении 0,5 В трансформатор обеспечивает передачу в полосе от 50 кГц до 17 МГц, что более чем достаточно для S/PDIF. На рис. 26 и рис. 27 изображен пассивный S/PDIF развет-



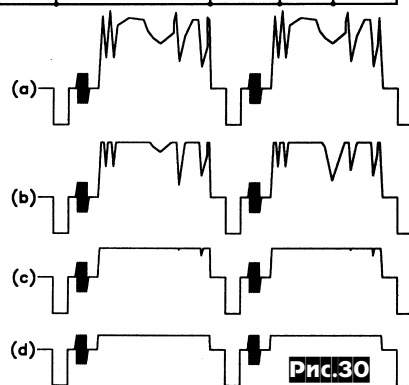
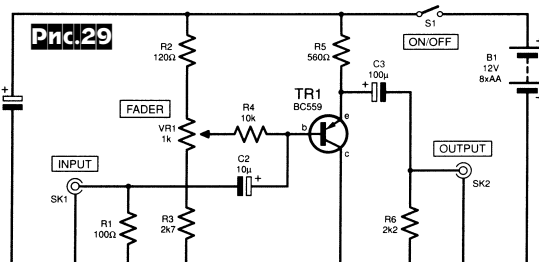
витель, обеспечивающий передачу сигнала одного источника сразу двум приемникам. Это может быть CD-плеер, подключенный сразу к двум внешним ЦАПам для организации субъективного сравнения. От изолирующего трансформатора он отличается только количеством витков - первичная 7 витков, две вторичных - по 5 витков («*Elektor Electronics*» №7-8/99, с. 58, 59, 73).

Активный видеоразветвитель (рис. 28) Тибора Палинкаша обеспечивает передачу без ослабления стандартного видеосигнала амплитудой 1 В от одного источника (например, видеомонитора) сразу на три монитора или телевизора (на видеовходы). Он состоит из масштабирующего усилителя (T1-T3) с коэффициентом усиления $K_u=2$ и двухтактного усилителя тока (T4, T5), способного работать на низкоомную нагрузку,



коей являются согласующие резисторы R14-R16 и подключенные к ним 75-омные кабели. Потребляемый устройством ток 10 мА («*Hobby Elektronika*» №5/99, с. 157, 158 *).

Видеофейдер (рис. 29) Роберта Пенфолда предназначен для домашних видеостудий и позволяет уводить/выводить изображение в/из черного фона. В отличие от «настоящих» студийных видеофейдеров, работающих как ослабители видеосигнала только в активной части строки, работа рассматриваемого устройства основана на асимметричном ограничении видеосигнала, при котором сначала ограничиваются наиболее «яркие» (с максимальной амплитудой, рис. 30а) пики видеосигнала, затем серые (рис. 30б) и, наконец, темные его составляющие (рис. 30с). Такой алгоритм не затрагивает синхросигналы и следовательно не нарушает нормальной синхронизации даже без специальных мер по стробированию регулировок только в течение активной части строки (и их отключения во время синхросмеси и всплеск поднесущей), что существенно упрощает схему устройства. Неболь-



шее «подрезание» всплески поднесущей цветности (PAL) в самом конце регулирования (рис. 30d) приводит к повышению насыщенности цвета, но оно не за-

Hi-Fi 24-разрядный аудиоЦАП

На выставке «Мир электроники-2000», проходившей осенью в Киеве, на стенде нашего журнала можно было увидеть (и даже услышать в работе) устройства, возле которых стояла табличка «Некоторые темы наших будущих публикаций». Итак, сегодня мы рассказываем про одно из них.

В нашем журнале опубликовано уже немало устройств, аналогичных по назначению описываемому. Для опытного специалиста обычно достаточно просто посмотреть на схему, что я и рекомендую сделать сразу, новичкам же в данном вопросе попробую дать немного предварительной информации.

Для начала небольшой **гlossарий**:

S/PDIF = Sony/Philips Digital Interface Format = стандарт на цифровую передачу звуковых данных между устройствами (асинхронный интерфейс с самосинхронизацией), существует также оптический вариант **TOSLINK**;

DAC = ЦАП = цифроаналоговый преобразователь;

IIS = Inter IC Signal bus = стандарт на синхронный интерфейс между элементами схемы в пределах одного устройства;

PLL = Phase Locked Loop = ФАПЧ = система фазовой автоподстройки частоты;

emphasis = предвыскажения.

Все устройства подобного назначения как правило построены на схожей элементной базе. Связано это с тем, что выбор элементов для разработчика той или иной схемы не так уж и широк. Например, из приемников S/PDIF сигнала сейчас более-менее доступны микросхемы CS8412, CS8414, CS8420 от Crystal Semiconductor, DIR1700 от Burr-Brown, AD1892 от Analog Devices. Хорошо знакомые с импортной элементной базой смогут добавить к этому списку YM3623 (Yamaha), AK4112A (Asahi Kasei), M65810 (Mitsubishi). Вот, в принципе, и всё. Среди микросхем собственно DAC выбор пошире: CS4327, CS4328, CS4329, CS4390, CS4331 (CS4333), CS4334 (CS4338), CS4396, PCM63, PCM1702, PCM1704, PCM1710, PCM1712, PCM1715, PCM1717, PCM1718, PCM1721, AD1853, AD1857, AD1862, uPD6376, uPD6379, uPD63200, LC78815, AK4320, AK4324, AK4393. Теперь из всего этого разнообразия попытаемся выбрать то, что *доступно* в пределах ex-СССР и что устраивает нас по требованиям качества. Иначе говоря, сразу отбрасываем микросхемы ЦАП с разрядностью менее 20 бит, а также труднодоступные микросхемы. Кроме того, для упрощения сборки и особенно дальнейшей модернизации лучше, чтобы выбранные микросхемы поддерживали формат входного слова по так называемому IIS стандарту и имели встроенный фильтр деэмпфазиса (несмотря на редкость, компакт-диски, записанные с преэмпфазисом, иногда все-таки попадают). Ну и также отбросим в сторону очень дорогие микросхемы вроде PCM63 ценой в 96 долларов за пару, к которым необходима еще и специальная микросхема цифрового фильтра. Итак, что же у нас получилось?

Микросхемы DAC: CS4329, CS4390, CS4396 (Crystal), AK4320, AK4324, AK4393 (Asahi Kasei), AD1857 (Analog Devices). Все эти микросхемы ЦАП применимы в данной схеме. В схемах в этой статье будут показаны примеры замены примененного ЦАП на некоторые из вышеперечисленных.

Теперь перейдем собственно к **схеме устройства (рис. 1)**. Еще одно небольшое замечание: любой конструктор, имеющий под рукой документацию на данные микросхемы (так называемые datasheets или жаргонно «даташиты»), сможет разработать и рассчитать подобную схему за два свободных вечера. Но если у вас нет доступа к фирменной документации или вы не чувствуете пока себя специалистом в разработке подобных устройств, то

данное готовое решение как раз для вас.

Итак, устройство состоит из входного разделительного трансформатора Tr.1 (он хоть и необязателен и даже не требуется по стандарту, но настоятельно рекомендуется), приемника цифрового сигнала, собственно ЦАП, выходных аналоговых фильтров и схемы питания.

На микросхеме IC101 CS8412 собран **приемник цифрового сигнала, схема выделения тактового сигнала на основе PLL, декодер субкода** (субкод - это дополнительный код, несущий служебную информацию, например, о наличии в сигнале предвыскажений, разрешении/запрете цифровой перезаписи, номере фрагмента на носителе, оригинал/копия и т.д.) и преобразователь данных в формат IIS. Схема включения типовая. Последовательная RC-цепочка из резистора 1 кОм и конденсатора 0.047 мкФ представляет собой фильтр системы PLL. Инверторы микросхемы IC102 выполняют либо просто инвертирование сигнала, либо параллельно еще и функцию драйверов светодиодов. Двухцветный светодиод LED101 зеленым свечением обозначает отсутствие преэмпфазиса во входном сигнале, а красным - его наличие. Свечение светодиода LED102 красного цвета означает, что на вход устройства подается сигнал, содержащий не чисто звуковые данные, а, например, кодированный сигнал 6-канальной системы Dolby, при этом ЦАП блокируется и сигнал на выход не поступает.

Сигналы шины IIS на схеме подписаны, кратко опишем их функции:

MCLK (или MCLK 256x) - Master Clock, основной тактирующий сигнал устройства, им тактируется аналоговый фильтр на переключаемых конденсаторах в микросхеме ЦАП, кроме того все остальные тактовые сигналы получают делением MCLK. Сигнал имеет частоту, в 256 раз большую частоты дискретизации, выделенной из входного потока.

SCLK - Serial Clock, сигнал, тактирующий каждый бит данных. По фронту этого сигнала бит данных с линии SDATA записывается во внутренний регистр ЦАП.

LRCK - Left/Right Clock. Сигнал определяет, к левому или правому звуковому каналу относится передаваемое по IIS 24-битовое слово данных.

Владимир Широков, г.Киев

SDATA - Serial Data. Последовательные данные. По этой линии 24-битные слова побитно передаются на микросхему ЦАП, начиная со старшего бита (при наблюдении работы схемы на логическом анализаторе не забудьте, что в стандарте IIS после фронта или спада сигнала LRCK проходит один холостой такт SCLK, и только потом появляется на линии SDATA старший значащий бит).

DEEMPHASIS - сигнал, означающий наличие предвыскажений во входном сигнале, в таком случае на этой линии будет логическая «1». Для возможности использования различных микросхем ЦАП предусмотрен и инверсный вариант этого сигнала.

NON-AUDIO - сигнал, означающий что на вход устройства подаются незвуковые данные, используется для мьютирования (приглушения) ЦАП. Также предусмотрен инверсный вариант.

Далее сигнал в стандарте IIS поступает на микросхему ЦАП АК4324 (IC103). **Важно**: обратите внимание - на микросхему ЦАП подключено два отдельных общих провода, аналоговый и цифровой, которые соединены на плате только в одной точке через перемычку в ферритовой трубочке L1. Это помогает избежать помех от цифровой части устройства. Цепочка из диода, резистора 56 кОм, резистора 47 кОм и конденсатора 2.2 мкФ является схемой сброса. Если есть возможность, можно применить в этом узле схему, например, на микросхеме MN1280. Резисторы 10 Ом и 22 Ом совместно с конденсаторами 0.1 и 10 мкФ выполняют функцию фильтров питания, также помогая избавиться от цифровых помех в выходном звуковом сигнале.

Далее следует **пассивный аналоговый фильтр (рис. 2)**. Эта часть схемы отличается от рекомендованных в даташитах. Причиной этому послужило несколько соображений. Дело в том, что большинство современных микросхем цифроаналоговых преобразователей для звуковых применений имеют паразитные выходы от каждого канала и обычно сигналы с них подают на дифференциальный фильтр, вычитающий нелинейности и складывающий полезный сигнал. В данной же схеме применено снятие сигнала только с неинверсных выходов каждого канала ЦАП, к тому же применен пассивный фильтр. Причина данного решения в том, что нелинейность применяемых ЦАПов очень мала, выигрыша же от

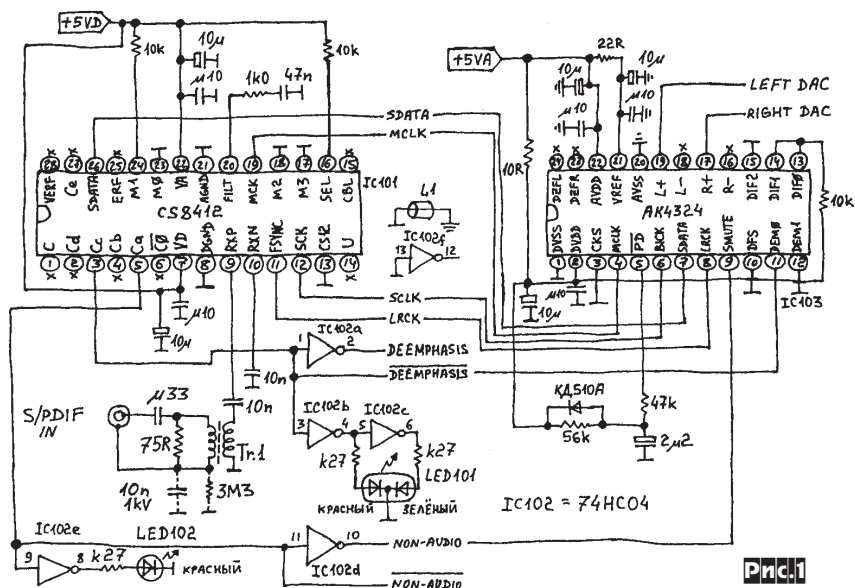


Рис.1

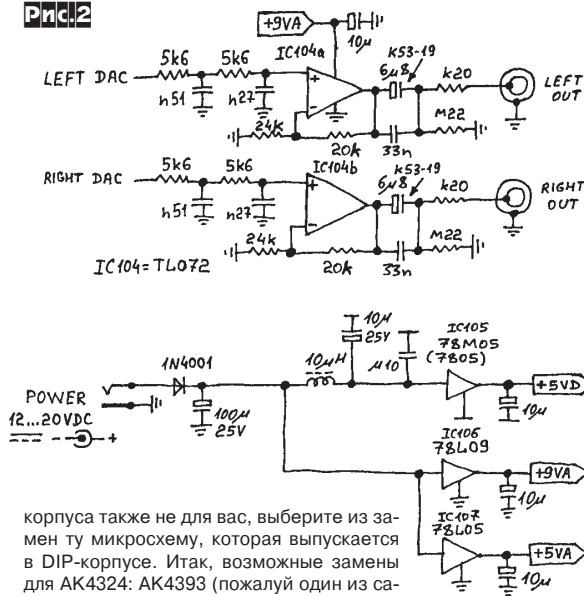
симметричного снятия сигнала обычно не бывает из-за того, что для нормальной работы дифференциального фильтра нужен очень высокочастотный операционный усилитель. Среди широкодоступных ОУ микросхем с такими параметрами найти вряд ли удастся, поэтому и был выбран такой вариант фильтра. Положительный эффект этого решения еще и в том, что на выходе микросхем ЦАП с дельта-сигма преобразованием имеется надтоновая составляющая до нескольких МГц, которая при использовании активного фильтра на обычных ОУ дает сильные интермодуляционные искажения, воспринимаемые на слух как резонансный шум и «грязь» в звуковом сигнале.

За пассивным фильтром идет **буферный каскад** с коэффициентом усиления немного меньше 2 на ОУ IC104 типа TL072. ОУ в буферном каскаде питается от однополярного источника, но поскольку на выходах ЦАП присутствует постоянное напряжение около 2.5 В и буферный каскад обладает усилением не только по переменному но и по постоянному току, то на выходе этого каскада устанавливается напряжение около 4.5 В, что равно половине напряжения питания ОУ. Поскольку применено однополярное питание ОУ, на выходе буферного каскада необходим разделительный конденсатор. В схеме указан электролитический конденсатор 6.8 мкФ типа K53-19 (кто не знает - этакая капля голубого компаунда с двумя выводами, толстый - плюс, тонкий - минус), зашунтированный пленочным 0.033 мкФ. Конденсатор K53-19 представляет собой оксидно-полупроводниковый ниобиевый конденсатор с твердым электролитом с неплохими параметрами. Для того, чтобы не было заметно ионных искажений, свойственных электролитическим конденсаторам (хотя K53-19 ведет себя в этом отношении достаточно порядочно), он зашунтирован пленочным небольшой емкости. Хотя, если в вашем распоряжении окажутся неэлектролитические конденсаторы емкостью 2.2 мкФ и более, например K73-17 на 4.7 мкФ 63 В, им следует отдать предпочтение (возможно, что вы услышите от кого-либо мнение о том, что вообще конденсатор и вообще полупроводники - это очень плохо, а данную схему нужно выбросить в мусорник - ну что ж, схема несложная, соберите и послушайте, не понравится - выбросите :-). А вообще, при записи в студии сигнал проходит в студийном тракте несколько десятков ОУ и несколько десятков конденсаторов, и тем не менее, противники конденсаторов слушают CD и LP, записанные в этих студиях. Так что, не так страшен черт, не надо ставить в звуковой тракт откровенно низкосортные элементы - и вы получите хорошо звучащее устройство.

Схема питания всего устройства состоит из трех стабилизаторов на микросхемах IC105-IC107 типа 78M05, 78L09, 78L05. Первый из стабилизаторов питает цифровую часть устройства, второй - выходной буфер и третий микросхему ЦАП. Дроссель на 10 мкГн является фильтром помех. Дiod 1N4001 защищает устройство от обратной полярности источника питания.

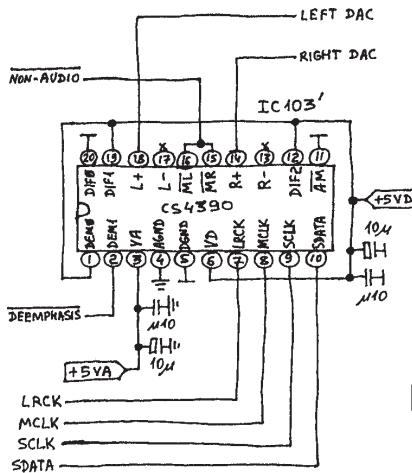
Теперь о **возможных заменах деталей**. Микросхему CS8412 можно заменить на CS8414, правда последняя несколько дороже, так как допускает работу с частотой дискретизации до 100 кГц. Полупрозрачно, что ЦАП AK4324 тоже допускает частоту дискретизации до 100 кГц, хотя в данной конструкции это свойство не используется. К тому же эти микросхемы выпускаются в двух типах корпусов - DIP с расстоянием между выводами 2.54 мм и SOIC с расстоянием 1.27 мм, поэтому если для вас является проблемой пайка микросхем в планарных корпусах - не забудьте указать в заказе тип корпуса. IC AK4324 выпускается только в корпусе VSOP с расстоянием между выводами 0.65 мм, так что если пайка такого

Рис.2



корпуса также не для вас, выберите из замены ту микросхему, которая выпускается в DIP-корпусе. Итак, возможные замены для AK4324: AK4393 (пожалуй один из самых лучших ЦАП, но корпус тоже только VSOP 0.65 мм), CS4390 (DIP 2.54 мм и SSOP 0.65 мм), CS4329, CS4396, AK4320 (SSOP 0.65 мм), AD1857 (SSOP 0.65 мм). Кроме того, AD1857 является 20-битовой, если точнее даже 18-битовой с Dithering, но зато Low Cost (низкой стоимости). Включение CS4390 и AD1857 показано на рис.3.

Если у вас возникли проблемы с пайкой планарных корпусов, вам помогут три небольшие подсказки: на жало паяльника наматывается медная проволока диаметром около 2 мм и используется как жало, выводы микросхе-



мы через один отгибаются вверх, а в качестве припоя используется самоплавающийся припой немецкого производства для ремонта устройств с SMD-элементами, у него другое поверхностное натяжение, он сам течет по выводам и не оставляет перемычек между ними. Очень хорошим инструментом для такой работы является малогабаритный паяльник 6 В 9 Вт, которым пользуются на минском часовом заводе «Электроника». Автор же при пайке AK4324 использовал обычный паяльник «Термит П36К» со стабилизацией температуры (настраивается под конкретный припой).

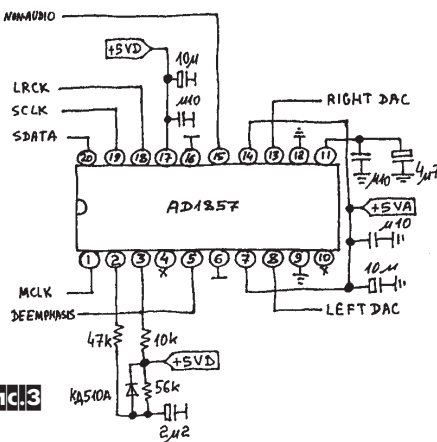
Трансформатор Tr.1 использован от неисправной платы сетевого адаптера (от компьютера). Самостоятельное изготовление такого трансформатора было описано в одном из предыдущих номеров «РадиоХобби». Перемычка в ферритовой трубке использована также от неисправной компьютерной платы. В качестве блока питания для данного устройства может быть использован сетевой адаптер от радиотелефона Panasonic либо любой

аналогичный на напряжение 12 В и ток не менее 200 мА. Входные гнезда RCA (в просторечии «тюльпаны») обязательно высококачественные, лучше позолоченные.

Операционный усилитель подойдет любой маломощный для звуковых применений, например RC4559, NJM4580, NE5532, TL072 и т.д. Неплохие результаты показали и звуковые ОУ TL082. Стабилизатор 78M05 можно заменить на 7805, KP142EH5A, B. Вместо стабилизатора 78L09 можно использовать 78M09, 7809, KP142EH8A, Г, K1157EH9. Микросхему 78L05, которая формирует питание аналоговой части микросхемы ЦАП, заменять на 7805 не рекомендуется, так как в данном случае важны шумовые характеристики стабилизатора. Можно рекомендовать замену на K1157EH5, или на LM317L с двумя резисторами для обеспечения выходного напряжения 5 В, последний вариант даже лучше в связи с очень низкими собственными шумами LM317L.

Налаживания либо настройки устройство не требует.

Коротко о **работе и характеристиках** устройства. На момент написания статьи объективные характеристики данного ЦАП еще не были измерены, корректное измерение параметров подобных устройств не такое уж про-



стое дело. Из параметров укажу только, что устройство принимает входной поток по стандарту S/PDIF с частотой дискретизации от 25 до 50 кГц (включая стандартные 32 кГц, 44.056 кГц, 44.1 кГц, 48 кГц), разрядность до 24 бит, фазовая ошибка между каналами (свойственная ЦАПам старого поколения) отсутствует. В устройстве имеется стандартный деэмпфазис 50/15 мкс (только для частоты дискретизации 44.1 кГц). Что же касается субъективных результатов прослушивания, то сразу после включения устройства была замечена интересная особенность: если вначале слушать встроенный цифроаналоговый преобразователь от устройства среднего класса (например, минидисковая дека Sony MDS-102, DAT-магнитофон Pioneer D-05), то после переключения на данный ЦАП очень сильно «бросает в глаза» (точнее в уши) то, что аудиофилы называли бы «детальностью» (иногда они же называют это «разрешающей способностью»). Причем после низкосортных устройств было впечатление, будто «протерли окно»...



непосредственно на входы AUX1L, AUX1R IC6 при воспроизведении обычных (не mp3) аудиоCD. Для отладки и обновления устройства используется асинхронный RS-232 интерфейс (организован на IC17 MAX202), а фотоприемник ИК ДУ в стандарте Philips RC5 - на IC2 (**рис. 10**). Управление осуществляется кнопками и круглой вращающейся ручкой (через валкодер SW6/SELECT - **рис.10**), индикация режимов, времени и меню выбора - четырехстрочным ЖК-дисплеем (см. внешний вид на **рис. 11**; подключается в 4-разрядном режиме к разъему JP3 - **рис.10**).



Реальные испытания OSCAR проводились с фонограммами, сформированными mp3-кодерами L3enc v.2.72 (Fraunhofer) и Xing MP3 v.1.5 с потоком 128 кбит/с. Второй «ужимает» на порядок быстрее, но качество кодирования хуже - появляется завал на частотах выше 16 кГц и примерно на 20 дБ выше уровень модуляционных шумов. При кодировании L3enc и воспроизведении на OSCAR завал АЧХ на частоте 20 кГц составил менее 1 дБ, нижняя граница АЧХ 17 Гц, относительный уровень шумов (пауза) -96 дБ, коэффициент гармоник 0,17%, номинальное выходное сопротивление 1 В, выходное сопротивление 1 кОм («Elektor Electronics» №9/00, с.36-43, №10/00, с.40-45).

Т.Гизбертс для расширения возможностей описанного выше mp3-плеера OSCAR разработал конвертер (рис. 12, см. с. 19), преобразующий т.н. «raw» («голый») цифровой аудиоформат (он имеется на разъёме JP6, рис.9) в стандартный цифровой формат обмена аудиоданными S/PDIF, который можно подать как на внешний высококачественный ЦАП, так и на цифровые входы R-DAT, MD и другого цифрового звукозаписывающего оборудования. Основу конвертера составляет IC1 - ИМС цифрового S/PDIF-передатчика Crystal CS8402A, нагруженного как на развязывающий трансформатор TR1 с двумя параллельными выходами, так и на оптический TOTX173 (IC4). Для максимальной универсальности режим IC1 (разрядность данных, частота дискретизации и др.) можно задавать микровыключателями S1, S2 и переключателями JP1, JP2. Для работы с mp3-плеером входной разъем K1 конвертера соединяют с разъёмом JP6 («AUX» - рис.9) OSCARa, JP1 (рис.12) - в положение /4, JP2 - SCK, S1 : 5 и 8 замкнуты, остальные разомкнуты, S2 : 1 замкнут, остальные разомкнуты. Конструкция трансформатора TR1 показана на рис.13, его выполняют на ферритовом кольце 13x7,5x5 (Philips TN13/7.5/5-3E25) проводом диаметром 0,5 мм - первичная обмотка 20 витков, две вторичных по 2 витка. Как показал эксперимент, при стыковке OSCARa че-

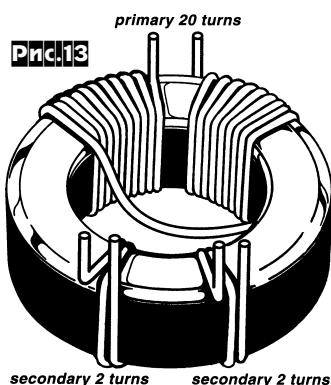


Рис.13

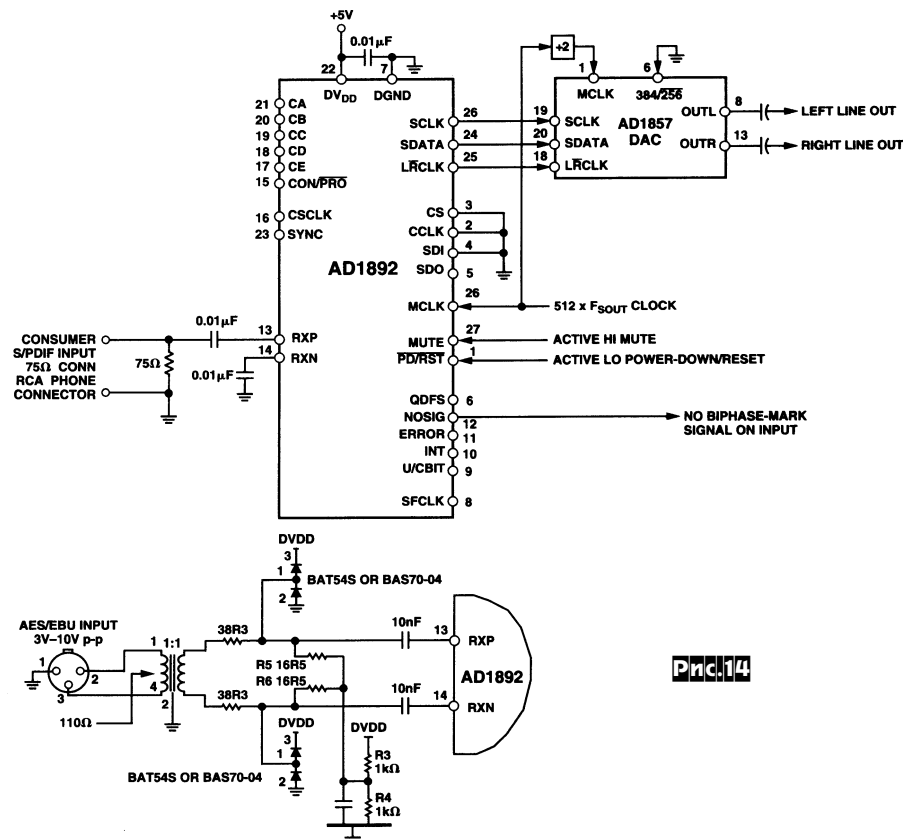


Рис.14

рез этот преобразователь с высококачественным аудиоЦАПом «DAC 2000» (см. «РХ» №4/00, с.21, 22) коэффициент гармоник уменьшился с 0,17 до 0,0037%, а относительный уровень шумов с -96 дБ до -111 дБ («Elektor Electronics» №10/00, с.28-31 *).

Очень экономный в смысле внешней «обвязки» недорогой, но высококачественный аудиоЦАП с S/PDIF входом (рис.14) предложил Петр Збисински. Простота реализации обусловлена применением удачных ИМС Analog Devices: IC1 - цифровой S/PDIF, AES, EBU - совместимый приемник и асинхронный конвертер частот дискретизации, IC2 - спаренный 18-разрядный сигма-дельта ЦАП с встроенным цифровым фильтром (с 128-кратной передискретизацией) и встроенным аналоговым выходным фильтром (не требует на выходе дополнительной фильтрации). Единственный дополнительный тактовый сигнал частотой 22579,2 кГц (512FsoutCLOCK) необходимо формировать кварцевым генератором. Незвзвешенное отношение сигнал/шум составляет 92 дБ, коэффициент гармоник 0,0025%. В нижней

части рисунка приведен фрагмент схемы для сопряжения с профессиональным цифровым оборудованием с уровнем сигнала AES/EBU 3-10 В («Elektronika Praktyczna» №6/00, с.26).

Г.Кляйн для переносных аудиоплееров и радиоприемников с напряжением питания 5 В предложил схему УНЧ с кнопочным регулятором громкости (рис.15). Благодаря мостовой схеме включения нагрузки достигается сравнительно большая (1 Вт на нагрузке 8 Ом) выходная мощность и отпадает необходимость в разделительном электролитическом конденсаторе большой емкости. Выходной уровень может изменяться от

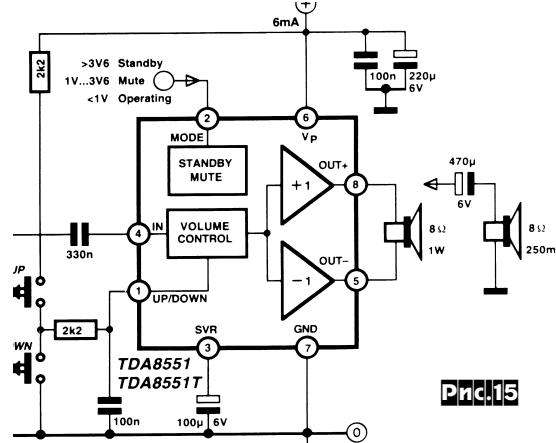
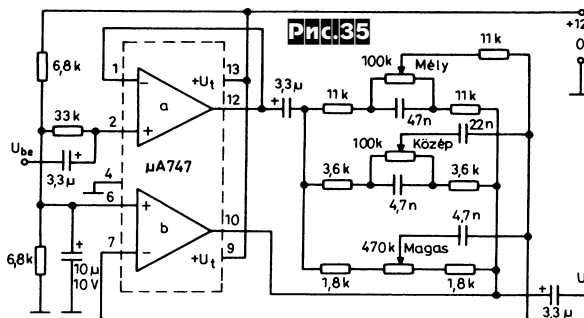


Рис.15

ров: остальные Z2-Z5 отличаются только номиналами) **Дмитра Костова и Йона Иманоела** имеет пределы регулировки тембра в каждой полосе до ± 12 дБ (рис.34). В таблице 1 приведены номиналы элементов каждого из 5 активных RC-фильтров с эквивалентной добротностью около 1, обеспечивающих равномерно распределенную по всему звуковому диапазону частотную коррекцию. При необходимости квазирезонансные частоты F_0 фильтров можно изменить, руководствуясь формулами $C2 = \sqrt{(2 + R2/R1)/(20\pi F_0 R2)}$, $C1 = 10C2$ («Радио Телевизия Электроника» №4/00, с. 13-19).

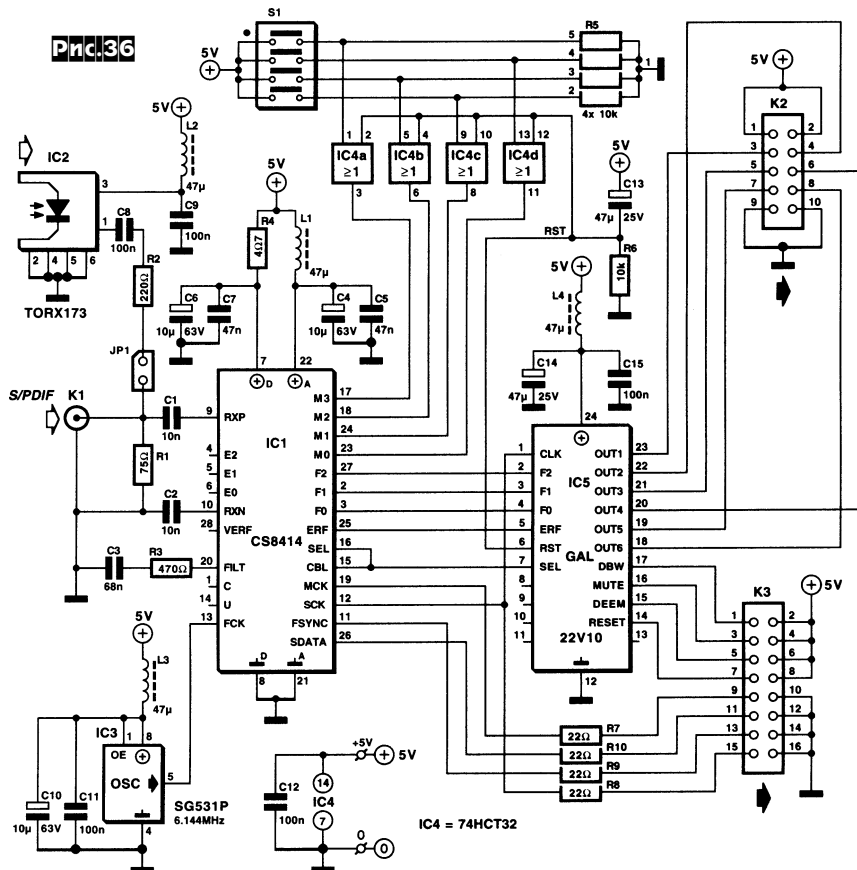
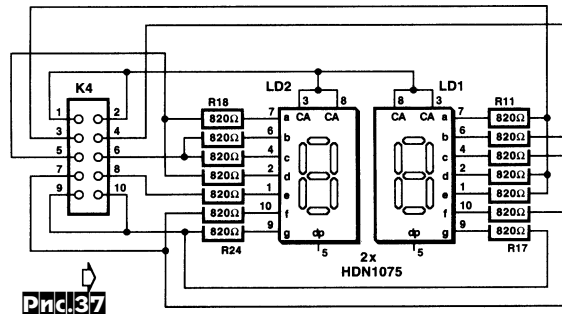
Оригинальную схему (рис.35) активного регулятора тембра ВЧ («Magas») - СЧ («Közep») - НЧ («Mély») на двух ОУ предложил **Кекеши Иштван**. Кроме участия в собственно регулировании тембра на 20 дБ, первый ОУ «автоматически» обеспечивает высокое входное сопротивление, а второй - низкое выходное («Hobby Elektronika» №7/00, с.233).

Внешний аудиоЦАП «DAC 2000» **Т.Гизбертса** улучшит звучание многих устройств цифровой звукозаписи - CD, DVD, R-DAT. Он позволяет работать с любыми частотами дискретизации в диапазоне 32-96 кГц (стандартные 32 кГц; 44,1 кГц; 48 кГц; 88,2 кГц; 96 кГц) и любой разрядностью данных вплоть до 24. Входная плата состоит из (рис.36) оп-



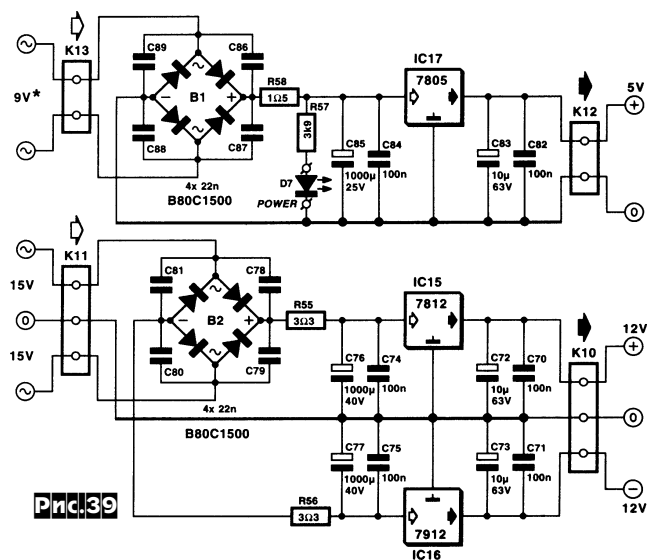
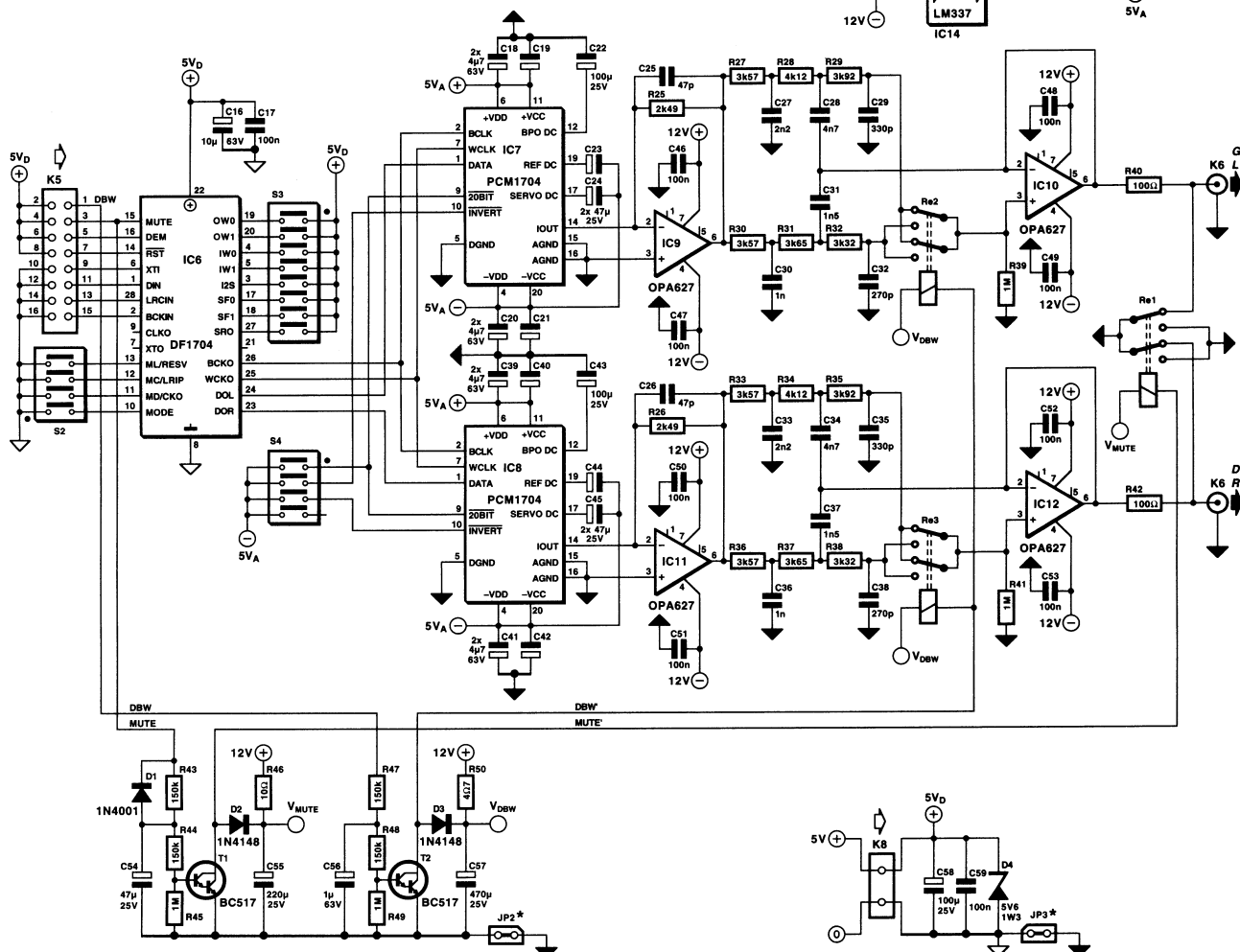
тического (IC2 - TORX173 Toshiba) и коаксиального (K1) входов цифровых звуковых данных в формате S/PDIF, цифрового приемника-конвертера IC1 CS8414 Crystal Semiconductors с локальным высокостабильным опорным генератором (6,144 МГц) IC3, логической матрицы IC5 GAL™ Generic Array Logic от National Semiconductor (GAL22V10B-996530-1). Дисплейная плата (рис.37) обеспечивает индикацию текущей частоты дискретизации семи-сегментными светодиодными матрицами; она соединена с ПЛМ IC5 входной платы 10-жильным плоским кабелем через разъемы K2 (рис.36) и K4 (рис.37). 24-разрядный

цифровой интерполирующий фильтр с 8-кратной передискретизацией (8x-oversampling) IC6 DF1704 Burr-Brown расположен на основной плате (рис.38) устройства и получает данные по 16-жильному плоскому кабелю через разъемы K5 (рис.38) и K3 (рис.36): SDATA - собственно данные правого и левого каналов в последовательном коде; PSYNC - синхро идентификации левого/правого в SDATA (в зависимости от режима работы он равен или вдвое выше частоты дискретизации F_s); SCK - синхро идентификации разрядов (64Fs); MCK - синхро с частотой 256Fs, используемый для передискретизации и интер-



поляции. Эти четыре сигнала могут формироваться IC1 в разных форматах, задаваемых потенциалами на выводах M0-M3 IC1. В данном случае рекомендуется «понятный» для IC6 формат I²S, которому соответствует M1=1, M0=M2=M3=0 (коммутацию обеспечивают переключками S1); остальные режимы предусмотрены для возможности гибкого «апгрейда» в будущем, в частности, при использовании других ИМС цифрового фильтра. Кроме перечисленных, на основную плату передаются сигналы DBW (Double BandWidth - удвоенная полоса) - при частотах дискретизации 88,2 кГц и 96 кГц реле Re2, Re3 увеличивают частоту среза аналоговых послеЦАПовых фильтров (IC10, IC12) с 27 до 44 кГц; MUTE - приглушение выхода при отсутствии или выпадении входного сигнала; DEEM - идентификатор включенных предыскажений (этот сигнал передается только в цифровой фильтр для включения соответствующей коррекции). Собственно ЦАПы выполнены (рис.38) на ИМС IC7, IC8 Burr-Brown PCM1704 (традиционные R-2R; они технологически намного сложнее и поэтому дороже delta-sigma ЦАП, но в отличие от последних не создают ультразвуковых помех), нагруженных на преобразователи тока - напряжение IC9, IC11 активные аналоговые ФНЧ третьего порядка IC10, IC12. Переключки S2 предусмотрены для мо-

Рис.38



дификации (в будущем) режимов работы цифрового фильтра, который пока используется в основном режиме с заземленным выводом 10 IC6. S3 задают формат входных данных IC6, в частности, для принятого в данном проекте формата I²S с шиной 5Vd должен быть соединен вывод 3 IC6. S4 позволяют при необходимости включить инвертирование звукового сигнала как обоими, так и од-

ним из ЦАП (выводы 10 IC7, IC8), а также игнорировать данные в разрядах 21-24 (т.е. опанить эквивалентную точность ЦАП 20 разрядами; для этого выводы 9 IC7, IC8 должны через соответствующую перемычку S4 быть соединены с шиной -5Va). На рис.39 показана схема блока питания, соединяемого с основной платой разъемами K12-K8 и K10-K9. Особое внимание уделяется разделению цифровой (обозначена незачерненным треугольником) и аналоговой (зачерненным треугольником) «земель», а также индивидуальной разводке цепей питания каждой ИМС блокировочными конденсаторами и (для самых высокочастотных IC1-IC5) - дросселями L1-L4. Выходное напряжение устройства - 2,1 В, выходное сопротивление 100 Ом, отношение сигнал/шум 114 дБ, коэффициент гармоник 0,0016%/0,0008% (16-разрядов/24 разряда), завал АЧХ на частоте

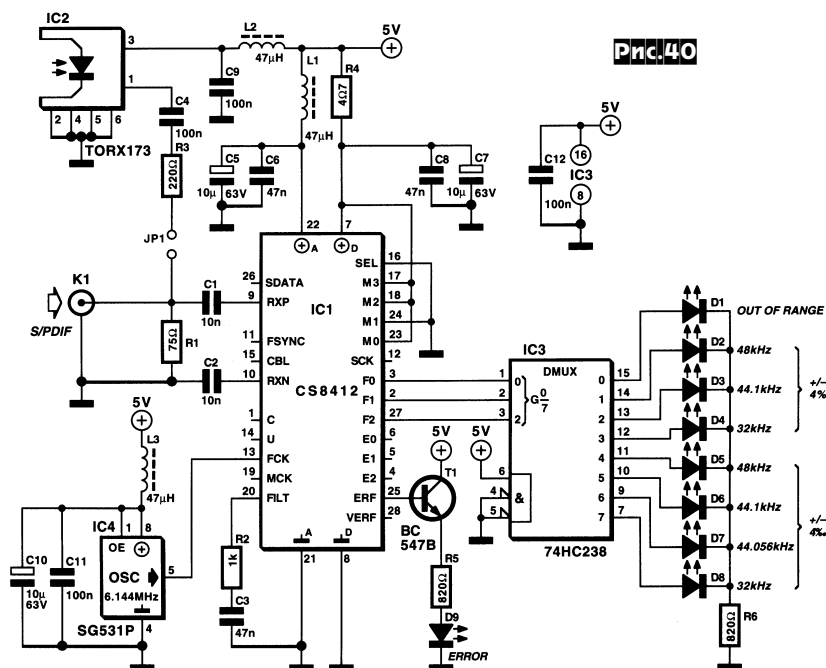


Рис.40

20 кГц 0,94 дБ для частот дискретизации 32, 44 и 48 кГц или 0,66 дБ для 88, 96 кГц («*Elektronika*» №11/99, с. 58-62; №12/99, с. 78-82; №1/00, с. 12-17 *).

При затруднениях с приобретением логической матрицы GAL™ (IC5 в предыдущей конструкции) для индикации частоты дискретизации данных можно применить упрощенный S/PDIF «монитор» (рис.40), также предложенный Т.Гизбертом. Он обеспечивает инди-

кацию стандартных частот дискретизации от 32 до 48 кГц (для расширения до 96 кГц IC1 CS8412 следует заменить на CS8414), а также выход за диапазон (выше 48 кГц) светодиодами D1-D8 и наличие/отсутствие кондиционного сигнала на коаксиальном K1 или оптическом IC2 входе - светодиод D9. Собственно анализ S/PDIF выполняет ИМС интерфейса цифрового аудио приемника IC1 CS8412, а демультиплексер IC3 выполняет функции декодера 3-в-8 («*Elektronika*

Electronics» №12/99, с. 42, 43).

Павел Витек предложил вариант NICAM-декодера. Разработанная английским концерном BBC, NICAM = Near Instantaneously Compounded Audio Multiplex - система цифрового стереофонического вещания с двумя 14-разрядными каналами и частотой дискретизации 32 кГц - широко применяется в спутниковых и западных коммерческих ТВ-каналах. Данные NICAM передаются вместе с ПЦТС блоками по 728 бит (из них 704 бит - звукодающие, остальные вспомогательные) за 1 мс, т.е. потоком 728 кбит/с, с квадратурной манипуляцией (DQPSK) на несущей 5,85 МГц (т.е. между видеосигналом и несущей аналогового ЧМ-звука) с шириной полосы 600 кГц. Декодер выполнен на двух ИМС фирмы SGS - TDA8204 и TDA8205, блок-схема изображена на рис.41. Выделенная NICAM-несущая поступает в TDA8205, где проходит каскады АРУ и DQPSK-демодуляции. В TDA8204 происходит демодуляция NICAM-сигнала с цифровой фильтрацией и ограничением шумов, и далее опять TDA8205 выполняет цифро-аналоговое преобразование и коммутацию внешних звуковых сигналов, а также приглушение. Принципиальная схема декодера показана на рис.42. NICAM фильтруется от видеосигнала и ЧМ-звука пьезофильтром E1 и C20-C25F1F2. Демодулированные правый

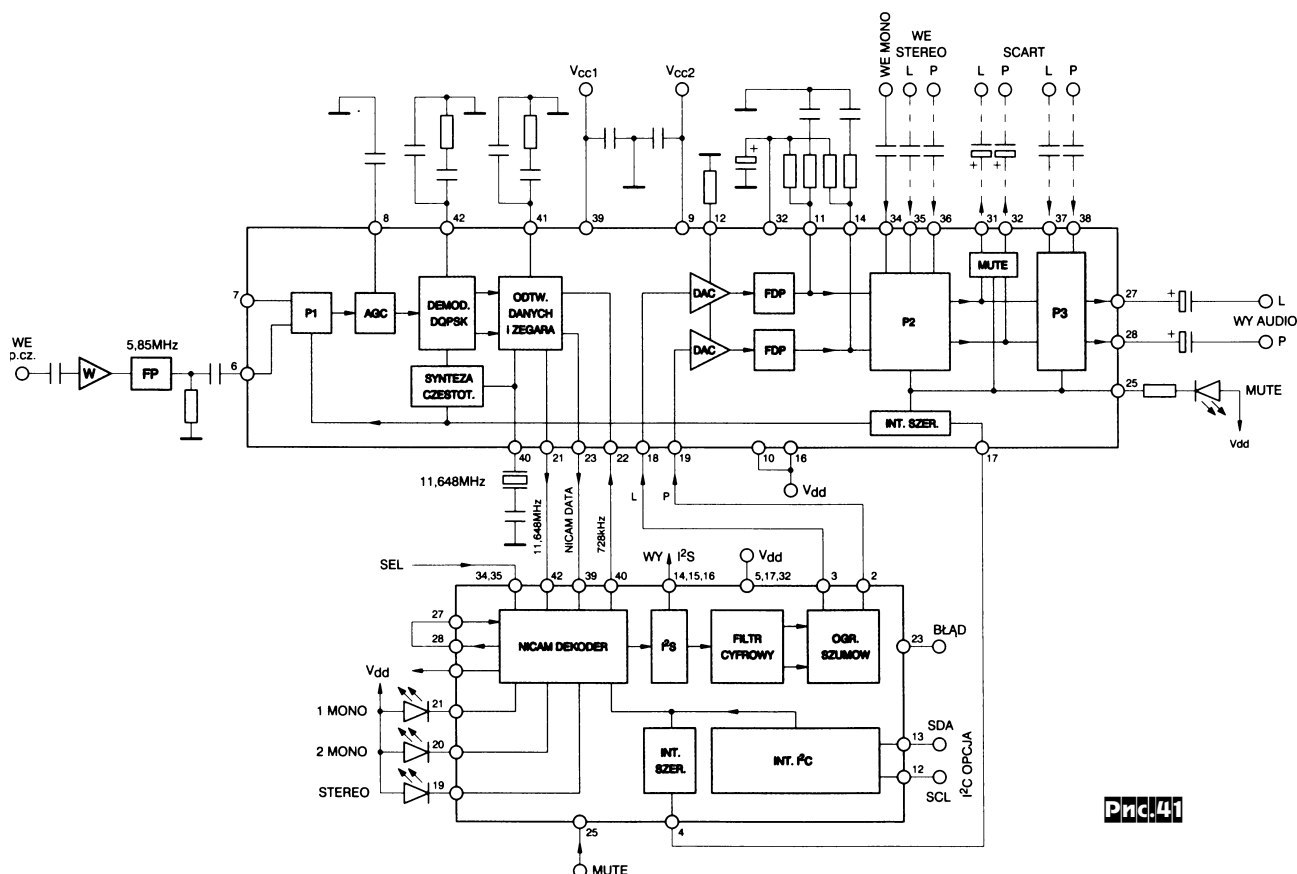


Рис.41

Внешний ламповый High-End аудиоЦАП для CD-DA, CD-ROM, R-DAT и других цифровых источников

Крутые High-End CD-плееры чаще всего состоят из отдельных блоков «транспорта» и «ЦАПа», между которыми в самых навороченных случаях дополнительно устанавливаются джиттероподавитель. Все это вместе обычно предлагается за \$5000...20000 (Wadia, Micromega, Theta, Mark Levinson). Сегодня мы познакомимся с модным и хорошо звучащим «ламповым» решением внешнего ЦАПа - **SDS Labs Tube DAC 3.5b**. Он состоит из четырех частей: **SPDIF приемника-декодера (U7)** с подавляющим синфазные помехи входным трансформатором Tr3, **цифрового фильтра U8** с 8-кратной передискретизацией (x8 oversampling), двух поканально раздельных высококачественных **20-разрядных ЦАП (U11, U12)**, выполненных BurrBrown по технологии **Colinear™** - <http://www.burr-brown.com/databook/PCM63.html> и **лампового усилителя-буфера**.

В отличие от типового решения «бюджетных» аппаратов - соединения токового выхода ЦАП U11/U12 с инвертирующими входами внешних ОУ, включенных как преобразователи «ток-напряжение» (такое решение требует чрезвычайно высокого быстродействия ОУ, поскольку он должен отрабатывать по цепи ООС нефитрированный ступенчатый сигнал ЦАПа, спектр которого гораздо шире звукового: типовое время нарастания тока для ИМС ЦАП BurrBrown PCM63 равно 200 наносекунд! Невыполнение этого требования приводит к динамическим искажениям, аналогичным динамическим интермодуляционным искажениям в транзисторных УМЗЧ с глубокой ООС), здесь для преобразования тока в напряжение применен самый надежный, быстродействующий и линейный способ - закон Ома. Выходной ток ЦАПа замыкается на высококачественных 100-омных металлопленочных резисторах R35 (R85), создавая на них строго пропорциональное току напряжение (номинальное значение 2 мВ), которое усиливается до необходимого уровня линейного выхода триодными усилителями с активной нагрузкой (**SRPP** - series regulated push pull), имеющими значительно лучшую линейность и меньшее выходное сопротивление, чем каскады с резистивной анодной нагрузкой.

Еще одна особенность рассматриваемой схемы - **отсутствие послеЦАПовых ФНЧ**. В первых вариантах между анодом и сеткой усилительных три-

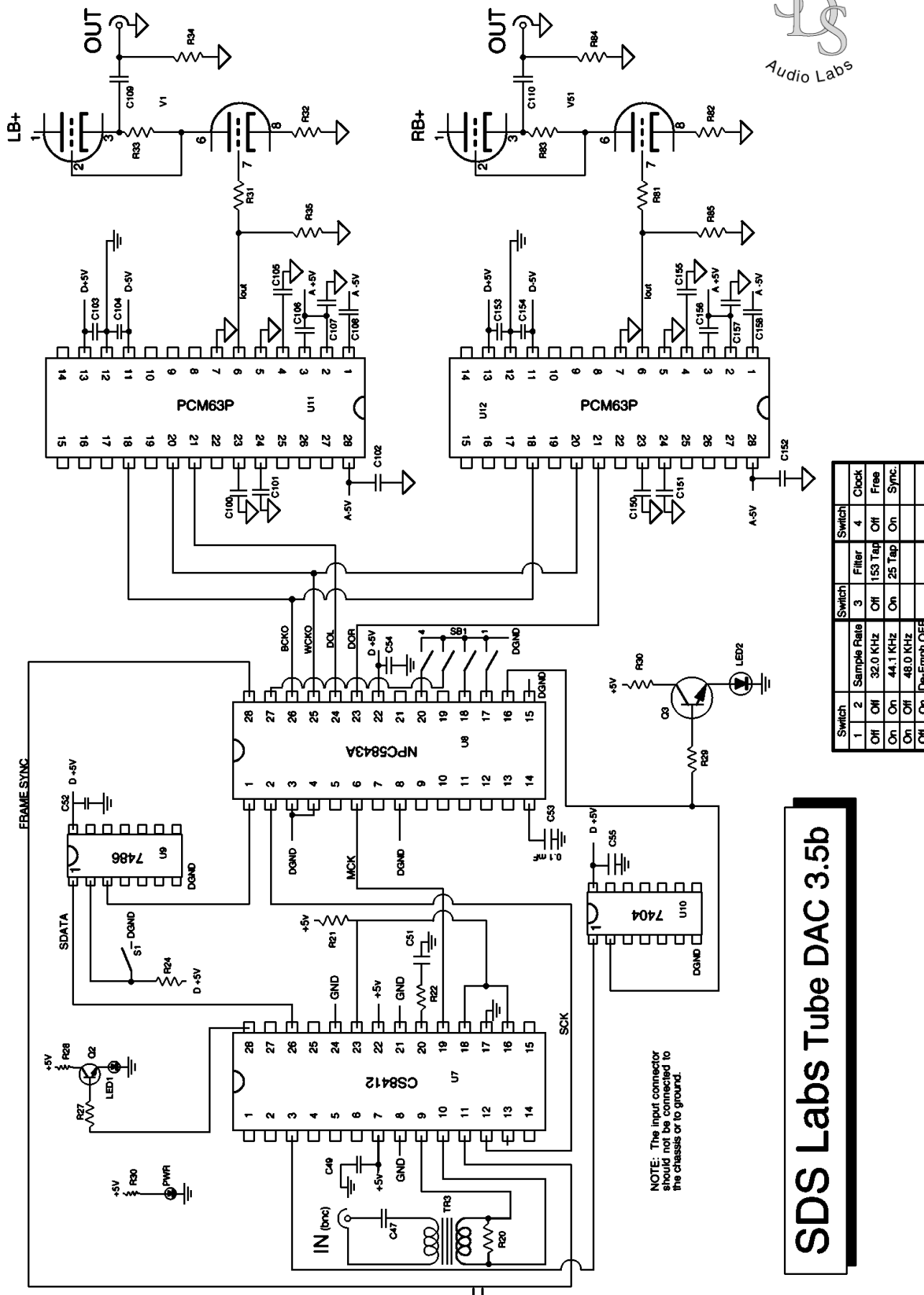
одов были установлены конденсаторы в несколько пФ, эквивалентная емкость которых в сотни раз увеличивалась триодом и совместно с R31 (R81) образовывала ФНЧ первого порядка. Но впоследствии оказалось, что ввиду применения 8-кратной передискретизации основная часть шумов квантования перенесена в область выше 352,8 кГц (т.е. 44,1x8) и поэтому не мешает даже без фильтрации. Слуховые сравнительные тесты подтвердили, что **лучшим фильтром является ... отсутствие какого-либо фильтра**.

Светодиоды LED1 и LED2 сигнализируют соответственно о наличии ошибок в потоке данных и применении предискажений.

В блоке питания (см. стр.38) анодные напряжения LB+, RB+ обеспечиваются полупроводниковыми выпрямителями, что не приветствуется некоторыми High-End фанатами, поскольку считается, что кенотронные выпрямители создают меньше помех. В рассматриваемой схеме все полупроводниковые диоды выпрямительных мостов (D1, D5, D9, D13) дополнительно зашунтированы керамическими конденсаторами C1-C16 сравнительно большой емкости, которые замыкают на себя возможные импульсные помехи и обеспечивают такую же чистоту напряжений питания, что и кенотронные, но при существенно меньшем внутреннем сопротивлении (а это благоприятно сказывается на разделении стереоканалов и точности воспроизведения НЧ) и габаритах. А вот **цифровая часть схемы питается не только от отдельного выпрямителя, но даже отдельного сетевого трансформатора**. Разделена на «аналоговую» и «цифровую» даже казалось бы неделимая «земля» - «общий» провод. Аналоговые земля и питание должны быть девственно чистыми, иначе динамический диапазон будет безвозвратно обрезан и восстановить его в дальнейших звеньях не удастся никакой фильтрацией. Обратите внимание, что в ИМС ЦАП U11 и U12 цифровой и аналоговый «общие» провода - совсем не общие.

Мы намеренно не указали на схеме номиналы - все они приведены в перечне элементов, который содержит также существенные для High-End данные об изготовителе и цене каждого компонента. Пусть вас не пугает суммарная цена \$546 - в ней наибо-

Part #	Description	Value	Voltage	Manufacturer	Price
TR1	Toroid Transformer	57 VA		Toroid Corp. Of Md	\$ 39.95
TR2	Toroid (W/ Custom Winding)	54 VA			\$ 170.00
TR3	Pulse Transformer	"1:1"		Schott	\$ 9.61
U0, U5, U6	Adjustable Regulator	LM337T		National Semiconductor	\$ 2.17
U1-U4		LM317T			\$ 1.30
U7	Decoder Chip	CS8412-CP		Crystal Semiconductor	\$ 30.00
U8	Digital Filter	NPC5843A		NPC	\$ 23.50
U9	XOR Chip	7486		National Semiconductor	\$ 0.70
U10	Hex Inverter	7404			\$ 0.53
U11, U12	20 Bit DAC Chip	PCM63P-K		Burr-Brown	\$ 41.50
U7', U8', U11', U12', U9', U10'	Chip Socket (machined pin)	28 Pin		Assman	\$ 1.48
		14 Pin			\$ 0.74
C1-C16	Ceramic Capacitor	820 pF	1 KV	Panasonic ECK-series	\$ 0.28
C17		68 uF	450V	Panasonic TS-Series	\$ 4.12
C18, C21, C23-C25, C27, C38, C40, C42, C44		4700 uF	16V		\$ 1.72
C19, C20, C32	Electrolytic Capacitor	3300 uF	25V	Panasonic SU-Series	\$ 1.85
C22, C26, C28, C36, C37, C46, C48		100 uF	6.3V		\$ 0.09
C29		10 uF	450V		\$ 1.14
C30, C34		100 uF	400V	Panasonic TS-Series	\$ 4.04
C31, C35		1 uF	400V		\$ 1.42
C33		0.1 uF	250V		\$ 0.26
C39, C41, C43, C45, C53, C100, C101, C106, C150, C151, C156	Film Capacitor	0.1 uF	100V	Panasonic E-series	\$ 0.29
C47		0.22 uF	100V		\$ 0.35
C49, C52, C54, C55, C103, C104, C153, C154	Tantalum Capacitor	47 uF	6.3V	Panasonic EF-series	\$ 0.83
C51	Film Capacitor	0.047 uF	250V	Panasonic E-series	\$ 0.22
C102	Electrolytic Capacitor	1000 uF	10V	Panasonic HFQ-series	\$ 0.75
C105, C108, C155, C158	Film Capacitor	1 uF	100V	Panasonic E-series	\$ 0.73
C107, C152, C157	Electrolytic Capacitor	1000 uF	10V	Panasonic HFQ-series	\$ 0.75
C109, C110	Film Capacitor	2.2 uF	400V	Panasonic E-series	\$ 2.92
D1, D5, D9, D13	Diode Bridge	1.5A	1KV	General Instrument	\$ 0.88
D17-D23	Diode	1A	1KV		\$ 0.07
ZD1a-ZD1c	Zener Diode	62 V		Diodes Inc. (ITT)	\$ 0.25
R1	Metal Film Resistor (2W)	47 K Ohm			\$ 0.23
R2, R4, R35, R85		100 Ohm			\$ 0.11
R5		499 Ohm			\$ 0.11
R6, R8, R10, R12, R14, R16, R18, R29	Metal Film Resistor (1/4 W)	2 K Ohm			\$ 0.11
R7, R9, R11, R13, R15, R17		665 Ohm			\$ 0.11
R20		75 Ohm		Yageo	\$ 0.11
R21, R24		10 K Ohm			\$ 0.11
R22		1 K Ohm			\$ 0.11
R25, R34, R84	Carbon Film Resistor (1/4 W)	1M Ohm			\$ 0.06
R26		2.4M Ohm			\$ 0.06
R27		4.7 K Ohm			\$ 0.11
R28, R30, R30a	Metal Film Resistor (1/4 W)	332 Ohm			\$ 0.11
R31, R81		33.2 Ohm			\$ 0.11
R32, R33, R82, R83		680 Ohm			\$ 0.11
Q1	N Channel MOSFET	IRF740	400V	International Rectifier	\$ 3.60
Q2, Q3	NPN Transistor	4401		National Semiconductor	\$ 0.29
SB1	Dip Switch Array (4)			Amp	\$ 1.44
LED1	Red LED (error)	(10 pack)			\$ 1.96
LED2	Yellow LED (deemph)	(10 pack)		Panasonic	\$ 2.52
PWR	Green LED (power)	(10 pack)			\$ 2.24
	Heat Sinks	(10 Pack)		Aavid	\$ 11.65
V1, V51	6DJ8/6922 Triode				\$ 10.00
	BNC connector	75 Ohm		Amphenol	\$ 4.16
	Power Entry Module			Corcom	\$ 37.94
	RCA Jack (2)			Switchcraft	\$ 1.68
S1	SPST toggle switch			C&K	\$ 4.62
	Total:				\$ 546.14



SDS Labs Tube DAC 3.5b

усилителя, хотя работоспособность УВ вполне сохраняется и при отсутствии каскада на VT3. Аналогов такого схемного решения нет.

Для лучшего понимания работы устройства рассмотрим общую схему усилителя, охваченного отрицательной обратной связью. На вход усилителя подается слабый неискаженный сигнал, на выходе получаем усиленный сигнал с искажениями. При введении ООС часть выходного сигнала с искажениями поступает на вход в обратной полярности, что ослабляет выходной сигнал и (в большей степени) компенсирует искажения.

Суть предлагаемого улучшения - введение дополнительного компенсационного усилителя, на вход которого подается тот же сигнал, что и на основной усилитель. Выходной сигнал дополнительного компенсационного усилителя, который по мощности может быть небольшим, смещается в противофазе с сигналом обратной связи основного усилителя. Таким образом, из сигнала обратной связи основного усилителя «вычитается» часть неискаженного сигнала, что уменьшает глубину обратной связи для неискаженного сигнала и увеличивает коэффициент усиления основного усилителя для полезного сигнала. В то же время искаженный сигнал в цепи обратной связи не ослабляется и обратная связь для искажений остается по-прежнему глубокой, а качество работы основного усилителя не ухудшается.

В общем виде схема показана на **рис.2** и может быть использована для улучшения характеристик и других усилителей, например, УМЗЧ.

В предлагаемой схеме включение дополнительного компенсационного усилителя имеет особенности. Поскольку каскад на VT3 имеет достаточно высокое выходное сопротивление и, кроме того, подключение его к эмиттеру VT1 без должного согласования сопротивлений может нарушить работу УВ, дополнительный компенса-

ционный усилитель включен через нагрузочное сопротивление R8 в цепь разделенного на две части (для этой цели) резистора ООС по переменному току предварительного усилителя (R12+R13).

Еще одно положительное свойство предлагаемого улучшения в виде дополнительного компенсационного усилителя состоит в том, что дополнительный усилитель подключен параллельно основному усилителю и не создает временной задержки сигнала, которая может явиться причиной искажений и самовозбуждения усилителя.

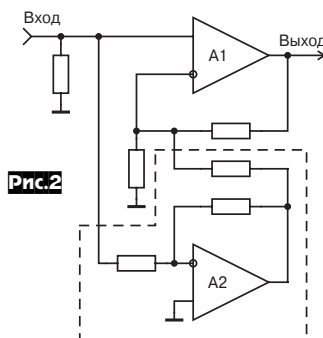
Собирают усилитель поэтапно. Сначала - стабилизатор напряжения. Впаиваются элементы VT4, R21, R24, C20, VD3, VT5, R23, R28, C22, VD4. Подбором сопротивлений резисторов R24 и R28 устанавливают токи коллекторов транзисторов VT4, VT5 15-18 мА (при соединении коллекторов VT4 и VT5 с общим проводом), затем впаивают C16, C17, C18, C19, VD1, VD2. Собирается усилитель, кроме R8, R29, R30 (не впаиваются). Вход усилителя соединяют с общим проводом. Производится регулировка каскадов на VT1 - VT3. Для этого коллектор VT1 временно соединяют перемычкой с выводом 4 DA1. При таком включении DA1.2 становится высокоомным повторителем и на его выходе (вывод 6) напряжение постоянного тока будет равно напря-

жению на коллекторе VT1 и доступно измерению обычным (неввысокоомным) вольтметром. Подбором сопротивления R10 устанавливают напряжение на коллекторе VT1 около 1,2-1,6 В (измеряется на выводе 6 DA1.2). Напряжение на стоке VT2 при этом должно быть около 3,5-4,5 В (возможно, для этого потребуются подбор экземпляра транзистора VT2 по напряжению отсечки). С целью более точного измерения напряжения на стоке VT2 можно соединить перемычкой сток VT2 и вывод 4 DA1 так же, как ранее присоединяли коллектор VT1. Далее подбором сопротивления резистора R6 устанавливают напряжение на стоке VT3 3,5-4,5 В.

Затем временные перемычки удаляют, впаивают оставшиеся детали. Возможно, понадобится подбор сопротивления R8 для получения требуемого коэффициента усиления при приемлемом качестве работы, а также подбор номиналов R26, C21 для получения достаточного уровня высоких частот на выходе. При отсутствии необходимой аппаратуры автор подбирает параметры этих элементов на слух.

Литература

1. Н.Сухов. Проектирование малошумящих усилителей звуковой частоты. Радио-ежегодник - 86.
2. Н.Сухов. Усилитель воспроизведения. Радио 1987, №6.
3. Лексин Валентин и Виктор. Узлы сетевого магнитофона. Усилитель воспроизведения. Радио 1983, №8
4. Ю.Солнцев. Интегральная микросхема K548УН1 в электрическом тракте кассетного магнитофона. Радио-ежегодник - 86.
5. Ю.Бульчев, М.Ерунов. Корректирующие усилители на ОУ. Радио 1987, № 10.
6. Н.Сухов. Безынерционный шумопоглощающий фильтр. Радио 1983, № 2.
7. Л.Юрицын. Усилитель воспроизведения. Радио 1986, №6.



ПОПРАВКИ и ДОПОЛНЕНИЯ к статьям Владимира Широкова

Схемы этого автора мы обычно сканируем прямо с нарисованных им вручную бумажных оригиналов, чтобы избежать дополнительных ошибок при перерисовке на компьютере. К сожалению, несколько ошибок вкралось при перерисовке автором из рабочей тетради. Кроме того, иногда читатели спрашивают дополнительную информацию по опубликованным статьям. Итак:

«Компактные электронные люминесцентные лампы: выбираем, применяем, ремонтируем...», № 3/2001. В схеме лампы General Electric старой модификации (стр.50) верхний вывод обмотки w1 трансформатора TR1 должен быть соединен с положительной обкладкой конденсатора C3, а не с отрицательной, как указано на схеме. Кроме того, обнаружилась некоторая путаница с транзисторами УКТ9145Б украинских производителей: у автора есть по несколько экземпляров с диодом и резистором внутри, только с резистором, и вообще без оных. Каких либо отличий в маркировке на корпусе они не имеют. Однако, в схеме старой винички лампы наличие резисторов порядка 22 Ом в базах транзисторов обязательно, поэтому имеет смысл поставить эти резисторы дополнительно. Как показала практика, при наличии резисторов внутри и дополни-

тельно установленных работоспособность сохраняется, а режимы работы деталей нормальные.

«Работаем с S/PDIF и TOSLINK», № 2/2001. Автору часто задают вопрос, какой именно импульсный трансформатор от сетевых карт можно применить для S/PDIF-интерфейса. Подойдет трансформатор от практически любой сетевой карты на 10 Мбит, но обязательно с BNC-выходом. Необходимый нам трансформатор, как правило, оформлен в обычном DIP-корпусе с 16 выводами и находится возле микросхемы с маркировкой вроде 8392, 83C93, MTD392, MTD492, W9092, UM9092. В его корпусе находится три независимых импульсных трансформатора с коэффициентом трансформации 1:1 с выводами:

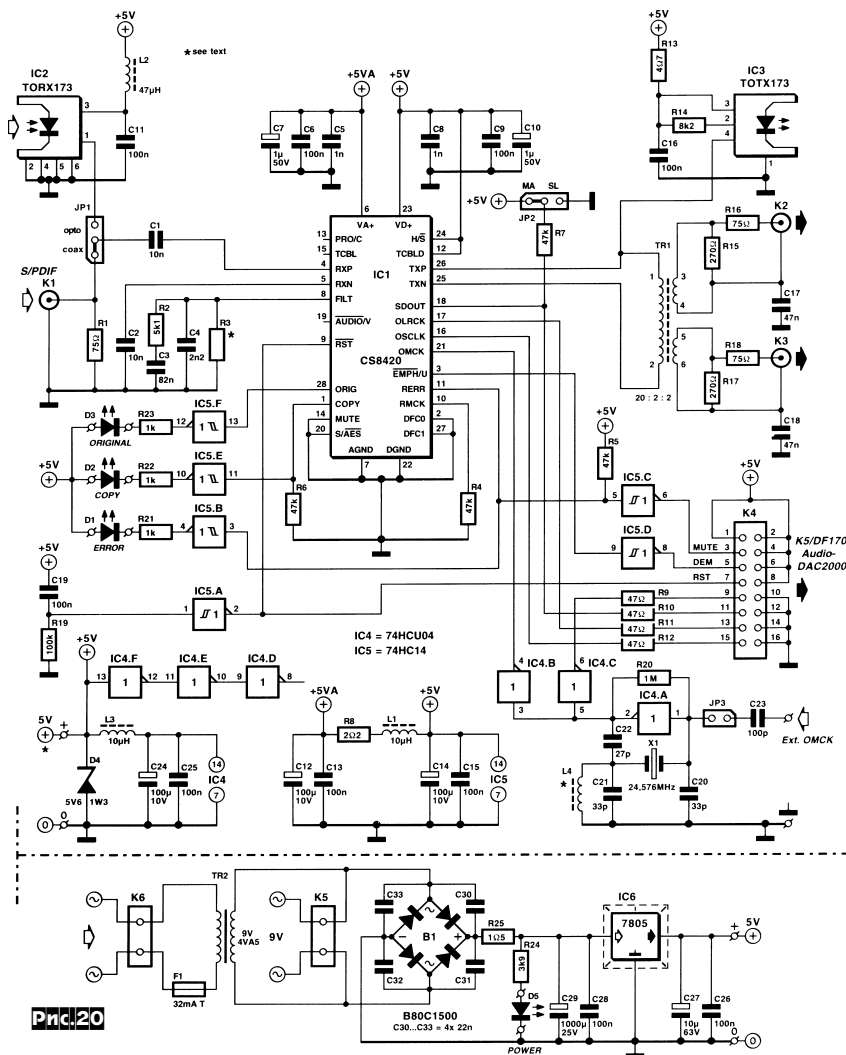
1начало - 2конец / 16начало - 15конец
4начало - 5конец / 13начало - 12конец
7начало - 8конец / 10начало - 9конец
Для коэффициента 1:1 можно использовать любой из них, а для 1:2 две первичные обмотки разных трансформаторов включают согласно-параллельно, а вторичные согласно-последовательно.

«Комбинированный измеритель уровня: простой, дешевый и прецизионный» № 3/1999. В одном случае при повторении устройства было замечено возбуждение преобразователей напряжения/ток на микросхеме LM358, что выразилось в

сильном раскачивании стрелок индикаторов. При замене измерительных приборов на другой тип возбуждение исчезло, но можно заставить работать устройство с любыми приборами. Причиной являлась повышенная индуктивность измерительных приборов, из-за чего при замкнутой петле обратной связи происходило возбуждение. Для его устранения достаточно зашунтировать приборы MT101 и MT201 последовательными RC-цепями, ориентировочные значения номиналов сотни ом - единицы килоом для резистора, и десятки нанофард для конденсатора.

«Аудиосигнальная часть профессионального сценического радиомикрофона» № 6/1999. В схеме приемной части вывод 6 микросхемы IC1b должен быть соединен через резистор 1 кОм с выводом 9 микросхемы IC2, а его соединение с делителем R5, R6 необходимо разорвать. Дополнительно с вывода 6 микросхемы IC1b на общий провод необходимо добавить электролитический конденсатор на 10 мкФ, минусом к общему проводу. Кроме того, в таблице технических характеристик опечатка: выходной уровень приемника должен быть -20dBu (значение в милливольтках указано правильно).

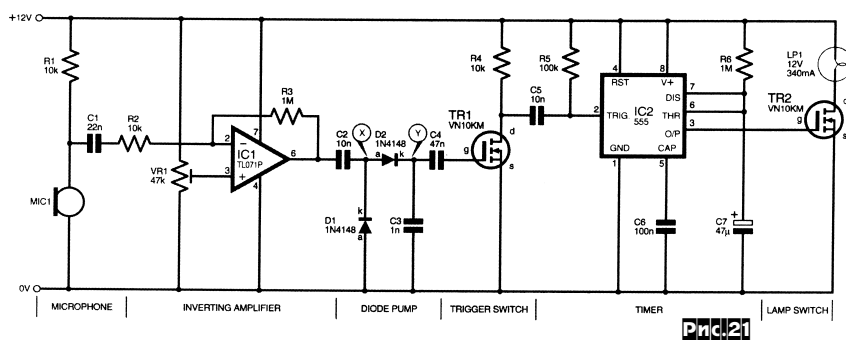
Автор приносит извинения за допущенные ошибки.



S/PDIF (K2, K3) или TOSLINK IC3 можно передавать на другие цифровые приемники, а через I²S-совместимый порт K4 - непосредственно в ЦАП (разъем K5 - вход IC6 DF1704 на рис.38, см. «РХ» №4/2000, с.22). В нижней части рисунка приведена схема сетевого блока питания, особенностью которого является дополнительная фильтрация являющаяся аналоговой частью схемы цепью L1R8C12C13. Трансформатор Tr1 мотают на ферритовом кольце Philips TN/7,5/5-3E25, первичная обмотка 20 витков,

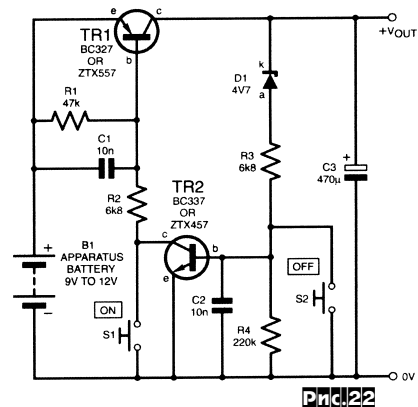
две вторичных по 2 витка ПЭЛ-0,5 («Elektor Electronics» №4/2001, с.68-74 *).

На рис.21 показана схема звукового триггера Оуэна Бишопа - акустического автомата, включающего исполнительное устройство (в данном случае - лампу LP1) от громкого резкого звука, например, хлопка в ладоши. Сигнал с электретного микрофона MIC1 через усилитель IC1 поступает на детектор C2C3D1D2. От громкого звука напряжение на C3 резко возрастает, открывая TR1 (рекомендуем затвор соединить с



общим проводом через резистор в несколько МОм. - прим. редакции) и таким образом запуская ждущий мультивибратор на интегральном таймере IC2. Время выдержки последнего (около 50 с) задается произведением R6C7 и выбирается достаточным для, например, прохода по коридору. В режиме ожидания устройство потребляет ток несколько миллиампер и питается от четырех сухих элементов. Налаживание заключается в установке триммером VR1 постоянного напряжения 6 В на выходе IC1 и, при необходимости, регулировки чувствительности подбором R2 («Everyday Practical Electronics» №4/2001, с.266-268 *).

Электронный выключатель (рис.22) Джона Смита установлен в герметичном отсеке и обеспечивает включение/выключение подводного прожектора или другого устройства кнопками S1/S2, смонтированными под пластмассовыми или эластичными резиновыми прокладками отсека. Кратковременное нажатие S1 открывает TR1 и через D1TR2 защелкивает его в этом состоянии до тех пор, пока не будет нажата S2. C1, C2 защищают от ложных срабатываний из-за дребезга контактов кнопок. Устройство автоматически отключает



нагрузку при снижении напряжения батареи B1 ниже заданного порога (определяется напряжением стабилизации D1 + 0,7 В), а также при к.з. нагрузки («Everyday Practical Electronics» №5/2001, 344).

Регулировать частоту вращения маломощных коллекторных ЭД постоянного тока можно, включая последовательно с ними резистор. Однако, такой вариант обладает низким КПД, не дает возможности делать плавную регулировку (переменные резисторы в несколько десятков Ом не распространены) и, самое главное, иногда приводит к остановке вращения - ЭД «зависает» при малом напряжении питания в некотором положении ротора. Регулятор Оуэна Бишопа (рис.23) свободен от этих недостатков. На однопереходном транзисторе TR1 выполнен генератор пилообразного напряжения (частота повторения 120 Гц), а ОУ IC1 выполняет функции компаратора, формирующего ШИМ-последовательность на затворе МОП-ключа TR2. Регулируют частоту вращения потенциометром VR1, который изменяет

30м, на выходе US2B формируется ШИМ-последовательность, среднее за период значение которой соответствует звуковому сигналу. ШИМ усиливается по напряжению каскадом с общей базой (Т1) и через двухтактный повторитель Т2Т3 поступает на затвор нижнего МОП-ключа Т8, а через инвертор

Logic (рис. 17, см. с. 21). В нем на чисто отсутствует «логика», но тем не менее уверенно локализуется перемещение источника звука не только справа-налево, но и фронт-тыл. После входных буферных повторителей (DA1.1, DA1.2) сумматор DA3 и фильтры DA4.1, DA4.2 формируют суммарный НЧ канал для сабву-

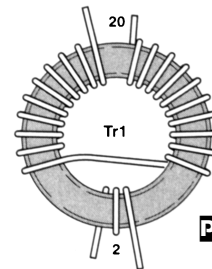


Рис. 19

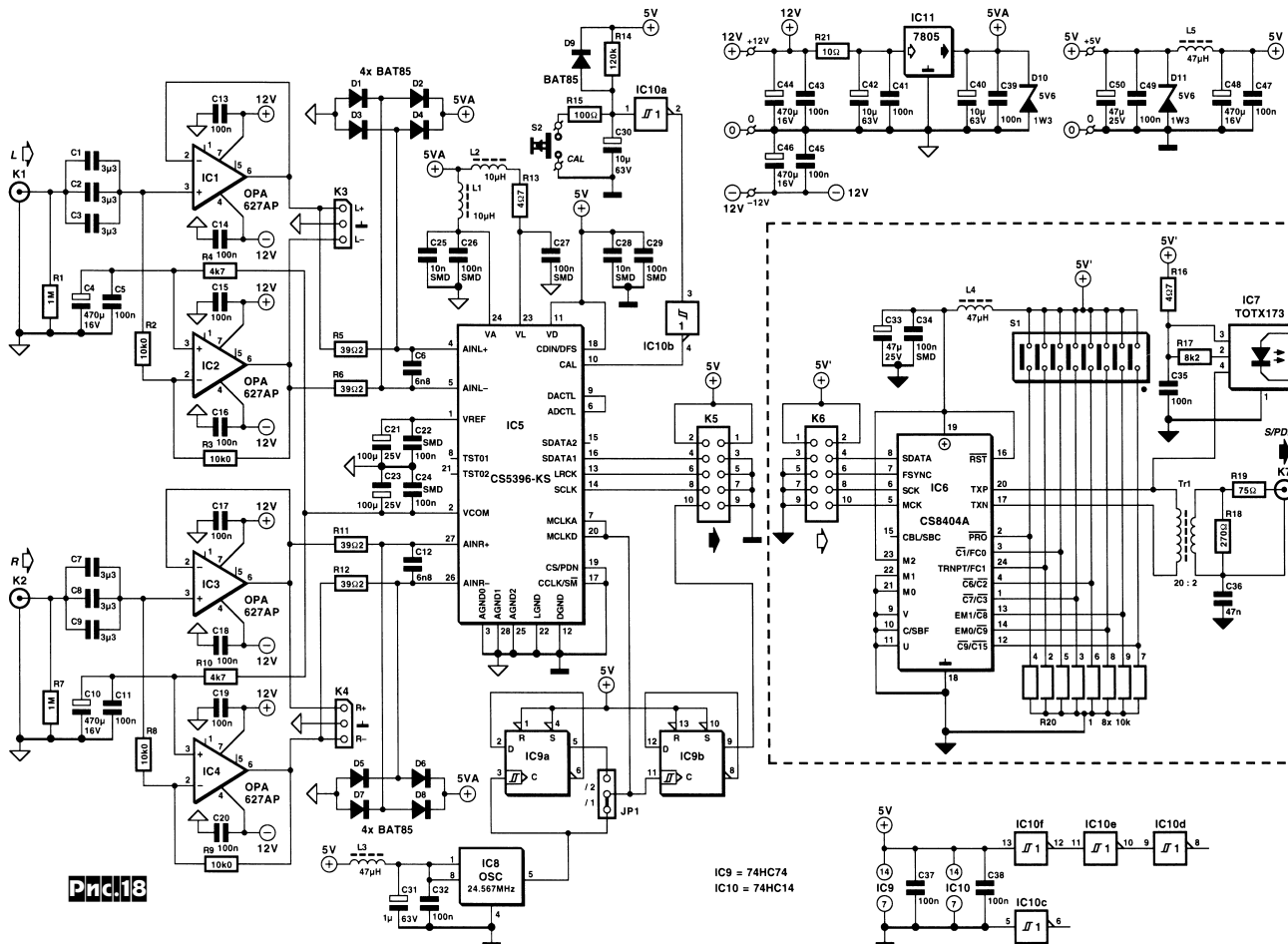


Рис. 18

Т6 - на затвор верхнего ключа Т7. Из ШИМ-колебания амплитудой 30 В ФНЧ L3C19 выделяет звуковое напряжение, которое и поступает на выход усилителя. Через сглаживающую цепочку R10C4R9 выходное напряжение подается на инвертирующий вход US2A, замыкая петлю авторегулирования, поддерживающую на выходе нулевое постоянное напряжение. R20R21T4 и R28R29T5 предохраняют Т7 и Т8 от перегрузок по току при к.з. нагрузки. Чувствительность усилителя 0,5 В, входное сопротивление 47 кОм, коэффициент гармоник не более 3%, КПД не менее 90%, полоса рабочих частот 20...15000 Гц. Нестабилизованный блок питания должен быть рассчитан на $\pm 25...35$ В при токе 2 А. Налаживания устройство не требует («Praktyczny Elektronik» №1/2001, с. 4-8 *).

Устройство, предложенное Ф.Змитровичем, представляет собой до предела упрощенный декодер Dolby Pro

фера (30-150 Гц), активные ФВЧ второго порядка с частотой среза 100 Гц (DA2.1, DA2.2) выделяют основные каналы (левый Л и правый П), а фазовые фильтры DA5, DA7 и суммарно-разностный преобразователь D6 синтезируют сигналы для правого тылового Пт и левого тылового Лт каналов. S1.1, S1.2 позволяют экспериментально подобрать (увеличить или уменьшить) оптимальную фазовую задержку тыловых каналов. Номинальные входные и выходные напряжения 775 мВ, входное сопротивление 20 кОм, уровень собственных шумов -80 дБ («Радиолобитель» №1/2001, с. 1 - 5).

24-разрядный стереоаудиоАЦП «ADC 2001» (рис. 18) Т.Гизберта позволяет поднять качество оцифровки фонограммы до предельно возможного на сегодняшний день профессионального уровня с динамическим диапазоном 120...123 дБ и отношением сигнал/(шум + искажения) выше 105 дБ. Аналоговая

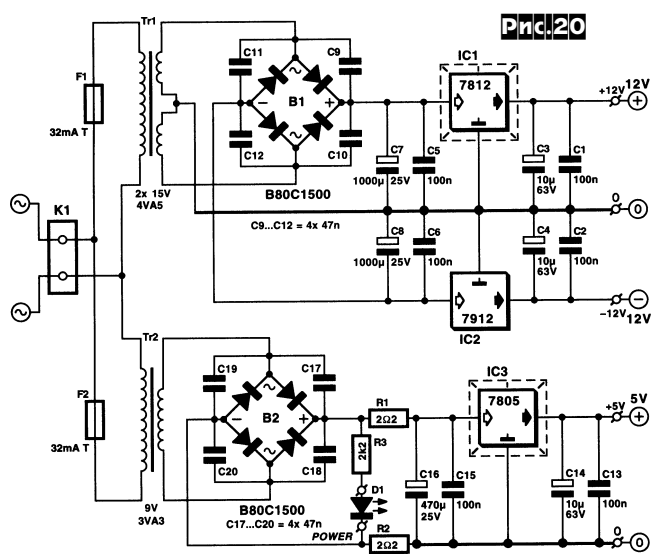
часть содержит ФВЧ C1C2C3R2 (C7C8C9R8) с частотой среза 1,6 Гц, обрезающие постоянную составляющую входного напряжения, повторители IC1, IC3 и единичные инверторы IC2, IC4. Фазорасщепление необходимо для нормальной работы АЦП IC5 (CS5396 Crystal Semiconductors), сигналы на вход которой подаются через отсекающие ВЧ помехи цепочки R5C6R6 (R11C12R12) и защитные диоды D1-D8. Частота дискретизации задается внешним тактовым кварцевым генератором IC8 (SG531P Seiko Epson), частота которого 24,576 МГц в 64 раза выше требуемой частоты дискретизации 96 кГц. Переключкой JP1 частоту тактового генератора можно поделить пополам (D-триггером IC9a), что переведет АЦП на частоту дискретизации 48 кГц. Высокий уровень на выводе 18 (DFS) задает формат выходных цифровых данных I²S, которые через разъемы K5/K6 передаются в S/PDIF кодер-

передатчик IC6 (CS8404A Crystal Semiconductors), но могут быть переданы и другим внешним устройствам, распознающим I²S. Цепочка D9R14C30 и триггеры Шмитта IC10a, IC10b запускают трехуровневую автокалибровку дель-

2001. FEBRUAR

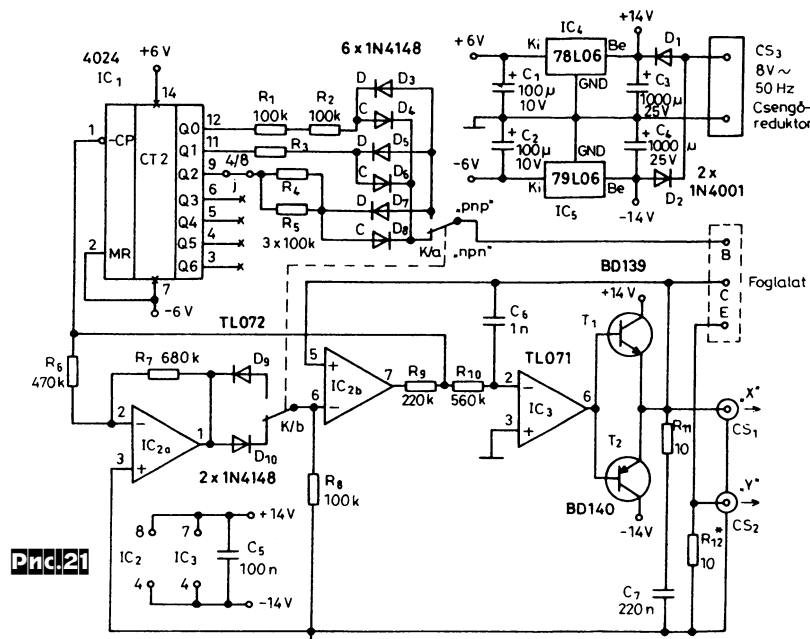
XII. évfolyam 395 Ft ATS 52, DEM 7, USD 4

Elektronika 2001/2



мА, поэтому рассеиваемая мощность в 1,4 Вт приводит к довольно сильному нагреву ее малогабаритного 28-выводного SOIC корпуса 18х9х2,7 мм для монтажа на поверхности («Elektronika» №3/2001, с.36-43 *).

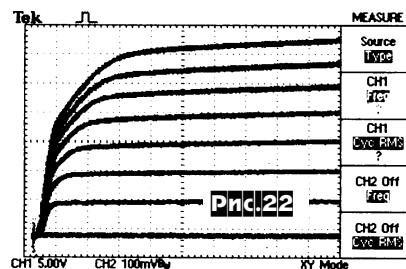
Сабо Надья разработал приставку «транзистер» (рис.21) к осциллографу, позволяющую наблюдать на экране последнего семейства выходных характеристик транзисторов $I_k = f(U_{кз}, I_b)$.



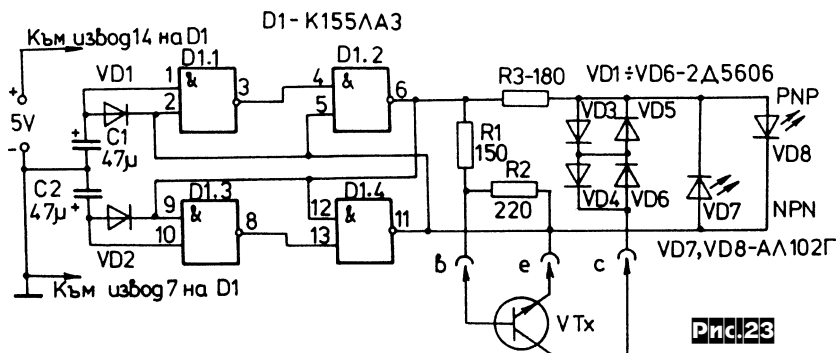
та-сигма модулятора при включении питания, а кнопкой S2 можно в случае необходимости выполнить автокалибровку принудительно. Линейка DIP-переключателей S1 задает режим IC6, в данном проекте замкнуты S1-1, S1-5, S1-7 и S1-8, а остальные разомкнуты. Сформированный S/PDIF через понижающий трансформатор Tr1 (20 и 2 витка ПЭЛ 0,5 на ферритовом кольце Philips TN13/7,5/5-3E25, рис. 19) подается на коаксиальный выходной разъем K7 и параллельно на оптический выход TOTX173. Блоки питания аналоговой и цифровой частей устройства полностью разделены (рис.20): Tr1, B1, IC1, IC2 формируют ±12 В для ОУ и аналоговой части IC5, а Tr2, B2 и IC3 +5 В для цифровых ИМС. В рабочем режиме IC5 потребляет 285

Инвертор IC2a, компаратор IC2b и активный интегратор R10C6IC3T1T2 образуют автогенератор с периодом около 1,8 мс (частота повторения 550 Гц): на

выходе IC2b формируется меандр, а в общей точке эмиттеров T1, T2 - напряжение пилообразной формы, которое подается на коллектор транзистора и одновременно на вход CS1 «X» горизонтальной развертки осциллографа. На вход усилителя вертикального отклонения SC2 «Y» подается напряжение с резистора R12, включенного последовательно в цепь эмиттера транзистора. Создаваемое на R12 напряжение пропор-



ционально току эмиттера транзистора, который в активном режиме практически совпадает с током коллектора. Таким образом формируется изображение одной кривой семейства ВАХ, соответствующей определенному току базы. Семейство характеристик (рис.22) можно наблюдать благодаря автоматическому пошаговому изменению тока базы, которое формируется резистивным ЦАПом R1-R5, подключенным к выходам двоичного счетчика IC1, синхронизированного с автогенератором на IC2-IC3. Изменение кода на выходе счетчика обеспечивает 8 ступенек тока базы от 0 до 175 мкА с шагом 25 мкА (размыкание переключки на выходе Q2 IC1 снижает число ступенек тока базы до 4), который через переключатель К/а подается в базу тестируемого транзистора. Оригинальное двухполярное питание как аналоговой, так и цифровой части устройства, а также применение на выходе резистивного ЦАПа диодов D3-D8 позволило всего двумя переключателями К/а и К/б изменять полярности напряжений и токов так, чтобы стало возможным испытание транзисторов как структуры р-п-р, так и п-р-п. Налаживание сводится к соответствующему масштабированию регуляторами чувствительности осциллографа



Плавная регулировка частоты резонанса позволяет полностью разрешить все проблемы с линейностью частотной характеристики тракта на умеренно высоких частотах, т. е. в диапазоне 4-8...16) кГц, т.к. посредством регулировки частоты резонанса регулируется частота перегиба частотной характеристики тракта. Линейность АЧХ тракта на верхнем краю диапазона определяется добротностью параллельного колебательного контура, которая регулируется посредством подстроечного резистора R3. При этом изменяется «эффективное» сопротивление резистора R1 от 43 Ом в нижнем положении движка резистора R3 до бесконечности в верхнем положении.

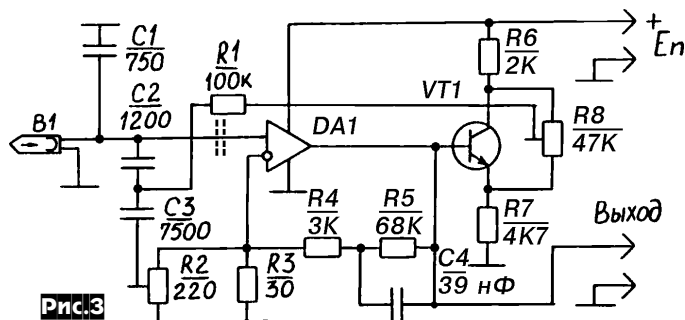
На рис.2 приведена схема усилителя воспроизведения, выполненная на микросхеме K157УЛ1А в соответствии с рекомендациями [6] и приведенными выше. Еще большими возможностями обладает функциональная схема, приведенная на рис.3. Согласование цепи управления с входным контуром осуществляется посредством внутриемкостной связи с контуром, что и обеспечивает стабильность фазовых и амплитудно-частотных характеристик. Регулировка добротности входного контура значительно расширена и осуществляется подачей в контур очень слабой отрицательной обратной связи, которая в нижнем положении движка подстроечного резистора R8 плавно переходит в положительную обратную связь. Адаптивные возможности схемы очень высокие, однако в большинстве случаев даже чрезмерные и оказываются не востребованы в реальных

условиях. Кроме того, введение инвертора на транзисторе VT1 усложняет схему. Схема может представлять, видимо, только теоретический интерес, хотя и позволяет несколько снизить шума на высоких частотах.

Стремление повысить естественность звука вынуждает разработчиков отказываться от частотно-зависимой обратной связи и выполнять коррекцию пассивной [7]. Однако, такого же эффекта можно достичь, если выходной каскад усилителя воспроизведения по рис.2 выполнить по схеме генератора тока, т.е. с высоким выходным сопротивлением. В этом случае глубина обратной связи будет неизменна по диапазону при сохранении падающей частотной характеристики [8], а все частотные компоненты сигнала, включая его гармоники, будут поступать по цепи отрицательной обратной связи абсолютно синфазно с входным напряжением.

Литература

1. Н.Сухов. Магнитные головки для кассетных магнитофонов. - Радио, 1995, №5, с.15.
2. Н.Сухов. Dolby B, C, S, ... dbx? - Радио-



хобби, 1999, №1, с.40-43; 1999, №2, с.42-46; 1999, №3, с.38-43.

3. Н.Сухов. Схемотехника японских кассетных магнитофонов. - Радио, 1984, №12, с.46.

4. К.Ли. Компенсация потерь в каналах воспроизведения магнитофонов. - Радио, 1990, №7, с.52.

5. Авторское свидетельство СССР №1494206. - Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки», 1989, №26.

6. К.Петров. K157УЛ1: рекомендации по применению. - Радио, 1984, №7, с.43.

7. А.Коротов. Усилитель воспроизведения с пассивной коррекцией. - Радиолюбби, 2000, №6, с.56.

8. Н.Сухов, В.Байло. Высококачественный предусилитель-корректор. - Радио, 1981, №1, с.35-38.

Работаем с S/PDIF и TOSLINK

Владимир Широков, г.Киев

Почти вся современная цифровая звуковая аппаратура имеет входы/выходы по какому-либо из цифровых стандартов. И поскольку стандартов таких существует несколько, иногда возникают трудности при соединении блоков аппаратуры между собой. В этой статье мы попробуем рассмотреть существующие стандарты и схемные решения узлов цифровых звуковых интерфейсов. Итак, наиболее часто встречающиеся в профессиональной и бытовой аппаратуре интерфейсы:

AES/EBU (Audio Engineering Society/European Broadcast Union) - интерфейс профессионального (студийного, вещательного) оборудования, асинхронный

S/PDIF (SONY/PHILIPS Digital Interface Format) - наиболее широко распространенный интерфейс бытовой аппаратуры, асинхронный

TOSLINK - оптическая версия интерфейса S/PDIF

IIS или I²S (Inter-IC Signal bus) - синхронный интерфейс для передачи звуковых данных внутри устройства, иногда применяется для соединения двух устройств.

Существуют и другие типы интерфейсов, например SDIF2 (SONY), TDF (TASCAM), YDIF (YAMAHA), ADAT (Alesis) и другие, но они не так широко распространены, поэтому их рассмотрение мы оставим за рамками этой статьи.

Итак, **AES/EBU**. Физически этот интерфейс представляет собой экранированную витую пару по стандарту RS-422А с волновым сопротивлением 110 Ом и соединителями типа XLR (другое название Canon), амплитуда сигналов 3...10 В, частота дискретизации сигнала переменная. Протокол почти полностью соответствует описываемому далее интерфейсу S/PDIF, за исключением назначения служебных бит субкода. Код бит

фазный, поэтому сигнал может подаваться в линию в любой полярности.

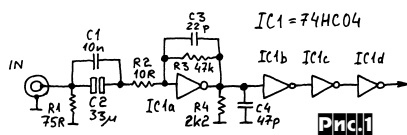
S/PDIF - интерфейс бытовой аппаратуры. Физически это коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом, тип соединителей - RCA («тюльпан»). Уровень сигнала 0.5 В от пика до пика на нагрузке 75 Ом, чувствительность приемника 0.2 В, постоянная составляющая не более 50 мВ. Кроме бит собственно звукового сигнала (20 бит на канал, в новой редакции 24 бита на канал), в протоколе закодировано еще достаточно много информации. Прежде всего это сигнал для синхронизации приемника - так называемая преамбула (preamble), бит ошибки (validity bit), контрольный бит четности и служебные биты. Битом ошибки помечаются все отсчеты, которые не могут быть корректно считаны и восстановлены схемой коррекции ошибок, поэтому при приеме отсчета с флажком ошибки приемник может воспользоваться этим отсчетом (работа интерполятора источника сигнала) либо восстановить его своими средствами из предыдущих/последующих (работа интерполятора приемника сигнала). Контрольный бит четности передается для того, чтобы можно было обнаруживать ошибки канала передачи. В служебных битах закодировано: применялась ли при записи предкоррекция, является ли данный материал оригиналом или копией, разрешена ли цифровая перезапись, категория источника (АЦП, цифровой микшерный пульт, CD, музыкальный инструмент, цифровой микрофон, DAT и т.д.), частота сэмпирования, точность установки частоты сэмпирования, идентификатор начала трека (Start-ID), номер трека, абсолютное и относительное время и фрейм.

TOSLINK - как уже было сказано, это оптическая версия интерфейса S/PDIF. По

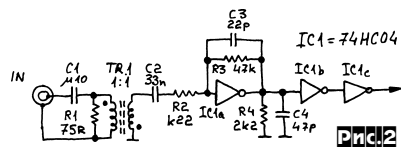
протоколу полностью соответствует своему прародителю, отличается только средой передачи, которой является многомодовый оптический кабель. В качестве передатчика и приемника используются соответственно свето- и фотодиод видимого (красного) спектра, длина волны 660 нм.

I²S - интерфейс синхронный. Стандартом определены три линии передачи сигналов: SCLK (SCK) - тактовый сигнал, SDATA (SD) - линия битов данных, LRCK (WS) - сигнал выбора левого/правого канала. В интерфейсе могут присутствовать дополнительные линии, например MCLK - так называемый мастер-клок или основной тактовый сигнал системы, частота которого может быть выше частоты сигнала LRCK в 64, 128, 192, 256, 384, 512 или 1024 раза. Мастером, то есть задатчиком тактовых сигналов, может являться любое устройство на шине - источник, приемник либо внешняя схема синхронизации. Следует отметить, что для передачи данных по этому интерфейсу могут использоваться различные протоколы: Left-Justified Format, Right-Justified Format, MSB First, LSB First и др. Есть среди протоколов и такой, который называется как и интерфейс - I²S, фактически это протокол Left-Justified Format, но с одним холостым тактом SCLK в начале каждого такта LRCK. Протокол I²S используется, как правило, европейскими производителями, в то время как Right-Justified Format чаще всего применяют японские фирмы наряду со своими фирменными интерфейсами. Пример применения интерфейса I²S можно увидеть в статье «Hi-Fi 24-разрядный аудиоЦАП» в «Радиолюбби» № 6/2000.

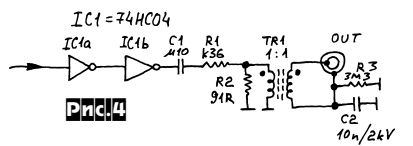
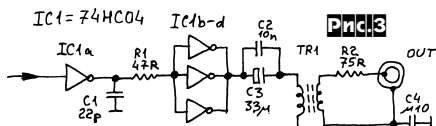
Теперь рассмотрим схемные решения входных и выходных каскадов упомянутых выше интерфейсов. На рис.1 представлена схема цифрового входа по стандарту S/PDIF



DAT-магнитофона модели D-05 японской фирмы PIONEER. Здесь первый логический элемент используется в линейном режиме в качестве усилителя входного сигнала. Используемая микросхема 74HC04 представляет собой быстродействующий КМОП аналог микросхемы 7404 (у нас 7404 известна как 155ЛН1). Применение в данной схеме именно КМОП-элементов критично, так как только они работают в таком включении, кроме того, учитывая высокую частоту сигнала в интерфейсе, использование обычной серии КМОП 4000 (по нашему 561 или 564) невозможно, тут годятся только серии 74HC или 74AC. Схема полностью работоспособна (используется как-никак в серийном изделии), но при повторении этот вариант показал слишком высокую чувствительность, совершенно ненужную ни по стандарту, ни на практике. Поэтому в своих устройствах имеет смысл использовать несколько измененную схему, показанную на **рис.2**. Здесь



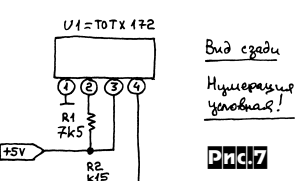
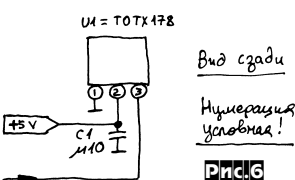
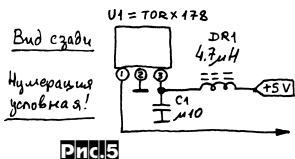
несколько увеличен номинал одного из резисторов, определяющих усиление, убран электролитический конденсатор (совершенно излишний при таких частотах, непонятно, чем руководствовались инженеры фирмы PIONEER, вводя электролитический конденсатор в цепь сигнала частотой несколько мегагерц) и добавлен разделительный трансформатор. Этот трансформатор не требуется по стандарту, но позволяет сохранить неповрежденным входной логический элемент микросхемы при переключении шнуров между включенными устройствами, в особенности, если сигнал подается на заземленное устройство с незаземленного персонального компьютера, у которого корпус через конденсаторы сетевого фильтра блока питания находится под половинным потенциалом сети. Пример схемного решения выхода из упомянутого выше DAT-магнитофона PIONEER D-05 показан на **рис.3**. Альтернативный вариант решения показан на **рис.4**.



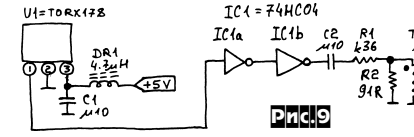
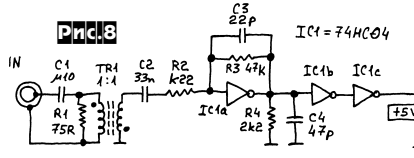
В обоих вариантах необходимо использовать микросхемы КМОП-структуры, что связано с выходным напряжением логических элементов. Теперь перейдем к **TOSLINK**. Для работы по этому интерфейсу выпускаются специальные оптические передатчики и приемники, например, TOSHIBA: передатчики - TOTX172, TOTX173, TOTX176, TOTX178, TOTX193, при-

емники - TORX173, TORX176, TORX178, TORX193; SHARP: передатчики - GP1F31T, GP1F32T, GP1F33TT, приемники - GP1F31R, GP1F32R, GP1F33RR. Все эти оптические модули имеют стандартные размеры присоединительного окна для оптического кабеля, а трехвыводные модификации приемников и передатчиков имеют одинаковую цоколевку (см.

М и н и - справочник на с. 34). Включение оптических приемников и передатчиков

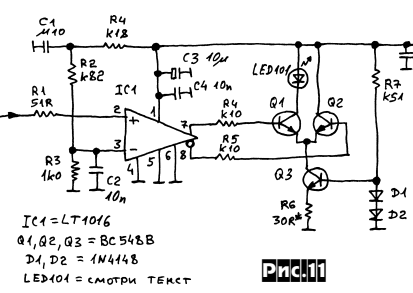


но вот экономить, обходясь без дросселя, крайне не рекомендуется. Включение передатчиков TOTX178 и GP1F31/32T показано на **рис.6**. Кроме того, на **рис.7** показано включение 4-выводного оптического передатчика TOTX172 в проигрывателе компакт-дисков MERIDIAN. **Важно: на рис.5-7 нумерация оптических модулей условная (вид сзади, выводами вниз), в документации же**

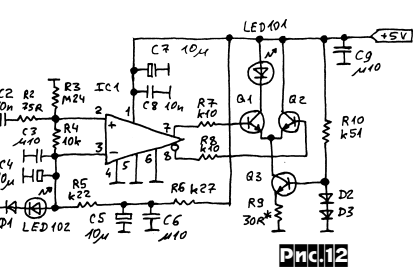


функционирования оптического модуля замените этот резистор перемычкой.

Теперь, используя приведенные схемы, мы можем решить часто возникающую проблему соединения DAT-магнитофона, имеющего только коаксиальные входы/выходы, и минидискового рекордера, имеющего, как правило, только оптические соединители. На **рис. 8 и 9** приведены схемы преобразователей S/PDIF-TOSLINK и TOSLINK-S/PDIF. Чтобы не вносить излишний дополнительный джиттер (джиттер - дрожание фронтов сигнала по оси времени), позаботьтесь о хорошо стабилизированном питании. На **рис.10** показан «блочный» вариант TOSLINK-S/PDIF конвертера с внешним питанием от любого



источника +7...15 В, привлекая внимание посетителей стенда журнала «Радиолюбитель» на прошлогодней осенней выставке «Мир электроники - 2000».



Если при экспериментах вам все-таки удалось сжечь модуль оптического передатчика, его можно попробовать восстановить. Поскольку светодиод при этом всегда остается целый, можно собрать вышедший из строя драйвер снаружи на дискретных элементах. Это возможно благодаря тому, что хотя непосредственно электроды светодиода и не выведены наружу, но при разборке модуля можно увидеть, что они все-таки имеют выходы за пределы корпуса, хотя и обрезаны почти под него. Возможный вариант драйвера показ

дуктивностью и т.д. Если же использовать подобный восстановленный передатчик в преобразователе S/PDIF-TOSLINK (вроде показанного на рис.8), то можно выполнить все устройство на одной микросхеме LT1016 немного видоизменив схему, как показано на **рис. 12**. LED101, как и в предыдущей схеме - светодиод оптического модуля, LED102 - любой светодиод зеленого свечения, в данном случае он используется как источник опорного напряжения.

В любительских конструкциях сейчас все чаще используются микросхемы фирмы Crystal Semiconductor - CS8401, CS8402A, CS8403, CS8404, CS8405, CS8411, CS8412,

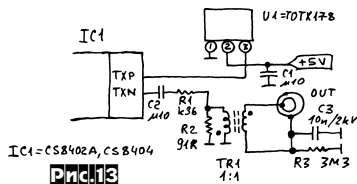


Рис.13

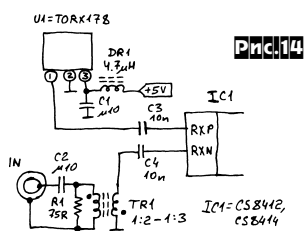


Рис.14

CS8413, CS8414, CS8415, CS8420. Подключение оптических модулей TOSLINK к этим микросхемам показано на **рис. 13 и 14**.

Кроме того, многие современные приводы CDRом имеют цифровой звуковой выход. Он по протоколу соответствует стандарту S/PDIF, но уровни сигналов там TTL/КМОП. Используя вышеприведенные схемы, вы можете сделать такому приводу коаксиальный или оптический выход в полном соответствии со стандартом.

Во всех схемах в качестве TR1 может быть использован импульсный ВЧ трансформатор от неисправного сетевого адаптера для персонального компьютера (воспользовавшись рекомендациями из «РХ» №4/99, с.15, можно сделать такой трансформатор и самому на ферритовом кольце: обмотки по 5-6 витков достаточны; только феррит должен быть **высокочастотным**, например 20ВЧ; обычные ферриты НМ/ММ не годятся).

И в заключение небольшая хитрость: несмотря на то, что при бифазном способе кодирования полярность (фаза) цифрового сигнала не имеет значения, некоторые производители умудряются сделать аппаратуру, которая оказывается чувствительной к этому параметру, поэтому если у вас срывается синхронизация или вообще отсутствует захват системы ФАПЧ в приемном устройстве (симптомы: сильный шум вместо звукового сигнала) - просто поменяйте местами выводы одной из обмоток импульсного трансформатора или любым другим способом проинвертируйте фазу сигнала.

Литература

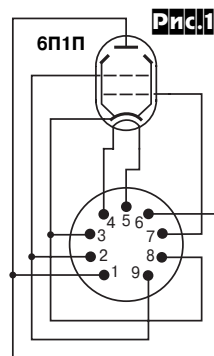
1. П.Шкритек. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. Пер. с нем. - М. «Мир», 1991
2. Integrated Digital Receiver / Rate Converter AD1892 - Datasheet REV.0 Analog Devices, Inc. 1998
3. Light Transmitting / Receiving Units GP1F31T/R, GP1F32T/R, GP1F33T/R/RT, GP1C331/331A/335 - Datasheet. SHARP Corporation
4. Fiber Optic Receiving Module TORX178A - Datasheet. TOSHIBA Corp., 1997
5. Fiber Optic Transmitting Module TOTX178 - Datasheet. TOSHIBA Corp., 1997
6. High-Speed Comparator LT1016 - Datasheet. Linear Technology Corporation

Ламповый калейдоскоп

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

6Н1П - лучевой тетрод в стеклянном «пальчиковом» исполнении (**рис. 1**), предназначенный для УМЗЧ. Накал 6,3 В / 0,5 А, анод 300 В / 70 мА / 12 Вт, экранная сетка 250 В / 7 мА / 2,5 Вт, крутизна 4,9 мА/В, ресурс 2000 часов (для 6Н1П-ЕВ 5000 часов). Лампы-аналоги, отличающиеся иным конструктивным исполнением, но идентичные или близкие электрическими характеристиками: 6П6С, 6В6, 6АQ5, EL90, 6L31. Типовые зависимости выходной мощности и коэффициента гармоник от сопротивления анодной нагрузки показаны на **рис.2**.

Применение лампы **6Н1П** в **однотактном оконечном каскаде класса А** в усилителях звуковой частоты при работе с **автоматическим смещением** показано на **рис.3**. Емкости конденсаторов C1, C2 и C4 определяются нижней рабочей частотой усилителя ($f_n = 1/(2\pi CR)$). Емкость C3 зависит от качества исполнения выходно-



го разброса характеристик ламп и не является обязательным. Большой запас по мощности этого резистора повышает надежность устройства в случае межэлектродного пробоя в лампе. Рекомендуемые электрические режимы работы лампы в таком применении: $E_a=255$ В,

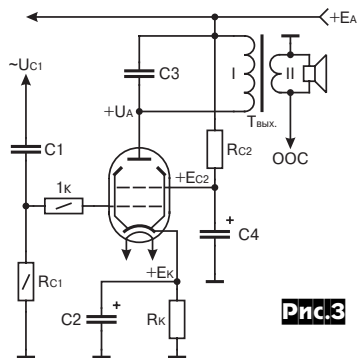


Рис.3

го трансформатора (Tr. вых.) и требуемой АЧХ в области средних и высоких частот. Рекомендуемые электрические режимы работы лампы в таком применении: $E_a=255$ В, $U_a=250$ В, $E_c2=250$ В, $E_k=13$ В, $R_k=270$ Ом, $I_{a0}=44$ мА, $I_{c20}=4$ мА, $R_{c2}=910$ Ом, $U_{c1}=8,9$ В. Этому режиму соответствуют внутреннее сопротивление лампы $R_i=50$ кОм, сопротивление нагрузки в цепи анода $R_a=5,0$ кОм, $R_{вых}=4$ В, $K_r=7\%$.

Применение лампы **6Н1П** в однотактном оконечном каскаде класса А в усилителях звуковой частоты при работе с **фиксированным отрицательным смещением** на управляющей сетке показано на **рис.4**. Емкости конденсаторов C1 и C3 определяются нижней рабочей частотой усилителя. Емкость C2 зависит от качества исполнения выходного трансформатора и необходимой АЧХ в области средних и высоких частот. Резистор R_k сопротивлением в несколько Ом, вводимый в цепь катода, служит для компенсации технологическо-

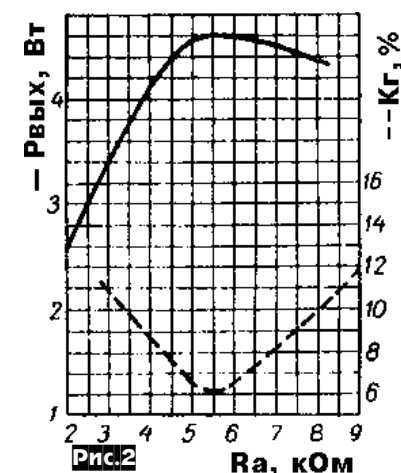


Рис.2

$U_a=250$ В, $E_c2=250$ В, $E_c1=-12,5$ В, $I_{a0}=45$ мА, $I_{c20}=5$ мА, $R_{c2}=620$ Ом, $U_{c1}=8,9$ В. Такому режиму соответствуют $R_i=50$ кОм, $R_a=5,5$ кОм, $R_{вых}=4,5$ В, $K_r=7\%$.

Пример практической реализации усилителя звуковой частоты с **однотактным выходным каскадом на лампе 6Н1П** показан на **рис.5**. Его входной каскад собран на половине двойного триода 6Н2П. Данную лампу можно заменить «октальной» 6Н9С. Переменный резистор R1 служит для регулировки громкости, а резистор R2 предотвращает «повисание» сетки входной лампы при обрыве движка потенциометра. Выходной каскад собран по однотактной схеме с использованием автоматического смещения, обеспечивающего ток анода 45 мА. Конденсатор C5, включенный параллельно анодной обмотке выходного трансформатора - корректирующий. Его ёмкость, подбираемая экспериментально, может лежать в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч пФ в зависимости от качества трансформатора и требований к АЧХ в области средних и высоких частот. Иногда может потребоваться включение последовательно с этим конденсатором резистора сопротивлением от сотен Ом до нескольких десятков килоом. В ряде случаев корректирующий конденсатор может отсутствовать вообще.

Технические характеристики предложенного усилителя следующие: максимальная выходная мощность до **4 Вт** при входном напряжении около 0,7 В и коэффициенте гармоник около **1,5%**. Рабочий диапазон частот от 40 Гц до 18-20 кГц при неравномерности АЧХ не более 2 дБ. Усилитель охвачен общей ООС глубиной около 15 дБ. Следует отметить, что ООС без-

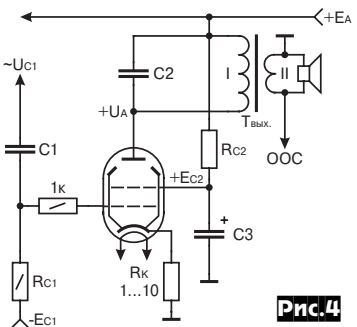
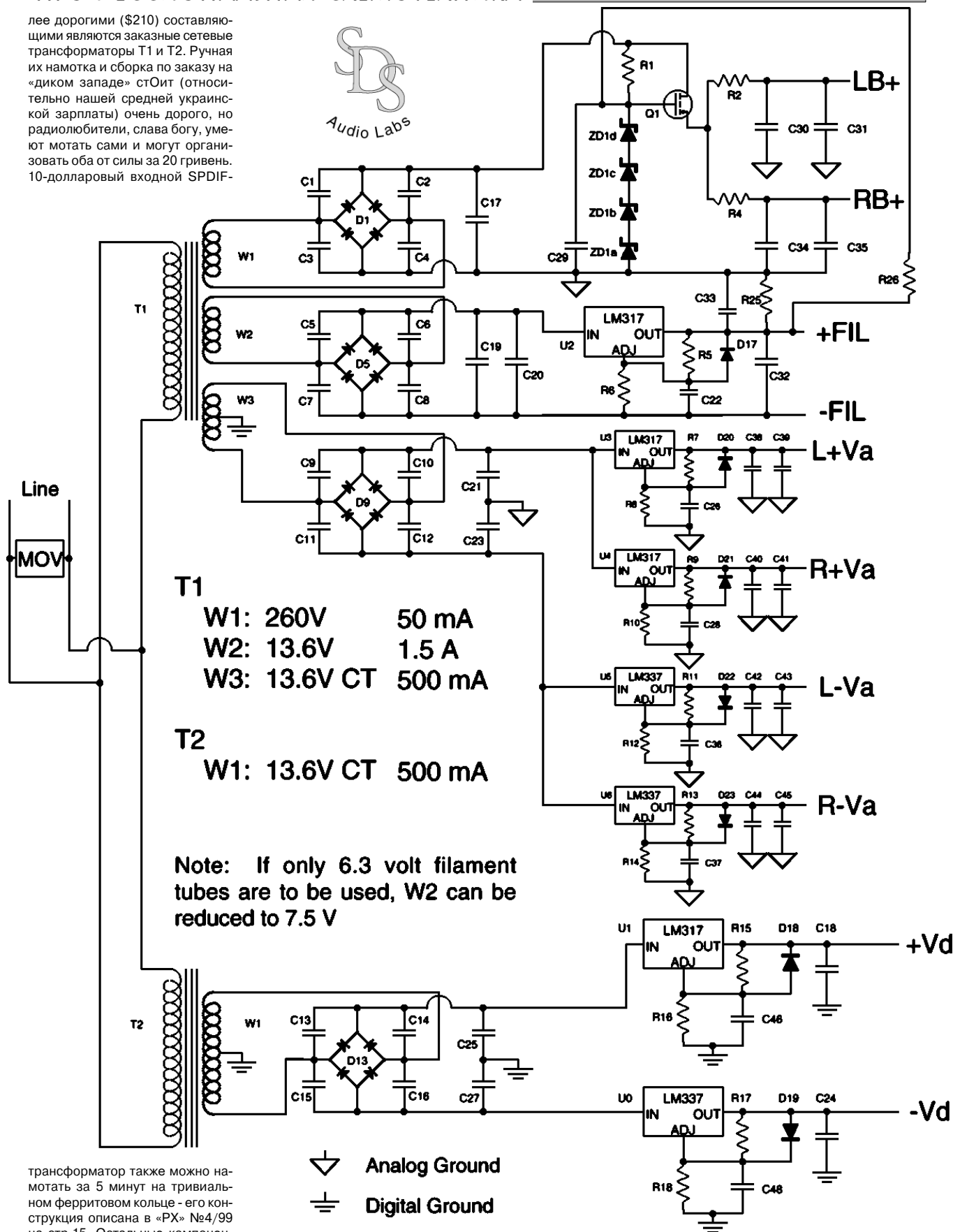


Рис.4

лее дорогими (\$210) составляющими являются заказные сетевые трансформаторы T1 и T2. Ручная их намотка и сборка по заказу на «диком западе» стОит (относительно нашей средней украинской зарплаты) очень дорого, но радиолюбители, слава богу, умеют мотать сами и могут организовать оба от силы за 20 гривень. 10-долларовый входной SPDIF-



трансформатор также можно намотать за 5 минут на тривиальном ферритовом кольце - его конструкция описана в «РХ» №4/99 на стр.15. Остальные компоненты укладываются в тоже немалые деньги, однако учитывая, что в готовом виде аналогичные внешние ЦАПы стОят обычно далеко за \$1000, такая High-End овчинка выделки стоит. Тем более, что с ролью многокилобаксового High-

End CD- «транспорта» с не меньшим (а на «плохих» дисках даже с БОльшим) успехом справляются и 30-долларовые вынутые из старых компьютеров CD-РОМы, многие из которых оснащены цифровым аудиовыходом SPDIF

(правда, последние чаще в TTL-уровнях, а не в стандартном для SPDIF 0,5-вольтном, но соответствующие преобразователи мы уже описывали - стр.10 «РХ» №2/98), а схемы джиттероподавителей можно найти в дайджесте

этого и предыдущего (№5/99, стр.13) номеров «Радиолюбитель». Кстати, звук, пройдя через единственный ламповый каскад, успевает «облагородиться» и звучит по-ламповому даже на транзисторных УМЗЧ.